



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ULTRA SESİN FARKLI REAKTİFLER**  
**VARLIĞINDA MİNERAL**  
**SÜSPANSİYONLARININ KARARLILIĞINA**  
**ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Kiraz EŞMELİ tarafından hazırlanan “Ultra Sesin Farklı Reaktifler Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 07/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

#### Başkan

Prof.Dr. Öner Yusuf TORAMAN

#### Danışman

Prof.Dr. Alper ÖZKAN

#### Üye

Prof.Dr. Salih AYDOĞAN

#### Üye

Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY

#### Üye

Doç.Dr. Vildan ÖNEN

### İmza


Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

\*Bu tez çalışması ÖYP tarafından 2015-ÖYP-015 nolu proje ile desteklenmiştir.

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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



İmza

Kiraz EŞMELİ  
Tarih: 07/11/2019

# ÖZET

## DOKTORA TEZİ

### ULTRA SESİN FARKLI REAKTİFLER VARLIĞINDA MİNERAL SÜSPANSİYONLARININ KARARLILIĞINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**Kiraz EŞMELİ**

**Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof.Dr. Alper ÖZKAN**

**2019, 169 Sayfa**

**Jüri**

**Prof.Dr. Alper ÖZKAN  
Prof.Dr. Öner Yusuf TORAMAN  
Prof.Dr. Salih AYDOĞAN  
Doç.Dr. Vildan ÖNEN  
Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

Bu çalışmada, ilk olarak ultra ses işleminin mineral (selestit, kolemanit, galen, kuvars, kaolin ve sepiyolit) süspansiyonlarının kararlılığı üzerine etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda, ultrasonik cihazın güç değeri, ultra ses muamele süresi, ultrasonik probun dalma derinliği ve uygulama şekli (kesikli ve sürekli) değişimlerinin süspansiyon kararlılığı üzerine etkisi belirlenmiştir. İkinci olarak, mineral süspansiyonlarının farklı amaçlarla kullanılan reaktifler (toplayıcı, flokülant, koagülant ve dispersant) varlığında ultra ses işleminin etkisi çalışma parametrelerine bağlı olarak ayrıntılı şekilde belirlenmiştir.

Reaktif kullanılmadan gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, minerallerin süspansiyon kararlılık değerlerinin ultrasonik muamele ile azaldığı görülmüştür. Ayrıca, ultra ses uygulamasının minerallerin i.e.p noktası üzerinde kayda değer bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. Toplayıcılar, flokülantlar ve koagülantlar varlığında gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda, ultra ses işleminin minerallerin süspansiyon kararlılıklarını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı dolayısıyla daha başarılı flokülasyon sağladığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, toplayıcılar varlığında gerçekleştirilen çalışmalarda ultrasonik işlem ile daha yüksek temas açısı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca, ultra ses muamelesi ile minerallerin zeta potansiyeli ölçümleri kullanılan reaktiflere bağlı olarak farklılık göstermiştir. Mineral süspansiyonlarının dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmalarında ise daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmiştir. Yani, ultra ses muamelesi ile minerallerin daha başarılı dispersiyonu gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmalarda ultra ses muamelesi ile minerallerin zeta potansiyeli negatifliği daha fazla artış göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** dispersiyon, flokülasyon, koagülasyon, makaslama flokülasyonu, süspansiyon kararlılığı, ultra ses

## **ABSTRACT**

### **PhD THESIS**

# **INVESTIGATION OF EFFECT OF ULTRASOUND ON STABILITY OF MINERAL SUSPENSIONS IN THE PRESENCE OF DIFFERENT REAGENTS**

**Kiraz EŞMELİ**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Mining Engineering**

**Advisor: Prof.Dr. Alper ÖZKAN**

**2019, 169 Pages**

**Jury**

**Prof.Dr. Alper ÖZKAN  
Prof.Dr. Öner Yusuf TORAMAN  
Prof.Dr. Salih AYDOĞAN  
Assoc.Prof.Dr. Vildan ÖNEN  
Assoc.Prof.Dr. Havvanur UÇBEYİAY**

In this study, firstly, the effect of ultrasound treatment on the stability of the mineral (celestite, colemanite, galena, quartz, kaolin and sepiolite) suspensions was investigated. In this context, the effects of ultrasonic device power value, ultrasound treatment time, plunge depth of the ultrasonic probe and the mode of application (batch and continuous) on the stability of the suspension were determined. Secondly, the effect of ultrasound treatment on the mineral suspensions in the presence of reagents (collector, flocculant, coagulant and dispersant) used for different purposes was determined in detail depending on the operating parameters.

As a result of the studies carried out without using reagents of minerals, it was observed that the suspension stability values of the minerals decreased by ultrasonic treatment. In addition, it has been found that the application of ultrasound does not have a significant effect on the i.e.p. of the minerals. As a result of the studies carried out in the presence of collectors, flocculants and coagulants, it was found that the ultrasound treatment reduced the suspension stability of the minerals more than the without ultrasound treatment and therefore provided more successful flocculation. Furthermore, higher contact angle values were measured by ultrasonic treatment in the presence of collectors. In addition, the zeta potential measurements of minerals with ultrasound treatment differed depending on the reagents used. In the studies carried out in the presence of dispersants of mineral suspensions, higher stability values were obtained. That is, more successful dispersion of the minerals was achieved by ultrasound treatment. In addition, in the studies carried out in the presence of dispersant, the zeta potential negativity of the minerals increased with ultrasound treatment.

**Keywords:** coagulation, dispersion, flocculation, shear flocculation, suspension stability, ultrasound

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında büyük ilgi ve desteğini gördüğüm, değerli öneri ve yorumlarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Prof.Dr. Alper ÖZKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma sırasında, desteklerini esirgemeyen Tez İzleme Komitesi'nde bulunan Sayın Doç.Dr. Vildan ÖNEN'e, Sayın Doç.Dr. Havvanur UÇBEYİAY'a ve Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof.Dr. İhsan ÖZKAN'a teşekkür ederim. Yine bu çalışma süresince laboratuvar imkanlarından yararlanmamı sağlayan Sayın Prof.Dr. Esra YEL'e tecrübelerini ve bilgilerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli Maden Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına da ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Bütün çalışmam süresince yanımda olduklarını hissettiren, sevinç ve üzüntülerimi paylaşan kıymetli aileme, ailem kadar yakınım olan arkadaşlarıma ve emeği geçen herkese teşekkürü bir borç bilirim.

Kiraz EŞMELİ  
KONYA-2019

## İÇİNDEKİLER

TEZ BİLDİRİMİ .....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1. Sesin Tanımı .....	3
2.1.1. Sesin fiziksel özellikleri .....	3
2.1.2. Ses ve ultrasonik dalgalar.....	4
2.1.2.1. Dalganın yayılımı .....	4
2.1.2.2. Dalga uzunluğu ve frekans.....	5
2.1.3. Dalga çeşitleri.....	6
2.1.3.1. Boyuna dalga .....	7
2.1.3.2. Enine dalga.....	8
2.1.3.3. Yüzey dalgaları.....	8
2.1.4. Ultrasonik enerjinin temel özellikleri.....	9
2.1.4.1. Yayılma hızı.....	9
2.1.4.2. Akustik empedans.....	9
2.1.4.3. Ultrasonik enerji şiddeti.....	9
2.1.4.4. Ultrasonik basınç.....	10
2.1.5. Kavitasyon (Oyuklanma) etkisi .....	10
2.1.6. Ultrasonik laboratuvar cihazları.....	13
2.1.6.1. Ultrasonik temizleme banyoları.....	13
2.1.6.2. Doğrudan daldırılmalı ultrasonik problemler.....	14
2.1.6.3. Yüksek şiddetli su banyoları.....	14
2.1.6.4. Korna reaktörler.....	15
2.1.7. Ultra sesin cevher hazırlama ve diğer alanlarda kullanımı.....	15
2.1.7.1. Susuzlandırma işlemlerinde kullanımı.....	15
2.1.7.2. Flotasyon işlemlerinde kullanımı.....	17
2.1.7.3. Flokülasyon ve yağ aglomerasyonu işlemlerinde kullanımı.....	20
2.1.7.4. Öğütme ve dağıtma ile zenginleştirme işlemlerinde kullanımı.....	21
2.1.7.5. Liç işlemlerinde kullanımı .....	21
2.1.7.6. Gaz-katı ve sıvı-katı sistemlerinden katının ayrılması işlemlerinde kullanımı.....	22
2.1.7.7. Ultra sesin diğer uygulama alanları.....	22
2.2. İnce Tane Hazırlama Yöntemleri.....	23

2.2.1. Dispersiyon.....	23
2.2.2. Koagülasyon.....	24
2.2.2.1. Koagülant türleri.....	26
2.2.2.2. Koagülasyon mekanizmaları.....	27
2.2.2.2.1. Yük nötralizasyonu ile koagülasyon.....	27
2.2.2.2.2. Süpürme koagülasyonu.....	27
2.2.3. Makaslama flokülasyonu.....	28
2.2.3.1. Makaslama flokülasyonunu etkileyen faktörler.....	29
2.2.3.1.1. Tane hidrofobisitesi.....	29
2.2.3.1.2. Karıştırma hızı.....	30
2.2.3.1.3. Tank tasarımı.....	31
2.2.3.1.4. Yüzey şarjı.....	31
2.2.3.1.5. Flokülasyon süresi.....	31
2.2.3.1.6. Tane boyutu.....	31
2.2.3.1.7. Pülp yoğunluğu.....	32
2.2.3.1.8. Çözelti yüzey gerilimi.....	32
2.2.3.1.9. pH.....	33
2.2.3.1.10. Sıcaklık.....	33
2.2.4. Flokülasyon.....	33
2.2.4.1. Flokülantların adsorpsiyon mekanizmaları.....	34
2.2.4.1.1. Elektrostatik bağ.....	34
2.2.4.1.2. Hidrojen bağı.....	35
2.2.4.1.3. Kovalent bağ.....	35
2.2.4.2. Polimerlerin flokülasyon işlevi.....	35
2.2.4.3. Kullanılan flokülant tipleri.....	37
2.2.4.3.1. Doğal flokülantlar.....	37
2.2.4.3.2. Sentetik polimerik flokülantlar.....	37
2.2.4.3.2.1. Anyonik flokülantlar.....	39
2.2.4.3.2.2. Katyonik flokülantlar.....	40
2.2.4.3.2.3. İyonik olmayan flokülantlar.....	41
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>43</b>
3.1. Materyal.....	43
3.2. Kullanılan Reaktifler ve Ekipmanlar.....	44
3.3. Yöntem.....	45
3.3.1. Kimyasal analizler.....	47
3.3.2. Zeta potansiyeli ölçümleri.....	49
3.3.3. Temas açısı ölçümü.....	50
3.3.4. Ultra ses deneyleri.....	51
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>52</b>
4.1. Ultra Sesin Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi.....	53
4.1.1. Ultra ses uygulama parametrelerinin etkisi.....	53
4.1.2. Ultra sesin uygulama parametrelerinin etkisinin değerlendirilmesi.....	71



4.2. Ultra Sesin Toplayıcıların Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi .....	73
4.2.1. Ultra sesin toplayıcılar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi .....	96
4.3. Ultra Sesin Flokülantlar Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi .....	99
4.3.1. Ultra sesin flokülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi .....	118
4.4. Ultra Sesin Koagülantlar Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi .....	121
4.4.1. Ultra sesin koagülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi .....	133
4.5. Ultra Sesin Dispersant Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi.....	135
4.5.1. Ultra sesin dispersant varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi .....	144
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>147</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>152</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>158</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Aero 801	: Petroleum sülfonat
A150	: Anyonik flokülant
Atm	: Atmosfer
°C	: Santigrat derece
CaCl <sub>2</sub>	: Kalsiyum klorür
C577	: Katyonik flokülant
dm <sup>3</sup>	: Desimetre küp
E	: Elastisite modülü (N/m <sup>2</sup> )
g	: Gram
g/cm <sup>3</sup>	: Yoğunluk birimi
HCl	: Hidroklorik asit
I	: Ultrasonik enerji siddeti (watt/m <sup>2</sup> )
i.e.p.	: İzo elektrik nokta
K	: Kelvin
kHz	: Kilohertz
L	: Litre
mg	: Miligram
M	: Molarite
MgCl <sub>2</sub>	: Magnezyum klorür
mV	: Milivolt
µm	: Mikrometre
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	: Sodyum silikat
NTU	: Nephelometrik türbidite birimi
N100	: Non-iyonik flokülant
P	: Basınç (N/m <sup>2</sup> )
PEX	: Potasyum etil ksantat
SDS	: Sodyum dodesil sülfat
SIPX	: Sodyum izopropil ksantat
sn	: Saniye
T	: Periyot (sn)
US	: Ultra ses
W	: Watt
γ	: Yüzey gerilimi
λ	: Dalga boyu
XRD	: X-Ray Diffraction

## 1. GİRİŞ

Doğadaki yüksek tenörlü cevher rezervlerinin azalmasıyla birlikte, kıymetli mineraller çoğunlukla kayaçlar içerisinde ince dağılımlı olarak bulunurlar. Bu nedenle, zenginleştirme öncesi kıymetli minerallerin serbestleştirilmesi gerekir ve boyut küçültme işlemleri ile sağlanır. Ancak, özellikle öğütme sırasında oluşan ince boyutlu taneler, zenginleştirme işlemlerinin etkinliğinin azalmasına neden olur. Teknik bakımından şlam olarak adlandırılan bu boyuttaki malzemelerin flotasyon ile ayırımı da oldukça güçtür (Trahar ve Warren, 1976). Şlamlardan veya ince boyutlu malzemelerden kıymetli minerallerin kazanılmasında bir yol, önce onları seçimli flokülasyon, seçimli makaslama flokülasyonu veya aglomerasyon ile boyutlarının büyütülmesi ve daha sonra da oluşan flok ve aglomeratların flotasyon ile yüzdürülmesidir. Diğeri ise, seçimli polimerik flokülasyon, seçimli makaslama flokülasyonu veya seçimli yağ aglomerasyonu yöntemlerini değerli minerallerin kazanılması için kullanmaktır (Warren, 1975).

Endüstriyel uygulamalarda ultra sesin kullanımı son yıllarda artış göstermektedir. Cevher hazırlama alanında süregelen çalışmalar çoğunlukla ultra sesin minerallerin flotasyonu üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik olmuştur. İnce boyutlu mineral tanelerini içeren süspansiyonların katılardan ayrılması amacıyla sedimantasyon üzerine ultra sesin etkilerinin belirlenmesi için yürütülen çalışmalar ise sınırlı sayıda bulunmaktadır. Cevher hazırlama işlemlerinde mineral süspansiyonlarının bazı durumlarda dispersiyonu, bazı durumlarda ise flokülasyonu istenmektedir. Bu iki durum mineral süspansiyonun tabiatı gereği kendiliğinden oluşabildiği gibi ilave edilen bir takım reaktifler ile de sağlanabilmektedir. Flotasyon üzerine yürütülen çalışmalardan ultra ses uygulamalarının reaktiflerin adsorpsiyon yeteneğini artırdığı, kullanılması gereken reaktif miktarını azalttığı, konsantrasyon ve verimini yükselttiğine dair sonuçlar ifade edilmiştir (Çelik ve ark., 1998; Smythe ve Wakeman, 2000; Özkan, 2002; Gürpınar, 2007; Özkan ve Kuyumcu, 2007; Xu ve ark., 2017). Bununla birlikte, sınırlı sayıda çalışma olmasına rağmen koagülasyon ve flokülasyon işlemlerinde, ultra ses uygulamalarının sedimantasyona olumlu ve olumsuz etkilerinin genellikle çalışma parametrelerine bağlı olarak değiştiği ifade edilmektedir (Singh ve Singh, 1997; Özer ve ark., 2001; Önal ve ark., 2003).

## **Tezin Amacı**

Bu çalışmada, öncelikle ultrasonik işlemin farklı mineral süspansiyonlarının kararlılığı üzerine etkilerinin detaylı olarak belirlenmesine çalışılmıştır. Sonrasında ise mineral süspansiyonlarının farklı amaçlarla kullanılan reaktifler (toplayıcı, flokülant, koagülant ve dispersant) varlığında ultra ses muamelesinin etkilerinin çeşitli çalışma parametrelerine bağlı olarak ayrıntılı bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Böylelikle, literatürde bu yöndeki önemli derecedeki bilgi eksikliğinin azaltılmasının sağlanması hedeflenmiştir. Ayrıca, endüstriyel bakımdan ise ultra ses işleminin ince tane boyutlu mineral süspansiyonlarının makaslama flokülasyonu, polimerik flokülasyon, koagülasyon ve dispersiyon işlemleri üzerine, bu tez çalışması ile elde edilen bulguların fayda sağlayacağı umut edilmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Sesin Tanımı

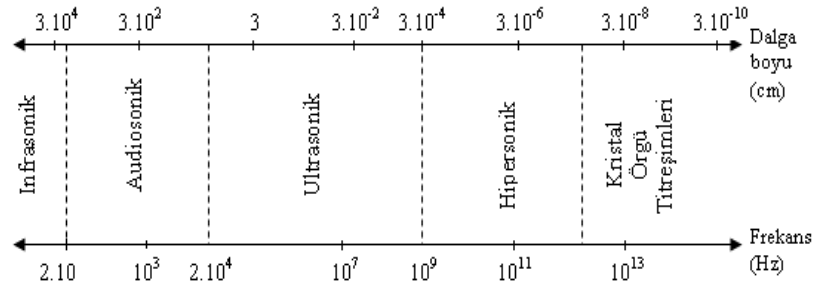
Esnek bir ortamda mekanik titreşimler halinde yayılan boyuna dalgalara ses denilmektedir. Esnek madde ortamı ise katı, sıvı veya gaz olabilir. Ses ancak madde ortamında yayılabilir, elektromagnetik dalgalar gibi boşlukta yayılamazlar. Madde ortamında atom veya moleküllerin boyuna titreşimleri, küresel olarak yayılınca ses meydana gelir.

Sesin havada yayılması şöyle olmaktadır; bir ses kaynağının titreşimleri hava moleküllerine çarpınca, bu molekülleri titreştirir, bu titreşimlerde yanlarındaki hava moleküllerini titreştirerek, ses dalgaları yayılır. Ses iletilirken, hava moleküllerinin kendisi gitmez, titreşimi iletmış olur. Elektrik telleri ve elektromagnetik haberleşmede iletilen ses değil, titreşimi ses kaynağının titreşimine benzeyen elektromagnetik titreşimlerdir. Bu sebeple ses yayın cihazlarının hoparlörlerinden yayılan ses, esas ses kaynağından yayılan ses olmayıp, titreşimleri bu sese benzeyen başka bir sestir.

#### 2.1.1. Sesin fiziksel özellikleri

**Yükseklik:** Sesin frekansıdır. İnsan kulağı yaklaşık frekansı 20 ile 20.000 Hertz olan sesleri işitebilir. Sesin frekansına bağlı olarak yüksekliği tarif edilir. İnce seslerin frekansı büyük, kalın seslerin ise küçük değerlerdedir. Frekansları, 20 Hz'den küçük olan seslere "infrasonik", 20.000 Hz'den büyük olanlara ise "Ultrasonik" denir.

**Şiddet:** Ses dalgalarının bir santimetre karelik yüzeydeki güçlerine denilmektedir. Birimi  $\text{watt/cm}^2$ 'dir. Ses şiddeti, dalganın, frekansına ve dalga genliğinin karesine bağlıdır. Şiddet sebebi ile ses kuvvetli veya zayıf olarak duyulur. İnsan kulağı  $10^4$   $\text{watt/cm}^2$  ile  $10^{16}$   $\text{watt/cm}^2$  şiddet değerleri arasındaki sesi duyabilir.



Şekil 2.1. Ultrasonik spektrum (Alp, 1998).

Ultrasonik titreşim dalgalarının hava ortamında kullanımı ve uygulaması su ortamında kullanımından daha az yaygındır. Çünkü hava ortamında dalgaların yüksek absorpsiyon özelliği vardır. Çok yüksek (> 20 kHz) frekansa sahip ses dalgalarının (ultrasonik) verdiği enerji, mekanik enerjinin bir formudur (Muralidhara ve ark., 1985).

**Tını ve Harmoniler:** Ses kaynakları, genellikle ana ses denilen (en kalın) sesle birlikte, frekansları ana sesin frekansının tam katları olan tali sesler çıkarır. Bu tali seslere ana sesin harmonileri denir. Bu sesler etrafa ana sesle birleşmiş olarak yayılır. Tını ise, bir sesin kulağa tesiri olup, farklı kaynaklardan çıkan sesler aynı frekans ve şiddette olsalar da tınıları farklıdır.

## 2.1.2. Ses ve ultrasonik dalgalar

### 2.1.2.1. Dalganın yayılımı

Ses kaynakları aldığı çeşitli enerjiler sayesinde titreşim hareketi yapar ve sahip olduğu enerjiyi bulunduğu ortamdaki taneciklere aktararak taneciklerin kinetik enerji kazanmasını sağlar. Kinetik enerji kazanan tanecikler etrafındaki diğer taneciklere çarparak diğer tanecikleri de titreştirir. Sesin yayıldığı ortamdaki taneciklerin titreşim enerjilerini birbirlerine aktarması sonucu ses dalgaları oluşur ve ses dalgaları kinetik enerjinin taşınmasını sağlar. Ses dalgaları su dalgalarına benzer fakat su dalgaları gibi görünen dairesel dalgalar şeklinde değil, görünmeyen küresel dalgalar şeklinde yayılır. Ses, ortam taneciklerini titreştirerek hareket ettiği için ortamdaki taneciklerin birbirlerine yakınlıkları sesin hızını etkiler. Sesin yayılma hızı bazı etkenlere bağlı olarak değişir. Yani ses her ortamda aynı hızla yayılmaz (Fuchs, 2002).

- Sesin yayılma hızı ortamın cinsine bağlıdır. Sesin katı, sıvı ve gaz ortamlardaki yayılma hızı farklıdır. Gaz tanecikleri birbirinden çok uzak, katı tanecikler ise birbirine çok yakındır. Bu nedenle ses katılarda en hızlı, gazlarda ise en yavaş yayılmaktadır. Ortama göre sesin yayılma hızı karşılaştırılırsa  $V_{\text{Katı}} > V_{\text{Sıvı}} > V_{\text{Gaz}}$ 'dir.
- Sesin yayılma hızı ortamın yoğunluğuna bağlıdır. Ortamın yoğunluğu arttıkça sesin yayılma hızı da artar.

Sesin yayılma hızı ortamın sıcaklığına da bağlıdır. Ortamın sıcaklığı arttıkça sesin hızı da artar (Alp, 1998).

### 2.1.2.2. Dalga uzunluğu ve frekans

Ses, ses kaynaklarının titreşim hareketi sonucu oluşur ve ses dalgaları halinde yayılır. Ses dalgalarının frekans, genlik ve periyot gibi özellikleri vardır. Şekil 2.2'de titreşim hareketinin dalgasal gösterimi verilmiştir.

**a) Ses dalgalarının tepe noktası (Dalga tepesi):** Ses enerjisini ileten taneciklerin sık olduğu (taneciklerin diğer taneciklere enerjilerini aktardığı) bölgeye ses dalgasının tepe noktası veya dalga tepesi denir.

**b) Ses dalgalarının çukur noktası (Dalga çukuru):** Ses enerjisini ileten taneciklerin seyrek olduğu (enerjiyi aktaran taneciklerin bulunduğu) bölgeye ses dalgasının çukur noktası veya dalga çukuru denir.

**c) Ses dalgalarının genliği:** Bir dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki uzaklığın yarısına genlik denir.

**d) Ses dalgalarının frekansı:** Ses kaynağı tarafından 1 saniyede üretilen dalga sayısına veya bir noktadan 1 saniyede geçen dalga sayısına frekans (f) denir. Frekans dalga sayısı ile doğru orantılıdır ve ses kaynağından bir saniyede üretilen dalga sayısı ne kadar fazla ise sesin frekansı o kadar büyük, dalga sayısı ne kadar az ise sesin frekansı o kadar küçük olur.

**e) Ses dalgalarının periyodu:** Bir tam dalganın üretilmesi için geçen süreye periyot (T) denir. Periyot, ardışık iki tepe veya iki çukurun oluşması için geçen süredir. Birim zamandaki periyot sayısına frekans denir. Periyot ile frekans arasındaki bağıntı;  $T.f = 1$ 'dir.

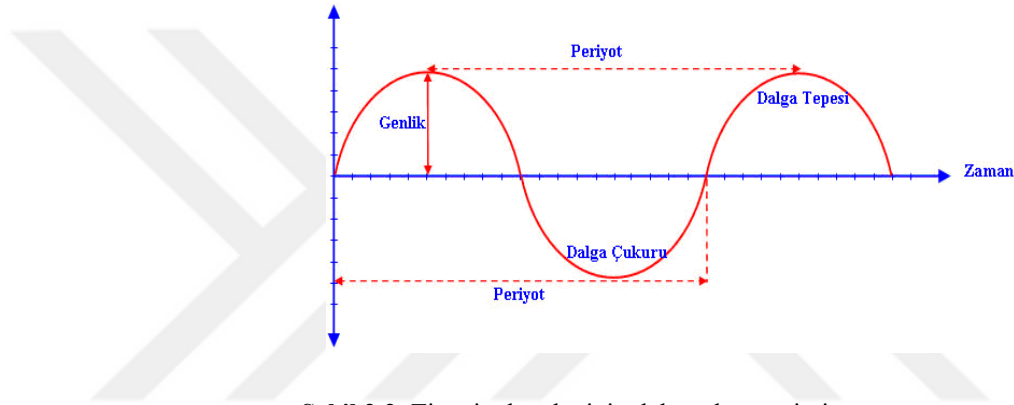
T saniye biriminde olduğundan  $f = 1 / \text{Saniye} = 1 \text{ Cycle} = 1 \text{ Hertz (Hz)}$  birimli olacaktır.

Titreşim hareketinin bir periyodu dalga boyuna ( $\lambda$ ) eşittir. Bir başka deyimle, dalgasal hareket bir periyoda karşılık olan bir zaman zarfında ortam içerisinde bir dalga boyu kadar yol kat eder. Bu nedenle frekansla dalga boyunun çarpımı sesin ortam içinde birim zamanda kat ettiği yolu, yani ses hızını verir (Gürpınar, 2007).

$$V = \lambda / T \text{ (m/s)} \quad (2.1)$$

$T = 1 / f$  ifadesi yerine konulursa hız;

$$V = \lambda \cdot f \text{ olarak ifade edilir.} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2. Titreşim hareketinin dalgasal gösterimi.

Frekans ve periyot, sesi üreten noktanın titreşim hızı ile ilgilidir ve o titreşim hareketi için sabittirler. Aynı titreşim hareketi havanın moleküllerini titreştirerek çevreye yayılırken de frekans ve periyodu hep aynı kalır. Dalga boyu bir periyot zarfında ve ses hızı birim zamanda sesin ortamda yayılım uzaklıkları olarak ortamın cinsine bağlı büyüklüklerdir. Ses dalgaları her ortamda değişik hızlarda yayılır. Eşitliğe göre ses hızı farklılaştığı zaman yani ses bir ortamdan diğer bir ortama geçerken frekansı aynı kaldığı halde, ses hızı değişeceğinden dalga boyu değişmek zorunda kalacaktır. Böylece dalga boyu ortama göre kısalmaya veya uzayabilir.

### 2.1.3. Dalga çeşitleri

Bilinen dalgalar olarak su dalgaları, ses dalgaları, ışık dalgaları, radyo dalgaları ve elektromagnetik dalgaları sayabiliriz. Bunlardan ışık dalgaları, radyo dalgaları ve elektromagnetik dalgalar boşlukta rahatlıkla yayılabilmektedirler. Fakat su ve ses

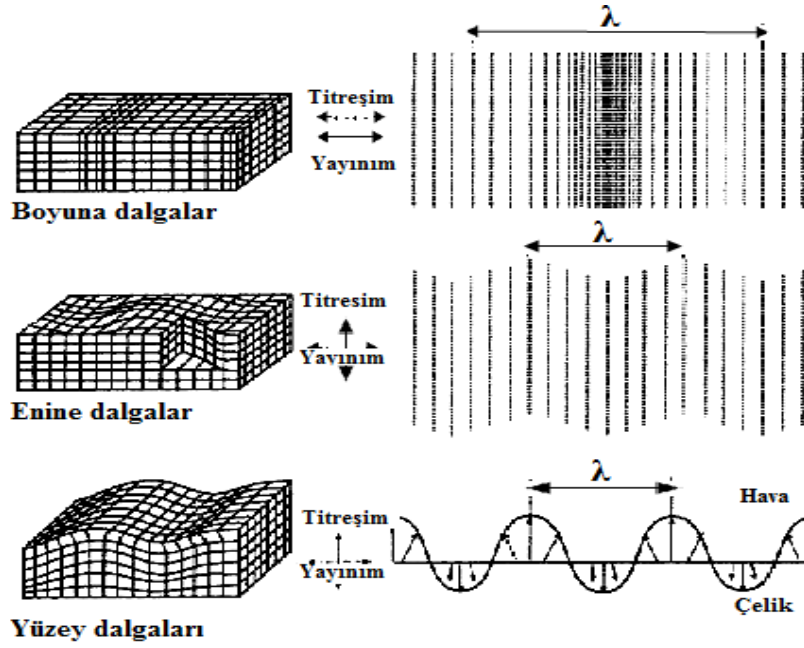


dalgalarının yayılabilmeleri için esnek bir ortam gerekmektedir. Bu şekilde esnek bir ortamda yayılan dalgalara mekanik dalgalar adı verilir ve esnek ortamın denge konumu etrafında salınmasıyla oluşur. Mekanik dalgalar esnek ortamın herhangi bir noktasına uygulandığında, dalga tarafından bu noktaya uygulanan kuvvet bu noktadan diğer noktalara da aktarılır. Ortamın tüm olarak hareket etmediği, yalnızca titreşimin yer değiştirdiği bu tür mekanik dalgalarla enerji, madde içerisinde bir noktadan diğerine iletebilir (Gürpınar, 2007).

Ultrasonik dalgalarının yayılabilmeleri için bir ortam gerektiğinden, ultrasonik dalganın ilerleme yönü ile parçacıkların hareketinin yönü ultrasonik dalganın çeşidini göstermektedir. Uygulamada en çok kullanılan ultrasonik dalgalar enine, boyuna ve yüzey dalgalarıdır (Şekil 2.3).

### **2.1.3.1. Boyuna dalga**

Ultrasonik dalgalar ortam içinde ilerlerken parçacıkları kendi ilerleme doğrultusu boyunca hareket ettiriyorsa bu tip dalgalara boyuna ultrasonik dalgalar denir. Yani boyuna ultrasonik dalga için dalga yayılma doğrultusu ile parçacık hareket doğrultusu aynıdır. Bu tip dalgalara basınç dalgası da denir. Titreşen atomlar bir periyodun yarısında birbirlerine yaklaşarak sıkışırlar, periyodun diğer yarısında ise birbirlerinden uzaklaşarak kendi aralarında bir çekme kuvvetinin doğmasına neden olurlar. Böylece malzeme içinde, elastik sınırlar içerisinde kalan ve alternatif olarak değişen basınç ve çekme kuvvetleri doğar. İki sıkışma ve gevşeme arasındaki uzaklık  $\lambda$  dalga boyu kadardır. İnsan kulağının nitelediği ses bu türdür ve diğer dalga kuvvetlerine göre daha hızlı yayılır. Ortamda yayılan ultrasonik dalganın yayılma hızı sabit olursa frekansın değiştirilmesi ile dalga boyu değiştirilebilir. Boyuna dalgalarda parçacık titreşimleri dalga yayılma doğrultusu ile aynı olduğundan parçacıklar arası bağ ne kadar zayıf olursa olsun boyuna dalgalar sıvı, gaz ve katı ortamlarda yayılabilirler (Alp, 1998).



Şekil 2.3. Ses ötesi dalga çeşitleri (Alp, 1998).

### 2.1.3.2. Enine dalga

Bu türde ise titreşim doğrultusu yayılım doğrultusuna diktir. Buna aynı zamanda “kayma dalgası” adı da verilir. Atom düzlemleri birbirini sıkıştırarak değil birbirlerine göre kayarak titreşim hareketini iletirler. Atomlar arasında bağ kuvveti olan atomlar, yani katılar içinde kayma gerilmesi doğabilir. Dolayısıyla enine dalgalar ancak katı ortamlarda yayılabilirler, sıvı ve gaz ortamlarda yayılamazlar. Enine dalgaların katı ortamda yayılma hızı boyuna dalgaların yaklaşık yarısıdır.

### 2.1.3.3. Yüzey dalgaları

Enine ve boyuna dalgaların bileşimi olan yüzey dalgalarında ortam parçacıklarının hareketi dalga yayılma doğrultusuna dik elipsler şeklindedir. Boyuna dalgaların yüzeye paralel ve yayılma doğrultusunda, enine dalgaların yüzeye ve yayılma doğrultusuna dik hareket ettirmek istediği parçacık yayılım doğrultusuna dik eliptik hareket yapar. Enine ve boyuna ultrasonik dalgaların birleşimi olan bu dalgaların genlikleri bir dalga boyu mesafe sonra sıfır olur. Bu nedenle, bu tür dalgalarla cisimlerin yalnızca yüzeyleri incelenebilir. Bu dalgaların yayılma hızları ise enine ultrasonik dalgalarının hızından daha düşüktür.

## 2.1.4. Ultrasonik enerjinin temel özellikleri

### 2.1.4.1. Yayılma hızı

Ultrasonik enerjinin bir ortamdaki yayılma hızı, dalga şekline göre değişir. Ayrıca yayılma hızı, ortamın elastik özelliklerine ve yoğunluğuna bağlıdır. Elastite modülü (E), poisson oranı ( $\gamma$ ) ve yoğunluk ( $\rho$ ) cinsinden, bir katı ortamın sesötesi dalga hızlarını veren denklemler şöyledir ( $V_e$ : enine dalgaların yayılma hızı,  $V_b$ : boyuna dalgaların yayılma hızı,  $V_y$ : yüzey dalgalarının yayılma hızı) (Alp, 1998).

$$V_b = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1-\gamma}{(1+\gamma)(1-2\gamma)}} \quad (2.3)$$

$$V_e = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1+\gamma)}} \quad (2.4)$$

$$V_y = V_e \frac{0.87+1.12\gamma}{1-\gamma} \quad (2.5)$$

### 2.1.4.2. Akustik empedans

Akustik empedans, ortamın ses yayılımına gösterdiği dirençtir. Kısaca ses direnci de diyebiliriz. Ortamın yoğunluğu ile bu ortamdaki ses hızı çarpımına, akustik empedans adı verilmiştir (Eşitlik 2.6)(Özeden, 1981; Özer, 1986 ).

$$W = \rho \cdot V \quad (2.6)$$

W: Akustik empedans ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{sn}$ )

V: Sesin ortamdaki yayılma hızı ( $\text{m/sn}$ )

$\rho$ : Yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ )

### 2.1.4.3. Ultrasonik enerji şiddeti

Ultrasonik mekanik bir enerjidir. Ultrasonik enerjinin şiddeti ile titreşen atomun veya molekülün genliği arasında (Alp, 1998).

$$I = 1/2 \cdot (\omega \cdot A^2) \quad (2.7)$$

I: Ultrasonik enerji şiddeti ( $W/m^2$ )

A: Titreşim genliği (m)

w: Ortamın akustik empedansı ( $kg/m^2 \cdot sn$ )

$\omega$ : Açısal frekans  $2\pi f$  ( $s^{-1} = Hz$ )

#### 2.1.4.4. Ultrasonik basınç

Sesin yarattığı titreşim yayıldığı ortamda bir basınç oluşturur. Buna ultrasonik basınç adı verilir. Ultrasonik basınç  $P$  ( $N/m^2$ ) aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir.

$$P = w \cdot \omega \cdot A \quad (2.8)$$

Akustik enerji ile akustik basınç arasında ise Eşitlik(2.9) vardır (Mason, 1990):

$$I = 1/2(P^2/w) \quad (2.9)$$

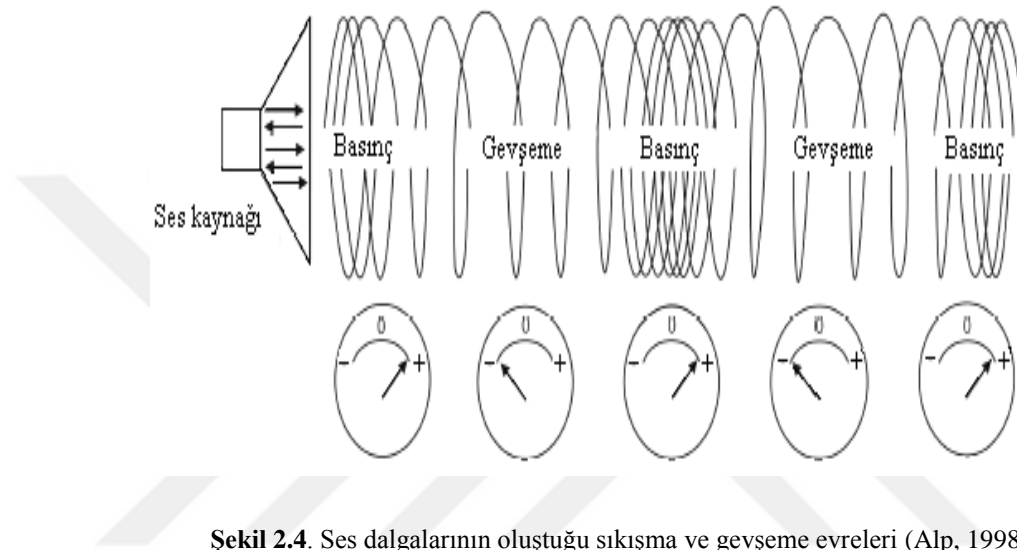
Ses basıncı duyularımızla algılayabildiğimiz ve bu nedenle günlük hayatta bildiğimiz bir kavramdır. Şiddetli bir gürültü kulak zarını zorlar, sıvı içine konan bir ses kaynağının çevresinde bir akış başlar, sıvı içinde asılı duran parçacıklar bu akıntı ile kaynağından uzaklaşır. Katı atomları veya molekülleri yer değiştirmediklerinden ses enerjisi bunlar içinde basınç ve çekme gerilmeleri doğurur (Mason, 1990).

#### 2.1.5. Kaviteasyon (oyuklanma) etkisi

Kaviteasyon, latince cavus kelimesinden türemiştir ve bir sıvıda buhar kabarcıklarının oluşması anlamına gelmektedir (Leucker, 1998). Güçlü ultrasonik dalgalar bir sıvı ortamda oyuklanma olarak bilinen bir etki meydana getirirler. İlk olarak geçen yüzyılın sonlarında Sir John Thomycroft ve Sidney Barby tarafından karakterize edilen bu olay gemi pervanelerindeki aşınmanın nedenleri araştırılırken gözlenmiştir. Yanlış olarak yerleştirilen pervanelerin su içinde hızlı hareketi taracların arka yüzeyinde büyük bir basınç düşmesi oluşturarak küçük köpükler üretir. Düzgün olarak yerleştirilen pervaneler bile oyuklanma etkisi nedeniyle erozyona maruz kalır. Oyuklanma o kadar güçlü olur ki pervanenin yapımında kullanılan en iyi pirinç alaşımlar bile normal kullanımda erozyondan etkilenir. Bu aynı oyuklanma köpükleri suyun güçlü ultrasonik enerji ile muamelesi sayesinde üretilebilir. Bu kabarcıkların dağılması sonucu oluşan

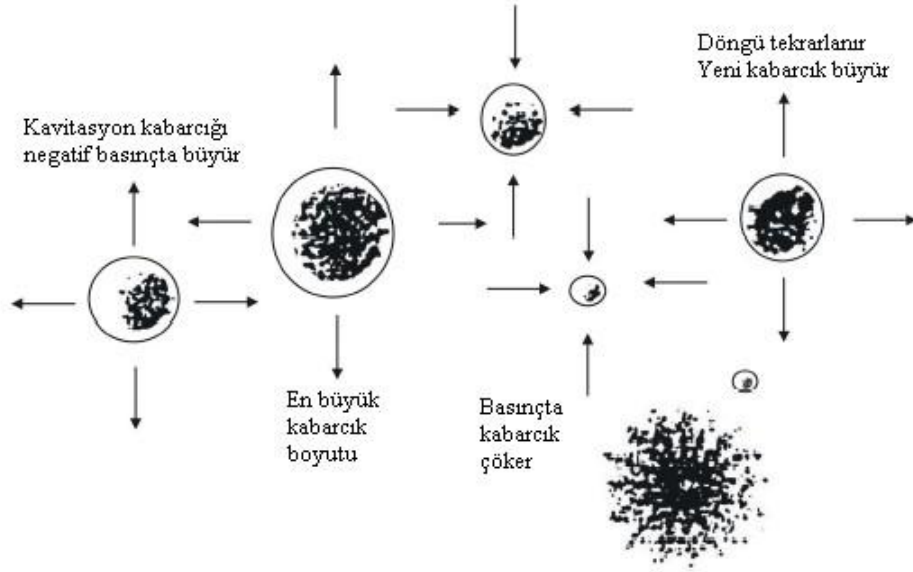
enerji kimyasal işlemlerde, büyük çapta kimyasal hızlanma ve değişimlere sebep olabilir.

Ses titreşimleri, herhangi bir sıvı içerisinde basınç ve gevşeme evrelerinden oluşan bir dalga olarak ilerlemektedir (Şekil 2.4). Ultrasonik dalga kaynağı sıvı içerisine batmış çok küçük fakat oldukça hızlı vuruşları olan bir piston olarak düşünülebilir. Buradan basınç dalgalarının, sıvı içerisine molekülse etkileşimler sayesinde iletilen ileriye doğru vuruş şeklinde olduğu anlaşılır.



Şekil 2.4. Ses dalgalarının oluştuğu sıkışma ve gevşeme evreleri (Alp, 1998).

Dalganın gevşeme kısmını üreten pistonun çekme hareketidir. Piston saniyede 20.000 vuruşluk bir hızla çalıştığı zaman ortamda ultrasonik titreşim oluşturulur. Eğer gevşeme evresi yeterince güçlüyse sıvıyı bağlayan moleküller arası kuvvetleri yenecek büyüklükte negatif bir basınç oluşur. Bu durumda moleküller ortam boyunca küçük mikro kabarcıklar oluşturmak üzere birbirlerinden ayrılırlar ve gevşeme evresini izleyen basınç evresinde mikro kabarcıklar çökerler (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Bir kabarcığın en büyük boyuta büyüyerek çökmesi (Alp, 1998).

Ultrasonik kavitasyon için gevşeme dönemini izleyen bir sıkıştırma döngüsü mevcuttur. Bu mikro kabarcıkların büyük miktarda enerji açığa çıkararak ani olarak dağılmasına yol açar. 25 °C sıcaklıktaki bir suda güçlü ultrasonik enerji tarafından yaratılan kavitasyon kabarcıklarının çökmesi yoluyla 5000 °K bir sıcaklık ve 1000 Atm'ye varan basınçların yaratıldığı tahmin edilmektedir (Suslick, 1998; Fuchs, 2002).

Bir sıvı içindeki mikro kabarcıkların nasıl oluştuğunu, onların bir ses ortamının etkisi altında nasıl maksimum boyuta büyüdüğü ve sonra nasıl aniden çöktüğünü açıklamak amacıyla çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Araştırmalara göre oyuklanma kabarcıklarını; ani olarak çöken geçici oyuklar ve titreşerek duraylı olarak kalan kalıcı oyuklar olarak ikiye ayırmak mümkündür. Blake (1988) tarafından yapılan araştırmada, 60 kHz ses ortamında oluşan kavitasyon kabarcıkları 3 farklı türe ayrılmıştır. İlki çok düşük basınçlarda büyük kabarcıkların köpürmesi ile oluşan kabarcıklaşmadır. Bu kabarcıklar ses üretmemişlerdir. Daha yüksek basınçlarda oluşan uzun süre dayanıklı olarak kalabilen kabarcıklar ise ikinci türü oluşturmaktadır. Bu kabarcıklar kızarma sesi veya yumuşak bir ısılıkla birlikte gelişir. Ses ortamının merkezinde küçük kabarcıkların bir akışı olarak gözlenmiştir. Kabarcıkların oluşum hızı ses basınç genliğindeki değişimlere hassas olduğundan bu tipin başlangıç eşiği kolaylıkla bulunabilmektedir. Bu tip kavitasyon, fazla miktarda çözünmüş gaz içeren sıvılarda olduğundan gazlı kavitasyon adını da alır. Üçüncü tip ise gazsızlaştırılmış sıvı içinde açıkça duyulabilen vurma sesi üreterek büyüme ve çökme evrelerinin doruğuna ulaşan, çok kısa ömürlü

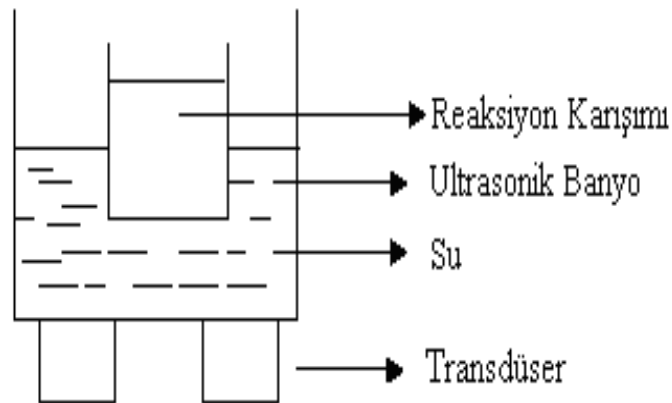
oyuklanma kabarcıklarının oluşumudur. Bu tip kavitasyona ise buharlı kavitasyon adı verilmektedir. Eşik değerindeki genliğinin % 15 değişimi ya hiç kavitasyonun olmamasına ya da 5 katı daha fazla kavitasyon oluşmasına neden olmuştur (Alp, 1998).

### 2.1.6. Ultrasonik laboratuvar cihazları

Laboratuvar ölçekte, bir reaksiyon sistemine ultrasonik dalganın verilmesi için iki temel yöntem vardır. Bunlardan birincisinde reaksiyon kabı, altında ultrasonik üreticinin olduğu bir sıvı içerisinde daldırılır (genellikle bu sıvı sudur), ikinci yöntemde ise prob, doğrudan reaksiyon sıvısı içerisinde verilir. Aşağıda en çok karşılaşılan ultrasonik laboratuvar ekipmanları verilmiştir.

#### 2.1.6.1. Ultrasonik temizleme banyoları

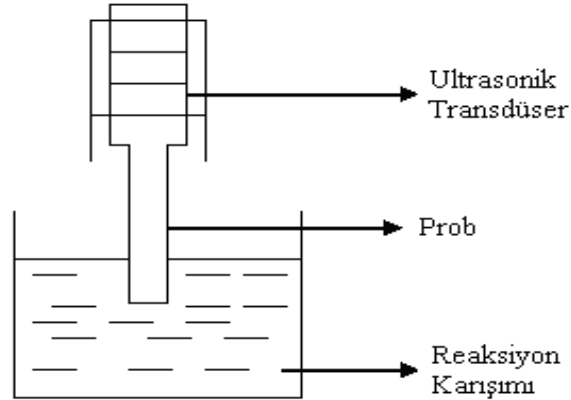
Bu, en fazla kullanılan cihazlardır. Çünkü ultrasonik temizleme banyoları piyasada hazır halde bulunmaktadır. Birçok şirket tarafından 0.5 litre ve 100 litre arasındaki boyutlarda temizleme banyoları üretilmiştir. Bir temizleme banyosundaki ultrasonik titreşim, temizleme banyosunun dış duvarlarına monte edilen transdüserler tarafından üretilir (Şekil 2.6). Bu sistemin en büyük engeli, ultrasonik titreşimin cam-su ara yüzeyinde ve reaksiyon kabının içinde azalmasıdır. Ekonomik ve güvenilir olmaları tercih edilmelerini sağlamaktadır (Mason, 1990).



Şekil 2.6. Ultrasonik temizleme banyosu.

### 2.1.6.2. Doğrudan daldırmalı ultrasonik problemler

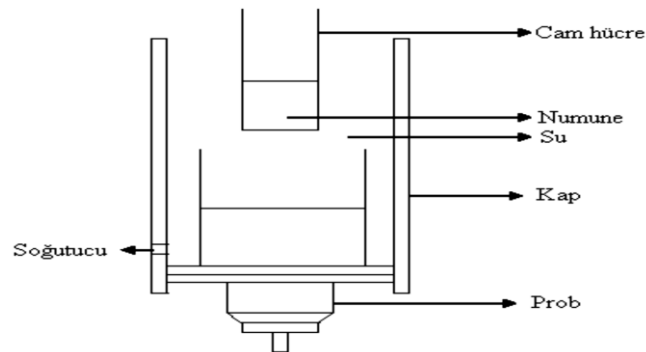
Sonik problemler reaksiyon karışımının içine direkt olarak daldırılmaktadır (Şekil 2.7). Bu problemler, temizleme banyolarından daha pahalıdır. Fakat ultrasonik şiddet temizleme banyolarınınkinden daha fazladır.



Şekil 2.7. Doğrudan daldırmalı sonik prob

### 2.1.6.3. Yüksek şiddetli su banyoları

Plastik ile kaplanmış küçük bir kap, çapı 5 cm'den daha büyük bir uç üzerine vidalanmış ve reaksiyon kabı su dolu kap içerisine yerleştirilmiştir (Şekil 2.8). Ultrasonik dalgalar, probtan su aracılığıyla reaksiyon karışımına iletilir. Karışım içerisindeki ultrasonik dalgalarının şiddeti, su içerisindeki şiddetten daha düşüktür ve direkt olarak daldırma problemleri kullanılarak elde edilen şiddetten çok daha azdır. İlave plastik kap, probun reaksiyon karışımına girmesini önler. Bu nedenle, karışımın kirlenmesi azalır.

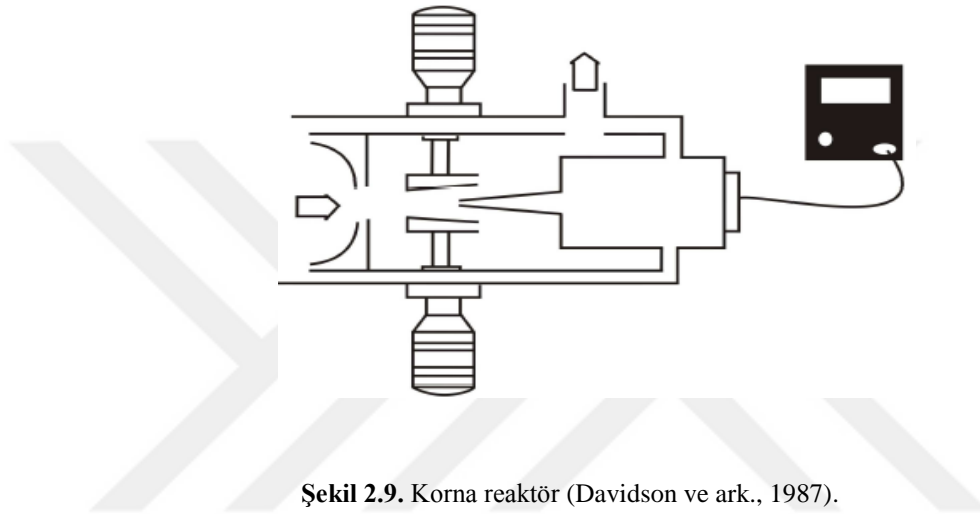


Şekil 2.8. Yüksek şiddetli su banyosu.



#### 2.1.6.4. Korna reaktörler

Korna reaktörler, düdük içerisinde reaksiyon sıvısını sıkıştıran bir pompa içerirler. Bu aletler gaz veya sıvı kullanılabilirler. Bir açıklık boyunca akan gaz veya sıvı ile üretilen ultrasonik enerji, onun tarafından üretilen ve ortam boyunca hareket eden girdaplar tarafından oluşturulur. Bu girdaplar periyodiktir ve frekansları üretilen ses dalgalarının da frekansındır. Korna reaktörler özellikle sıvı-sıvı reaksiyonları için uygundur (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Korna reaktör (Davidson ve ark., 1987).

#### 2.1.7. Ultra sesin cevher hazırlama ve diğer alanlarda kullanımı

##### 2.1.7.1. Susuzlandırma işlemlerinde kullanımı

Kowalski ve Kowalska (1978), atık şehir sularını temizleme tesisinin organik atıklı çamurlarının ve metal endüstrisinin atık mineral çamurlarının susuzlandırılmasında ultrasonik titreşimin etkisini incelemişlerdir. Çamurlar organik kolloitlerle muamele edilmeden önce 20 kHz'lik frekansta 900 watt'lık bir ultrasonik alandan geçirilmişlerdir. Uygulanan flokülantların türü ne olursa olsun örneklerin sesle muamelesi susuzlandırma etkinliğini arttırmıştır. Mineral çamurlarının filtreleme özelliklerini iyileştiren etkinin kavitasyon şartlarında oluşan dağıtıcı ve yıkıcı etkiden kaynaklandığı sonucu çıkarılmıştır. Ultrasonik dalgaların diğer etkilerde suyun yüzey gerilimini, adhezyon ve kohezyon kuvvetlerini ve elektro kinetik potansiyeli düşürerek moleküller arasındaki kuvvetlerin uyumunda değişimler oluşturmasıdır.

Swamy ve ark. (1983) kurutma öncesi taneli örneklerin susuzlandırılması üzerine ses dalgalarının etkisini araştırmışlardır. Kullanılan örnekler magnezit, kalsiyum karbonat, kum ve talaştır. Susuzlandırma prosesi boyunca ultrasonik titreşim kullanıldığında nem içeriğinde bir düşme gerçekleştiği bulunmuştur. Çalışmalarda 9.8 kHz'de 138 dB'lik yüksek yoğunluklu ses dalgalarını üretmek için akslı bir korna kullanılmıştır.

Yapılan bir çalışmada ultrasonik titreşimin, yüzey aktif reaktifler kullanılarak vakumlu filtrasyon işleminde etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kekin neminin düştüğü ve filtrasyon hızının da bu etki ile arttığı görülmüştür (Singh, 1999).

Ultrasonik titreşim kullanılması, geleneksel susuzlandırma metotlarının kapasitelerini ve verimini arttıran bir unsurdur. Katı-sıvı ayırımında ultrasonik titreşim filtrelerin tıkanmalarını önlemenin dışında, emici bir etki yaratarak nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırıcı bir etki oluşturmaktadır.

Süspansiyon kömür-su karışımı gibi iki veya daha çok farklı fazdaki malzemelerin karışımından oluşuyorsa, ortam atalet ve elastik kuvvetleri bunlar arasındaki bağ kuvvetlerinden daha yüksek olacaktır. Bu yüksek atalet ve elastik kuvvetler yüzey gerilimini kırarak katı-sıvı ayırımını gerçekleştireceklerdir.

Sarabia ve ark. (2000) çok ince parçacıkların gazlardan ve sıvılardan uzaklaştırılması işleminde, yüksek yoğunluklu ultrasonik dalgalar kullanmışlardır. Yüksek yoğunluklu ultrasonik titreşim kullanımı, geleneksel ayırma yöntemlerinde kapasite ve verimi arttırmıştır.

Özer ve ark. (2001) ultrasonik titreşimi killerin çöktürülmesinde kullanarak daha yüksek pülpte katı oranlarına ulaşmışlardır.

Ultrasonik işlem özellikle kömür ve gıda dispersiyonlarında pülpün susuzlandırılması amacıyla geleneksel filtrasyon işlemleri ile uzaklaştırılmayan bond suyunun uzaklaştırılmasında kullanışlı olmaktadır (Stepniak ve ark., 2003).

Önal ve ark. (2003) ultrasonik ortamda killerin susuzlandırılması için çalışmışlar, farklı yerlerden alınan kil örnekleri üzerinde ultrasonik enerji, flokülant ilavesi ve pülp yoğunluğu gibi birçok parametrenin etkisini araştırarak, en uygun şartları belirlemişlerdir. Sedimentasyon süresince uygulanan ultrasonik işlemin, kilin sedimentasyonunu etkilediği ve sedimentasyon süresini kısalttığı sonucuna varmışlardır.

### 2.1.7.2. Flotasyon işlemlerinde kullanımı

Asai ve Sasaki (1958) flotasyon pülpünün ultrasonik işlemde geçirilmesiyle ince kömürün kazanma veriminin iyileştirildiğini rapor etmişlerdir. Zubkov ve Belov (1982) ultrasonik ön koşullandırmanın nadir metal cevherlerinin flotasyonundaki etkisi üzerine çalışmışlardır. Bu araştırmacılar artan flotasyon verimini reaktiflerin daha iyi dağıtılmasına bağlamışlardır.

Kowalski ve Kowalska (1978) hidrofobik minerallerin flotasyonunda, ultra ses dalgalarının polar olmayan toplayıcılar üzerine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda nonpolar reaktiflerin ultrasonik etki ile çok daha iyi emülsiyeye edildikleri ve % 89.3'ü 0.001 mm boyutundan daha küçük olacak şekilde oluştuğunu bulmuşlardır. Bu çalışmalarını bir fosfat cevheri üzerinde uygulayarak yüksek verimler elde etmişlerdir. Bu iyileşmenin nedenleri olarak da toplayıcının iyi dağıtılmasını, mikro kabarcık oluşturarak katı-sıvı-hava ara yüzey çarpışma olasılığının daha fazla artırılmasını göstermişlerdir. Ayrıca araştırmalarda frekansın daha da artması durumunda bu faydalı etkilerin azaldığını bulmuşlardır. Bunu da elektriksel çift tabakadaki karışıklığa bağlamışlardır. Sonuç olarak ultrasoniğin kullanılması ile (25 kHz, 500 W), flotasyon zamanının azaltılması, kullanılan toplayıcı ve köpürtücülerin miktarının azaltılması, köpüklerin daha sonraki aşamalarda söndürülmesi gibi faydalarının olduğunu bildirmişlerdir.

Barit-florit-kuars cevherinden baritin flotasyonunun seçiciliğinde ultrasonik alanın etkisi Slaczka (1986) tarafından incelenmiştir. Çalışmalarda 22 kHz'lik bir frekans  $0.5 \text{ w/cm}^2$ 'lik bir yoğunlukla kullanılmıştır. Deneyle yüksek frekansın saflığı yüksek minerallerin flotasyonuna etkisi, şlam atmaya olan etkisi ve mineral üzerine toplayıcı adsorbsiyonu üzerine etkileri araştırılmıştır. Sonuç olarak ultrasonik ön işlemin baritin seçiciliğini oldukça büyük oranda arttırdığı bulunmuştur. Bu çalışmada baritin yüzeyinin daha kırılğan olduğundan çukurlaştırılarak adsorblanma kabiliyetinin artırılması ve ters şekilde daha sert olan florit yüzeyinin ise düzleştirilerek ve böylece adsorbsiyonu düşürülerek, seçiciliğin artırıldığı sonucuna varılmıştır.

Diğer bir çalışmada ultrasonik ön koşullandırma işleminin kömür ve galenin yüzebilirlikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Kömür, yüzdürülmeden önce sonik işlemde geçirilmesinin, kömürün hidrofobikliğini tümüyle eski durumuna döndürdüğü bulunmuştur. Toplayıcı yokluğunda sonik işlemde geçirme sonrası şlam giderme ve toplayıcı ile koşullandırma, sonik işlem olmadan yapılan oranla daha yüksek verim

sağlamıştır. Verimdeki iyileşmeyi açıklamak için temiz yüzeylerin oluşmasının ardından su iten katı üzerinde mikro kabarcıkların oluşması ve bundan kaynaklanan kabarcık-tane bağlanmasının neden olabileceği bildirilmiştir. Bu sonuçlar ayrıca, uygun koşullar altında yapılan ultrasonik işlemin galen-ksantat sistemindeki toplayıcı tüketimini en az % 50 oranında azaltabileceğini göstermiştir. Çalışmalar 22 kHz'de ve  $0.5 \text{ w/cm}^2$  gücünde yapılmıştır (Çelik, 1989).

Aldrich ve Feng (1999) yapmış oldukları bir çalışmada, sülfürlü cevherlerin flotasyonunda ultrasonik titreşimin yüzebilirliği belirli bir şekilde arttırdığı ve prosesi geliştirdiği ortaya konulmuştur. Ayrıca diğer bir çalışmada ultrasonik titreşimin mineral tanelerinin yüzey özelliklerini değiştirdiği ve selektif zenginleştirmede silikatların bastırıldığı bunun sonucu olarak da flotasyon hızının, tenörün ve kazanma veriminin arttığı, kullanılacak reaktif sarfiyatının ise azaldığı ifade edilmiştir (Stoer ve ark., 1992).

Djendova ve Mehandjiski (1992) tarafından hidrodinamik olarak ultrasonik titreşim üreten bir cihaz tasarlanarak bakır cevheri flotasyonunda kullanılmıştır. Bu deneylerde metal veriminde % 6 oranında bir iyileşme gerçekleşmiştir.

Özkan ve Veasey (1994) tarafından yapılan bir araştırmada ise, kolemanit flotasyonunda oluşan şlam kaplamalarını önleyebilmek için uygulanan ultrasonik ön koşullandırmanın etkisi incelenmiş ve ultrasonik işleminden sonra şlamları atılan kolemanit numunelerinin çok yüksek konsantrasyon, tenör ve verimde yüzdürülebileceği saptanmıştır.

Çelik ve ark. (1998) kolemanit flotasyonunda fazla reaktif tüketimine neden olan ve seçimliliği azaltan şlamın uzaklaştırılmasında ultrasonik işlemin etkisini incelemiştirler. Bu araştırmacılar tarafından ultrasonik işlem, kolemaniti kaplayan kil taneciklerinin seçimli olarak ayrılması için yeni bir yöntem olarak ileri sürülmüştür.

Çoğu araştırmalar göstermiştir ki yoğun akustik alan şiddeti minerallerin flotasyonunu kimyasal ve dağıtma etkisine bağlı olarak değiştirebilmektedir. Kimyasal etkiler kaviteasyonun neticesi olarak açıklanabilmektedir. Basınç ve sıcaklıktaki yükseliş etkisinde buna eşlik etmektedir. Sıvı-katı etkileşimler sıvının kohezyon kuvvetinden daha zayıf olduğu için, katı-sıvı ara yüzeyi daha uysal davranmaktadır. Özellikle sudaki hidrofobik parçacıklar daha zayıf katı-sıvı etkileşimleri yaşamaktadırlar. Çünkü kaviteasyon etkisi kolaylıkla ara yüzeylerin çoğunda oluşabilmektedir. Bu olay mineral yüzey özelliklerini değiştirerek, mineral yüzeyine kollektör adsorpsiyonunu

kolaylaştırarak minerallerin flotasyon yeteneğini arttırmaktadır (Smythe ve Wakeman, 2000).

Kavitasyon tarafından açığa çıkan enerjinin en basit etkisi bir süspansiyon içinde asılı olan tanelerin yüzeylerini temizliyor olmasıdır. Bu enerjinin yüksek olması mineral yüzey özelliklerini bozacağı düşünülebilir. Kavitasyonun flotasyon öncesi ve flotasyon işlemi boyunca kullanıldığı zaman bazı reaktiflerin kimyasal yapısını değiştirebildiği bilinmektedir (Tao ve ark., 2000).

Özkan (2002) manyezit artıkları üzerindeki ultrasonik işlemin sonuçlarını geleneksel flotasyon sonuçları ile karşılaştırmış, ayrıca ultrasonik titreşimin köpük alma zamanını ve köpük stabilitesini arttırdığını belirlemiştir.

Misra ve ark. (2003) arsenopirit flotasyonunda ultrasonik ile ön koşullandırmanın etkisini incelemişler ve ultrasoniğin oksitli arsenopiritin oksit tabakasını uzaklaştırarak randımanı arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Vargas-Hernández ve ark. (2003) kavitasyonun flotasyon işlemine olan etkisini araştırmışlar ve ultrasonik dalgaların, ultra ince tanelerin kabarcık tarafından yakalanarak verimliliğin artışı sağlayan ince kabarcık üretimine neden olduğunu bulmuşlardır.

Gürpınar ve ark. (2004) kalsit, barit ve kuvars flotasyonunda ultrasonik enerjinin etkisini incelemişler ve ultrasonik dalgaların, kalsit ve barit flotasyon verimini pozitif etkilerken, kuvars flotasyon verimini ise negatif etkilediği sonucuna varmışlardır.

Feng ve Aldrich (2005) kömür flotasyonunda ön kondisyonlamanın etkisini araştırmışlar, ultrasonik ön kondisyonlamanın oksitli kömür flotasyonunu iyileştirdiği, daha küçük fraksiyonlarda flotasyon hızı ve randımanını arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Özkan ve Kuyumcu (2007) kömür flotasyonunda ultrasonik enerjinin etkisini araştırmış ve sonuç olarak kömür flotasyon zamanını kısalttığı, reaktif sarfiyatını azalttığı ve kömür flotasyonunda verimi pozitif olarak etkilediği sonucuna varmışlardır.

Çilek ve ark. (2009) ultra ses dalgalarının flotasyona ve seçiciliğe olan etkisini araştırmışlardır. Bu çalışma kompleks sülfür cevheri üzerinde, farklı flotasyon koşullarında yürütülmüştür. Sonuç olarak, ultra sesin seçiciliği artırdığı, ultra ses kullanılan deneyler ile kullanılmayan deneyler arasında kabarcık dağılımı arasında da anlamlı bir fark olduğu ortaya konulmuştur.

Kang ve ark. (2009) tarafından yüksek kükürt içerikli kömür flotasyonu üzerine ultrasonik ön koşullandırmanın etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada ultrasoniğin, hem

pülpün yüzey yapısını hem de ince kömürün yüzey yapısını değiştirerek kömür flotasyonunda kükürt giderimini artırdığını ortaya konulmuştur.

Bakır flotasyonu üzerine ultrasoniğin etkisi farklı koşullar altında incelenmiştir. Sonuç olarak, atıklardan bakırın geri kazanılmasında % 3.5 artış elde edilmekte ve bu durum kavitasyonun reaktiflerin etkisini artırdığı şeklinde açıklanmaktadır (Videla ve ark., 2016).

Ultrasonik ön işlem süresinin oksitli kömür flotasyonu üzerindeki etkisi ve ultrasonik ön işlemden önce ve sonra kömür örneklerinin fiziko kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışmada ultrasonik ön işlemin kömür flotasyonuna olumlu etkisi görülmüştür. Temiz kömür verimi ultrasonik ön işlem süresi ile artmıştır. Maksimum temiz kömür verimi (% 79.6) ve flotasyon kinetiği sabitinin maksimum değeri, 10 dakikalık ultrasonik ön işlemden sonra elde edilmiştir (Xu ve ark., 2017).

Peng ve ark. (2018) tarafından yüksek kül içerikli linyit kömür flotasyonu üzerine ultrasoniğin etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, ultrasonik muamele ile düşük kül içeriği ve daha yüksek konsantre verim elde edilmiştir.

### **2.1.7.3. Flokülasyon ve yağ aglomerasyonu işlemlerinde kullanımı**

Katı sıvı sistemlerinde büyük etkiler gerçekleştiren ultrasonik titreşimin, flotasyon işlemlerinin yanında seçimli flokülasyon ve yağ aglomerasyonu işlemlerinde kullanımına yönelik sınırlı ölçüde çalışmalar bulunmaktadır.

Uçucu küllerin zenginleştirilmesine yönelik, inorganik maddelerin yanmamış kömürden ayrılması amacıyla yapılan bir çalışmada, kolon flotasyon hücresine adapte edilen ultrasonik transdüser ve ön kondisyonlama tankında kullanılan bir ultrasonik prob ile yağ aglomerasyonu yapılarak, ultrasonik titreşimin bu işlemde karbon miktarını olumlu yönde etkilediği ortaya konulmuştur.

Demir cevherleri artışının (% 50.5 Fe) değerlendirilmesine yönelik olarak ultrasonik titreşim altında yapılan seçimli flokülasyon çalışmalarında % 65 Fe içerikli demir konsantresi % 91 kazanma verimi ile elde edilirken, ultrasonik etki olmaksızın bu değer % 59 Fe içeriği ve % 75 demir kazanma verimi olduğu görülmektedir. Buradaki bu iyileşmenin, katı-sıvı ara yüzeylerinde oluşan bozunmalara bağlı olduğu ve böylelikle flokülantın mineral yüzeyine adsorpsiyonunun kolaylaştığı ifade edilmiştir. Buna bağlı olarak seçimlilik ve verim artmaktadır. Ayrıca ultrasonik etki ile birlikte

aktivasyonun artması dispersiyona sebep olur ki bu da sonucu etkileyen diğer bir olaydır (Singh ve Singh, 1997).

#### **2.1.7.4. Öğütme ve dağıtma ile zenginleştirme işlemlerinde kullanımı**

Yerkovic ve ark. (1993) Şili porfiri bakır cevherinin ultrasonik etki altında öğütülmesi ile ilgili çalışmalarında, malzemelerin öğütülmesi için kullandıkları ultrasonik merdaneli öğütücünün, kömür ve kireçtaşı gibi yumuşak malzemelerin yanı sıra, bakır cevherleri gibi sert malzemelerin öğütülmesi için umut verici bir alternatif olduğunu ifade etmişlerdir.

Gaete-Garretton ve ark. (2000) öğütme işleminde ultrasonik titreşimin kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Ultrasonik enerjinin uygulanması ile normal öğütme koşulları karşılaştırıldığında, ultrasonik titreşimin sarf edilen enerjiyi, gerekli olan torku ve şaftın üzerindeki baskıyı azalttığı sonucuna varmışlardır.

Toraman (2017), tarafından ultrasonik karıştırıcı kullanılarak kalsit cevherinin ince parçacık boyutlarına kırılması araştırılmıştır. Bu çalışmada ultrasonik muamelenin kalsitin partikül büyüklüğünün azaltılmasında etkili bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

#### **2.1.7.5. Liç işlemlerinde kullanımı**

Slaczka (1986) karbonatlı çinko cevherinin amonyak liçi üzerine ultrasonik enerjinin etkisini araştırmıştır. Ultrasonik alanın kullanılması ile liç edilen karbonatlı cevherin yüzeyi üzerindeki difüzyon tabakasının kalınlığı düşürülmüş ve daha kısa sürede liç yapılmıştır. Ultrasonik işlem ile birlikte gelen kavitasyon, yayılma basıncı ve kuvvetli türbülanslı akış gibi olayların sıvı içine batırılmış katı yüzeylerinde olduğu ve difüzyon tabakasının karakterini değiştirdiği ifade edilmiştir.

Swamy ve ark. (1995) ise ultrasonik titreşimin nikel cevherinin mikrobiyal liç işlemi üzerine etkisini incelemişlerdir. Ultrasonik işlem ile gerçekleştirilen mikrobiyal liç işleminin sıradan asit liçleri ile karşılaştırıldığında nikel veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

### **2.1.7.6. Gaz-katı ve sıvı-katı sistemlerinden katının ayrılması işlemlerinde kullanımı**

Yüksek yoğunluklu akustik enerji, süspansiyon içindeki çok ince taneleri aglomera edebilme özelliğinden dolayı, bu tanelerin süspansiyonlardan uzaklaştırılmasında kullanılabilir. Özellikle termik santrallerde çıkan dumanın içindeki kömür parçacıklarının tutulması sağlanarak, filtrasyon işleminde verim yükseltilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada dikdörtgen biçimdeki aglomerasyon odalarının duvarlarına bir kaç ultrasonik transdüser yerleştirilerek çok ince boyuttaki ( $< 1 \mu\text{m}$ ) parçacıkların filtrasyonda tutma veriminin % 7 oranında artması sağlanmıştır (Gallego-Juarez, 1994).

Çok ince parçacıkların gazlardan ve sıvılardan ayrılması ve uzaklaştırılması işlemi önemli bir endüstriyel uygulamadır. Yüksek yoğunluklu ultrasonik titreşim kullanımının, geleneksel ayırma yöntemlerinin kapasitelerini ve verimini arttırmada katkısı bulunmaktadır. Bu etki ve iyileşme genel olarak temizlenen ortama bağlı olmaktadır (de Sarabia ve ark., 2000; Kobayashi ve ark., 2003).

İçerisinde uzaklaştırılması gereken çok ince taneciklerin bulunduğu gaz süspansiyonlarında ultrasonik titreşim, taneciklerin aglomerasyonunu sağlamaktadır. Bu etki ile oluşan aglomerasyon işlemi, taneciklerin tane boyutunu büyütür, elektrostatik filtreler ve siklonlar gibi geleneksel filtrelerde katı toplama verimini arttırmaktadır. Bahsedilen geleneksel filtreler genellikle daha iri parçacıkların toplanmasında verimli iken  $2.5 \mu\text{m}$ 'den daha küçük tane boyutları için efektif olamamaktadır.

### **2.1.7.7. Ultra sesin diğer uygulama alanları**

Ultrasonik titreşimin, malzemelerin fiziksel özelliklerini karakterize etmek amacıyla kullanımı çok yaygın olmakla birlikte, tıbbi tasarımlarda, malzeme test yöntemlerinde, çatlak bulma, okyanus geometrisinde, temizleme işlemlerinde, akışkan akış ölçümleri alanında yüzey açma, kaynak (ergitme) ve plastiklerin montajı işlemlerinde ve emülsiyonlarda parçacık dispersiyon stabilitesini sağlamak amacıyla birçok endüstride kullanılmaktadır (Gallego-Juarez, 1994). Ultrasonik frekansa bağlı olarak çeşitli uygulamalar Çizelge 2.1'de verilmiştir.



**Çizelge 2.1.** Ultra sesin uygulama alanları (Mason, 1990).

<b>ALAN</b>	<b>UYGULAMA</b>
<b>Biyoloji, Biyokimya</b>	Hücre içeriklerini serbestleştirmek için biyolojik hücre duvarlarını kırma,
<b>Mühendislik</b>	Delme, kesme, öğütme, sert ve kırılğan malzemelerin üretilmesi, plastik ve metal kaynaklama, temizleme
<b>Endüstri</b>	Boya, mürekkep ve reçine içinde pigment ve katıların kolayca disperse edilmesi, parçaların banyo içinde temizlenmesi ve yağından arındırılması, akustik filtrasyon, kurutma, otomizasyon, kristallendirme, gazsızlaştırma ve elektro kaplama
<b>Tıp</b>	Tanı ve tedavide görüntüleme, fizikoterapide masaj etkisi, kas gerilmelerinin özel muameleleri
<b>Plastik ve polimerler</b>	Termoplastiklerin kaynağı, küresel bir polimerizasyonu başlatmada yeni oluşan polimerlerin önlenmesi,

## 2.2. İnce Tane Hazırlama Yöntemleri

Cevher hazırlamada ince tane hazırlama yöntemleri olarak dispersiyon, koagülasyon, makaslama flokülasyonu, yağ aglomerasyonu, sıvı-sıvı ekstraksiyonu, polimerik flokülasyon, flotoflokülasyon ve agloflotasyon teknikleri söylenebilir.

### 2.2.1. Dispersiyon

İnce partiküllerin bulunduğu birçok partikül sisteminde tanelerin sürekli sıvı faz içerisinde dağılımına gerek duyulur. Her partikül sıvı faz tarafından tamamıyla çevrelenir ve her partikülün diğer partiküllerle kalıcı kontakların mevcudiyeti azdır veya yoktur. Dispersiyon oluşturulduğunda problem onun korunmasıdır. Genellikle dispersiyonun korunmasında en pratik yol dispersant olarak isimlendirilen kimyasallar kullanmaktır. Dispersantlar, inorganik dispersantlar ve polimerik dispersantlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Laskowski ve Ralston, 2015). Bunlar:

#### A- İnorganik dispersantlar

- Sodyum silikat, sodyum fosfat tuzları

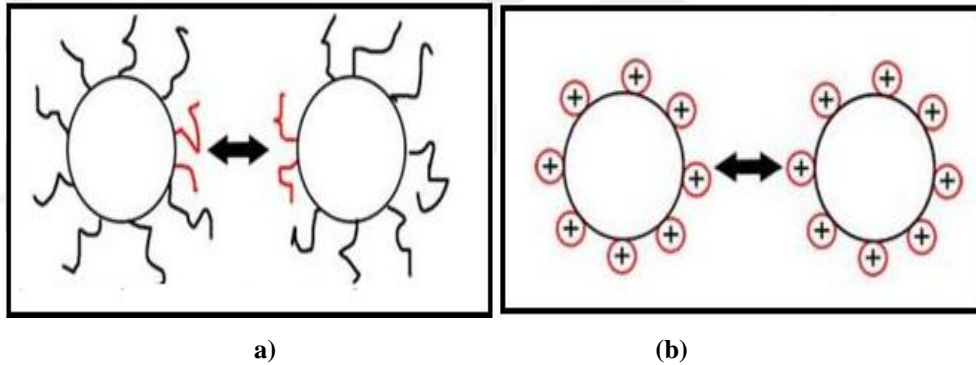
## B- Polimerik dispersantlar

### 1) Doğal kaynaklardan üretilen polimerik dispersantlar

- Polisakkaridler (nişasta ve nişasta türevleri, dextrin)
- Polyphenoller (Tannin, lignin, humik asit, quepracho)

### 2) Sentetik polimerik dispersantlar (düşük moleküler ağırlıklı polielektrolitler)

Bir mineral süspansiyonun dispersiyonu elektrostatik stabilizasyon veya sterik stabilizasyon ya da birlikte etkisi ile sağlanabilir. Elektrostatik stabilizasyon işlemi partikül yüzey şarjları artırılarak tanelerin birbirini elektriksel olarak itmeleri ile gerçekleşmektedir. Sterik stabilizasyonda ise partiküller arasında fiziksel bir bariyer inşa edilir. Sterik stabilizasyona partikül yüzeylerine polimer veya yüzey aktif maddelerin adsopsiyonu neden olur. Sterik stabilizasyon başka bir ifadeyle, partiküllerin birbirine yakınlaşmasını önlemek için adsorplanan kimyasalların yapılarını kullanmaları esasına dayanır (Laskowski ve Ralston, 2015).

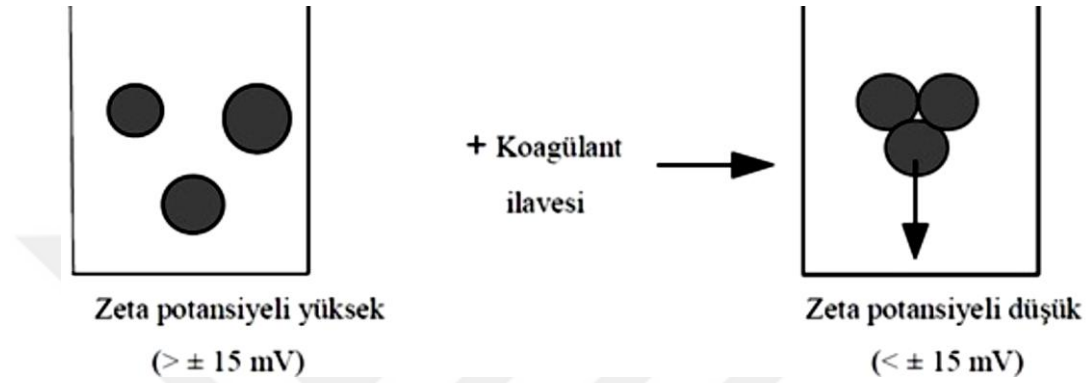


Şekil 2.10. Taneler arasındaki itme mekanizması a) Sterik itme b) Elektrostatik itme (Laskowski ve Ralston, 2015).

### 2.2.2. Koagülasyon

Bir sıvı içerisinde bulunan katı taneleri belirli bir yüzey elektrik işaretine ve potansiyel değerine sahiptir. Aynı elektrik yükünü taşıyan taneler, elektrostatik olarak birbirini itmektedirler ve böylece çökmeden askıda durabilmektedirler. Tanelerin bir araya gelmesine diğer bir engel ise tanelerin yüzeyine adsorplanmış su tabakasıdır. Bu su tabakası da tanelerin birbirlerine iyice yaklaşmasına engel olmakta ve taneler arasında Van der Waals çekim kuvvetlerinin etkinliği azaltmaktadır (Gregory, 1989). Ortama ilave edilecek bir kısım inorganik elektrolitler yani  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $AlCl_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgCl_2$ ,  $CaCl_2$ ,  $Ca(OH)_2$  ve  $Mg(OH)_2$  gibi koagülantlar yardımı ile katı tanelerin zeta

potansiyelleri sıfıra veya sıfıra yakın bir değere indirilerek, taneler arasındaki elektriksel çift tabaka itme kuvvetleri (yani elektrostatik itme kuvvetleri) azaltılabilir. Böylece taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetleri egemen hale gelerek taneleri bir araya getirir ve bu işleme de koagülasyon adı verilmektedir (Şekil 2.11). Koagüle olmuş yani topaklanmış bu taneler ise yerçekimi kuvvetinin etkisi ile daha etkin çöktürülebilmektedir (Laskowski ve Pugh, 1992; İpekoğlu, 1997).



Şekil 2.11. Bir süspansiyondaki disperse partiküllerin koagülasyonu.

Süspansiyonların kararlılığı, taneler arası itme kuvvetlerine ve çekme kuvvetlerine bağlıdır. Şekil 2.12’de gösterildiği gibi taneler arasındaki net etkileşim enerjisi, bu iki tip enerjinin toplamıyla elde edilir. İki tane arasındaki belirli bir mesafede,  $E_A$  (çekme enerjisi) ve  $E_R$ ’nin (itme enerjisi) büyüklüklerine bağlı olarak, net etkileşim enerjisi ( $N_E$ ) maksimum bir noktaya (M) ulaşır. Bu enerji bariyeri tanelerin birbirlerine yaklaşmasına engel olur. Süspansiyonun karıştırılması ile sağlanan kinetik enerji, bu enerji bariyerini aşarsa sistem koagüle olabilecektir (Derjaguin ve Landau, 1941; Verwey ve ark., 1948). DLVO teorisi makaslama flokülasyonu için tam olarak geçerli değildir (Song ve ark., 2000). Çünkü makaslama flokülasyonunda hidrofobik çekim kuvvetleri (hydrophobic attraction) DLVO teorisinde dikkate alınmayan ve süspansiyonun flokülasyonuna neden olan ek bir faktördür.

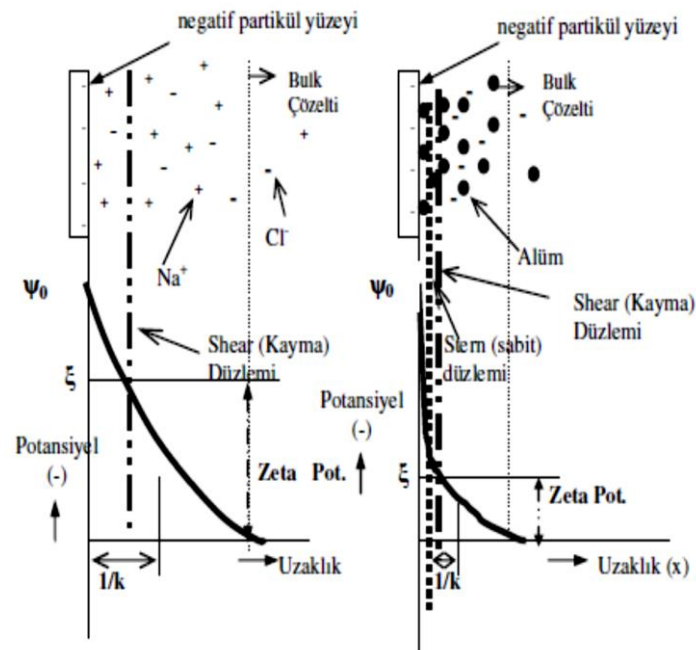


### 2.2.2.2. Koagülasyon mekanizmaları

Koagülasyon mekanizması, yük nötralizasyonu ve süpürme koagülasyonu olarak iki şekilde gerçekleşir.

#### 2.2.2.2.1. Yük nötralizasyonu ile koagülasyon

Süspansiyon içerisinde negatif zeta potansiyeline sahip olan mineral taneleri söz konusu olduğunda ve süspansiyona koagülantlar vasıtası ile katyon ilavesi yapıldığında, katyonlar negatif şarj taşıyan tane yüzeylerine adsorplanır ve tanenin elektriksel çift tabakasını bastırarak zeta potansiyelini düşürür (Şekil 2.13). Böylece taneler arası itme kuvvetleri azalacağından taneler arasındaki Van der Waals çekim kuvvetleri baskın hale gelerek taneler topaklanabilmekte ve yük nötralizasyonu ile koagülasyon gerçekleşmektedir.

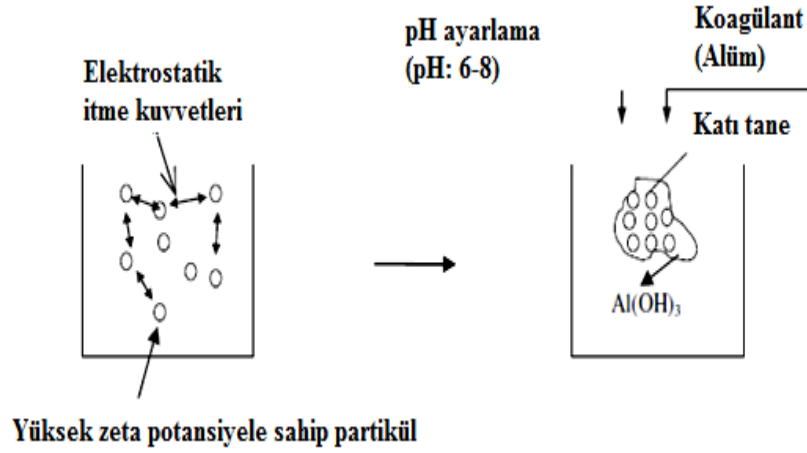


Şekil 2.13. Yük nötralizasyonu ile koagülasyon (Gregor ve ark., 1997; Duan ve Gregory, 2003)

#### 2.2.2.2.2. Süpürme koagülasyonu (Sweep coagulation)

Süspansiyon içerisinde yüksek zeta potansiyeline sahip mineral taneleri birbirlerine yüksek elektrostatik itme kuvvetleri uygulamaktadırlar. Süspansiyonun pH'ı bazik ve nötral olduğu durumlarda süspansiyon içerisine ilave edilen koagülantlar

özellikle çözünmeyen çökelekler oluşturur. Bu çökelekler oluşurken süspansiyon içerisindeki taneleri de beraberinde tutarak bir arada çökelmektedirler. Buna sıyırma (süpürme) koagülasyonu denilmektedir (Gregory, 1989).



Şekil 2.14. Süpürme koagülasyonu (Gregory, 1989).

### 2.2.3. Makaslama flokülasyonu

Süspansiyondaki ince tanelerin bir araya getirilmesi, polimerik flokülasyon ve koagülasyon yöntemlerinin dışında “makaslama flokülasyonu (shear flocculation)” ile de sağlanabilir. Makaslama flokülasyonunda, flotasyonda toplayıcı olarak da kullanılan yüzey aktif maddelerle tane yüzeylerinin hidrofobizasyonu sağlanmakta ve süspansiyonun uygun bir karıştırma hızında karıştırılması ile taneler floküle edilebilmektedir. Bu işlemde, taneler arasındaki hidrofobik çekim (hydrophobic attraction) ve tanelerin birbirine teması sırasında yüzeylere adsorplanan yüzey aktif maddelerin hidrokarbon zincirlerinin birleşmesi (hydrocarbon chain association) söz konusudur (Warren, 1975; Warren, 1992).

Temiz hidrofobik yüzeylerde, ince su filminden dolayı taneler birbirlerine yaklaştıkları zaman itici kuvvetler (hidrasyon kuvvetleri) etkili olmakta ve bu sebeple flokülasyon mümkün olmamaktadır. Toplayıcı ilave edildiğinde ise bu sıvı filminin yerini toplayıcıyı oluşturan iyonların hidrokarbon uçları almaktadır. Bu uçlar arasında hidrofobik bir bağ oluşmakta ve makaslama flokülasyonu gerçekleşmektedir. Hidrofobik yapılan tanelerin bir araya getirilmesi için gereken enerji, itici kuvvetlerin sağladığı enerjiden daha büyük olmalıdır. Bu da süspansiyonun karıştırılması ile mümkün olmaktadır. Karıştırma sırasında oluşan kinetik enerji, itici kuvvetlerin

meydana getirdiği enerji bariyerini aşmakta ve tanelerin bir araya gelmesini sağlamaktadır. İnce tanelerin kazanılması açısından makaslama flokülasyonunun avantajları ise şöyle sıralanabilir (Koh ve Warren, 1981):

- Floklar zenginleştirme işlemleri süresince dağılmayacak kadar dayanıklıdır.
- Polimerlerle flokülasyonda hidrofilik floklar elde edilirken, makaslama flokülasyonunda floklar hidrofobik olduğu için doğrudan flotasyonla kazanılmaya uygundur.
- Kullanılan reaktifler ile ince tanelerin oluşturduğu flokların flotasyonu bireysel hallerine göre daha verimli olur.

Minerallerin yüzey aktif maddelerle makaslama flokülasyonu hakkında çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bunlar arasında; şelit (Koh ve Warren, 1980; Koh ve ark., 1986), apatit (Yongping ve Mulong, 1988; Wang ve Heiskanen, 1992), rodoksit (Song ve Lu, 1994), volframit (Dawei ve ark., 1986), kasiderit (Bilgen, 1993), hematit (Song ve Lu, 1994), kuvars (Lu ve ark., 1988; Özkan ve ark., 2009), kromit (Akdemir ve Hiçyılmaz, 1996), selestit (Aydoğan ve Akdemir, 1998; Özkan ve Yekeler, 2004; Özkan ve ark., 2006) yer almaktadır.

Seçimli makaslama flokülasyonu ise, çeşitli minerallerin karışımından oluşan bir süspansiyonda ayrılması istenen mineral tanelerinin bir araya getirilip diğerlerinden ayrılması işlemi veya tersidir. Flotasyonda olduğu gibi, yüzey aktif maddelere ilaveten seçimliliği artırmak için yine uygun dağıtıcılar ve bastırıcılar kullanılabilir.

### **2.2.3.1. Makaslama flokülasyonu etkileyen parametreler**

#### **2.2.3.1.1. Tane hidrofobisitesi**

Katı, sıvı ve gaz fazlarından oluşan flotasyon sisteminde katı faz, sıvıya göre gaz fazını tercih ediyorsa, katıya sıvıyı sevmeyen (hidrofobik), gaza göre sıvı fazı tercih ediyorsa, sıvıyı seven (hidrofilik) denir. Hidrofobik mineraller düşük yüzey enerjili minerallerdir (kömür, grafit, kükürt, talk gibi). Birkaç istisna dışında tüm mineraller hidrofilik karakterdedir. Hidrofobiklik her ne kadar katı-sıvı-hava üçlü faz sistemindeki ara yüzeyler arasındaki ilişkiden kaynaklansa da hidrofobikliği ve yüzebilirliği basit eşitliklerle ve kurallarla ifade etmek için çok uzun zamanlardan beri çalışmalar

yapılmaktadır (Gaudin ve ark., 1942; Drzymala, 1994). Katıların hidrofobikliği ya da hidrofiliği katı-sıvı ve katı-hava ara yüzeyleri, kimyasal bağlar, katıların kristal yapısı, bulk özellikleri ve katıların su ile reaksiyona girebilmesi gibi özellikler bakımından incelenmiştir.

Karıştırma ile flokülasyonun olabilmesi için tane yüzeylerinin hidrofobik olması gerekmektedir. Birbirlerine yaklaşan taneleri çevreleyen su tabakasının inceltmesi veya yok edilmesi için gerekli olan enerji, hidrofobik tanelerde hidrofilik tanelere nazaran daha azdır (Pugh ve Kitchener, 1971; Warren ,1975).

Son yirmi yıl süresince çok ince mineral tanelerinin makaslama flokülasyonu üzerine yapılan çalışmalar, tane hidrofobitesinin makaslama flokülasyonunu etkileyen en önemli parametre olduğunu göstermektedir ve yüksek karıştırma hızı partiküllere enerji bariyerini aşabilecek yeterli kinetik enerjiyi sağlamaktadır (Song ve ark., 2000). Song ve arkadaşları yaptıkları çalışmalar sonucunda; yüzey aktif madde adsorpsiyonunun artması ile tane yüzeylerinin hidrofobikliğinin arttığını ve buna bağlı olarak temas açısının, makaslama flokülasyonunun ve flok yüzebilirliğinin arttığını belirtmişlerdir.

#### **2.2.3.1.2. Karıştırma hızı**

Tanelerin doğrudan teması ile hidrofobik etkileşim olduğu için, yüzey şarjı fazla tanelerin bir araya getirilmesi, bunun için de tanelerin enerji bariyerini aşan bir kuvvetle birbirlerine doğru itilmesi gerekmektedir. Bu sebeple, pülpün karıştırılması gerekmekte ve karıştırma hızı makaslama flokülasyonunu etkileyen önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır.

Makaslama flokülasyonunun başarısı, süspansiyondaki tanelerin birbiri ile çarpışma derecesine ve bu çarpma neticesinde birbirlerine bağlanma olasılığına bağlıdır. Tane boyutu, karıştırma hızına etki eden önemli bir faktördür. İnce tanelerin salkımlaştırılması için gereken hız, daha büyük tanelerin salkımlaştırılması için gereken hızdan daha fazladır (Warren, 1975; Jarrett ve Warren, 1977; Dippenaar, 1985). Ayrıca, ince tanelerin iri taneler ile salkımlaştırılması için gereken hız çok daha düşüktür (Warren, 1975; Sivamohan, 1988).



### **2.2.3.1.3. Tank tasarımı**

Flokülasyon tankının geometrisi, boyutu, tankta bulunan karıştırıcının yeri ve boyutu makaslama flokülasyonuna etki eden önemli parametrelerdir. Makaslama flokülasyonunu başlatmak için kritik bir makaslama oranı gerektiği için optimum tank şekli kesin olarak bilinmemektedir. Ancak, yüksek makaslama oranının meydana geldiği bölgelerde makaslama flokülasyonunun aktif olduğu kabul edilmektedir (Warren, 1975).

### **2.2.3.1.4. Yüzey şarjı**

Tanelerin yüzey şarjı onların zeta potansiyelleri ile ifade edilir ve makaslama flokülasyonunun derecesine etki eden önemli parametrelerden biridir. Tane yüzeylerindeki şarjın artması, taneler arası itme kuvvetlerinin artmasına neden olur. Bu bakımdan, hidrofobik şarjlı taneleri bir araya getirmek için gerekli kritik karıştırma hızının azalan yüzey şarjı ile azalması beklenir (Warren, 1992).

### **2.2.3.1.5. Flokülasyon süresi**

Makaslama flokülasyonunun nispeten yavaş bir işlem olduğu belirtilmesine rağmen kısa sürelerde de yüksek verimlerin alındığı bilinmektedir. Salkımlaşma yavaş bir işlem olup belirli bir karıştırma süresi gerektirmektedir. Salkım büyümesinin yavaşlığı, yüzey yükü fazla tanelerde birbirlerine çarpma olasılığının zorluğu ile açıklanabilir (Jarrett ve Warren, 1977). Ancak, iri tanelerin ince taneler ile birleşmesi için gereken süre daha azdır (Sivamohan, 1988).

### **2.2.3.1.6. Tane boyutu**

Çeşitli mineraller ile yapılan flokülasyon deneyleri sonucunda, tane boyutunun küçülmesi ile toplam yüzey alanının artmasına paralel olarak kullanılacak reaktif miktarının da arttığı bilinir (Warren, 1975). Tane boyutu, karıştırma hızı ve karıştırma süresini de etkilemektedir. İnce tanelerin salkımlaşabilmesi için karıştırma hızını artırmak gerekirken, iri tanelerin salkımlaşması daha düşük karıştırma hızını gerektirmektedir. Warren (1975), genellikle ince tanelerin iri tanelere nazaran daha

büyük bir makaslama oranına ihtiyaç duyduğunu çalışmalarında belirtmiştir. Küçük bir karıştırma tankında, 850 dev/dak hız ile ve  $10^{-4}$  mol sodyum oleat konsantrasyonunda, 1 µm boyutlu şelit tanelerinin makaslama flokülasyonunun düşük olduğu, ancak aynı koşullarda, 9 µm boyutundaki taneler üzerinde flokülasyonun iyi olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, 5-20 µm tane boyutundaki malzemeler için karıştırma hızının 850 dev/dak, 1-2 µm tane boyutundaki malzemeler için ise 1700 dev/dak olması gerektiği kullanılan tank geometrisi için ifade edilmiştir.

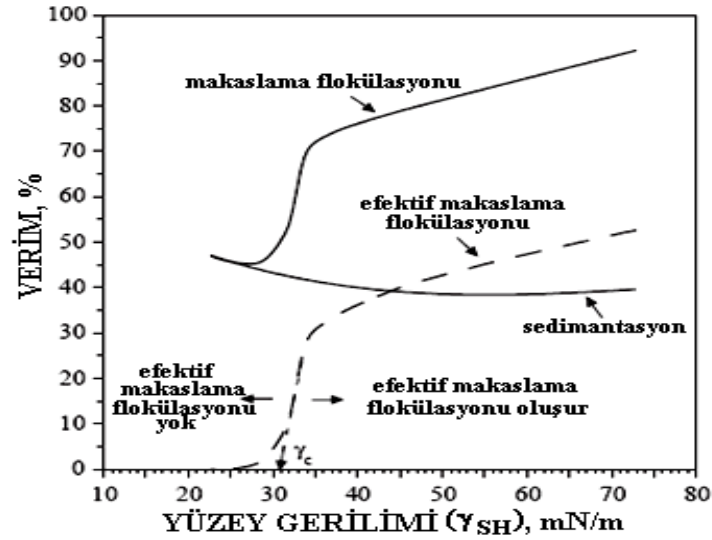
#### 2.2.3.1.7. Pülp yoğunluğu

Pülp yoğunluğu arttıkça, tanelerin birbirine yapışma ihtimali de artar. Bu nedenle kolaylıkla ve süratle flokülasyon meydana gelmesi doğaldır. Salkımların meydana gelme hızı partikül konsantrasyonunun karesi ile doğru orantılıdır. Salkımların karıştırmaya karşı gösterdikleri denge de pülp yoğunluğu ile artmaktadır. Karıştırma sonucu parçalanmış bir salkımın tekrar meydana gelmesi bir partikülün diğer bir partiküle değmesi için geçen süreye bağlı olmaktadır. Düşük pülp yoğunluğunda bu süre uzun olmakta ve polimer flokülant tekrar aynı partikül üzerine yapışmaya çalışmakta ve böylece sistem içinde köprü sayısı eksilerek flokülasyon kabiliyeti azalmaktadır (Toprak, 1996).

#### 2.2.3.1.8. Çözelti yüzey gerilimi

Zisman'ın kritik ıslanma yüzey gerilimi kavramının flotasyon işlemine tatbiki ile termodinamik flotasyon kriterinin izahına benzer olarak, makaslama flokülasyonunda önemli rol oynayan yüzey hidrofobitesini veya ıslanabilirliği Şekil 2.15 farklı bir açıdan izah etmektedir (Özkan, 2004).

Diğer taraftan, yüzey aktif madde ile muamele edilmiş minerallerin kritik ıslanma yüzey gerilimi değerlerini belirlemek için makaslama flokülasyonu yöntemi bir yaklaşım olarak kullanılabilir. Şekil 2.15'den anlaşılacağı üzere,  $\gamma_c < \gamma_{SH}$  makaslama flokülasyonu mümkünken,  $\gamma_c \geq \gamma_{SH}$  makaslama flokülasyonu mümkün değildir (Özkan, 2004). Burada;  $\gamma_c$  mineralin kritik ıslanma yüzey gerilimi,  $\gamma_{SH}$  çözelti ise çözelti yüzey gerilimidir.



Şekil 2.15. Makaslama flokülasyonu yöntemi ile  $\gamma_c$  değerinin belirlenmesinin şematik gösterimi (Özkan, 2004).

### 2.2.3.1.9. Ph

Süspansiyon pH'sının iki yönden büyük önemi vardır. Birincisi; pH, flokülantın ortamdaki aktivasyonunda önemli bir rol oynamaktadır. Non-iyonik formdaki bir polimer bile asidik ve bazik pH'larda + veya - yükler kazanabilir. Yani; iyonik (yükü) forma dönüşebilir. Bu da polimer ile katı tane arasında elektrostatik etkileşimi artırır. İkincisi; pH, süspansiyondaki katı tanelerin yüzey elektrik yükü kazanmasında doğrudan belirleyicidir (Ersoy, 2003).

### 2.2.3.1.10. Sıcaklık

Süspansiyonun sıcaklığı flokülant molekülünün aktivasyonunu etkilemekte ve ayrıca flokülantların sıcaklığa bağlı olarak sıvıda meydana getirdiği viskozite de farklı olmaktadır. Diğer yandan polimerin katı tane üzerine adsorpsiyonu sırasında ortam sıcaklığının bazen olumlu bazen de olumsuz etki yaptığı ifade edilmektedir (Alptekin, 2006).

### 2.2.4. Flokülasyon

Flokülasyon, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan dağılmış ince boyutlu tanelerin ortama katılan organik elektrolitler diğer adıyla polimerik flokülantlar ile bir araya getirilmesi

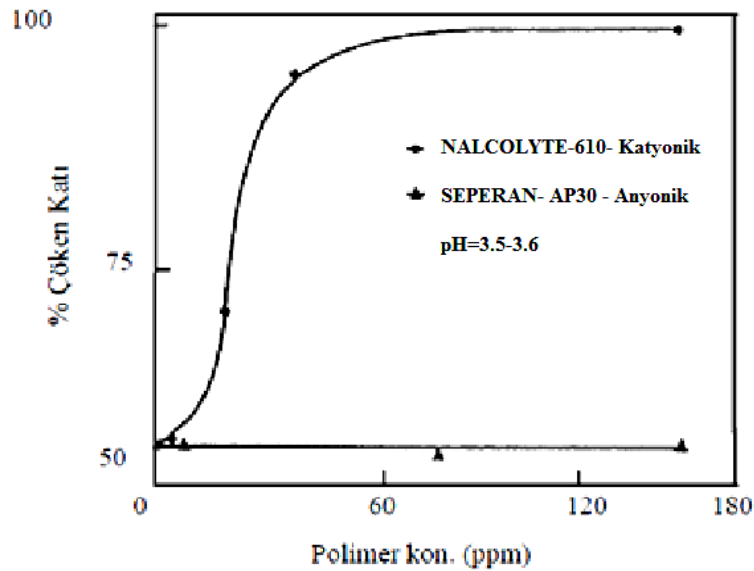
(salkımlaştırılması) işlemidir (Laskowski ve Pugh, 1992; İpekoğlu, 1997). Daha basit bir tanımla ise; flokülasyon, suda çözünebilen, yüksek molekül ağırlıklı organik polimerler kullanılarak, tanecikler arasında fiziksel bir köprü teşekkül ettirilerek yapılan bir işlemdir.

#### 2.2.4.1. Flokülantların adsorpsiyon mekanizmaları

Katı yüzeylerine polimer adsorpsiyonu polimerlerin ve çözeltinin özelliklerine bağlıdır. Polimerlerin özellikleri arasında, polimerin molekül ağırlığı ve dizilimi, fonksiyonel grupların dağılımı gibi özellikler sayılabilir. Çözeltinin özellikleri ise iyonik kuvvet, sıcaklık vb. gibi özelliklerdir. Mineral yüzeylerine polimerler elektrostatik, kovalent veya hidrojen bağları yardımıyla adsorplanabilirler (Somasundaran, 1980).

##### 2.2.4.1.1. Elektrostatik bağ

Polimerin yük yoğunluğunun göreceli olarak yüksek ve mineral tanesinin elektriksel yükünün zıt işarette olduğu sistemlerde görülen bir bağ türüdür. Yani, katyonik polimerlerin negatif şarj taşıyan mineral yüzeylerine adsorpsiyonu veya anyonik polimerlerin pozitif şarj taşıyan mineraller üzerine adsorpsiyonu bu yolla olabilir.



Şekil 2.16. Sentetik silikanın katyonik Nalcolyte 610 ve anyonik polimer Seperan AP-30 ile flokülasyonu (Somasundaran, 1980).

Şekil 2.16'da görüldüğü gibi, negatif şarj taşıyan silika, katyonik polimer ile elektrostatik adsorpsiyon yardımıyla floküle edilebilirken, anyonik polimer ile flokülasyon mümkün olmamaktadır.

#### **2.2.4.1.2. Hidrojen bağı**

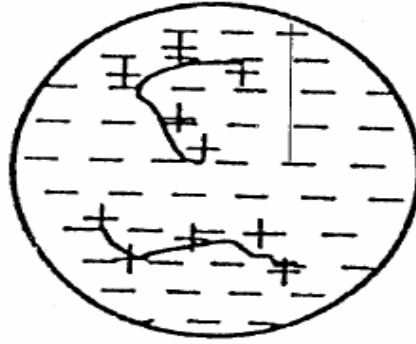
İyonik olmayan polimerler tanelerin üzerindeki yüzey oksijen grupları ile hidrojen bağı yaparak yüzeylere adsorbe olabilirler. Bu adsorpsiyon mekanizması elektriksel çift tabaka itme kuvvetlerinin zayıf olduğu durumlarda daha etkin olabilmektedir. Hidrojen bağı özellikle non-iyonik polimerlerin adsorpsiyonunda ve polimer-tane arasındaki elektrostatik itme kuvvetlerinin çok yüksek olmadığı ortamlarda daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır (Somasundaran, 1980).

#### **2.2.4.1.3. Kovalent bağ**

Polimerin aktif grupları ile tane yüzeyindeki metal iyonları arasında oluşan kuvvetli kovalent bağlar önemli bir adsorpsiyon mekanizmasıdır. Kovalent bağ ile polimerin seçimli adsorpsiyonu da sağlanabilmektedir (Somasundaran, 1980).

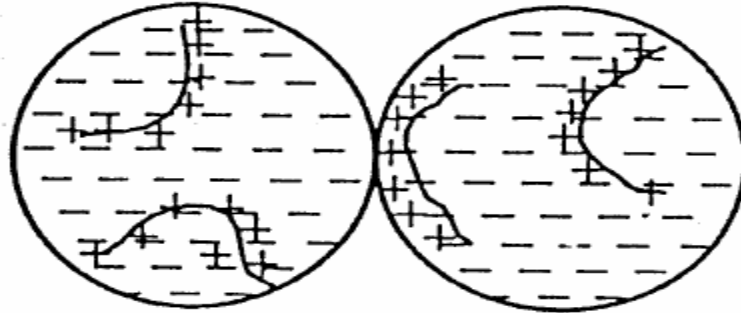
#### **2.2.4.2. Polimerlerin flokülasyon işlevi**

Polimer adsorpsiyonunun ve sonrasında gerçekleşen salkımlaşmanın arkasındaki mekanizmalar oldukça karışıktır ve bazı durumlar hala anlaşılammıştır (Klimpel, 1997). Flokülasyonda köprülenme (polymer bridging) ve şarj patikası çekimi (charge-patch attraction) adı altında iki genel mekanizma mevcuttur. Aşağıdaki şekillerde bu iki mekanizma grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 2.17'de negatif şarj taşıyan tane yüzeyleri üzerine adsorbe olan bir katyonik polimerin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.17. Şarj patikaları (Klimpel, 1997)

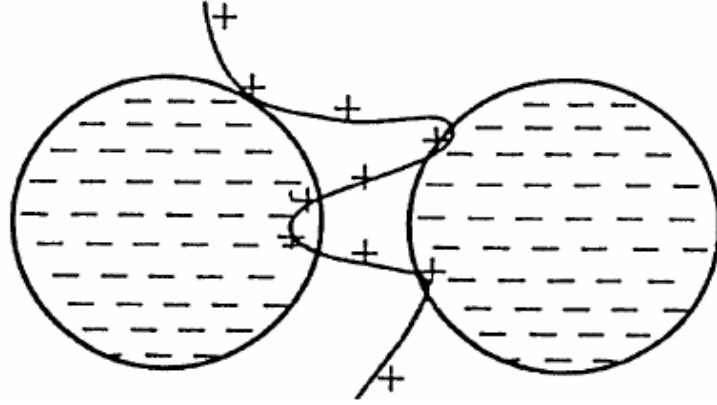
Şekil 2.18’de ise şarj patikası çekiminin gerçekleşmesi şematik olarak gösterilmiştir. Pozitif şarj taşıyan polimer, negatif yüzey yükü taşıyan mineral yüzeyine adsorbe olmakta ve polimer adsorbe olduğu kısımlarda mineral yüzeyindeki negatif şarjı nötralize etmektedir (Klimpel, 1997).



Şekil 2.18. Şarj patikası çekimi (Klimpel, 1997)

Kullanılan katyonik polimerin dozajı aşırı değildir. Bu sebeple bütün tane yüzeyini kaplamamaktadır. Her iki yüzeyde hem negatif hem de pozitif şarj taşıyan kısımlar mevcuttur. Pozitif kısımların negatif kısımlara doğru elektrostatik çekimi sayesinde tanelerin bir araya gelmesi sağlanmaktadır.

Şekil 2.19’da ise köprülenme modeli gösterilmiştir. Bu modelde, polimer tane yüzeylerine farklı noktalardan adsorbe olmakta ve taneler karıştırma sırasında birbiri ile çarpıştığında bu noktalardan birbirlerine polimer zincirleri vasıtasıyla bağlanabilmektedirler.



Şekil 2.19. Köprülenme modeli (Klimpel, 1997)

### 2.2.4.3. Kullanılan flokülant tipleri

Flokülasyon oluşumunda kullanılan maddelere “flokülant” denilmektedir. Flokülantlar genel olarak iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; doğal ve sentetik flokülantlardır.

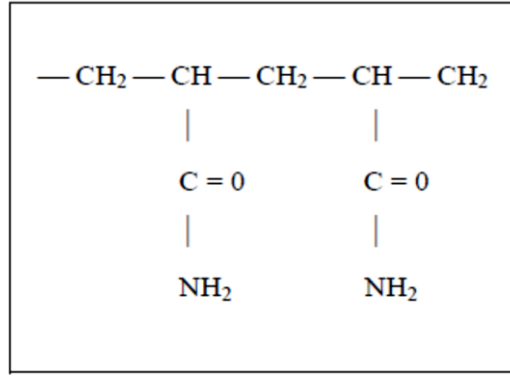
#### 2.2.4.3.1. Doğal flokülantlar

Doğal flokülantlar nişasta, reçine, aljinat (deniz yosunu) veya çeşitli bitki ve sebze tohumlarından elde edilen doğal organik maddelerdir (İpekoğlu, 1997; Ersoy, 2003; Alptekin, 2006; Öner, 2011).

Doğal flokülantların molekül ağırlığı, sentetik polimer flokülantlara nazaran çok düşüktür ve buna bağlı olarak floküle etme kabiliyetleri bakımından sınırlıdır (İpekoğlu, 1997). Yüksek dozajda kullanılmaları, dengesiz süspansiyonlar meydana getirmeleri ve meydana getirdikleri salkımların kolay parçalanabilirliği de doğal flokülantların dezavantajları arasındadır (Öner, 2011).

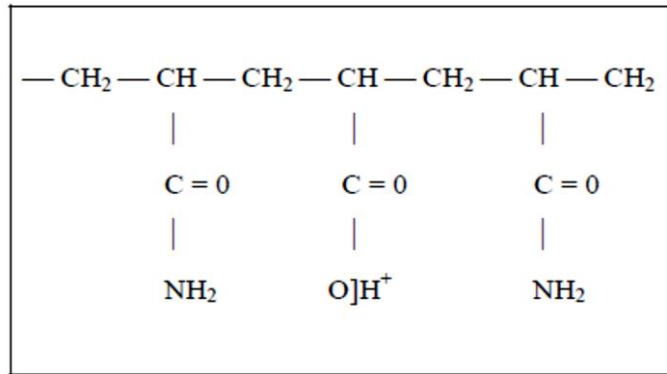
#### 2.2.4.3.2. Sentetik polimerik flokülantlar

Suda çözülebilen, yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerdir. Bu tip flokülantların molekül ağırlığı arttıkça floküle etme kabiliyetleri de artmaktadır. Sentetik polimerik flokülantlar, poliakrilamid denen maddenin türevleridir.



Şekil 2.20. Poliakrilamidin açık formülü (İpekoğlu, 1997)

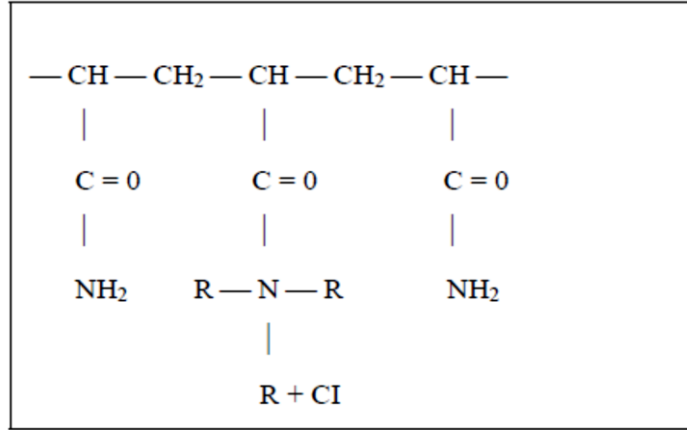
Akrilamidin akrilik asit ( $\text{CH}_2 = \text{CHCOOH}$ ) ile kopolimerizasyonu sonucu anyonik poliakrilamid elde edilmektedir. Günümüzde en çok kullanılan sentetik flokülant anyonik poliakrilamiddir.



Şekil 2.21. Anyonik poliakrilamidin açık formülü (İpekoğlu, 1997).

Katyonik poliakrilamid ise akrilamid ile akrilamidin amin türevlerinin kopolimerizasyonu sonucu elde edilmektedir.





Şekil 2.22. Katyonik poliakrilamidin açık formülü (İpekoğlu, 1997).

Poliakrilamidler piyasada genellikle toz şeklinde, bazen de vizkoziteleri yüksek % 0.01-0.1'lik ağırlıklı solüsyonlar halinde bulunabilmektedirler.

Sentetik polimer flokülantlar şarjlarına göre ise üç gruba ayrılmaktadırlar (Klimpel, 1997).

#### 2.2.4.3.2.1. Anyonik flokülantlar

Negatif şarj taşıyan anyonik flokülantlar nötral-alkali pH aralığında daha etkindirler. Bu flokülantların köprüleme kabiliyetleri yüksektir.

Çizelge 2.2. Anyonik polimerler (Klimpel, 1997).

Çeşit		
Korboksil	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{C}-\text{OH}^+ \end{array}$	<p>Poliakrilik asit</p> $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{O}^-\text{M}^+ \quad \text{X} \end{array} \right]$
Sülfonik	$\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ -\text{S}-\text{OH}^+ \\    \\ \text{O} \end{array}$	<p>Polistren sülfonik asit</p> $\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\   \\ \text{O}=\text{S}=\text{O} \\   \\ \text{O}^-\text{M}^+ \quad \text{X} \end{array} \right]$
Kısmi Hidrolize Akrilamid	$\begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH} \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array}$	$\left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \quad \text{Y} \end{array} \right] \left[ \begin{array}{c} -\text{CH}_2-\text{CH}- \\   \\ \text{C}=\text{O} \\   \\ \text{O}^-\text{M}^+ \end{array} \right] \text{X}$

#### 2.2.4.3.2.2. Katyonik flokülantlar

Pozitif şarj taşıyan katyonik polimerlerin yapısı oldukça çeşitlidir. Bu polimerler için uygun pH aralığı çok değişken olmakla beraber çoğunlukla asidik pH seviyeleridir (Klimpel, 1997). Katyonik polimerlerin molekül ağırlıklarının düşük olması sebebiyle köprüleme kabiliyetleri de düşüktür. Maliyetlerinin yüksek olması ve köprüleme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle en az kullanılan flokülant tipidir.

Çizelge 2.3. Katyonik polimerler (Klimpel, 1997).

Çeşit		
Kuaterner Aminler	$\begin{array}{c} R^I \\   \\ -N^+ - R^{II} \\   \\ R^{III} \end{array}$	<p>Polietilemin</p> $\left[ \begin{array}{c} CH_2 - CH_2 - N^+ \\   \\ H \\ X^- \end{array} \right] X$
		<p>Poli DMAEPI</p> $\left[ \begin{array}{c} OH \quad CH_3 \\   \quad   \\ CH_2 - C - CH_2 - N^+ \\   \quad   \\ X^- \quad CH_3 \end{array} \right] X$
		<p>Poli DADMAC</p> $\left[ \begin{array}{c} CH_2 - CH - CH - CH_2 \\ / \quad \backslash \\ CH_2 \quad CH_2 \\ \backslash \quad / \\ N^+ \\ / \quad \backslash \\ CH_3 \quad CH_3 \end{array} \right] X$

#### 2.2.4.3.2.3. İyonik olmayan flokülantlar

Non-iyonik (iyonik olmayan) flokülantlar herhangi bir elektriksel şarj taşımazlar ve süspansiyonun pH değişiminden fazla etkilenmezler. Bu tip flokülantların floküleme kabiliyetleri de yüksektir. Non-iyonik polimerler geniş bir pH aralığında kullanılabilirler (Klimpel, 1997).

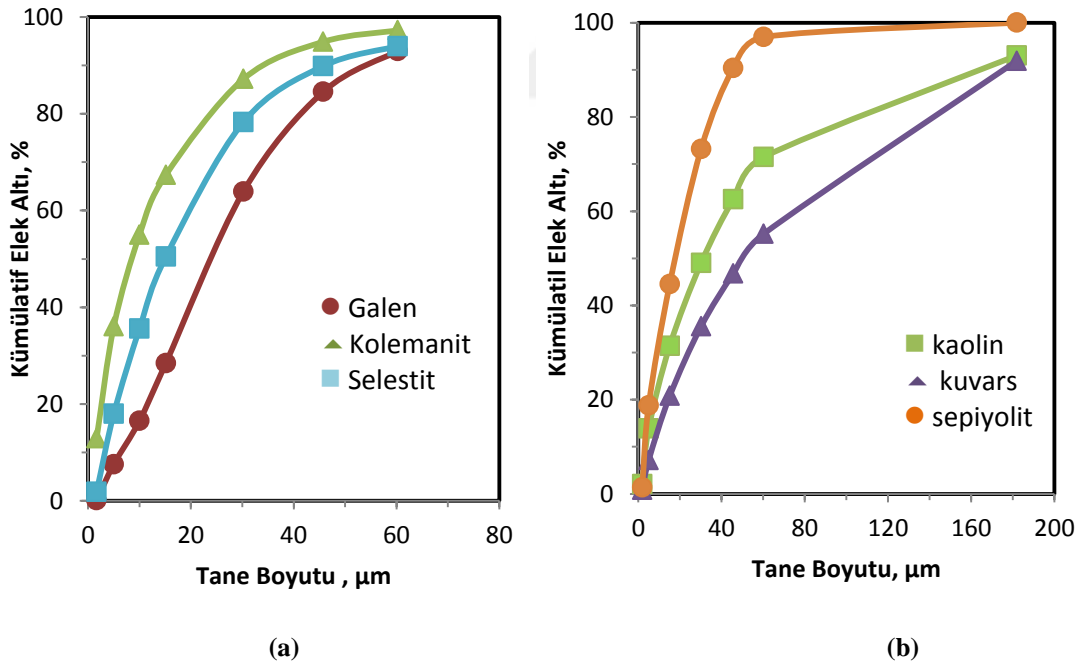
Çizelge 2.4. İyonik olmayan polimerler (Klimpel, 1997).

Kimyasal Çeşit	İşlevsel grup	Tipik örnek
Poliaklol	— OH	<p>Polivinal alkol</p> $\left[ \begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\   \\ \text{OH} \end{array} \right]_x$
Poliamid	$\begin{array}{c} \text{C} \\    \\ - \text{C} - \text{NH}_2 \end{array}$	<p>Poliakrilamid</p> $\left[ \begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \\   \\ \text{C} = \text{O} \\   \\ \text{NH}_2 \end{array} \right]_x$
Polieter	— O —	<p>Polietilen oksit</p> $\left[ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} \right]_x$

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Materyal

Ultrasonik ses ile muamelenin farklı reaktifler varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırıldığı bu tez çalışmasında, selestit (Sivas yöresi), kolemanit (Bigadiç yöresi), galen (Sivas yöresi), kuvars (Çanakkale yöresi), sepiyolit (Eskişehir yöresi) ve kaolin (Bilecik yöresi) mineral örnekleri standartlara uygun bir şekilde alınarak Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına getirilmiştir. Temin edilen mineral numuneleri 128 mm iç çapında ve 212 mm uzunluğunda seramik değirmen kullanılarak 3 saat öğütülmüştür. Öğütülen numunelerin tane boyut dağılımları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.1’den görüldüğü gibi, öğütülen malzemelerin % 80’inin elek altına geçtiği tane boyutu kolemanit için yaklaşık 27  $\mu\text{m}$ , galen minerali için 39  $\mu\text{m}$ , selestit minerali için ise 35  $\mu\text{m}$ , kuvars için yaklaşık 120  $\mu\text{m}$ , kaolin minerali için 78  $\mu\text{m}$ , sepiyolit minerali için ise 39  $\mu\text{m}$ ’dir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin tane boyut dağılımları

### 3.2. Kullanılan Reaktifler ve Ekipmanlar

İnce tane boyutuna öğütülen mineral süspansiyonlarının kararlılığına ultra ses muamelesinin etkilerinin araştırılmasında farklı reaktifler (toplayıcı, flokülant, koagülant, dispersant) kullanılmıştır. Makaslama flokülasyonu deneylerinde, sodyum dodesil sülfat (SDS,  $C_{12}H_{25}SO_4Na$  (Merck)), Aero 845 (petroleum sulfonate) (Cyanamid, 1989), sodyum oleat, sodyum izopropil ksantat ( $C_4H_7NaOS_2$ ) ve potasyum etil ksantat ( $CH_3CH_2OCS_2K$ ) kullanılmıştır. Sodyum oleat ( $C_{17}H_{33}COONa$ ), oleik asit ( $C_{17}H_{33}COOH$ ) (Carlo Erba) ve sodyum hidroksit (NaOH) (Merck) ile hazırlanmıştır. Flokülasyon deneyleri için anyonik flokülant (A-150), non-iyonik flokülant (N-100) ve kationik flokülant (C-577) kullanılmıştır. Koagülasyon deneyleri için magnezyum klorür ( $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ ) (Merck), kalsiyum klorür ( $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ ) (Merck) kullanımı tercih edilmiştir. Dispersiyon deneyleri için ise sodyum silikat ( $Na_2SiO_3$ ) (Merck) kullanılmıştır. Süspansiyonların pH ayarlamaları HCl ve NaOH ile hazırlanan % 1'lik çözeltiler kullanılarak yapılmıştır. Tüm deneyler distile su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karıştırma düzeneği olarak Velp marka karıştırma hızı ayarlanabilir bir manyetik karıştırıcı, pH ölçümlerinde ise dijital bir pH metre kullanılmıştır. Bulanıklık ölçümlerinde Velp TB1 marka türbiditmetre kullanılmıştır (Şekil 3.2).

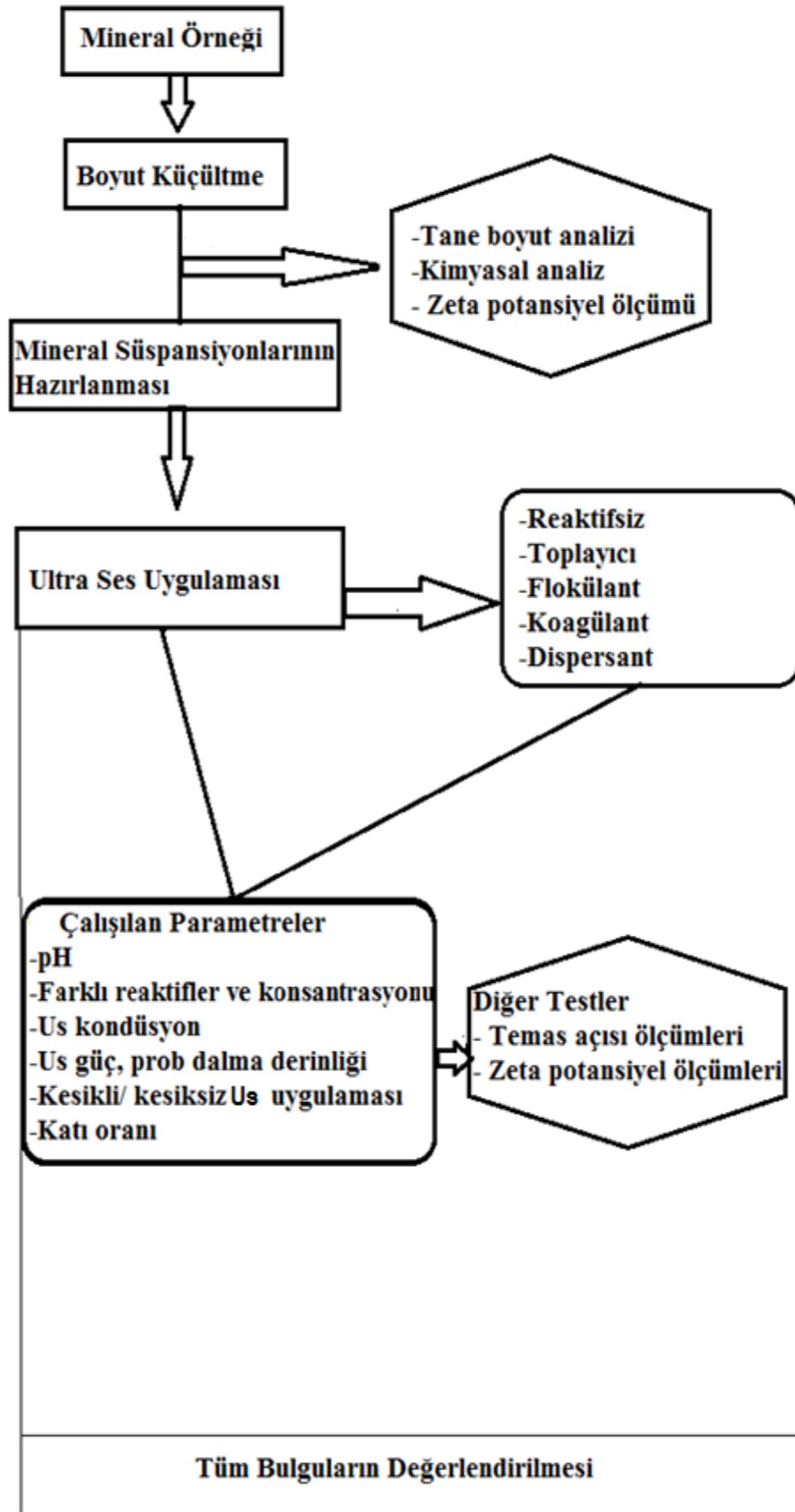


Şekil 3.2. Deneyde kullanılan türbiditmetre ve pH ölçer

### 3.3. Yöntem

Deneysel çalışmalar aşağıda sunulan program kapsamında gerçekleştirilmiştir. Tez çalışmasında izlenen akım şeması ise Şekil 3.3’de verilmiştir.

- Numune temini ve numunelerin karakterizasyonu
  - Kimyasal analizler
  - Tane boyutu analizleri
- Makaslama flokülasyonu, flokülasyon, koagülasyon ve dispersiyon testleri
  - 1) Ultra sesin mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırılması (Reaktif yok)
  - 2) Ultra sesin farklı toplayıcılar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırılması
  - 3) Ultra sesin farklı flokülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırılması
  - 4) Ultra sesin farklı koagülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırılması
  - 5) Ultra sesin dispersant varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisinin araştırılması
- Bulguların değerlendirilmesi ve yorumlanması

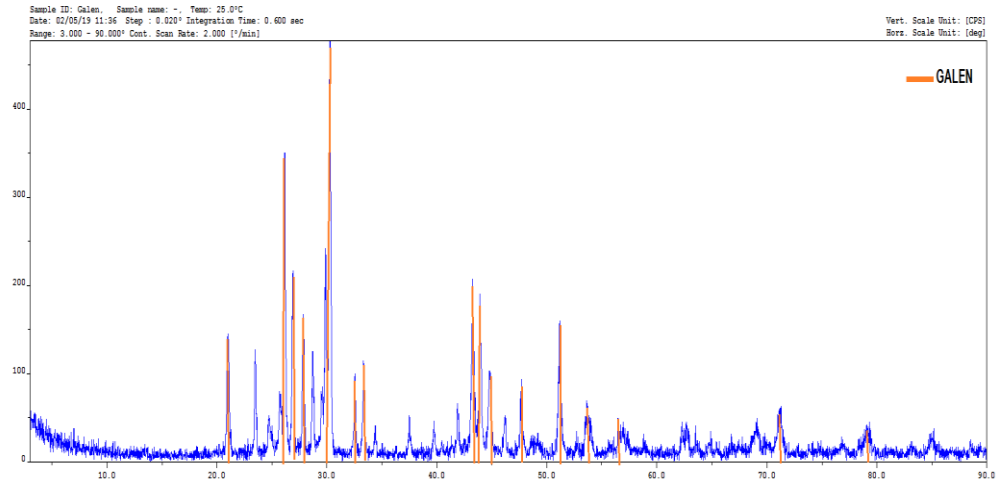


Şekil 3.3. Tez çalışmasında izlenen genel akım şeması

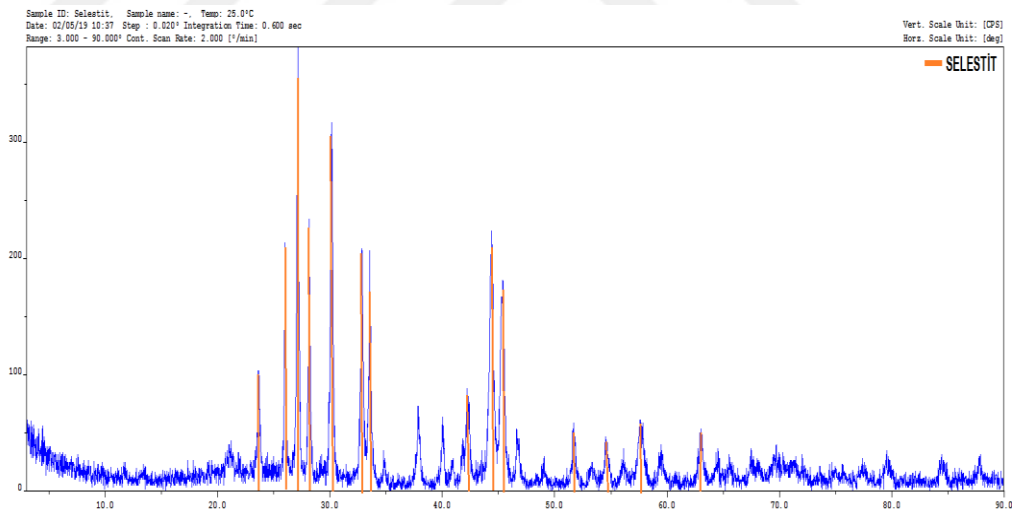


### 3.3.1. Kimyasal analizler

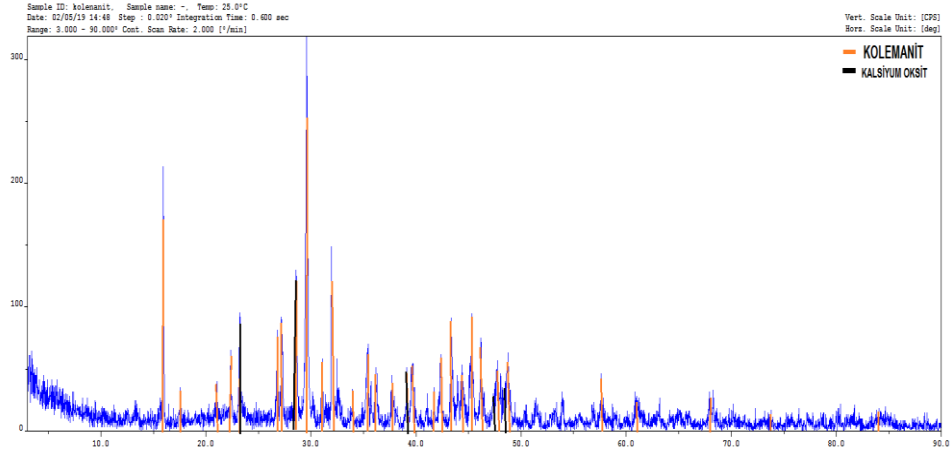
Deneysel çalışmalarda kullanılan numunelerin XRD analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Elektronik Malzemeler Üretim ve Uygulama Merkezi (EMUM) tarafından yapılmıştır. Örneklerin analiz sonuçları Şekil 3.4’de verilmiştir.



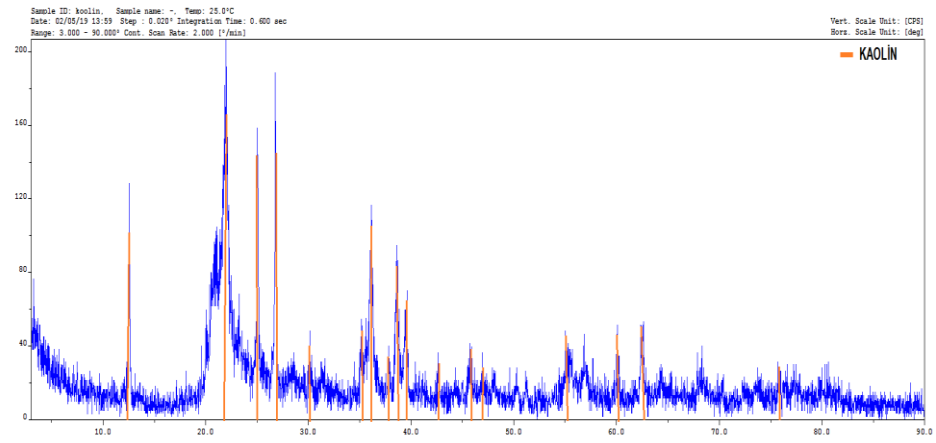
(a)



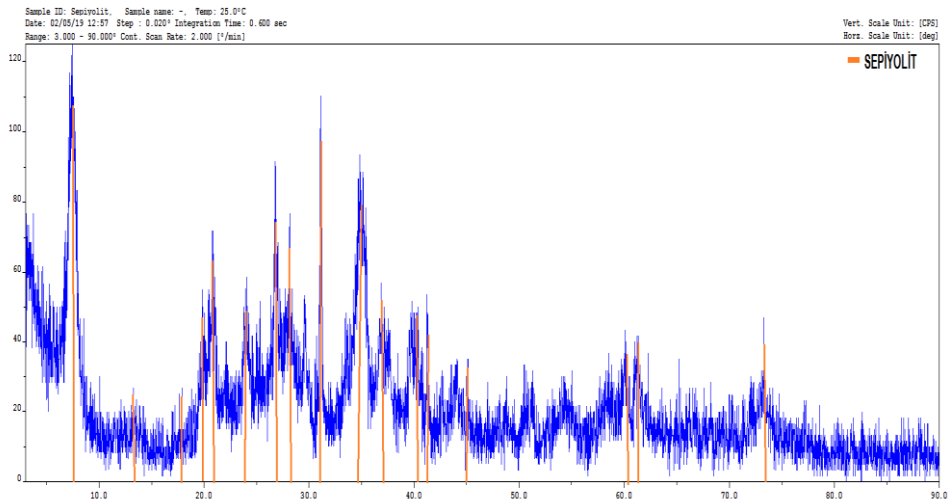
(b)



(c)



(d)

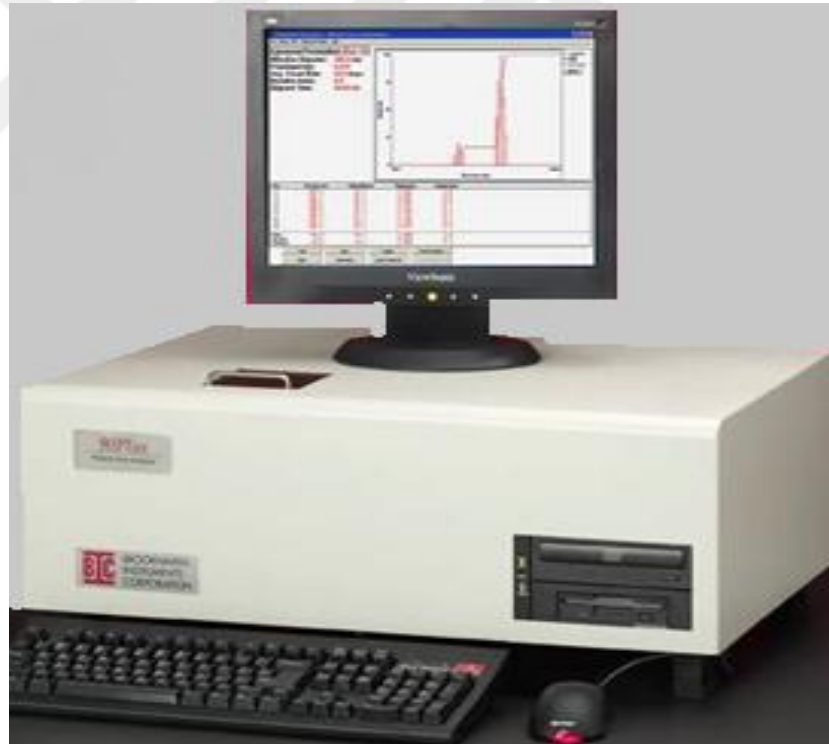


(e)

Şekil 3.4. Deneysel çalışmalarda kullanılan örneklerin XRD analizleri

### 3.3.2. Zeta potansiyeli ölçümleri

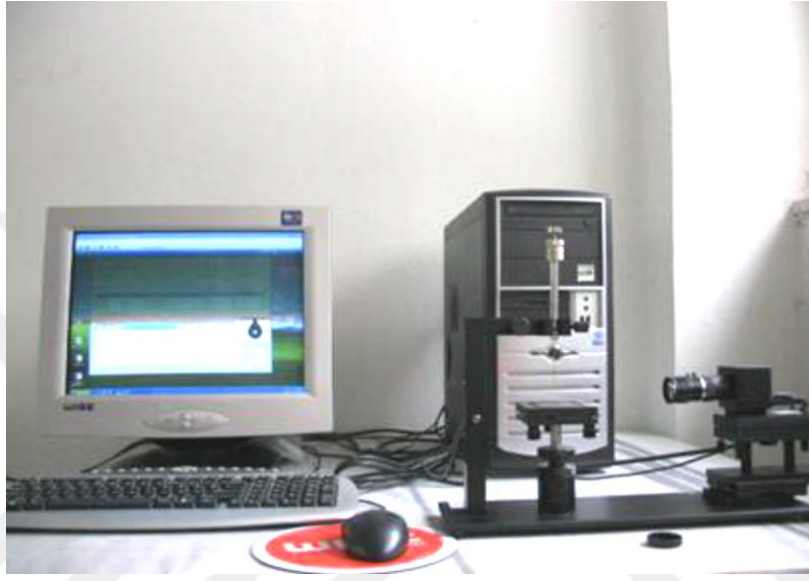
Zeta potansiyeli ölçümleri için Konya Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Laboratuvarında bulunan Brookhaven marka ZetaPlus cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.5). Zeta potansiyeli ölçümleri için hazırlanan süspansiyonların sürekli olarak pH kontrolü yapılmış ve süspansiyon sıcaklığı oda sıcaklığında sabit tutulmuştur. Zeta potansiyeli ölçümleri için 1 g numune alınıp, 300 cm<sup>3</sup>'lük distile su içinde 5 dakika karıştırıldıktan sonra nispeten iri tanelerin çökmesi için 2 dakika beklenmiştir. Hazırlanan süspansiyondan yaklaşık 20 cm<sup>3</sup> numune alınarak, plastikten imal edilmiş hürelere konularak, ortalama 10 ölçüm yapılmış ve cihaz tarafından belirlenen ortalama değer ve standart sapma kaydedilmiştir. Standart sapmanın % 2'nin üzerinde olması durumunda ölçümler tekrarlanmıştır. Tüm deneyler 22±2 °C sıcaklıkta yapılmıştır.



Şekil 3.5. Zeta potansiyeli ölçüm cihazı.

### 3.3.3. Temas açısı ölçümü

Temas açısı ölçümleri CAM 101 model temas açısı ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Bu cihaz bilgisayar kontrollü olup kullanıcı tarafından programlanan video yardımıyla yüzey-ara yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümü yapabilmektedir (Şekil 3.6). Cihazda alınan görüntü sayısı mineralin yüzey özellikleri ve işlemin hassasiyetine göre kullanıcı tarafından belirlenmektedir.



Şekil 3.6. KSV CAM 101 Temas açısı ölçüm cihazı.

Temas açısı ölçümünde, katı cihazın örnek sehpa üzerine konulur. Yüzeyin düzgün olması için örnek sehpa ayarlandıktan sonra şırıngadan yüzey üzerine sıvı damlası bırakılarak kayıt düğmesine basılır. Mineral yüzeyi, sıvı ve havadan oluşan üçlü faz dengeye geldikten sonra kameradan görüntü(ler) alınır. Cihaz yakaladığı görüntü(ler)den damlanın sıvı üzerinde yayılma durumuna göre elde ettiği şekil faktörünü yazılımında bulunan Young-Laplace eşitliğinde yerine koyar ve sıvının katı yüzey üzerinde oluşturduğu temas açısını  $\theta_{sol}$  ve  $\theta_{sağ}$  olmak üzere derece olarak ekrana verir. Temas açısı bu iki değer ortalaması alınarak elde edilmiş olur.

Makaslama flokülasyonu deneyleri sonrasında oluşan floklar filtre edilerek 105 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan malzeme özel bir kalıp ve hidrolik pres yardımıyla her biri yaklaşık 1 cm çapında ve 1 mm kalınlığında silindirik peletler haline getirilmiştir. Pelet yapımında kullanılan malzeme miktarı ve prese uygulanan basınç sabit

tutulmuştur. Temas açısı ölçümleri en az dört yüzey üzerinde gerçekleştirilmiş ve elde edilen açıların ortalama değerleri alınmıştır.

### 3.3.4. Ultra ses deneyleri

Deneylerde kullanılan ultra ses cihazı, Bandelin marka HD 3200 modelidir. Deneyler ultrasonik homojenizatör ile titanyum US prob kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7). Cihaz, 20 kHz sabit frekansta çalışmaktadır.



Şekil 3.7. Bandelin HD 3200 model ultrasonik cihazı.

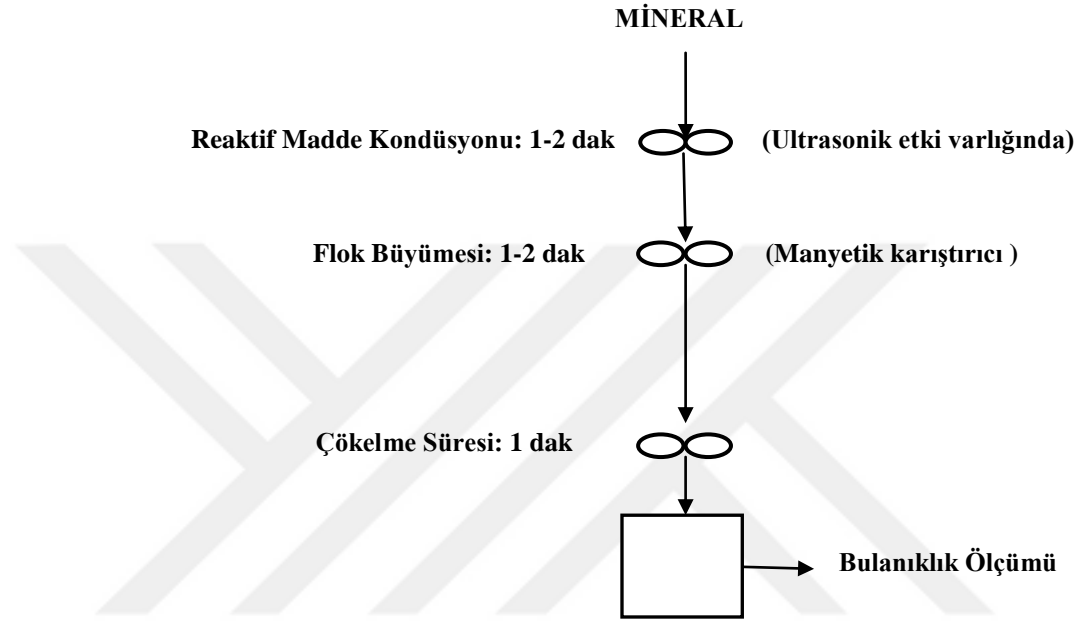
Ultra sesin farklı reaktifler varlığında mineral süspansiyonları üzerine etkilerinin belirlenmesine yönelik deneyler Şekil 3.8'de verilen akım şemasına göre gerçekleştirilmiştir. Deneyler içerisinde dört adet bariyer bulunan 400 cm<sup>3</sup>'lük cam beherde yürütülmüştür. Deneylerde 1 g katı numune ve 300 cm<sup>3</sup> distile su kullanılmıştır. Deneylerde, disperse edilen süspansiyona (pH uygulaması gerektiren deneylerde pH kondüsyonu sonrasında) reaktif madde ilave edilerek ultrasonik cihazda 2 dak kondüsyon verilmiştir. Sonrasında manyetik karıştırıcıda 500 dev/dak karıştırma hızında 2 dak kondüsyon verilmiş daha sonrasında sistem durdurulmuştur. 1 dak çökeltme süresinden sonra bulanıklık ölçümü için 20 cm<sup>3</sup> numune süspansiyon alınmıştır. Alınan bu numunelerin bulanıklık değeri turbidimetre ile belirlenmiş, mineral

süspansiyonunun kararlılığı ise aşağıdaki eşitlik ile tespit edilmiştir.

$$\% \text{ Süspansiyon kararlılığı} = T_f / T_0 \times 100 \quad (3.1)$$

$T_0$ : Süspansiyonun orjinal bulanıklık değeri (NTU: Nephelometric turbidity unit).

$T_f$ : Süspansiyonun deney sonrası bulanıklık değeri



Şekil 3.8. Deneylerde izlenen akım şeması

## 4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

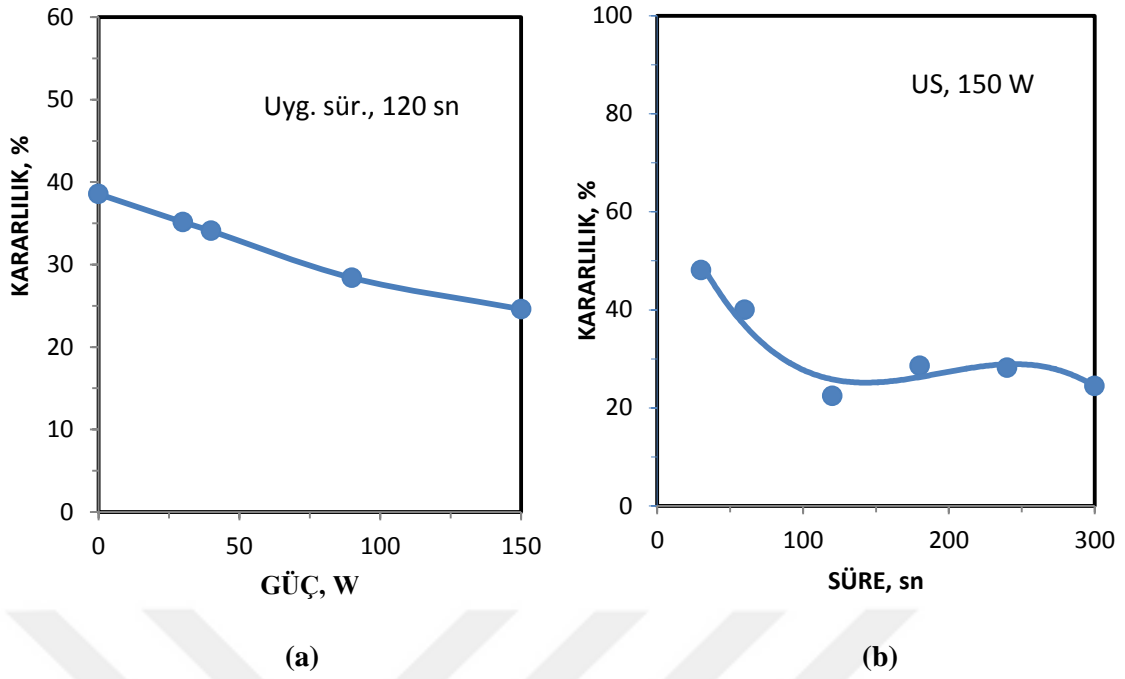
### 4.1. Ultra Sesin Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi

Bu kapsamdaki çalışmalar selestit, kolemanit, galen, kaolin, kuvars ve sepiyolit mineralleri ile reaktif kullanılmadan gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ultrasonik işlem kesikli olmak üzere prob dalma derinliği 2 cm ve süspansiyonların doğal pH değerlerinde yürütülmüştür.

#### 4.1.1. Ultra ses uygulama parametrelerinin etkisi

##### Selestit

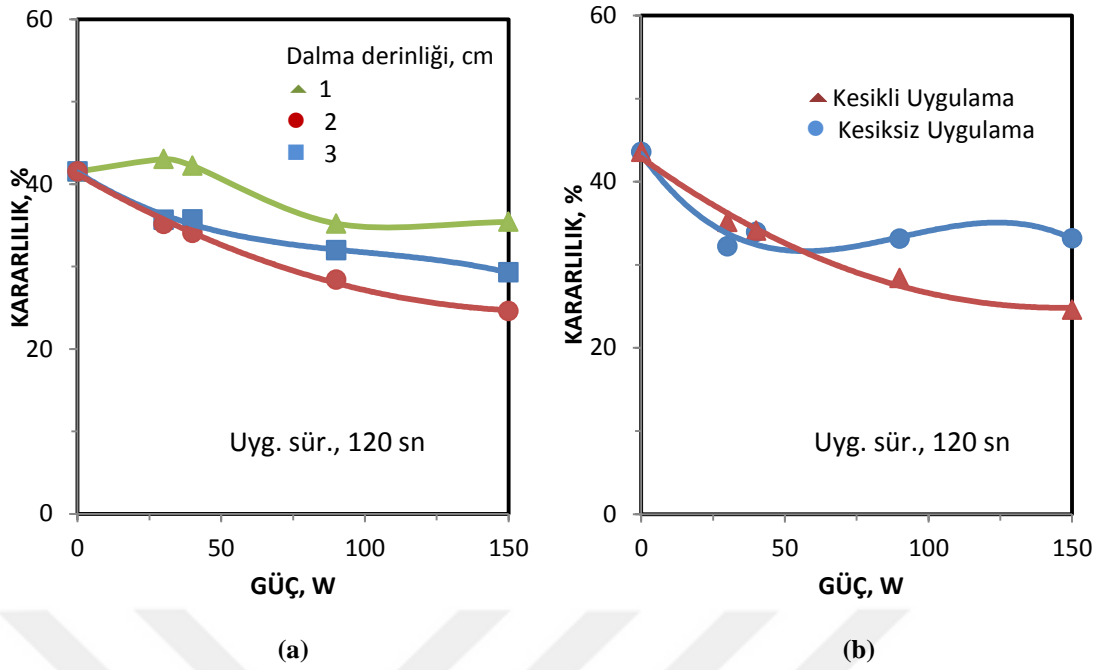
Ultra ses güç değerinin selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.1(a)'da verilmiştir. Şekil 4.1(a)'dan görüldüğü gibi, ultrasonik cihazın uygulandığı, güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığının azaldığı, süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 39 değerinde iken, 150 Watt güç değerinde ultra ses uygulandığında % 23'e kadar düştüğü görülmektedir. Selestit süspansiyonuna farklı sürelerde (30, 60, 90, 120, 180, 240 ve 300 sn) ultrasonik işlem uygulanmış ve selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 4.1(b)'de sunulmuştur. Ultra ses muamele süresi 120 sn'ye kadar arttıkça kararlılık azalmakta, 120 sn'den sonra ise süspansiyonun kararlılık değerlerinde kısmen artışlar olsa da fazla değişmediği görülmektedir.



Şekil 4.1. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

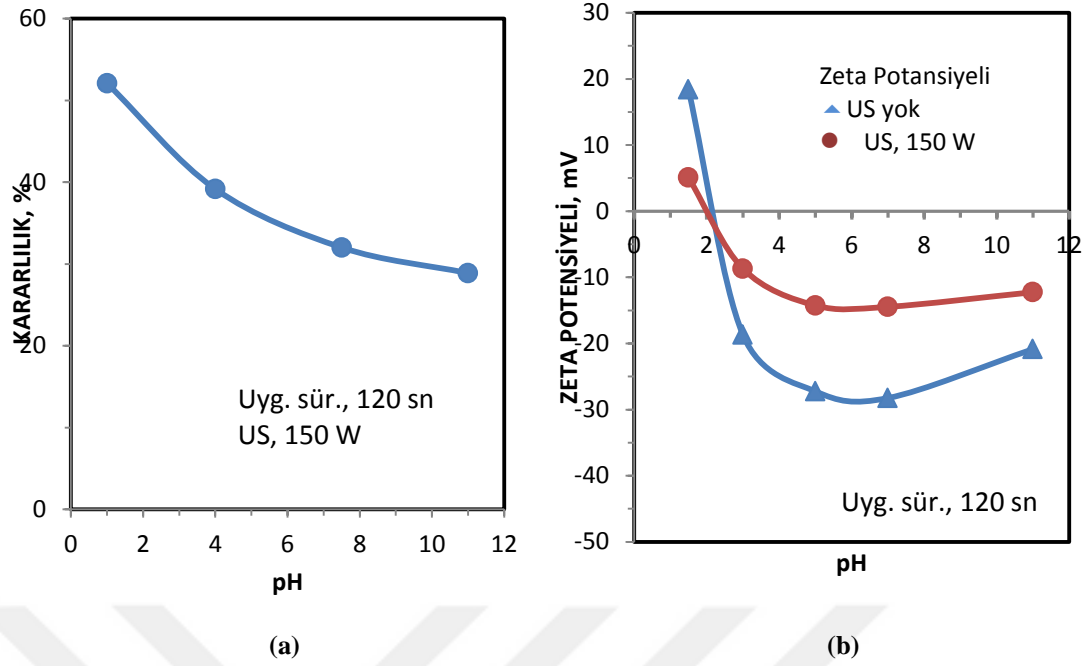
Ultrasonik cihazın güç değişimine bağlı olarak ultrasonik probun dalma derinliğinin selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.2(a)'da verilmiştir. Prob dalma derinlikleri hava-su arayüzeyinden itibaren 1 cm, 2 cm ve 3 cm olmak üzere ayarlanmıştır. Süspansiyon kararlılık değerleri probun dalma derinliğine göre farklılık göstermekte, probun dalma derinliği 2 cm olarak ayarlandığında daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra ses muamelesinin farklı güç değerlerinde, kesikli (otomatik olarak 5 sn pulsasyon 10 sn bekleme) ve kesiksiz uygulanmasının selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.2(b)'de gösterilmiştir. Düşük güç değerlerinde (< 50 W) kesikli-kesiksiz muamele arasında kayda değer bir etki oluşmamaktadır. Ancak, daha yüksek güç değerlerinde ultra sesin kesikli uygulamasının süspansiyonun kararlılık değerlerini düşürmede daha etkili olduğu anlaşılmaktadır.





Şekil 4.2. Prob dalma derinliğinin ve kesikli- kesiksiz ultra ses uygulamasının selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

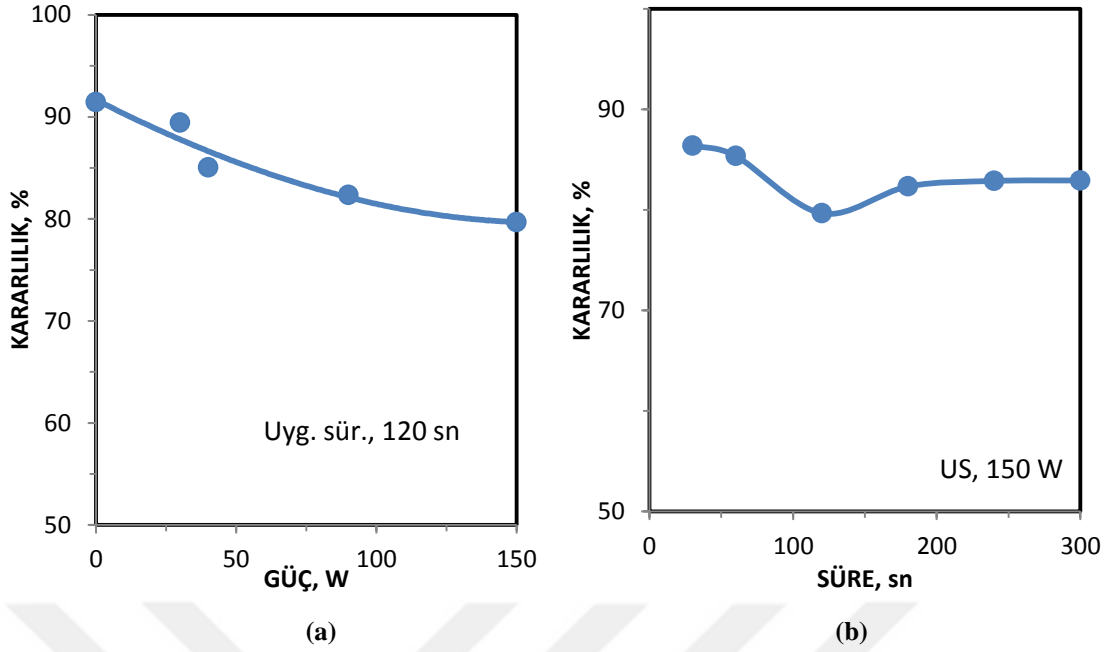
Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.3(a)'da verilmiştir. Şekil 4.3(a)'dan görüldüğü gibi, artan pH değeri ile süspansiyonun kararlılık değerleri azalma eğilimi göstermektedir. Şekil 4.3(b) ultra sesin selestit mineralinin zeta potansiyeline etkisini göstermektedir. Selestit süspansiyonunun doğal pH değeri  $\text{pH} = 8.2$  olup, bu pH'ta selestit minerali negatif yüzey şarjına sahiptir. Ultra ses uygulamasının selestitin i.e.p (*isoelectric point*) değeri üzerine kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Ultra ses uygulanmadığında, selestitin i.e.p. noktası  $\text{pH} = 2.3$  olarak bulunmuş olup, bu değer selestit için literatürde verilen i.e.p. değerlerine yakındır (Özkan ve Yekeler, 2004; Sönmez, 2007). Bu değer altındaki pH değerlerinde selestit minerali pozitif yüzey şarjına, üzerindeki pH değerlerinde ise negatif yüzey şarjına sahiptir. Diğer taraftan, ultra ses uygulamasının selestit mineralinin i.e.p. üzerindeki pH değerlerinde zeta potansiyelinin negatifliğini azalttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Ultra sesin pH'a bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

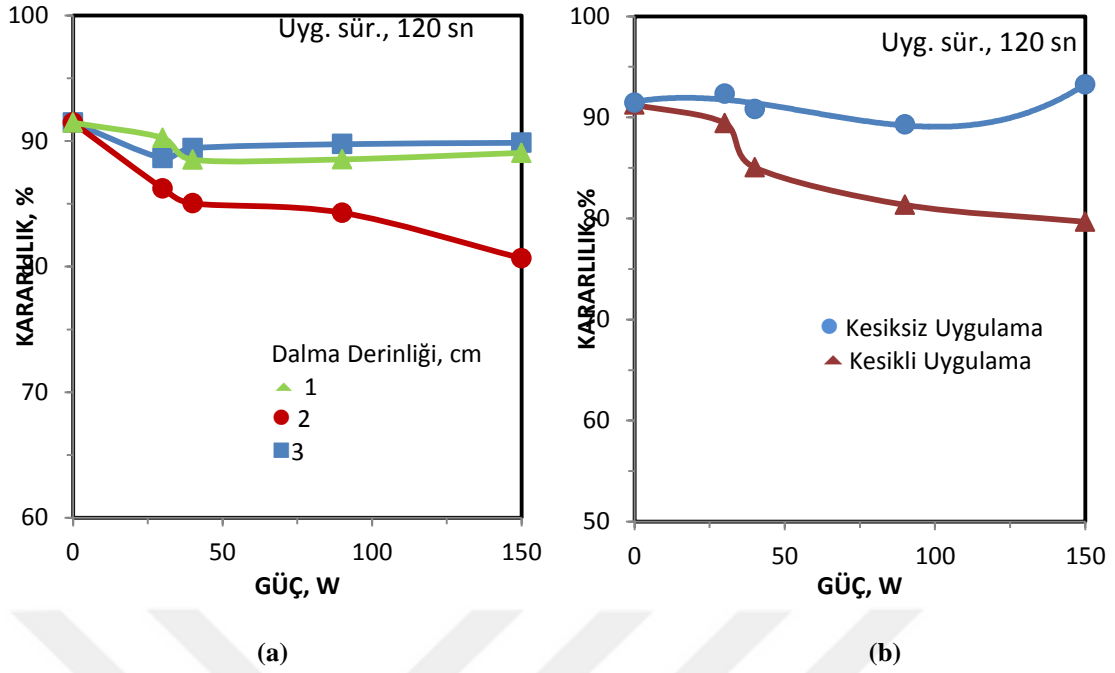
### Kolemanit

Ultra sesin farklı güç değerlerinin (30, 40, 90 ve 150 Watt) kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.4(a)'da sunulmaktadır. Ultrasonik cihazın uygulama güç değeri arttıkça kolemanit süspansiyonunun kararlılığı azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 91 değerinde olup, 150 Watt güç değeri uygulandığında kararlılığın % 79'a kadar düştüğü görülmektedir. Ultra sesin kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi yine farklı sürelerde araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.4(b)'de verilmiştir. Düşük muamele sürelerinde (< 120 sn) süspansiyonun kararlılık değerleri azalırken, yüksek muamele sürelerinde (> 120 sn) süspansiyonun kararlılık değerlerinde kısmi artışlar oluşmaktadır.



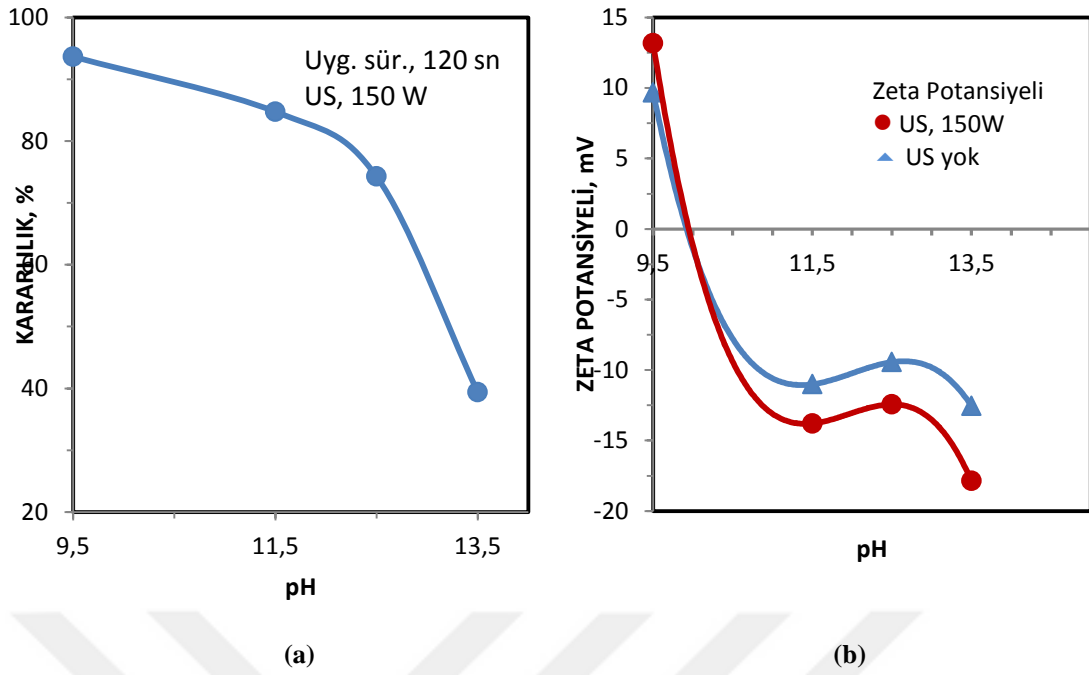
Şekil 4.4. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin farklı güç değerlerine bağlı olarak prob dalma derinliklerinin kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.5(a)'da verilmiştir. Ultra ses muamele etkisi probun dalma derinliğine göre değişmektedir. Probun dalma derinliği 2 cm olarak ayarlandığında daha düşük kararlılık değerlerine ulaşılmakta olup, dalma derinliği 1 cm ve 3 cm olarak ayarlandığında ise kararlılık değerlerinde yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ultra ses muamelesinin kesikli ve kesiksiz uygulamasının kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.5(b)'de sunulmuştur. Kesiksiz ultra ses uygulanan deneylerde belirgin bir etki oluşmazken, kesikli uygulama şeklinde gerçekleştirilen deneylerde ise artan güç ile kararlılık değerleri azalmaktadır.



Şekil 4.5. Prob dalma derinliğinin ve kesikli-kesiksiz ultra ses uygulamasının kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

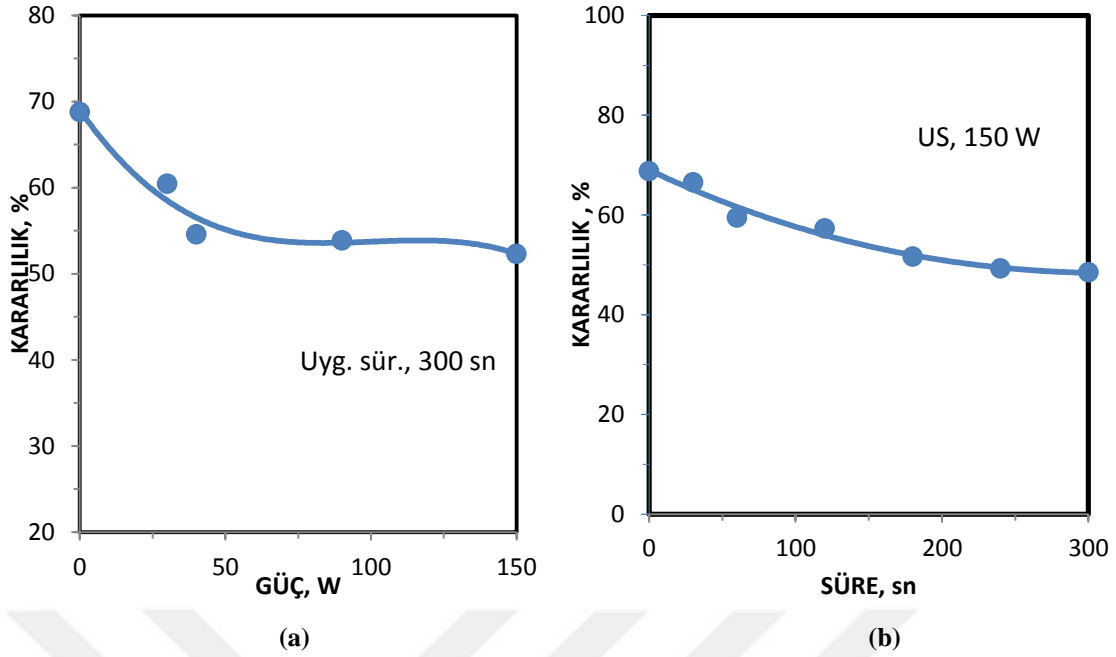
Ultra ses işleminin pH değerine bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.6(a)'da verilmiştir. pH değerinin artmasıyla süspansiyonun kararlılık değerleri azalmakta, özellikle yüksek pH larda ( $\text{pH} > 11.5$ ) daha keskin bir azalma söz konusu olmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 90 iken, pH 13.5 değerinde yaklaşık % 39'a kadar düşmektedir. Ultra sesin kolemanit mineralinin zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.6(b)'de sunulmuştur. Kolemanit süspansiyonunun doğal pH değeri  $\text{pH} = 9.4$  olup, bu pH'ta kolemanit minerali pozitif yüzey şarjına sahiptir. Ultra ses uygulanmadığında çalışılan kolemanit minerali numunesinin i.e.p. noktası  $\text{pH} = 10$  olarak bulunmuş olup, bu değer kolemanit için literatürde verilen i.e.p. değerlerine yakındır (Çelik ve Yaşar, 1995). Diğer taraftan, ultra ses uygulanan deneylerde kolemanit mineralinin i.e.p. noktası değişme göstermezken, ultra ses uygulamasının kolemanit mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde zeta potansiyelinin negatifliğini nispeten artırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Ultra sesin pH'a bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

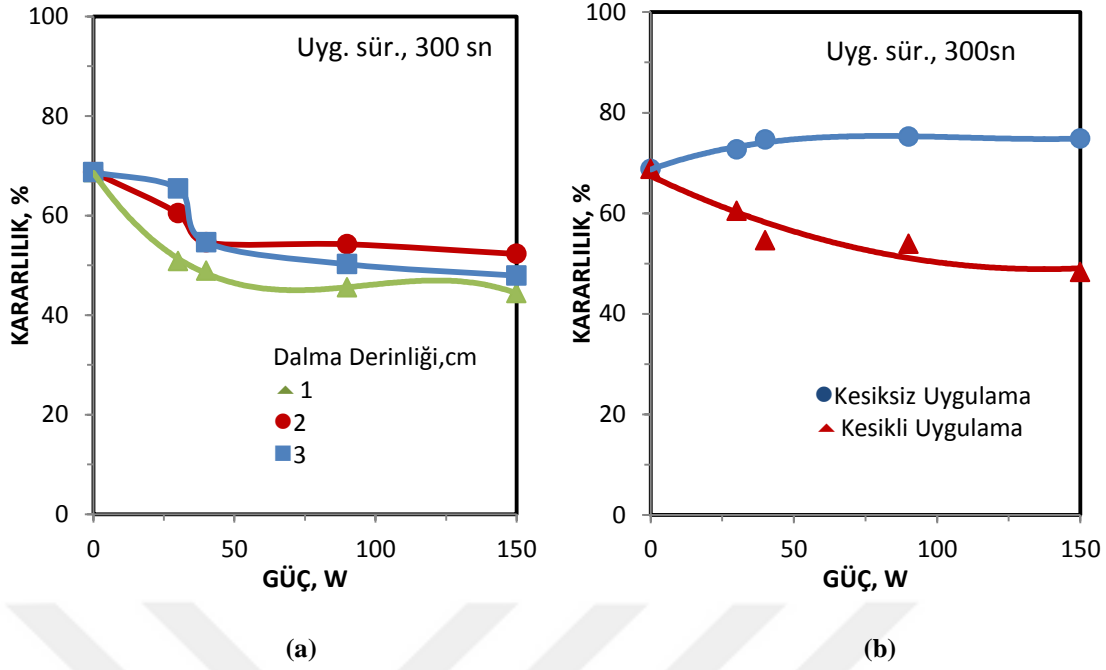
## Galen

Ultra sesin farklı güç değerlerinin galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.7(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça galen süspansiyonunun kararlılığı selestit ve kolemanit minerallerine benzer olarak azalmıştır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde olup, 150 Watt'lık güç uygulandığında ise kararlılığın yaklaşık % 52'ye kadar düştüğü görülmektedir. Şekil 4.7(b) ultra ses muamele süresinin galen süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Muamele süresi arttıkça süspansiyonunun kararlılık değerleri azalmaktadır. Selestit ve kolemanit için yüksek muamele sürelerinde (> 120 sn) kararlılık değerleri kısmen artarken, galen süspansiyonunda muamele süresi arttıkça kararlılık değerleri azalma göstermiştir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 iken 300 sn süre ile ultra ses uygulandığında, bu değer yaklaşık % 41'e kadar düşmektedir.



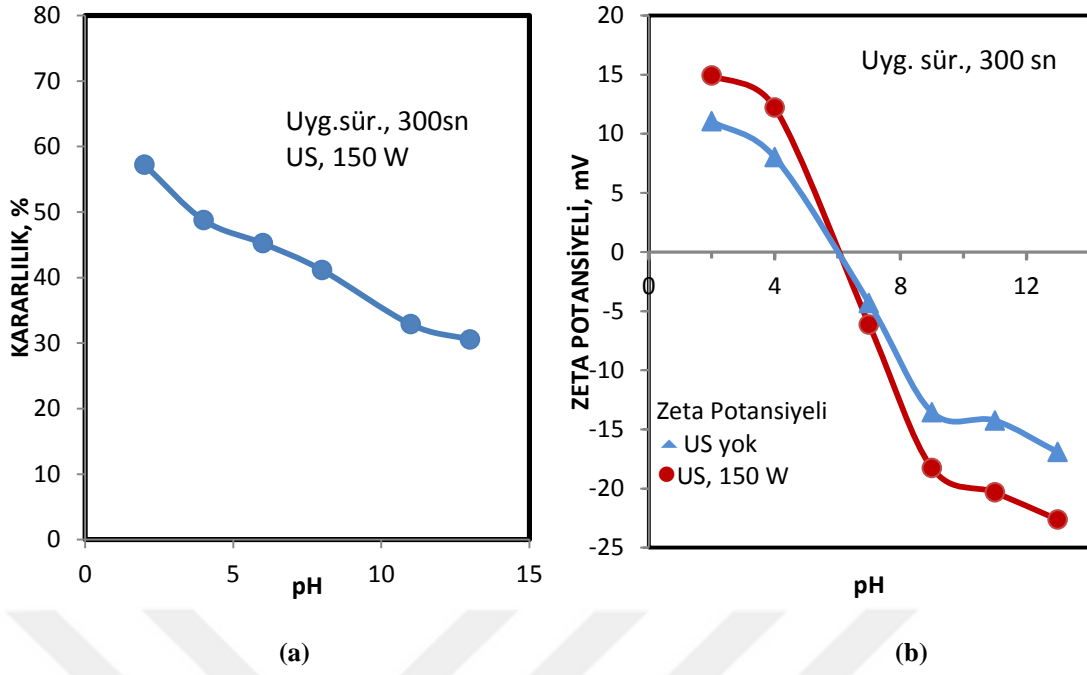
Şekil 4.7. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin güç değişimine bağlı olarak prob dalma derinliğinin galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.8(a)'da verilmiştir. Ultrasonik etki probun dalma derinliğine göre değişmekte, probun dalma derinliği 1 cm olarak ayarlandığında ise galen süspansiyonu için daha düşük kararlılık değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Ultra ses muamelesinin farklı güç değerlerinde kesikli ve kesiksiz uygulanmasının galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.8(b)'de sunulmuştur. Kesiksiz ultra ses uygulanan deneyler için artan güç ile kararlılık değeri az da olsa artış göstermiştir. Öte yandan, ultrasonik işlemin kesikli uygulanması durumunda galen süspansiyonu için artan ultra ses uygulama gücü ile daha düşük kararlılık değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4.8. Prob dalma derinliğinin ve kesikli -kesiksiz ultra ses uygulamasının galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra ses etkisi altında pH değişiminin galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.9(a)'da sunulmuştur. Ph değerinin artmasıyla süspansiyonun kararlılık değerleri azalmaktadır. Şekil 4.9(b) ultra sesin galen mineralinin zeta potansiyeline etkisini göstermektedir. Galen süspansiyonunun doğal pH değeri pH 8.4 olup, bu pH'larda galen minerali negatif yüzey şarjına sahiptir. Galen mineralinin i.e.p. noktası pH = 6 olarak bulunmuş olup, literatürde bu değer galen için verilen değere yakındır (Song ve ark., 1999). Ultra ses uygulanan deneylerde ise galen minerali için i.e.p. noktası da aynı değer olarak bulunmuş olup, ultra sesin i.e.p. noktası üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ancak, ultra sesin galen mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde zeta potansiyelinin negatifliğini artırdığı görülmektedir.

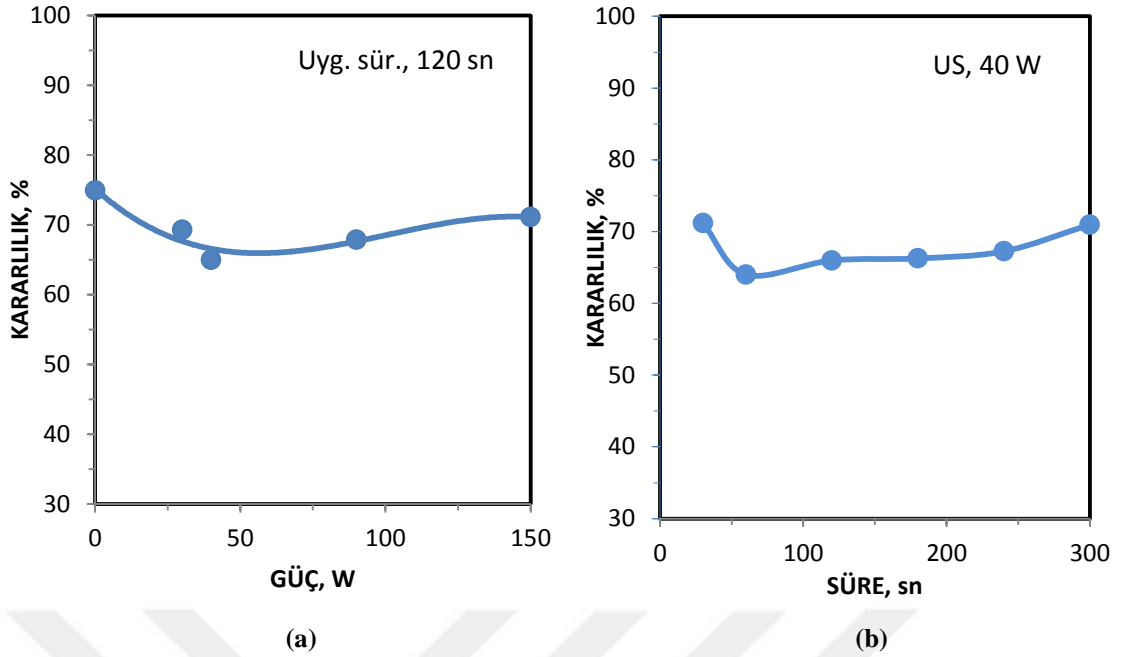


Şekil 4.9. Ultra sesin pH'a bağlı olarak gelen süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

## Kuvars

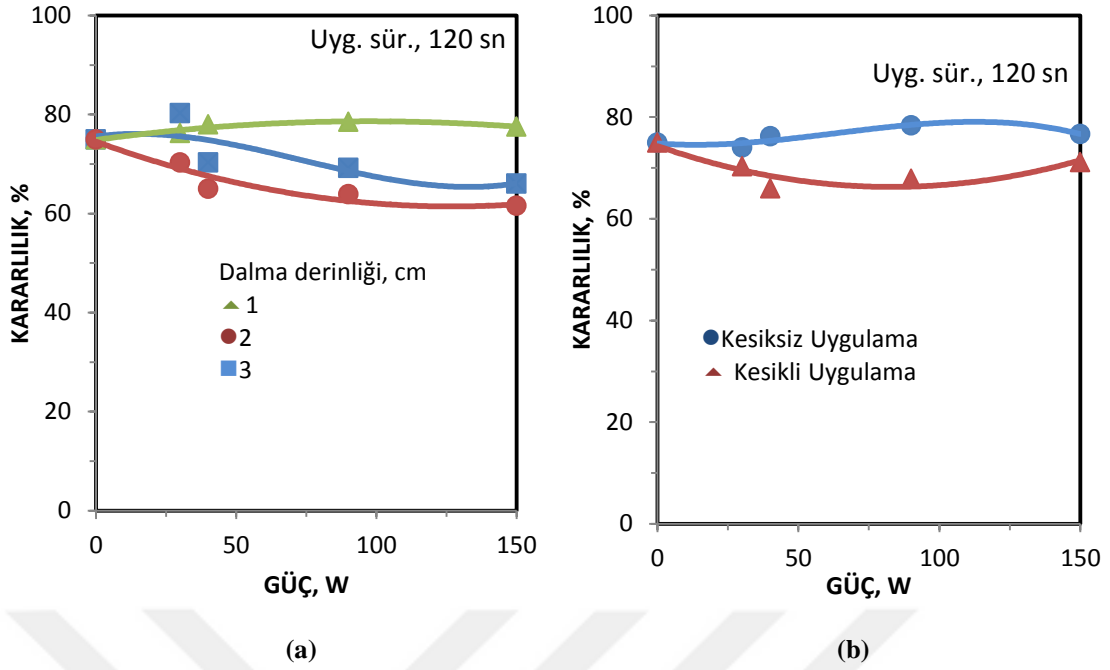
Ultra sesin güç değeri değişimine bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığı Şekil 4.10(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın düşük güç değerlerinde (< 40 W) kuvars süspansiyonunun kararlılığının artan güç ile azaldığı, daha yüksek güç değerlerinde ise kararlılık değerlerinin nispeten arttığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 74 değerinde olup, 40 Watt'lık güç uygulandığında bu değer yaklaşık % 64'e kadar düşmüştür. Ultra sesin kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi farklı muamele sürelerinde araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.10(b)'de sunulmuştur. Muamele süresi arttıkça süspansiyonun kararlılık değerleri azalmakta, ancak 120 sn muamele süresinden sonra süspansiyonun kararlılık değerleri zayıf da olsa bir artış göstermektedir.





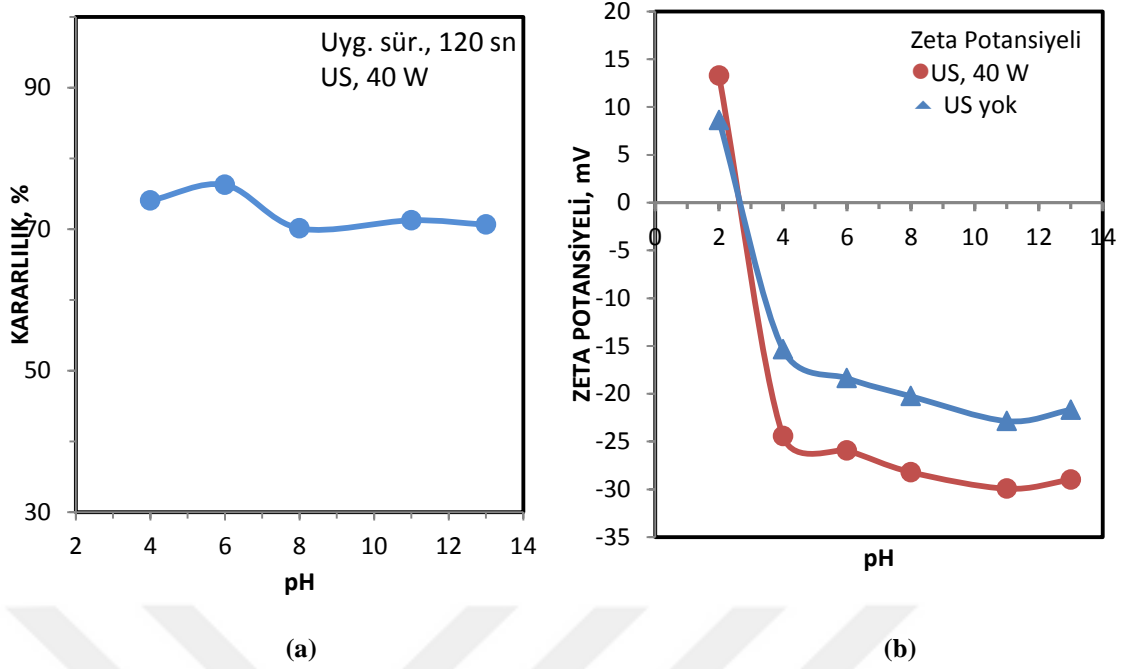
Şekil 4.10. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin prob dalma derinliğine bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.11(a)'da verilmiştir. Proben dalma derinliği 2 cm olduğunda daha düşük kararlılık değerlerine ulaşılmaktadır. Şekil 4.11(b) ultra ses işleminin kesikli-kesiksiz uygulamasının kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Kesikli ultra ses uygulanan deneylerde süspansiyonun kararlılık değerleri düşük şiddetli güç (< 40 W) değerlerinde azalırken, cihazın uygulandığı güç değeri arttıkça süspansiyonun kararlılık değerleri de kısmen artmaktadır. Kesiksiz ultra ses uygulanan deneylerde ise güç değeri arttıkça süspansiyonun kararlılık değerlerinin orjinal süspansiyona göre çok zayıf da olsa arttığı görülmektedir.



Şekil 4.11. Prob dalma derinliğinin ve kesikli -kesiksiz ultra ses uygulamasının kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

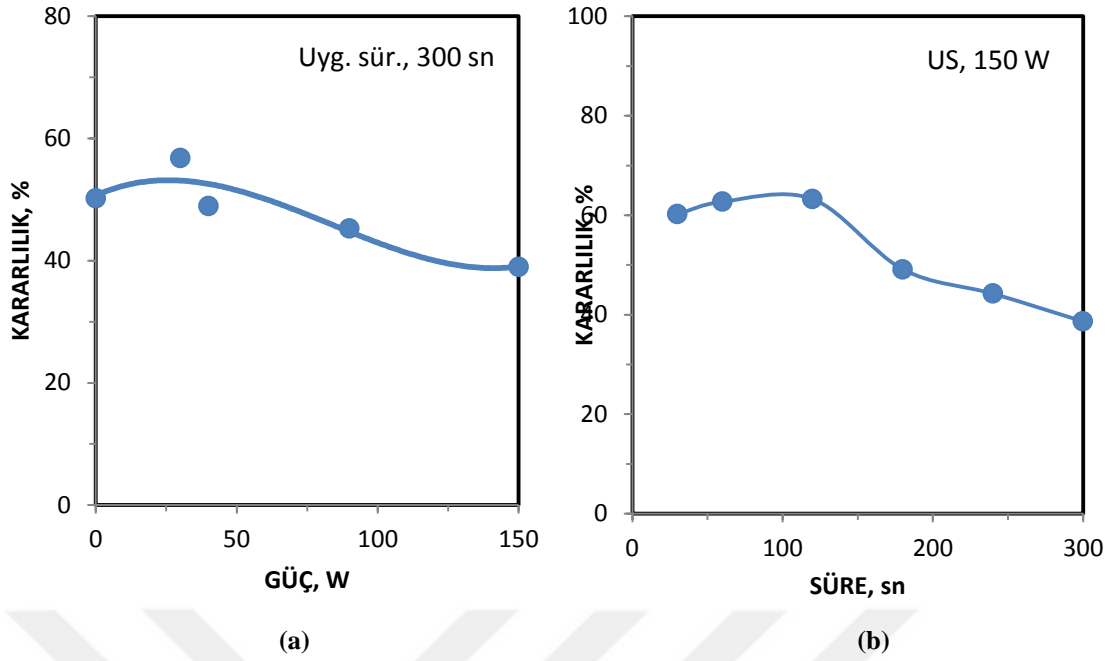
Ultra ses işleminin farklı pH değerlerinde kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.12(a)'da verilmiştir. En düşük süspansiyon kararlılık değerine pH 8'de ulaşılmaktadır. Ultra sesin kuvars mineralinin zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.12(b)'de sunulmuştur. Kuvars süspansiyonunun doğal pH değeri pH 7.5 olup, bu pH'larda kuvars minerali negatif yüzey şarjına sahiptir. Kuvars mineralinin i.e.p. noktası pH 2.3 olarak bulunmuş olup, bu değer literatürde verilen i.e.p. değerine yakındır (Fuerstenau ve ark., 1977; Fan ve ark., 1999). Ultra ses uygulanan deneylerde ise kuvars mineralinin i.e.p. noktası değişme göstermezken, ultra ses uygulamasının kuvars mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde artan pH ile zeta potansiyelinin negatifliğini artırdığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. Ultra sesin pH'a bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

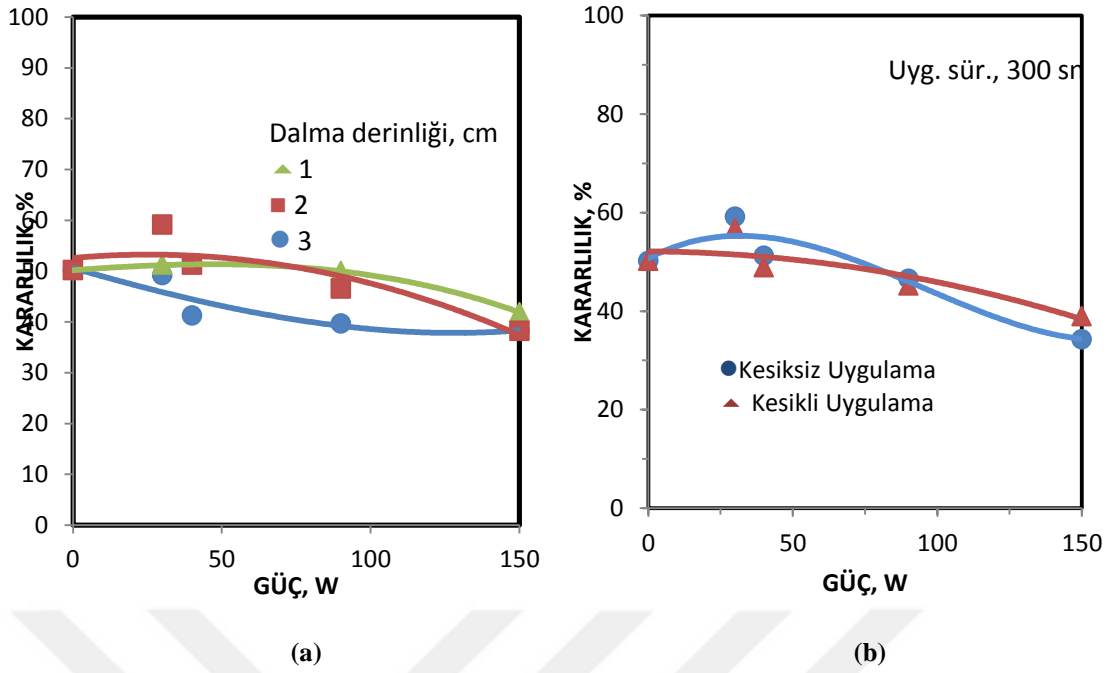
## Kaolin

Ultra ses cihazının farklı güç değerleri için elde edilen kaolin süspansiyonuna ait kararlılık değerleri Şekil 4.13(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın güç değeri arttıkça kaolin süspansiyonunun kararlılığının azaldığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 51 değerinde olup, 150 Watt güç değerinde kararlılık değeri yaklaşık % 38'e kadar düşmektedir. Şekil 4.13(b) ultra ses muamele süresinin kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Muamele süresi arttıkça süspansiyonun kararlılık değerleri azalmaktadır. Benzer eğilim galen süspansiyonunun ultra ses ile muamelesinde süreye bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde de elde edilmiştir.



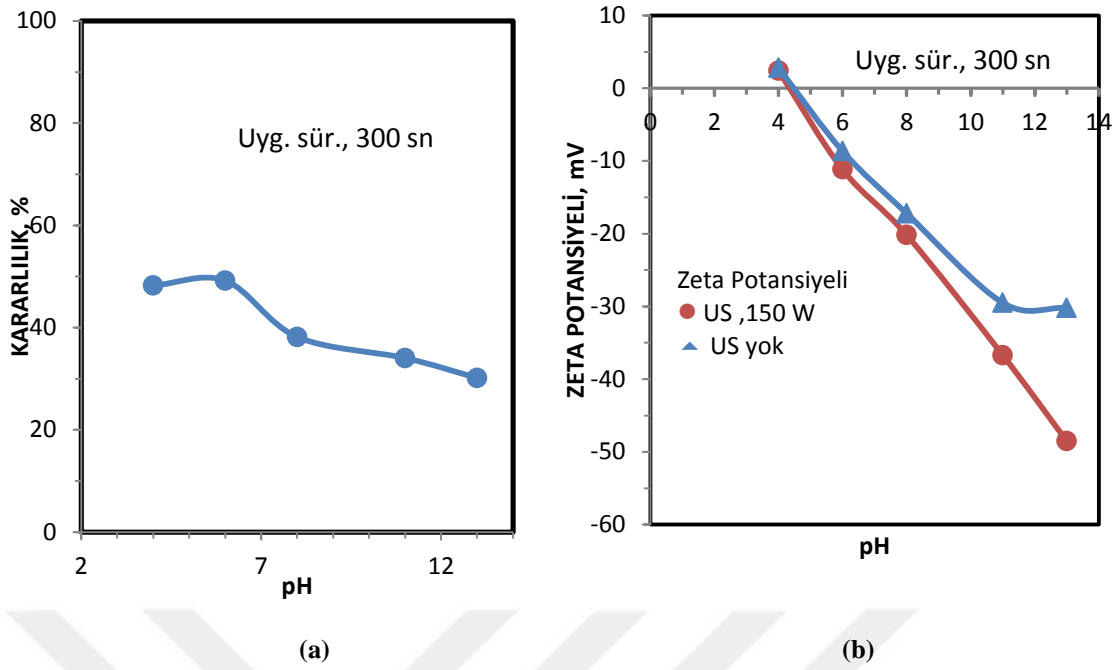
Şekil 4.13. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultrasonik probun dalma derinliğinin kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.14(a)'da verilmiştir. Ultra ses muamele etkisi probun dalma derinliğine bağlı olarak artan güç ile azalmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde, genellikle prob dalma derinliği 2 cm olarak ayarlandığında en düşük kararlılık değerlerine ulaşılırken, kaolin süspansiyonunda ise dalma derinliği 3 cm olarak tutulduğunda en düşük kararlılık değerleri elde edilmiştir. Ultra ses muamelesinin kesikli ve kesiksiz uygulamasının kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.14(b)'de sunulmuştur. Kesikli uygulama şeklinde gerçekleştirilen deneylerde kararlılık değerleri artan güç ile azalırken, kesiksiz ultra ses uygulanan deneylerde düşük güç değerlerinde ( $< 90$  W) kararlılık değeri artmakta, yüksek güç değerlerinde ise kararlılık değeri artan güç ile azalmaktadır.



Şekil 4.14. Prob dalma derinliğinin ve kesikli-kesiksiz ultra ses uygulamasının kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi

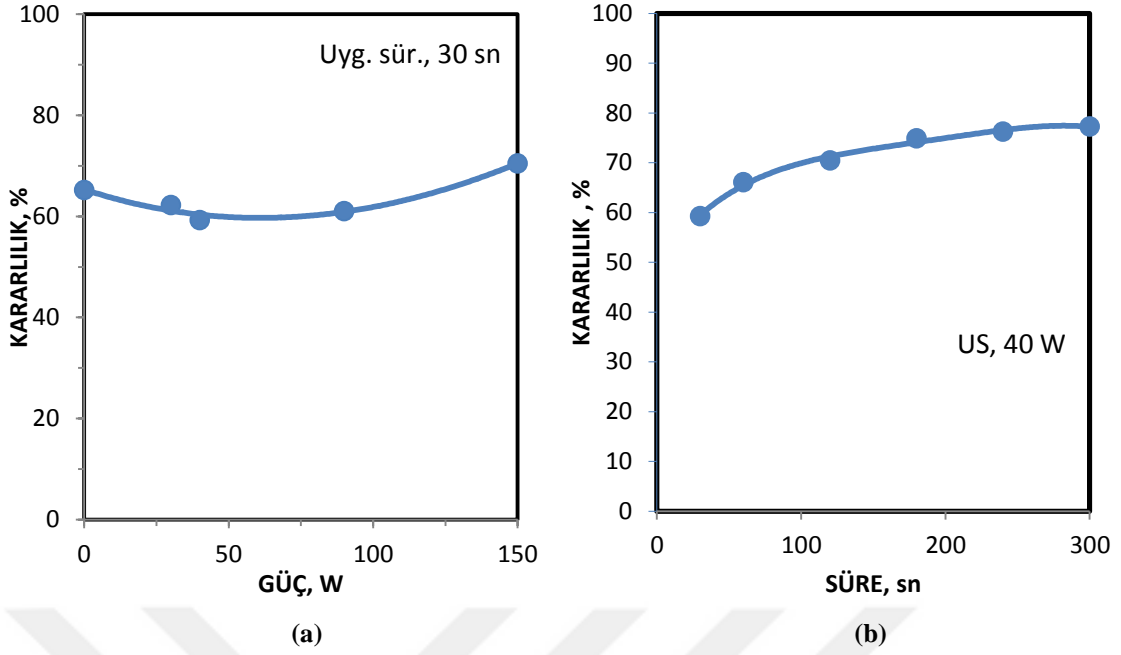
Ultra ses işleminin farklı pH değerlerinde kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.15(a)'da verilmiştir. Şekil 4.15(a)'dan görüldüğü gibi, pH 6-13 aralığında kaolin süspansiyonunun kararlılığı artan pH ile azalma göstermiştir. Şekil 4.15(b) ultra sesin kaolin mineralinin zeta potansiyeline etkisi göstermektedir. Kaolin süspansiyonunun doğal pH değeri pH 8.5 olup, bu pH'larda kaolin minerali negatif yüzey şarjına sahiptir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde kaolin mineralinin i.e.p. değeri pH = 4.4 olarak bulunmuş olup, literatürden ise kaolin mineralinin i.e.p. değerinin pH = 2-4.5 aralığında değiştiği bilinmektedir (Cases ve ark., 1971; Williams ve Williams, 1978; Smith ve Narimatsu, 1993; Braggs ve ark., 1994; Hussain ve ark., 1996; Yuan ve Pruett, 1998; Ma ve Pierre, 1999; Çelik, 2004; Alkan ve ark., 2005). Ultra ses uygulanan deneylerde ise kaolin minerali için i.e.p. noktası da aynı değer olarak bulunmuş olup, ultra sesin i.e.p. noktası üzerinde kayda değer bir etki oluşturmadığı tespit edilmiştir. Ancak, ultra sesin kaolin mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde artan pH ile zeta potansiyelinin negatifliğini artırdığı görülmektedir.



Şekil 4.15. Ultra sesin pH'a bağlı olarak kaolin süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

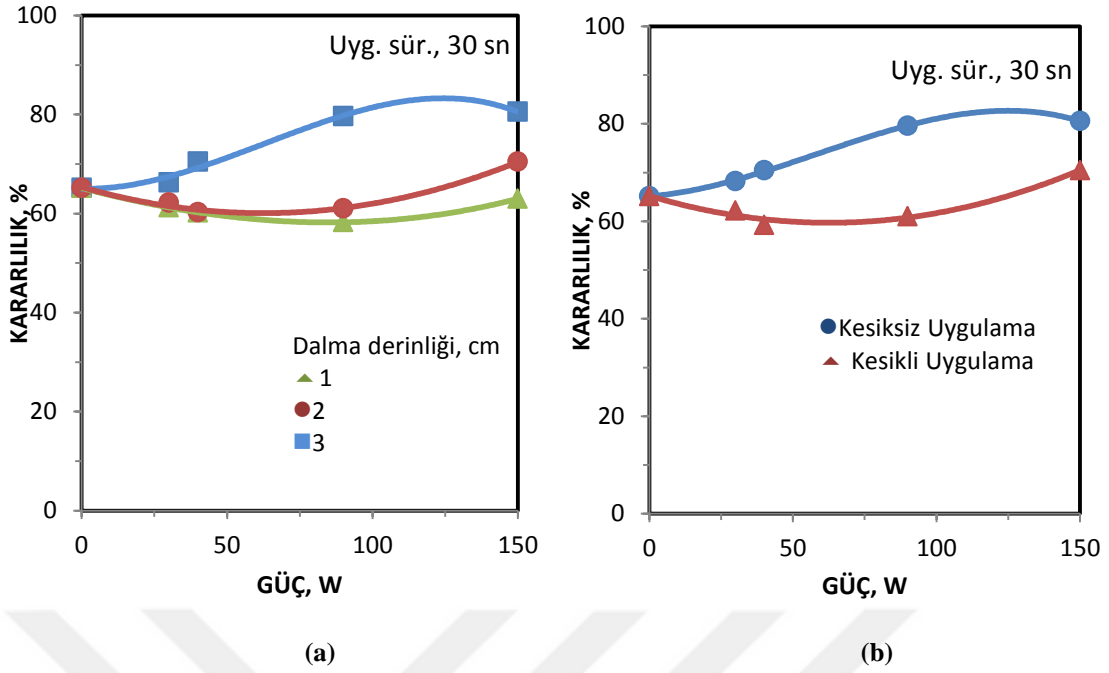
### Sepiyolit

Ultra ses güç değerinin sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.16(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın düşük güç değerlerinde (< 100 W) sepiyolit süspansiyonunun kararlılığının nispeten azaldığı, yüksek güç değerlerinde ise kararlılık değerinin çok zayıf da olsa arttığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 65 değerinde olup, 40 Watt'lık güç uygulandığında bunun yaklaşık % 59'a kadar azaldığı görülmektedir. Şekil 4.16(b) ultra ses muamele süresinin sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Ultra ses muamele süresi arttıkça selestit, kolemanit ve kuvars mineralleri için yüksek muamele sürelerinde (> 120 sn) kararlılık değerleri kısmen bir atış eğilimine girerken, galen ve kaolin minerallerinde muamele süresi arttıkça kararlılık değerleri azalma göstermiştir. Sepiyolit mineralinde ise artan süre ile süspansiyonun kararlılık değerleri de artış göstermektedir.



Şekil 4.16. Ultra ses güç değerinin ve muamele süresinin sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

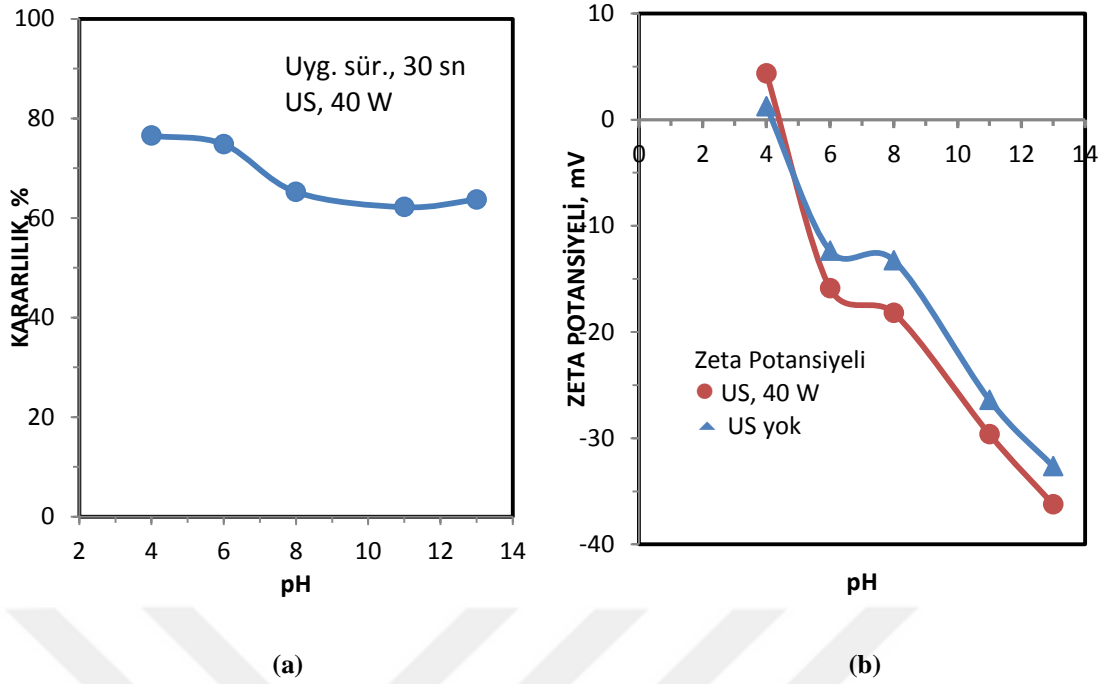
Ultra sesin prob dalma derinliğine bağlı olarak sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.17(a)'da verilmiştir. Prob dalma derinliği 2 cm ve 1 cm olarak ayarlandığında süspansiyonun kararlılık değerleri nispeten azalırken, prob dalma derinliği 3 cm olarak ayarlandığında kararlılık değerleri artmaktadır. Ultra ses işleminin kesikli-kesiksiz uygulamasının sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.17(b)'de sunulmuştur. Kesiksiz uygulama şeklinde gerçekleştirilen deneylerde güç değeri arttıkça kararlılık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Kesikli ultra ses uygulanan deneylerde ise düşük güç değerlerinde (< 90 W) kararlılık değeri nispeten azalmakta, yüksek güç değerlerinde ise artan güç ile kararlılık değerleri az da olsa artmaktadır.



Şekil 4.17. Prob dalma derinliğinin ve kesikli-kesiksiz ultra ses uygulamasının sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra ses işleminin farklı pH değerlerinde sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.18(a)'da sunulmuştur. Düşük pH değerinde ( $\text{pH} < 8$ ) süspansiyon kararlılığı azalırken, yüksek pH değerlerinde artan pH ile kayda değer bir değişim oluşmamaktadır. Şekil 4.18(b) ultra sesin sepiyolit mineralinin zeta potansiyeline etkisini göstermektedir. Sepiyolit süspansiyonunun doğal pH değeri pH 8.5 olup, bu pH'larda sepiyolit minerali negatif yüzey şarjına sahiptir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde sepiyolit mineralinin i.e.p. noktası pH 4.2 olarak bulunmuş olup, bu değer literatürde sepiyolit için verilen değere yakındır (Sabah ve ark., 2006). Ultra ses uygulanan deneylerde ise sepiyolit mineralinin i.e.p. noktası yakın bir değer olarak bulunmuş olup, ultra sesin sepiyolit mineralinin i.e.p. noktası üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan, ultra sesin sepiyolit mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde artan pH ile zeta potansiyelinin negatifliğini artırdığı görülmektedir.





Şekil 4.18. Ultra sesin pH'a bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve zeta potansiyeline etkisi

#### 4.1.2. Ultra ses uygulama parametrelerinin etkisinin değerlendirilmesi

- Minerallerin reaktif kullanılmadan gerçekleştirilen deneylerinde, genellikle ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça süspansiyon kararlılığının azaldığı tespit edilmiştir. Bu azalmanın nedeni olarak, yüksek güç değerinde uygulanan ultra ses işleminin süspansiyonun daha iyi karışmasını sağlayarak, taneler arası çarpışmayı artırdığı böylelikle doğal koagülasyonu geliştirdiği söylenebilir.
- Ultra ses işleminin kesikli uygulanması durumunda artan güç ile mineral süspansiyonun kararlılık değerinin azaldığı belirlenmiştir. Kesiksiz uygulama söz konusu olduğunda ise, genellikle ultra sesin düşük güç değerinde kayda değer bir değişim olmazken, yüksek güç değerinde süspansiyon kararlılığının artan güç ile az da olsa arttığı görülmüştür. Kaolin ve sepiyolit mineralinde ultra sesin kesiksiz uygulama deneyleri bu sonuca uymamaktadır. Kaolin mineralinde süspansiyon kararlılığı ultra sesin düşük güç değerlerinde artarken, yüksek güç değerlerinde ise artan güç ile azalmıştır. Sepiyolit mineralinde ise güç değeri arttıkça süspansiyon kararlılığı artmıştır.
- Selestit, kolemanit ve kuvars minerallerinin süspansiyon kararlılığı, ultra ses işleminin düşük muamele sürelerinde azalmış, ancak 120 sn muamele süresinden sonra ise nispeten artmıştır. Galen, kaolin ve sepiyolit minerallerinin ise ultra ses

uygulama süreleri farklı sonuçlar göstermiştir. Galen ve kaolin mineralleri için muamele süresi artıkça düşük kararlılık değerleri elde edilirken, sepiyolit mineralinde artan muamele süresi ile yüksek kararlılık değerine ulaşılmış, hatta süspansiyonun dispersiyonuna kısmen neden olmuştur.

- Mineral süspansiyonlarının kararlılık değerleri probun dalma derinliğine göre değişmiştir. Prob dalma derinliği, genellikle 1 ve 3 cm olarak ayarlandığında süspansiyonun kararlılık değerleri kısmen artmıştır. Sepiyolit mineralinde ise farklılık göstermiş, prob dalma derinliği 3 cm ayarlandığında kararlılık değerleri artmıştır. Ultra sesin prob dalma derinliği yüzeye yakın olduğunda etkisinin azaldığı, 3 cm ayarlandığında ise flokların kısmen parçalandığı söylenilebilir. En düşük kararlılık değerlerine genellikle dalma derinliği 2 cm ayarlandığında ulaşılmıştır. Bu derinlik seviyesinde ultra sesin çalışılan hücre geometrisi bakımından daha efektif olduğu ifade edilebilir.
- Ultra ses uygulamasının minerallerin i.e.p noktası üzerinde kayda değer bir etki oluşturmadığı, ancak minerallerin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde genellikle zeta potansiyeli negatifliğini artırdığı tespit edilmiştir. Selestit minerali bu sonuca uymamaktadır. Benzer bulgulara ultra ses uygulamasının bentonit süspansiyonu üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada da rastlanılmaktadır. Bu çalışmada, ultra ses uygulamasının bentonit mineralinin i.e.p. noktasını nispeten azalttığı, ancak bentonit mineralinin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde ise artan pH ile zeta potansiyeli negatifliğini artırdığı ortaya konulmuştur (Mekhamer, 2010). Her ne kadar ultra ses uygulaması elektrostatik potansiyeli azaltmanın bir yöntemi olarak görülse de (Lemanowicz ve ark., 2010) bazen ultra ses uygulamasının zeta potansiyelinde artışa neden olduğu (Mekhamer, 2010; Özkan, 2012) bazen de zeta potansiyelinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı belirtilmiştir (Jafari ve ark., 2014). Sonuç olarak, ultra ses uygulamasının zeta potansiyeline etkisi muamele koşullarına bağlı olarak değiştiği belirtilebilir.

## 4.2. Ultra Sesin Toplayıcılar Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi

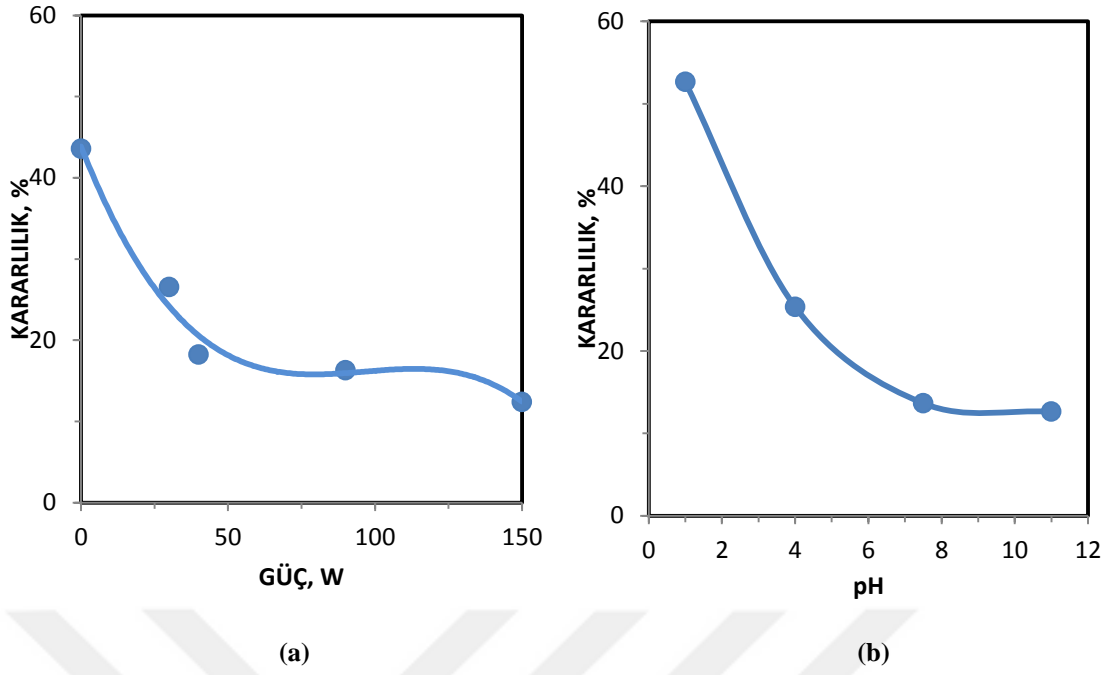
Bu kapsamdaki çalışmalar selestit, kolemanit ve galen mineralleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ultrasonik işlem kesikli olmak üzere süspansiyonların doğal pH değerlerinde yürütülmüştür. Deneysel çalışma koşulları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Deneysel koşullar

Mineraller	Prob dalma derinliği	US muamele süresi	Yüzey aktif madde konsantrasyonu
Selestit	2 cm	120 sn	40 mg/dm <sup>3</sup>
Kolemanit	2 cm	120 sn	60 mg/dm <sup>3</sup>
Galen	2 cm	300 sn	10 <sup>-3</sup> M

### *Ultra sesin SDS varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

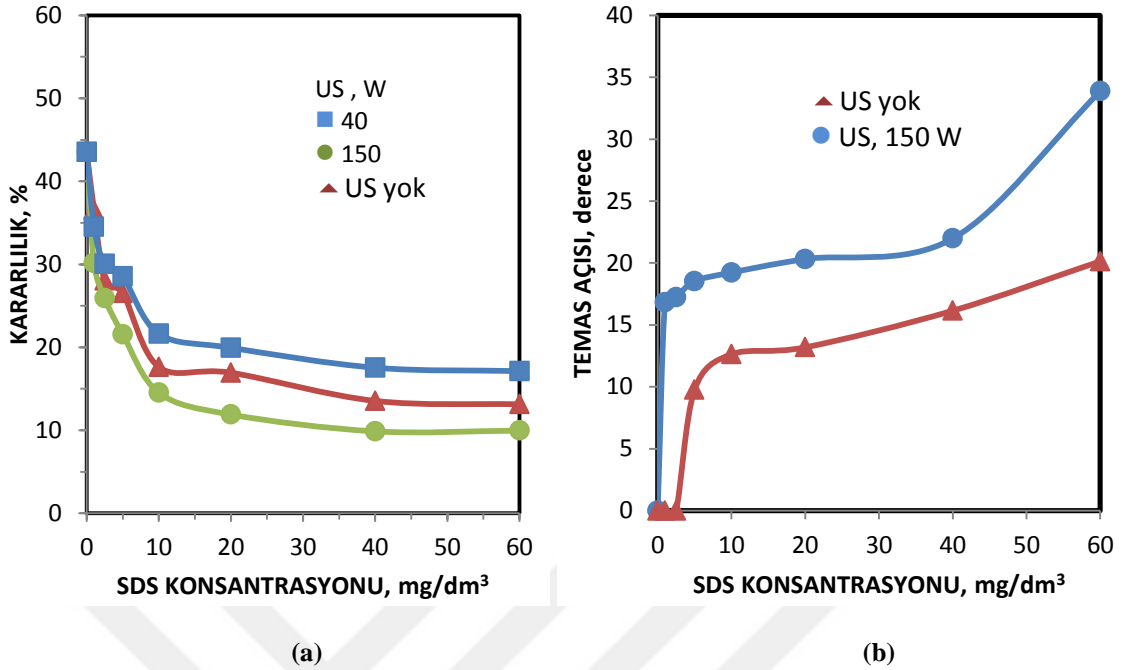
Ultra ses güç değerinin SDS varlığında, selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.19(a)’da verilmiştir. Ultrasonik cihazın uyguladığı güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığının azaldığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 44 değerinde olup, 150 Watt güç uygulandığında bu değer yaklaşık % 12’ye kadar düşmektedir. Ultra ses işleminin pH değerine bağlı olarak SDS varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.19(b)’de sunulmuştur. pH değeri arttıkça süspansiyon kararlılığı azalmakta, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha başarılı makaslama flokülasyonunun gerçekleştiği söylenilebilir.



**Şekil 4.19.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak SDS varlığında selettit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

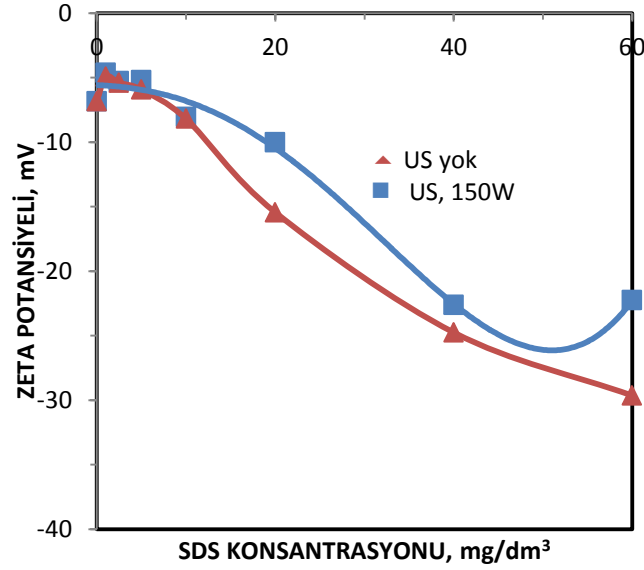
Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak selettit süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.20(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde selettit süspansiyonunun kararlılığı SDS'in düşük konsantrasyonunda ( $< 10 \text{ mg/dm}^3$ ) daha keskin bir azalma gösterirken, yüzey aktif maddenin  $10\text{-}40 \text{ mg/dm}^3$  konsantrasyon aralığında kısmen azalmakta, yüzey aktif maddenin yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) kayda değer bir değişim gözlenmemektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde de selettit süspansiyonunun kararlılığı benzer bir azalma eğilimi göstermektedir. Ayrıca, en düşük kararlılık değerine ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde ulaşılırken, 40 Watt'lık güç uygulanan deneylerde ise flokların parçalanması nedeniyle daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.20(b)'de gösterilmektedir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde temas açısı değerleri yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı ile temas açısı değerleri birlikte incelendiğinde, yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda ( $< 40 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığının azaldığı, temas açısı değerinin yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı görülmekte, SDS'in yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı değişmezken, ölçülen temas açısı değeri artmaktadır. En yüksek temas açısı değerleri ultrasonik işlem

uygulanayan deneylerde elde edilmektedir.



Şekil 4.20. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve temas açısı değerlerine etkisi

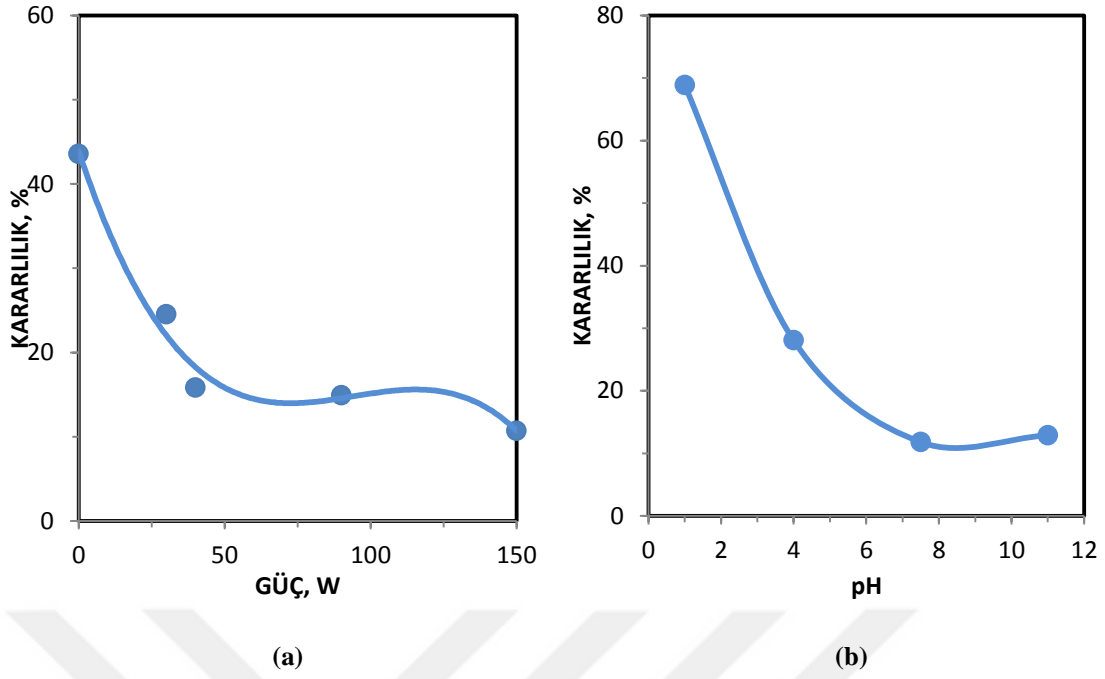
Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeline etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.21’den görüldüğü gibi, yüzey aktif madde yokken selestit yüzeyleri negatif şarjlı (-6.7 mV civarında) olup, ultra ses uygulanmayan ölçümlerde bu değer yüzey aktif madde konsantrasyonunun artmasıyla negatif yönde artmıştır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyelinin negatifliği belirli bir yüzey aktif madde konsantrasyonuna kadar (< 40 mg/dm<sup>3</sup>) artmakta, sonrasında ise artan yüzey aktif madde konsantrasyonu ile kayda değer bir etki oluşmamaktadır. Diğer taraftan, ultra ses uygulaması selestitin zeta potansiyelinin negatifliğini azalttığı görülmektedir.



Şekil 4.21. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeline etkisi

#### *Ultra sesin Aero 845 varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

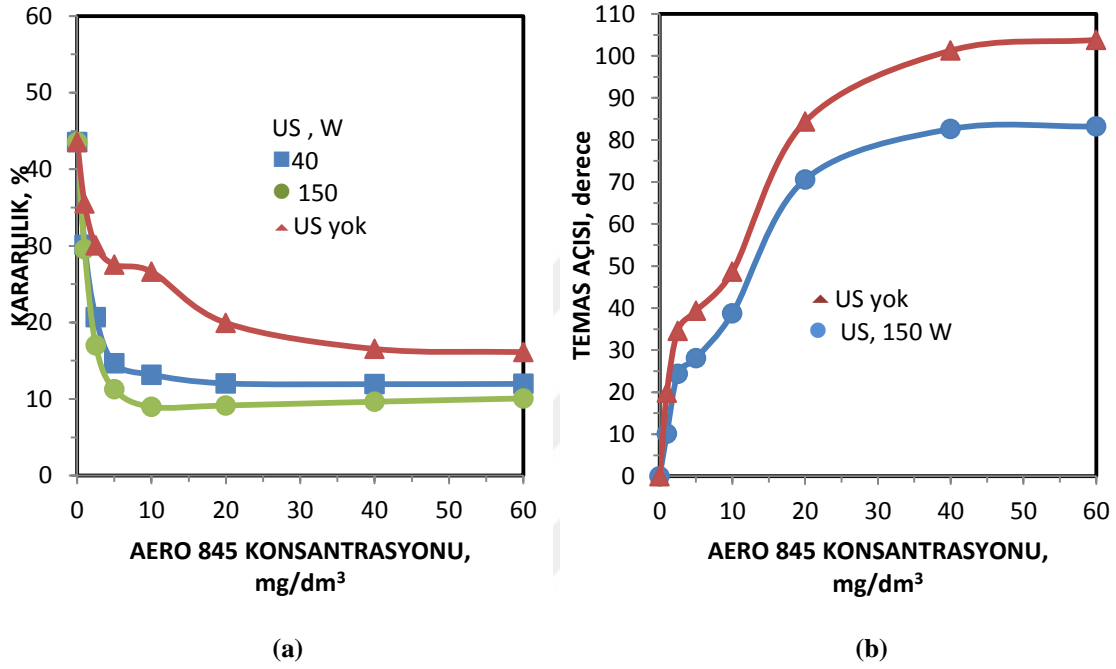
Ultra ses cihazının güç değerlerinin Aero 845 varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.22(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığının azaldığı görülmektedir. En düşük kararlılık değeri ultra ses cihazının 150 Watt güç uyguladığı deneylerde ulaşılmıştır. Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak Aero 845 varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.22(b)'de sunulmuştur. Süspansiyon kararlılığı pH değerinin artmasıyla azalmakta, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha başarılı makaslama flokülasyonunun gerçekleştiği söylenilebilir.



**Şekil 4.22.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak Aero 845 varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra ses muamelesinin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.23(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı yüzey aktif madde konsantrasyonunun artması ile azalmakta, yüzey aktif maddenin yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) kayda değer bir etki oluşturmamaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı yüzey aktif maddenin belirli bir konsantrasyonuna kadar ( $10 \text{ mg/dm}^3$ ) azalmakta, sonrasında ise belirgin bir değişim göstermektedir. En düşük kararlılık değerleri ultrasonik cihazın 150 Watt güç uyguladığı deneylerde elde edilirken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise daha yüksek kararlılık değerlerine ulaşılmaktadır. Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.23(b)'de sunulmuştur. Ultra ses uygulanmayan deneylerde temas açısı değerleri yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak artmakta, ancak belirli bir konsantrasyondan sonra ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) değişmemektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde ise temas açısı değerleri süspansiyon kararlılığı ile birlikte incelendiğinde şu sonuçlar elde edilmektedir; yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda ( $< 40 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı azalmakta iken, ölçülen temas açısı değerleri ise yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Aero 845'in yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığında kayda değer bir etki

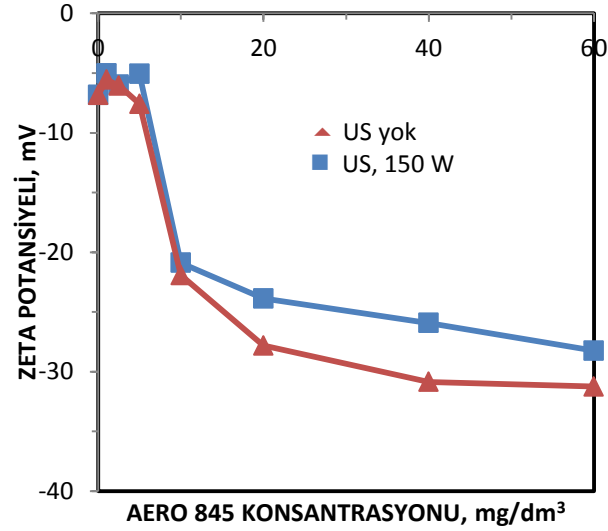
gözlenmezken, ölçülen temas açısı değerlerinde de herhangi bir etki oluşmamaktadır. Diğer taraftan, en yüksek temas açısı değerine ultrasonik işlem uygulanan deneylerde ulaşılmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde  $60 \text{ mg/dm}^3$  yüzey aktif madde konsantrasyonunda ölçülen temas açısı değeri  $103^\circ$  iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer  $84^\circ$  olmaktadır. Bu bulgulara dayanılarak, ultra ses uygulaması ile daha başarılı makaslama flokülasyonunun gerçekleştiği söylenebilir.



Şekil 4.23. Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına ve temas açısı değerlerine etkisi

Şekil 4.24 ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisini göstermektedir. Yüzey aktif madde yokken selestit yüzeyleri negatif şarjlı ( $-6.7 \text{ mV}$  civarında) olup, bu değer ultra ses uygulanmayan ölçümlerde yüzey aktif madde konsantrasyonunun artmasıyla negatif yönde artmakta, belirli bir konsantrasyondan sonra ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) değişmemektedir. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyeli negatifliğinin yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ancak elde edilen negatif potansiyel değerlerinin ultra ses uygulanmadığında elde edilenlerden daha düşük olduğu görülmektedir.

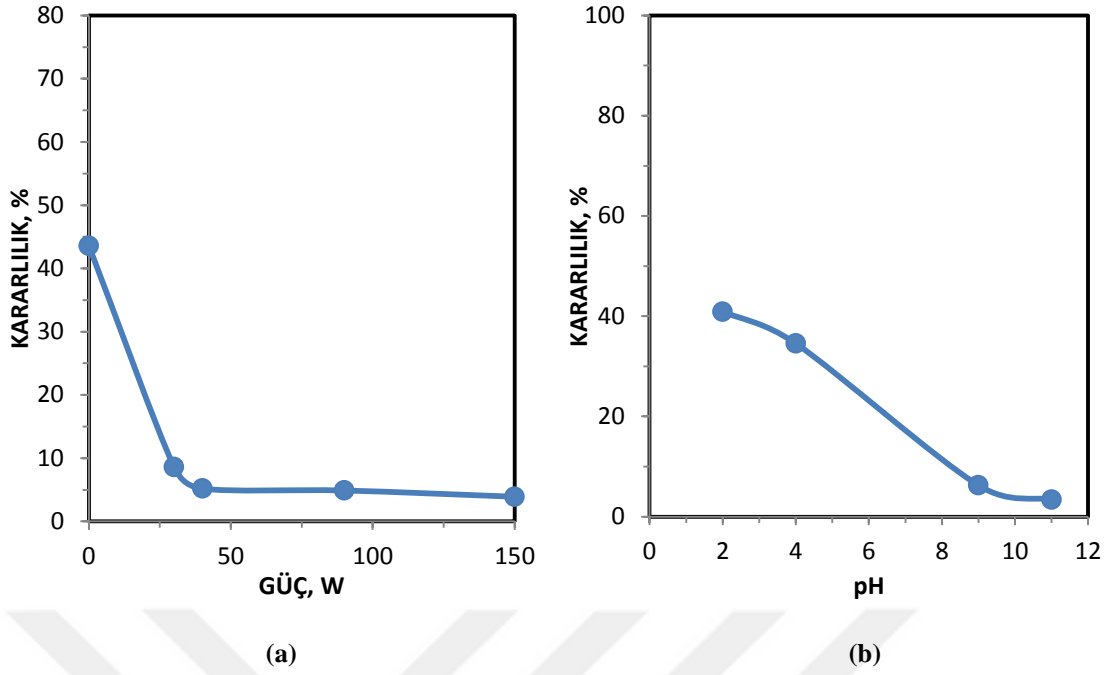




Şekil 4.24. Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeline etkisi

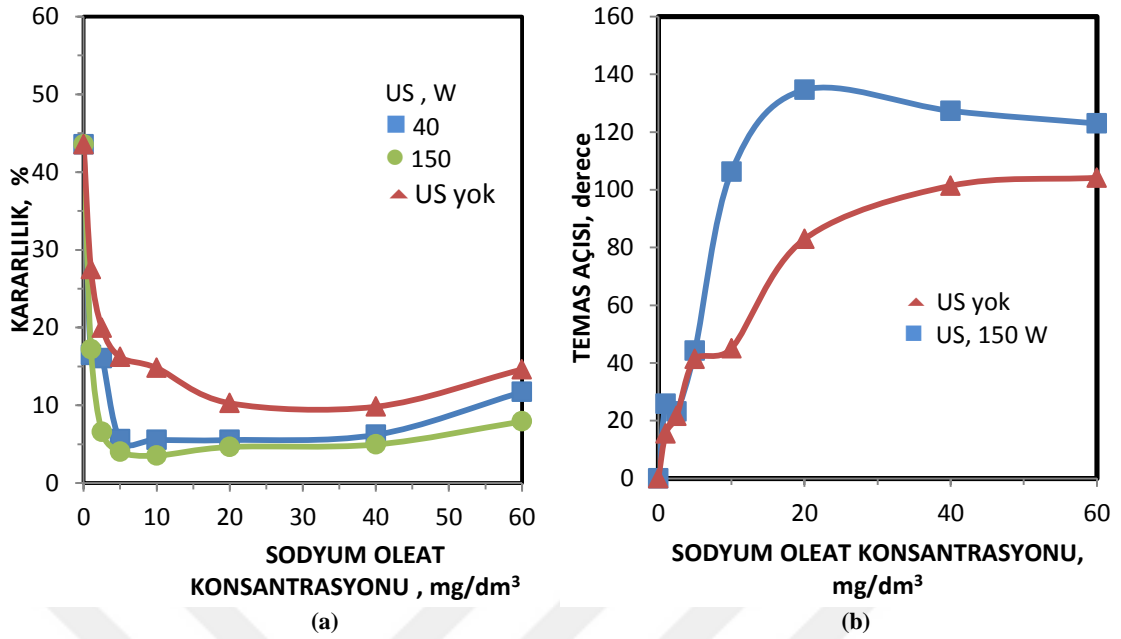
#### ***Ultra sesin sodyum oleat varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerinin  $40 \text{ mg/dm}^3$  konsantrasyonunda sodyum oleat varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.25(a)'da sunulmuştur. Ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığı azalmakta, 40 Watt'lık güçten sonra değişim olmamaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 44 değerinde olup, ultra sesin 40 Watt güç uyguladığı deneylerde bu değer yaklaşık % 5'e kadar düşmekte, yani güçlü bir makaslama flokülasyonunun gerçekleştiği ifade edilebilir. Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak sodyum oleat varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.25(b)'de verilmiştir. Ph değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığı azalmakta, yani güçlü bir flokülasyon gerçekleşmektedir.



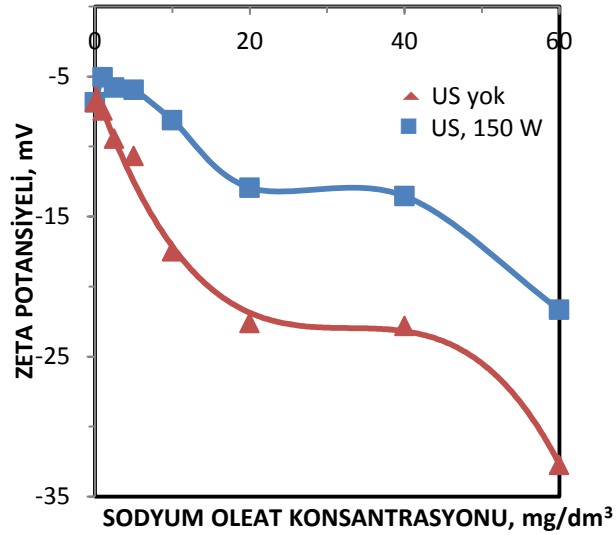
**Şekil 4.25.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak sodyum oleat varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Şekil 4.26(a) ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Ultra ses uygulanan ve uygulanmayan deneylerde süspansiyonun kararlılığı oleatın düşük konsantrasyonunda azalırken, yüksek konsantrasyonlarda ise fazla bir değişim gözlenmemektedir. En düşük kararlılık değerine ise ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde ulaşılmakta,  $10 \text{ mg/dm}^3$  oleat konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 3'e kadar azalmaktadır. Ultra ses uygulanmayan deneyde ise oleatın aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 14 olmaktadır. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.26(b)'de verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde yüzey aktif maddenin konsantrasyonu arttıkça temas açısı değerleri de artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı ile temas açısı değerleri kıyaslandığında, düşük oleat konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı azalırken, temas açısı değerlerinin ise oleat konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Oleatın yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 40 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı az da olsa artarken, temas açısı değerleri nispeten azalmaktadır. Süspansiyonun kararlılık değerleri ile temas açısı değerleri arasında uyum olduğu görülmektedir. Öte yandan, en yüksek temas açısı değerleri ultra ses uygulanan deneylerde elde edilmiş olup, oleat konsantrasyonu,  $20 \text{ mg/dm}^3$  iken ölçülen temas açısı değeri  $134^\circ$  iken, bu değer ultra ses uygulanmayan deneylerde ise  $83^\circ$  olmaktadır.



Şekil 4.26. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve temas açısı değerlerine etkisi

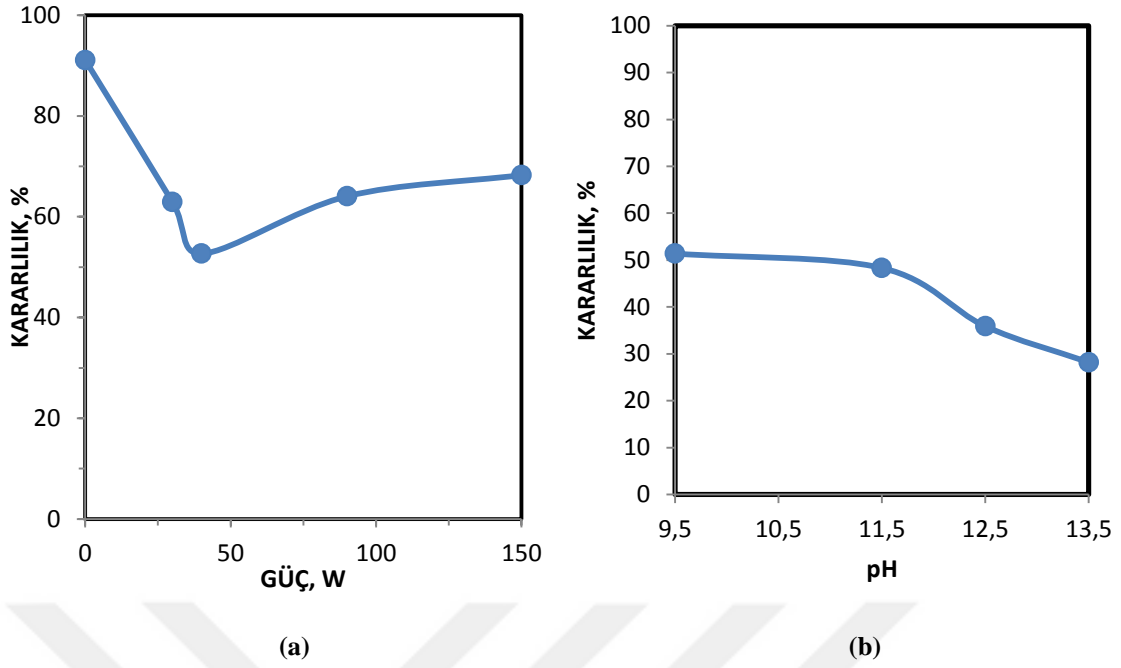
Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.27’de sunulmuştur. Yüzey aktif madde yokken selestit yüzeyleri negatif şarjlı olup, ultra ses uygulanmayan ölçümlerde bu değer yüzey aktif madde konsantrasyonunun artmasıyla negatif yönde artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyelinin negatifliği benzer bir artış eğilimi göstermekte, ancak zeta potansiyelinin negatifliği ultrases uygulanmayan ölçümlere göre daha düşük olmaktadır. Yüzeyle anyonik toplayıcıların adsorpsiyonu zeta potansiyellerinin daha negatif olmasını sağlar. Bu aynı zamanda toplayıcının adsorbe olduğunun bir kanıtıdır.



Şekil 4.27. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeline etkisi

#### ***Ultra sesin SDS varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

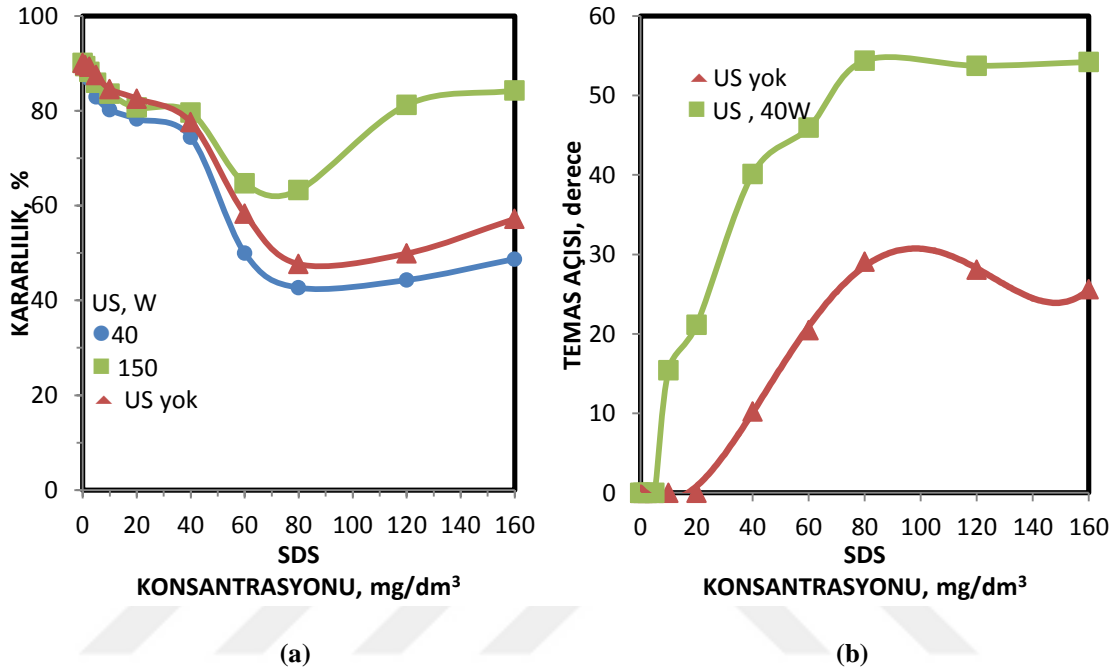
Ultra sesin güç değerlerine bağlı olarak SDS varlığında, kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.28(a)'da sunulmuştur. Süspansiyon kararlılığı ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça azalmakta, ancak belirli bir güç değerinden sonra ise (40 Watt) artmaktadır. Şekil 4.28(b) ultra sesin pH değişimine bağlı olarak SDS varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. SDS ile yüksek pH değerlerinde kolemanitin daha güçlü flokülasyonu sağlanmaktadır.



Şekil 4.28. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak SDS varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

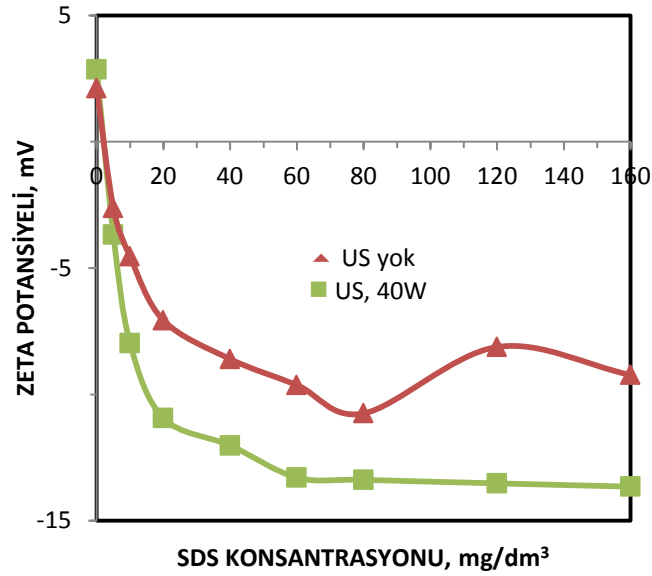
Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.29(a)'da verilmiştir. Süspansiyonun kararlılığı  $80 \text{ mg/dm}^3$  SDS konsantrasyonuna kadar azalmakta, sonrasında ise yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak nispeten artmaktadır. Öte yandan, ultra sesin 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde  $60 \text{ mg/dm}^3$  yüzey aktif madde konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 46 iken, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde bu değer yaklaşık % 67 olmaktadır. Ultra ses uygulanmayan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı yüzey aktif maddenin aynı konsantrasyonunda yaklaşık % 58 değerindedir. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.29(b)'de sunulmuştur. Şekil 4.29(b)'den görüldüğü gibi, ultra ses uygulanmayan deneylerde yüzey aktif madde konsantrasyonu arttıkça temas açısı değerleri de artmakta, SDS'in yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 80 \text{ mg/dm}^3$ ) temas açısı değerinin yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak kısmen azaldığı görülmektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde ise temas açısı değerleri ile süspansiyon kararlılığı karşılaştırıldığında, yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda ( $< 80 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı azalırken, temas açısı değerinin ise yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı görülmektedir. SDS'in yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 80 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı nispeten artarken, temas açısı değerlerinin artan yüzey aktif

madde konsantrasyonu ile değişmediği görülmektedir. Elde edilen bulgulara bakılarak, süspansiyonun kararlılığı ile temas açısı değerleri arasında uyum olduğu söylenilebilir. Diğer taraftan, en yüksek temas açısı değeri ultra ses uygulanan deneylerde elde edilmiş olup, 60 mg/dm<sup>3</sup> yüzey aktif madde konsantrasyonunda kolemanitin temas açısı değeri 45° iken, bu değer ultra ses uygulanmayan deneylerde 20° olmaktadır.



Şekil 4.29. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanitin süspansiyon kararlılığına ve temas açısı değerlerine etkisi

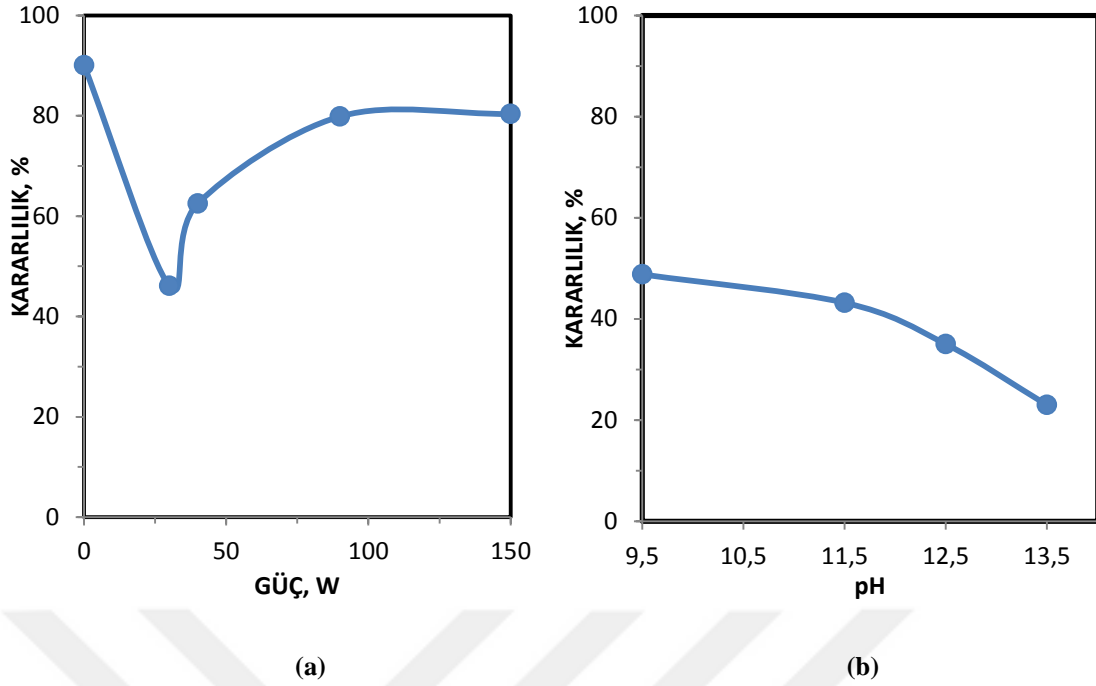
Şekil 4.30 ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisini göstermektedir. Yüzey aktif madde yokken kolemanitin yüzey yükü pozitif şarjlı olup, bu değer ultra ses uygulanmayan ölçümlerde yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak negatif yönde artmakta, belirli bir konsantrasyondan (> 80 mg/dm<sup>3</sup>) sonra ise potansiyel azalmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyeli negatifliği yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda artarken, yüksek konsantrasyonunda ise (> 80 mg/dm<sup>3</sup>) kayda değer bir etki oluşturmamaktadır.



Şekil 4.30. Ultra sesin SDS konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanitin zeta potansiyeline etkisi

#### ***Ultra sesin Aero 845 varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin farklı güç değerlerinin Aero 845 varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.31(a)'da sunulmuştur. Kolemanit mineralinin en başarılı makaslama flokülasyonu 40 Watt'lık güç uygulandığında elde edilmektedir. Daha yüksek gücün ise oluşan flokların parçalanmasına, dolayısıyla kararlılık değerlerinin artmasına neden olduğu söylenilebilir. Ultra sesin pH'a bağlı olarak Aero 845 varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.31(b)'de verilmiştir. Ph değeri arttıkça süspansiyonun kararlılık değeri azalmakta, yani daha güçlü flokülasyonun oluştuğu anlaşılmaktadır.

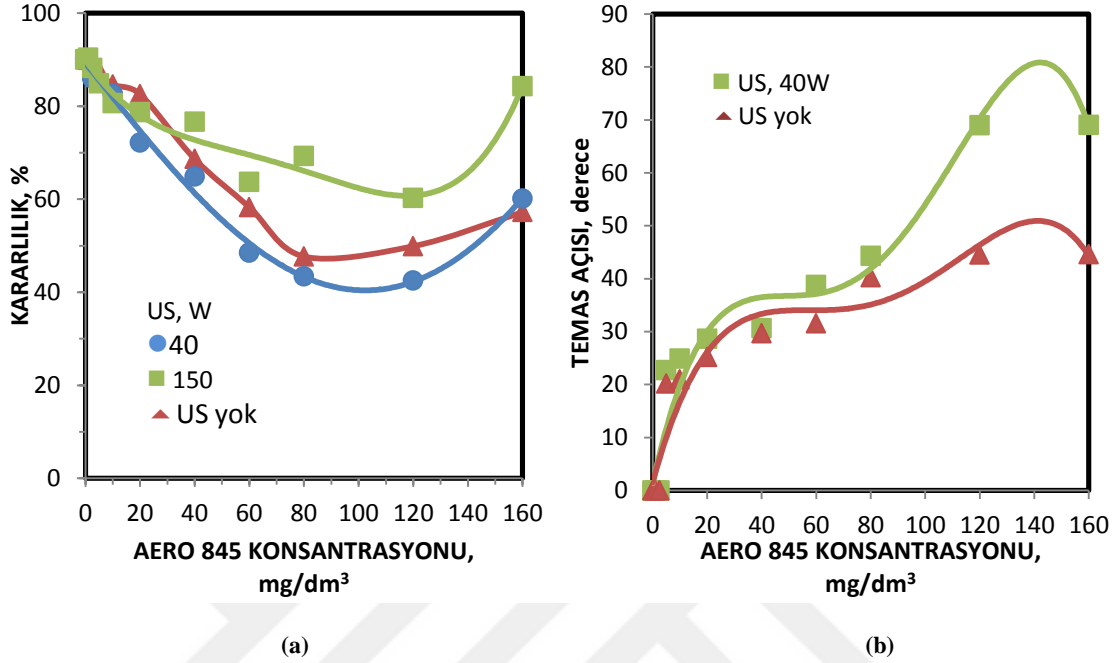


**Şekil 4.31.** Ultra sesin güç ve pH değerine bağlı olarak Aero 845 varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Şekil 4.32(a) ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı önce belirli bir yüzey aktif madde konsantrasyonuna ( $80 \text{ mg/dm}^3$ ) kadar azalmakta, sonrasında yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda ( $< 120 \text{ mg/dm}^3$ ) azalırken, yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 120 \text{ mg/dm}^3$ ) artmaktadır. En düşük kararlılık değeri, ultra sesin 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde elde edilirken, ultrasonik cihazın 150 Watt güç uyguladığı deneylerde daha yüksek kararlılık değerlerine ulaşılmaktadır. Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.32(b)'de sunulmuştur. Ultra ses uygulanmayan deneylerde temas açısı değerleri yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak artmakta, belirli bir konsantrasyondan sonra ise ( $> 120 \text{ mg/dm}^3$ ) kayda değer bir etki oluşturmamaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise temas açısı değerleri ile süspansiyon kararlılığı birlikte incelendiğinde, yüzey aktif maddenin düşük konsantrasyonunda ( $< 120 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığının azaldığı, temas açısı değerlerinin ise yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı görülmektedir. Aero 845'in yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 120 \text{ mg/dm}^3$ ) süspansiyon kararlılığı artarken, temas açısı değerinin artan yüzey aktif madde konsantrasyonu ile değişmediği gözlenmektedir.

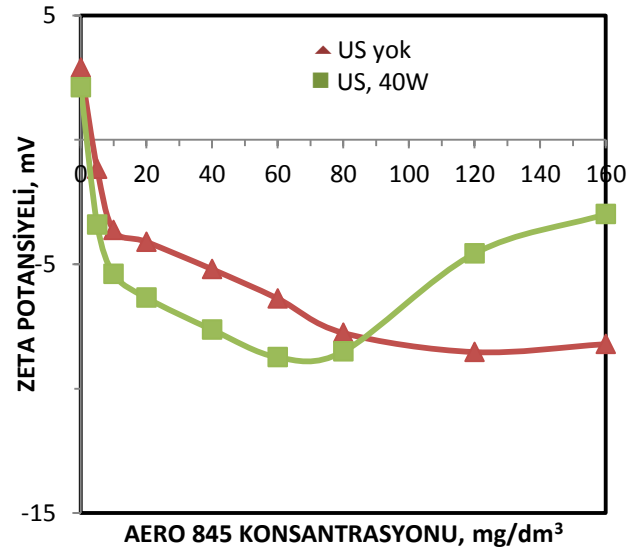


Diğer taraftan, en yüksek temas açısı değerleri ultra ses uygulanan deneylerde elde edilmiş olup, 120 mg/dm<sup>3</sup> yüzey aktif madde konsantrasyonunda kolemanitin temas açısı değeri 69° iken, bu değer ultra ses uygulanmayan deneylerde 44° olmaktadır.



Şekil 4.32. Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığına ve temas açısı değerlerine etkisi

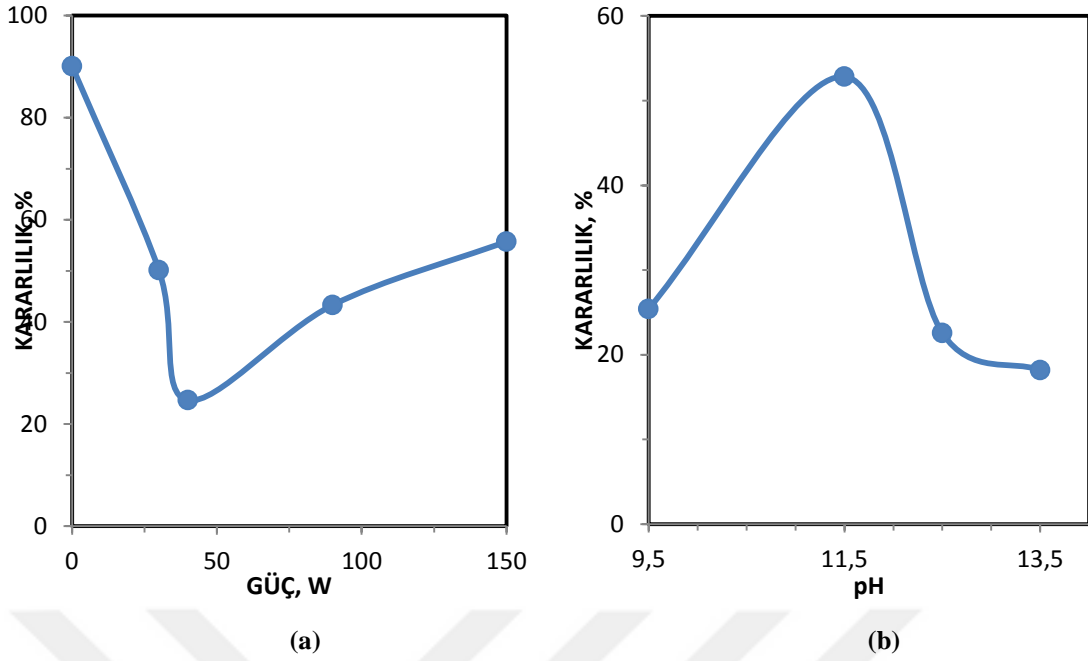
Ultra sesin Aero 845 konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.33'de verilmiştir. Yüzey aktif madde yokken kolemanitin yüzey yükü pozitif şarjlı olup, bu değer ultra ses uygulanmayan ölçümlerde yüzey aktif madde konsantrasyonunun artmasıyla negatif yönde artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyeli negatifliği yüzey aktif maddenin belirli bir konsantrasyonuna kadar (120 mg/dm<sup>3</sup>) artarken, sonrasında ise kayda değer bir etki oluşturmamaktadır.



Şekil 4.33. Ultra sesin AERO 845 konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanitin zeta potansiyeline etkisi

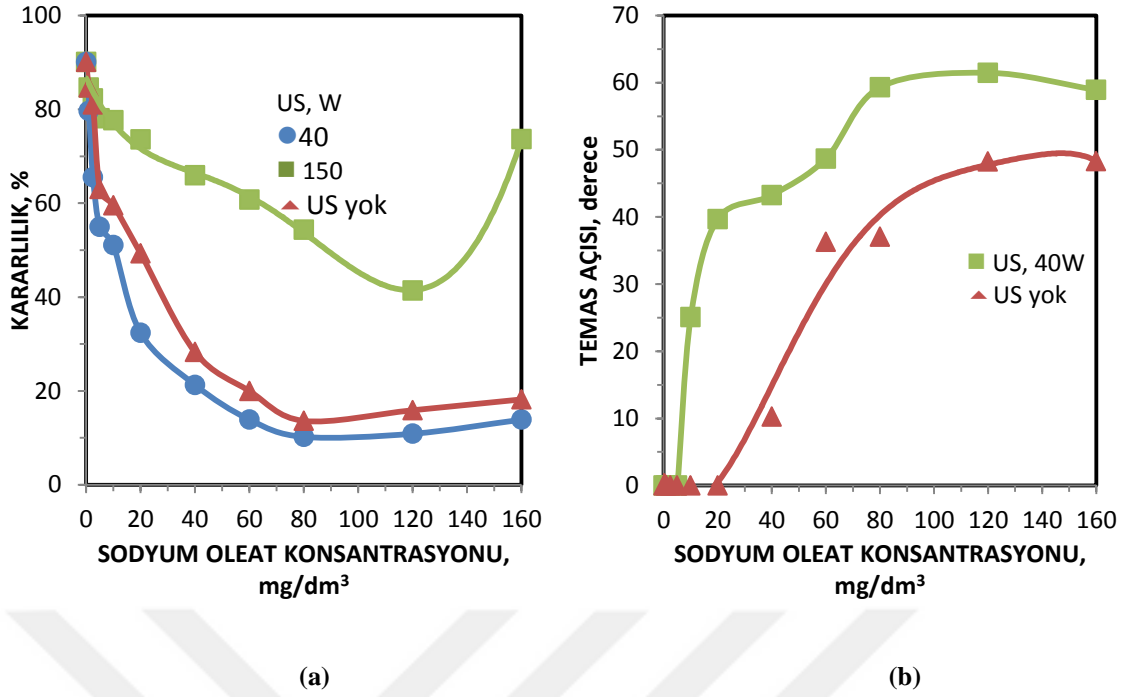
#### *Ultra sesin sodyum oleat varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Şekil 4.34(a) ultra sesin güç değerlerinin sodyum oleat varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı belirli bir güç değerine kadar (40 Watt) azalmakta, sonrasında ise güç değerine bağlı olarak artmaktadır. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak sodyum oleat varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.34(b)'de sunulmuştur. Sodyum oleat ile kolemanitin en iyi makaslama flokülasyonu pH 11.5'te elde edilmiştir.



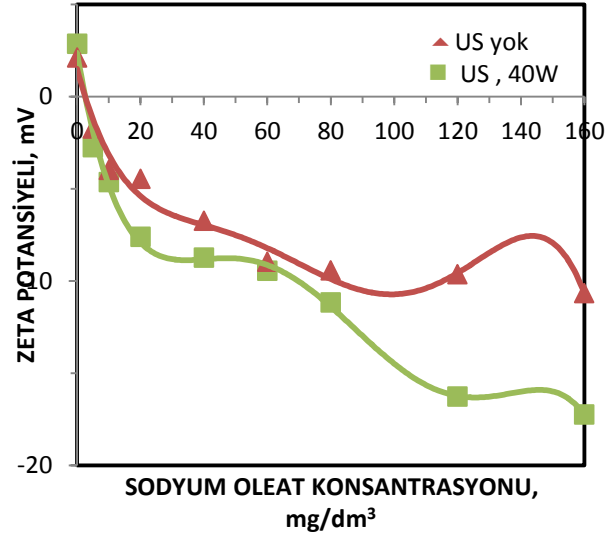
Şekil 4.34. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak sodyum oleat varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.35(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı belirli bir oleat konsantrasyonuna kadar ( $80 \text{ mg/dm}^3$ ) azalmakta, sonrasında ise oleat konsantrasyonuna bağlı olarak kısmen artmaktadır. Ultra ses cihazının 40 Watt güç uyguladığı deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer eğilim göstermekte, ancak nispeten daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde ise süspansiyon kararlılığı oleatın düşük konsantrasyonunda azalırken, oleatın yüksek konsantrasyonunda ( $> 120 \text{ mg/dm}^3$ ) artmaktadır. En yüksek kararlılık değerleri ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde flokların parçalanması nedeniyle oluşmaktadır. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisi araştırılmıştır. Şekil 4.35(b)'de görüldüğü gibi, oleat konsantrasyonuna bağlı olarak artan temas açısı ile daha başarılı flokülasyonun sağlandığı ifade edilebilir. Temas açıları  $80 \text{ mg/dm}^3$  oleat konsantrasyonunun üzerinde artış göstermezken, bu oleat derişiminde de en düşük kararlılık değerine ulaşılmıştır. Ultra sesin uygulanması ise yine daha yüksek temas açılarının elde edilmesine olanak sağlamıştır.



Şekil 4.35. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve temas açısı değerlerine etkisi

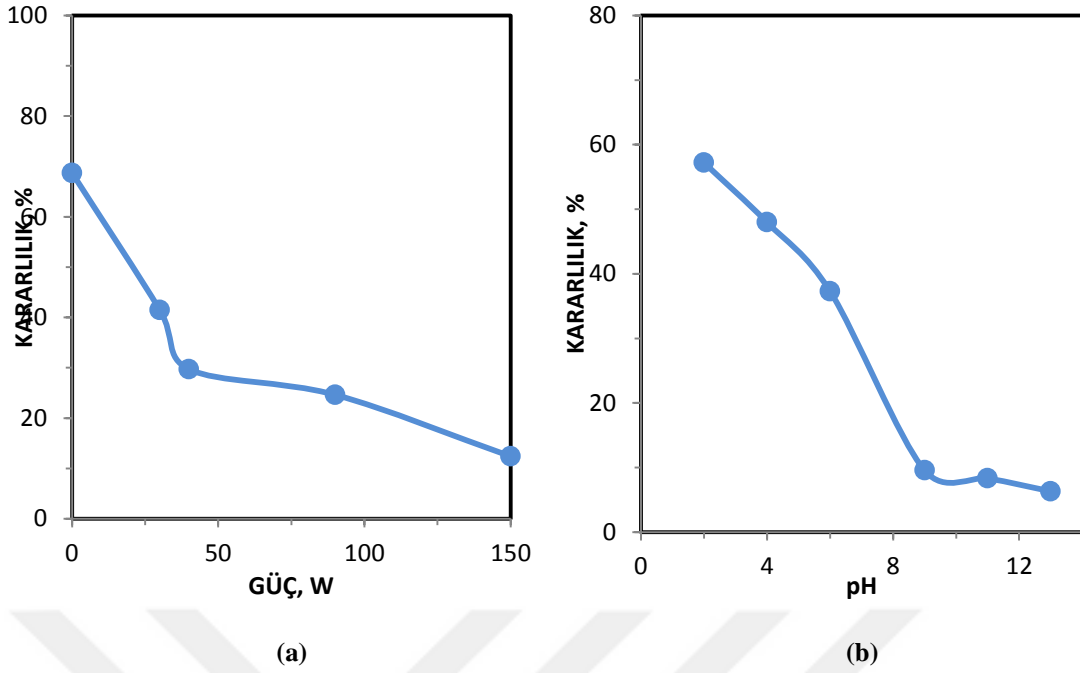
Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanitin zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.36'da sunulmuştur. Şekil 4.36'dan görüldüğü gibi, artan oleat adsorpsiyonuna bağlı olarak kolemanitin negatif potansiyeli kullanılan derişim ile birlikte artmaktadır. Ultra ses uygulaması ise ölçülen negatif potansiyellerin daha büyük olmasına neden olmuştur. Temas açısı sonuçları ile birlikte değerlendirildiğinde, ultra sesin kolemanit yüzeylerine oleat adsorpsiyonunu artırdığı, buna bağlı olarak temas açısı değerlerinin daha yüksek, zeta potansiyeli değerlerinin ise daha negatif olduğu, nihayetinde daha başarılı kolemanit flokülasyonunun sağlandığı sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 4.36. Ultra sesin sodyum oleat konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanitin zeta potansiyeline etkisi

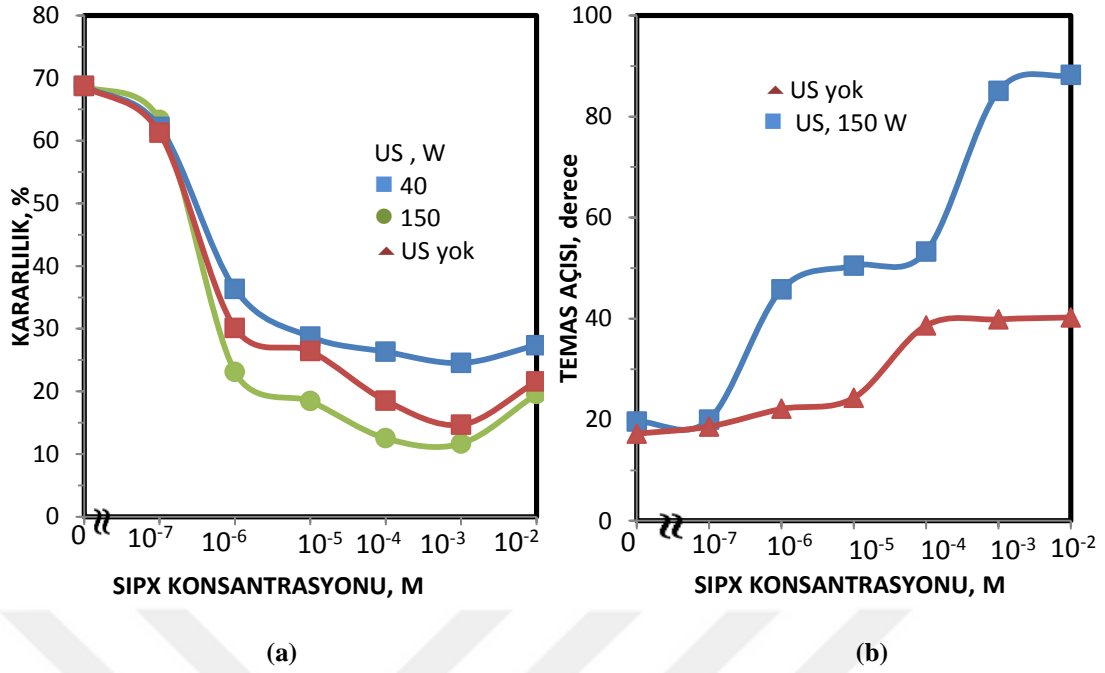
***Ultra sesin sodyum izopropil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerlerinin sodyum izopropil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.37(a)'da sunulmuştur. Ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça galen süspansiyonunun kararlılığının azaldığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde olup, ultra sesin 150 Watt'lık güç uyguladığı deneyde bu değer yaklaşık % 12'ye kadar düşmektedir. Şekil 4.37(b) ultra sesin pH'a bağlı olarak sodyum izopropil ksantat ile galen süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Sodyum izopropil ksantat ile yüksek pH değerlerinde galenin daha güçlü flokülasyonu sağlanmaktadır.



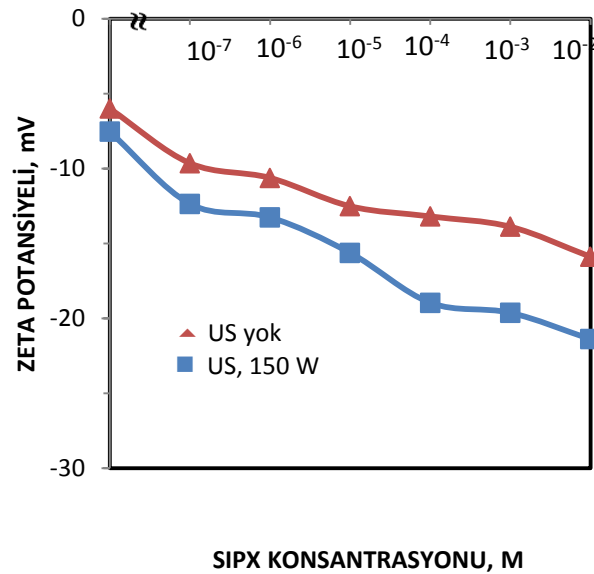
Şekil 4.37. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak sodyum izopropil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin sodyum izopropil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.38(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı belirli bir ksantat konsantrasyonuna kadar ( $10^{-3}$  M) azalmakta, sonrasında ise artmaktadır. Öte yandan, ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyonun kararlılık eğrisi benzer şekilde değişim göstermekte, ancak ultra sesin 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde nispeten daha düşük kararlılık değerlerine ulaşılmaktadır. En yüksek kararlılık değerleri ise ultra sesin 40 Watt güç uyguladığı deneylerde flokların parçalanması nedeniyle elde edilmektedir. Şekil 4.38(b) ultra sesin sodyum izopropil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerine etkisini göstermektedir. Ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak artan temas açısı ile daha başarılı flokülasyonun sağlandığı söylenilebilir. Ultra ses muamelesi ile daha yüksek temas açıları elde edilmekte,  $10^{-3}$  M ksantat konsantrasyonunda ölçülen temas açısı değeri  $85^\circ$  iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer  $39^\circ$ 'dir.



Şekil 4.38. Ultra sesin sodyum izopropil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve temas açısına etkisi

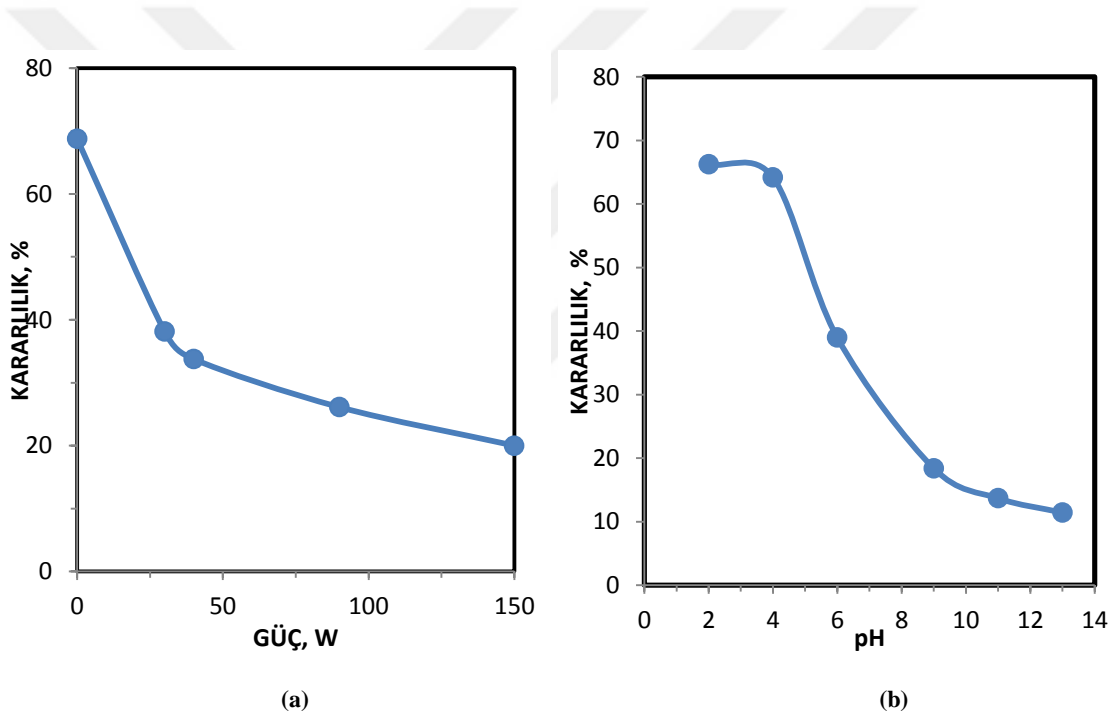
Ultra sesin sodyum izopropil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.39’da sunulmuştur. Galenin negatif potansiyeli ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulamasında galen yüzeylerine ksantat adsorpsiyonun arttığı böylece daha büyük negatif potansiyeli ölçüldüğü söylenilebilir.



Şekil 4.39. Ultra sesin sodyum izopropil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeline etkisi

***Ultra sesin potasyum etil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Şekil 4.40(a) ultra sesin güç değerinin potasyum etil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değerinin artmasıyla galen süspansiyonunun kararlılığı azalmakta, galen mineralinin en başarılı makaslama flokülasyonu 150 Watt'lık güç uygulandığında elde edilmektedir. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak potasyum etil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.40(b)'de verilmiştir. Potasyum etil ksantat ile galenin en iyi makaslama flokülasyonu yüksek pH değerlerinde gerçekleşmektedir.

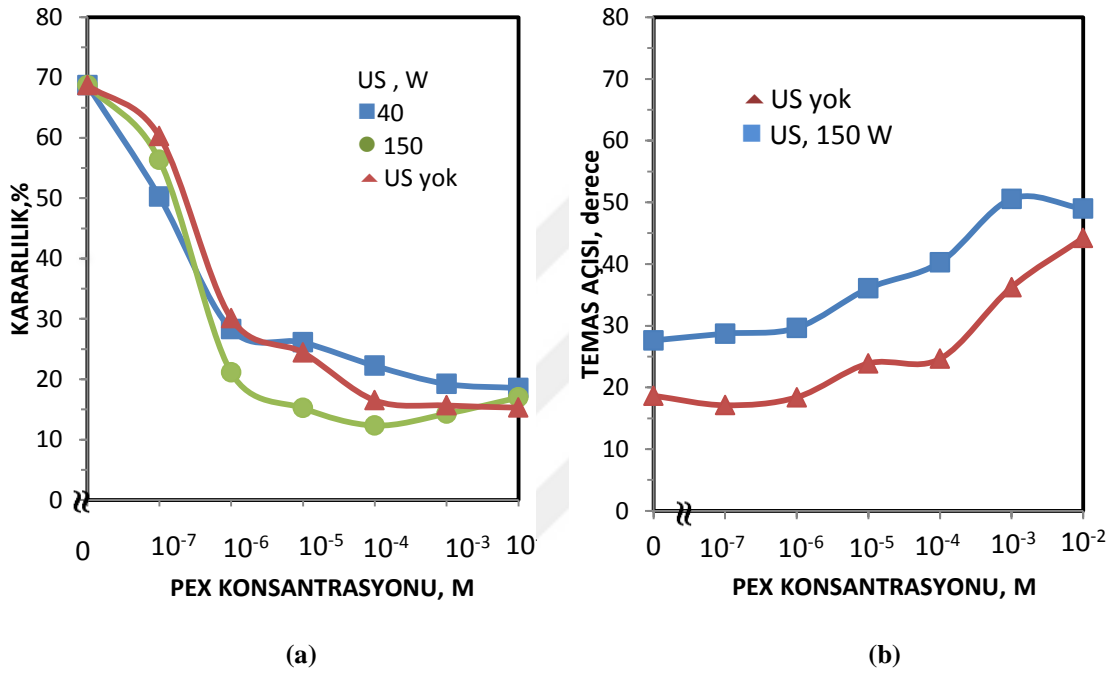


**Şekil 4.40.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak potasyum etil ksantat varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin potasyum etil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.41(a)'da sunulmuştur. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak azalmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı belirli bir ksantat konsantrasyonuna kadar ( $10^{-3}$  M) azalmakta, sonrasında ise kısmen artmaktadır. Ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin potasyum etil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak temas

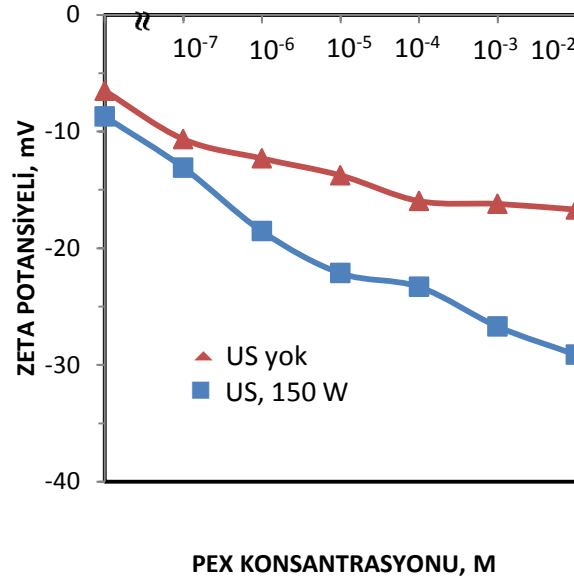


açısı değerlerine etkisi Şekil 4.41(b)'de verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde ksantat konsantrasyonu arttıkça temas açısı değerleri de artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise temas açısı değerleri belirli bir ksantat konsantrasyonuna kadar ( $10^{-3}$  mol/dm<sup>3</sup>) artmakta, sonrasında ise kısmen azalmaktadır. Öte yandan, ultra ses uygulanan deneylerde artan ksantat konsantrasyonu ile yüksek temas açısı değerlerinin ölçülmesi daha başarılı makaslama flokülasyonunun gerçekleştiğini ifade etmektedir.



Şekil 4.41. Ultra sesin potasyum etil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı ve temas açısına etkisi

Şekil 4.42 ultra sesin potasyum etil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisini göstermektedir. Yüzey aktif madde konsantrasyonu arttıkça galenin negatif potansiyeli de artmakta, ultra ses uygulanan ölçümlerde bu artış daha yüksek olmaktadır.

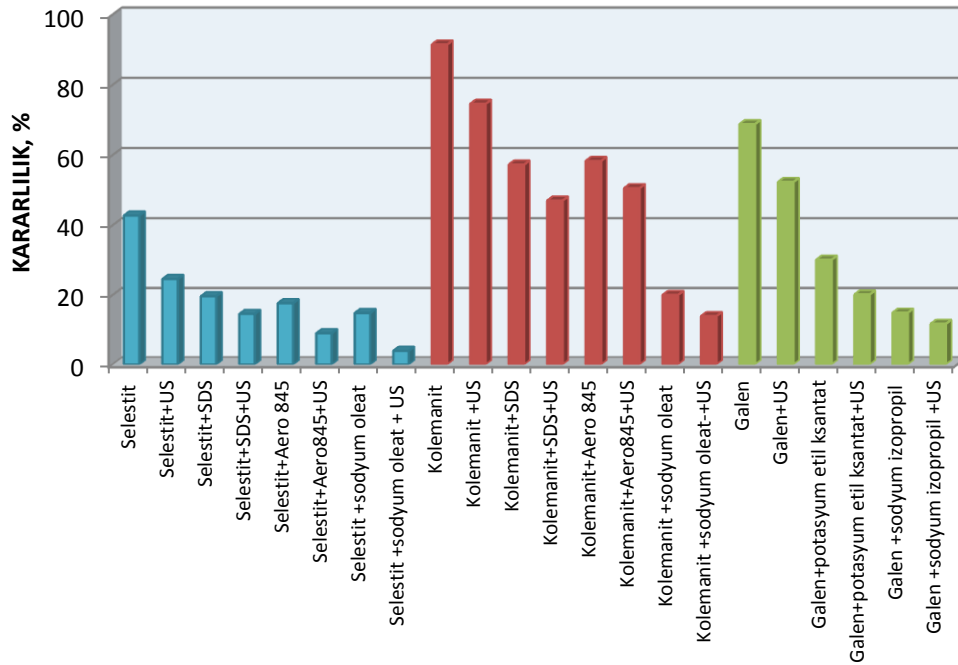


Şekil 4.42. Ultra sesin potasyum etil ksantat konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeline etkisi

#### 4.2.1. Ultra sesin toplayıcılar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi

- Ultra ses güç değerinin artmasıyla selestit ve galen mineralleri için tüm kullanılan reaktiflerin varlığında daha başarılı makaslama flokülasyonları sağlanmıştır. Kolemanit için ise 40 Watt'ın üzerinde flokülasyon olumsuz etkilenmektedir.
- Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak yüzey aktif madde varlığında gerçekleştirilen deneylerde minerallerin süspansiyon kararlılığı pH değerinin artmasıyla azalmış, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha başarılı makaslama flokülasyonu sağlanmıştır.
- Selestit ve kolemanit mineralinin en düşük kararlılık değerleri sodyum oleat varlığında gerçekleştirilen ultra ses deneylerinde elde edilirken, galen mineralinde ise sodyum izopropil ksantat varlığında ultra ses muamelesi ile en düşük kararlılık değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 4.43). Makaslama flokülasyonunda hidrokarbon zincir uzunluğunun artması ile flokülasyon başarısının da arttığı bilinmekte, sodyum oleatın ve sodyum izopropil ksantatın hidrokarbon zincirlerinin uzun olmasından dolayı daha başarılı makaslama flokülasyonu sağlanmıştır. Ultra sesin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı tespit edilmiştir. Ultra sesin yüzey aktif maddenin süspansiyon içerisinde daha iyi dağılmasını sağladığı ve mineral yüzeyinde toplayıcı adsorpsiyonu artırdığı

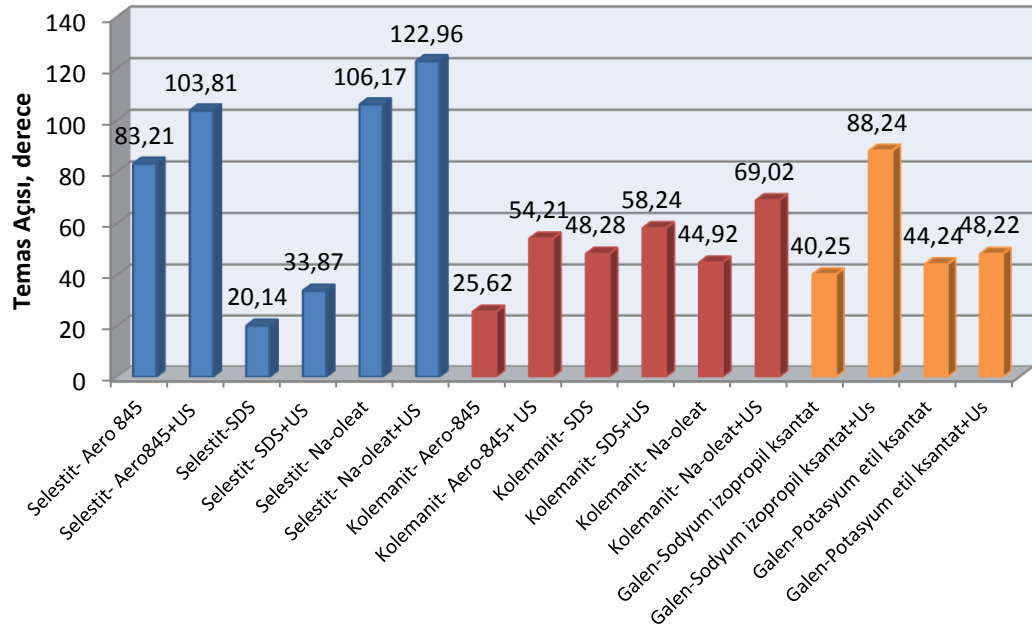
düşünülmektedir. Benzer sonuçlara ultra sesin flotasyona etkisini belirlemek için yapılmış çalışmalarda da rastlanılmaktadır. Bu çalışmalarda ultra sesin oluşturduğu kavitasyon etkisinin reaktiflerin süspansiyon içerisinde daha iyi disperse olmasını sağladığı, böylelikle reaktiflerin aktivitesini ve adsorpsiyonunu artırdığı ifade edilmiştir (Çelik, 1989; Djendova ve Mehandj, 1992; Aldrich ve Feng, 1999; Özkan ve Kuyumcu, 2006; Çilek ve Özgen, 2010). Ayrıca, kavitasyon etkisinin katı-sıvı arayüzlerinde bozunmalar oluşturduğu ve böylece toplayıcıların mineraller üzerinde adsorpsiyonunda değişikliklere yol açtığı, bu da minerallerin yüzdürme performansında değişikliklere neden olduğu belirtilmiştir (Slaczka, 1987).



Şekil 4.43. Ultra sesin toplayıcılar varlığında mineral süspansiyon kararlılığına etkisi

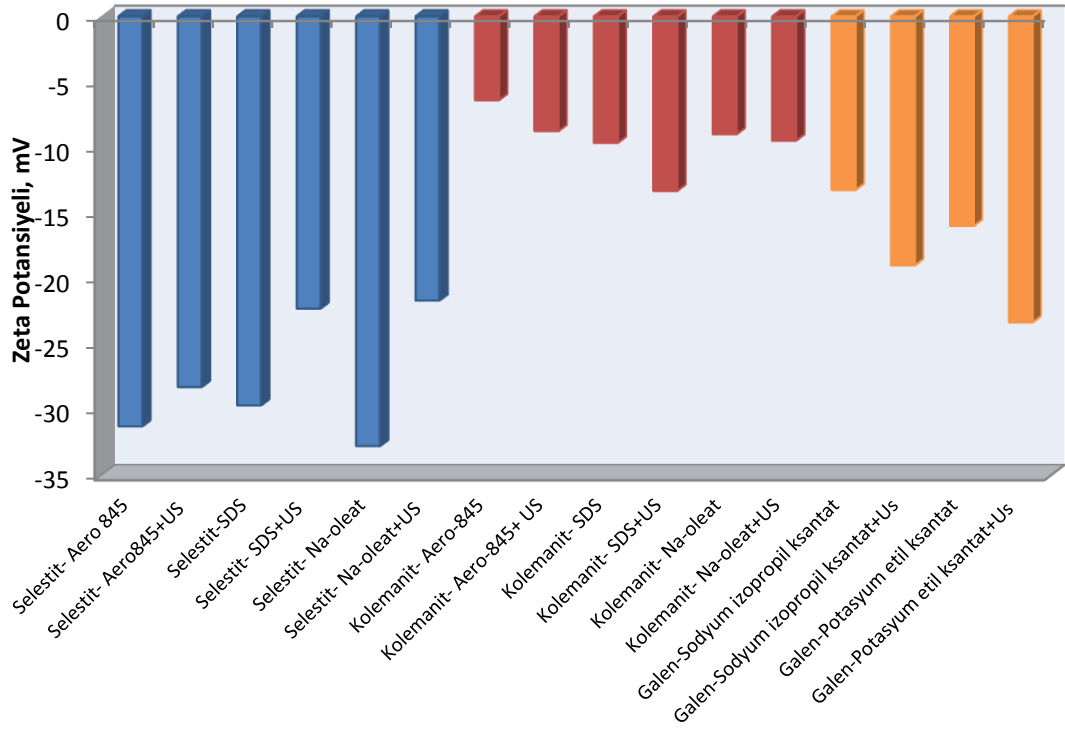
- Selestit ve kolemanit minerallerin ultra ses uygulanan deneylerinde en yüksek temas açısı değerlerine sodyum oleat varlığında ulaşılırken, galen mineralinde ise sodyum izopropil ksantat varlığında ulaşılmıştır (Şekil 4.44). Ultra ses işlemi yüzey aktif madde konsantrasyonuna bağlı olarak temas açısı değerlerini artırmıştır. Benzer sonuçlar flotasyon ile yapılmış çalışmalarda da görülmüştür. Güngören ve ark. (2019), ultra sesin kuvars flotasyonu üzerine etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, ultra ses işleminin amin varlığında kuvarsın temas açısı değerini artırdığı belirtilmiştir. Xu ve ark. (2017) tarafından yapılan kömür flotasyonu çalışmasında

ise temas açısı değerlerinin ultra ses muamele süresine bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir.



Şekil 4.44. Ultra sesin toplayıcılar varlığında temas açısına etkisi

- Ultra ses işleminin kolemanit ve galen minerallerinin zeta potansiyelinin negatifliğini arttırdığı belirlenmiştir (Şekil 4.45). Benzer sonuçlara Özkan (2012), tarafından kömür şamları üzerine yaptığı flotasyon çalışmasında da rastlanılmaktadır. Bu çalışmada ultra ses muamalesinin kömürün zeta potansiyeli negatifliğini pH değerine bağlı olarak arttırdığı ortaya konulmuştur.



Şekil 4.45. Ultra sesin toplayıcılar varlığında zeta potansiyeline etkisi

### 4.3. Ultra Sesin Flokulanlar Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi

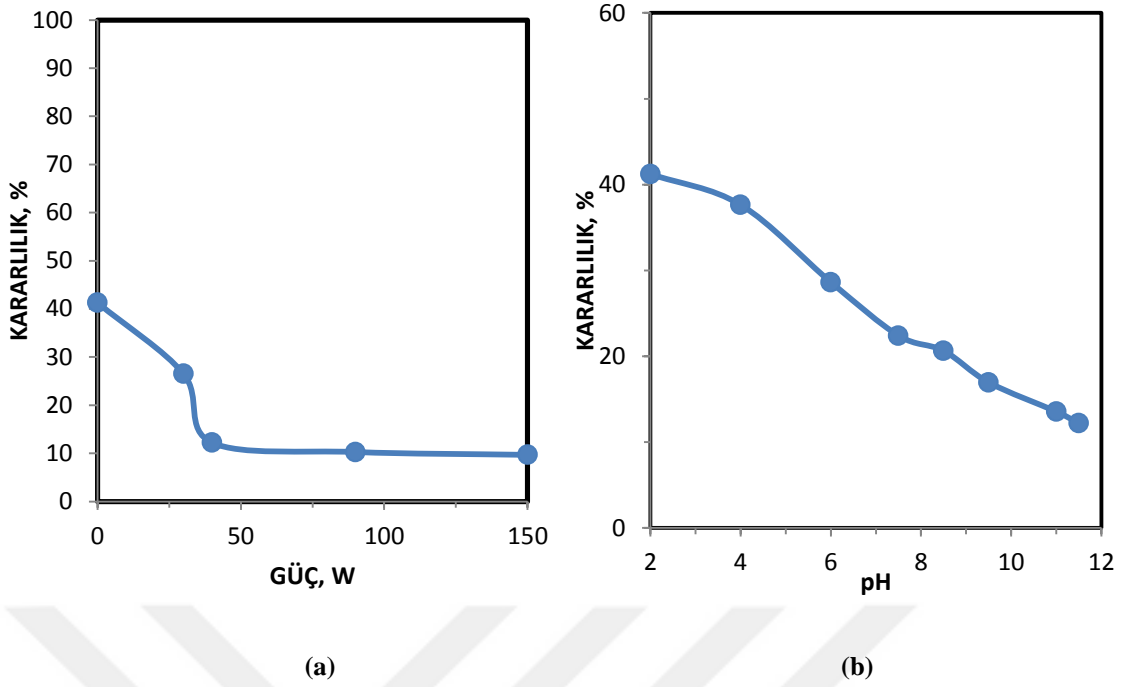
Bu kapsamdaki çalışmalar selestit, kolemanit ve galen mineralleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ultrasonik işlem kesikli olmak üzere süspansiyonların doğal pH değerlerinde yürütülmüştür. Deneylerin çalışma koşulları Çizelge 4.2 'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Deneysel koşullar

Mineraller	Prob dalma derinliği	US muamele süresi	Flokülant konsantrasyonu
Selestit	2 cm	120 sn	0.15 mg/dm <sup>3</sup> A-150 0.15 mg/dm <sup>3</sup> N-100 1.5 mg/dm <sup>3</sup> C-577
Kolemanit	2 cm	120 sn	0.25 mg/dm <sup>3</sup> A-150 0.25 mg/dm <sup>3</sup> N-100 2.5 mg/dm <sup>3</sup> C-577
Galen	2 cm	300 sn	1.6 mg/dm <sup>3</sup> A-150 1.6 mg/dm <sup>3</sup> N-100 4.5 mg/dm <sup>3</sup> C-577

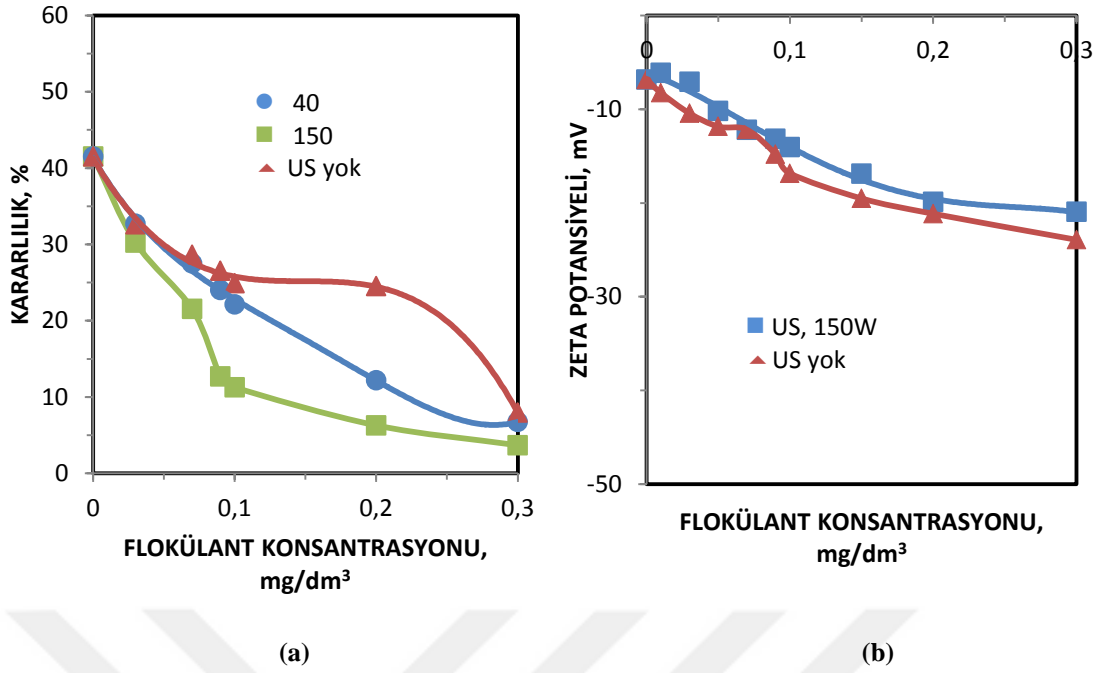
#### ***Ultra sesin A-150 varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerlerinin anyonik polimer (A-150) varlığında süspansiyon kararlılığına etkisi Şekil 4.46(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığı azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 40 değerinde iken, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneyde yaklaşık % 22'ye kadar azaldığı görülmektedir. Şekil 4.46(b) ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Ph değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığı azalmakta, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha başarılı flokülasyon sağlandığı söylenilebilir.



Şekil 4.46. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin A-150 konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.47(a)'da sunulmuştur. Ultra ses uygulanmayan deneylerde flokülant konsantrasyonu arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılık değerleri azalmaktadır. Anyonik polimerler yüksek molekül ağırlığına ( $5-15 \times 10^6$ ) sahiptir ve bu nedenle bu polimerlerin köprüleme kabiliyeti yüksektir. Artan polimer konsantrasyonu ile artan adsorpsiyon yoğunluğu daha başarılı flokülasyona neden olmaktadır. Diğer taraftan, ultra ses uygulanan deneylerde de selestit süspansiyonunun kararlılığı benzer bir azalma eğilimi göstermekte ve en düşük kararlılık değerlerine ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneyde ulaşılmaktadır. Ultra ses muamelesi ile daha güçlü flokülasyonun sağlandığı ifade edilebilir. Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.47(b)'de verilmiştir. Reaktif yokken selestit yüzeyleri negatif şarjlı olup, anyonik polimerin konsantrasyonunun artmasıyla yüzey yükünün negatifliği de artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyelinin negatifliği benzer artış eğilimi göstermekte, ancak zeta potansiyelinin negatifliği ultra ses ile elde edilen ölçümlere göre daha düşük olmaktadır.

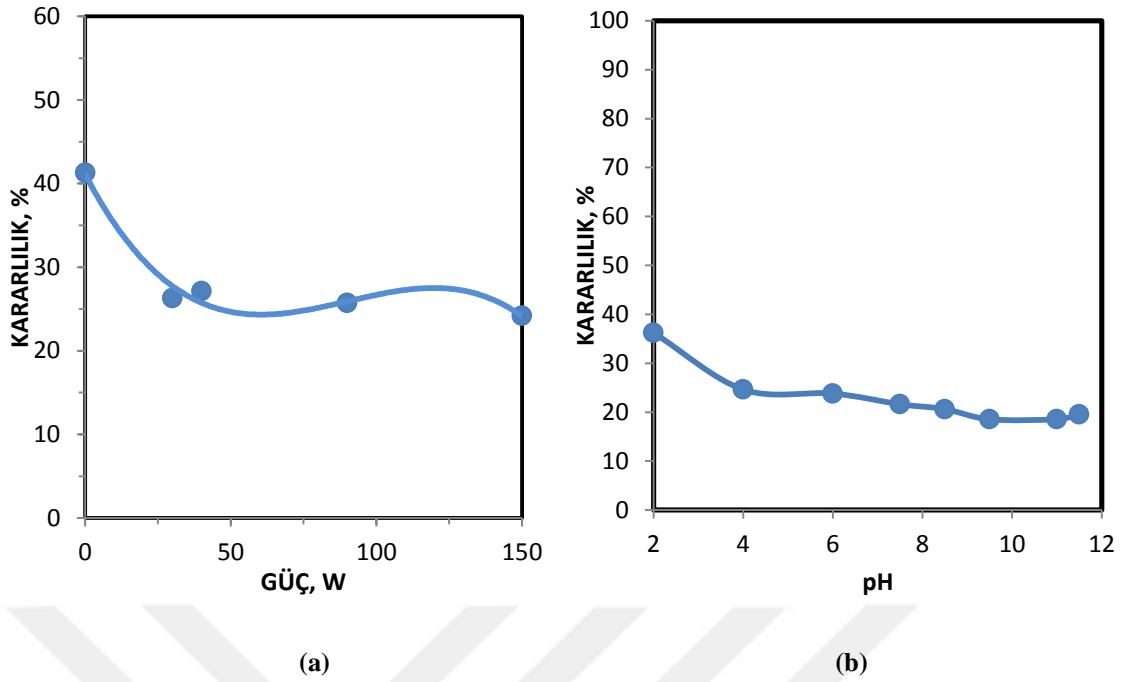


Şekil 4.47. Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### ***Ultra sesin non-iyonik polimer (N-100) varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Şekil 4.48(a) ultra sesin güç değerinin non-iyonik flokülant (N-100) varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı güç değerlerine bağlı olarak azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 40 değerinde olup, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneyde kararlılığın yaklaşık % 24'e kadar azaldığı görülmektedir. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.48(b)'de verilmiştir. pH değişimi ile selestit süspansiyonunun kararlılık değerinde kayda değer bir etki oluşmamaktadır. Literatürde, iyonik olmayan flokülantların pH değişiminden fazla etkilenmediği, belirtilmektedir (Klimpel, 1997).

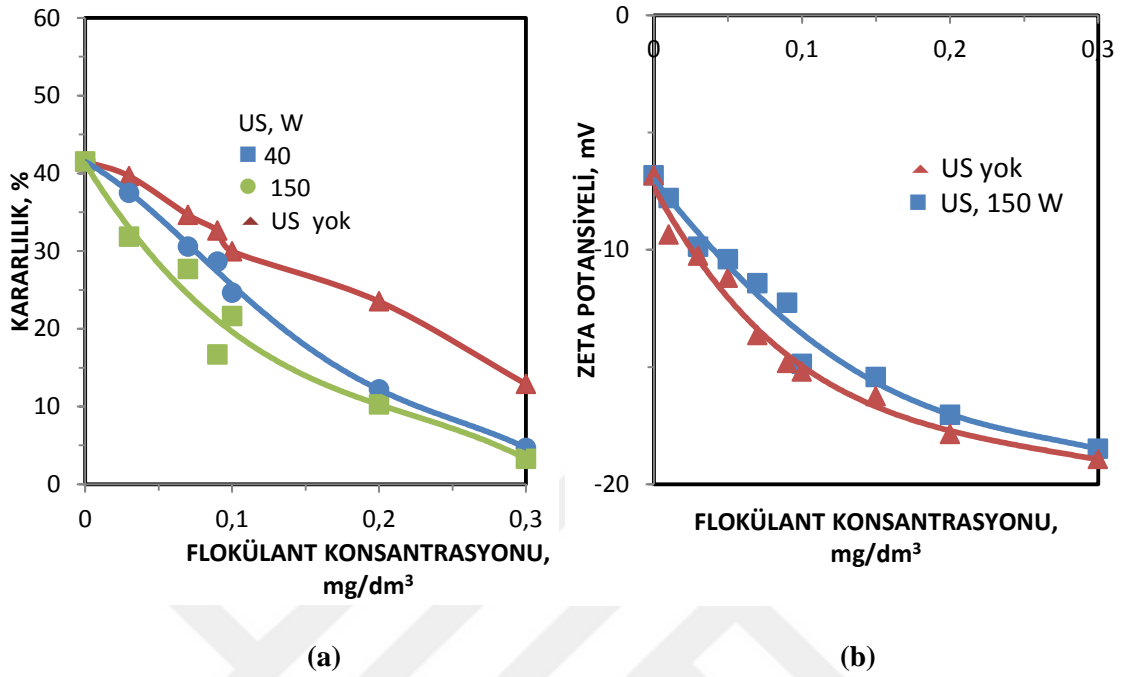




**Şekil 4.48.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.49(a)'da sunulmuştur. Ultra ses uygulanmayan deneylerde polimerin konsantrasyonu arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılık değeri azalmaktadır. Non-iyonik polimerler, yüksek molekül ağırlığına ( $5-15 \times 10^6$ ) sahiptir ve bu nedenle bu polimerlerin köprüleme kabiliyeti yüksektir ve dolayısıyla konsantrasyonun artmasıyla güçlü flokülasyon sağlanmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde de flokülant konsantrasyonuna bağlı olarak süspansiyon kararlılığı azalmaktadır. Ayrıca, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneyde en düşük kararlılık değerleri elde edilmekte olup, süspansiyon kararlılığı  $0.2 \text{ mg/dm}^3$  flokülant konsantrasyonunda yaklaşık % 6 değerine kadar düşmektedir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde ise polimerin aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 24 olmaktadır. Bu sonuçlara dayanılarak, ultra ses muamelesi ile daha başarılı flokülasyon sağlamaktadır. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.49(b)'de verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde bu değer non-iyonik polimerin konsantrasyonunun artmasıyla negatif yönde artmaktadır. Literatürde, zeta potansiyeli negatifliğinin artmasının nedeni hidrojen bağları sayesinde gerçekleştirilen adsorpsiyon mekanizması olduğu belirtilmiştir (Somasundaran, 1980). Diğer taraftan, ultra ses uygulanan ölçümlerde non-iyonik polimerin konsantrasyonunun artmasıyla zeta

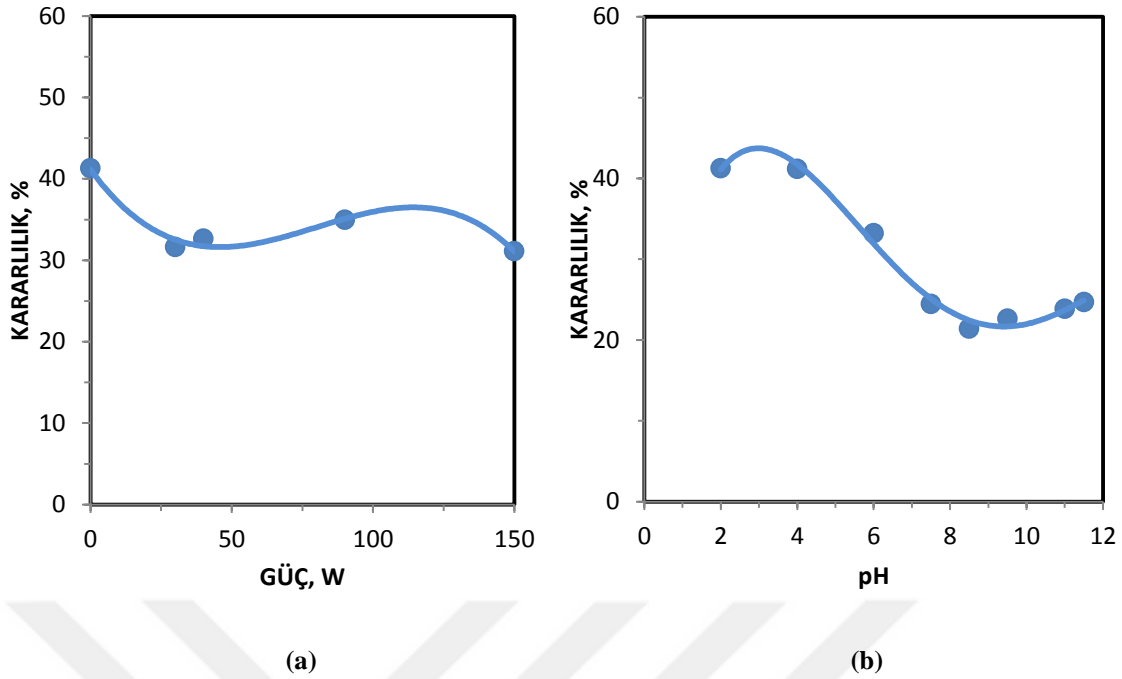
potansiyelinin negatifliği artmakta, ancak ultra ses uygulanmayan ölçümlere göre negatiflik daha düşük olmaktadır.



Şekil 4.49. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### ***Ultra sesin C-577 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

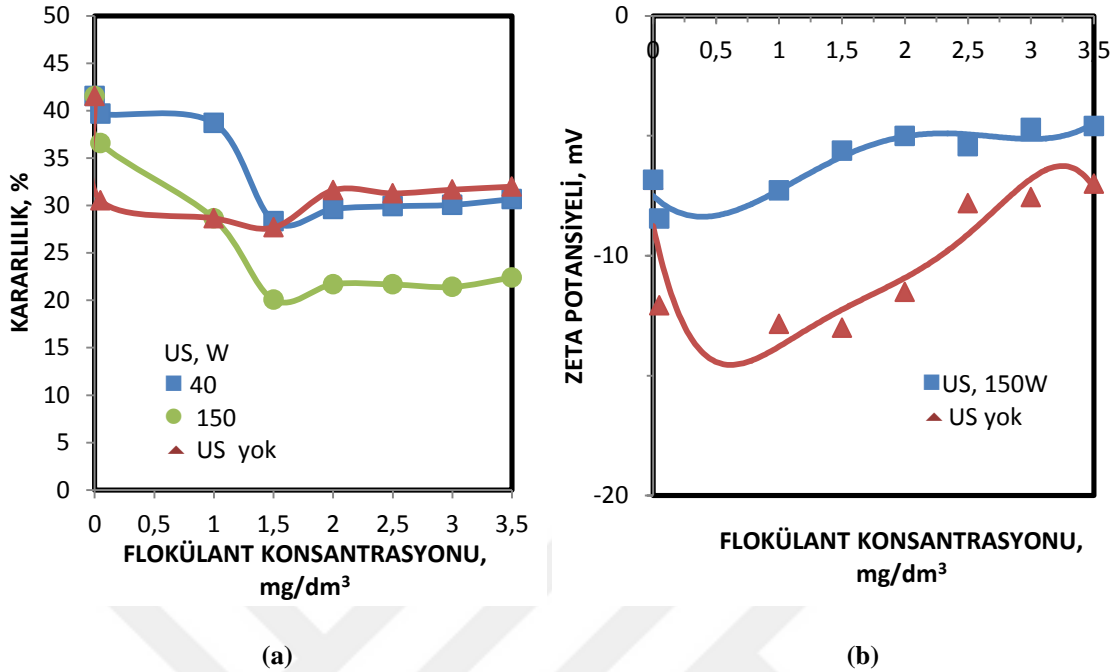
Şekil 4.50(a) ultra sesin güç değerinin katyonik flokülant (C-577) varlığında gerçekleştirilen deneylerde selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı ultrasonik cihazın düşük güç değerinde (< 40 W) azalırken, belirli bir güç değerinden sonra (40 W) nispeten artmakta, 150 Watt'lık güç uygulanan deneylerde ise tekrar azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 40 değerinde olup, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde ise bu değer yaklaşık % 31'e kadar azalmaktadır. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak C-577 polimeri varlığında, selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.50(b)'de sunulmuştur. C-577 flokülantı ile pH 8-11 aralığında daha başarılı flokülasyon sağlanmaktadır. Literatürde katyonik polimerler için uygun pH değerlerinin çok değişken olduğu belirtilmektedir (Klimpel, 1997).



Şekil 4.50. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak C-577 polimeri varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.51(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde polimer konsantrasyonu arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılık değerleri azalmakta, polimerin yüksek konsantrasyon değerlerinde ( $> 1.5 \text{ mg/dm}^3$ ) ise süspansiyon kararlılığı artmaktadır. Katyonik flokülantlar, düşük ( $10 \times 10^3$ - $0.5 \times 10^6$ ) molekül ağırlığına sahiptir, dolayısıyla bu flokülantların köprüleme kabiliyeti düşüktür (Cyanamid, 1989). Bu nedenle selestit mineralinin katyonik polimer ile anyonik ve non-iyonik polimerlere göre daha zayıf flokülasyonunun sağladığı söylenilebilir. Diğer taraftan, ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer azalma eğilimi göstermekte, 150 Watt'lık güç uygulaması ile nispeten daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.51(b)'de sunulmuştur. Selestitin negatif potansiyeli ultra ses uygulanmayan ölçümlerde belirli bir konsantrasyon değerine kadar ( $1 \text{ mg/dm}^3$ ) artmakta, sonrasında ise polimer konsantrasyonuna bağlı olarak azalmaktadır. Literatürde, pozitif şarj taşıyan katyonik flokülantların negatif şarj taşıyan selestit yüzeylerine adsorpsiyonu bakımından elektrostatik ilişkinin bir avantaj sağlayabileceği düşünülse de bunun ikincil bir öneme sahip olduğu bilinmekte, dolayısıyla daha düşük flokülasyon başarısı elde edilmektedir. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyelinin değişiminde kayda değer bir etki

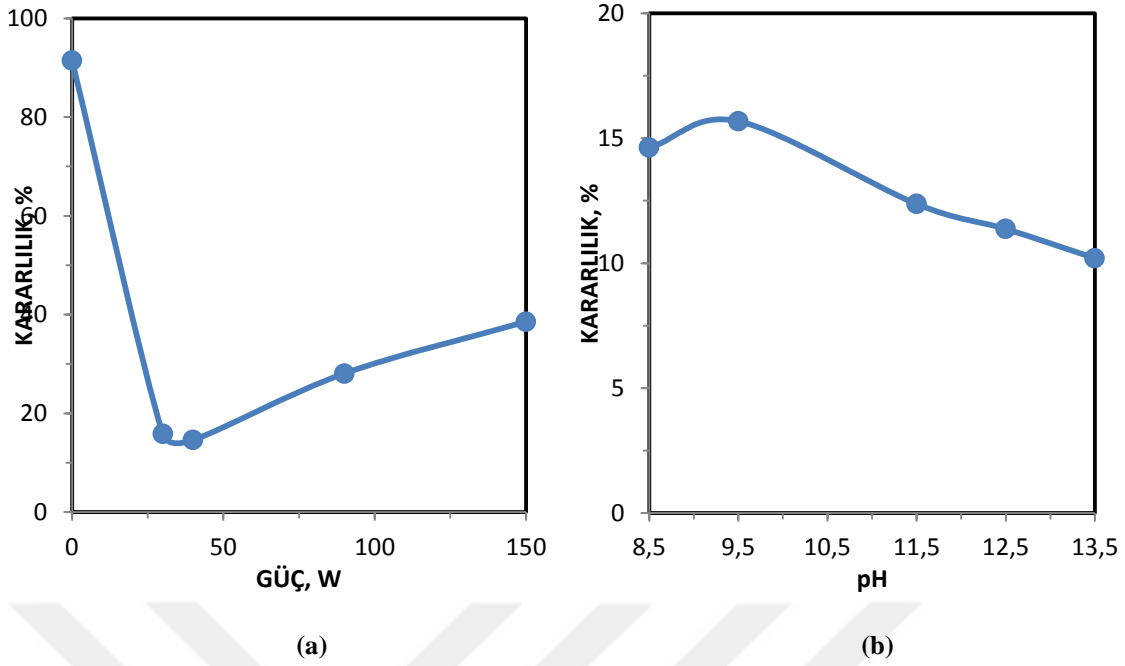
görülmemektedir.



Şekil 4.51. Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

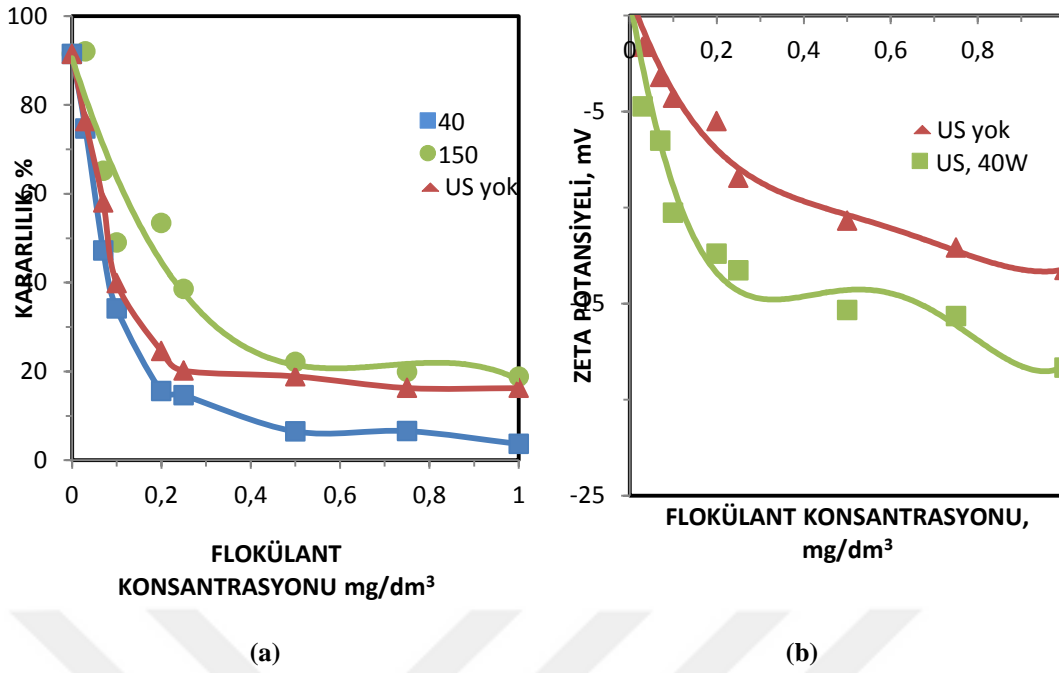
#### ***Ultra sesin A-150 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Şekil 4.52(a) ultra sesin güç değerinin A-150 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı ultrasonik cihazın belirli bir güç değerine (40 W) kadar azalmakta, sonrasında ise tekrar artmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 91 değerinde olup, 40 Watt güç değerinde ise yaklaşık % 14'e kadar düştüğü görülmektedir. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.52(b)'de verilmiştir. Kolemanit minerali anyonik polimer ile yüksek pH değerlerinde daha başarılı floküle edilebilmektedir.



**Şekil 4.52.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

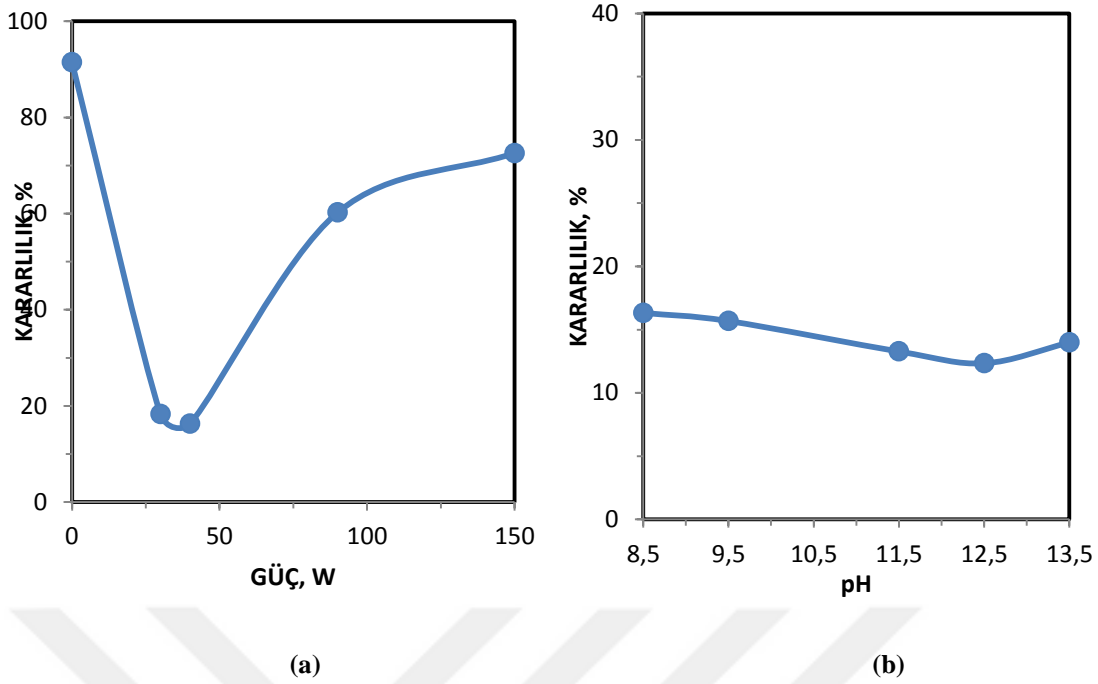
Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.53(a)'da sunulmuştur. Şekil 4.53(a)'dan görüldüğü gibi, polimerin konsantrasyonu arttıkça kolemanit süspansiyonunun kararlılık değeri azalmaktadır. Diğer taraftan, 150 Watt güçte ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer azalma eğrisi göstermekte, ancak daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra ses cihazının 40 Watt güç uyguladığı deneylerde 1 mg/dm<sup>3</sup> polimer konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 3 değerine kadar düşerken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise yaklaşık % 16 değerindedir. Ultra sesin 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha güçlü flokülasyon gerçekleşmektedir. Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerine etkisi Şekil 4.53(b)'de verilmiştir. Kolemanitin doğal pH'da yüzey yükü pozitif şarjlı olup, ultra ses uygulanmayan ölçümlerde anyonik polimerin konsantrasyonunun artmasıyla kolemanitin taşıdığı yüzey yükü de negatif yönde artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise polimer konsantrasyonuna bağlı olarak negatif potansiyel daha fazla artmakta, dolayısıyla bu durum kolemanit yüzeylerine anyonik polimerin daha fazla adsorbe olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.53. Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

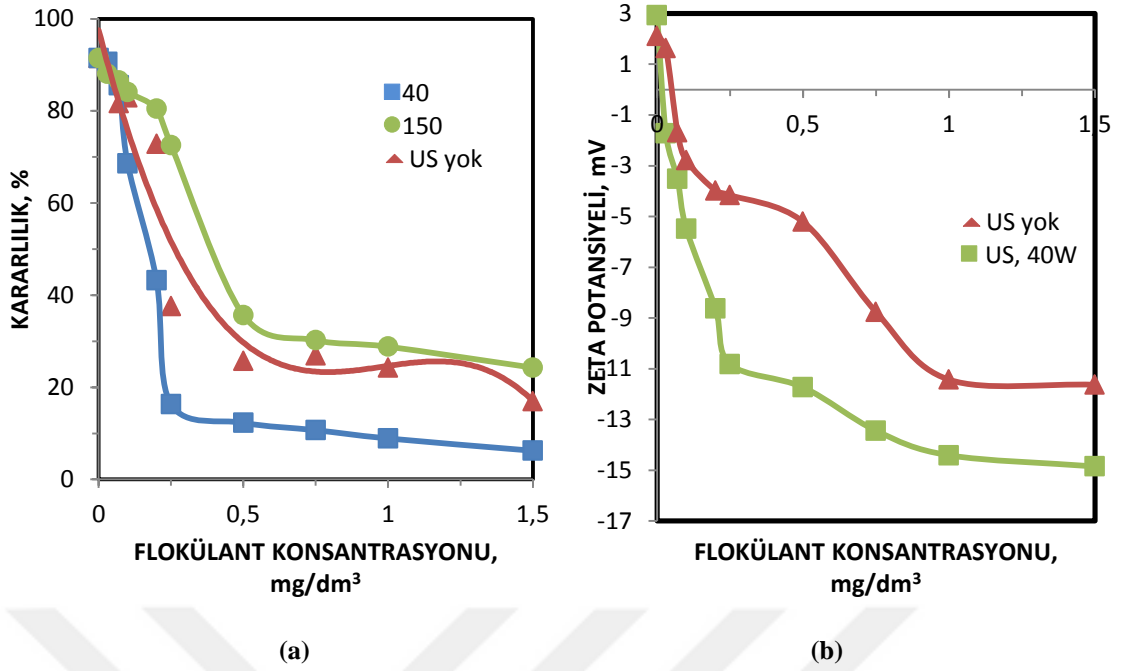
#### *Ultra sesin N100 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Ultra sesin güç değerlerinin non-iyonik flokülant (N-100) varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.54(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın düşük güç değerlerinde (< 40 W) süspansiyon kararlılığı azalırken, yüksek güç değerlerinde ise kararlılık değerleri artmaktadır. Ultra ses cihazının yüksek güç değerinde kolemanit flokların parçalanması dolayısıyla flokülasyonun başarısı azalmaktadır. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.54(b)'de sunulmuştur. Ph değerinin artmasıyla süspansiyon kararlılığında kayda değer bir etkinin oluşmadığı görülmektedir.



**Şekil 4.54.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Şekil 4.55(a) ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı polimerin belirli bir konsantrasyonuna kadar ( $0.5 \text{ mg/dm}^3$ ) keskin bir şekilde azalırken, sonrasında ise artan polimer konsantrasyonu ile nispeten azalmaktadır. Diğer taraftan, ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer azalma eğrisi göstermekte, ancak 40 Watt'lık güç uygulaması ile daha düşük kararlılık değerlerine ulaşılmaktadır. Ultra sesin 40 Watt güç uyguladığı deneylerde,  $1 \text{ mg/dm}^3$  polimer konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 4'e kadar düşerken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer yaklaşık % 16 olmaktadır, dolayısıyla ultra sesin 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha başarılı flokülasyon sağlanmaktadır. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli değerlerine etkisi Şekil 4.55(b)'de verilmiştir. Kolemanitin pozitif potansiyeli ultra ses uygulanmayan ölçümlerde artan polimer konsantrasyonu ile negatif yönde artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise negatif potansiyelinin büyüklüğünde kısmen artış gözlenmektedir.

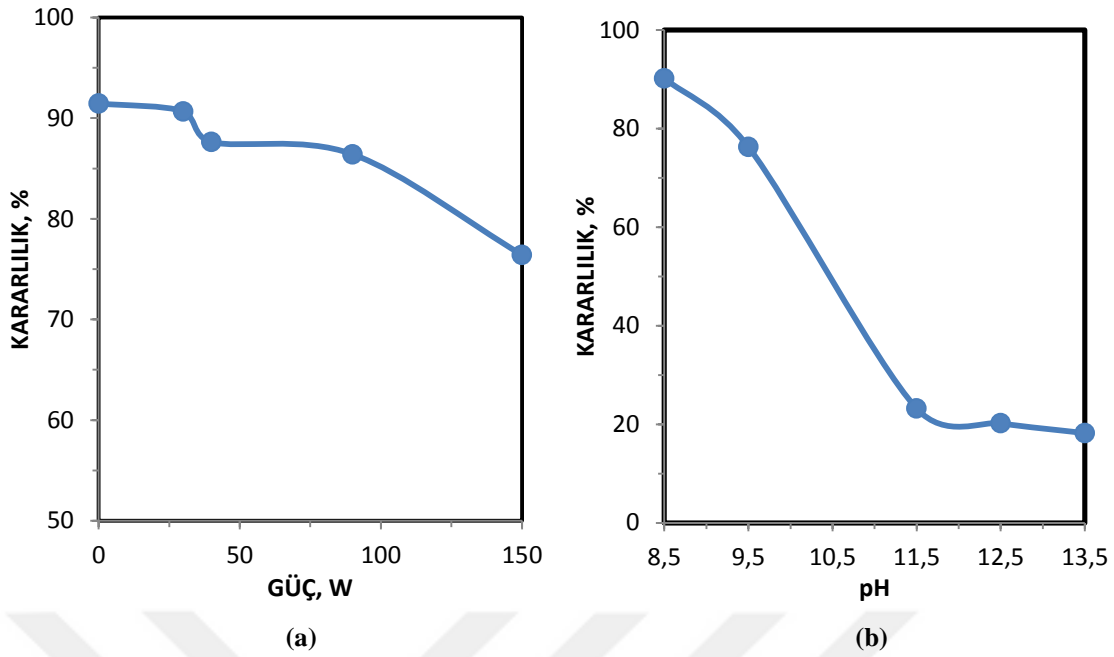


Şekil 4.55. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeli değerine etkisi

#### *Ultra sesin C-577 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

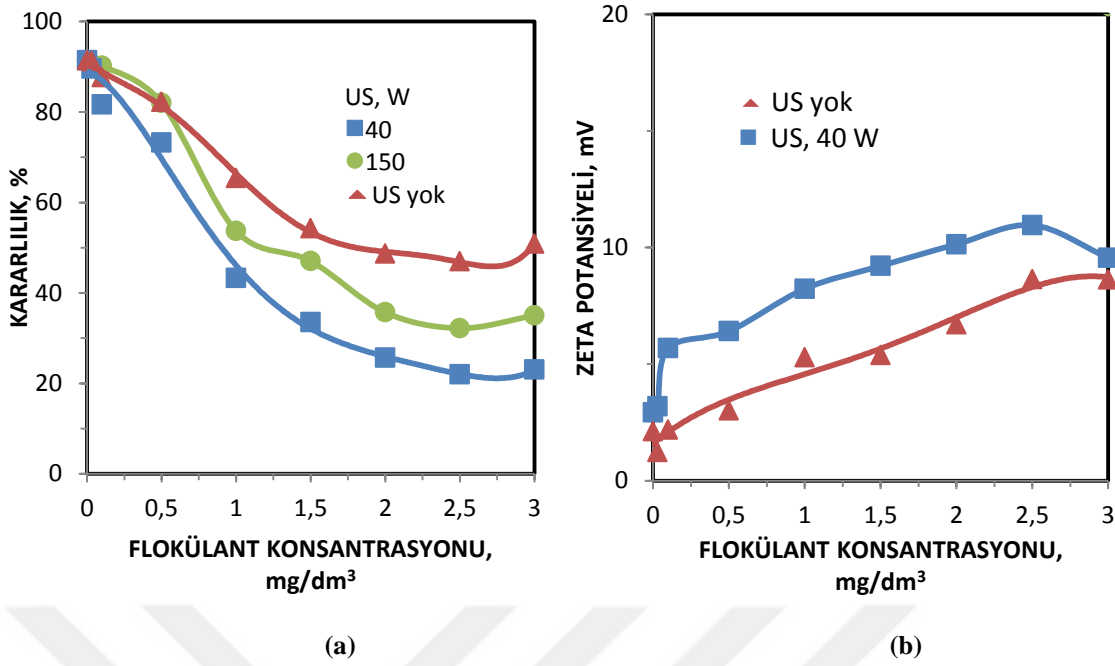
Ultra sesin güç değerlerinin C-577 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi incelenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.56(a)'da sunulmuştur. Ultrasonik cihazın uyguladığı güç değeri arttıkça kolemanit süspansiyonunun kararlılığının azaldığı görülmektedir. Ultra sesin pH'a bağlı olarak C-577 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.56(b)'de verilmiştir. Süspansiyonun kararlılığı yüksek pH değerlerinde nispeten azalmaktadır.





Şekil 4.56. Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak C-577 polimeri varlığında kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

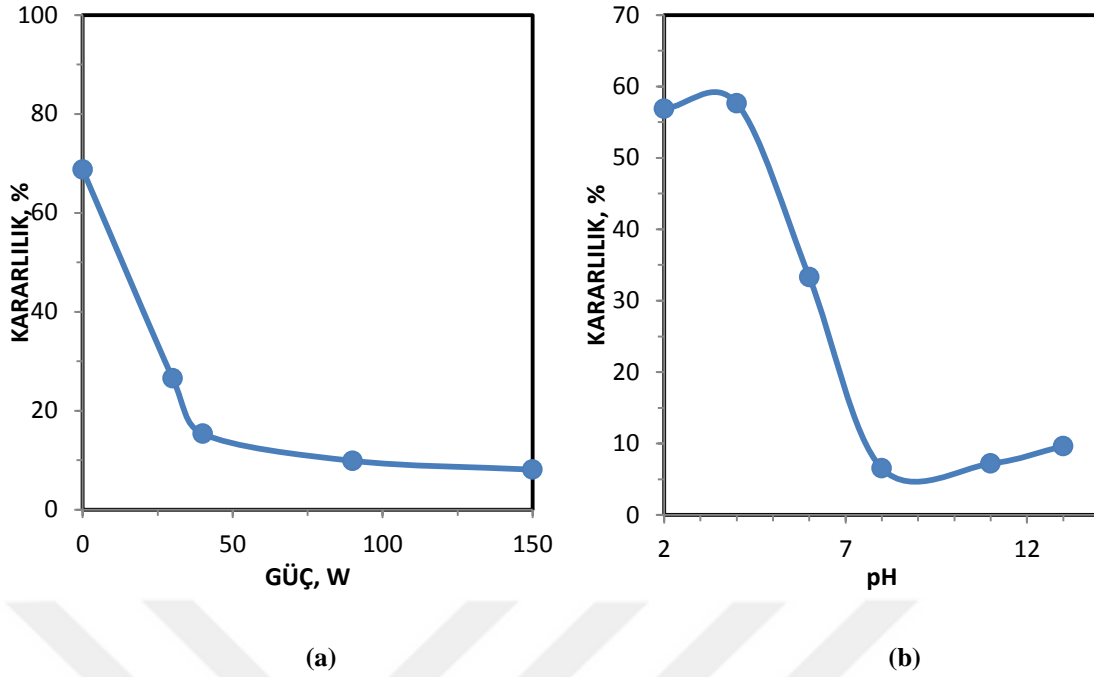
Şekil 4.57(a) ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı artan polimer konsantrasyonu ile azalmakta, polimerin yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 2.5 \text{ mg/dm}^3$ ) kararlılık değerlerinde kayda değer bir etki oluşmamaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer azalma eğrisi göstermekte, ancak daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde  $2.5 \text{ mg/dm}^3$  polimer konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 22 değerine kadar düşerken, aynı konsantrasyonda ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer yaklaşık % 46 olmaktadır. Kolemanit minereli katyonik polimer ile anyonik ve non-iyonik polimere oranla daha zayıf flokülasyon sağlamaktadır. Ancak ultra ses muamelesi ile katyonik polimerin flokülasyon başarısının arttığı söylenilebilir. Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.57(b)'de verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde kolemanitin pozitif potansiyeli katyonik flokülant konsantrasyonunun artmasıyla pozitif yönde artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise pozitif potansiyeldeki bu artış daha fazla olmaktadır.



Şekil 4.57. Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak kolemanit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

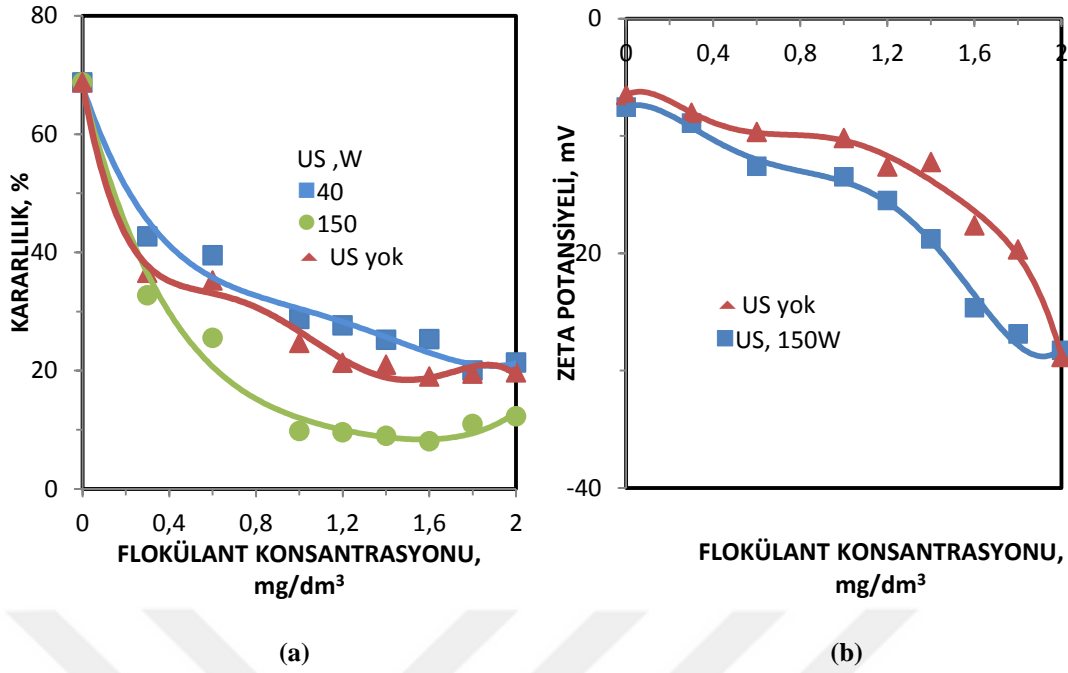
#### *Ultra sesin A-150 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Ultra sesin güç değerlerinin A-150 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.58(a)'da sunulmuştur. Ultrasonik cihazın güç değeri arttıkça galen süspansiyonunun kararlılığı azalmakta, süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde iken, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde süspansiyon kararlılığının yaklaşık % 8'e kadar düştüğü görülmektedir. Ultra ses muamelesi ile daha başarılı flokülasyon sağlandığı ifade edilebilir. Ultra sesin pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.58(b)'de verilmiştir. pH değeri arttıkça süspansiyonun kararlılığı azalmakta, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha güçlü flokülasyon gerçekleşmektedir.



**Şekil 4.58.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak A-150 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

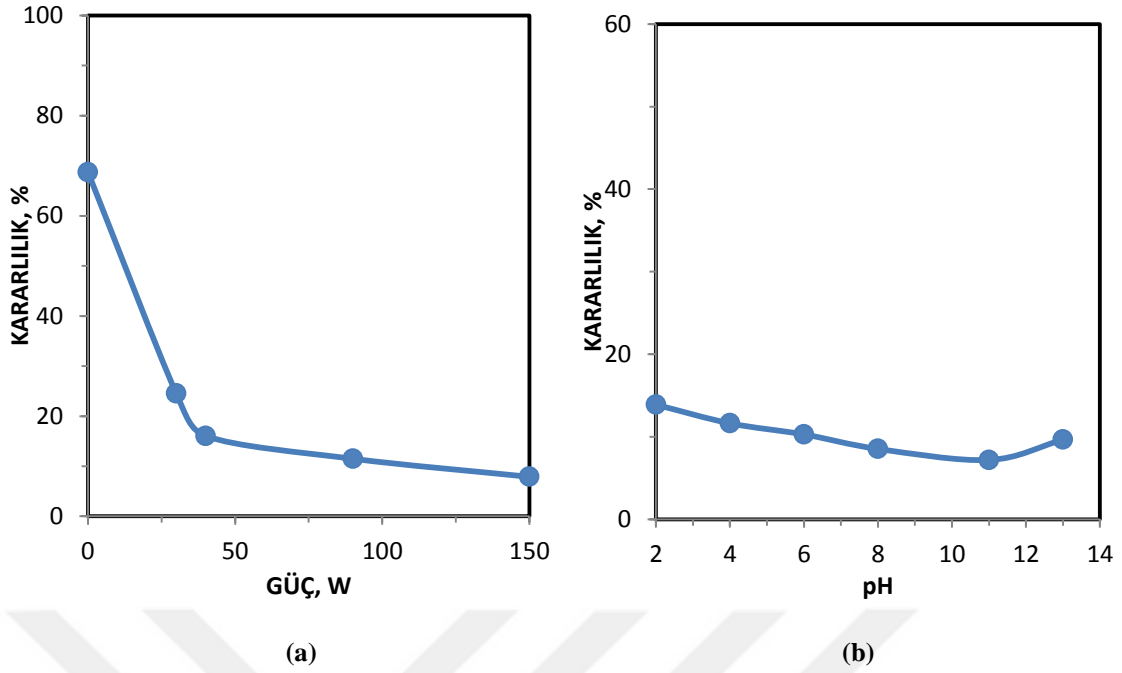
Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.59(a)'da sunulmuştur. Şekil 4.59(a)'dan görüldüğü gibi, polimer konsantrasyonu arttıkça süspansiyon kararlılığı azalmaktadır. Ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde kararlılık değerleri daha düşük değerlere ulaşmakta, anyonik polimerin  $1.6 \text{ mg/dm}^3$  konsantrasyonunda yaklaşık % 8'e kadar düşmektedir. Öte yandan, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise polimerin aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 18 olmaktadır. Bu sonuçlara dayanılarak, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde daha güçlü flokülasyon sağladığı anlaşılabilir. Şekil 4.59(b) ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeli ölçümlerine etkisini göstermektedir. Anyonik polimerin konsantrasyonunun artmasıyla galen mineralinin negatif potansiyeli de artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise daha büyük negatif potansiyel ölçülmektedir. Yüzeyle anyonik polimerlerin adsorpsiyonu zeta potansiyellerinin daha negatif olmasını sağlar. Bu aynı zamanda polimerin daha yüksek oranda mineral yüzeylerine adsorbe olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.59. Ultra sesin A-150 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

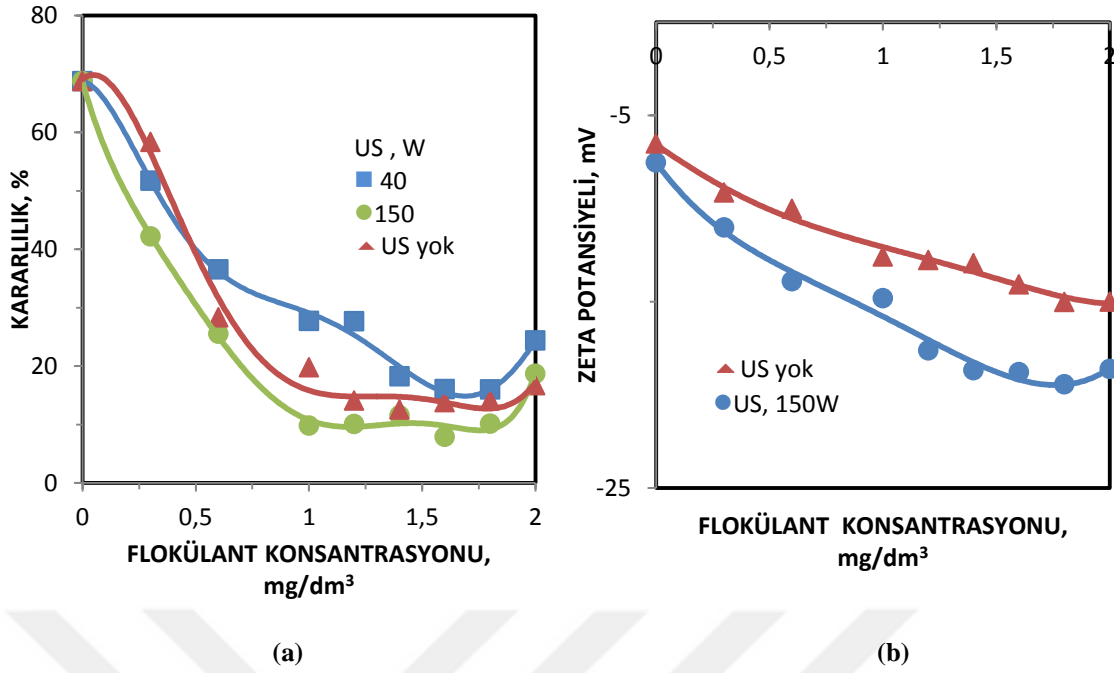
#### ***Ultra sesin N-100 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerinin N-100 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.60(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı artan güç değeri ile azalmakta, dolayısıyla yüksek güç değerinde daha düşük kararlılık değeri elde edilmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 iken, ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 9'a kadar düşmektedir. Bu sonuçlara dayanılarak, ultra sesin daha başarılı flokülasyon sağladığı söylenilebilir. Ultra sesin pH değişimine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında, galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.60(b)'de sunulmuştur. pH değerinin değişimiyle süspansiyon kararlılığında önemli bir değişim görülmemektedir.



**Şekil 4.60.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak N-100 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

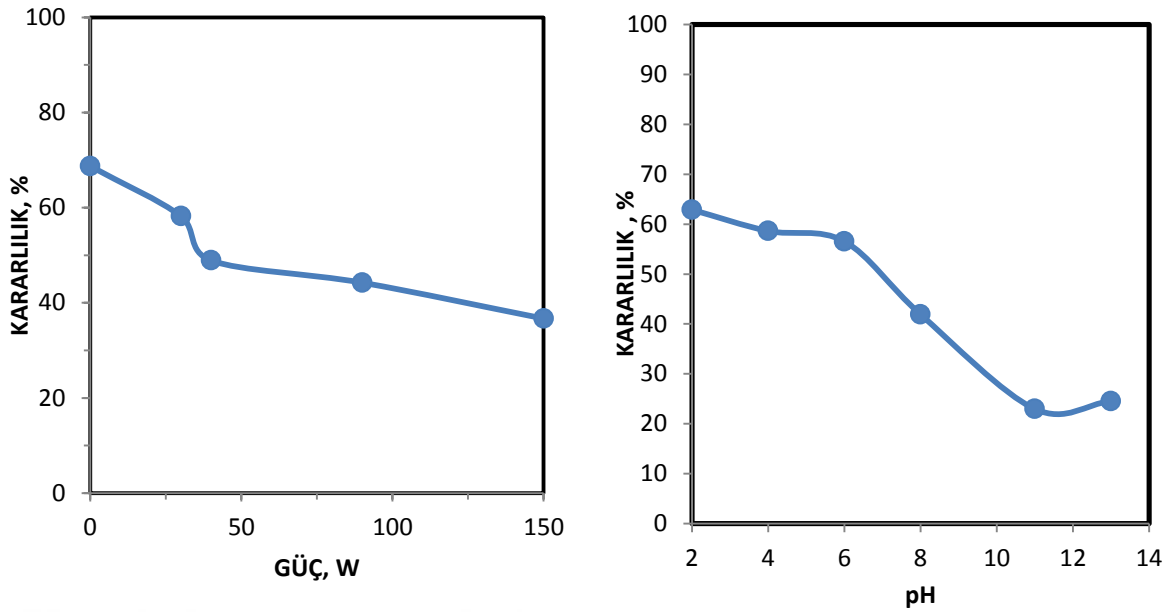
Şekil 4.61(a) ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı artan polimer konsantrasyonu ile azalmakta, polimerin yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 1.7 \text{ mg/dm}^3$ ) artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer azalma eğilimi göstermekte, ancak daha düşük kararlılık değerleri 150 Watt'lık güç uygulaması ile elde edilmektedir. Ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde non-iyonik flokülantın  $1.6 \text{ mg/dm}^3$  konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 9 değerinde iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer yaklaşık % 19 olmaktadır. Bu bulgulara dayanılarak, ultra ses uygulaması ile daha başarılı flokülasyon sağlanmaktadır. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.61(b)'de verilmiştir. Galenin negatif potansiyeli artan non-iyonik polimerin konsantrasyonu ile artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise daha yüksek negatif potansiyel değerleri elde edilmektedir.



Şekil 4.61. Ultra sesin N-100 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### *Ultra sesin C-577 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Ultra sesin güç değerlerinin C-577 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.62(a)'da verilmiştir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde iken, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde süspansiyon kararlılığının yaklaşık % 37'ye kadar düştüğü görülmektedir. Galen mineralinin katyonik polimer ile flokülasyonu anyonik ve non-iyonik polimerlere oranla daha zayıf gerçekleşmektedir. Şekil 4.62(b) ise pH'a bağlı olarak C-577 polimeri ile galen süspansiyonunun flokülasyon davranışı üzerine US'nin etkisini göstermektedir. pH 8-13 aralığında galenin daha başarılı flokülasyonu sağlanmaktadır.

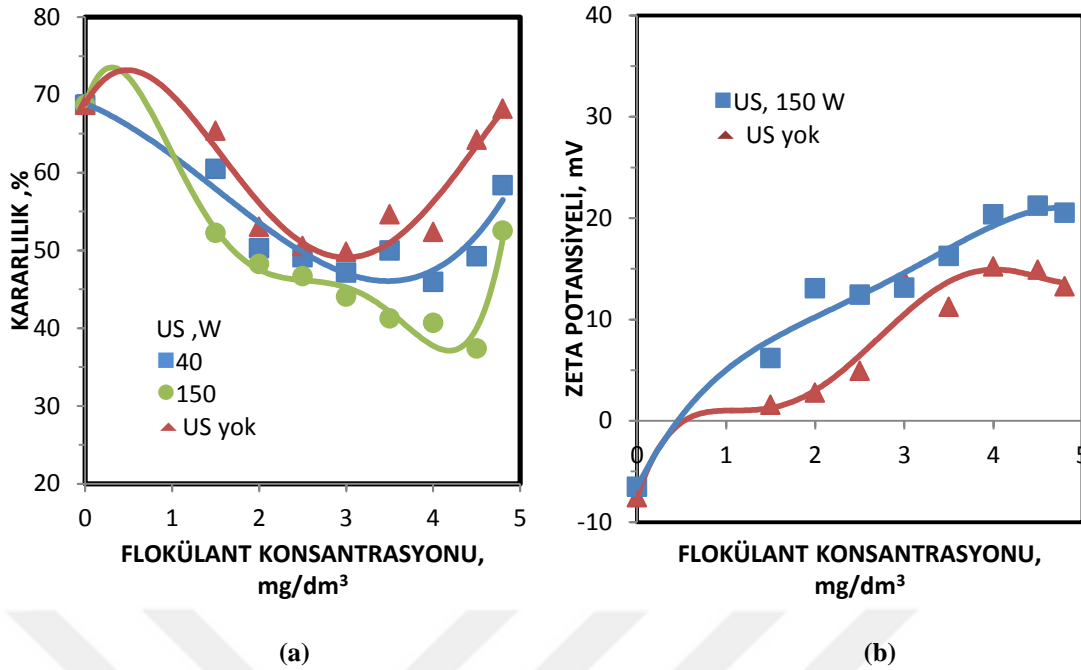


(a)

(b)

**Şekil 4.62.** Ultra sesin güç ve pH değerlerine bağlı olarak C-577 polimeri varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.63(a)'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı polimerin belirli bir konsantrasyonuna kadar ( $3 \text{ mg/dm}^3$ ) azalırken, sonrasında ise polimer konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Diğer taraftan, ultra ses uygulanan deneylerde süspansiyon kararlılığı polimerin düşük konsantrasyonunda azalırken, yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 4 \text{ mg/dm}^3$ ) kararlılık değerlerinde artış görülmektedir. Ultrasonik cihazın 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha düşük kararlılık değerleri elde edilmekte, polimerin  $4 \text{ mg/dm}^3$  konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 38 iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde polimerin aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 52' dir. Şekil 4.63(b), C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Galen mineralinin negatif potansiyeli polimer konsantrasyonuna bağlı olarak pozitif yönde artmakta, ultra ses uygulanan ölçümlerde ise pozitif potansiyeldeki bu artış daha fazla olmaktadır.



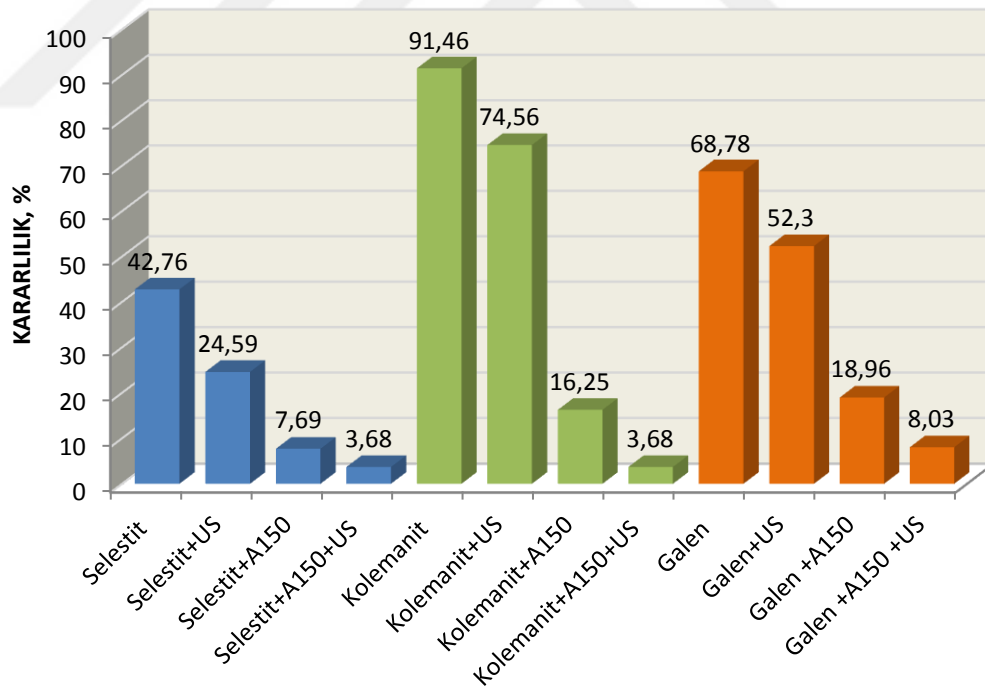
Şekil 4.63. Ultra sesin C-577 polimeri konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### 4.3.1. Ultra sesin flokülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi

- Ultra ses güç değerinin artmasıyla selestit ve galen mineralleri için tüm kullanılan polimerlerin varlığında daha başarılı flokülasyon gerçekleşmiştir. Kolemanit için ise anyonik ve non-iyonik polimerler ile gerçekleştirilen deneylerde 40 Watt'ın üzerinde flokülasyon olumsuz etkilenmektedir.
- Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak polimerler varlığında gerçekleştirilen deneylerde minerallerin süspansiyon kararlılığı pH değerinin artmasıyla azalmış, dolayısıyla yüksek pH değerlerinde daha başarılı flokülasyon sağlanmıştır. Ancak, non-iyonik polimerler ile gerçekleştirilen deneylerde pH değişimi ile süspansiyon kararlılığının etkilenmediği görülmüştür. Literatürden, iyonik olmayan flokülantların pH değişimine hassas olmadıkları bilinmektedir (Klimpel, 1997).
- Selestit, kolemanit ve galen süspansiyonlarının en düşük kararlılık değerleri anyonik polimer varlığında gerçekleştirilen ultra ses deneylerinde elde edilirken, katyonik polimer ile gerçekleştirilen deneylerde daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmiştir. Flokülasyon deneylerinde polimerlerin molekül ağırlıklarının artması ile flokülasyon başarısının da arttığı bilinmekte olup, anyonik ve non-iyonik polimerler yüksek molekül ağırlığına ( $5-15 \times 10^6$ ) sahip olduklarından bu polimerlerin



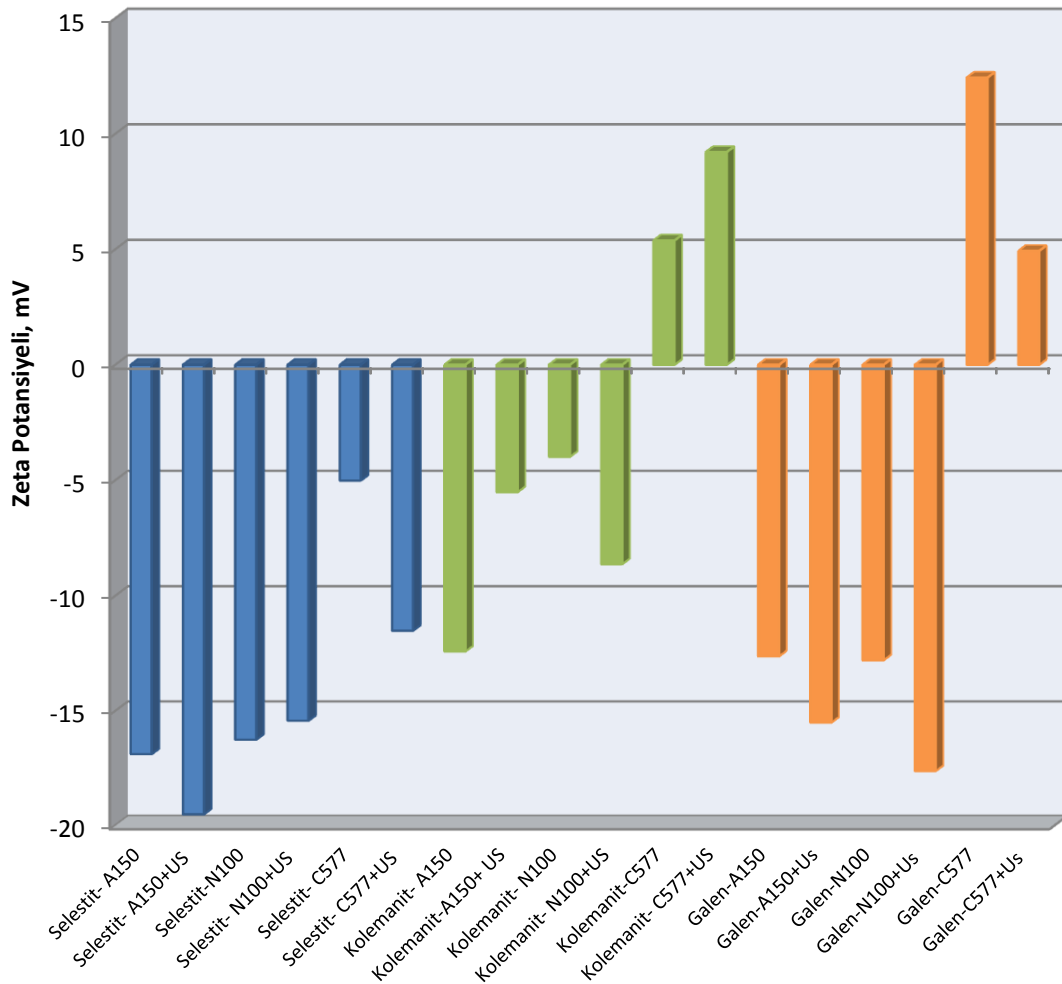
köprüleme kabiliyeti yüksek ve dolayısıyla daha güçlü flokülasyon sağlamaktadır. Polimerler ile gerçekleştirilen çalışmalarda, ultra sesin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçlara, ultra sesin kil çöktürmesinde etkisinin incelendiği çalışmada da rastlanılmaktadır. Bu çalışmada flokülant varlığında ultra sesin olumlu etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Ultra sesin çöktürme işlemlerinde başarılı olmasının nedeni olarak, ultrasonik titreşimin oluşturduğu kavitasyon etkisiyle kabarcıkların oluştuğu ve yüzeye doğru gaz çıkışı gözlemlendiği, katı tanelerin bu boşluktan geçerek daha etkin bir şekilde çöktüğü ifade edilmektedir (Özer ve ark., 2001). Ultra sesin çöktürme işlemlerinde olumlu etkisinin bir diğer sebebi olarak ise ultrasonik titreşiminin süspansiyon içinde kullanılan polimerin daha üniform dağılımını sağlayarak yaratacağı etkiyi artırması, tane yüzeylerine flokülant adsorpsiyonunu kolaylaştırması, bununla birlikte polimerlerin köprüleme yeteneğini artırarak geliştirmesi olduğu ifade edilmektedir (Çelik, 1988; Aldrich ve ark., 1999; Özer ve ark., 2001; Özkan, 2002; Önal ve ark., 2003).



Şekil 4.64. Ultra sesin A-150 polimerine bağlı olarak mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi

- Utra ses işleminin anyonik polimerler varlığında kolemanit ve galen minerallerinin zeta potansiyelinin negatifliğini artırdığı belirlenmiştir (Şekil 4.65). Negatif

potansiyel artışı yüzeylere flokülant adsorpsiyonu artırdığını, dolayısıyla daha başarılı flokülasyon sağlandığını ifade etmektedir. Non-iyonik polimer de bu minerallerin zeta potansiyelinin negatifliğinde artışa neden olmuştur. Ancak, seletit minerali flokülant adsorpsiyona göre bu sonuçlara uymamakta, ultra ses ile negatif potansiyeli azalmaktadır. Galen mineralinin katyonik polimer ile gerçekleştirilen ölçümlerinde ise negatif potansiyel pozitifeye dönmüş, polimer konsantrasyonuna bağlı olarak pozitif potansiyeli artmıştır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde bu artış daha fazla olmuştur. Kolemanit mineralinin katyonik polimer ile gerçekleştirilen deneylerinde de pozitif potansiyel ultra ses işlemi ile artarken, selestit mineralinde ise belirli bir konsantrasyona kadar negatif potansiyel artmış, yüksek konsantrasyonlarda ise negatif potansiyel azalmıştır.



Şekil 4.65. Ultra sesin flokülantlar varlığında zeta potansiyeline etkisi

#### 4.4. Ultra Sesin Koagülanlar Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi

Bu kapsamdaki çalışmalar selestit, galen ve kuvars mineralleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ultrasonik işlem kesikli olmak üzere pH = 11.5 değerinde yürütülmüştür. Çizelge 4.3’de çalışma koşulları verilmiştir.

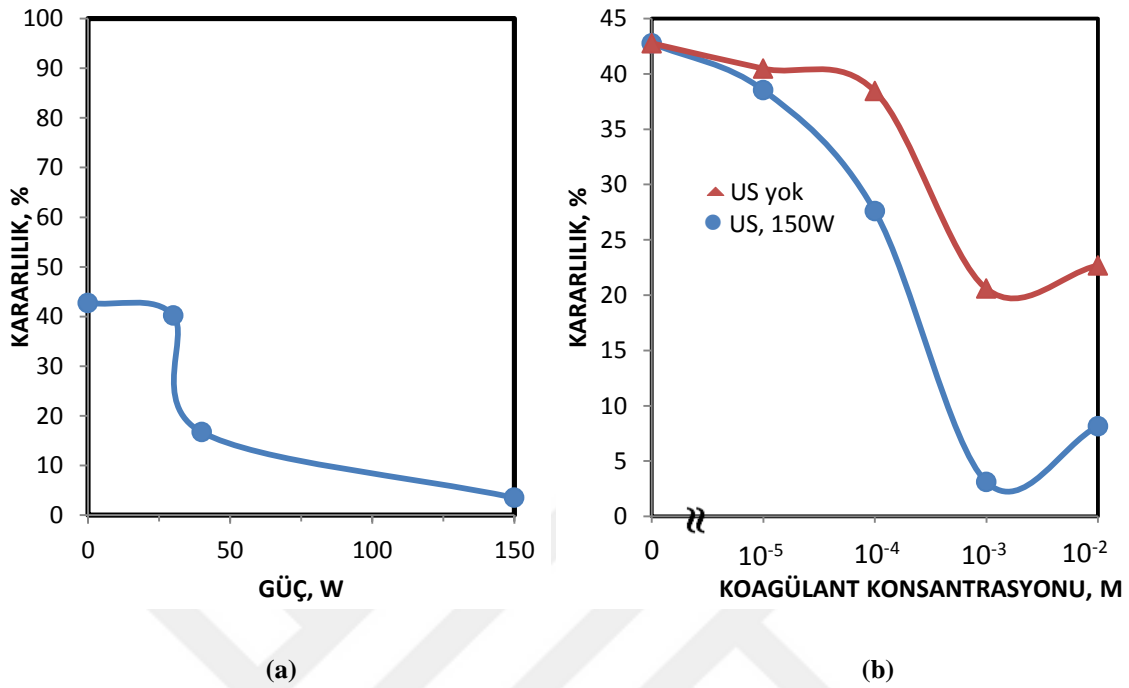
Çizelge 4.3.Deneysel koşullar

Mineraller	Prob dalma derinliği	US muamele süresi	Koagülan konsantrasyonu
Selestit	2 cm	120 sn	$10^{-3}$ M $Mg^{+2}$ ve $10^{-2}$ M $Ca^{+2}$
Galen	2 cm	300 sn	$10^{-3}$ M $Mg^{+2}$ ve $10^{-3}$ M $Ca^{+2}$
Kuvars	2 cm	120 sn	$10^{-4}$ M $Mg^{+2}$ ve $10^{-2}$ M $Ca^{+2}$

#### *Ultra sesin $Mg^{+2}$ iyonu varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

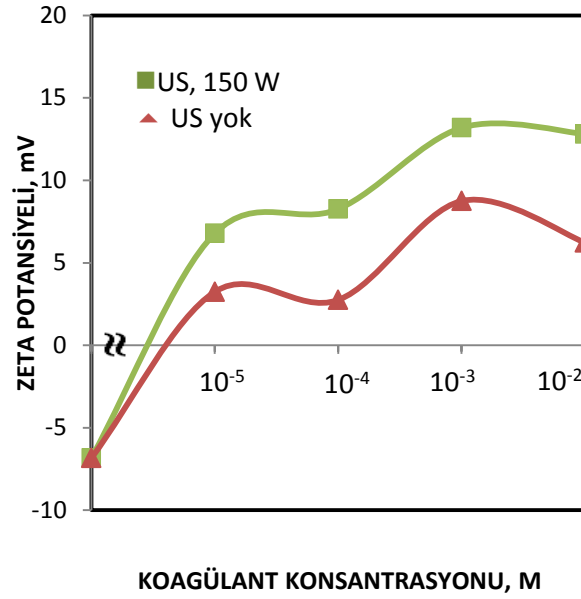
Ultra sesin güç değerlerinin  $Mg^{+2}$  iyonu varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.66(a)’da verilmiştir. Ultrasonik cihazın güç değeri arttıkça selestit süspansiyonunun kararlılığı azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 42 değerinde olup, ultra ses cihazının 150 Watt güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 3’e kadar azaldığı görülmektedir. Ultra sesin  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.66(b)’de sunulmuştur. Süspansiyon kararlılığı, ultra ses uygulanmayan deneylerde  $Mg^{+2}$  iyonun düşük konsantrasyonunda azalırken, yüksek konsantrasyonunda ise ( $> 10^{-3}$  M) katyon konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır.  $Mg^{+2}$  iyonun daha yüksek konsantrasyonlarında selestitin koagülasyonunun azalmasının nedeni, katyon konsantrasyonu artışı ile süspansiyondaki  $Mg(OH)_2$  oluşumunun artması olduğu söylenebilir (Iwasaki ve ark., 1980; Özkan ve Yekeler, 2004). Ultra ses uygulanan deneylerde de kararlılık eğrisi benzer değişim göstermekte ve daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir.  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda  $Mg^{+2}$  iyonu ile ultra ses uygulanan deneylerde kararlılık değeri yaklaşık % 3’e kadar azalırken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise bu değer yaklaşık % 20 olmaktadır. Bu sonuçlara

dayanılarak, ultra ses cihazının 150 Watt güç uyguladığı deneylerde daha güçlü koagülasyon sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.66. Ultra sesin güç değerlerine ve Mg<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

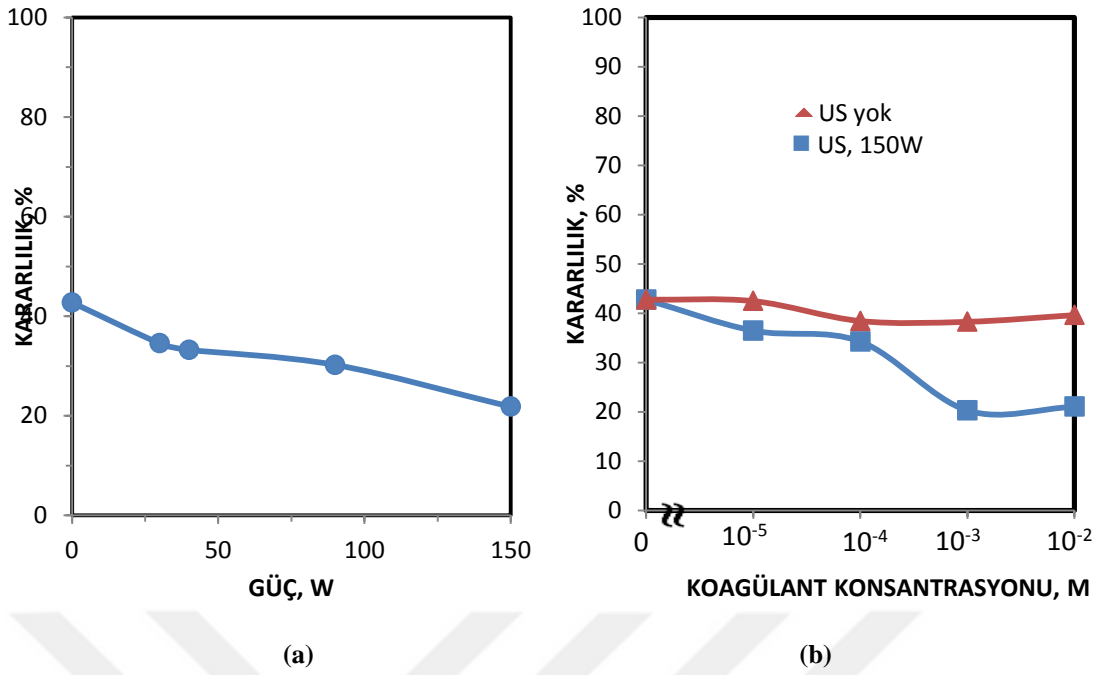
Şekil 4.67 Mg<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde selestitin negatif potansiyeli Mg<sup>+2</sup> iyonunun artmasıyla pozitif dönüşmekte Mg<sup>+2</sup> konsantrasyonuna bağlı olarak da pozitif potansiyeli artmaktadır. Mg<sup>+2</sup> iyonunun daha yüksek konsantrasyonunda ise (10<sup>-3</sup> M) pozitif potansiyel azalmaktadır. Mg<sup>+2</sup> iyonu yüksek pH'larda hidroliz olmakta ve inorganik tuzların hidroliz ürünlerinin tane yüzeylerine adsorpsiyon yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir. Katyonların katı yüzeylerine kuvvetli bir şekilde adsorbe olarak onların zeta potansiyelini tersine çevirdikleri ve pozitif şarjlı yüzeylere bile adsorbe olabildikleri literatürde belirtilmektedir (Clark ve Cooke, 1968; Iwasaki ve ark., 1980; Somasundaran, 1980). Ultra ses uygulan ölçümlerde de zeta potansiyeli benzer eğilim göstermekte, ancak selestitin pozitif potansiyeli Mg<sup>+2</sup> iyonuna bağlı olarak daha fazla artış göstermekte ve ultra ses ile daha başarılı koagülasyon sağlanmaktadır.



Şekil 4.67. Ultra sesin  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi

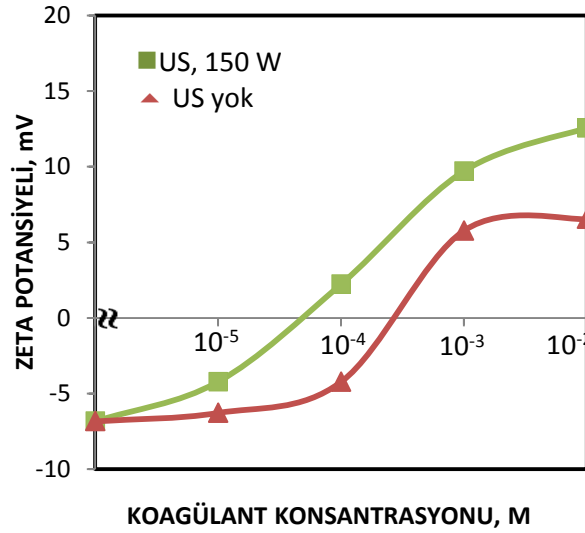
#### ***Ultra sesin $Ca^{+2}$ iyonu varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerlerinin  $Ca^{+2}$  iyonu varlığında selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.68(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı ultrasonik cihazın güç değerlerine bağlı olarak azalmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 42 değerinde iken, ultra sesin 150 Watt güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 21'e kadar düştüğü görülmektedir. Şekil 4.68(b)  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı artan  $Ca^{+2}$  iyonu derişimi ile azalmakta, belirli bir iyon konsantrasyonundan sonra ise ( $10^{-3}$  M) kısmen artmaktadır. Ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde kararlılık değerleri daha fazla azalmakta,  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda  $Ca^{+2}$  iyonu ile süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 21'e kadar düşmektedir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde ise katyonun aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 38 olmaktadır. Ultra ses ile daha başarılı koagülasyon gerçekleştiği görülmektedir.



**Şekil 4.68.** Ultra sesin güç değerlerine ve Ca<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

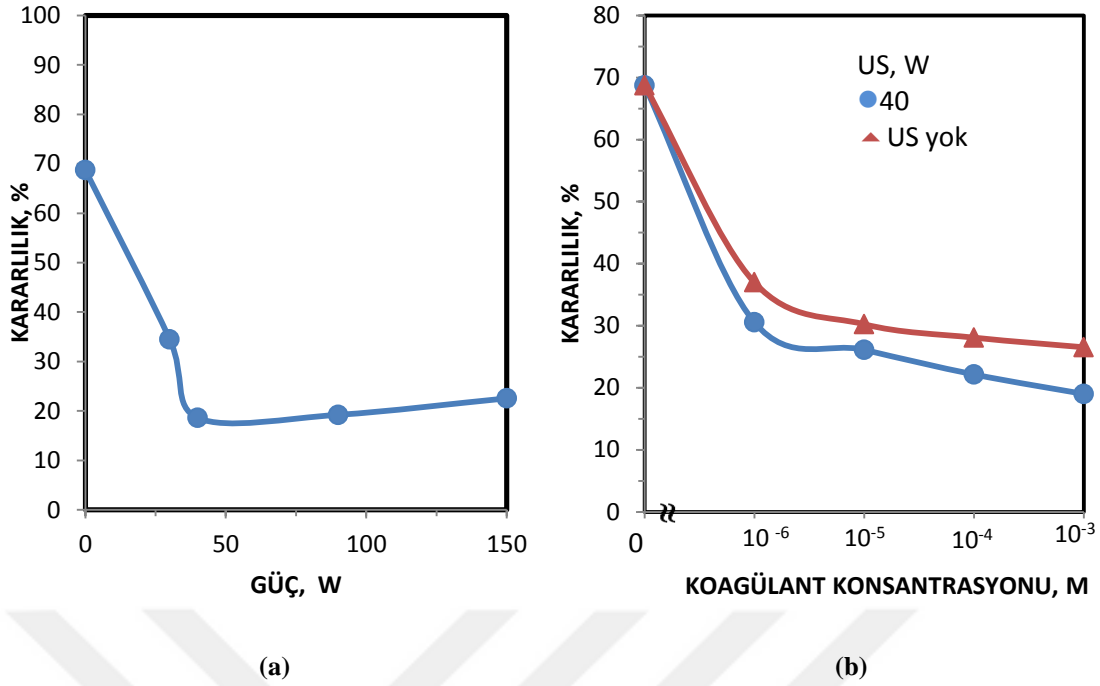
Ultra sesin Ca<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.69'da verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde süspansiyona ilave edilen Ca<sup>+2</sup> iyonu selestit mineralinin negatif yüzey şarjını azaltıcı bir etki göstermekte ve yeterli konsantrasyonda yüzey şarjını pozitifliğe dönüştürmektedir. Ca<sup>+2</sup> iyonunun yüksek konsantrasyonunda ise pozitif potansiyel artan katyon iyonu ile artmakta, katyonun 10<sup>-3</sup> M konsantrasyonunda ise pozitiflik kısmen azalmaktadır. Ca<sup>+2</sup> iyonu yüksek pH 'larda hidroliz olmakta, katı yüzeylerine kuvvetli bir şekilde adsorbe olarak onların zeta potansiyelini tersine çevirdikleri ve pozitif şarjlı yüzeylere bile adsorbe oldukları literatürde belirtilmektedir (Clark ve Cooke, 1968; Iwasaki ve ark., 1980; Somasundaran, 1980). Ultra ses uygulanan ölçümlerde de benzer etki görülmekte, ancak pozitif potansiyel daha yüksek ölçülmektedir. Ultra sesin pozitif potansiyelinin daha büyük ölçülmesi selestit yüzeyine Ca<sup>+2</sup> iyonunun adsorbe olduğunu ve bu nedenle daha güçlü koagülasyon sağlandığını gösterir.



Şekil 4.69. Ultra sesin  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak selestitin zeta potansiyeline etkisi

#### ***Ultra sesin $\text{Mg}^{+2}$ iyonu varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

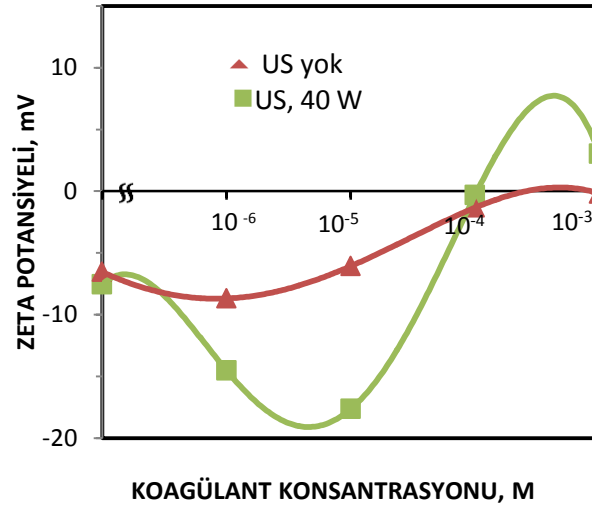
Ultra sesin güç değerlerinin  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.70(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı ultra sesin belirli bir güç değerine kadar (90 Watt) azalmakta, sonrasında ise güç değerine bağlı olarak artmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde olup, ultrasonik cihazın 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 18'e kadar azalmaktadır. Dolayısıyla ultra ses ile daha güçlü koagülasyon sağlanmaktadır. Şekil 4.70(b)  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı artan  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu ile azalmaktadır. Ultra ses cihazının 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde kararlılık değerleri katyon konsantrasyonuna bağlı olarak daha fazla azalmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde katyonun  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 18'e kadar düşerken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise aynı konsantrasyonda bu değer yaklaşık % 28 olmaktadır. Ultra ses ile daha başarılı koagülasyon gerçekleşmektedir.



Şekil 4.70. Ultra sesin güç değerlerine ve  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Şekil 4.71 ise  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Şekil 4.71'den görüldüğü gibi, ultra ses uygulanmayan ölçümlerde  $Mg^{+2}$  iyonu galen mineralinin negatif potansiyelini azaltmakta ve yeterli konsantrasyonda yüzey potansiyelini pozitifeye dönüştürmektedir. Katyon konsantrasyonunun artmasıyla da pozitif potansiyeli artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyeli değişimi benzerlik göstermekte ve pozitif potansiyelindeki artış daha fazla olmaktadır. Ultra sesin pozitif potansiyeli daha fazla artırması mineral yüzeylerine koagülantın daha yüksek oranda adsorbe olduğunu ispatlamaktadır.

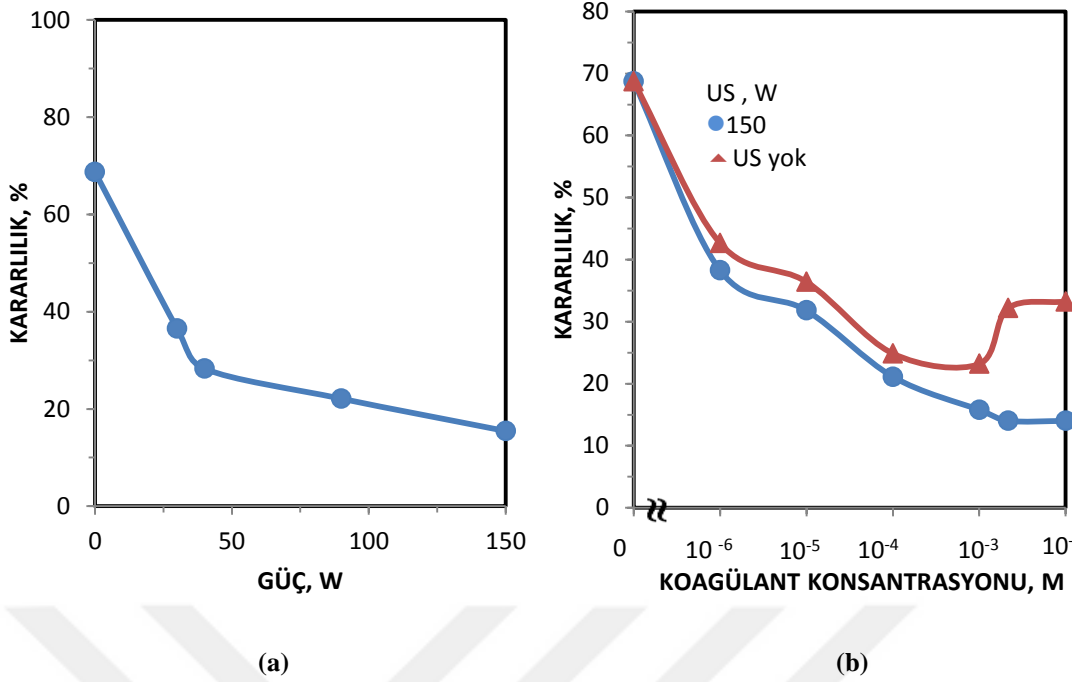




Şekil 4.71. Ultra sesin  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeline etkisi

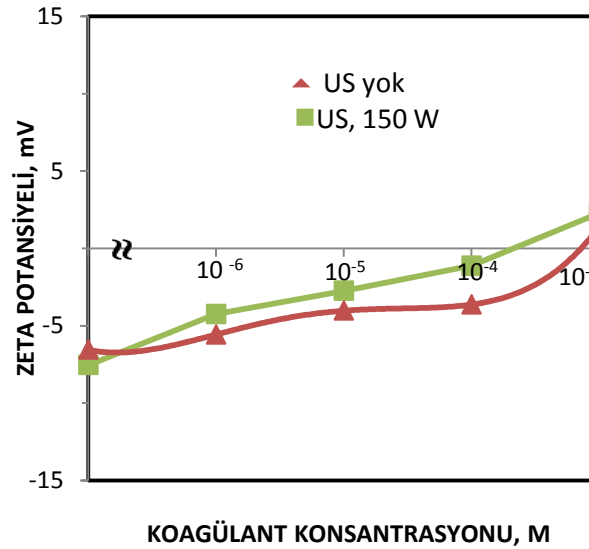
#### *Ultra sesin $Ca^{+2}$ iyonu varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Ultra sesin güç değerlerinin  $Ca^{+2}$  iyonu varlığında galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.72(a)'da verilmiştir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 68 değerinde olup, ultra ses cihazının 150 Watt güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 15'e kadar azalmaktadır. Ultra sesin  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.72(b)'de sunulmuştur. Süspansiyon kararlılığı, ultra ses uygulanmayan deneylerde katyonun belirli bir konsantrasyona kadar ( $10^{-3}$  M) azalmakta, sonrasında ise katyon konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı artan katyon konsantrasyonu ile azalmakta ve daha düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde süspansiyon kararlılığı katyonun  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda yaklaşık % 15'e kadar düşerken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise katyonun aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 24 olmaktadır. Bu sonuçlara bakıldığında, ultra ses ile daha iyi koagülasyon gerçekleştirildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.72. Ultra sesin güç değerlerine ve  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galen süspansiyonunun kararlılığına etkisi

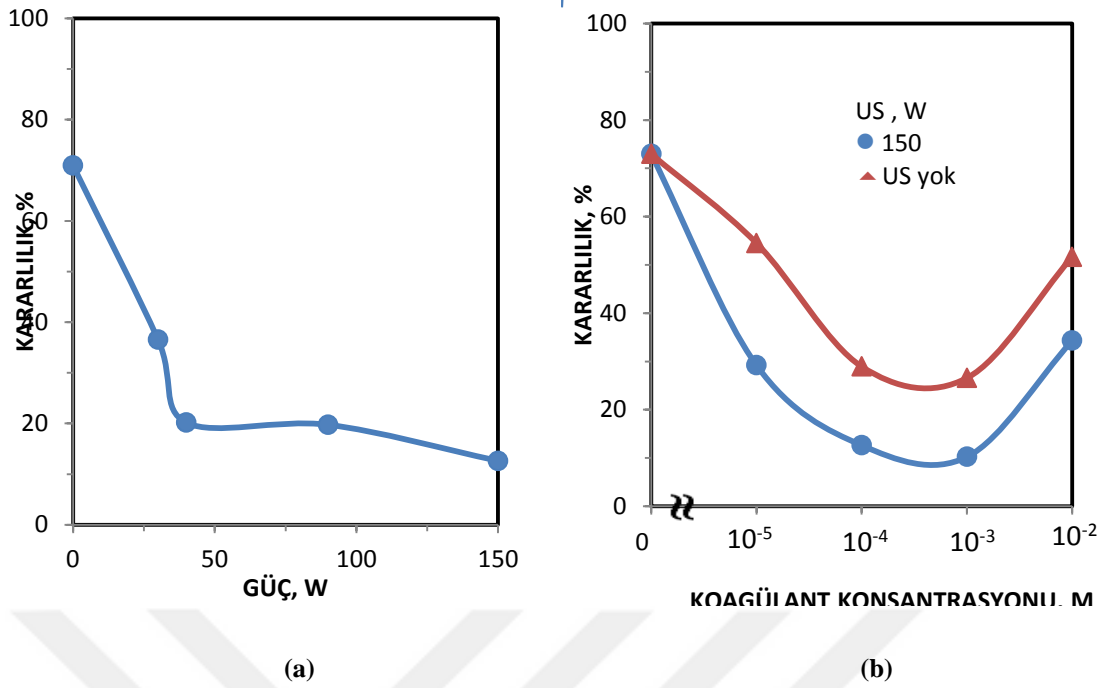
Şekil 4.73  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde  $Ca^{+2}$  iyonu galen mineralinin negatif potansiyelini azalmakta ve belirli bir konsantrasyonda negatif potansiyel pozitif dönüşmektedir.  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonunun artmasıyla da pozitif potansiyeli artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyeli değişim eğilimi aynı olmakta ve katyon konsantrasyonuna bağlı olarak daha büyük pozitif potansiyel ölçülmektedir. Ultra sesin pozitif potansiyeli daha fazla artırması yüzeye koagülantın daha yüksek oranda adsorbe olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.73. Ultra sesin  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak galenin zeta potansiyeline etkisi

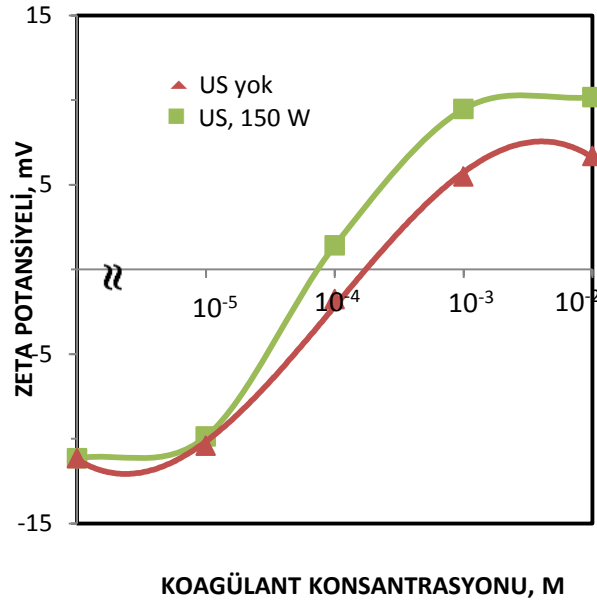
#### ***Ultra sesin $\text{Mg}^{+2}$ iyonu varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

Ultra sesin güç değerlerinin  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.74(a)'da verilmiştir. En düşük kararlılık değerine ultra ses cihazının 150 Watt güç uyguladığı deneylerde ulaşılmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 70 değerinde olup, ultrasonik cihazın 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 12'ye kadar azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla ultra ses ile daha güçlü koagülasyon sağlanmaktadır. Şekil 4.74(b)  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı  $\text{Mg}^{+2}$  iyonunun belirli bir konsantrasyonuna kadar ( $10^{-3}$  M) azalmakta, sonrasında ise katyon konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer değişim göstermekte ve en düşük kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu ile süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 10'a kadar azalırken, ultra ses uygulanmayan deneylerde ise aynı konsantrasyonda bu değer yaklaşık % 32 olmaktadır. Ultra ses ile daha güçlü koagülasyon sağlanmaktadır.



Şekil 4.74. Ultra sesin güç değerlerine ve  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

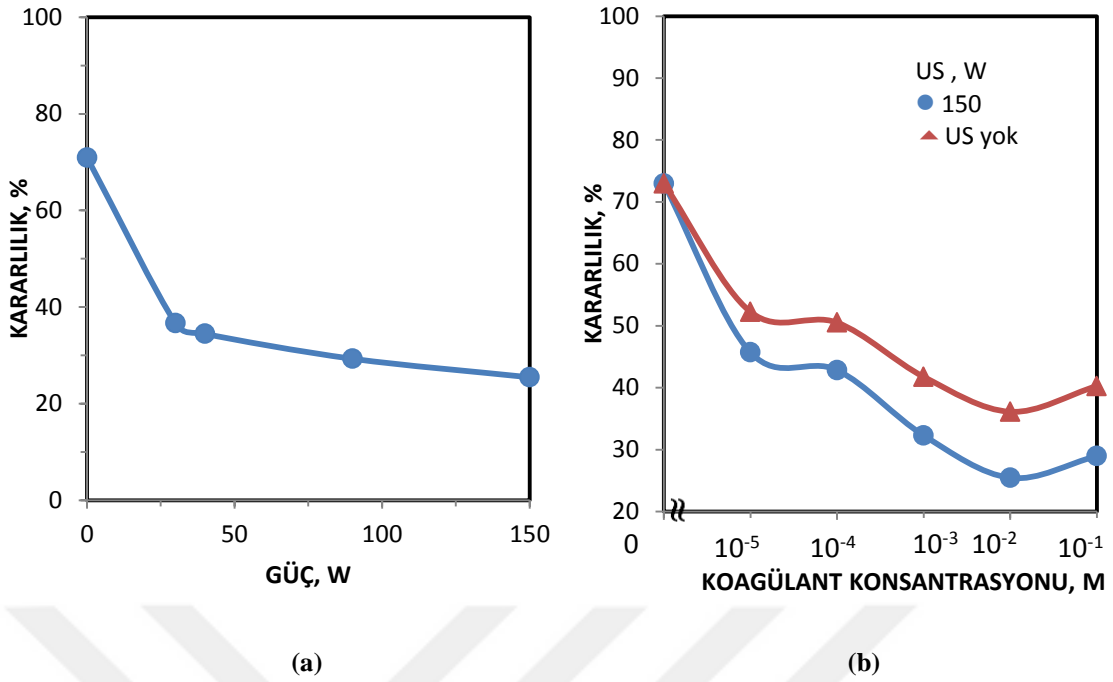
Şekil 4.75  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvarsın zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde  $Mg^{+2}$  iyonu kuvars mineralinin negatif yüzey şarjını azaltarak, yeterli konsantrasyonda yüzey şarjını pozitif potansiyelise dönüştürmektedir. Pozitif potansiyel ise katyon konsantrasyonunun artmasıyla artış göstermektedir. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyeli benzer değişim göstermekte ve ultra ses ile kuvars yüzeyine daha fazla katyon adsorbe olduğundan dolayı pozitif potansiyeli daha büyük ölçümlenmektedir.



Şekil 4.75. Ultra sesin  $Mg^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvarsin zeta potansiyeline etkisi

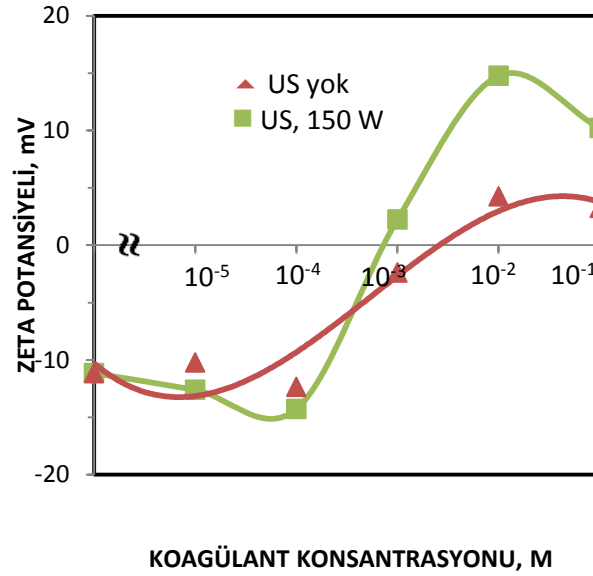
#### *Ultra sesin $Ca^{+2}$ iyonu varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Ultra sesin güç değerlerinin  $Ca^{+2}$  iyonu varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.76(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın güç değerinin artmasıyla kuvars süspansiyonunun kararlılığı azalmaktadır. Ultra sesin  $Ca^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.76(b)'de sunulmuştur.  $Ca^{+2}$  iyonunun artmasıyla süspansiyon kararlılığı azalmakta, katyonun belirli bir konsantrasyonundan sonra ise ( $10^{-2}$  M) kararlılık değeri tekrar artmaktadır. En düşük kararlılık değerlerine ultra ses uygulanan deneylerde ulaşılmaktadır. Ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde katyonun  $10^{-2}$  M konsantrasyonunda süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 25 iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde bu değer yaklaşık % 36 olmakta, dolayısıyla ultra ses ile kuvars mineralinin daha başarılı koagülasyonu gerçekleşmektedir.



Şekil 4.76. Ultra sesin güç değerlerine ve Ca<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

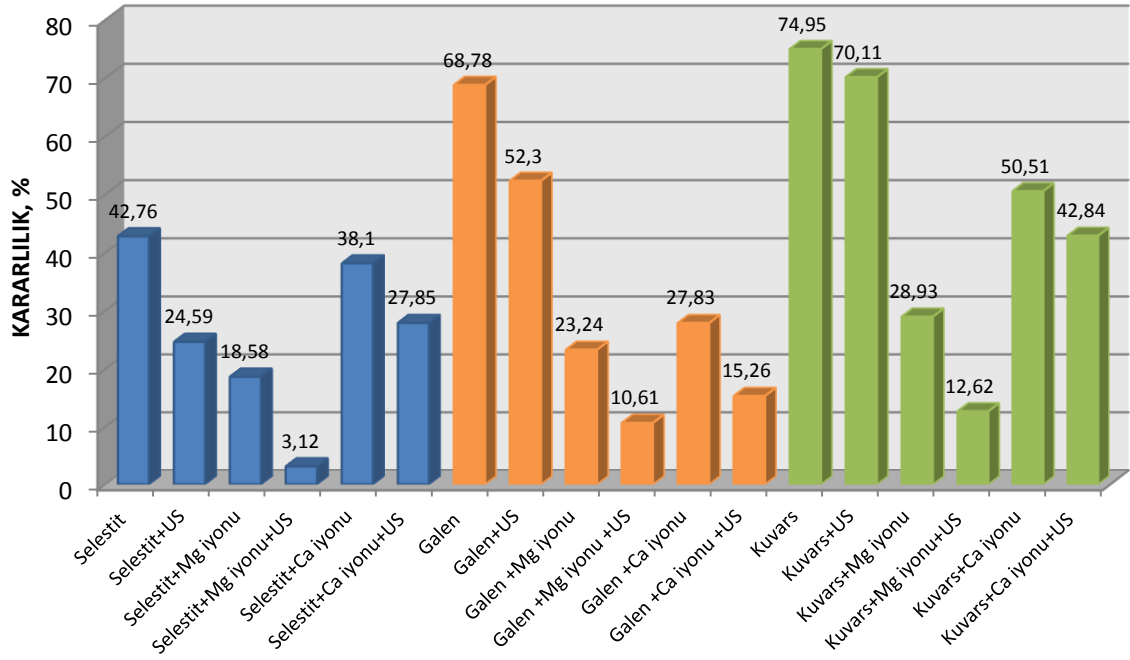
Şekil 4.77 Ca<sup>+2</sup> iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvarsın zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Şekil 4.77'den görüldüğü gibi, artan Ca<sup>+2</sup> konsantrasyonu ile negatif yüzey şarjı azalmakta belirli bir konsantrasyon değerinde pozitif geçmektedir. Yüksek katyon konsantrasyonunda ise pozitif potansiyeli katyon konsantrasyonuna bağlı olarak artmakta, katyonun daha yüksek konsantrasyonunda ise (10<sup>-2</sup> M) pozitif potansiyel nispeten azalmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyeli benzer şekilde değişim göstermekte ve pozitif potansiyeli artan katyon konsantrasyonu ile daha fazla artmaktadır.



Şekil 4.77. Ultra sesin  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu konsantrasyonuna bağlı olarak kuvarsin zeta potansiyeline etkisi

#### 4.4.1. Ultra sesin koagülantlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi

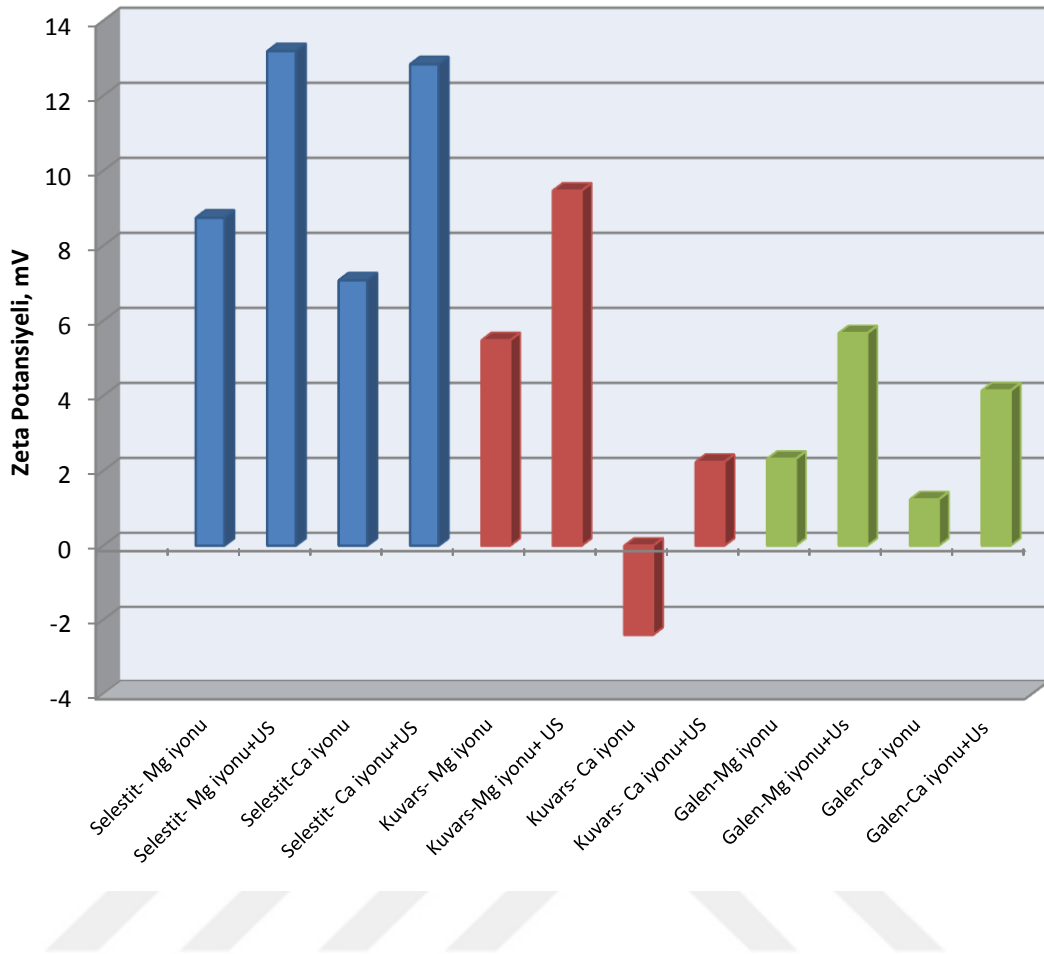
- Ultra ses güç değerinin artmasıyla selestit ve kuvars mineralleri için tüm kullanılan kationlar varlığında daha başarılı koagülasyon gerçekleşmiştir. Galen için ise 40 Watt'ın üzerinde koagülasyon olumsuz etkilenmektedir.
- Koagülantlar ile gerçekleştirilen çalışmalarda, ultra sesin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı tespit edilmiştir. Şekil 4.78'den görüldüğü gibi, en düşük kararlılık değerleri  $\text{Mg}^{+2}$  iyonu ile ultra ses uygulanan deneylerde elde edilmektedir.



Şekil 4.78. Ultra sesin katyonlar varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi

- Minerallerin zeta potansiyel ölçümlerinde  $Mg^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$  iyonlarının konsantrasyonunun artmasıyla tüm minerallerde negatif potansiyel azalarak pozitif potansiyel dönmüş, katyonların konsantrasyonuna bağlı olarak da pozitif potansiyel artmıştır. Katyonların daha yüksek konsantrasyonlarında pozitif potansiyeli değişimi minerallerde farklılık göstermiştir.  $Mg^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$  iyonlarının yüksek konsantrasyonunda selestit mineralinin pozitif potansiyeli azalırken, galen mineralinin pozitif potansiyeli katyon konsantrasyonuna bağlı olarak artmıştır. Kuvars mineralinde ise  $Mg^{+2}$  iyonunun yüksek konsantrasyonunda pozitif potansiyel nispeten artarken,  $Ca^{+2}$  iyonun yüksek konsantrasyonunda pozitif potansiyel nispeten azalmıştır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde ise zeta potansiyeli değişimi benzerlik göstermiş, ancak mineraller için yüksek pozitif potansiyeller ölçülmüştür (Şekil 4.79). Pozitif potansiyelin büyüklüğünün yüksek olması ultra sesin mineral yüzeyine katyon adsorpsiyonu artırmasına bağlanabilir. Böylece mineral süspansiyonlarının daha başarılı koagülasyonu gerçekleşmiştir.





Şekil 4.79. Ultra sesin katyonlar varlığında zeta potansiyeline etkisi

#### 4.5. Ultra Sesin Dispersant Varlığında Mineral Süspansiyonlarının Kararlılığına Etkisi

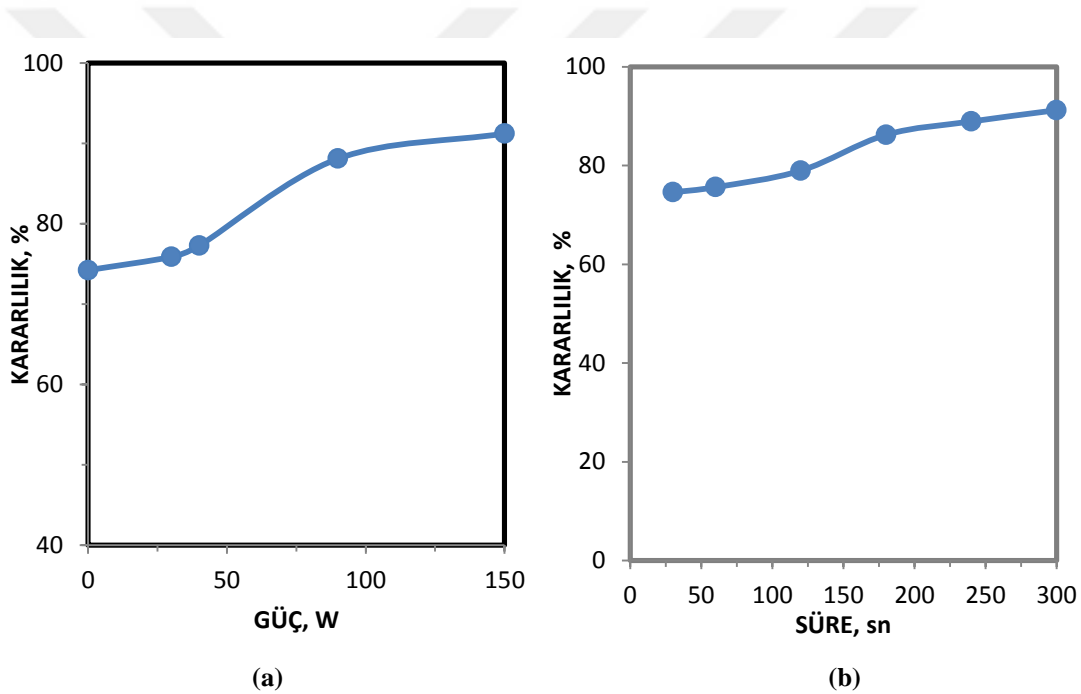
Bu kapsamdaki çalışmalar kuvars, kaolin ve sepiyolit mineralleri ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar, ultrasonik işlem kesiksiz olmak üzere doğal pH değerinde yürütülmüştür (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4. Deneysel koşullar

Mineraller	Prob dalma derinliği	US muamele süresi	Sodyum Silikat konsantrasyonu
Kuvars	3 cm	300 sn	3 g/dm <sup>3</sup>
Kaolim	3 cm	60 sn	0.6 g/dm <sup>3</sup>
Sepiyolit	3 cm	300 sn	0.5 g/dm <sup>3</sup>

### ***Ultra sesin sodyum silikat varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi***

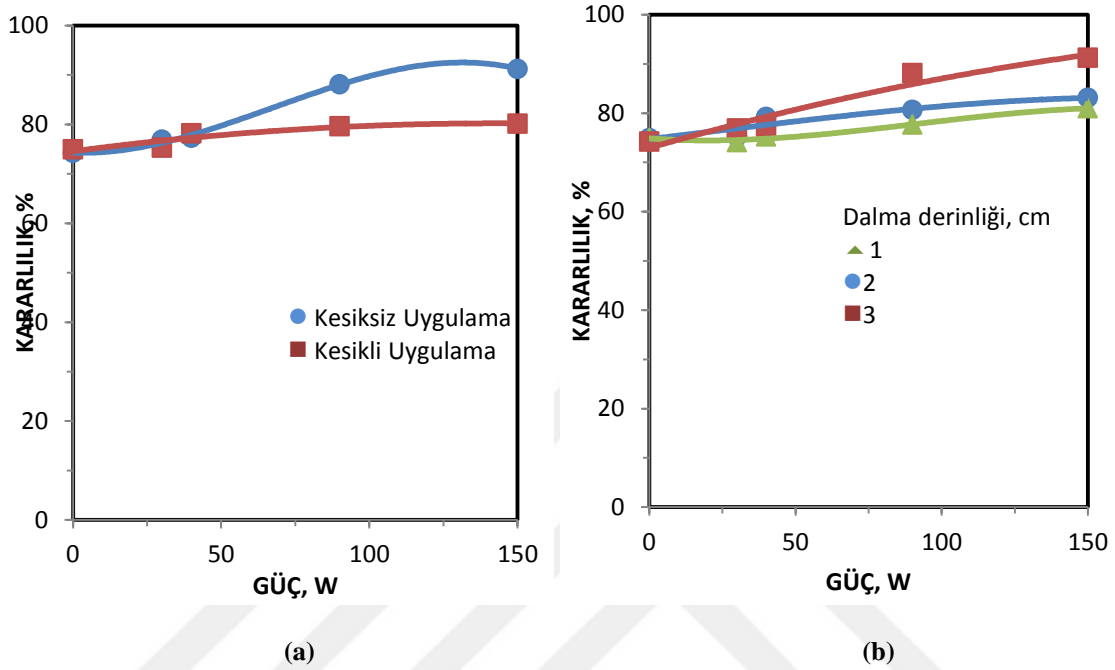
Ultra sesin güç değerinin sodyum silikat varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.80(a)'da verilmiştir. Ultrasonik cihazın güç değeri arttıkça kuvars süspansiyonunun kararlılığının da arttığı görülmektedir. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 74 değerinde olup, ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde bu değer yaklaşık % 91'e kadar çıkmaktadır. Şekil 4.80(b) ultra ses muamele süresine bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Ultra ses muamele süresi arttıkça süspansiyon kararlılığı artmakta ve ultra ses ile yüksek sürelerde kuvars süspansiyonunun daha iyi dispersiyonu sağlanmaktadır.



**Şekil 4.80.** Ultra sesin güç değerinin ve muamele süresinin sodyum silikat varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra ses işleminin kesikli-kesiksiz uygulamasının kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.81(a)'da verilmiştir. Kesiksiz uygulama şeklinde gerçekleştirilen deneylerde güç değeri arttıkça kararlılık değerlerinin de arttığı görülmektedir. Kesikli ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı güç değerlerine bağlı olarak nispeten artmıştır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 74 iken, ultra sesin kesikli uygulamasında kararlılık değeri yaklaşık % 80'e kadar yükselmektedir. Ultra sesin kesiksiz uygulanması durumunda ise bu değer yaklaşık % 91'e kadar artmakta, dolayısıyla ultra sesin kesiksiz uygulanması ile daha

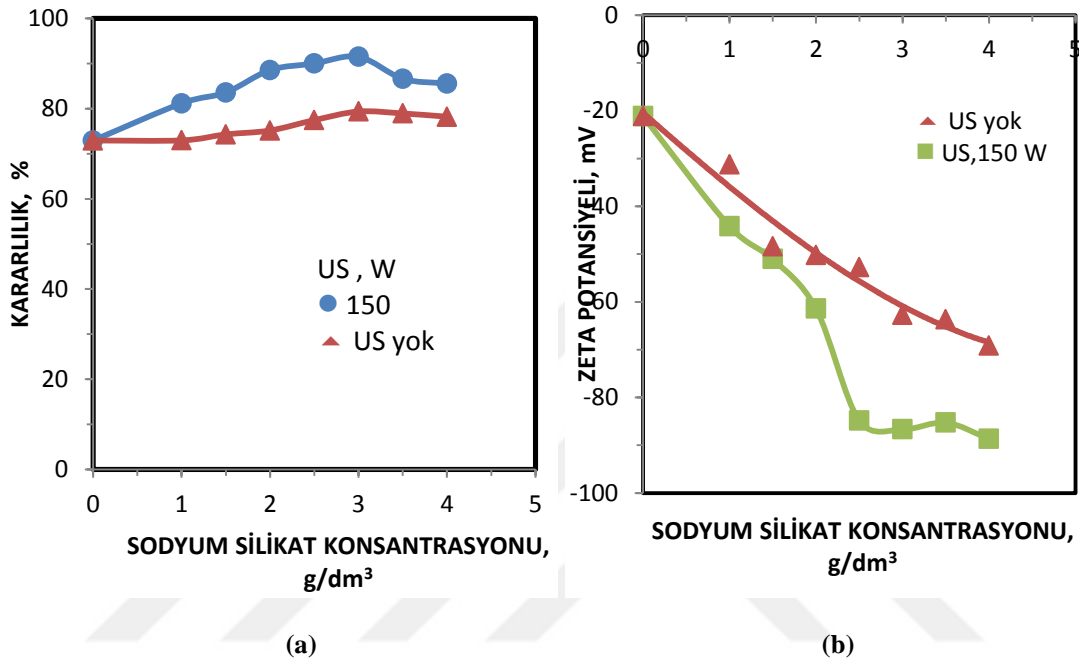
güçlü dispersiyon gerçekleşmektedir. Ultra sesin prob dalma derinliğine bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.81(b)'de sunulmuştur. Probun dalma derinliğine bağlı olarak süspansiyon kararlılığı artmakta ve en fazla artış prob dalma derinliği 3 cm olarak ayarlanıldığında görülmektedir.



Şekil 4.81. Ultra sesin kesikli -kesiksiz uygulamasının ve prob dalma derinliğinin sodyum silikat varlığında kuvars süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Şekil 4.82(a) ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Ultra ses uygulanmayan deneylerde süspansiyon kararlılığı önce belirli bir silikat konsantrasyonuna ( $3 \text{ g/dm}^3$ ) kadar hafif de olsa artmakta, sonrasında ise kararlılık değerlerinde artan silikat konsantrasyonu ile kayda değer bir değişim oluşmamaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı daha belirgin bir artma eğilimi göstermekte, ancak kararlılık değerleri yüksek silikat konsantrasyonunda nispeten azalmaktadır. En yüksek kararlılık değerlerine ultra ses uygulanan deneylerde ulaşılmakta,  $3 \text{ g/dm}^3$  sodyum silikat konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 91 iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde bu değer yaklaşık % 79 olmaktadır. Bu bulgulara dayanılarak, ultra sesin daha başarılı dispersiyon sağladığı sonucuna varılabilir. Ultra sesin kuvars mineralinin zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.82(b)'de verilmiştir. Kuvarsın negatif potansiyeli sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak artmakta, ultra ses uygulanan ölçümlerde bu artış daha fazla olmaktadır. Negatif

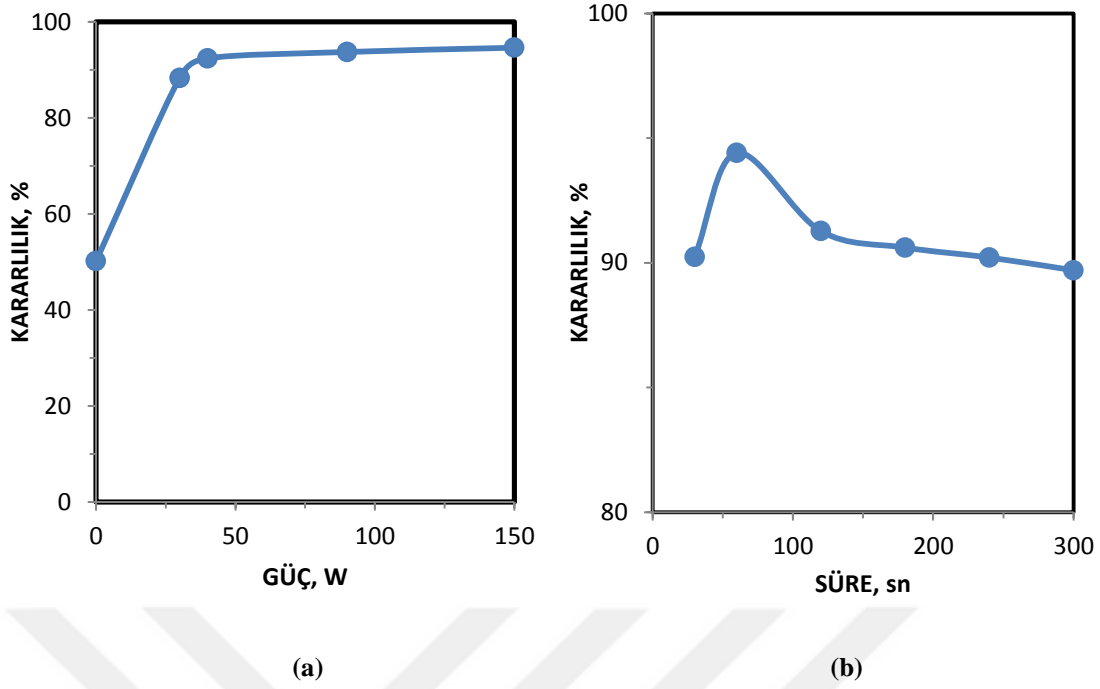
potansiyelin artması elektrostatik stabilizasyonun gerçekleştiğini, böylece tanelerin birbirini iterek daha güçlü dispersiyon sağlandığını göstermektedir. Benzer duruma, kuvarsın sodyum silikat ile dispersiyonu üzerine yapılan bir çalışmada da rastlanılmaktadır. Bu çalışmada, kuvars mineralinin zeta potansiyelinin negatifliğinin artması nedeniyle elektrostatik stabilizasyonun gerçekleşmesinin arttığı ifade edilmektedir (Lu ve ark., 1992).



Şekil 4.82. Ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak kuvars süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

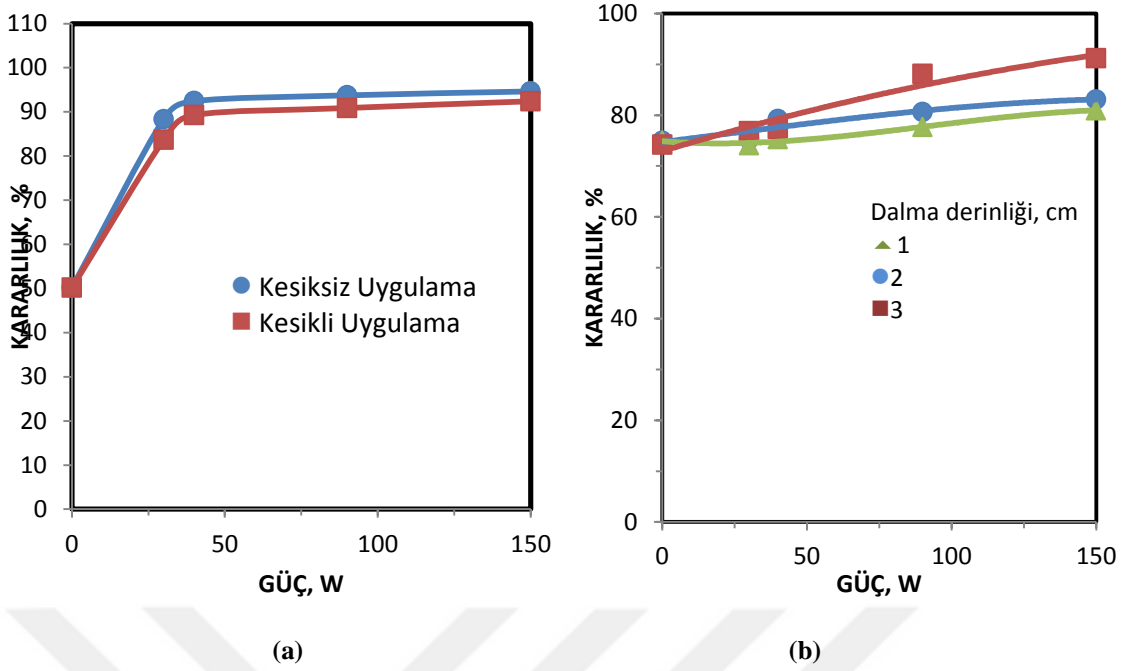
#### *Ultra sesin sodyum silikat varlığında kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

Şekil 4.83(a) ultra sesin güç değerlerinin kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisini göstermektedir. Süspansiyon kararlılığı belirli bir güç değerine kadar (30 Watt) daha belirgin bir şekilde artarken, sonrasında ise süspansiyon kararlılığında artan güç değeri ile birlikte kayda değer bir etki oluşmamaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 50 değerinde olup, ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde kararlılık değeri yaklaşık % 96'ya kadar çıkmaktadır. Ultra ses muamele süresinin kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.83(b)'de verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı belirli bir süreye kadar artmakta, sonrasında ise artan süre ile azalmaktadır. En yüksek kararlılık değerine ultra sesin 60 sn süre ile uygulandığı deneylerde ulaşılmaktadır.



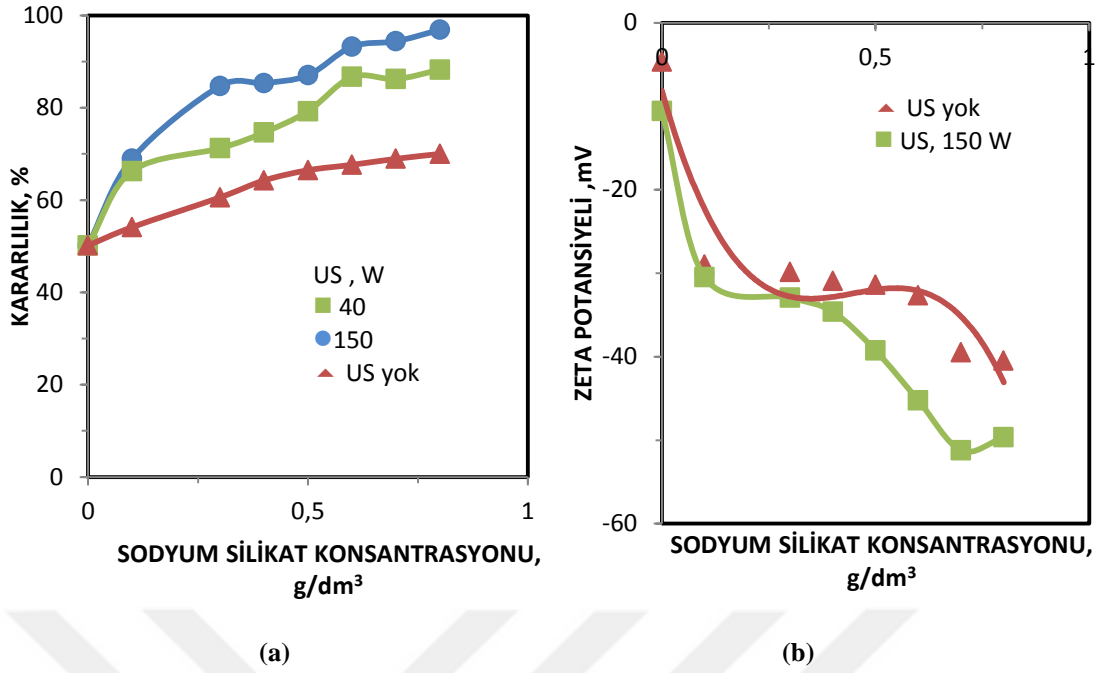
**Şekil 4.83.** Ultra sesin güç değerinin ve muamele süresinin sodyum silikat varlığında kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra ses muamelesinin kesikli ve kesiksiz uygulamasının kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi ise Şekil 4.84(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı kesikli uygulama şeklinde gerçekleştirilen deneylerde ultra sesin belirli bir güç değerine kadar artmakta, sonrasında ise güç değerine bağlı olarak kısmen artmaktadır. Kesiksiz ultra ses uygulanan deneylerde ise süspansiyon kararlılığı benzer artma eğilimi göstermekte ancak daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra sesin prob dalma derinliğine bağlı olarak kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.84(b)'de sunulmuştur. En yüksek kararlılık değerlerine probun dalma derinliği 3 cm olarak ayarlanıldığında ulaşılmaktadır.



Şekil 4.84. Ultra sesin kesikli- kesiksiz uygulamasının ve prob dalma derinliğinin sodyum silikat varlığında kaolin süspansiyonunun kararlılığına etkisi

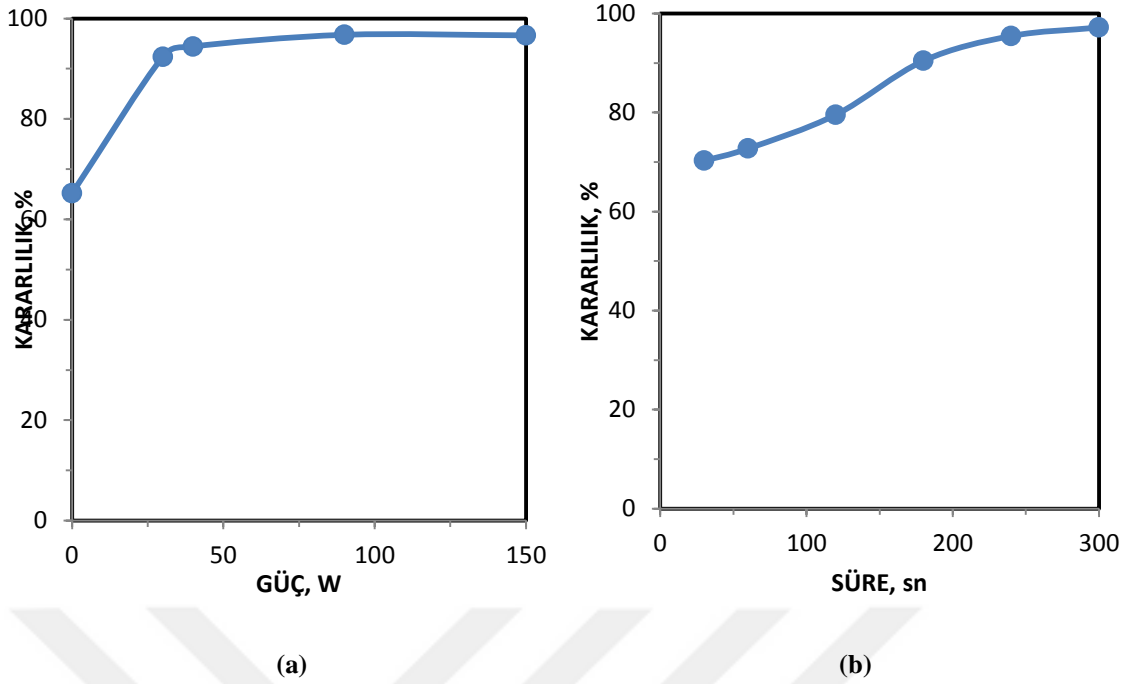
Şekil 4.85(a) sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak kaolin süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Sodyum silikat konsantrasyonu arttıkça süspansiyon kararlılığı da artmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde bu artış daha yüksek olmakta, sodyum silikatın  $0.6 \text{ g/dm}^3$  konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 93 iken, bu değer ultra ses uygulanmayan deneylerde yaklaşık % 67'dir. Dolayısıyla, ultra ses ile kaolin süspansiyonu daha iyi disperse edilmektedir. Ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak zeta potansiyeline etkisi Şekil 4.85(b)'de verilmiştir. Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde kaolin mineralinin negatif potansiyeli silikat konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de negatif potansiyel benzer bir değişim göstermektedir. Ultra ses ile kaolin için daha yüksek negatif potansiyel ölçülmektedir. Literatürden, sodyum silikatın kaolin süspansiyonunun negatif potansiyelini çok artırdığı bilinmektedir. Negatif potansiyel artışı, elektrostatik stabilizasyonun gerçekleştiğini göstermektedir. (Amorós ve ark., 2010; Ersoy ve ark., 2014).



Şekil 4.85. Ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak kaolin süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### *Ultra sesin sodyum silikat varlığında sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi*

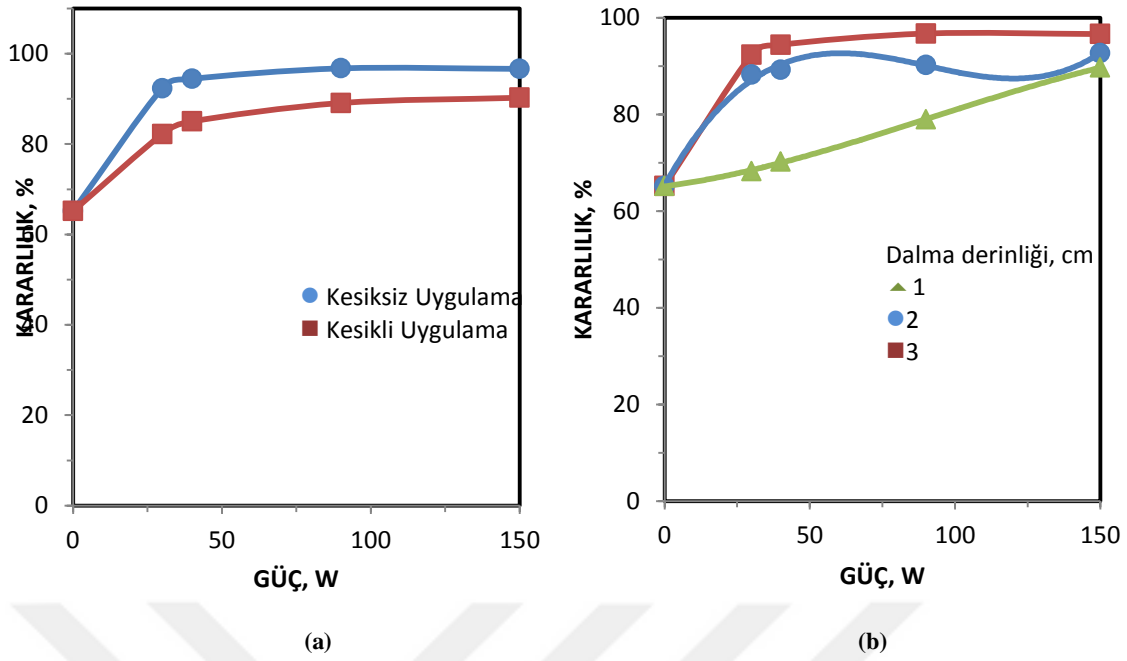
Ultra sesin güç değerlerinin sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.86(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı ultra sesin düşük güç değerinde daha keskin bir şekilde artarken, yüksek güç değerinde ise kısmen artmaktadır. Süspansiyonun orjinal kararlılık değeri yaklaşık % 65 değerinde olup, ultrasonik cihazın 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde yaklaşık % 96'ya kadar çıkmaktadır. Ultra ses muamele süresinin sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi araştırılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.86(b)'de sunulmuştur. Muamele süresi arttıkça sepiyolit süspansiyonunun kararlılığı da artmakta, dolayısıyla 300 sn süre ile ultra ses uygulandığında daha yüksek kararlılık değeri elde edilmektedir.



**Şekil 4.86.** Ultra sesin güç değerinin ve muamele süresinin sodyum silikat varlığında sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

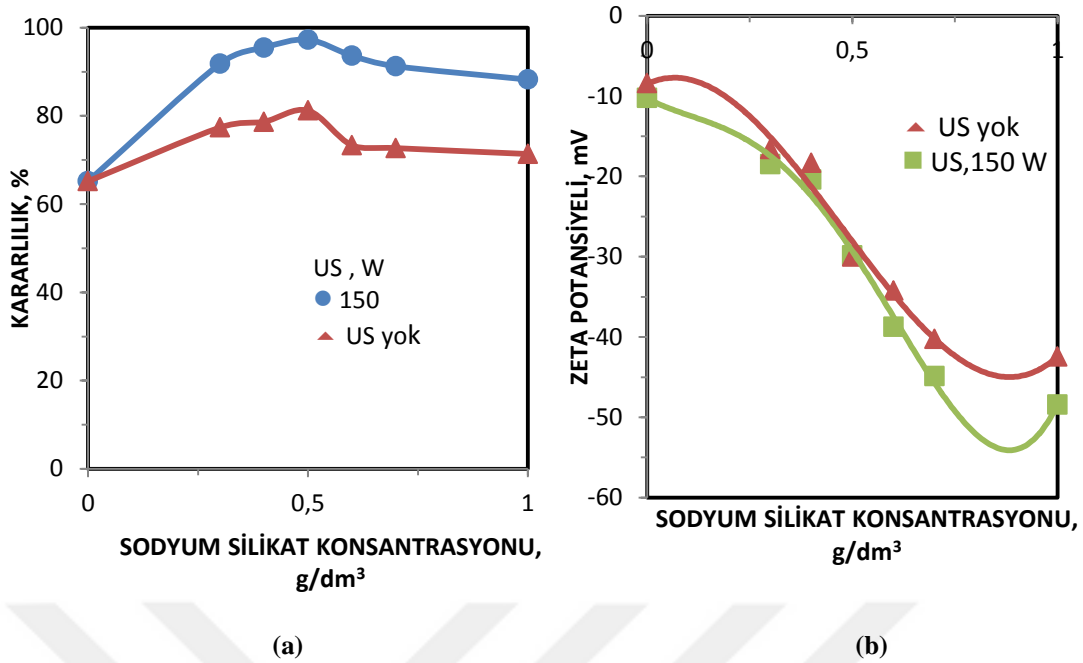
Ultra ses muamelesinin kesikli ve kesiksiz uygulamasının sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.87(a)'da verilmiştir. Süspansiyon kararlılığı ultra sesin kesikli uygulanması durumunda belirli bir güç değerine kadar artarken, sonrasında ise artan güç değeri ile süspansiyon kararlılığında az da olsa artış görülmektedir. Ultra sesin kesiksiz uygulanmasında da süspansiyon kararlılığı benzer artma eğilimi göstermekte ve daha yüksek kararlılık değeri elde edilmektedir. Şekil 4.87(b) prob dalma derinliğine bağlı olarak sepiyolit süspansiyonunun kararlılık değerleri değişimini göstermektedir. Probon dalma derinliğine göre süspansiyonun kararlılığı değişmekte, en yüksek kararlılık değerleri probun dalma derinliği 3 cm olarak ayarlanıldığında elde edilmektedir.





**Şekil 4.87.** Ultra sesin kesikli-kesiksiz uygulamasının ve prob dalma derinliğinin sodyum silikat varlığında sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi

Ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına etkisi Şekil 4.88(a)'da sunulmuştur. Süspansiyon kararlılığı ultra ses uygulanmayan deneylerde önce belirli bir silikat konsantrasyonuna ( $0.5 \text{ g/dm}^3$ ) kadar artmakta, sonrasında ise artan silikat konsantrasyonu ile nispeten azalmaktadır. Ultra ses uygulanan deneylerde de süspansiyon kararlılığı benzer eğilim göstermekte, ancak daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmektedir. Ultra ses uygulanan deneylerde  $0.5 \text{ g/dm}^3$  silikat konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 96 iken, ultra ses uygulanmayan deneylerde bu değer yaklaşık % 81 olmaktadır. Şekil 4.88(b) ise sepiyolit mineralinin zeta potansiyeli değişimini göstermektedir. Sepiyolitinin negatif potansiyeli silikat konsantrasyonuna bağlı olarak artmaktadır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de negatiflik, artan dispersant konsantrasyonu ile artış göstermekte ve daha yüksek negatif potansiyel değerleri ölçülmektedir.

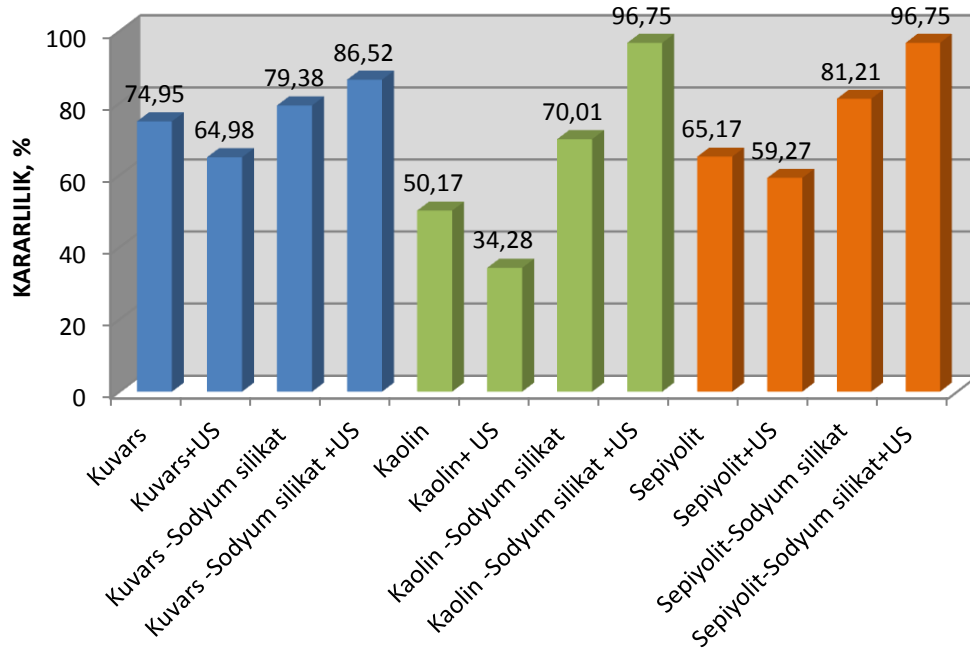


Şekil 4.88. Ultra sesin sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak sepiyolit süspansiyonunun kararlılığına ve zeta potansiyeline etkisi

#### 4.5.1. Ultra sesin dispersant varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi üzerine elde edilen bulguların değerlendirilmesi

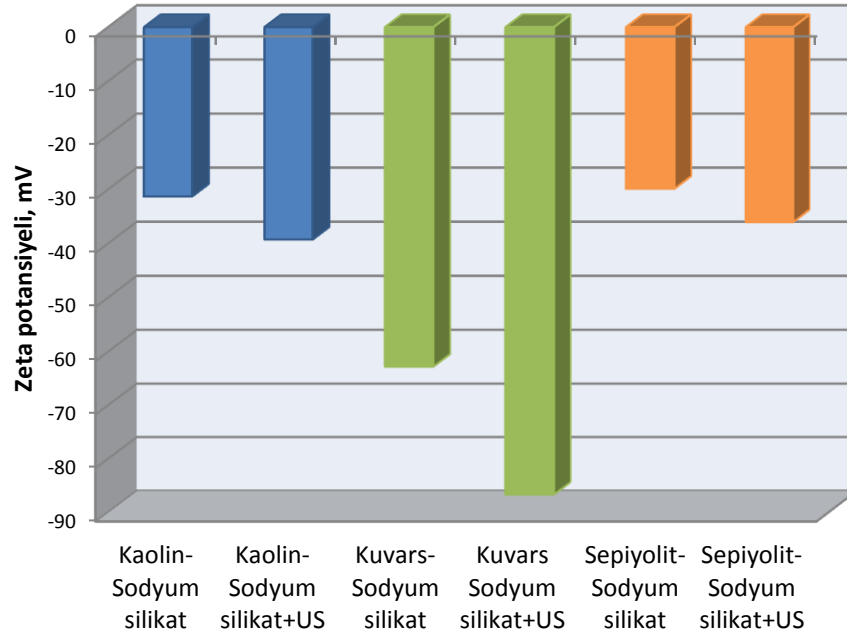
- Ultra ses gücü değerinin artmasıyla minerallerin daha başarılı dispersiyonu gerçekleşerek, en yüksek kararlılık değerlerine ultra ses cihazının 150 Watt'lık gücü uyguladığı deneylerde ulaşılmıştır.
- Mineral süspansiyonlarının sodyum silikat ile gerçekleştirilen çalışmalarında, ultra sesin kesikli uygulanması durumunda artan güç ile süspansiyon kararlılık değerleri de artmıştır. Ultra sesin kesiksiz uygulanması durumunda da süspansiyonun kararlılığında benzer artma eğilimi görülmüş, ancak daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmiştir.
- Kuvars ve sepiyolit minerallerinin süspansiyon kararlılığı ultra ses işleminin muamele süresine bağlı olarak artmıştır. Kaolin süspansiyonu ise ultra ses uygulama süresi ile farklı sonuç göstermiş, ultra ses muamele süresinin belirli bir değerinden sonra kararlılık değeri azalmıştır. En yüksek kararlılık değerine ultra ses işlemi 60 sn süre ile uygulandığında ulaşılmıştır.
- Mineral süspansiyonlarının kararlılık değerleri probun dalma derinliğine göre değişmiştir. En yüksek kararlılık değerlerine ultra ses cihazının dalma derinliği 3 cm olarak ayarlandığında ulaşılmıştır.

- Mineral süspansiyonlarının dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmalarında, sodyum silikat konsantrasyonu arttıkça genellikle süspansiyon kararlılığı da artmıştır. Ultra ses işleminin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. Şekil 4.89'dan görüldüğü gibi, en yüksek kararlılık değerleri ultra ses uygulanan deneylerde elde edilmiştir.



Şekil 4.89. Ultra sesin dispersant varlığında mineral süspansiyonlarının kararlılığına etkisi

- Ultra ses uygulanmayan ölçümlerde minerallerin negatif potansiyeli sodyum silikat konsantrasyonuna bağlı olarak artmıştır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde de zeta potansiyelinin artma eğilimi benzer şekilde olmuş, ancak daha yüksek negatif potansiyel değerleri ölçülmüştür (Şekil 4.90). Negatif potansiyelin büyüklüğü, elektrostatik stabilizasyonun gerçekleştiğini tanelerin birbirini iterek daha güçlü dispersiyon sağlandığını göstermiştir (Lu ve ark., 1992; Amorós ve ark., 2010; Ersoy ve ark., 2014).



Şekil 4.90. Ultra sesin dispersant varlığında minerallerin zeta potansiyeline etkisi

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, öncelikle ultrasonik işlemin farklı mineral süspansiyonlarının kararlılığı üzerine etkilerinin detaylı olarak belirlenmesine çalışılmıştır. Sonrasında ise mineral süspansiyonlarının farklı amaçlarla kullanılan reaktifler (toplayıcı, flokülant, koagülant ve dispersant) varlığında ultra ses muamelesinin etkileri çalışma parametrelerine bağlı olarak ayrıntılı şekilde araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Minerallerin reaktif kullanılmadan gerçekleştirilen çalışmalarında, genellikle ultrasonik cihaz tarafından uygulanan güç değeri arttıkça süspansiyon kararlılığının azaldığı tespit edilmiştir. Ultra ses işleminin kesikli uygulanması durumunda artan güç ile mineral süspansiyonlarının kararlılık değerinin azaldığı belirlenmiştir. Kesiksiz uygulama söz konusu olduğunda ise, genellikle yüksek güç değerinde süspansiyon kararlılığının artan güç ile az da olsa arttığı görülmüştür. Selestit, kolemanit ve kuvars minerallerinin süspansiyon kararlılığı, ultra ses işleminin düşük muamele sürelerinde azalmış, ancak 120 sn muamele süresinden sonra ise kısmen artmıştır. Galen, kaolin ve sepiyolit minerallerinin ise ultra ses uygulama süreleri farklı sonuçlar göstermiştir. Galen ve kaolin minerallerinde en düşük kararlılık değerlerine 300 sn muamele süresi ile ulaşılırken, sepiyolit mineralinde ise 30 sn muamele süresi ile daha düşük kararlılık değeri elde edilmiştir. Mineral süspansiyonlarının kararlılık değerleri probun dalma derinliğine göre değişmiştir. En düşük kararlılık değerine genellikle dalma derinliği 2 cm olarak ayarlandığında ulaşılmıştır. Ultra ses uygulamasının minerallerin i.e.p noktası üzerinde kayda değer bir etki oluşturmadığı, ancak minerallerin i.e.p. noktası üzerindeki pH değerlerinde zeta potansiyelinin negatifliğini genellikle artırdığı tespit edilmiştir.
- Ultra ses işleminin yüzey aktif maddeler ile yapılan çalışmalarında, selestit ve galen mineralleri için ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha başarılı makaslama flokülasyonları sağlanırken, kolemanit minerali için ise 40 Watt'ın üzerinde flokülasyon olumsuz etkilenmiştir. Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak gerçekleştirilen deneylerde yüksek pH değerlerinde daha başarılı makaslama flokülasyonu sağlanmıştır. Diğer taraftan, selestit ve kolemanit mineralinin en düşük kararlılık değerleri sodyum oleat varlığında gerçekleştirilen deneylerde ultra ses uygulaması ile elde edilirken, galen mineralinde ise sodyum izopropil ksantat

varlığında ultra ses muamelesi ile en düşük kararlılık değerine ulaşılmıştır. Selestit minerali süspansiyonunun sodyum oleat varlığında gerçekleştirilen deneylerinde kararlılık değeri yaklaşık % 14 iken, bu değer oleatın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 3 değerine kadar azalmıştır. Kolemanit mineralinde ise sodyum oleat varlığında gerçekleştirilen deneylerde süspansiyon kararlılığı yaklaşık % 19 değerinde iken, oleatın aynı konsantrasyonda ultra ses uygulaması ile kararlılık değeri yaklaşık % 11'e kadar azalmıştır. Galen mineralinde ise sodyum izopropil ksantat varlığında gerçekleştirilen deneylerde kararlılık değeri yaklaşık % 27 iken, ksantatın aynı konsantrasyonda ultra ses muamelesi ile bu değer yaklaşık % 12'ye kadar azalmıştır. Bu bulgular değerlendirildiğinde, ultra ses işlemi ile daha güçlü flokülasyonun gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, ultra ses işlemi uygulandığında mineraller için daha yüksek temas açısı değerleri elde edilmiştir. Selestit ve kolemanit minerallerinin ultra ses uygulanan deneylerinde en yüksek temas açısı değerlerine sodyum oleat ile ulaşılrken, galen mineralinde ise sodyum izopropil ksantat kullanıldığında ulaşılmıştır. Buna ilaveten, ultra ses işleminin kolemanit ve galen minerallerinin zeta potansiyelinin negatifliğini artırmasına rağmen daha güçlü makaslama flokülasyonu gerçekleştirdiği tespit edilmiştir.

- Ultra ses işleminin flokülantlar varlığında gerçekleştirilen çalışmalarında, selestit ve galen mineralleri için ultra ses cihazının 150 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha başarılı flokülasyon sağlanmıştır. Kolemanit minerali için ise polimerler ile gerçekleştirilen deneylerde genellikle 40 Watt'ın üzerinde flokülasyon işlemi başarısız olmuştur. Ultra ses işleminin pH'a bağlı olarak anyonik ve katyonik polimerler varlığında gerçekleştirilen deneylerinde yüksek pH değerlerinde daha başarılı flokülasyon sağlanırken, non-iyonik polimerler ile gerçekleştirilen deneylerde pH değişimi ile süspansiyon kararlılığının fazla değişmediği görülmüştür. Selestit, kolemanit ve galen süspansiyonlarının en düşük kararlılık değerleri anyonik polimer varlığında gerçekleştirilen deneylerde elde edilirken, katyonik polimer varlığında gerçekleştirilen deneylerde daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmiştir. Selestit mineralinin anyonik flokülant varlığında gerçekleştirilen deneylerinde ultra ses uygulaması ile kararlılık değeri yaklaşık % 17 değerine kadar azalırken, ultra ses uygulanmayan deneylerde polimerin aynı konsantrasyonunda bu değer yaklaşık % 27 olmuştur. Kolemanit mineralinde ise anyonik flokülant varlığında gerçekleştirilen deneylerde kararlılık değeri yaklaşık %

21 değerine kadar azalırken, bu değer flokülantın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 13'e kadar azalmıştır. Galen mineralinde ise süspansiyon kararlılığı anyonik flokülant varlığında gerçekleştirilen deneylerde yaklaşık % 19'a kadar düşerken, flokülantın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile bu değer yaklaşık % 8'e kadar azalmıştır. Flokülasyon çalışmaları değerlendirildiğinde, ultra ses muamelesinin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı tespit edilmiştir. Buna ilaveten, ultra ses işleminin anyonik ve non-iyonik polimerler varlığında zeta potansiyelinin negatifliğini genellikle artırdığı belirlenmiştir. Katyonik polimer ile gerçekleştirilen ölçümlerde ise polimer konsantrasyonuna bağlı olarak genellikle pozitif potansiyeli artmış, ultra ses uygulanan ölçümlerde bu artış daha fazla olmuştur.

- Ultra ses işleminin koagülantlar ile yapılan çalışmalarında, selestit ve kuvars mineralleri için ultra ses güç değerinin artmasıyla tüm kullanılan katyonlar varlığında daha başarılı koagülasyon gerçekleşmiştir. Galen mineralinde ise ultra ses cihazının 40 Watt'lık güç uyguladığı deneylerde daha başarılı koagülasyon sağlanmıştır. Selestit mineralinde magnezyum klorürün  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 20 değerine kadar azalırken, bu değer katyonun aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 3'e kadar azalmıştır. Galen mineralinde ise magnezyum klorürün  $10^{-3}$  M konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 26 değerine kadar azalırken, katyonun aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile bu değer yaklaşık % 19 olmuştur. Kuvars mineralinde magnezyum klorürün  $10^{-4}$  M konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile kararlılık değeri yaklaşık % 12 değerine kadar azalırken, ultra ses uygulanmayan deneylerde katyonun aynı konsantrasyonunda ise bu değer yaklaşık % 28 civarında olduğu görülmüştür. Koagülantlar varlığında gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda, ultra ses muamelesinin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla azalttığı tespit edilmiş ve en düşük kararlılık değerlerine  $Mg^{+2}$  iyonunun ultra ses uygulanan deneylerinde ulaşılmıştır. Bunun yanında, minerallerin zeta potansiyel ölçümlerinde  $Mg^{+2}$  ve  $Ca^{+2}$  iyonlarının konsantrasyonunun artmasıyla tüm minerallerde negatif potansiyel pozitif geçmiş, katyon konsantrasyonuna bağlı olarak da pozitif potansiyel artmıştır. Ultra ses uygulanan ölçümlerde zeta potansiyeli değişimi benzerlik göstermiş, ancak minerallerin daha yüksek pozitif potansiyeli ölçülmüştür. Pozitif potansiyelin büyüklüğünün daha fazla artması ultra

sesin mineral yüzeyine katyon adsorpsiyonu artırmasına bağlanmıştır. Böylece daha başarılı koagülasyon gerçekleşmiştir.

- Ultra ses işleminin dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmada, ultra ses güç değerinin artmasıyla minerallerin daha başarılı dispersiyonu sağlanmıştır. Mineral süspansiyonlarının sodyum silikat ile gerçekleştirilen çalışmada, ultra sesin kesiksiz uygulanması durumunda daha yüksek kararlılık değerleri elde edilmiştir. Kuvars, sepiyolit minerallerinin 300 sn süre ile ultra ses uygulandığı deneylerde kararlılık değerleri en yüksek değerine ulaşılırken, kaolin mineralinde ise en yüksek kararlılık değeri 60 sn süre ile ultra ses işlemi uygulandığında elde edilmiştir. Mineral süspansiyonlarının kararlılık değerleri probun dalma derinliğine göre değişmiş, en yüksek kararlılık değerlerine ultra ses cihazının dalma derinliği 3 cm olarak ayarlandığında ulaşılmıştır. Mineral süspansiyonlarının dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmada, silikat konsantrasyonu arttıkça genellikle süspansiyon kararlılığı da artmıştır. Kuvars mineralinde sodyum silikatın  $3 \text{ g/dm}^3$  konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 79 iken, bu değer sodyum silikatın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 91 değerine kadar artmıştır. Kaolin mineralinde ise silikatın  $0.6 \text{ g/dm}^3$  konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 67 iken, bu değer sodyum silikatın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 96 olmuştur. Sepiyolit mineralinde ise sodyum silikatın  $0.5 \text{ g/dm}^3$  konsantrasyonunda kararlılık değeri yaklaşık % 81 değerinde iken, bu değer sodyum silikatın aynı konsantrasyonunda ultra ses uygulaması ile yaklaşık % 97 değerine kadar artmıştır. Dispersant ile yapılan çalışmaların sonucunda, ultra ses işleminin süspansiyon kararlılığını ultra ses uygulanmayan deneylere oranla daha fazla artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, ultra ses uygulaması ile minerallerin negatif potansiyel değerlerinin ultra ses uygulanmayan ölçümlere oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir.
- Sonuç olarak, bu tez çalışmasında ultra ses işleminin minerallerin süspansiyon kararlılığı üzerine etkisinin detaylı bir araştırılması yapılmış olup, elde edilen bulgular ultra sesin olumlu etkisini göstermiştir. Ultra ses muamelesi ile minerallerin daha başarılı flokülasyonu ve koagülasyonu sağlanmıştır. Ultra sesin kullanılan reaktiflerin süspansiyon içerisinde daha iyi dağılmasını sağladığı ve bunların mineral yüzeyine adsorpsiyonunu artırdığı ifade edilebilir. Benzer sonuçlara ultra sesin flotasyona etkisini belirlemek için yapılmış çalışmalarda da



rastlanılmaktadır. Bu çalışmalarda ultra sesin oluşturduğu kavitasyon etkisinin reaktiflerin süspansiyon içerisinde daha iyi disperse olmasını sağladığı, böylelikle reaktiflerin performansını ve adsorpsiyonunu artırdığı ifade edilmiştir. Ayrıca, flokülasyon ve koagülasyon işlemlerinde ultra sesin taneler arası çarpışma ihtimalini artırdığı ve böylelikle flokülasyonu olumlu etkilediği kanaati de oluşmaktadır. Mineral süspansiyonlarının dispersant varlığında gerçekleştirilen çalışmalarında ultra ses muamelesi ile daha başarılı dispersiyon gerçekleşmiştir. Ultra ses uygulamasının kullanılan dispersantın aktivitesini artırdığı ifade edilebilir. Zeta potansiyeli ölçümleri de bu sonucu doğrulamaktadır.

- Deneysel çalışmalarda sabit frekansta çalışan ultra ses cihazı kullanılmış olup, frekans değişiminin koagülasyon, flokülasyon ve dispersiyon işlemlerindeki etkisinin de araştırılması önerilir. Ayrıca, ultra ses işleminin koagülasyon, flokülasyon ve dispersiyon işlemlerinde olumlu etkileri olmakla beraber, endüstriyel olarak bu işlemlerde ultra sesin kullanımının ekonomik bakımdan analiz edilmesi önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- Akdemir Ü, Hiçyılmaz C, 1996. Shear flocculation of chromite fines in sodium oleate solutions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 110, 1, 87-93.
- Aldrich C, Feng D, 1999. Effect of ultrasonic preconditioning of pulp on the flotation of sulphide ores. *Minerals Engineering*, 12, 6, 701-707.
- Alkan M, Demirbaş Ö, Doğan M, 2005. Electrokinetic properties of kaolinite in mono- and multivalent electrolyte solutions. *Microporous and Mesoporous Materials*, 83, 1-3, 51-59
- Alp İ, 1998. Yüksek Frekanslı Ses Dalgalarının Cevher Zenginleştirmede Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Alp İ, Özdağ H, 2017. Investigation of the processing of colemanite tailings by ultrasonic sound waves. In: *Mineral Processing on the Verge of the 21st Century*. Eds: Routledge, p. 693-696.
- Alptekin A, 2006. Doğal Taş Atıksularının Flokülasyon/Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Amorós JL, Beltrán V, Sanz V, Jarque JC, 2010. Electrokinetic and rheological properties of highly concentrated kaolin dispersions: Influence of particle volume fraction and dispersant concentration. *Applied Clay Science*, 49, 1-2, 33-43.
- Asai K, Sasaki N, 1958. Ultrasonic treatment of slurry. III. International Coal Preparation Congress, Brussels-Liege, 518-527.
- Aydoğan S, Akdemir Ü, 1998. Shear Flocculation of Celestite by Oleate and Amine, 7th International Mineral Processing Symposium, İstanbul, pp 201-204.
- Bilgen S, 1993. Makaslama Salkımlaştırması, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, İstanbul, p. 667-673.
- Blake J, 1988. Mathematical theory of cavitation bubble dynamics *Australian Journal of Statistics*, 30, 1, 69-89.
- Braggs B, Fornasiero D, Ralston J, Smart RS, 1994. The effect of surface modification by an organosilane on the electrochemical properties of kaolinite. *Clays and Clay Minerals*, 42, 2, 123-136.
- Cases, J.M., Touret-Poinsignon, C. ve Vestier, D., 1971. *Acad. Sci. Ser. C*, 272, pp. 728.
- Cyanamid, 1989. Cyanamid reagents, *Mining Chemicals Handbook*, pp 103-106.
- Çelik M, 1989. Effect of ultrasonic treatment on the floatability of coal and galena. *Separation Science and Technology*, 24, 14, 1159-1166.
- Çelik, M.S., Yaşar, E., 1995. Electrokinetic Properties of Some Hydrated Boron Minerals, *Journal of Colloid and Interface Science*, vol 173, pp 181-185.
- Çelik M, Elma I, Hançer M, Miller J, 1998. Effect of in-situ ultrasonic treatment on the floatability of slime coated colemanite. *Innovations in Mineral and Coal Processing*, 153-157.
- Çilek EC, Ozgen S, 2009. Effect of ultrasound on separation selectivity and efficiency of flotation. *Minerals Engineering*, 22, 14, 1209-1217.
- Çilek EC, Özgen S, 2010. Improvement of the flotation selectivity in a mechanical flotation cell by ultrasound. *Separation Science and Technology*, 45, 4, 572-579.

- Clark SW, Cooke SRB, 1968. Adsorption of calcium, magnesium, and sodium ion by quartz. *Transactions of the Society of Mining Engineers of AIME*, 241, 3, 334-341.
- Davidson R, Safdar A, Spencer J, Robinson B, 1987. Applications of ultrasound to organic chemistry. *Ultrasonics*, 25, 1, 35-39.
- Dawei W, Kewu W, Jicun Q, 1986. Hydrophobic agglomeration and spherical agglomeration of wolframite fines. *International Journal of Mineral Processing*, 17, 3-4, 261-271.
- De Sarabia ER-F, Gallego-Juárez JA, Rodríguez-Corral G, Elvira-Segura L, González-Gómez I, 2000. Application of high-power ultrasound to enhance fluid/solid particle separation processes. *Ultrasonics*, 38, 1-8, 642-646.
- Derjaguin B, Landau L, 1941. The theory of stability of highly charged lyophobic sols and coalescence of highly charged particles in electrolyte solutions. *Acta Physicochim. URSS*, 14,58, 633-652.
- Dippenaar A, 1985. Shear flocculation of fines for improved flotation. *Mintek Rep.*, 19.
- Djendova S, Mehandjiski V, 1992. Study of the effects of acoustic vibration conditioning of collector and frother on flotation of sulphide ores. *International journal of mineral processing*, 34, 3, 205-217.
- Drzymala J, 1994. Hydrophobicity and collectorless flotation of inorganic materials. *Advances in Colloid and Interface Science*, 50, 143-185.
- Duan J, Gregory J, 2003. Coagulation by hydrolysing metal salts. *Advances in colloid and interface science*, 100, 475-502.
- Ersoy B, 2003. Mermer işleme tesisi atıksu arıtımında kullanılan flokların tanıtımı. *Türkiye IV. Mermer Sempozyum. Afyon*, 449-462.
- Ersoy B, Evcin A, Uygunoglu T, Akdemir ZB, Brostow W, Wahrmund J, 2014. Zeta Potential–Viscosity Relationship in Kaolinite Slurry in the Presence of, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 7, 5451-5457.
- Fan X, 1999. Froth Flotation of Ilmenite Ores, PhD Thesis, The University of Birmingham.
- Farmer A, Collings A, Jameson G, 2000. Effect of ultrasound on surface cleaning of silica particles. *International Journal of Mineral Processing*, 60, 2, 101-113.
- Feng D, Aldrich C, 2005. Effect of preconditioning on the flotation of coal. *Chemical Engineering Communications*, 192, 7, 972-983.
- Fuerstenau D, Raghavan S, 1978. The surface and crystal chemistry of silicate minerals and their flotation behavior. *Freiberger Forschungsh. A*, 593, 75-109.
- Field DJ, Minasny B, 1999. A description of aggregate liberation and dispersion in A horizons of Australian Vertisols by ultrasonic agitation. *Geoderma*, 91, 1-2, 11-26.
- Fuchs F, 2002. Ultrasonic cleaning: fundamental theory and application, [www.blackstone-ney.com/pdfs. T\\_Fundamentals](http://www.blackstone-ney.com/pdfs/T_Fundamentals).
- Gaete-Garretón L, Vargas-Hernández Y, Velásquez-Lambert C, 2000. Application of ultrasound in comminution. *Ultrasonics*, 38, 1-8, 345-352.
- Gallego-Juarez J., 1994. New technologies in high-power ultrasonic industrial applications. *Proceedings of IEEE Ultrasonics Symposium*, 1343-1352.
- Gaudin A, Schuhmann Jr R, Schlechten A, 1942. Flotation Kinetics. II. The Effect of Size on the Behavior of Galena Particles. *The journal of physical chemistry*, 46, 8, 902-910.
- Gregor J, Nokes C, Fenton E, 1997. Optimising natural organic matter removal from low turbidity waters by controlled pH adjustment of aluminium coagulation. *Water Research*, 31, 12, 2949-2958.

- Gregory J, O'Melia CR, 1989. Fundamentals of flocculation. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 19, 3, 185-230.
- Güngören C, Özdemir O, Wang X, Özkan S, Miller J, 2019. Effect of ultrasound on bubble-particle interaction in quartz-amine flotation system. *Ultrasonics sonochemistry*, 52, 446-454.
- Gürpınar G, Sönmez E, Bozkurt V, 2004. Effect of ultrasonic treatment on flotation of calcite, barite and quartz. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 113, 2, 91-95.
- Gürpınar G, 2007. Ses ötesi dalgaların cevher zenginleştirmede kullanılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Hussain SA, Demirci Ş, Özbayoğlu G, 1996. Zeta potential measurements on three clays from Turkey and effects of clays on coal flotation. *Journal of Colloid and Interface Science*, 184, 2, 535-541.
- İpekoğlu Ü, 1997. Susuzlandırma ve yöntemleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 179.
- Iwasaki I, Smith K, Lipp R, Sato H, 1980. Effect Of calcium and magnesium ions on selective desliming and cationic flotation of quartz from iron ores, Somasundaran, P. (ed), *Fine Particles Processing*, pp 1057- 1081, AIME, New York.
- Jafari V, Allahverdi A, Vafaei M, 2014. Ultrasound-assisted synthesis of colloidal nanosilica from silica fume: Effect of sonication time on the properties of product. *Advanced Powder Technology*, 25, 5, 1571-1577.
- Jarrett R, Warren L, 1977. Shear-flocculation in mixtures of scheelite and garnet, *Australian Institute of Mining and Metallurgy*, vol 262, pp 57-65.
- Kang Wz, Xun H-x, Kong X-h, Li M-m, 2009. Effects from changes in pulp nature after ultrasonic conditioning on high-sulfur coal flotation. *Mining Science and Technology (China)*, 19, 4, 498-507.
- Klimpel R, 1997. Introduction to chemicals used in particle systems, *ERC Particle science & Technology*, 10-13, Florida.
- Kobayashi T, Kobayashi T, Hosaka Y, Fujii N, 2003. Ultrasound-enhanced membrane-cleaning processes applied water treatments: influence of sonic frequency on filtration treatments. *Ultrasonics*, 41, 3, 185-190.
- Koh P, Andrews J, Uhlherr P, 1986. Floc-size distribution of scheelite treated by shear-flocculation. *International Journal of Mineral Processing*, 17, 1-2, 45-65.
- Koh P, Warren L, 1980. A pilot plant test of the shear-flocculation of ultrafine scheelite. *Chemeca 80: Process Industries in the 80's; 8th Australian Chemical Engineering Conference*, 90-94.
- Koh PTL, Warren LJ, 1981. Flotation of an ultrafine scheelite ore and the effect of shear-flocculation, J. Laskowski (ed), *Proceedings of XIII International Mineral Processing Congress*, vol 1, pp 263–290, Warsaw.
- Kowalski W, Kowalska E, 1978. The ultrasonic activation of non-polar collectors in the flotation of hydrophobic minerals. *Ultrasonics*, 16, 2, 84-86.
- Laskowski JS, Pugh RJ, 1992. Dispersions stability and dispersing agents. In: *Developments in mineral processing*. Eds: Elsevier, p. 115-171.
- Laskowski JS, Ralston J, 2015. *Colloid chemistry in mineral processing*, Vol 12, Elsevier.
- Lemanowicz M, Kus A, Gierczycki AT, 2010. Influence of ultrasonic conditioning of flocculant on the aggregation process in a tank with turbine mixer. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49, 2, 205-211.

- Lethmathe C, Benker B, Günter L, 2002. Intensivierung der schaumflotation durch einsetz von ultraschall. *AT. Aufbereitungs-Technik*, 43, 4, 32-40.
- Leucker R, 1998. Influence of Large-Scale Vortices on Cavitation Inception in Steady, Turbulent Flows. *Proc. of 3th Inter. Sympo. on Cavitation*, 1, 123-128.
- Lu S, Song S, Dai Z, 1988. The hydrophobic and magnetic combined aggregation of paramagnetic minerals. *16th Int. Miner. Process. Congr.. Stockholm*, 999-1009.
- Lu S, Song S, Dai Z, 1992. Dispersion of fine mineral particles in water. *Advanced Powder Technology*, 3, 2, 89-96.
- Ma, K. ve Pierre, A.C., 1999. Clay Sediment-Structure Formation in Aqueous Kaolinite Suspensions, *Clay Clay Min.*, 47 (4), 522-526.
- Mason TJ, 1990. *Chemistry with ultrasound*, Society of Chemical Industry, London, 195.
- Mekhamer W, 2010. The colloidal stability of raw bentonite deformed mechanically by ultrasound. *Journal of Saudi Chemical Society*, 14, 3, 301-306
- Midmore B, Hunter R, 1988. The effect of electrolyte concentration and co-ion type on the  $\zeta$ -potential of polystyrene latices. *Journal of colloid and interface science*, 122, 2, 521-529.
- Misra M, Raichur A, Lan A, 2003. Improved flotation of arsenopyrite by ultrasonic pretreatment. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 20, 2, 93-97.
- Muralidhara H, Ensminger D, Putnam A, 1985. Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): State of the art review. *Drying Technology*, 3, 4, 529-566.
- Özkan A, 2004. Determination of the critical surface tension of wetting of minerals treated with surfactants by shear flocculation approach. *Journal of colloid and interface science*, 277, 2, 437-442.
- Özkan A, Ucbeyiy H, Aydoğan S, 2006. Shear flocculation of celestite with anionic surfactants and effects of some inorganic dispersants. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 281, 1-3, 92-98.
- Özkan A, Ucbeyiy H, Düzyol S, 2009. Comparison of stages in oil agglomeration process of quartz with sodium oleate in the presence of Ca (II) and Mg (II) ions. *Journal of colloid and interface science*, 329, 1, 81-88.
- Özkan A, Yekeler M, 2004. Coagulation and flocculation characteristics of celestite with different inorganic salts and polymers. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 43, 7, 873-879.
- Özkan S, Kuyumcu HZ, 2006. Zum Einfluss von Ultraschall auf die Kohleflotation. De l'influence des ultrasons sur la flottation du charbon. La influencia del ultrasonido sobre la flotacion del carbon. *Aufbereitungs Technik-Mineral Processing*, 47, 1-2, 23-33.
- Özkan SG, 2002. Beneficiation of magnesite slimes with ultrasonic treatment. *Minerals Engineering*, 15, 1-2, 99-101.
- Önal G, Özer M, Arslan F, 2003. Sedimentation of clay in ultrasonic medium. *Minerals engineering*, 16, 2, 129-134.
- Öner B, 2011. Konya-Ilgın kömürünün polimerik flokülasyonu, Yüksek Lisan Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Özden N, 1981. Ses ötesi (ultrasonik) ile muayene. Segem Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Ankara, 48, 142.
- Özer M, Kangal M, Benkli Y, Arslan F, Önal G, 2001. Effect of Ultrasonic treatment on the sedimentation of clays, *New Developments in Mineral Processing (Proceedings of the 9th Balkan Mineral Processing Sym.)*, Eds. G. Onal et al., İstanbul-Turkey, 63-68.

- Özkan Ş, Veasey TJ, 1994. The effect of slime coatings on colemanite flotation. *Process in Mineral Processing Technology, Proceedings of 5th International Mineral Processing Symposium*, 205-210.
- Özkan ŞG, Kuyumcu HZ, 2007. Design of a flotation cell equipped with ultrasound transducers to enhance coal flotation. *Ultrasonics sonochemistry*, 14, 5, 639-645.
- Peng Y, Mao Y, Xia W, Li Y, 2018. Ultrasonic flotation cleaning of high-ash lignite and its mechanism. *Fuel*, 220, 558-566.
- Pugh R, Kitchener J, 1971. Theory of selective coagulation in mixed colloidal suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 35, 4, 656-664.
- Ravina L, Moramarco N, 1993. Everything you want to know about Coagulation & Flocculation. Zeta-Meter, Inc, 1-37.
- Sabah E, Mart U, Çınar M, Çelik M, 2007. Zeta potentials of sepiolite suspensions in concentrated monovalent electrolytes. *Separation Science and Technology*, 42, 10, 2275-2288.
- Singh B, 1999. Ultrasonically assisted rapid solid-liquid separation of fine clean coal particles. *Minerals engineering*, 12, 4, 437-443.
- Singh B, Singh R, 1997. Investigation on the effect of ultrasonic pretreatment on selective separation of iron values from iron ore tailings by flocculation. *Separation science and technology*, 32, 5, 993-1002.
- Sivamohan R, 1988. Influence of common variables on the shear flocculation of, and oleate adsorption/abstraction by, very fine fluorite and scheelite. In: *Production and processing of Fine Particles*. Eds: Elsevier, p. 337-351.
- Slaczka AS, 1986. Effect of ultrasound on ammonium leaching of zinc from galmei ore. *Ultrasonics*, 24, 1, 53-55.
- Smith R, Narimatsu Y, 1993. Electrokinetic behavior of kaolinite in surfactant solutions as measured by both the microelectrophoresis and streaming potential methods. *Minerals engineering*, 6, 7, 753-763.
- Smythe M, Wakeman R, 2000. The use of acoustic fields as a filtration and dewatering aid. *Ultrasonics*, 38, 1-8, 657-661.
- Somasundaran P, 1980. Principles of flocculation, dispersion, and selective flocculation. *Fine particle processing*, 2, 947-976.
- Song S, Lopez-Valdivieso A, Reyes-Bahena JL, Bermejo-Perez HI, Trass O, 2000. Hydrophobic flocculation of galena fines in aqueous suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 227, 2, 272-281.
- Song S, Lu S, 1994. Hydrophobic flocculation of fine hematite, siderite, and rhodochrosite particles in aqueous solution. *Journal of Colloid and Interface Science*, 166, 1, 35-42.
- Sönmez İ, 2007. Application of a statistical design method to the shear flocculation of celestite with Na-Oleate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 302, 1-3, 330-336.
- Stepniak L, Wolny L, Kowalczyk M, 2003. Ultrasound-aided processes of water treatment and sludge dewatering. *6th Italian Conference on Chemical and Process Engineering*, 647-652.
- Stoev S, Kuzev L, Metodiev M, Djendova S, 1992. Vibroacoustic improvements of froth flotation, Mavros, P. and Matis, KA eds. *Innovations in Flotation Technology*. NATO ASI Series. Vol: 208, Kluwer Academic Publishers. Dordrecht.
- Suslick KS, 1998. *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. J. Wiley & Sons: New York, 26, 517-541.

- Swamy K, Rao A, Narasimhan K, 1983. Acoustics aids dewatering. *Ultrasonics*, 21, 6, 280-281.
- Tao D, Groppo J, Parekh B, 2000. Enhanced ultrafine coal dewatering using flocculation filtration processes. *Minerals Engineering*, 13, 2, 163-171.
- Toraman ÖY, 2017. Experimental investigations of preparation of calcite particles by ultrasonic treatment. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 53(2), 859-868.
- Trahar W, Warren L, 1976. The flotability of very fine particles. *International Journal of Mineral Processing*, 3, 2, 103-131.
- Vargas-Hernández Y, Gaete-Garretón L, Magne Ortega L, Vergara-Belmar R, 2003. High-power ultrasound as an alternative to high-intensity conditioning in flotation. *Proc. World Congress on Ultrasonics*. Paris, 435-438.
- Verwey EJW, Overbeek JTG, Van Nes K, 1948. *Theory of the Stability of Lyophobic Colloid*, Elsevier, Amsterdam.
- Videla A, Morales R, Saint-Jean T, Gaete L, Vargas Y, Miller J, 2016. Ultrasound treatment on tailings to enhance copper flotation recovery. *Minerals Engineering*, 99, 89-95.
- Wang Q, Heiskanen K, 1992. Dispersion selectivity and heterocoagulation in apatite-hematite-phlogopite fine particle suspensions I. Dispersion of single minerals. *International journal of mineral processing*, 35, 1-2, 121-131.
- Warren L, 1992. Shear flocculation. *Colloid chemistry in mineral processing*, 12, 309-329.
- Warren LJ, 1975. Shear-flocculation of ultrafine scheelite in sodium oleate solutions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 50, 2, 307-318.
- Williams D, Williams K, 1978. Electrophoresis and zeta potential of kaolinite. *Journal of Colloid and Interface Science*, 65, 1, 79-87.
- Xu M, Xing Y, Gui X, Cao Y, Wang D, Wang L, 2017. Effect of ultrasonic pretreatment on oxidized coal flotation. *Energy & fuels*, 31, 12, 14367-14373.
- Yerkovic C, Menacho J, Gaete L, 1993. Exploring the ultrasonic comminution of copper ores. *Minerals engineering*, 6, 6, 607-617.
- Yuan, J. ve Pruett, R.J., 1998. Zeta Potential and Related Properties of Kaolin Clays from Georgia, *Miner. Metall. Process.*, (2), 50-52.
- Yongping H, Mulong Y, 1988. Controlled dispersion-shear flocculation separation of ultrafine apatite from rhodochrosite. *International Production and Processing of Fine Particles*. Eds: Elsevier, p. 353-362.
- Zeta-Meter Inc., 1993, *Everything You Want to Know About Coagulation & Flocculation*, Fourth Edition, Virginia.
- Zubkov A, Belov B, 1982. Beneficiating ores of rare metals with the aid of ultrasound. *Tsvet. Met.*, 9, 102-106.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Kiraz EŞMELİ  
**Uyruğu** : T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : ÇAL- 10.04.1986  
**Telefon** : 05422280986  
**Faks** : -  
**e-mail** : kesmeli@ktun.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Kazım Kaynak Lisesi, Merkez, Denizli	2003
Üniversite	: Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir	2011
Yüksek Lisans	: Dokuz Eylül Üniversitesi, Buca, İzmir	2015
Doktora	: Konya Teknik Üniversitesi, Merkez, Konya	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Selçuk Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2018	Konya Teknik Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

### YABANCI DİLLER

İngilizce

### YAYINLAR

Uluslararası Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler:

- 1) Özkan A., Dudnik V., Eşmeli K., Flocculation of talc with kerosene and effect of various surfactants, *Particulate Science and Technology*, vol. 34, pp. 235–240, 2016.

Uluslararası Bildiriler:

- I. Batar T., Eşmeli K., Determination of Grinding parameters of some Minerals in Nano Dimension, *PPM 2015, International Porous Powder*



*Materials Symposium*, pp. 49, İzmir, September 15-18, 2015. (Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.)

- II. Eşmeli K., Özkan A., Effect of Ultrasonic Treatment on the Suspension Stability, Zeta Potential and Contact Angle of Celestite, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Geological and Environmental Engineering*, The 20th International Research Conference Proceedings, Vol: 12, No: 8, pp. 2001-2006, Paris, August 27-28, 2018. (Doktora tezinden üretilmiştir.)
- III. Eşmeli K., Grinding of Borax Pentahydrate to Nano Dimension, *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Geological and Environmental Engineering*, The 20th International Research Conference Proceedings, Vol: 12, No: 8, pp. 2012-2018, Paris, August 27-28, 2018. (Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.)
- IV. Özkan A., İlikay İ.Ş., Eşmeli K., Bazı İnorganik Tuzların Linyit Flotasyonuna Etkisi, [\*II. International Science and Academic Congress\*](#), Proceedings Book, Vol. 2, pp. 271-276, Konya, April 19-20, 2019.