

Flokülasyon ve Flok-Flotasyon Yöntemleri ile  
Doğaltaş Atıksularının Arıtılması

Hande Kılıç

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2012

Treatment of Natural Stone Wastewaters  
by Flocculation and Floc-Flotation  
Methods

Hande Kılıç

**MASTER OF SCIENCE THESIS**

In Mining Engineering

July-2012

Flokülasyon ve Flok-Flotasyon Yöntemleri ile Doğaltaş Atıksularının Arıtılması

Hande Kılıç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı  
Cevher Hazırlama Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuba Taşdemir

Temmuz-2012

## ONAY

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Hande KILIÇ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Flokülasyon ve Flok-flotasyon yöntemleri ile doğaltaş atıksularının arıtılması” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd.Doç.Dr. Tuba TAŞDEMİR

**İkinci Danışman** : -

**Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:**

**Üye:** Prof.Dr. Hüseyin ÖZDAĞ

**Üye:** Prof.Dr. Bahri ÖTEYAKA

**Üye:** Prof.Dr. Haldun KURAMA

**Üye:** Doç.Dr. Ali UÇAR

**Üye:** Yrd.Doç.Dr. Tuba TAŞDEMİR

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof.Dr.Nimetullah BURNAK  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Bu çalışmada, -20 mikron doğaltaş tozu ile hazırlanmış atıksu numunesinin flokülasyon özellikleri belirlenmiş ve flok-flotasyonu yönteminin uygulanması ile atıksuyun arıtılabilirliği araştırılmıştır. Flokülasyon performansı atıksuyun kalan bulanıklık değerine ve flokların çökme hızına göre; flok-flotasyonu yönteminin başarısı ise atıksuyun kalan bulanıklık değeri ve yüzdürme verimine göre değerlendirilmiştir.

Deneyel çalışmalar üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada uygun flokülant seçimi ve miktarı için flokülasyon testleri yapılmıştır. En düşük bulanıklık değeri (3 NTU) ve en yüksek çökme hızı (870 mm/dk) SPP 508 anyonik flokülant ile 0,3 mg/L dozajında elde edilmiştir. İkinci aşamada, uygun toplayıcı tipinin ve miktarının belirlendiği ön flotasyon deneyleri klasik hücrede yapılmıştır. 750 gr/ton dozajında Aero 845 anyonik toplayıcının en uygun flotasyon reaktifi olduğu tespit edilmiştir. Son aşamada ise Jameson flotasyon hücresinde flok-flotasyonu deneyleri iki aşamalı gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamadan geçirilen temizlenmiş atıksu numunesi koşullandırılarak, ikinci aşama olarak tekrar sisteme geri beslenmiş ve flotasyona tabii tutulmuştur. Birinci aşamada en iyi sonuç, doğal pH'da (pH=8) anyonik toplayıcı (Aero 845) ve katyonik flokülant (Enfloc 440 C) kullanılması ile elde edilmiş ve atıksuyun başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU'dan 304 NTU'ya düşürülmüş ve %99.2 yüzdürme verimine ulaşılmıştır. İkinci aşamada, atıksuyun bulanıklık değeri noniyonik SPPN 134 flokülant kullanılması ile 27 NTU' ya kadar düşürülmüştür. En yüksek yüzdürme verimi (%99.9) ise Enfloc 440 C katyonik flokülant ile elde edilmiştir. Noniyonik SPPN 134 flokülantının ve Aero 845 toplayıcının birlikte kullanıldığı; koşullandırma süresi, besleme debisi ve katı oranının yüzdürme verimine etkisinin incelendiği Jameson flotasyon deneylerinde ise en yüksek yüzdürme verimleri 5 dakika koşullandırma süresi, 7.5 L/dk besleme debisi ve %2 katı oranında elde edilmiştir.

Sonuç olarak Jameson hücresinde flok-flotasyonu yönteminin iki aşamalı olarak uygulanması halinde, karışık doğaltaş tozları içeren atıksuyun %99.9 yüzdürme verimiyle temizlenebileceği bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Doğaltaş, atıksu, flokülasyon, flotasyon, flok-flotasyonu

## SUMMARY

In this study, flocculation properties of a wastewater sample prepared from natural stone powder cutting fines of -20 micron were determined and possibility of its treatment was investigated by applying floc-flotation method. Flocculation performances were evaluated according to residual turbidity of wastewater and settling rate of flocs while the success of floc-flotation was determined by residual turbidity of wastewater and flotation recovery.

Experiments were made in three stages. In the first stage, the flocculation tests were carried out in jar test machine for the selection and the appropriate amount of the flocculants. In these experiments, the least turbidity value (3 NTU) and the highest settling rate (870 mm/min) were obtained by SPP 508 anionic flocculant with 0.3 mg/L dosage. In the second stage of experiments, pre-flotation tests were carried out in classical flotation cell to determine suitable type and the amount of the collector. Anionic type of Aero 845 collector with 750 gr/ton dosage was found the most suitable. In the final stage, floc-flotation experiments were carried out in a Jameson flotation cell with two stage experiments. The cleared wastewater obtained from the first flotation stage was conditioned and fed back to the system again to apply second stage flotation. The best result in the first stage was obtained at natural pH (pH=8) by using anionic collector type (Aero 845) with cationic type of flocculant (Enfloc 440 C) and the initial turbidity value of 12000 NTU was reduced to 304 NTU with 99.2% flotation recovery. In the second stage flotation, turbidity value of wastewater was reduced to 27 NTU by using SPPN 134 flocculant. The highest flotation recovery was obtained as 99.9% by cationic type of flocculant (Enfloc 440 C). In the experiments where the effect of conditioning time, feed flowrate and solid ratio on flotation recovery were investigated, the highest recovery was obtained at 5 min conditioning time, 7.5 L/min feed flowrate and 2% solid ratio by using nonionic type of flocculant (SPPN 134) with Aero 845 collector.

In conclusion, the wastewater containing mixed natural stone cutting can be cleared with a 99.9% flotation recovery by applying two stage floc-flotation in Jameson cell.

**Keywords:** Natural stone, wastewater, flocculation, flotation, floc-flotation.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım ve çalışmalarına ışık tutarak tezin hazırlanmasında en az benim kadar emeği geçen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuba TAŞDEMİR' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her konuda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Adem TAŞDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Önerilerinden ve desteklerinden yararlandığım değerli hocam Sayın Prof. Dr. Bahri ÖTEYAKA başta olmak üzere tüm Maden Mühendisliği Bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Laboratuar çalışmalarım da yardımları olan değerli arkadaşlarım Ayla DEMİRAL ve Remzi ATİK'e teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde büyük emekleri olan sevgili annem Fatma ÇETİN'e, ablam Özlem ESİN'e, eniştem Aytaç ESİN'e ve son olarak da bana verdiği destekten ve yardımlarından ötürü nişanlım Sinan BAŞARAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET .....</b>	<b>v</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>vi</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>xiv</b>
<b>1 GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları .....	2
<b>2 ATIKSU ARITIMINDA FLOKÜLASYON YÖNTEMİ .....</b>	<b>5</b>
2.1 Flokülasyon.....	5
2.1.1 Flokülasyonun oluşumu .....	5
2.1.2 Flokülant türleri .....	6
2.1.3 Flokülasyon mekanizmaları .....	8
2.1.4 Katı-sıvı arayüzeyindeki iyonlar.....	9
2.1.5 Flokülasyona etki eden parametreler .....	10
2.2 Koagülasyon .....	13
<b>3 JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ VE FLOK-FLOTASYON.....</b>	<b>14</b>
3.1 Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF) .....	14
3.2 Giren Hava Flotasyonu (IAF) .....	15
3.2.1 Jameson flotasyon hücresi .....	15
3.2.2 Jameson hücresinde flok-flotasyon yöntemi ve atıksu arıtımında kullanımı.....	18
3.2.3 Jameson hücresinin atıksu arıtımında uygulama örnekleri.....	19
<b>4 DOĞAL TAŞ HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....</b>	<b>21</b>
4.1 Mermerin Tanımı ve Çeşitleri.....	21
4.2 Mermerin Bulunma Yerleri .....	23
4.3 Türkiye’ de Mermer Üretim ve İhracatı .....	24
4.4 Kullanım Alanları .....	24
4.5 Mermer İşleme Makineleri .....	25
4.6 Mermer İşleme Sırasında Atıksu Oluşumu ve Arıtılması.....	27
4.7 Mermer Atıkları .....	29



## İÇİNDEKİLER(devam)

4.7.1	Oluşum yerlerine göre mermer atıklarının çeşitleri .....	29
4.7.2	Boyutlarına göre mermer atıkları.....	30
4.8	Doğal taş Atıklarının Çevreye Etkileri .....	31
<b>5</b>	<b>DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>32</b>
5.1	Malzeme.....	32
5.1.1	Deneylerde kullanılan çeşme suyu ve saf suyun özellikleri .....	35
5.1.2	Deneylerde kullanılan kimyasallar .....	36
5.2	Yöntem.....	37
5.2.1	Flokülasyon deneyleri.....	37
5.2.2	Flotasyon deneyleri.....	38
5.2.3	Bulanıklık ve pH ölçümü.....	41
5.3	Bulgular .....	42
5.3.1	Flokülasyon çalışmaları .....	42
5.3.2	Flotasyon deneyleri.....	51
5.3.3	Jameson flotasyon hücresi deneyleri .....	55
<b>6</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>68</b>
	<b>KAYNAKLAR DİZİNİ .....</b>	<b>70</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	Flokülasyonun oluşum şekli.....6
2.2	Polimer köprü teşekkülü ile askıda katı tanelerin flokülasyonu .....8
2.3	Elektrostatik yük yamama yöntemiyle flokülasyon .....9
2.4	Zeta potansiyelinin şematik olarak gösterimi.....10
3.1	Jameson flotasyon hücresi .....16
4.1	Türkiye mermer rezervi haritası .....23
4.2	Çeşitli mermer türleri için kullanılması gereken minimum su ihtiyacı testere çapı arasındaki ilişki .....26
4.3	Mermer fabrikasında tipik mermer işleme departmanları ve atık/ Atıksu oluşumu .....27
5.1	Atıksu numunesinin serbest çökme eğrisi.....33
5.2	Doğal taş atığının XRD pikleri .....33
5.3	- 20 mikron mermer atığının tane boyut analizi.....34
5.4	Doğal taş atık tozunun pH'ya göre zeta potansiyel eğrisi.. .....35
5.5	Jar test cihazı.....38
5.6	Jameson flotasyon hücresi.....39
5.7	Türbidimetre .....41
5.8	Multimetre cihazı.....41
5.9	Anyonik flokülant miktarlarının kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkisi (Doğal pH:8, çöktürme süresi 15dk).....43
5.10	Sabit flokülant (Anyonik) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L).....45
5.11	Katyonik flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).....47
5.12	Sabit flokülant (Katyonik) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).....48

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.13 Noniyonik flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökeltme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).....	49
5.14 Sabit flokülant (İyonik olmayan) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk)..	50
5.15 UMA tipi flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökeltme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).....	50
5.16 Sabit flokülant (UMA) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).....	51
5.17 Toplayıcı tipi ve miktarının yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi:2 dk).....	52
5.18 pH'nın yüzdürme verimine etkisi (Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi: 2 dk).....	53
5.19 Koşullandırma süresinin yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk).....	54
5.20 Anyonik ve katyonik toplayıcı ile birlikte farklı tip flokülant kullanılmasının yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi: 2 dk).....	54
5.21 pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (flokülant ilavesiz).....	56
5.22 pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Anyonik flokülant-SPP 508).....	57
5.23 pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Katyonik flokülant-Enfloc 440 C).....	58
5.24 pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Noniyonik flokülant-SPP N 134).....	59
5.25 Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre 1. Aşama ve 2 dakika flotasyon süresi için karşılaştırmalı deney sonuçları.....	60
5.26 Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 1. Aşama ve 5 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları .....	61

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**

<b><u>Sekil</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
5.27	Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 1. Aşama ve 10 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları .....61
5.28	Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 2 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları .....62
5.29	Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 5 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları .....63
5.30	Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 10 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları .....63
5.31	Koşullandırma süresinin bulanıklık ve yüzdürme verimi üzerine etkisi.....64
5.32	Besleme debisinin kalan bulanıklık ve yüzdürme verimi üzerine etkisi.....66
5.33	Katı oranının bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi.....67

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
2.1 Doğal taş ocaklarının illere göre dağılımı.....	7
5.1 Deneylerde kullanılan atıksu numunesinin özellikleri.....	32
5.2 Doğal taş atığının kimyasal analiz sonuçları.....	34
5.3 Kullanılan saf suyun ve çeşme suyunun özellikleri.....	35
5.4 Deneylerde kullanılan flokülantlar ve özellikleri.....	36
5.5 Deneylerde kullanılan flotasyon reaktifleri ve özellikleri.....	37
5.6 Klasik hücre de yapılan ön flotasyon deney koşulları.....	39
5.7 Jameson flotasyon hücresi deney koşulları.....	40

## 1 GİRİŞ

Doğal taşlar, yüzyıllar boyunca insan topluluklarının yaşadığı mekanlarda, yapılarda ve sanatsal tasarımlarda kullanılarak uygarlığın simgesi olmuştur. Günümüzde, tüketim alanlarının (iç ve dış dekorasyon, kaldırım taşı, dış cephe kaplamacılığı vs.) çoğalması ile birlikte doğaltaşlara olan talep artmış ve en cazip sektörlerden biri haline gelmiştir. Ticari anlamda doğal taş; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, talebe göre cilalanıp parlatılabilen kayalardır. Kullanıldıkları yerlerin özelliklerine ve kullanım isteğine göre birtakım işlemlere tabi tutulmakta, blok ve plakalar halinde kesilip parlatılmaktadır. Blok ve plakalarının işlenmesi (kesilmesi ve parlatılması) sırasında ortaya çıkan doğal taş tozu miktarının yılda yaklaşık 150.000 ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. 1m<sup>3</sup>'lük (yaklaşık 3 ton ağırlığında) bir bloğun işlenmesi sırasında açığa çıkan toz miktarı, bloktan elde edilecek plaka kalınlığına bağlı olarak, blok ağırlığının %30-40'ı arasında değişmektedir (Önenç, 2001; Yılmaz ve ark. 2003; Kulaksız, 2003; Ersoy, 2003 ).

Mermer işletmeleri, suyun en çok kullanıldığı sektörlerden birisidir. Bu yüzden suyun tekrar arıtılarak işletmeye kazandırılması önem taşımaktadır. Mermer işletmelerinde ince boyutlu toz atıklar katrak veya S/T gibi blok mermer kesiminden, yan kesme, baş kesme makinalarının kullanımından ayrıca silme ve cilalama işlemlerinden ortaya çıkmaktadır (Önenç, 2001; Ersoy, 2003). Meydana gelen bu tozların iri boyutlu olanları (0.1-2 mm) atık havuzuna giderken kanallarda yerçekimi kuvvetiyle kendiliğinden çökmektedir. Daha ince boyutlu (<0.1 mm) olanlar ise su içerisinde askıda kalmaktadır. Askıda kalan bu ince boyutlu mermer tozları ise genelde çöktürme tankında flokülant ilavesiyle çöktürülebilmekte ve böylece katı tanelerden arındırılmış veya askıda katı madde miktarı en aza indirilmiş temiz su elde edilebilmektedir. Bu su ise yeniden mermer işlenmesinde kullanılabilir (Ersoy 2003). Mermer İşletmesinde yeniden kullanılan suda ince boyutlu taneciklerin kalması silme ve cilalama aşamalarında mermeri çizerek ürün kalitesini bozabilmektedir. Bu yüzden mermer işletmesinde tekrar kullanılacak su askıda katı madde içermemelidir.

Bu çalışmada, Eskişehirde bulunan bir doğaltaş kesim fabrikasından alınmış atık kullanılarak hazırlanan atıksu numunesinin farklı tür flokülantlar yardımı ile flokülasyon özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda flokülasyon yöntemiyle birlikte flotasyon yönteminin (flok-flotasyonu yöntemi) uygulanması ile atıksuyun arıtılabilirliği araştırılmıştır.

Deneysel çalışmalar üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada uygun flokülant seçimi ve miktarı için flokülasyon testleri jar test cihazında, uygun toplayıcı tipinin ve miktarının belirlendiği ikinci aşama ön flotasyon deneyleri klasik hücrede yapılmıştır. Son aşamada ise Jameson flotasyon hücresinde iki aşamalı flokül-flotasyonu deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Altı bölümden oluşan bu çalışmada; giriş bölümünden sonra ikinci bölümde flokülasyon ve koagülasyon hakkında genel bilgiler verilmekte, üçüncü bölümde Jameson flotasyon hücresi tanıtılmakta, çalışma prensipleri hakkında ve ayrıca flokül-flotasyonu ile ilgili bilgilendirme yapılmaktadır. Doğaltaşlar ve atıkları hakkında bilgiler içeren dördüncü bölümden deneysel çalışmaların ve yorumların bulunduğu beşinci bölüm yer almaktadır. Genel sonuçların ve önerilerin bulunduğu son bölüm ile çalışma sonlanmaktadır.

## **1.1 Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları**

Alptekin (2006), doğal taşların işlenmesi sırasında açığa çıkan süspansiyon halindeki mermer ve traverten gibi doğal taş atıksularının flokülasyon ve koagülasyon yöntemleriyle arıtılması konusunda çalışmalar yapmıştır. Deneylerde, poliakrilamid esaslı anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar ile çeşitli koagülantlar kullanılmıştır. Orijinal haldeki doğal taş atık suyunu temsilen ise mermer ve traverten süspansiyonu kullanılmış, doğal taş atık sularının arıtım performansları ise topaklanmış (floküle veya koagüle olmuş) süspansiyonun çökeltme hızı ile çökeltme sonrası ortaya çıkan temiz suyun bulanıklık verileri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Solak (2007) çalışmasında, alüminyum ve demir elektrotların kullanıldığı elektrokoagülasyon prosesi ile mermer işleme atıksuyundan askıda katı madde ve bulanıklık giderimini amaçlamıştır. Askıda katı madde ve bulanıklık giderimi üzerine

pH, akım yoğunluğu ve işletim zamanı gibi optimizasyon parametreleri belirlenerek, elektrot materyali-enerji ihtiyacı ve işletme maliyeti gibi proses işletim parametreleri hesaplamıştır.

Oğul (2005) mermer işleme sırasında ortaya çıkan mermer tozlarının atıksudan giderilmesinde kullanılan koagülant ve flokülantların optimum miktarlarını belirlemiştir.

Büyüksağış (1994) mermer işleme tesislerinde proses sonucu tüketilen suyun atıklardan arındırılarak tesise geri kazandırılması yöntemlerini araştırmıştır. Ayrıca halen tüm dünyada ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan Flokülasyon yöntemini 8 çeşit mermer numunesine uygulamıştır. Denemelerde 4 ayrı şirkete ait 9 tip anyonik ve kationik flokülantlar kullanılarak, uygun flokülant, optimum flokülant miktarı ve ortam pH'ları tespit edilmiştir. Sonuçta farklı cins mermerler için, farklı karakterde flokülantlar ve optimum tüketim miktarı ile uygun ortam pH'ları belirlenerek, endüstriyel boyuttaki tesislerde karşılaşılan sorunlar çözümlenmiştir.

Sabah ve Açıksöz (2012) traverten atıksuyunun katı sıvı ayırımında klasik flokülant ve UMA flokülantları ile flokülasyon çalışmaları yapmışlardır. Çökeltme hızları ve bulanıklık değerleri açısından flokülasyon performanslarını karşılaştırmışlardır. Anyonik flokülantlara göre UMA flokülantların daha iyi sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Ersoy ve ark. (2009) doğaltaş atıksularından bulanıklık uzaklaştırmak için flokülasyon, flotasyon ile birlikte koagülasyon yöntemlerini uygulanmıştır. En düşük bulanıklık değerlerine (5 NTU) flokülasyon ve koagülasyonun birlikte uygulandığı yöntemle elde etmişlerdir.

Ersoy (2005) doğaltaş atıksularının flokülasyonu üzerine pH ve polimer yük yoğunluğunun etkisini incelemiştir. Kullandıkları mermer süspansiyonu için en iyi flokülasyon performansını %34 yük yoğunluğundaki anyonik polimer ile, traverten süspansiyonu için %28 yük yoğunluğundaki anyonik polimer ile elde etmişlerdir. Aynı zamanda yüksek pH'da yüksek çökeltme hızı ve yüksek bulanıklık değerlerine ulaşmışlardır.

Şener (2007) doğal yapı malzemesinin işlenmesi sırasında ortaya çıkan düşük çökme hızına sahip ve çok ince boyutlardaki atıksu flokülant ilavesiyle arıtmaya



çalışılmıştır. Denenen üç flokülant arasında mermer taneleri için anyonik, bazalt ve granit için kanyonik flokülantlar en iyi sonuçları vermiştir. Mermer tozu içeren atıksuda 3mg/L dozda anyonik A-110; granit ve bazalt atıksuyunda ise katyonik C592 flokülantının sırasıyla 4 ve 3mg/L dozları yeterli bulunmuştur.

Beyazyüz ve ark. (2011) çalışmalarında traverten işleyen bir mermer fabrikasının yüksek miktarda askıda katı madde içeren atıksularından bulanıklığın giderilmesinde flokülasyon yönteminin etkisini incelemiştir. %97 flokülasyon verimi, 2,58 NTU bulanıklık değeri ve 220 mm/dk çökme hızı ile en iyi çöktürme anyonik flokülant (Eurofloc 2440) ile doğal pH değerinde elde edilmiştir.

Taşdemir ve Kurama (2012) beş farklı doğaltaş atıklarının (Mermer ve traverten süspansiyonları) flokülasyon davranışını incelemiştir. Mermer ve traverten numunelerinin farklı yüzey yüklerine sahip olduklarını ve flokülasyon deneylerinde çökme hızı ve bulanıklık giderimi açısından anyonik flokülantın, katyonik ve iyonik olmayan flokülanta göre daha etkin olduğu bulunmuştur.

Jameson (1999) Giren Hava Flotasyonu (IAF) ve Çözünmüş Hava flotasyonunun (DAF) karşılaştırmasını yaparak IAF flotasyon yönteminin avantajlarını ortaya koymuştur. Aynı zamanda çalışmasında IAF (Jameson flotasyon hücresinin) atıksu arıtımındaki uygulamalarından bahsetmiştir. Yağ, askıda tane ve yosunun temizlenmesinde flokülasyonunun kullanımına yer vermiştir. Tesis boyutundaki uygulamalara yer vermiştir.

Yan ve Jameson (2004) yaptıkları çalışmada atıksu doğal havuzlarından yosun ve fosforun Jameson Flotasyon Hücresinde aynı anda uzaklaştırılması amacıyla flokülasyonunu uygulamasını yapmışlardır. %98 yosun uzaklaştırma verimi ve fosfor seviyesinde 0,3 mg/L'nin altına düşürmüşlerdir.

Kotze ve ark (2001) Waihi'de bulunan arıtma tesisinin atıksularındaki askıda katı ve fosforu uzaklaştırmak için Jameson flotasyon hücresinde flokülasyonunu uygulaması yapmışlardır. %93,4 süspansiyon katı uzaklaştırma verimi % 95,5 bulanıklık uzaklaştırma verimi ve % 97,8 fosfor uzaklaştırma verimi elde etmişlerdir.

Taşdemir ve ark (2010) Jameson flotasyon hücresinde flokülantlı ve flokülantsız flotasyon deneyleri yapmışlardır. -20 mikron saf kuvars numuneleri kullanılarak yapılan deneylerde flokülantsız %74 bulanıklık uzaklaştırma verimi elde edilirken, anyonik flokülant ile % 90 bulanıklık uzaklaştırma verimine ulaşmışlardır.

## 2 FLOKÜLASYON VE KOAGÜLASYON

### 2.1 Flokülasyon

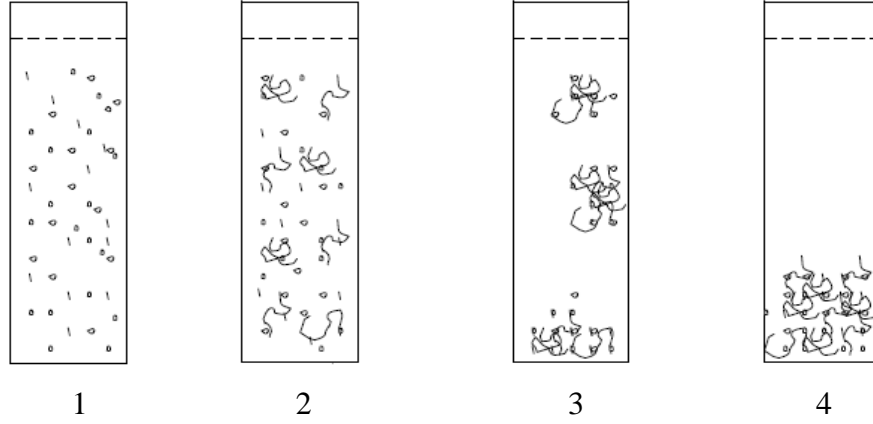
Flokülasyon yöntemi, herhangi bir sıvı içerisinde çökmeden askıda duran veya çok yavaş çöken ve bu nedenle bulanıklığa sebep olan ince boyutlu katı taneciklerin, yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerin (flokülant) ortama ilavesiyle bir araya getirilip (Salkımlaştırma-kümeleşme) hızlı çöktürülmesi işlemleridir. Ancak koagülasyonda taneciklerin salkımlaştırılması için ortama inorganik elektrolitler ilave edilir ve yüzey elektrik yükleri nötralize edilerek kararsız hale gelmeleri sağlanır. Flokülasyonda ise taneler arasında fiziksel bir köprü meydana getirilerek tanelerin salkımlaşmaları sağlanmaktadır. Flokülasyon sonucu oluşan salkımsı yapılara “flok” adı verilmektedir(İpekoğlu, 1997; Gregory, 2005; Hogg, 2000).

#### 2.1.1 Flokülasyonun oluşumu

Flokülantlar yüksek molekül ağırlıklı polimerler olup katı parçacıkların yüzeylerine yakınlık gösterirler. Bu yakınlıklarından doğan sonuç; katı parçaların bir araya gelmesi ve bir salkım oluşturmasıdır. Bu durum Şekil 2.1’de şematik olarak görülmektedir. Flokülasyonun oluşum sırası;

1. Flokülant katılmadan önce,
2. Flokülant eklendikten sonraki durum,
3. Flokülantların katı parçacıkları ile temasa geçişi,
4. Flokülasyonun meydana gelmesi aşamalarından meydana gelmektedir.

Flokülantlar parçacıkların birbirine bağlanmasına neden olur. Daha sonra bir araya gelen (salkımlaşan) parçacıklar dibe kısa sürede çökme eğilimi gösterir ve çökerler (Yeşilkaya,1989).



Şekil 2.1. Flokülasyonun oluşum şekli (Oğul,2005)

### 2.1.2 Flokülant türleri

Flokülasyon oluşumunda kullanılan maddelere “flokülant” denilmektedir. Flokülantlar organik esaslı polimerler veya polielektrolitlerdir (Ersoy, 2005). Flokülantlar genel anlamda doğal ve sentetik polimer flokülantlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir:

Doğal flokülantlar: Nişasta, reçine, deniz yosunu veya çeşitli bitki ve sebze tohumlarından elde edilen doğal organik maddelerdir. Doğal flokülantların molekül ağırlıkları sentetik polimer flokülantlara nazaran çok düşüktür ve buna bağlı olarak floküle etme kabiliyetleri bakımından sınırlıdır. Ayrıca yüksek dozajlarda kullanılmaları, dengesiz süspansiyonlar meydana getirmeleri ve meydana getirdikleri salkımların kolay parçalanabilirliği de doğal flokülantların dezavantajları arasındadır. Bu tip flokülantların kullanım alanları günümüzde oldukça azalmıştır.

Sentetik flokülantlar: Suda çözünebilir yüksek molekül ağırlıklı organik polimerlerdir. Sıvı, emülsiyon veya katı (granül) olarak üç farklı fiziksel formda üretilmektedirler. Bu tip flokülantların molekül ağırlığı arttıkça floküle etme kabiliyetleri de artmaktadır. Sentetik olarak elde edilen en önemli ve en yaygın flokülant poliakrilamid (PAA) ve onun türevleridir. Sentetik polimer flokülantlar yüklerine göre ise üç gruba ayrılmaktadırlar:

a-) İyonik olmayan flokülantlar: İyonik olmayan flokülantlar herhangi bir elektriksel şarj taşımazlar ve süspansiyonun pH değişiminden fazla etkilenmezler. Bu

tip flokülantların köprüleme kabiliyetleri de yüksektir. En önemli ve en yaygın kullanılanı PAA esaslı flokülantlardır. Bundan başka kullanılabilir diğer tür iyonik olmayan flokülantlar da Polivinil alkol (PVA), Polietilen oksitlerdir (PEO).

b-) Anyonik flokülantlar: Atıksularının flokülasyonunda genellikle yüksek molekül ağırlıklı anyonik flokülantlar kullanılmaktadır. Negatif yük taşıyan anyonik flokülantlar nötral-alkali pH aralığında daha etkindirler. Bu flokülantların köprüleme kabiliyetleri yüksektir. Anyonik flokülantlar anyoniklik derecesine göre zayıf anyonik, orta anyonik ve yüksek anyonik flokülant gibi sınıflara da ayrılabilirler. PAA esaslı bu anyonik flokülantlardan başka kullanılabilir anyonik flokülantlar ise şöyle sıralanabilir; Sodyum polyestren sülfonat, Akrlamido-metilpropan ve Sülfonik asitin kopolimerizasyonundan elde edilen ürünlerdir.

c-) Katyonik flokülantlar : Pozitif yük taşıyan katyonik polimerlerin yapısı oldukça çeşitlidir. Bu polimerler için uygun pH aralığı çok değişken olmakla beraber çoğunlukla asidik pH seviyeleridir. Katyonik flokülantlar katyoniklik derecesine göre zayıf katyonik, orta katyonik ve yüksek katyonik gibi sınıflara ayrılabilirler. Katyonik polimerlerin molekül ağırlıklarının düşük olması sebebiyle köprüleme kabiliyetleri de düşüktür. Maliyetlerinin yüksek olması ve köprüleme kabiliyetlerinin düşük olması nedeniyle en az kullanılan flokülant tipidir (Gregory, 2005; Ersoy, 2003; İpekoğlu, 1997; Yarar 2001).

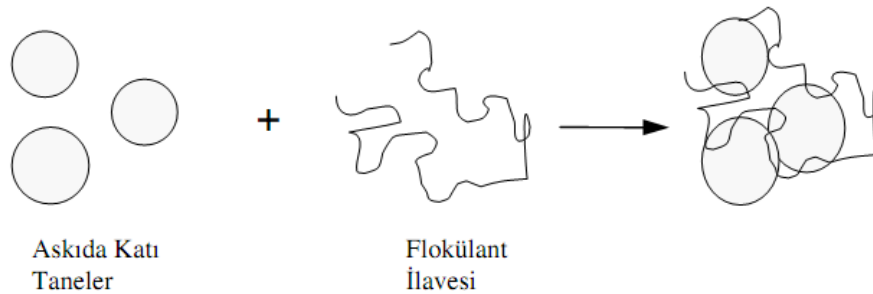
d-) UMA (Unique Molecular Architecture) tipi flokülantlar: Yaklaşık yarım asırdır kullanılan geleneksel flokülantların yanı sıra son yıllarda yeni nesil flokülantlar üretilmeye ve bazıları kömür ve diğer sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Bunlardan birisi de UMA teknolojisi olarak adlandırılan yeni nesil bir flokülant tipidir. UMA kavramı, moleküler kütle dağılımı ve yapının değiştirilmesindeki çeşitli teknikleri kapsamakta ve UMA teknolojisi ile üretilen flokülantların üç boyutlu, geleneksel flokülantların ise iki boyutlu bir model olduğu ileri sürülmektedir. UMA flokülantları büyük oranda dallara ayrılmış ve birbiriyle etkileşim halindeki polimer zincirlerinden oluşmaktadır. Böylece klasik flokülantların oluşturduğu floklardan farklı özellikte ve yapıda floklar meydana gelmektedir. Floklar arasında daha az su bulunduğundan dolayı yoğun ve çok dayanıklı floklar elde edilmektedir (Sabah ve Açıksöz, 2012).

### 2.1.3 Flokülasyon mekanizmaları

Flokülasyon sürecinde tanelerin bir araya getirilmesi iki ayrı mekanizmayla yapılabilmektedir:

#### 2.1.3.1 Polimer köprü teşekkülü ile flokülasyon

Flokülasyon işleminin ağırlıklı olarak polimer köprü teşekkülü mekanizmasıyla gerçekleşebileceği söylenebilir. Taneciklerin polimer köprüleriyle bağlanması Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Bu yöntemde flokülasyon işleminin iki safhada olduğu sanılmaktadır Birinci safhada polimer zincirinin bir ucu süspansiyondaki bir taneciğe adsorblanırken diğer uç süspansiyonda kalır. Kullanılan polimer zincirinin uzunluğu zincirin önemli kısmının taneciğe yapışmadan kalmasını sağlayacak ölçüde olmalıdır. İkinci safhada zincirin diğer ucu başka taneciğe adsorblanır ve floklar oluşur. Taneciklerin polimer köprüleriyle bağlanması için polimerin taneciklerle zıt yük taşıması gerekmez ancak polimerin çok yüksek molekül ağırlığına sahip olması gerekir (İpekoğlu, 1997).

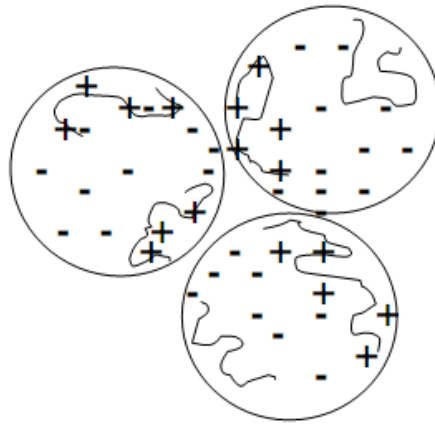


Şekil 2.2. Polimer köprü teşekkülü ile askıda katı tanelerin flokülasyonu (Alptekin 2006).

#### 2.1.3.2 Elektrostatik yük yamama yöntemiyle flokülasyon

Polimerlerin kullanıldığı flokülasyon proseslerinde yukarıda açıklanan polimer teşekkülü ile flokülasyondan başka bir yöntem daha ortaya konmuş ve buna da “Elektrostatik Yük Yamama (Electrostatic Charge Patch)” yöntemi denilmiştir (Gregory 1973). Bir süspansiyonda ortamda mesela negatif yüzey yüküne sahip katı taneler ile ona zıt yüklü kuvvetli katyonik polimer molekülleri olduğunu düşünelim. Bu yöntemde göre katyonik polimer elektrostatik çekim kuvvetleriyle tane yüzeyinin sadece bir

bölümü üzerine adsorplanarak o kısmın yüzey yükünü tersine çevirir ve pozitif yapar. Sonra tanenin bu pozitif kısmı ile bir başka tanenin negatif kısmı arasındaki elektrostatik çekim kuvvetiyle taneler bir araya gelerek flok oluştururlar (Ersoy, 2003; İpekoğlu, 1997).

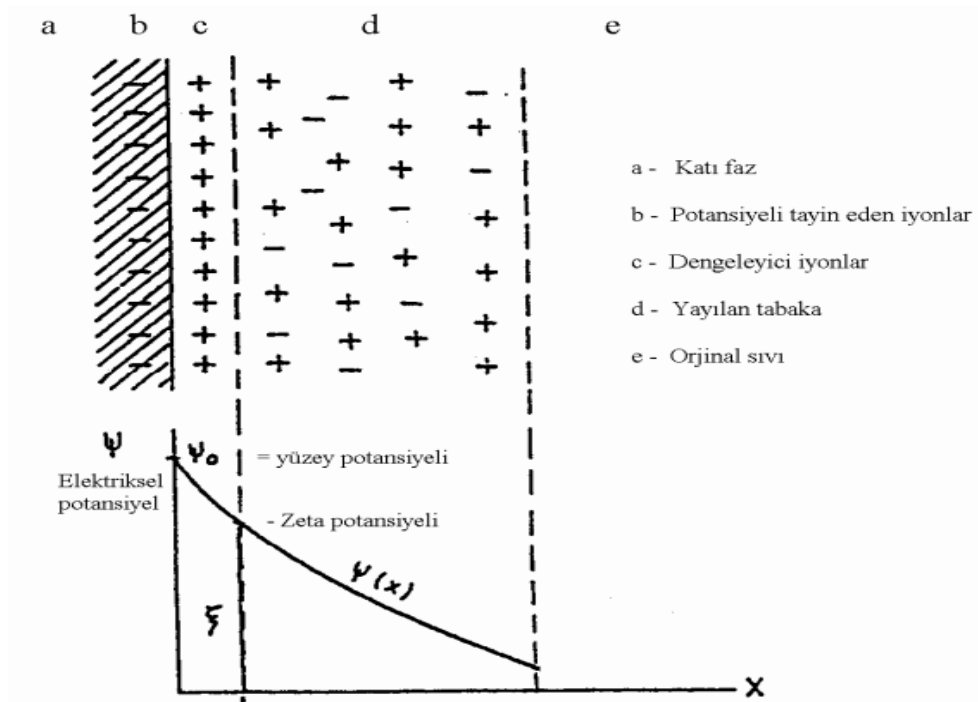


Şekil 2.3. Elektrostatik yük yamaması yöntemiyle flokülasyon (Alptekin 2005).

#### 2.1.4 Katı-sıvı arayüzeyindeki iyonlar

Katı ve bunun etrafını saran sıvı, fiziksel ve kimyasal kuvvetlerin denge durumunda olduğu bir sistemi meydana getirir. İnce parçaların su ile meydana getirdiği pülp de çeşitli iyonlar bulunur. Bu iyonlar az veya çok hidrate olmuş durumda olup, bir veya daha fazla su molekülü taşırlar. Hidrate iyonlar mineral yüzeyine bağlanırlar ve mineral yüzeyinden ayrılan iyonlar su fazına geçerler. İyonların mineral yüzeyine bağlanması veya yüzeyden ayrılması her bir mineral için farklı farklıdır (Atak, 1982; İpekoğlu, 1997).

Katı parçacıkların yüzeylerindeki elektriksel yük nedeniyle parça yüzeyine yakın sahalarda bir elektrostatik potansiyel doğar. Parçacık yüzeyinde sabit ve hareketsiz bir yük tabakası vardır. Bu yüke karşıt yüklerden oluşan ikinci tabaka hareketsizdir. Yüzeyden uzaklaştıkça bu hareketli tabakadaki yük derişimi azalır. Böylece katı yüzeyindeki hareketsiz yükler ile su içerisine doğru dağılan hareketli yükler arasında bir elektrostatik potansiyel doğar. Parçacıkların bir araya gelerek çökebilir büyüklüklere ulaşabilmeleri için, Zeta Potansiyelinin, parçacıkların birbirlerini itmelerini sağlayacak şekilde düşürülmesi gerekmektedir. Bu düşme “Koagülant Madde” olarak bilinen bazı iyonların ilavesi ile gerçekleştirilir (Oğuz, 1986; Gregory, 2005; Yarar, 2001).



Şekil 2.4. Zeta potansiyelinin şematik olarak gösterimi (İpekoğlu,1997)

## 2.1.5 Flokülasyona etki eden parametreler

### 2.1.5.1 Flokülant tipi

İyonik flokülantlar için sahip oldukları anyoniklik ve katyoniklik dereceleri yani yük yoğunlukları dolaylı olarak flokülantların aktivasyonunda önemli rol oynamaktadır. Örneğin non-iyonik formdaki bir polimer ortamda daha yumaklaşmış kıvrımlı halde bulunurken iyoniklik derecesi arttığında polimerler daha düz ve uzun bir hal almaktadır. Bu durum ise taneler arasında köprü oluşumunu kolaylaştırmaktadır (Stutzmann and Siffert 1997) Molekül ağırlığı yüksek (polimer zincir uzunluğu fazla olan) flokülantlar daha büyük boyutlu fakat daha poroz yapıda flokların oluşmasını sağlarken, düşük molekül ağırlıklı flokülantlar nispeten daha küçük boyutlu fakat daha sağlam (daha az poroz) floklar oluşturur (Gregory 2005; Hogg 2000). Büyük çaptaki salkımların genellikle dayanıksız ve kırılğan olması nedeniyle cevher hazırlamada vakum filtrasyon işlemlerinde dayanıklı ve sağlam yapıda olan küçük boyuttaki salkımlar tercih edilmektedir. Bu nedenle, filtrasyon işlemlerinde genellikle orta molekül ağırlıklı polimerler kullanılır (Hunter ve Pearse,1982; Ateşok, 1987).

### 2.1.5.2 Süspansiyon pH' sı ve sıcaklığı

Ortamın pH' sı minerallerin yüzey yükünü tayin etmektedir. Sıvı ortam içinde hemen her mineralin yüzey şarjını sıfır yapan bir pH derecesi vardır. Buna kısaca z.p.c (Zero point of Charge) denmektedir. z.p.c' nin altındaki pH' larda katı yüzeyi (+) işaretli, üzerinde ise (-) işaretlidir.

Sıfır şarj noktasının her iki tarafındaki çok yüksek ve çok alçak pH değerlerinde flokülasyon meydana gelmesi güçtür. Bunun nedeni partiküllerin zeta potansiyeli yüksek olmakta ve sonuçta taneler arasındaki itme kuvvetlerinin artması ve dolayısıyla partiküllerinin süspansiyon içinde birbirlerinden uzaklaşmaları ve polimer flokülantın pek çok partikül üzerine yapışarak köprü kurma olasılığının azalmasıdır. Ayrıca pH polimerinin iyonize olabilme derecesini etkilemekte ve polimer zincirindeki elektrik şarjını kontrol ederek polimer zincirinin solüsyon içinde uzayıp veya yumak halinde bulunuşunu tayin etmektedir. Bu da sonuç olarak ortam içindeki köprüleşme derecesini etkilemektedir. Böylece flokülantların tiplerine göre sadece belirli pH derecelerinde fonksiyon gösterdikleri söylenebilir. Ortam sıcaklığı flokülant molekülünün aktivasyonunu etkilemekte ve ayrıca flokülantların her sıcaklıkta sıvıda meydana getirdiği vizkozite farklı olmaktadır. Diğer yandan polimerin katı tane üzerine adsorpsiyonu sırasında ortam sıcaklığı bazen olumlu bazen de olumsuz etki yaptığı ifade edilmektedir (Ateşok 1988).

### 2.1.5.3 Flokülant dozajı

Flokülasyon verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için polimer miktarının çok iyi ayarlanması gerekir. Gerekenden fazla miktarda eklenen polimerler çok pahalı maddeler olduğu için ekonomik olmaz. Ayrıca flokülantla taneleri çöktürme işleminden sonra elde edilen su tesiste tekrar kullanılacak ise, su içerisinde fazla miktarda eklenen flokülant bulunacağından tesisteki operasyonları olumsuz yönde etkileyebilir. Çünkü fazla miktarda eklenen flokülantın bir kısmı mineral yüzeyine adsorbe olmayıp, su içerisinde serbest olarak kalacaktır (Atak, 1982).Flokülant miktarının ayarlanması ve her sistem için etken olan parametrelerin optimal değerleri sağlıklı bir biçimde laboratuvar düzeyinde saptandığı takdirde endüstrideki uygulamalarda da başarılı olacağı kesindir. Ayrıca fazla flokülant miktarı mineral yüzeyinde sıkışır. Bu da üzerinde köprü



kurulması için gereken boş yerleri kaplar ve bir araya gelmesini önler. Yani flokülasyon olmaz (Poslu,1987; İpekoğlu, 1997).

#### 2.1.5.4 Flokülant molekül ağırlığı

Kullanılan flokülantın molekül ağırlığı arttıkça süspansiyon içindeki partiküller üzerine adsorplanan miktar artmakta ve salkımların meydana gelmesi hızlanmaktadır. Molekül ağırlığının artması hem optimum flokülant dozajı ve hem de çökeltme hızının artmasına neden olmaktadır. Bazı hallerde, örneğin kömür yıkama suyunun temizlenmesinde yüksek çökeltme hızları istenmekte ve dolayısı ile yüksek molekül ağırlıklı anyonik polimer flokülantlar kullanılmaktadır. Halbuki filtrasyon uygulamalarında daha düşük mol ağırlıklı flokülantlar daha uygun olmaktadır. Genel olarak molekül ağırlıklı etkin bir flokülasyon için tek başına kriter değildir. Aynı mol ağırlığında iki ürün farklı moleküler ağırlık dağılmasına sahip ve dolayısı ile farklı performansta olabilirler. Ele alınan herhangi bir pülpün flokülasyon verimi polimerin özelliklerine olduğu kadar pülpün karakteristiklerine de bağlı olmaktadır (Hunter ve Pearse,1982).

#### 2.1.5.5 Süspansiyonun karıştırma hızı ve süresi

Süspansiyona uygulanan yüksek karıştırma hızı ve bunun sonucunda ortaya çıkan güçlü kesme kuvvetleri, oluşmuş floklar üzerinde olumsuz etki yapmakta ve flokların parçalanarak küçülmesine neden olmaktadır. Parçalanan bu flokların ise yeniden bir araya gelmesi daha zor olmaktadır. Bu sebeple floklar üzerinde olumsuz etki yapmayacak optimum bir karıştırma hızının uygulanması gerekir. En uygun karıştırma süresi optimum flokülant dozajının elde edilebilmesi için, diğer bir ifade ile tane yüzey alanının yarısının flokülant ile kaplanabilmesi için gerekli olan süredir. Bu sürenin fazla tutulması flokülantların tane yüzeyinde artmasını ve dolayısıyla sterik engel nedeniyle flokülasyonu engellemektedir. Bu sürenin gereğinden az olması da flokülant moleküllerinin süspansiyondaki tüm katı tanelerine ulaşabilme şansını azaltacağından flokülasyonu olumsuz yönde etkileyecektir (Somasundaran and Das 1998; Gregory, 1989).

### 2.1.5.6 Süspansiyondaki katı/sıvı oranı, katının tane boyutu ve tane şekli

Tanelerin yapışma ihtimali yok ise bekleme süresi ne olursa olsun flokülasyon olmaz. Ancak yapışma ihtimali var ise bir süre sonra flokülasyon oluşur. Bu süre; pülp içinde bulunan katı madde miktarına, katı maddenin tane büyüklüğü ve diğer ortam şartlarına bağlıdır. Floküle olabilecek tanelerin maksimum büyüklüğü ortamın sulandırma oranı çökme zamanı veya mesafesine bağlı olarak bulunabilir. İnce tanelerle beraber iri taneler de bulunuyorsa, ince taneler iri taneler etrafında toplanarak floküle olmadan kısa sürede çökerler ( Atak, 1982; Tripathyl ve :Ranjan, 2006).

## 2.2 Koagülasyon

Koagülasyon, kolloidal ortam içindeki yüklü partiküllerin zıt yüklü iyonlarla karşılıklı çarpışması ile nötralize edilip bir araya toplanarak çökelmelerin sağlanması olayıdır. Bu amaçla, uygun kimyasal maddeler ilave edilir. Alüm gibi bir kimyasal madde atıksuların arıtımı için uzun sürelerden beri geniş ölçüde kullanılmıştır. Koagülasyon, kolloidal partiküllerin net yüzey yükünün azaltılması sonucu elektrostatik itme kuvvetiyle sıkışması ile bir araya gelip yeterli Van Der Waals kuvvetiyle tutunup birikmesi ile gerçekleştirilir. Elektrolitteki zıt yüklerin neden olduğu elektiksel çift tabakanın itme potansiyelindeki azalma, yüzey yükünün azalması ile sağlanır.

Atıksudaki kolloidler hidrofobik veya hidrofilik olabilirler. Hirofobik kolloidler (çamur, vs.) sıvı ortama bir yakınlık göstermezler ve elektrolit ortamda kararsızdırlar. Bunlar kolayca koagüle olabilirler. Kolloid maddeler elektriksel özelliğe sahiptirler. Bu özellikleri itici güç oluşturarak bir araya toplanmayı ve çökmeyi engeller. Kolloid maddelerin kararlılığı itici elektrostatik güçlere, hidrofilik kolloidler durumunda ise koagülasyonu engelleyen su tabakasında çözünmeye bağlıdır. Kolloid maddelerin kararlılığı önemli ölçüde elektrostatik yüke bağlı olduğundan koagülasyon sağlamak için bu yükün nötralizasyonu gerekir. Yani kolloidlerin desatabilizasyonunun gerçekleşmesi gerekir. Kolloid bir çözeltide stabilizasyonun bozulması dolayısı ile çökmenin sağlanması için zeta potansiyelinin düşürülmesi gerekir. Endüstriyel atıksuların çoğunda kolloid maddeler negatif yüklü olduğundan atıksuya yüksek değerlikli katyon ilavesi ile zeta potansiyeli düşürülür (Şengül ve Küçükgül, 1997; Öztür ve diğ., 2005; Eckenfelder, 1989).

### 3 JAMESON FLOTASYON HÜCRESİ VE FLOK-FLOTASYON

Madencilik endüstrisinde cevher zenginleştirme yöntemi olarak uzun yıllar kullanılmakta olan flotasyon yöntemi, günümüzde katı-sıvı veya sıvı-sıvı ayırım prosesi olarak endüstriyel atık suların ve yüzey sularının arıtımı için klasik arıtım metotları ile yarış halindedir. Son yıllarda tek başına Çözünmüş hava flotasyonu (DAF) kadar atıksuların arıtımı için flokülasyon ile birlikte Jameson flotasyon uygulamaları umut verici ve etkili bir yöntem olarak dikkat çekmektedir (Jameson 1999).

Su ve atıksu arıtmasında flotasyon prosesleri, bütün süspanse taneleri, kolloidleri, emülsiyonları ve hatta bazı iyon veya çözünür organikleri (çöktürülebilen veya süspanse tanelere adsorbe olabilen) uzaklaştırmak için dizayn edilmektedir. Bu yöntem kirleticilerin en düşük konsantrasyonu ile maksimum temizlenmiş su kazanımıyla optimize edilmektedir. Sıklıkla yüksek katı içerikli çamur elde edilmek istenir. Bazen bu tür katılar geri kazanılabilir ve yeniden kullanılır.

#### 3.1 Çözünmüş Hava Flotasyonu (DAF)

Çözünmüş hava flotasyonu su arıtma teknolojisinde, katı sıvı ayırımında etkili bir proses olduğu için tüm ilgiyi üzerine çekmiştir. Sedimentasyon ve sıradan hava flotasyonu ile ayrılamayan askıda kalmış çok küçük taneciklerin sudan ayrılmasında kullanılan en etkili proses çözünmüş hava flotasyonudur.

DAF flotasyonunda, yüksek basınçlı hava (1-2 atm) su içerisinde ayrı bir kapta çözündürülür ve yüksek basınçla kıvamlandırılmış pülpün bulunduğu düşük basınçlı kap içerisine püskürtülür. Bu sayede çapları 10-100 µm arasında olan hava kabarcıkları elde edilir. Genellikle artık suların arıtılmasında ve petrol rafinerilerinde su/petrol ayırımı için kullanılmaktadır.

DAF da atıksu 5 atmosfer kadar olan yükseltilmiş basınçta hava ile doyurulmaktadır. Basınçtaki düşme ile kabarcıklar oluşturulur. Ön doyurulmuş su spesifik orifis veya pedallı valfler boyunca akmaya zorlanır. Küçük kabarcıklar oluşturulur ve sürekli olarak akış halinde olan taneler kabarcıklar ile bir araya getirilerek teması sağlanır. 20 mikrona kadar küçük tanecikli kabarcıklar tankın yüzeyine çok yavaş olarak yükselirler. Bu DAF tank boyutlarının çok büyük olmasının ana sebeplerinden biridir. Yüksek basınçlarda bile su içindeki gazın çözünürlüğü de

oldukça düşük hava su oranları oluşturur. %15 hava-su oranı (hacimce) DAF sistemlerinde yaygın olarak kullanılır ve yüksek oranlar elde etmek çok zordur. Bundan dolayı, klasik DAF sistemleri %1den fazla süspansiyon katı içeren atıksuların zenginleştirilmesinde etkin verimli değildir (Rubio, 2002; Rosa ve Rubio, 2005).

### **3.2 Giren Hava Flotasyonu (IAF)**

Flotasyon yönteminde anahtar aşamalardan biri de, su içine giren havanın hava kabarcıklarına dönüşmesidir. Önceki flotasyon makinelerinde iri kabarcıklar (2-5mm) kanvas veya diğer porozlu malzemenin içine hava üfleyerek ve buradan hava geçirecek kirletilmiş suya verilmekteydi. Bazı pervaneye dayalı makinelerde, hava kompresör veya üfleyiciye gerek olmaksızın atmosferden içeri alınabilmektedir. Kabarcık üretmek için kullanılan pervane hareketinin olduğu bu tür flotasyona giren hava flotasyonu (IAF) denilmektedir. Flotasyon ortamında oldukça iri kabarcıklar üretilmektedir. Böyle flotasyon yöntemleri atık su zenginleştirmek için uygun değildir. 1989 yılında Jameson, doğal olarak giren hava flotasyonunun ileri gelişmiş bir versiyonunu Jameson flotasyon hücresini icat etmiştir ve hücre, 1994 yılından itibaren atıksu arıtımında uygulanmaya başlamıştır (Rosa ve Rubio, 2005; Taşdemir, 2009).

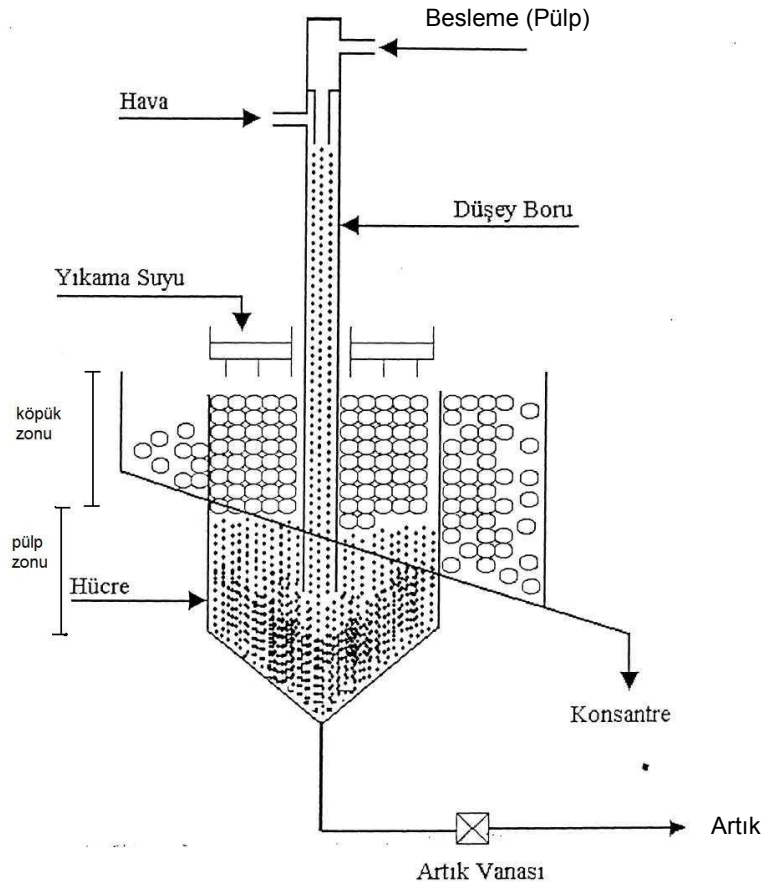
#### **3.2.1 Jameson flotasyon hücresi**

Jameson hücresi, 1985-1986 yılları arasında Mount Isa Madenleri (MIM) Şirketi ile birlikte yürütülen ortak bir araştırma projesinde Newcastle Üniversitesinden Profesör Greame Jameson tarafından tasarlanmış ve 1989 yılında “Jameson Flotasyon Hücresi” adı altında patenti alınmıştır. (Evans, et al., 1995; [xstratatech.com/en/t\\_jameson\\_cell\\_advantages.html](http://xstratatech.com/en/t_jameson_cell_advantages.html)). Şekil 3.1’de görüldüğü gibi, hücrenin en basit yapısı iki ana bölümden oluşmaktadır:

İlki basınç altında pülpün beslendiği ve tane-kabarcık temasının sağlandığı silindirik bir düşeyboru, diğeri ise ayırımın gerçekleştirildiği (tane yüklü kabarcıkların pülpden ayrılarak köpük zonundan uzaklaştırıldığı) hücredir.

Düşeyborunun içinde, pülpün yüksek basınç altında sisteme verilmesini sağlayan bir nozul (basınçlı besleme memesi) ve düşeyborunun üst kısmında ise düzenli hava girişinin sağlandığı hava giriş deliği bulunmaktadır. Düşeyborunun alt ucu hücre

içindeki pülp seviyesinin altında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Buradan flotasyonun mikro olayları (karşılaşma-çarpışma-yapışma) sonucunda kabarcıklara yapışan taneler ve hidrofil taneler hücreye verilmektedir. Hücrenin kesit alanı düşeyboruya göre oldukça büyük olduğundan burada daha sakin bir ortam vardır. Hidrofil taneler ve pülp çözeltisi hücrenin alt kısmından uzaklaştırılırken, tane yüklü kabarcıklar hücre içinde yukarı doğru yükselerek köpük zonu oluştururlar. Aynı zamanda, gerektiğinde (özellikle temizleme flotasyonunda) yıkama suyu da kullanılmaktadır (Taşdemir, 2006).



Şekil 3.1. Jameson flotasyon hücresi (Taşdemir, 2006)

Düşeyborunun içinde, pülpün yüksek basınç altında sisteme verilmesini sağlayan bir nozul (basınçlı besleme memesi) ve düşeyborunun üst kısmında ise düzenli hava girişinin sağlandığı hava giriş deliği bulunmaktadır. Düşeyborunun alt ucu hücre içindeki pülp seviyesinin altında olacak şekilde yerleştirilmiştir. Buradan flotasyonun mikro olayları (karşılaşma-çarpışma-yapışma) sonucunda kabarcıklara yapışan taneler ve hidrofil taneler hücreye verilmektedir. Hücrenin kesit alanı düşeyboruya göre

oldukça büyük olduğundan burada daha sakin bir ortam vardır. Hidrofil taneler ve pülp çözeltisi hücrenin alt kısmından uzaklaştırılırken, tane yüklü kabarcıklar hücre içinde yukarı doğru yükselerek köpük zonu oluştururlar. Aynı zamanda, gerektiğinde (özellikle temizleme flotasyonunda) yıkama suyu da kullanılmaktadır (Taşdemir, 2006).

Jameson kolonuna pülp beslemesi ve yıkama suyu verilmesi kontrol kolaylığı olan pompalarla yapılır. Tüm besleme ve çıkış debileri elle (manuel) veya otomatik olarak debi ölçerlerle kontrol edilir. Jameson hücresi, diğer flotasyon yöntemleriyle karşılaştırıldığında özellikle ilk maliyet, işçilik, tamir-bakım ve flotasyon verimi bakımından daha avantajlıdır. Jameson hücresinin diğer teknolojilerden üstün yanlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Hava kompresörüne gerek yoktur. Hava kendiliğinden ve doğal olarak vakumlanarak makine içerisine girer.
- Diğer teknolojilerle karşılaştırıldığında fiyatı daha düşüktür. Sistem kurulduktan ve çalıştırılmaya başlandıktan sonra fazla bir müdahaleye gerek yoktur. Bu yüzden işçilik maliyeti de çok azdır (Ata ve Önder, 1997).
- Bakım-onarım masrafları, hareketli parçalarının az olmasından dolayı düşüktür.
- Bir pülp pompası (besleme pompası ) dışında hareketli ya da yüksek devinimli parçası yoktur. Aynı işi yapan mekanik hücre devresinde 24 adet farklı ekipman bulunurken, Jameson hücresi devresinde sadece 10 ekipman bulunmaktadır.
- Bütün sistemi kontrol etmek diğer yöntemlere göre çok daha kolaydır. Yüksek üretim kapasitesi; Sadece tek bir hücreyle 3000 m<sup>3</sup>/h'lik kapasite ile çalışılabilir.
- Jameson hücresi çok geniş tane boyu aralığında verimli bir şekilde çalıştırılabilmektedir. Diğer bir deyişle, çok iri ya da çok ince taneciklerle çalışabilme becerisine sahiptir. Her türlü tane boyutunda yüksek verim elde etmek olasıdır (Ata ve Önder, 1997).
- Basit açma-kapama, basit yükleme – işletme ve uzun mekanik ömre sahiptir.
- Kapladığı alan ve yükseklik bakımından konvansiyonel flotasyon kolonu yöntemine göre çok daha avantajlıdır. Ayrıca aynı işi yapan mekanik hücre 969

m<sup>2</sup>'lik bir alan kaplarken, Jameson hücresi 600 m<sup>2</sup>'lik alan kaplamaktadır (Taşdemir 2006).

- Kalma süresi diğer yöntemlere göre çok daha kısadır. Jameson hücresi aynı işi yapan mekanik hücreden dört kat daha hızlı, yani dörtte biri zamanda yapabilmektedir (Evans et al., 1995).
- Enerji tüketimi açısından Jameson hücresi çok daha avantajlıdır. Örneğin aynı işin yapılabilmesi için mekanik hücre 1789 kW güç harcarken, Jameson hücresi ile 1598 kW'lık güç harcanmaktadır (Ata ve Önder, 1997).
- Düşey boru içinde oluşturulan mikro hava kabarcıkları nedeniyle hold-up %40-70 arasında değişmekte olup, kabarcık tanecik çarpışma olasılığı diğer teknolojilere göre çok daha yüksektir (Öteyaka, 2011).
- Artık temizlemede çok üstün bir performans göstermektedir. Organik artık temizleme uygulamalarında %90'ın üzerinde verimle çalışılmıştır (Evans et al., 1995).

### 3.2.2 Jameson hücresinde flok-flotasyon yöntemi ve atıksu arıtımında kullanımı

IAF sistemli Jameson flotasyon hücresi ilk olarak ince kömür kazanımı ve metal cevherlerinin flotasyonu için geliştirilmiştir. 1994 yılından beri hücre, atıksu zenginleştirme işlemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır (Jameson, 1999). Atıksu arıtımı amacıyla kullanılan Jameson hücresi IAF prosesinde havayı, işlenmemiş atıksu ve flokülantları karıştırmak için “düşük kesme” yöntemi denilen bir sistem kullanılmaktadır. Atıksu ve flokülantlar, düşey borunun üzerinden hafif bir hızla nozula beslenmekte ve nozuldan çıkan sıvı basit bir sıvı jeti oluşturmaktadır. Böylece bir kompresöre gerek kalmaksızın jetin kinetik enerjisi ile hava kendiliğinden sistem içine alınarak kabarcıklara dönüşmektedir. Flokülasyon esnasında hava kabarcıklarının bulunması son derece faydalı olmaktadır. Çünkü bu durum, oluşum esnasında gerçek flok yapısı içerisinde kabarcıkların hapsolmesiyle sonuçlanmaktadır. Flok yapısındaki kabarcıkların birleşmesi kaldırma gücü sağlamakta ve yüzey özelliklerinden bağımsız olarak tanelerin yüzebilmelerine olanak tanımaktadır. Kabarcık sıvı karışımı düşey borudan hücreye geçtiğinde içerisinde kabarcıkların bulunduğu flok yapılar yüzeye

doğru yükselerek bir çamur tabakası oluştururlar ve buradan taşmayla uzaklaştırılırlar. Temizlenmiş atıksu ise hücrenin altından prosesteki bir sonraki aşamaya gönderilir (Jameson, 1999; Yan ve Jameson 2004).

### 3.2.3 Jameson hücresinin atıksu arıtımında uygulama örnekleri

1994 yılından beri bir Avustralya şirketi tarafından atıksu ve çevre uygulamalarında kullanımı için lisansı alınan hücrenin, çeşitli endüstriyel ve evsel atıksu arıtma tesislerinde pilot/büyük ölçekli deneme çalışmaları başarılı bir şekilde devam etmektedir.

Jameson IAF flotasyon teknolojisinin atıksu arıtımına yönelik başlıca genel uygulama alanları;

- Atıksuyun ön zenginleştirilmesi
- Askıda katı uzaklaştırma
- Yosun uzaklaştırma
- Fosfor uzaklaştırma
- Yağ ve gres uzaklaştırma
- Yeniden kullanım için su temizleme şeklinde sıralanabilir. Bu alanlarda yoğun çalışmalar yapılmış ve bazı tesislere büyük ölçekli hücreler kurulmuştur ([www.armatec.co.nz](http://www.armatec.co.nz)).

Öncelikli olarak olgunlaştırma havuzlarındaki atıksulardan aynı anda yosun ve fosforun uzaklaştırılması için çalışmalar yapılmıştır. Pilot çaplı çalışmalar özellikle Avustralyanın New South Wales ve Victoria şehirleri civarındaki bir çok atıksu zenginleştirme tesislerinde yürütülmüştür (Yan ve Jameson 2004). Çalışmaları yapılan her bir tesiste, yosun ve fosfor uzaklaştırılması için benzer sonuçlar elde edilmiştir. Kearsley ve Wagga wagga atıksu arıtma tesisleri, Avustralya'da arıtım için atıksu havuzlarının kullanıldığı tipik pek çok tesislerden ikisidir. Havuz sistemleri ya çok aşamalı arıtma sürecinin son aşamasında ya da sadece aktif çamur arıtımında kullanılmaktadırlar. Olgunlaştırma havuzları, suyun doğal ultraviyole ışınları tarafından dezenfekte edilmesi için kalma süresi sağlamaktadırlar. Ancak havuzlardaki hızlı yosun çoğalması önemli bir problemdir ve buradan izin sınırlarını aşan yüksek değerlerde yosun yüklü kirli suların ırmaklara boşaltılması önemli bir çevresel sorun haline



gelmiştir. Kearsley arıtma tesisindeki çalışmaların temel hedefi mavi-yeşil yosunun flotasyonla temizlenmesi olmuştur (Atkinton ve Vasanthakumar 2000). Yapılan çalışmalar sonucunda atıksulardan yosun hücrelerinin uzaklaştırılmasında ve askıda katıların uzaklaştırılmasında Jameson flotasyon yönteminin son derece etkin olduğu görülmüştür. En uygun flotasyon koşullarında yapılan çalışmalarda %98'in üzerinde yosun hücrelerini uzaklaştırma verimi sağlanmıştır. Orto fosfor ve toplam fosfor seviyeleri sırasıyla 0.1 ve 0.3 mg/L değerlerinin altına düşürülmüştür. Pilot çalışmalar sonrasında 1999 yılında buraya büyük çaplı tesis kurulmuştur. Bu tesisin performansı bütün beklentileri karşılamıştır ve pilot ölçekli çalışmaların sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür (Atkinson ve Vasanthakumar 2000; Yan ve Jameson 2004).

## 4 DOĞAL TAŞ HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Bugün ülkemizde doğal taş terimi: kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı, kristalin karbonatlı kayalar ile sert taşlar için kullanılmaktadır. Petrografik tanıma göre; kireçtaşı (kalker), dolomitik kalker ve/veya bunların değişik oranlarından oluşan karbonatlı kayaların değişik sıcaklık ve basınçta metamorfizmaya uğrayarak, tekrar kristalleşmesi sonucu oluşan yeni doku ve yapıya sahip metamorfik (başkalaşım) kalsit kristallerinden oluşan kayalara doğaltaş adı verilmektedir. Ticari anlamda doğaltaş; ekonomik olarak uygun boyutlarda blok olarak kesilip çıkarılabilen, istenilen ebatlarda düzgün olarak kesilip, talebe göre cilalanıp parlatılabilen kayalar olarak tanımlanmaktadır (Kulaksız 2005).

### 4.1 Mermerin Tanımı ve Çeşitleri

Ticari anlamda mermer tanımlaması çok geniş bir kapsam taşımaktadır. Parlatıldığı zaman iyi cila kabul eden, diğer bir ifade ile taşın cinsi ne olursa olsun, kesilip parlatılabilen ve göze hoş görünen her taş mermer olarak kabul edilmektedir. Ancak, doğru olanı, taşları kökenlerine bağlı gerçek türleri ile tanıyıp isimlendirmektir. Belirtildiği gibi blok verebilen, kesilerek cilalanıp parlatılabilen, dayanıklı ve göze hoş görünen her türlü taş (magmatik, metamorfik, sedimanter), iyi cila kabul eden kalkerler, tektonik breşler ve pudingler, traverten ve oniks mermerlerinden başka granit, diabaz, lösitli siyenit ve serpantiniter gibi magmatik kayalar da bu mermer deyimi içerisine girmektedirler. Bununla beraber mermerlerin değerlendirilmesinde jeolojik, mineralojik, petrografik, yapısal ve jeomekanik unsurlar ile teknolojik özellikler etkilidir. Günümüzde mermerler ve mermer olarak kabul edilen taşları dört ana grupta toplamak mümkün olmaktadır.

Sedimanter Tip Mermerler; Kalkerler, kireçtaşları tektonik breşler ve pudingler bu guruba girmektedir. Kalkerler, kimyasal çökme veya kalkerli organik artıkların çökmesi sonucu oluşmaktadırlar. Bileşiminde %90'dan fazla kalsiyum karbonat ( $CaCO_3$ ) bulunduran kütlelere genel olarak kalker adı verilmektedir. Kalkerler bazen az miktarda magnezyum karbonatta içerebilmektedirler. Çapları 2 mm'den büyük olan çakılların doğal bir çimento ile birleşmesinden oluşan taşlara konglomera

denilmektedir. Konglomeralarda çakılların çapları, bileşimi, sertlikleri ve çimento maddesinin özellikleri farklı olabilmektedir. Konglomeraların mermer olarak kullanılabilmesi için çakıl aralarının tamamen çimento malzemesi ile dolu olması ve çimentoyla çakılın yaklaşık aynı sertlikte olması gerekmektedir (Görgülü, 1994).

Başkalaşım Tipi Mermerler; kalker ve dolomitik kalkerlerin ısı ve basınç altında başkalaşıma uğrayarak yeniden kristalleşmesiyle oluşan metamorfik kayalar olarak tanımlanmaktadır. Kimyasal bileşiminde büyük oranda kalsiyum karbonat, daha düşük oranda magnezyum karbonat, yatağın oluşumuna bağlı olarak silis mineralleri ve mineral oksitleri içermektedir. Kalsiyum karbonat kristallerinden oluşarlarda genellikle %95-96 oranında kalsit ve değişik oranlarda silis, silikat, feldspat, demir oksit, mangan oksit, florit ve organik maddelerde bulunabilmektedir (Arıkan, 1968). Başkalaşım tipi mermerlerin mikroskop altında incelendiğinde birbirlerine sıkıca kenetlenmiş kalsit kristallerinden oluştuğu gözlenmektedir. Mermerlerin sertliği 3 Mohr civarında olup, rengi bileşiminde bulunan kalsiyum karbonattan ötürü beyazdır.

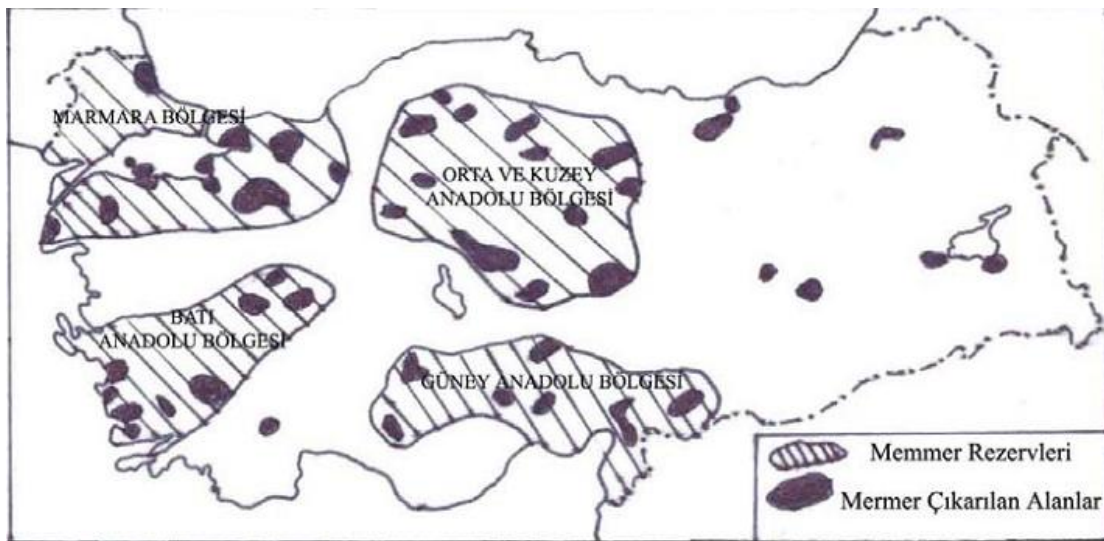
Çökeltme Tipi Mermerler; Traverten ve oniks mermerleri bu guruba girmektedir. Travertenler, kalsiyum bikarbonatlı sıcak kaynak sularının bıraktıkları çökeller olarak tanımlanmaktadır. Bu tür suların geçtiği yerlerde gözenekli, hafif taşlar meydana gelmektedir. Bu taşların çok delikli, hafif ve fazla miktarda organik maddeler ihtiva edenlerine kalker tufu, az boşluklu ve daha yoğun olanlarına traverten adı verilmektedir. Üretimi, işlenmesi, kesilmesi çok kolay olup, beyaz, kirli beyaz, krem, açık-koyu sarı gibi çeşitli renklerde bol olarak bulunması bu taşların yaygın olarak kullanımını sağlamaktadır. Oniks mermerleri genellikle beyaz, sarı, yeşil renklerde olup, yarı saydam olabilmektedirler. Tek renkte olduğu gibi değişik renkler gösteren bantlar, damarlar v.b. hallerde de olabilirler. Çok renkli oniksler breşirasi yapıda olup renk verici maddeler çeşitli mineral parçalarıdır(Arıkan, 1968).

Magmatik Kökenli Mermerler; Derinlerde veya yeryüzüne çıkan magmanın soğuması ve kristalleşmesi ile oluşan kayalara magmatik kayalar denilmektedir. Magmatik kayalardan mermercilikte en yaygın olarak kullanılanlar; granit, serpantin, diyabaz, lösitli siyenit, siyenit ve granodiyorittir. Granitler sert olduklarından işlenmeleri güç olup, yarıma hassasiyetleri yüksek olmaktadır. İyi cila kabul etmeleri, cilalarını uzun süre korumaları ve sağlıkları nedeniyle tercih edilen mermer cinslerinin başında gelmektedirler, işlenmesi güç olan diyabazlar ise mermer piyasasında renklerinin

güzelliği, dayanıklılığı, cila alma özelliği ve cilalarını uzun süre korumaları ile aranan değerli bir taştır. Lössitli siyenit birçok özellikleri ile granite benzemektedir. Aynı kullanım alanlarına sahip olup, cila alma özelliği granite göre daha iyi olmaktadır(Arıkan, 1968).

#### 4.2 Mermerin Bulunma Yerleri

Alp-Himalaya dağları kuşağı üzerinde yer alan Türkiye toplam 5,2 milyar m<sup>3</sup> (13,9 milyar ton) muhtemel mermer rezervine sahiptir. Dünya mermer rezervlerinin yaklaşık %40'ının ülkemizde bulunduğu tahmin edilmektedir. Ülkemizde 80'den fazla değişik yapıda ve 120'nin üzerinde değişik renk ve desende mermer rezervi bulunmaktadır. Bu mermerler genellikle dünya pazarlarında üstün kalitesiyle ilgi çeken mermer tipleridir. Ülkemizde mermer yatakları genellikle Paleozoik yaşlı masiflerin bulunduğu alanlarda yer alır. Bu alanlar genellikle ülkenin batı yarısında yer almakla birlikte doğuda da bazı yerlerde bulunmaktadır. Menderes masifi, Istranca masifi, Menteşe masifi, Kazdağ masifi, Kırşehir masifi, Ilgaz kristalin masifi ve Bitlis masifi bu alanlardan en belirgin olanlarıdır. Ülkemizdeki mermerlerin bir kısmı da Mezozoik dönemde oluşmuştur. Bunlar da mezozoik arazilerin yaygın olduğu alanlarda yer almaktadır. Bunun yanında traverten, granit, oniks, bazalt, serpantin, diyorit gibi kayalarda işlenerek yapı taşı olarak kullanılmaktadır (Ketin, 1984).



Şekil 4.1 Türkiye mermer rezervi haritası (Alpan 1969).

Ülkemizde önemli potansiyele sahip olan bölgeler Marmara, Batı Anadolu, Güney Anadolu ve Orta ve Kuzey Anadolu Bölgeleridir. Özellikle İzmir, Uşak, Afyon, Muğla, Kırklareli, Balıkesir, Bursa, Kırşehir, Çankırı, Çorum, Kastamonu, Niğde, Kayseri, Artvin, Bitlis, Erzincan, Sivas, Tokat, Denizli, Kütahya, Eskişehir, Diyarbakır, Elazığ, Çanakkale, Konya, Bilecik ve Manisa illerinde zengin yataklar bulunmaktadır (Şekil 4.1).

### 4.3 Türkiye’ de Mermer Üretim ve İhracatı

Ülkemizde mermer üretimi seksenli yıllardan itibaren artmaya başlamış, doksanlı yıllarda bu artış hızlanarak devam etmiş halen de devam etmektedir. 1991 yılında 600.000. ton olan blok mermer üretimimiz, 1995 yılında iki katına çıkarak 1.200.000. tona ulaşmıştır. Plaka üretimi ise 10.400.000. m<sup>2</sup>'dir. Son olarak ise mermer üretimimiz 2.200.000. ton/yıl olarak bildirilmektedir. 1995 yılı verilerine göre ülkemizin mermer ihracatı, 66.200. ton blok, 12.150. ton levha, 125.075. ton işlenmiş olmak üzere toplam 203.425. tondur. Bu rakamda toplam üretimimizin yaklaşık olarak % 17 sine tekabül etmektedir. Son verilere göre, ihracatımız, 536.000. ton/yıldır. Türkiye mermer ihracatı bakımından dünyada 7. sırada bulunmaktadır. Mermer ihracatı yaptığımız ülkeler arasında ABD, Hollanda, İsrail, Almanya, Libya ve Suudi Arabistan ilk sıralarda yer almaktadır (DPT, 1996-b; Köse ve Diker, 1999; Tombul ve Güngör, 1997).

### 4.4 Kullanım Alanları

Sıfır ve ince kristalli mermerler; iç mekanlarda yatay ve düşey kaplama olarak kullanılabilir. Mermerlerde kristal boyutu arttıkça çıtlamalar-kırılmalar yanı sıra çözünme ve asitlere karşı daha duyarlılık artarken, sertlik ve basınç direnci değerleri düşer. Bu nedenle, orta ve iri kristalli mermerler daha çok düşey kaplamalarda kullanılmalıdır. Ancak özellikle iri kristalli mermerlerin su emme değerleri yüksek olacağından ıslak mekanlarda kaplama malzemesi olarak kullanılmamalıdır, istek halinde mutlaka yalıtım yapılmalıdır.

Mermerlerin dış mekanlarda kullanımlarını sınırlayan en önemli parametreler, kristal boyutları ile kimyasal bileşimleridir. Kristal boyutlarının artması ile porozite ve

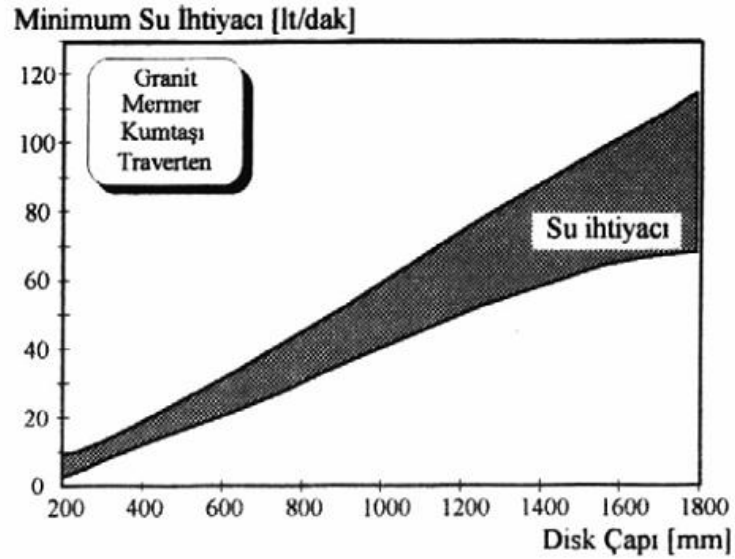
su emme değerleri artarken, asite karşı duyarlılık ve don sonrası dayanım azalmaktadır. Bu nedenle orta ve iri kristalli mermerlerin dış mekanlarda kullanılması önerilmez.

Sıfır ve ince kristalli mermerlerde ise renk ve kimyasal bileşim, kullanımı kısıtlayan en önemli etkenlerdir. Kristal boyutu ne olursa olsun renkli mermerler (Belevi Siyah, Afyon Kaplanpostu v.b ), zaman içinde parlaklığını kaybederek doğadaki rengine döneceğinden dış mekanlarda kullanılmamalıdır. Ayrıca mermerlerin içinde demir oksit ve karbonatları bulunması halinde paslanma da kaçınılmazdır. Binlerce yıldır ayakta duran antik kentlerdeki mermerlerin renginin beyaz yada açık renk olması tesadüf değildir (Öztnak ve Türkmen 2001).

#### **4.5 Mermer İşleme Makineleri**

Katnak makinesi , mermer bloklarından levha kesiminde kullanılan makinelerdir. Katnaklarda lamalar üzerine su veren duş sistemleri mevcuttur. Bu su lamaların ucundaki soketler için çok önemlidir. Kesim sırasında lamalar arasına verilen su soğutma suyudur ve bu su aynı zamanda çıkan mermer tozunu ortamdan uzaklaştırmaya yarar (Şentürk ve ark. 1996; Onargan ve Köse, 1997).

Diskli blok kesme makinesi, yatay ve dikey kesici diskli eni sabit levhaları kesmekte kullanılan makineler olup, genel yapıları itibari ile, tek ayaklı, çift ayaklı, dört ayaklı olarak sınıflandırılmaktadırlar. Diskli blok kesme makinesinde kullanılan soğutma suyunun miktarı ve en az kullanım sınır değerinin belirlenmesi, makine performansına etkiyen önemli parametrelerden biridir. Genellikle kullanım esnasında, su bol miktarda ve testerenin her iki tarafına da eşit olarak dağıtılmalıdır. Suyun bol olarak kullanımı veya kullanılmaması, elmas uçların ömrünü önemli derecede azaltmakta ve kesim performansının ekonomikliğini en aza indirmektedir. Soğutma suyu temiz olmalı ve efektif kullanım için filtre edilmelidir. Aksi takdirde, kullanma suyunda bulunabilecek parçacıklar, testerenin aşınmasına ve testere ömrünü azalttığı gibi gövdenin de aşınmasına neden olabilmektedir. Su ihtiyacı testere çapı arasında, şekilde verilen histogram Şekil 4.2’de görölmektedir (Şentürk ve ark. 1996).

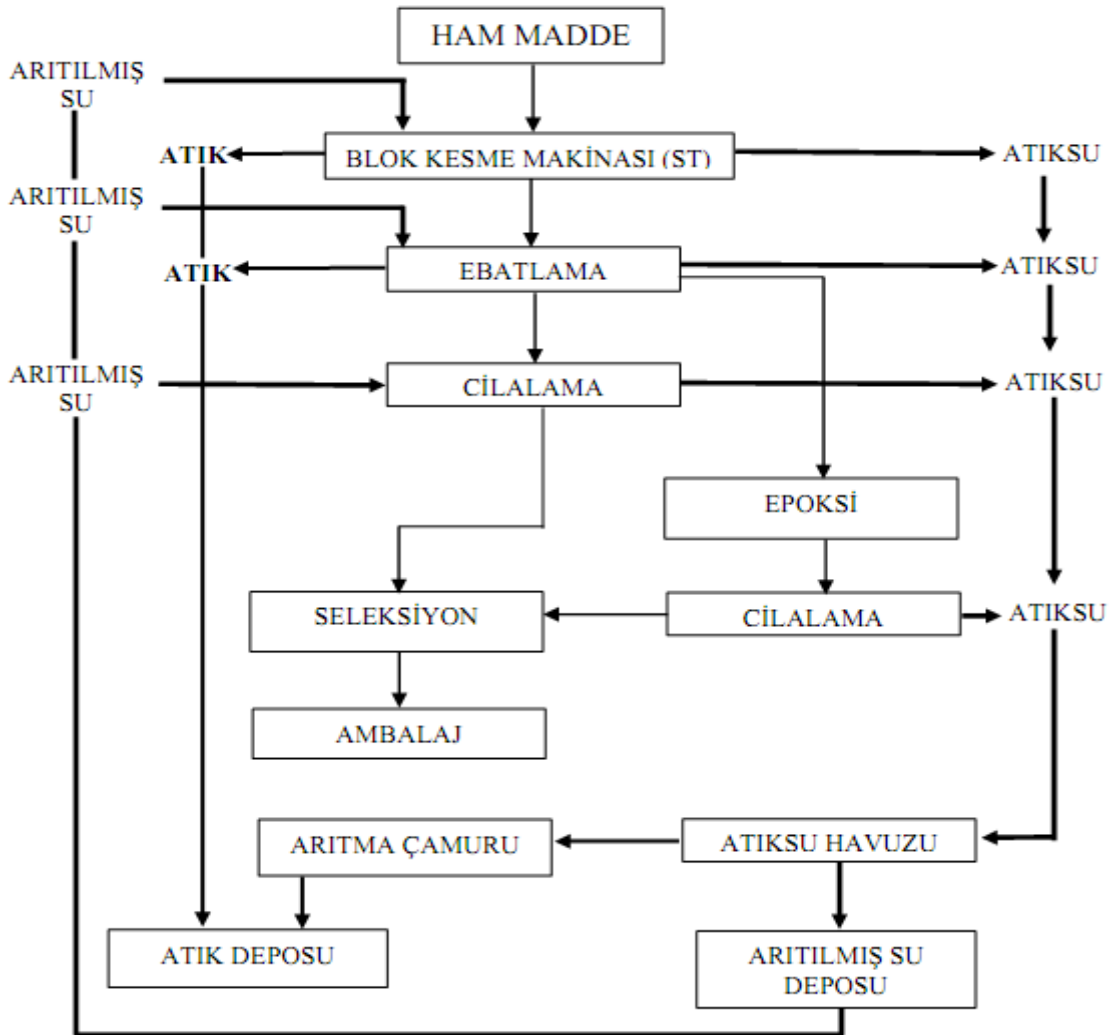


Şekil 4.2 Çeşitli mermer türleri için kullanılması gereken minimum su ihtiyacı testere çapı arasındaki ilişki (Şentürk ve ark. 1996)

Köprü kesme makinesi, katraktan çıkan plakaların kenarlarının kesiminde ve istenilen ölçülere getirilmesinde kullanılır. Dikey ve yatay yarma makineleri, plaka kesiminde kullanılan ve kalın kesim plakalarını ortadan bölmekte kullanılan makineler olarak ikiye ayrılır. Diskli blok kesmelerden farklı yatay testerelerin olmayışıdır. Genellikle mutfak tezgâhı, banko üretiminde kullanılırlar. Pah kırma makinesi, kesilmiş, ebatlanmış, cilalanmış fayans mermere (dört veya iki) pah kırar. Altına yapıştırma kanalı açar, kurutur, siler. Yan kesme makinası, ktrakt ürünlerinden, geometrik olarak en büyük alanı sağlayan kare, dikdörtgen alan elde etmek için kullanılır. Baş kesme makinası, diskli blok kesmeden çıkan levhalardan maksimum işe yarayacak parça çıkartılmasında kullanılmaktadır. Cilalama makinası, mermer, fayansların, plakaların, levhaların cilalanmasında kullanılırlar. Her mermerin kabul ettiği bir cilalama olayı vardır. Her mermer için aynı işlem yapılmaz. Monolama makinası, diskli blok kesme veya katrakta kesilecek olan blokların, makinaya girmemesi halinde veya yüzeyin bozuk olması halinde bu kısımların kesilmesi veya bloklardan çeşitli kalınlıktaki plaka kesimi için kullanılır. Ayrıca özel imalatlar için (heykeltraş, sütun imalatı), büyük blokları ktrakt ve diskli blok kesmeye uygun hale getirmek için kullanılır (Onargan ve Köse, 1997; Şentürk ve ark. 1996).

#### 4.6 Mermer İşleme Sırasında Atıksu Oluşumu ve Arıtılması

Ülkemizde ve dünyada inşaat sektöründe mermer kullanımının artmasına paralel olarak mermercilik sektöründe de hızlı bir gelişme görülmekte, buna bağlı olarak da mermer işleme fabrikalarının ve atölyelerinin sayısında da hızlı bir artış olmaktadır. Bu üretim artışının sonucunda tesislerde işlenen mermer bloklarından toz ve kırıntı olarak atıklar oluşmaktadır. Bu atık miktarı tesislerde işlenen mermerlerin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır.



Şekil 4.3. Mermer fabrikasında tipik mermer işleme departmanları ve atık/atıksu oluşumu (Solak 2007).



Mermerlerin ocaktan çıkarılması, blok mermerin fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkan ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları mermer atığı olarak kabul edilmektedir. Mermer atıkları parça boyutu olarak iri boyutlu parça mermer atıkları (>2 mm) ve ince boyutlu (<2 mm) kesim toz atığı olarak iki kısımda ele alınır. Mermer işleme tesislerinde atıklar daha çok katraklar ve diskli kesme makineleriyle beraber silme-cilalama ünitelerinde oluşmaktadır. Diskli kesme makinelerde kesme işlemi elmas soketlerin mermer yüzeyine çarparak taneleri yüzeyden koparması prensibiyle gerçekleştiğinden oluşan tanecikler mermerin minerolojik yapısına ve kesme şekline bağlı olarak 1-2 mm'den küçük olur. Katraklarda ise kesme işlemi elmas soketlerin mermer yüzeyi üzerinde sürtünmesi ve aşındırması şeklinde gerçekleşmektedir. Burada da yine mermerin minerolojik yapısına bağlı olarak genelde 1 mm'den küçük tanecikler oluşur. Silme-cilalama ünitelerinde ise aşındırma ile yüzey parlaklığı elde edildiğinden oluşan taneciklerde minerolojik yapıya bağlı olarak 500 µm'nin altındadır. Küçük boyutlu taneciklerin oluşum noktaları buralardır (Onargan ve Köse, 1997). Mermerin işlenmesi sırasında atıksu/atık oluşumu Şekil 4.3'da görülmektedir. Üretim prosesleri incelendiğinde, mermer işleme aşamaları olan kesme, yıkama, silme ve cilalamadan özellikle katı partikül içerik açısından oldukça zengin ham proses atıksular kaynaklandığı görülmektedir (Kavaklı 2003).

Günümüzde genellikle görülen uygulama, mermer işleme tesisleri veya atölyelerden çıkan atık suların tekrar kullanmak amacı ile belirli havuzlarda doğal çökeltme yoluyla temizlenip, pompalar yardımıyla tekrar tesise sevk edilmesi yönünde olmaktadır. Ancak bu uygulama şeklinin bir takım dezavantajları görülmektedir.

Doğal çökeltmeden dolayı havuzlar kısa sürede dolmakta ve havuzlarda biriken tortunun çok kısa aralıklarla temizlenmesi gerekmektedir. Temizleme esnasında biriken çamur tortusu kadar su kaybı olabilmekte ve bu iş için tesiste ekstra birden fazla işçi istihdamını gündeme getirmektedir. Ayrıca havuzlardan alınan suyun, arzu edilen ölçülerde temizlenememiş olmasından dolayı, tesiste kullanıldığında makine ömrünü ve ürün kalitesini olumsuz yönde etkileyecektir. Bununla birlikte, havuzlarda tortu şeklinde biriken çamurun, sulu olarak araziye atılması durumunda büyük ölçülerde çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu ve benzeri tüm olumsuzluklar göz önüne alındığında gerek işgücü, zaman ve enerji kaybını minimize etmek ve de çevre kirliliğini önlemek için, tesislerde arıtma tesisi kullanımını sağlamak gerekmektedir. Bu amaçla, günümüz

mermer teknolojisinde atık su arıtma tesisleri geliştirilmekte ve bunlar mermer işleme tesislerinin kaçınılmaz birer parçası haline gelmektedir (Solak 2007).

Doğal çöktürmenin yanında yine üretim kapasitesi yüksek mermer işleme tesislerinde atıksu arıtımı, kimyasal ilavesi ile koagülasyon-flokülasyon-çökeltim proseslerini izleyen bir takım fizikokimyasal prosesler ile gerçekleştirilmektedir. Çöktürme işleminde, oluşan fizikokimyasal karakterli çamur tankın dibine çökmekte (Çökeltme tankın dibinde toplanan çökelti %50-60 oranında su ihtiva etmektedir, ön çamur karıştırıcıya aktarılmakta ve buradan susuzlaştırmak amacıyla filtreprese gönderilmektedir. ST-cila fayans ve katrak kaynaklı ön çökeltim çamurları da doğrudan filtreprese pompalanmaktadır. Su tekrar kullanılmak üzere sisteme dönerken pres plakaları arasında %25-30 oranında nemli tabletler elde edilmekte ve tabletler sonrasında farklı endüstri dallarında kullanılmak üzere sevk edilebilmektedirler (Şentürk ve ark. 1996; Kavaklı 2003).

Fiziko-kimyasal işlemler sonucu arıtılan atıksu, tekrar proseste kullanmak amacıyla geri kazanılırken, proses sonrası kullanım dışı kalan arıtılmış atıksu ise bir iç kanal vasıtası ile bulunduğu yörenin ana atıksu taşıma kanalına verilmektedir (Kavaklı 2003).

#### **4.7 Mermer Atıkları**

##### **4.7.1 Oluşum yerlerine göre mermer atıklarının çeşitleri**

Ocaklarda Oluşan Atıklar; Mermer ocaklarında bulunan arızalar (fay, çatlak, yarık) blok üretimi sırasında; blok elde edilmemesine, dolayısıyla da irili ufaklı molozların açığa çıkmasına sebep olmaktadır. Bu tür mermer atıklarına, ocağın jeolojik yapısına ve kristal yapısına uygun üretim yöntemi seçmemek, yani yanlış üretim metodu uygulamak atıkların oluşumuna sebep olur.

Ocakların tektonik yapısına uygun olarak elde edilen çok büyük ve şekilsiz parçalar, çeşitli amaçlar için farklı yöntemlerle istenilen ebatlarda alt, üst ve yanlardan kesilirler. Bu atıklara genel olarak pasa adı verilir. Ocak üretim miktarının yaklaşık % 50'sini oluşturan bu atıkların tamamının değerlendirilmesi mümkün olmamakta, mermer ocak işletmelerinin etrafında bir taş toprak yığını halinde bekletilmektedir.

Fabrikalarda Oluşan Atıklar; Fabrikalarda kesilen bloklardan belirli ebatlarda plakalar elde edilmektedir. Elde edilen bu plakaların baş kesme ve yan kesmelerde uygun ölçülerde ebatlandırma yapılır. Parlatma ve cilalama işlemlerine tabi tutulur. Bu işlemler sırasında çok küçük boyuttaki mermer tozu atıkları oluşmaktadır. Bu işlemler sulu olarak yapıldığında açığa çıkan artıklar su ile birlikte taşınmakta ve genellikle havuz yöntemi uygulanarak toplanmaktadır. Bu suyun geri kazanılması sonucunda artık tozlar elde edilmektedir (Demir, 2008).

#### **4.7.2 Boyutlarına göre mermer atıkları**

Molozlar; Mermer ocaklarının jeolojik ve teknik yapısından kaynaklanan fay, kırık ve çatlaklardan dolayı blok üretimi sırasında ortaya çıkan şekilsiz ve çeşitli boyutlardaki mermer parçalarıdır. Küçük molozlar mozaik ve karo üretimi için kullanılmaktadır. Köşeleri kırık, delik kanallı, geometrik bozukluğu gibi görünür kusurları olan bloklarda molozlar sınıfına girer.

Kapaklar; Bunlar mermer işletme tesislerinde kesim sırasında alt ve yan kısımlarda kalan artıklar ile monolama ve monotel kesme sonucu oluşan atıklardır. Bu tip mermer atıklarının bir yüzeyleri düzgün olup iri boyutlu mermer parçalarıdır. Ayrıca ocaklarda, büyük blokların sayılanması sırasında alt, üst ve yan yüzeylerde açığa çıkan parçaları da kapak olarak isimlendirilir.

Paledyenler; Mermer işleme tesislerinde, ocaklardan getirilen bloklar katarlar ve S/T Makinesi yardımıyla plakalar halinde kesilirler. Kesilen bu plakalar yan kesme ve baş kesme makinelerinde maksimum alan edilecek şekilde ebatlanır. Bu ebatlama esnasında geriye kalan ve düzgün geometrik şekilde elde edilemeyen plakalara denir.

Tozlar; Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan kolloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır(Demir, 2008).

#### 4.8 Doğal taş Atıklarının Çevreye Etkileri

Mermer fabrikaları, boşaltım için kendilerine gösterilen alanlara rağmen fabrikalarına yakın herhangi bir vadi veya boş araziye mermer çamurlarını boşaltmaktadır. Bu da özellikle çamurun kurumasından sonra geniş arazilerin işgali ve toz kirliliği gibi ciddi çevre problemlerine yol açmakta ve aynı zamanda yer altı su rezervlerini kirletmektedir. Mermer çamuru çevrenin ekosistemine, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bileşenlerine ciddi tehlikeler getirmektedir. Karşılaşılabilecek problemler aşağıda belirtilen maddeler altında toplanabilir:

- Araziye boşaltıldığında porozite (gözeneklilik), su adsorpsiyonu, permeabilite (su geçirgenliği) v.s.'yi azaltması nedeniyle arazi verimliliğini olumsuz şekilde etkiler.
- Çamur boşaltılan alanlar herhangi bir vejetasyonu ve kalıntıların daha alt bileşenlere parçalanmasını destekleyemez duruma gelir.
- Kurduğu zaman ince partiküller hava ile taşınarak ciddi hava kirliliğine neden olur. Mesleki sağlık problemlerinden başka endüstriyel alanlarda kurulu aletleri ve makineleri de etkiler.
- Yağmurlu mevsimlerde atık çamur; nehir, kanalizasyon, yol ve su kitlelerine taşınarak su kalitesini etkiler. Depolama kapasitesini azaltarak su yaşamına zarar verir.
- Arazi üzerinde uzun vadeli birikimden dolayı ince partiküller, akiferlerin düşük rejimini engeller. Böylece yer altı su akımları ciddi şekilde etkilenmiş olur.
- Fabrikanın her tarafına dağıtılan çamur atık yığınları, bir görüntü kirliliği oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozar.

Atık mermer parçalarının çevreye etkileri; Parça atıklar genelde fabrika sahasında belirlenen yerlerde depolanmakta ve talep olduğunda satılmaktadır. Parça atıkların sürekli ve düzenli değerlendirme imkanlarının mevcut olmayıp çoğunlukla fabrika stok sahalarında biriktirildiği gözlenmektedir (Ceylan, 2000).

Mermer parça atıklarının çevreye getirdiği sorunlar ise şu şekilde sıralanabilir:

- Görüntü kirliliği oluşturarak tüm bölgenin estetiğini bozar.
- Devletin turizm ve endüstriyel potansiyelini olumsuz etkiler.
- Arazi işgali ile bitey ve direy dokusu bozulmuş, yer altı suyu rejimi engellenmiş olur (Yıldız, 2008).

## 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

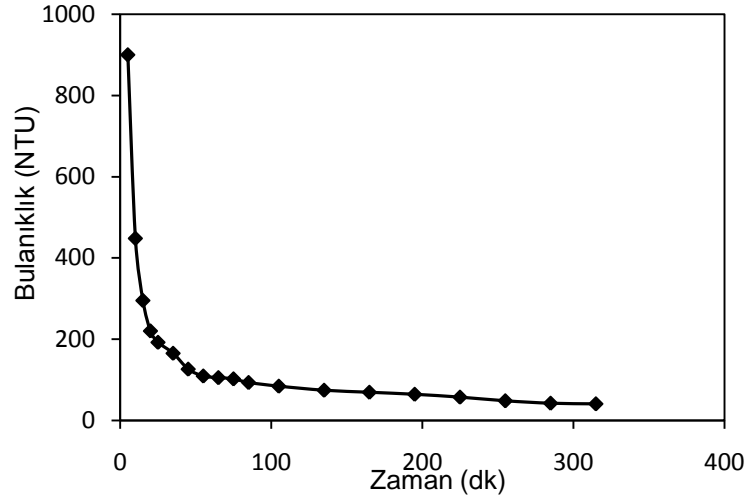
### 5.1 Malzeme

Deneyleerde kullanılan numune, Eskişehir’de faaliyet gösteren bir doğaltaş kesim fabrikasından temin edilmiştir. Fabrikada, kesim sonrası toplanan atıksu, çöktürme tankında doğal sedimentasyon (flokülant ilave edilmeden) yöntemiyle katı-sıvı ayırımına tabii tutulmaktadır ve yoğun tane içeren çamurlu atık fabrikanın atık sahasına boşaltılmaktadır. Bu sahadan yeterli miktarda nemli doğal taş çamuru şeklinde numune alınmış ve laboratuvara getirilmiştir. Daha sonra 20 mikronluk eleklerle yaş eleme yapılmıştır. Flokülasyon ve flok-flotasyonu deneylerinde %1 katı oranında, -20 mikron doğaltaş atık tozu ile hazırlanan ve özellikleri Çizelge 5.1’de verilen atıksu numuneleri kullanılmıştır.

Çizelge 5.1. Deneyleerde kullanılan atıksu numunesinin özellikleri

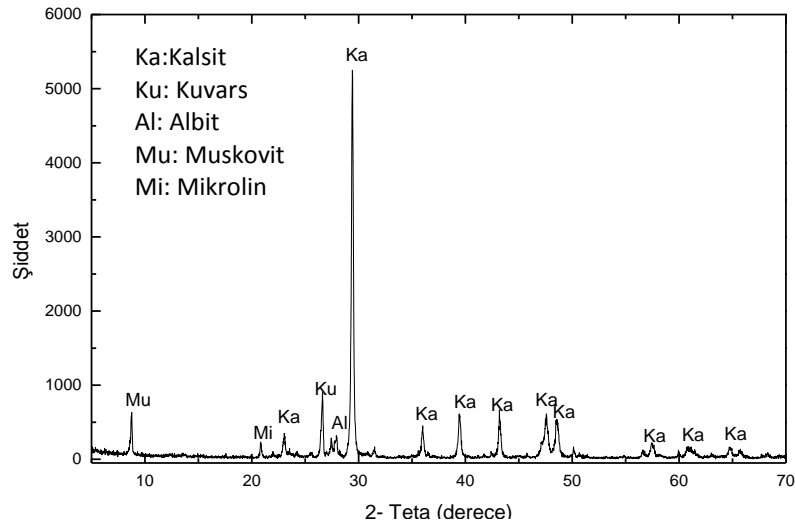
<i>pH</i>	8
<i>Katı oranı</i>	%1
<i>Bulanıklık</i>	12 000 NTU
<i>İletkenlik</i>	580 $\mu$ S/cm
<i>Sıcaklık</i>	17.9 °C
<i>Su sertliği</i>	356 mg/L CaCO <sub>3</sub>
<i>Tane boyutu</i>	-20 mikron

Atıksuyun sedimentasyon analizi için, 500 ml’lik mezür içindeki atıksuyun flokülantsız doğal çökmesi gözlenmiştir. Belirli zaman aralıklarında mezürün orta seviyesinden pipetle numune alınarak bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. İlk bir saat içinde daha sık zaman aralıklarında bulanıklık değerleri kaydedilmiştir, daha sonra ölçüm alma zaman aralıkları arttırılmıştır. Şekil 5.1’de sedimentasyon deneyine ait zamana bağlı bulanıklık değerleri verilmiştir. İlk bir saat içinde bulanıklık değerlerinde hızlı bir düşme görülmekte ve 110 NTU’nun altına inilmektedir. Daha sonra bulanıklık değerlerinde çok az bir azalma gözlenmiştir. 28 saat sonra ancak doğal çökme ile bulanıklık değerinin 6 NTU değerine düştüğü bulunmuştur.



Şekil 5.1 Atıksu numunesinin serbest çökeltme eğrisi

Doğaltaş atıklarının mineralojik analizleri yaptırılmıştır. Numunenin XRD pikleri Şekil 5.2'de ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Doğal taş tozlarının büyük çoğunluğu kalsit mineralinden oluşmakta ayrıca bunun yanında numune kuvars, albit, muskovit, mikrolin minerallerini de içermektedir.



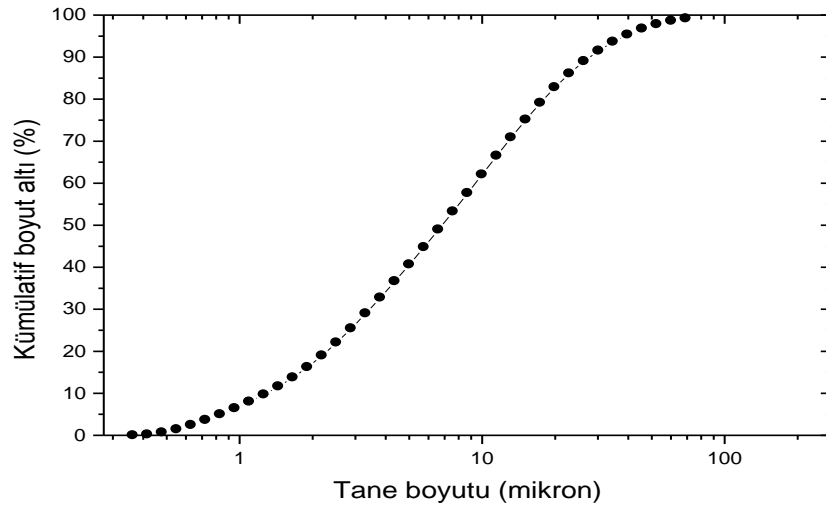
Şekil 5.2 Doğaltaş atığının XRD pikleri

Çizelge 5.2'de verilen Kimyasal analiz sonuçlarına göre, numunenin yaklaşık %42'sini kalsiyum oksit ve %16'sını kuvars oluşturmaktadır.

Çizelge 5.2. Doğaltaş atığının kimyasal analiz sonuçları

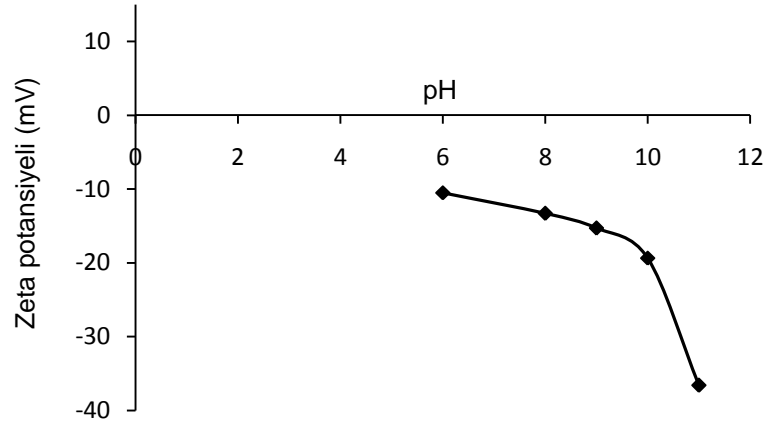
<i>Bileşen</i>	<i>% İçerik</i>
CaO	42.3186
SiO <sub>2</sub>	16.8092
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.4998
K <sub>2</sub> O	1.1428
Na <sub>2</sub> O	1.0607
MgO	0.8707
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.7255
TiO <sub>2</sub>	0.0919
K.K.	33.4810

Elek boyutu - 20 mikron doğaltaş atığının tane boyut analizi lazer tekniği ile yapılmış olup, sonuçlar Şekil 5.3 de verilmiştir. Numunenin %90'ı 27.7 mikronun ve %50'si ise 6.8 mikronun altındadır.



Şekil 5.3. - 20 mikron doğaltaş atığının tane boyut analizi

Doğal taş atık tozunun pH'ya göre zeta potansiyelini belirlemek amacıyla değişik pH'larda bir dizi zeta potansiyel ölçümü yaptırılmıştır. Şekil 5.4'te doğal taş atık tozlarının zeta potansiyel eğrisi verilmiştir ve tanelerin, ölçülebilen bütün pH aralıklarında negatif yüzey yüküne sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Doğal taş atığının pH'ya göre zeta potansiyel değeri

### 5.1.1 Deneylerde kullanılan çeşme suyu ve saf suyun özellikleri

Kimyasallar ile çözeltilerin hazırlanmasında saf su, deneysel çalışmalarda ise çeşme suyu kullanılmıştır. Kullanılan saf suyun ve çeşme suyunun özellikleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bulanıklık değeri laboratuvarımızda bulunan türbidimetre cihazı ile pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve sıcaklık için ayrı problemleri olan masa tipi multimetre Cihazı ile ölçümler yapılmıştır. Su sertliği, volumetrik yöntemle belirlenmiştir ve flokülasyonda önemli bir etkidir. Aynı zamanda suyun pH ve sıcaklık değerleri de flotasyonu etkileyen önemli parametrelerden birisidir.

Çizelge 5.3. Kullanılan saf suyun ve çeşme suyunun özellikleri

	<i>Çeşme suyu</i>	<i>Saf su</i>
pH	7.8	6.1
Bulanıklık (NTU)	0.38	0.14
İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	709	34
Çözünmüş oksijen (mg/L)	10.50	4.95
Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	17.9	18.4
Su sertliği (mg/L $\text{CaCO}_3$ )	300	-



### 5.1.2 Deneyleerde kullanılan kimyasallar

Deneysel çalışmalarda farklı firmalardan temin edilen, Anyonik, Katyonik ve Naniyonik tipte flokülantlar, ayrıca yeni nesil üretilen UMA tipi flokülantlar kullanılmıştır. Flokülantların özellikleri Çizelge 5.4’ de verilmiştir. Mol ağırlıkları farklı beş adet anyonik, iki adet katyonik, bir adet naniyonik ve iki adet UMA flokülantları ile deneyler yürütülmüştür. pH ayarlamalarında ise hazırlanan 1 M NaOH ve 1 M HCl çözeltileri kullanılmıştır.

Çizelge 5.4. Deneyleerde kullanılan flokülantlar ve özellikleri

Flokülant firma kodu	Tipi	Mol ağırlığı	Temin edildiği firma	Fiziksel form
<i>SPP 508</i>	Anyonik	Çok yüksek	Süperkim	Toz (Kırık beyaz)
<i>Enfloc 350A</i>	Anyonik	Çok yüksek	ECS Kimya	Toz (Kırık beyaz)
<i>Enfloc 320A</i>	Anyonik	Yüksek	ECS Kimya	Toz (Kırık beyaz)
<i>Magnofloc 336</i>	Anyonik	Yüksek	BASF	Toz (Kırık beyaz)
<i>Enfloc 315A</i>	Anyonik	Orta düşük	ECS Kimya	Toz (Kırık beyaz)
<i>Magnofloc 5250 (UMA)</i>	Anyonik	Orta yüksek	BASF	Toz (Kırık beyaz)
<i>Magnofloc 4240 (UMA)</i>	Anyonik	Orta	BASF	Toz (Kırık beyaz)
<i>Enfloc 440C</i>	Katyonik	Çok yüksek	ECS Kimya	Toz (Kırık beyaz)
<i>Enfloc 420C</i>	Katyonik	Yüksek	ECS Kimya	Toz (Kırık beyaz)
<i>SPP N 134</i>	İyonik Olmayan	Orta	Süperkim	Toz (Kırık beyaz)

Flotasyon deneylerinde ise Cytec firması tarafından üretilen ve Çizelge 5.5’te fiziksel – kimyasal özellikleri verilen flotasyon reaktifleri kullanılmıştır. Köpürtücü olarak ise poliglikollerin karışımından oluşan Aerofroth 65 (AF 65) kullanılmıştır. Aeromine 3030 C, amin türü katyonik özellikte bir toplayıcıdır. Aero 704 ve Aero 727 yağ asidi olup anyonik özellikte, Aero 845 sülfonat tipi bir toplayıcı olup yine anyonik özelliğe sahiptir.

Çizelge 5.5. Deneylerde kullanılan flotasyon reaktifleri ve özellikleri

	Flotasyon reaktifi	Renk	Görünüm	Kokusu	Kaynama noktası	Özgül ağırlığı(g/cm <sup>3</sup> )	Yanma ısısı
Toplayıcı	<i>Aeroamine 3030C</i>	Kehribar rengi	Sıvı	2-Etil hekzanol	100 °C	0.8-0.9	>93 °C
	<i>Aero 704</i>	Yumurta sarısı	Sıvı	Yağ	200 °C	0.91	>149 °C
	<i>Aero 727</i>	Kahve rengi	Sıvı	Özgün	100 °C	0.8-0.9	>93 °C
	<i>Aero 845</i>	Bronz rengi	Sıvı	Sabun	78 °C	1.12	>54 °C
Köpürtücü	<i>Aerofroth 65 (AF 65)</i>	Kahve rengi	Sıvı	Poliglikol	100 °C	1.01	>93 °C

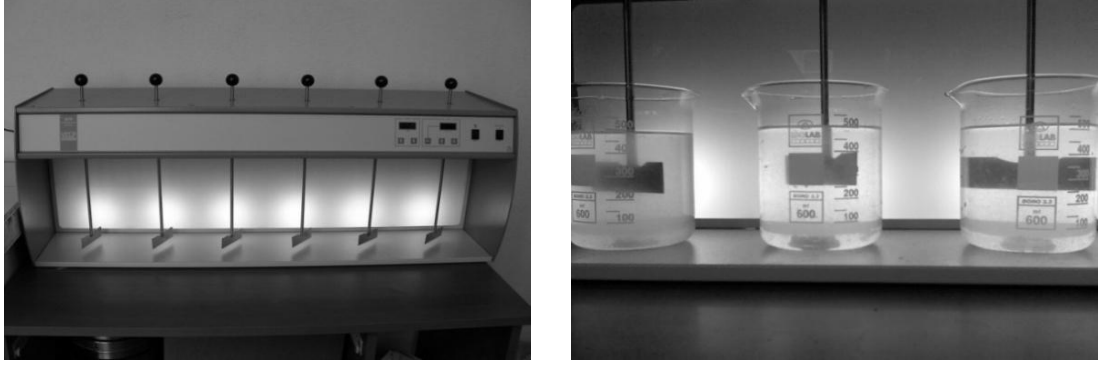
## 5.2 Yöntem

### 5.2.1 Flokülasyon deneyleri

Flokülasyon deneylerinde kullanılan flokülantlar, % 0.01'lik derişimde hazırlanmıştır. Bunun için 0.01 gr flokülant hassas terazide tartılarak saf su içerisinde 1.5 saat boyunca manyetik karıştırıcı yardımıyla oda sıcaklığında karıştırılarak çözdürülmüş ve 100 ml saf suya tamamlanmıştır.

Flokülasyon deneyleri, aynı anda altı deneyin yapılabildiği jar test cihazında (Velp Scientifica FC6S) yapılmıştır (Şekil 5.5). Cihazın karıştırma hızı (0-300 devir/dak.) ve süresi ayarlanabilen altı karıştırma pervanesinden oluşmaktadır. Ayrıca flokülasyon işlemlerinde kritik türbülans değerini tespitinde de kullanılır. Deneyler, atıksu numunelerinin 500 ml'lik altı adet behere konulması ve jar test düzeneğine yerleştirilmesini takiben pH ayarlaması ve flokülant ilavesinin yapılması ile yürütülmüştür. %1 katı oranında hazırlanan numunenin flokülasyon deneyleri karıştırma (2 dakika 200 devir/dakika hızlı karıştırma) ve daha sonra da çöktürme

aşamalarından oluşmaktadır. Deney sonunda her bir beherdeki üstte kalan temiz suyun kalan bulanıklık değerleri 2, 7 ve 15 dakika çöktürme süreleri için ölçülmüştür.



Şekil 5.5 Jar test cihazı

15 dakika çöktürme süresinden sonra flokülantlı çözeltiler milimetrik olarak işaretlenmiş mezürün üzerinde dört sabit nokta referans alınmak üzere 500 ml lik mezüre aktarılmıştır. Mezürdeki çözelti üç kez ters düz edilerek düz bir zemine oturtulmak suretiyle arayüzey yüksekliğinin zamana bağlı olarak değişimi belirli zaman aralıklarında kaydedilmiştir. Partiküllerin çökme hızı, süspansiyonun katı kütleyle sıvı arasında oluşan ara yüzeyinin düşme hızı olarak ifade edilmektedir. Çökme hızı arayüzey yüksekliğinin zamana bağlı olarak değişimini gösteren doğrunun eğiminden bulunmuştur (İpekoğlu 1997).

### 5.2.2 Flotasyon deneyleri

Hazırlanan atık su numunesinden ince taneleri yüzdürülerek uzaklaştırılması için uygun flotasyon koşullarının belirlendiği ön flotasyon deneyleri klasik hücrede yapılmıştır. Deney koşulları Çizelge 5.6'da verilmiştir. Yapılan ön flotasyon deneylerinde katı oranı, köpürtücü tipi ve miktarı sabit tutulmuş; toplayıcı tipi ve miktarının, pH'nın, flotasyon süresinin, koşullandırma süresinin ve flokülant tipinin yüzdürme verimine etkisi incelenmiştir. Yüzdürme verimi, flotasyon süresi sonunda elde edilen yüzen ve batan ürünlerin ağırlıkça toplam miktarından yararlanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Klasik hücrede yapılan flotasyon deney koşulları

<b><i>Katı oranı</i></b>	% 1
<b><i>Koşullandırma süresi</i></b>	2-5-10 dakika
<b><i>Toplayıcı tipi ve miktarı</i></b>	Aeromine 3030C (100 -250 -500 gr/ton)
	Aero 704 (500 -1000 -1500 gr/ton)
	Aero 727 (500-1000-1500 gr/ton )
	Aero 845 (100-500-750 gr/ton )
<b><i>pH</i></b>	6-8-10
<b><i>Köpürtücü</i></b>	Aerofroth 65 (30 ppm)
<b><i>Flotasyon süresi</i></b>	2-5 dakika
<b><i>Flokülant tipi</i></b>	Anyonik SPP 508 (0,3 mg/L)
	Katyonik Enfloc 440 C (0,3 mg/L)
	Noniyonik SPP N 134 (0,3 mg/L)

Flok-flotasyonu deneyleri laboratuvar ölçekli Jameson flotasyon hücresinde yapılmıştır. Jameson Flotasyon hücresi düşeyboru ve hücre olmak üzere iki önemli bölümden oluşmaktadır (Şekil 5.6). Aynı zamanda düşeyborunun üst kısmına, beslemenin belirli bir basınç altında verilebilmesi için içerisinde nozulun (3 mm çapında) bulunduğu bir besleme kafası bulunmaktadır. Hücre (çapı 145 mm) ve düşeyboru (çapı 25 mm) şeffaf pleksiglastan yapılmıştır.



Şekil 5.6. Jameson flotasyon hücresi ve koşullandırma tankı

Koşullandırma tankındaki atıksu düşeyboruya basınçlı bir şekilde pompa yardımıyla beslenmiştir. Besleme basıncını ölçmek amacıyla manometre ve giren hava miktarının ölçümü için hava debimetresi bulunmaktadır. Flok-flotasyonu için deney koşulları Çizelge 5.7’ de verilmiştir. Deneylede toplayıcı tipi ve miktarı (ön flotasyon deneyleri ile belirlenen), köpürtücü tipi ve miktarı sabit alınmıştır. Katı oranının, pH’nın, besleme debisinin, koşullandırma süresinin, flotasyon süresinin ve flokülant tipinin yüzdürme verimine ve atıksuyun kalan bulanıklık değerine etkileri araştırılmıştır. Flotasyon deneyleri iki aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamadan alınan atıksu, tekrar flotasyon işlemine tabii tutulmuştur.

Çizelge 5.7. Jameson flotasyon hücresi deney koşulları.

<b><i>Toplayıcı tipi</i></b>	Aero 845
<b><i>Toplayıcı miktarı</i></b>	750 gr/ton
<b><i>Köpürtücü tipi</i></b>	Aerofroth 65
<b><i>Köpürtücü miktarı</i></b>	30 ppm
<b><i>Katı oranı</i></b>	% 1-%2- %5
<b><i>pH</i></b>	6-8-10
<b><i>Besleme debisi</i></b>	5,5 - 6,5 - 7,5 L/dk
<b><i>Koşullandırma süresi</i></b>	5 -10 -15 dk
<b><i>Flotasyon süresi</i></b>	2 -5 -10 dk
<b><i>Flokülant tipi ve miktarı</i></b>	Anyonik SPP 508 (0,3 mg/L)
	Katyonik Enfloc 440 C (0,3 mg/L)
	Noniyonik SPP N 134 (0,3 mg/L)

Flotasyon deneyi yapılabilmesi için belirli miktardaki atıksu numunesi koşullandırma tankına alınmıştır. Tek bir deney için 20 litre atıksu ile koşullandırma tankı doldurulup gerekli miktarda flotasyon reaktifleri ilave edilerek belirli bir süre karıştırılmıştır. Daha sonra flokülasyon çalışmaları ile tespit edilen uygun flokülant tipi ve dozajı kullanılarak ince tanelerin salkımlaşması sağlanmıştır. Atıksu sistem alt akımı ile besleme tankına geri beslenmektedir. Bu şekilde atıksu tekrar tekrar sisteme

beslenmektedir. Belirlenen flotasyon süresi sonunda temizlenmiş atıksuyun bulanıklık ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen yüzen ve batan ürünler, etüvde kurutulmuş ve tartılmıştır. Yüzen ve batan numunenin ağırlıkça toplam miktarından yararlanarak her deney için yüzdürme verimleri hesaplanmıştır.

### 5.2.3. Bulanıklık ve pH ölçümü

Bulanıklık, askıda katı madde içeren suların ışık geçirgenliğinin bir ölçüsüdür ve su kalitesi belirleme yöntemlerinden biridir. Suyun bulanık olması, içerdiği kolloid ve askıda katı madde miktarına bağlıdır. Genel olarak askıda katı madde miktarının artması ile ışık geçirgenliği azalacağından bulanıklık değerinin arttığı söylenebilir. Bulanıklık ölçümleri HF Scientific Türbidimetre marka cihaz ile yapılmış olup bulanıklık birimi NTU (Nephelometric Turbidity Unit) cinsindedir. Türbidimetrenin ölçüm aralığı 0-1000 NTU'dur (Şekil 5.7).



Şekil 5.7 Türbidimetre

pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve sıcaklık ölçümleri, masa tipi multimetre cihazı (Orion 5 Star) ile ölçülmüştür. (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Multimetre cihazı

### 5.3 Bulgular

Deneysel çalışmalar, flokülasyon ve flotasyon (ön flotasyon ve flok-flotasyonu) çalışmaları olmak üzere iki bölüm altında değerlendirilmiştir.

#### 5.3.1 Flokülasyon çalışmaları

Doğal taş tozlarının flokülasyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla flokülant tipinin, dozajının, çözelti pH'sının bulanıklık ve çöktürme hızları açısından flokülasyona etkisi araştırılmıştır.

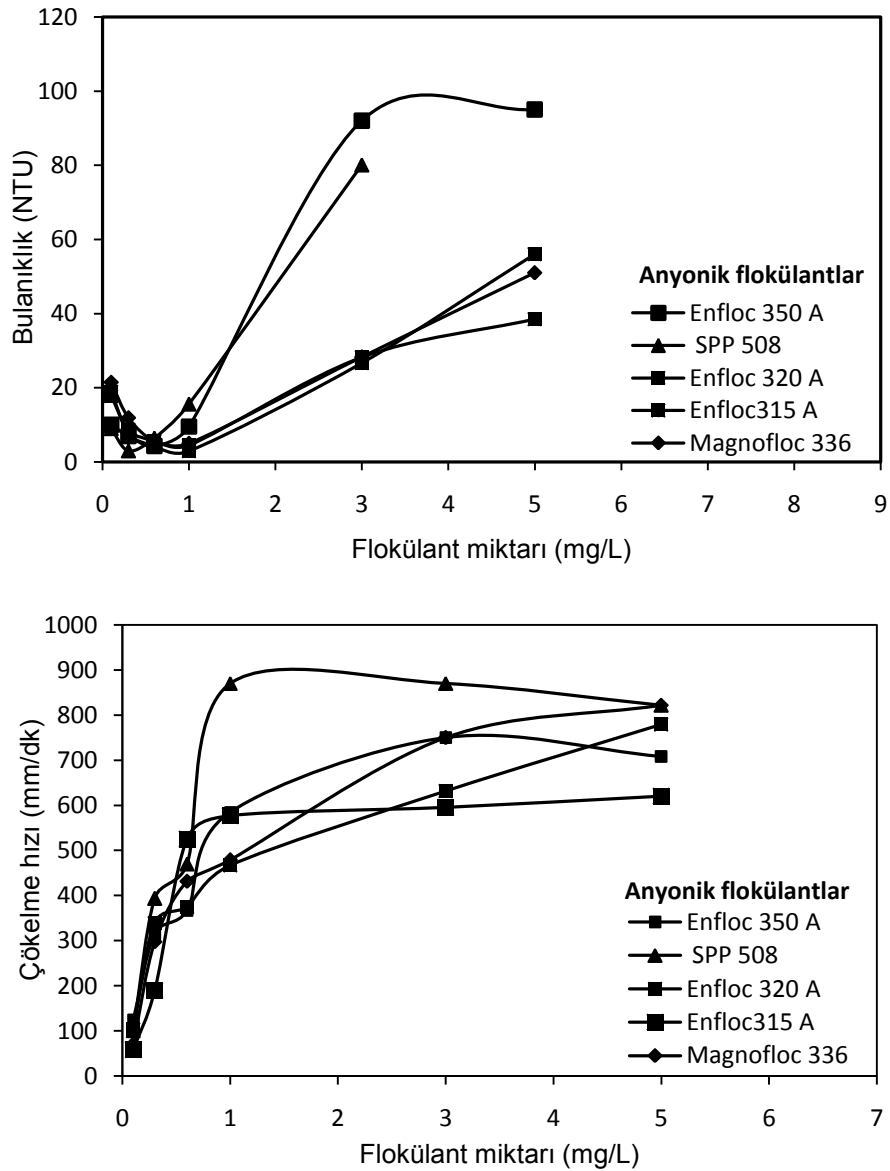
##### 5.3.1.1 Anyonik flokülantlarla yapılan flokülasyon deneyleri

Beş farklı anyonik flokülant ile atıksuyun doğal pH değerlerinde flokülasyon deneyleri yapılmış, flokülant miktarının bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi incelenmiştir. Deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar A1 ve A3'de verilmiştir. Her bir anyonik flokülant için flokülant dozajının bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi incelenmiştir. Elde edile karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 5.9 'de verilmiştir. Genel olarak bütün anyonik flokülantlar için (SPP 508 hariç) 1mg/L dozajına kadar atıksu bulanıklık değerleri azalmış bu dozajdan sonra bulanıklık değerleri tekrar artmıştır. Ancak SPP 508 anyonik flokülantı için optimum dozajın 0,3mg/L olduğu görülmektedir. Süspansiyondaki tanelerin flokülasyonunu sağlamak için gerekli en uygun flokülant dozajının (optimum dozaj), katının yüzey alanının yarısını kaplayacak miktarda flokülant dozajı olduğu literatürde verilmektedir. (Somasundaran and Das 1998; Yarar 2001; Alptekin,2006). Optimum flokülant miktarından fazla dozajlarda flokülant ilavesi sonucunda tanelerin yüzeyinde flokülantların tutunabilmesi için hiç boşluk kalmamaktadır, bu da polimer köprü teşekkülü ile flokülasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Anyonik flokülantlar ile yapılan jar testlerinde tüm flokülantların optimum dozajında bulanıklık 10 NTU' nun altına düşürülmüştür ve SPP 508 ile en iyi değer olan 3 NTU bulanıklık değeri elde edilmiştir.

Anyonik flokülantlar ile aynı yüzey (negatif) yüküne sahip doğaltaş tanelerinin flokülasyonunda polimer köprü mekanizması etkilidir. Bu mekanizmada polimer molekülü sahip olduğu uzun hidrokarbon zinciri sayesinde birden çok tane üzerine adsorplanarak onları bir araya getirir ve flokları oluşturur. Anyonik flokülantların

negatif yüzey yüküne sahip tanelerin yüzeylerine adsorbsiyonunun, polimer zincirindeki anyonik karboksil grubu ( $-\text{COO}^-$ ) ile tanelerin yüzeyinde bulunabilecek  $\text{Ca}^{+2}$  iyonları arasında oluşan kovalent bağlar (kimyasal bağ veya katyonik köprü) ile meydana geldiği söylenebilir (Ersoy, 2009; Gregory,2005)

Anyonik flokülant dozajı arttıkça çökeltme hızının da arttığı şekil 5.9'de görülmektedir. Bununla birlikte tanelerin çökeltme hızı 1 mg/L flokülant dozajına kadar



Şekil 5.9. Anyonik flokülant miktarının kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dk)



hızlı yükselmekte ve bu dozajdan sonra çökme hızı değerlerinde fazla değişim görülmemektedir. Bunun nedeni, belli bir dozaja kadar flokülant ile bir araya getirilen taneciklerin oluşturduğu flok boyutlarının artması, bu dozajdan sonra flokülant ilavesini arttırmanın ise flok boyutlarında çok az bir değişme meydana getirmesidir. En yüksek çökme hızı değeri (870 mm/dk) SPP 508 flokülantı ile elde edilmiştir.

Anyonik flokülantlar ile polimer köprü mekanizması sonucu oluşturulan flokların, katyonik ve iyonik olmayan flokülantların oluşturduğu floklara göre, daha büyük boyutlu floklar olduğu gözlemlenmiş, böylece bu floklar için yüksek çökme hızı değerleri elde edilmiştir.

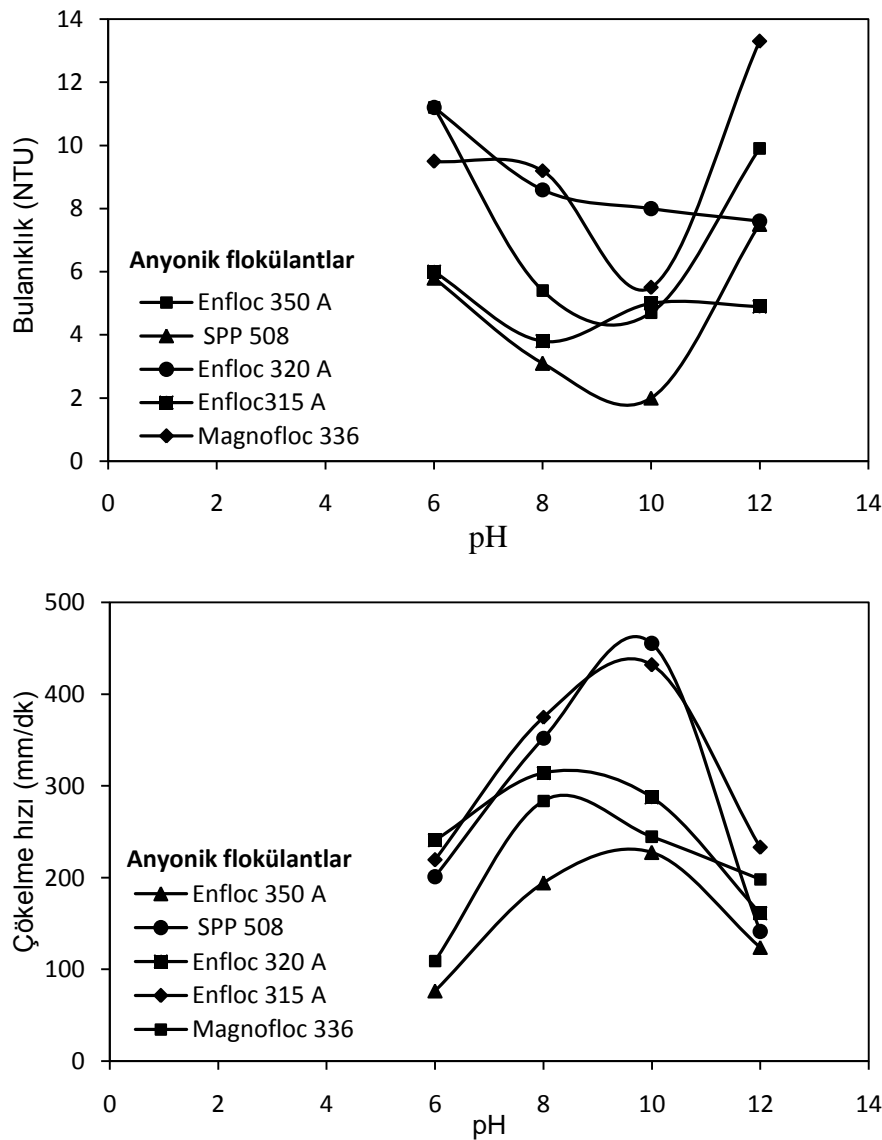
Süspansiyonun pH'ı flokülasyonu kontrol eden ve etkileyen önemli parametrelerden biridir. Bir sıvı içerisinde bulunan tanelerin yüzey yükünü sıfır yapan bir pH değeri mevcuttur. Buna sıfır yük noktası (zpc, zero point of charge) denilmektedir. Bu değer altındaki pH'larda, katı yüzeyi + işaretli, üzerinde ise - işaretlidir. Sıfır yük noktasının her iki tarafındaki çok yüksek ve çok alçak pH değerlerinde veya tanelerin zeta potansiyel değerlerinin -30 mV ve +30 mV aralığından daha yüksek değerlerinde flokülasyonun meydana gelmesi güçtür (Gregory,2005; Taşdemir ve Kurama,2012). Bu koşullarda taneler daha kararlıdır ve aralarındaki itme kuvvetleri artar. Flokülantların taneler üzerine yapışarak köprü kurma olasılığı azalır. Aynı zamanda flokülantların iyonize olabilme derecesi etkilenir ve solüsyon içinde flokülant yapısı değişerek uzayabilir veya yumak halinde bulunabilir. Tüm bu olaylar flokülasyonu etkilemektedir.

Flokülant miktarı sabit tutularak (0.3 mg/L), farklı anyonik flokülantlar ile pH'nın bulanıklığa ve çökme hızına etkisinin araştırıldığı flokülasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerde atık su pH'sı 6, 8, 10 ve 12 değerlerine ayarlanmış, diğer koşullar sabit tutularak jar testleri yürütülmüştür. Sonuçlar Şekil 5.10'da (Ek açıklamalar A2 ve A4) verilmiştir.

Karşılaştırmalı sonuçlara göre, pH 8 ve 10'da anyonik flokülantlar ile yapılan flokülasyonun performansının daha iyi olduğu ve daha az bulanıklık değerleri elde edildiği belirlenmiştir. Bunun nedeni, anyonik polimerlerin nötr ve hafif alkali ortamlarda daha etkili olması, doğaltaş tanelerinin zeta potansiyel değerinin -20 mV'dan düşük olduğu için kararsız yapıda olmaları ve aralarındaki zayıf itme kuvvetleri neticesinde tane yüzeylerine flokülant adsorbsiyonunun daha kolay meydana gelmesi

olabilir. pH 6'da yüksek bulanıklık değerleri elde edilirken solüsyonun pH'sı arttıkça bu değerlerde azalma görülmüş pH 10'dan sonra bulanıklık artmaya devam etmiştir. pH 10'dan sonra taneler daha kararlı hale geldiklerinden flokülasyon zorlaşmakta ve bulanıklık artmaktadır.

Şekil 5.10 incelendiğinde atık su pH'sının çökeltme hızı üzerinde de etkisi olduğu görülmektedir. Düşük ve yüksek pH değerlerinde (6 ve 12) bulanıklık artarken tanelerin çökme hızının düştüğü tespit edilmiştir. Çökeltme hızı, flokülasyonun başarısıyla doğru orantılı olarak değişmiştir.



Şekil 5.10. Sabit flokülant (Anyonik) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).

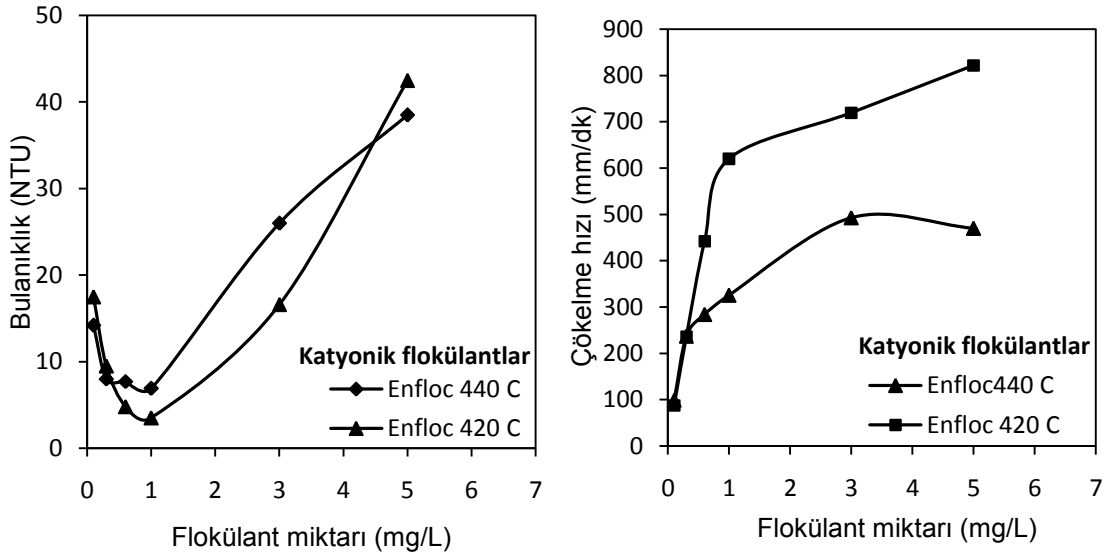
### 5.3.1.2 Katyonik flokülantlarla yapılan flokülasyon deneyleri

İki farklı katyonik flokülant ile yapılan doğal pH'da uygulanan flokülasyon deneyleri için flokülant miktarının kalan bulanıklığa ve çökelme hızına etkisi incelenmiştir. Elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar Şekil 5.11'de, deneyler sırasında bulunan sayısal değerler ek açıklamalar A1 ve A3'de verilmiştir.

Görüldüğü üzere katyonik flokülantların 1mg/L dozajına kadar bulanıklığı azalmıştır ve bu dozajdan sonra bulanıklık değerleri tekrar yükselmiştir. Katyonik flokülantlarla yapılan jar testlerinde flokülantların optimum dozajında bulanıklık 10 NTU' nun altına düşmüştür. En iyi bulanıklık değerine 420 C ile 1 mg/L dozajında (3,5 NTU) ulaşılmıştır.

Katyonik polimerler ile flokülasyonun daha çok elektrostatik yük yamama yöntemiyle gerçekleştiği söylenebilir. Süspansiyondaki negatif yüzey yüküne sahip taneler ile ona zıt yüklü katyonik polimer molekülleri arasındaki elektrostatik çekim kuvveti (fiziksel bağ) sonucunda tane yüzeyine flokülant adsorbsiyonu gerçekleşmektedir. Bu mekanizmanın polimer köprü teşekkülü mekanizmasına göre flokülasyon üzerindeki etkisi daha azdır (Alptekin, 2006; İpekoğlu, 1997).

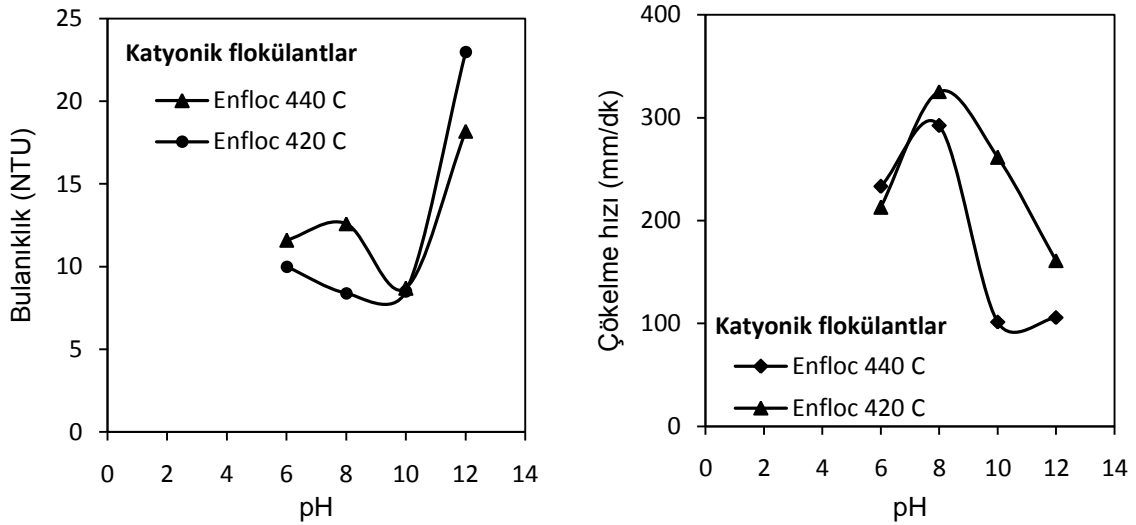
Şekil 5.11'de katyonik flokülant dozajı arttıkça çökelme hızının da arttığı görülmektedir. Bununla beraber tanelerin çökelme hızı 1 mg/L flokülant dozajına kadar hızlı yükselmekte ve bu dozajdan sonra çökelme hızı değerlerinde ki artış daha az olmaktadır. Flokülantların optimum dozajında en yüksek çökelme hızı değeri (620 mm/dk) katyonik Enfloc 420 C flokülantı ile elde edilmiştir. Katyonik flokülantın kullanıldığı flokülasyon deneylerinde küçük boyutlu flokların oluştuğu gözlemlenmiş, bu nedenle katyonik flokülantların flokülasyon performansının anyonik flokülantlara göre daha düşük yani flokların çökelme hızının düşük olduğu bulunmuştur.



Şekil 5.11. Katyonik flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).

Katyonik flokülantlarla yapılan flokülasyon işleminde flokülant miktarı (0.3 mg/L) sabit tutularak, pH'nın kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonucu Şekil 5.12 de, deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar A2 ve A4'de verilmiştir.

Sonuçlara göre, pH'10 da katyonik flokülantlar ile yapılan flokülasyonun performansının daha iyi olduğu ve daha az bulanıklık değerleri elde edildiği belirlenmiştir. pH 12'de yüksek bulanıklık değerleri elde edilirken solüsyonun pH'sı azaldıkça bu değerlerde azalma görülmüştür. pH 10 değerinden sonra bulanıklık çok az artmaya devam etmiştir. Şekil 5.12 incelendiğinde atıksu pH'sının çökme hızı üzerinde de etkisi olduğu görülmektedir. Yüksek pH değerlerinde (12) bulanıklık artarken, tanelerin çökme hızı azalmaktadır. PH 8'de her iki flokülant içinde en yüksek çökme hızlarına ulaşılmıştır.

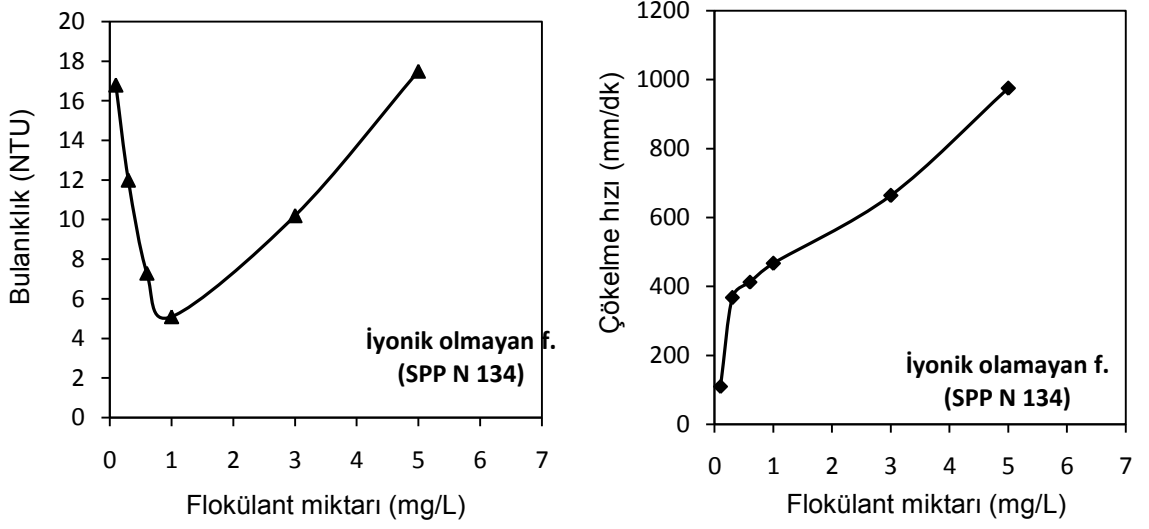


Şekil 5.12. Sabit flokülant (Katyonik) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).

### 5.3.1.3 İyonik olmayan flokülant ile yapılan flokülasyon deneyleri

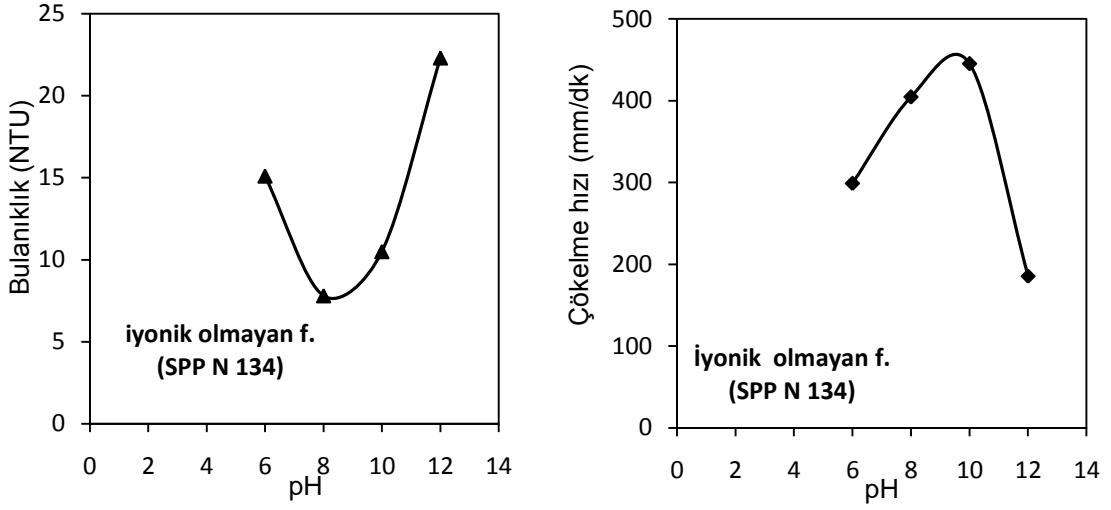
İyonik olmayan flokülant ile doğal pH'da flokülasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde flokülant miktarının kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkileri irdelenmiştir. Şekil 5.13'te verilen sonuçlara göre (Sayısal değerler ek açıklamalar A1 ve A3'de verilmiştir), noniyonik flokülant SPP N 134' ün 1 mg/L dozajına kadar bulanıklığı azalmış ve bu dozajdan sonra tekrar artmıştır. Bu flokülant için en iyi bulanıklık değeri (5,1 NTU) 1 mg/L dozajında tespit edilmiştir. İyonik olmayan SPP N 134 flokülantının tane yüzeyine adsorpsiyonunun hidrojen bağlarıyla gerçekleştiği literatürde ifade edilmektedir (İpekoğlu,1997; Gregory 2005; Hogg 2000). Hidrojen bağı özellikle İyonik olmayan flokülantların adsorpsiyonunda ve polimer-tane arasındaki elektrostatik itme kuvvetlerinin çok yüksek olmadığı ortamlarda daha etkin olarak ortaya çıkmaktadır.

Şekil 5.13 incelendiğinde, flokülant dozajı arttıkça çökeltme hızının da arttığı görülmektedir. Noniyonik flokülantın optimum dozajında elde edilen en yüksek çökeltme hızı değeri 467 mm/dk bulunmuştur.



Şekil 5.13. İyonik olmayan flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökeltme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).

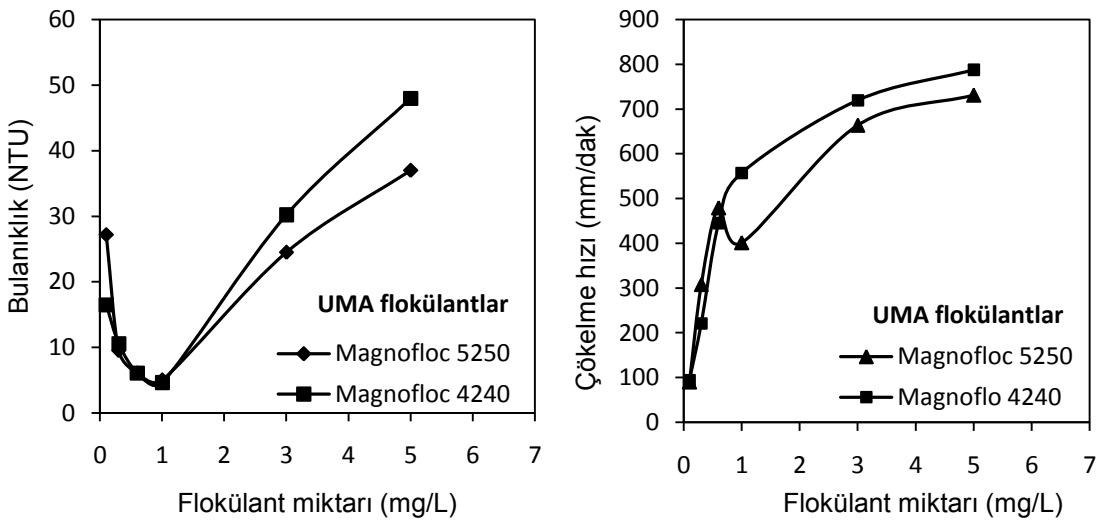
pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkilerinin araştırıldığı deney sonuçları (Ek açıklamalar A2 ve A4) Şekil 5.14'te verilmiştir. Şekil 5.14'e göre, pH 8 ve 10'da noniyonik flokülant ile yapılan flokülasyonun daha iyi olduğu ve daha az bulanıklık değerleri elde edilmiştir. pH 6 ve 12'de daha yüksek bulanıklık değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda düşük ve yüksek pH değerlerinde çökme hızının düştüğü pH 10'da en yüksek çökeltme hızına (445mm/dk) ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.14. Sabit flokülant (İyonik olmayan) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökeltme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).

#### 5.3.1.4 UMA (unique molecular architecture) flokülantlar ile yapılan flokülasyon deneyleri

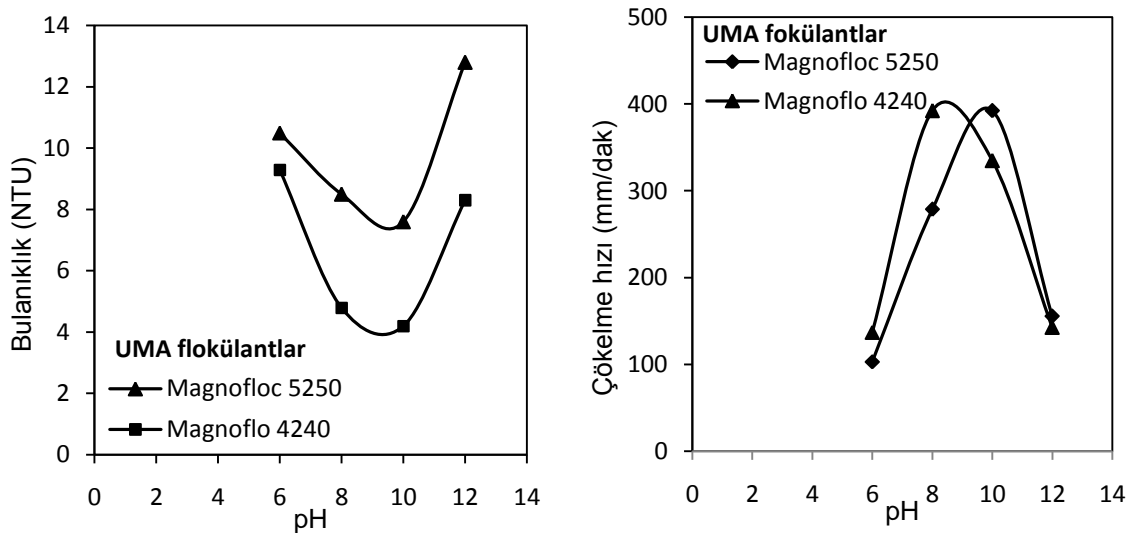
İki farklı UMA teknolojisinde üretilen flokülantlarla doğal pH'da flokülasyon deneyleri yapılmış ve flokülant miktarının kalan bulanıklık/çökeltme hızı üzerine etkileri incelenmiştir. Deneyler neticesinde bulunan sonuçlar ek açıklamalar A1 ve A3'de verilmiş ve değerleri grafiğe aktarılmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. UMA tipi flokülant miktarının kalan bulanıklık ve çökeltme hızı üzerine etkisi (Doğal pH:8, Çöktürme süresi 15 dakika).

Görüldüğü gibi, UMA flokülantlarında da 1mg/L dozajına kadar bulanıklık değerleri azalmış ve bu dozajdan sonra bulanıklık değerleri tekrar yükselmiştir. Yapılan deneyler sonucunda her iki flokülant için optimum dozajında atıksuyun bulanıklık değerleri 11 NTU'nun altına düşmüştür. En iyi bulanıklık değeri (4,6 NTU) 1mg/L dozajda Magnofloc 4240 ile elde edilmiştir. Bununla birlikte flokülant dozajı arttıkça her iki flokülant içinde tanelerin çökme hızı artmış, optimum dozajda en yüksek çökme hızı değeri (557,7 mm/dk) Magnofloc 4240 flokülantı ile elde edilmiştir.

pH'nın kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkilerinin incelendiği deney sonuçları (Ek açıklamalar A2 ve A4) Şekil 5.16'da görülmektedir. pH 6 ve 12'de yüksek bulanıklık değerleri elde edilirken, pH 8 ve 10'da atıksuyun bulanıklığı azalmış ve tanelerin çökme hızı artmıştır.



Şekil 5.16. Sabit flokülant (UMA) dozajında pH'nın kalan bulanıklığa ve çökme hızına etkisi (Flokülant miktarı: 0.3 mg/L, Çöktürme süresi 15 dk).

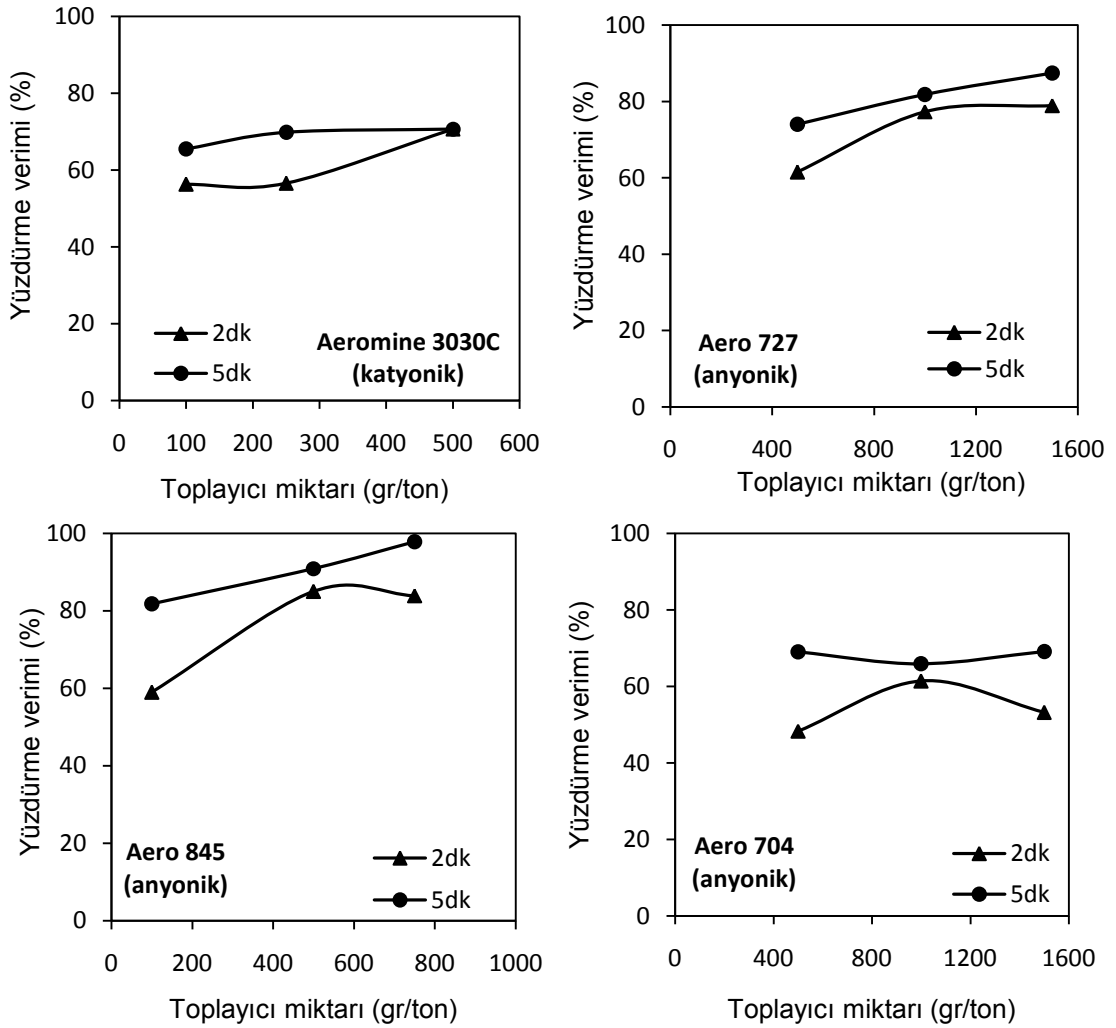
### 5.3.2 Flotasyon deneyleri

#### 5.3.2.1 Klasik hücrede yapılan flotasyon bulguları

Toplayıcı tipinin ve miktarının belirlendiği flotasyon deneyleri klasik hücrede yapılmıştır. Deneylerde bir çeşit katyonik toplayıcı ve üç farklı tipte anyonik toplayıcı kullanılmıştır. Her bir toplayıcının farklı dozajına göre ve doğal pH'da flotasyon



deneyleri yapılmıştır. 2 ve 5 dakika flotasyon süreleri için yüzdürme verimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar (Ek açıklamalar B3) Şekil 5.17'de verilen grafiklere aktarılmıştır. 500 gr/ton Aeromine 3030 C katyonik toplayıcı kullanılarak 5 dakika flotasyon süresi sonunda en yüksek yüzdürme verimi %71 elde edilmiştir.

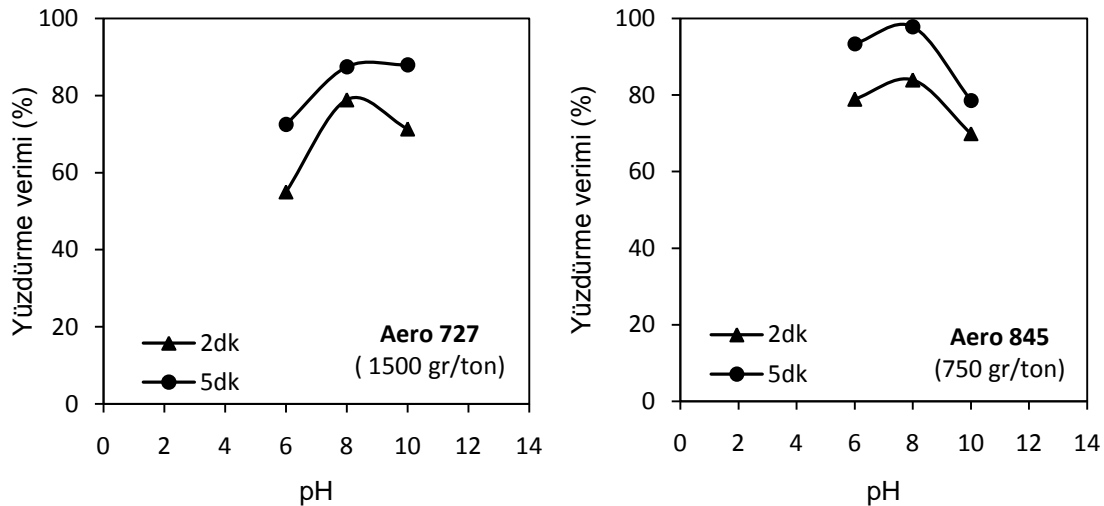


Şekil 5.17. Toplayıcı tipi ve miktarının yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi:2 dk)

Aynı şekilde anyonik toplayıcılar için 5 dakika flotasyon süresi sonunda 1500gr/ton Aero 704 kullanıldığında % 69; 750 gr/ton Aero 845 kullanıldığında %97,8; 1500gr/ton Aero 727 kullanıldığında %87,4 yüzdürme verimleri elde edilmiştir. Bu

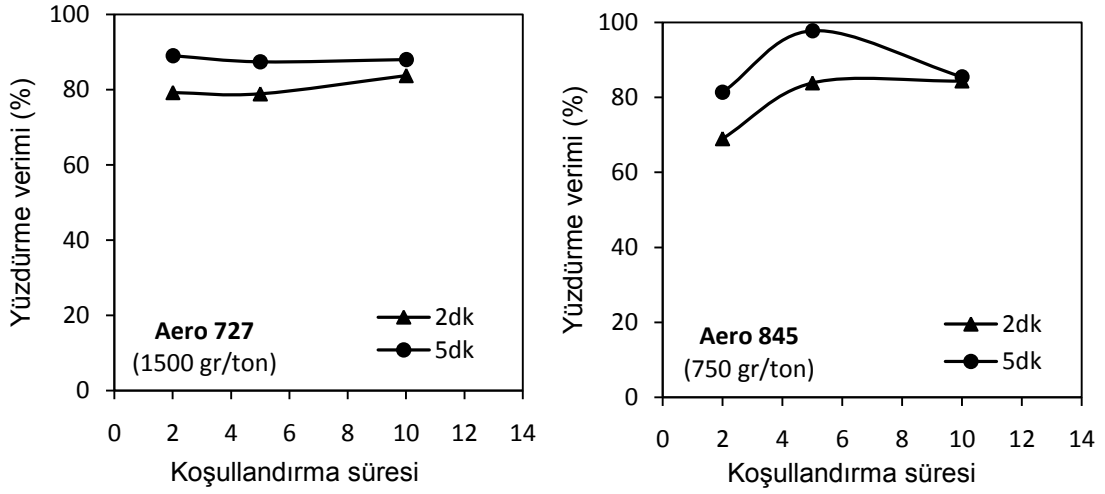
sonuçlardan, en uygun flotasyon reaktifinin anyonik toplayıcı Aero 845 olduğu belirlenmiştir.

En yüksek yüzdürme verimlerinin elde edildiği Aero 845 ve Aero 727 anyonik toplayıcılarının uygun dozajları sabit alınarak, pH'ın yüzdürme verimine etkisinin incelendiği flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar B2'de verilmiştir. pH 6, 8 ve 10'da yürütülen deneylerde 2 ve 5 dakika flotasyon süreleri için hesaplanan sonuçlar Şekil 5.18'de görülmektedir. Sonuçlara göre, Her iki anyonik toplayıcı için de doğal pH (8)'da diğer pH değerlerine göre daha yüksek yüzdürme verimleri elde edilmiştir. Ancak Aero 845 ile en yüksek yüzdürme verimine (%97.8) ulaşılmıştır.



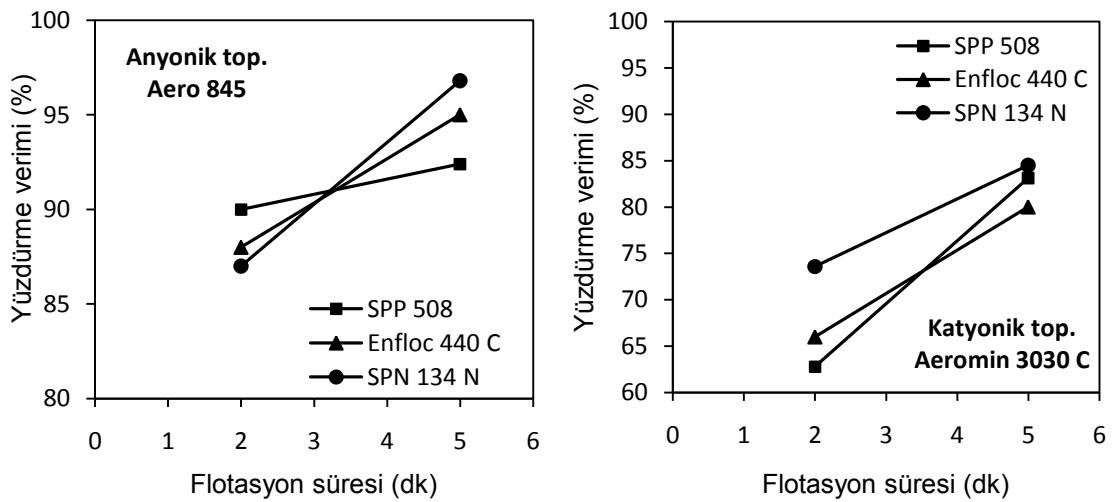
Şekil 5.18. pH'nın yüzdürme verimine etkisi (Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi: 2 dk)

2, 5 ve 10 dakika koşullandırma sürelerinin yüzdürme verimine etkisinin incelendiği deney sonuçları (Ek açıklamalar B3) Şekil 5.19'da verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Aero 727 için 2dk koşullandırma süresi yeterli gelirken, Aero 845 için 5dk koşullandırma süresinin daha uygun olduğu görülmektedir. Klasik hücrede yapılan ön flotasyon deney sonuçlarına göre Aero 845 anyonik toplayıcının doğaltaş tozu içeren atıksuyun yüzdürülmesinde en uygun flotasyon reaktifi olduğu, doğal pH (8) ile 5 dk koşullandırma süresinde en yüksek yüzdürme verimine ulaşıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.19. Koşullandırma süresinin yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk)

Klasik hücrede, anyonik ve katyonik toplayıcı ile farklı özellikteki flokülantların birlikte kullanılmasının yüzdürme verimine etkisi araştırılmıştır. Sonuçlar (Ek açıklamalar B4), grafiksel olarak Şekil 5.20’de görülmektedir. Anyonik toplayıcı Aero 845 ile yapılan 5 dk flotasyon süresi sonunda en yüksek yüzdürme verimi SPN 134 N flokülantının kullanılması ile % 96,8; Katyonik toplayıcı Aeromine 3030 C ile yapılan deneylerde 5 dk flotasyon süresi sonunda en yüksek yüzdürme verimi SPN 134 N ile %80 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.20. Anyonik ve katyonik toplayıcı ile birlikte farklı tip flokülant kullanılmasının yüzdürme verimine etkisi (pH:8, Flotasyon süresi 2 ve 5 dk, Koşullandırma süresi: 2 dk)

### 5.3.3 Jameson flotasyon hücresi deneyleri

Doğaltaş kesim fabrikası atıksuyunun temizlenmesi için flotasyon yönteminin uygulanması Jameson flotasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Jameson flotasyon hücresinde flokülantsız flotasyon deneyleri ve flokülantların kullanıldığı flokülant-flotasyonu deneyleri yapılmıştır.

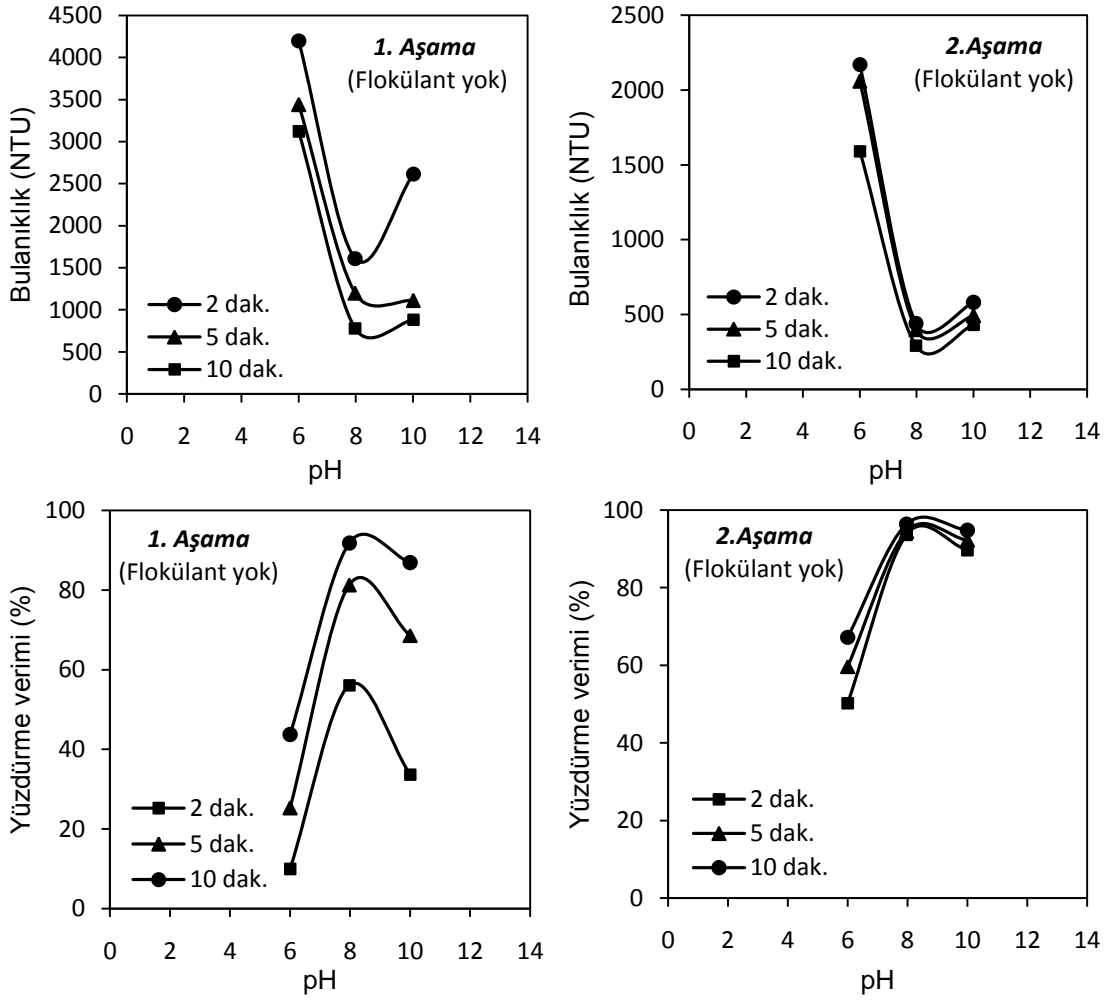
#### 5.3.3.1 Flokülantsız ortamda pH' nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

Jameson flotasyon hücresinde flokülant ilavesiz anyonik toplayıcı ile flotasyon deneyleri yapılmıştır. Üç farklı pH değerlerinde (6,8,10) ve farklı flotasyon süreleri için (2dk, 5dk ve 10dk) atık suyun bulanıklık değerleri ölçülmüş ve yüzdürme verimleri hesaplanmıştır. Bu koşullarda yapılan deneyler iki aşamalı yapılmıştır. Birinci aşamadan elde ettiğimiz nispeten temiz su tekrar koşullandırılarak sisteme geri beslenmiştir.

Birinci ve ikinci aşamada kaydedilen bulanıklık ve yüzdürme verimleri Şekil 5.21'de, deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar C1'de verilmiştir.

Birinci aşamada 10 dk flotasyon deneyi sonunda doğal pH'da başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU' dan 800 NTU'ya düşürülmüştür.

İkinci aşamada bu değer doğal pH'da 300 NTU'ya kadar inmiştir. Aynı koşullarda doğal pH'da en yüksek yüzdürme verimi değerleri birinci aşama için %91.8, ikinci aşama için %96.4 olmuştur.

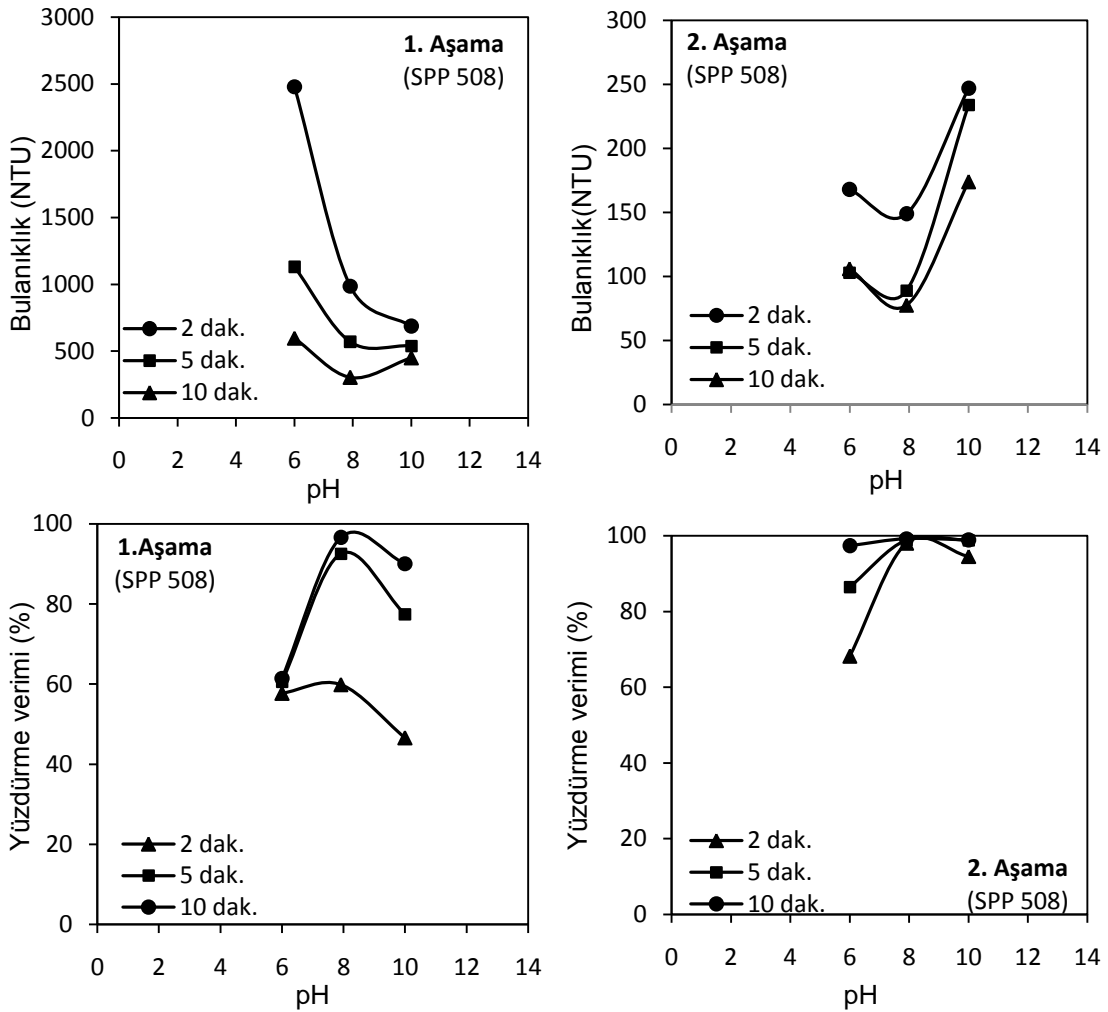


Şekil 5.21. pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (flokülan ilavesiz)

### 5.3.3.2 Anyonik flokülant (SPP 508) kullanıldığında pH' nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

Anyonik flokülant SPP 508 kullanılarak Jameson flotasyon hücresinde anyonik toplayıcı ile yapılan birinci ve ikinci aşama flok-flotasyon deneylerinde elde edilen sonuçlar Şekil 5.22'de, sayısal değerler ek açıklamalar C2'de verilmiştir. Birinci aşamada 10 dk flotasyon süresi sonunda doğal pH' da başlangıç bulanıklık değeri 598 NTU' ya düşürülmüştür.

İkinci aşamada bu değer doğal pH' da 77.5 NTU' ya kadar inmiştir. Aynı koşullarda doğal pH' da en yüksek yüzdürme verimi değerleri birinci aşama için %96.6, ikinci aşama için %99.2 olmuştur.

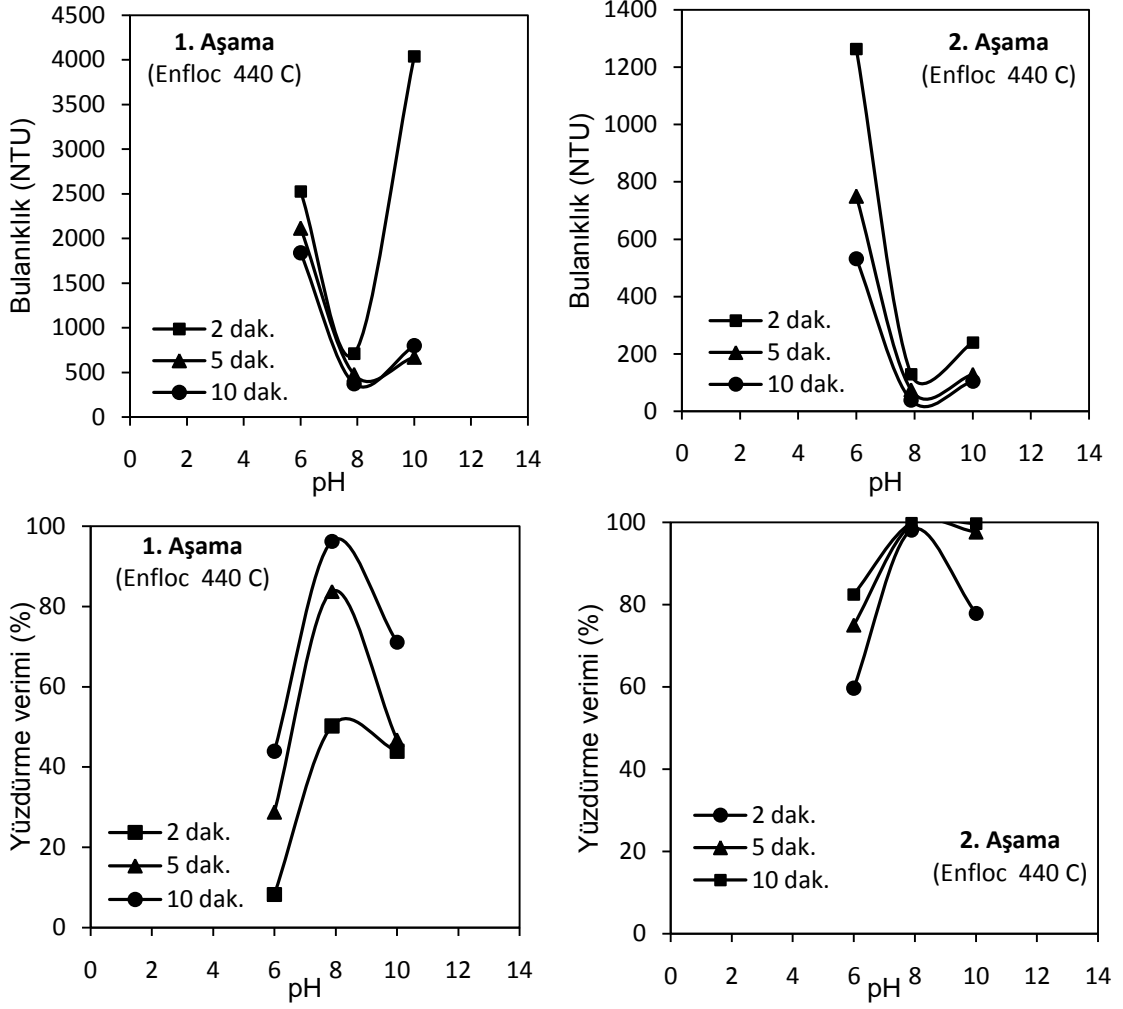


Şekil 5.22. pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Anyonik flokülant-SPP 508)

### 5.3.3.3 Katyonik flokülant (Enfloc 440 C) kullanıldığında pH'ın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

Katyonik flokülant Enfloc 440 C'nin kullanıldığı flok-flotasyon deney bulguları, birinci ve ikinci aşama için ayrı ayrı Şekil 5.23'de verilen grafiklerde görülmektedir. (Sayısal değerler ek açıklamalar C3'te verilmiştir). 10 dk flotasyon deneyi sonunda doğal pH' da birinci aşama için başlangıç bulanıklık değeri 375 NTU' ya düşürülmüştür.

İkinci aşamada ise aynı değer doğal pH' da 39.3 NTU' ya kadar inmiştir. Aynı deney koşullarında doğal pH' da en yüksek yüzdürme verimi değerleri ilk aşama için %96.3, ikinci aşama için %99.9'a yükselmiştir.

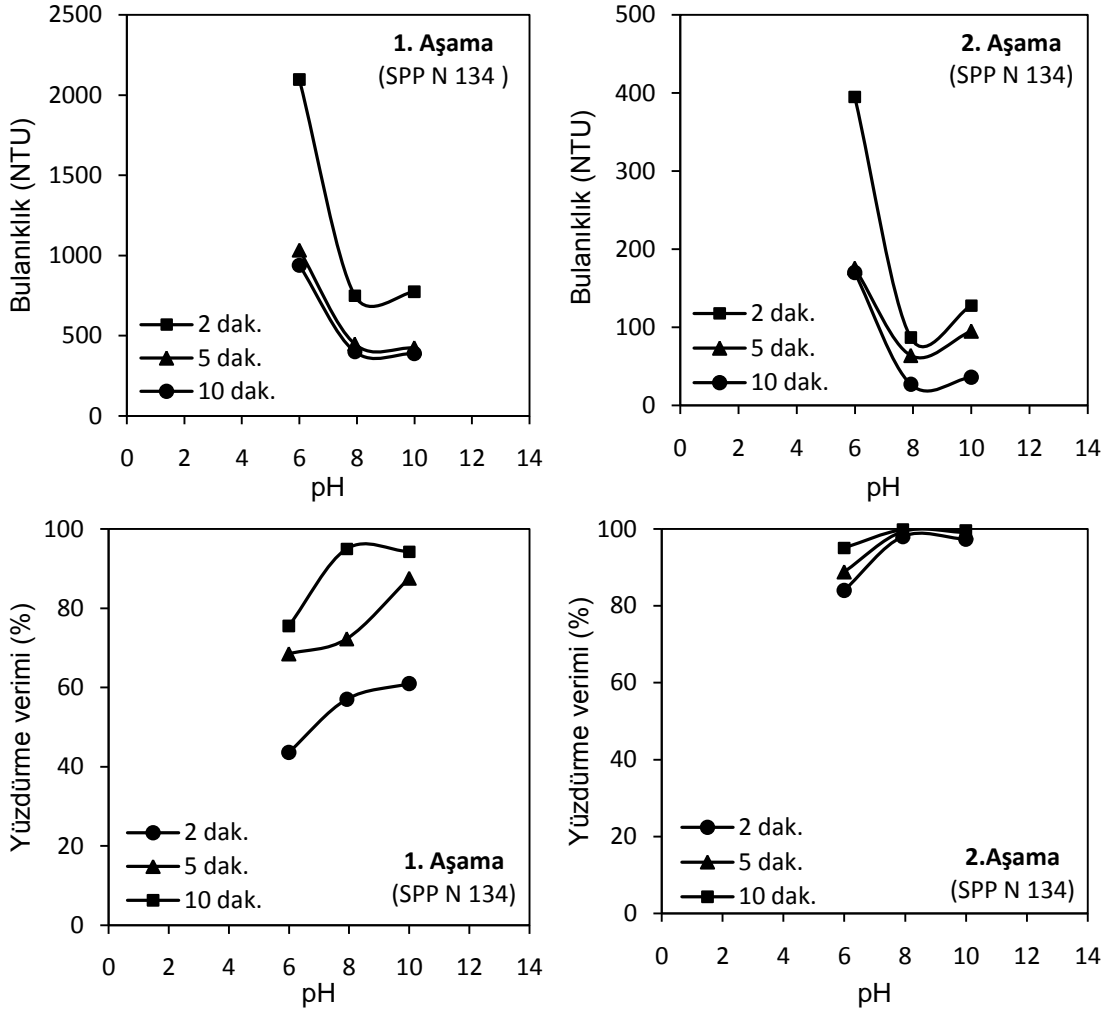


Şekil 5.23. pH'nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Katyonik flokülant-Enfloc 440 C)

#### 5.3.3.4 İyonik olmayan flokülant (SPP N 134) kullanıldığında pH' nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

İyonik olmayan SPP N 134 kullanılarak yapılan flok-flotasyonu deney sonuçları Şekil 5.24'te görülmektedir. Deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar C4'te verilmiştir. İlk aşamada 10 dk flotasyon süresi sonunda doğal pH' da başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU' dan 400 NTU' ya düşürülmüştür.

İkinci aşamada bu değer doğal pH' da 27 NTU' ya kadar inmiştir. Aynı koşullarda doğal pH' da en yüksek yüzdürme verimi değerleri birinci aşama için %95, ikinci aşama için %99.8 olmuştur.

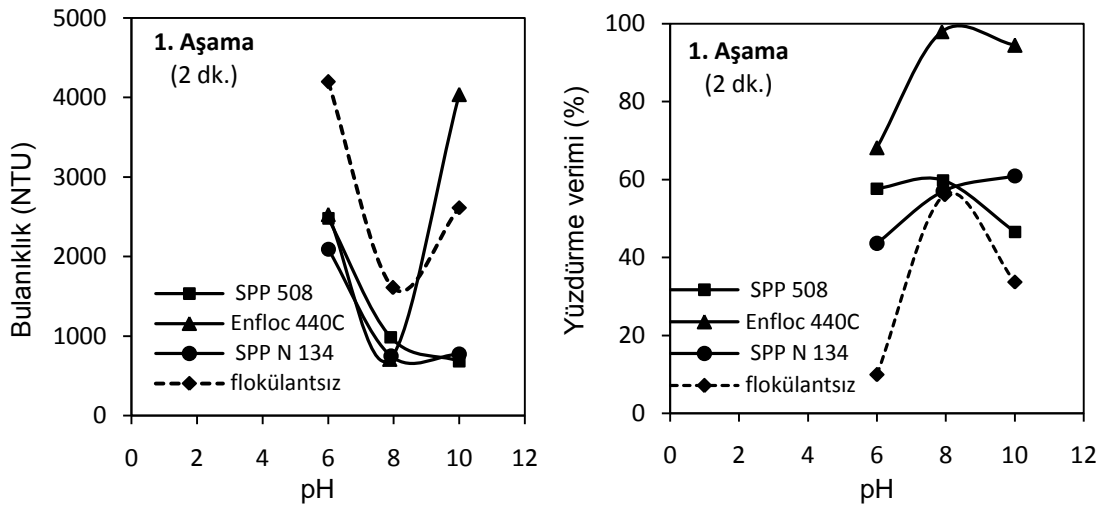


Şekil 5.24. pH' nın bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi (Naniyonik flokülant-SPP N 134)

### 5.3.3.5 Flokülantsız ve farklı flokülantlar ile yapılan flok-flotasyonunun karşılatırmalı bulguları

Anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar kullanılarak flok-flotasyonu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca hiç flokülantın kullanılmadığı flokülantsız flotasyon deneyleri yapılmıştır. Grafiklerde verilen karşılatırmalı sonuçların sayısal değerleri ek açıklamalar C1, C2, C3 ve C4'te verilmiştir. Atıksu pH' sı 6, 8 ve 10 değerleri için iki aşamalı olarak deneyler yürütülmüştür. Birinci aşama 2 dakika flotasyon süresi için elde edilen sonuçlar Şekil 5.25'te verilmiştir. Görüldüğü üzere en düşük bulanıklık ve en yüksek yüzdürme verimi değerlerine doğal pH'da ulaşılmıştır.

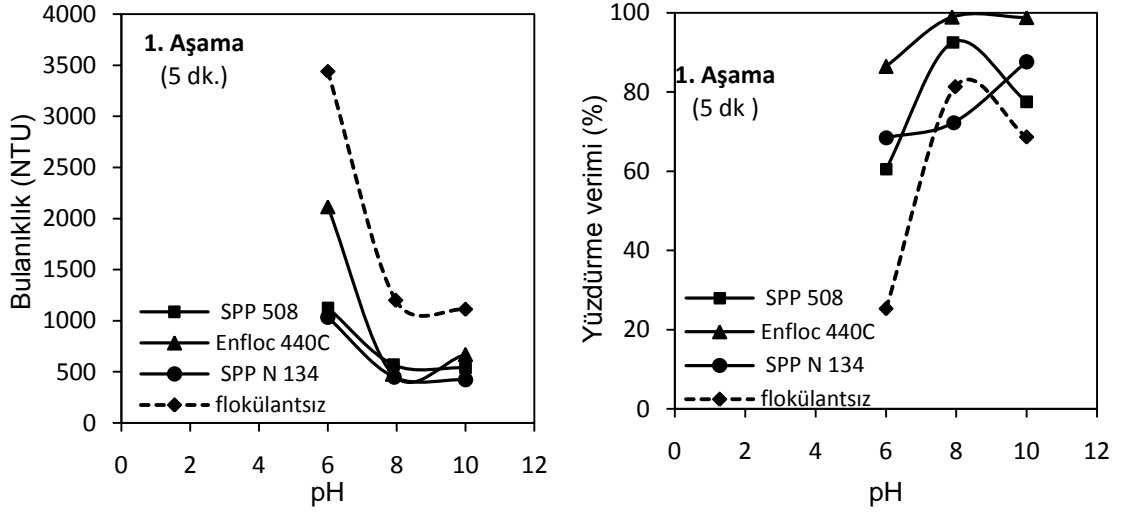




Şekil 5.25. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre 1. Aşama ve 2 dakika flotasyon süresi için karşılaştırmalı deney sonuçları

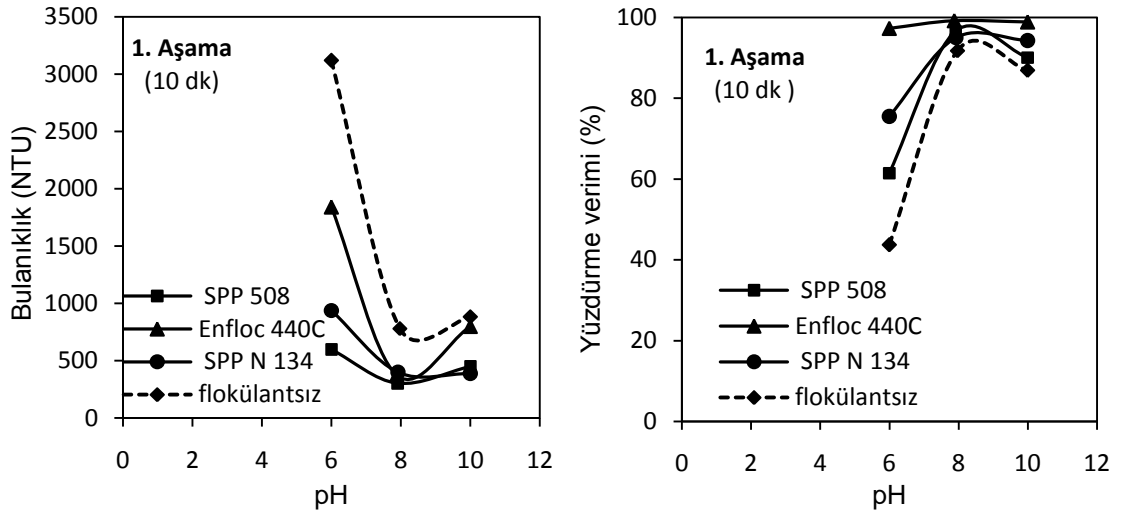
5 dakika ve 10 dakika flotasyon süreleri için de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 5.26 ve Şekil 5.27). Flokülant kullanılmadığı zaman ulaşılan bulanıklık değeri 2 dakika flotasyon süresi için 1612 NTU, 5 dakika için 1200 NTU ve 10 dakika için 781 NTU'dur. Anyonik, katyonik ve naniyonik flokülantlar ile yapılan deneylerde doğal pH' da ise benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fakat pH 6 ve 10 değerlerinde sonuçlar farklılık göstermektedir. Flokülantlı ortamda doğal pH' da yapılan flotasyon deneylerinde 2 dakika flotasyon süresi için yaklaşık 800 NTU, 5 dakika için 500 NTU ve 10 dakika için 350 NTU değerleri elde edilmiştir. Genellikle grafik sonuçlarından doğal pH' da en düşük bulanıklık değerlerinde en yüksek yüzdürme verimlerine ulaşıldığı görülmektedir. 2 dakika deney süresi sonunda pH 8'de flokülant ilavesiz ortamda %56.1, anyonik flokülant SPP 508 için %59.8, katyonik flokülant Enfloc 440 C için %98 ve naniyonik flokülant SPP N 134 için %57' dir.

Şekil 5.26'ya göre, doğal pH' da 5 dakika flotasyon süresi sonunda elde edilen yüzdürme verimleri ise sırasıyla şöyledir; flokülant ilavesiz %81.3, anyonik flokülant SPP 508 için %92.6, katyonik flokülant Enfloc 440 C için %98.9 ve naniyonik SPP N 134 için %72,3' tür. Bu sonuçlardan 5 dakikada elde edilen yüzdürme verimlerinin iki dakika flotasyon süresine göre arttığı görülmektedir.



Şekil 5.26. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 1. Aşama ve 5 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları

Şekil 5.27 incelendiğinde, 10 dakika flotasyon süresi için doğal pH'da flokülant ilavesiz %91,8 yüzdürme verimi elde edilirken flokülantların kullanıldığı durumda tüm flokülantlar için % 95'in üzerinde yüzdürme verimi değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte en yüksek yüzdürme verimi (%99.2) doğal pH'da Enfloc 440 C ile elde edilmiştir. Bu sonuç, anyonik toplayıcı 845 ile katyonik flokülant arasında elektriksel çekim kuvvetinin yüzdürme verimini olumlu ve önemli oranda etkilediğini göstermektedir.

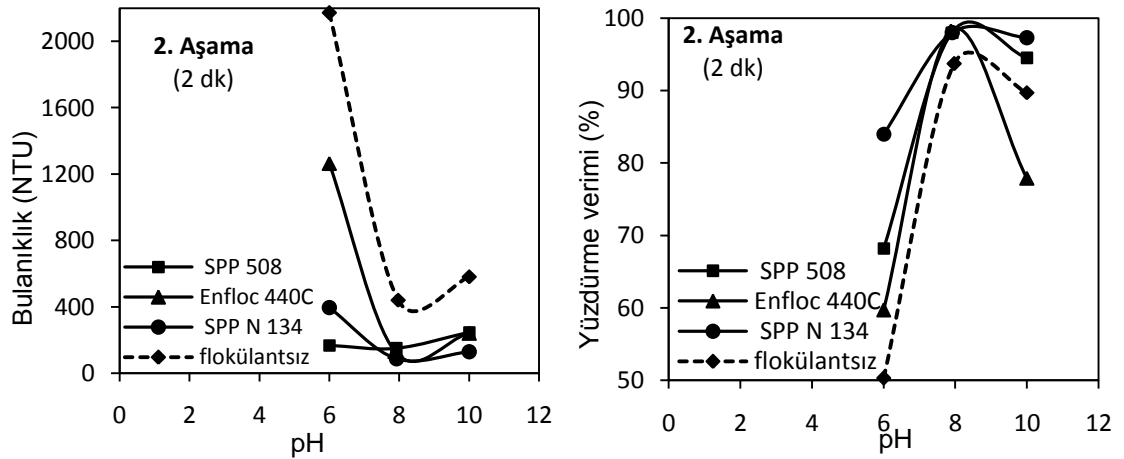


Şekil 5.27. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 1. Aşama ve 10 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları

Flok-flotasyonu yönteminin Jameson Flotasyon Hücresinde tek aşamalı uygulaması ile doğal pH 8 değerinde 10 dakika flotasyon süresi sonunda başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU'dan 304 NTU'ya düşürülmüş ve katyonik toplayıcı Enfloc 440 C ile % 99.2 yüzdürme verimine ulaşılmıştır.

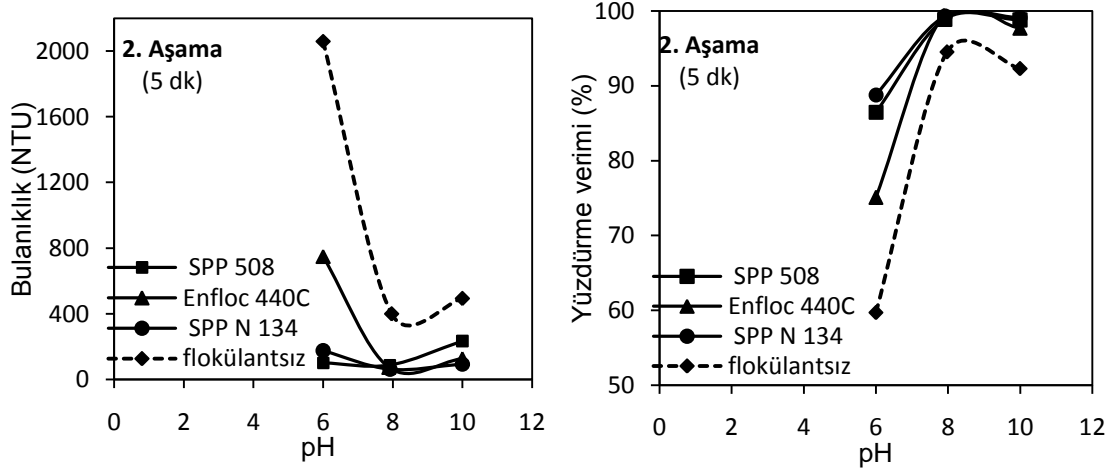
İkinci aşama flotasyon deneylerinin karşılaştırmalı sonuçları Şekil 5.28, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da verilmiştir. Görüldüğü üzere, flokülant kullanılmadığı zaman ulaşılan bulanıklık değeri 2 dakika flotasyon süresi için 440 NTU, 5 dakika için 400 NTU ve 10 dakika için 293 NTU olmuştur. Anyonik, katyonik ve noniyonik flokülantlar ile yapılan deneylerde doğal pH'da ise benzer sonuçlar elde edilmiştir. Fakat pH 6 ve 10 değerlerinde sonuçlar farklılık göstermektedir. Flokülantlı ortamda doğal pH'da yapılan flotasyon deneylerinde 2 dakika flotasyon süresi için yaklaşık 122 NTU, 5 dakika için 76 NTU ve 10 dakika için 48 NTU değerleri elde edilmiştir. Genel olarak bakıldığında grafik sonuçlarından doğal pH' da en düşük bulanıklık değerleri ile en yüksek yüzdürme verimlerine ulaşıldığı görülmektedir.

Şekil 5.28 incelendiğinde, 2 dakika deney süresi sonundapH 8'de flokülant ilavesiz ortamda % 93.7, anyonik flokülant SPP 508 için %98, katyonik flokülant Enfloc 440 C için %98.2 ve naniyonik SPP N 134 için %98' dir.



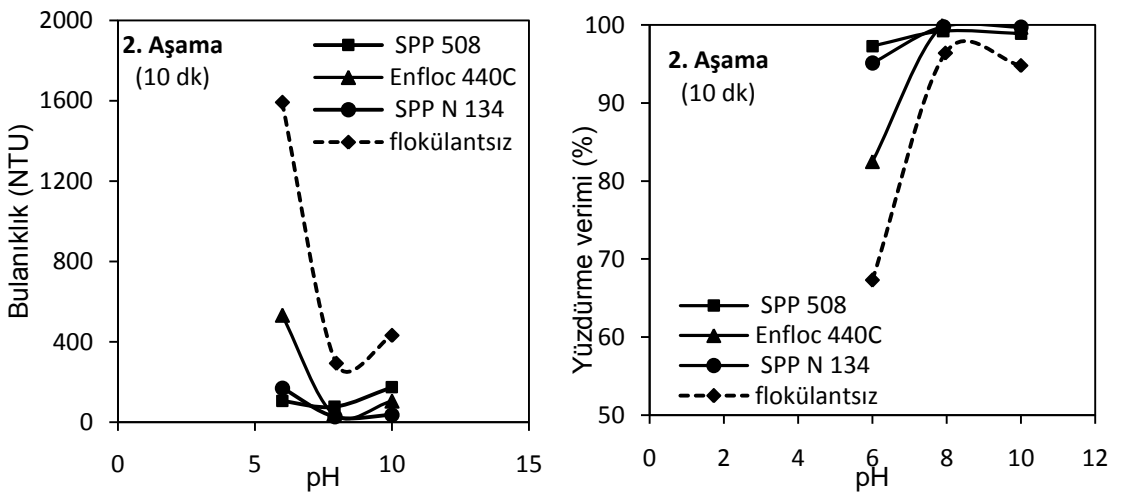
Şekil 5.28. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 2 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları

5 dakika flotasyon süresi sonunda doğal pH' da elde edilen yüzdürme verimleri ise şöyledir; flokülant ilavesiz %94.5, anyonik flokülant SPP 508 için %98.9, katyonik flokülant Enfloc 440 C için %99.4 ve naniyonik SPP N 134 için %99,3' tür (Şekil 5.29).



Şekil 5.29. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 5 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları

10 dakika flotasyon süresi için doğal pH' da flokülant ilavesiz %96,4 yüzdürme verimi elde edilirken flokülantların kullanıldığı durumda tüm flokülantlar için % 99' un üzerinde yüzdürme verimi değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte en yüksek yüzdürme verimi( %99.9) doğal pH' da Enfloc 440 C ile elde edilmiştir.

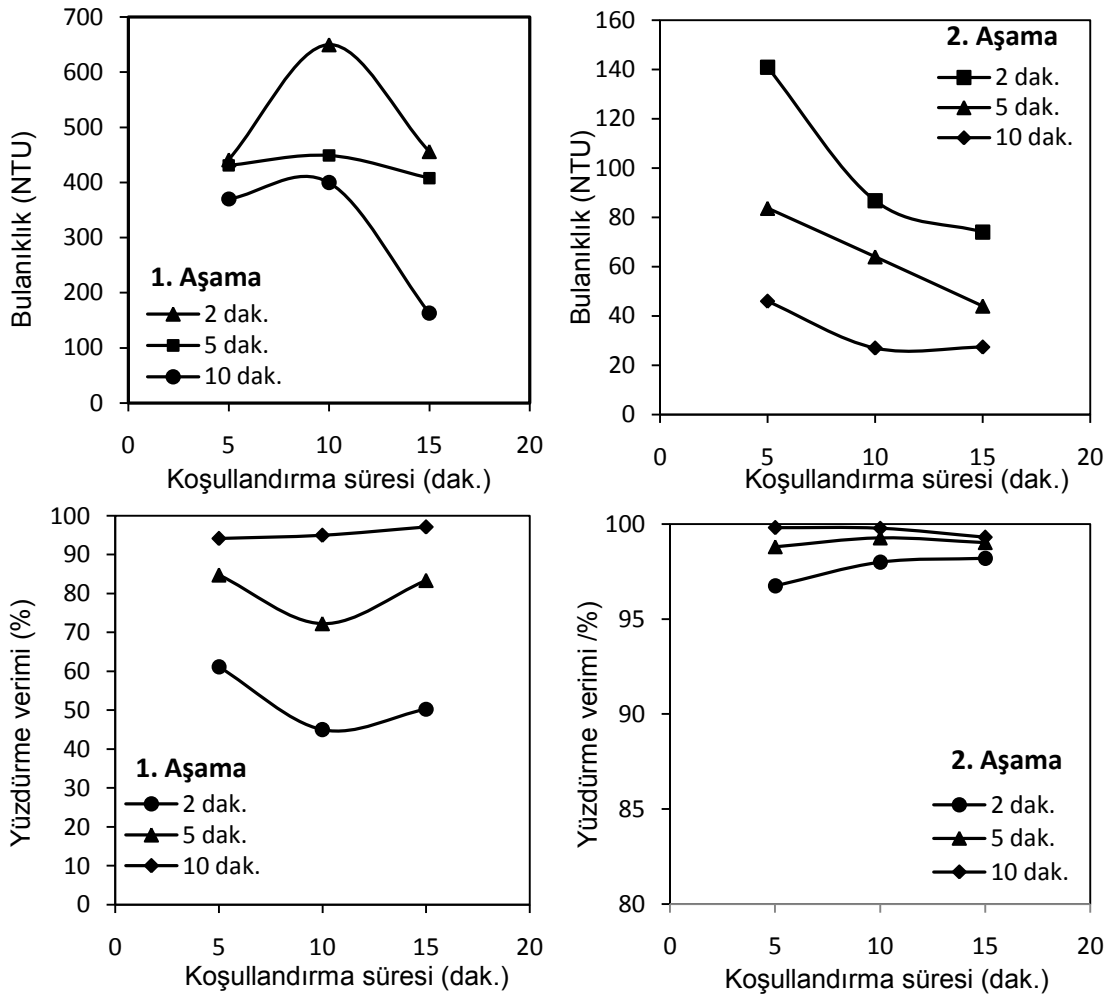


Şekil 5.30. Flokülantsız ve flokülantlı ortamda pH'ya göre yapılan 2. Aşama ve 10 dakika flotasyon süresi için deney sonuçları

Flok-flotasyonu yönteminin Jameson Flotasyon Hücresinde ikinci aşamada uygulaması ile doğal pH 8’de 10 dakika flotasyon süresi sonunda başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU’ dan 27 NTU’ ya SPP N 134 ile düşürülmüş ve bununla birlikte en yüksek yüzdürme verimi (%99.9) Enfloc 440 C katyonik flokülant ile elde edilmiştir.

### 5.3.3.6 Koşullandırma süresinin bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

Jameson flotasyon hücresinde optimum dozajda anyonik toplayıcı kullanılarak (Aero 845) ve doğal pH’da noniyonik SPP N 134 flokülant (0.3 mg/L) ilavesiyle flokülant flotasyon testleri yapılmıştır.



Şekil 5.31. Koşullandırma süresinin bulanıklık ve yüzdürme verimi üzerine etkisi

Deneylerde üç farklı koşullandırma süresi (5, 10, 15 dk) uygulanmış ve deneyler farklı flotasyon süreleri için (2, 5 ve 10 dk) iki aşamalı olarak yapılmıştır. Atık suyun bulanıklık değerleri ölçülmüş ve yüzdürme verimleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler Şekil 5.31’de, sayısal değerler ek açıklamalar C5’de verilmiştir.

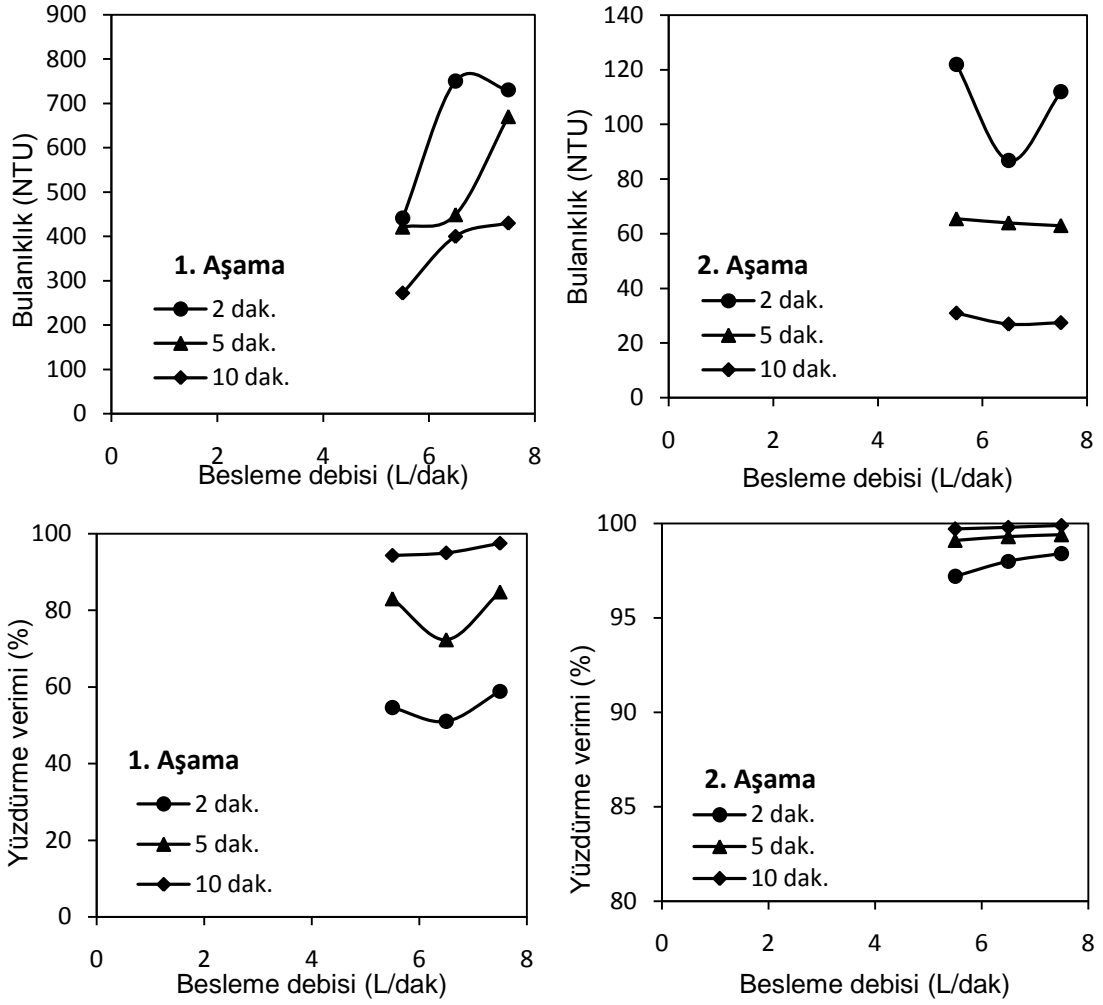
Birinci aşamada, 2 dakika flotasyon süresi için 5 dakika koşullandırma süresi en düşük bulanıklık değerini (441 NTU) verirken, 5 dakika flotasyon süresinde fazla değişiklik görülmemektedir. 10 Dakikada sonunda ise 15 dakika koşullandırma süresinin en düşük bulanıklık değerini (163 NTU) verdiği görülmektedir. Yüzdürme verimine bakıldığında 10 dakika koşullandırma süresinin daha etkili olduğu en yüksek yüzdürme verimine (%95) ulaşılmıştırdan anlaşılabilir.

Aynı koşullarda ikinci aşamada ise kalan bulanıklık değeri, koşullandırma süresi arttıkça düşmüştür. En düşük bulanıklık değerine (27 NTU) 10 dakika koşullandırma süresinde ulaşılmıştır. Yüzdürme verimlerinde ise 5 dakika koşullandırma süresinde en yüksek değere (%99,8) ulaşıldığı tespit edilmiştir.

### 5.3.3.7 Besleme debisinin bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

Üç farklı besleme debisinde (5.5, 6.5 ve 7.5 L/dk) yapılan flok-flotasyonu deney sonuçları Şekil 5.32’ de verilmiştir. Deneyler sırasında bulunan sonuçlar ek açıklamalar C6’de verilmiştir. Genel olarak besleme debisinin artması ile bulanıklığın ve yüzdürme veriminin arttığı görülmektedir.

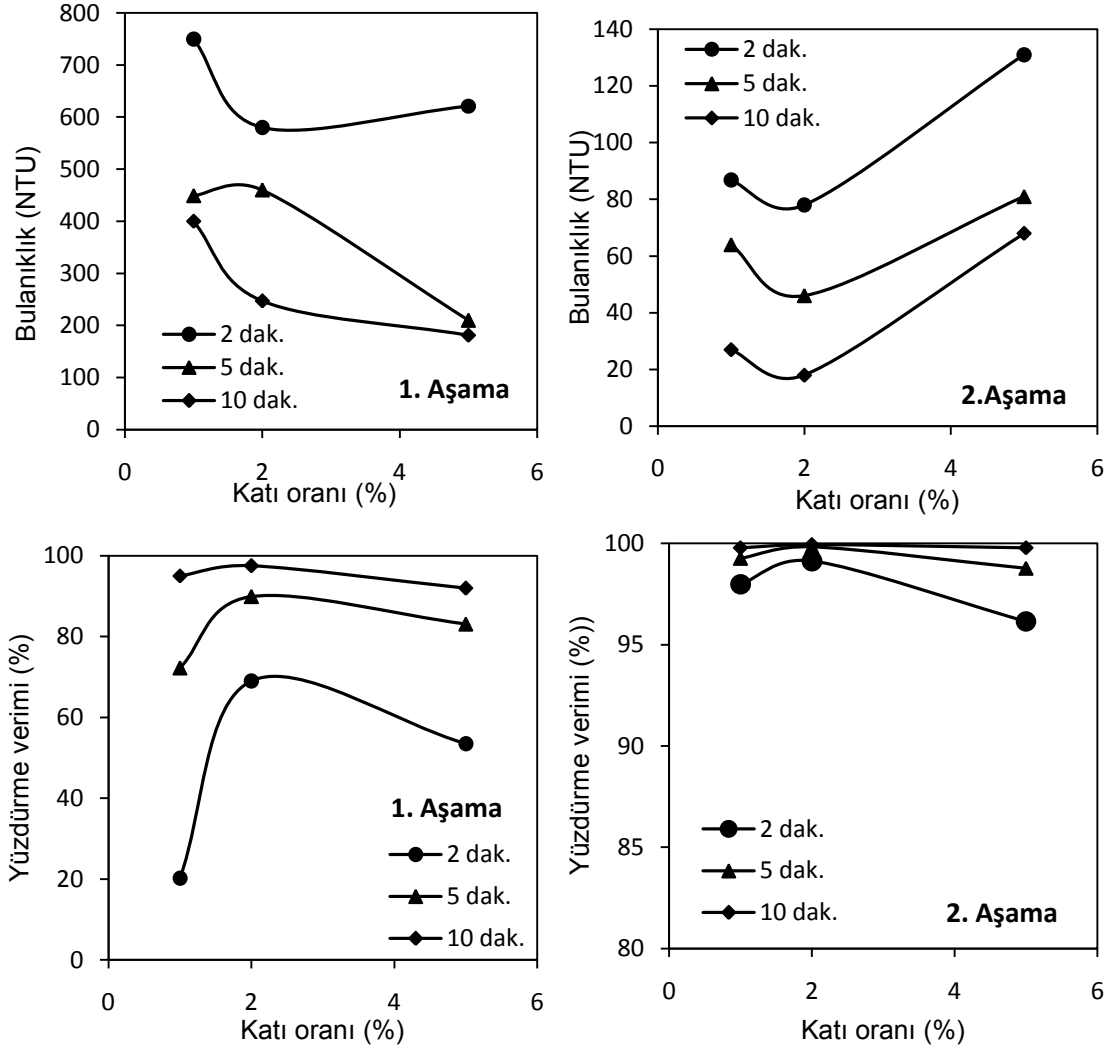
Birinci aşamada en düşük bulanıklık değerine (272 NTU) 5.5 L/dk besleme debisinde ulaşılmıştır. İkinci aşamada ise en düşük bulanıklık değeri (27 NTU) ise 6.5L/dk besleme debisi ile elde edilmiştir. En yüksek yüzdürme verimlerine (birinci aşama için %97.5, ikinci aşama için %99.9) 7.5 L/dk besleme debilerinde ulaşılmıştır.



Şekil 5.32. Besleme debisinin kalan bulanıklık ve yüzdürme verimi üzerine etkisi

### 5.3.3.8 Katı oranının bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi

%1, %2 ve %5 katı oranlarında hazırlanan numuneler ile flok-flotasyonu deneyleri yapılmıştır. İki aşamada yapılan; 2, 5 ve 10 dakika flotasyon süreleri sonunda elde edilen deney sonuçları Şekil 5.33'te grafiğe aktarılmıştır (Ek açıklamalar C7). Birinci aşamada katı oranının artması, kalan bulanıklık değerlerini azaltmış; ikinci aşamada ise %5 katı oranında arttırmıştır. Birinci aşama için 10 dakika flotasyon süresi sonunda en düşük bulanıklık değerine (181 NTU) %5 katı oranında ulaşıırken, ikinci aşamada en düşük bulanıklık değeri (18 NTU) %2 katı oranında tespit edilmiştir. Yüzdürme verimleri açısından Şekil 5.33 incelendiğinde birinci ve ikinci aşamada %2 katı oranında en yüksek yüzdürme verimleri (sırasıyla %97.5 ve %99.95) bulunmuştur.



Şekil 5.33. Katı oranının bulanıklık ve yüzdürme verimine etkisi



## 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, -20 mikron boyutuna sınıflandırılmış ve %1 katı oranında doğaltaş atıklar ile hazırlanmış atıksu numunesinin farklı tür flokülantlar yardımı ile flokülasyon özellikleri belirlenmiş ve flokülasyon yöntemi ile birlikte flotasyon yönteminin (flok-flotasyonu yöntemi) uygulanması ile atıksuyun arıtılabilirliği araştırılmıştır. Flokülasyon deneyleri jar test cihazında, flok-flotasyonu deneyleri Jameson flotasyon hücresinde yapılmıştır. Flokülasyon performansı atıksuyun kalan bulanıklık değerine ve flokların çökme hızına göre belirlenmiş; flok-flotasyonu yönteminin başarısı ise atıksuyun kalan bulanıklık değeri ve taneleri yüzdürme verimi açısından değerlendirilmiştir.

Deneyel çalışmalar üç aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada uygun flokülant seçimi ve miktarı için flokülasyon testleri yapılmıştır.

Flokülasyon deneylerinde Jar testi ile her bir flokülantın en uygun dozajı belirlenmiştir. Genel olarak bütün flokülantlar için 1mg/L dozajına kadar atıksu bulanıklık değerleri azalmış bu dozajdan sonra bulanıklık değerleri tekrar artmıştır. Doğaltaş atık sularının temizlenip özellikle parlatma ve cilalama aşamalarında sorun oluşturmaması için yeniden kullanılacak atıksuyun 15 NTU bulanıklık değerinin altında olması istenmektedir. Kullanılan tüm flokülantlar ile yapılan flokülasyon deneylerinde optimum dozajlarında 10 NTU'nun altında bulanıklık değerlerine ulaşılmıştır. Bununla birlikte en iyi sonuç 3 NTU bulanıklık değeri yüksek molekül ağırlıklı SPP 508 anyonik flokülant ile 0,3 mg/L dozajında elde edilmiştir.

Flokülasyon yöntemi ile oluşturulan flokların en yüksek çökme hızı değeri 870 mm/dk SPP 508 flokülantı ile elde edilmiştir. Tüm flokülantlar için en düşük bulanıklık ve en yüksek çökme hızı değerlerine pH 8 ve 10'da ulaşılmıştır.

İkinci aşamada toplayıcı tipinin ve miktarının belirlendiği flotasyon deneyleri klasik hücrede yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre 750 gr/ton dozajında Aero 845 anyonik toplayıcının doğaltaş tozu içeren atıksuyun yüzdürülmesinde en uygun flotasyon reaktifi olduğu, doğal pH (8) ile 5 dakika koşullandırma süresinde en yüksek yüzdürme verimine ulaşıldığı tespit edilmiştir.

Son aşamada ise Jameson flotasyon hücresinde flokülantsız flotasyon deneyleri ve flokülantların kullanıldığı flok-flotasyonu deneylerin tümü iki aşamalı gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamadan geçirilen temizlenmiş atıksu numunesi koşullandırılarak, ikinci aşama olarak tekrar sisteme geri beslenmiş ve flotasyona tabii tutulmuştur. Jameson Flotasyon Hücresinde flok-flotasyonu yönteminin birinci aşamada uygulaması ile en iyi sonuç, doğal pH 8 değerinde 10 dakika flotasyon süresi sonunda elde edilmiştir. Anyonik toplayıcı (Aero 845) ve Katyonik flokülant (Enfloc 440 C) kullanılması ile atıksuyun başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU'dan 304 NTU'ya düşürülmüş ve % 99.2 yüzdürme verimine ulaşılmıştır.

İkinci aşamada, benzer olarak doğal pH 8'de ve 10 dakika flotasyon süresi sonunda en iyi sonuç elde edilmiştir. Atıksuyun başlangıç bulanıklık değeri 12000 NTU' dan 27 NTU' ya İyonik olmayan SPP N 134 kullanılması ile düşürülmüş ve en yüksek yüzdürme verimi (%99.9) Enfloc 440 C katyonik flokülant ile elde edilmiştir.

Doğal pH'da gerçekleştirilen flokülant ilavesiz deneyde ikinci aşama sonunda yüzdürme verimi %96,4 iken, üç çeşit flokülant ilavesiyle gerçekleştirilen flok-flotasyonu deneylerinde sonuçlar %99'un üzerindedir.

İyonik olmayan flokülant ile koşullandırma süresinin denendiği flok-flotasyonu deneylerinde en yüksek yüzdürme verimlerine 5 dakika koşullandırma süresinde ulaşılmıştır. Aynı şekilde besleme debisinin etkisine bakıldığında ise en yüksek yüzdürme verimi 7,5L/dk besleme debisinde görülmüştür. Katı oranının yüzdürme verimi ve bulanıklık üzerine etkilerine bakıldığında ise en yüksek yüzdürme veriminin(%99,95) %2 katı oranında görülüp yine en düşük bulanıklık değerine (18 NTU) %2 katı oranında ulaşılmıştır.

Sonuç olarak Jameson hücresinde flok-flotasyonu yönteminin iki aşamalı olarak uygulanması ile doğaltaş atıksuyunun %99.9 oranında temizlenebildiği görülmüştür.

Bundan sonraki çalışmalarda yöntemin farklı endüstriyel atıksulara uygulanabilirliği araştırılabilir.

Doğaltaş atıklarının mineral bazında zeta potansiyelleri incelenebilir.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alpan, S., 1969, Türkiye'nin Yer Altı Serveti ve Potansiyeli. Maden Mühendisleri Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Cilt 3, Yayın No: DPT: 2434- Ö.İ.K.:491, 93 s. Ankara.
- Alptekin, A. M., 2006, Doğal Taş Atıksularının Flokülasyon/Koagülasyon Yöntemiyle Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Arıkan, M., 1968, Mermer ve Mermercilik. Ankara Basımevi, Ankara.
- Atak, S., 1982, Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, İTÜ Maden Fakültesi.
- Ata. S. ve Önder Ü.Y., 1997, Yeni bir flotasyon teknolojisi: Jameson flotasyon hücresi, Madencilik Dergisi, Vol.36, No.4, s.21-29.
- Ateşok, G, 1987, Polimerlerin cevher hazırlamadaki yeri, kullanım özellikleri, *Madencilik Dergisi*. Cilt 24, Sayı 3, s.15-22.
- Ateşok, G., 1988, "Adsorption of Polymers", Bull Tech. Univ. İstanbul vol., 33,2: 521-529.
- Atkinson, B., and Vasanthakumar, S., 2000, Induced Air Flotation Effluent Polishing System Algae and Phosphorus Removal, Final Project Report, Cardiff, NSW, OJF Technology Pty Ltd: 64 pages.
- Beyazyüz, P. C., Önen, V., Yel, E., 2011, Traverten İşleme Tesisi Atık Sularının Flokülasyonun, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 02-03 Haziran 2011 Ankara. s 273- 279
- Büyüksağış, S., 1994, Mermer işletme Tesisinde Atık Suların Arıtma Yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ceylan, H., 2000, Mermer Fabrikalarındaki Mermer Toz Atıklarının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çınar F., 2006 ; Jameson Kolonunda Bazı Önemli Çalışma Parametrelerin Flotasyon Verimine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Demir, İ., 2008, Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması , 6. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 28.06.2008, 327, 2008(Başpınar M.S, Görhan G, Kahraman E., ile birlikte)
- DPT, 1996-b. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çalışma Grubu Raporu, Cilt 3, Yayın No: DPT: 2434- Ö.İ.K.: Ankara. s 93
- Ersoy, B., 2003, “Mermer İşleme Tesisi Atık Su Arıtımında Kullanılan Flokülantların Tanımı”, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, s 449-462.
- Ersoy, B, İsmail, T, Günay, A, Dikmen, S, 2009, Turbidity removal from wastewater of natural stone processing by coagulation/flocculation methods, *Clean*, 37(3), s. 225-232.
- Ersoy, B, 2005, Effect of pH and Polymer Charge Density on Settling Rate and Turbidity of Natural Stone Suspensions, *Int. J. Miner. Process*, 75, s. 207 – 216
- Evans, G.M., Atkinson, B.W. and Jameson, G.J., 1995, The Jameson Cell, *Flotation Science and Engineering*, Edited by K.A. Matis, pp 331-363.
- Görgülü, K., 1994. Bazı Mermer Ocaklarında (Isparta - Burdur - Sivas) İşletme Sistemlerinin İncelenmesi ve Öncelikli Kaya Madde/Kütle Özellikleri İle İlişkilendirilmesi Araştırmaları. C.Ü. Fen Bilimleri Ens. Y.L. Tez Sivas. 95 s.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gergory, J, *Particles in water: Properties and Process*, University College London, UK, 2005.
- Gregory, J., Fundamental of Flocculation, *Critical Reviews in Environmental Controls*. 19(3), 185-230(1989).
- Hunter, T. K., and Pearse, M. J., 1982, “The Use of Flocculants and Surfactants for Dewatering in the Mineral Processing Industry”, XIV, Int. Mineral Proc. Cong., Toronto – Canada.
- Hogg, R, 2000, Flocculation and dewatering. *International Journal Mineral Processing*, Cilt 58, s.223-236.
- İpekoğlu, Ü, 1997, *Susuzlandırma ve Yöntemleri*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 179, izmir.
- Jameson, G.J., 1999, Hydrophobicity and Floc Density in Induced-air Flotation for Water Treatment, *Colloids Surfaces A: Physicochem. Eng. Asp*, 151, pp 269-281.
- Kavaklı, M, 2003. Mermer İşletme Tesisleri Proses Atık Sularının Özellikleri, Arıtılması ve Kontrolü. *Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 313-326.
- Ketin, İ., 1984, Türkiye Jeolojisine Genel Bir Bakış. İstanbul: İst. Tek. Üniv. Vakfı Yay. No:32.Kitabı. 1-5, İzmir.
- Kotze, K., Conway, C., Yan, Y., Janata, W., and Somers, B., 2001, Removal of algae and phosphate from effluent emanating from the Waihi wastewater treatment facility using an innovative new induced air flotation system, *Proceeding of 2001 Joint Conference of SCENZ/FEANZ/EMG*, Auckland.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kulaksız, S., 2005, Doğaltaş (Mermer) Maden işletmeciliği ve İşletme Teknolojisi, Ankara. s 624
- Köse, H.M., Diker, M., 1999. Maden ve Madencilğe Dayalı Sanayilerin Türkiye Odası 1. Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi No:2, Ankara.
- Martin A, Bustamante P, Chun AH, "Colloids" Physical Pharmacy, Lea & Febiger, Philadelphia, 1993, s. 398-422.
- Oğuz, M., 1986, Fizikokimyasal Arıtım, TMMOB Kimya Müh. Odası, Ankara.
- Oğul, K., 2005, İnce Mermer Atıklarının Koagülasyonu ve Flokülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Onargan, T., Köse, H., Mermer, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 220, Maden Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, Geliştirilmiş 2. Baskı, İ z m i r- 1997.
- Önenç, D.İ., 2001, "Tozlaşan Bloklar ve Umutlar", Mermer, yıl 7 (30), 66-68.
- Öteyaka B., 2011; Kolon Flotasyon, Ders Notları, ESOGÜ Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
- Öztank, N., ve Türkmen, F., Kireçtaşı Konglomeraların Yapılarda Kullanımını Denetleyen Parametreler, Türkiye 3. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı 3-5 Mayıs 2001 Afyon s 123-131
- Poslu, K., 1987, Parça Mekaniği. I – II, Yüksek lisans ders notları, Eskişehir.
- Rosa, J.J, and Rubio, J, 2005, The FF (flocculation–flotation) process, *Minerals Engineering*. 18, pp 701-707.

### KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rubio, J., Souza, M. L., and Smith, R. W., 2002, Overview of Flotation as a Wastewater Treatment Technique, *Mineral Engineering*, V 15, pp 139-155
- Sabah, E., ve Açıksöz, C., 2012, Flocculation Performance of Fine Particles in Travertine Slime Suspension, *Physicochemical Problems of Mineral Processing* 48(2), s 555-566
- Solak, M., 2005, Elektrokoagülasyon Prosesi ile Mermer Atıksularının Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Somasundaran, P., Das, K., K., 1998, “Flocculation and Selective Flocculation – An overview”, *Innovations in Mineral and Coal Processing*, S. Atak, G. Ünal. And M. S. Çelik (eds), A. A. Balkem/Rotterdam/Brookfield.
- Şener, S, 2007, Removal of suspended solid materials from the wastewater of natural dimension stone cutting plants by flocculations, *Journal of Science and Technology*, 1(2), s. 234-244.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ.T., Sarıışık, A., 1996. Mermer Teknolojisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 242s.
- Taşdemir T., 2006; Jameson Hücrelerinde Hold-up’ ın Modellenmesi ve bazı çalışma parametrelerinin flotasyon verimine etkisi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.
- Taşdemir, T, Taşdemir, A, Geçgel, Y, 2010, Removal of fine particles from wastewater using induced air flotation, *International Science and Technology Conference*, Turkish Republic of Northern Cyprus.
- Taşdemir, T., Jameson Flotasyon Hücrelerinin Atıksu Arıtımında Kullanımı, 4. Madencilik ve Çevre Sempozyumu, 11-12 Haziran 2009 Ankara. s 201- 205

**KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Taşdemir T., ve Kurama H., 2012, Fine Particle Removal from Natural Stone Processing Effluent by Flocculation, Environmental Progress&Sustainable Energy, DOI 10.1002/ep.
- Tombul, M., Güngör, N., 1997. Türk Mermercilik Sektöründe Yabancı Sermayenin Yeri ve Sorunları. Türkiye II. Mermer Sempozyumu Bildiriler kitabı. 73-84,Ankara.
- Tripathy1, T, and Ranjan De, B, 2006, Flocculation : A New Way to Treat the Waste Water, *Journal of Physical Sciences*, Cilt. 10, s. 93 – 127.
- Yarar, B., 2001, “Evaluation of Flocculation and Filtration Procedures Applied to WSRC Sludge”, Report no: DE-AC09-96SR18500, Colarado School of Mines 34s.
- Yan, Y.D., Jameson, G.J., 2004, Application of the Jameson Cell technology for algae and phosphorus removal from maturation ponds, *Int. J. Miner. Process.*, Vol 73, pp 23-28.
- Yeşilkaya, L., 1989, Kilin Flokülasyon ile Ayrıştırılması ve Sanayide Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, A.Ü.
- Yıldız A., H. 2008, Mermer Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Yılmaz ve ark. 2003, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin Doğaltaş Potansiyeli ve Doğaltaş İşletmeciliği ile İlgili Sorunlar, Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM'2003) Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık 2003 s 435-448

[www.armatec.co.nz/](http://www.armatec.co.nz/)

[www.environmental.com.au/](http://www.environmental.com.au/)

[www.xstratatech.com/en/t\\_jameson\\_cell\\_advantages.html](http://www.xstratatech.com/en/t_jameson_cell_advantages.html)



## Ek Açıklamalar-A

### A1- Flokülant miktarının bulanıklığa etkisi sonuçlar (şekil 5.9, şekil 5.11, şekil 5.13, şekil 5.15)

<b>Dozaj (mg/L)</b>	<b>Bulanıklık (NTU)</b>									
	<i>Enfloc 350 A</i>	<i>SPP 508</i>	<i>Enfloc 320 A</i>	<i>Enfloc 315 A</i>	<i>Magno floc 336</i>	<i>Magno floc 5250</i>	<i>Magno floc 4240</i>	<i>Enfloc 440 C</i>	<i>Enfloc 420 C</i>	<i>SPP N 134</i>
<b>0,1</b>	10	9	17,8	19	21,5	27,2	16,5	14,2	17,5	16,8
<b>0,3</b>	7	3	8,6	7,8	11,9	9,5	10,6	8	9,5	12
<b>0,6</b>	4,3	6,5	5,7	4,3	5,7	6,1	6,1	7,7	4,8	7,3
<b>1</b>	9,6	15,6	4,5	2,9	5	5	4,6	6,9	3,5	5,1
<b>3</b>	92	80,1	28,2	26,7	28,3	24,5	30,2	26	16,6	10,2
<b>5</b>	95	118	38,5	56	51	37	48	38,5	42,5	17,5

### A2- Flokülasyon pH'sının bulanıklığa etkisi sonuçlar (şekil 5.10, şekil 5.12, şekil 5.14, şekil 5.16)

<b>pH</b>	<b>Bulanıklık (NTU)</b>									
	<i>Enfloc 350 A</i>	<i>SPP 508</i>	<i>Enfloc 320 A</i>	<i>Enfloc 315 A</i>	<i>Magno floc 336</i>	<i>Magno floc 5250</i>	<i>Magno floc 4240</i>	<i>Enfloc 440 C</i>	<i>Enfloc 420 C</i>	<i>SPP N 134</i>
<b>6</b>	11,2	5,8	11,2	6	9,5	10,5	9,3	11,6	10	15,1
<b>8</b>	5,4	3,1	8,6	3,8	9,2	8,5	4,8	12,6	8,4	7,8
<b>10</b>	4,7	2	8	5	5,5	7,6	4,2	8,7	8,5	10,5
<b>12</b>	9,9	7,5	7,6	4,9	13,3	12,8	8,3	18,2	23	22,3

### A3- Flokülant miktarının çökme hızına etkisi sonuçlar (şekil 5.9, şekil 5.11, şekil 5.13, şekil 5.15)

<b>Dozaj (mg/L)</b>	<b>Çökme hızı (mm/dk)</b>									
	<i>Enfloc 350 A</i>	<i>SPP 508</i>	<i>Enfloc 320 A</i>	<i>Enfloc 315 A</i>	<i>Magno floc 336</i>	<i>Magno floc 5250</i>	<i>Magno floc 4240</i>	<i>Enfloc 440 C</i>	<i>Enfloc 420 C</i>	<i>SPP N 134</i>
<b>0,1</b>	124	101	104	58	71	90	95	99	88	110
<b>0,3</b>	315	394	339	190	298	308	221	237	237	367
<b>0,6</b>	367	470	375	525	431	479	445	284	443	413
<b>1</b>	585	870	467	577	479	520	558	325	620	467
<b>3</b>	750	870	632	595	750	664	720	493	720	664
<b>5</b>	708	822	779	620	822	731	788	470	822	975

### A4- Flokülasyon pH'sının çökme hızına etkisi sonuçlar (şekil 5.10, şekil 5.12, şekil 5.14, şekil 5.16)

<b>pH</b>	<b>Çökme hızı (mm/dk)</b>									
	<i>Enfloc 350 A</i>	<i>SPP 508</i>	<i>Enfloc 320 A</i>	<i>Enfloc 315 A</i>	<i>Magno floc 336</i>	<i>Magno floc 5250</i>	<i>Magno floc 4240</i>	<i>Enfloc 440 C</i>	<i>Enfloc 420 C</i>	<i>SPP N 134</i>
<b>6</b>	77	201	241	219	109	103	137	233	213	299
<b>8</b>	194	352	314	375	284	279	392	292	325	405
<b>10</b>	228	455	288	432	245	392	335	101	262	445
<b>12</b>	124	141	161	233	198	156	143	106	161	185

## Ek Açıklamalar-B

**B1-Toplayıcı tipi ve miktarının yüzdürme verimine etkisi ön flotasyon deney sonuçları (şekil 5.17)**

<i>Toplayıcı</i>	<i>Aeromine 3030 C</i>			<i>Aero 704</i>			<i>Aero 727</i>			<i>Aero 845</i>		
<i>Dozaj (g/ton)</i>	100	250	500	500	1000	1500	500	1000	1500	100	500	750
<i>2dk Flotasyon verimi(%)</i>	56,3	56,6	70,7	48,8	61,4	53,2	61,5	77,3	78,9	59	85	83,9
<i>5dk Flotasyon verimi(%)</i>	65,5	69,81	70,7	69	65,9	69,1	74	81,8	87,4	81,8	90,9	97,8

**B2- Toplayıcı tipi ve ortam pH'sının yüzdürme verimine etkisi ön flotasyon deney sonuçları (şekil 5.18 )**

<i>Toplayıcı</i>	<i>Aero 727</i>			<i>Aero 845</i>		
<i>pH</i>	6	8	10	6	8	10
<i>2dk Flotasyon verimi(%)</i>	55	78,9	71,3	78,9	83,9	69,9
<i>5dk Flotasyon verimi(%)</i>	72,5	87,4	87,9	93,4	97,8	78,6

**B3- Toplayıcı tipi ve koşullandırma süresinin yüzdürme verimine etkisi ön flotasyon deney sonuçları (Şekil 5.19)**

<i>Toplayıcı</i>	<i>Aero 727</i>			<i>Aero 845</i>		
<i>Koşullandırma süresi</i>	2	5	10	2	5	10
<i>2dk Flotasyon verimi(%)</i>	79,2	78,9	83,7	69	83,9	84,4
<i>5dk Flotasyon verimi(%)</i>	89	87,4	88	81,4	97,8	85,5

**B4- Toplayıcı tipi ve farklı flokülant tipinin yüzdürme verimine etkisi ön flotasyon deney sonuçları (Şekil 5.20)**

<i>Toplayıcı</i>	<i>Aeromine 3030 C</i>			<i>Aero 845</i>		
<i>Flokülant tipi</i>	SPP 508	Enfloc 440 C	SPP N 134	SPP 508	Enfloc 440 C	SPP N 134
<i>2dk Flotasyon verimi(%)</i>	62,8	66	73,6	90	88	87
<i>5dk Flotasyon verimi(%)</i>	83,1	80	84,5	92,4	95	96,8

## Ek Açıklamalar-C

**C1-Farklı pH'lerde Jameson flotasyon hücresinde yapılan deneylerin sonuçları** (Şekil 5.21, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30)

<i>pH</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
6	1.Aşama	2	4200	9,9
		5	3440	25,3
		10	3120	43,7
	2.Aşama	2	2172	50,3
		5	2060	59,7
		10	1592	67,3
8	1.Aşama	2	1612	56,1
		5	1200	81,3
		10	781	91,8
	2.Aşama	2	440	93,7
		5	400	94,5
		10	293	96,4
10	1.Aşama	2	2616	33,7
		5	1112	68,6
		10	884	86,9
	2.Aşama	2	581	89,7
		5	494	92,3
		10	432	94,8

**C2-Farklı pH'larda Anyonik flokülant(SPP 508) ilavesiyle Jameson flotasyon hücresinde yapılan floc-flotasyonu deneylerinin sonuçları** (Şekil 5.22, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30)

<i>pH</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
6	1.Aşama	2	2480	57,7
		5	1130	60,6
		10	598	61,5
	2.Aşama	2	168	68,2
		5	106	86,5
		10	103	97,3
8	1.Aşama	2	988	59,8
		5	570	92,6
		10	304	96,6
	2.Aşama	2	149	98
		5	89	98,9
		10	77,5	99,2
10	1.Aşama	2	688	46,6
		5	540	77,5
		10	450	90,1
	2.Aşama	2	247	94,5
		5	234	98,8
		10	174	98,9

**C3-Farklı pH’larda Katyonik flokülant(Enfloc 440 C) ilavesiyle Jameson flotasyon hücresinde yapılan floc-flotasyonu deneylerinin sonuçları** (Şekil 5.23, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30)

<i>pH</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
6	1.Aşama	2	2528	8,3
		5	2116	28,7
		10	1840	43,9
	2.Aşama	2	1264	59,7
		5	750	75,1
		10	533	82,5
8	1.Aşama	2	710	50,2
		5	478	83,7
		10	375	96,3
	2.Aşama	2	130	98,2
		5	75	99,4
		10	39,3	99,9
10	1.Aşama	2	4040	43,9
		5	800	46,8
		10	670	71,1
	2.Aşama	2	240	77,9
		5	128	97,7
		10	105	99,7

**C4-Farklı pH'larda Naniyonik flokülant(SPP N 134) ilavesiyle Jameson flotasyon hücresinde yapılan floc-flotasyonu deneylerinin sonuçları** (Şekil 5.24, Şekil 5.25, Şekil 5.26, Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30)

<i>pH</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
6	1.Aşama	2	2096	43,6
		5	1034	68,5
		10	940	75,5
	2.Aşama	2	395	84
		5	176	88,8
		10	170	95,1
8	1.Aşama	2	750	57
		5	449	72,3
		10	400	95
	2.Aşama	2	86,8	98
		5	64	99,3
		10	27	99,8
10	1.Aşama	2	773	61
		5	424	87,6
		10	388	94,3
	2.Aşama	2	128	97,3
		5	95	99,1
		10	36,1	99,7

**C5-Koşullandırma süreleri değiştirilerek Naniyonik flokülant (SPP N 134) ilavesiyle Jameson flotasyon hücresinde gerçekleştirilen floc-flotasyonu deneylerinin sonuçları (Şekil 5.31)**

<i>Koşullandırma süresi (dk)</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
5	1.Aşama	2	441	61,1
		5	431	84,8
		10	370	94,1
	2.Aşama	2	141	96,8
		5	83,7	98,8
		10	46	99,8
10	1.Aşama	2	750	20,2
		5	449	72,3
		10	400	95
	2.Aşama	2	86,8	98
		5	64	99,3
		10	27	99,8
15	1.Aşama	2	456	50,3
		5	408	83,4
		10	163	97,1
	2.Aşama	2	74	98,2
		5	44	99
		10	27,4	99,3

**C6-Besleme debisi değiştirilerek Naniyonik flokölant (SPP N 134) ilavesiyle Jameson flotasyon hücrelerinde yapılan flocc-flotasyonu deneylerinin sonuçları (şekil 5.32)**

<i>Besleme debisi</i>	<i>Aşama sayısı</i>	<i>Flotasyon süresi(dk)</i>	<i>Bulanıklık (NTU)</i>	<i>Yüzdürme verimi (%)</i>
5,5	1.Aşama	2	441	54,6
		5	421	83
		10	272	94,3
	2.Aşama	2	122	97,2
		5	65,5	99,1
		10	31	99,7
6,5	1.Aşama	2	750	20,2
		5	449	72,3
		10	400	95
	2.Aşama	2	86,8	98
		5	64	99,3
		10	27	99,8
7,5	1.Aşama	2	730	58,9
		5	670	84,8
		10	430	97,5
	2.Aşama	2	112	98,4
		5	63	99,4
		10	27,5	99,9



**C7-Farklı katı oranlarında Naniyonik flokülant(SPP N 134) ilavesiyle Jameson flotasyon hücresinde yapılan floc-flotasyonu deneylerinin sonuçları (Şekil 5.33)**

<b><i>Katı oranı (%)</i></b>	<b><i>Aşama sayısı</i></b>	<b><i>Flotasyon süresi(dk)</i></b>	<b><i>Bulanıklık (NTU)</i></b>	<b><i>Yüzdürme verimi (%)</i></b>
1	1.Aşama	2	750	20,2
		5	449	72,3
		10	400	95
	2.Aşama	2	86,8	98
		5	64	99,2
		10	27	99,8
2	1.Aşama	2	580	69
		5	460	90
		10	247	97,5
	2.Aşama	2	78	99,1
		5	46	99,8
		10	18	99,95
5	1.Aşama	2	621	53,5
		5	210	83,1
		10	181	92
	2.Aşama	2	131	96,2
		5	81	98,8
		10	68	99,8