

126998

**ULTRASONİK TİTREŞİMİN KİL ÇÖKTÜRMESİNDE
ETKİSİNİN İNCELENMESİ VE KLASİK ÇÖKTÜRME
YÖNTEMLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mad. Müh. Mustafa ÖZER
505981022**

126998

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Mayıs 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2002**

**TC. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Güven ÖNAL

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Fatma ARSLAN

Doç.Dr. Şafak G.ÖZKAN

HAZİRAN 2002

ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı'nda yüksek lisansımı tamamlama olanağını sağlayan, çalışmalarımın eksiksiz yürütülebilmesi için her türlü imkanı temin eden, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, değerli hocam Sayın Prof. Dr. Güven ÖNAL başta olmak üzere, çalışmalarımın her aşamasında benden yardımlarını ve fikirlerini esirgemeyen Prof. Dr.Fatma ARSLAN'a, Prof.Dr. Mehmet S.ÇELİK'e, Anabilim Dalı'nda görevli tüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca bu araştırmanın oluşmasını sağlayan ve proje kapsamında her türlü desteği esirgemeyen Kale-Maden A.Ş.'ye, teşekkür ederim.

Tüm öğrenim yaşantım boyunca, bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı aileme ve beni hiç bir zaman, hiç bir koşulda yalnız bırakmayan arkadaşlarıma en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2002

Mustafa ÖZER

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Killer	3
2.1.1. Killerin Özellikleri	3
2.1.1.1. Killerin Fiziksel Özellikleri	3
2.1.1.2. Killerin Kimyasal Özellikleri	4
2.1.2. Killerin Sınıflandırılması	5
2.1.2.1. Bates'e göre sınıflandırma	5
2.1.2.2. Grim'e göre Sınıflandırma	7
2.1.2.3. Daer, Howie, Zussman'ın sınıflandırması	7
2.1.3. Kil Minerallerinin Kullanım Alanları	8
2.1.3.1. Seramik Endüstrisi	8
2.1.3.2. Kağıt Endüstrisi	9
2.1.3.3. Petrol Endüstrisi	10
2.1.3.4. Tarım Endüstrisi	10
2.1.3.5. Döküm ve Peletleme Endüstrisi	10
2.1.3.6. Lastik Endüstrisi	11
2.1.3.7. Çimento Endüstrisi	11
2.1.3.8. Diğer Kullanım Alanları	11
2.1.4. Killerin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi	12
2.1.4.1. Ön Zenginleştirme	12
2.1.4.2. Boyut Küçültme	12
2.1.4.3. Harmanlama	13
2.1.4.4. Zenginleştirme	13
2.2. Killerin Susuzlandırılması	19
2.2.1. Çöktürme (Koyulaştırma)	19
2.2.1.1. Gravite Çöktürmesi ve Koyulaştırıcılar(Tikinerler)	20
2.2.1.2. Merkezkaç Kuvveti ile Koyulaştırma	22

2.2.2. Filtrasyon	23
2.2.3. Kurutma	24
2.2.4. Susuzlandırma İşlemlerine Yardımcı Prosesler	24
2.2.4.1. Flokülasyon- Koagülasyon ile Susuzlandırma	25
2.2.4.2. Elektro-Kinetik ve Elektro-Akustik Etki ile Susuzlandırma	26
3. ULTRASONİK TİTREŞİM VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI	28
3.1. Ses ve Ultrasonik	28
3.2. Ultrasonik Titreşim Uygulamaları	29
3.3. Madencilik ve Metal Endüstrisinde Ultrasonik Kullanımı	30
3.3.1. Yüzey Temizleme	30
3.3.2. Gaz-Katı ve Sıvı- Katı Sistemlerinden Katının Ayrılması	30
3.3.3. Flotasyon	32
3.3.4. Selektif Zenginleştirme	33
3.3.5. Tane boyut ölçümü ve Eleme	33
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1. Malzeme ve Yöntem	34
4.1.1. Deneylere Esas Olan Numuneler	34
4.1.1.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri	35
4.1.1.2. Numunelerin Kimyasal Özellikleri	38
4.1.1.3. Numunelerin Mineralojik Özellikleri	38
4.1.1.4. Numunelerin Elektrokinetik Özellikleri	38
4.1.2. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar	41
4.1.3. Yöntem	42
4.1.3.1. Çöktürme Öncesi İşlemler	42
4.1.3.2. Çöktürme Deneylerinde İzlenen Yöntem	42
4.2. Çöktürme Deneyleri	44
4.2.1. Ön Deneyler	44
4.2.2. KİL-261 Numunesi ile Yapılan Deneyler	46
4.2.2.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri	46
4.2.2.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri	49
4.2.3. KİL-262 Numunesi ile Yapılan Deneyler	54
4.2.3.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri	54
4.2.3.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri	57
4.2.4. KİL-244 Numunesi ile Yapılan Deneyler	60
4.2.4.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri	60
4.2.4.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri	63
4.2.5. KAO-143 Numunesi ile Yapılan Deneyler	67

4.2.5.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri	67
4.2.5.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri	70
5. SONUÇLAR VE YORUMLAR	74
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	85



TABLO DİZİNİ

Tablo 2.1.	Kil Minerallerinin Kimyasal Bileşimi.....	5
Tablo 4.1.	Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Killerin Üretildiği Bölgeler.....	34
Tablo 4.2.	Kil 261 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı.....	35
Tablo 4.3.	Kil 262 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı.....	36
Tablo 4.4.	Kil 244 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı.....	37
Tablo 4.5.	Kao 143 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı.....	37
Tablo 4.6.	Kil Konsantrelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	38
Tablo 4.7.	Doğal Çökmede pH'ın Etkisinin İncelendiği Deneylerde Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	45
Tablo 4.8.	Ultrasonik Titreşim İle Çöktürmede US Titreşim Süresinin Çöktürmeye Etkisinin İncelendiği Deneylerde Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	46
Tablo 4.9.	KİL-261 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	47
Tablo 4.10.	KİL-261 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	48
Tablo 4.11.	KİL-261 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	50
Tablo 4.12.	KİL-261 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	53
Tablo 4.13.	KİL-262 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	55
Tablo 4.14.	KİL-262 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	56
Tablo 4.15.	KİL-262 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	58
Tablo 4.16.	KİL-262 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	60
Tablo 4.17.	KİL-244 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	61
Tablo 4.18.	KİL-244 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	62

Tablo 4.19. KİL-244 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümlerinin Sonuçları.....	64
Tablo 4.20. KİL-244 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	65
Tablo 4.21. KAO-143 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	67
Tablo 4.22. KAO-143 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	68
Tablo 4.23. KAO-143 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümlerinin Sonuçları.....	70
Tablo 4.24. KAO-143 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.....	72



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 2.1.	Kaolenin Yıkılarak Zenginleştirilmesine ait Akım Şeması.....	14
Şekil 2.2.	Mekanik Dağıtma amacıyla kullanılan bir yıkama tamburu ve Attrition Scrubber.....	15
Şekil 2.3.	Hidrosiklondaki akış diyagramı.....	16
Şekil 2.4.	Kaolen zenginleştirme tesisindeki bir Hidrosiklon bataryası.....	17
Şekil 2.5.	Kale-Maden Semedeli Kil-Kaolen Zenginleştirme tesisi akım şeması.....	18
Şekil 2.6.	Bir tesiste Tikiner Koyulaştırma Ünitesi.....	20
Şekil 2.7.	Eimco Yüksek kapasiteli tikineri.....	21
Şekil 2.8.	Lamella Tikineri.....	22
Şekil 4.1.	Kil 261 Numunesine Ait Boyut Dağılımı.....	35
Şekil 4.2.	Kil 262 Numunesine Ait Boyut Dağılımı.....	36
Şekil 4.3.	Kil 244 Numunesine Ait Boyut Dağılımı.....	36
Şekil 4.4.	Kao 143 Numunesine Ait Boyut Dağılımı.....	37
Şekil 4.5.	KİL-261 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi.....	39
Şekil 4.6.	KİL-262 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi.....	40
Şekil 4.7.	KİL-244 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi.....	40
Şekil 4.8.	KAO-143 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi.....	40
Şekil 4.9.	Tüm Numunelerin Zeta Potansiyel Eğrilerinin Birlikte Gösterimi.....	41
Şekil 4.10.	Ultrasonik Titreşim Etkisi Altında Gerçekleştirilen Çöktürme Deney Düzeneği.....	43
Şekil 4.11.	Doğal Çökmede pH'ın Etkisinin İncelendiği Çöktürme Deneyi Sonuçları.....	45
Şekil 4.12.	Ultrasonik Titreşim Süresinin Çöktürmeye Etkisinin İncelendiği Deneylerin Sonuçları.....	45
Şekil 4.13.	KİL261 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	46
Şekil 4.14.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	47
Şekil 4.15.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması.....	48
Şekil 4.16.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperflocc A120) Miktarının Etkisi.....	49
Şekil 4.17a.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 25 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	51
Şekil 4.17b.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 50 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	51
Şekil 4.17c.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 75 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	52
Şekil 4.17d.	KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 100 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	52
Şekil 4.18.	KİL-262 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	54

Şekil 4.19.	KİL-262 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	55
Şekil 4.20.	KİL 262 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması...	56
Şekil 4.21.	KİL 262 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi.....	57
Şekil 4.22a.	KİL 262 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 50 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	59
Şekil 4.22b.	KİL 262 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 150 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	59
Şekil 4.23.	KİL244 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	61
Şekil 4.24.	KİL244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	62
Şekil 4.25.	KİL 244 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması...	63
Şekil 4.26.	KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi.....	64
Şekil 4.27a.	KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşim Altında 100 g/t Flokülant ilavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	65
Şekil 4.27b.	KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşim Altında 400 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	66
Şekil 4.28.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	67
Şekil 4.29.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.....	68
Şekil 4.30.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması...	69
Şekil 4.31.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi.....	70
Şekil 4.32a.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 10 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	71
Şekil 4.32b.	KAO-143 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 25 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.....	72
Şekil 5.1.	Farklı Kodlu kil Numunelerin Doğal Çökme Eğrileri.....	75

ÖZET

Son yıllarda, endüstride yüksek güçlü ultrasoniklerin kullanımları, artmaktadır. Özellikle, sulu sistemlerde oluşan işlemlerde, ultrasonik titreşim, olumlu etkiler üreterek, prosesi hızlandırmaktadır. Böyle bir etki yaratmak için, ultrasoniğin sıvı içerisinde, enerjisini iletmesi yeterli olmaktadır. Mekanik enerjinin bir formu olan ultrasonik enerji, katı, sıvı ve gaz gibi ortamlarda dalgasal olarak belirli hızlarda yayılmaktadır. Bu dalga hızı, ortamın elastik ve atalet (süredurum) özelliklerine bağlıdır. Çok yüksek atalet kuvvetleri ile üretilen sonik ve ultrasonik dalgalar, maddeler üzerinde, bozunma, aşınma ve ayrışma gibi etkiler üretebilmektedir.

Kil zenginleştirme tesislerinde, susuzlandırma işlemi, elde edilecek kil konsantrelerinin seramik sanayiinde kullanılabilmeleri için, en önemli adımlardan birini oluşturmaktadır. Genellikle, zenginleştirilmiş killerin, küçük boyutlu olmalarından dolayı, susuzlandırma amaçlı, çöktürülmesi zor olmakta ve fazla zaman almaktadır. Çöktürme işlemlerinde, çökme hızını arttırmak amacıyla değişik karakterli flokülantlar kullanılmaktadır. Fakat, seramiğin kalitesini etkilemesinden dolayı, kil çöktürmede flokülant tercih edilmemektedir. Bundan dolayı, bu araştırmada, seramik endüstrisi ile ilgili bu sorunu çözmek amacıyla, kil çöktürme işlemlerinde, ultrasonik titreşim ilk defa kullanılmıştır. Değişik çökme koşullarında, kil numunelerinin çökme karakteristiklerini karşılaştırmak amacıyla, doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde, çöktürme deneyleri yapılarak, pülpte katı oranı, flokülant ilavesi ve ultrasonik titreşim uygulaması gibi parametreler incelenmiş, karşılaştırmalar yapılmış, optimum çöktürme koşulları tespit edilmiştir.

Ultrasonik titreşim uygulaması ile yapılan çöktürme işlemi, tüm pülpte katı oranlarında, doğal ortamdaki çöktürmeye göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, ultrasonik ortamda flokülant ilavesi, çöktürme hızında, belirgin bir ek artış sağlayarak, ultrasonik titreşim etkisinde, az miktarda flokülant ilavesi iyi sonuç vermiştir. KİL 261 Kodlu kil numunesi ile yapılan çöktürme deneyi sonuçları incelendiğinde; doğal ortamda; 250 dakika sonundaki çökelek yüksekliği 230 mm, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı %13, ultrasonik titreşim etkisinde; 250 dakika sonundaki çökelek yüksekliği 160 mm, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı %18, ultrasonik titreşim+25 g/ton flokülant ilavesi ile; 250 dakika sonundaki çökelek yüksekliği 125 mm, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı ise, %21.9 olmaktadır. KİL 261, KİL 262, KİL 244 ve KAO 143 kodlu tüm kil numuneleri ile yapılan deney sonuçları göstermiştir; Ultrasonik titreşim uygulaması ile, çöktürme süresi yarı yarıya azabilmekte ve çöktürme sonu pülpte katı oranı belirgin şekilde artmaktadır.

SUMMARY

“INVESTIGATION OF EFFECT OF ULTRASONIC TREATMENT ON THE SEDIMENTATION OF CLAYS AND COMPARISON TO CONVENTIONAL METHODS”

The use of high power ultrasonic in industrial processes has increased during the last few years. Many processes occurring in liquids are accelerated by ultrasonic vibration. Unlike other methods which require some special attribute of the system being activated in order to produce an effect, ultrasound requires only the presence of a liquid to transmit its energy. Sonic or ultrasonic energy is a form of mechanical vibratory energy. Sonic or ultrasonic energy propagates as waves through all material media including solids, liquids and gases at characteristic velocity. The wave velocity is a function of the elastic and inertial properties of the medium. For any medium these waves in a medium very high inertial and elastic forces are generated due to the sonic or ultrasonic waves can cause material failure, disruption and separation.

Dewatering is the important step in the clay concentration plant prior to being used ceramic industry. Sedimentation of concentrated clay has always been difficult and taken long times due to their nature and having small particle sizes. Although there are several kinds of flocculants that can be used to make the sedimentation of faster, they are not preferred by the ceramic industry since they affect the quality of ceramic products. Therefore, in this study, ultrasonic treatment is used as a first time in the sedimentation of clay in order to solve the problems encountered related to the ceramic industry. Sedimentation experiments are performed at the natural and ultrasonic media in order to compare the sedimentation characteristics of clay samples in different settling conditions. The effects of several parameters such as pulp density, flocculant addition and ultrasonic treatment on the sedimentation of clay are investigated and the optimum settling conditions are determined.

Application of ultrasonic treatment gave better results than the ones in natural medium in all pulp densities. Remarkable increases were observed on the settling rates with the flocculant addition in ultrasonic medium. Ultrasonic medium with the small amount of flocculant addition gave good results. As a results of settling tests, carried out by using Clay 261; At the end of 250 minutes, the height of the settled material and solids ratio by weight of the pulp were found to be 230mm and 13% without ultrasonic treatment, 160mm and 18% with ultrasonic treatment, 125mm and 21.9% with the addition of 25 g/t flocculant + ultrasonic treatment, respectively. All experiments, carried out by using Clay 261, Clay 262, Clay 244, Kao 143, showed that settling time was almost reduced by half and the final pulp density was remarkably increased with the application of ultrasonic treatment.

1.GİRİŞ VE AMAÇ

Seramik üretiminde, hammadde olarak kullanılan killerin, seramik sanayinin teknolojik şartlarını sağlayabilmeleri için zenginleştirilmeleri, elde edilecek ürünlerin kalitesi yönünden son derece önemlidir.

Zenginleştirme yöntemi kilin özelliklerine göre belirlenmekle birlikte, çok yaygın olarak zenginleştirme işlemlerinde su kullanılmaktadır. Bu yüzden elde edilen konsantreler pülp halinde elde edilmektedir. Elde edilen konsantrenin seramik sanayinde kullanıma hazır olması için su-katı karışımının (pülpün) susuzlandırılması gerekmektedir. Kil zenginleştirme tesislerinde, konsantrelerin susuzlandırılması genellikle (tikiner) adı verilen tanklarda yapılmaktadır. Belli oranda koyulaştırılan ürünler, daha sonra filtrasyon işlemine tabii tutularak, ürünün su içeriği istenilen düzeylere indirilmektedir.

Koyulaştırma ve filtrasyon işlemlerinde, pülpü oluşturan, kil-su karışımının karakteristik yapılarının ve özelliklerinin değiştirilmesi susuzlandırma işlemlerinde verimi doğrudan etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, kil tanecikleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, suyun daha kolay uzaklaşmasına yardımcı olur. Bu etkiyi sağlayarak, susuzlandırma verimini arttırmak amacıyla değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan mekanizması bilinen ve en yaygın olarak kullanılan flokülasyon işlemidir. Killerin susuzlandırılmasında, seramik ürünlerinin kalitesini etkilemesinden dolayı, flokülasyon işlemi tercih edilmemekte, çökme hızını ve verimi arttıracak alternatif yöntem arayışları devam etmektedir.

Bu tez kapsamında; ultrasonik titreşimin kil çöktürme hızına ve çöken malzemedeki katı oranına etkileri araştırılarak, doğal çökme ve flokülantlı çökme ile karşılaştırılmıştır. Mesafe ve hız ölçümlerinde, elastisite sabiti ölçümlerinde, sıvıların özelliklerinin belirlenmesinde, radar tekniğinde, renkli televizyon yapımında, tıpta, katıların özelliklerinin belirlenmesi gibi bir çok alanda kullanılan ultrasonik titreşimin, çöktürmede kullanımı ilk kez bu tez kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Tez; giriş, killer hakkında genel bilgiler, ultrasonik titreşim ve endüstriyel uygulamaları, deneysel çalışmalar ve sonuçlar, yorumlar olmak üzere 5 bölümden oluşmaktadır.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Killer

Tane boyutu 2 mikrondan küçük, ıslatıldığında plastik hale gelen, ısıtıldığında sertleşen hidrate alüminyum silikat minerallerinden oluşan kayalara kil adı verilmektedir. Bazen Al' nin yerini Fe ve Mg alır. Bazı killer tek bir kil mineralinden bazıları ise bir kaç kil mineralinin karışımından oluşurlar. Killerin içinde Kil Mineralleri ve Kuvars + Feldspat + Kalsit + Jips + Pirit + Organik madde + Suda çözünen tuzlar gibi kile eşlik eden, kil olmayan mineraller bulunmaktadır[1,2].

Killer genel olarak granit gibi magmatik kütlelerin ayrışması sonucu oluşurlar. Bu ayrışmada granit, mika, kuvars ve enaz kararlı olan feldspata dönüşmektedir. Feldspatın, sıcaklık, yüksek basınç ve karbondioksit etkisi ile ayrışmasına da (alterasyon) kaolinizasyon adı verilmektedir. Bu ayrışma sırasında K_2O ve Na_2O gibi alkali oksitlerin çözünerek ortamdan uzaklaşması sonucunda kaolinit oluşmaktadır[1,2].

2.1.1. Killerin Özellikleri

Killer çok küçük taneli birer sediment olup, sulu alüminyum, demir ve magnezyum silikatlardan oluşmuşlardır. Kaolen, illit, halloysit, sepiolit, atapulgit ve montmorillonit başlıca kil mineallerindendir[1,2].

2.1.1.1. Killerin Fiziksel Özellikleri

Plastisite, su emme (su absorpsiyonu, hacim küçülmesi), kırılmaya karşı mukavemet, refrakterlik, kuruma (hacim küçülmesi), camlaşma (vitrifikasyon) ve renk killerin karakteristik fiziksel özelliklerinden olmakla birlikte, kilin bileşimine giren bileşikler özellikleri etkilemektedir. Bu etkiler olumlu veya olumsuz olarak aşağıda sıralanmaktadır[2].

<i>Serbest Silis</i>	Plastikliği azaltır, kuruma ve pişirmede büzülmeyi azaltır, kırılmaya karşı direnci azaltır (iri tane) , refrakterliği azaltır.
<i>Alüminyum Bileşikleri</i>	Plastikliği azaltır, refrakterliği azaltır.
<i>Alkali Bileşikler</i>	Refrakterlik ve camlaşma ısını düşürür, refrakterliği azaltır,
(Na ₂ O, K ₂ O'lu Bileşikler)	Plastikliği arttırabilir, kurumayı kolaylaştırır, kurumada hacim küçülmesini azaltır.
<i>Kalsiyumlu Bileşikler</i>	Refrakterlik ve camlaşma ısını düşürür, kurumayı kolaylaştırır, hacim küçülmesini azaltır, seramik bünyenin kırmızı rengini azaltır, havadaki nemi absorbe eder.
<i>Demirli Bileşikler</i>	Pişme rengini bozarlar, refrakterliği azaltır, çiçeklenmeye neden olur, demir lekeleri yaparlar.
<i>Titanlı Bileşikler</i>	Pişme rengini bozarlar, refrakterliği yükseltirler.

2.1.1.2. Killerin Kimyasal Özellikleri

Teknolojide killerin kimyasal bileşimlerinin saptanması amacıyla Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃, TiO₂, CaO, MgO, K₂O, Na₂O ve ateş kaybı yüzdeleri belirlenmektedir. Tablo 2.1'de çeşitli kil minerallerinin Engelhardt'a göre kimyasal bileşimleri verilmektedir[2].

Killerde Al₂O₃ oranı %20 ila %40 arasında değişmektedir. Bu tenör seramik killerde düşük, refrakter killerde yüksektir. Silis oranı yüksek olan killerde Al₂O₃ oranı %20'nin altına düşebilir. Al₂O₃ oranı %40'ın üzerinde olan killer ise, boksitleşmeye başlayan refrakter karakterli killerdir. Seramik killerinde demir oksit oranının %1'in altında olması, diğer killerde ise %3'ün altında olması şartı aranmaktadır. Demir, killerde pişme rengini koyulaştırıp, kilin ateşe karşı dayanıklılığını, yani refrakterliğini azaltmaktadır. Killerde toprak alkali oksitlerin (MgO, CaO) oranı %1'in altında olmalıdır. Bu oran yüksek olduğu takdirde kalker, dolomit, anortit

veya montmorillonit varlığı anlaşılır. Killerde alkali oksitlerin (Na_2O , K_2O) oranı da %1'in altında olmalıdır. %1'in üzerindeki alkali oksit içeriği, kil içinde mika-feldspat ve sodyum, potasyumlu bir tuzun bulunduğunu göstermektedir. Alkali oksit fazlalığı, ateşe dayanıklılığı azaltır ve pres filtrelerde kilin süzülme işlemlerini zorlaştırır[2].

Tablo 2.1. Kil Minerallerini Kimyasal Bileşimi (Engelhardt'a göre -E19)

ELEMENT	KAOLİNİT	NALYOSİT	MONTMORİLLONİT	BEİDELLİT	NONTRONİT	İLLİT
SiO_2	43.6-54.7	40.0-45.8	47.9-51.2	45.3-47.3	31.1-47.6	50.1-51.7
Al_2O_3	30.0-40.2	33.8-39.2	20.0-27.1	12.2-27.8	0.4-22.7	21.7-32.8
Fe_2O_3	0.3-2.0	0-0.4	0.2-1.4	0.8-18.5	15.2-40.8	0.0-6.2
MgO	0.0-1.0	0.0-3.0	2.1-6.6	0.2-3.0	0.1-4.0	2.0-4.6
CaO	0.03-1.5	0.1-0.8	1.0-3.7	0.5-2.8	0.6-4.5	0.0-0.6
K_2O	0.0-1.5	0.3	0.2-0.6	0.1	0.1-0.4	6.1-6.9
Na_2O	0.0-1.2	0.1-0.2	0.3-0.8	0.1-1.0	0.0-0.2	0.1-0.5
TiO_2	0.0-1.4	-	-	0.8	0.0-0.1	0.5
H_2O	11.0-14.3	13.4-23.7	17.1-23.7	17.3-22.6	5.1-13.0	6.4-7.0

2.1.2. Killerin Sınıflandırılması

Literatürde kil minerallerinin sınıflandırılmasında tam bir anlaşmaya varılamamıştır. Bunlardan en önemlisi olan ve minerolojik açıdan yapıldığı Bates, Grim, Daer, ve Howie, Zussman'ın sınıflandırmaları aşağıda gösterilmektedir[1,2].

2.1.2.1. Bates'e göre sınıflandırma

Kil mineralleri, minerolojik açıdan dört ana gruba ayrılarak sınıflandırılmaktadır[1,2].

A-Kaolinit Grubu Kil Mineralleri

Bu killer ana mineral olarak kaolinit içerirler. $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ genel formüllü alüminyum silikatlardır. Doğada saf kaolen yatakları büyük ölçüde bulunmazlar. Fe_2O_3 , SiO_2 , CaCO_3 ve silikat türünden mika gibi yabancı maddeler içerirler. Özellikle beyaz pişen seramiklerde kullanılan kaolenin mümkün olduğunca saf olması ve renginin de beyaz olması istenmektedir. Kaolinit grubuna giren kil minerallerinin en önemlileri aşağıda verilmektedir:

Kaolinit	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Dickite (Dikit)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Nacrite (Nakrit)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Anauxite (Anoksit)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Halloysite (Halloizit)	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Ateş Kili)
Levisite (Levisite)	İngiliz Ateş Kili

B-Montmorillonit Grubu Kil Mineralleri

Bu gruba giren kil mineralleri, genel olarak alüminyum silikat içedikleri halde kaolinitten çok farklıdırlar. Yapılarında, Mg, Ca, Fe ve Zn, tali element olarak da Na, K taşınır. Çok plastik olmalarına rağmen, taşıdıkları safsızlıklar nedeni ile, pişme renkleri seramik ürünler için elverişsizdir. Gerektiği hallerde plastikliği artırıcı olarak %1 ila %3 oranında kullanılmaktadır. Bu killerin yapısı mikalara çok benzemekte olup ayrıca su içine atıldıkları zaman şişer ve dağılırlar. Montmorillonit grubuna giren kil minerallerinin en önemlileri aşağıda verilmektedir:

Montmorillonit	$(\text{Mg}, \text{Ca}) \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Beidellit	$(\text{Mg}, \text{Ca}) \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Hektorit	$2\text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Nontronit	$(\text{Al}, \text{Fe})\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Glokonit (Saponit)	

C-İllit Grubu Kil Mineralleri

Genel formülü $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan illit grubu mineralleri montmorillonit grubu killerden farklı olarak potasyum içerirler. Mika benzeri bir kildir. Potasyum miktarı mikadan az, su miktarı ise mikadan fazladır. Bu nedenle bunlara

HİDROMİKA adı verilmektedir. Yeşilimtrak renktedir. Plastiklik özelliği ve uzun vitrifikasyon(camlaşma) aralığına sahip olmasının getirdiği olumlu pişme özelliği nedeniyle, çeşitli oranlarda seramik sanayinde kullanılmaktadır.

D-Klorit Grubu Kil Mineralleri

Bu killer ardışıklı bir şekilde mika ve $Mg(OH)_2$ yaprakçıklarından oluşmuşlardır. Bu grubun en önemli türü demir içeren klorit $(5(Mg,Fe)O.Al_2O_3.3SiO_2.4H_2O)$, yani Şamozit'dir. Renkleri yeşildir. Diğer mineral ise Pennit'dir.

E-Attapulgit ve Sepiyolit Grubu Kil Mineralleri

Yukarıda bahsedilen dört grub kil minerallerine ilaveten Attapulgit ve Sepiyolit grubunu da beşinci bir grub olarak sayabiliriz. Bu gruptaki kil mineralleri $(MgO.3SiO_2.nH_2O)$ genel formülüne sahip, beyaz renkli ve bantlı yapı göstermektedirler.

2.1.2.2. Grim'e göre Sınıflandırma

A) Amorf Olanlar: Allofan Grubu

B) Kristal Yapıda Olanlar

1.İki Tabakalı Olanlar (Kaolinit ve Halloysit Grubu)

2.Üç Tabakalı Olanlar (Montmorillonit ve Nontronit Grubu)

3.Düzenli Tabakalı Olanlar (Klorit Grubu)

4.Zincir Yapılı Olanlar (Sepiyolit)

2.1.2.2. Daer, Howie, Zussman'ın sınıflandırması

A) Kandit Grubu (Kaolinit ve Halloysit)

B) İllit Grubu (İllit, Glokonit, Hidromika)

C) Smektit Grubu (Montmorillonit, Saponit, Nontronit)

D) Vermikülit Grubu (Vermikülit)

E) Poligorskit Grubu (Sepiyolit, Attapulgit)

2.1.3. Kil Minerallerinin Kullanım Alanları

2.1.3.1. Seramik Endüstrisi[1,2,3]

Dünyada üretilen kil minerallerinin %70-75'i seramik endüstrisinde kullanılmaktadır. Seramik endüstrisinde bir çok değişik dallar vardır ve her dalda kullanılan killerin özellikleri farklıdır. Çoğunlukla kaolen esaslı killeri kullanılır. Plastikliği sağlamak için az miktarda bentonit kullanılır. Seramikte kullanılan killerde su emme, pişme rengi, kuruma ve pişmede büzülme miktarı, camlaşma sıcaklığı aralığı, basınç dayanımı tane boyutuna göre değişir.

Seramik endüstrisi içinde, yapılarda kullanılan kil tuğlaları, kanalizasyon ve su boruları, yer ve duvar kaplamada kullanılan sırlı fayanslar, kaplar (küp, vazo, saksı vs.) ve refrakter malzemelerde seramik endüstrisi kapsamı içine alınabilir. Seramik endüstrisinin içine aldığı ve kilin kullanıldığı diğer alanlar; porselen mutfak eşyası ve elektrik endüstrisinde kullanılan porselen malzeme yapımıdır. Bu amaçla kullanılan kil belli oranlarda feldspat ve kuvars ile karıştırılır. Bu killeri Çin kili olarak isimlendirilir ve belli başlı kil minerali kaolinitir.

Seramik sanayiinde Kil ve Kaolenlerin kullanılma nedenleri aşağıda belirtilmektedir.

a) Kaolenler

- Massenin beyazlatıcısıdır ve massenin iskeletini teşkil ederler.
- Kaolen kristal suyunu 300°C civarında kaybeder.
- Beyaz olmayan killerin renklerini örtüp kapattığından, masseye beyazlık vermek amacıyla katılır.
- Massede fazlalaştıkça mukavemetini artırır.
- Miktarı çoğaldığı nispette massenin pişme sıcaklığını yükseltir ve ısı değişikliklerinden etkilenmez.
- İri taneli kaolenler massenin porozitesini yükseltirler. Kuru küçülme azalır ve dolayısıyla çekme azalır. Küçük tanelilerde ise durum tam aksidir.
- Plastik madde olmalarına rağmen plastikliği ve bağlanması fazla değildir.
- Killeri kadar büyük bir uzama katsayısına sahip olduğundan sır çatlamasında rolü vardır.

b)Killer

- Plastik oldukları için massenin kuru mukavemetini arttırırlar.
- Sıkı olarak pişerler.
- En iyi kullanılış şekli üç çins veya daha fazla kilin aynı anda kullanılmasıdırki herhangi birinin kalite değişikliğinde masseye yapacağı tesir azaltılmış olsun.
- %7 kadar masseye katılabilen killer mümkün olduğu kadar beyaza yakın veya hafif sarı olmalı, poroz pişmelidirler.
- Plastik özelliği olmayan veya az olan kile özsüz kil denmektedir. Ekseriya özsüz killer kalıpta çabuk su verir ve kalıba elverişsizdir. Buna karşın mukavemetleri azdır. Bu taktirde muhakkak özlü kil katılmalıdır.

2.1.3.2. Kağıt Endüstrisi

Kağıt endüstrisinde kullanılacak kaolenlerde aşağıda kısaca belirtilen şartlar aranmaktadır[2].

Görünüş	Temiz, beyaz parçalar halinde, demir sızıntısı bulunmayacak, yumuşak ve yağlı olacak, parçalar en çok 20 cm çapında olacak.
Beyazlık derecesi	%80 (minumum)
Al ₂ O ₃	%17 - 41
SiO ₂	%24 - 56
Fe ₂ O ₃	%0.5 (maksimum)
CaO + MgO	%1 (maksimum)
CO ₂	%1 (maksimum)
Kızdırma Kaybı	%15 (maksimum)

Görüldüğü gibi kaolenin esas unsurları olan Al₂O₃ ve SiO₂ için istenilen yüzdeler oldukça yüksek tutulmuştur. Bu şartların yerine getirilmesi ise kolaydır. Seramik endüstrisi için pişme rengi beyaz olan, kağıt sanayii için ise hammadde rengi bayaz olup Fe₂O₃ oranı düşük kaolenler aranmaktadır. Arazide bu şartlara uygun kaolenlerin tanınması kolaydır. Kağıt endüstrisinde kullnılan kil mineralleri boşluk doldurucu, parlak yüzey yapıcı özellikleri dolayısıyla kullanılmaktadır. Kağıt sanayinde kullanıldığı için kağıt bentoniti olarak adlandırılan alkali bentonitler,

tamamen kuvarssız, ince taneli, beyaz renkli, topraksız, sabun kayganlığındadır[1,2,3].

2.1.3.3. Petrol Endüstrisi[1,2,3]

Petrol endüstrisinde kullanılan rotary sondaj yöntemlerinde, matkabin çalışması esnasında sürtünmeden doğan ısının giderilmesi, yeraltında koparılan kırıntıların yeryüzüne taşınması, dönmeden dolayı tijlerde ve matkapta meydana gelebilecek aşınmanın asgariye indirilmesi, dizinin korozyon etkisinden korunması, sondaj esnasında dönme momentinin değerini düşürmek, takım sıkışmalarını önlemek, sondaj sırasında geçilmiş formasyonların sondaj deliğine göçmesini engellemek, geçirimsiz bir pasta oluşturarak çamurdaki suyun formasyonlara kaçmasına engel olmak ve aynı şekilde formasyondan suyun gelişine engel olmak, yatak basıncını kontrol altında tutmak amacıyla, killerden elde edilen ve sondaj çamuru denilen çamurlar kullanılmaktadır.

Çamur yapımında kullanılan killer şu şekilde sıralanabilir; Kaolen Grubu (Kaolenit, Halloysit, Dikhit, Nikrit, Endellit), Montmorillonit (Bentonit) Grubu (Montmorillonit, Beidellit, Nontronit, Hektorit, Saponit), Pul Şeklinde Killer (Bravaisit, İllit), Atapulgit, Sepiyolit.

2.1.3.4. Tarım Endüstrisi

Toprağın verimini arttırmada kullanılmaktadır. Kil mineralleri eğer toprak içerisinde uygun bir oranda bulunurlarsa, toprağın tarıma elverişli bir toprak olmasını sağlar. Kil minerallerinin su tutma özelliklerinden dolayı ve iyon alışverişinde etkinliği nedeniyle, bitkilerin topraktaki besin sularını kökleri aracılığı ile alabilmesini sağlar[2].

2.1.3.5. Döküm ve Peletleme Endüstrisi

Bentonit kullanılmaktadır. Kolloidal özelliği ve yüksek plastisitesi nedeniyle, dökümde kalıp malzemesi olarak kullanılan kumlara bağlayıcı özellik kazandırır. Bentonit kalıp kumlarına, %2'den %50'ye kadar değişik oranlarda katılır. Amaç minimum miktardaki kille en yüksek bağlama mukavemeti ve kum kalıplarında yüksek gaz geçirgenliğinin elde edilmesidir. Demir cevheri konsantrelerinin

peletlenmesi sırasında %1'e kadar katılan bentonitin bağlayıcı özelliğinden yararlanılır[2,3].

2.1.3.6. Lastik Endüstrisi

Çok ince taneli olan, su ile jel, kolloid solüsyonu teşkil edebilen, pıhtılaştırma ve dehidrasyon tesiri olan bentonitler bu amaçla kullanılmaktadır. Ayrıca maliyet düşürücü katkı malzemesi ve güçlendirici olarak sert ve yumuşak kaolenler kullanılmakta olup, tane boyutu sert kaolen için, ortalama 0.2 mikron'dan küçük, yumuşak kaolen için, ortalama 1 mikrondan küçüktür. Lastik endüstrisinde istenilen kaolenin sudaki pH'sı 4.5 - 5.5 arasında olup; Fe, Mn ve Cu gibi elementler çok düşük sınırlar içinde olmalıdır[2,3].

2.1.3.7. Çimento Endüstrisi

Çimento su ile karıştırılınca sertleşen ve bağlayıcı özellik gösteren (hidrolik bağlayıcı) bir maddedir. Kalker, kil, demiroksitin, değişik oranlarda karıştırılarak, 1450°C de ısıtılıp öğütülmesi ile elde edilir. Çimento yapımı için, içinde belli miktarda, çoğunlukla %25 – 30 kil bulunan kayalar, örneğin; killi marn, marn, kalkerli marn, marnlı kalker aranır[2]. Portland çimentosu yapımında, yaklaşık %1 oranında bentonit ilavesi mekanik mukavemeti arttırarak, priz süresini azaltmaktadır. Bentonit beton ve harçlara ilave edildiği zaman plastisiteyi ve işleme kabiliyetini arttırır, çakıl ve kumun ayrılıp bir yerde toplanmasını önler[3].

2.1.3.8. Diğer Kullanım Alanları

Killer ayrıca; tuğla ve kiremit endüstrisinde, boya sanayiinde, suyun sertliğinin giderilmesinde ve tasfiyesinde, tecrit ve su geçirmez malzeme imalinde, emaye, ilaç ve kimya sanayiinin çeşitli kollarında, yol, kanal, drenajlarının tecrit işlerinde, yağ rafinasyonunda kullanım alanı bulmaktadır[1,2,3].

2.1.4. Killerin Hazırlanması ve Zenginleştirilmesi

Maden ocaklarından üretilen, seramik ana hammaddesi olan killerin, genellikle kendilerine eşlik eden safsızlıklardan (2.1.1.1. konu başlığında anlatılan sebeplerden dolayı) bir zenginleştirme işlemi ile temizlenmesi gerekmektedir. Yapılan işlemler aşağıda belirtilen kademelerden oluşmaktadır[2].

- Ön zenginleştirme,
- İri parçaların Küçültülmesi (Boyut küçültme)
- Zenginleştirme tesisine beslenen tüvenan kilin homojen hale getirilmesi. (Harmanlama)
- Kilin zenginleştirilmesi
- Kil konsantrelerinin susuzlandırılması

2.1.4.1. Ön Zenginleştirme

Ocak üretiminde, renklendirme yapan metal oksitli damarlar, iri organik parçaları, mikalar, toprak parçaları karışabilmektedir. Bu yabancı maddeler, ocak başı ilk işlem olarak gözle ayırt edilerek triyajla uzaklaştırılmaktadır. Bununla birlikte, doğal mıknatıslar veya elektro-magnetler kullanılarak, hammadde içine karışmış demir içeren manyetik parçaların uzaklaştırılması sağlanmakta, boyut küçültme işlemlerinde oluşabilecek problemler ortadan kaldırılmaktadır. Ayrılması istenen emrüteler sert ise, sertlik farkından yararlanılarak döner eleklerde yıkayıp boyuta göre sınıflandırılarak, atılmaktadır[2].

2.1.4.2. Boyut Küçültme

Hammaddenin zenginleştirilme öncesinde boyutunun 3 ila 5 cm irilikte olması gerekmektedir. Ocaktan elde edilen killerin bu boyuta indirilmesi amacıyla malzemenin özelliklerine göre; kuru ve sert killerin kırılmasında en çok çekiçli, çeneli ve meredaneli kıcılar; nemli ve plastik killerin boyut küçültme işlemlerinde ise kil yongalama makinası ve bıçaklı kırıcılar kullanılmaktadır[2].

2.1.4.3. Harmanlama

Ocaktan üretilen ve değişik damarlardan alınarak belli boyuta indirilen killeri değişik fiziksel ve kimyasal yapı gösterdiklerinden, bunların kullanılabilmesi için homojenleştirilmesi ve tespit edilen bir standarta getirilmesi gerekmektedir. Bu homojenleştirme standart harmanlama metodları ile gerçekleştirilmekte olup, bunun için malzemeyi stoklama ve stoktan alma işlemlerinde değişik metodlar kullanılmaktadır. Harmanlama işlemi stoklama sırasında yapılabildiği gibi, stoklama ve stoktan alma sırasında da yapılmaktadır[2,4].

Stoklama İşlemi sırasında harmanlama

- a) Konik stoklamada, değişik karakterli hammaddeler üstüste tabakalar halinde stok edilir ve stoktan alma işlemi yandan olur.
- b) Konik stoklar yanyana stoklanır ve numune alınırken her farklı stoktan alınan numuneler yine bir konik stoklamaya tabii tutulur.
- c) Yarı sirküler ve tam sirküler stoklama yapılır ve loder yardımıyla karışım tankında karıştırılır.
- d) Bant konveyör sistemi ile değişik malzemelerin karışım silosu içine beslenmesi ile olabilir.

Stoklama ve Stoktan Alma Sırasında Harmanlama

Daha çok mekanik araçlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu iş için en çok kullanılan yöntemler;

- a) Bir vinç yardımı ile stoğun belli yerlerinden alınan numunelerin aktararak karıştırılması.
- b) Reclaimer yöntemi ile stoklama ve stoktan alma sırasında harmanlama
- c) Tripper bantı ile stoklama ve harmanlama
- d) Arabalı band ile stoklama ve harmanlama

2.1.4.4. Zenginleştirme

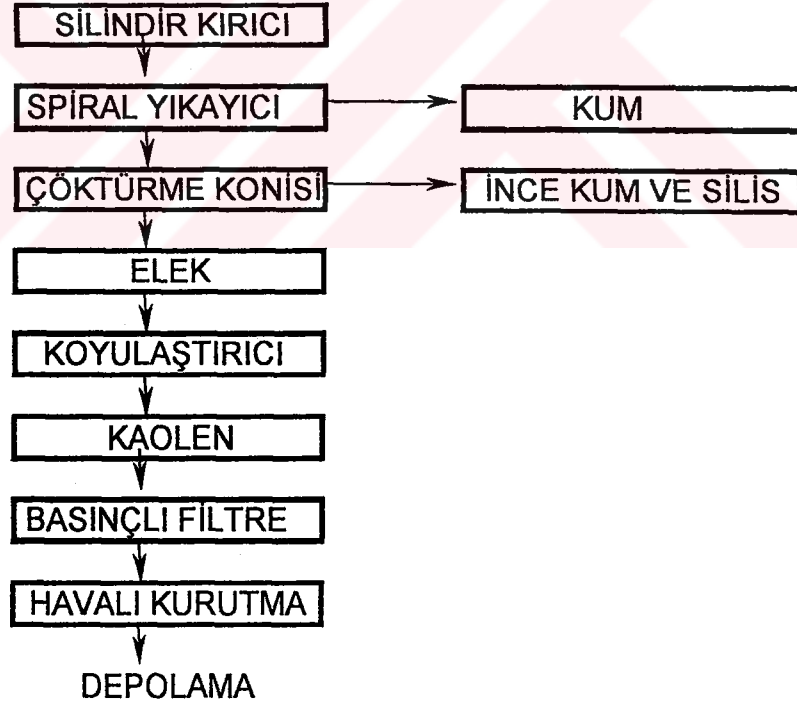
İstenilen irilikte ve homojenlikte olmasına karşılık, bazı istenmeyen maddelerin bulunması veya bazı maddelerin istenilenden fazla oranda olması sebebiyle, killerin zenginleştirilmesi teknolojik bir zorunluktur. Mesela; kil ve kaolenler içinde kuvars ve feldspat istenilenden fazla miktarlarda bulunabilir veya istenmeyen mika-titan-

demiroksit ve suda çözünen sülfatlı mineraller bulunabilir. Bu amaçla değişik zenginleştirme yöntemleri kullanılarak kil ve kaolenin istenilen kimyasal bileşime getirilmesi sağlanır. Killerin zenginleştirilmesi, genel olarak kilin su ile yıkama ve mekanik dağıtma ile açılıp, boyuta göre sınıflandırılması, işlemlerini içermektedir[2,4,5].

- Su ile Yıkama ve Çöktürme ile zenginleştirme

Kilin spiral yıkayıcılarda, dağıtılması ve kum boyutundaki tanelerin spiral ile taşınarak uzaklaştırılması ve küçük boyutlu kilin taşıma yolu eldesinden sonra konik havuzlarda ve çöktürme havuzlarında sınıflandırılarak zenginleştirilmesi, işlemlerini içeren bu yöntemin akım şeması Şekil 2.1’de gösterilmektedir[5].

Bu yöntemin dışında, ocakta jetlerle su püskürtme yapılarak üretilen kil hidrosiklonlar vasıtası ile boyuta göre sınıflandırılarak zenginleştirilmektedir. Bunun bir uygulaması Camborne (İngiltere) kil tesisinde mevcuttur[6].

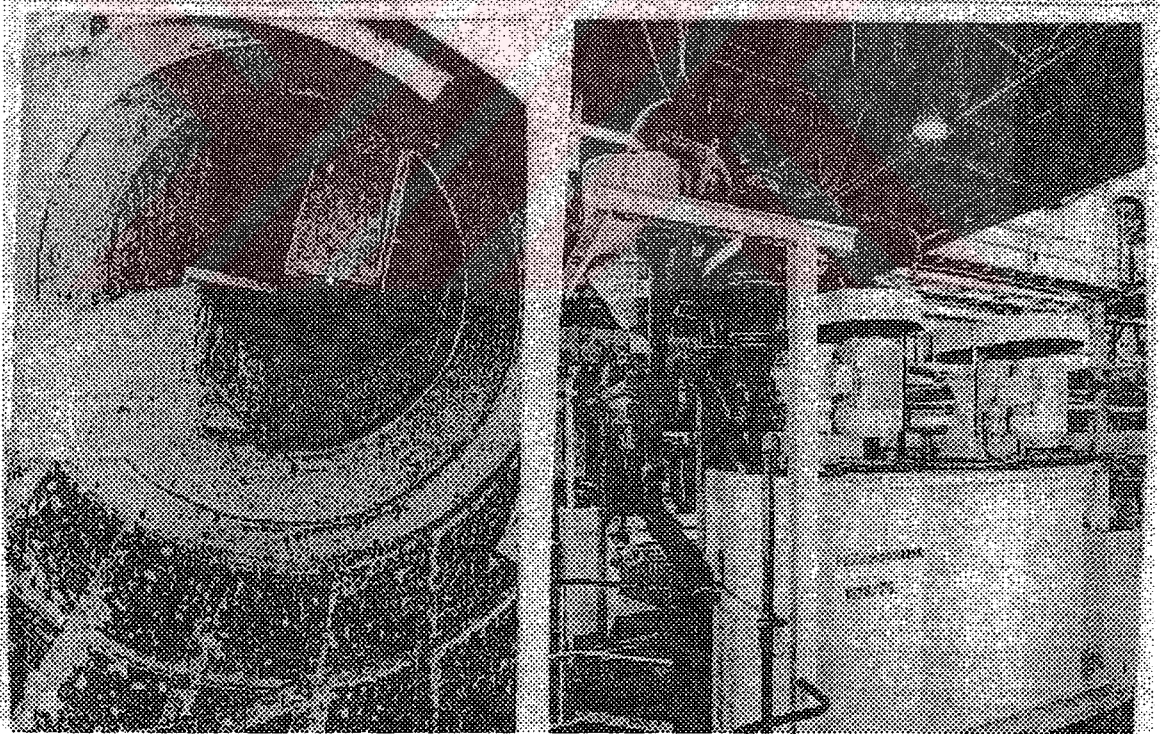


Şekil 2.1. Kaolenin Yıkılarak Zenginleştirilmesine ait Akım Şeması[5].

- **Mekanik Dağıtma ve Boyuta Göre Sınıflandırma ile Zenginleştirme**

Mekanik dağıtma ile kil ve kaolenin su içinde dağıtılması ve boyuta göre sınıflandırılmasını içeren bu yöntemde, aktarma tamburu (yıkama tamburu), döner bıçaklı yıkayıcı (rotary knife washer) ve pervaneli yıkayıcılar (attrition scrubber) kullanılarak açılan kil, eleklerle iri boyutlu çakıl taşı ve organik maddelerinden arındırılır. Bu aşamadan sonra değişik boyut sınıflandırıcılar (çöktürme havuzu, hidrosiklon bataryaları, santrifüj sınıflandırıcı, çanaklı santrifüj sınıflandırıcı) kullanılarak iri boyutlu malzemenin uzaklaştırılması ile kilin zenginleştirilmesi sağlanmaktadır. Şekil 2.2’de bu yöntemde kilin dağıtılarak açılması için kullanılan mekanik dağıtıcılardan, aktarma tamburu ve attrition scrubber görülmektedir[7,8,9].

Yukarıda bahsedildiği gibi dağıtılarak açılan kilin zenginleştirilmesinde en önemli adım olan boyuta göre sınıflandırma işlemi günümüzde daha çok, merkezkaç kuvvetinin sınıflandırmada etkili olduğu hidrosiklon bataryaları kullanılarak gerçekleştirilmektedir[10].



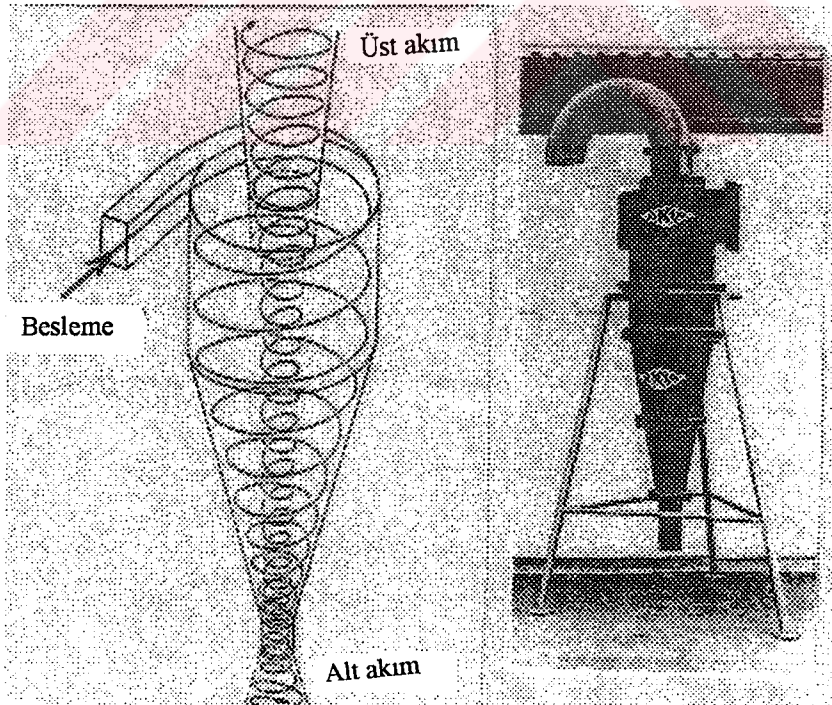
(a)

(b)

Şekil 2.2. Mekanik Dağıtma amacıyla kullanılan bir yıkama tamburu(a) ve Yüzey Aşındırıcı (Attrition Scrubber)(b)[8].

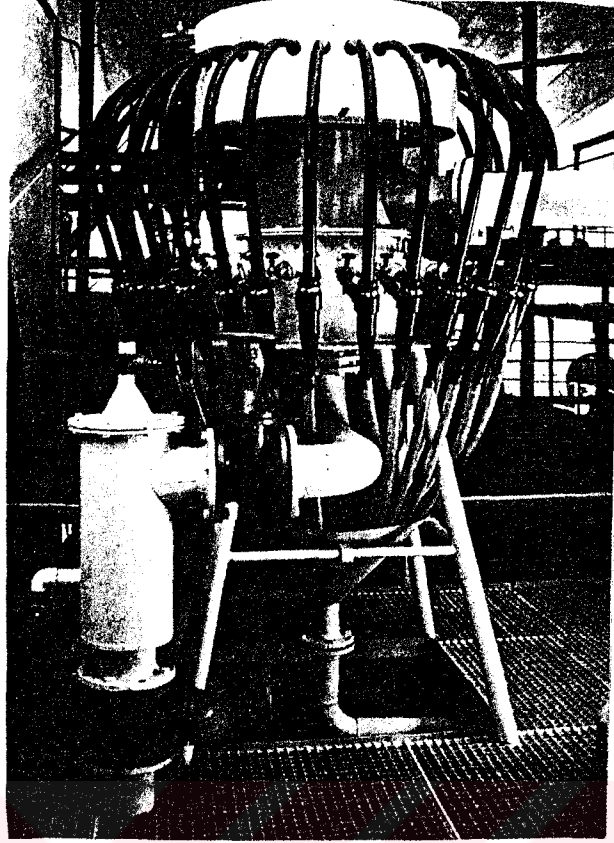
Hidrosiklon içi boş, üst kısmı silindirik ve alta doğru konikleşen bir tüpten oluşmaktadır. Teğetsel olarak beslenen pülp, silindirik kısmın yapısı nedeniyle dönmeye başlar. Hızla dönen süspansiyonki iri taneler merkezkaç kuvvet etkisiyle siklonun dış çeperine doğru yönelerek alt çıkıştan (apex) dışarı atılır. küçük taneler ise alt çıkışa aktarılan iri tanelerin akımının ters yönünde oluşan bir girdapla yukarı doğru yükselerek, üst çıkıştan (vortex finder) dışarı alınırlar. Hidrosiklon prosesine etki eden parametreler siklon çapı, besleme borusu çapı, alt konik bölümünün açısı, üst ve alt çıkış çapları, besleme basıncı ve süspansiyon yoğunluğudur(Morgan, 1983). Şekil 2.3’de bir hidrosiklonun akış diyagramı görülmektedir[11].

Kil zenginleştirme teknolojisinde hidrosiklonlar, bataryalar halinde kullanılmaktadır. Özellikle kaolen ve kil zenginleştirmede kullanılan siklonların çapları 200 mm’den 10 mm’ye kadar olmaktadır. Bu siklonlar porselen veya poliüretandan yapılmaktadır. Bunun amacı, kil içinde istenilmeyen safsızlık olan demir karışmasını önlemektir. Şekil 2.4’de kil zenginleştirme tesisinde kullanılan hidrosiklon bataryası ile, Şekil 2.5’de Hidrosiklon kullanarak zenginleştirme yapan Kale-Maden Kil-Kaolen zenginleştirme tesisi akım şeması verilmektedir[8,9,12].



Şekil 2.3. Hidrosiklondaki akış diyagramı ve Şematik Görünüm[8].

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
TOKİ MANTASYON MERKEZİ



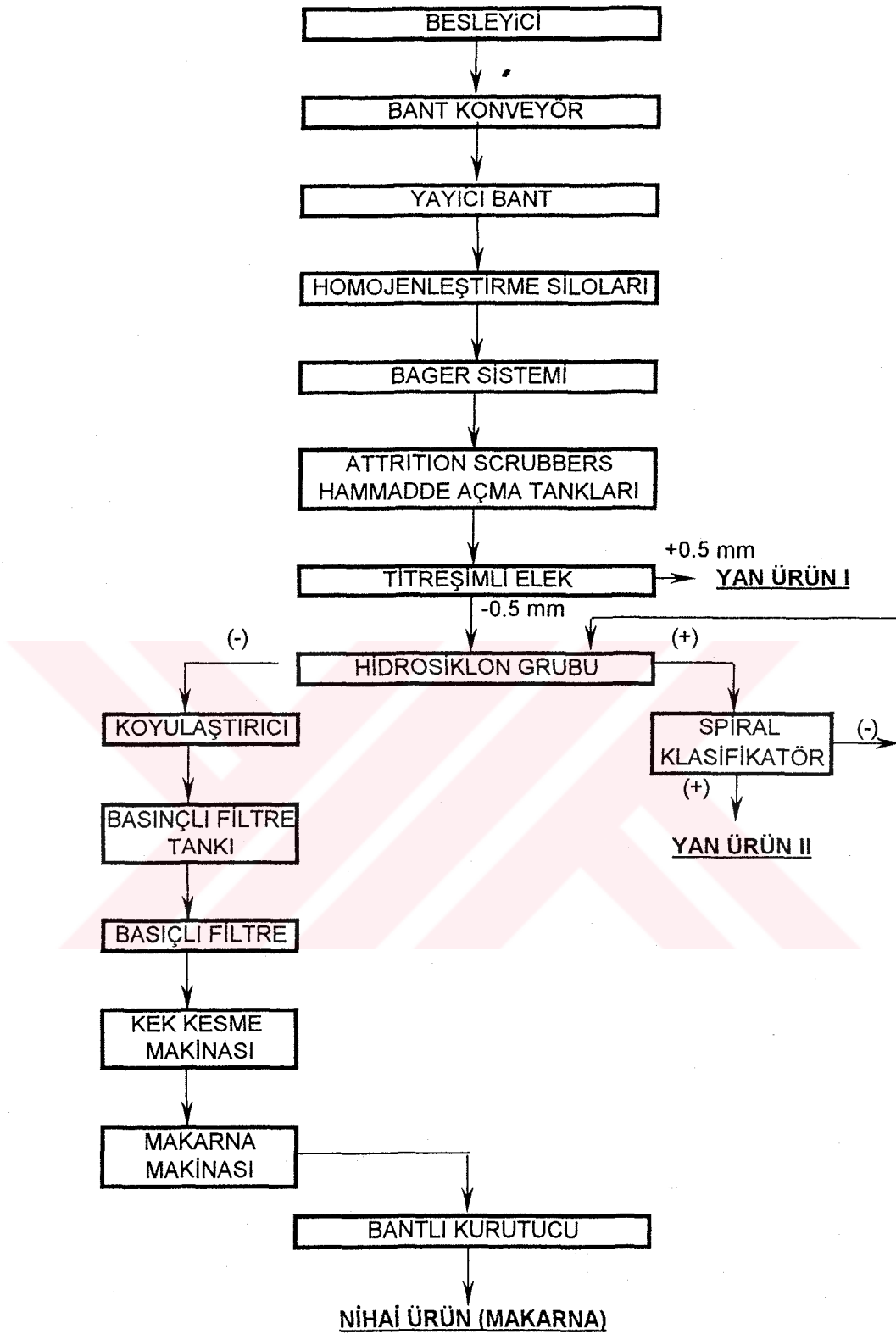
Şekil 2.4. Kaolen zenginleştirme tesisindeki bir Hidrosiklon bataryası[8].

- **Manyetik ayırıcılar kullanarak zenginleştirme;**

Kil ve kaolen içindeki manyetik duyarlılığı (permeabilitesi) yüksek olan demir ve titan gibi mineralleri ayırmak için manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Yaş olarak gerçekleştirilen manyetik ayırma ile yapılan zenginleştirmede, tabii mıknatıslı veya elektro mıknatıslı tambur tipi (Gröndal) ve bantlı separatörler (Crockett) kullanılmaktadır. Son yıllarda manyetik permeabilitesi düşük mineraller için yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcılar (Jones, Carpc) başarı ile kullanılmaktadır[2].

- **Flotasyon ve yöntemi ile zenginleştirme**

Teknolojik olarak killer, aminler kullanılarak flotasyon yöntemi ile zenginleştirilebilmektedir. Fakat, fiziksel yöntemlerin daha basit ve ekonomik olması nedeniyle, bu yöntem uygulama alanı bulamamaktadır[14].



Şekil 2.5. Kale-Maden Semedeli Kil-Kaolen Zenginleştirme tesisi akım şeması[13].

- **Killerin Kuru Yöntemle Zenginleştirilmesi**

Kilin zenginleştirilmesinde kullanılan yaş yöntemlerin yanında, ham kilin tozlaştırılması, kurutulması ve hava ile ayırmayı içeren, kuru yöntemler de kullanılmaktadır. Kuru proseslerde %20-25 nem içeren killer, toz haline getirilmeden önce, döner fırınlarda %1-2 nem düzeyine kadar kurutulurlar. Alternatif olarak kil, öğütme sırasında değirmene sıcak hava verilerek de kurutulabilir. Kuru veya kısmen kuru kil değirmende öğütüldükten sonra, bir havalı ayırıcıda (havalı siklon veya havalı klasifikatör) sınıflandırılarak ayrılır[10].

2.2. Killerin Susuzlandırılması

Zenginleştirme yöntemi kilin özelliklerine göre belirlenmekle birlikte, çok yaygın olarak su kullanılmaktadır. Elde edilen kil konsantrelerinin seramik sanayiinde kullanıma hazır olması amacıyla, su-katı karışımının (pülpün) susuzlandırılarak, katı-sıvı ayırımının yapılması gerekmektedir.

Susuzlandırma yöntemleri çok genel olarak üç grup altında toplanabilir;

- a) Çöktürme veya Koyulaştırma
- b) Filtrasyon
- c) Kurutma

Susuzlandırma proseslerinde verimi etkileyen faktörler; Tane boyut dağılımı, tane şekli, tanenin yüzey özellikleri, beslemedeki katı oranı, kolloidal katı içeriği, sıvının viskozitesi ve sıcaklığı, çözünmeyen tuz içeriği, olarak sıralanabilmektedir[4].

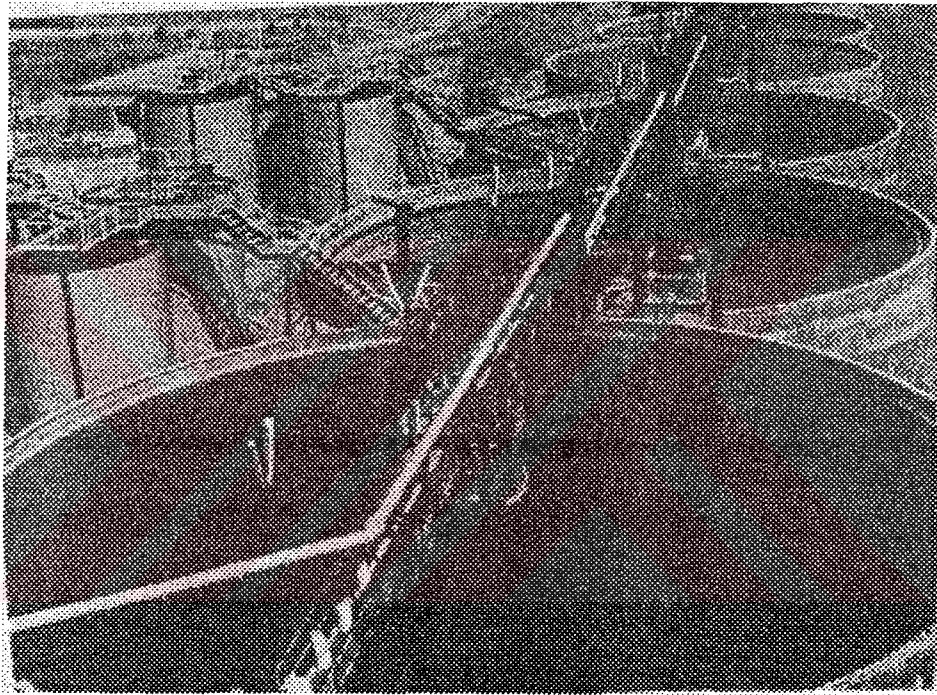
2.2.1. Çöktürme (Koyulaştırma)

Çöktürme, pülp içindeki kil taneciklerinin bir çökeltme kabı içerisinde gravite kuvveti etkisiyle çökelti olarak, koyulaşmış bir çökelti ve kabın üst kısmında temiz bir su oluşacak şekilde ayrılması işlemine denmektedir. Tanelerin çökeltme hızları, serbest çökme koşullarında, tane boyutlarına bağlı olarak, Stokes(küçük boyutlarda $<0.1\text{ mm}$) veya Newton($>2\text{ mm}$) yasaları ile tespit edilir. Merkezkaç kuvvetten yararlanılarak yapılan çöktürme işleminde ise, taneciklerin çökeltme hızları merkezkaç kuvvet etkisi ile artırılır. [7,15,16].

2.2.1.1. Gravite Çöktürmesi ve Koyulaştırıcılar (Tikinerler)

Gravite çöktürmesi veya koyulaştırma kıl zenginleştirme tesislerinde en yaygın olarak kullanılan susuzlandırma tekniğidir. Yüksek kapasite temin eden, oldukça ucuz ve çökeltme sırasında ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin düşük olması nedeniyle, küçük tenelerin aglomerasyonuna en uygun yöntemdir[4].

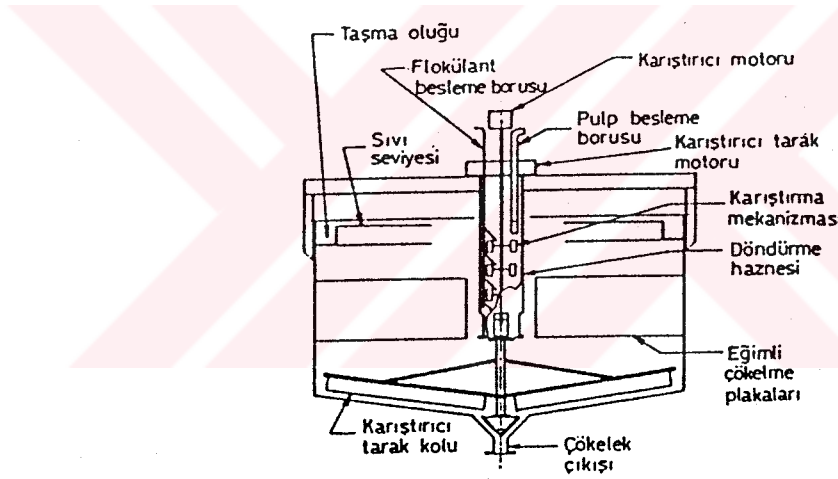
Çöktürmenin amacı pülpün katı oranını arttırmak ve aynı zamanda üst kısımda katılardan arındırılmış bir temiz su elde etmektir. Bu işlemin gerçekleştirildiği endüstriyel cihaza “Koyulaştırıcı” (Thickener) adı verilmektedir(Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Bir tesiste Tikiner Koyulaştırma Ünitesi

Koyulaştırıcılar, çapı 2 m’den 200 m’ye, yükseklikleri ise, 1 ila 7 m arasında değişen, silindirik bir tanktan ibarettir. Pülp tikinere yüzeyin 1 m kadar altından beslenir. Böylece sakin ve uygun derinlikte bir besleme temin edilir. Temiz su çevreboyunca yerleştirilmiş bir taşma kanalından tikineri terk eder, çökelen kısım ise, taraklı bir karıştırıcı yardımı ile hafifçe meyilli olan tank tabanı ortasındaki çıkış noktasından tikineri terk eder. Taraklı karıştırıcı çökelen malzemenin belirli bir derecede akışkan kalmasını ve dolayısıyla kolay hareketini sağlamak dışında, kompresyon zonunda tortu içerisinde kanallar meydana getirerek suyun uzaklaşmasını ve bu sayede katı konsantrasyonunun artmasını da temin eder[4].

Bir tikinerin iki temel fonksiyonu vardır. Birincisi, tikinlerde temiz bir su elde edilmelidir. Bu yüzden suyun yukarı doğru olan hızı her zaman partiküllerin çökme hızından az olmalıdır. Bu durum, tikinerin içindeki katıların çökebilmesi için yeterli bir alana sahip olmasını gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla, başarılı bir çöktürme ve temiz su elde etme kapasitesi, tikinerin çapı ile ilgilidir. Koyulaştırıcılardan belirli konsantrasyonda bir çökelek elde edilmesi gerekir. Bu da tanelerin tikinlerde kalma süresi, dolayısıyla tikiner yüksekliği ile ilgili olmaktadır. Bu nedenler gözönüne alındığında, tane boyutu küçüldükçe, koyulaştırıcı yüzey alanları arttığından, koyulaştırıcılar çok geniş alanlar kaplamaktadırlar. Bu da sakıncalar doğurmaktadır. Bu sakıncayı ortadan kaldırabilmek, daha küçük alanlarda, büyük kapasiteler elde edebilmek amacıyla, yüksek kapasiteli tikinler imal edilmiştir. Şekil 2.7’de görülen, Eimco yüksek kapasiteli tikineri bu amaçla geliştirilen tikinlere tipik bir örnektir[4,17,18].



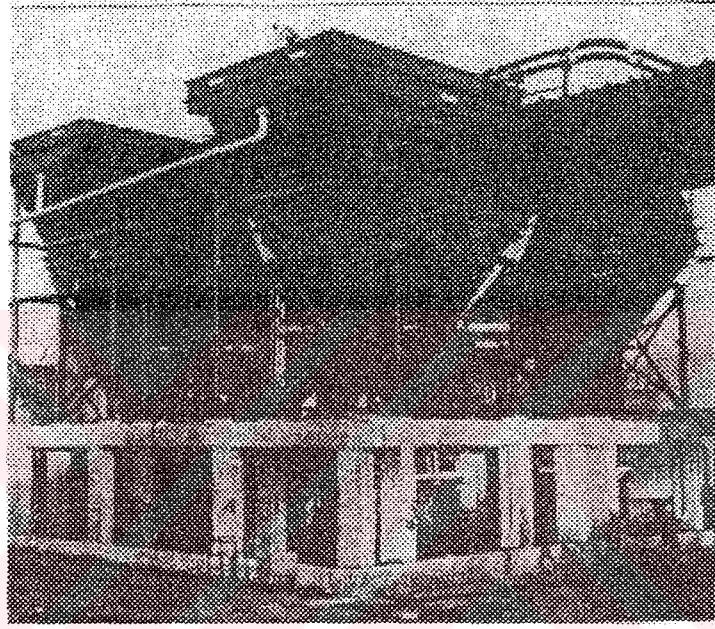
Şekil 2.7. Eimco Yüksek kapasiteli tikineri[4].

Küçük alanlarda büyük kapasiteler elde etmek amacıyla, koyulaştırıcının kapladığı alanını büyütme, çökeltme yüzey alanını büyütme ilkesi ile Lamella koyulaştırıcıları geliştirilmiştir(Şekil 2.8). Bu tip tikinlerde, eğimli paralel plakalardan, oluşan bir kafes içinde, katı tanelerin çökeltme mesafesi azaltılmakta ve aynı zamanda efektif çökme alanı artırılmaktadır. Bir lamella tikinerinin tesis içinde kaplayacağı alan, aynı çökeltme kapasitesine sahip bir konvansiyonel tikinerin %20'si kadardır. Eğimli paralel levhalar çökeltme katıların koni şeklindeki boşalma ucuna doğru kaymasını sağlamaktadır. Böylece efektif çökeltme alanı, bu paralel levhaların yatay eksenindeki izdüşümleri olmaktadır[4,19].

Kullanılan levha sayısı n , her levhanın yüzey alanı A ve levhalar ile yatay düzlem arasındaki açı α ise;

$$A_{ef}=n \cdot A \cdot \cos \alpha$$

α açısı pülpün levhalar üzerinde rahatça kayabilmesi için partiküllerin sürtünme açısından büyük olmalıdır. Bu açı değeri genelde 45° ile 60° arasında değişmektedir. Yapışkan malzemenin Çöktürülmesi işlemlerinde bütün lamella kafesi sürekli veya aralıklı olarak titreştirilmektedir[4,19].



Şekil 2.8. Lamella Tikineri[20].

2.2.1.2. Merkezkaç Kuvveti ile Koyulaştırma

Merkezkaç kuvveti, gravite kuvvetlerinden 500-3000 kere büyük bir kuvvet olup, susuzlandırma işlemlerinde bu etkiden yararlanılmaktadır. Bu yöntemde, katı sıvı ayırımı, katı ile sıvı arasındaki yoğunluk farkına dayanır. Taneler yerçekiminin bir kaç katı ivmelere maruz bırakılarak sudan ayrılırlar. Susuzlandırma ve koyulaştırma amacıyla kullanılan ve katı ayırımını bir sepet içinde yapan, Sepetli Santrifüj Susuzlandırma cihazı, aynı amaç için kullanılan Disk-Nozzle Susuzlandırma cihazı, yatay bir çanaktan ibaret olan Solid-Bowl koyulaştırıcıları ve içi boş, üst kısmı silindirik ve alta doğru konikleşen bir tüpten oluşan Hidrosiklon bataryaları, santrifüj kuvvetin etkisi ile katı-sıvı ayırımını gerçekleştiren cihazlardır[15,16].

2.2.2. Filtrasyon

Belli oranda susuzlaştırılarak koyulaştırılan kil konsantreleri, daha sonraki aşamada filtrasyon işlemine tabii tutularak, ürünün su içeriği istenilen düzeye indirilmektedir. Poroz bir ortamda katıların tutularak sıvının bu ortamdan geçmesi ve böylece katıların sıvılardan ayrılması işlemine “filtrasyon” denir. Filtrasyon, basıçlı ve vakumlu olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır.[4].

Herhangi bir filtrasyon işlemi için en uygun filtre, maliyeti en düşük olanıdır. Filtrenin maliyeti, filtre alanı ile artmaktadır. Bu yüzden filtre alanını artırmadan filtrasyon hızının artırılması tercih edilmektedir. Bu ise, yüksek basınçların kullanılmasını gerektirir. Sürekli çalışan filtreler genelde aralıklı (batch) çalışanlardan daha ekonomiktir ve daha fazla malzeme filtre etme imkanı vardır. Filtre kekinin direncinin yüksek olduğu durumlarda, aralıklı çalışan filtre kullanmak gerekebilir. Bunun nedeni sürekli çalışan filtrelerde kullanılan maksimum basınçların oldukça düşük tutulmasıdır. Bunlar dışında bir filtreden istenen diğer özellikler; kekin kolaylıkla, uygun bir fiziksel formda elde edilebilmesi ve süzülen kısmın kalitesinin, kontrol altında bulundurulabilmesidir[4].

Filtrasyon işleminde en önemli parametrelerden biri olan, filtrasyon hızını etkileyen önemli faktörler; a)Filtre ortamının her iki yanındaki basınç farkı. b)Filtre yüzeyinin alanı. c)Süzülen kısmın vizkositesi. d)Filtre kekinin direnci. e)Filtre ortamı ve başlangıç anındaki kek tabakasının direnci olmaktadır[4].

Bantlı tambur filtre (Belt-drum filter), vakum tambur filtre (Vacum drum filter), döner diskli filtre ve bantlı vakum filtreleri, vakum tipi filtrelerdir. Fakat, killerin filtrasyonunda daha yaygın olarak basınçlı filtreler kullanılmaktadır. Bantlı pres filtre, filter press (düşey ve yatay tip) ve tamburlu basınç filtre, basınçlı filtrelerden bazılarıdır. Bunlar arasında, aşağıda belirtilen avantajlardan dolayı filter presler tercih edilmektedir[4,9,21,22];

a)konstrüksiyonunun basit olması, b)güç ve bakım masraflarının az olması, c)küçük bir yerde geniş filtrasyon alanı vermesi, d)oldukça yüksek ($15-20 \text{ kg/cm}^2$) basınçların uygulanabilmesi, e) elde edilen kekin nemin düşük olması, f)levha ve çerçevelerin sayı ve ebadının değiştirilebilir olması buna bağlı olarak da kapasite ve kek kalınlığının değiştirilebilir olması, g) filtre ortamının kolaylıkla değiştirilebilir olması.

2.2.3. Kurutma

Kurutma en basit şekilde, sıvı kısmın buharlaştırılarak gaz haline gelen kısmın ortamdaki uzaklaştırılması ve böylece katıların sıvılardan ayrılması işlemi olarak tarif edilebilir. Katı-sıvı ayırımından elde edilen konsantrelerin içinde kalan uzaklaştırılması, pazarlama ve taşıma maliyetleri açısından önemlidir. Kurutma işlemi çökletme ve filtrasyona göre oldukça pahalıdır[4].

Kil zenginleştirme tesislerinde de susuzlandırma prosesinin en son aşaması olan kurutma işleminde, sürekli ve direkt ısıtılmalı kurutma sistemleri tercih edilmektedir. Direkt kurutucu, sıcak kurutma gazları ile filtre ürünü kekin yakın temasta olduğu ve rutubetin kurutucuyu dışarıya giden gazlarla terkettiği tip, kurutuculardır. Döner kurutucular, akışkan yataklı kurutucular, flash kurutucular ve bantlı kurutucular bunlardan bazıları olmakla birlikte, katlı kurutucular(heart dryer), püskürtmeli (spray) kurutucular cevher hazırlamada özel amaçlarla kullanılan diğer kurutuculardandır[9,23].

2.2.4. Susuzlandırma İşlemlerine Yardımcı Prosesler

Katı-su karışımlarının özelliklerinin ve yapılarının değiştirilmesi susuzlandırma proseslerinde verimi etkilemektedir. Bu özelliklerin değiştirilmesi, katı tanecik yüzeyleri ile su arasındaki bağ kuvvetlerinin azalmasına neden olarak, mekanik susuzlandırma işlemlerinde suyun daha kolay ayrılmasını sağlamaktadır. Mekanik susuzlandırma işlemlerinde verimi arttırmak amacıyla, değişik fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bilindiği üzere elektrokinetik potansiyel, katı-su karışımlarının susuzlandırılmasında, en önemli parametrelerden biridir. Koagülasyon işleminde çok önemli olan bu parametre, polielektrolit ilavesi ile değiştirilebilmektedir. Bununla birlikte kolloid stabilitesini değiştiren ultrasonik alan ve elektromagnetik alan da elektrokinetik potansiyeli etkileyen parametrelerdir[24,25].

Herhangi bir susuzlandırma prosesinden, en yüksek kapasitenin elde edilmesi, dolayısıyla proses veriminin yükseltilmesi için, çökme hızı mümkün olduğunca yüksek olmalıdır. Katıların çökmesine, genellikle flokülant kullanılarak, tane boyutunu büyütme sureti ile yardım edilir.

2.2.4.1.Flokülasyon- Koagülasyon ile Susuzlandırma

Koagülasyon ve flokülasyon susuzlandırmanın iki temel yöntemi olan çöktürme ve filtrasyon operasyonlarının verimliliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Küçük katı taneciği ile suyun meydana getirdiği süspansiyonlarda, taneler bazen tek başlarına ayrı ayrı bulunurlar. Bazen de birbirlerine yapışarak daha büyük taneler meydana getirirler. Birinci hale dispersiyon (dağılma), ikinci hale flokülasyon (salkımlaşma), adı verilmektedir. Katı ve suyun birlikte bulunduğu çeşitli cevher hazırlama sistemlerinde bu iki durum daima mevcuttur. Klasifikatörlerde, mineral tanelerinin disperse edilmesine, çöktürme tanklarında ise, floküle edilmesine çalışılır. Flokülasyon terimi genel olarak, koagülasyon ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Bunlar arasındaki fark, koagülasyonun elektriksel çekim kuvvetleri ile kontrol edilen bir salkımlaşma olması, flokülasyonun ise, yüksek molekül ağırlıklı organik maddelerin etkisiyle tanecikler arasında fiziksel bir köprü oluşturularak, elde edilmesidir[4,14].

Koagülasyon, mineral tanelerinin direkt olarak birbirlerine yapışmasına neden olmaktadır. Bu şekilde elde edilen salkımlar, küçük ve kompakt bir yapıda olmakta, çökme hızları artmakta, ancak çökme sonucu elde edilen çökelek filtrasyon işlemi için yeteri kadar poroziteye sahip olmamaktadır. Ayrıca elde edilen salkımlar oldukça zayıf ve kesme kuvvetleri etkisiyle kolayca parçalanabilir bir karakterdedir[4].

Flokülasyon ise, suda çözünebilen yüksek molekül ağırlıklı doğal veya sentetik organik polimerlerle yapılmaktadır. Bunların bir ucu tane yüzeyine adsorbe olur, diğer ucu ise başka bir taneye bağlanarak bir köprü meydana getirirler. Nişasta, tutkal, jelatin, reçine gibi doğal flokülantların molekül ağırlıkları, sentetik flokülant polimerlere göre çok daha az ve floküle etme kabiliyetleri oldukça düşüktür. Bu nedenle günümüzde genellikle sentetik polimerler kullanılmaktadır. Bunlardan molekül ağırlıkları yüksek olanlar aynı anda birden fazla partikül yüzeyine adsorbe olarak üç boyutlu bir matris meydana getirebilmektedirler[4,26,27].

2.2.4.2. Elektro-Kinetik ve Elektro-Akustik Etki ile Susuzlandırma

Etkili bir katı sıvı ayırımı gerçekleştiren elektrokinetik susuzlandırmadaki genel prensipler şu şekilde açıklanabilir[28];

a)Kolloidal parçacıkların uygulanan bir doğru akım alanı içinde hareketi (electrophoresis)

b)Kolloidal parçacıkların üniform olmayan bir elektrik alanı içinde hareketi (dielectrophoresis)

c)Uygulanan bir doğru akım alanı içinde poroz alan içine suyun akışı (electro-osmosis)

Bilindiği gibi kolloidal parçacıklar su içinde süspansiyon haline getirildiklerinde, bu taneler süspansiyonun türüne bağlı olarak bir elektrik yükü ile yüklenirler. Örneğin kil türleri pozitif yükle yüklenirken, kömür negatif yüzey yükü ile yüklenir. Bu parçacıklardan oluşan süspansiyon, bir elektrik alanına maruz bırakılırsa, katı tanecikler yüzey yüklerine bağlı olarak elektotlardan birine doğru hareket ederler[29].

Elektro-kinetik susuzlandırma işlemlerinde, harcanacak enerji miktarı, süspansiyondaki katı tanelerin özelliklerine bağlı olup, elektro-osmos süresi de, bu sarfiyatı olarak etkilemektedir. Kilin suyundan arındırılması amacıyla, elektro-osmoz susuzlandırma işleminin yapıldığı bir çalışmada, 30 saatlik bir sürenin bu yöntemle yeterli olduğu görülmüştür. Bu çalışmada buna bağlı olarak enerji tüketimi hesaplanmış ve karşılaştırması yapılmıştır[30].

Bu yöntem kullanılarak yapılan bir diğer çalışmada ise, bentonitik kil süspansiyonundaki başlangıç suyunun %70'i, aynı sonucu elde etmek için termal kurutmada harcanacak enerjiden çok daha az enerji sarfiyatı yapılarak uzaklaştırılmıştır[31].

Fosfatik killerin susuzlandırılması amacıyla elektrokinetik etkinin kullanıldığı diğer bir çalışmada, kesikli bir elektrik akımının ve ters kutuplaşmanın bu yöntem üzerinde dikkate değer bir gelişme sağladığı görülmüş, bununla birlikte enerji tüketiminin ve ters elektrot reaksiyonlarının da düştüğü saptanmıştır[28]. Bunların dışında kömür

şlamlarının susuzlandırılmasında elektrik alanın kullanılması ile ilgili olarak da bazı araştırmalar yapılmıştır[32].

Elektrokinetik susuzlandırma işleminin yanında, ultrasonik titreşim kullanılması, konvensiyonel susuzlandırma metodlarının kapasitelerini ve verimini arttıran bir unsurdur. Katı-sıvı ayırımında ultrasonik titreşim filtrelerin tıkanmalarını önlemenin dışında, emici bir etki yaratarak nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırmaktadır[33].



3. ULTRASONİK TİTREŞİM VE ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

3.1.Ses ve Ultrasonik

Esnek bir ortamda mekanik titreşimler halinde yayılan boyuna dalgalara ses denmektedir. Esnek madde ortamı 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 hoparlerinden yayılan ses, esas ses kaynağından yayılan ses olmayıp, titreşimleri bu sese benzeyen başka bir sestir[34].

Sesin fizyolojik özellikleri[34]:

a)Yükseklik : Sesin frekansıdır. İnsan kulağı yaklaşık 20 ile 20 000 herzt 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 “infra sonik”, 20 000 Hz.'den büyük olanlara ise “**ULTRASONİK**” denir.

b)Şiddet: Ses dalgalarının bir santimetrelik yüzeydeki güçlerine denmektedir. Birimi 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^{16} watt/cm² ile 10^4 watt/cm² şiddet değerleri arasındaki sesi duyabilir.

c)Tını ve Harmonikler: Ses kaynakları, genellikle ana ses denilen (en kalın) sesle birlikte, rekansları ana sesin frekansının tam katları olan tali sesler çıkarır. Bu tali

seslere ana sesin harmonikleri denir. Bu sesler etrafa ana sesle birleşmiş olarak yayılır. Tını ise, bir sesin kulağa tesiri olup, farklı kaynaklardan çıkan sesler aynı frekans ve şiddette olsalarda tınları farklıdır.

Elastik bir özelliğe sahip sıvı ve gaz ortamlar, bu özelliklerinden dolayı ses dalgalarını doğrusal yaymaya izin verirler. Sıvı ile gaz arasında en belirgin fark; sıvı ortamın gaz ortama göre daha yoğun olması ve çok daha az sıkıştırılabilir özelliğe sahip olmasıdır. Su ortamında çok büyük basınçlar uygulansa bile suyun hacminde bir değişiklik yapmak çok zordur[35].

Ultrasonik titreşim dalgalarının hava ortamında kullanımı, ve uygulaması su ortamında kullanımından daha az yaygındır. Çünkü hava ortamında dalgaların yüksek absorpsiyon özelliği vardır. Bununla birlikte sıvı ortamında ultrasonik dalgaların daha fazla kullanılması ve uygulanmasının sebebi, yukarıda da belirtildiği gibi su ortamının gaz ortamına göre daha yoğun ve sıkıştırılabilir özelliğinin daha az olmasıdır. Çok yüksek (>20 KHz) frekansa sahip ses dalgalarının (ultrasonik) verdiği enerji, mekanik enerjinin bir formudur. Sonik ve ultrasonik enerji sıvı, katı ve gaz gibi ortamlarda tüm materyellerde dalgasal olarak karakteristik bir hızda yayılmaktadır. Bu dalga hızı ortamın elastik özelliğine ve ortamın atalet özelliklerine bağlıdır[29].

3.2. Ultrasonik Titreşim Uygulamaları

Genel olarak ultrasonik dalgaların uygulamaları iki ana grupta incelenir. Yüksek yoğunluklu uygulamalar, 20-100 KHz frekans aralığında 0.1 W/cm^2 'den bir kaç Kw/cm^2 yoğunluktaki uygulamalardır. Düşük yoğunluklu ultrasonikler ise, 20 KHz frekans değerinden daha düşük frekanstaki uygulamaları içermektedir[36].

Ultrasonik titreşim, malzemelerin fiziksel özelliklerini karakterize etmek amacıyla kullanımı çok yaygın olmakla birlikte, tıbbi tasarımlarda, malzeme test yöntemlerinde, çatlak bulma, okyanus geometrisinde, temizleme işlemlerinde, gıdaların korunması işlemlerinde, akışkan akış ölçümleri alanında yüzey açma, kaynak (ergitme) ve plastiklerin montajı işlemlerinde, emülsiyonlarda partikül dispersiyon stabilitesini sağlamak amacıyla bir çok endüstride kullanılmakla birlikte madencilik sektöründe özellikle cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde kullanılabilecek bir potansiyele sahiptir[37,38,39,40,41]

3.3.Madencilik ve Metal Endüstrisinde Ultrasonik Titreşim Kullanımı

3.3.1. Yüzey Temizleme

Ultrasonik titreşim, metal yüzeylerinin temizlenmesinde kullanılmaktadır. Ultrasonik titreşim temizlemede, iki etki yaratmaktadır.; Temizlenecek malzemenin yüksek yoğunluklu titreşimlerle fiziksel olarak temizlenmesi ve temizleme çözeltisinde içerisinde çözülebilir olanların kimyasal olarak çözülmesi ve çözilemeyen kirliliğin de dağıtılması. Bu method açığa çıkan, yüzeyde bulunan veya aygıtların, bilgisayarların, motorların, değerli metal veya taşların, metalden, plastikten, fiberden, seramikten veya camdan yapılmış malzemelerin çatlaklarında bulunan bütün yabancı maddeleri uzaklaştırır[42].

Temizleme ve yıkama işlemlerinde ultrasonik titreşim dalgalarından yararlanılmakta olup, Tellerin ve profillerin endüstriyel olarak temizlenmesi işlemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik etki ile yüksek yoğunluklu kavitasyon sonucu yıkama daha hızlı olmakta, yıkama malzemesi ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır. Malzemelerin yağından temizlenmesi, yağ çekme ve teller üzerindeki pasın çekilmesi gibi işlemler, yaygın kullanım alanlarıdır. Verimli bir temizleme için yüksek dereceli ultrasonik dalgaların etkisi ile yaratılan yüksek kavitasyona ihtiyaç vardır[41,43].

3.3.2.Gaz-Katı ve Sıvı- Katı Sistemlerinden Katının Ayrılması

Çok ince parçacıkların gazlardan ve sıvılardan ayrılması, uzaklaştırılması işlemi önemli bir endüstriyel uygulamadır. Yüksek yoğunluklu ultrasonik titreşim kullanımı, konvensiyonel ayırma yöntemlerinde kapasite ve verimi arttırmaktadır[33].

Yüksek yoğunluklu akustik enerji, süspansiyon içindeki çok ince taneleri aglomera edebilme özelliğinden dolayı, çok ince tanelerin süspansiyonlardan uzaklaştırılmasında kullanılabilmektedir. Özellikle termik santrallerde çıkan dumanın içindeki kömür parçacıkların tutulması sağlanarak, filtrasyon işleminde verim yükseltilebilmektedir. Yapılan bir çalışmada dikdörtgen biçimdeki aglomerasyon odalarının duvarlarına bir kaç ultrasonik transducer yerleştirilerek çok ince boyuttaki

(<1 mikron) parçacıkların filtrasyonda tutma veriminin %7 oranında artması sağlanmıştır[39,44].

İçerisinde uzaklaştırılması gereken çok ince partiküllerin bulunduğu gaz süspansiyonlarında ultrasonik titreşim, partiküllerin aglomerasyonunu sağlamaktadır. Bu etki ile oluşan aglomerasyon işlemi, partiküllerin tane boyutunu büyütür, elektrostatik filtreler ve siklonlar gibi konvensiyonel filtrelerde katı toplama verimini arttırmaktadır. Konvensiyonel filtreler, iri partiküllerin toplanmasında verimli iken, 2.5 mikron'dan küçük tane boyutları için efektif olamamaktadır. Akustik aglomerasyon işlemi, verimsiz olan çok ince partiküllerin toplanmasında verimi artırıcı bir rol oynamaktadır. Ultrasonik titreşim, flokülasyon, koagülasyon ve dispersiyona sebep olmaktadır. Ayrıca ultrasonik etki kimyasal reaktiflerin mineral yüzeyine adsorpsiyonunu kuvvetlendirmektedir. Katı-sıvı ayırımında ultrasonik titreşim, filtrelerin tıkanmalarını önlemektedir. Fakat buradaki etki gaz ortamındaki etkiden daha az olmakla birlikte, çok ince boyutlu tanelerin susuzlandırılmasında, özellikle yüksek katı konsantrasyonlarında kullanışlı olmaktadır. Katı sıvı ayırımında emici bir etki yaratarak, nemin uzaklaştırılmasını kolaylaştırır[33,45].

Yüksek yoğunluklu sonik ve ultrasonik enerjinin kavitasyona sebep olduğu bilinmektedir. Sistemde katı parçacıkların varlığı durumunda kavitasyon seviyesi daha yüksek olur. Katı yüzeyleri üzerinde biçimlenen mikrokabarcıklar katı-sıvı ayırımına yardımcı olurlar. Bunun nedeni gaz-sıvı arayüzey enerjisinin, katı-sıvı arayüzey enerjisinden çok daha düşük olmasıdır. Ayrıca kavitasyon, yüksek sınırlı şok dalgalarının üretilmesini sağlar. Bunlar katı-sıvı ayırımını hızlandırır. Ayrıca ultrasonik enerji ortam tarafından absorbe edilerek ısıya dönüşür. Bu iç ısı oluşumu ve dolayısıyla sıcaklık yükselmesi viskozite ve yüzey gerilimini düşürücü etki doğurarak, suyun uzaklaştırılmasını kolaylaştırır. Sıcaklık yükselmesi kavitasyon etkisini artırır. Yukarıda anlatıldığı gibi, yüksek kavitasyon ve kısmi absorpsiyona neden olan içsel ısınma, süspansiyon içindeki akışkanın uzaklaştırılmasını hızlandırır[29].

Yapılan bir çalışmada ultrasonik titreşimin, yüzey aktif reaktiflerle yapılan vakumlu filtrasyon işleminde etkisi incelenerek sonuçları ortaya koyulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, kekin neminin düştüğü ve filtrasyon hızında bu etki ile arttığı görülmüştür[45].

3.3.3. Flotasyon

Flotasyon günümüzde, cevher hazırlama ve zenginleştirme işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Son yıllarda flotasyonu teknolojik ve ekonomik yönden geliştirmek için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu amacın başarılabilmesi için en yeni ve etkin yollardan biri, flotasyon yöntemiyle minerallerin birbirinden ayrılmasında ultrasonik ses dalgalarının kullanılmasıdır. Bu konu üzerinde çalışan bir çok araştırmacı, ultrasonik dalgaların flotasyon işleminde yüzebilirliği belirli bir şekilde arttırdığı ve prosesi geliştirdiği ortaya koymuştur[46,47,48,49].

Ultrasonik titreşim uygulamalarında akustik alan, özellikle flotasyon işlemlerinde çok önemli nedenlere sebep olan etkiler üretmektedir. Çoğu çalışma flotasyon işlemleri öncesindeki ultrasonik etkinin araştırıldığı çalışmalar olup, bununla birlikte flotasyon sırasında ve sonrası proseslerde bu etkinin araştırıldığı çalışmalarda mevcuttur. Çoğu araştırmalar göstermiştir ki, yoğun akustik alan mineral konumunu, kimyasal ve dağıtma etkilerine bağlı olarak değiştirebilmektedir. Kimyasal etkiler kavitasyonun neticesi olarak açıklanabilmektedir. Basınç ve sıcaklıktaki yükseliş etkisi de buna eşlik etmektedir. Sıvı-katı etkileşimler sıvının kohezyon kuvvetinden daha zayıf olduğu için, katı-sıvı arayüzey gerilimini azaltmaktadır. Özellikle, hidrofobik parçacıklar daha zayıf katı-sıvı etkileşimleri yaşamaktadırlar. Çünkü kavitasyon etkisi arayüzeylerin çoğunda oluşabilmektedir. Bu olay mineral yüzey özelliklerini değiştirip, mineral yüzeyine kollektör adsorpsiyonunu kolaylaştırarak, flotasyon yeteneğini arttırmaktadır. Diğer yandan, ultrasonik titreşim süspansiyonun içinde kullanılan reaktifin daha üniform dağıtımını sağlayarak, yaratacağı etkiyi arttırmaktadır[50,51].

Kavitasyon ile açığa çıkan enerjinin en basit etkisi, süspansiyon içinde asılı olan tanelerin yüzeylerini temizliyor olmasıdır. Bunun kompleks etkisinin ise, mineral yüzey özelliklerini bozacağı düşünülebilir. Elektrostatik ayırma gibi fiziksel ayırma rejimlerinde ve solüsyonlarda, diğer tanelere yardımcı olan kavitasyon, flotasyon öncesi ve flotasyon işlemi boyunca kullandığı zaman bazı reaktiflerin kimyasal yapısını değiştirebilir yada suyun yapısını peroksit şekline çevirebilir[43].

3.3.4. Selektif Zenginleştirme

Katı sıvı sistemlerinde çok büyük etkiler üreten ultrasonik titreşimin, flotasyon işlemlerinin yanında, selektif flokülasyon ve yağ agglomerasyonu işlemlerinde kullanımına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Uçucu küllerin zenginleştirilmesine yönelik, inorganik maddelerin yanmamış kömürden ayrılması amacıyla yapılan bir araştırmada, kolon flotasyon hücresine adapte edilen ultrasonik transduser ve ön kondisyonlama tankında kullanılan bir ultrasonik prob ile yağ agglomerasyonu yapılarak, ultrasonik titreşimin bu proseste karbon kalitesini olumlu yönde etkilediği ortaya koyulmuştur[52].

Demir cevherleri artığının (%50.5 Fe) değerlendirilmesine yönelik olarak ultrasonik titreşim altında yapılan selektif flokülasyon çalışmalarında, %65 Fe içeriği ve %91 kazanma verimi ile demir konsantresi üretimi sağlanırken, ultrasonik etki olmaksızın bu değer %59 Fe içeriği ve %75 demir kazanma verimi olmaktadır. Bu iyileşme, katı-sıvı ara yüzeylerinde oluşan bozunmalara bağlıdır ki, buda flokülantın mineral yüzeyine adsorpsiyonunu kolaylaştırır. Buna bağlı olarak selektivite ve verim artmaktadır. Ayrıca ultrasonik etki ile birlikte aktivasyonun artması, dispersiyona sebep olur ki, buda sonucu etkileyen bir olaydır[53].

3.3.5. Tane boyut ölçümü ve Eleme

Bu işlemlerin yanında akustik etki, tam ve doğru bir boyut ölçümü işlemlerinde dispersiyonu sağlaması açısından, başvurulan bir yöntemdir. Edwards ve Bremmer (1967)'e göre katılar, makro ve mikro agregatlerden oluşmaktadır. Çok kolay ıslatma ve düşük enerji karışırmaları ile makroagregatların boyut tespiti yapılabilmektedir. Fakat, özellikle 2 mikron altındaki aglomeratların gerçek boyut tespitinin yapılabilmesi için, tamamının disperse edilmesi, aralarındaki bağlantıların kırılması ve de normal boyutlarına çevrilmesi gerekmektedir. İşte uygulamalarda özellikle dispersiyonun sağlanması için ultrasonik titreşim kullanılmaktadır. Özellikle de çok ince boyuttaki tanelerin boyut tespitinde, aglomerat halindeki tanelerin dağıtılarak gerçek boyut ölçümü sağlanmaktadır. Ayrıca endüstriyel ve laboratuvar ölçekli eleme işlemlerinde, ultrasonik titreşimin çok küçük boyuttaki taneler üzerinde yarattığı bu etkilerden yararlanılmaktadır[41,54].

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalarda; Kil susuzlandırma işlemlerinde seramik ürünlerinin kalitesini etkilemesinden dolayı tercih edilmeyen flokülasyon işleminin alternatifi olarak düşünülen, ultrasonik titreşimin kil çöktürme işlemlerinde etkisinin belirlenmesi ve klasik yöntemlerde düşük olan çökme hızlarının artırılarak, daha kısa sürelerde yüksek pülpte katı oranında ürünler elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, doğal ortamda, ultrasonik titreşim etkisi altında, flokülant ilavesi ve ultrasonik titreşim etkisi altında flokülant ilavesiyle laboratuvar ölçekli deneyler yapılmıştır.

4.1. Malzeme ve Yöntem

4.1.1. Deneylere Esas Olan Numuneler

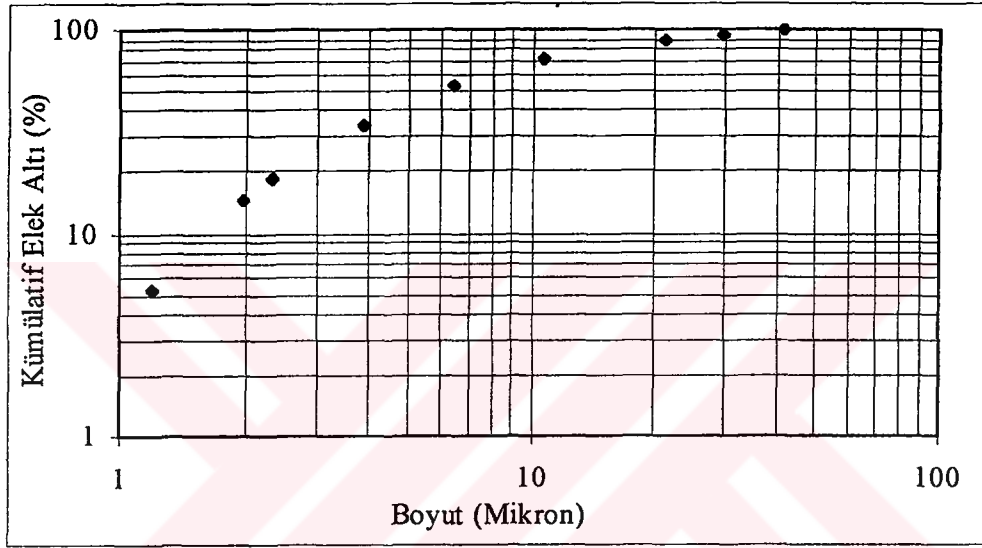
Deneylerde, Tablo 4.1’de görüldüğü gibi farklı bölgelerde üretilip, Kale-Maden Semedeli Kil-Kaolen Zenginleştirme tesislerinde zenginleştirilen, KİL 261, KİL 262, KİL 244, KAO 143 Kodlu numuneler, kullanılmıştır. Zenginleştirme tesisinde, dağıtıldıktan ve hidrosiklon bataryalarından geçirildikten sonra koyulaştırılmak üzere tikinerlere beslenen pülplü halindeki bu numuneler, bidonlar içerisinde İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı Laboratuvarlarına gönderilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Killerin Üretildiği Bölgeler

NUMUNENİN KODU	BÖLGE
KAO-143	Balıkesir/Düvertepe
KİL-244	Balıkesir/Düvertepe, İstanbul/Şile
KİL-261	Söğüt/Kadıköy
KİL-262	Söğüt, İstanbul/Şile

4.1.1.1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Deneysel Çalışmalarda kullanılan numunelerin fiziksel özelliklerini tespit etmek amacıyla Kale-Maden Ar-Ge Müdürlüğü'nde, Counter cihazı ile yapılan ölçümler sonucunda, numunelerin boyut dağılımları ve spesifik yüzey alanları bulunmuştur. Kil 261, Kil 262, Kil 244 ve Kao 143 kodlu numunelerin boyut dağılımları sırası ile, Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4'de verilmekte olup, bu numunelerin bazı boyutsal özellikleri ile spesifik yüzey alanları sırasıyla Tablo 4.2, Tablo 4.3, Tablo 4.4 ve Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

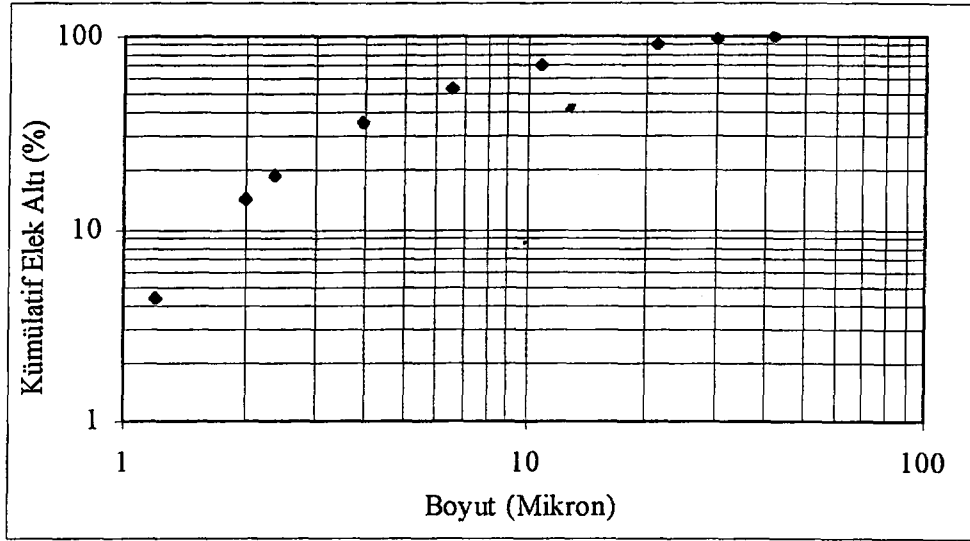


Şekil 4.1. Kil 261 Numunesine Ait Boyut Dağılımı

Tablo 4.2. Kil 261 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı

Spesifik Yüzey Alanı (m ² /ml)	1.565 (m ² /ml)
Median (mikron)	5.927 µ
Mode (mikron)	41.86 µ
Mean (mikron)	6.006 µ
d ₁₀ Boyutu (mikron)	1.581 µ
d ₇₅ Boyutu (mikron)	12.36 µ
d ₉₇ Boyutu (mikron)	37.32 µ

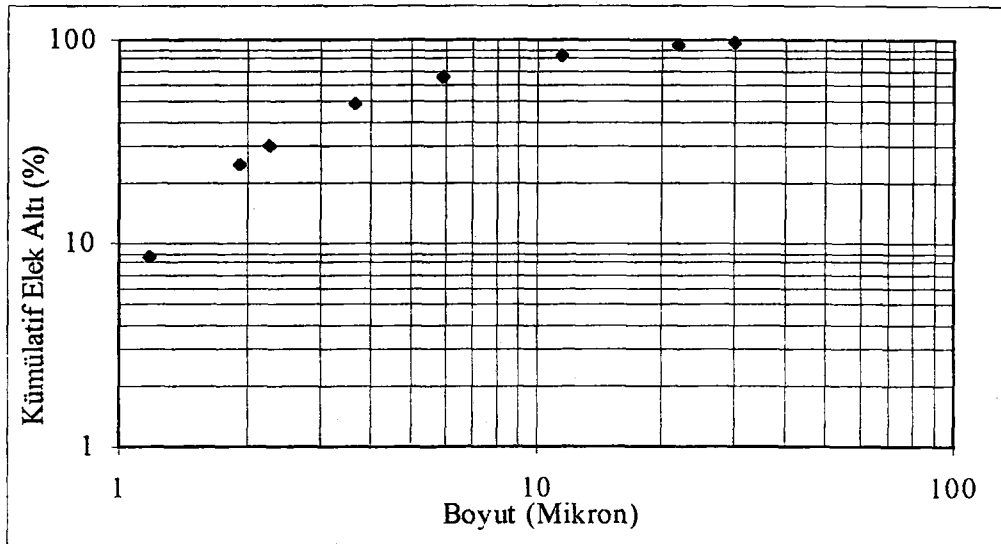
TC YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ



Şekil 4.2. Kil 262 Numunesine Ait Boyut Dağılımı

Tablo 4.3. Kil 262 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı

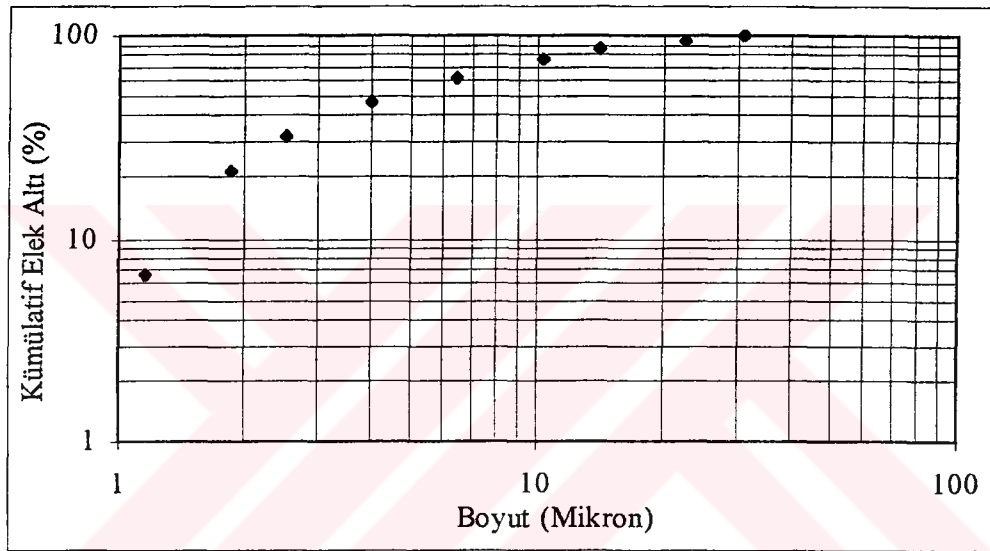
Spesifik Yüzey Alanı (m^2/ml)	1.543 (m^2/ml)
Median (mikron)	5.987 μ
Mode (mikron)	43.87 μ
Mean (mikron)	5.898 μ
d_{10} Boyutu (mikron)	1.664 μ
d_{75} Boyutu (mikron)	11.94 μ
d_{97} Boyutu (mikron)	30.46 μ



Şekil 4.3. Kil 244 Numunesine Ait Boyut Dağılımı

Tablo 4.4. Kil 244 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı

Spesifik Yüzey Alanı (m ² /ml)	2.147 (m ² /ml)
Median (mikron)	3.752 μ
Mode (mikron)	3.137 μ
Mean (mikron)	4.105 μ
d ₁₀ Boyutu (mikron)	1.241 μ
d ₇₅ Boyutu (mikron)	8.000 μ
d ₉₇ Boyutu (mikron)	26.69 μ



Şekil 4.4. Kao 143 Numunesine Ait Boyut Dağılımı

Tablo 4.5. Kao 143 Numunesine Ait Bazı Boyut Özellikleri ve Spesifik Yüzey Alanı

Spesifik Yüzey Alanı (m ² /ml)	1.976 (m ² /ml)
Median (mikron)	4.409 μ
Mode (mikron)	2.792 μ
Mean (mikron)	4.599 μ
d ₁₀ Boyutu (mikron)	1.303 μ
d ₇₅ Boyutu (mikron)	10.07 μ
d ₉₇ Boyutu (mikron)	25.83 μ

4.1.1.2. Numunelerin Kimyasal Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan kil konsantrelerinin kimyasal kompozisyonunu tespit etmek amacıyla, Kale-Maden Ar-Ge Müdürlüğü tarafından kimyasal analizler yapılmış, sonuçları Tablo 4.6’da verilmektedir.

Tablo 4.6. Kil Konsantrelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

KODU	K.K. %	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	TiO ₂ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	SO ₄ %
KAO-143	12.07	52.92	33.11	0.49	0.62	0.90	0.06	0.03	0.13	0.62
KİL-244	8.50	57.41	27.77	1.00	1.57	0.70	0.68	0.06	2.56	0.30
KİL-261	12.04	51.08	32.97	0.85	1.78	0.50	0.36	0.34	0.59	0.11
KİL-262	8.17	58.74	26.38	1.26	1.55	1.90	0.69	0.14	2.59	0.15

K.K. Kızdırma Kaybı

4.1.1.3. Numunelerin Mineralojik Özellikleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan zenginleştirilmiş kil konsantreleri bünyelerinde; kaolonit grubu kil mineralleri ile birlikte serbest silis kaynağı olarak kuvars, feldspat ve demir mineralleri, kalsit, jips, pirit, organik madde içermektedir. Yaklaşık olarak %95’inden fazlasını kaolinit+feldspat+kuvars oluşturmaktadır. Örneğin; Kao 143 kodlu kaolen numunesinin %89’u kaolinit, %8’i kuvars, %1’i feldspat ve %2’si ise diğer minerallerden oluşmaktadır. Kil 261 numunesi %80 kaolinit + %10 kuvars + %5 feldspat ve %5 diğer minerallerden oluşmakta, Kil 244 kodlu numune ise %62 kaolinit + %22 kuvars + %13 Feldspat + %3 diğer minerallerden oluşmaktadır[13].

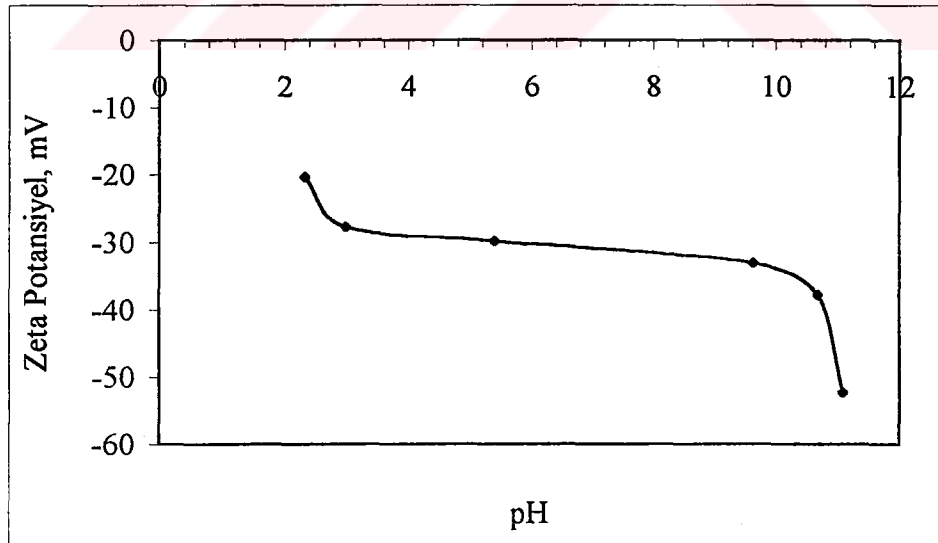
4.1.1.4. Numunelerin Elektrokinetik Özellikleri

Katı bir madde kırılıp su içine konulduğu zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı maddeden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren H⁺, OH⁻ iyonları nedeniyle, katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik yükü kazanır. Elektrik yüklü bir yüzey ile bunu çevreleyen ve çeşitli, iyonları içeren çözeltinin birbirine nazaran hareketleri elektrokinetik olayları meydana getirir. Yüzey ve zeta potansiyeli, elektriksel çift tabaka, Stern düzlemi, yaygın ve çift tabaka gibi olaylar elektrokinetiğin temel elemanlarıdır[51]. Zeta potansiyel, tanecikler arası itme-çekme

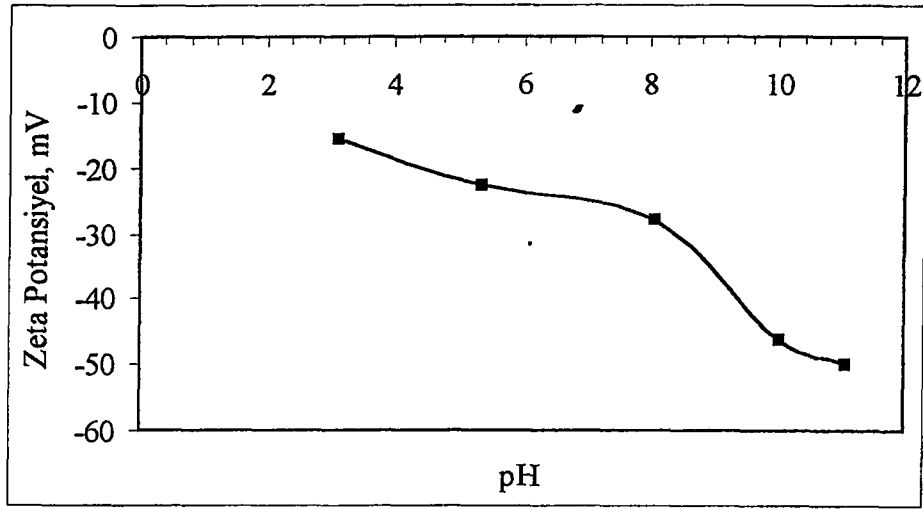
kuvvetlerini ve dolayısıyla mineral süspansiyonlarının dengelerini etkileyen bir göstergedir.

Zenginleştirilmiş kil konsantrelerinin zeta potansiyel ölçümleri, mikro işlem donanımlı (Mikroelektroforesis tekniği ile çalışan) Zeta Meter 3.0 cihazı ile yapılmıştır. Zeta Meter 3.0, voltaj ve tane hızını dikkate alarak, zeta potansiyel değerini otomatik olarak hesaplayabilmektedir. Zeta potansiyel ölçümleri için; zenginleştirilen ve tükine beslenen pülp halindeki (pülp te katı oranı $\approx\%10$) numuneler 20 dakika manyetik karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra berrak bir çözelti elde edilmek amacıyla 1 dakika santrifüj cihazında çöktürülmüştür. Daha sonra süspansiyonun berrak kısmından alınan numune ile ölçümler yapılmıştır. Tüm deneylerde, kıvamlandırma işleminin başlangıcı ve sonunda pH ölçümleri yapılmış ve pH ayarlayıcı olarak da 1 N HCl ile 1 N NaOH kullanılmıştır. Deneylerin 20 ± 2 °C sıcaklıkta gerçekleştirilmesine özen gösterilmiştir.

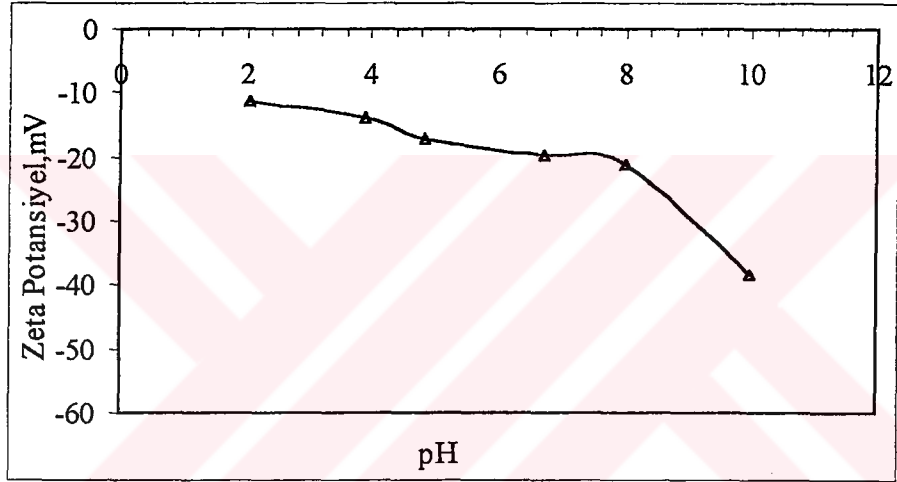
Deneysel Çalışmalarda kullanılan her bir kil numunesinin sıfır yük noktalarının bulunarak elektrokinetik özelliklerini belirlenmesi amacıyla, pH değişimine bağlı olarak yapılan ölçümler sonucunda elde edilen zeta potansiyel eğrileri Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8’de görülmektedir. Tüm numunelerin zeta potansiyeli eğrileri ise, Şekil 4.9’da toplu olarak gösterilmektedir.



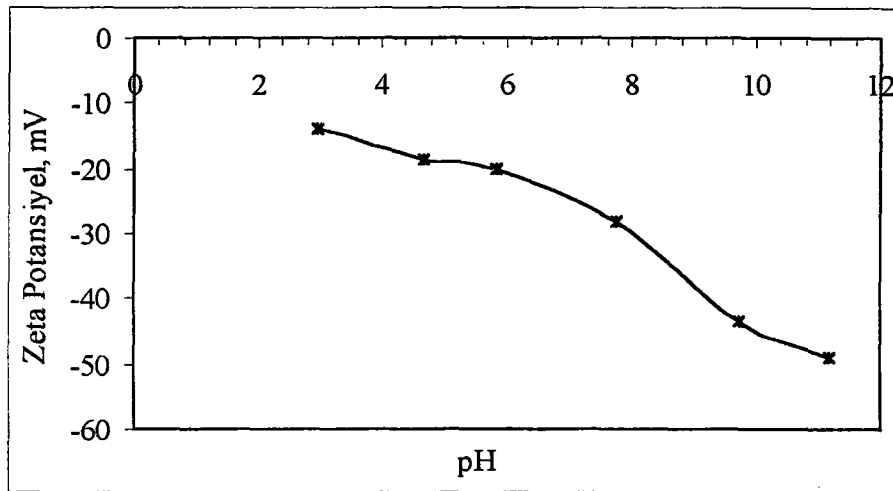
Şekil 4.5. KİL-261 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi



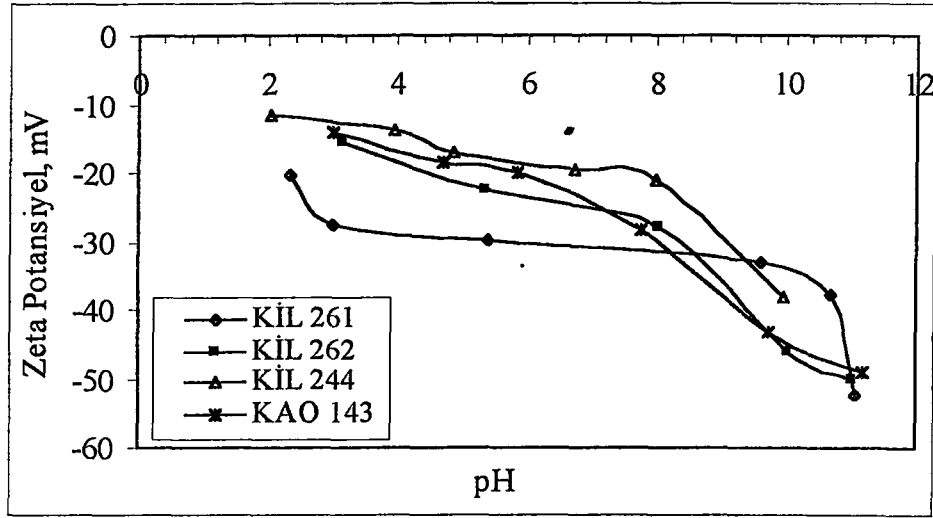
Şekil 4.6. KİL-262 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi



Şekil 4.7. KİL-244 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi



Şekil 4.8. KAO-143 Numunesinin Zeta Potansiyel Eğrisi



Şekil 4.9. Tüm Numunelerin Zeta Potansiyel Eğrilerinin Birlikte Gösterimi

Eğrilerden de görüldüğü gibi, deneylerde kullanılan tüm kil numunelerinin yüzey yükü negatiftir. Kil mineralleri için karakteristik bir özellik olan bu sonuç yanında, alkali ortamlara geçildikçe negatiflik daha da artmakta ve eğrilerin ucu uzatıldığında, kilin sıfır yük noktasının, çok düşük pH değerlere denk geleceği görülmektedir ($\approx \text{pH}:2$). Farklı yapıdaki killerin zeta potansiyel eğrileri, birlikte incelendiğinde aynı karakteristikte olmalarına karşın aralarındaki yüzey negatifliğindeki fark, ortamda bulunan iyonlara bağlı olarak gelişmektedir. Bilindiği üzere sıfır yük noktası ve yüzey yükü, ortamda bulunan iyonlara (Si^{+4} , Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2}) bağlı olarak da değişmektedir.

4.1.2. Deneylerde Kullanılan Aygıtlar

Numunelerin elektrokinetik özellikleri İ.T.Ü. Maden Fakültesi Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Anabilim Dalı Yüzey kimyası laboratuvarında Zeta Meter 3.0 marka zetametre cihazı ve bir adet pH metre kullanılarak saptanmıştır. Laboratuvar ölçekli yapılan çöktürme deneylerinde; Çöktürme deneyi koşullarının saptanması amacıyla bir adet pH metre ve viskozitemetre kullanılmış, çöktürme deneyleri ise standart 2 litrelik üzeri ölçekli mezürler (7.5 mm çapında-50 cm yüksekliğinde) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çöktürme deneyleri sırasında, mezür içindeki pülpü karıştırmak için bir karıştırma çubuğu, çökme zamanını belirlemek amacıyla bir adet kronometre kullanılmıştır. Ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan çöktürme deneylerinde ise, 25 KHz Frekansında ultrasonik titreşim sağlayan 0.5 kW gücünde, 23.5 cm çapında, 13 cm yüksekliğinde Tyler Marka ultrasonik güç kaynağı

(transducer) kullanılmıştır. Ayrıca flokülasyon işlemlerinde, ön deneyler sonucunda killerin çöktürülmesinde en iyi flokülant cinsi olarak belirlenen yüksek molekül ağırlıklı anyonik tip Süperfloc A120 kodlu flokülant (%0.1'lik konsantrasyonda) kullanılmıştır.

4.1.3. Yöntem

Yukarıda anlatıldığı şekilde fiziksel, kimyasal, mineralojik ve elektrokinetik özellikleri belirlenen zenginleştirilmiş kil konsantreleri ile; doğal ortamda, ultrasonik titreşim kaynağının etkisinde ve flokülant ilavesi ile killerin çökme hızlarının ve çökme koşullarının tespit edilmesi amacıyla çöktürme deneyler yapılmıştır.

4.1.3.1. Çöktürme Öncesi İşlemler

Laboratuvar ölçekli çöktürme deneylerinde; bidonlar içinde pülp halindeki kil numunelerinden her deney için ayrı ayrı 2 litre hacminde numuneler alınmıştır. Sağlıklı bir numune alabilmek amacıyla bidon içindeki pülp mekanik karıştırıcı ile yaklaşık bir saat karıştırılarak homojen hale getirilmiş ve bir kap ile 2 litre hacminde temsili numuneler alınmıştır. 2 litre hacimdeki numuneler, başlangıç ve çökme sonu pülpte katı oranlarının, tespiti amacıyla tartılarak pülp ağırlıkları bulunmuştur. Ayrıca her deney öncesi numunelerin pH'ları ve viskoziteleri ölçülmüştür.

4.1.3.2. Çöktürme Deneylerinde İzlenen Yöntem

Doğal Ortamda Çöktürme Deneyleri: 2 litrelik ölçekli cam mezürler içindeki malzeme iyice karıştırılarak çökmeye bırakılmıştır. Süreye bağlı olarak çökme sırasındaki katı partikülleri içeren kısmın çökme mesafeleri kaydedilmiştir. Doğal ortamda pülpte katı oranının (PKO) etkisinin incelendiği çöktürme deneylerinde numuneler tesisten gelen ve tikiner taşanı olan su ile seyreltilmiş ve PKO düşürülerek düşük PKO'larında çökme koşulları incelenmiştir. Yüksek PKO'nunun çöktürmeye etkisini görmek amacıyla da, numune bir gün önceden çökmeye bırakılarak çökme sonundaki berrak su vakum ile uzaklaştırılmış ve yüksek PKO'da numuneler elde edilerek çöktürme deneyleri yapılmıştır.

Su içinde ultrasonik titreşime tabi tutularak yapılan çöktürme deneyleri: Doğal ortamda PKO'nunun etkisinin incelendiği deneylere paralel olarak aynı koşullarda, bir ultrasonik titreşim kaynağına sabitlenen 2 litrelik ölçekli cam mezürler içindeki malzeme çökmeye bırakılmıştır. Süreye bağlı olarak çökme sırasındaki katı partikülleri içeren kısmın çökme mesafeleri kaydedilmiştir. Ultrasonik titreşim etkisi altındaki çöktürme deneylerinin yapıldığı deney düzeneği Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Ultrasonik Titreşim Etkisi Altında Gerçekleştirilen Çöktürme Deney Düzeneği

Flokülant ilavesi ile doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme deneyleri: Tüm zenginleştirilmiş kil numuneleri üzerinde kullanılacak flokülant cinsinin belirlenmesi amacıyla ön deneyler yapılmış ve bu deneyler sonucunda zenginleştirilmiş kil numunelerini çöktürecek ve flokülasyonu en iyi sağlayacak flokülantın anyonik tip Superfloc A-120 flokülantı olduğu tespit edilmiştir. Tespit edilen bu flokülant ile flokülasyonu sağlayacak optimum flokülant miktarının tespiti amacıyla doğal ortamda çöktürme deneyleri yapılmıştır. 2 litrelik ölçekli cam mezür içindeki malzeme, değişik miktarlarda flokülant ilavesi yapılarak iyi bir şekilde karıştırılmış çökmeye bırakılmıştır. Süreye bağlı olarak çökme sırasındaki katı partikülleri içeren kısmın çökme mesafeleri kaydedilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Daha sonra elde edilen sonuçlar değerlendirilerek, her numune

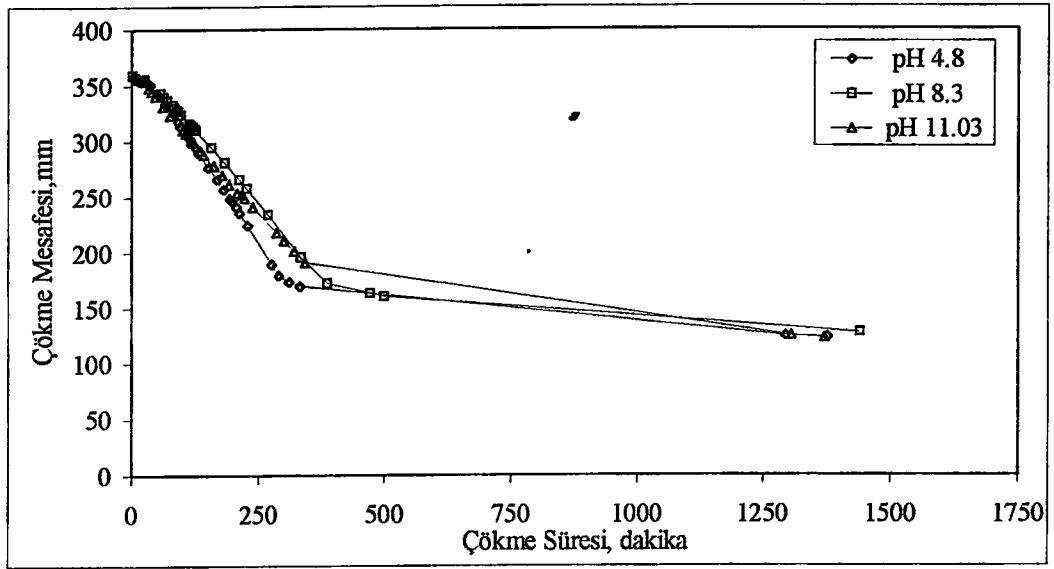
için, ultrasonik titreşim kaynağına sabitlenmiş mezürler içerisinde, daha az miktardaki flokülant ilaveleri ile ultrasonik titreşim etkisi altında çöktürme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.2. öktürme Deneyleri

Bu bölümde, KİL 261, KİL262, KİL 244 ve KAO 143 kodlu zenginleştirilmiş killerin öktürülmesinde, ultrasonik titreşim etkisi altında ve doğal ortamda pülp te katı oranının etkisi , flokülant ilavesinin ve ultrasonik titreşimin flokülasyon ile birlikte etkisi incelenmiştir.

4.2.1. Ön Deneyler

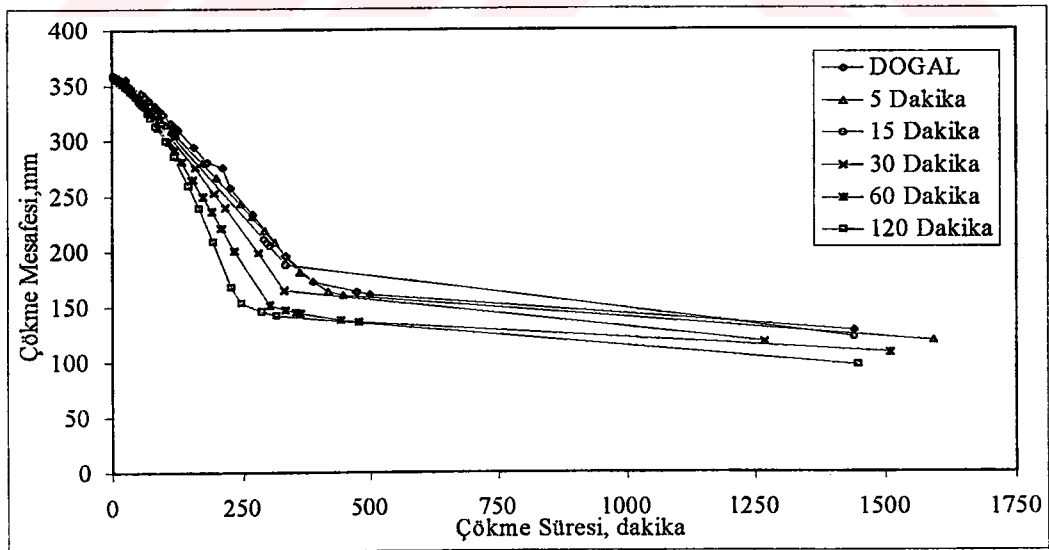
Ultrasonik titreşimin killerin çökmesinde etkisinin ortaya koyulması ve diğer klasik yöntemlerle karşılaştırılması amacı doğrultusunda, KİL 261, KİL262, KİL 244 ve KAO 143 kodlu zenginleştirilmiş killer üzerinde yapılan deneylerin tümünde sabit olarak alınacak pH değerinin ve ultrasonik titreşim uygulama süresinin saptanması amacıyla ön deneyler yapılmış olup, sonuçları sırasıyla, şekil 4.11, şekil 4.12’de, Deney koşulları ise, Tablo 4.7 ve 4.8’de verilmektedir. Bu sonuçlara göre; pH değişiminin çökmeyi fazla etkilemediği görüldüğünden , pülpün doğal pH’sı (≈ 8), çöktürme deneylerinde sabit pH olarak kullanılmıştır. Ultrasonik titreşim uygulama süresi olarak da, şekil 4.12’de görüldüğü gibi, uzun süre ultrasonik titreşim uygulanmasının çökmede daha olumlu olduğu görüldüğünden, çökme süresi boyunca sürekli ultrasonik titreşim uygulaması ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, flokülasyon deneylerinde kullanılacak flokülant türünün belirlenmesi amacıyla deneyler yapılmış olup, zenginleştirilmiş kil numunelerini çöktürecek ve flokülasyonu en iyi sağlayacak flokülantın anyonik tip(Yüksek molekül ağırlıklı) Superfloc A-120 flokülantı olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.11. Doğal Çökmede pH'ın Etkisinin İncelendiği Çöktürme Deneyi Sonuçları

Tablo 4.7. Doğal Çökmede pH'ın Etkisinin İncelendiği Deneylerde Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
17.90	4.80	Doğal Çökme	8.87	22.28
	8.30			21.04
	11.03			22.75



Şekil 4.12. Ultrasonik Titreşim Süresinin Çöktürmeye Etkisinin İncelendiği Deneylerin Sonuçları

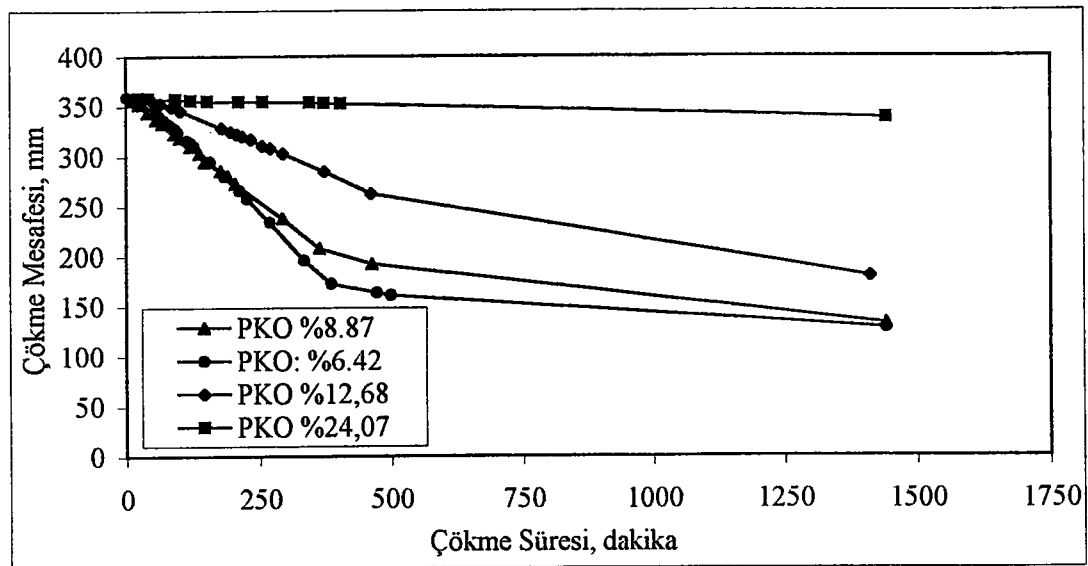
Tablo 4.8. Ultrasonik Titreşim İle Çöktürmede US Titreşim Süresinin Çöktürmeye Etkisinin İncelendiği Deneylerde Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
17.90	8.30	Doğal Çökme	8.87	21.24
		5 dak US		21.63
		15 dak US		21.60
		30 dak US		23.40
		60 dak US		23.87
		120 dak US		24.42

4.2.2. KİL-261 Numunesi ile Yapılan Deneyler

4.2.2.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri

Zenginleştirilmiş KİL 261 kodlu kil numunesinin doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisi altında çökme karakteristiklerini belirlemek ve her iki uygulamada pülp-te katı oranının çökmeye etkisini ortaya koymak amacıyla deneyler yapılmıştır. Yapılan ön deney sonuçlarına bağlı olarak, numunelerin doğal pH değerlerinde doğal ortamda %6.42, 8.87, 12.68 ve 24.07 pülp-te katı oranı (PKO) değerlerinde çöktürme deneyleri yapılarak PKO değişiminin çökmeye etkisi belirlenmiş, deney sonuçları Şekil 4.13’de deney öncesi ve sonrası ölçümler Tablo 4.9’da verilmiştir.

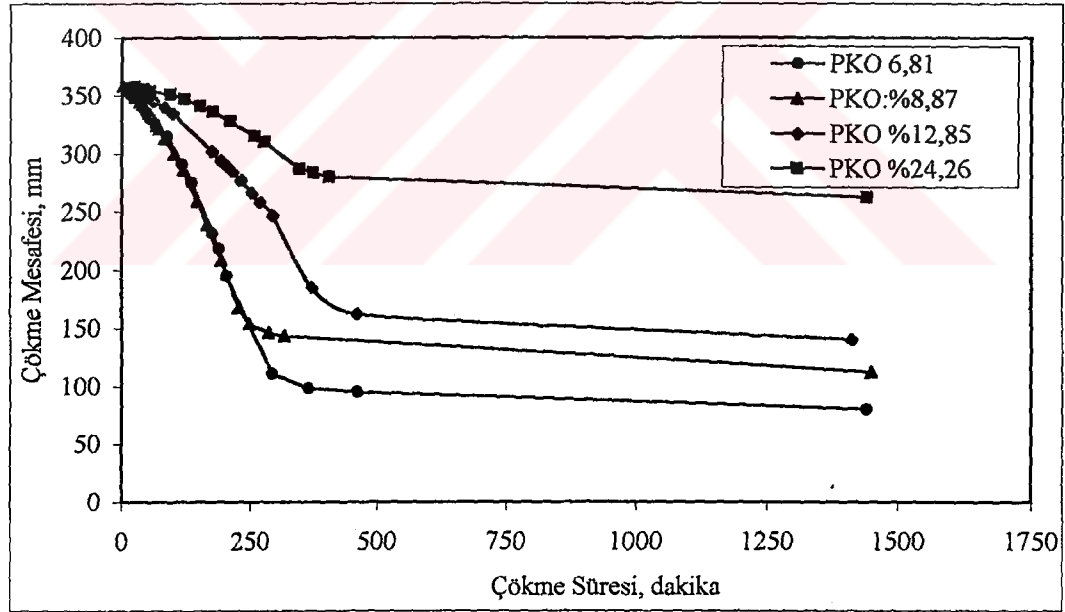


Şekil 4.13. KİL261 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi

Tablo 4.9. KİL-261 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	Başlangıç pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-261	7.85	13.70	6.42	17.86
	8.20	18.00	8.87	21.36
	8.09	39.70	12.68	23.26
	8.10	62.10	24.07	25.36

Aynı koşullarda ve ultrasonik titreşim etkisi altında PKO değişiminin çökmede etkisinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılarak bu deneylerin sonuçları, Şekil 4.14’de, deney öncesi ve sonrası ölçümler ise, Tablo 4.10’da verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tesiste tükine beslenen ürünün PKO değerine yakın olan %8.87 PKO’da doğal ortam ve ultrasonik titreşim etkisindeki çöktürme deneyleri karşılaştırılarak, ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisi belirlenmiştir(Şekil 4.15).

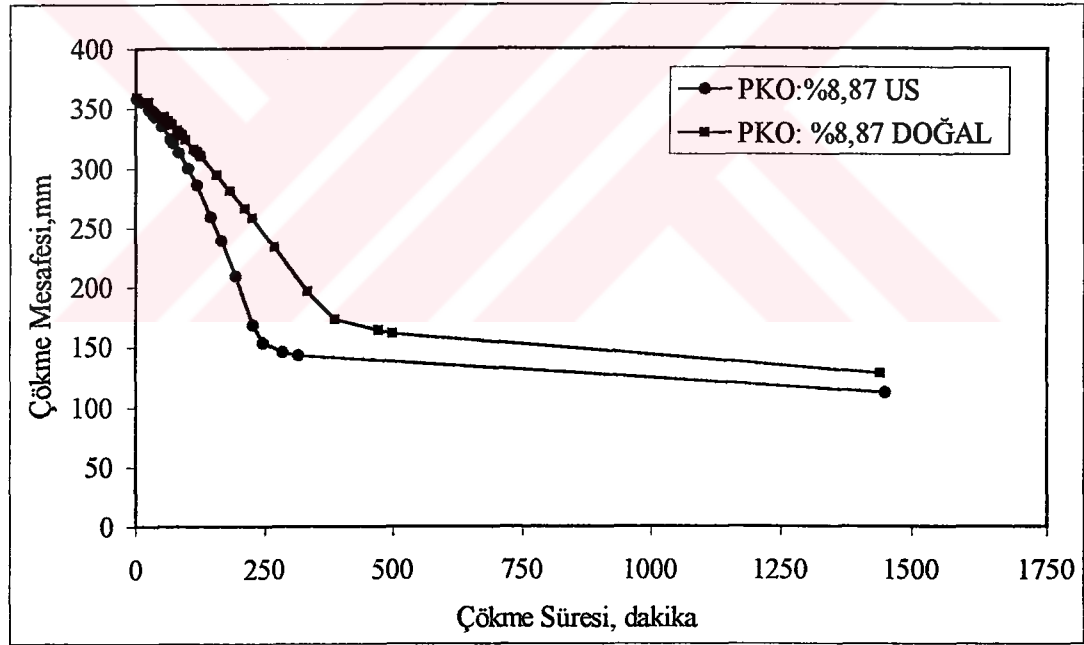


Şekil 4.14. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi.

Tablo 4.10. KİL-261 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	Başlangıç pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-261	7.85	13.70	6.81	21.36
	8.20	18.00	8.87	23.90
	8.09	39.70	12.85	28.52
	8.10	62.10	24.26	31.52

Ultrasonik titreşim etkisinde ve doğal ortamda, Tablo 4.9 ve 4.10’da belirtilen şartlar altında gerçekleştirilen, çöktürme deneyleri sonuçları incelendiğinde; her iki deney grubunda da pülp te katı oranı (PKO) değeri düştükçe zamana bağlı olarak, süspansiyonda üstte berrak kısım olarak alınan çökme mesafeleri artmakta ve buna bağlı olarak da çökme hızının arttığı görülmektedir.



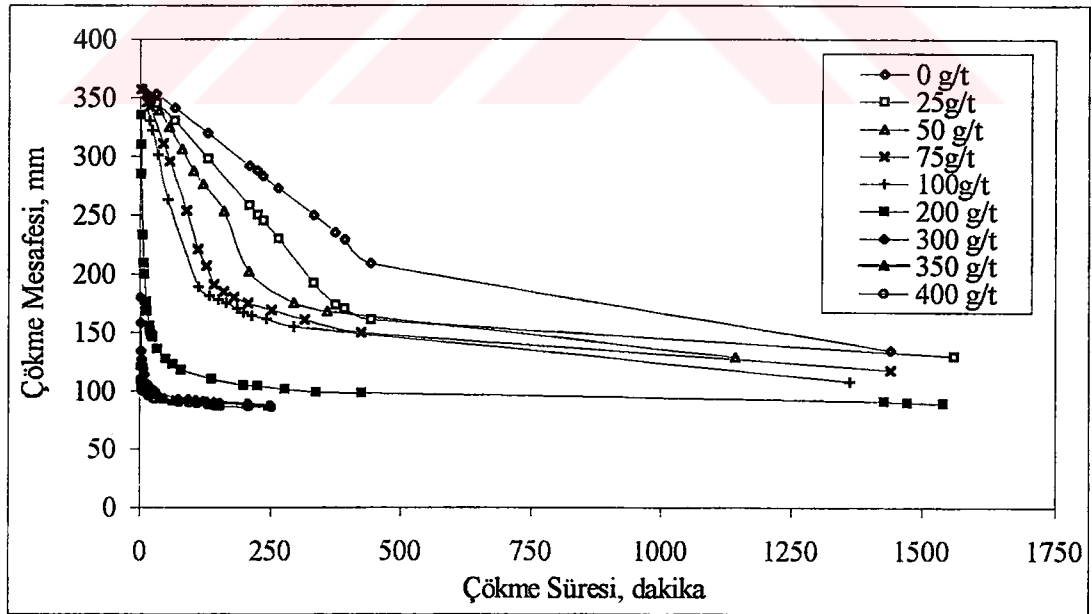
Şekil 4.15. KİL 261 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması.

Aynı pülp te katı oranı değeri (PKO: %8.87), doğal ortam ve ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme işleminin, doğal ortamda yapılan çöktürmeye göre daha

etkin olduğu görülmektedir. Deney sırasında, ultrasonik titreşimin etkisi ile, kabarcıkların oluşumu ve yüzeye doğru gaz çıkışı gözlenmekte olup, katı tanelerin bu boşluklardan geçerek daha etkin bir şekilde çöktüğü görülmüştür. Deneylerde ultrasonik titreşim etkisi ile yükselen ortam ısısı transduser içine soğuk su ilavesi ile engellenmiştir. Bu deney sonuçlarının gösterildiği Şekil 4.15 incelendiğinde, doğal ortamda 250 dakikada katı tanecikleri içeren (çökelti) yükseklik 230 mm olurken, aynı sürede ultrasonik titreşim etkisinde 160 mm olmaktadır. Bu da aynı sürede çöken ürünün PKO değerinin ultrasonik titreşimle çöktürmede daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bir gün süreli (1440 dakika) çökme sonunda çöken ürünlerin PKO değeri açısından sonuçlar incelenirse, doğal ortamda çökme sonu PKO %21.36 iken, bu değer ultrasonik titreşim etkisi ile %23.90 olmaktadır.

4.2.2.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri

KİL-261 numunesi üzerinde flokülant miktarının çökmeye etkisinin incelenmesi amacıyla, sırasıyla 25, 50, 75, 100, 200, 300, 350 ve 400 g/t miktarlarında Superfloc A-120 flokülantı kullanılarak bir seri çöktürme deneyleri yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları ile yapılan flokülasyon deneylerinin sonuçları Şekil 4.16'da; deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.11'de verilmektedir.



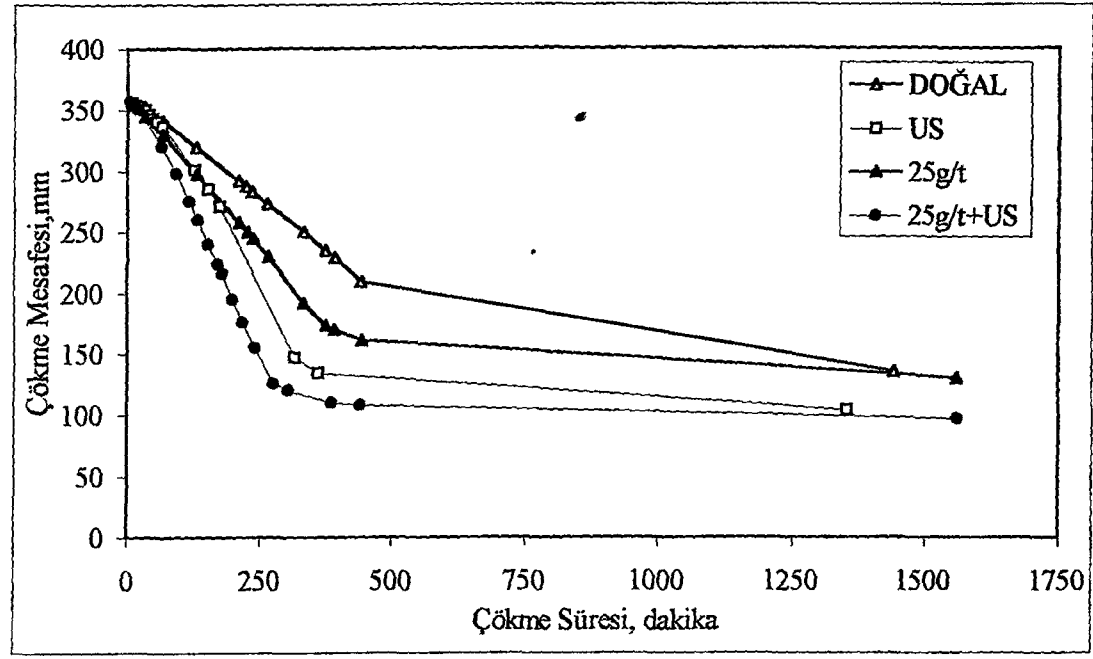
Şekil 4.16. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi

Tablo 4.11. KİL-261 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

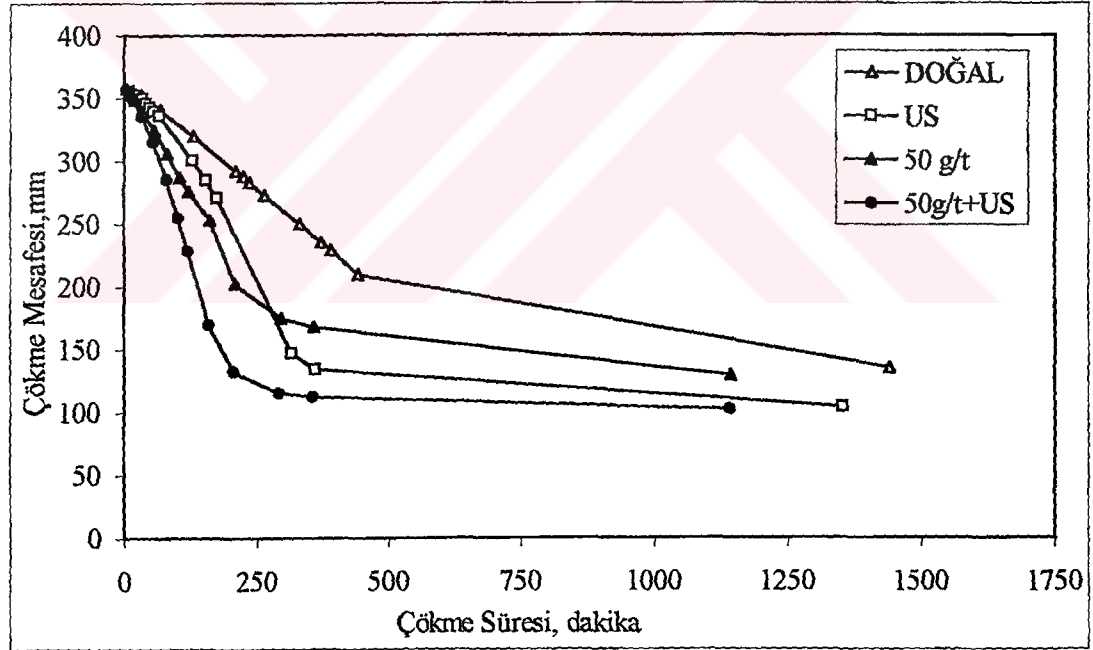
Numune Adı	Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Flokülant Miktarı (g/t)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-261	20.10	8.30	0	8.87	21.36
			25	8.93	22.10
			50	9.19	22.92
			75	9.20	24.71
			100	9.10	26.93
			200	8.16	28.30
			300	7.81	29.62
			350	8.11	29.81
			400	7.82	30.90

Tablo 4.11'deki koşullarda, flokülant ilavesi ile gerçekleştirilen çöktürme deneyleri incelendiğinde; Belirgin bir flokülasyonun 200 g/t flokülant ilavesinden sonra ortaya çıktığı görülmekle birlikte, 300 g/t miktarında bu etki maksimum olmaktadır.

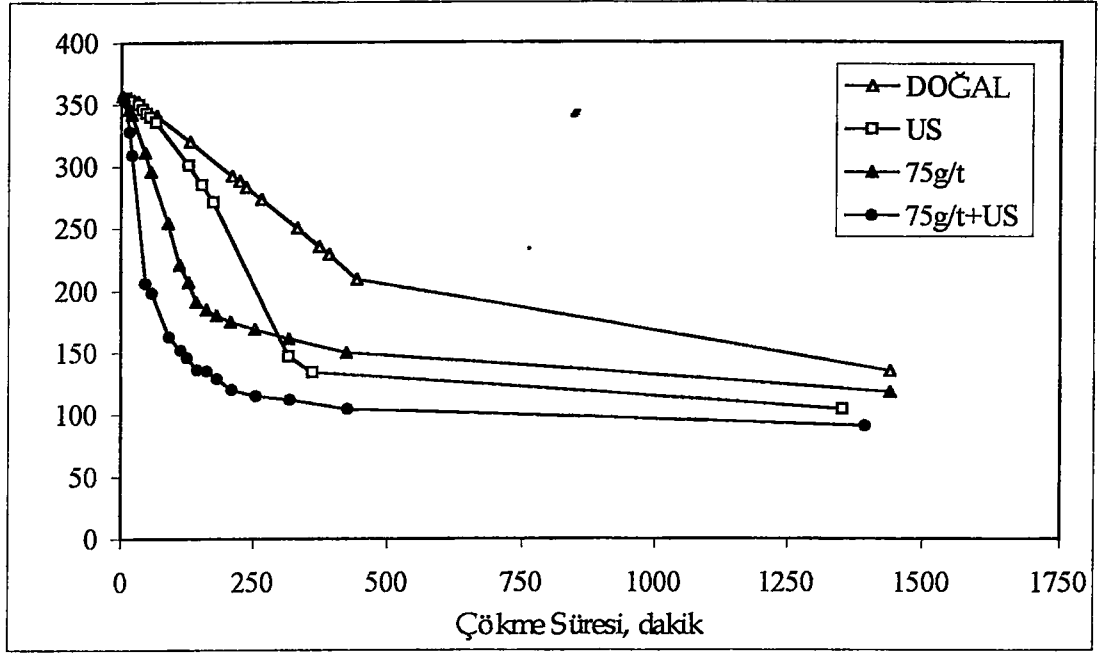
Yüksek miktardaki flokülant sarfiyatını önleyebilmek ve daha etkili çökme sağlayabilmek amacıyla, 25, 50, 75 ve 100 g/t gibi daha düşük flokülant miktarlarında, ultrasonik titreşim etkisinde çöktürme deneyleri yapılarak, ultrasonik titreşim ve flokülant ilavesinin birlikte etkisi incelenmiştir. Doğal ortamda, sadece ultrasonik titreşim etkisinde, doğal ortamda flokülant ilavesi ve ultrasonik titreşim etkisinde flokülant ilavesi ile deneyler gerçekleştirilerek karşılaştırılması yapılmıştır.. Farklı flokülant miktarları (25-50-75-100 g/t) ile yapılan deneylerin doğal ortamdaki ve ultrasonik titreşim ortamındaki çöktürme sonuçları ise sırasıyla Şekil 4.17a, 4.17b, 4.17c, 4.17d'de deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.12'de verilmektedir.



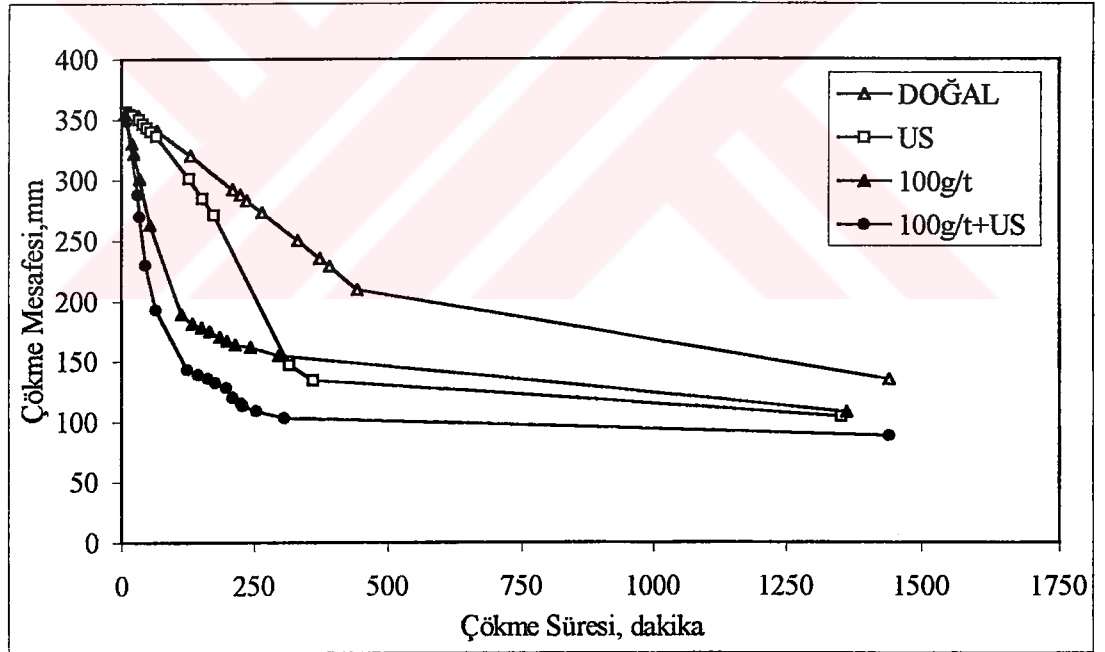
Şekil 4.17a. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 25 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi



Şekil 4.17b. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 50 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.



Şekil 4.17c. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde, Ultrasonik Titreşim Altında 75 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.



Şekil 4.17d. KİL 261 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 100 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.

Tablo 4.12. KİL-261 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

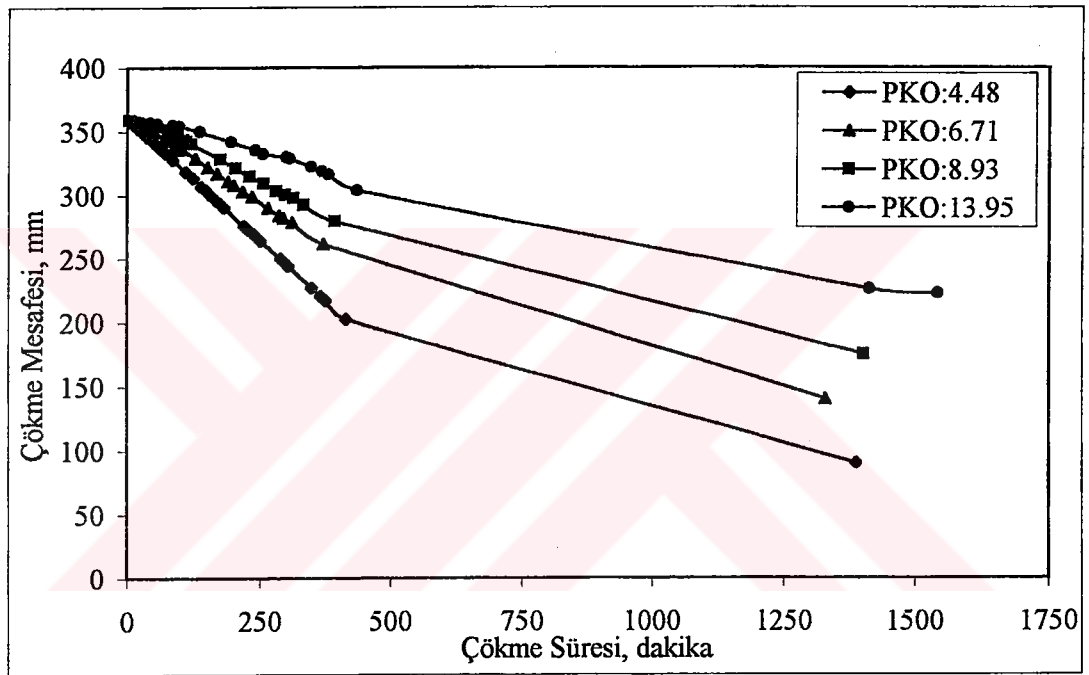
Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
20.10	8.30	Doğal Çökme	8.80	21.36
		Ultrasonik Çökme(US)	8.70	23.90
		25g/t Flokülant	8.93	22.10
		25g/t Flokülant+US	8.98	26.78
		50g/t Flokülant	9.19	22.92
		50g/t Flokülant+US	9.19	26.61
		75g/t Flokülant	9.20	24.71
		75g/t Flokülant+US	9.19	30.31
		100g/t Flokülant	9.10	26.93
		100g/t Flokülant+US	9.08	31.10

Deney sonuçları (Şekil 4.17a, 4.17b, 4.17c, 4.17d), incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisi altında flokülasyon işleminin, sadece flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürmeden ve doğal ortamda hiçbir ilave olmaksızın yapılan çöktürme işleminden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük flokülant miktarı olan, 25 g/t miktarındaki çöktürme sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.17a), flokülant ilavesi (25 g/t) + ultrasonik titreşimin, çöktürme işlemlerinde en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Sadece 25 g/t flokülant kullanılarak yapılan çöktürme deneyinde 250 dakikada katı tanecikleri içeren yükseklik, 245 mm olurken, aynı sürede, ultrasonik titreşim altında 25 g/t flokülant ilavesi ile yapılan çöktürmede, 125 mm olmaktadır. Sadece Ultrasonik titreşim verilerek yapılan deneyde ise bu değer 190 mm olmaktadır. Çökme sonu PKO değerleri incelendiğinde ise, doğal ortamda %21.36 olan pülp te katı oranı, ultrasonik titreşim etkisinde %23.90, sadece 25 g/t flokülant ilavesinde %22.10, ultrasonik titreşim altında 25 g/t flokülant ilavesinde ise, %26.78 olmaktadır. 50 g/t, 75 g/t flokülant ilaveleri ile yapılan deney sonuçlarında da aynı çökme karakteristikleri gözlenmektedir.

4.2.3. KİL-262 Numunesi ile Yapılan Deneyler

4.2.3.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri

Doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisi altında KİL 262 kodlu kil numunesinin çökme karakteristiklerini belirlemek ve her iki uygulamada pülpte katı oranının çökmeye etkisini ortaya koymak amacıyla pülpün kendi doğal pH'sında doğal ortamda, %4.48, 6.71, 8.93 ve 13.95 pülpte katı oranı (PKO) değerlerinde çöktürme deneyleri yapılarak PKO değişiminin çökmeye etkisi belirlenmiş, deney sonuçları Şekil 4.18'de, deney öncesi ve sonrası ölçümler Tablo 4.13'de verilmiştir.

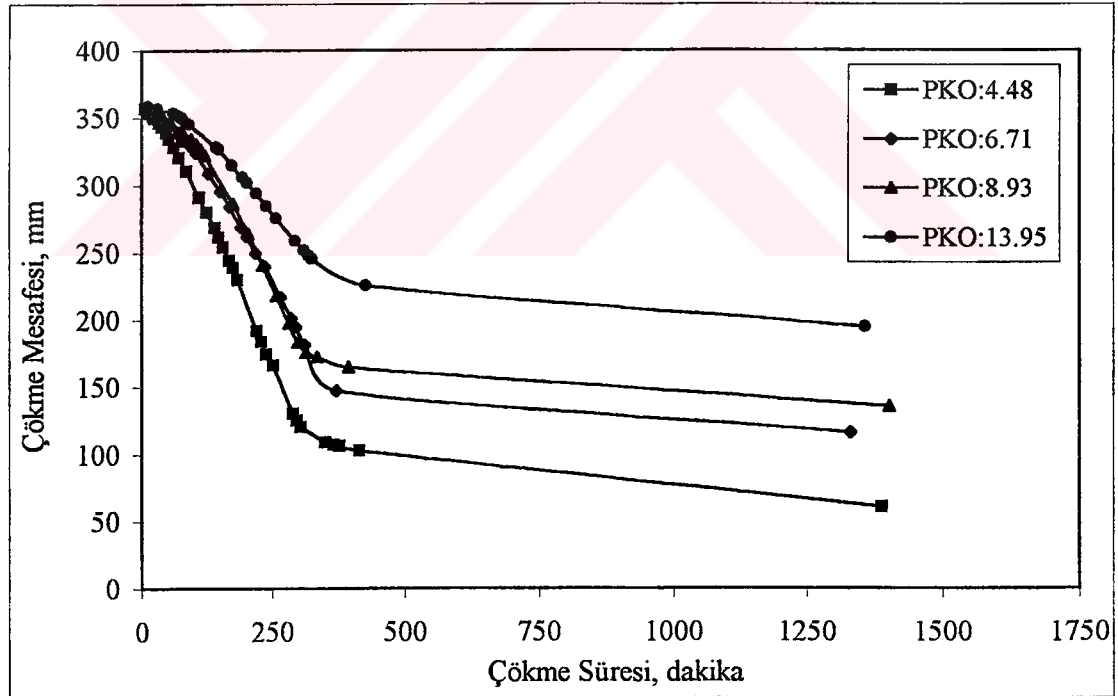


Şekil 4.18. KİL-262 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi.

Tablo 4.13. KİL-262 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	PH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-262	8.22	13.80	4.48	15.59
	8.20	15.50	6.71	15.46
	8.18	20.20	8.93	17.02
	8.05	27.70	13.95	21.26

Aynı koşullarda ve ultrasonik titreşim etkisi altında PKO değişiminin çökmede etkisinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılarak, bu deneylerin sonuçları da Şekil 4.19’da, deney öncesi ve sonrası ölçümler ise, Tablo 4.14’de verilmiştir. Tüm bu deney sonuçlarına göre, tesiste tükine beslenen ürünün PKO değerine yakın olan %8.93 PKO’da doğal ortam ve ultrasonik titreşim etkisindeki çöktürme deneyleri karşılaştırılarak, ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisi belirlenmiştir(Şekil 4.20).

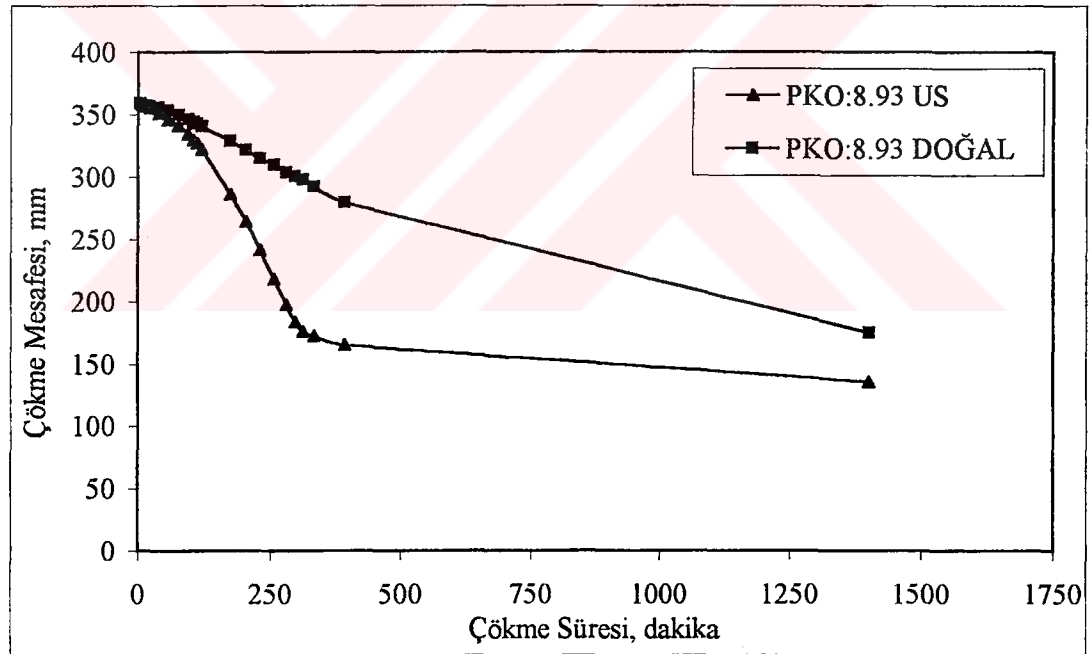


Şekil 4.19. KİL-262 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi.

Tablo 4.14. KİL-262 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-262	8.22	13.80	4.48	17.66
	8.20	15.50	6.71	21.14
	8.18	20.20	8.93	21.24
	8.05	27.70	13.95	23.82

Ultrasonik titreşim etkisinde ve doğal ortamda, Tablo 4.13 ve 4.14’de belirtilen şartlar altında gerçekleştirilen, çöktürme deneyleri sonuçları incelendiğinde, her iki deney grubunda da pülpte katı oranı (PKO) değeri düştükçe zamana bağlı olarak, süspansiyonda üst kısımda berrak kısım artmakta ve buna bağlı olarak da çökme hızının arttığı görülmektedir.



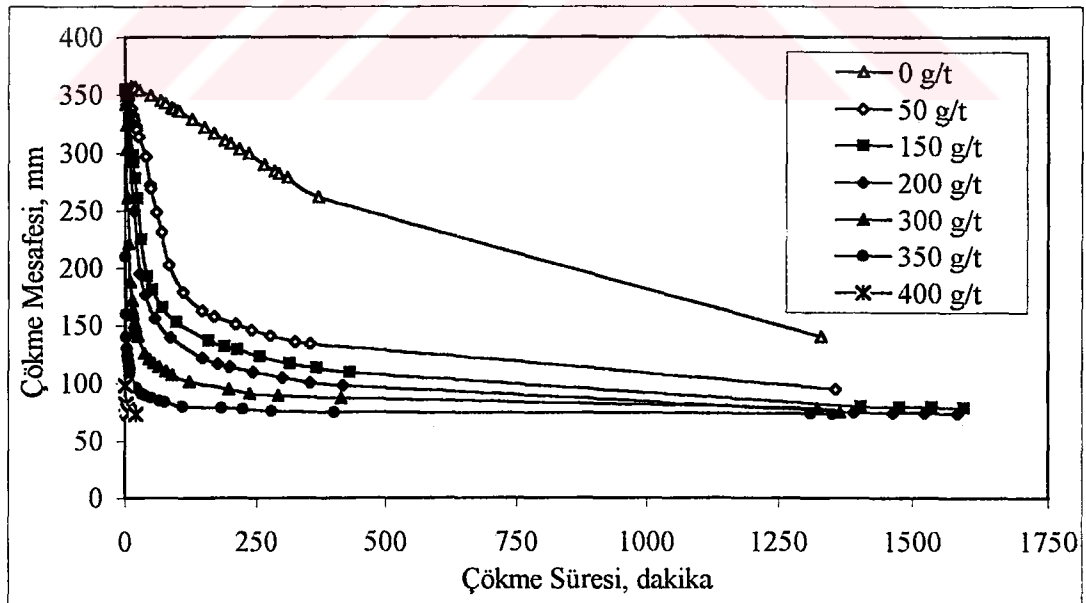
Şekil 4.20. KİL 262 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması.

Ultrasonik titreşimin etkisini ortaya koyabilmek amacıyla, %8.93 pülpte katı oranı değerinde doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan deney sonuçları incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme işleminin doğal ortamda yapılan çöktürmeye göre daha etkin olduğu görülmektedir. Bu deney

sonuçlarının gösterildiği Şekil 4.20 incelendiğinde, doğal ortamda 250 dakikada katı tanecikleri içeren (çökelek) yüksekliği 310 mm'lik olurken, ultrasonik titreşim etkisinde, 225 mm olmaktadır. 500 dakika sonunda eğrinin durumu incelendiğinde ise, doğal ortamda çökelti yüksekliği 275 mm olurken, ultrasonik titreşim etkisi ile, 165 mm olmaktadır. Bu da aynı sürede çöken ürünün pülte katı oranının (PKO), ultrasonik titreşimle çöktürmede daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bir gün süreli (≈ 1440 dakika) çökme sonundaki çöken ürünün PKO değeri açısından sonuçlar incelenirse; doğal ortamda çökme sonu PKO %17.02 iken, bu değer ultrasonik titreşim etkisi ile %21.24 değerinde olmaktadır.

4.2.3.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri

Flokülant ilavesi ile en iyi flokülasyon ve çökmeye sağlayacak optimum flokülant miktarının bulunması ve flokülant miktarının çökmeye etkisinin incelenmesi amacıyla, sırasıyla 50, 150, 200, 300, 350 ve 400 g/t miktarlarında Superfloc A-120 flokülantı kullanılarak, KİL-262 numunesi ile bir seri çöktürme deneyi yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları ile yapılan flokülasyon deneylerinin sonuçları Şekil 4.21'de; deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.15'de verilmektedir.



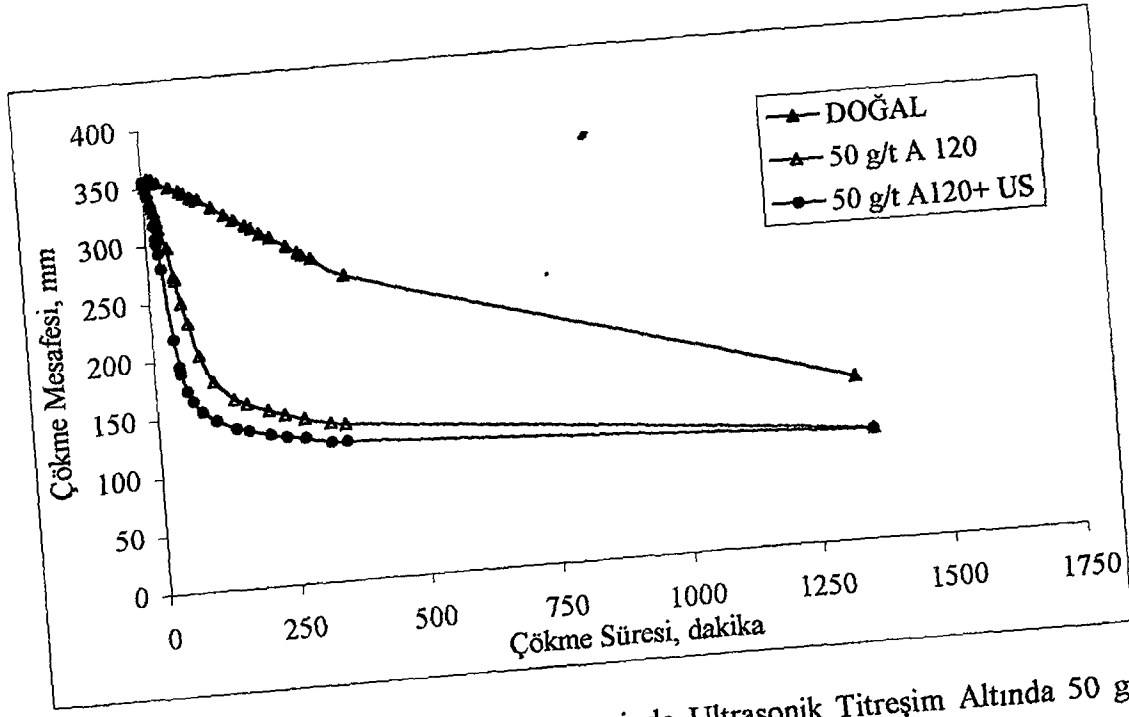
Şekil 4.21. KİL 262 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi.

Tablo 4.15. KİL-262 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

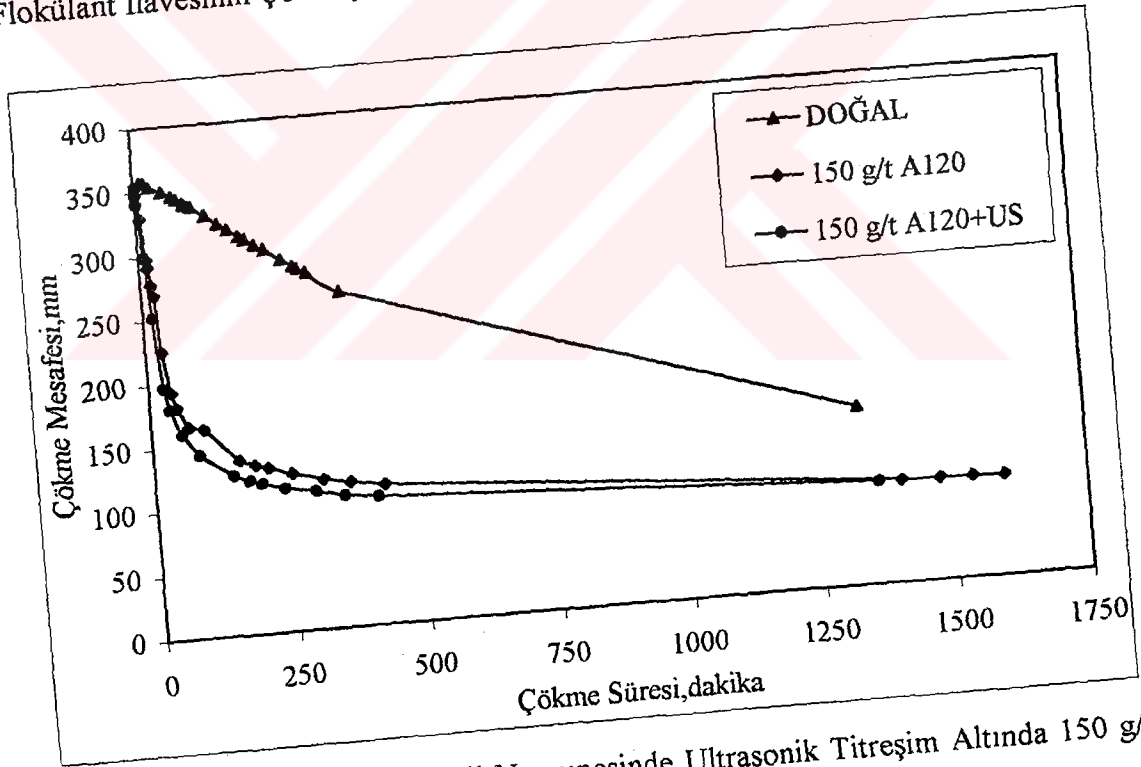
Numune Adı	Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Flokülant Miktarı (g/t)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-262	19.70	8.40	0	6.71	15.46
			50	7.51	23.12
			150	6.01	24.69
			200	6.15	26.10
			300	6.91	28.95
			350	7.05	30.65
			400	6.56	31.70

Tablo 4.15’deki koşullarda, flokülant ilavesi ile gerçekleştirilen çöktürme deneyleri incelendiğinde; Belirgin bir flokülasyon 200 g/t flokülant miktarından sonra ortaya çıktığı görülmekle birlikte, 350 g/t miktarında bu etki maksimum olmaktadır.

Maliyetin yüksek olması ve kilin kimyasal kompozisyonunu değiştirmesi gibi dezavantajları ortan kaldırabilmek ve daha etkili çöktürme işlemi sağlayabilmek amacıyla, 50, 150 g/t gibi daha düşük flokülant miktarlarında, ultrasonik titreşim etkisinde flokülasyon deneyleri yapılarak, ultrasonik titreşim ve flokülant ilavesinin birlikte etkisi incelenmiştir. Deneylerde doğal ortamda, doğal ortamda flokülant ilavesi ile ve ultrasonik titreşim etkisinde flokülant ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları (50, 150 g/t) ile yapılan deneylerin doğal ortamdaki ve ultrasonik titreşim ortamındaki çöktürme sonuçları ise sırasıyla Şekil 4.22a ve 4.22b’de deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.16’da verilmektedir.



Şekil 4.22a. KİL 262 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 50 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.



Şekil 4.22b. KİL 262 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 150 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi.

Tablo 4.16. KİL-262 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
19.45	8.08	Doğal Çökme	6.71	15.59
		50 g/t Flokülant	7.51	23.12
		50 g/t Flokülant+US	7.53	23.27
		150 g/t Flokülant	6.01	24.69
		150 g/t Flokülant+US	6.52	25.20

Daha düşük flokülant miktarlarında ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan deney sonuçları (Şekil 4.22a, 4.22b) incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisi altında flokülasyon işleminin, sadece flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürmeden ve doğal ortamda hiçbir ilave olmaksızın yapılan çöktürme işleminden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük flokülant miktarı olan 50 g/t ile yapılan çöktürme sonuçları incelendiğinde;(Şekil 4.22a). Flokülant ilavesi (50 g/t) + ultrasonik titreşimin, en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Sadece 50 g/t flokülant kullanılarak yapılan çöktürme deneyinde 250 dakikada katı tanecikleri içeren yükseklik, 145 mm olurken, ultrasonik titreşim altında, 50 g/t flokülant ilavesi ile yapılan çöktürmede 130 mm olmaktadır. Tablo 4.16'dan çökme sonu PKO değerleri incelendiğinde ise, doğal ortamda %15.59 olan pülpte katı oranı, sadece 50 g/t flokülant ilavesinde %23.12, ultrasonik titreşim altında 50 g/t flokülant ilavesinde ise, %23.27 olmaktadır. 150 g/t flokülant ilaveleri ile yapılan deney sonuçları incelenecek olursa aynı çökme karakteristikleri gözlenmektedir.

4.2.4. KİL-244 Numunesi ile Yapılan Deneyler

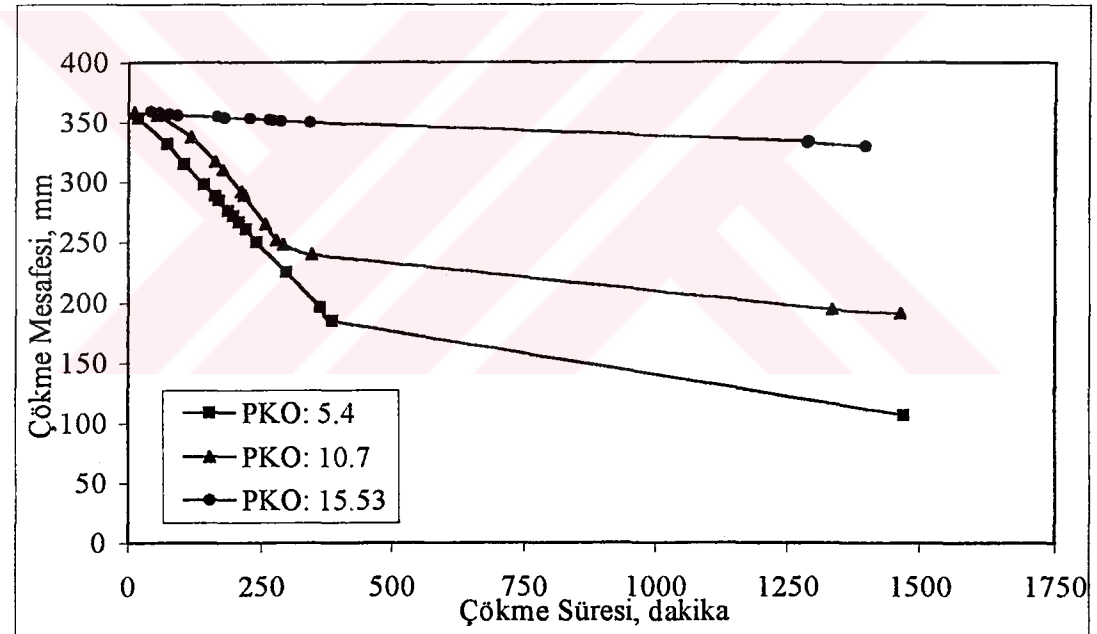
4.2.4.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri

Zenginleştirilmiş KİL 244 kodlu kil numunesinin doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisi altında çökme karakteristiklerini belirlemek ve her iki uygulamada pülpte katı oranının çökmeye etkisini ortaya koymak amacıyla deneyler yapılmıştır.

Öncelikle, Kil 244 numunesinin doğal pH değerlerinde doğal ortamda %5.40, 10.70 ve 15.53 pülpte katı oranı (PKO) değerlerinde çöktürme deneyleri yapılarak PKO değişiminin çökmeye etkisi belirlenmiş, deney sonuçları Şekil 4.23’de deney öncesi ve sonrası ölçümleri Tablo 4.17’de verilmiştir

Tablo 4.17. KİL-244 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-244	7.50	14.20	5.40	15.41
	7.15	26.00	10.70	15.60
	7.20	75.90	15.53	16.00



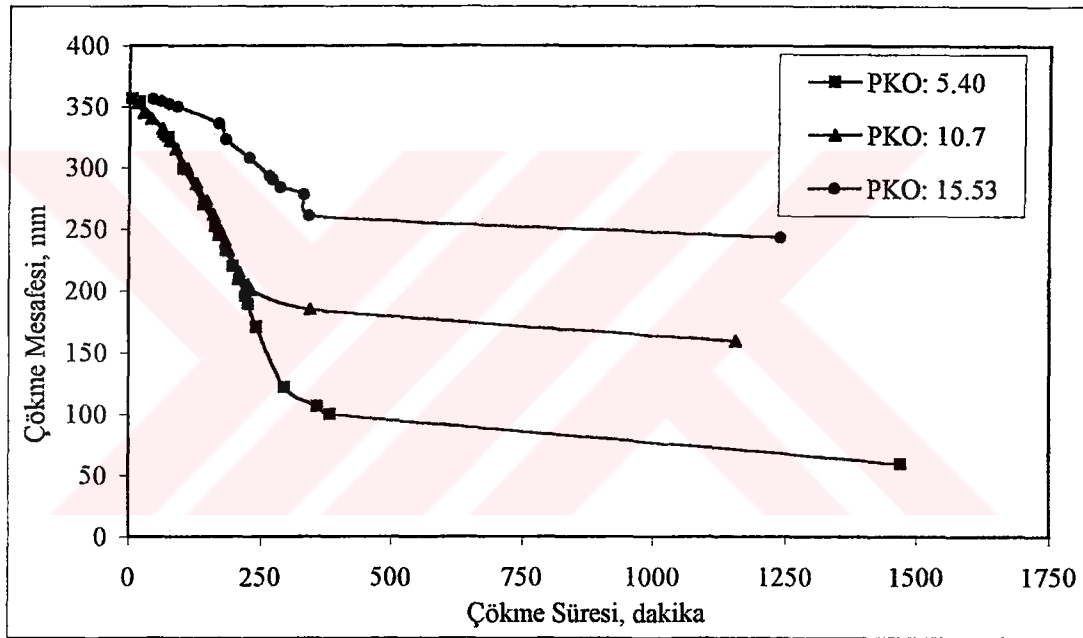
Şekil 4.23. KİL244 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi

Aynı koşullarda, Ultrasonik titreşim etkisi altında, PKO değişiminin çökmede etkisinin incelenmesi amacıyla deneyler yapılarak, bu deneylerin sonuçları da Şekil 4.24’de, deney öncesi ve sonrası ölçümler ise Tablo 4.18’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tesiste tükine beslenen ürünün PKO değerine yakın olan %10.70

PKO'da, doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisindeki çöktürme deneyleri karşılaştırılarak, ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisi belirlenmiştir(Şekil 4.25).

Tablo 4.18. KİL-244 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

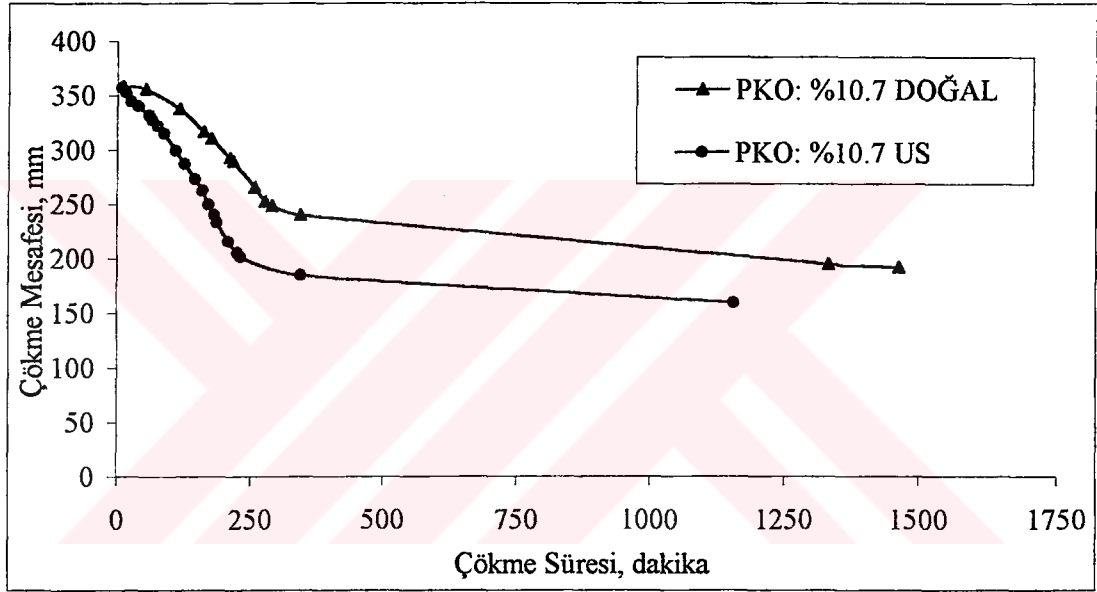
Numune Adı	pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-244	7.50	14.20	5.40	16.60
	7.15	26.00	10.68	19.82
	7.20	75.90	15.53	20.65



Şekil 4.24. KİL244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nın Etkisi

Ultrasonik titreşim etkisinde ve doğal ortamda Tablo 4.17 ve 4.18'de belirtilen şartlar altında gerçekleştirilen çöktürme deneyleri sonuçları incelendiğinde; her iki deney grubunda da pülpte katı oranı (PKO) düştükçe zamana bağlı olarak, süspansiyonda üst kısımda berrak kısım artmakta ve buna bağlı olarak da çökme hızının arttığı görülmektedir.

KİL-244 kodlu kilin, aynı pülp te katı oranı (%10.7) değerinde doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan deney sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.25.); ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme işleminin doğal ortamda yapılan çöktürmeye göre daha etkin olduğu görülmektedir. Doğal ortamda, 250 dakikada katı tanecikleri içeren (çökelti) yükseklik, 265 mm olurken, bu değer aynı sürede ultrasonik titreşim etkisinde 195 mm olmaktadır. Bu da aynı sürede çöken ürünün PKO'nunun ultrasonik titreşimle çöktürmede daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bir günlük (≈ 1440 dakika) çökme sonunda çöken ürünün PKO değeri açısından sonuçlar incelenirse, doğal ortamda, çökme sonu PKO %15.60 iken bu değer ultrasonik titreşim etkisi ile %19.82 olmaktadır.



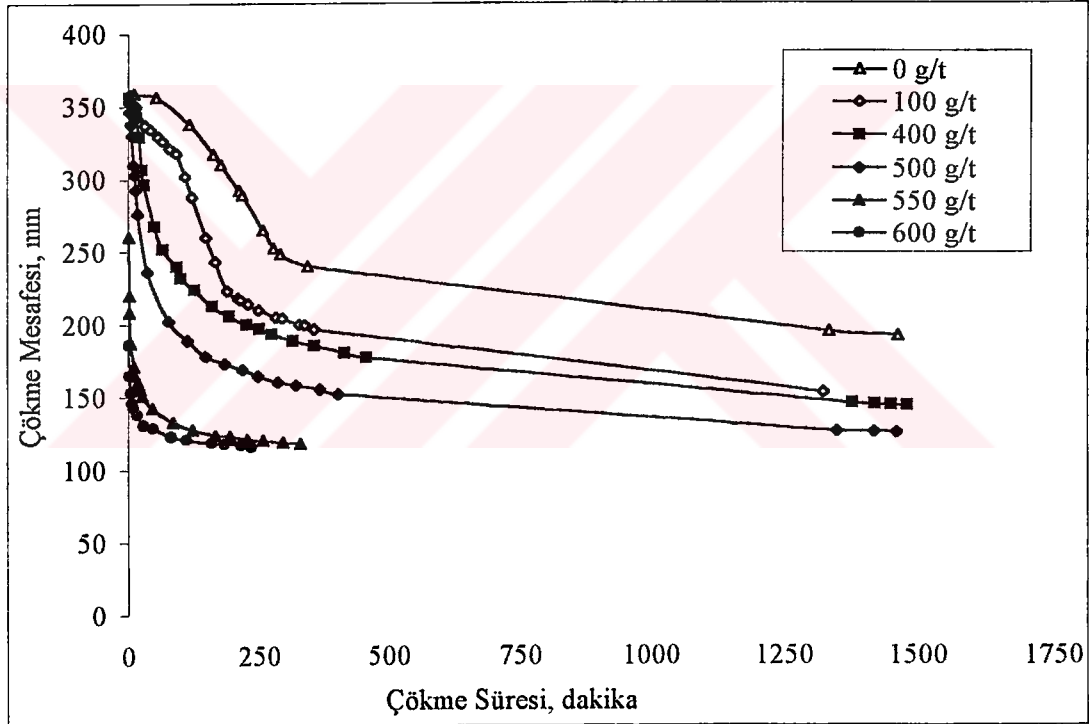
Şekil 4.25. KİL 244 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması

4.2.4.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri

KİL-244 numunesi üzerinde flokülant miktarının çökmeye etkisinin incelenmesi amacıyla sırasıyla 100, 400, 500, 550 ve 600 g/t miktarlarında Superfloc A-120 flokülantı kullanılarak bir seri çöktürme deneyi yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları ile yapılan çöktürme deneylerinin sonuçları Şekil 4.26'da, deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.19'da verilmektedir.

Tablo 4.19. KİL-244 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümlerinin Sonuçları.

Numune Adı	Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Flokülant Miktarı (g/t)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KİL-244	23.70	7.80	0	10.70	15.40
			100	9.46	21.20
			400	8.93	21.55
			500	9.17	25.60
			550	9.14	27.01
			600	9.04	27.70



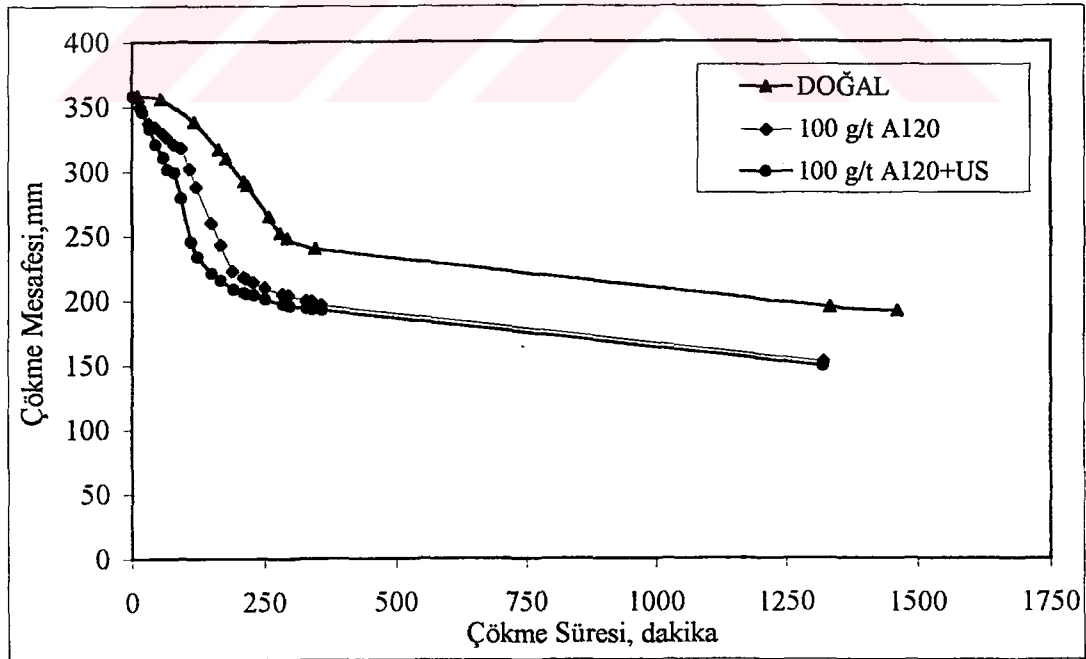
Şekil 4.26. KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi

Tablo 4.19'daki koşullarda flokülant ilavesi ile gerçekleştirilen çöktürme deneyleri incelendiğinde; Belirgin bir flokülasyonun 500 g/t flokülant miktarından sonra ortaya çıktığı görülmekle birlikte, 550 g/t miktarında bu etki maksimum olmaktadır. Bu sebepten dolayı, Yüksek miktarlardaki bu flokülant sarfiyatını önleyebilmek ve daha etkili çöktürme işlemi sağlayabilmek amacıyla, 100, 400 g/t flokülant

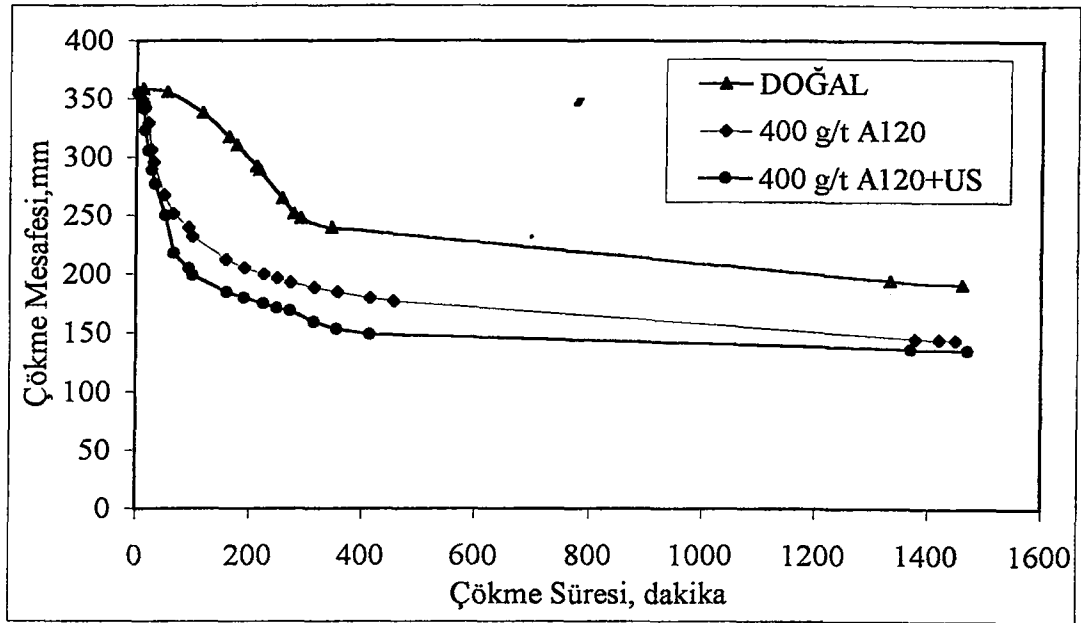
miktarlarında, ultrasonik titreşim etkisinde flokülasyon deneyleri yapılarak, ultrasonik titreşim ve flokülant ilavesinin çöktürmede birlikte etkisi incelenmiştir. Farklı flokülant miktarları (100, 400 g/t) ile yapılan deneylerin doğal ortamdaki ve ultrasonik titreşim ortamındaki çöktürme sonuçları ise sırasıyla Şekil 4.27a ve 4.27b’de deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.20’de verilmektedir.

Tablo 4.20. KİL-244 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
23.70	7.80	Doğal Çökme	10.70	15.40
		100 g/t Flokülant	9.46	21.20
		100 g/t Flokülant+US	9.44	22.23
		400 g/t Flokülant	8.93	21.55
		400 g/t Flokülant+US	9.02	22.85



Şekil 4.27a. KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşim Altında 100 g/t Flokülant ilavesinin Çökmeye Olan Etkisi



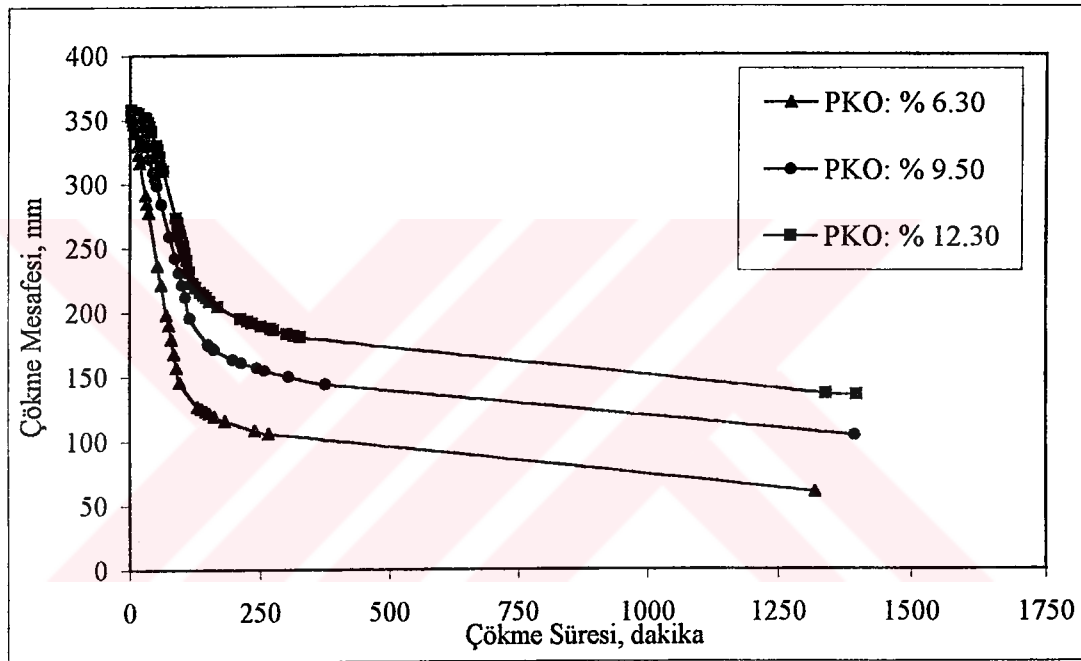
Şekil 4.27b. KİL 244 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşim Altında 400 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi

Ultrasonik titreşim etkisi altında flokülant ilavesi ile yapılan deney sonuçları (Şekil 5.27a, 5.27b) incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisi altında flokülasyon işleminin, sadece flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürmeden ve doğal ortamda hiçbir ilave olmaksızın yapılan çöktürme işleminden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük flokülant miktarı olan 100 g/t miktarındaki çöktürme sonuçları incelendiğinde (Şekil 5.27a); flokülant ilavesi (100 g/t) + ultrasonik titreşimin çöktürme işlemlerinde en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Sadece 100 g/t flokülant kullanılarak yapılan çöktürme deneyinde 250 dakikada katı partikülleri içeren yükseklik 215 mm olurken, bu değer aynı sürede ultrasonik titreşim altında 100 g/t flokülant ilavesi ile yapılan çöktürmede, 200 mm olmaktadır. Tablo 4.20'den, çökme sonu PKO'ları incelendiğinde ise, doğal ortamda %15.40 olan pülpte katı oranı, sadece 100 g/t flokülant ilavesinde %21.20 ultrasonik titreşim altında 100 g/t flokülant ilavesinde %22.23 olmaktadır. 400 g/t flokülant ilaveleri ile yapılan deney sonuçları incelenecek olursa aynı çökme karakteristikleri gözlenmektedir.

4.2.5. KAO-143 Numunesi ile Yapılan Deneyler

4.2.5.1. Ultrasonik Titreşim ve Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneyleri

Doğal ortamda KAO-143 kodlu kil numunesinin çökme karakteristiklerini belirleyerek, pülpte katı oranının çökmeye etkisini ortaya koymak amacıyla, doğal pH değerlerinde, doğal ortamda ve %6.30, 9.50 ve 12.30 pülpte katı oranı (PKO)'larda, çöktürme deneyleri yapılarak PKO değişiminin çökmeye etkisi belirlenmiş, deney sonuçları Şekil 4.28'de, deney öncesi ve sonrası ölçümler Tablo 4.21'de verilmiştir.

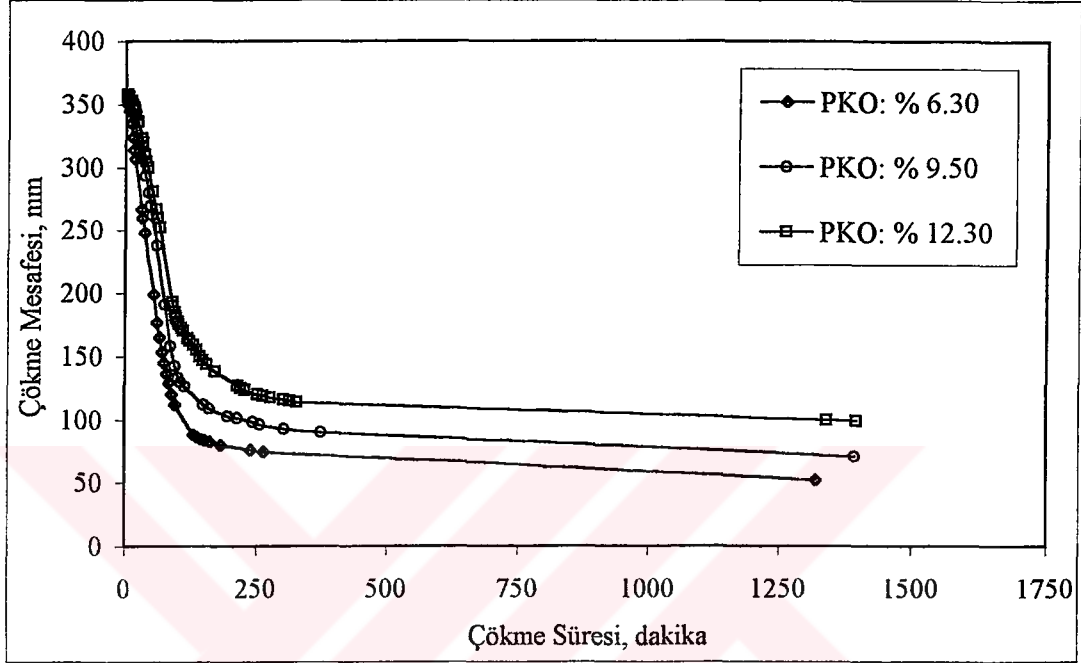


Şekil 4.28. KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi

Tablo 4.21. KAO-143 Numunesi ile Doğal Ortamda Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KAO-143	8.15	15.35	6.30	18.83
	8.00	19.40	9.50	25.12
	8.10	25.13	12.30	28.47

Ultrasonik titreşim etkisi altında, numunenin çökme karakteristiklerini ortaya koymak, PKO'nun etkisini görmek ve doğal ortamdaki çöktürme sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla, ultrasonik titreşim etkisi altında %6.30, 9.50 ve 12.30 pülpte katı oranı (PKO) değerlerinde çöktürme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçları, Şekil 4.29'da, deney öncesi ve sonrası ölçümler ise, Tablo 4.22'de verilmiştir.



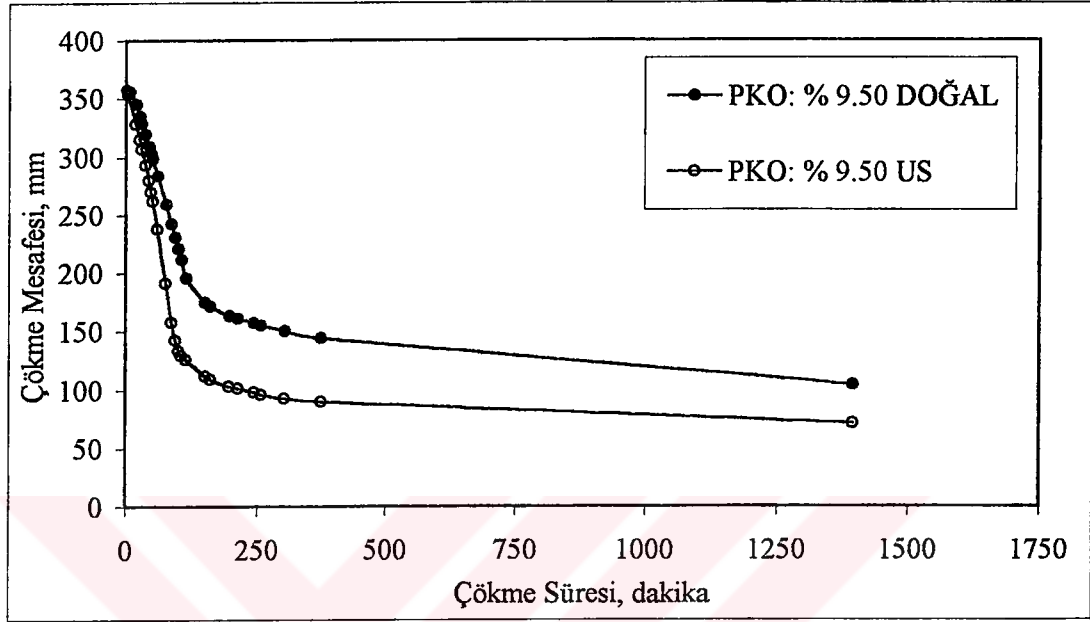
Şekil 4.29. KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Ultrasonik Titreşimli Ortamda Çöktürülmesinde PKO'nun Etkisi.

Tablo 4.22. KAO-143 Numunesi ile Ultrasonik Titreşim Ortamında Yapılan Deneylerin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Numune Adı	pH	Viskozite (cP)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KAO-143	8.15	15.35	6.30	24.48
	8.00	19.40	9.50	34.14
	8.10	25.13	12.30	36.24

Ultrasonik titreşim etkisinde ve doğal ortamda Tablo 4.21 ve 4.22'de belirtilen şartlar altında gerçekleştirilen çöktürme deneyleri sonuçları incelendiğinde; her iki deney grubunda da pülpte katı oranı (PKO) değeri düştükçe zamana bağlı olarak, süspansiyonda berrak kısım olarak alınan çökme mesafeleri artmakta ve buna bağlı

olarak da çökme hızının arttığı görülmektedir. Deney sonuçlarına göre, tesiste tükine beslenen ürünün PKO değerine yakın olan %9.50 PKO'da doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisindeki çöktürme deneyleri karşılaştırılarak, ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisi ortaya koyulmuştur(Şekil 4.30).

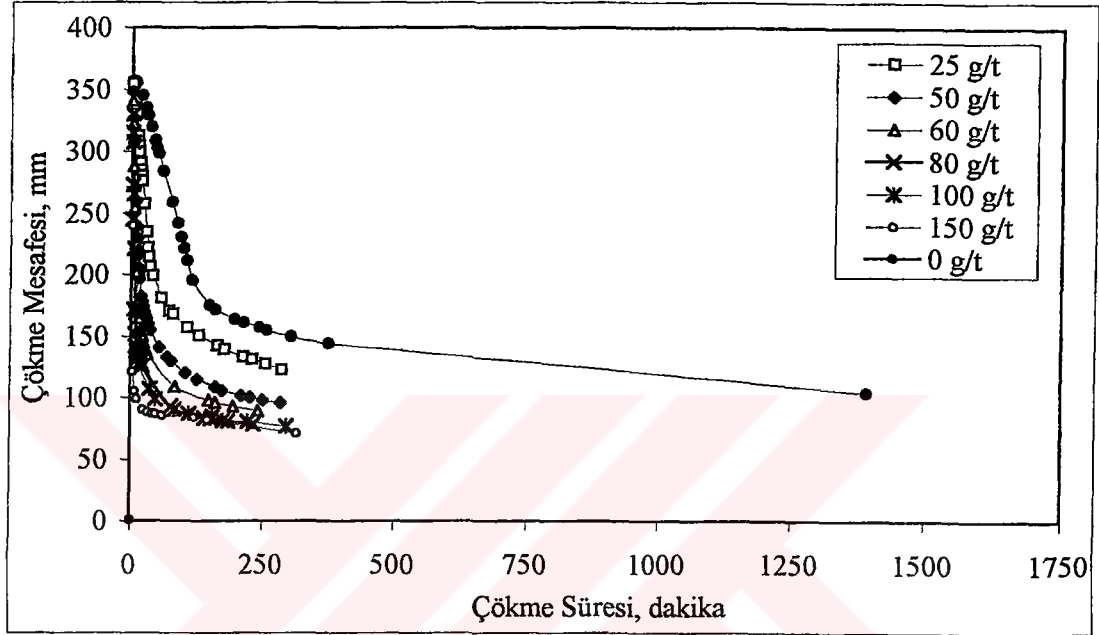


Şekil 4.30. KAO-143 Kodlu Kil Numunesiyle Doğal Ortamda ve Ultrasonik Titreşimli Ortamda Yapılan Deneylerin Karşılaştırılması

Deney sonuçları incelendiğinde; ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme işleminin, doğal ortamda yapılan çöktürmeye göre daha etkin olduğu görülmektedir. Doğal ortamda, 250 dakikada, katı tanecikleri içeren (çökelek) yükseklik 160 mm olurken, ultrasonik titreşim etkisinde 100 mm olmaktadır. Bu da aynı sürede çöken ürünün PKO değerinin, ultrasonik titreşimle çöktürmeden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bir gün(≈1440 dakika) çökme sonundaki çöken ürünün PKO değeri açısından sonuçlar incelenirse, doğal ortamda çökme sonu PKO %25.12 iken, bu değer ultrasonik titreşim etkisi ile %34.14 olmaktadır.

4.2.5.2. Flokülant İlavesi ile Yapılan Çöktürme Deneyleri

Flokülant miktarının çökmeye etkisinin incelenmesi amacıyla sırasıyla 25, 50, 60, 80, 100, 150 g/t miktarlarında Superfloc A-120 flokülantı kullanılarak bir seri çöktürme deneyi yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları ile yapılan flokülasyon deneylerinin sonuçları Şekil 4.31’de; deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.23’de verilmektedir.



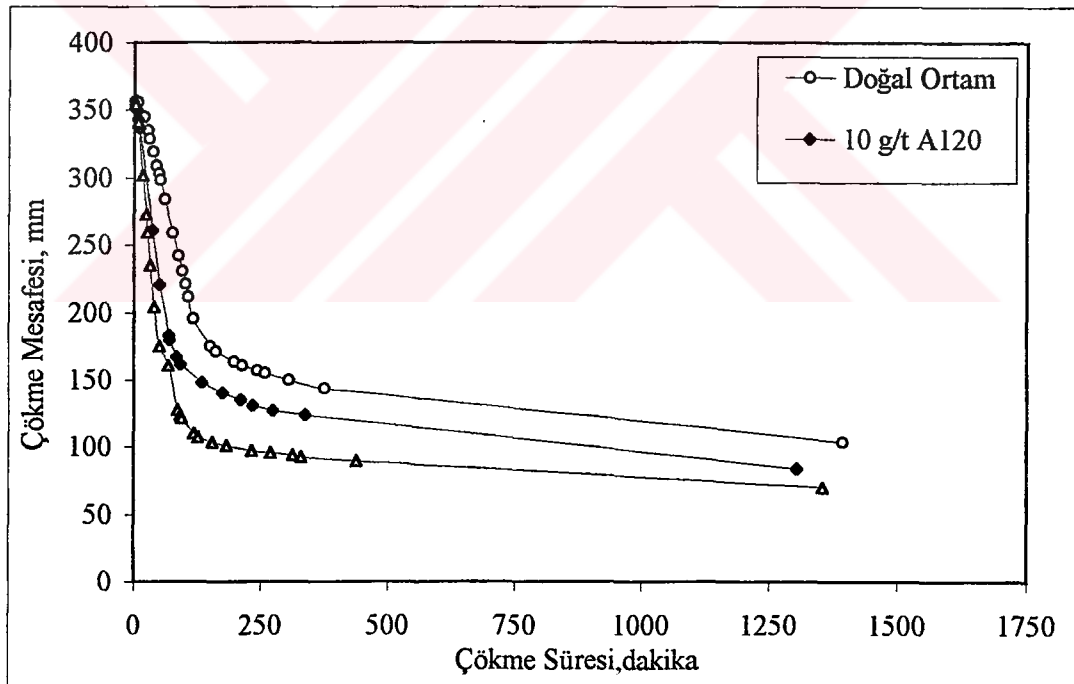
Şekil 4.31. KAO-143 Kodlu Kil Numunesinin Doğal Ortamda Çöktürülmesinde Flokülant (Süperfloc A120) Miktarının Etkisi

Tablo 4.23. KAO-143 Numunesi ile Değişik Flokülant Miktarlarında Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümlerinin Sonuçları.

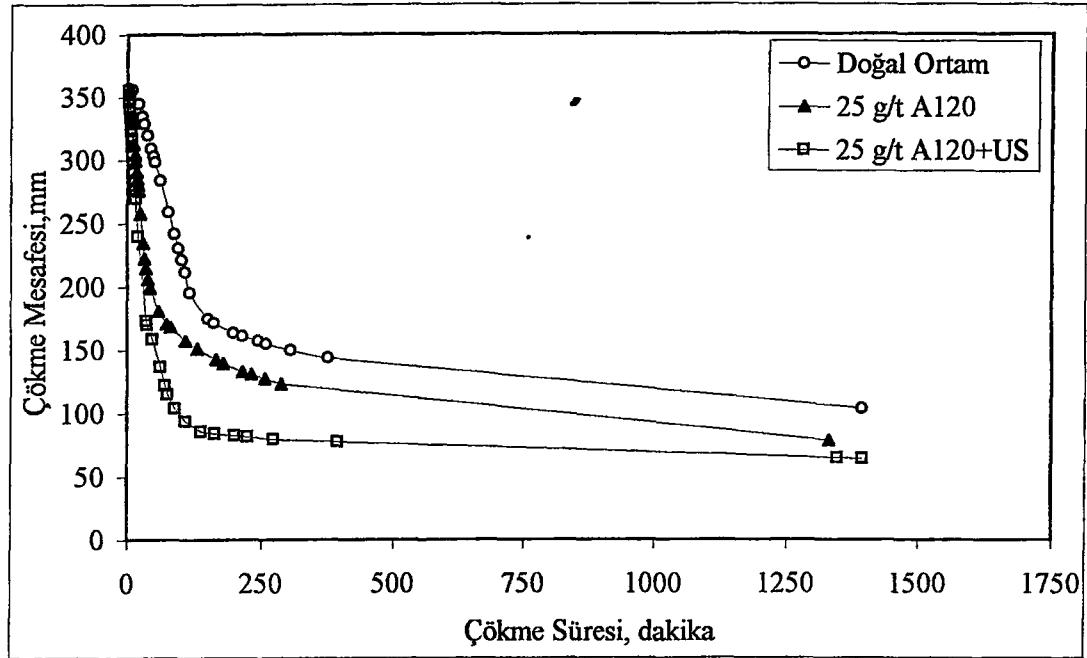
Numune Adı	Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Flokülant Miktarı (g/t)	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
KAO-143	19.40	8.10	0	9.70	25.12
			25	9.00	26.04
			50	8.97	29.19
			60	9.00	31.74
			80	8.95	34.58
			100	8.98	34.78
			150	8.90	36.63

Tablo 4.23'deki koşullarda flokülant ilavesi ile gerçekleştirilen çöktürme deneyleri incelendiğinde; flokülant miktarının diğerkil numuneleri ile yapılan flokülasyon işleminden daha az olduğu görölmekle birlikte, etkili bir flokülasyonun 50 g/t'dan sonra ortaya çıktığı görölmekte 100 g/t flokülant miktarında bu etki maksimum olmaktadır.

Ayrıca ultrasonik titreşim etkisinde flokülant ilavesinin etkisini görebilmek amacıyla 10, 25 g/t gibi daha düşük flokülant miktarlarında, ultrasonik titreşim etkisinde KAO-143 numunesi ile flokülasyon deneyleri yapılarak, ultrasonik titreşim ve flokülant ilavesinin çöktürmede birlikte etkisi incelenmiştir. Deneylerde doğal ortamda, doğal ortamda flokülant ilavesi ile ve ultrasonik titreşim etkisinde flokülant ilavesi ile deneyler yapılmıştır. Farklı flokülant miktarları (10, 25 g/t) ile yapılan deneylerin doğal ortamdaki ve ultrasonik titreşim ortamındaki çöktürme sonuçları ise sırasıyla şekil 4.32a ve 4.32b'de deney başlangıcı ve deney sonunda yapılan ölçümler ise, Tablo 4.24'de verilmektedir.



şekil 4.32a. KAO-143 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 10 g/t Flokülant İlavesinin ökmeye Olan Etkisi.



Şekil 4.32b. KAO-143 Kodlu Kil Numunesinde Ultrasonik Titreşim Altında 25 g/t Flokülant İlavesinin Çökmeye Olan Etkisi

Tablo 4.24. KAO-143 Numunesi ile Değişik Faktörlerin (Flokülant ilavesi, Ultrasonik titreşim) Ayrı Ayrı veya Birlikte Etkisini İncelemek Amacıyla Yapılan Çöktürme Deneylerinin Başlangıç ve Deney Sonu Ölçümleri.

Viskozite (cP)	Başlangıç pH	Deney Şartları	Başlangıç PKO (%)	Çökme Sonu PKO (%)
19.45	8.08	Doğal Çökme	9.70	25.12
		10 g/t Flokülant	9.45	30.71
		10 g/t Flokülant+US	9.56	36.23
		25 g/t Flokülant	9.00	33.90
		25 g/t Flokülant+US	9.32	37.20

Flokülant sarfiyatlarını önleyebilmek ve daha etkili çöktürme işlemi sağlayabilmek amacıyla, daha düşük flokülant miktarlarında ultrasonik titreşim etkisi altında yapılan deney sonuçları (Şekil 4.32a, 4.32b) incelendiğinde ise; ultrasonik titreşim etkisi altında flokülasyon işleminin, sadece flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürmeden ve doğal ortamda hiçbir ilave olmaksızın yapılan çöktürme işleminden daha etkili olduğu görülmektedir. En düşük flokülant miktarı olan 10 g/t

miktarındaki çöktürme sonuçları incelendiğinde (Şekil 4.32a). Flokülan ilavesi (10 g/t) + ultrasonik titreşimin çöktürme işlemlerinde en iyi sonucu verdiği görülmektedir. Sadece 10 g/t flokülan kullanılarak yapılan çöktürme deneyinde 250 dakikada katı tanecikleri içeren yükseklik, 135 mm olurken, ultrasonik titreşim altında 10 g/t flokülan ilavesi ile yapılan çöktürmede 100 mm olmaktadır. Tablo 4.24'den çökme sonu PKO'ları incelendiğinde ise, doğal ortamda %25.12 olan pülpte katı oranı, sadece 25 g/t flokülan ilavesinde %30.71, ultrasonik titreşim altında 10 g/t flokülan ilavesinde %36.21 olmaktadır. 25 g/t flokülan ilaveleri ile yapılan deney sonuçları incelendiğinde, aynı çökme karakteristikleri gözlenmektedir.

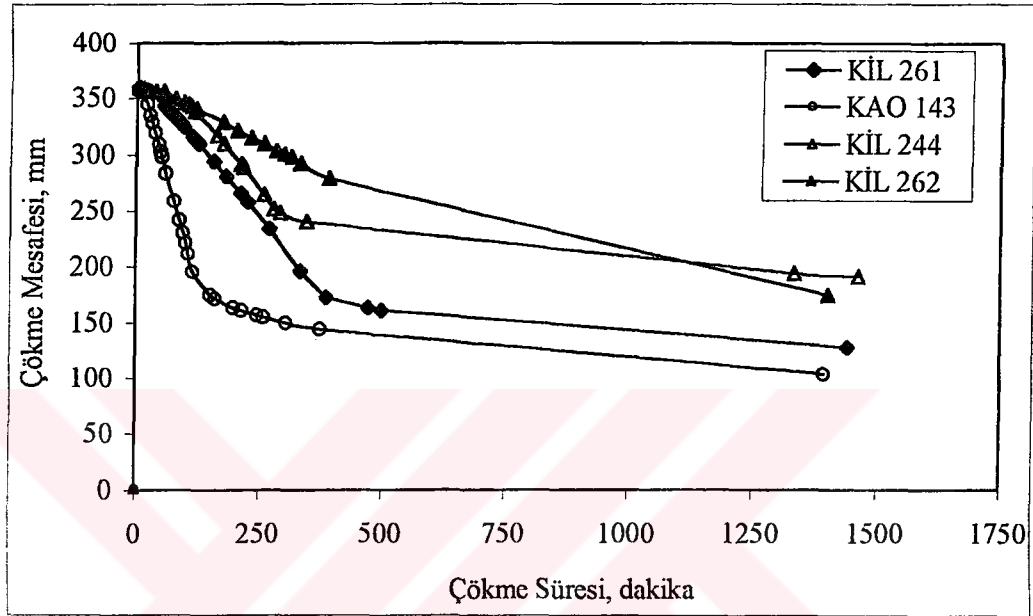


5. SONUÇLAR VE YORUMLAR

Değişik yöntemlerin kil çöktürmesinde etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneysel çalışmalar incelendiğinde;

- Deneylerde kullanılan kil numunelerinin farklı çökme hızlarına sahip oldukları görülmektedir. Şekil 5.1'den de görüldüğü gibi KAO 143 ve KİL 261 Kodlu kil numuneleri, diğer iki kil numunesine göre (KİL 244, KİL 262) daha hızlı çökmektedir. Çökme hızının düşük olduğu Kil 244, KİL 262 numunelerinin K_2O içeriği %2.5 mertebelerinde iken, hızlı çöken KAO 143 ve KİL 261 numunelerinde bu değer eser miktardadır. Ayrıca Al_2O_3 içeriği çökme hızı düşük killerde (%26-28) arasında iken, hızlı çöken killerde bu değer %32-34'dür. Bu sonuçlar irdelendiğinde, K içeren killer, İllit grubu killerdir ve bu gruptaki kil minerallerinin Al_2O_3 içeriği %21.7-32.8 değerleri arasında değişirken, kaolinit grubu kil minerallerinde bu değer, %30-40 mertebelerindedir(Tablo 1.1)[2]. Sonuç olarak, Kil 262 ve Kil 244 kodlu killer illit grubuna girerken; KAO 143 ve Kil 261 numuneleri, kaolinit grubu kil mineralleridir. Bu farklılık çökmeyi, farklı tane şekline bağlı olarak doğrudan etkilemektedir. Bilindiği gibi illit grubu kil mineralleri yapı özellikleri bakımından mikaya benzer, yassı ve levhamsı şekilde tanelere sahiptirler[1]. Bu farklılık İllit grubu kil minerali içeren killerin daha düşük hızla çökmesine neden olmaktadır.
- Süspansiyon içindeki katı tanelerin çökmesini doğrudan etkileyen, koagülasyon ve flokülasyon işlemlerinde önemli olan, elektrokinetik özellikler incelendiğinde; Şekil 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9'da görülen zeta potansiyeli eğrileri, deneysel çalışmalarda kullanılan tüm kil numunelerinin yüzey yükünün negatif olduğunu göstermektedir. Bu durum kil mineralleri için karakteristik bir özelliktir. Bilindiği üzere katı tanelerin oluşturduğu bir süspansiyonda koagülasyon ve flokülasyon (salkımlaşma) işleminin oluşması, mineral tanelerinin yüzey gerilimleri ile yakından ilgilidir. Literatürde belirtildiği gibi salkımlaşma işlemi -15 mV, +15 mV değerleri arasında oluşurken, bu değerler dışındaki yüzey gerilimlerinde

dispersiyon işlemi oluşmaktadır[14,26]. Bu bilgiler ışığında deneysel çalışmalarda kullanılan killerin zeta potansiyel eğrileri incelenirse, tüm kil numuneleri için bu değer, -15 mV değerinden daha düşüktür. Bu sonuçla süspansiyon içerisinde doğal bir salkımlaşma mümkün olmamakta, dispersiyon işlemi oluşmaktadır. Bu da çökmenin düşük hızda olması sonucunu doğurmaktadır.



Şekil 5.1. Farklı Kodlu kil Numunelerin Doğal Ortamda Çökme Eğrileri

- Doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde, farklı Pülpte katı oranı değerlerinde yapılan çöktürme deneyleri incelendiğinde, düşük pülpte katı oranlarında daha hızlı bir çökme elde edilmesini, tanelerin serbest çökme koşullarında hareket etmesi, yüksek PKO değerlerinde ortaya çıkan viskozite ve taneler arası kuvvetlerden daha az etkilenmesi olarak açıklayabiliriz. Bilindiği gibi, killerin bir akışkan içerisinde hareketinde, çok küçük tanelerden oluşmasından dolayı, Stokes yasaları geçerli olmaktadır. -100 mikron boyutundan küçük tanelerin akışkan içerisinde hareketlerini inceleyen bu kurallara göre; akışkan içindeki katının çökme hızı viskozitenin düşmesi ile artmaktadır[7].

- Ultrasonik titreşimin çöktürmede etkisinin belirlenmesi amacıyla, doğal ortamda ve ultrasonik titreşim etkisinde yapılan deneylerin sonuçları her kil numunesi için ayrı ayrı aşağıda verilmektedir.

a) KİL 261 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları;

Şekil 4.15’de görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda katı tanecikleri içeren yükseklik, ultrasonik titreşim etkisinde 160 mm, doğal ortamda 230 mm olmaktadır. 250 dakika sonunda, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı ise, doğal ortamda %13, ultrasonik titreşim etkisinde %18 olarak tespit edilmiştir.

b) KİL 262 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları;

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda katı tanecikleri içeren yükseklik, ultrasonik titreşim etkisinde 225 mm, doğal ortamda 310 mm olmaktadır. Elde edilen çökeleğin pülpte katı oranları ise, doğal ortamda %10.2, ultrasonik titreşim etkisinde %13.8 olarak tespit edilmiştir.

c) KİL 244 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları;

Şekil 4.25 incelendiğinde; 250 dakika sonunda, katı tanecikleri içeren yükseklik, ultrasonik titreşim etkisinde 195 mm, doğal ortamda 265 mm olmaktadır. 250 dakika sonunda, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranı, doğal ortamda %13.3, ultrasonik titreşim etkisinde ise, %18.2 olarak tespit edilmiştir.

d) KAO 143 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları;

Şekil 4.30’da görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda katı tanecikleri içeren yükseklik, ultrasonik titreşim etkisinde 100 mm, doğal ortamda 160 mm olmaktadır. Bu süre sonunda, elde edilen çökeleğin pülpte katı oranları ise, doğal ortamda %21.53, ultrasonik titreşim etkisinde %27.70 olarak tespit edilmiştir.

Farklı kil numuneleri ile yapılan deneylerde, ultrasonik titreşimin belirgin bir şekilde etkisi olduğu görülmektedir. Yapılan tüm deneyler sırasında, ultrasonik titreşimin etkisi ile, kabarcıkların oluşumu ve yüzeye doğru gaz çıkışı gözlenmekte olup, katı tanelerin bu boşluklardan geçerek daha etkin bir şekilde çöktüğü görülmüştür. Bu etkinin ultrasonik enerjinin ortaya çıkardığı kavitasyondan kaynaklandığı düşünülmektedir. Kavitasyon, katı parçacıkların bulunduğu bir süspansiyonda, mikrokabarcıkların oluşmasına neden olur; bu da katı sıvı ayırımının hızlı olmasını sağlar. Bunun nedeni, gaz-sıvı arayüzey enerjisinin, katı-sıvı arayüzey enerjisinden

çok daha düşük olmasındandır. Ayrıca kavitasyon, yüksek enerjili şok dalgaları oluşturur. Bunlarda, gaz çıkışını sağlayarak, katı-sıvı ayırımını hızlandırabilmektedir. Ayrıca ultrasonik enerji ortam tarafından absorbe edilerek ısıya dönüşmektedir[32]. Fakat tüm deneylerde, ultrasonik titreşim etkisi ile artan ortam ısısı transduser içine soğuk su ilavesi ile sabit tutulmuştur. .

- Yapılan ön deneyler sonucunda killerin flokülasyonunda, anyonik karakterli Superfloc A120 flokülantının en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bilindiği gibi, killerin, polimerle absorpsiyonu elektriksel etkileşimle olmayıp kovalent ve hidrojen bağı ile gerçekleşmektedir[27].
- Killerin doğal ortamda çöktürülmesinde, yüksek molekül ağırlıklı anyonik tip flokülant (Süperfloc A120) kullanımının etkisinin belirlenmesi ve gerekli flokülant miktarının tespit edilmesi amacıyla yapılan çöktürme deneyleri incelendiğinde (Şekil 4.16, 4.21, 4.26, 4.31); etkili bir çöktürmenin çok yüksek flokülant ilavelerinden sonra ortaya çıktığı görülmektedir. Kil 261, Kil 262, Kil 244, Kao 143 kodlu kil numuneleri için bu değerler sırasıyla 300, 350, 550, 100 g/t olmaktadır. Bu durum hem ekonomik olarak, hemde kilin değişen kimyasal kompozisyonundan dolayı, seramik üretiminde sakıncalı olmaktadır.
- Yüksek flokülant sarfiyatını önlemek, kilin kimyasal kompozisyonunu değiştirmesi gibi sakıncaları ortadan kaldırabilmek ve daha etkili çöktürme sağlayabilmek amacıyla, daha düşük flokülant miktarlarında, ultrasonik titreşim etkisinde yapılan çöktürme deneylerinin sonuçları, her kil numunesi için ayrı ayrı aşağıda verilmektedir.

a) KİL 261 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları:

Şekil 4.17a'da görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda, katı tanecikleri içeren yükseklik, 25 g/ton flokülant ilavesi ile, doğal ortamda yapılan çöktürme deneyinde 245 mm, ultrasonik titreşim etkisinde ise, 125 mm olmaktadır. 250 dakika sonunda, elde edilen çökeleğin pülpde katı oranları ise, doğal ortamda %15.3, ultrasonik titreşim etkisinde %21.9 olarak tespit edilmiştir.

b) KİL 262 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları:

Şekil 4.22a'da görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda, katı tanecikleri içeren yükseklik, 50 g/ton flokülant ilavesi ile, doğal ortamda 145 mm, ultrasonik

titreşim etkisinde ise, 130 mm olmaktadır. Bu süre sonunda, doğal ortam ve ultrasonik titreşim etkisinde yapılan flokülasyon işleminde, elde edilen çökeğin pülpte katı oranları ise sırasıyla, %17.6, %19.5 olarak belirlenmiştir.

c) KİL 244 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları:

Şekil 4.27 incelendiğinde; 250 dakika sonunda, katı tanecikleri içeren yükseklik, 100 g/t flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürme deneyinde 215 mm, Ultrasonik titreşim etkisinde ise, 200 mm olmaktadır. Bu süre sonunda, elde edilen çökeğin pülpte katı oranları, doğal ortamda %15.3, ultrasonik titreşim etkisinde, %16.8 olarak tespit edilmiştir.

d) KAO 143 Numunesi ile Yapılan Deney Sonuçları:

Şekil 4.32a'da görüldüğü gibi, 250 dakika sonunda katı tanecikleri içeren yükseklik, 10 g/t flokülant ilavesi ile doğal ortamda yapılan çöktürme deneyinde 135, ultrasonik titreşim etkisinde 100 mm olmaktadır. Bu süre sonunda, elde edilen çökeğin pülpte katı oranları ise, doğal ortamda 10 g/ton flokülant ilavesi sonucu, %21.53, ultrasonik titreşim etkisinde, %27.70 olarak tespit edilmiştir

Ultrasonik titreşimin, flokülant ilaveleri ile birlikte daha etkili çöktürme sağladığı görülmektedir. Ultrasonik titreşim altında flokülasyon işleminin daha etkili olmasının sebebi, yukarıda tek başına ultrasonik titreşimin neden olduğu olayların yanında, ultrasonik titreşimin süspansiyonun içinde kullanılan reaktifin daha üniform dağılımını sağlayarak yaratacağı etkiyi arttırması, tane yüzeyine flokülant adsorpsiyonunu kolaylaştırması, bununla birlikte kullanılan reaktiflerin yeteneğini arttırarak geliştirmesidir[49,50,51,52].

- Ultrasonik titreşimin killerin susuzlandırma amaçlı çöktürülmesinde, klasik yöntemlere göre daha etkili olduğunun ilk defa ortaya konulduğu bu tez çalışmasındaki sonuçlara bağlı olarak, ultrasonik enerjinin kil-su karışımlarında yarattığı etki ve bunun nedenleri üzerine gidilerek, mekanizmasının açıklanması ve bu etkilerle endüstriyel işlemlerde kullanılabilirliğinin araştırılması, özellikle seramik endüstrisine hammadde hazırlayan kil zenginleştirme tesislerine büyük yararlar sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Kumbasar I.**, 1977. Silikat Mineralleri, İTÜ Maden Fakültesi, Sayı:1098.
- [2] **Kaymaz Y.**, Seramik Hammaddeleri Yüksek Lisans Ders Notları, İTÜ Maden Fakültesi.
- [3] **Önal G., Yüce A.E., Özpeker I., Güney A.**, 1999 Endüstriyel Mineraller Envanteri, İ.M.İ.B & YMGV, İstanbul.
- [4] **Önal G., ve Ateşok G.**, 1994. Cevher Hazırlama El Kitabı, YMGV Yayınları, İstanbul.
- [5] **Özkoç S.**, 1993. Kaolen Zenginleştirme, Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Madencilik Bilim ve Teknoloji Dergisi, sayı:1, sayfa:67-75.
- [6] **Kişisel Görüşme.**, Prof.Dr. Güven Önal ile Kişisel Görüşme, İTÜ Maden Fakültesi, İstanbul.
- [7] **Önal G.**, 1994. İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama 2 Ders Kitabı, İstanbul.
- [8] **AKW Apparate+Verfahren GmbH u. Co. KG.**, Ürün Kataloğu.
- [9] **Trawinski H.**, Wet Preparation of Kaolin (China Clay), AKW Apparate+Verfahren GmbH u. Co. KG., Germany.
- [10] **Akar A.**, 1987. Endüstriyel Hammaddeler ve Zenginleştirme Yöntemleri, DEÜ Maden Mühendisliği Bölümü.
- [11] **Güler G.**, 1999. İstanbul Şile Bölgesi Kaolinitik Killerin Saniter Seramik Sektöründe Döküm Amaçlı Kullanımına Yönelik Fiziksel Yöntemle (Hidrosiklon Sistemi) ile Zenginleştirilmesi, 9.Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul.

- [12] **Sayın Ş. A.**, 1995. Kaolinit İçeren Kil Yataklarının Hidrosiklon ile Zenginleştirilmesi, 7.Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.
- [13] **KALE-MADEN.**, 2000. Kale-Maden A.Ş İşletme Tanıtım CD'si.
- [14] **Atak S.**, 1990. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması, İTÜ Vakfı, No: 34, İstanbul.
- [15] **Water Pollution Control Federation**, 1983. Sludge Dewatering Manual of Practice No.20, Washington.
- [16] **U.S. Environmental Protection Agency /625/1-87/014**, 1987. Dewatering Municipal Wastewater Sludges.
- [17] **D.A. Dahlstrom**, 1986. Fundamentals of Solid-liquid Separation, Design and Installation of Concentration and Dewatering Circuits, Editors: Andrew L.Mular, Mark A. Anderson, Society of Mining Engineers Inc., Colorado.
- [18] **D.L. King, F.A. Baczek**, 1986. Charecteristics of Sedimentation-Based Equipment, Design and Installation of Concentration and Dewatering.
- [19] **Wills B.A.**, 1979. Mineral Processing Technology, Pergamon Press.
- [20] **Denver Sala.**, "Pompa ve Zenginleştirme Ekipmanları Katoloğu"
- [21] **Nelleus Jan-Eric**, 1975. Handling of Waterborne Solids, Concentrates, Published by Sala Int., No:1, English Edition.
- [22] **Dosoudil M.**, 1986. Aspects of Continuous Pressure Filtration Engineering, Aufbereitungs-Technik, Heft 7, Seite 387-395.
- [23] **Krupp Mineral Processing.**, Crushing, Screening, Grinding, Driying and Filtering, Krupp Fördertechnik GmbH, <http://www.thyssenkrupp.com>.
- [24] **Smythe M.C., Wakeman R.J.**, 2000. The Use of Acustic Fields as a Filtration and Dewatering Aid, Ultrasonics, 38, 657-661.

- [25] **Bien J.B., Kempa E.S., Bien J.D.,** 1997. Influence of Ultrasonic Field on Structure and Parameters of Sewage Sludge for Dewaterin Process, Water Science Technology, Vol.36, No.4, pp.287-291.
- [26] **Gric N.M., Lric B.D.,** 1987. Flocculation; Theory and Application, Allied Colloids, England.
- [27] **Somasunduran P., Das K.K.,** 1998. Flocculation and Selective Flocculation – An Overview, Innovations in Mineral and Coal Processing, 7. Mineral Processing Symposium, İstanbul.
- [28] **Shang J.Q., Lo K.Y.,** 1997. Electrokinetic Dewatering of a Phosphate Clay, , Journal of Hazardous Materials 55, 117.
- [29] **Muralidhara H., Parekh B., Senapati N.,** 1985. Solid-Liquid Separation Process for Fine Particle Suspension by an Electirc and Ultrasonic Field, US Patent, No:4,561,953.
- [30] **Shang J.Q.,** 1997. Electrokinetic Dewatering of Clay Slurries as Engineered Soil Covers, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 34, Issue 1, pp.78-86.
- [31] **Gopalakrishnan S., Mujumdar A.S., Weber M.E.,** 1996. Optimal off-time Interrupted Electroosmotic Dewatering, Separation Technology, 6 pp. 197-200.
- [32] **Lockhart N.C.,** Illustrative of the Use of an Electrical Field in the Dewatering of Coal Washery Slimes, Fuel, Vol:60, pp:919-923.
- [33] **Elvira-Segura L., Gonzalez-Gomez I.,** 2000. Application of High Power Ultrasonics to Enhance Fluid/Solid Particle Separation Processes, Ultrasonics, 38, 642-646.
- [34] **Rehber Ansiklopedisi,** Genel Kütür Ansiklopedisi, 1986, Cilt 15, sayfa 178.
- [35] **Krasil'nikov V.A.,** 1963. Sound and Ultrasound Waves in Air, Water and Solid Bodies, Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem.

- [36] **Gallego-Juarez J.A.**, 1997. High Power Ultrasonic Transducers, NATO advanced Study Institute on Sonochemistry and Sonoluminescence Lavenworth, Washington, USA.
- [37] **Blitz J.**, 1963. Fundamentals of Ultrasonics., Butterworth, London
- [38] **Gallego-Juarez J.A., Rodriguez G., Willemse S., Warmoeskerken M.**, 1994. Sistema Ultrasonico Para Lavado de Textiles, Spanish Patent 9401960.
- [39] **Gallego-Juarez J.A.**, 1996. High Power Ultrasonic Technologies in Multiphase Media, Forum Acusticum, Antwerpen, Belgium.
- [40] **Rodriguez G., Gallego-Juarez J.A., Ramos A., Andres E., San Emeterio J.L., Montoya F.**, 1985. High Power Ultrasonic Equipment for Industrial defoaming, Proc. Ultrasonics International, Butterworth Co. Ltd., 506-511, London.
- [41] **Dr.Hielscher GmbH Sound Technology**, Ultrasound, www.hielscher.com
- [42] **Veneta G.**, Instruction Book for Ultrasonic Generator, Ecotece, Via Roma, 12.
- [43] **Farmer A.D., Collings A.F., Jameson G.J.**, 2000. Effect of Ultrasound on Surface Cleaning of Silica Particles, Int. Journal of Mineral Processing, 60, 101-113.
- [44] **Gallego-Juarez J.A., Riera E., Rodriguez G., Hoffmann T.L., Elvira L., Vazquez F., Montoya F.**, 1995. A Pilot Scale Acoustic System for Fine Particle Removal From Coal Combustion Fumes, World Congress on Ultrasonics 1995, Berlin.
- [45] **Singh B.P.**, 1999. Technical Note: Ultrasonically Assisted Rapid Solid-Liquid Separation of Fine Clean Coal Particles, Mineral Engineering, Volume 12, No 4, pp. 437-443.
- [46] **Stoev St. ve Diğerleri.**, 1992. Vibroacoustic improvements of froth floatation, Innovations in Flotation Technology, NATO ASI Series, Vol:208, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Hollanda, pp.383-407.

- [47] **Özkan Ş.G.**, 1998. Ultrasonik İşlemlerin Flotasyon Üzerindeki Etkileri, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yer Bilimleri Dergisi, Cilt:11, Sayfa:131-135
- [48] **Özkan Ş.G., Veasey T.J.**, 1996. Effect of Simultaneous Ultrasonic Treatment on Colemanite Flotation, Changing Scopes in Mineral Processing, pp.277-281, Kemal, Arslan, Akar and Canbazoglu(eds.), Balkema, Rotherdam.
- [49] **Aldrich C., Feng D.**, 1999. Technical note; Effect of Ultrasonic Preconditioning of Pulp on the Flotation of Sulphide Ores, Minerals Engineering, Vol.12, No.6, pp.701-707.
- [50] **Çelik M.S.**, 1988. Effect of Ultrasonic Treatment on the Floatability of Coal and Galena, II. Int. Mineral Processing Symposium, İzmir, Turkey.
- [51] **Özkan Ş.G.**, 2002. Technical Note; Benefication of Magnesite Slimes With Ultrasonic Treatment, Minerals Engineering 15, pp:99-101.
- [52] **Gray M.L., Champagne K.J., Soong Y., Finseth D.H.**, 1999. Column Oil Agglomeration of Fly Ash with Ultrasonics, Sixteenth Annual International Pittsburg Coal Conferance, Pittsburg-USA.
- [53] **Singh B.P., 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, Volume 32, Issue 5, pp 993-1002.
- [54] **Field D.J., Minasny B.**, 1999. A Description of Aggregate Liberation and Dispersion in a Horizons of Australian Vertisols by Ultrasonic Agitation, Geoderma 91, 11-26.
- [55] **Report FR/INV 0001**, Application of Ultrasonic in the Water Industry, <http://www.fwr.org/technol/frinv001.htm>
- [56] **Özer M., Kangal M.O., Benkli Y.E., Arslan F., Önal G.**, 2001. Effect of Ultrasonic Treatment on the Sedimentation of Clays, IX. Balkan Congress, pp. 63-68, İstanbul, Turkey.

- [57] **Somers J., Coperan Ph., Magill J., Richter K., Fourcaudot S., Barraux P., Lajarge P.,** 1994. Verbesserung der Effektivitat von Elektrostatischen Abscheindern Mittels Akustischer Aerosol Vorbehandlung, Staub-Reinhaltung der Luft, 54(12) p.451-454.
- [58] **Anlauf H.,** 1991. Development Trends and New Concepts for Improved Solid-Liquid Separation of Superfine Suspension In the Mineral Dressing Industry, XVII. International Mineral Processing Congress, Dresden/FGR.
- [59] **Vijh A.K., Novak J.P.,** 1997. New Theoretical Approach to Electroosmotic Dewatering (EOD) Based on Non-Equilibrium Thermodynamics, Drying Technology, Vol. 15, Issue 2, pp. 699-709.
- [60] **Fairbanks V and et.all.,** 1970. Accoustic Drying of Ultrafine Coals, Ultrasonics, Vol.8, No.3, pp.165-167.
- [61] **Ateşok G.,** 1987. Polimerlerin Cevher Hazırlamadaki Yeri ve Kullanım Özellikleri, Madencilik Dergisi, Cilt:26, Sayı:3.
- [62] **Kurşun İ., İpekoğlu B.,** 1999. Kaolen Artıklarının Flokülasyon ile Susuzlandırılması, 9.Ulusal Kil Sempozyumu, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ÖZER, 1975 yılında Kastamonu'da doğdu. 1993 yılında, Avcılar Teknik Lisesinden mezun oldu. 1994 yılında, Zonguldak Karaelmas Üniversitesini kazandı ve 1995 yılında, yatay geçişle İstanbul Teknik Üniversitesine kayıt yaptırdı. 1998 yılında, Maden mühendisi olarak mezun olan ÖZER, aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde, Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Ana Bilimdalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 1999 yılında, yüksek lisans ingilizce hazırlık programını bitirdi. Aynı yıl, İ.T.Ü Maden Fakültesi Cevher&Kömür Hazırlama ve Değerlendirme Ana Bilimdalı'nda Araştırma Görevlisi olarak atandı.



TC YÜSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN YÖNETİMİ