



**T.C.  
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



## **YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TALKIN KOLLEKTÖRSÜZ FLOTASYONUNDA ÇÖZÜNMÜŞ  
İYONLARIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Merve AKGÜN**

**DANIŞMAN  
Doç. Dr. Kenan ÇİNKU**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Maden Mühendisliği Programı**

**İSTANBUL-2018**

Bu çalışma 04.01.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Maden Mühendisliğı Anabilim Dalı, Maden Mühendisliğı Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ



Doç. Dr. Kenan ÇİNKU  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi




Prof. Dr. İlgin KURŞUN ÜNVER  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Prof. Dr. Tülay BAL DEMİRCİ  
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa  
Mühendislik Fakültesi



Doç. Dr. Fırat BURAT  
İstanbul Teknik Üniversitesi  
Maden Fakültesi



Doç. Dr. Olgaç KANGAL  
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-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin ..... numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, ..... numaralı ..... projesi ile desteklenmiştir.

## ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında göstermiş olduğu destek ve yardımından dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Kenan ÇİNKU'ya, katkılarından dolayı Bölüm Başkanımız çok değerli hocam Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİNE'e, gösterdiği manevi desteğinden dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Orhan ÖZDEMİR'e, ayrıca desteğinden dolayı Araştırma Görevlisi Dilek ŞENOL ARSLAN'a ve tüm hocalarıma teşekkürü borç bilirim.

Birlikte çalıştığımız süre boyunca Mali Müşavirlik öğretmeninin yanı sıra yapmış olduğum yüksek lisans ve tezimle ilgili bana desteğini esirgemeyen çok değerli Serbest Muhasebeci Mali Müşavir Murat OLGUNER'e sonsuz teşekkürler...

Hayatımda her zaman bana maddi ve manevi destek olup beni ASLA yalnız bırakmayan, uzun bir dönemi kapsayan yüksek lisansım boyunca bana gösterdikleri sabır ve anlayış için başta ANNEM'e ve tüm aileme binlerce kere teşekkür ederim. İyi ki varsınız....

Aralık 2018

Merve AKGÜN

# İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ .....	xi
ÖZET .....	xii
SUMMARY .....	xiv
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR</b> .....	<b>4</b>
2.1.    SİLİKATLARIN TANIMI VE OLUŞUMU .....	5
2.1.1.    Silikat Yapıları ve Sınıflandırılması .....	6
2.2.    TALK .....	9
2.2.1.    Talk Çeşitleri .....	10
2.2.2.    Talkın Kullanım Alanları.....	11
2.2.2.1.    Seramik Sanayi.....	13
2.2.2.2.    Boya Sanayi.....	14
2.2.2.3.    Çatı Kaplaması.....	15
2.2.2.4.    Haşere İlacı .....	15
2.2.2.5.    Kauçuk Sanayi.....	15
2.2.2.6.    Kağıt Sanayi .....	16
2.2.2.7.    Kozmetik ve Farmakoloji .....	16
2.2.3.    Dünya’da ve Türkiye’de Talk Mineralinin Üretim ve Tüketim Miktarları .....	16
2.3.    FLOTASYON TANIMI .....	20
2.3.1.    Flotasyonun Tarihsel Gelişimi .....	24
2.3.2.    Flotasyon Reaktifleri .....	24
2.3.2.1.    Toplayıcılar .....	25
2.3.2.2.    Köpürtücüler .....	27
2.3.2.3.    Bastırıcılar .....	28
2.3.2.4.    Canlandırıcılar.....	28
2.3.2.5.    pH Ayarlayıcılar.....	28

2.4.	MİNERAL KARAKTERİZASYONU .....	29
2.4.1.	Kimyasal Analiz .....	29
2.4.2.	X Işınları Kırınımı (XRD) Analizi .....	29
2.4.3.	Termogravimetrik (TGA) ve Diferansiyel (DTA) Analiz .....	30
2.4.4.	Temas Açısı .....	30
2.4.5.	Yüzey Gerilimi .....	32
2.4.5.1.	<i>Sapsız Damla Metodu</i> .....	34
2.4.6.	Zeta Potansiyel .....	35
<b>3.</b>	<b>MALZEME VE YÖNTEM</b> .....	<b>40</b>
3.1.	DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER.....	40
3.1.1.	Numune .....	40
3.1.2.	Kimyasal Malzemeler.....	40
3.2.	YÖNTEMLER.....	41
3.2.1.	Talkın Zenginleştirilmesi.....	41
3.2.2.	Talkın Karakterizasyonu.....	44
3.2.2.1.	<i>Mikro Flotasyon Deneyleri</i> .....	44
3.2.2.2.	<i>Zeta Potansiyel Ölçümleri</i> .....	45
3.2.2.3.	<i>Yüzey Gerilimi Ölçümleri</i> .....	46
3.2.2.4.	<i>Temas Açısı Ölçümleri</i> .....	48
<b>4.</b>	<b>BULGULAR</b> .....	<b>49</b>
4.1.	KİMYASAL VE MİNERALOJİK ANALİZ .....	49
4.2.	BOYUT ANALİZİ.....	51
4.3.	ELEKTROKİNETİK ÖZELLİKLER.....	53
4.4.	MİKRO FLOTASYON OPTİMİZASYON DENEYLERİ .....	54
4.4.1.	Optimum Tane Boyutu Belirleme Deneyleri.....	54
4.4.2.	Optimum Hava Miktarı Belirleme Deneyleri.....	55
4.5.	SODYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ.....	55
4.5.1.	Mikro Flotasyon Deneyleri.....	56
4.5.2.	Zeta Potansiyel Ölçümleri .....	57
4.5.3.	Yüzey Gerilimi Ölçümleri .....	58
4.5.4.	Temas Açısı Ölçümleri.....	59
4.6.	POTASYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ.....	61
4.6.1.	Mikro Flotasyon Deneyleri.....	61
4.6.2.	Zeta Potansiyel Ölçümleri .....	62

4.6.3.	Yüzey Gerilimi Ölçümleri .....	63
4.6.4.	Temas Açısı Ölçümleri .....	64
4.7.	MAGNEZYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ .....	66
4.7.1.	Mikro Flotasyon Deneyleri .....	66
4.7.2.	Zeta Potansiyel Ölçümleri .....	67
4.7.3.	Yüzey Gerilimi Ölçümleri .....	68
4.7.4.	Temas açısı Ölçümleri .....	69
4.8.	KALSİYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ .....	71
4.8.1.	Mikro Flotasyon Deneyleri .....	71
4.8.2.	Zeta Potansiyel Ölçümleri .....	72
4.8.3.	Yüzey Gerilimi Ölçümleri .....	73
4.8.4.	Temas Açısı Ölçümleri .....	74
<b>5.</b>	<b>TARTIŞMA VE SONUÇ .....</b>	<b>79</b>
	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>82</b>
	<b>EKLER .....</b>	<b>87</b>
	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>88</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

	<b>Sayfa No</b>
Şekil 1. 1: İyon yarıçapları. ....	3
Şekil 2. 1: Talkın kristal yapısı. ....	9
Şekil 2. 2: Seramik sanayisine bir örnek. ....	14
Şekil 2. 3: Boya sanayisine bir örnek. ....	15
Şekil 2. 4: Çatı kaplamasına bir örnek. ....	15
Şekil 2. 5: Talk pudrası ve ilaç sanayinde kullanımına bir örnek. ....	16
Şekil 2. 6: Flotasyonun oluşum mekanizması ve kabarcık-tanecik bağlarının oluşturulması. ....	20
Şekil 2. 7: Üç fazın mineral yüzeyine teması ve denge durumları. ....	21
Şekil 2. 8: Köpük flotasyon cihazının şematik görünümü. ....	23
Şekil 2. 9: Katı tanecik yüzeylerinde toplayıcı yönelmesi. ....	26
Şekil 2. 10: Katı yüzeyindeki bir su damlasıyla temsil edilen üç fazlı sistem için çeşitli .....31	31
Şekil 2. 11: Temas açısına ait örnekler. ....	32
Şekil 2. 12: Yüzey gerilimi şematik görünümü. ....	33
Şekil 2. 13: Sapsız damlaya bir örnek. ....	34
Şekil 2. 14: Elektriksel çift tabakanın şematik görünümü. ....	37
Şekil 3. 1: Milli-Q Saf Su Cihazı. ....	41
Şekil 3. 2: Kuru ve yaş manyetik ayırıcı. ....	42
Şekil 3. 3: Elek seti sarsma cihazı. ....	42
Şekil 3. 4: Ham talk numunesinin hazırlama ve ön zenginleştirme akım şeması. ....	43
Şekil 3. 5: Mikro flotasyon hücresi. ....	45
Şekil 3. 6: Brookhaven ZetaPlus zeta potansiyel ölçüm cihazı. ....	46
Şekil 3. 7: KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı. ....	47



Şekil 4. 1: Talkın XRD kırınım deseni. ....	50
Şekil 4. 2: Talkın DTA-TG analiz sonuçları. ....	50
Şekil 4. 3: SEIKO SII DTA/TG termal analiz cihazı. ....	51
Şekil 4. 4: Talkın kümülatif elek altı ve elek üstü analizinin grafiği. ....	52
Şekil 4. 5: Talkın pH'a bağlı zeta profili. ....	53
Şekil 4. 6: Talkın tane boyutuna bağlı flotasyon verimi grafiği. ....	54
Şekil 4. 7: Talkın hava miktarına bağlı flotasyon verimi grafiği. ....	55
Şekil 4. 8: NaCl konsantrasyonunun talkın mikro flotasyonuna etkisi. ....	57
Şekil 4. 9: Talk'ın NaCl konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi. ....	58
Şekil 4. 10: Talkın NaCl konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi. ....	59
Şekil 4. 11: Talkın NaCl konsantrasyona bağlı temas açısı değişimi. ....	60
Şekil 4. 12: KCl konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi. ....	62
Şekil 4. 13: Talkın KCl konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi. ....	63
Şekil 4. 14: KCl konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi. ....	64
Şekil 4. 15: Talkın KCl konsantrasyona bağlı temas açısı değişimi. ....	65
Şekil 4. 16: MgCl <sub>2</sub> konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi. ....	67
Şekil 4. 17: Talkın MgCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi. ....	68
Şekil 4. 18: MgCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi. ....	69
Şekil 4. 19: Talkın MgCl <sub>2</sub> konsantrasyona bağlı temas açısı değişimi. ....	70
Şekil 4. 20: CaCl <sub>2</sub> konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi. ....	72
Şekil 4. 21: Talkın CaCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi. ....	73
Şekil 4. 22: CaCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi. ....	74
Şekil 4. 23: Talkın CaCl <sub>2</sub> konsantrasyona bağlı temas açısı değişimi. ....	75
Şekil 4. 24: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı flotasyon verimi. ....	76
Şekil 4. 25: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi. ....	76
Şekil 4. 26: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi. ....	77
Şekil 4. 27: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı temas açısı değişimi. ....	77

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

Tablo 2. 1: Silikat yapıları. ....	6
Tablo 2. 2: Talkın ticari türleri. ....	10
Tablo 2. 3: Ülkemizde talk kullanım alanları ve miktarları. ....	11
Tablo 2. 4: Sektörlere göre talkın kullanım fonksiyonları. ....	12
Tablo 2. 5: Talkın endüstrideki ürün standartları. ....	13
Tablo 2. 6: Dünya’da talk üretim miktarları (metrik ton). ....	18
Tablo 2. 7: Türkiye’de bilinen talk yatakları ve rezerv durumu (ton). ....	19
Tablo 2. 8: Türkiye’de talkın sektörlere göre kullanım miktarları. ....	19
Tablo 3. 1: Talkın flotasyonunda kullanılan tuzlar. ....	40
Tablo 3. 2: Mikro flotasyon deneylerinin şartları. ....	44
Tablo 4. 1: Talkın kimyasal analizi. ....	49
Tablo 4. 2: Elek analizi sonucu. ....	52
Tablo 4. 3: NaCl varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları. ....	56
Tablo 4. 4: NaCl konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri. ....	59
Tablo 4. 5: KCl varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları. ....	61
Tablo 4. 6: KCl konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri. ....	64
Tablo 4. 7: MgCl <sub>2</sub> varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları. ....	66
Tablo 4. 8: MgCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri. ....	69
Tablo 4. 9: CaCl <sub>2</sub> varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları. ....	71
Tablo 4. 10: CaCl <sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri. ....	74

## SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
<b>M</b>	: Molarite, mol/litre
<b>m</b>	: Kütle, g
<b>t</b>	: Zaman, dk
<b><math>\mu</math></b>	: Tane boyutu, 1/1000 mm
<b>Q</b>	: Hava miktarı, $\text{cm}^3/\text{dk}$
<b><math>R^2</math></b>	: Sapma oranı
<b>pH</b>	: Potansiyel hidrojen
<b><math>\psi_d</math></b>	: Elektrokinetik potansiyel, V
<b><math>\theta</math></b>	: Temas açısı, $^\circ$
<b><math>\delta</math></b>	: Zeta potansiyel, mV
<b><math>\gamma</math></b>	: Yüzey gerilimi, $\text{dyn}/\text{cm}^3$
<b><math>\gamma_{MH}</math></b>	: Katı-hava arasındaki yüzey gerilimi, $\text{dyn}/\text{cm}^3$
<b><math>\gamma_{HS}</math></b>	: Hava-sıvı arasındaki yüzey gerilimi, $\text{dyn}/\text{cm}^3$
<b><math>\gamma_{SM}</math></b>	: Sıvı-katı arasındaki yüzey gerilimi, $\text{dyn}/\text{cm}^3$
<b>P</b>	: Katı-sıvı-gaz ara yüzey bölgesi

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>NaCl</b>	: Sodyum Klorür
<b>KCl</b>	: Potasyum Klorür
<b>MgCl<sub>2</sub></b>	: Magnezyum Klorür
<b>CaCl<sub>2</sub></b>	: Kalsiyum Klorür
<b>Si</b>	: Silisyum
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silika
<b>DTA</b>	: Diferansiyel Termal Analiz
<b>TGA</b>	: Termogravimetrik Analiz
<b>XRD</b>	: X-Işınları Kırınımı
<b>PKO</b>	: Pülpte katı oranı

## ÖZET

### TALKIN KOLLEKTÖRSÜZ FLOTASYONUNDA ÇÖZÜNMÜŞ İYONLARIN ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

#### YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Merve AKGÜN**

**İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman : Doç. Dr. Kenan ÇİNKU**

Talk, hidrofobik bir yapıya sahiptir. Bu sayede tüm dünyada yaygın olarak kullanılan flotasyon tekniği ile zenginleştirilebilmektedir. Doğal hidrofobik bir mineral olan talkın, kollektör adı verilen kimyasal toplayıcı kullanmadan yüzebildiği bilinmektedir. Ayrıca önceki çalışmalarda doğal hidrofob olan taş kömürlerinin tuzlu su içerisinde hiçbir kollektör veya köpürtücü kullanmadan yüzebilmesi, bize taş kömürü gibi doğal hidrofob olan talkında aynı şartlarda yüzebileceği konusunda ışık tutmuştur.

Flotasyon yöntemiyle zenginleştirme işlemi yapılırken kullanılan kimyasallar ve suyun niteliği büyük önem arz etmektedir. Bu nedenledir ki, flotasyonda sarf edilen kimyasalın miktarı veya hiç kullanılmaması flotasyon tesislerindeki işletim masraflarını büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca dünyadaki kısıtlı içme suyu kaynakları ve tesislerdeki tuz içeriği yüksek kuyu suyu kullanımı zorunluluğu gibi konular göz önüne alındığında, tuzlu sular varlığında flotasyon yapabilmenin önemi daha çok ortaya çıkmaktadır.

Bu kapsamda tez çalışmasının amacı; talkın, laboratuvar ortamında hiçbir kollektör kullanmadan tuzlu su içerisinde (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) mikro flotasyon yöntemiyle yüzdürerek Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> katyonlarının flotasyon verimine etkisini ortaya koyabilmektir. Buna ek olarak talk numunesinin flotasyon davranışını ve hidrofobitesini

açıklamak amacıyla temas açısı, zeta potansiyel ve yüzey gerilimi gibi çeşitli yöntemlerde kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda talkın hiçbir flotasyon kimyasalı kullanmadan özellikle +2 değerlikli katyonlar varlığında yüzebilirliğinin arttığı görülmüştür. Bu tez çalışmasından çıkan sonuçlar hem minerallerin tuzlu su içerisinde flotasyon davranışlarını anlamaya hem de flotasyon teknolojisinin gelişmesine yardımcı olacaktır.

Aralık 2018, 104 sayfa.

**Anahtar kelimeler:** Tuz, mikro flotasyon, talk, zeta potansiyel, temas açısı, yüzey gerilimi



## **SUMMARY**

### **INVESTIGATION OF EFFECT OF DISSOLVED IONS ON COLLECTORLESS FLOTATION OF TALC**

#### **M.Sc. THESIS**

**Merve AKGÜN**

**Istanbul University-Cerrahpasa**

**Institute of Graduate Studies**

**Department of Mining Engineering**

**Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kenan ÇINKU**

Talc is mineral which has a hydrophobic structure. Due to this feature, it can be successfully enriched with flotation method which is a widely used mineral processing method throughout the world. It is a known fact that talc can be floated without using any reagents/collectors owing to its natural hydrophobicity. Additionally, coals, which are also natural hydrophobic materials, were successfully floated using saline waters without using any collectors or frothers in previous studies. Therefore, this fact is contributing to possibility to achieve same success with other natural hydrophobic minerals such as talc.

In flotation method, reagents and water quality has great importance on the beneficiation process. Therefore, the amount of the chemical used in the flotation or its complete absence are greatly affects the operating costs in a flotation plant. Additionally, the importance of flotation in the presence of saline waters is become more prominent if the limited drinking water resources in the world and the necessity to use waters that has high salt content from wells in the facilities were taken into consideration.

In this context, the aim of this thesis is to determine the effects of  $\text{Na}^{+1}$ ,  $\text{K}^{+1}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  cations on the lab scale flotation recovery of talc by the micro flotation method in the absence of collector reagents and using saline ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ) waters.

Moreover, additional methods such as contact angle, zeta potential and surface tension measurements were also used to reveal the flotation behavior and hydrophobicity of the talc sample. The result of the studies have showed that the floatability of talc increases in the presence of +2 valence cations without using any flotation chemicals. The results from this thesis will not only help to understand the flotation behavior of minerals in saline waters, but also contribute to the development of flotation technology.

December 2018, 104 pages.

**Keywords:** Salt, micro flotation, talc, zeta potential, contact angle, surface tension



## 1. GİRİŞ

Talk uzun jeolojik süreçler boyunca oluşmuş tabakalı, hidrofobik karakterli ve dünyanın bilinen en yumuşak mineralidir.

Dünyada, farklı ebatlarda üretim yapan birçok talk ocağı bulunmaktadır. Bu ocaklarda üretilen her talk cevherinin kendine özgü jeolojik, mineralojik özellikleri bulunmaktadır. Bu nedenle talk çok farklı renklere (siyah yeşil, beyaz, gri, pembe, mavi, menekşe) sahip olabilmektedir. Talk endüstriyel anlamda, renk, saflık ve diğer yapısal özelliklerine bağlı olarak geniş bir yelpazede kullanım imkanı bulmaktadır.

Endüstriyel anlamda; Mohs sertlik skalasına göre sertliği 1 olan talk yumuşaklığı, düşük nem içeriği, yüksek yağ absorpsiyonu, ergime noktası, düşük özgül ağırlığı, kimyasal yapısı ve ısı-elektrik dayanımı gibi özellikleri önem arz etmektedir.

Talk birçok endüstride genellikle günlük hayatta sıklıkla karşılaştığımız ürünlerde karşımıza çıkmaktadır. Bunları; boya, kağıt, plastik sanayileri, yem üretimi, otomobil sanayisi, kablo izolasyonu, şekerleme ve sakız üretimi, seramik sanayisi, kozmetik ve ilaç sektörü, fırın refrakterleri, zeytinyağı rafinasyonu, çatı kaplama malzemesi, lastik sanayisi ve vücut pudrası şeklinde sıralamak mümkündür. Talk endüstride en çok porozite ve opaklığı istenilen seviyelere çıkarabildiğinden dolayı tercih edilmektedir. Ayrıca kağıtta ki sarılığı azaltması ve pürüzlülüğü gidermesi yine kağıt sanayisinde talkın kullanımını önemli hale getirmektedir. Bununla birlikte talk, endüstride kullanılan tüm dolgu ve kaplama minerallerinin de en az aşındırıcı olanıdır. (Sarız ve Nuhoglu, 1992).

Dünya talk rezervleri bakımından Çin, ABD, Avustralya, Brezilya, Avusturya, Finlandiya, Hindistan, Rusya, İtalya, Kuzey Kore ve Japonya başta gelmektedir.

Ülkemizde ise talk yatakları başlıca Aydın, Eskişehir, Bolu, Balıkesir, Sivas ve Sakarya'da bulunmaktadır.

Talk zenginleştirilmesinde başta trommel elek, elle ayıklama, boyuta göre sınıflandırma ve flotasyon gibi birçok farklı yöntem kullanılmaktadır.

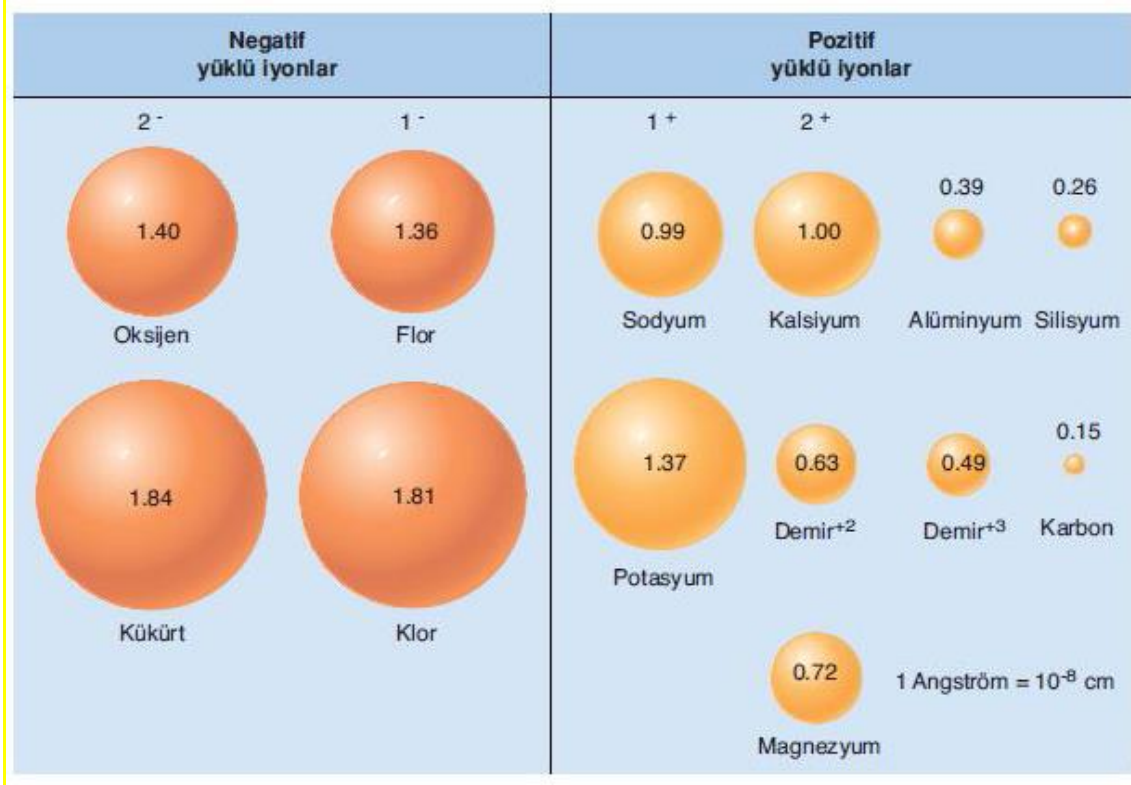


Flotasyon, cevher hazırlamada çok geniş uygulama alanına sahip olup günümüzde birçok cevherin (talk, feldispat, metalik cevherler, kuvars ve kömür gibi) zenginleştirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Flotasyon tekniğini önemli kılan ise, sanayinin ihtiyacı olan yüksek tenörlü endüstriyel mineral ve hammaddelerin ekonomik olarak zenginleştirilmesini sağlamasıdır. Sadece bu bile flotasyonun dünyada en önemli ayırma-zenginleştirme yöntemlerinden biri olduğunu gösterir. Bu tekniğin başarısı için birçok cihazlar geliştirilmiş olup halen yeni teknolojilerin geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Dünya genelinde birçok flotasyon tesisinde iyon konsantrasyonu oldukça yüksek olan sular kullanılmaktadır. Avustralya'nın Keith dağında Nikel madeninin flotasyonunda kullanılan kuyu suyunun iyon konsantrasyonu 60 bin ppm'dir (George, 1996). Buna ek olarak sodyum ve potasyum gibi tek değerlikli iyonların, sodyum-feldspat ile potasyum-feldspat ayırımında büyük bir rolünün deneylerle ortaya koyulmuştur (Demir ve diğ. 2001). Ayrıca yine başka bir çalışmada çözülmüş halde olan  $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$  ve  $F^{-1}$  gibi iyonların barit ve apatitin flotasyonunu önemli ölçüde etkilediği ortaya konmuştur (Guimarães and Peres, 1999).

Konsantrasyonu yüksek organik olmayan iyonların solüsyon ve ara yüzeyleri etkileyerek, kabarcıklarla tanelerin arasında olan kolloidal etkileşimleri değiştirdiği bununla birlikte minerallerin flotasyonunu etkilediği birçok deneysel çalışmayla ortaya koyulmuştur. Buna ek olarak doğal hidrofobik minerallerin tuzlu sular içerisinde yüzdüğü de bilinmektedir. Ayrıca, flotasyonda tuz kullanılmasının birçok avantajı vardır. Daha az kimyasal kullanıldığı için operasyon maliyetleri düşmektedir. Daha da önemlisi suyun geri dönüşümü sağlanabilmektedir.

Diğer yandan daha önceki yapılmış çalışmalar incelendiğinde, deneylerde kullanılan tuzların iyon yarıçaplarının (Şekil 1.1) deney sonuçlarına etki ettiği görülmüştür. Çift değerlikli iyonların ( $Ca^{+2}$ ,  $Mg^{+2}$ ) yarıçaplarının tek değerlikli ( $Na^{+1}$ ,  $K^{+1}$ ) iyonların yarıçaplarından daha küçük olması sebebiyle çift değerlikli iyonlar suyla daha fazla etkileşime girerler. Bunun sonucu olarak, deneylerde kullanılan çift değerlikli tuzlu sular ile tek değerlikli tuzlu sulara nazaran daha yüksek sayıda ince boyutlu kabarcık oluşması sağlanarak flotasyon veriminde bariz artış olduğu gözlemlenmiştir (Özdemir, 2013).



**Şekil 1. 1:** İyon yarıçapları.

Bu çalışma ile, talkın kollektörsüz flotasyonunda çözülmüş iyonların etkisi araştırılmıştır. Öncelikle detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş, ardından kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmıştır. ERC Mineral firmasına ait talk numunesi, gerekli boyut küçültme işlemlerinden geçtikten sonra, tuzlu su çözeltilerinde mikro flotasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çapta yapılan mikro flotasyon deneylerinde NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub> ve MgCl<sub>2</sub> tuzları kullanılmış; ayrıca flotasyonda elde edilen sonuçların doğruluğunu desteklemek için zeta potansiyel, yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Yüzey Kimyası Laboratuvarlarında yürütülen bu tez çalışmasında, talk mineralinin kollektörsüz flotasyonuna çözülmüş iyonların varlığının etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu amaçla öncelikle detaylı bir literatür taraması gerçekleştirilmiş, ardından kapsamlı deneysel çalışmalar yapılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

Endüstride geniş bir kullanım yeri bulan flotasyon (yüzdürme); yükselmekte olan hava kabarcıklarına tanelerin seçimli olarak yapışması sağlanılarak mineral ve kristallerin zenginleştirilmesinde, boya taneleri ve yağ damlacıklarının ise bu sayede temizlenmesinde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Diğer bir ifadeyle flotasyon; cevher hazırlamada başka bir yolla zenginleştirilemeyen çok ince tane boyutundaki mineral taneciklerini, mineralin sahip olduğu fiziksel-kimyasal özelliklerinden yararlanarak köpükle zenginleştirme işlemidir.

Yer altı veya yerüstü madencilik teknikleri kullanılarak çıkarılan cevherler, kırma, öğütme gibi boyut küçültme işlemlerine tabi tutularak değerli ve değersiz minerallerinin serbestleşmesi sağlanır. Uygun tane boyutuna sahip serbestleşmiş cevher flotasyon tesisine yollar ve orada flotasyon hücrelerinde ayırma tabi tutulur. Selül adı verilen flotasyon hücresinde gerçekleştirilen işlem esnasında hidrofob (su sevmeyen) ve hidrofil (su seven) mineral taneciklerinden oluşan süspansiyonun içine hava ilave edilir. Bu sırada sistemdeki su sevmeyen taneler yukarı yönde hareketlenen hava kabarcıklarına yapışır ve bu kabarcık-tane birleşmiş hali, köpük halinde süspansiyonun yüzeyinde toplanırlar. Tanecik yüklenen köpükler flotasyon selülünün üzerinden taşarak başka bir kaba alınırlar. Bu sırada su sever taneler ise ortama ilave edilen hava kabarcıklarına yapışamadıklarından selülün içinde kalırlar ve selülün aşağı kısmından alınarak ortamdan uzaklaştırılırlar.

Flotasyonda beklenti, ortama verilen hava ile oluşan hava kabarcıklarının süspansiyon içinde bulunan hidrofobik taneleri yakalayarak yüzeye taşımaktır. Doğal haliyle sadece kömür, talk, grafit, stibnit, molibdenit ve kükürt gibi hidrofob karakterli birkaç mineral bulunurken diğer mineraller hidrofilik bir yapıya sahiptir. Hidrofilik olan bu tanelerin ise hava kabarcıklarına tutunması için, “kollektör” olarak adlandırılan çeşitli kimyasalların flotasyon esnasında ortama ilave edilip katı mineral yüzeylerini ince bir film tabakası şeklinde kaplanması sağlanmalı ve mineralin hidrofobik bir mineralmiş gibi davranır hale getirilmesi gerekir. Flotasyon yönteminde önemli bir diğer kimyasal ise köpürtücülerdir. Köpürtücüler; sıvının yüzey gerilimini düşürerek sistemde gerekli olan hava kabarcığı oluşumunu sağlar.

Yapılan literatür çalışmalarında, kömür gibi doğal hidrofobik malzemelerin yüksek miktarda çözünmüş iyon içeren tuzlu su gibi solüsyonlar içinde kollektör ve köpürtücü gibi herhangi

bir kimyasal kullanmadan yüzdükleri belirtilmiştir (Klassen ve Mokrousov, 1963). Çözünmüş iyonların varlığı solüsyon ve ara yüzeyleri etkilemesi nedeniyle hava kabarcığı ile mineral taneleri arasındaki kolloidal etkileşimleri etkilemesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu önemli oranda etkilediği bilinmektedir (Miller ve diğ., 1992; Hançer ve diğ., 2001; Özdemir ve diğ., 2007; Özdemir ve diğ., 2009). Bu konuda yapılan çalışmalar özellikle tuzlu sular veya deniz suyu içerisinde kömür flotasyonu üzerine yoğunlaşmış ve flotasyon mekanizmasını ortaya koymak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Yoon, 1982; Yoon ve Sabey, 1989; Li ve Somasundaran, 1993; Laskowski, 2001). Gerçekleştirilen çalışmalar birçok teoriyi de beraberinde getirmiştir. Bu teorilerden biri inorganik elektrolitlerin kabarcık birleşmesini önlediği, böylece kabarcık boyutunun küçüldüğü ve sayısını arttırdığı üzerinedir. Bu olayın kabarcık-tane yapışma olasılığını arttırdığı, köpük stabilitesi dolayısıyla da flotasyon verimini arttırdığı söylenmektedir (Yoon, 1982; Paulson ve Pugh, 1996 ).

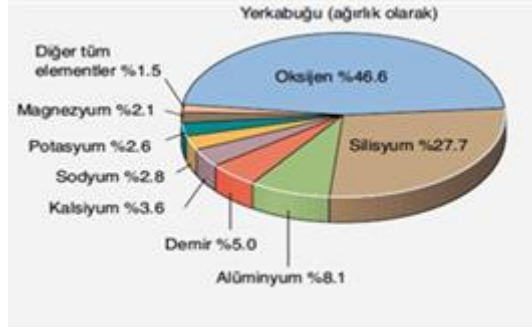
Bu tez çalışması kapsamında, tuzlu suların kömür flotasyonunda büyük ilgi görmesi nedeniyle yine kömür gibi doğal hidrofobik karakterli minerallerden birisi olan talkın tuzlu su ortamında flotasyon davranışları ortaya konmuştur.

## 2.1. SİLİKATLARIN TANIMI VE OLUŞUMU

Yerkabuğunda bulunan elementler içinde silisyum (Si), oksijenden sonra sıklıkla görülen element olup birçok mineralin yapısında karşımıza çıkmaktadır. Oksijen ile bileşen silisyum, silika ( $\text{SiO}_2$ ) ve diğer silikatları ( $\text{SiO}_2$  içeren bileşikleri) oluşturarak doğada geniş bir dağılım gösterir. Silikatlar diğer mineral sınıfları içinde en geniş, en ilginç ve en karmaşık mineraller topluluğudur. Yerkabuğunda bulunan minerallerin yaklaşık %25'i ve geniş dağılım gösteren minerallerin ise yaklaşık olarak %40'ı silikat grubu minerallerinden oluşur. (Şekil 2.1). Bazı jeologlar yerkürenin %90'ının silikatlardan oluştuğunu tahmin etmektedirler (Özgen, 2008).

Silikat grubuna dahil olan mineraller,  $\text{Si}^{+4}$  katyonu (iyon çapı = 0,42 Å) ile çevresinde bulunan dört tane  $\text{O}^{-2}$  anyonunun (iyon çapı= 1,40 Å) oluşturduğu,  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  ana gösterimi ile formülize edilen ve tetraheder (düzgün dört yüzlü) olarak adlandırılan yapı taşlarının birbiriyle birleşmesine göre oluşurlar (Manser, 1975; Perkins, 2002). Bu temel yapı taşında yer alan oksijen iyonlarının her biri silisyum iyonu ile bir bağ yapar ve -1 değerlidir. Silisyumun oksijenlerle yapmış olduğu  $(\text{SiO}_4)^{-4}$  grubundaki bağlanma şekli, Pauling

elektronegatiflik kuralına göre %50 iyonik ve %50 kovalent bağ olarak kabul edilir. Silikat minerallerinin oluşması bu güçlü bağ sayesinde olmuştur (Karagüzel, 2005).



Şekil 2. 1: Yerkabuğunda rastlanan yaygın elementler.

### 2.1.1. Silikat Yapıları ve Sınıflandırılması

Silikat tetrahederleri ile oluşan bu karışık yapılar oldukça şaşırtıcıdır. Silikatlar yapılarına göre; tetraheder, çift tetraheder, zincir yapılı, tabakalı, halka ve kafes yapılı silikatlar olarak sınıflandırılırlar. Silikatların sınıflandırılmasındaki bu farklılığın ana sebebi ise tetrahederlerinin farklı bileşimleridir. Oksijen paylaşımına göre de silikatların kendi içinde bir sınıflandırması yapılmıştır (Özgen, 2008). Tablo 2.1'de Si:O oranı ve farklı miktarda oksijen paylaşımına göre silikat sınıfları verilmiştir (Perkins, 2002).

Tablo 2. 1: Silikat yapıları.

Silikat Alt Sınıfları	Örnek Mineral	Formül	Kasyon Düzeni	Si:O yada (Si, Al <sup>IV</sup> ):O	Paylaşılan Oksijen Sayısı
Tek Tetrahedral	Olivin	(Mg,Fe) <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub>	Fe <sup>VI</sup> , Mg <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>	1:4	0
Çift Tetrahedral	Akermanit	Ca <sub>2</sub> MgSi <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Ca <sup>VIII</sup> , Al <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>	2:7	1
Tek Zincir	Diopsit	CaMgSi <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ca <sup>VIII</sup> , Mg <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>	2:6	2
Yüzük	Beril	Be <sub>3</sub> Al <sub>2</sub> Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub>	Be <sup>IV</sup> , Al <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>	1:3	2
Çift Zincir	Tremolit	Ca <sub>2</sub> Mg <sub>5</sub> Si <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>	Ca <sup>VIII</sup> , Mg <sup>VI</sup> , Si <sup>IV</sup>	4:11	2-3
<b>Tabakalı</b>	<b>Talk</b>	<b>Mg<sub>3</sub>Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>OH<sub>2</sub></b>	<b>Mg<sup>VI</sup>, Si<sup>IV</sup></b>	<b>4:10</b>	<b>3</b>
Kafes Yapılı	Kuvars	SiO <sub>2</sub>	Si <sup>IV</sup>	1:2	4

Tüm silikatların esas birimi ortosilikat iyonudur ( $\text{SiO}_4$ )<sup>-4</sup>. Bu birimde, merkezde  $\text{Si}^{+4}$  iyonu etrafında dört oksijen atomu bulunmaktadır. Burada merkezdeki  $\text{Si}^{+4}$  iyonu yük almazken, her bir oksijen atomu negatif yük alır ve merkezdeki silikon atomu etrafına tetrahedral pozisyonda dizilir (Karagüzel, 2005).

Tek tetrahedral silikatlar (ortosilikatlar); Bu silikat grubu genellikle ada silikatları olarak tanımlanırlar. Bu sınıfı kristal yapıda yalnız basına bulunan  $[\text{SiO}_4]^{-4}$  tetrahederleri karakterize eder. Yük dengesi, silikat iyonları arasındaki kafes yapısında bulunan çok değerlikli pozitif yüklü kanyonlar ile sağlanmıştır. Bu sınıf yaklaşık olarak yer kabuğundaki silikatların %2'sini oluşturur. Genel olarak bu sınıfa giren mineraller silikatların çoğunda görüldüğü gibi sert, parlak ve saydamdır. En bol bulunan mineralleri olivin  $[(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4]$  ve granatlardır  $[(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Fe}, \text{Mg})_3\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{12}]$ . Olivinler bazaltlarda ve ultramafik kayalarda bulunurlar. Granatlar ise skarn zonlarında ve metamorfik kayaların içerisinde yer alırlar.

Çift tetrahedral silikatlar (sorosilikatlar); Bu gruba giren silikatlar yer kabuğundaki silikatların yaklaşık olarak %1'ini oluştururlar. Sorosilikatlar 2 tane  $\text{SiO}_4$  tetrahederinin birleşmesinden meydana gelen  $(\text{Si}_2\text{O}_7)^{-6}$  anyon grubuyla karakterize edilir. Bu tür kristal yapısı az miktardaki mineral türünde bulunur. Bunlara metamorfik kayalarda bulunan Epidot'lar örnek verilebilir. Lawsonit, akermanit ve galenit de çift tetrahedral silikatlara diğer örneklerdir.

Yüzük yapı silikatlar (cyclosilikatlar); Bu gruba giren silikatların miktarı yer kabuğunu oluşturan silikatların %0,5'den daha azdır. Bu sınıf 3, 4 veya 6  $\text{SiO}_4$  tetraheder anyon grubunun birleşmesinden meydana gelen halkalar tarafından karakterize edilir. Bunlar,  $(\text{Si}_3\text{O}_9)^{-6}$  3 tetrahederin birleşmesi,  $(\text{Si}_4\text{O}_{12})^{-8}$  4 tetrahederin birleşmesi,  $(\text{Si}_6\text{O}_{18})^{-12}$  6 tetrahederin birleşmesidir. En çok rastlanan türü üçlü ve altılı halkalı olanlarıdır. En yaygın minerali turmalin olup beril  $(\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18})$  ve kordiorit  $((\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18})$  diğer yüzük yapı içeren minerallerdir.

Tabaka (levha) yapı silikatlar (phyllosilikatlar); Bu gruptaki mineraller yer kabuğundaki silikatların %5'ini oluştururlar. Tabakalı silikatlarda tabaka, tetrahedral ve oktahedral tabakaların düzlemsel bir yapı oluşturacak şekilde birleşmesiyle oluşur. Anyon grubu  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{-2}$  ile karakterize edilir. Bu yapısal düzen mineralin fiziksel özelliklerini etkiler. Örneğin çok güzel gelişmiş 001 dilinimine yol açar. Sertlik az, bağlantı ve peklilik zayıftır, yoğunluk çok

fazla değildir. Talk ( $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ ), muskovit [ $KAl(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ] ve biotit [ $K(Mg, Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ ] en iyi örnekleridir.

Tüm tabakalı silikatlar üç boyutta hegzagonal ağ yapıları oluşturmalarına rağmen, silisyum-alüminyum yer değiştirme oranına bağlı olarak tabakalardaki negatif yükün de artması nedeniyle farklı mineral şekilleri oluşur. Oldukça güçlü ve sabit tetrahedronların bir arada olduğu Si-O-Si (siloksen) bağları bu gruba giren minerallerin kırıldıkları zaman tabakalar şeklinde ayrılmasına neden olmaktadır. Bir tabaka ile bir diğeri arasında herhangi bir bağ değeri yoktur. Tabakalar sadece Van der Waals bağları ile bağlanırlar. Oldukça yumuşak olan bu mineraller kesme kuvvetleri ile tabakalara ayrıldıklarında yüzey yüklerinde bir değişim meydana gelmemektedir (Karagüzel, 2005).

Kafes yapılı silikatlar (network silikatlar ya da tektosilikatlar); Silikat mineralleri içerisinde en yaygın bulunan silikat grubudur. Yerkabuğundaki silikatların %60'ından fazlası bu gruba girer. Kafes yapılı silikatlar, Si ya da (Al, Si) içeren üç boyutta polimerize olmuş ağ yapılarından oluşmaktadır. Kuvars en yaygın kafes yapılı silikattır. Kafes yapılı silikat, silika olarak bilinen makromolekül  $[SiO_4]^{4-}$  tetrahedranın üç boyutta genişlemesi ile meydana gelir (Manser, 1975).

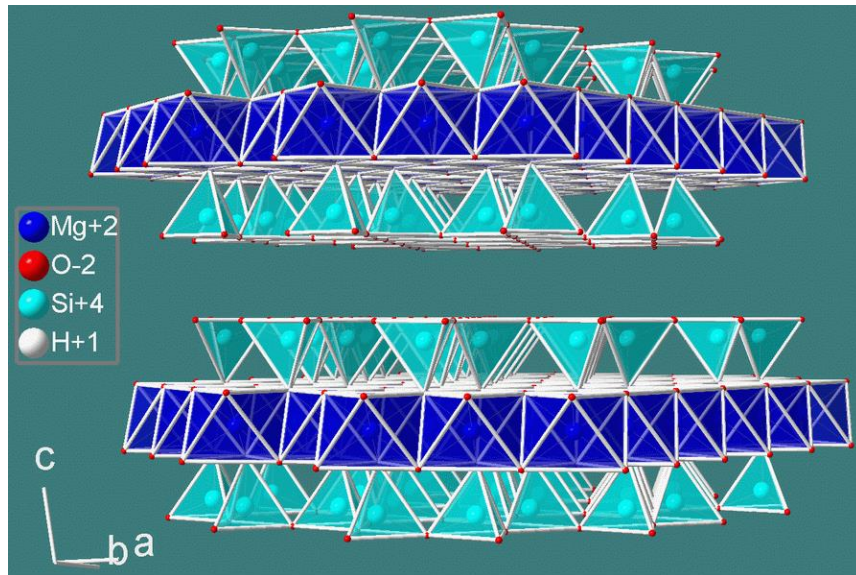
Kafes yapılı silikatlarda, tabakalı silikatlarda olduğu gibi silisyum atomları yerine alüminyum atomları gelerek negatif yükü artırırılar. Bu yer değiştirme feldspat minerallerinde %25 iken feldspatoidlerde %50 civarındadır. Üç boyutlu polimerizasyon kanalları arasında tutulmuş olan yük dengeleyici  $K^+$ ,  $Na^+$  ya da  $Ca^{+2}$  gibi büyük çaplı katyonları bırakır. Ortoklaz ve diğer feldspat minerallerinde  $K^+$ ,  $Na^+$  ya da  $Ca^{+2}$  ile oluşturulan siteler feldspat mineraline bağlı olarak değişmektedir. Kafes yapılı silikatlar özellikle kuvars Dauphine ve Brazil sınıflamasına göre ikizlenmiştir. Ancak ikizleme çıplak gözle görünmemektedir. Yine feldspatlar ve diğer kafes yapılı silikatlar birçok farklı sınıflandırmada ikiz olarak sınıflandırılmışlardır (Özgen, 2008).

Talk bir çeşit kil mineralidir ve killer, kristal yapılarında genellikle değişen miktarlarda hapsedilmiş su içeren fillosilikat (tabakalı) silikat minerallerinden oluşur. Tetrahedral ve oktahedral tabakaların bir araya gelmesi ile talkın bir tabakası (birim hücre) meydana gelmiş olur. Bir tetrahedralin bir oktahedral ile birleşmesi sonucu (1:1) kaolin grubu olarak bilinen yaklaşık 0.7 nm kalınlığındaki yapı oluşur. Bir oktahedral tabakanın iki tetrahedral tabaka

arasında sıkışmasında (2:1) ise toplam kalınlığı 0.94 nm olan fillosilikatlar olarak bilinen yapı meydana gelir.

## 2.2. TALK

Yerkabuğunda bulunan ve en yumuşak minerallerden biri olan talk tırnak yardımıyla rahatlıkla çizilebilmekte olup Mohs sertlik skalasına göre sertliği 1'dir. Magnezyum, silis ve oksijenden oluşan talk, sulu bir silikat olup kimyasal formülü  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ 'dir. Kristalografisi triklinik olup genellikle eşkenar dörtgen veya altıgen sınırlı levhalar, ayrıca yapraklı ve ışımsal yapraklı gruplar halinde bulunur (Şekil 2.2). Kompakt veya masif türüne *sabuntaşı* veya *steatit* denir. Talk genel anlamda % 63.5  $SiO_2$ , % 31.7  $MgO$  ve % 4.8  $H_2O$  içerir. Bu bileşimde eser oranda izomorf maddeler bulunabilir. Bunlar, alüminyum, demir, mangan, titanyumdur. Bu maddelerin bulunma oranlarına göre de talk; beyaz, yeşil, gri renklerde olabilir. Talkın özgül ağırlığı  $2,6-2,8 \text{ g/cm}^3$  arasındadır. Isı ve elektrik iletkenliği azdır ve ateşe karşı dirençli bir mineraldir. Talk, yüksek sıcaklıklarda ısıya maruz bırakıldığında sertleşir, katılaşır. Ayrıca talk, asitlerle bozulmayan bir mineraldir. (Sarız ve Nuhoglu, 1992; DPT, 2001; Okay, 1967; Uz, 1990; Kırak ve diğ., 1999; Industrial Minerals of The United States; Manser, 1973).



Şekil 2. 2: Talkın kristal yapısı.

Talkın ince kesitine baktığımızda renksiz bir mineraldir. Kayaçalarda otomorf kristallerine hiçbir zaman rastlanmaz. (d001) düzlemine göre mükemmel bir dilinimi vardır. Dilinim levhaları kolaylıkla bükülebilen bir mineral olan talk, aynı zamanda kesilebilir. Ortamın



fiziksel ve kimyasal özelliklerinin değişmesiyle birlikte talk minerali, olivin, manyezit veya kummingtonit dönüşebilir. Ancak bu metamorfizma koşullarının daha da yükselmesiyle birlikte manyezit ve kalsedona dönüşmesi mümkündür (Erkan, 1994; Bozkurt, 1969; MacKenzie and Guilford, 1980).

Talk; yumuşak oluşu, izolasyon özelliği, elektriğe olan direnci, kimyasal olarak tutarlı hali, ısıya karşı dayanımı, yağ absorplayabilmesi, yüksek kaplama gibi sahip olduğu özelliklerinden dolayı seramik, kağıt, tarım, boya, lastik, kozmetik, döküm-lastik gibi endüstrinin birçok farklı dalında yaygın olarak kullanılmaktadır (Gence ve diğ., 2005).

### 2.2.1. Talk Çeşitleri

Ticari olarak kullanılan talklar, kullanıldığı sektöre göre saf talk olabilirken kimi zamanda talkın parajenezinde olan dolomit, kalsit, kuvars, diyopsit, serpantin, magnetit, pirit, tremolit-aktinolit ve mika gibi minerallerin farklı oranlarda karışımı halinde olabilirler. Ticari talkın çeşitleri Tablo 2.2’de görüldüğü gibidir (Sarıöz ve Nuhoğlu, 1992; DPT, 2001).

**Tablo 2. 2:** Talkın ticari türleri.

Talk Çeşitleri	Açıklama
<b>Sabuntaşı</b>	En az %50 talk minerali içerir. Elektriğe ve asitlere karşı dirençli, ısıya karşı dayanıklıdır.
<b>Steatit</b>	Bu terim yüksek saflıktaki masif talklar için kullanılır.
<b>Profillit</b>	Fiziksel özellikleriyle talka çok benzer ancak kimyasal bileşiminde “Mg” yerine “Al” içeren bir sulu alüminyum silikattır.
<b>Asbestin</b>	Saf talk minerali kristal özelliklerinde nadiren lifsi görünümündedir. Asbestin ise daha ziyade levha, ince tabaka veya mikaya benzer şekillerdedir.
<b>Fransız Tebeşiri</b>	Yumuşaktır, talkın masif bir çeşidi olup, boya ve kursun kalem yapımında kullanılır.
<b>Rensseleerit</b>	Bileşimi talka çok benzer ise de yağlı ve yumuşak özelliği olmayan bir mineraldir.
<b>Lava</b>	Lava terimi ticarete sık sık blok talkları veya blok talklarından yapılan en son ürünleri ifade etmekte kullanılır.
<b>Wonderstone</b>	Güney Afrika Cumhuriyeti’nde bulunan bir masif Profillit olup, rutil ve karbonlu bileşikler içeren kriptonkristalen profillittir.

### 2.2.2. Talkın Kullanım Alanları

Üretim ve tüketim alanları sınırlı olan talkın ülkemizde özellikle son yıllarda tüketimi giderek artmıştır. Endüstride talk kullanımının en büyük avantajı opaklık ve poroziteyi iyileştirmesi ile birlikte pürüzsüzlük sağlaması, kağıt üretiminde ise kağıdın sarılığını ortadan kaldırmasıdır. Talk aynı zamanda kullanılan bütün dolgu ve kaplama minerallerinin de en az aşındırıcı özelliğe sahip olanıdır. Başka bir avantajı da yüksek tabaka tutma özelliğidir. Talk kullanımlarındaki gelişmelere bakılarak, özellikle polipropilen (PP) oto parçaları basta olmak üzere, plastiklerde kullanılan dolgu maddelerinin, talk tüketimindeki büyümenin ana etmeni olması beklenmektedir. Otomotiv sektöründeki gelişmeye bakıldığında artan araç taleplerinde, üretimde birim araç başına düşen PP tüketimi ile PP talebinin sürekli artacağı ve bu pazardaki talk talebinin artması tahmin edilmektedir. Talkın kağıt dolgusu olarak kullanımındaki artışı ve sınaî tesislerinde atık su emisyonunun önemli hale gelmesiyle birlikte talkın endüstride ki yeri genişlemektedir. Tablo 2.3’de ülkemizde talk kullanım alanları ve miktarları verilmektedir (DPT, 2001). Tablo 2.4’de ise sektörlere göre talkın kullanım fonksiyonları verilmektedir.

**Tablo 2. 3:** Ülkemizde talk kullanım alanları ve miktarları.

<b>Sanayiler</b>	<b>Miktar (Ton/Yıl)</b>
<b>Lastik</b>	4.000 – 6.000
<b>Seramik</b>	3.000 – 5.000
<b>Tarım İlaçları</b>	1.800 – 4.000
<b>Boya</b>	2.000 – 3.500
<b>Pudra</b>	1.000 – 1.200
<b>Diğerleri (Döküm, Plastik)</b>	2.0 – 4.000

**Tablo 2. 4:** Sektörlere göre talkın kullanım fonksiyonları.

<b>Talkın Özelliği</b>	<b>Talkın Fonksiyonu</b>	<b>Kullanılan Sektör</b>
<b>Plakalı</b>	Yumuşaklık, Aşındırma	Kozmetik, Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi
<b>Plakalı</b>	Basılabilirlik	Kaplanmış Kağıt
<b>Plakalı</b>	Yapışmazlık	Lastik Tekerlekler, Fırın, Hayvan Yemi, Gübre, Çatı Kaplama Malzemesi
<b>Plakalı</b>	Bariyer Etki	Boya, Yapıştırıcı Çimento, Plastik Film, Hayvan Yemi, Gübre, Plastik Hortum
<b>Plakalı-Hidrofobik</b>	Bariyer Etki	Kaplanmış Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi
<b>Organofilik</b>	Kimyasal Talep	Kaplanmış Kağıt
<b>Organofilik</b>	Tutunma	Kozmetik, Kağıt (yapışkan kontrolü), Zeytinyağı
<b>Organofilik-Hidrofobik</b>	Yumuşaklık, His	Kaplanmış Kağıt
<b>Hidrofobik</b>	Basılabilirlik, Gözeneklilik	Kaplanmış Kağıt
<b>Hidrofobik</b>	Anticaking	Hayvan Yem, Yemek, Gübre
<b>Magnezyum İçeriği</b>	Fluks	Seramik Karo, Sır, Süs Eşyası
<b>Klorit İçeriği</b>	Düşük Termal Genleşme	Refrakter
<b>Magnezyum-Silikon İçeriği</b>	Elektrolizasyon	Steatit ve Kordierit
<b>Moleküler Yapısı</b>	Çekirdekleştirme	Yarı Kristal Polimer
<b>Non-polar</b>	Elektrolizasyon	Kablo
<b>Hareketsizlik</b>	Bariyer Etki	Kauçuk
<b>Hareketsizlik</b>	Taşıyıcı	İlaç, Kozmetik

Talk mineralinde istenen ürün standartları ise Türk Standartları Enstitüsü'ne göre Tablo 2.5'de verilmiştir.

**Tablo 2. 5:** Talkın endüstrideki ürün standartları.

	TSE 10251 Talkın Kağıt Sanayiinde Kullanımı		TSE 10043 Talkın Seramik Sanayiinde Kullanımı		TSE 2973 Talkın Kozmetik Sanayiinde Kullanımı	TSE 5446 Talkın Öğütme Sanayiinde Kullanımı
<b>Genel Görünüş</b>	Talk beyaz olmalı				Beyaz olmalı ve yabancı madde içermemeli	Beyaz, gri, kirli sarı ve yeşil renklerinde olabilir.
<b>Beyazlık-Renk</b>	457 nm dalga boyundaki ışığın yansıtma miltarı baz alınır. 1.Sınıf: %90 2.Sınıf: %80		Magnezyum oksitin 504 nm ışığı yansıtması baz alınır. 1.Sınıf: %80 2.Sınıf: %70			
<b>Tane Dağılımı</b>	1.Sınıf 2 µ'dan küçük en az %65, 2-45 µ arası en çok %35 2.Sınıf 45 µ'dan küçük en az %98, 45 µ'dan büyük en çok %2.		%98'i 45 µ'dan küçük olmalı.		150 µ'dan büyük %0,1 90 µ'dan büyük %2	63 µ %0,1 45 µ %1 < 20 µ %95 < 10 µ %70 < 5 µ %40 < 2 µ %15
<b>Rutubet</b>	%1'den fazla olmamalıdır.		%2'den fazla olmamalıdır.			
<b>Aşınma Değeri</b>	En fazla 6 olmalıdır.					
<b>SiO<sub>2</sub> (en az)</b>	1.Sınıf % 60	2.Sınıf % 55	1.Sınıf % 60	2.Sınıf % 55		% 52
<b>MgO (en az)</b>	% 31	% 28	% 30	% 27	% 30	% 25
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (en çok)</b>	% 0,5	% 1,5	% 0,5	% 1,5	% 0,75	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : % 4
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (en çok)</b>	% 2	% 3	% 2	% 4		
<b>CaO (en çok)</b>	% 0,5	% 1	% 1	% 1,5		% 4
<b>Alkali Oksitler</b>	% 0,06	% 0,06	% 0,5	% 0,5		
<b>MnO (en çok)</b>	% 0,2	% 0,2				
<b>Kızdırma Kaybı</b>	% 7	% 7	% 6	% 8	% 7 (en çok)	% 7
<b>Kireç (en çok)</b>			% 1	Aranmaz	% 1,5	
<b>Özgül ağırlık</b>					2,6-2,8	2,70-2,80
<b>Pb</b>					20 ppm	
<b>As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (en çok)</b>					% 2	
<b>pH</b>					9,5	6,50-9,50

### 2.2.2.1. Seramik Sanayi

Isı etkisiyle genişlemesinin oldukça az olması talkın; banyo ve mutfak seramiklerinin üretiminde ve elektrikli soba plakalarının üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Seramik sanayinde kullanılacak talkın fiziksel ve kimyasal yapı olarak homojen olması

beklenir. Ayrıca, tane iriliği ve tane dağılımıyla birlikte pişirme rengi de oldukça önemlidir. Bu sanayide kullanılacak talkların bileşiminde manganez ve demir istenmeyen safsızlıklar arasındadır. Yaklaşık olarak CaO %0.5, FeO %1.5 ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %4' ten fazla olmamalıdır. Elektro-seramik sanayisinde kullanılan talk ise saf magnezyum silikattır. Ayrıca seramik sanayisinde klorit içermeyen steatit denilen kompakt talkta kullanılabilir. Şekil 2.3.'de talkın kullanıldığı seramiklere ait örnek verilmiştir.



Şekil 2. 3: Seramik sanayisine bir örnek.

#### 2.2.2.2. Boya Sanayi

Lifli ve dilinimli bir yapıya sahip olan talklar, yağ absorblayabilme özelliğinin yüksek olmasından dolayı boya ve yağ sanayinde geniş bir ölçüde yer almaktadır. Boya sanayinde kullanılan talkın tenörü yüksek (%98.5) ve öğütüldüğünde rengi oldukça beyaz olmalıdır. Bu sanayide kullanılan talkta istenilen boyut 325 mesh'in (0,044 mm) altıdır. Talk lifli yapısı sayesinde boya tanelerinin birbirlerine yüzeye daha yapışmasını, ağır boya materyallerinin üretim esnasında çökmesini önler ve daha homojen bir boya elde edilmesini sağlar. Şekil 2.4'de talkın kullanıldığı boyalara ait örnek verilmiştir.



Şekil 2. 4: Boya sanayisine bir örnek.

### 2.2.2.3. Çatı Kaplaması

Bu sanayide genel olarak kalitesi düşük talklar kullanılmaktadır. Dolayısıyla hammaddenin renginde beyazlık ve talk mineralinde saflık aranmamaktadır. Burada talkta istenen özellikler; tane boyu, tane dağılımı ile yağ absorblama özelliğidir. Talk, çatı üretiminde erimiş olan asfaltı sabit duruma getirdiği için değişen hava koşullarına karşı yüksek bir koruma sağlar. (Sarız ve Nuhoğlu, 1992; DPT, 2001; Gence ve diğ., 2005). Şekil 2.5’de talkın kullanıldığı çatı kaplama malzemelerine ait örnek verilmiştir.



Şekil 2. 5: Çatı kaplamasına bir örnek.

### 2.2.2.4. Haşere İlacı

Talk; haşere ilaçları üretiminde ilaca toksik etki kazandırdığından tercih edilmektedir. Ayrıca talk ile bu ilaçların yapımında istenen yoğunluk ve az aşındırıcılık özelliği elde edilir.

### 2.2.2.5. Kauçuk Sanayi

Talk, kauçuk üretiminde dolgu maddesi olarak kullanılır. Talkın lifli yapısından dolayı daha sıkı dokuya sahip bir madde elde edilir.

### 2.2.2.6. Kağıt Sanayi

Kağıt sanayisinde kullanılan talkın  $\text{CaCO}_3$  oranı %2 ile %5' ten fazla olmamalıdır. Talkın suda eriyebilmesi, yumuşak bir yapıya sahip oluşu, tane boyu, mürekkep emme gibi özellikleri nedeniyle kağıt sanayinde kullanılmaktadır.

### 2.2.2.7. Kozmetik ve Farmakoloji

Bu sanayide kullanılan talklar demir gibi safsızlıklar içermemeli oldukça saf olmalıdır. Talk, lifsi yapısı ve kaygan olması nedeniyle kozmetik ve farmakolojide kullanım yeri bulmaktadır (DPT, 2001; Gence ve diğ., 2005). Şekil 2.6.'da talkın kozmetik ve farmakolojide kullanımına ait örnek verilmiştir.

Ayrıca talk, hayvan yemi ve gübre üretiminde de kullanılmaktadır (Sarız ve Nuhoglu, 1992; DPT, 2001; Gence ve diğ., 2005).



Şekil 2. 6: Talk pudrası ve ilaç sanayinde kullanımına bir örnek.

### 2.2.3. Dünya'da ve Türkiye'de Talk Mineralinin Üretim ve Tüketim Miktarları

Dünyada üretilen talk miktarı yaklaşık olarak toplam 7.5 milyon ton civarındadır. Dünyanın en önemli talk üreten ülkelerini sıralamak gerekirse; Başta Çin (%31) olmak üzere, ABD (%12), Finlandiya (%5), Brezilya (%8), Hindistan (%8), Fransa (%4) dır. Dünyada talk üretiminin yaklaşık olarak %73'ü de bu ülkeler tarafından karşılanmaktadır (DPT, 2001; USGS, 2012). Tablo 2.6'da Dünya talk üretim miktarları verilmiştir (USGS, 2018).

Avrupa'da talk kullanımının en fazla olduğu sanayi %50 oranıyla kağıt sanayinde olup, tüketim miktarı yaklaşık 650.000 tondur. Seramik sanayisine baktığımızda ise talk tüketim miktarı yaklaşık 25.000 ton civarındadır. Bu tüketim miktarı toplam tüketimine

oranlandığında yaklaşık olarak %6'yı oluşturmaktadır. Ayrıca yılda yaklaşık olarak 15.000 ton talk minerali de elektroporselen ve sır yapımı için kullanılmaktadır.

Avrupa'da hayvan yemi üretimi için yılda yaklaşık olarak 56.000 ton civarında talk minerali kullanılmaktadır. Bu kullanılan miktar toplam talk kullanımının %5'ini oluşturmaktadır. Avrupa'da yem üretiminde talk kullanım yüzdelerini sıralamak gerekirse; %40'ı Benelüks'e, %30'u Batı Almanya'ya, %12'si Fransa'ya, %8'i İspanya'ya aittir.

Avrupa'da lastik ve plastik ürünleri için yıllık talk tüketim miktarı yaklaşık olarak 65-70 ton civarında olup toplam tüketimin %7'sine eşittir. Lastik ve plastik sektöründeki önemli tüketicileri sıralamak gerekirse; %25 ile İtalya, %18 ile Almanya, %16 ile Fransa, %13 ile İngiltere, %5 ile Benelüks'tür.

Avrupa'da kozmetik sanayisine bakıldığında ise yıllık talk tüketimi 25-30.000 ton civarındadır. Bu tüketim miktarında en büyük pay %55'i İngiltere'ye aittir. Avrupa'da ilaç sanayisinde ise yıllık talk tüketimi 3.000-5.000 ton kadardır. Bu tüketim miktarı toplam tüketimin yaklaşık %3'ünü kapsamaktadır.

Avrupa'da gübre üretiminde kullanılan talk miktarı yılda yaklaşık olarak 35.000-40.000 ton kadardır. Bu da toplam talk tüketiminin %3'ünü oluşturur. Bu alanda önemli tüketiciler: %38 ile İsveç, %28 ile İngiltere, %25 ile Hollanda'dır (Önal ve diğ., 1999).

ABD'nin 2017 yılı verilerine bakıldığında talk üretimi bir önceki yıla göre az da olsa bir miktar artarak 550 milyon tona çıkmıştır. ABD'de sektörlere göre talk tüketimine bakıldığında; seramik sanayisinde (otomotiv katalitik konvektörler dahil) %20, boya sanayisinde %19, kağıt sanayisinde %15, plastik sanayisinde %8, kauçuk sanayisinde %5, refrakter üretimi ve çatı kaplama malzemesi üretim %4 ve kozmetik sanayisinde %3'tür (USGS, 2018).



**Tablo 2. 6:** Dünya’da talk üretim miktarları (ton).

Ülke	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Çin	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	2.200.000	1.900.000
Amerika	515.000	531.000	535.000	535.000	527.000	550.000
Hindistan	662.000	650.000	660.000	922.000	925.000	1.000.000
Brezilya	550.000	540.000	500.000	845.000	850.000	850.000
Finlandiya	440.000	440.000	360.000	385.000	385.000	385.000
Fransa	420.000	420.000	420.000	450.000	450.000	470.000

Türkiye'deki talk yatakları, genellikle dolomitik kayaların metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuştur. Ülkemizde kalitesi düşük talkların olduğu kadar yüksek kalitede de talk yataklarının var olduğu bilinmektedir. Safsızlığı yüksek olan talkları çeşitli yöntemler kullanarak zenginleştirmek ve saflığı yüksek talklar elde etmek için çalışmalar yapılmaktadır (Uz, 1990). Kullanılan zenginleştirme yöntemlerinin başında da flotasyon yöntemi gelmektedir.

Türkiye’de bilinen talk yatakları, Sakarya, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, ve Sivas dolaylarında bulunmaktadır. Devlet Planlama Teşkilatı’nın 2001 yılı verilere göre de; “106.546 tonu görünür olmakla üzere toplam rezerv 1.158.356 ton’dur” (DPT, 2001). Fakat bu kaynaklarda bahsedilmeyen Türkiye’nin en büyük talk rezervi Balıkesir-İvrindi-Korucu-Güvenli köyü yakınında Madran dağında yer alan metamorfik kökenli talk yatağıdır. Türkiye’de bilinen talk yatakları ve rezerv durumları Tablo 2.7’de verilmiştir (DPT, 2001).

Ülkemizde sadece Bursa (Orhaneli) talk yatağında kapalı işletme yöntemleri ile damar boyunca açılan galeride üretim yapılmakta, çıkarılan hammadde kaba ayırmaya tabi tutularak stoklanmakta ve satılmaktadır.

**Tablo 2. 7:** Türkiye’de bilinen talk yatakları ve rezerv durumu (ton).

<b>Bölgeler</b>	<b>Görünür Rezerv</b>	<b>Muhtemel Rezerv</b>	<b>Mümkün Rezerv</b>	<b>Toplam Rezerv</b>
<b>Aydın/Bozdoğan</b>	50.000	200.000	250.000	500.000
<b>Eskişehir/Mihalıççık</b>	-	-	400.000	400.000
<b>Sivas/Zara,Örencik</b>	44.296	150.310	-	194.606
<b>Balıkesir/Kepsut,Örenli</b>	-	-	20.250	20.250
<b>Balıkesir/Erdek,Kızaklı köyü</b>	5.000	15.000	-	20.000
<b>Eskişehir/Biçer</b>	-	10.000	-	10.000
<b>Sakarya/Sapanca,Nailiye</b>	6.200	-	-	6.200
<b>Balıkesir/Erdek,Yanüçifliği</b>	800	5.000	-	5.800
<b>Balıkesir/Erdek,Rahmi merası</b>	-	1.000	-	1.000
<b>Bolu/Mudurnu,Dereköy,Gözlübaşı</b>	250	250	-	500
<b>TOPLAM</b>	106.546	381.560	670.250	1.150.356

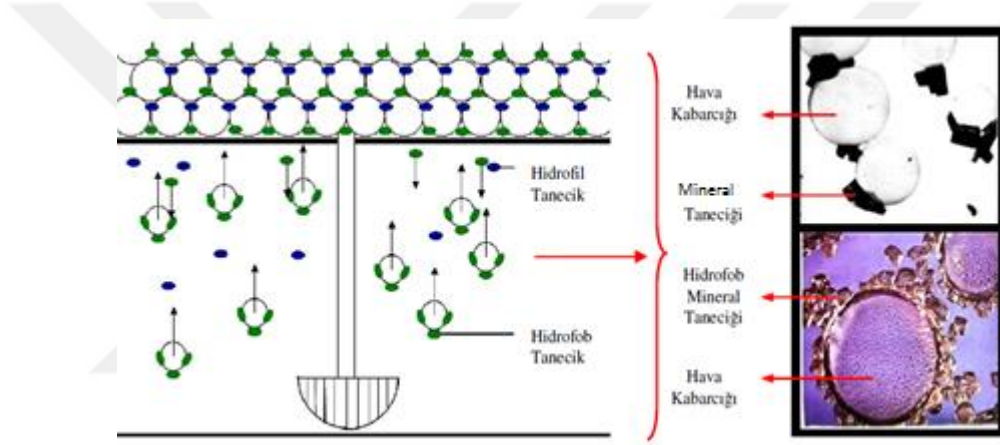
Tablo 2.8’de ise talkın farklı sanayi sektörlerinde yıllık kullanım miktarları verilmiştir (DPT,2001)

**Tablo 2. 8:** Türkiye’de talkın sektörlere göre kullanım miktarları.

<b>Sanayiler</b>	<b>Miktar (ton/yıl)</b>
Lastik	4.000 – 6.000
Seramik	3.000 – 5.000
Tarım İlaçları	1.800 – 4.000
Boya	2.000 – 3.500
Pudra	1.000 – 1.200
Diğerleri (döküm, plastik)	2.000 – 4.000

### 2.3. FLOTASYON TANIMI

Flotasyon, çok ince tane boyutuna sahip olan minerallerin fizikokimyasal özelliklerinden yararlanılarak yapılan bir ayırma tekniğidir. En basit şekilde ifade etmek gerekirse; minerallerin su içerisinde yüzdürme veya batırma yoluyla birbirlerinden ayrılmasıdır. Bu yöntemde, mineral taneciklerinin sahip oldukları yüzey özelliklerinden ve süspansiyon içerisinde oluşturulan hava kabarcıklarından faydalanılır. Flotasyon hücresi içerisine ilave edilen hava kabarcıklarıyla temas kuran hidrofobik tanelerin (su sevmeyen) yukarıya doğru, kuramayan hidrofilik tanelerin (ıslanan) ise aşağıya doğru hareketi ile taneciklerinden birbirlerinden ayrımı sağlanır (Şekil 2.7).



Şekil 2. 7: Flotasyonun oluşum mekanizması ve kabarcık-tanecik bağlarının oluşturulması.

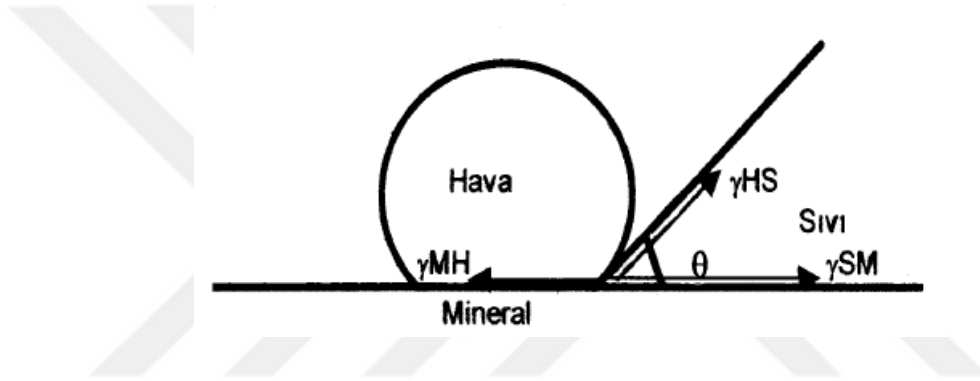
Flotasyon işlemi esnasında mineral taneleri, süspansiyon içine ilave edilmiş olan hava kabarcıkları ile sürekli etkileşim halindedir. Hidrofobik tanecikler hava kabarcığına yapışma eğilimi gösterirken, hidrofilik taneler ise tam tersi bir eğilim göstererek hava kabarcığına yapışmazlar. Hava kabarcığına yapışan hidrofobik mineral tanesi aynı zamanda su ile de temas etmektedir. Böylelikle su-hava, mineral-hava, mineral-su ara yüzeylerinin olduğu üç faz meydana gelir. Oluşan bu üç faz ve üç ara yüzey, hem kendi aralarında hem de diğer kuvvetlerle denge halinde olurlar. Flotasyon işlemi sırasında oluşan bu üç faz birbirleriyle dengede olurlar ve yüzey gerilimlerinin toplamı sıfıra eşit olmalıdır (Eşitlik 2.1). Üç fazın teması ve denge durumu Şekil 2.8’de ifade edilmeye çalışılmıştır. Üç faz dengede iken:

$$\gamma \text{ Mineral-Hava} + \gamma \text{ Mineral-Su} + \gamma \text{ Su-Hava} = 0 \quad (2.1)$$

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

$$\cos\theta = (\gamma_{\text{Mineral-Hava}} - \gamma_{\text{Mineral-Su}}) / \gamma_{\text{Su-Hava}} \quad (2.3)$$

Yukarıdaki Eşitlik 2.1 ve Eşitlik 2.2'nin birleştirilmesiyle Young eşitliği (Eşitlik 2.3) elde edilir. Young eşitliğinde oluşan açıya temas açısı adı verilir. Temas açısı sıfır olduğunda  $\gamma_{\text{Hava-Su}} < \gamma_{\text{Mineral-Hava}} < \gamma_{\text{Su-Mineral}}$  olur. Bu durumda mineralin yüzmesi beklenemez. Çünkü su mineral yüzeyini tamamen ıslatmış olur. Bu durumdan yola çıkarak; Young eşitliğinde oluşan temas açısı ne kadar büyük olursa, mineralinde bir o kadar fazla hidrofobik özellik göstereceği dolayısıyla da mineralin yüzme yeteneği o derece güçlü olacaktır.



Şekil 2. 8: Üç fazın mineral yüzeyine teması ve denge durumları.

Flotasyonun başlıca 3 yöntemi( yağ, film ve köpük flotasyonu) olsa da, yağ ve film flotasyonu günümüzde endüstride tercih edilmemektedir. Endüstriyel ölçekte tercih edilen ve yaygın bir şekilde kullanılan flotasyon yöntemi köpük flotasyonudur. Şekil 2.9'da flotasyon cihazı ve flotasyonun temel prensibi gösterilmiştir. Köpük flotasyonun da fizikokimyasal özellikler etkili olup, teknik olarak 3 önemli işlem vardır. Bunlar;

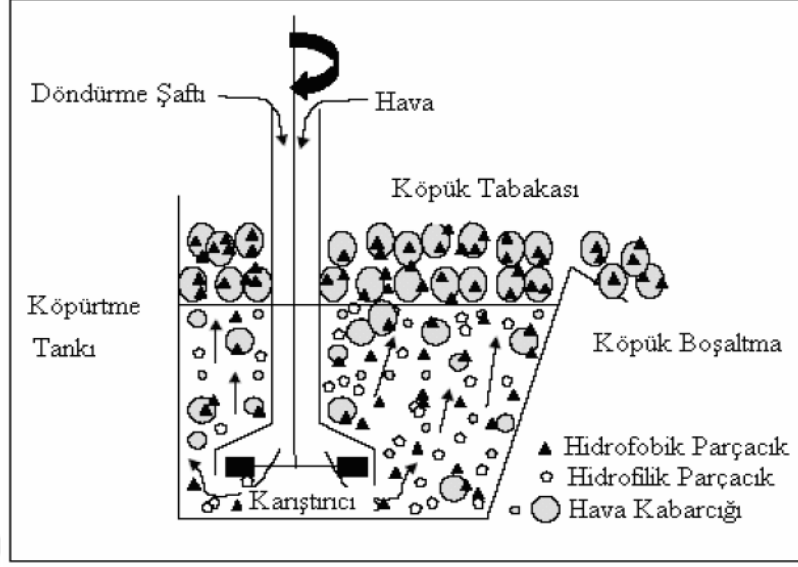
- 1) Taneciklerin reaktiflerle (kimyasallarla) muamele edilmesi
- 2) Flotasyon hücresi içerisinde hava kabarcıklarının oluşturulması
- 3) Kabarcık-tanecik çarpışmasının sağlanabilmesi

Reaktiflerle muamele işlemi; hidrofilik (su sever) olan bir mineralin yüzeyini kaplayarak sanki bir hidrofobik (su sevmeyen) mineralmiş gibi yüzmesi sağlamak ve istenmeyen diğer minerallerin ise yüzmesine engel olmaktır. Bir katının yüzeyinin ıslanıp ıslanmaması katının

yüzey moleküllerinin özelliklerine göre değişir; yani bu moleküllerin polar olup olmadığına bağlıdır. Polar moleküller iyonlardan oluştuğundan ve suyla temas ettiklerinde iyonlaştıklarından ıslanabilir özelliktedirler. Bu sebeptendir ki bu tip cevherlerin flotasyon yönteminde kullanılması uygun görülmemektedir. Yüzeyleri apolar olan (polar olmayan) doğal hidrofobik olan talk, grafit, kömür elmas ve kükürt gibi minerallerin ise flotasyon yönteminde kullanılması daha uygun görülmektedir. Fakat, günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte kullanılan birçok farklı reaktiflerin ilavesiyle istenilen cevheri “ıslanabilir” ya da “ıslanamaz” hale getirmek mümkündür.

Flotasyon ile zenginleştirme işlemi sırasıyla şu adımları içerir;

- 1) Cevherin öğütülmesi (maksimum 0,5 mm-0,2 mm gibi bir boyutun altına);
- 2) % 15-35 arasında katı içeren bir pülp hazırlanması;
- 3) Hazırlanan pülpe, inorganik bir kontrol reaktifinin ilavesi;
- 4) Mineralin yüzeyini kaplayarak hidrofobik hale getirerek taneciğin köpüğe yapışmasını sağlayacak toplayıcının (kollektör) ilavesi;
- 5) Hava kabarcığının mineral taneciğini taşıyacak kadar dayanıklı olması için köpürtücü reaktifin ilavesi;
- 6) Karıştırarak veya basınçlı hava ilavesiyle köpüğün oluşmasını sağlamak;
- 7) Hidrofobik olan tanecikleri taşıyan köpük tabakasıyla köpüğe yapışmayan hidrofilik tanecikleri bulunduran pülpün birbirinden ayrılması. Bu işlemler bazen aynı anda bazen de birbirini takip edecek şekilde uygulanabilir.



**Şekil 2. 9:** Köpük flotasyon cihazının şematik görünümü.

Yukarıda açıklanan köpük flotasyonunun dışında birçok flotasyon çeşidi daha bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Köpük flotasyonu
  - a) Düz flotasyon
  - b) Ters flotasyon
- 2) Taşımali flotasyon
- 3) Çözülmüş hava flotasyonu
- 4) Elektro flotasyon
- 5) Masa flotasyonu
- 6) Flash flotasyonu
- 7) Engelli flotasyon
- 8) Serbest flotasyon
- 9) Geçiş flotasyonu gibi türleri de bulunmaktadır.

Laboratuvar çapındaki deneysel çalışmalar için kullanılan ekipman ise ilk kez Denver Equipment Company tarafından üretilen D-12 Laboratuvar Tipi flotasyon makinesidir (Şekil 2.9). Kullanılan bu cihaz, tank içinde sürekli bir karışma ve katı/sıvı süspansiyonu meydana gelecek Şekilde, flotasyon ortamını bir karıştırıcı yardımıyla alkalar. Bunların dışında kolon flotasyonu gibi endüstriyel cihazlar yanında Hallimond tp flotasyonu, elektroflotasyon iyon flotasyonu gibi test amaçlı başka cihazlar da kullanılmaktadır (Yılmaz, 2006).

Flotasyonun; ucuz oluşu, yüksek tenörlü cevherlerin tükenişi, gang içinde ince boyutlu cevherlerin tekrar geri kazanılma gerekliliği, çok ince taneleri ayırma imkanı vermesi gibi çeşitli sebeplerden dolayı geniş bir alanda kullanımı mümkün olduğundan büyük lde önem kazanmıştır (Atak, 1982).

### **2.3.1. Flotasyonun Tarihsel Gelişimi**

Flotasyon ile ilgili ilk çalışmalar yağ-su ara yüzeyinde yapılmaya başlanmış ve 1860 yılında Haynes tarafından konuyla ilgili ilk patent alınmıştır (Kaya ve Laplante, 1986). Yapılan deneysel çalışmalar esnasında hazırlanan pülpün içine gazın ilave edilmesi ise ilk defa 1877'de Almanya'da Bessel kardeşler tarafından yapılmıştır.

Flotasyona ait ilk önemli buluş 1902 yılında Froment tarafından yapılarak, gaz kabarcıklarına yapışıp su yüzeyine çıkan mineral tanelerinden söz edilmiştir. Yine 1902 yılında İngiltere'de Delprat, sülfirik asit ve kireç taşının etkileşiminden ortaya çıkan gaz kabarcıklarından yararlanma fikrini ortaya atmıştır. 1906'da Sulman, Picard ve Ballot hava kabarcıklarını oluşturmak için pülpün hızlı bir Şekilde karıştırılmasını ve plpteki katı miktarının %1'ini geçmeyecek miktarda da yağ ilavesiyle flotasyonun yapılabileceğini söylemişlerdir. Tüm bu gelişmelerin ışığında 1910 yılında ilk flotasyon makinesi T. J. Hoover tarafından yapılmıştır. 1912-1925 yılları arasında ilk olarak Avustralya'da daha sonrada Amerika'da flotasyon sanayisinde başarıyla uygulanmıştır. Flotasyon tekniğinin günümüze kadar gelişerek gelmesinde katkısı olan başlıca bilim adamları; Taggart, Gaudin, Petersen ve Wark'tur (Arbiter and Haris 1962, Atak 1982, Atak ve Tolun 1994, Wills 1997).

### **2.3.2. Flotasyon Reaktifleri**

Bir cevherin içerdiği minerallerin yüzey özelliklerini seçimli olarak değiştirip; istenilen minerali hidrofobik hale getirirken cevherin içindeki diğer minerallerin hidrofilik olarak

kalmalarını sağlayan kimyasallara flotasyon reaktifleri denilir. Bu kimyasallar önem sırasına göre;

- 1) Toplayıcılar
- 2) Köpürtücüler
- 3) Bastırıcılar
- 4) Canlandırıcılar
- 5) pH ayarlayıcılar olarak sıralanabilir.

Bu kimyasalların türü ve kullanım miktarları cevherin türüne farklılık göstermektedir. Flotasyon esnasında yukarıda sıralanan kimyasallarının tamamının kullanılması gibi bir zorunluluk yoktur.

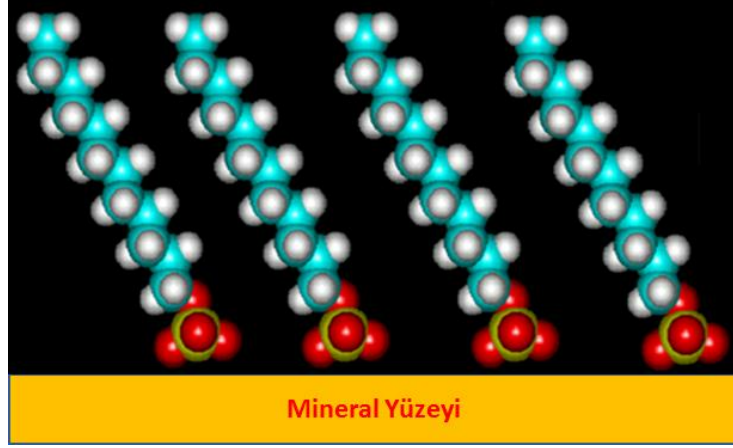
#### **2.3.2.1. Toplayıcılar**

Toplayıcılar; motorin, gaz yağı, kerosen tipi yağlar, petrol ürünleri vb., yüzmesi istenen minerallere hidrofobik özellik kazandırmak için kullanılan, polar ve apolar gruplar içeren karmaşık moleküler yapılı organik maddelerdir. Polar olmayan uç genellikle uzun zincir veya halkalı bir hidrokarbon grubudur ve hidrofobik özellik bu gruptan kaynaklanır.

Toplayıcının polar ucu katı tanecik yüzeyi ile iyonik bağlanma veya kimyasal adsorpsiyon yoluyla etkileşerek katı etrafında hidrofobik bir yüzey meydana getirir. Hidrofobik yüzeye sahip katı parçacık hava kabarcığına yapışma, tutunma veya çarpışma yoluyla bağlanır. Şekil 2.10'da katı tanecik yüzeyi-toplayıcı-hava kabarcığının etkileşmesi şematik olarak gösterilmektedir (Yoon, 2000).

Talk flotasyonunda, talkın doğal hidrofobik olmasından dolayı kuvvetli bir toplayıcı reaktif kullanılmasına gerek yoktur. (Yıldırım, 2002).





**Şekil 2. 10:** Katı tanecik yüzeylerinde toplayıcı yönelmesi.

Genelde toplayıcı terimiyle ifade edilen iyonik yüzey aktif maddeler flotasyon işleminde mineral yüzeylerine hidrofobik bir karakter kazandırmak için kullanılmaktadır. Yüzeyleri apolar olan mineraller kovalent bağları zayıf olan moleküllerden oluşmuşlardır ve kırılma yüzeyleri Van der Waals kuvvetleriyle birbirlerine bağlanmışlardır. Böyle yüzeylere sahip olan mineraller doğal bir hidrofobik yapıdadırlar, suda ıslanmazlar ve hava kabarcıklarına yapışırlar. Bilinen başlıca doğal hidrofobik mineraller; grafit, kükürt, molibdenit, elmas, taş kömürü ve talk'dır. Bu minerallerin temas açıları ( $\theta$ ) 60 ila 90 derece arasında değişmektedir (Hacıfazlıoğlu, 2009)Yüzeyleri doğal olarak hidrofobik olan minerallerin flotasyonunda kollektör kullanılmasına gerek duyulmaz. Bazı sistemlerde ise kollektörler hem toplayıcı hem de köpürtücü özelliği göstermektedirler (Forssberg ve Rao, 1997).

Genellikle, az miktar toplayıcı kullanılır (10-200 g/t cevher), bu tek-tabaka halinde mineral yüzeyini kaplar. Daha yüksek konsantrasyonlarda toplayıcı kullanımı, seçiciliği azaltarak tüm minerallerin yüzmesine veya maliyet artışına neden olabilir. Zira toplayıcının uzaklaştırılması yapışmasından daha zordur. Fazla miktarda toplayıcı kullanımı çok tabakalı toplayıcı adsorpsiyonu oluşumu nedeniyle, değerli mineral verimini olumsuz yönde etkileyebilir. Dolayısıyla hidrofobiklik ve yüzebilirlik azalır.

İyonlaşan toplayıcılar iyon tipine göre anyonik veya katyonik olurlar.

*Anyonik toplayıcılar*, en yaygın şekilde kullanılan flotasyon toplayıcılarıdır. Polar gruplarının yapısına göre Oksitril ve sülfidril olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Oksitril toplayıcılar organik asit veya sabunlardır. Karboksilatlar yağ asitleri olarak bilinir. Karboksilatlar kuvvetli toplayıcılardır fakat seçimlilikleri azdır.

Sülfat ve sülfonat toplayıcıları daha az kullanılır. Yağ asitlerine benzer özelliklere sahiptirler, fakat toplama güçleri daha düşüktür (Tekinalp, 2005).

*Katyonik toplayıcılar*, ortam pH' sına çok duyarlıdır. Zayıf asidik solüsyonlarda çok aktif, kuvvetli baz ve asit ortamlarda ise aktif değildirler.

Aminler; oksit, karbonat, silikat, alkali toprak metalleri (barit, karnalit, sülfinit), flotasyonunda kullanılır. Toplayıcı gereksinimi polar olmayan gaz yağı ilavesiyle azaltılabilir. Gaz yağıda mineral yüzeyinde adsorp olur (Tekinalp, 2005).

### **2.3.2.2. Köpürtücüler**

Flotasyonun veriminde büyük önemi olan ve işlem sırasında diğer bütün kimyasalların ilavesinden sonra, flotasyon hücresinin içine hava verilmeden önce pülpe ilave edilen son kimyasal köpürtücülerdir. Bu kimyasallar, su-hava arayüzeyini etkileyerek yüzey gerilimini azaltmaktadırlar. Gerilimin azalmasıyla birlikte hücrenin içine verilen hava küçük kabarcıklar şeklinde pülpün içinde dağılır ve hidrofobik taneciklere yapışırlar. Flotasyon yönteminde bu kimyasalın kullanımındaki temel sebep; sadece çapı küçük kabarcık oluşturmak değil, kısa sürede bir araya gelmeyen boyutu küçük ve kararlı olan kabarcıkların oluşturulmasıdır (Çilek 2007).

Köpürtücüler organik birer bileşikler olup, molekülleri polar ve apolar kısımlardan oluşurlar. Köpürtücüler genellikle suda çözülme eğilimi göstermezler ve sırasıyla; hidroksil R.OH, karboksil R.COOH, karbonil R.CO, amino R.NH<sub>2</sub>, sülfö R.OSO<sub>2</sub>.OH ve R.SO<sub>2</sub>.OH bileşik gruplarından oluşurlar.

Endüstride flotasyon işleminde en çok kullanılan sentetik bir alkol olan MIBC olarak bilinen metilizobütilkarbinoldür (Hacıfazlıoğlu, 2009).

Talk flotasyonunda köpürtücü olarak %42 gaz yağı, %52 su ve %6 emulgosen STH karışımından oluşan emülsiyon çam yağı ile birlikte kullanılmıştır (Yıldırım, 2002; Norman ve diğ., 1939; Chase, 1963).

### 2.3.2.3. *Bastırıcılar*

Bastırma işlemi flotasyon esnasında hidrofobik olup yüzeylenen ama yüzmesi istenmeyen mineralleri hidrofilik hale getirerek yüzmesine engel olma olayıdır. Bu reaktifler genellikle organik bileşikler değildir. Ancak bazı organik olan bileşikler de flotasyonda bastırıcı olarak kullanılmaktadır.

Organik olmayan bastırıcı türlerine örnek olarak kireç (CaO) ve sodyum siyanür (NaCN) gösterilebilir. Organik bastırıcılara da nişasta ve tannik asit örnek olarak verilebilir (Kawatra and Eisele 1996, Kural 1998, Sapçı 2006). Talk flotasyonunda manyeziti bastırıcı olarak %10'luk  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  kullanılmıştır (Yıldırım, 2002).

### 2.3.2.4. *Canlandırıcılar*

Flotasyon esnasında hidrofobik olması istenen bir mineral, sisteme toplayıcı ilave edilmiş olsa bile yeterince hidrofobik hale gelmemiş olabilir. Bu durumda, sisteme canlandırıcı olarak adlandırılan kimyasal maddeler ilave edilir. Tamamı inorganik ve suda çözünebilir tuz tipi kimyasal bileşikler (elektrolitler) olan canlandırıcılar, sisteme toplayıcı ilave etmeden önce kullanılır, hedeflenen mineralin yüzeyi ile toplayıcı molekülleri arasında olan etkileşimin artmasını sağlar. Bu kimyasallar pülpün içine ilave edildiğinde ortaya anyon ve katyonlar çıkar. Bunlar hedeflenen mineralin yüzeyini kaplarlar ve artık bu mineral ortama ilave edilen toplayıcının absorblanabileceği hidrofobik bir mineral haline gelmiş olur. Cevher hazırlamada en fazla kullanılan canlandırıcılar;  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ve  $\text{Na}_2\text{S}$ 'dir.

### 2.3.2.5. *pH Ayarlayıcılar*

Ortamın pH'sı flotasyondan alınan sonuçları büyük ölçüde etkilemektedir. Flotasyon esnasında mineral yüzeylerinin toplayıcıyla kaplanması, canlandırma ve bastırma gibi işlemlerde pH'ın önemi büyüktür. Çünkü tüm bu işlemler sadece belirli bir pH değerlerinde yapılabilmektedir. Örneğin bir talk flotasyonunda istenilen pH'yı ayarlayabilmek için %10'luk  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  çözeltisi kullanılmıştır (Yıldırım, 2002). Bazı durumlarda NaOH ve KOH'da yüksek pH değerlerine erişmek için kullanılacak pH ayarlayıcılar arasında sıralanabilir. pH'nın asidik değerlerde tutulmasında özellikle ucuz oluşundan dolayı en çok kullanılan asit sülfirik asittir ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ). Bazı durumlarda HCl sülfirik asitin yerine

kullanılabilmektedir. Oksitli minerallerin flotasyonunda gerekli hallerde kullanılan HF ise hem pH ayarlamakta hem de bastırıcı olarak kullanılmaktadır (Atak 1982, Crozier 1992).

## 2.4. MİNERAL KARAKTERİZASYONU

Mikro-flotasyon deneylerinde kullanılacak olan talk mineralinin yapısal özelliklerinin bilinmesi, deneyler esnasında talkın gösterdiği davranışların daha iyi anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Bu nedenle talk karakterizasyonunda, kimyasal analiz, X-Işınları Kırınımı (XRD), Termogravimetrik Analiz (TGA), Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemleri ve bunlara ek olarak zeta potansiyeli, yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerle elde edilen tüm veriler değerlendirilerek talkın tuzlu su içerisindeki davranışı daha iyi anlaşılmaktadır.

### 2.4.1. Kimyasal Analiz

Analiz; esas olarak maddenin bileşim ve saflığını saptama işlemidir. Bir maddenin bileşimini tespit etmeye, yani, maddeyi oluşturan elementleri belirterek, yüzdelerini tespit etmeye kimyasal analiz denir. Kimyasal analiz, kimyasal reaksiyonlarla yapılır.

Örnekteki iyonların yada ilgilenilen maddelerin cinsinin belirlenmesi için yapılan analize kalitatif (nitel) analiz, bunların yüzdelerini (miktarlarını) tespit için yapılan analize kantitatif (nicel) analiz denir.

Deneylerde kullanılan talk numunesi için hem kalitatif hem de kantitatif analizler gerçekleştirilmiştir.

### 2.4.2. X Işınları Kırınımı (XRD) Analizi

X-ışınları kırınımı yöntemi, katıların kristal yapısındaki atom gruplarının veya moleküllerinin dizilişlerini belirlemede oldukça yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. X-ışınları kristal yapı üzerine düşürüldüğünde, ışınlar katı yüzeyinde küçük yansıma açılarıyla tam yansımaya uğrarlar ve kristaldeki atomların paralel düzlemleri tarafından saçılırlar. Kristal yapıdaki bu saçılmalara kırınım adı verilir ve kırınım, birçok sayıda atomu içeren saçılmalardan meydana gelir. X-ışınlarının kristal yapıdaki kırınımı Bragg Kanunu ile aşağıdaki gibi açıklanır;

$$d_{00n} = n \cdot \lambda / 2 \sin\theta \quad (2.4)$$

Yukarıdaki eşitlikten yararlanılarak  $n=1$  olarak alındığında ilk kırınıma karşılık gelen  $d_{001}$  bazal boşluk değeri elde edilir (Dann, 2002). Bazal boşluk değerinden yola çıkarak talkın yapısı hakkında bilgi edinilebilmektedir. XRD yöntemi, talkın yüzey özelliklerinin incelenmesinde başvurulan yöntemlerin başında gelir.

Modern X-ışını cihazlarında, kırınıma uğrayan ışının kırınım açısını ve şiddetini ölçecek ışınım sayıcılar bulunur. Böylece kırınım açısının ( $2\theta$ ), kırınıma uğrayan ışının şiddetine göre değişimini veren kırınım deseni elde edilir. Desen üzerindeki pik genişliklerine ve şiddetine bakılarak talkın tabakaları hakkında bilgi edinilebilmektedir (Baysal, 2012).

#### **2.4.3. Termogravimetrik (TGA) ve Diferansiyel (DTA) Analiz**

Bir maddeye ait fiziksel özelliğin sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçüldüğü veya bir tepkimede adsorplanan ya da açığa çıkan ısının belirlendiği yöntemler “Termal Analiz Yöntemleri” olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemlerin en yaygın olarak kullanılanları Termogravimetrik Analiz (TGA) ve Diferansiyel Termal Analiz (DTA) yöntemleridir.

TGA yöntemi ile talkın termal dayanımı araştırılarak talkın bozunum sıcaklığı belirlenmektedir. Bu yöntemde, talkın kütesindeki değişimler sıcaklığın bir fonksiyonu olarak incelenerek termogram adı verilen sıcaklık-kütle eğrileri oluşturulur. Aynı zamanda bu eğrilerin anlaşılmasını kolaylaştırmak için kütle değişim hızının zamana bağlı olarak incelendiği derivatif termogravimetrik (DTG) eğrileri de sıklıkla kullanılmaktadır (Xie ve diğ., 2001; Yariv, 2004; Tiwari ve diğ., 2007; Baysal, 2012).

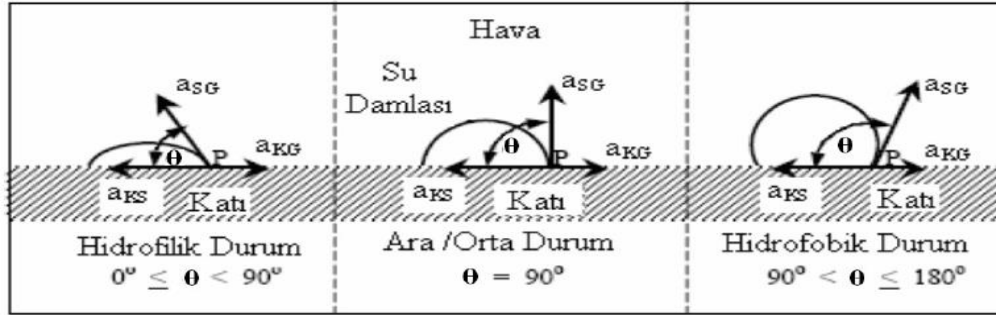
DTA yönteminde ise ısıl açıdan inert davranan bir referans madde ile numune, kontrollü olarak ısıtılır ya da soğutulur. Oluşan endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar ile referans madde ile numune arasında meydana gelen sıcaklık farkları kaydedilerek DTA eğrileri oluşturulur. DTA eğrilerinden yararlanılarak talkın kristal yapılarındaki ve kimyasal bileşimlerindeki değişimler belirlenebilir (Yariv, 2004; Baysal, 2012).

#### **2.4.4. Temas Açısı**

Köpük flotasyonu uygulanan öğütülmüş cevherlerdeki mineral tanecikleri flotasyon hücresine konulduğunda; sistem, sürecin basından sonuna değin katı, sıvı ve gaz fazları ile bunlara karşılık gelen katı-sıvı, katı-gaz, sıvı-gaz ara yüzeyleri yanında üçlü katı-sıvı-gaz ara yüzeyi

de içermektedir. Katı-sıvı-gaz ara yüzeyi içeren katı tanecikler hidrofilik veya hidrofobik karakterde olabilir. Katı taneciğinin hangi karakterde olacağını tayin eden etken taneciğin ıslanabilirlik derecesidir. Islanabilirlik derecesini karakterize eden büyüklük üç faz (katı-sıvı-gaz) ara yüzeyindeki temas açısıdır (Şekil 2.11). Temas açısı ( $\theta$ ), katı-sıvı ara yüzeyi ile sıvı-gaz ara yüzeyi arasında yer alan deneysel olarak ölçülebilen ve belirli aralıklarda değerler alabilen bir büyüklüktür. Bu açının büyüklüğü ilgili fazlar arasındaki arayüzey gerilimlerine bağlıdır. İlgili fazların ara-yüzey gerilimleri (a) terimleri gösterilirse, söz konusu bağımlılık aşağıdaki eşitlik ile verilir ve Young denge eşitliği adını alır (Gaudin, 1957; Atak, 1982; Chibowski ve Carpio, 2002).

$$a_{KG} = a_{KS} + a_{SG} \cos\theta \quad (2.5)$$



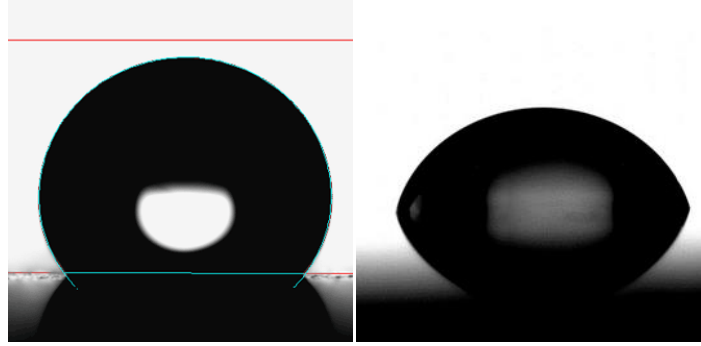
**Şekil 2. 11:** Katı yüzeyindeki bir su damlasıyla temsil edilen üç fazlı sistem için çeşitli ıslanabilirlik derecelerini gösteren bağıl denge halleri.

Şekil 2.10'da P noktası katı-sıvı-gaz ara yüzey bölgesini temsil eder. Eğer su damlası katı tanecik yüzeyini kaplıyorsa tanecik hidrofiliktir ve P noktası ile temsil edilen bölgede su damlası ile katı yüzey arasında  $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$  lik bir temas açısı gözlenir. Temas açısının bu aralıktaki değerlerinde hava kabarcıkları, su içindeki hidrofilik katı taneciklere kolayca yapışmaz. Buna karşın suyla ıslatılmayan katı tanecikler hava kabarcıkları ile daha fazla temas ederler ve temas açısı  $90^\circ < \theta \leq 180^\circ$  aralığında olur. Temas açısının ara bir konumu ( $\theta = 90^\circ$ ) söz konusu olduğunda, katı tanecik zayıfça hidrofilik veya hidrofobik karakter gösterebilir. Pratikte flotasyon sistemlerinde gözlenen temas açıları  $100^\circ$ 'yi pek de aşmaz. Taneciklerin ayrılması bağlamında önemli olan nokta, katı bileşenlerden birinin kendisinden ayrılacak olan diğer katılardan çok daha büyük bir temas açısına, yani daha büyük bir hidrofobik karaktere sahip olmasıdır.

Kabarcık bağlanması ve başarılı bir flotasyon için en az  $20^\circ$ 'lik bir temas açısı yeterlidir ve etkili bir ayırma için  $\theta > 20^\circ$  olmalıdır. Minerallerin çoğu polar karakterlidir ve bunlar suda hidrofilik özellik gösterir. Fakat  $\theta = 45 - 60^\circ$  olan grafit ve  $\theta = 88^\circ$  olan talk mineral tanecikleri, su içinde doğal olarak hidrofobik karakter gösterirler (Gaudin, 1957; Atak, 1982).

Temas açılarının deneysel yoldan ölçümü konusunda çok sayıda yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemlere ilişkin ayrıntılı bir döküm Neumann ve Good tarafından yayınlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan iki yöntem sapsız damla ve esir kabarcık yöntemleridir. Bundan başka Wilhelmy levha tekniği, kapiler yükselme tekniği gibi tekniklere de başvurulmaktadır. Bu teknik ve yöntemler, ölçme işleminin basit ve kolay olması nedeniyle araştırmacılara çekici gelmektedir. Ancak pratikte statik bir temas açısı ölçüldüğü için Young eşitliği tam olarak sağlanmayabilir. Böyle haller için dinamik bir temas açısı ölçümü amacıyla otomatik damla şekli izlemeye dayanan bir teknik geliştirilmiştir (Atak, 1982; Neuman ve Good, 1979; Adamson ve Gast, 1998; Kwok ve Neuman, 2000; Yıldırım, 2001).

Şekil 2.12'de deneysel çalışmalardan elde edilen bir damlacığın katı yüzeye temasına ait örnekler verilmiştir.

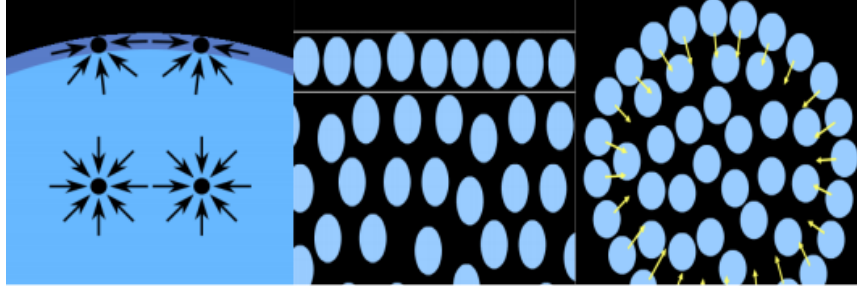


Şekil 2. 12: Temas açısına ait örnekler.

#### 2.4.5. Yüzey Gerilimi

Bütün atomlar ve atomlardan meydana gelen her kütle olabildiğince az enerjiye sahip olabilmek için yüzey alanlarını küçültme eğilimindedir. Bu da ancak elektrokimyasal etkileşimlerle mümkün olmaktadır. Bir su damlacığının küre şeklini almasının sebebi yüzey alanını azaltabilme isteğidir. Buna olanak sağlayan mekanizmaya yüzey gerilimi adı verilir. Şekil 2.13'de yüzey geriliminin şematik görünümü verilmiştir. Yüzey gerilimine günlük

hayattan; bazı böceklerin suda batmadan yürüyebilmeleri, yağ ile suyun birbirine karışmaması gibi örnekler verilebilir.



Şekil 2.13: Yüzey gerilimi şematik görünümü.

Islanma mikro-elektronikten, ince film kaplama, katı yüzeyler üzerine sıvıların yayılmasını içeren görüntü formasyonuna kadar pek çok ileri teknoloji uygulamalarında önemli bir rol oynamaktadır. Bilimsel bakış açısıyla ıslanma olgusu yüzeylerin ve ara yüzeylerin fiziği ile bağlantılı olarak hem teorik hem de deneysel olarak oldukça çalışılmıştır. Yüzey gerilimi ve ıslanabilirlik adhezyon, adsorpsiyon, yağlama, kataliz, katı-sıvı reaksiyon kinetikleri gibi bilim ve teknolojinin farklı birçok alanında önemli bir olgudur (Wapner ve Hoffman, 2002).

Partiküllerin ıslanabilmesinin, flotasyon, aglomerasyon gibi pek çok teknolojik süreci etkileyen önemli parametrelerden biri olduğu bilinmektedir (Fuerstenau ve Williams, 1987).

Kritik ıslanma yüzey gerilimi, Zisman'ın geliştirdiği, verilen bir katı üzerinde çeşitli sıvıların temas açılarını tahmin etmek için kullanılabilen yararlı bir kavramdır. Zisman homolog sıvı serileri ve katı için,  $\gamma_{SG}$  ve  $\cos \theta$  arasında bir lineer ilişki olduğunu göstermiştir (Hogg, 1980). Bunun için Zisman, (1964) düşük yüzey enerjili katılarla temas halindeki saf sıvılarca oluşturulan denge temas açılarını araştırarak, katıların kritik ıslanma yüzey gerilimi kavramını geliştirmiştir. Düz ve homojen bir polimerik katı yüzeyinde sıvı damlasının oluşturduğu temas açısının, kullanılan sıvıların yüzey geriliminin azalmasıyla azaldığını bulmuşlardır. Sıvının katı yüzeyini yayılma sonucu tamamıyla ıslattığı andaki yüzey gerilimi değerini, katının kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) olarak tanımlamışlar ve adsorplanan organik filmlerle kaplanan yüksek enerjili yüzeyler ve organik katıların ıslanabilirliğini karakterize etmede bunu genelleştirmişlerdir. Böylelikle, katıların ıslanma özellikleriyle, organik yüzeylerdeki organik kökler ve atomların doğal ve sıkışmasını ilişkilendirebilmişlerdir. Bu onlara, katılar üzerine



çözeltiden tek moleküllü filmlerin oluşturulmasında reaksiyon yöntemiyle adsorblanan bir film oluştuğu zaman hidrofobik sıvıların davranışını açıklamaya müsaade etmiştir (Tekinalp, 2005).

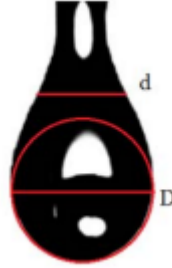
Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) bir mineral yüzeyini karakterize etmede önemli bir parametre olarak dikkate alınabilir. Buna ek olarak, flotasyona uygulandığında da mineral ayrımlarını yorumlayabilmek için yol gösterici olmaktadır (Andrade ve diğ., 1985; Laskowski, 1986; Yarar, 1988).

Kritik ıslanma yüzey gerilimi ( $\gamma_c$ ) değeri saf suyun yüzey geriliminden ( $\sim 72$  mN/m) düşük olan mineraller ( $\gamma_c < 72$  mN/m) doğal hidrofob mineraller ve yüksek olanlar ise ( $\gamma_c > 72$  mN/m) hidrofilik mineraller olarak isimlendirilirler.

$\gamma_c$  değerinden düşük sıvının yüzey gerilimlerinde, mineral bu çözelti tarafından tamamen ıslatılmak suretiyle hidrofobluk veya yüzebilirlik özelliğini kaybeder (Laskowski, 1986). Deneyleerde sapsız damla metodu kullanıldığından aşağıda sadece o metot açıklanmıştır.

#### **2.4.5.1. Sapsız Damla Metodu**

Sapsız damla metodu, çapı belli olan özel bir şırınga dikey şekilde konumlandırılır ve şırınganın içinde olan sıvının aşağıya bırakılır. Bu sıvı şırınganın ucunda özel bir şekil halini alır, buna asılı damlacık adı verilir. Asılı damlacığın şeklini sıvının yüzey gerilimi, yoğunluğu ve miktarı belirler. Şekil 2.14'de damlanın şırıngadan serbest bırakılmasına ait bir örnek verilmiştir.



**Şekil 2. 14:** Sapsız damla metodu.

Bir sıvı damlası düz bir katı yüzey ile temas ettiğinde, kohezyon ve adhezyon kuvvetlerinin görelî büyüklüklerine bağılı olarak sıvı damlası son şeklini alır ve sonlu büyüklükte belirli bir temas açısı ortaya çıkar. Şu halde, temas açısı diye ölçülen büyüklük, sıvı damlasının kendi yüzey alanını en küçük yaparak küreselleşme eğilimi ile katı yüzeyine yayılarak yapışma eğilimi arasında süre giden rekabetin bir ölçüsüdür. Örneğın, düşük yüzey enerjili bir sıvı damlası, sıfır büyüklüğünde bir temas açısı vererek, katı bir yüzeyi ıslattığı zaman katı ile sıvı arasındaki moleküler adhezyon kuvveti sıvının molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetinden daha büyüktür. Aksine, yüksek yüzey gerilimine sahip sıvılar sıfır olmayan belirli ve sonlu bir temas açısı verme eğilimindedirler. Bu takdirde, kohezyon kuvvetinin sıvı ile katı arasındaki adhezyon kuvvetinden daha büyük olduğu söylenir (Yılmaz, 2006).

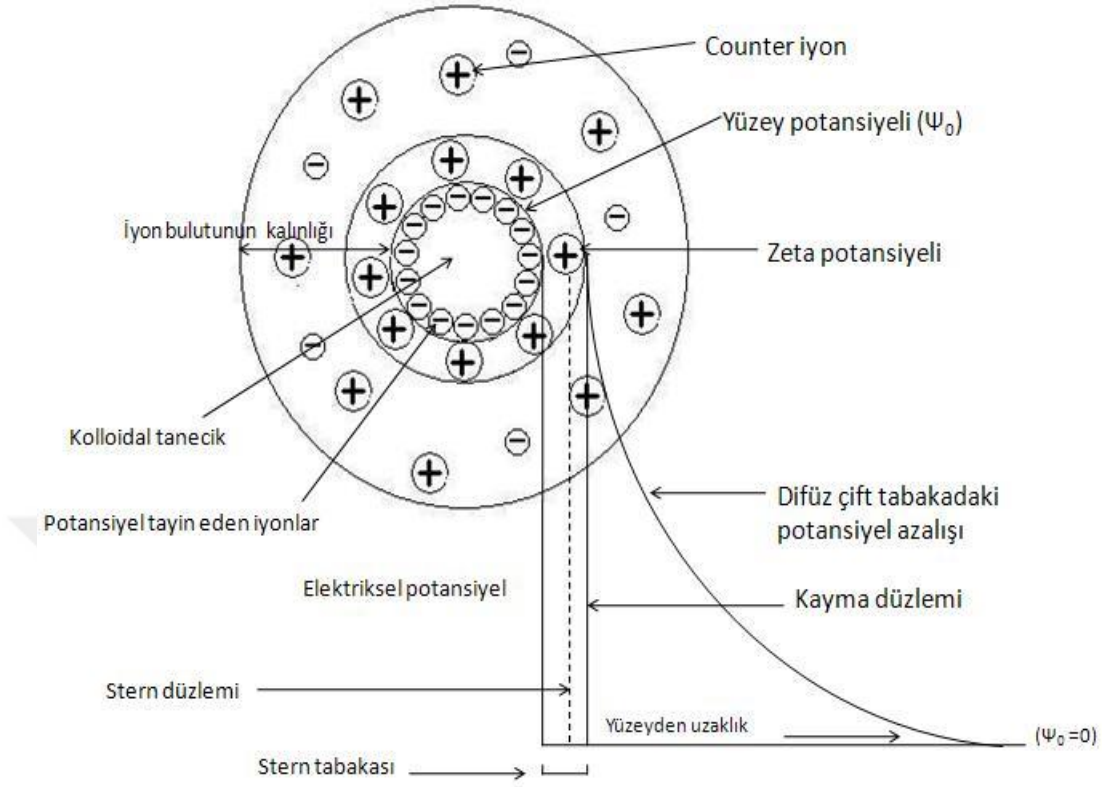
#### **2.4.6. Zeta Potansiyel**

Katı oksit ya da mineral parçacığı gibi bir cisim üzerinde elektriksel yük taşıdığına göre bu cisim ile kendisini çevreleyen ortam arasında bu yükten kaynaklanan etkileşmeler oluşacaktır. Beklendiğı üzere söz konusu etkileşmeler, tanecikler ve bunları kuşatan ortamın hangi tür ve büyüklükte yük taşıdığına bağılı olarak değişecektir. En basta oksit ya da mineral tanecikleri ile kuşatıcı ortam arasında bir yüzey potansiyeli oluşacaktır. Bir çok durumda yüzey potansiyelini çözelti fazındaki potansiyel tayin edici iyonun konsantrasyon bilgisinden yola çıkarak hesaplamak mümkündür. Ancak oksitler için bu mümkün değildir çünkü oksitler Nernst eşitliğine uymazlar. Doğaldır ki yüzey potansiyeli çözelti ortamının pH'sına bağılı olarak değişecektir. Oksit parçacıklarında ise hidroksil kökenli türler ve bunların asidik-bazik karakterlerinden dolayı yüzey potansiyelinin pH bağımlılığı daha karmaşık hale gelecektir.

Yüzey potansiyelinin yeterince doğru hesaplanabildiğı hallerde bile taneciklerin davranışını tahmin etmede çok fazla bir yararı dokunmaz. Eğer çözelti fazı parçacık yüzeyine kuvvetle adsorplanan yüzey aktif bir madde içeriyorsa, küçük miktarlarda yüzey aktif madde eklenmesiyle parçacığın yüzey yükü çok büyük ölçüde değiştirilebilir, hatta tersine döndürülebilir. Durum böyle olduğunda, parçacık üzerindeki etkin yük, bu parçacığa yaklaşan başka bir parçacık tarafından "görülen" yüküdür. Çünkü parçacıklar arasındaki etkileşmeyi tayin edecek olan yük, bu "görülen" yüküdür. Dolayısıyla süspansiyonun pıhtılaşması (koagülasyon) ya da akışkanlığı gibi özellikler tanecik üzerindeki gerçek yüke değil de etkin yüke bağılı olacaktır. Etkin potansiyel ya da yükü belirlemenin en iyi yolu çift tabakanın difüz kısmının potansiyeli ya da yükünü belirlemektir.

Yüklü bir mineral taneciğın yakınındaki iyonik çevreyi temsili olarak göstermek ve elektriksel itici kuvvetlerin nasıl ortaya çıktığını açıklamak için elektriksel çift tabaka modeli kullanılmaktadır (Şekil 2.15). Bu modeli daha kolay bir şekilde açıklamak için parçacık çevresindeki iyonlar hızla civardan çekip gittiğinde genelde negatif yüklü tek bir parçacık etrafında meydana gelen olaylar dizisi göz önüne alınır. Öncelikle, karşıt iyonlar da denilen pozitif iyonlar üzerine mineral parçacığının etkisine bakılır. Başlangıçta negatif yüklü mineral parçacığından ileri gelen çekim kuvveti pozitif iyonlardan bir kısmının katı parçacık yüzeyi civarında sıkıca tutulan bir tabaka oluşturmasına yol açar. Karşıt iyonlar içeren bu tabaka “*Stern Tabakası*” olarak bilinir. Bunlardan başka ilave pozitif yüklü iyonlar negatif yüklü mineral parçacığı tarafından hala daha çekilmektedir, fakat bu ilave pozitif yüklü iyonlar şimdi artık parçacığa yaklaşmaya çalışan diğer yakındaki pozitif iyonlar tarafından olduğu kadar pozitif Stern tabakası tarafından da itilmektedir. Sonuçta dinamik bir denge ortaya çıkar ve bu dengenin sonucu olarak difüz bir karşıt iyonlar tabakası da oluşur. Difüz pozitif iyon tabakası mineral parçacığı yakınında yüksek bir konsantrasyona sahip olmasına karşın parçacığa olan uzaklık arttıkça konsantrasyon yavaş yavaş azalır ve sonunda çözelti içindeki normal karşıt iyon konsantrasyonu ile dengeye gelir.

Benzer fakat zıt bir şekilde, parçacık yüzeyinin yakınında negatif iyonların eksikliği söz konusudur. Çünkü bu negatif iyonlar eksi yüklü parçacık yüzeyi tarafından itilirler. Negatif iyonlara eş iyonlar denir çünkü bunlar parçacık yüzeyi ile aynı yüklüdürler. Bunların konsantrasyonu da parçacık yüzeyinin itici kuvvetleri pozitif iyonlar tarafından perdelendiği için yüzeyden uzaklaştıkça giderek artar ve sonunda çözeltideki eş iyon konsantrasyonu ile dengeye ulaşır.



**Şekil 2. 15:** Elektriksel çift tabakanın şematik görünümü.

Difüz tabaka parçacığı çevreleyen yüklü bir atmosfer olarak düşünülebilir. Yüzeyden herhangi bir uzaklıkta difüz tabakanın yük yoğunluğu o noktadaki pozitif ve negatif iyonların konsantrasyonları farkına eşittir. Parçacık yakınında yük yoğunluğu daha büyüktür. Yüzeyden uzaklaştıkça pozitif ve negatif iyonların konsantrasyonu gittikçe birbirine yaklaşır ve yük yoğunluğu hızlı bir şekilde sifıra doğru azalır. Stern tabakasında tutulan karşıt iyonlar ile difüz tabakadaki yüklü atmosferin ikisine birlikte çift tabaka adı verilir. Çift tabakanın kalınlığı çözelti içindeki iyonların konsantrasyonuna bağlıdır. Çözelti içindeki iyonların yüksek konsantrasyonlarda bulunması demek parçacığı nötralize edecek daha fazla pozitif iyon bulunması demektir ve sonuç olarak çift tabakanın kalınlığı daha ince olur. Seyreltme ile iyon konsantrasyonunun azaltılması pozitif iyonların sayısını düşürecek ve sonuçta daha kalın bir çift tabaka oluşacaktır. İyonların konsantrasyonları ve iyon değerliklerinin artırılmasına çift tabaka sıkıştırılması adı verilmektedir (Atak, 1982; Adamson ve Gast, 1988; Hunter, 1993; Zeta-Meter, 1993).

Etkin potansiyeli saptamak için yüzeye kuvvetle adsorplanmış iyonlar tabakasının dışında parçacık yüzeyinden herhangi bir uzaklıktaki yük veya potansiyeli ölçmek gerekir. İdeal

olarak, çift tabakanın difüz kısmının başlangıcındaki elektrokinetik potansiyeli ( $\psi_d$ ) saptamak istenir. Pratikte ise çoğu zaman bu ölçülemez, ancak elektrokinetik yada zeta potansiyelini ölçmek suretiyle istenen bu niceliğe yalnızca yaklaşılabılır (Adamson ve Gast, 1988; Hunter, 1993).

Zeta potansiyelinin belirlenmesi için bir çok farklı proses vardır. Bunların hepsine birden elektrokinetik etkiler adı verilmektedir. Ne zaman bir faz diğer bir faza göre hareket ettirilse bu etkiler ortaya çıkar ve iki faz arasındaki sınırda bir yük vardır. Flotasyon pülpu içindeki toz halindeki mineral parçacıklarından oluşan bir sistemi veya, gravite yahut santifrüj etkisi ile çökelmeye uğrayan kolloidal bir süspansiyonu örnek olarak verebiliriz. Eğer parçacıklar bir elektrik yükü taşıyorlarsa bunlar çökeldiklerinde, sedimentasyon potansiyeli denilen ölçülebilir bir potansiyel farkı sergileyeceklerdir. Pozitif yüklü parçacığın aşağı doğru hareketi, negatif iyonlar yukarıda kalmaya çalışacağı için difüz çift tabakanın hafifçe bozulmasına yol açacak ve sonuçta her bir parçacık çevresinde minik bir dipol meydana gelecektir. Dipollerin net toplamı ölçülebilir bir elektriksel potansiyel oluşturacak ve bu potansiyel süspansiyonun alt kısmını üst kısmına göre pozitif hale getirecektir. Volt mertebesindeki bu potansiyel farkını ölçmek suretiyle parçacıklar üzerindeki etkin yük veya potansiyeli (zeta potansiyeli) belirlenebilir.

Aynı potansiyel, süspansiyonu bir elektrik alanına koyup parçacıkların hızını ölçmek suretiyle de belirlenebilir. Bu prosese elektroforesis denilmektedir. Parçacık hızı ile elektriksel yükü ve potansiyeli arasındaki ilişkiyi belirlemek için parçacık ile kuşatıcı ortam arasındaki sınırda olan biteni bilmek gerekir. Parçacığın yakınındaki çözücü tabakasının (genellikle su) daima parçacığa sabitlenmiş olduğu kabul edilebilir ve normal olarak ilk birkaç tabakanın böyle sabitlenmiş olduğu kabul edilebilir. Fakat parçacık yüzeyinden bir miktar uzaklaştığında durum değişir ve sıvı katıya göre hareket etmeye başlar. Her bir parçacığı kuşatan ve sıvının katıya göre ilk hareket etmeye başladığı bölgeyi işaret eden bu yüzeye kayma denir. İşte ana çözelti fazındaki potansiyele göre bu düzlemdeki elektrostatik potansiyel zeta potansiyeli veya elektrokinetik potansiyel adını alır. Zeta potansiyeli( $\delta$ ) belirlemenin, elektroozmos ve akış potansiyeli gibi başka elektrokinetik etkileri de vardır (Adamson ve Gast, 1988; Hunter, 1993).

pH'nın bir fonksiyonu olarak çizilen zeta potansiyel değerlerinin oluşturduğu eğriye zeta potansiyel eğrisi adı verilmektedir. Zeta potansiyel eğrisinin pH eksenini kestiği noktada zeta

potansiyel sıfır değerini almaktadır. Bu noktadaki pH değeri o madde için yüzey yükünün sıfır olduğu noktadır ve buna PZC (sıfır yük noktası) denir (Gülgönül, 1995; Adamson ve Gast, 1988; Hunter, 1993).

İnce taneciklerin bulunduğu süspansiyon sistemleri çok sayıda farklı iyon türleri içermektedir. Bu iyon türlerinin çözelti içindeki davranışları elektrokinetik (zeta) ölçümleri ile anlaşılabilir. Örneğin zeta potansiyel değerleri  $\pm 15\text{mV}$ 'dan yüksek olan taneler dağılma özelliği,  $\pm 15\text{mV}$ 'un altındakiler ise çökeltme özelliği gösterirler. Taneciklerin yüzey yükleri pratikte;

- 1) pH'yı değiştirerek
- 2) Çeşitli iyonlar eklenerek
- 3) Yüzey aktif maddeler (kollektör, köpürtücü, aktifleştirici gibi) eklenerek değiştirilir.

Asit veya baz ilavesi suyun  $\text{H}_3\text{O}^+$  ve  $\text{OH}^-$  dengesini ayarladığı için pH değişimi yüzey yükünü etkiler. pH 7'de su içinde  $\text{H}_3\text{O}^+ = \text{OH}^-$  olmaktadır. Ancak asit ilavesi ile (HCl) çözelti içindeki  $\text{H}_3\text{O}^+$  iyonu sayısı  $\text{OH}^-$  iyonundan yüksek olmaktadır. Çünkü HCl su içinde;



şeklinde iyonlarına ayrılmaktadır. Çözeltideki  $\text{H}_3\text{O}^+$  iyonların sayısı arttığından pH değişir. Açığa çıkan  $\text{H}_3\text{O}^+$  iyonları mineral yüzeyindeki bütün negatif (-) yükleri nötrleştirir ve mineralin net yükü pozitif yönde artar. Baz (NaOH) ilavesi ise  $\text{OH}^-$  iyonların miktarını artırır ve mineral taneciğinin net yükü negatif yönde artar (Gülgönül, 1995).

### 3. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan talk numunesi, cihazlar, kimyasal malzemeler, diğer ekipmanlar ve deneysel çalışma yöntemlerinin tanıtımı yapılmıştır.

#### 3.1. DENEYLERDE KULLANILAN MALZEMELER

##### 3.1.1. Numune

Deneysel çalışmalarda kullanılacak olan talk numunesi İstanbul-Tuzla bölgesinde faaliyet gösteren Erc Mineral Madencilik San ve Tic. Ltd. Şti.'ye aittir. Değirmen çıkışı olan talk numunesinin, üst boyutu ortalama 2 mm olup alt boyutu ise -38 mikrondur.

##### 3.1.2. Kimyasal Malzemeler

Deneysel çalışmalarda, talkın flotasyonunda kullanılan tuzların özellikleri ve yapıları sırasıyla Tablo 3.1'de görülmektedir.

**Tablo 3. 1:** Talkın flotasyonunda kullanılan tuzlar.

Kimyasal Adı	Formülü	Molekül g/mol	Ağırlığı,	Marka
Sodyum klorür	NaCl	38,5		Merck
Potasyum klorür	KCl	74,5		Merck
Kalsiyum klorür	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	147,02		Merck
Magnezyum klorür	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	203,3		Merck

Deneysel çalışmalar, analitik kalitede NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> tuzları ile yapılmıştır. Tuz çözeltileri, içinde iyon bulunmayan ve iletkenliği 18,2 Mohm olan ultra saf su (Şekil 3.1) ile hazırlanmış olup, mikro flotasyon deneyleri için de yine aynı saflıkta su kullanılmıştır.



Şekil 3. 1: Milli-Q Saf Su Cihazı.

Zeta potansiyel, yüzey gerilim ve temas açısı ölçümleri de yine ultra saf su ile yapılmıştır.

### 3.2. YÖNTEMLER

Bu bölümde, tez kapsamında sırasıyla şu çalışmalar gerçekleştirilmiştir;

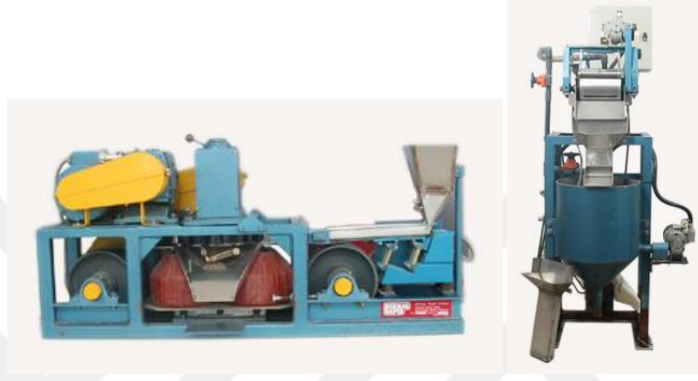
- 1) Talkın zenginleştirilmesi
- 2) Talkın karakterizasyonu
  - a) Mikro-flotasyon deneyleri
  - b) Zeta potansiyel ölçümleri
  - c) Yüzey gerilimi ölçümleri
  - d) Temas açısı ölçümleri

#### 3.2.1. Talkın Zenginleştirilmesi

ERC Mineral firmasından değirmen çıkışı olarak istenen ham talk numunesi İstanbul Üniversitesi Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme laboratuvarında bulunan agat havanla kademeli olarak -150+106  $\mu\text{m}$  boyutuna öğütüldükten sonra, içerisinde barındırdığı demir ve



benzeri manyetik safsızlıklardan arındırılması için ilk olarak Boxmag Rapid marka kuru manyetik ayırıcıdan (Şekil 3.2) geçirilmiştir. Daha sonra %10'luk pülp haline getirilerek Boxmag Rapid marka yaş manyetik ayırıcıya (Şekil 3.2) beslenen talk numunesi, bu ayırma işlemi sonucunda manyetik olan (demir vb. gibi safsızlıkların toplandığı) ve manyetik olmayan (saflığı yüksek talk numunesi) iki ayrı ürün halinde alınmıştır. Şekil 3.4'de zenginleştirme işleminde uygulanan akım şeması görülmektedir.

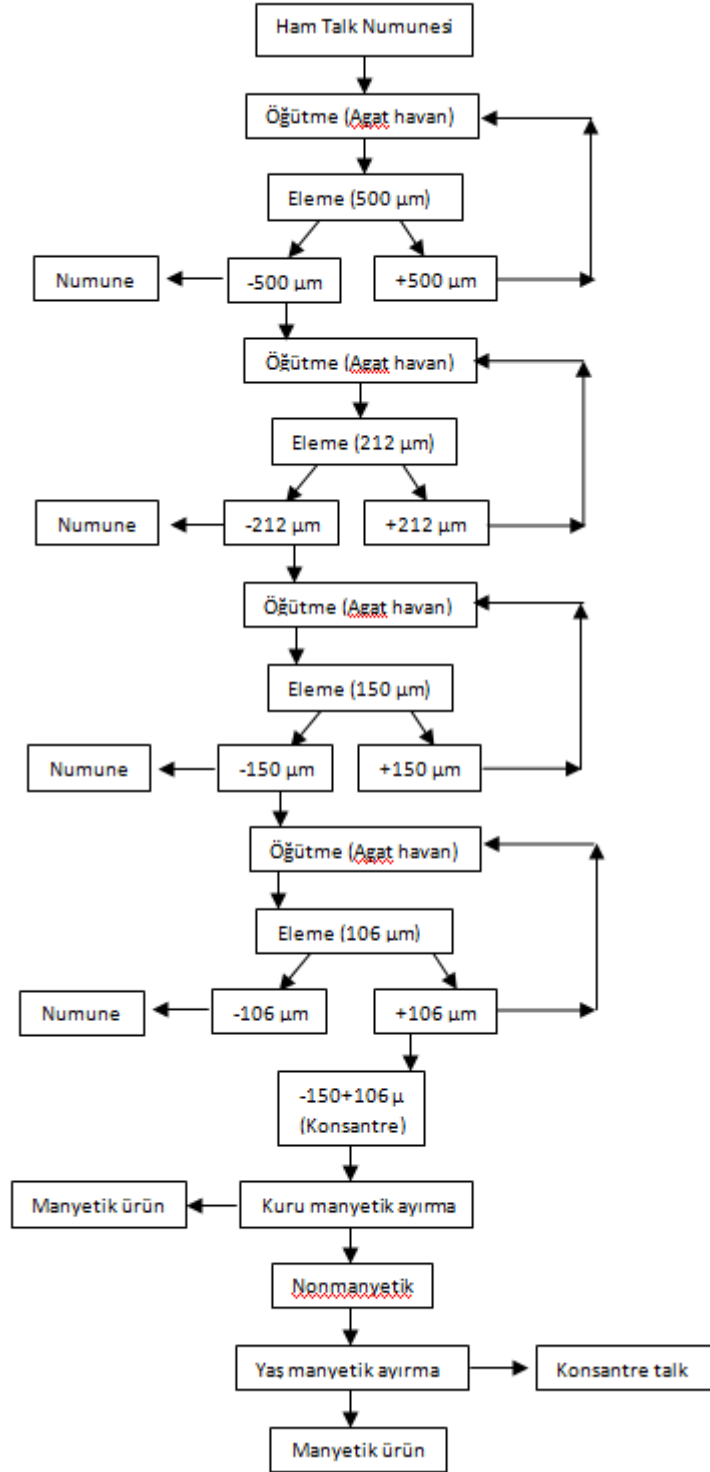


**Şekil 3. 2:** Kuru ve yaş manyetik ayırıcı.

Yapılan tüm eleme işlemlerinde ve elek analizinde ASTM standartlı Retsch marka elekler kullanılmıştır. Yaş manyetik ayırma sonucu  $-150+106\mu$  boyutlu elde edilen konsantreden konileme-dörtleme yoluyla 150 gr temsili numune alınarak 20 dakika süreyle yaş eleme yapılmış ve eleme sonunda her bir elek üstünde kalan fraksiyon kurutulup tartılarak fraksiyonel dağılım belirlenmiştir. Yaş eleme işlemi sırasında, 2mm, 1mm,  $500\mu$ ,  $300\mu$ ,  $150\mu$ ,  $106\mu$ ,  $75\mu$ ,  $53\mu$  ve  $38\mu$  ASTM standartlı elekler ve elek seti sarsma cihazı ile (Şekil 3.3) gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 3. 3:** Elek seti sarsma cihazı.



Şekil 3. 4: Ham talk numunesinin hazırlama ve ön zenginleştirme akım şeması.

### 3.2.2. Talkın Karakterizasyonu

Zenginleştirme işlemleri sonucu elde edilen -150+106 $\mu$  boyutlu konsantre talk numunesi ve analitik kalitede NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> tuzları ile; mikro-flotasyon deneyleri, zeta potansiyel, yüzey gerilim ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan 4 farklı tuz için (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) literatür bilgileri ışığında 5 farklı konsantrasyon belirlenmiştir. Bu konsantrasyonlar; 10<sup>-2</sup> M, 3x10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-1</sup>M, 3x10<sup>-1</sup> M, 1 M'dir.

#### 3.2.2.1. Mikro Flotasyon Deneyleri

Mikro-flotasyon deneylerine başlamadan hem literatür araştırmaları sonucu hemde yapılan ön deneyler sonucu çeşitli flotasyon şartları belirlenmiştir (Tablo 3.2).

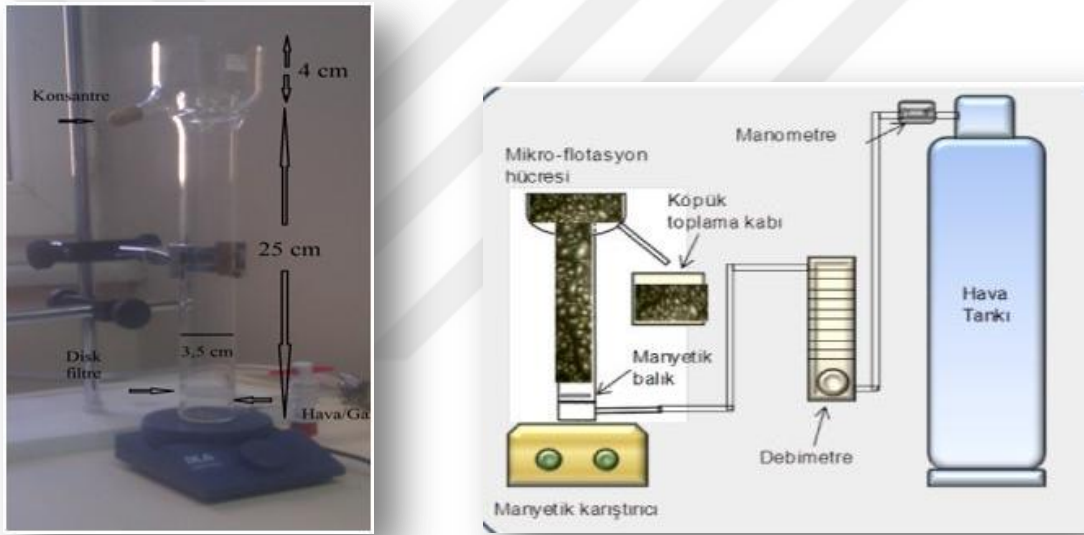
**Tablo 3. 2:** Mikro flotasyon deneylerinin şartları.

<b>Kullanılan mineral</b>	Talk
<b>Süre (t)</b>	2 dk
<b>Kullanılan tuzlar</b>	NaCl, KCl, CaCl <sub>2</sub> , MgCl <sub>2</sub>
<b>Kullanılan tuzların konsantrasyonu</b>	10 <sup>-2</sup> M, 3x10 <sup>-2</sup> M, 10 <sup>-1</sup> M, 3x10 <sup>-1</sup> M, 1 M
<b>Hava miktarı (Q)</b>	50 cm <sup>3</sup> /dk
<b>Kondisyon süresi</b>	5dk+2dk (5dk manyetik karıştırıda, 2dk hücrenin içinde)
<b>Beslenen miktar</b>	2gr (200 ml'de %1'lik PKO için)
<b>Besleme boyutu</b>	-150+106 $\mu$

Mikro flotasyon deneyleri, talkın kollektörsüz flotasyonunda çözülmüş iyonların etkisinin araştırılması için gerçekleştirilmiştir.

Mikro flotasyon hücreleri, laboratuvar ölçekli, ufak çaplı bir çeşit flotasyon hücreleridir. Hücreler, cam malzemeden ve çeşitli boyutlarda (25x200mm, 50x150mm vb.) imal edilebilen, flotasyon kondisyonlama süresi ve ortama verilen hava miktarı ayarlanabilen tiptedir. Mikro flotasyon hücrelerinde yapılan deneyler, flotasyon sistemini iyi anlamak için

1-3 gr gibi az miktarda numune ile gerçekleştirilen ve kolay yapılabilen, kimyasal sarfiyatı da az olan düşük maliyetli işlemlerdir. Mikro flotasyon deneyleri için kullanılacak olan flotasyon sistemi detaylı olarak Şekil 3.5'de görülmektedir. Tez kapsamındaki mikro flotasyon deneylerinde gaz fazı olarak, hava kullanılmış olup, gaz, gözenekli bir cam filtreden devreye ulaşmıştır. Tüm flotasyon ölçümlerinde verilen gaz miktarının sabit olmasını temin etmek için devrede debimetre kullanılacak, hücre içerisindeki süspansiyon manyetik balık yardımıyla karıştırılmıştır. Flotasyon sonrası yüzen ürün yukarıdan köpük toplama tankına alınmış, daha sonra yüzen ve yüzemeyen ürünler filtre edilip, etüvde kurutulup, tartılarak flotasyon verimi hesaplanmıştır.



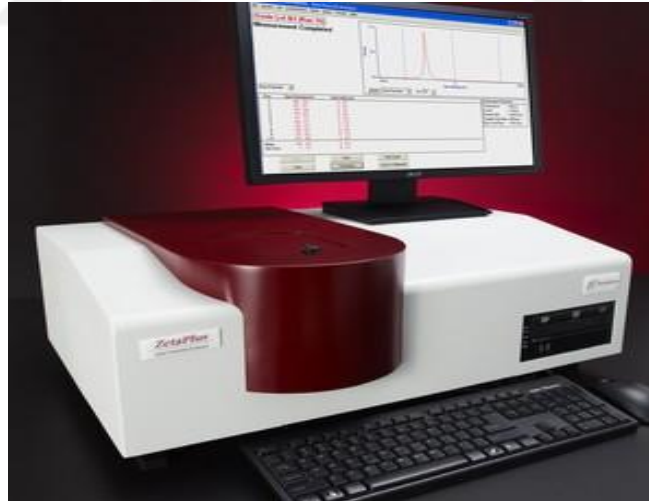
Şekil 3. 5: Mikro flotasyon hücresi.

### 3.2.2.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyeli, bir çözelti içerisindeki katı yüzeyin ölçülebilen potansiyeli olarak adlandırılır. Zeta potansiyeli koloidal sistemlerin birçok önemli özelliğinin anlaşılmasını, kontrol edilmesini ve tanecikler üzerinde olan elektriksel yükün ya da potansiyelin belirlenmesini sağlar. Bunların dışında zeta potansiyeli, dispersiyon ve agregat proseslerinin anlaşılması için de oldukça önemlidir. Zeta potansiyelinin büyüklüğü agregat oluşumunu engelleyerek koloidal süspansiyonları kararlı hale getirir.

Yaş manyetik ayırmayla zenginleştirilen talk numunesi ile farklı tuzların belirli konsantrasyonlarında süspansiyonlar hazırlanmıştır. Bu süspansiyolar için 18,2 Mohm'luk ultra saf su (MilliQ) kullanılmıştır.

Zeta potansiyel ölçümleri için yaklaşık 5 gr öğütülmüş talk numunesi 500 mL saf su içerisine konarak (Katı oranı %1 olacak şekilde) 30 dak. süreyle bir manyetik karıştırıcı kullanılarak 500 dev./dk.'da karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sona erdikten sonra, iri tanelerin çökmesi için 20 dk. beklenilmiştir. Farklı pH'larda ölçüm yapabilmek için hazırlanan süspansiyondan yaklaşık 40 mL süspansiyon alınmış ve beherlere doldurulmuş daha sonra da asidik ortam için 0.1 M HCl (Hidroklorik Asit) bazik ortamı için de 0.1 M stok NaOH (Sodyum Hidroksit) çözeltileri kullanılarak istenilen pH değerlerine ulaşılmıştır. Gerekli pH ayarlandıktan sonra ise süspansiyon 5 dk. karıştırılarak sistemin dengeye gelmesi sağlanmıştır. 5 dk.'lık kondisyon süresinin ardından beherden alınan 2 mL süspansiyon Zetametre cihazının (Şekil 3.6) hücre sine (küvet) konulmuş ve talk tanelerinin her bir pH aralığında zeta potansiyel değişimleri saptanmıştır. Elde edilen her bir zeta potansiyel değeri için yaklaşık 10 ölçümün ortalaması alınmıştır.



**Şekil 3. 6:** Brookhaven ZetaPlus zeta potansiyel ölçüm cihazı.

### **3.2.2.3. Yüzey Gerilimi Ölçümleri**

Sıvıların genellikle küre şeklindeki damlacıklar halinde görülmelerinin sebebi de yüzey geriliminden kaynaklanmaktadır. Çünkü geometrik şekiller arasında hacmine göre yüzey alanı

minimum olan şekil kürelerdir. Sıvının yüzey alanını genişleterek yani içindeki moleküllerin bir kısmını yüzeye çıkararak moleküller arasındaki kuvveti dengelemek istenir. Bir sıvının yüzey alanını artırmak için gereken enerji ya da işe *yüzey gerilimi* denir. Sıvı damlacıklarının tam olarak küre olmamasının sebebi yerçekimi kuvvetinin etkisinde kalmalarıdır.

Deneilerde kullanılan dört ayrı tuzun (NaCl, KCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>) belirlenen konsantrasyonlarındaki (10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-1</sup>M, 1 M) yüzey gerilimi ölçümlerini gerçekleştirebilmek için KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.7). 1M'lık stok çözeltiler seyreltilmek suretiyle gerekli konsantrasyonda 20ml'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu çözeltiler yüzey gerilimi ölçümleri için kullanılan cam şırıngaya 1ml çekilerek cihaz için uygun açı ve yer ayarlandıktan sonra ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir ölçüm için, 10 sn arayla görüntü kaydedilmiş ve 12 ayrı görüntünün kaydedilmesiyle, toplam 2 dk boyunca kayıt yapılmıştır. Her bir konsantrasyon içinde yapılan bu 2dk'lık ölçümlerden toplam 5 tane yapılarak, hesaplamalar içinde bu 5 değerın ortalaması dikkate alınmıştır.



Şekil 3. 7: KSV Attension Theta Lite yüzey gerilimi ölçüm cihazı.

#### ***3.2.2.4. Temas Açısı Ölçümleri***

Temas açısı ölçümleri, yüzey gerilimi ölçümü yapan cihaz ile aynı olup KSV Attension Theta Lite cihazıdır. Cihazın software programında temas açısı ölçüm modülü seçilmesi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Deneilerin gerçekleştirilebilmesi için ilk olarak talkın el numunelerinden, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliğinin ince kesit laboratuvarlarında parlak kesit numuneleri hazırlanmıştır. Diğer ölçümlerde olduğu gibi dört farklı tuz ve üç ayrı konsantrasyonda hazırlanan çözeltiler parlak kesitlerin yüzeyini damlatılmak suretiyle temas açısı değerleri elde edilmiştir. Daha önceki zamanlarda bu açı goniometre ile ölçülürken, günümüzde geliştirilen cihazlar yüzeye düşürülen bu damlacığın katı yüzeye yaptığı açığı software'inde bulunan formülasyonla hesap ederek bize direk sonucu vermektedir.

## 4. BULGULAR

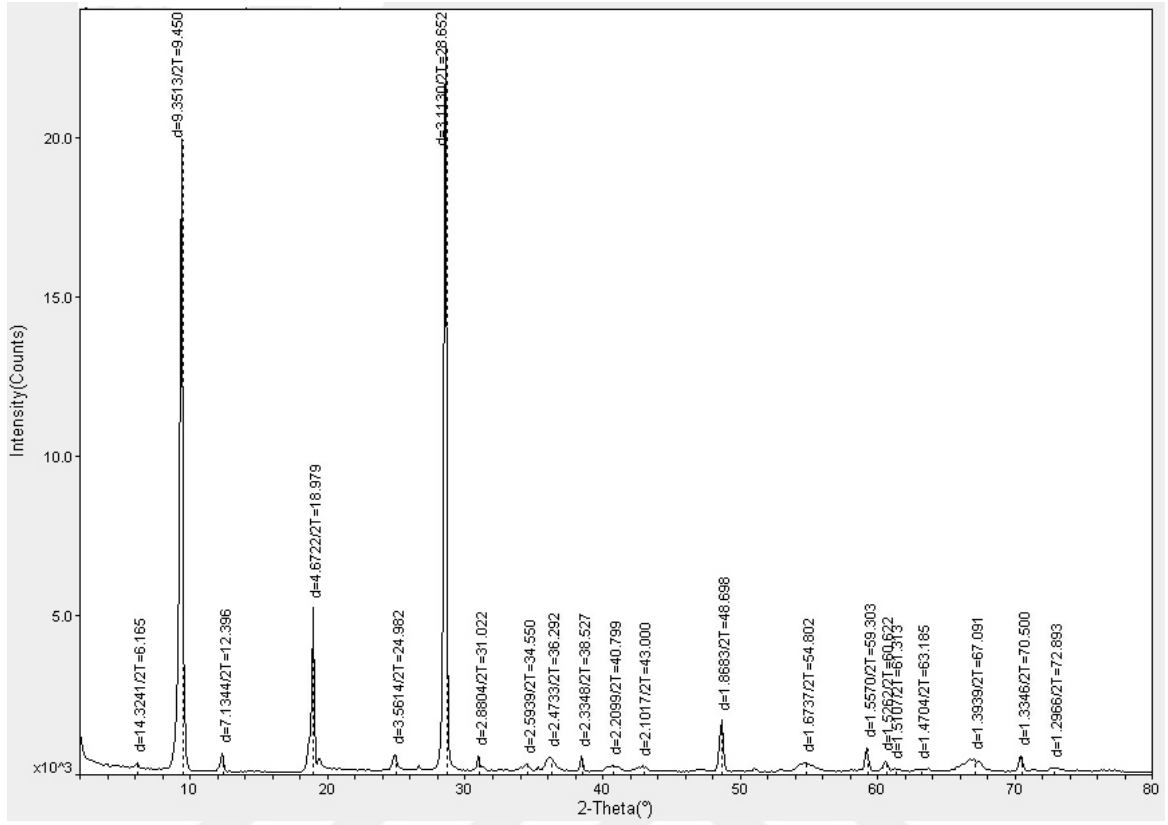
### 4.1. KİMYASAL VE MİNERALojİK ANALİZ

Deneysel çalışmalara temel teşkil eden talk numunesi ile ilgili kimyasal analizler Kanada'da bulunan ACME firması Analitik Laboratuvarlarında X-Işını Flüoresans Spektroskopisi (XRF) yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Mineralojik analiz işlemleri ise İstanbul Üniversitesi Teknoloji Transfer Merkezi ve İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde, X-Işını kırınım difraksiyonu (XRD) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüvenan talk numunesinin kimyasal analiz ve mineralojik analiz sonuçları sırasıyla Tablo 4.1, mikroflotasyon deneylerinde kullanılan ürünün XRD kırınım deseni Şekil 4.1'de ve talkın DTA-TG analiz sonucu Şekil 4.2'de verilmiştir.

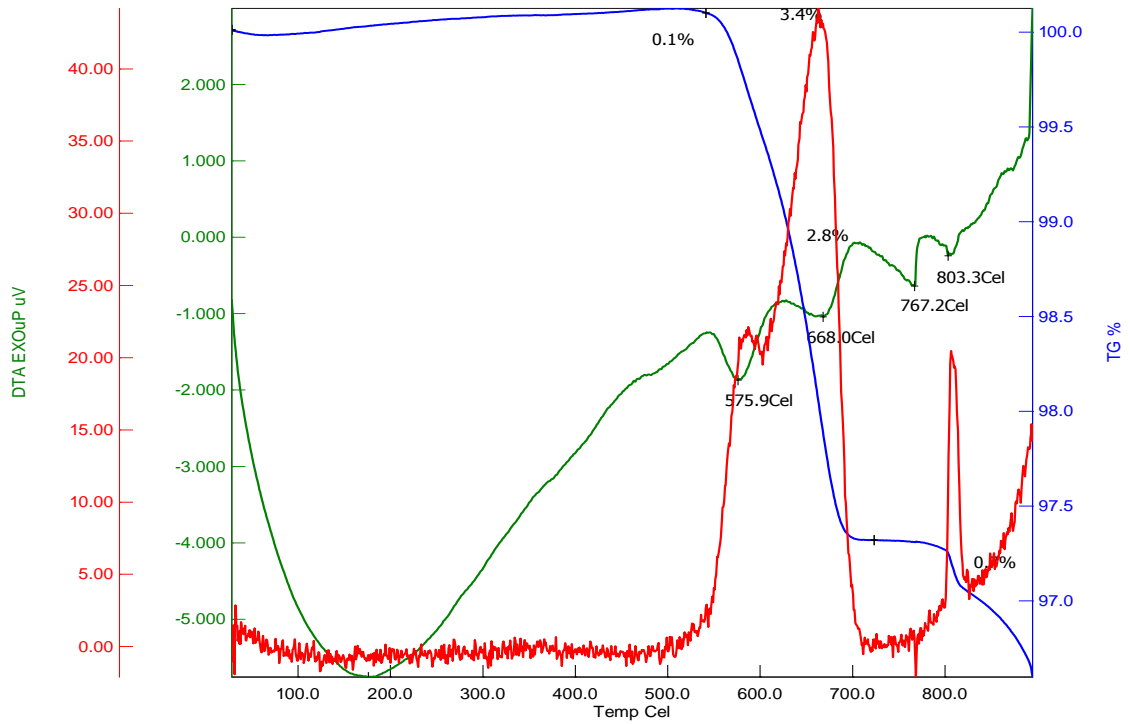
**Tablo 4. 1:** Talkın kimyasal analizi.

<b>Bileşen</b>	<b>Miktar, %</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	59,35
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,90
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	0,41
<b>CaO</b>	1,39
<b>MgO</b>	31,51
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<0,01
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<0,01
<b>MnO</b>	0,02
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,02
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	0,15
<b>Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<0,01
<b>BaO</b>	0,1
<b>LOI</b>	6,12





Şekil 4. 1: Talkın XRD kırınım deseni.



Şekil 4. 2: Talkın DTA-TG analiz sonuçları.



**Şekil 4. 3:** SEIKO SII DTA/TG termal analiz cihazı.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin DTA analizleri SEIKO SII DTA/TG 6300 cihazı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 4.3). Bütün ölçümler 10-20 mg numune kullanılarak, 25-800 °C aralığında 10 °C /dk ısıtma hızında N<sub>2</sub> gazı ile gerçekleştirilmiştir. Talk numunelerinin DTA ve TG analizlerinden elde edilen pikler Şekil 4.2’de verilmiştir.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi 500-700 °C arasında meydana gelen %3,4 ağırlık kaybı talkın kristal suyunu kaybetmesinden kaynaklanmaktadır.

#### **4.2. BOYUT ANALİZİ**

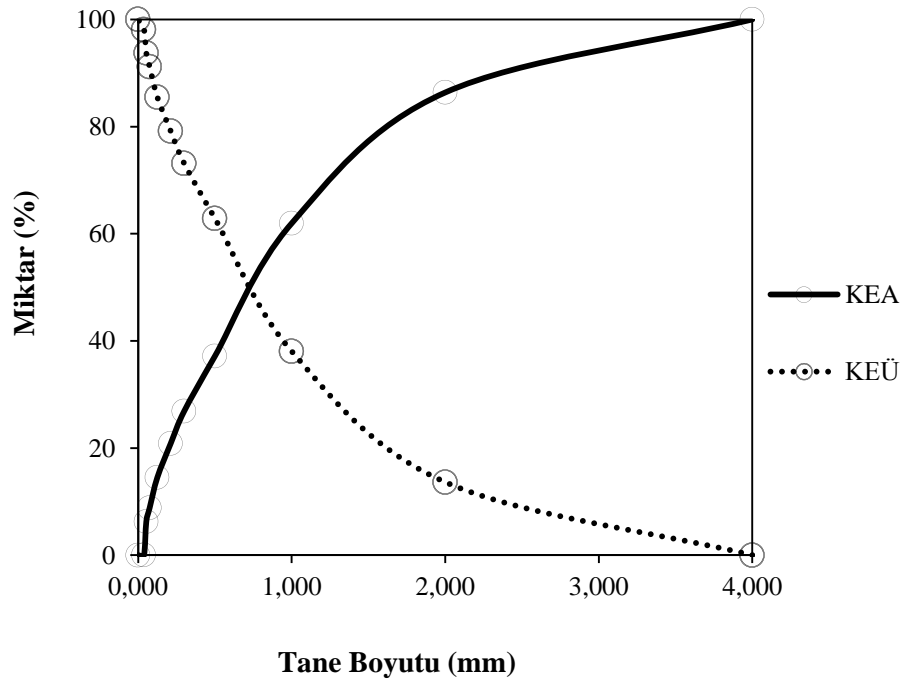
Deneylerde kullanılan talk numunesine elek seti sarsma cihazı kullanılarak yaş eleme yapılmıştır.

Tablo 4.2’de belirtilen elek açıklık boyutları kullanılarak yapılan eleme sonucu elde edilen her elek üstü ve elek altı numune kurutulularak tartılmış ve talkın elek analizi sonucuna ulaşılmıştır.

Şekil 4.4’te ise elde edilen sonuçlara bağlı olarak talkın kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği verilmiştir.

**Tablo 4. 2:** Elek analizi sonucu.

ELEK AÇIKLIĞI			Miktar (g)	Miktar (%)	KEA (g)	KEÜ (g)	KEA (%)	KEÜ (%)
+	4.000	mm	0			0		0
-	4.000	+ 2.000	mm	17.06	13.63	125.17	17.06	100.00
-	2.000	+ 1.000	mm	30.57	24.42	108.11	47.63	86.37
-	1.000	+ 0.500	mm	31.04	24.80	77.54	78.67	61.95
-	0.500	+ 0.300	mm	12.84	10.26	46.5	91.51	37.15
-	0.300	+ 0.212	mm	7.57	6.05	33.66	99.08	26.89
-	0.212	+ 0.125	mm	7.93	6.34	26.09	107.01	20.84
-	0.125	+ 0.075	mm	7.11	5.68	18.16	114.12	14.51
-	0.075	+ 0.053	mm	3.21	2.56	11.05	117.33	8.83
-	0.053	+ 0.038	mm	5.51	4.40	7.84	122.84	6.26
-	0.038	+ 0.000	mm	2.33	1.86	2.33	125.17	0.02
-	0.000		mm	0		0		0.00
TOPLAM			125.17					

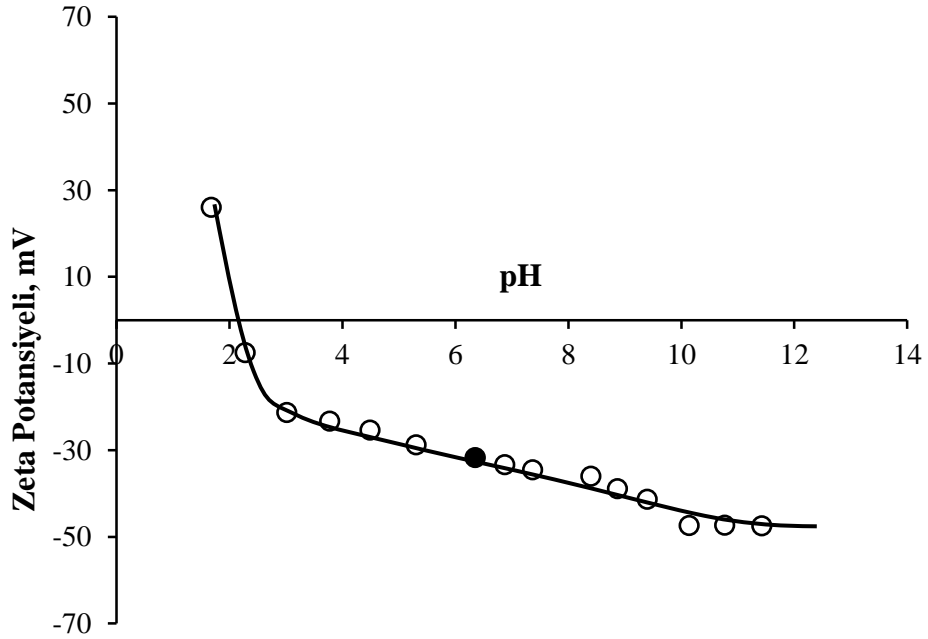
**Şekil 4. 4:** Talkın kümülatif elek altı ve elek üstü analizinin grafiği.

### 4.3. ELEKTROKİNETİK ÖZELLİKLER

Bilindiği üzere flotasyon işlemlerinde mineral tanelerinin elektrokinetik özellikleri büyük bir öneme sahiptir. Bu bakımdan mikro flotasyon deneylerine başlamadan önce talk'ın elektrokinetik özelliklerinin ortaya konmuştur.

Talk mineralinin elektrokinetik özelliklerinin belirlenmesi için pH'a bağlı zeta potansiyel ölçümleri gerçekleştirilmiş ve zeta profili ortaya konmuştur (Şekil 4.5).

Şekil 4.5'de görüldüğü gibi talkın doğal pH değerlerinde -30 mV civarında olan zeta potansiyeli, HCl ilave etmek suretiyle oluşturulan asidik koşullarda azalarak pH 2,4 civarında sıfır yük noktasına erişilmiş, daha asidik koşullarda ise talk yüzeyleri işaret değiştirerek pozitif (+) olmuştur. NaOH kullanılarak oluşturulan bazik şartlarda ise, zeta potansiyeli negatif yönde -45 mV'a kadar sürekli artış göstermektedir. Genel olarak güvenilir zeta potansiyeli ölçüm aralığı olan pH 3-12 arasında talk tipik bir sulu silikat gibi davranış sergilemektedir.

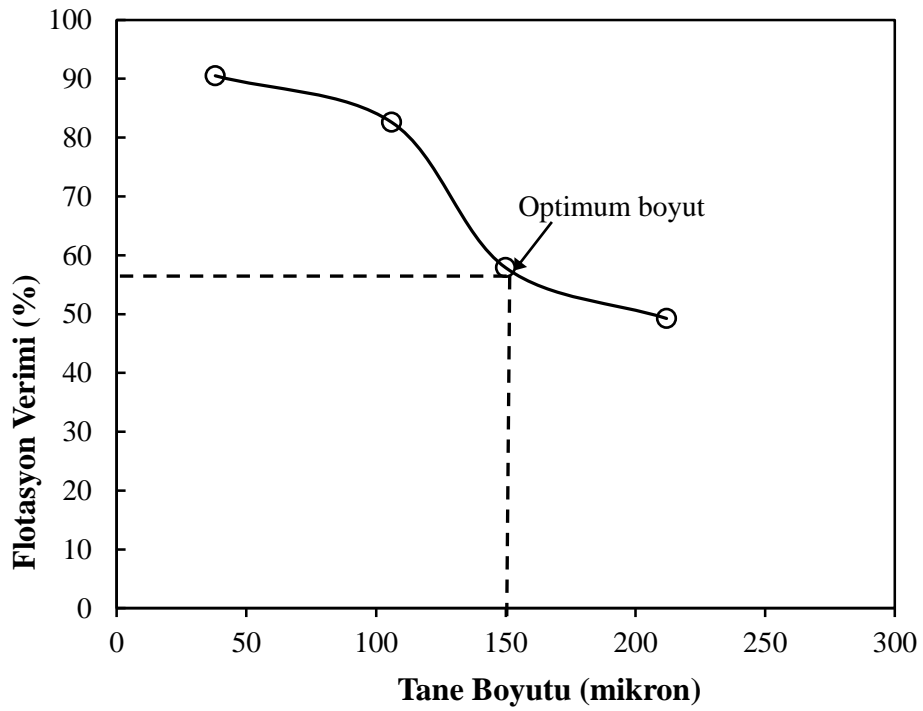


Şekil 4. 5: Talkın pH'a bağlı zeta profili.

#### 4.4. MİKRO FLOTASYON OPTİMİZASYON DENEYLERİ

##### 4.4.1. Optimum Tane Boyutu Belirleme Deneyleri

Tane boyutu belirleme deneyleri, yapılan literatür taramaları sonucu belirlenen boyutlarla (212  $\mu\text{m}$ , 150  $\mu\text{m}$ , 106  $\mu\text{m}$  ve 38  $\mu\text{m}$ ) gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde kullanılan hava miktarı 50 ml/dak olarak sabit tutulmuştur. Yapılan bu optimizasyon deneylerinde kullanılan süspansiyonlar 200 ml'de %1 PKO olacak şekilde ultra saf su ile hazırlanmıştır. Süspansiyonlar, önce manyetik karıştırıcıda 5 dk daha sonra da flotasyon hücresi içinde 2 dk kondisyonlandırılmıştır.

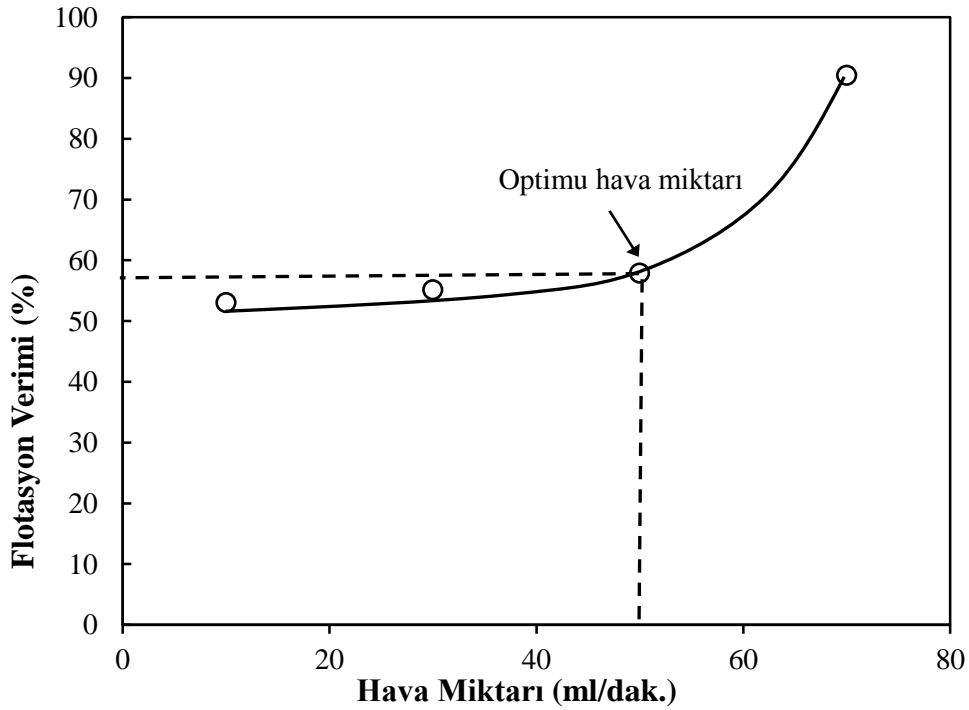


Şekil 4. 6: Talkın tane boyutuna bağlı flotasyon verimi grafiği.

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi talkın flotasyon verimi -150+106  $\mu\text{m}$  boyutundan sonra %50'nin de altına düşmektedir. Bu yüzden optimum tane boyutu -150+106  $\mu\text{m}$  olarak belirlenmiştir. Literatüre bakıldığında belirlenen boyutta bir uyumsuzluk görülmemiştir.

#### 4.4.2. Optimum Hava Miktarı Belirleme Deneyleri

Bu deneyler optimum tane boyutu belirlendikten sonra gerçekleştirilmiştir. -150+106  $\mu\text{m}$  talk ile 200ml %1 PKO'da süspansiyonlar hazırlanmıştır. Süspansiyonlar manyetik karıştırıcıda 5 dk, flotasyon hücresinde 2 dk kondisyonlandıktan sonra deneyler; dakikada 10, 30, 50 ve 70  $\text{cm}^3/\text{dk}$  hava verilerek yapılmıştır.



Şekil 4. 7: Talkın hava miktarına bağlı flotasyon verimi grafiği.

Talkın mikro flotasyon deneyleri için optimum hava miktarı 50  $\text{cm}^3/\text{dk}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 4.7).

Bu deneylerden elde edilen veriler, daha sonra gerçekleştirilen tuzlu su deneylerinde baz olarak kabul edilerek tane boyutu -150+106  $\mu\text{m}$ , hava miktarı 50  $\text{cm}^3/\text{dk}$  olarak sabit tutulmuştur.

#### 4.5. SODYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ

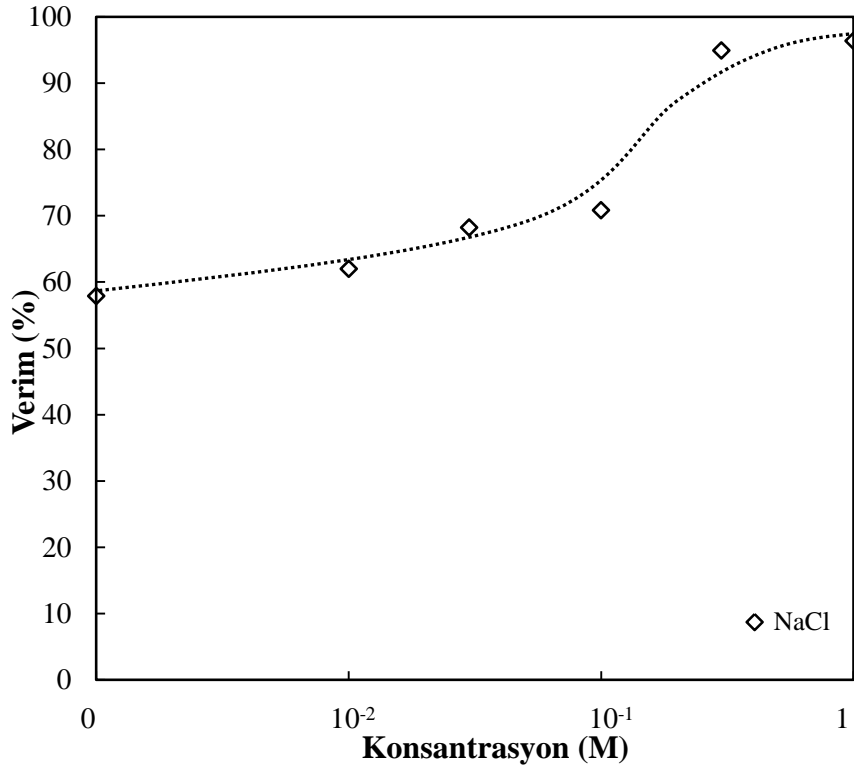
Deneyisel çalışmalarda kullanılan sodyum klorür tuzu (NaCl) analitik kalitede (MERCK) olup >%99 saflıktadır.

#### 4.5.1. Mikro Flotasyon Deneyleri

Optimum tane boyutu ve optimum hava miktarı belirlendikten sonra gerçekleştirilen mikro-flotasyon deneyleri doğal pH'da ve %1 PKO'da yapılmıştır. Deneyler, farklı tuzların flotasyon verimi üzerindeki etkisini görmek için  $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M konsantrasyonlarında hazırlanan NaCl tuz çözeltileri içerisinde hiçbir kollektör ve köpürtücü kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.3 ve Şekil 4.8'de NaCl tuzu ile farklı konsantrasyonda hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir.

**Tablo 4. 3:** NaCl varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları.

Konsantrasyon, M	Verim, %
$10^{-2}$	61,98
$3 \times 10^{-2}$	68,21
$10^{-1}$	70,83
$3 \times 10^{-1}$	94,92
1	96,35



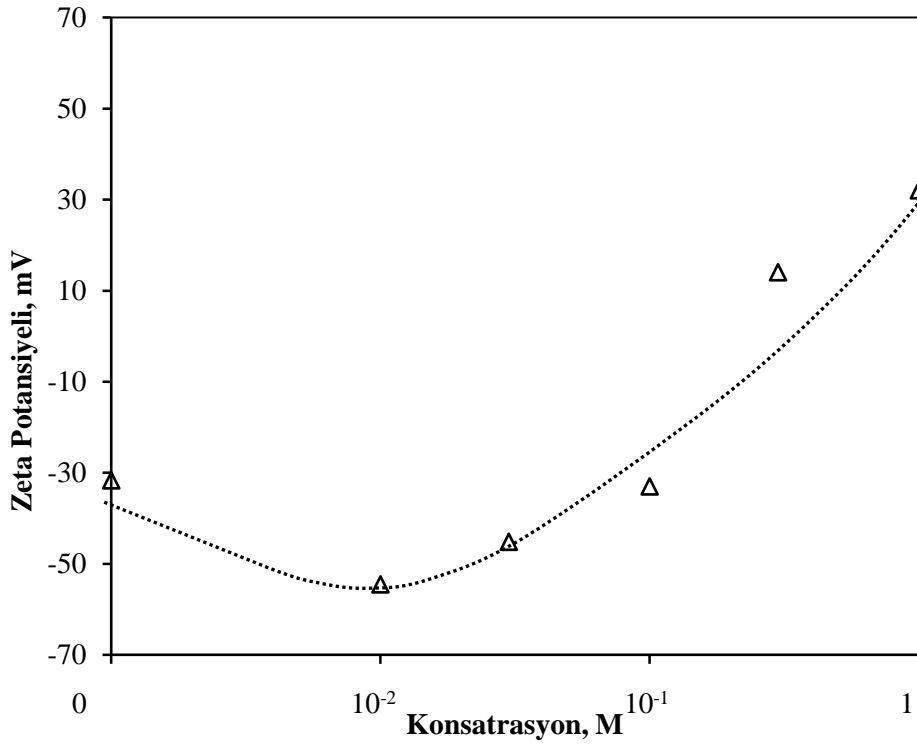
**Şekil 4. 8:** NaCl konsantrasyonunun talkın mikro flotasyonuna etkisi.

Şekil 4.8'de görüldüğü gibi konsantrasyon artışıyla birlikte flotasyon veriminde de artış olduğu gözlemlenirken tuz konsantrasyonunun 1M'ın üzerine çıktığı durumda yüzme verimine etkili olmadığı görülmektedir. Deneylelerden elde edilen yüzen ve batan ürünler incelendiğinde özellikle  $10^{-1}$  M konsantrasyonunda selektif bir ayırım görülmüş ve bu konsantrasyon optimum nokta olarak belirlenmiştir. Sadece saf su ve talk kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda verim %57,87 olarak elde edilmiş ve konsantrasyon-verim grafiği bu değer 0 (sıfır) noktası kabul edilerek çizilmiştir.

#### 4.5.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel ölçümleri için %1 katı oranı sabit olmak koşulu ile NaCl tuzu ile 5 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M) süspansiyonlar hazırlanmış ve doğal pH değerlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9'da doğal pH 'da yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır.





Şekil 4. 9: Talkın NaCl konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi.

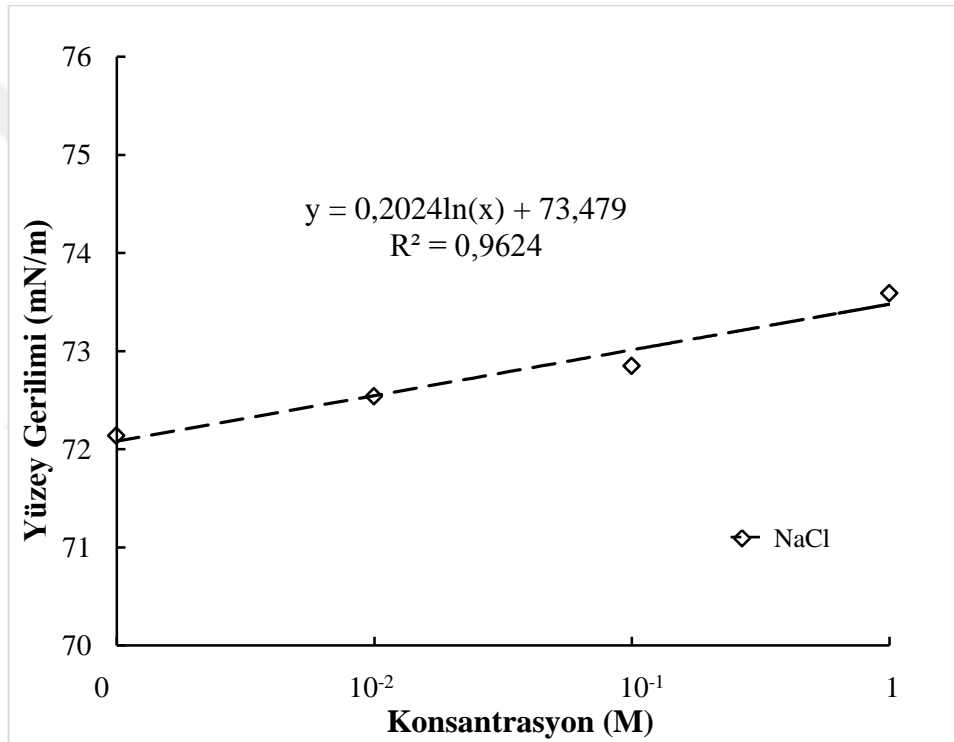
Şekil 4.9’da görüldüğü gibi talk mineralinin zeta potansiyeli, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın baskılanmasıyla stabil olmayan bölgeye geçmiştir. NaCl tuzunun zeta potansiyeli çok fazla etkilemediği, ancak tuz konsantrasyonunun  $10^{-1}$  M’ın üzerine çıktığında sıfır yük noktasına ulaşılabildiği de görülmektedir.

#### 4.5.3. Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Yüzey gerilimi ölçümlerine ilk olarak saf suyun yüzey gerilimi ölçülerek başlanılmış ve literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çok sayıda kontrol ölçümler ile 72,14 mN/m olarak elde edilen saf suyun yüzey gerilimi sonuçları konsantrasyon-yüzey gerilimi grafiğinde başlangıç noktası olarak kabul edilmiş ve çizilen eğrinin  $R^2$  si hesaplanarak grafiğe eklenilmiştir. Mikro-flotasyon ve zeta potansiyelden farklı olarak 3 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) gerçekleştirilen talkın NaCl tuzu varlığında yüzey gerilimi ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.4 ve Şekil 4.10’da verilmiştir.

**Tablo 4. 4:** NaCl konsantrasyonuna bağı yüzey gerilimi ölçümleri.

Konsantrasyon, M	Yüzey Gerilimi, mN/m
$10^{-2}$	72,54
$10^{-1}$	72,85
1	73,59

**Şekil 4. 10:** Talkın NaCl konsantrasyonuna bağı yüzey gerilimi değişimi.

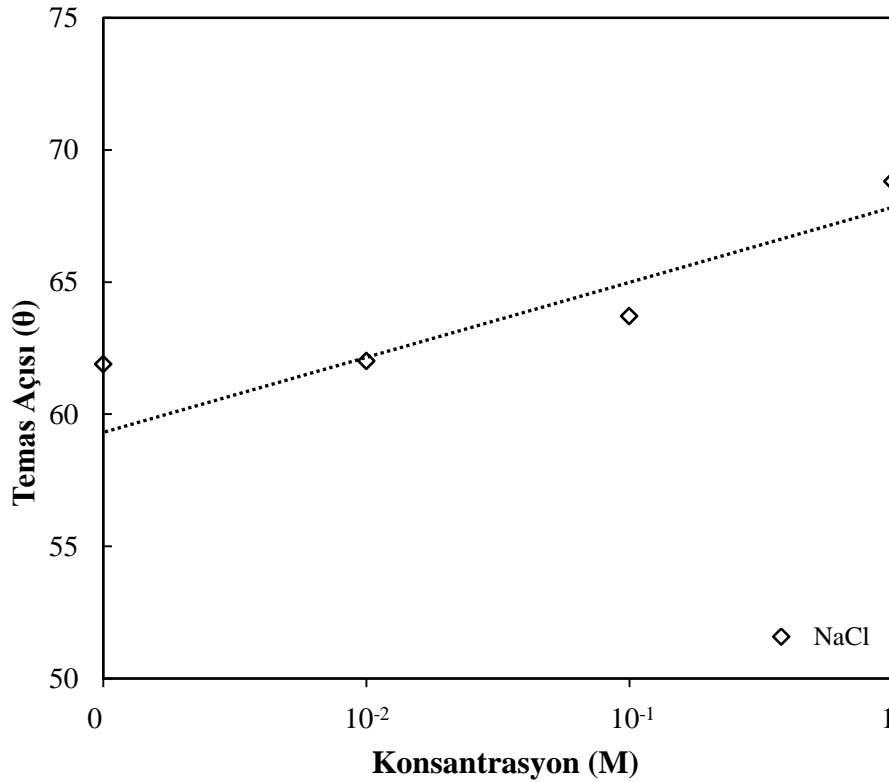
Şekil 4.10'da görüldüğü üzere artan NaCl konsantrasyonuna bağı olarak talkın yüzey gerilimi sonuçlarında büyük bir miktarda artış gözlemlenmemiştir. Çıkan bu sonuçların yapılan diğer ölçümleri desteklediği de görülmektedir.

#### 4.5.4. Temas Açısı Ölçümleri

Temas açısı ölçümlerinde kullanılmak üzere kristal formdaki iri talk numunelerinden hızar yardımıyla parçalar kesilmiş ve parlatılmıştır. Hazırlanan parlak kesitler ile önce saf su ölçümü, ardından da deneylerde kullanılan NaCl tuzunun belirlenen konsantrasyonlarındaki

( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu ölçümlerde KSV Attension Theta Lite ölçüm cihazı kullanılmıştır. 1 M'lık stok çözeltiler seyreltilmek suretiyle gerekli konsantrasyonda 50 ml'lik çözeltiler hazırlanarak ölçümler parlak kesit numuneleriyle gerçekleştirilmiştir.

Saf suyun temas açısı ölçümü 61,89  $\theta$  bulunarak bundan sonraki deneylerde bu değer sıfır (0) noktası kabul edilmiş ve grafik çizimlerinde de dikkate alınmıştır.



**Şekil 4. 11:** Talkın NaCl konsantrasyonuna bağlı temas açısı değişimi.

Şekil 4.11'de talk mineralinin NaCl tuzunun konsantrasyon artışına bağlı olarak temas açısı değişim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talkın temas açısının artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, çıkan sonuçların yapılan diğer ölçüm ve deneyleri desteklediği görülmektedir. Ayrıca literatüre uyumu dikkate alındığında hidrofob olan bir mineralin temas açısının, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak belirli ölçüde arttığı da bilinmektedir.

#### 4.6. POTASYUM KlorÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Deneysel çalışmalarda kullanılan potasyum klorür tuzu (KCl) analitik kalitede (MERCK) olup >%99 saflıktadır.

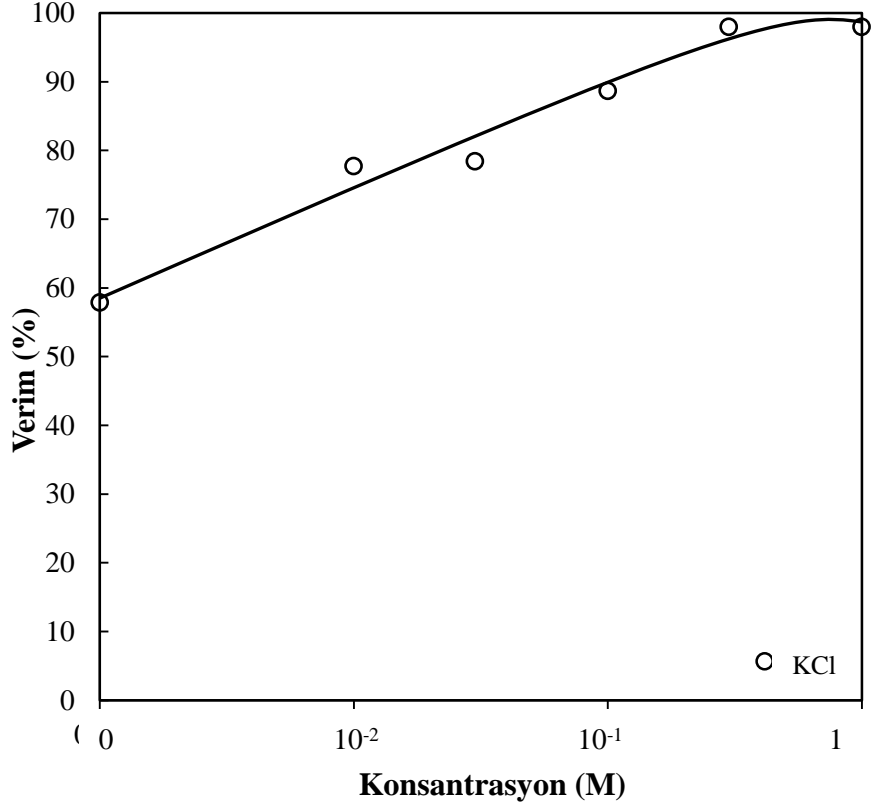
##### 4.6.1. Mikro Flotasyon Deneyleri

Optimum tane boyutu ve optimum hava miktarı belirlendikten sonra gerçekleştirilen mikro-flotasyon deneyleri doğal pH'da ve %1 PKO'da yapılmıştır. Deneyler, farklı tuzların flotasyon verimi üzerindeki etkisini görmek için  $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M konsantrasyonlarında hazırlanan KCl tuz çözeltileri içerisinde hiçbir kollektör ve köpürtücü kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.5 ve Şekil 4.12'de KCl tuzu ile farklı konsantrasyonda hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir.

Sadece saf su ve talk kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda verim %57,87 olarak elde edilmiş ve konsantrasyon-verim grafiği bu değer 0 (sıfır) noktası kabul edilerek çizilmiştir.

**Tablo 4. 5:** KCl varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları.

Konsantrasyon, M	Verim, %
$10^{-2}$	77,72
$3 \times 10^{-2}$	78,42
$10^{-1}$	88,66
$3 \times 10^{-1}$	97,95
1	97,96

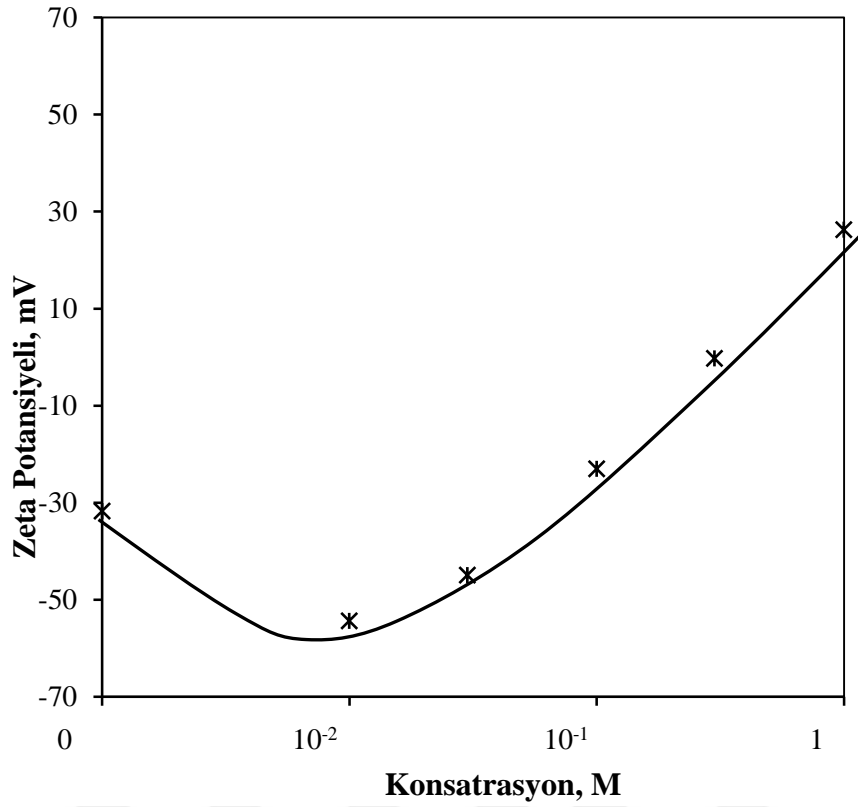


Şekil 4. 12: KCl konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi konsantrasyon artışıyla birlikte flotasyon veriminde de artış olduğu gözlemlenirken tuz konsantrasyonunun 1M’in üzerine çıktığı durumda yüzme verimine etkili olmadığı görülmektedir. Deneylerden elde edilen yüzen ve batan ürünler incelendiğinde özellikle  $10^{-1}$  M konsantrasyonunda selektif bir ayırım görülmüş ve bu konsantrasyon optimum nokta olarak belirlenmiştir.

#### 4.6.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel ölçümleri için %1 katı oranı sabit olmak koşulu ile KCl tuzu ile 5 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M) süspansiyonlar hazırlanmış ve doğal pH değerlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.13’de doğal pH ‘da yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 4.13: Talkın KCl konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi.

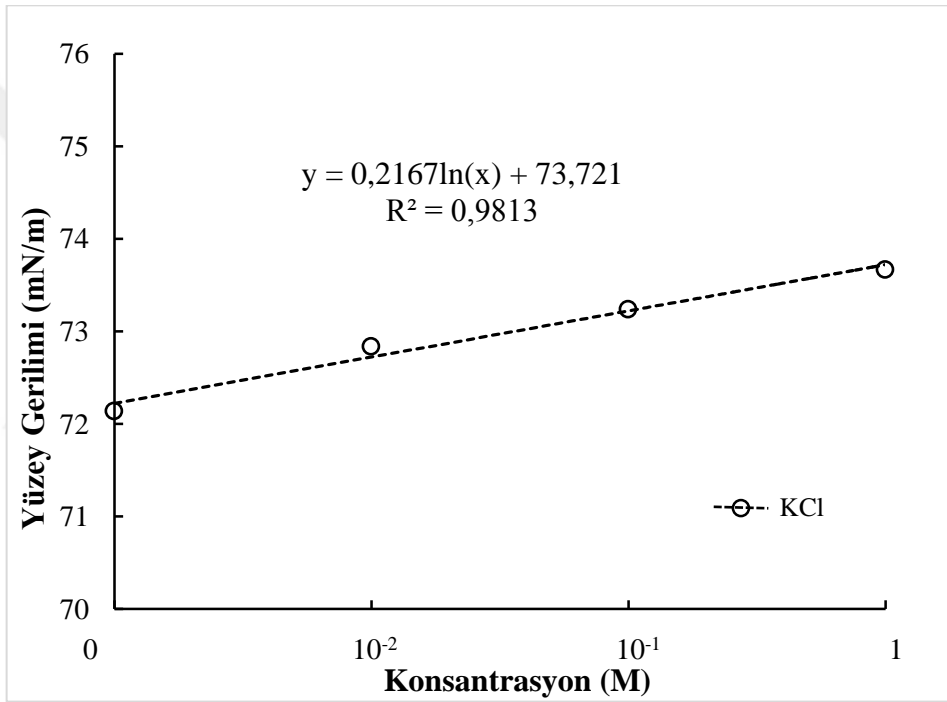
Şekil 4.13’de görüldüğü gibi talk mineralinin zeta potansiyeli, tuz konsantrasyonunun artmasına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın baskılanmasıyla stabil olmayan bölgeye geçmiştir. KCl tuzunun zeta potansiyeli çok fazla etkilemediği, ancak tuz konsantrasyonunun  $10^{-1}$  M’ın üzerine çıktığında sıfır yük noktasına ulaşılabildiği de görülmektedir.

#### 4.6.3. Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Yüzey gerilimi ölçümlerine ilk olarak saf suyun yüzey gerilimi ölçülerek başlanılmış ve literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çok sayıda kontrol ölçümler ile 72,14 mN/m olarak elde edilen saf suyun yüzey gerilimi sonuçları konsantrasyon-yüzey gerilimi grafiğinde başlangıç noktası olarak kabul edilmiş ve çizilen eğrinin  $R^2$  si hesaplanarak grafiğe eklenilmiştir. Mikro-flotasyon ve zeta potansiyelden farklı olarak 3 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) gerçekleştirilen talkın KCl tuzu varlığındaki yüzey gerilimi ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.6 ve Şekil 4.14’de verilmiştir.

**Tablo 4. 6:** KCl konsantrasyonuna bağı yüzey gerilimi ölçümleri.

Konsantrasyon, M	Yüzey Gerilimi, mN/m
$10^{-2}$	72,84
$10^{-1}$	73,24
1	73,64

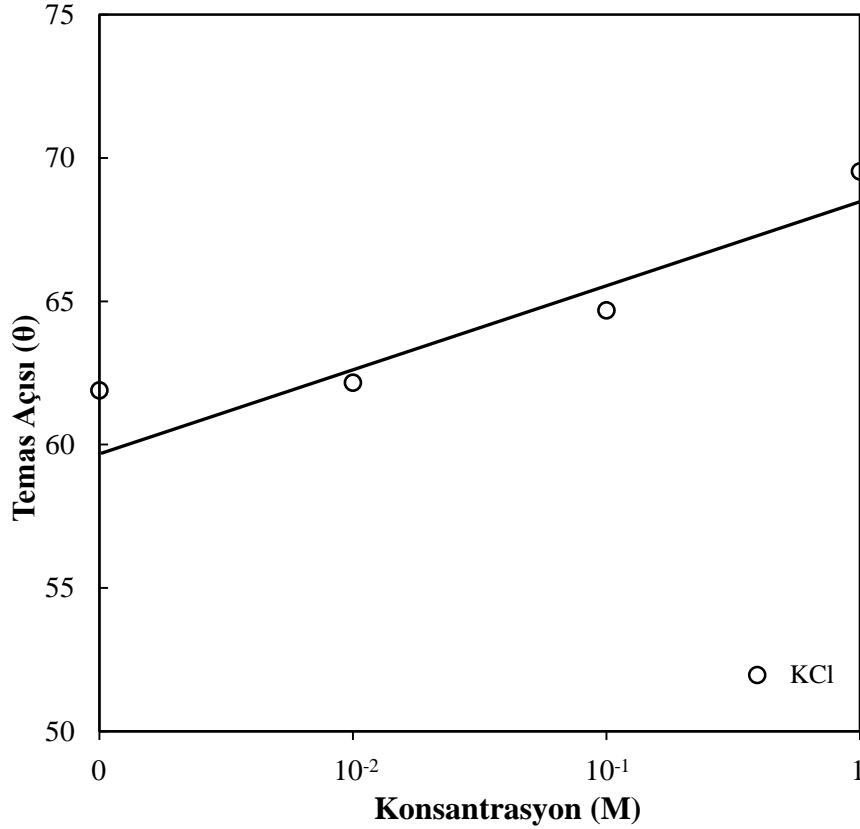
**Şekil 4. 14:** KCl konsantrasyonuna bağı yüzey gerilimi değişimi.

#### 4.6.4. Temas Açışı Ölçümleri

Temas açışı ölçümlerinde kullanılmak üzere kristal formdaki iri talk numunelerinden hışar yardımıyla parçalar kesilmiş ve parlatılmıştır. Hazırlanan parlak kesitler ile önce saf su ölçümü, ardından da deneylerde kullanılan KCl tuzunun belirlenen konsantrasyonlarındaki ( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) temas açışı ölçümleri gerçekteşirilmifitir. Tüm bu ölçümlerde KSV Attension Theta Lite ölçüm cihazı kullanılmıştır. 1 M'lık stok çözeltiler seyreltilmek suretiyle

gerekli konsantrasyonda 50 ml'lik çözeltiler hazırlanarak ölçümler parlak kesit numuneleriyle gerçekleştirilmiştir.

Saf suyun temas açısı ölçümü 61,89  $\theta$  bulunarak bundan sonraki deneylerde bu değer sıfır (0) noktası kabul edilmiş ve grafik çizimlerinde de dikkate alınmıştır.



**Şekil 4. 15:** Talkın KCl konsantrasyona bağlı temas açısı değişimi.

Şekil 4.15'de talk mineralinin KCl tuzunun konsantrasyon artışına bağlı olarak temas açısı değişim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talkın temas açısının artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, çıkan sonuçların yapılan diğer ölçüm ve deneyleri desteklediği görülmektedir. Ayrıca literatüre uyumu dikkate alındığında hidrofob olan bir mineralin temas açısının, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak belirli ölçüde arttığı da bilinmektedir.



#### 4.7. MAGNEZYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Deneysel çalışmalarda kullanılan magnezyum klorür tuzu ( $MgCl_2$ ) analitik kalitede (MERCK) olup  $>99\%$  saflıktadır.

##### 4.7.1. Mikro Flotasyon Deneyleri

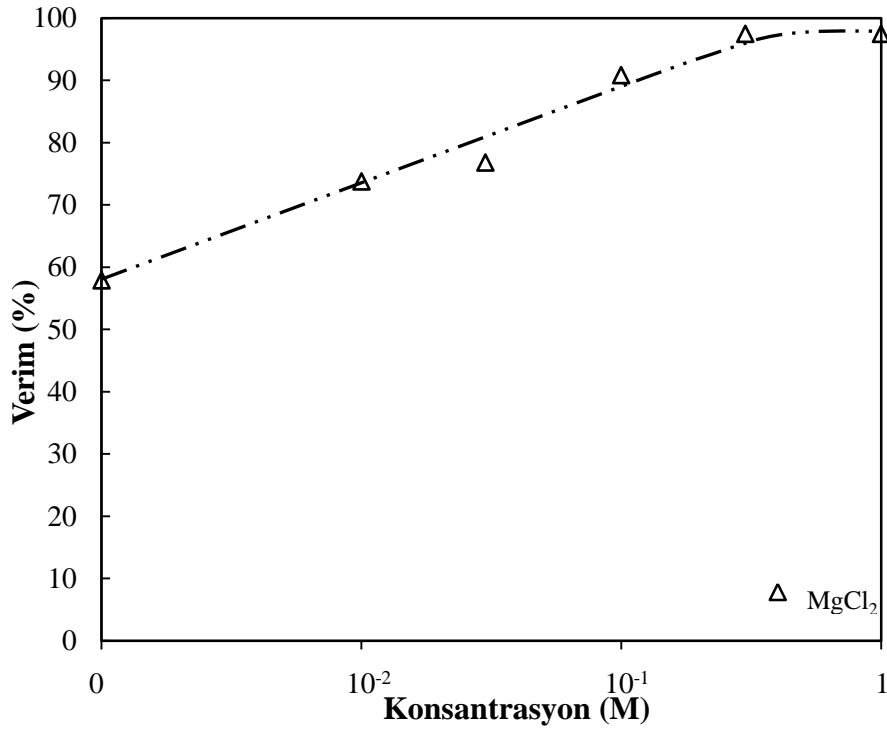
Optimum tane boyutu ve optimum hava miktarı belirlendikten sonra gerçekleştirilen mikro-flotasyon deneyleri doğal pH'da ve %1 PKO'da yapılmıştır. Deneyler, farklı tuzların flotasyon verimi üzerindeki etkisini görmek için  $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M konsantrasyonlarında hazırlanan  $MgCl_2$  tuz çözeltileri içerisinde hiçbir kollektör ve köpürtücü kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.7 ve Şekil 4.16'da  $MgCl_2$  tuzu ile farklı konsantrasyonda hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir.

Sadece saf su ve talk kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda verim %57,87 olarak elde edilmiş ve konsantrasyon-verim grafiği bu değer 0 (sıfır) noktası kabul edilerek çizilmiştir.

**Tablo 4. 7:**  $MgCl_2$  varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları.

Konsantrasyon, M	Verim, %
$10^{-2}$	73,71
$3 \times 10^{-2}$	76,77
$10^{-1}$	90,82
$3 \times 10^{-1}$	97,44
1	97,42

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi konsantrasyon artışıyla birlikte flotasyon veriminde de artış olduğu gözlemlenirken tuz konsantrasyonunun 1M'in üzerine çıktığı durumda yüzme verimine etkili olmadığı görülmektedir. Deneylerden elde edilen yüzen ve batan ürünler incelendiğinde özellikle  $10^{-1}$  M konsantrasyonunda selektif bir ayırım görülmüş ve bu konsantrasyon optimum nokta olarak belirlenmiştir.

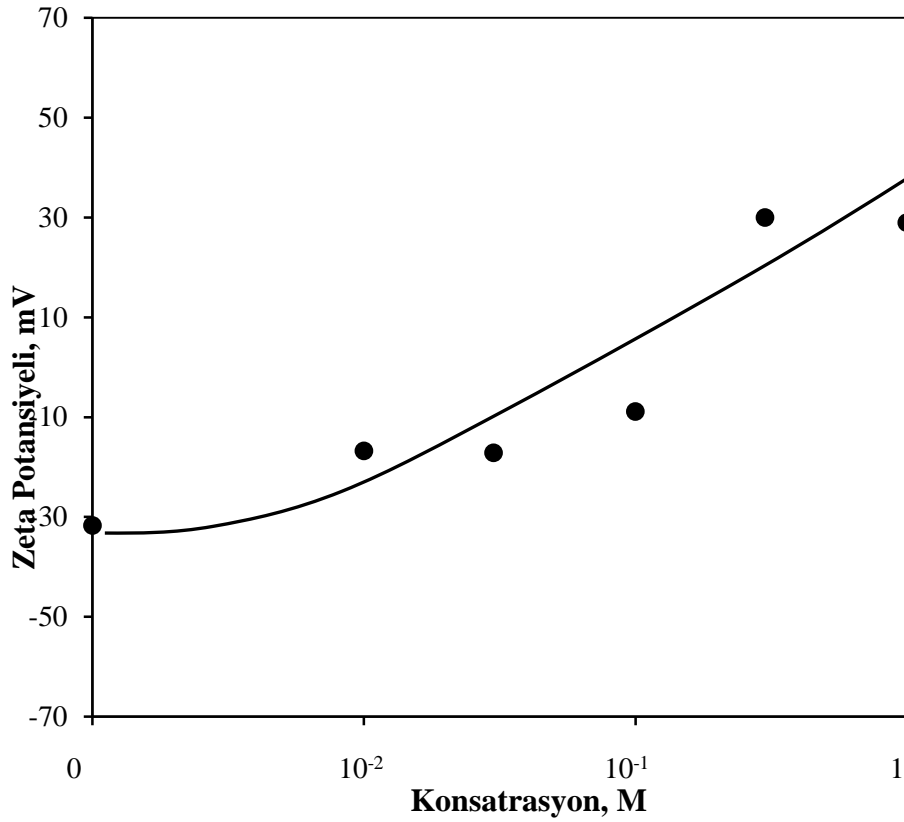


Şekil 4. 16: MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi.

#### 4.7.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel ölçümleri için %1 katı oranı sabit olmak koşulu ile MgCl<sub>2</sub> tuzu ile 5 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M) süspansiyonlar hazırlanmış ve doğal pH değerlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.17’de doğal pH ‘da yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır.

Şekil 4.17’de görüldüğü gibi talk mineralinin zeta potansiyeli, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın baskılanmasıyla stabil olmayan bölgeye geçmiştir. MgCl<sub>2</sub> tuzunun zeta potansiyeli çok fazla etkilemediği, ancak tuz konsantrasyonunun  $10^{-1}$  M’ın üzerine çıktığında sıfır yük noktasına ulaşılabilirdiği de görülmektedir.



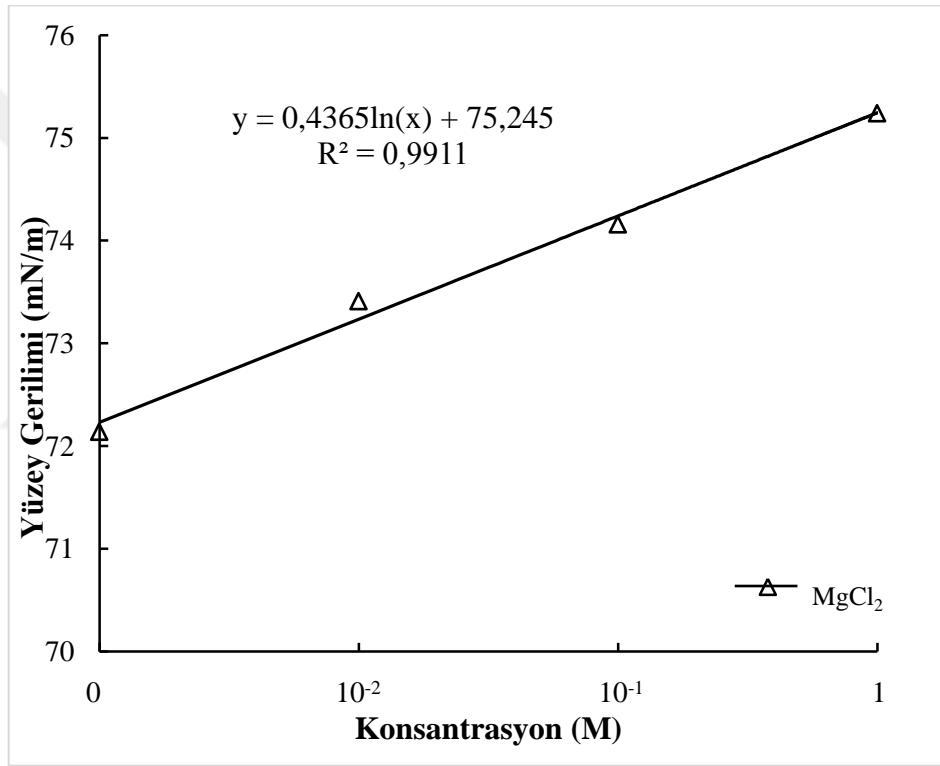
Şekil 4. 17: Talkın  $MgCl_2$  konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi.

#### 4.7.3. Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Yüzey gerilimi ölçümlerine ilk olarak saf suyun yüzey gerilimi ölçülerek başlanılmış ve literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çok sayıda kontrol ölçümler ile 72,14 mN/m olarak elde edilen saf suyun yüzey gerilimi sonuçları konsantrasyon-yüzey gerilimi grafiğinde başlangıç noktası olarak kabul edilmiş ve çizilen eğrinin  $R^2$  si hesaplanarak grafiğe eklenilmiştir. Mikro-flotasyon ve zeta potansiyelden farklı olarak 3 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) gerçekleştirilen talkın  $MgCl_2$  tuzu varlığındaki yüzey gerilimi ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.8 ve Şekil 4.18’de verilmiştir.

**Tablo 4. 8:** MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri.

Konsantrasyon, M	Yüzey Gerilimi, mN/m
10 <sup>-2</sup>	73,41
10 <sup>-1</sup>	74,16
1	75,24

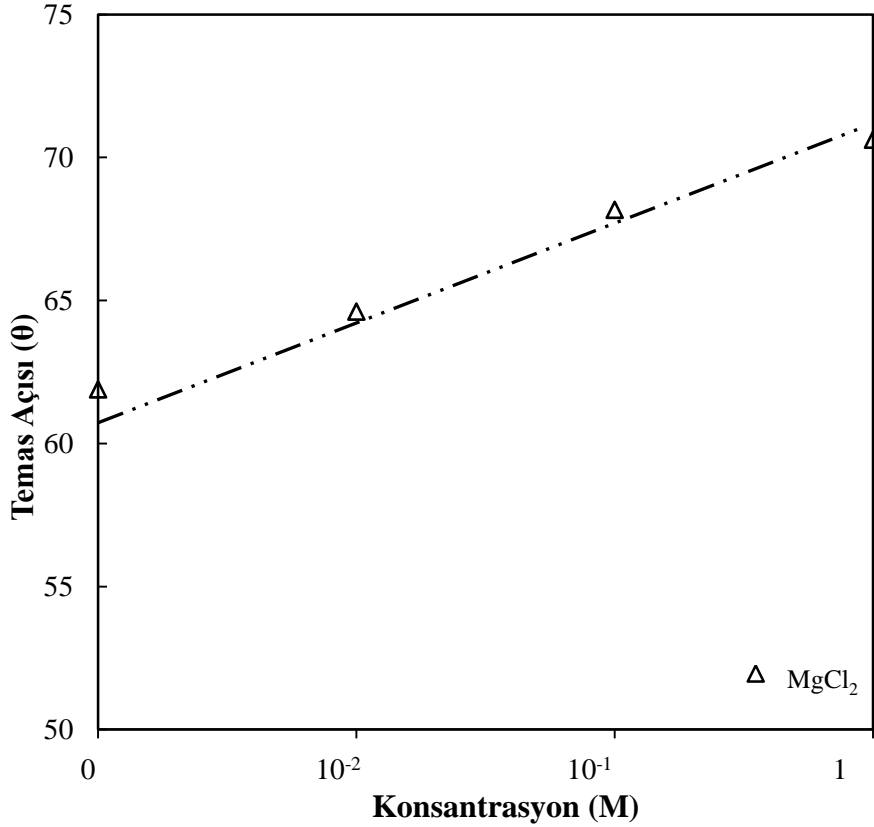
**Şekil 4. 18:** MgCl<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi.

#### 4.7.4. Temas açısı Ölçümleri

Temas açısı ölçümlerinde kullanılmak üzere kristal formdaki iri talk numunelerinden hızar yardımıyla parçalar kesilmiş ve parlatılmıştır. Hazırlanan parlak kesitler ile önce saf su ölçümü, ardından da deneylerde kullanılan MgCl<sub>2</sub> tuzunun belirlenen konsantrasyonlarındaki (10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-1</sup> M, 1 M) temas açısı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu ölçümlerde KSV Attension Theta Lite ölçüm cihazı kullanılmıştır. 1 M'lık stok çözeltiler seyreltilmek suretiyle

gerekli konsantrasyonda 50 ml'lik çözeltiler hazırlanarak ölçümler parlak kesit numuneleriyle gerçekleştirilmiştir.

Saf suyun temas açısı ölçümü 61,89  $\theta$  bulunarak bundan sonraki deneylerde bu değer sıfır (0) noktası kabul edilmiş ve grafik çizimlerinde de dikkate alınmıştır.



**Şekil 4. 19:** Talkın  $MgCl_2$  konsantrasyonuna bağlı temas açısı değişimi.

Şekil 4.19'da talk mineralinin  $MgCl_2$  tuzunun konsantrasyon artışına bağlı olarak temas açısı değişim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talkın temas açısının artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, çıkan sonuçların yapılan diğer ölçüm ve deneyleri desteklediği görülmektedir. Ayrıca literatüre uyumu dikkate alındığında hidrofob olan bir mineralin temas açısının, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak belirli ölçüde arttığı da bilinmektedir.

#### 4.8. KALSİYUM KLORÜR TUZUNUN YÜZEBİLİRLİĞE ETKİSİ

Deneysel çalışmalarda kullanılan kalsiyum klorür tuzu ( $\text{CaCl}_2$ ) analitik kalitede (MERCK) olup  $>99\%$  saflıktadır.

##### 4.8.1. Mikro Flotasyon Deneyleri

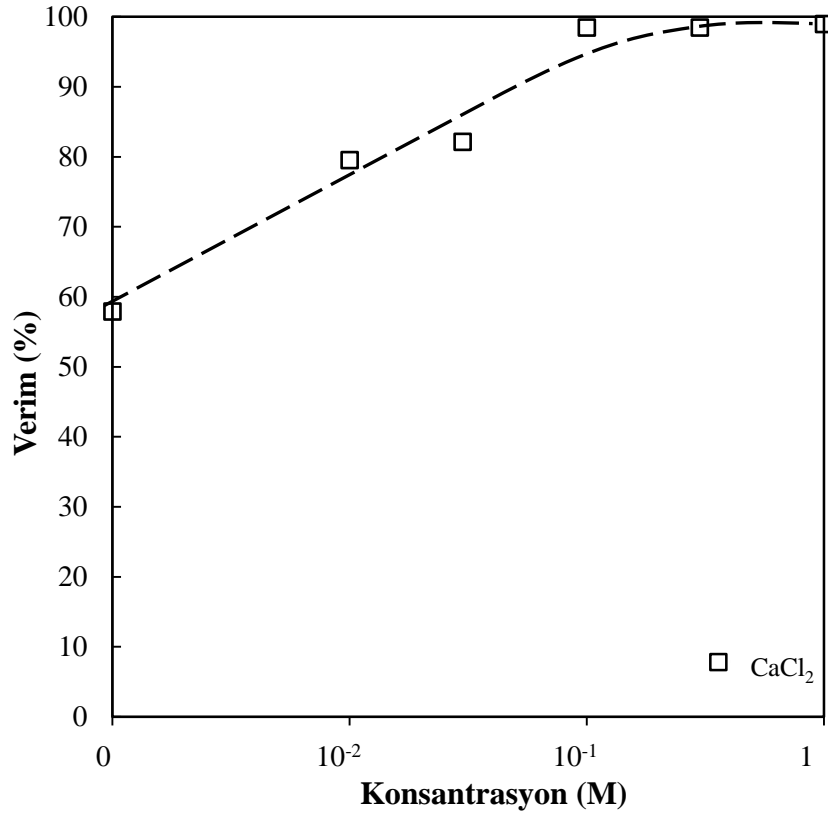
Optimum tane boyutu ve optimum hava miktarı belirlendikten sonra gerçekleştirilen mikro-flotasyon deneyleri doğal pH'da ve %1 PKO'da yapılmıştır. Deneyler, farklı tuzların flotasyon verimi üzerindeki etkisini görmek için  $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M konsantrasyonlarında hazırlanan  $\text{CaCl}_2$  tuz çözeltileri içerisinde hiçbir kollektör ve köpürtücü kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.9 ve Şekil 4.20'de  $\text{CaCl}_2$  tuzu ile farklı konsantrasyonda hazırlanan süspansiyonlar ile yapılan deneylerin sonuçları görülmektedir.

Sadece saf su ve talk kullanılarak gerçekleştirilen flotasyon deneyi sonucunda verim %57,87 olarak elde edilmiş ve konsantrasyon-verim grafiği bu değer 0 (sıfır) noktası kabul edilerek çizilmiştir.

**Tablo 4. 9:**  $\text{CaCl}_2$  varlığında talkın mikro flotasyon sonuçları.

Konsantrasyon, M	Verim, %
$10^{-2}$	79,49
$3 \times 10^{-2}$	82,11
$10^{-1}$	98,45
$3 \times 10^{-1}$	98,45
1	98,95

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi konsantrasyon artışıyla birlikte flotasyon veriminde de artış olduğu gözlemlenirken tuz konsantrasyonunun 1M'in üzerine çıktığı durumda yüzme verimine etkili olmadığı görülmektedir. Deneylerden elde edilen yüzen ve batan ürünler incelendiğinde özellikle  $10^{-1}$  M konsantrasyonunda selektif bir ayırım görülmüş ve bu konsantrasyon optimum nokta olarak belirlenmiştir.

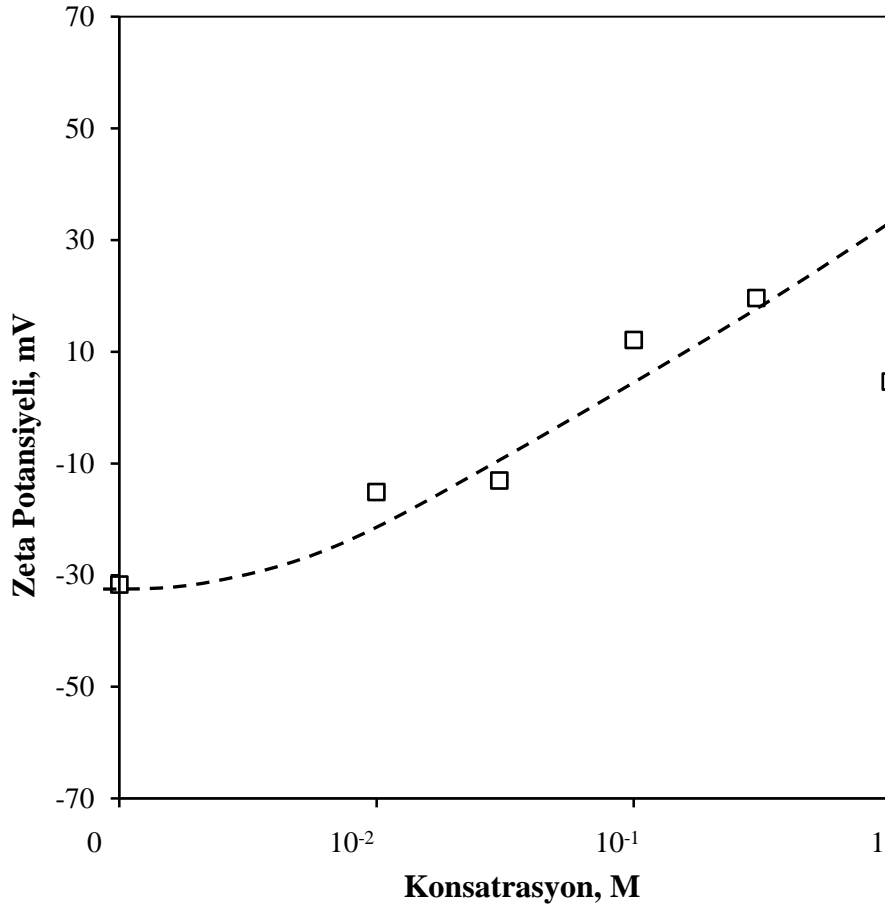


Şekil 4. 20: CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonunun talkın mikro-flotasyon verimine etkisi.

#### 4.8.2. Zeta Potansiyel Ölçümleri

Zeta potansiyel ölçümleri için %1 katı oranı sabit olmak koşulu ile CaCl<sub>2</sub> tuzu ile 5 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $3 \times 10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M,  $3 \times 10^{-1}$  M, 1 M) süspansiyonlar hazırlanmış ve doğal pH değerlerinde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.21’de doğal pH ‘da yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır.

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi talk mineralinin zeta potansiyeli, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak elektriksel çift tabakanın baskılanmasıyla stabil olmayan bölgeye geçmiştir. CaCl<sub>2</sub> tuzunun zeta potansiyeli çok fazla etkilemediği, ancak tuz konsantrasyonunun  $10^{-1}$  M’ın üzerine çıktığında sıfır yük noktasına ulaşılabilirdiği de görülmektedir.



Şekil 4. 21: Talkın  $\text{CaCl}_2$  konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi.

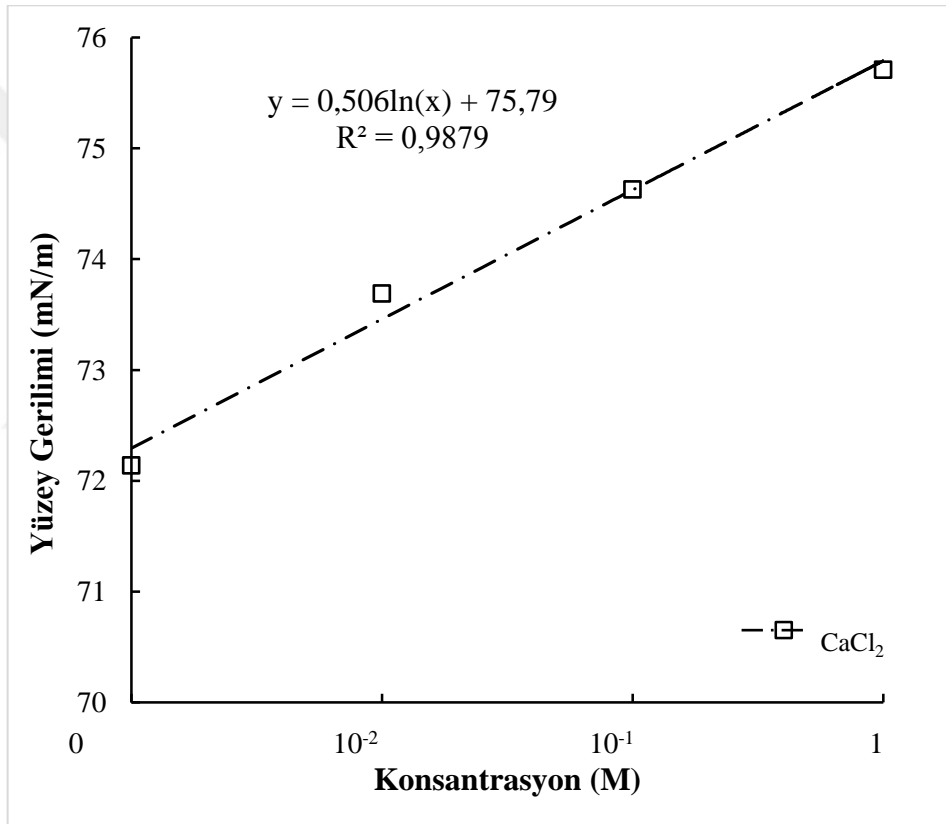
#### 4.8.3. Yüzey Gerilimi Ölçümleri

Yüzey gerilimi ölçümlerine ilk olarak saf suyun yüzey gerilimi ölçülerek başlanılmış ve literatürdeki diğer sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çok sayıda kontrol ölçümler ile 72,14 mN/m olarak elde edilen saf suyun yüzey gerilimi sonuçları konsantrasyon-yüzey gerilimi grafiğinde başlangıç noktası olarak kabul edilmiş ve çizilen eğrinin  $R^2$  si hesaplanarak grafiğe eklenilmiştir. Mikro-flotasyon ve zeta potansiyelden farklı olarak 3 ayrı konsantrasyonda ( $10^{-2}$  M,  $10^{-1}$  M, 1 M) gerçekleştirilen talkın  $\text{CaCl}_2$  tuzu varlığındaki yüzey gerilimi ölçümlerinin sonuçları Tablo 4.10 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.



**Tablo 4. 10:** CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi ölçümleri.

Konsantrasyon, M	Yüzey Gerilimi, mN/m
10 <sup>-2</sup>	73,69
10 <sup>-1</sup>	74,63
1	75,71

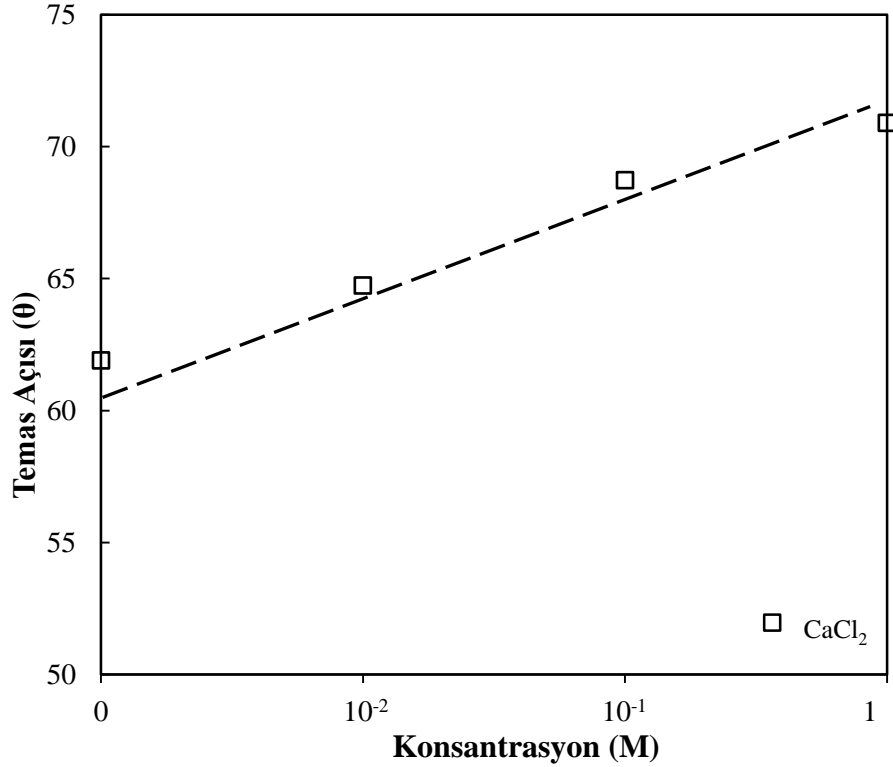
**Şekil 4. 22:** CaCl<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi.

#### 4.8.4. Temas Açışı Ölçümleri

Temas açışı ölçümlerinde kullanılmak üzere kristal formdaki iri talk numunelerinden hışar yardımıyla parçalar kesilmiş ve parlatılmıştır. Hazırlanan parlak kesitler ile önce saf su ölçümü, ardından da deneylerde kullanılan CaCl<sub>2</sub> tuzunun belirlenen konsantrasyonlarındaki (10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-1</sup> M, 1 M) temas açışı ölçümleri gerçekteştirilmiştir. Tüm bu ölçümlerde KSV Attension Theta Lite ölçüm cihazı kullanılmıştır. 1 M'lık stok çözeltiler seyreltilmek suretiyle

gerekli konsantrasyonda 50 ml'lik çözeltiler hazırlanarak ölçümler parlak kesit numuneleriyle gerçekleştirilmiştir.

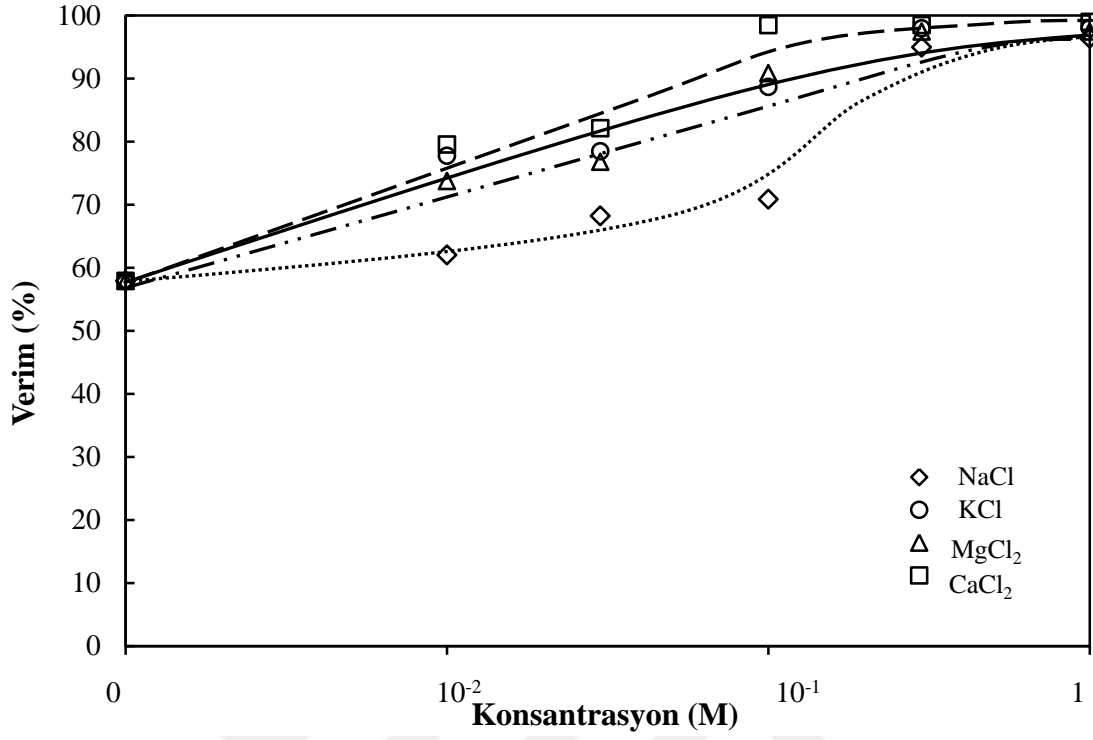
Saf suyun temas açısı ölçümü 61,89  $\theta$  bulunarak bundan sonraki deneylerde bu değer sıfır (0) noktası kabul edilmiş ve grafik çizimlerinde de dikkate alınmıştır.



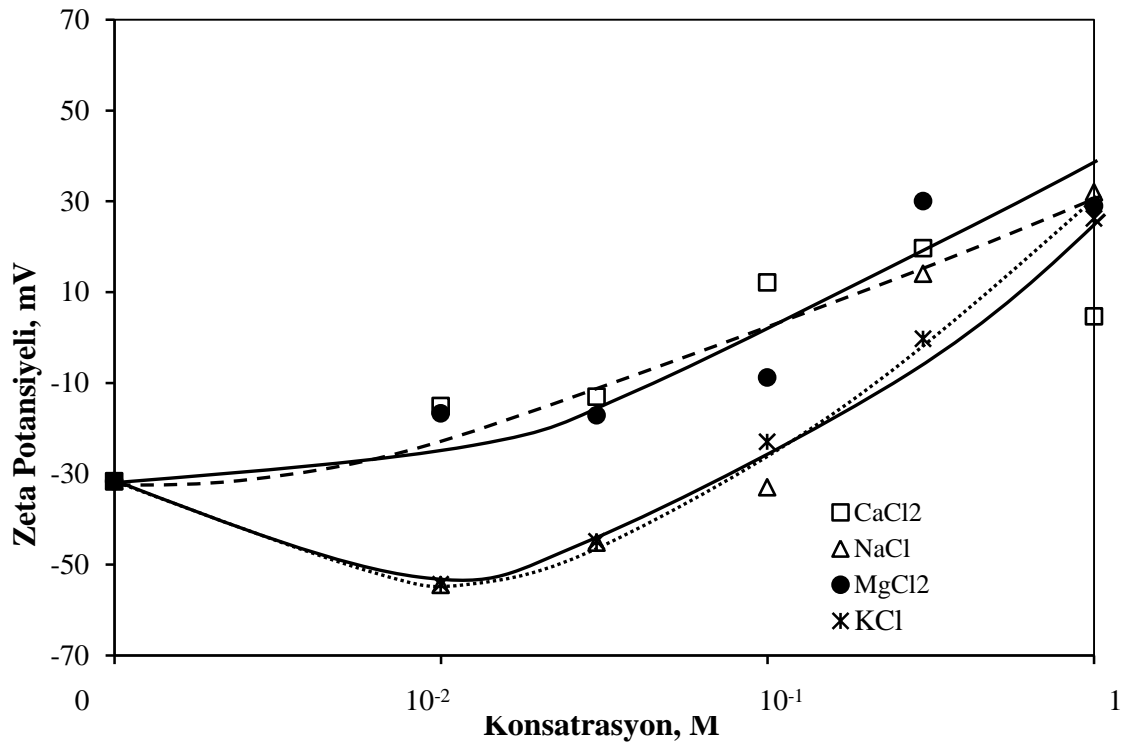
**Şekil 4. 23:** Talkın  $\text{CaCl}_2$  konsantrasyonuna bağlı temas açısı değişimi.

Şekil 4.23'de talk mineralinin  $\text{CaCl}_2$  tuzunun konsantrasyon artışına bağlı olarak temas açısı değişim grafiği verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi talkın temas açısının artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, çıkan sonuçların yapılan diğer ölçüm ve deneyleri desteklediği görülmektedir. Ayrıca literatüre uyumu dikkate alındığında hidrofob olan bir mineralin temas açısının, tuz konsantrasyonunun artışına bağlı olarak belirli ölçüde arttığı da bilinmektedir

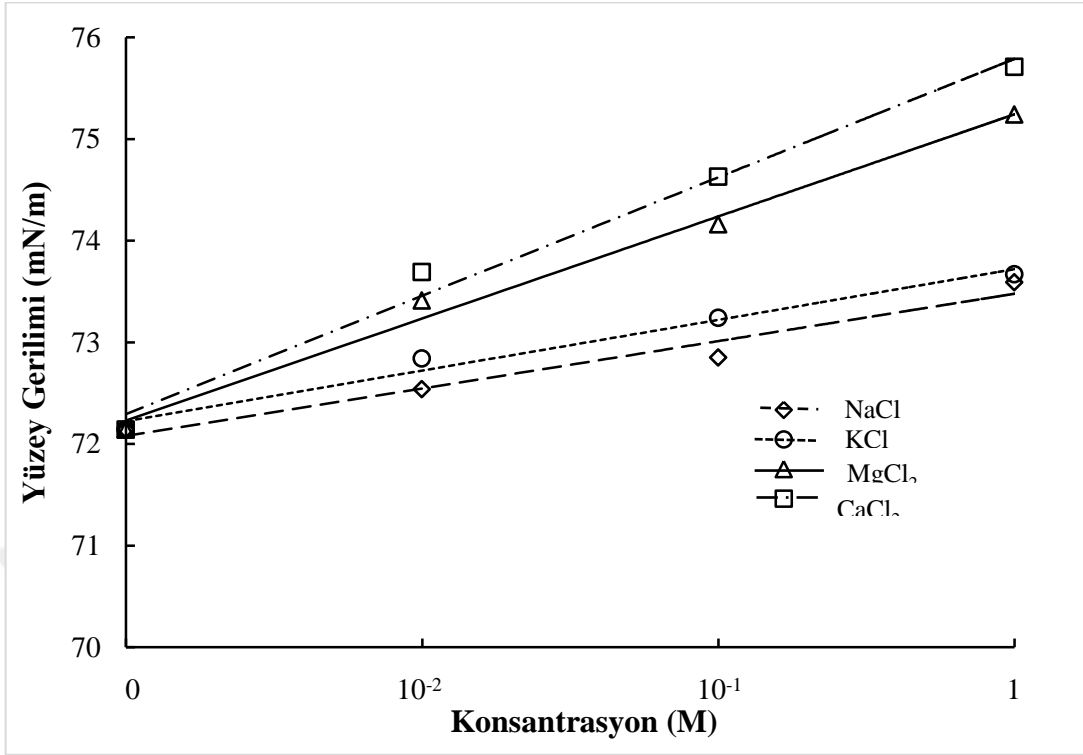
Deneylerde kullanılan 4 farklı tuzun ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ) grafiklerine bir arada bakıldığında;



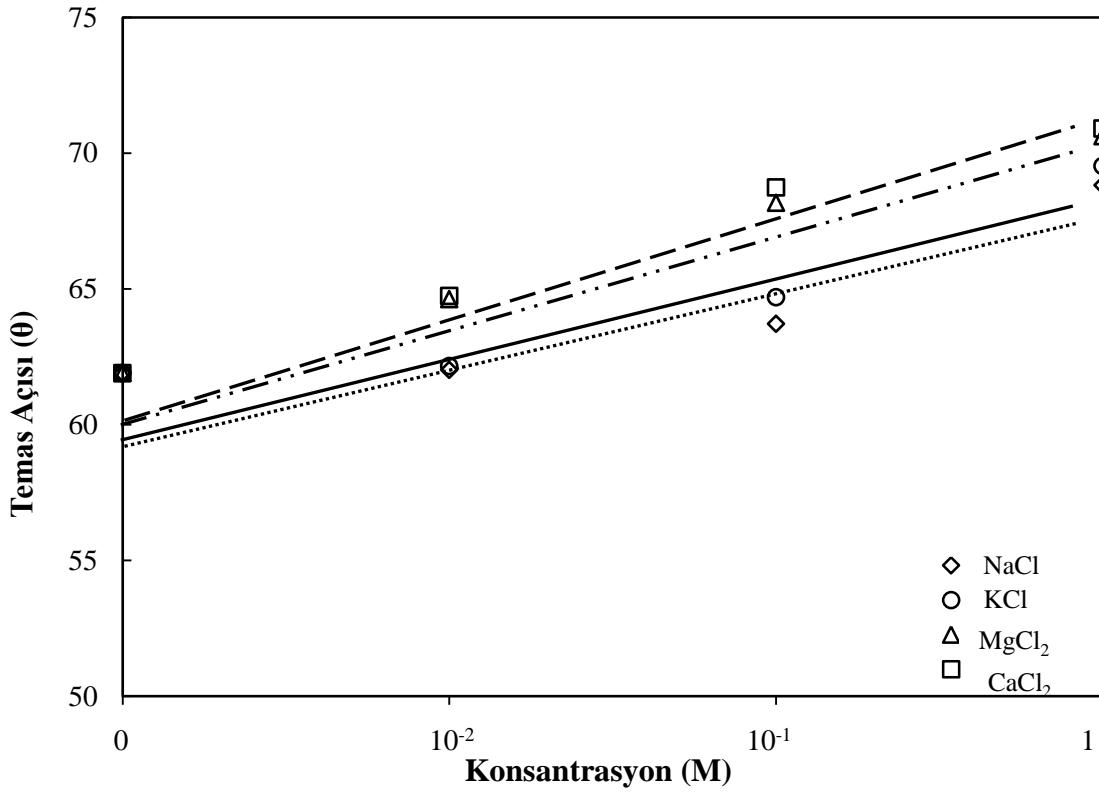
Şekil 4. 24: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı flotasyon verimi.



Şekil 4. 25: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı zeta potansiyel değişimi.



Şekil 4. 26: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı yüzey gerilimi değişimi.



Şekil 4. 27: Talkın farklı tuz konsantrasyonuna bağlı temas açısı değişimi.

Yukarıda verilen grafiklerde de görüldüğü üzere, deneysel çalışmalarda kullanılan çift değerlikli tuzlar yardımıyla oluşturulan tuzlu suların, tek değerlikli tuzlar yardımıyla oluşturulan tuzlu sulara nazaran daha fazla sayıda ince boyutlu kabarcık oluşmasını sağladığı ve böylece flotasyon veriminde artışlar meydana geldiği görülmektedir.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Flotasyonda çözülmüş iyonların solüsyon ve ara yüzeylerini etkileyerek, özellikle yüksek konsantrasyondaki iyonların kabarcıklar ile taneler arasındaki kolloidal etkileşimleri değiştirmesi sebebiyle minerallerin flotasyonunu etkilediği bilinmektedir (Miller vd., 1992; Hancer vd., 2001; Özdemir vd., 2007; Özdemir, 2008; Özdemir vd., 2009). Taşkömürlerinin tuzlu su içerisinde hiçbir flotasyon kimyasalı kullanılmadan yüzdüğü uzun yıllardan beri bilinmektedir. Bu durum kömürün hidrofobik özelliğiyle açıklanabilmektedir. Talk da kömür gibi doğal hidrofobik özelliğe sahip bir mineral olduğundan tuzlu su içerisinde yüzebilmesi mümkün olacağı düşünülmüştür. Bu çalışmada çözülmüş iyonların etkisiyle mikro flotasyon tekniği kullanılarak talkın flotasyon sonuçları incelenmiştir.

Mikro flotasyon deneylerinde en uygun tane boyutunu belirlemek amacıyla %1 PKO'da 200 ml hacimde olacak şekilde 212, 150, 106 ve 38µm tane boyutlarındaki numunelerle hazırlanan süspansiyonlar 50ml/dak basınç altında mikro-flotasyon düzeneği ile flotasyona tabi tutulmuştur. Optimum tane boyutunun belirlendiği deneylerin sonucunda talk için optimum tane boyutu -150+106 µm olarak belirlenmiştir.

Mikro flotasyon deneylerinde kullanılacak optimum hava miktarını belirlemek amacıyla -150+106 µm tane boyutlu talk ile, %1 PKO'da, 200ml hacimli süspansiyonlar sırasıyla 10-30-50-70 ml/dak hava miktarında mikro-flotasyon deneyleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler sonrasında optimum hava miktarının 50 ml/dak olduğu tespit edilmiştir.

Optimizasyon deney sonuçlarının yanı sıra, zeta potansiyeli ölçümleri, temas açısı ölçümleri ve yüzey gerilimi ölçüm sonuçlarında elde edilen veriler de dikkate alınarak talkın tuzlu sular varlığında yüzebilirliğini ortaya kayabilmek amacıyla nihai mikro flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneysel çalışmalarda kullanılan doğal hidrofobik bir mineral olan talk mikro flotasyon tekniğiyle çözülmüş iyonların varlığında göstermiş olduğu yüzebilirlik değerlerinin belirlenmesi amacıyla; %1 PKO'da olacak şekilde, NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> ile 200 ml'lik süspansiyonlar hazırlanmıştır. Deneyler 10<sup>-2</sup> M, 3x10<sup>-2</sup> M, 10<sup>-1</sup> M, 3x10<sup>-1</sup> M, 1 M tuz konsantrasyonlarında gerçekleştirilmiş ve mikro flotasyon düzeneği ile flotasyon

gerçekleştirilmiştir. Flotasyon sonucunda yüzen ve batan ürünler hücrenin yıkanması yoluyla kaplara aktarılmıştır. Tuz çözeltisi ile gerçekleştirilen flotasyon işleminden sonra talk yüzeyinde adsorbe olan tuzun uzaklaştırılması için yıkama işlemi yapılmış ve etüve konularak kurumaya bırakılmıştır. Kurumanın ardından ürünler hassas tartı ile tartılıp % verim değerleri hesaplanılmıştır.

Talkın tuz konsantrasyonuna bağlı olarak parlatılmış kesitlerle gerçekleştirilen temas açısı ölçümleri değerlendirildiğinde bariz oranda olmasa da artan tuz konsantrasyonu sonucu temas açısında da bir artış gözlemlenmiştir.

Talkın zeta potansiyeli NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub> ve CaCl<sub>2</sub> tuzlarının özellikle 10<sup>-1</sup> M ve üzeri konsantrasyonlarında önemli oranda etkilendiği görülmektedir.

Talkın mikro-flotasyon ile yüzdürülmesinde çift değerlikli Mg<sup>+2</sup> ve Ca<sup>+2</sup> tuzlarının verim artışının tek değerlikli Na<sup>+1</sup> ve K<sup>+1</sup> tuzlarına oranla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum talkın kristal yapısının 3 tabakalı bir sulu magnezyum silikat olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Çift değerlikli tuzların iyonik etkisinin tek değerlikli tuzlara oranla daha fazla olması, talk tanesi ile hava kabarcığı arasındaki elektriksel çift tabakayı daha fazla baskılayarak flotasyon veriminde artışa neden olduğunu düşündürmüştür. Ayrıca yüksek tuz konsantrasyonlarında çözülmüş iyonların, kabarcıklar ve tanelerin elektrokinetik davranışlarının etkileyerek elektriksel çift tabakayı baskıladığı ve bununda elektrostatik etkileşimi zayıflattığı bilinmektedir. Dolayısıyla kabarcık tane etkileşimi Özdemir (2009) tarafından da belirtildiği gibi sadece hidrofobik kuvvetten etkilendiği ve elektriksel çift tabakanın bastırılması sonucu olarak da kabarcığın taneye daha kolay yapışması ile flotasyon verimi de artacaktır. Bir diğer yandan deneylerde kullanılan tuzların iyon yarıçaplarının deney sonuçlarına etki ettiği düşünülmüştür. Çift değerlikli iyonların (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>) yarıçaplarının tek değerlikli (Na<sup>+1</sup>, K<sup>+1</sup>) iyonların yarıçaplarından daha küçük olması sebebiyle Yoon (1982), Paulson ve Pugh, (1996), Özdemir (2013) ile uyumlu olarak çift değerlikli iyonlar suyla daha fazla etkileşime girerler. Bunun sonucu olarak, deneylerde kullanılan çift değerlikli tuzlu sular ile tek değerlikli tuzlu sulara nazaran daha yüksek sayıda ince boyutlu kabarcık oluşması sağlanarak flotasyon veriminde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak mikro flotasyon deneylerinden elde edilen sonuçlar, oldukça pahalı olan kimyasalların flotasyonda kullanıma zorunluluğunun ortadan kalkmasını veya kullanım

miktarlarının azalmasını sağlayacağı şeklinde yorumlanmıştır. Ayrıca flotasyonda kullanılan bu kimyasalların çevre verdikleri zararda aşıkardır. Tüm bu kimyasal kullanımın ortadan kalkması veya azalması çevre kirliliğinin bir nebze de olsa azaltılmasına yardımcı olacaktır. Buna ek olarak dünyada hızla tükenen temiz su kaynaklarının flotasyon tesislerinde kullanımı zorunluluğunu ortadan kaldırarak yüksek oranda tuz içeren kuyu suyu kullanımına olanak sağlayacağı düşünülmüştür.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, birçok sistemin tuzlu sular veya deniz suyu içerisinde flotasyon davranışını anlamamıza da yardımcı olacaktır.





## KAYNAKLAR

- Adamson, A. W., Gast, A. P., 1998. *Physical Chemistry of Surfaces*, Wiley, New York.
- Andrade, J. D., Smith, L.M., Gregonis, D.E., 1985. “*Surface and Interfacial Aspects of Biomedical Polymers*”, Vol.1., Surface Chemistry and Physics, Ed. J.D.Andrade, Plenum Pres, pp. 249-292. New York.
- Aarbiter, N., ve HARİS, C. C, 1962. *Flotation machines*, Froth Flotation 50th anniversary volume, (ed: D.W. Fuerstenau), AIMME, New York, pp.347-364.
- Atak, S., 1982. *Flotasyon İlkeleri ve Uygulamaları*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Atak, S., ve Tolun, R., 1994. *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Flotasyon, ed. G.Önal&G.Ateşok, Yurt Madencilik Geliştirme Vakfı Yayını, s.207-295.
- Baysal, B., 2012. *Montmorillonit/Polimer Nanokompozitlerde Fosfonyum Tuzunun Termal Stabilité ve Mekanik Özelliklere Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Bozkurt, M. R., 1969, *Mineral Tayini El kitabı*, Çağlayan Kitapevi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın No:58
- Chase, W. E., 1963. “*Platy Talc Beneficiation*”, U.S. Patent, No.3,102, 856.
- Chibowski, E., Carpio, R., P., 2002. *Advances in Colloid and Interface Science*, 98, 245-264.
- Croizer, R. D., 1992. *Flotation*, ISBN:008-041864-3, Pregmon Pres, Oxford.
- Çilek, C., E., 2006. *Mineral Flotasyonu*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No:59, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta, s.158
- Demir, C., Abramov, A. A. and Çelik, M. S., 2001. Flotation separation of Na-feldspar from K-feldspar by monovalent salts. *Miner. Eng.*, 14(7), 733-740.
- Dpt, 2001. Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri I (*Seramik Killeri–Kaolin–Feldspat–Profillit–Wollastonit–Talk*) Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Erkan, Y., 1994. *Kayaç Oluşturan Önemli Minerallerin Mikroskopta İncelenmeleri*, Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını.
- Forsberg, K.S.E., ve Rao, K.H., 1997. “*Mixed collector systems in flotation*”, Int. J. Miner. Process., 51, 67-79.
- Fuerstenau, D.W., ve Diao, J., Williams, MC., 1991, “*Characterization of the Wettability of Solid Particles by film flotation I. Experimental Investigation*”, Colloids and Surfaces, 60, pp. 127-144.

- Gaudin, A. M., 1957. Flotation, *Mc Graw Hill*, New York.
- Gence, N., Özbay, N., ve Yerel, S., 2005. *Talk ve Kullanım Alanları*, Teknik Bilimler Dergisi 4. Sayı. 2005-2. Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksek Okulu.
- George, C., 1996. The Mt Keith operation. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy*, 9-23.
- Guimarães, R. C. and Peres, A. E. C., 1999. Interfering ions in the flotation of a phosphate ore in a batch column. *Miner. Eng.*, 12(7), 757-768.
- Gülgönül, İ., 1995. *Bor Minerallerinin Flotasyonunda Şlamın Etki Mekanizması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Hacifazlıoğlu, H., 2009. *İnce Boyutlu Kömürlerin Flotasyonu İçin Yeni Bir Flotasyon Makinesinin (Siklojet Hücresinin) Geliştirilmesi*, Doktora Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi.
- Hançer, m., ve Çelik, m. S. ve Miller, j. D., 2001. *The significance of interfacial water structure in soluble salt flotation systems*, journal of colloidal and interface science, 235 (1) 150-161.
- Hogg, R., 1980. *Characterization of Mineral Surfaces*, In P. Somosundaran(ed.): Fine Particle Processing, vol. I, Society of Mining Engineers of AIME, New York, pp. 492-524.
- Hunter, R. J., 1993. Introduction to Modern Colloid Science, *Oxford University Press Inc.*, New York,
- Industrial Minerals of The United States, U.S. Talc – Baby Powder and Much More, <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-0065-00/fs-0065-00textonly.pdf> (Ziyaret tarihi, 14 Nisan 2018)
- Karagüzel, C., 2005. *Na-K Feldspat Minerallerinin Flotasyon Yöntemi ile Ayrımında Hidrofobiteyi Etkileyen Parametreler*. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 201 s, Eskişehir.
- Kaya, M., Laplante, A.R., 1986a. *Investigation of Batch and Continuous Flotation Kinetics in a Modified Denver Laboratory Cell*. Canadian Metallurgical Quarterly, V:25 N:1, pp. 1-8.
- Kırak, A., Yılmaz, H., Güler, S. ve Güler, Ç., 1999, *Dielectric Properties and Electric Conductivity of Talc and Doped Talc*, J. Phys. D: Appl. Phys. 32, 1919-1927, UK.
- Klassen, V. I. ve Mokrousov, V. A., 1963. *An Introduction to the Theory of Flotation*, London, Butterworths.
- Kural, O., 1998. Kömürden kükürdün giderilmesi, *Kömür*, İTÜ, İstanbul, s.230-248.

- Kwatra, S. K. ve Eisele, T. C., 1996. Pyrite recovery mechanisms in coal flotation, *International Journal of Mineral Processing*, Vo.50, pp.187-201.
- Kwok, D. Y., Neuman, A. Y., 2000. *Colloids and Surfaces*, 161, 31-48.
- Laskowski, J. S., 1986, "The Relationship Between Floatability and Hydrophobicity", Adv. In Mineral Processing, Ed. P. Somasundaran, SME, Littletons SME, Littleton, pp. 189-208, USA.
- Laskowski, J. S., 2001. *Coal Flotation and Fine Coal Utilisation*, Amsterdam, Elsevier.
- Li, C. Ve Somasundaran, P., 1993. Role of Electrical Double Layer Forces and Hydrophobicity in Coal Flotation in Sodium Chloride Solutions, *Energy Fuels* 7 (2), 244-248.
- MacKenzie, W. S. and Guilford, C., 1980, *Atlas of Rock-Forming Minerals In Thing Section*, Longman Group Limited.
- Manser, R.M., 1975. Handbook of Silicate Flotation. *Warren Spring Laboratory*, Stevanage, 87 s, İngiltere.
- Miller, J. D., Yalamanchii, M. R. ve Kellar, J. J., 1992. *Surface Charge of Alkali Halide Particles as Determined by Laser-Doppler Electrophoresis*, *Langmuir*, 8 (5), 1464-1469.
- Neuman, A. W., ve Good, R. J., 1979. Experimental Methods, *Surface and Colloid Science*, New York.
- Norman, J. E., O'meara, R. G., ve Baumert R. X., 1939. "Froth Flotation of Talk Ores from Gouverneur", *New York, Cilt. 18 , Sayı. 8. s. 292-296.*
- Okay, A. C., 1967, *Mineralbilim Ders Kitabı*, Acar Matbaası.
- Önal, G., Yüce, A. E., Özpeker, I., Güney, A., 1999. "Talk". *Endüstriyel Mineral Envanteri*, Aralık 1999.
- Özdemir, O., Çelik, M. S., Nickolov, Z. S. ve Miller, J. D., 2007. *Water Structure and Its Influence on the Flotation of Carbonate and Bicarbonate Salts*, *Journal of Collidal and Interface Science*, 314 (2) 545-551.
- Özdemir, O., Karagüzel, C., Nyugen, A. V., Çelik, M. S. ve Miller, J. D., 2009. *Contact Angle and bubble attachment Studies in the Flotation of Trona and Other Soluble Carbonate Salts*, *Mineral Engineering*, 168-175.
- Özgen, S., 2008. Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Paulson, O. ve Pugh, R. J., 1996. *Flotation of Inherently Hydrophobic Particles in Aqueous Solitions of Inorganic Electrolytes*, *Langmuir* 12 (40), 4808-4813.
- Perkins, D., 2002. *Mineralogy*. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 8 s, ABD.

- Sarız K. ve Nuhoglu, M., 1992, *Endüstriyel hammadde Yatakları ve Madenciligi*, Anadolu Üniversitesi Yayın No: 636, Eskisehir.
- Şapçı, K., 2006. Çan Linyit Kömürünün Flotasyonla Zenginleştirilebilirliği ve Fizibilitesi, Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), D.E.Ü Maden Mühendisliği Bölümü, s.328.
- Tekinalp, İ., 2005. *Flotasyon Performansına Etki Eden Kinetik Özellikler İle Yüzebilirlik Değişkenleri Arasındaki İlişkinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas.
- Tiwari, R. R., Khilar, K. C., Natarajan, U., 2007. *Synthesis and Characterization of Novel Organo-Montmorillonites*, Applied Clay Science, Vol. 38, 203-208.
- USGS, 2018. <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/talc/mcs-2018-talc.pdf>
- Uz, B., 1990, *Mineraller Kristallografi – Mineraloji*, Kurtis Matbaası, İstanbul.
- Wapner, P.G. ve Hoffman, W.P., 2002. “*Partical Wetting Phenomena on Nonplanar Surfaces and in Shaped Microchannels*”, Longmuir,18, pp. 1225-1230.
- Wills, B., A., 1997. *Mineral Processing Technology*, Sixth Edition, Pregmon International Library, England, Chapter 7; s.440.
- Xie, W., Gao, Z., Liu, K., Pan, W. P., Vaia, R., Hunter, D., Singh, A., 2001. *Thermal Characterization of Organically Modified Montmorillonite*, Thermochemica Acta, 367-368, 339-350.
- Yarar, B. 1988, “*Gamma Flotation: A New Approach to Flotation, Using Liquid-Vaper Surface Tension Control*”, Developments in Min. Proc., pp. 41-64.
- Yariv, S., 2004. *The Role of Charcoal on DTA Curves of Organo-Clay Complexes: An Overwiev*, Applied Clay Science, 24, 225-236.
- Yıldırım, İ., 2001. “*Surface Free Energy Characterization Of Powders*”, Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Yıldırım, M., 2002. *Yalazı/Balıkesir Talk Cevherinin Zenginleştirilmesi*, Madencilik Dergisi, Mart.
- Yılmaz, O., 2006. Balıkesir-Bigadiç Bor Atıklarının Flotasyon Yöntemiyle Zenginleştirilmesi Çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi.
- Yoon, R. H., 1982. *Flotation of Coal Using Micro-bubbles and Inorganic Salts*, Mining Congress Journal, 68: 76-80.
- Yoon, R. H. ve Sabey, J. B., 1989. *Coal Fotation in Inorganic Salt Solution, Interfacial Phenomena in Coal Technology*, G. D. Botsaris and Y. M. Glazman, New York, Marcel Dekker: 87-114.
- Yoon, R. H., 2000. “*The role of hydrodynamic and surface forces in bubble-particle interaction*”, Int. J. Miner. Process., 58, 129-143.

Zeta-Meter 4<sup>th</sup> Ed., 1993. *Everything you want to know about Coagulation&Flocculation*, Virginia, U.S.A.

Zisman, W.A., 1964. "Relation of Equilibrium Contact Angle to Liquid and Solid Constitutions in Contact Angle, Wettability and Adhesion", R.F. Gould,(ed.) *Advences in Chemistry Series. No. 43. American Chem.Soc.* pp. 1-51.



**EKLER**



## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Merve AKGÜN
Doğum Yeri	Bakırköy
Doğum Tarihi	02.12.1986
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	0543 394 0000
E-Posta Adresi	merve.akgun@hotmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Maden Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Maden Mühendisliği
Programı	Maden Mühendisliği

Doktora	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Enstitü Adı	Fen Bilimleri Enstitüsü
Anabilim Dalı	Anabilim Dalı Adı
Programı	Program Adı

Makale ve Bildiriler	