TC
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

SERAMİK ÜRETİMİ PROSESİ ATIKSULARININ ARITILMASI

Hazırlayan
Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Danışman
Doç. Dr. Nuray ATEŞ

Yüksek Lisans Tezi

Mayıs 2019
KAYSERİ

TC
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

SERAMİK ÜRETİMİ PROSESİ ATIKSULARININ ARITILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan
Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Danışman
Doç. Dr. Nuray ATEŞ

Mayıs 2019
KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU



"Seramik Üretimi Prosesi Atıksularının Arıtılması" adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi' ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan
Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Danışman
Doç. Dr. Nuray ATEŞ

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

Doç. Dr. Nuray ATEŞ danışmanlığında **Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU** tarafından hazırlanan **"Seramik Üretimi Prosesi Atıksularının Arıtılması"** adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

24/04/2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Nuray ATEŞ .....

Üye : Doç. Dr. Filiz DADAŞER ÇELİK .....

Üye : Doç. Dr. Niğmet UZAL .....

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 28/05/2019 tarih ve 2019/32-12 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

28/05/2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerleriyle de örnek edindiğim, yanında çalışmaktan onur duyduğum, ayrıca tecrübelerinden yararlanırken göstermiş olduğu hoşgörü ve sabırdan dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. Nuray ATEŞ'e teşekkür ederim.

Tez savunma jürimde yer alan Doç. Dr. Filiz DADAŞER-ÇELİK ve Doç. Dr. Niğmet UZAL'a tez çalışmama yaptıkları yorumlardan ve katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bugünlere gelmem için çaba gösteren, her türlü zorluklara rağmen benden sevgilerini ve desteklerini asla esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme ve çalışma süresince tüm zorlukları benimle göğüsleyen, bana maddi manevi her türlü destek olan eşime minnettarım.

Ayrıca, tez çalışmam boyunca benden bilgi ve kaynaklarını esirgemeyen Eyvit Seramik San. Tic. LTD. ŞTİ.'ne ve sahibi Sayın İsmail ERDOĞAN'a teşekkür ederim.

Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Mayıs 2019, KAYSERİ

SERAMİK ÜRETİMİ PROSESİ ATIKSULARININ ARITILMASI

Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2019
Danışman: Doç. Dr. Nuray ATEŞ

ÖZET

Seramik atıksularının en önemli çevresel problemi, çok yüksek miktarda bulanıklık oluşturan askıda katı madde içermesidir. Bu tezin amacı, Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Eyvit Seramik San. ve Tic. Ltd. Şti. üretim tesisinden çıkan atıksudaki askıda katı maddelerin giderilmesi ve Organize Sanayi Bölgesi (Kayseri) kanalizasyon deşarj standartlarını sağlanmasıdır. Çalışmada, seramik endüstrisi atıksuyundaki askıda katı maddelerin giderilmesi için kimyasal çöktürme, membran filtrasyon, santrifüj prosesi ve hibrit prosesleri uygulanmıştır. 50 kat seyreltilmiş atıksuda 300 mg/L optimum alüm dozu ile bulanıklık 355 NTU'dan 60 NTU'ya düşürülmüş ve %83 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir. 100 kat seyreltilmiş atıksuda 100 mg/L optimum alüm dozu ile bulanıklık 128 NTU'dan 70 NTU'ya düşürülerek %45 bulanıklık giderilmiştir. Demir klorür ile çöktürmede optimum doz 1000 mg/L olarak belirlenmiş, bulanıklık 11000 NTU'dan 7,4 NTU'ya düşürülmüş ve ~%100 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Kireç ile çöktürmede optimum kireç dozu 600 mg/L'dir ve bulanıklık değeri 20 NTU'ya düşürülerek ~%100 verim elde edilmiştir. Santrifüj prosesinde ise 2000 devir ve 15 dakika optimum değerler olarak elde edilmiştir. Santrifüj prosesinde bulanıklık 11000 NTU'dan 50,9 NTU'ya düşürülerek yaklaşık %99 bulanıklık giderimine ulaşılmıştır. Hibrit arıtım sonucunda ise gözenek çapı 1,2 µm olan membran filtrenin seramik atıksu arıtımında etkili olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Seramik prosesi atıksuyu, bulanıklık, alüm, demir klorür, santrifüj, hibrit arıtım.

TREATMENT OF CERAMIC PRODUCTION PROCESS WASTEWATER

Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, Mayıs 2019
Supervisor: Assoc. Dr. Nuray ATEŞ

ABSTRACT

The most important environmental problem of ceramic wastewaters is that they contain suspended solids, which form a very high amount of turbidity. The aim of this thesis is to remove suspended solids in the wastewater from the Eyvit Seramik San. and Tic. Ltd. Sti. and to ensure the discharge standards for the Organized Industrial Zone in Kayseri. In this study, chemical precipitation, microfiltration, centrifugation processes and hybrid processes were applied to remove suspended solids in the ceramic industry wastewater. The turbidity was reduced from 355 NTU to 60 NTU with an optimum alum dose of 300 mg/L in 50-fold diluted wastewater, and 83% turbidity removal efficiency was obtained. In 100-fold diluted wastewater, turbidity was reduced from 128 NTU to 70 NTU with an optimum alum dose of 100 mg/L and turbidity was reduced to 45%. The optimum dose was determined as 1000 mg/L in the precipitation with ferric chloride. The optimum lime dose in chemical precipitation is 600 mg/L and the turbidity value has been reduced to 20 NTU with ~ 100% removal efficiency. In the centrifugation process, 2000 rpm and 15 minutes were obtained as optimum values. In the centrifugation process, the turbidity was reduced from 11000 NTU to 50.9 NTU and approximately 99% turbidity removal was achieved. As a result of the hybrid treatment, the filter with a pore diameter of 1.2 μm was preferred.

Keywords: Ceramic process wastewater, turbidity, alum, ferric chloride, centrifuge, hybrid treatment.

İÇİNDEKİLER

SERAMİK ÜRETİMİ PROSESİ ATIKSULARININ ARITILMASI

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK ii
KABUL VE ONAY iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
KISALTMALAR ix
GİRİŞ 1

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Seramik Tanımı 4
1.2. Seramik Tarihi 4
1.3. Seramik Sağlık Gereçleri (Vitrifiye Seramik) 5
1.4. Eyvit Seramik Tesisi ve Üretim Prosesi 6

2. BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

3. BÖLÜM
MATERYAL VE METOD

3.1. Atıksu 23
3.2. Kimyasallar 23
3.3. Deneysel Prosedür 24
3.4. Analitik Metotlar 25
3.4.1. pH Analizi 25
3.4.2. İletkenlik Analizi 25
3.4.3. Bulanıklık Analizi 25
3.4.4. Askıda Katı Madde (AKM) Analizi 26
3.4.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi 26

3.4.6. Zeta Potansiyeli Ölçümü 27
3.4.7. Tanecik Boyut Dağılımı Analizi 27
3.4.8. XRD Analizi 27
3.4.9. XRF Analizi 27
4. BÖLÜM
BULGULAR
4.1. Atıksuyun Karakterizasyonu 28
4.2. Kimyasal Çöktürme 31
4.2.1. Alüm ile Bulanıklık Giderimi 31
4.2.2. Demirklorür ile Bulanıklık Giderimi 35
4.2.3. Kalsiyum Hidroksit (Kireç) ile Bulanıklık Giderimi 39
4.2.4. Santrifüj ile Bulanıklık Giderimi 42
4.2.5. Bulanıklık Gideriminde pH'nın Etkisi 43
4.3. Kimyasal Çöktürme ve Membran Filtrasyon Hibrit Arıtımı 45
4.3.1. Alüm ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon 45
4.3.2. $FeCl_3$ ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon 52
4.3.3. Kalsiyumhidroksit (Kireç) ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon 54
4.3.3. Santrifüj ve Membran Filtrasyon Hibrit Arıtımı 59
5. BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER
KAYNAKÇA 68
EK A 76
ÖZGEÇMİŞ 80

KISALTMALAR

AKM : Askıda Katı Madde

TKM : Toplam Katı Madde

KOİ : Kimyasal Oksijen İhtiyacı

SKKY : Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

NTU : Nephelometric Turbidity Unit

SS : Standart Sapma

M.Ö. : Milattan Önce

Dev : Devir

Dk : Dakika

Sa : Saat

EK : Elektrokoagülasyon

PE : Polietilen

nm : Nanometre

µm : Mikrometre

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1. Kimyasal çöktürme için uygulanan kimyasal miktarları 24
Tablo 2. Ham atıksuyun fizikokimyasal özellikleri 28
Tablo 3. Seramik atıksuyu kimyasal analizi 28
Tablo 4. Seramik atık çamurunun kimyasal analizi 29
Tablo 5. Zeta potansiyel değerinin kararlılık üzerindeki etkisi (Vandsburger, 2009) 31
Tablo 6. 50 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile bulanıklık giderimi 32
Tablo 7. 100 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile bulanıklık giderimi 34
Tablo 8. Ham atıksuyun $FeCl_3$ ile çöktürme deneyi sonuçları 36
Tablo 9. Ham atıksuyun kireç ile çöktürme deneyi sonuçları 40
Tablo 10. Santrifüj ile bulanıklık giderimi 42
Tablo 11. pH'nın bulanıklık giderimine etkisi 43
Tablo 12. 50 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile çöktürülmesi ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları 46
Tablo 13. 100 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile çöktürülmesi ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları 49
Tablo 14. $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon bulanıklık sonuçları 52
Tablo 15. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon bulanıklık sonuçları 55
Tablo 16. Santrifüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı 59
Tablo 17. KOSB kanala deşarj ve SKKY limitleri 64

Tablo A1. Sektör: Maden Sanayii (Seramik ve Topraktan Çanak-Çömlek Yapımı ve Benzerleri) 76

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1. Proses akım şeması. 7
Şekil 2. Teksir kalıbı. 8
Şekil 3. İş kalıbı. 9
Şekil 4. Çamur kalıbı. 9
Şekil 5. Tesiste kullanılan bazı hammaddeler. 10
Şekil 6. Hammadde değirmenleri. 11
Şekil 7. Çamur hazırlama. 12
Şekil 8. Sır hazırlama. 12
Şekil 9. Alçı kalıplarda şekillendirilmiş ürünler 13
Şekil 10. Kurutma fırını. 14
Şekil 11. Rötuş. 15
Şekil 12. Sırlama. 15
Şekil 13. Seramik (kamara) fırını. 16
Şekil 14. Kalite kontrolü ve paketleme. 17
Şekil 15. Ham atıksuyun parçacık boyut dağılımı grafiği. 29
Şekil 16. Seramik atıksuyu XRD analizi sonuçları. 30
Şekil 17. Seramik atıksuyu zeta potansiyeli analizi sonuçları. 31
Şekil 18. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 20-120 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi. 33
Şekil 19. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 50-300 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi. 33
Şekil 20. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 200-700 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi. 33
Şekil 21. Demir klorür dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 20-120 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 37
Şekil 22. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 50-300 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 37
Şekil 23. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 200-700 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 37
Şekil 24. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 500-2000 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 38

Şekil 25. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 100-1000 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 41
Şekil 26. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 1200-2200 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K). 41
Şekil 27. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 2000-12000 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi..... 41
Şekil 28. Farklı devir ve sürelerde santrifüj ile bulanıklık giderimi. 43
Şekil 29 . pH (8-3) değişiminin 30 dk sonunda AKM çökelmesine etkisi. 44
Şekil 30. pH (8-3) değişiminin 1 sa sonunda AKM çökelmesine etkisi. 44
Şekil 31. pH(10->12) değişiminin 30 dk sonunda AKM çökelmesine etkisi. 44
Şekil 32. pH (10->12) değişiminin 1 sa sonunda AKM çökelmesine etkisi. 45
Şekil 33. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 20-120 mg/L). 47
Şekil 34. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 50-300 mg/L). 48
Şekil 35. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 200-700 mg/L). 48
Şekil 36. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 50-300 mg/L). 50
Şekil 37. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 100-600 mg/L). 51
Şekil 38. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 500-2000 mg/L). 51
Şekil 39ç $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları. 53
Şekil 40. $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri. 54

Şekil 41. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (100-1000 mg/L kireç dozu aralığında)..... 56
Şekil 42. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (1200-2200 mg/L kireç dozu aralığında)..... 56
Şekil 43. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (2000-12000 mg/L kireç dozu aralığında)..... 57
Şekil 44. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (100-1000 mg/L kireç dozu aralığında)..... 57
Şekil 45. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (1200-2200 mg/L kireç dozu aralığında)..... 58
Şekil 46. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (2000-12000 mg/L kireç dozu aralığında)..... 58
Şekil 47. Santrifüj+membran filtrasyon hibrit arıtım ile santrifüj süresine bağlı bulanıklık değişimi (3000 rpm)..... 60
Şekil 48. Santrifüj+membran filtrasyon hibrit arıtım ile santrifüj süresine bağlı bulanıklık giderim verimleri (3000 rpm)..... 61
Şekil 49. 3500 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklığa etkisi..... 62
Şekil 50. 3500 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklık giderim verimine etkisi..... 62
Şekil 51. 4000 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklığa etkisi..... 63
Şekil 52. 4000 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklık giderim verimine etkisi..... 63
Şekil A1. Seramik atıksuyu tanecik boyut dağılımı..... 77
Şekil A2. Seramik atıksuyunun XRD analiz spektrumu..... 78
Şekil A3. Seramik atıksuyunun zeta potansiyel analizi sonuçları..... 79

GİRİŞ

Gelişen endüstriyle birlikte atıksu miktarının artması (Üstün vd., 2004) ve su ihtiyacının artması atıksuyun yeniden kullanılması durumunu meydana getirmiştir (Büyükkamacı ve Onbaşı, 2007). Ülkemizde ve dünyada atıksuların arıtımı ve yeniden kullanımı için her yıl yeni projeler yapılmakta ve kırsal kesim için ıslah edilmiş atıksular ekstra bir su kaynağı olarak görev yapmaktadır (Friedler, 2000). Atıksuyun geri kazanılması endüstride soğutma, ısıtma ve proses suyu olarak kullanıldığında ekonomik tasarruf sağlar (Urkiaga vd., 2006; Bozkurt ve Ödemiş, 2007; Büyükkamacı, 2009). Endüstriyel tesis içinde su döngüsü genellikle proseslerin tamamlayıcı parçasıdır ve arıtılan suların tekrar kullanımı deşarj standardı gereksinimlerinin ortadan kaldırılmasını sağlar (Metcalf ve Eddy, 2004).

Seramik endüstrilerinde üretim prosesleri genel olarak tasarım bölümü, çamur hazırlama ünitesi, sır hazırlama, dökümhane, kurutma, sırlama ve fırınlama ünitelerini içerir. Bu tip endüstrilerde atıksu yükü oluşturan başlıca kaynaklar: çamur ünitesi, kalıp bölümü, dökümhane, sır hazırlama ve yıkama sularıdır. Bu killerin işlenmesi sırasında küçük parçacıklar suya geçerek askıda katı madde (AKM) miktarını arttırmaktadır. Seramik sanayi atıksuları genel olarak yüksek askıda katı madde içerirler (AKM=2000–10000 mg/L). Ülkemiz SKKY'nde alıcı ortam deşarj kriteri AKM için 100 mg/L'dir (SKKY, 2004).

Sanayinin gelişmesi açısından, fabrikaların yönetmelikteki atıksu deşarj limitlerine uyması gerekmektedir. Bu nedenle mevcut kullanılan metot ve teknolojilerin daha yüksek verim, daha düşük maliyet ile işletilebilen ve uygulanabilirliği kolay bir arıtma sistemi olmalıdır (Üstün vd., 2004). Türkiye'de bulunan işletmeler ve fabrikalar, proses sonucu çıkan endüstriyel atıksularını bölgelerinde atıksu arıtma tesisleri olsa bile çevre ve şehircilik bakanlığının yayınlamış olduğu Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY)'nde belirtilen değerlerde deşarj etmeleri

gerekmektedir (SKKY, 2004). Bu yüzden SKKY'ndeki değerleri aşan işletmeler kendi bünyelerinde atıksu arıtma tesisleri kurmalıdırlar.

Atıksu bünyesindeki kirleticileri üç grup altında toplamak mümkündür. Bunlar; çökebilen katı maddeler, AKM ve çözünmüş katı maddelerdir (Yıldız vd., 2009). Seramik üretim tesislerinde atıksularda bu gruplardan AKM öne çıkmaktadır. AKM dibe çökmeden önce su kolonunda uzun süre kalabilen, kimi zaman sedimentten su kolonuna geçen canlı veya cansız partikül maddelerin (>0,45mikron) tamamını kapsamaktadır (Turner ve Millward, 2002). Böyle ince taneli partiküllerin katı-sıvı ayırımında yüksek çökelme hızı ve dolayısıyla yüksek katı oranı elde etme açısından normal sedimantasyon yöntemleri ile istenilen başarı elde edilememektedir. Bunun nedenleri olarak; % katı oranı, tane şekli, yüzey özellikleri ve yoğunluk gibi katının özellikleri ile sıvının viskozite ve yoğunluğudur (Mpofu ve ark., 2005). Böyle sorunların çözümünde koagülasyon ve flokülasyon başarı ile kullanılabilmektedir.

Seramik endüstrisinde hammadde olarak klorit, illit, montmorillonit, kaolinit, gibi doğal kil grupları ve bu kil gruplarına ilaveten mermer, vollastonit, dolomit, talk, boksit, zirkonyum, silikat gibi hammaddeler kullanılmaktadır (Köktürk, 1997; Şahin vd., 2004). Doğal killer genellikle negatif yüzey yüküne sahiptir ve su içinde kil tanecikleri kararlı haldedir (Şener, 2013). Su içerisinde birleşmeye dirençli olan bu taneciklerin kararlılığını bozmak için koagülant gereklidir.

Seramik üretim tesislerinden çıkan atıksular kanalizasyon borularının tıkanmasına ve nehrin denize döküldüğü bölgelerde birikimi nedeniyle kıyı şeklinin değişimine sebep olmaktadır. Yüksek AKM içeren bu atıksuların arıtılması ve standart değerlerinin korunması gerekmektedir. Bu amaçla, tez çalışması kapsamında Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Eyvit Seramik San. ve Tic. LTD. ŞTİ. üretim tesisinden çıkan atıksuyun arıtılması ve Organize Sanayi Bölgesi kanalizasyonu deşarj standartlarını sağlamak için AKM giderim çalışmaları yapılmıştır. Çalışmada, seramik endüstrisi atıksuyundaki AKM'ler bulanıklık bazında gideriminde kimyasal çöktürme, membran filtrasyon, santrifüj prosesleri ve hibrit prosesler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarla farklı işletme koşullarındaki bulanıklık giderim verimleri değerlendirilmiştir. Arıtılan atıksuyun tesiste proses suyu olarak kullanılması için de denemeler yapılmıştır. Böylece, hem tesise ekonomik olarak katkı sağlayacak, hem

de Kayseri Organize Sanayi Atıksu Arıtma Tesisi'nin kirlilik yükü azalmış olacaktır. Ayrıca, bu çalışma ile elde edilecek bilgilerin endüstriyel alanda yüksek AKM içeren atıksuların arıtılmasında yol göstereceği düşünülmektedir.

Bu tez 5 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölüm'de seramik endüstrisi hakkında genel bilgi verilmiştir. 2. Bölüm'de konu ilgili literatürde bulunan mevcut çalışmalar özetlenmiştir. 3. Bölüm'de tez çalışması sırasında yürütülen deneylerin prosedürü anlatılmış ve analizler için kullanılan materyal ve metotlar belirtilmiştir. 4. Bölüm'de seramik endüstrisi atıksularının tez kapsamında belirlenen yöntemler ile arıtımı sonucunda elde edilen bulgular verilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır. Sonuçlar ve öneriler kısmı ise 5. Bölüm'de yer almaktadır.

1. BÖLÜM
GENEL BİLGİLER

1.1. Seramik Tanımı

Seramik bir veya birden fazla metal ve ametallerden oluşan kil, kaolen feldspat ve kuvars türü hammaddelerden oluşan masselerin (sırsız yüzey maddeleri) şekillendirilmesi, sırlanması ve 1200-1250˚C'de pişirilmesiyle elde edilen inorganik bileşiğin imalatına yönelik bilim teknolojisi ve sanatıdır (Arcasoy, 1983; Adıbelli, 2015; Önder, 2011; Sözen ve Tanyeli, 1986). En sade haliyle 'pişmiş toprak' olan seramiğin ana maddesi kildir (Erman, 2012). Porselen, cam, çimento, kiremit, tuğla, çömlek, drenaj boruları, zımpara taşları, ferro elektrikler, metal manyetikler, sentetik kristaller, ve nükleer yakıt elemanları da seramik kapsamında yer alır (Arcasoy, 1983; Önder, 2011; Türkel, 2008). Yunancada yanmış malzeme olarak bilinen seramik, 'Keramos' kelimesinden türemiş ve aynı zamanda da boynuz biçiminde bir tür vazoya verilen isimdir (Önder, 2011; Kingery vd., 1976; Arcasoy, 1983).

Bileşiminde değişik türde silikatlar, alüminatlar, su ve bir miktar metal oksitler ile alkali ve toprak alkali bileşikler bulunan bir malzemedir. Pişim sonrası yapıları çok sert ve gevrektir. Isı ve elektriği yalıtırlar. Seramikler iyonik veya kovalent bağlı olabilirler. Bazıları amorf bazıları kristal yapılara sahip olabilirler. Hammadde kaynağı bol ve kolay bulunabilir. Oksitlenmeye karşı dirençlidir. Erozyona, aşınmaya ve çok yüksek ısılara dayanıklıdır. İşlenebilme özelliğine sahiptir. Gevrek olması dezavantajlarından biridir (Önder, 2011; Arcasoy, 1983; Eyvit Seramik).

1.2. Seramik Tarihi

Ana malzemesi toprak olan seramik, eski çağlardan zamanımıza kadar günlük yaşantımızın büyük bir bölümünde karşımıza çıkmıştır. Uygarlığın en erken

çağlarında insanlar günlük yaşantılarında önce suyu sonra toprağı ve sonra da ateşi kullanmışlardır. Daha sonra hepsini birleştirerek günümüze ışık tutmuş, toplumun ekonomik, siyasal ve kültürel gelişiminin bir göstergesi olmuştur (Arcasoy, 1983; Erman, 2012). Seramik üretimi, insanlığa yapılan en eski ve en kalıcı katkılardan biri olarak kabul edilmektedir (Mutlu, 2007).

Anadolu'da M.Ö. 6000 yıllarına dayandığı kabul edilen çömlekçilikle başlamış olan seramikçilik özellikle son birkaç on yıllık süreçte çok önemli bir gelişme kaydederek, yer ve duvar seramikleri, sağlık gereçleri, mineler, refrakterler, özel camlar, çimentolar, aşındırıcılar, süper iletkenler, membran filtreler, ileri teknoloji seramikleri gibi önemli sanayi dallarını oluşturmuştur (Bayraktar vd., 1999). Neolitik çağ (M.Ö. 10.000-8000) ile başlayan çömlekçilik, sadece mutfak eşyası, çanak, çömlek ve günlük yaşam eşyalarını üretmekle kalmamış, dini inançları gereği yaptıkları Ana Tanrıça heykelciklerini, takı ve süs eşyalarını da şekillendirmiştir (Arcasoy, 1983; Seramik Tanıtım Komitesi, 2003). Osmanlı döneminde değişmeye ve gelişmeye başlayan, görenleri hayran bırakan seramik sanatı, Klasik Osmanlı sanatının temellerini atmıştır. Selçuklu devrinde çini üretiminde Konya merkez iken, 15. Yüzyıldan sonra başta İznik (Küçükerman, 1987; Pala, 2010; Sousteil, 2000) olmak üzere Kütahya, Bursa ve İstanbul gibi merkezler olmuştur (Öney ve Çobanlı, 2007).

1.3. Seramik Sağlık Gereçleri (Vitrifiye Seramik)

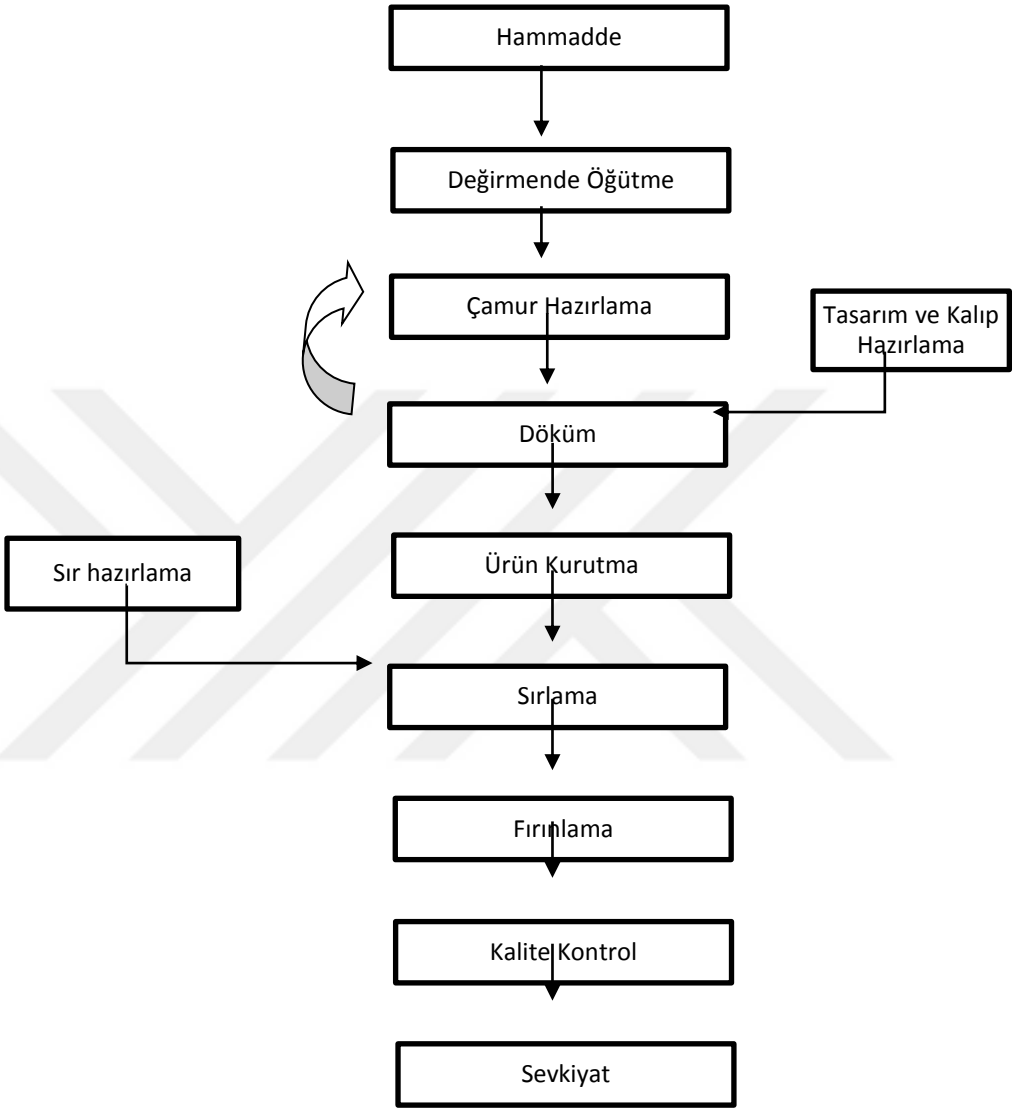
Genel olarak vitrifiye seramik, metal oksitlerin belirli oranlarda karıştırılarak akışkan bir çamur haline getirilerek alçı veya sentetik reçine kalıplarda şekil alması ve sonrasında sırlanarak 1200-1250˚C civarında pişirilip su emme değeri %0,50'nin altında olan ürünlerdir (Atılgan, 2006). 'Seramik Sağlık Gereçleri' de denilen vitrifiye seramik; kil, kaolen, kuvars ve feldspattan oluşan hamurunun biçimlendirilmesi, sırlanarak yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle camsı bir örtü ile kaplanan sert malzemelerdir. Vitrifiye ürünleri genel olarak yaş şekillendirme yöntemi ile su emme özelliğine sahip alçı kalıplara dökülerek şekillendirilmektedir. Alçı hafif olması, yüzeye nefes aldırması, deformasyonunun az olması, ısıya dayanıklılığı, aşınmaya dirençli olması ve rutubeti dengelemesi açısından tercih

edilen bir malzemedir. Günümüzde üretimi hızlandırmak amacıyla basınçlı kalıplar kullanılmaktadır (Ural ve Acartürk Akyurtlaklı, 2017).

1.4. Eyvit Seramik Tesisi ve Üretim Prosesi

Bu çalışmada Kayseri Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Eyvit Seramik Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. bilgilerinden yararlanılmış, aynı zamanda yapılan deneylerde de tesisin üretim aşamasında oluşan atıksuları kullanılmıştır. Tesis, 9500 m^2 'si kapalı olmak üzere 18500 m^2 alan içerisinde kurulu olup, Kayseri ilinin batısında ve merkeze yaklaşık 12 km mesafede yer almaktadır. Bu tesiste seramik sağlık gereçleri olan; lavabo, lavabo ayağı, klozet, rezervuar ve tuvalet taşı üretilmektedir.

Seramik üretimi sulu çamurun alçı kalıplara doldurularak şekillendirilmesiyle elde edilir. Alçı kalıplarının oluşturulmasında yıllık yaklaşık 1050 ton civarında seramik alçısı kullanılmaktadır. Seramik kalıplarından çıkarılan ürünlerin üzerleri sırlanarak 1230˚C 'de doğalgazlı fırınlarda fırınlanarak mamul, ürün haline getirilir. Sırlamada, sır tabancaları ile yaygın olarak yapılan sırlama işlemi, robotlar vasıtası ile otomatik olarak da yapılabilmektedir. En çok tercih edilen fırınlar tünel fırınlar olup, dekor ve tamir pişirimi için jet brülörlü kamara tip fırınlar kullanılmaktadır. Bu tesiste ise kamara tipi fırın kullanılmaktadır. Üretim prosesi; değirmen, kalıp hazırlama, çamur hazırlama, döküm, ürün kurutma, sırlama, fırınlama, kalite kontrol ve depo bölümlerinden oluşmaktadır. Proses akım şeması, Şekil 1'de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 1. Proses akım şeması.

Tasarım ve Kalıp Hazırlama

Sağlık gereçleri endüstrisinde üretilecek olan yeni bir şeklin imal edilmesi, form, fonksiyon ve estetik olarak tüketicinin isteklerine uygun olması, üretim prosesine uygun hale getirilmesi, üretim projesinde kullanılacak model kalıpların yapılması ve yeni modellerin pazar araştırmasının yapıldığı bölümdür. Seramik model ve kalıp üretiminde genellikle alçı kullanılırken, ağaç, epoksi ve kilden de hazırlanabilir (Yılmazer, 2008). Model kalıp oluşturulurken modelin önce %11 büyütülmüş halinin teknik resmi çizilir. Daha sonra bu teknik resme göre model yapılır. Modelin çeşidine ve uygun döküm sistemine göre alçı kalıba alma işlemine geçilir. Deneme dökümleri yapılır. Tasarımın kontrol edilebilmesi için model kalıp yapılırken ürünün birkaç örneği yapılır. Kurutma, sırlama ve fırınlamadan sonra kalite kontrole gönderilen ürüne bir takım testler uygulanır. Ürün tüm testlerden geçerse ve üst birimlerden de onay alırsa model kalıbın teksir kalıbı üretilir. Teksir kalıbının fotoğrafı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Teksir kalıbı.

Teksir kalıp, iş kalıbı üretmek ve çok sayıda döküm almak amacıyla döküm çamuru, alçı ve polyester gibi malzemelerin birleşmiş kalıbın içine dökülerek model elde edilmesidir. Teksir kalıbı iş kalıbı üretmek içindir. İş kalıbı yani model kalıp döküm yolu ile yarı mamul üretmek için kullanılan kalıptır. İş kalıbı alçıdan yapılır.



Şekil 3. İş kalıbı.

Alçıya su karıştırılarak ($CaSO_4$. $2H_2O$) alçı taşı oluşur ve sertleşir. Alçıya karıştırılan su oranı sertleşme ve dayanıklılık açısından önemlidir (Kaya, 2010). Alçının donma süresi yaklaşık 30-35 dakikadır. Karışım sırasında sıcaklık 25-30˚C arasındadır. Kalıp ömrü 90-120 döküm arasında değişmektedir. Kalıp açılarak hava deliklerinden 0,5-5 bar kademeli olarak hava verilir. Kalıptaki su basınçlı hava ile uzaklaştırılır. Kalan suyun tamamen atılması için de kalıplar kurutma fırınlarında 3-4 gün boyunca kurutulur. Kurutma sonrasında kalıplar tamamen döküme hazır hale gelir.



Şekil 4. Çamur kalıbı.

Hammadde Girişi

Proses akış şemasına göre tesiste hammadde girişinin olduğu çeşitli bölümler mevcuttur. Bu bölümler; Değirmende Öğütme, Kalıp Hazırlama, Çamur Hazırlama ve Sır Çözeltisinin Hazırlanması bölümleridir. Üretim sırasında kullanılan hammaddeler ve yardımcı maddeler; Albit (Feldispat 101), Kuvars, Mermer Tozu, Kaolen, Zirkon, Çinko Oksit, Wollastonit, Dolamit, Potasyum Feldispat, Soda (NaOH), Kobalt Sülfat, CMC, Malahit Yeşili, Bilye Taşı, Albit (Feldispat 405 extra), Silis Kumu, Silikat, Baryum Karbonat, k 103 (kil), MAX 6' dır.

Bu bölümlerde farklı killer, bazı kimyasal maddeler ve su kullanılmaktadır. Su, fırınlama sırasında çamurdan buharlaşma yolu ile ayrılmakta ve bu aşamada fırından su buharı dışında bir emisyon çıkmamaktadır. Sır çözeltisinin hazırlanması aşamasında ise sulu çözelti hazırlanmakta ve bu işlem kapalı bir sistem içerisinde yapılması dolayısıyla sır çözeltisinin hazırlanması aşamasında atıksu ve emisyon gibi atıklar oluşmamaktadır.



Şekil 5. Tesiste kullanılan bazı hammaddeler.

Değirmende Öğütme

Bu bölümde çamur üretiminde kullanılan kil, kaolen, albit ve silis hammaddeleri kullanılmaktadır. Tane boyutu büyük ve sert olan hammaddelerden(kaolen, albit ve silis), 6 ton civarında tartılır ve 2 adet değirmende (Şekil 6) içerisine belli oranda su katılarak öğütülür. Öğütülen bu hammaddeler, kil açıcısında kil ile karıştırılarak

yaklaşık %35 sulu çamur elde edilir. Öğütme işlemi ortalama 16-18 saat sürmektedir. Değirmenlerin devirleri 5000 ile 1000 arasında değişmektedir.



Şekil 6. Hammadde değirmenleri.

Çamur Hazırlama

Değirmenden hava basıncından yararlanılarak pompalar vasıtasıyla gelen sulu çamur açıcılara aktarılır. Akışkanlığı sağlamak, fırın çıkışındaki toplanma hatasını engellemek, çatlakları önlemek, tiksotropiyi arttırmak, çökmenin olmaması için silikat, baryum karbonat ve soda ilavesi yapılır. Akışkanlığı arttırmak için su kullanılmaz. Çünkü fazla sulu döküm çamuru kalıpları ıslatır, kalıptan çıkma süresini uzatır ve çamurun kalıp içinde çatlamasına neden olur. Çamur açıcılardan alınarak elekten geçirilir (Şekil 7) ve stoğa alınır. Bir süre dinlendirilen çamur pompa ile magnetik tutucuya gönderilir. Bu sayede çamur içerisindeki demir ve demir bileşikleri uzaklaştırılmış olur. Mıknatıs tutuculardan geçen çamur silolarda dinlendirilir. Dinlendirme esnasında çamur karıştırılmaya devam eder. Bu işlemden sonra çamur dökümhaneye gönderilir.



Şekil 7. Çamur hazırlama.

Sır Hazırlama

Öğütülmüş uygun bileşimli seramik hammaddelerden elde edilen ve seramik bünye üzerinde pişirme neticesinde cam yapıya benzer bir yapı oluşturabilen karışımlara "sır" denir. Sır hazırlamada genel olarak kullanılan hammaddeler; sodyum feldspat, potasyum feldspat, kaolen, zirkon, çinko oksit, kalsit, kuvars, dolomittir (Şekil 8). Çözelti hazırlamada 1+3 tonluk iki adet değirmen ve bir adet 2 tonluk sır dinlendirme tankı kullanılmaktadır. Hammaddeler eklenerek değirmenlerde tane boyutları küçültülür ve üzerlerine su eklenerek sır çözeltisi hazırlanır. Hazırlanan sır çözeltisi dinlendirme tanklarında bekletilir.



Şekil 8. Sır hazırlama.

Döküm ile Şekillendirme

Çamur dinlendirme tankından gelen çamur, kalıplara doldurulmakta ve 1,5 saat sonra fazla çamur boşaltılarak çamur dinlendirme tankına geri gönderilmektedir. Alçı kalıpları, kendi yüzeylerindeki çamurun suyunu emerek çamurun şekil ve kalınlık almasını sağlar (Şekil 9). Daha sonra kalıptan çıkarılan ürünler sulu rötuşla temizlenir. Boş olan alçı kalıplar, ısıtılarak aldıkları su buharlaştırılır.



Şekil 9. Alçı kalıplarda şekillendirilmiş ürünler

Kurutma Ünitesi

Dökümhanede 1 gün bekleyen mamuller kurutma ünitesine getirilir. Kurutma fırını 40˚C'den başlar, 12-14 saat aralığında kademeli olarak sıcaklık 85˚C'ye kadar yükselir. PLC kontrollü Mevlana Tipi Kurutma'da ürün %0,5-1 neme gelene kadar kurutulur (Şekil 10).



Şekil 10. Kurutma fırını.

Rötuş

Kalıplardan çıkartılan yarı mamullerin ön rötuşu dökümhanede yapılır. Delinecek veya kesilecek yerleri varsa yarı mamul yaş iken yapılır. Rötuş işleminde zımpara, sünger, su, su zımparası, sistire gibi aletler kullanılır (Şekil 11). Yüzey suyunu atması beklenir ve rötuşlanır. Yarı mamul üzerindeki toz, çapak, form bozuklukları, pudra kalıntıları, kalıp izleri gibi hatalar giderilmediğinde kaliteyi direkt olarak etkileyeceğinden rötuş işlemi büyük önem taşır. Kabinlere alınan ürünler burada döner bir tablanın üzerine yerleştirilerek zımpara ile zımparalanırlar. Islak sünger ile silinerek pudra kalıntıları yüzeyden alınır. Yarı mamulün keskin köşe ve oturma yüzeylerine gaz yağı sürülerek çatlak olup olmadığına bakılır. Eğer çatlak varsa keçe ile zımparalanarak giderilmeye çalışılır. Sorun bu şekilde de giderilemezse ürün parçalanarak çamur için hammadde oluşturulmak üzere ıskartaya ayrılır. Zımparalanan ürün basınçlı hava ile tozlardan arındırılarak sırlamaya gönderilir.



Şekil 11. Rötuş.

Sırlama

Sırlama işçiler tarafından pistole tabanca yardımıyla püskürtülerek yada otomatik kontrollü robotlarla yapılır (Şekil 12). Kabinlere alınan ürünler döner tablalar üzerine yerleştirilerek bir yandan sırlanır bir yandan da döndürülürler. Sırın mamulün yüzeyinin tamamını kaplaması gerekmektedir. İşlem yatay yönde hareketlerle yapılır. Fırına pişme esnasında plakalara yapışmaması için atıksu borusu birleşim yerleri ve taban bölgeleri ıslak sünger ile silinerek sırdan temizlenir. Sırlama esnasında ortaya çıkan sır fazlası günlük temizlenerek sır hazırlama bölümüne gönderilir ve yeni yapılan sıra katılarak kullanıma hazır hale getirilir.



Şekil 12. Sırlama.

Fırınlama (Pişirme)

Sırlamadan gelen mamuller fırınlarda (Şekil 13) 16 saat ve 1230 ºC' de pişirilerek çıkan mamuller kalite kontrole sevk edilir. Isıtma bölümünde sıcaklık kademe kademe yükseltilerek 1230 ºC' ye ulaşır sonra kademe kademe soğutularak ürünler fırından çıkartılır. Fırın bölümünde 2 adet 120 parça alabilen ve 1 adet 240 parça alabilen toplam 3 kamara fırın mevcuttur. Fırınlarda yakıt olarak doğalgaz kullanılmaktadır.



Şekil 13. Seramik (kamara) fırını.

Kalite Kontrol ve Sevkiyat

Fırından çıkan pişmiş mamullerin standartlara uygun olup olmadığının ve standartlara uygun ürünlerin kalite sınıfının belirlendiği bölümdür. I. kalite, II. kalite, ekonomik ve defo olmak üzere 4 grup vardır. Kalite sınıfı ihracat ve iç piyasa olarak tekrar ikiye ayrılır. Defolu ürünler tamiri mümkün olmayan ürünlerdir, ayrılıp kırılmaya gönderilir. Ekonomik ve 2. kalite ürünler ise tamir edilebilir ve ikinci pişirime girecek ürünlerdir. Bunlar araldit tamiri, taşlama, zımpara tamiri ve lazer tamiri yapılacak ürünlerdir. Araldit zemini sırsız yüzeylerindeki döküm çatlağı ve benzeri bozuk bölgelerde uygulanan soğuk tamirdir. Lazer tamiri ise sırlı yüzeydeki hava, toplanma, küçük döküm çatlağı gibi hataların düzeltilmesinde kullanılır. Nokta tamirinde demir lekesi, iğne başı vb. hatalar ayrılarak doldurulur ve sırlanır. Kalite

ayrımından çıkan ürünler paketlenip sinterlendikten sonra sevkiyata hazırdırlar (Şekil 14). Sevk edilecek mamuller depo bölümüne gönderilir. Forklift ile kamyonlara yüklenerek sevk edilirler.



Şekil 14. Kalite kontrolü ve paketleme.

2. BÖLÜM
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Endüstrilerin farklı olması endüstriyel atıksular da farklılık göstermektedir. Hatta aynı endüstriyel atıksular mevsimlerin değişmesi, kullanılan hammaddelerin miktarı, marka farklılığı ve diğer birçok etmenlerle birlikte, çıkan atıksuyun yapısı da değişmektedir. Alıcı ortam ve endüstrinin yapısı da göz önüne alınarak atıksudaki bazı maddelerin deşarj edilmeden önce arıtılması gerekmektedir. Yüksek AKM içeren seramik endüstrisi atıksularının da deşarj öncesinde AKM'lerin uzaklaştırılması gerekmektedir (Öztürk vd., 2005, Arslan vd., 2010).

Seramik endüstrisi atıksuların arıtılmasında genellikle kimyasal ve fiziksel arıtım işlemleri uygulanır, fakat bazı seramik endüstrisi atıksularının KOİ değeri yüksek olduğundan kimyasal arıtımla birlikte biyolojik arıtım da uygulanabilmektedir (Dinçer ve Kargı, 2000). Benzer şekilde KOİ değeri 750-8000 mg/L aralığında değişen düşük KOİ değerine sahip bir seramik endüstrisi atıksularının biyolojik arıtma sisteminin ekonomik olmaması ve işletmenin zor olması nedeniyle (Demirci vd., 1998, Mihail, 1972) kimyasal arıtım ile birlikte ilave teknikler kullanarak KOİ giderim işlemleri de uygulanmıştır (Şahin vd., 2004).

Genel olarak kimyasal arıtmada alüm, $FeCl_3$, $Ca(OH)_2$ gibi kimyasal maddeler kullanılmaktadır **(**Aktaş vd., 2001; Oktav vd., 2000; Kestioğlu, 2001; Kutluay, 2005; Oktav vd., 2003). Zouari (1998), zeytinyağı endüstrisi atıksu arıtımında koagülant olarak $FeCl_3$ ve $Ca(OH)_2$ kimyasallarını kullanarak %50 bulanıklık giderim verimine ulaşmıştır (Zoauri, 1998). Çok ince taneli yapıya sahip maddelerin arıtılması ve değerlendirilmesi için koagulasyon, seçimli koagulasyon, flokulasyon, seçimli flokülasyon, ve flotasyon (Rodrigues ve Rubio, 2007), santrifüj ve membran filtrasyon (Gamila ve Naglaa, 1999) gibi ayırma işlemleri önerilmiştir. Gerek koagulasyon-flokulasyonda gerekse santrifüj ve mikrofiltrasyonda amaç askıda

kalmış taneciklerin çökelmesini sağlamak, bu şekilde daha berrak su (Oğul, 2005) ile kolay işlenebilecek veya taşınıp depolanabilecek katılaşmış bir çamur (Ersoy vd., 2005) elde etmektir.

Kimyasal çöktürme (koagülason), askıda bulunan koloidal boyutlu taneciklerin çöktürülmesi için kimyasal maddelerin (koagülant), flokülasyon ise bu tanecikleri kümeleştirerek çökmesini sağlayan yüksek molekül ağırlıklı polimerlerin (organik elektrolitlerin) katı-sıvı süspansiyonuna eklenmesidir (Arslan, 2008). İsrail vd. (2014) çalışmasında, hacimce %2,5, %5 ve %10 seramik çamuru (%10 katı içeren) ve 10 mg/L düşük anyonik PAM (4032) içeren 500 ml süspansiyonlar, önce hızlı devirde (300 devir/dk, 5 dk) sonra yavaş devirde (100 devir/dk, 10 dk) manyetik karıştırıcıda karıştırıldıktan sonra, iç çapı 5 cm olan dereceli mezürlere alınarak, katı-sıvı ara yüzey yüksekliklerinin zamanla değişimi izlenmiştir. Bu çalışmada çöktürme işlemi ile en iyi sonucu 10 mg/L polimer dozajının verdiği görülmüştür. Flokülasyon ile çöktürmede çok bileşenli seramik çamurunun bulanıklık değeri 4053 NTU'dan 131 NTU ya düşerek, bulanıklık %81 verimle giderilebilmiştir (İsrail vd., 2014).

Arslan vd. (2010) yaptığı benzer bir çalışmada, karo endüstrisi atıksuyunun fizikokimyasal arıtılabilirliği farklı zamanlarda alınan iki numunede jar testi ile incelenmiştir. Pıhtılaştırıcı olarak $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, $FeCl_3.6H_2O$ ve Agroflok 100 (anyonik PAM) seçilmiş ve TKM ile AKM giderim verimleri incelenmiştir. Bu pıhtılaştırıcılar, 100, 200, 300 ve 400 mg/L miktarlarında kullanılmış ve en uygun pıhtılaştırıcı miktarları belirlenmiştir. I. Numunede en yüksek TKM ve AKM giderim verimleri, kullanılan tüm pıhtılaştırıcılar için 100 mg/L miktarlarında elde edilmiştir. En yüksek TKM ve AKM giderim verimleri $FeCl_3.6H_2O$ ile elde edilmiştir. II. Numunede en yüksek TKM ve AKM giderim verimleri sırasıyla 400 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ve 400 mg/L Agroflok 100 ile elde edilmiştir. 200 mg/L $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$ ve 200 mg/L $FeCl_3.6H_2O$ ile elde edilen AKM giderim verimleri, 400 mg/L Agroflok 100 ile elde edilen verime yakın olmuştur (Arslan vd., 2010). Benzer olarak seramik atıksuyundaki ince parçacıkların flokülasyonu adlı çalışmada, %8,5 katı içeren seramik çamuruna Superfloc A-130, Superfloc A-100 and Enfloc 330A anyonik PAM flokülantları eklenmiş ve 600 cm^3'lük cam şişedeki 500ml atıksu 500 rpm'de 2 dk karıştırılmıştır. Optimum doz 60g/t olarak belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda en iyi performansı Superfloc A-130 göstermiştir. 60g/t flokülant dozunda Superfloc A-130, 60 dakikadan daha kısa sürede çökelme sağlamıştır (Deniz ve Umucu, 2014).

Yapılan benzer bir çalışmada, seramik endüstrisinin atık suları incelenmiş ve laboratuar ölçeğinde uygun kimyasal arıtma prosesi belirlenmiştir. Aynı endüstriden iki ay ara ile alınan farklı iki atık su numunesine, farklı koagülantlarla ve farklı koagülant dozlarıyla jar testi deneyleri yapılmıştır. Jar testi çıkışı su numunelerine granüler aktif karbon (GAK) ilave edilmiş ve arıtma verimi belirlenmiştir. Yüksek giriş KOI'si gözlenen atık su numunelerinde %83-94 oranında, düşük giriş KOI'si gözlenen atık su numunelerinde ise %15-20 oranında KOI giderimi belirlenmiş ve her iki atık su için %98 civarında AKM giderimi tespit edilmiştir. GAK ilavesi ile jar testi çıkış suyunda %50-75 oranında KOI giderimi belirlenmiştir. Her iki atık su için jar testi çıkışı AKM 15-42 mg/L arasında, GAK çıkışı KOI 30-40 mg/L arasında değerler almıştır (Şahin vd., 2004).

UMPAŞ Seramik Sanayi atıksuyu katı-sıvı ayırma işlemine tabi tutulmuş, yeni nesil UMA (Unique Molecular Architecture) teknoloji flokülant ile geleneksel bir flokülantın çöktürme performansları araştırılmış, performans kriterleri olarak çökelme hızı ve bulanıklık (türbidite) değerleri esas alınmıştır. En yüksek çökelme hızı Magnafloc 5250 için doğal pH'da, diğer flokülant SPK 508 için ise daha yüksek pH'da (pH 12) elde edilirken, en düşük bulanıklık değerlerine her iki flokülant için de doğal pH'da (pH 8,71) ulaşılmıştır. Tesiste halen kullanmakta olan SPK 508 ile minimum bulanıklık (22,8 NTU) 55,5 g/ton-katı flokülant dozajında elde edilirken, yeni nesil Magnafloc 5250'nin minimum dozajda 18,5 (g/ton-katı) kullanımıyla bile bu değerlerin çok üzerine çıkılmış ve bu dozajda bulanıklık 15,7 NTU olduğu tespit edilmiştir. Laboratuvar ölçekte yapılan çalışmalar, SPK 508 yerine UMA teknolojisi Magnafloc 5250 kullanıldığında flokülant tüketiminde %65 oranında bir azalmanın olabileceğini ve daha berrak su elde edilebileceğini göstermiştir (Sabah ve Cengiz, 2004).

Seramik üretimi ve mermerin işlenmesi aşamasında ortaya çıkan atıksulardan AKM giderim verimi açısından elektrokoagülasyon (EK) yöntemi (Holt vd. 2001; Adhoum vd., 2004;), tüm elektrot (Al-Fe) ve bağlantı türleri (MPP/S) için etkin bir prosestir.

Prosesle geri kazanılan su işletmede tekrar kullanılabilir (Kobya vd., 2006). Mermer atıksularından AKM gideriminde, EK ve kimyasal koagülasyon proseslerinin oldukça verimli olduğunu belirleyen Solak ve Kılıç (2007), mermer atıksularından EK prosesi ile arıtımında %90'ın üzerinde AKM giderimi elde edilmiştir. Bulanıklıkta Al elektrotların kullanımıyla %100 giderim verimine ulaşılırken, Fe elektrotlarda ulaşılamamıştır. Fe elektrodunun, suya renk vermesi ve uzun süre kullanımı durumunda hava ile temasa girerek oksitlenebileceği düşünüldüğünden mermer atıksu arıtımı için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır (Solak ve Kılıç, 2007).

Domopoulou vd. (2015) Batı Makedonya Yunanistan Bölgesi'ndeki mermer işleme tesisinden çıkan atıksuların arıtımıyla ilgili jar testleri yapılmıştır. Koagülant olarak alüm, demirklorür ve demirsülfat kullanılmıştır. Koagülant miktarları demirklorür ve demirsülfat için 100, 200, 300 ve 400 mg/L, alüm için 250, 550, 800 ve 1050 mg/L kullanılmıştır. Jar testi sonrası demirsülfat bulanıklık değerlerini daha da arttırmış ve verim elde edilememiştir. Alüm ile çöktürme sonucunda bulanıklık 12-24 NTU aralığında değişirken, demirklorür ile çöktürmede bulanıklık değeri 25-95 NTU aralığında tespit edilmiştir. Alüm ile bulanıklık giderim verimi %88-93 iken, demirklorürde bu oran %91-92 arasında değişmektedir (Domopoulou vd., 2015).

Taş kesme endüstrisi atıksularının koagülasyonla arıtılması ile ilgili bir çalışmada koagülant olarak alüm, demirklorür, kireç, polialüminyum klorür ve polimer kullanılmıştır. 25 mg/L kireç ile %99,8, 200 mg/L alüm ile %98,6, 100mg/L polimer ile %97,6, 500 mg/L demirklorür ile %99,4 ve 75 mg/L polialüminyum klorür ile %99,2 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. 100 mg/L optimum alüm dozu kullanılarak %82,5 TKM, 100 mg/L kireç kullanılarak %99,1 AKM giderilmiştir (Fahiminia vd., 2013).

Ehteshami vd. (2015) yaptığı çalışmada, koagülant olarak alüm, alüminyum klorid ve demirklorür kullanılmıştır. 519 mg/L demirklorür ile bulanıklık 19 NTU ölçülmüş ve %88 AKM giderilmiştir. 1092 mg/L alüm kullanımıyla bulanıklık değeri 18 NTU tespit edilmiş ve %87 AKM giderilerek optimum performans belirlenmiştir. 780 mg/L optimum alüminyum klorid kullanımı ile bulanıklık 19 NTU tespit edilmiş ve %80 AKM giderilmiştir (Ehteshami vd., 2015). İran taş endüstrisinden üretilen

atıksuyun bertarafı ile ilgili yapılan çalışmada, 1 mg/L polimer eklenmesiyle bulanıklığın ciddi şekilde azaldığı belirtilmiştir. Polimer eklenmesiyle floklaşma artmış ve buna bağlı olarak bulanıklık da azalmıştır (Nourouzi vd., 2010). Benzer olarak taş kesme endüstrilerinde çevre yönetimi kapsamında yapılan jar testleri sonucunda optimum 1,5 mg/L Folcland polimer kullanılarak bulanıklık giderilmiştir (Nasserdine vd., 2009).

Yapılan çalışmalarda seramik atıksuyundan veya benzer endüstrilerden çıkan yüksek AKM'li atıksuların koagülasyon/flokülasyon ve daha farklı yöntemlerle AKM'nin giderilebildiği sonucuna varılmıştır. Literatürdeki bilgiler ışığında yapılan bu çalışmada seramik atıksuyunun arıtılması ile ilgili birçok denemeler yapılmış ve sonuçlar bulgular bölümünde verilmiştir.

3. BÖLÜM
MATERYAL VE METOD

3.1. Atıksu

Tez kapsamında test edilen atıksu Kayseri İli'nde üretimine devam etmekte olan bir seramik sağlık gereçleri mamul üretim tesisinden temin edilmiştir. Çalışma süresince, ihtiyaç duyulan atıksu farklı zamanlarda üretim sonucunda çıkan atıksudan örnekleme yapılmıştır. 2018 Aralık ve 2019 Ocak-Şubat dönemlerinde alınan numuneler 25 L'lik PE bidonlarda Erciyes Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölüm laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvara ulaşan numuneler 5 L'lik bidonlara boşaltılarak buzdolabında +4˚C'de muhafaza edilmiştir. Oda sıcaklığına getirilen ham atıksusu numunelerinin fizikokimyasal analizleri yapılmıştır. Tesisten alınan atıksuların fizikokimyasal analizlerine göre, atıksuda yüksek konsantrasyonda AKM bulunmaktadır. Üretim kapasitesi ve ürün çeşitliliğine göre atıksu karakterizasyonu değişiklik göstermesinden dolayı, atıksuyun en önemli kirlilik parametresi olan AKM konsantrasyonu da değişiklik göstermektedir.

3.2. Kimyasallar

Bu çalışmada, partiküllerin çökeltilmesi için alum $Al_2(SO_4)_3.18H_2O$, demirklorür ($FeCl_3.6H_2O$) ve kalsiyumhidroksit ($Ca(OH)_2$) kimyasalları kullanılmıştır. Kimyasal dozlamalarında alum ve demirklorür için 1000 mg/L'lik ana stok kullanılmış, kalsiyum hidroksit ise belirlenen konsantrasyonlar için doğrudan eklenmiştir. Atıksuyun pH'sının stabil kalması için 0,950 g/L Na_2CO_3 tampon olarak kullanılmıştır. Numunelerin pH'sı NaOH ve H_2SO_4 ile ayarlanmıştır.

3.3. Deneysel Prosedür

Seramik endüstrisi atıksuyunun fizikokimyasal arıtılabilirliği farklı kimyasallar kullanılarak incelenmiş, koagülant tipi, optimum koagülant miktarı ve en uygun pH aralığı belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar üç aşamada gerçekleştirilmiştir: 1) kimyasal çöktürme, 2) kimyasal çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtım, 3) santrfüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı. İlk aşamada AKM giderimi için üç farklı koagülant uygulanmış ve bu koagülantların performansları izlenmiştir. İkinci kısımda, çökeltim işlemi sonrasında üst kısımdaki arıtılmış sudan alınan örnekler farklı gözenek çaplı membran filtrelerden geçirilerek bulanıklıkları ölçülmüş ve giderim verimleri hesaplanmıştır. Üçüncü bölümde ise, atıksuya farklı devir ve sürelerde santrifüj işlemi uygulanmış, arıtılan su örnekleri yine farklı gözenek çaplı membran filtrelerden geçirilerek bulanıklıkları ölçülmüş ve giderim verimleri hesaplanmıştır.

İlk aşamada, kimyasal çöktürme prosesinde farklı dozlarda 3 farklı kimyasal (alum, demirklorür ve kalsiyum hidroksit) kullanılarak AKM arıtım performansı incelenmiştir. Kimyasal çöktürmenin performansını ve optimum kimyasal dozunu belirlemek için farklı kimyasal miktarları uygulanmıştır. 600 ml'lik beherlere 500 ml atıksu numunesi konulmuştur. Kimyasal çöktürme için uygulanılan kireç, alüm ve demirklorür dozları Tablo 1'te verilmiştir.

Tablo 1. Kimyasal çöktürme için uygulanan kimyasal miktarları

Deney Seti	Alüm ve Demir klorür (mg/L)	Kireç (mg/L)
1.set	20-120	20-120
2.set	50-300	50-300
3.set	100-600	100-1000
4.set	200-700	1200-2200
5.set	500-2000	2000-12000

Jar testleri Lavibond marka cihazda, oda sıcaklığında (25˚C) gerçekleştirilmiştir. Hızlı ve yavaş karıştırma sırasıyla, 150 devirde 2 dakika ve 40 devirde 25 dakika

olarak seçilmiştir. Karıştırma sonrasında partiküllerin çökelmesi için numuneler 30 dakika sakince bekletilmiştir. Bekletme süresi sonunda üst suyundan numune alınarak pH ve bulanıklık analizleri yapılmıştır. Kimyasal çöktürme ve mikrofiltrasyon hibrit prosesinin uygulanması durumunda ise çöktürme sonrasında durultulmuş üst sudan numune alınarak membran filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Membran filtrasyon işlemi vakum filtrasyon düzeneğinde 1, 1,2 ve 2 μm gözenek çaplı membran filtreler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Membran filtre öncesi ve sonrasında numunelerde pH ve bulanıklık analizleri yapılmıştır.

Son aşamada ise, numunelerin santrifüjlenmesi NÜVE/NF 1200 marka cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Santrifüj tüplerine 10 ml atıksu konulmuş, farklı devirlerde ve farklı sürelerde santrifüjleme yapılmıştır. Tüm analizler iki paralel halinde yürütülmüş, her bir analiz iki kere yapılmıştır.

3.4. Analitik Metotlar

3.4.1. pH Analizi

Su numunelerinin pH'ı HACH marka pH metre ile SM 4500-H^+ yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. pH metre oda sıcaklığında pH 4, 7 ve 10 kalibrasyon standartlarına göre ayarlanarak kalibrasyonu yapılmıştır.

3.4.2. İletkenlik Analizi

İletkenlik analizi, oda sıcaklığında (25˚C) HACH marka iletkenlik ölçer ile SM 2510 B yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. İletkenlik cihazı, 0,01μS/cm–200 mS/cm aralığında ölçüm yapmaktadır.

3.4.3. Bulanıklık Analizi

Bulanıklık analizleri HACH 2100N model türbidimetre kullanılarak yapılmıştır. Bulanıklık birimi NTU (Nephelometric Turbidity Unit)'dur. 0.01-10000 NTU aralığında ölçüm yapmaktadır. Nefelometreler formazin (bir çeşit polimer) içeren standartlarla kalibrasyonu yapılmıştır.

3.4.4. Askıda Katı Madde (AKM) Analizi

AKM analizi, SM 2540D (APHA/AWWA/WEF, 1998) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deneyde filtrasyon düzeneği kullanılmıştır. Filtre kağıdı (temiz su için 0.45 μm' lik membran, atıksu için cam elyaf), 105°C' de etüvde 1 saat bekletilip, desikatörde soğutulduktan sonra sabit tartımı alınmış filtrasyon düzeneğine yerleştirilmiştir. Saf su ile ıslatılarak vakumdan geçirilip, daha sonra homojenize edilerek belirli hacimdeki numune süzdürülmüştür. Süzme işlemi bittikten sonra huninin cidarları, saf su ile iyice yıkanıp 2–3 dk kadar vakum uygulanmıştır. Filtre kâğıdı pens yardımıyla dikkatlice cam bir tabla üzerine alınarak 103–105°C'de etüvde 1 saat kurutulmuştur. Desikatörde soğutulup, tartılmıştır. Bu işlemlere; kurutma, soğutma, desikatöre alma vb. sabit tartıma ulaşılıncaya veya ağırlıktaki kayıp 0,5 mg'dan az oluncaya kadar devam edilmiştir.

$$AKM = \frac{(A - B) * 1000}{V}$$

A= Filtre kağıdı + kuru kalıntının tartımı (mg)

B= Filtre kağıdının tartımı (mg)

V= Numune hacmi (ml)

3.4.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi

KOİ analizi, SM 5220 D (APHA/AWWA/WEF, 1998) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Deney tüpüne 2,5 ml numune konmuş ve üzerine 1,5 ml parçalama çözeltisi eklenmiştir. 3,5 ml sülfirik asit çözeltisi de eklenerek kapağı sıkıca kapatılmış ve iyice karışması için tüp birkaç kez ters çevrilmiştir. Ters çevirme işlemi esnasında numune ile çözeltiler tepkimeye girerek sıcaklığı arttığından test kitinin kapağından tutarak çevrilmiştir. 150˚C'de 2 saat süre ile termostatta bekletilmiştir. 2 saat sonunda oda sıcaklığına gelen tüplerden alınan örnekler 600 nm dalga boyunda Hach Lange Dr 6000 marka spektrofotometrenin küvetine yerleştirilerek ölçüm yapılmıştır. Aynı işlemler uygulanarak şahit hazırlanmıştır. Derişime karşılık absorbans değerlerinden yararlanılarak kalibrasyon eğrisi elde

edilmiştir. Elde edilen eğri yardımıyla KOİ konsantrasyonu bilinmeyen numundeki KOİ konsantrasyonu bulunmuştur.

3.4.6. Zeta Potansiyeli Ölçümü

Zeta potansiyel ölçümü, Malvern (Zetasizer Nano ZS) marka cihazda doğal pH (7,7)'da Laser Doppler Mikro-Elektroforezi kullanarak gerçekleştirilmiştir. Parçacık büyüklük aralığı 0,3nm-10um aralığındadır.

3.4.7. Tanecik Boyut Dağılımı Analizi

Tanecik boyut dağılımı analizi, Malvern (Zetasizer Nano ZS) marka cihazda Laser Doppler Mikro-Elektroforezi kullanarak gerçekleştirilmiştir. Parçacık büyüklük aralığı 0,3nm - 10um aralığındadır.

3.4.8. XRD Analizi

XRD analizi, Malvern marka Empyrean X-Ray cihazında bakır tüp kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüp voltajı 45 mA, tüp akımı 40 mA'dir. 3-90˚ aralığında taranmıştır.

3.4.9. XRF Analizi

Elementel aralığı Be-U olan Malvern marka Axios Max yüksek güçlü WDXRF X-ışını floresan spektrofotometresi kullanılarak analiz yapılmıştır.

4. BÖLÜM

BULGULAR

4.1. Atıksuyun Karakterizasyonu

Seramik atıksuyunun fizikokimyasal özellikleri Tablo 2'de, kimyasal analiziTablo 3'te verilmiştir. Tablo 4'te ise seramik atık çamurunun kimyasal analizi verilmiştir. Şekil 15'de ham atıksuyun parçacık boyut dağılımı grafiği verilmiştir.

Tablo 2. Ham atıksuyun fizikokimyasal özellikleri

Fiziksel Parametreler	**Ölçüm Değerleri***
pH	7-8
İletkenlik (µS/cm)	1062
Sıcaklık (˚C)	18
AKM (mg/L)	12000
Bulanıklık (NTU)	11000
KOİ (mg/L)	70
Viskozite (kg/m.s)	0,89
Zeta Potansiyeli (mV)	-46

* 4 farklı zamanda örneklenen numunelerin özelliklerinin ortalama değerleri

Tablo 3. Seramik atıksuyu kimyasal analizi

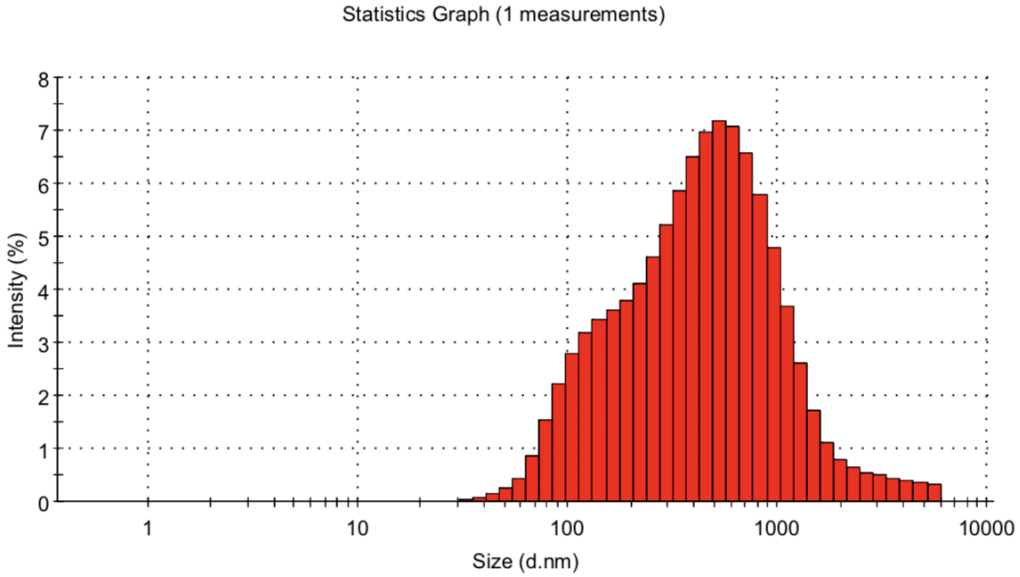
Element	**Konsantrasyon (µg/L)**	**Element**	**Konsantrasyon (µg/L)**
Mg	0,500	Zn	79,10
Al	75,44	As	1,132
V	6,888E-01	Se	6,574
Cr	11,18	Ag	55,95
Mn	3,724E-01	Cd	1,054
Fe	15,78	Tl	4,638E-01
Co	9,604E-01	Pb	29,25
Ni	32,29	U	7,075E-01

100 nm'den küçük Al_2O_3 (0,013µm), SiO_2 (0,012 µm), TiO_2 (0,027 µm) gibi bileşenler nanopartikül olarak sınıflandırılmıştır (Şahin ve Namlı, 2018; Moghadassı vd., 2009). Tablo 4'te görüldüğü üzere seramik atıksuyunda %66,4 kuvars (SiO_2), %18,8 Al_2O_3 bileşenleri bulunmaktadır. Şekil 15'te ham atıksuyun parçacık boyut dağılımına göre % 68,5 oranının 0,22-1,11 µm aralığında olduğu tespit edilmiştir. Bu aralıktaki (0,22-1,11µm) partiküllerin kendi halinde çökmediği gözlenmiştir.

Tablo 4. Seramik atık çamurunun kimyasal analizi

Oksitler	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	Fe_2O_3	K_2O	TiO_2	CuO	CaO	SO_3	P_2O_5	*K.K
%	66,4	18,8	3,92	1,44	1,17	1,01	0,66	0,65	0,43	0,41	0,13	5,0

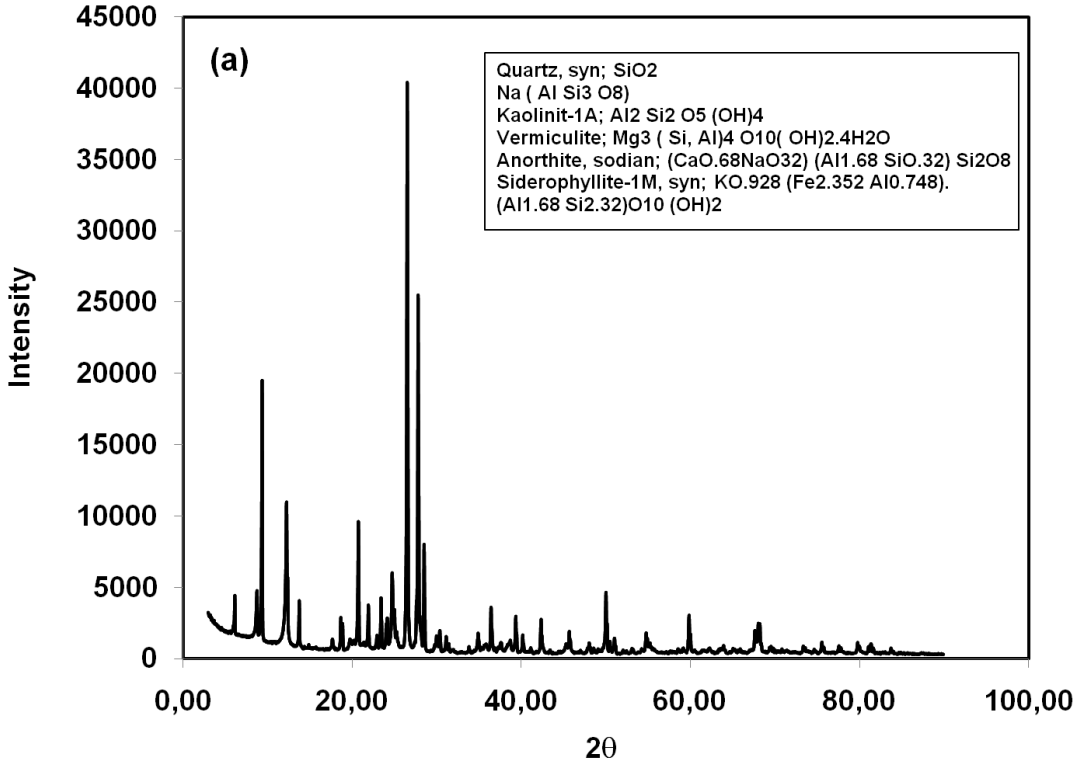
*K.K.: Kızdırma Kaybı (950˚C)



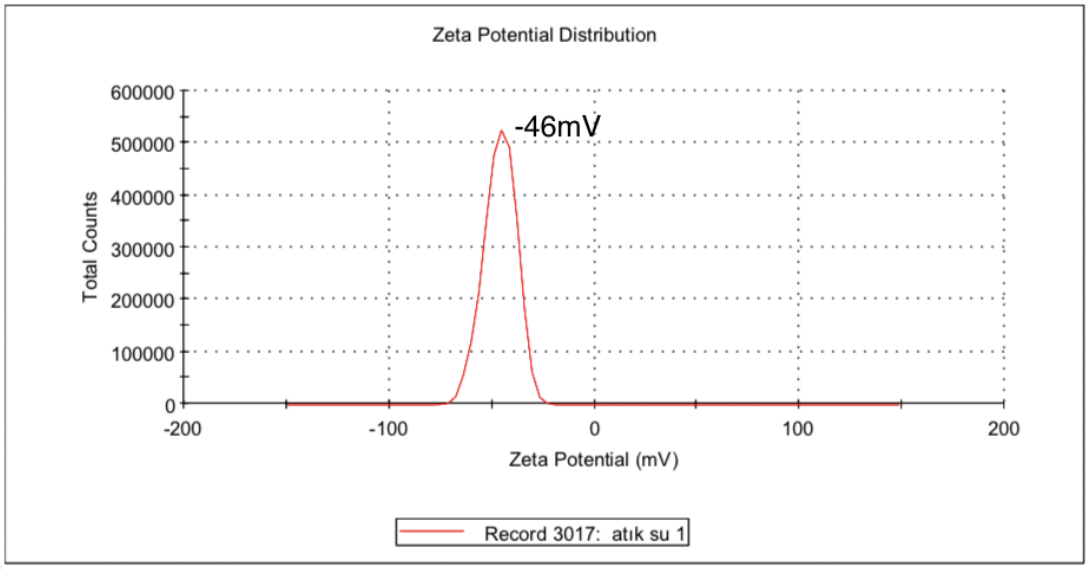
Şekil 15. Ham atıksuyun parçacık boyut dağılımı grafiği.

Şekil 16'da seramik atıksuyunun XRD, Şekil 17'de zeta potansiyeli analizi sonuçlarının grafiksel gösterimi verilmiştir. XRD sonuçlarının orijinal spekturumu Şekil A2'de ve zeta potansiyeli ölçüm sonucu Şekil A3'te sunulmaktadır. Bilindiği üzere atıksudaki kolloidler daima elektrik yüküne sahiptirler. Tanecikler üzerindeki zıt iyonların konsantrasyonu çok büyüktür. Partiküller tanecik yüzeyi ile sıvı yüzey arasında bir elektrik potansiyeli (zeta potansiyeli) oluşturur. Kolloidlerin uzun süre yapısını koruması, kolloidlerin kararlı yani dengeli olduğunun göstergesidir. Dengeli

süspansiyonların çöktürülmesi de oldukça zordur. Tablo 5'te zeta potansiyel değerinin kararlılık ve partiküllerin çöküntü durumları arasındaki ilişki özetlenmiştir. Literatürde zeta potansiyel değerlendirmesi ve kararlılığı hakkında birçok çalışma mevcuttur (Zaman vd., 2002; Ünsal vd., 2016; Mpofu vd., 2004; Li vd., 2007; Lai vd., 2008; Johnson, 2000; Chang, 2007; Dudnik, 2013; Tombacz ve Szekeres, 2006; Yariv ve Cross, 1979). Zeta potansiyel değerinin mutlak 40-60 mV aralığında sağlandığı ve mutlak 60 mV değerinden yüksek değerlerde kararlı kabul edildiği belirtilmektedir (Weı ve Huaqıng, 2012). Şekil 17'de görüldüğü gibi zeta potansiyeli -46 mV olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre seramik atıksuyunun çöktürülmesi için koagülant/flokülant kullanılması gerekmektedir.



Şekil 16. Seramik atıksuyu XRD analizi sonuçları.



Şekil 17. Seramik atıksuyu zeta potansiyeli analizi sonuçları.

Tablo 5. Zeta potansiyel değerinin kararlılık üzerindeki etkisi (Vandsburger, 2009).

Zeta Potansiyel Değeri (mV)	Kararlılık Durumu
0	Kararlılık çok kısa süre sağlanır veya hiç sağlanamaz.
15	Kararlılık kısa süreli sağlansa dahi, çöküntü oluşumu gözlenir.
30	Kararlılık orta düzeyde sağlanır.
45	İyi bir kararlılık durumu ve çok az çöküntü oluşumu sağlanır.
60	Çok iyi kararlılık durumu gözlenir.

4.2. Kimyasal Çöktürme

Seramik sağlık gereçleri mamul üretimi tesisinden alınan atıksu numunelerine farklı kimyasallarla kimyasal çöktürme deneyleri uygulanmış, bu numunelerde en iyi AKM giderim performansı elde etmek için optimum kimyasal türü ve miktarı, en uygun pH aralığı belirlenmiştir.

4.2.1. Alüm ile Bulanıklık Giderimi

Atıksuya 20-4500 mg/L aralığında alüm eklenmiş ve çökelme olmamıştır. Yapılan çalışmalarda, ham atıksuyun doğrudan kullanımında kimyasal çöktürmenin etkisi tespit edilememiştir. Bundan dolayı, ham atıksu numunesi 50 ve 100 kat olmak üzere

seyreltilmiştir. 50 kat seyreltme sonunda bulanıklık 355 NTU'dur. Bu çalışmada belirlenen optimum alüm dozu 300 mg/L'dir. Yapılan jar testi denemeleri sonucunda bulanıklık 355 NTU'dan 60 NTU'ya düşürülmüştür. 50 kat seyreltme işlemi sonrasında uygulanan jar testi sonuçları setler halinde Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. 50 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile bulanıklık giderimi

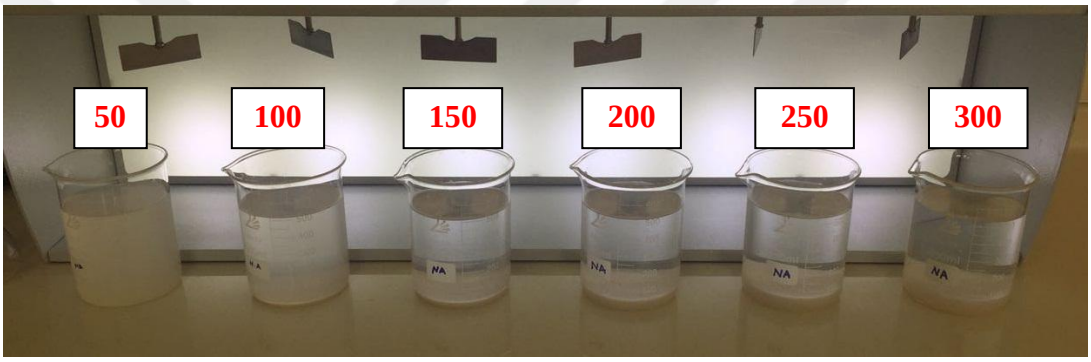
1.SET		**2.SET**		**3.SET**	
Alüm Dozu (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**Alüm Dozu (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Alüm Dozu (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**
0	355	0	355	0	355
20	251	50	240	200	232
40	256	100	185	300	60
60	251	150	224	400	10
80	254	200	238	500	4
100	213	250	171	600	2,1
120	278	300	71	700	1,7

Tablo 6'da görüldüğü gibi 50 kat seyreltilmiş atıksuda alümün tek başına kullanımıyla doğal pH'da (7-8) bulanıklık değeri 355 NTU'dan 1,7 NTU'ya kadar düşürülmüştür. 50 kat seyreltilmiş atıksuyun bulanıklık giderim verimi %99,5'tir.

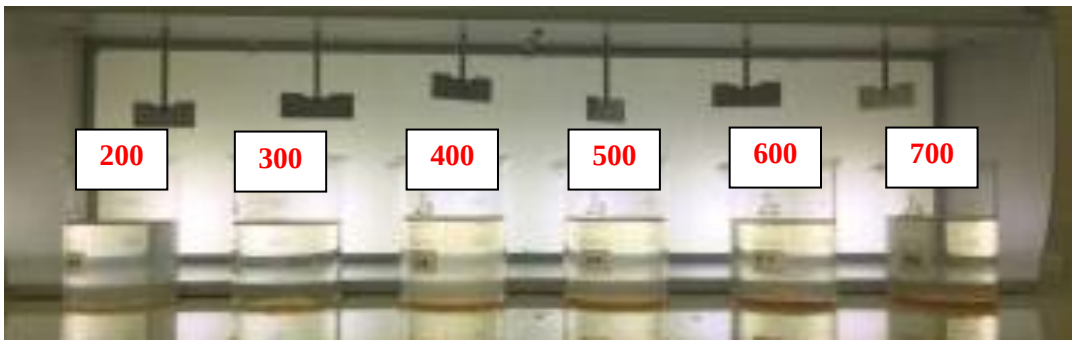
Şekil 2'de görüldüğü gibi 20-120 mg/L alüm dozlamalarında bulanıklık 355 NTU'dan 250 NTU'ya kadar düşmesine rağmen herhangi bir çökelme gözlenmemiştir. Bulanıklık giderim verimi %30 civarındadır. Şekil 3'te 50 mg/L alüm içeren atıksuda herhangi bir çökelme olmamıştır. Alüm dozu arttıkça çökelme meydana gelmiş ve bulanıklık giderimi de artmıştır. En iyi bulanıklık giderimi 300 mg/L alüm dozunda tespit edilmiştir. 50 kat seyreltilmiş numunenin bulanıklığı 355 NTU'dan 60 NTU'ya düşmüş ve %83 giderim verimi elde edilmiştir. Benzer şekilde, traverten işleme tesisi atıksu arıtımında 300 mg/L alüm kullanılmış ve 127,4 NTU olan bulanıklık 60,97 NTU ya düşürülerek % 73 bulanıklık giderimi sağlanmıştır (Beyazyüz, 2010). Şekil 20'de 200-700 mg/L alüm dozlarında tüm beherlerdeki atıksularda çökme meydana gelmiştir. 200 mg/L alüm dozlanan atıksuda diğerlerine göre daha az çökelme olmakla birlikte üst suyu daha bualnıktır. En berrak üst suya sahip olan atıksu 700 mg/L alüm içeren atıksudur. Bulanıklık 355 NTU'dan 1,7 NTU'ya düşmüş ve neredeyse % 100 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.



Şekil 18. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 20-120 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi.



Şekil 19. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 50-300 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi.



Şekil 20. Alüm dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 200-700 mg/L alüm dozu, 30 dk bekleme süresi.

Alüm dozu 250 mg/L'den sonra etkisini göstermektedir. 250 mg/L dozuna gelene kadar bulanıklık gideriminde ciddi bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir. 300 mg/L alüm dozunda 250 mg/L'ye göre daha fazla bulanıklık giderilmiştir. 250 mg/L alüm

içeren atıksuda giderim verimi % 52 iken 300 mg/L alüm içeren atıksuda giderim verimi % 80'dir. Alüm dozu 300 mg/L olan atıksuyun giderim verimi 250 mg/L olan atıksuyun giderim verimine oranla % 35 daha fazla bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Benzer bir çalışmada traverten tesisi atık suyunun arıtılmasında doğal pH'ya (8,4) en yakın değerde 0-500 mg/L gibi geniş alüm koagülant dozaj aralığında çalışılmış ve alüm dozu arttıkça koagülasyon verimi de artmıştır (Ersoy vd., 2005). Şekil 20'de ise 400 mg/L alüm dozu içeren atıksuda bulanıklık 355 NTU'dan 10 NTU'ya düşmüş ve %97 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Zhang vd. yaptığı yapay taş kesme atıksularındaki AKM ve KOİ'nin koagülasyonla arıtılması ile ilgili çalışmasında 56,7 mg/L alüm dozlanmış ve bulanıklık değeri 1145 NTU'dan 16 NTU'ya düşerek %98 giderim verimi elde edilmiştir (Zhang vd., 2016). Alüm dozu 500 mg/L olan atıksuyun bulanıklığı 4 NTU, 600 mg/L olan atıksuyun bulanıklığı 2,1 NTU, 700 mg/L olan atıksuyun bulanıklığı ise 1,7 NTU olarak tespit edilmiştir. 400 mg/L alüm içeren atıksuyun bulanıklık giderim verimine göre 700 mg/L alüm bulunan atıksudaki bulanıklık giderim verimi arasında % 83'lük bir artış meydana gelmiştir.

100 kat seyreltilmiş atıksuyun seyreltme sonucundaki bulanıklık değeri 128 NTU'dur. Optimum alüm dozu 100-200 mg/L aralığında belirlenmiştir. Yapılan jar testi denemeleri sonucunda alümün tek başına kullanımıyla 100 kat seyreltilmiş atıksuyun bulanıklık değeri 128 NTU'dan ~70 NTU'ya kadar düşürülmüştür. Benzer bir çalışmada alümün tek başına kullanımıyla bulanıklık değeri 127,4 NTU'dan 66,66 NTU'ya kadar düşürülmüştür (Beyazyüz, 2010). 100 kat seyreltme işlemi sonrasında uygulanan jar testi sonuçları setler halinde Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. 100 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile bulanıklık giderimi

1.SET		**2.SET**		**3.SET**	
Alüm Dozu (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**Alüm Dozu (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**	**Alüm Dozu (mg/L)**	**Bulanıklık (NTU)**
0	128	0	128	0	128
50	103	100	95	500	2
100	70	200	76	750	1,3
150	56	300	9	1000	2,4
200	74	400	7	1250	1,7
250	36	500	3	1500	1,8
300	11	600	2	2000	2,6

Tablo 7'de görüldüğü gibi 100 kat seyreltilmiş atıksuda alümün tek başına kullanımıyla bulanıklık 128 NTU'dan 1,3 NTU'ya kadar düşürülmüştür. 100 kat seyreltilmiş atıksuyun bulanıklık giderim verimi %99'dur. 100 kat seyreltilmiş atıksuda 750 mg/L alüm ilavesi ile en iyi bulanıklık giderimi sağlanmıştır. 750 mg/L'den sonra alüm ilavesi bulanıklığın artmasına neden olmuştur (Tablo 7). Arslan vd. tarafından yapılan mermer üretim fabrikasından oluşturulan atık suları inceleyen çalışmada jar testi ile atıksudaki bulanıklığın giderilmesi için optimum alüm miktarı 200-500 mg/L aralığında gözlenmiştir (Arslan vd., 2005). Başka bir çalışmada Ehteshami vd. (2015) doğal taş işleme atıksularından pıhtılaşma/flokülasyon yöntemleriyle optimum bulanıklık gideriminde, 1092 mg/L alüm eklenmesiyle optimum performansı göstererek bulanıklık değerini 18 NTU olarak tespit etmiş ve %87 bulanıklık giderim verimi elde etmiştir (Ehteshami vd., 2015). Usefi ve Asadi-Ghalhari sentetik taş kesme atıksularından pıhtılaşma ve flokülasyon işlemiyle türbidite gideriminin optimizasyonu çalışmasında, bulanıklık değeri 170 NTU olan sentetik atıksuya jar testi uygulanmış, optimum alüm dozu 199,53 mg/L olarak belirlenmiş ve %100 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir (Usefi ve Asadi-Ghalhari, 2019).

4.2.2. Demirklorür ile Bulanıklık Giderimi

Çalışmalar 3 set halinde yürütülmüş, 20-400 mg/L aralığındaki dozlarda çalışılmış çökelme olmamıştır. Bu çalışmada belirlenen optimum demirklorür miktarı 1000 mg/L'dir. Arslan vd. tarafından yapılan mermer üretim fabrikasından çıkan atıksulara jar testi yapılmış ve optimum demirklorür dozu 200 ve 500 mg/L olarak tespit edilmiştir (Arslan vd., 2005). Yapılan jar testi denemelerinde, demirklorürün tek başına kullanımıyla bulanıklık 11000 NTU'dan 27,6 NTU'ya düşmüştür. Optimum koagülasyon pH'sı 3,5-6,9 aralığındadır. En az çökelme pH 8,6 değerinde görülmüştür. Düşük pH'da iyi performans gösteren demirklorür özellikle pH 5,33'de bulanıklık gideriminde daha iyi performans göstermiştir. Ayşe Gül Şener'in demirklorür ile yaptığı bir çalışmada pH 2,8'de çökelme meydana gelmiştir (Şener, 2013). Alptekin vd. doğal taş atıksularının flokülasyon/koagülasyon yöntemiyle arıtılmasında, demirklorür koagülantı ile çöktürmede pH artıkça çökelme hızında azalma meydana gelmiş fakat asidik koşullarda pH'nın düşmesiyle en iyi koagülasyon verimlerini elde etmiştir. Dolayısıyla düşük pH'larda negatif yüke sahip

olan traverten üzerinde yoğunlaşan (çökelen) artı yüklü $Fe(OH)_3$ bileşiklerinin oluşturduğu yük nötralizasyonu mekanizmasının koagülasyonda da etkili olduğunu ifade etmiştir (Alptekin vd., 2006). Tablo 8'de demirklorürün miktarı, bulanıklıkları ve pH değerleri setler halinde verilmiştir. Her set 2 kere uygulanmış ve ortalaması alınmıştır.

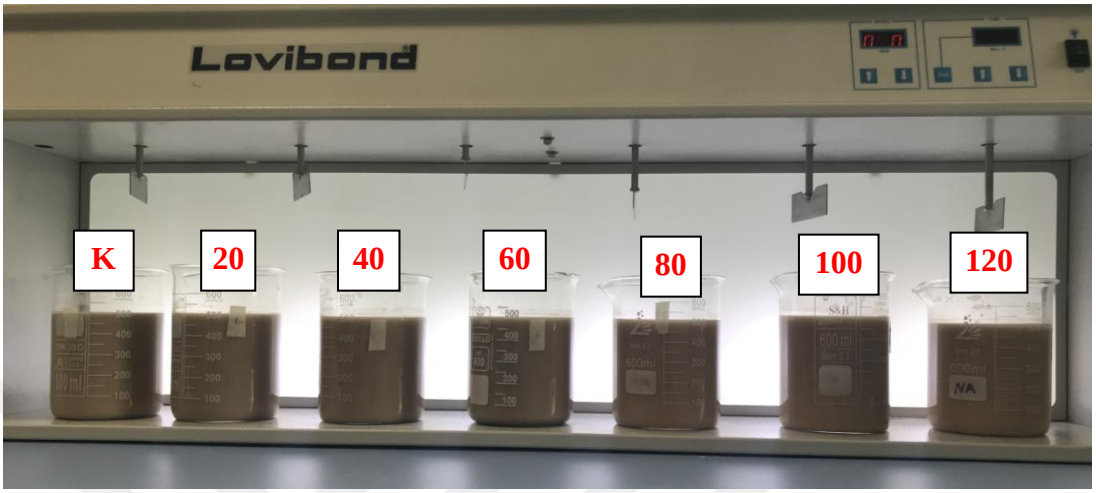
Tablo 8. Ham atıksuyun $FeCl_3$ ile çöktürme deneyi sonuçları

	$FeCl_3$ (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**pH**
1.SET	0	11000	8,2
	200	-	10,6
	300	-	9,8
	400	-	9,4
	500	1570	8,6
	600	945	7,9
	700	725	7,5
	$FeCl_3$ (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**pH**
2.SET	0	11000	8,2
	500	1690	8,1
	750	490	7,2
	1000	27,6	6,9
	1250	7,4	5,3
	1500	28,7	3,5
	2000	-	3,0

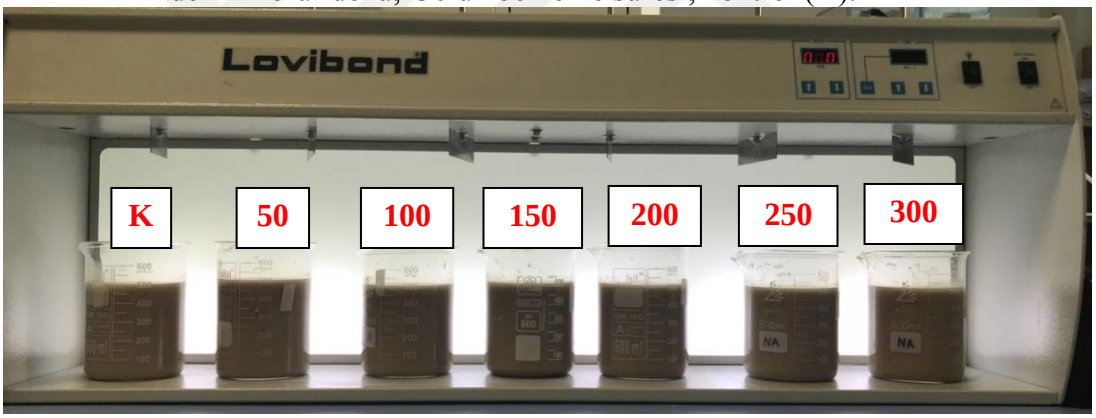
Tablo 8'de görüldüğü gibi 1500 mg/L demirklorür fazlası bulanıklığı artmıştır. pH'ın yüksek olması demirklorür ile bulanıklık giderimini olumsuz etkilemektedir. Demirklorür düşük pH'da bulanıklık gideriminde daha etkilidir.

Şekil 21 ve Şekil 22'deki atıksularda herhangi bir çökelme gözlenemezken, demirklorür dozu 600 ve 700 mg/L olan atıksularda gözle görülür şekilde bir çökelme olmuştur (Şekil 23). Demirklorür dozu 600 mg/L olan atıksuda bulanıklık giderimi %91 iken, 700 mg/L olan atıksuda %93 olmasına rağmen üst suyun bulanıklık değeri çok yüksektir (Tablo 8). Şekil 5'te görüldüğü gibi, en iyi çökelme 1250 mg/L demirklorür dozunda görülmüş ve %99,9 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. 1000 ve 1500 mg/L olan atıksularda çökelme olmuş, %99,7 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. 2000 mg/L olan atıksuda demirklorür miktarının artması bulanıklık miktarını arttırmış ve çökelme olmamıştır. Koagülant ilavesi optimum dozdan fazla yapıldığında şarjın ters dönmesine neden olur ve sonrasında artan

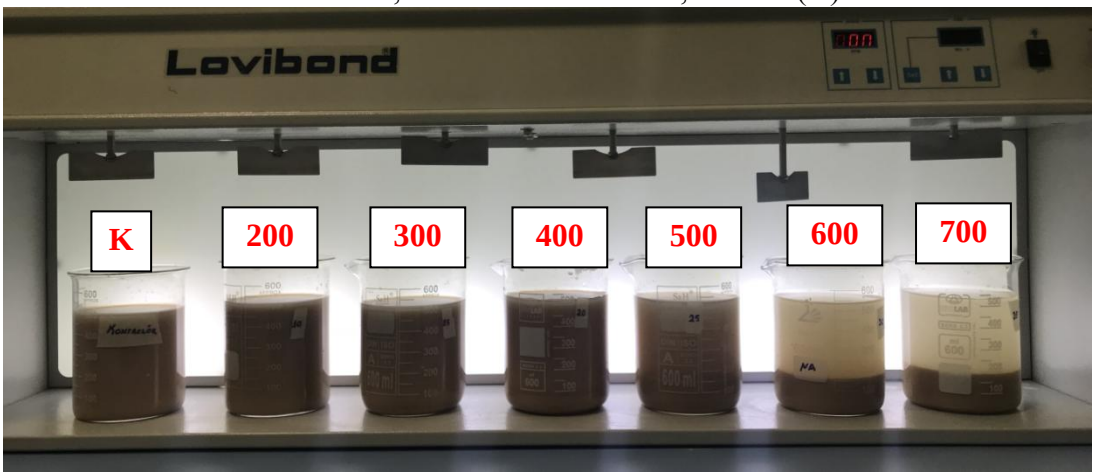
pozitif şarj sebebiyle koagülasyon olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunun aksine, optimum dozdan daha az koagülant ilavesi yapılırsa ortamda koagülasyon olayı gerçekleşmemektedir (Alptekin, 2006).



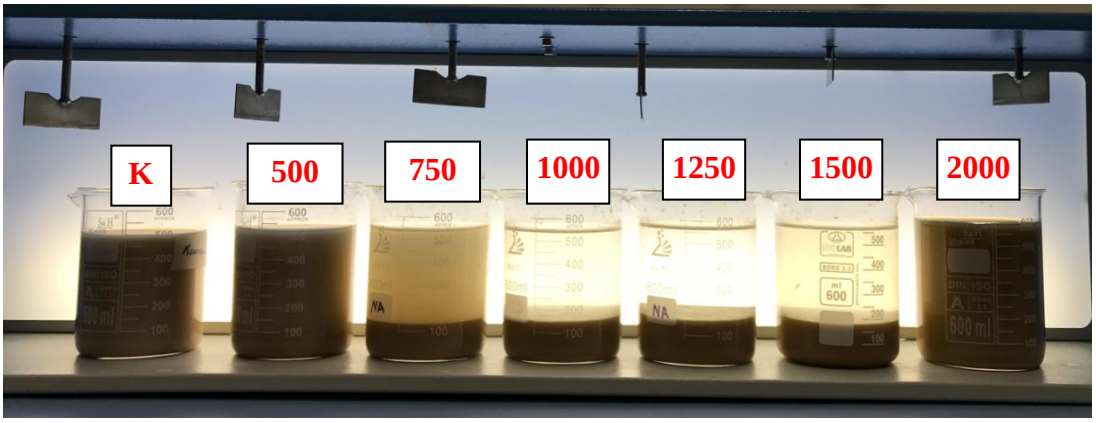
Şekil 21. Demir klorür dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 20-120 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).



Şekil 22. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 50-300 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).



Şekil 23. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 200-700 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).



Şekil 24. Demir klorür dozunun AKM giderimine etkisi: 500-2000 mg/L demirklorür dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).

Şekil 23 ve Şekil 24'te görüldüğü gibi demirklorür dozu 500 mg/L'den sonra etki etmektedir. Demirklorür dozu 750 mg/L olan atıksuda bulanıklık 490 NTU olarak ölçülmüş %95 bulanıklık giderimi olmasına rağmen hala çok yüksek bir değerdedir. Beyazyüz vd. yaptığı bir çalışmada traverten işleme tesisi atıksu arıtımında 400 mg/L $FeCl_3$ kullanılmış ve 127,4 NTU olan bulanıklık 65,16 NTU'ya düşürülmüş, %49 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir (Beyazyüz, 2010). Başka bir çalışmada Ehteshami vd. (2015) doğal taş işleme atıksularından pıhtılaşma/flokülasyon yöntemleriyle optimum bulanıklık giderimi ile yapılan jar testi sonucu optimum demirklorür miktarı 519 mg/L kullanılmış ve bulanıklık değeri 19 NTU'ya düşürülerek %88 bulanıklık giderimi elde edilmiştir (Ehteshami vd., 2015).

Literatürde kil (kaolinit)-su koloidal süspansiyonlarının demirklorür ile koagülayonu ve Fe adsorpsiyonu konusunda detaylı olarak çalışmalar yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalarda farklı pH'lar ve birbirinden çok farklı koagülant miktarları kullanılmıştır. Ching vd. (1994) 1-3 mg/L ve Pierre vd. (1997) 100-3000 mg/L aralıklarında demirklorür dozları kullanmışladır. Yine benzer olarak, kimyasal tesis atıksularından demirklorür ile bulanıklık giderilmesinde 0-100 mg/L dozajlarında çalışmalar yapılmıştır (Poon vd., 1999). Hasçakır ve Dölgen'in kil minerallerinin atık su arıtımında kullanılabilirliğinin kaolinit ile organik madde giderimi çalışmasında, optimum demirklorür dozu 25 mg/L olarak belirlenmiştir (Hasçakır ve Dölgen, 2008). Ayrıca Hasçakır ve Dölgen'in farklı bir çalışmasında, proses atıksuyu ile yürütülen deneylerde optimum demirklorür miktarı 50 mg/L olarak belirlenmiştir (Hasçakır ve Dölgen, 2005).

Seramik atıksularına 1000 mg/L demirklorür dozlandığında bulanıklık değeri 27,6 NTU olarak tespit edilmiş olup atıksuyun bulanıklığı %99,7 giderilmiştir. Demirklorür dozu 1250 mg/L olan atıksuda bulanıklık 0,59 NTU ölçülmüş, 1000 mg/L demirklorür dozuna göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Fakat ekonomik açıdan değerlendirilirse ve deşarj standartlarına uygunluğu da göz önüne alınırsa 1000 mg/L demirklorür dozu optimum doz olarak değerlendirilebilir. 1000 ve 1250 mg/L demirklorür içeren atıksudaki çökme miktarları karşılaştırılırsa ikisi de aynı çökme miktarına sahiptir ve %74 çökelme elde edilmiştir. 1500 mg/L demirklorür dozu bulunan atıksuda çökme miktarı %68 olarak ölçülmüş ve diğer iki atıksuya göre (1000 ve 1250 mg/L) daha fazla çamur miktarı olduğu tespit edilmiştir. 1250 mg/L dozu sonrasında eklenen 1500 mg/L olan atıksuda bulanıklık 28,7 NTU'dur. Yani bulanıklık 0,59 NTU'dan 28,7 NTU'ya yükselmiş, bulanıklığı %98 arttırmış ve çökelme miktarı azalmıştır. 1500 mg/L'den fazlası bulanıklığı arttırarak çökmeyi engellemiş, çamur miktarını arttırarak bulanıklık gideriminde etkili olmamıştır.

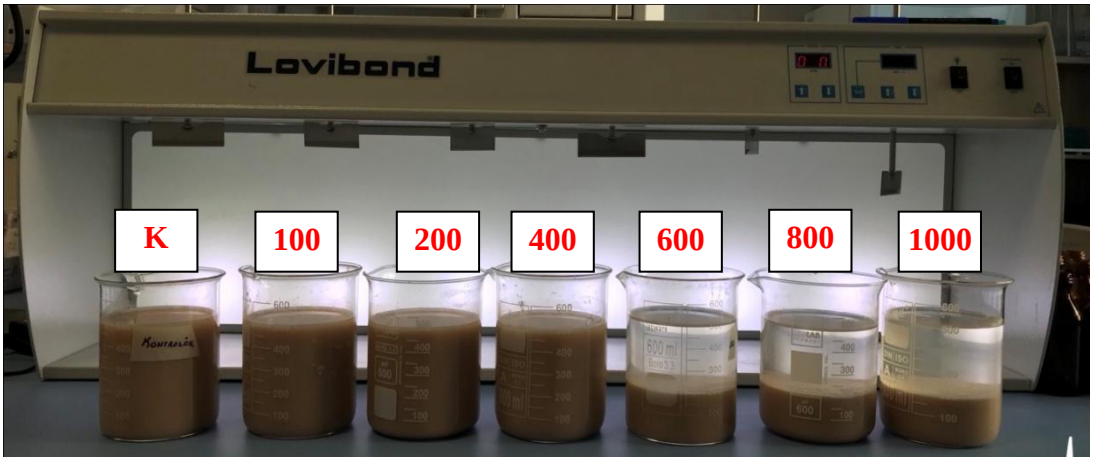
4.2.3. Kalsiyum Hidroksit (Kireç) ile Bulanıklık Giderimi

Ham atıksuyun kireç ile çöktürme deneyi sonuçları Tablo 9'da verilmiştir. Kireç ile bulanıklık gideriminde 20-120, 50-300 mg/L aralığındaki dozlarda çalışılmış, herhangi bir çökelme tespit edilememiştir. Çalışmada optimum kireç dozu 600 mg/L olarak belirlenmiştir. Yapılan jar testi denemeleri sonucu kirecin tek başına kullanımıyla bulanıklık değeri 11000 NTU'dan 20 NTU'ya düşerek %99,8 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Optimum koagülasyon pH'sı 11,5-12,8 aralığındadır. pH 8'den 11'e kadar pH'nın bulanıklığa etkisi olmamıştır. Yüksek pH değerlerinde iyi performans gösteren kireç, özellikle pH 12,6'da bulanıklık gideriminde en iyi performansı göstermiştir. Betazzi vd. (2006) yaptığı çalışmada zeytinyağı endüstrisi atıksu arıtımında koagülant olarak kireç kullanılmış ve pH 12'de koagülasyon etkili olmuştur (Betazzi vd., 2006).

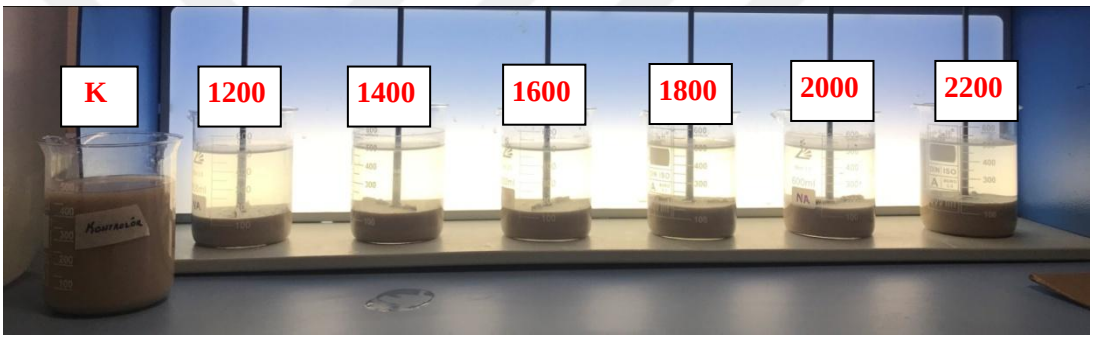
Tablo 9. Ham atıksuyun kireç ile çöktürme deneyi sonuçları

	Kireç (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**pH**
1.SET	0	11000	8,2
	100	-	9,6
	200	-	9,9
	400	-	11,2
	600	20	11,6
	800	23,8	11,7
	1000	31	11,8
	Kireç (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**pH**
2.SET	0	11000	8,2
	1200	6,4	12,1
	1400	7,2	12,2
	1600	4,7	12,2
	1800	2,8	12,4
	2000	2,9	12,4
	2200	5,6	12,5
	Kireç (mg/L)	**Bulanıklık (NTU)**	**pH**
3.SET	0	11000	8,2
	2000	4,0	12,3
	4000	0,6	12,6
	6000	2,6	>12
	8000	2,1	>12
	10000	2,3	>12
	12000	3,1	>12

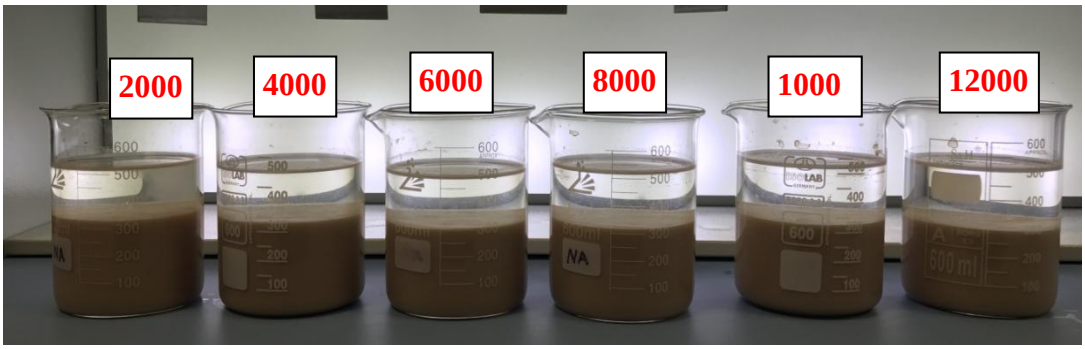
Şekil 25'te kireç miktarı 100-200-400 mg/L olan atıksularda herhangi bir çökelme gözlenmemiştir. Kireç miktarı 400 mg/L'den sonra atıksuya kireç eklemeye devam ettikçe çökelme gözlenmiştir. 600-800-1000 mg/L kireç olan atıksularda bulanıklık 11000 NTU'dan sırasıyla 20, 23,8 ve 31 NTU'ya düşerek %99,8 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Şekil 26'da görüldüğü gibi en iyi bulanıklık giderimi 1800 mg/L olan beherde gözlenmiş, bulanıklık 11000 NTU'dan 2,8 NTU'ya kadar düşmüş ve %99,9 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Şekil 27'de kireç miktarı 4000 mg/l olan beherde bulanıklık 0,6 NTU olarak ölçülmüş ve ~%100 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Kirecin kullanılmasıyla yapılan birçok kimyasal çalışmalarda, Oktav ve Şengül (2003) %31 AKM, Lolos vd. (1994) %28 AKM, Aktaş vd. (2001) %29-47 TKM giderme verimi elde etmişlerdir.



Şekil 25. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 100-1000 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).



Şekil 26. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 1200-2200 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi, kontrol (K).



Şekil 27. Kireç dozunun bulanıklık giderimine etkisi: 2000-12000 mg/L kireç dozu, 30 dk bekleme süresi.

600-1000 mg/L kireç dozu olan atıksuda çökme miktarı %60 civarındadır. 1200-2200 mg/L kireç dozu olan atıksularda çökme miktarı yaklaşık %70 olarak hesaplanmıştır. Şekil 26'deki atıksuda çökme miktarı ile Şekil 25'daki atıksuların

çökme miktarı kıyaslandığında, 1200-2200 mg/L kireç dozu olan atıksularda çökme miktarı 600-1000 mg/L kireç dozu olan atıksulardaki çökme miktarına göre daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. Kireç miktarı 2000-12000 mg/L olan atıksuda (Şekil 27) çökme miktarı yaklaşık %38 civarındadır. Tablo 9'da da görüldüğü gibi en iyi bulanıklık giderimi 4000 mg/L kireç olan atıksuda gerçekleşmiştir. Fakat çok fazla kireç eklenmesi çamur miktarını da arttırmıştır. 2000-12000 mg/L olan beherlerle (Şekil 27) 1200-2200 mg/L olan beherlere (Şekil 26) oranla çamur miktarı %50 artmıştır.

4.2.4. Santrifüj ile Bulanıklık Giderimi

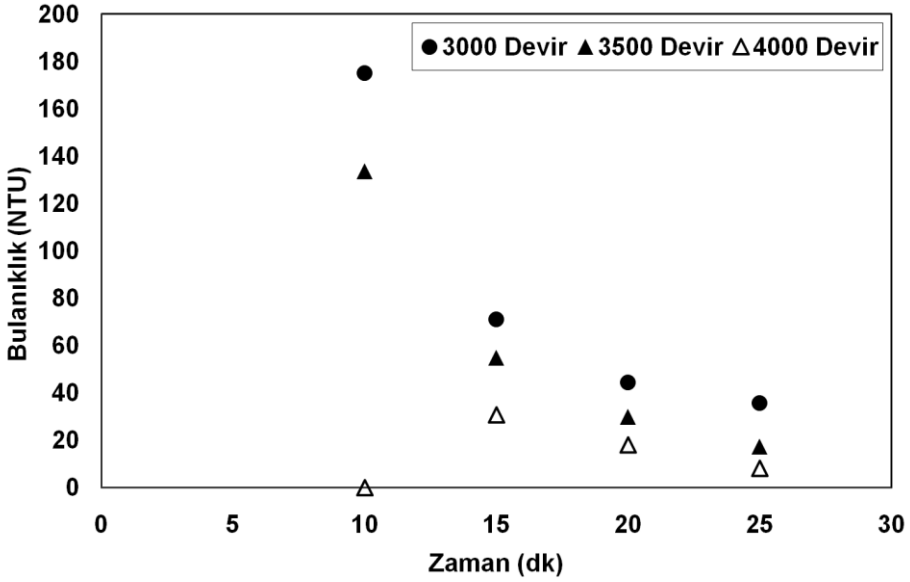
Santrifüj ile bulanıklık gideriminde farklı devirlerde ve farklı sürelerde çalışılmış, sonuçları Tablo 10'de verilmiştir. Tablo 10 incelendiğinde optimum santrfüj devri ve süresi 3000 rpm ve 20 dk olarak tespit edilmiştir. Bulanıklığı 11000 NTU olan ham atıksuyun 3000 rpm ve 20 dk santrifüjlenmesiyle bulanıklığı 83 NTU'ya düşürülmüştür. %99,3 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En iyi bulanıklık giderimi 4000 rpm'de 25 dk santrifüjleme ile elde edilmiştir. Bulanıklık 6,46 NTU'ya düşerek yaklaşık %100 verim elde edilmiştir. Fakat daha ekonomik olması sebebiyle optimum koşul olarak 3000 rpm 20 dk tespit edilmiştir. Devir ve dakika arttıkça bulanıklık giderim verimi de artmıştır. 4000 devirden sonra ufak da olsa bulanıklık giderim veriminde azalma olmuştur.

Tablo 10. Santrifüj ile bulanıklık giderimi

Zaman (dk)	**Bulanıklık değerleri (NTU)**		
	3000 rpm	3500 rpm	4000 rpm
10	350	249	35,6
15	155,5	164	18,7
20	83	60,5	8,9
25	58	53	6,5

Şekil 28. incelendiğinde santrifüjleme dakikası arttıkça bulanıklık gideriminde azalma olduğu gözlenmiştir. En iyi bulanıklık giderimi 4000 rpm'de 25 dk sürelerinde 6,5 NTU ölçülmüştür. En yüksek bulanıklık 3000 rpm'de 10 dk süresinde 350 NTU olarak tespit edilmiştir. Santrifüj süresi 25 dk'ya ulaştığında ise bulanıklık 58 NTU'ya düşmüş ve %83 oranında artış meydana gelmiştir. 3000 rpm'de 25 dk süre ile santrifülenen atıksuyun bulanıklığı 58 NTU iken 3500 rpm'de aynı süre ile

santrifüjlenen atıksu bulanıklığı 53 NTU'dur ve %8 oranında artış göstermiştir. Santrifüj işleminin 3500 rpm'den 4000 rpm'e çıkarılması ile 25. dk'da bulanıklığı 53 NTU olan atıksuyun bulanıklık değeri 6,5 NTU'ya kadar düşürülmüş ve %88 oranında artış gözlenmiştir.



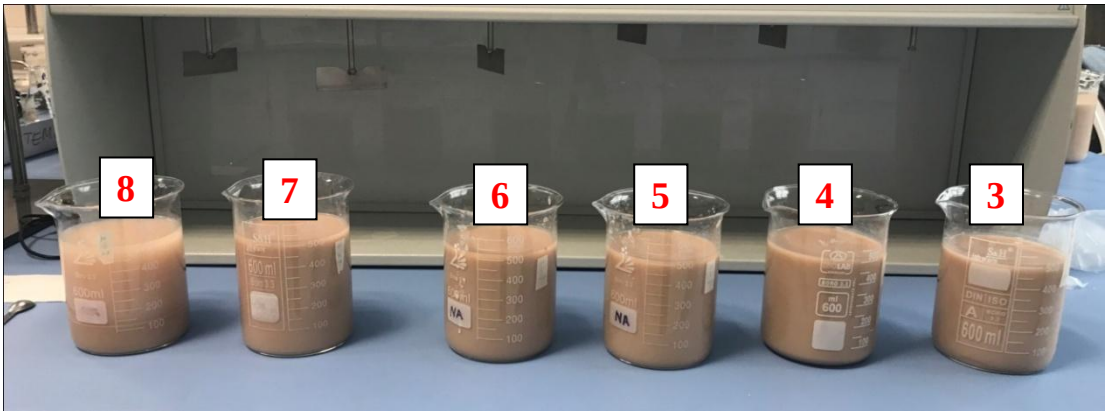
Şekil 28. Farklı devir ve sürelerde santrifüj ile bulanıklık giderimi.

4.2.5. Bulanıklık Gideriminde pH'nın Etkisi

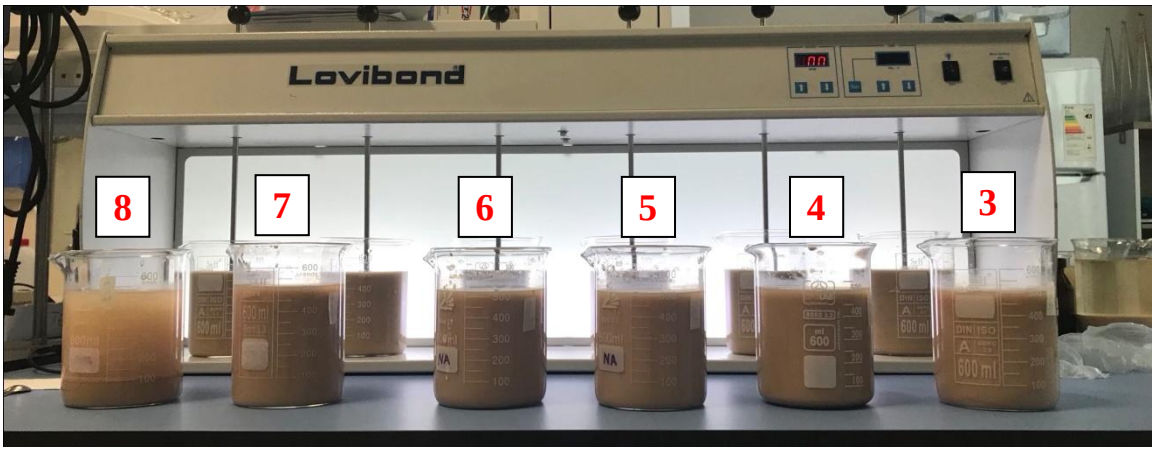
Ham atıksuyun pH'sı 3-12 arasında olacak şekilde $H_2(SO)_4$ ve Na(OH) çözeltisi kullanılarak ayarlanmış ve bulanıklık giderim verimleri gözlenmiştir.Tablo 11'de yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir.

Tablo 11. pH'nın bulanıklık giderimine etkisi

pH	2 sa sonra pH	Bulanıklık (NTU)	pH	2 sa sonra pH	Bulanıklık (NTU)
			8	8,2	-
3	3,3	-	9	9,0	-
4	4,9	-	10	9,9	-
5	5,6	-	11	10,9	-
6	6,3	-	12	11,9	541
7	7,2	-	>12	12,6	7,2



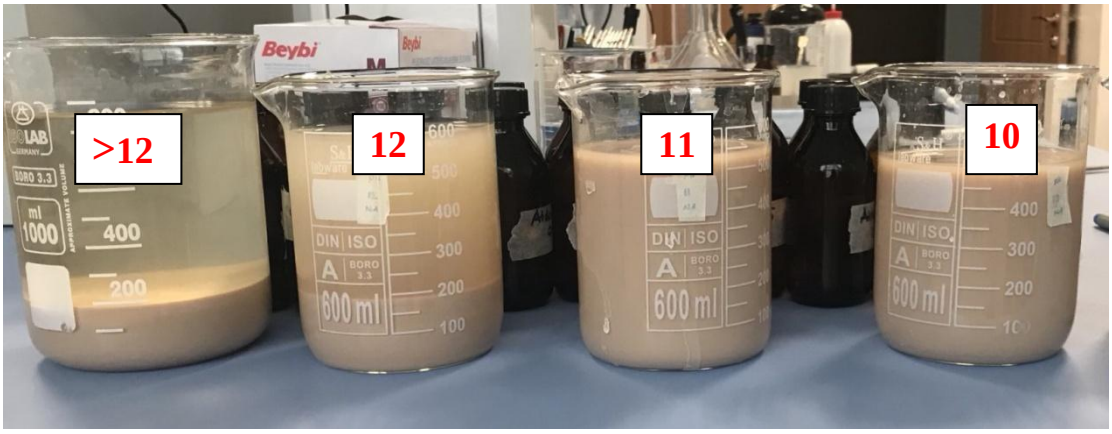
Şekil 29 . pH (8-3) değişiminin 30 dk sonunda AKM çökelmesine etkisi.



Şekil 30. pH (8-3) değişiminin 1 sa sonunda AKM çökelmesine etkisi.



Şekil 31. pH(10->12) değişiminin 30 dk sonunda AKM çökelmesine etkisi.



Şekil 32. pH (10->12) değişiminin 1 sa sonunda AKM çökelmesine etkisi.

Şekillerden anlaşılacağı üzere pH 12-14 aralığında çökme meydana gelmektedir. pH 3'ten 8'e kadar herhangi bir çökme görülmemiştir. Şekil 29 ve Şekil 30'de pH 8 olan beherdeki atıksuda 30 dk ve 1 sa sonunda az da olsa gözle görülür bir çökme vardır fakat üst su hala bulanık haldedir. pH 9-12 aralığında olan beherlerde de herhangi bir çökme görülmemiştir. Şekil 31 ve Şekil 32'de pH 12 olan beherdeki atıksuda 30 dk sonunda gözle görülür bir çökme vardır fakat yine üst su hala bulanık haldedir, 1 sa sonundaki çökme miktarı ise %69 olarak ölçülmüştür. Bu süre sonunda pH 11,9, bulanıklık 541 NTU ölçülmüştür. Li ve Zhang, seramik atıksuyunun pH etkisini incelemiş ve pH 12'de bulanıklık giderim verimini %72,8 olarak tespit etmiştir (Li ve Zhang, 2013). Şekil 31'de pH >12 olan beherdeki atıksuda 30 dk sonunda çökme miktarı %20, 1 saat sonundaki (Şekil 32) çökme miktarı ise %76'dır. Bu süre sonunda pH 12,6, bulanıklık 7,2 NTU olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerde ulaşılan sonuca göre, pH 12'nin üzerinde iken bulanıklık giderimi sağlanmış ve bulanıklık değeri 11000 NTU'dan 7,2 NTU'ya düşerek %99,9 verim elde edilmiştir.

4.3. Kimyasal Çöktürme ve Membran Filtrasyon Hibrit Arıtımı

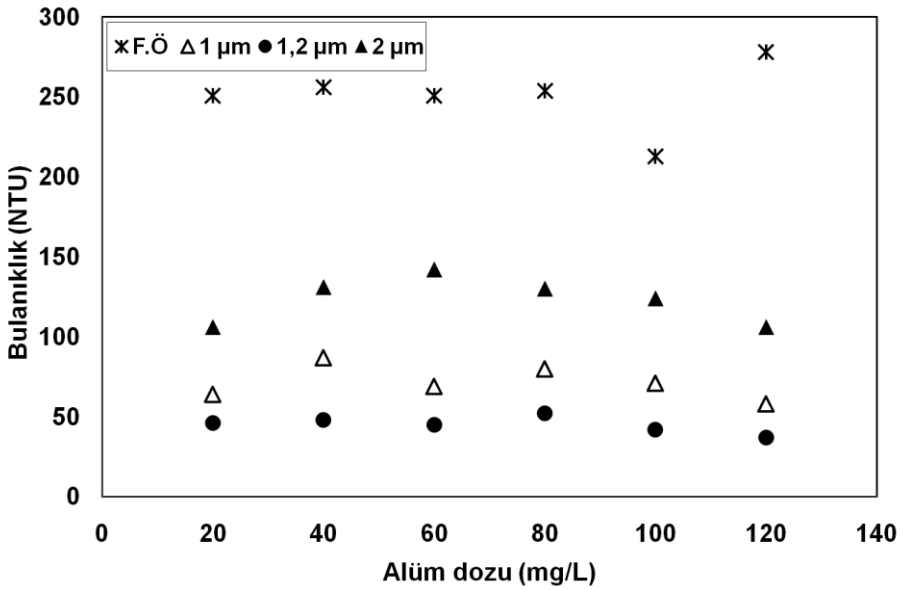
4.3.1. Alüm ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon

50 kat seyreltilmiş atıksu alüm ile çöktürülmüş, sonrasında durultulmuş üst sudan numune alınarak membran filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Tablo 12'de 50 kat seyreltilmiş atıksu alüm ile çöktürme işlemi sonunda ve membran filtrasyon sonrasında ölçülen bulanıklık değerleri verilmiş, giderim verimleri hesaplanmıştır.

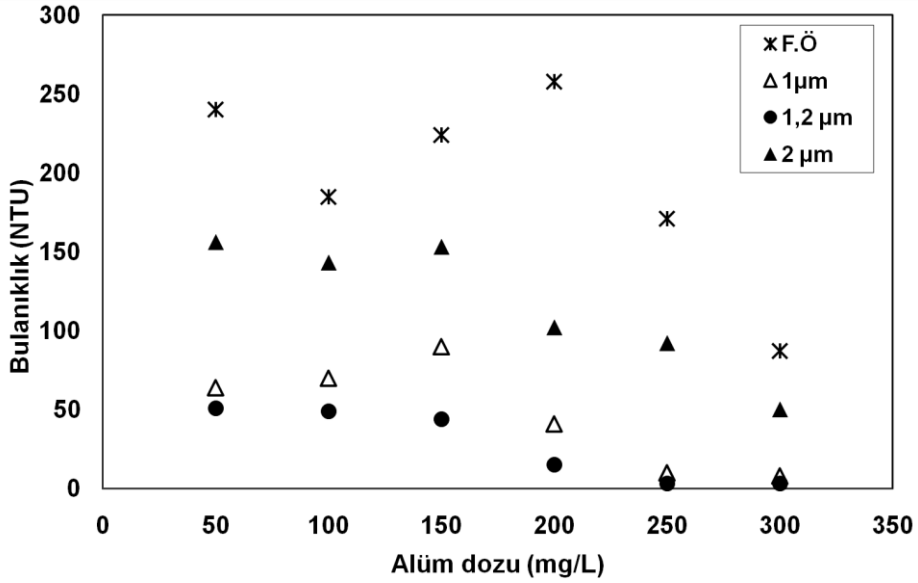
Tablo 12. 50 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile çöktürülmesi ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları

Alüm Dozu (mg/L)	F.Ö	F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)								
	(NTU)	1,2 µm	SS	1,2 µm (%)	2 µm	SS	2 µm (%)	1 µm	SS	1 µm (%)
20	251	46	0,99	82	106	16,26	58	64	2,83	74
40	256	48	0,78	82	131	15,56	49	87	5,66	66
60	251	45	4,60	82	142	26,87	44	69	5,66	72
80	254	52	6,43	80	130	26,87	49	80	5,66	68
100	213	42	2,33	79	124	9,90	38	71	2,12	65
120	278	37	10,39	87	106	14,85	62	58	3,54	79
Alüm Dozu (mg/L)	**F.Ö**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
	(NTU)	**1,2 µm**	**SS**	**1,2 µm (%)**	**2 µm**	**SS**	**2 µm (%)**	**1µm**	**SS**	**1µm (%)**
50	240	51	0,00	79	156	12,73	35	64	2,83	73
100	185	49	4,95	74	143	6,36	23	70	2,83	62
150	224	44	2,12	80	153	18,38	31	90	1,41	59
200	258	15	10,61	94	102	38,89	60	41	2,83	84
250	171	3	1,41	98	92	3,54	46	10	3,75	94
300	87	3	0,00	96	50	15,56	43	8	3,61	90
Alüm Dozu (mg/L)	**F.Ö**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
	(NTU)	**1,2 µm**	**SS**	**1,2 µm (%)**	**2 µm**	**SS**	**2 µm (%)**	**1µm**	**SS**	**1µm (%)**
200	232	3,3	3,63	99	120	5,66	48	20,6	26,18	91
300	39	1,4	0,32	95	23	17,23	42	5,5	0,76	80
400	10	0,9	0,37	92	4,6	1,15	55	2,5	0,52	75
500	4	0,8	0,09	79	2,5	2,01	44	1,1	0,34	70
600	2,1	0,8	0,15	58	1	0,52	45	0,5	0,23	72
700	1,7	0,9	0,01	45	1	0,40	38	0,7	0,07	58

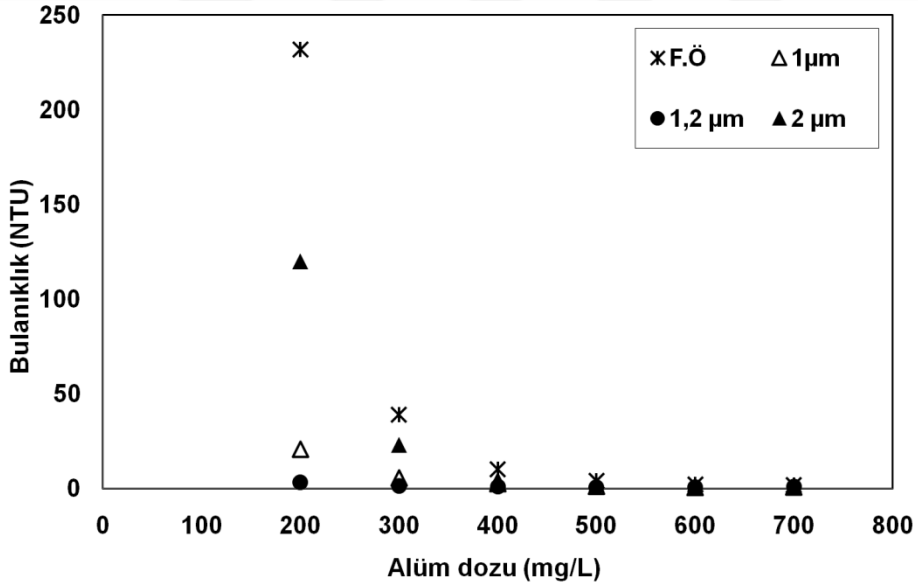
Tablo 12'de görüldüğü gibi 50 kat seyreltilmiş ve 20 mg/L alüm ile çöktürülmüş atıksuyun üstünden alınan numunenin bulanıklığı 251 NTU iken, 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 46 NTU'ya düşürülerek %82 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En az alüm miktarı ile çöktürme sonrasında membran filtrasyon hibrit arıtımında en iyi bulanıklık giderimi 1,2 µm'lik membran filtre ile elde edilmiştir. Alüm miktarı arttıkça bulanıklık değerleri hızla düşmüştür. Buna bağlı olarak en yüksek alüm dozu olan 700 mg/L ile çökelen atıksuyun bulanıklık değeri 1,7 NTU ölçülmüş ve 1 µm'lik membran filtreden geçirildiğinde, bulanıklığı 0,7 NTU'ya ulaşarak en duru su elde edilmiştir. Seramik atıksuyunun kimyasal çöktürme sonrasında membran filtreden geçmesiyle %58 bulanıklık giderimi gözlenmiştir.



Şekil 33. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 20-120 mg/L).



Şekil 34. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 50-300 mg/L).



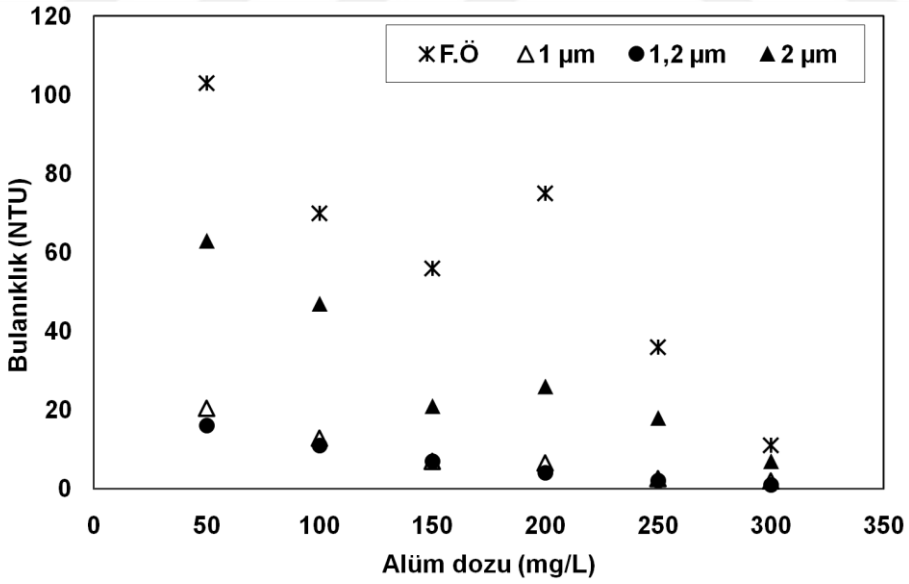
Şekil 35. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 50 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 200-700 mg/L).

100 kat seyreltilmiş atıksu alüm ile çöktürülmüş, sonrasında durultulmuş üst sudan numune alınarak membran filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Tablo 13'te 100 kat seyreltilmiş atıksu alüm ile çöktürme işlemi sonunda ve membran filtrasyon sonrasında ölçülen bulanıklık değerleri verilmiş, giderim verimleri hesaplanmıştır.

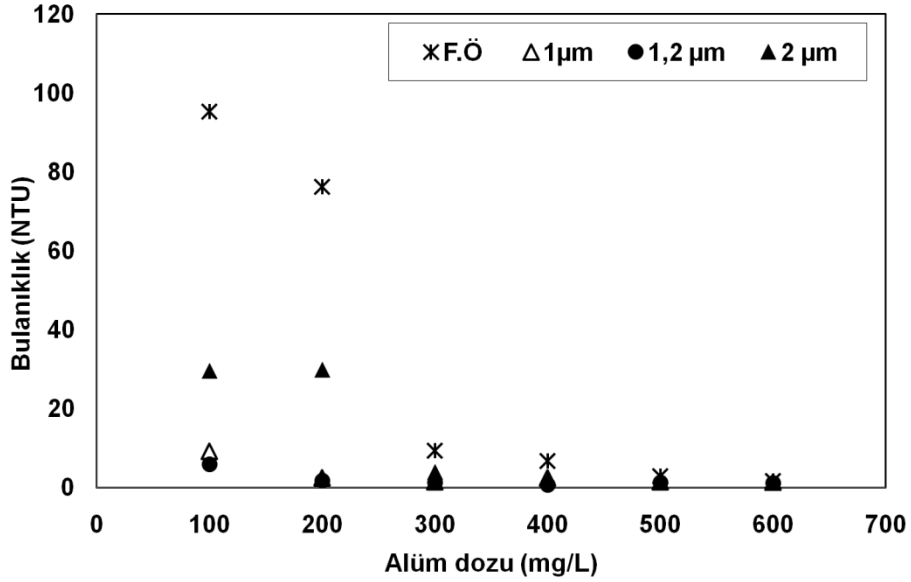
Tablo 13. 100 kat seyreltilmiş atıksuyun alüm ile çöktürülmesi ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları

Alüm Dozu (mg/L)	F.Ö (NTU)	F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)								
		1,2 µm	SS	1,2 µm (%)	2 µm	SS	2 µm (%)	1 µm	SS	1 µm (%)
50	103	16	4,8	85	63	6,3	39	20,4	5,4	80
100	70	11	2,4	84	47	3,5	34	12,8	1,0	82
150	56	7	0,0	88	21	24,0	62	6,9	0,8	88
200	75	4	1,6	95	26	32,0	66	6,5	3,5	93
250	36	2	0,3	93	18	1,1	49	2,5	0,6	92
300	11	1	0,1	89	7	3,0	39	1,9	0,0	82
Alüm Dozu (mg/L)	**F.Ö (NTU)**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
		1,2 µm	**SS**	**1,2 µm (%)**	**2 µm**	**SS**	**2 µm (%)**	**1µm**	**SS**	**1µm (%)**
100	95,3	5,8	1,7	94	29,5	14,1	69	9,1	0,1	90
200	76,3	1,7	0,6	98	29,8	4,9	61	2,4	2,1	97
300	9,3	1,2	0,7	87	3,9	4,9	58	1,4	0,5	85
400	6,7	0,7	0,4	90	1,8	2,0	73	2,4	1,6	64
500	2,8	1,3	0,3	54	1,6	0,1	43	1,4	0,4	50
600	1,7	1,1	0,0	35	1,4	0,0	18	1,3	0,4	24
Alüm Dozu (mg/L)	**F.Ö (NTU)**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
		1,2 µm	**SS**	**1,2 µm (%)**	**2 µm**	**SS**	**2 µm (%)**	**1µm**	**SS**	**1µm (%)**
500	2,03	0,57	0,6	72	0,46	0,3	77	0,67	0,7	67
750	1,25	0,53	0,6	58	0,68	0,7	46	0,61	0,7	51
1000	2,38	0,50	0,6	79	0,61	0,7	74	0,60	0,7	75
1250	1,67	0,48	0,5	71	0,89	1,1	47	0,55	0,0	67
1500	1,77	0,50	0,7	72	1,56	2,0	12	0,41	0,6	77
2000	2,55	0,47	0,6	82	1,59	1,7	38	0,35	0,5	86

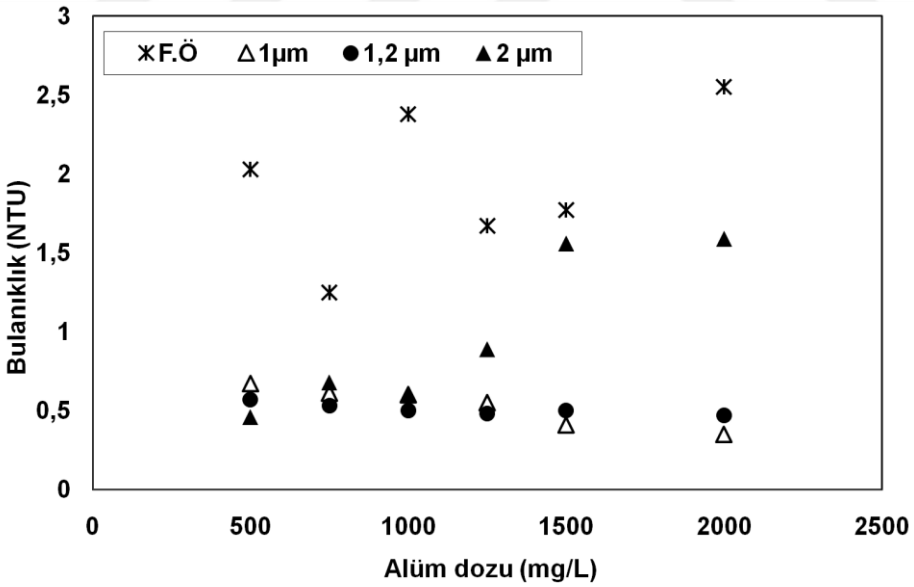
Tablo 13'te görüldüğü gibi 100 kat seyreltilmiş ve 50 mg/L alüm ile çöktürülmüş atıksuyun üstünden alınan numunenin bulanıklığı 103 NTU iken, 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 16 NTU'ya düşürülerek %85 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En az alüm miktarı ile çöktürme sonrasında membran filtrasyon hibrit arıtımında en iyi bulanıklık giderimi 1,2 µm'lik membran filtre ile elde edilmiştir. Alüm miktarı arttıkça (600mg/L dozuna gelene kadar) bulanıklık giderimi de artmıştır. Fakat 600 mg/L'den sonra alüm dozu artmaya devam ettikçe (2000 mg/L) bulanıklık değerinde de artış görülmüştür. Koagülasyon sonrası 750 mg/L alüm dozu ile en iyi çökelme ve en düşük bulanıklık değerine (1,25 NTU) sahip iken, membran filtrasyon sonrası bulanıklık değerlerine bakıldığında (Şekil 38) en düşük bulanıklık değeri 0,35 NTU ile 1 µm gözenek çapına sahip membran filtreden elde edilmiştir. Alüm ile koagülasyon ve membran filtrasyon arıtımı sonucunda, 100 mg/L sonrasında artan alüm miktarı atıksu bulanıklığını gidermede yeterli olduğu için, numune membran filtreden geçtiğinde bulanıklık değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 36. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 50-300 mg/L).



Şekil 37. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 100-600 mg/L).



Şekil 38. Koagülasyon+membran filtrasyon hibrit prosesi arıtımında alüm dozuna göre bulanıklık değişimi (Hamsu: 100 kat seyreltilmiş ve alüm dozu: 500-2000 mg/L).

4.3.2. $FeCl_3$ ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon

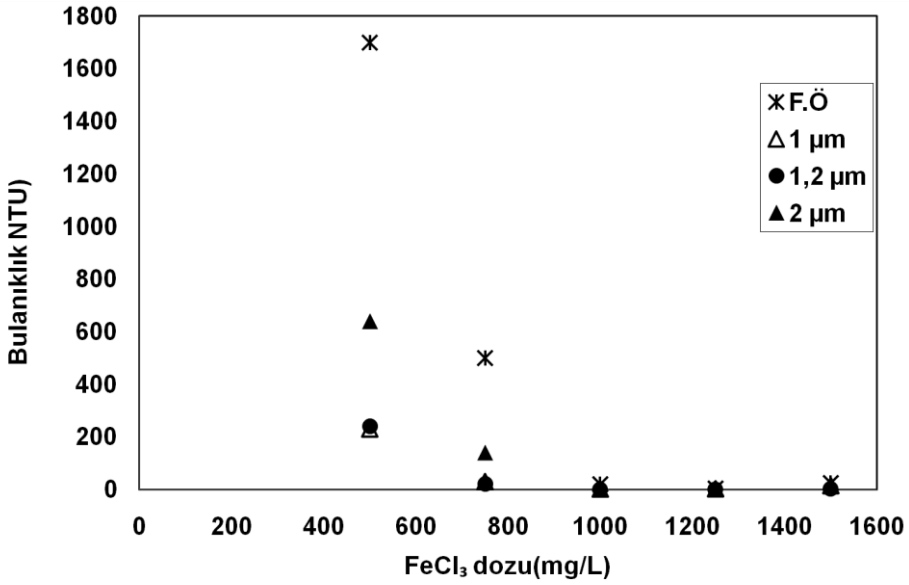
$FeCl_3$ ile bulanıklık gideriminde 20-120, 50-300, 200-700 ve 500-2000 mg/L $FeCl_3$ aralıklarında olmak üzere 4 set kimyasal dozlama yapılmış, 20-120 ve 50-300 mg/L doz aralığında olan beherlerde bulanıklık giderimi görülmemiştir. $FeCl_3$ miktarı 500, 600 ve 700 mg/L olan beherlerde bulanıklık sırasıyla 1570, 945 ve 725 NTU olarak ölçülmüştür. Gözle görülür bir çökelme olmasına rağmen, çıkış bulanıklık değerinin yüksek olması nedeniyle hibrit çalışmalarda bu dozlar kullanılmamıştır. $FeCl_3$ ile çöktürme sonrasında durultulmuş üst sudan numune alınarak membran filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Tablo 14'te $FeCl_3$ ile çöktürme sonundaki ve membran filtrasyon sonrasında ölçülen bulanıklık değerleri verilmiş ve giderim verimleri hesaplanmıştır.

Tablo 14. $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon bulanıklık sonuçları

$FeCl_3$ Dozu (mg/L)	**F.Ö (NTU)**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
		1 µm	**SS**	**1 µm %**	**1,2 µm**	**SS**	**1,2 µm %**	**2 µm**	**SS**	**2 µm %**
500	1690	138,0	130	92	139	144	92	440	283	74
750	490	22,3	11,3	95	11,8	12	98	83,8	79,4	83
1000	27,5	2,9	1,6	89	1,1	0,3	96	4,4	2,8	84
1250	7,4	2,2	0,9	71	0,8	0,4	88	1,7	1,1	77
1500	28,7	8,6	9,0	70	1,7	1,1	94	10,8	0,9	62
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo 14'te de görüldüğü üzere optimum $FeCl_3$ dozu 750 mg/L ile en iyi filtre gözenek çapı 1,2 µm olan membran filtrede gözlenmiştir. Filtre edilmeden önceki bulanıklık değeri 490 NTU iken, membran filtrasyon sonrası bulanıklıklar 1 µm'de 22,3, 1,2 µm'de 11,8 ve 2 µm'de 83,8 NTU olarak ölçülmüş ve sırasıyla %95, %98 ve %83 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. En iyi çökme performansını 1250 mg/L demirklorür içeren atıksu göstermiştir. Bulanıklık 11000 NTU'dan 7,4 NTU'ya kadar düşmüş, yaklaşık %100 verim elde edilmiştir. Üst sudan alınan örnekler 1, 1,2 ve 2 µm membran filtrelerden geçtikten sonra bulanıklıkları sırasıyla 2,15, 0,85 ve 1,70 NTU olarak ölçülmüş, filtrasyon öncesi bulanıklığa göre giderim verimleri sırasıyla

%71, %88, %77 olarak hesaplanmıştır. Tablo 14'ten de anlaşılacağı üzere 1250 mg/L demirklorür miktarının fazlası eklendiğinde bulanıklık yavaş yavaş artmış hatta 2000 mg/L'ye ulaştığında hiç çökelme olmamıştır.

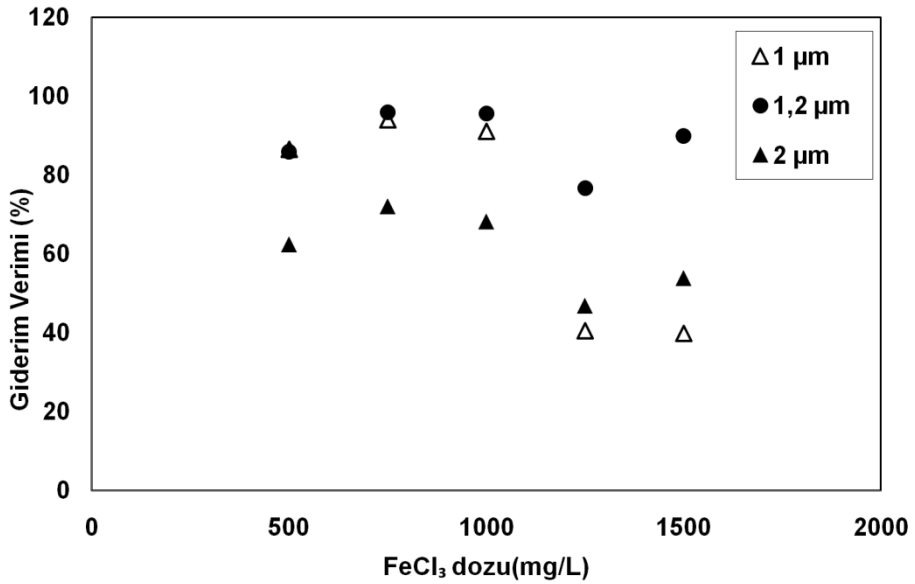


Şekil 39. $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık sonuçları.

Şekil 39'da farklı gözenek çaplı filtrelerden geçirilen üst suların bulanıklık giderim verimleri incelenmiştir. 750 mg/L'den sonra bulanıklık giderimi olmuştur. Filtre sonrası bulanıklık değerleri her ne kadar birbirine yakın görünse de en iyi sonucu demirklorür dozu 1250 mg/L olan atıksuyun üst suyundan örnek alınarak 1,2 µm çaplı filtreden geçirilen numune vermiştir. Bulanıklık 11000 NTU'dan 0,8 NTU'ya düşürülmüş ve ~ %100 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir.

Şekil 40'ta 1250 mg/L demirklorür içeren beherden alınan üst su örnekleri 1, 1,2 ve 2 µm membran filtrelerden geçirilmiş, bulanıklık giderim verimleri sırasıyla %71, %88 ve %77 olarak hesaplanmıştır. 750 mg/L demirklorür dozu içeren atıksu optimum koşul olarak belirlenmiştir. 750 mg/L için membran filtre ile bulanıklık giderim yüzdeleri sırasıyla %95, %98, %83'tür. Şekil 40 incelendiğinde tüm demirklorür dozları için gözenek çapı 1,2 µm olan membran filtre diğer iki farklı çaplı membran filtreye göre daha başarılı bir bulanıklık giderimi sağlamıştır. Optimum dozda tüm membran filtreler için bulanıklık sonuçları deşarj standartlarına uygundur. Gözenek

çapları arasında fark yok gibi görünse de, numunenin 1,2 µm'den geçme süresi ile 2 µm'den geçme süresi arasında fark vardır. Numunenin 2 µm'den daha hızlı geçmesi, daha az enerji tüketimine neden olacağından optimum membran filtre gözenek çapı 2 µm tespit edilmiştir.



Şekil 40. $FeCl_3$ ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri.

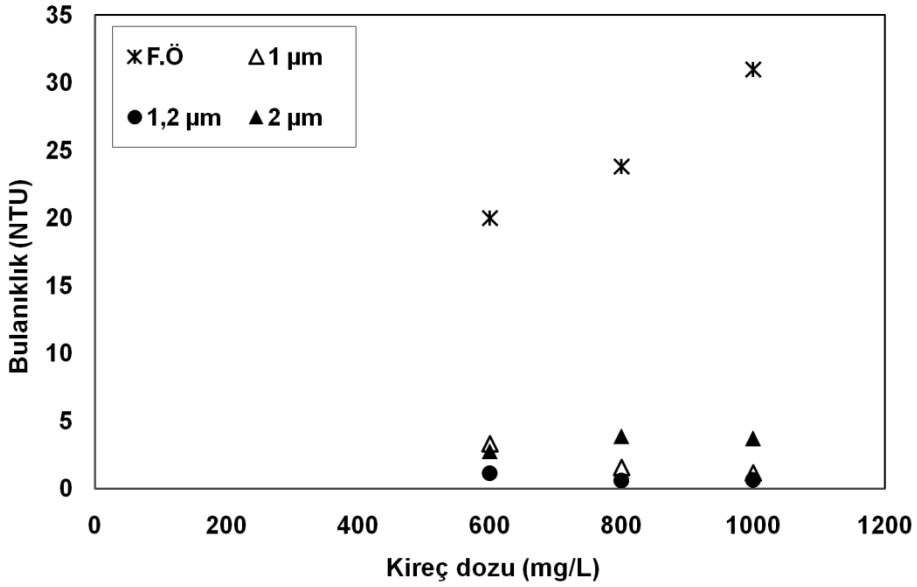
4.3.3. Kalsiyumhidroksit (Kireç) ile Çöktürme ve Membran Filtrasyon

Kireç ile bulanıklık gideriminde 20-120, 50-300, 100-1000, 1200-2200, 2000-12000 mg/L aralığındaki dozlarda 5 set olmak üzere çalışılmıştır. İlk iki sette (20-120 ve 50-300 mg/L) herhangi bir çökelme gözlenmemiştir. Diğer setlerde (100-1000, 1200-2200, 2000-12000 mg/L) çökelme gözlenmiştir. Çöktürme sonrasında durultulmuş sudan alınan numune farklı gözenek çaplı (1µm, 1,2µm, 2 µm) membran filtrelerden geçirilerek bulanıklıkları ölçülmüş, sonuçları Tablo 15'te verilmiştir.

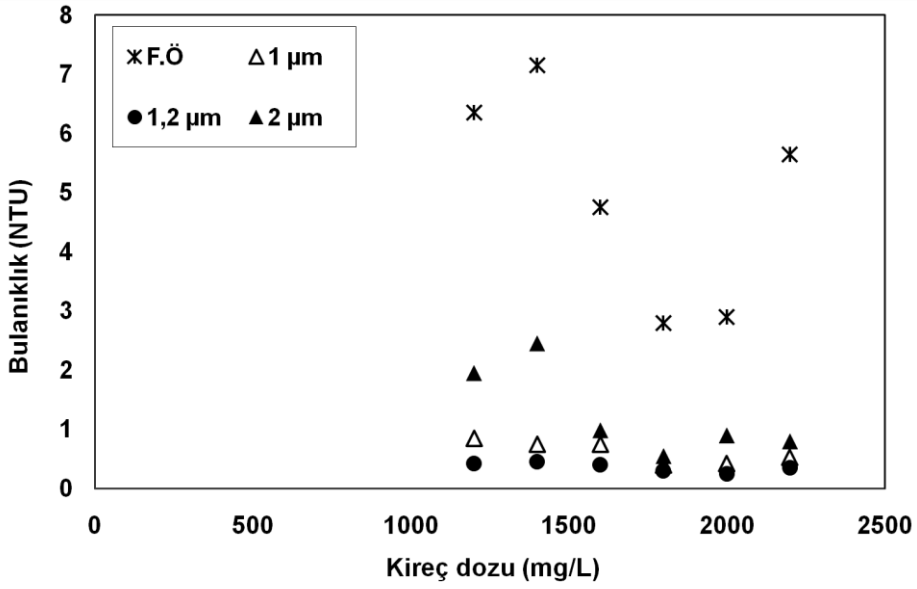
Tablo 15. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon bulanıklık sonuçları

Kireç Dozu (mg/L)	F.Ö (NTU)	F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)								
		1 µm	SS	1 µm %	1,2 µm	SS	1,2 µm %	2 µm	SS	2 µm %
100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600	20	3,3	2,7	79	1,2	0,64	93	2,8	0,49	85
800	23,8	1,6	0,4	94	0,6	0,14	97	3,9	1,34	84
1000	31	1,2	0,3	96	0,7	0,07	98	3,7	1,27	88
Kireç Dozu (mg/L)	**F.Ö (NTU)**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
		1 µm	**SS**	**1 µm %**	**1,2 µm**	**SS**	**1,2 µm %**	**2 µm**	**SS**	**2 µm %**
1200	6,4	0,9	0,1	87	0,4	0,0	93	2,0	0,1	69
1400	7,2	0,8	0,1	89	0,5	0,1	94	2,5	1,5	67
1600	4,8	0,8	0,1	84	0,4	0,1	91	0,1	0,1	79
1800	2,8	0,4	0,1	85	0,3	0,0	89	0,6	0,1	80
2000	2,9	0,4	0,0	84	0,3	0,1	90	0,9	0,4	61
2200	5,7	0,5	0,1	91	0,4	0,2	94	0,8	0,4	86
Kireç Dozu (mg/L)	**F.Ö (NTU)**	**F.S. Bulanıklık Değerleri (NTU) ve Verimler (%)**								
		1 µm	**SS**	**1 µm %**	**1,2 µm**	**SS**	**1,2 µm %**	**2 µm**	**SS**	**2 µm %**
2000	4,0	0,1	0,1	96	0,1	0,1	97	0,2	0,0	95
4000	0,6	0,2	0,2	76	0,1	0,1	86	0,1	0,2	80
6000	2,6	0,2	0,3	95	0,2	0,3	95	0,2	0,3	94
8000	2,1	0,3	0,3	86	0,2	0,2	91	0,1	0,2	94
10000	2,3	0,2	0,2	93	0,1	0,2	96	0,2	0,3	92
12000	3,0	0,4	0,5	92	0,4	0,6	90	0,3	0,3	91

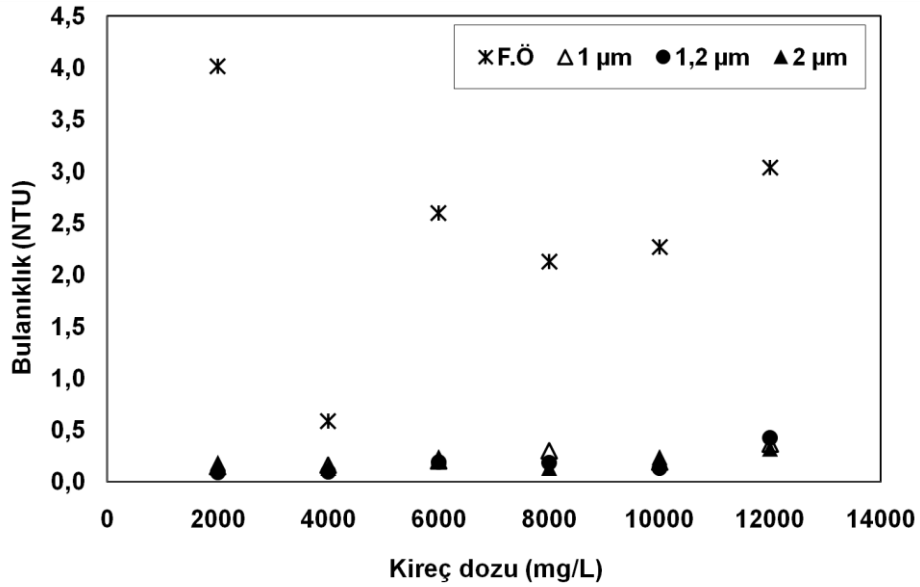
Tablo 15'te görüldüğü gibi ham atıksuya optimum kireç (600 mg/L) ilave edilerek bulanıklık 20 NTU elde edilmiş, çöktürme sonrası üst sudan alınan örnekler membran filtrelerden geçirilmiş ve en iyi membran filtre gözenek çapı 1,2 µm tespit edilmiştir. Optimum koşullarda 1,2 µm ile bulanıklık 20 NTU'dan 1,2 NTU'ya düşürülmüş ve %93 giderim verimi elde edilmiştir.



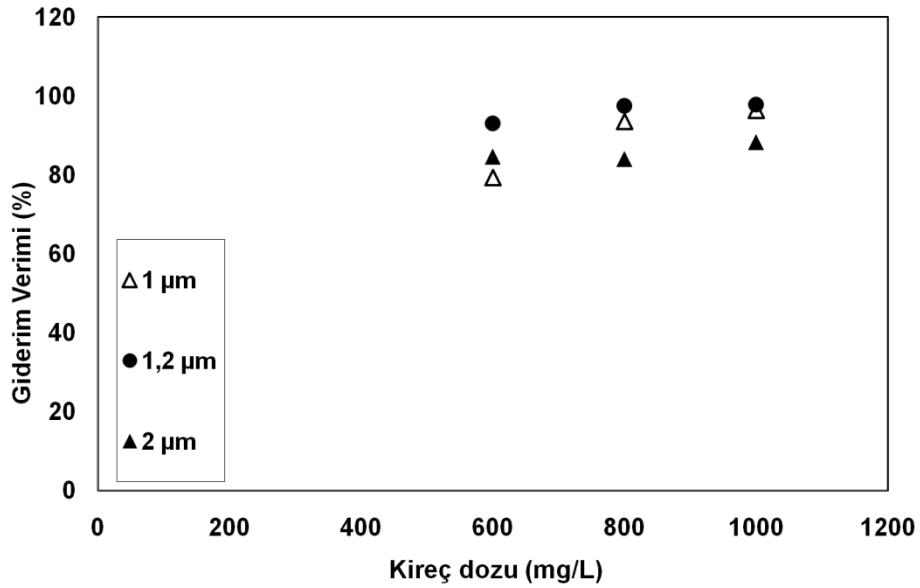
Şekil 41. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (100-1000 mg/L kireç dozu aralığında).



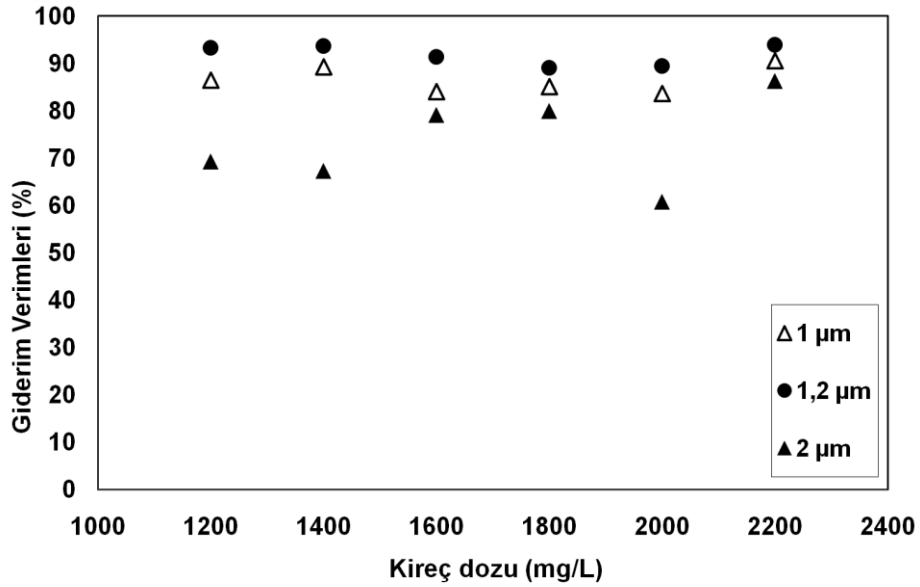
Şekil 42. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (1200-2200 mg/L kireç dozu aralığında).



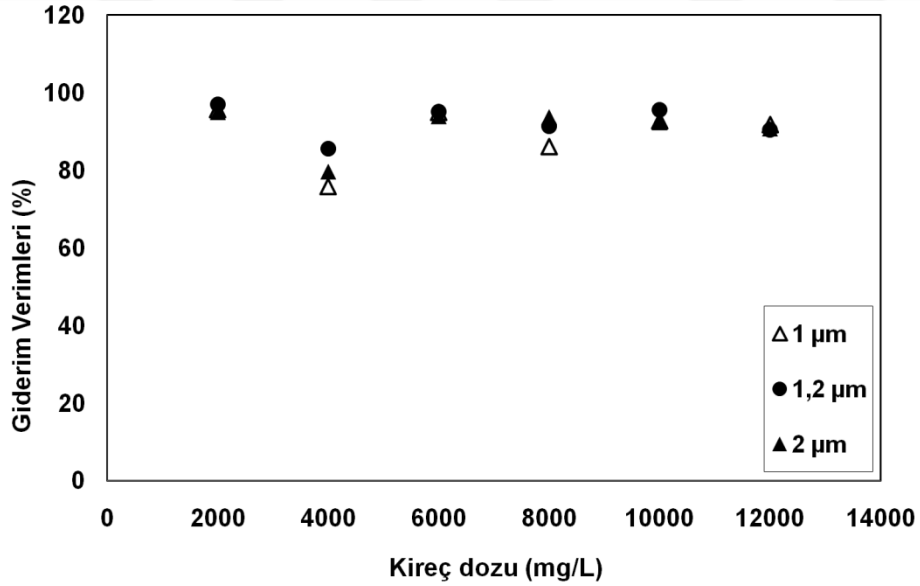
Şekil 43. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık diyagramı (2000-12000 mg/L kireç dozu aralığında).



Şekil 44. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (100-1000 mg/L kireç dozu aralığında).



Şekil 45. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (1200-2200 mg/L kireç dozu aralığında).



Şekil 46. Kireç ile çöktürme ve membran filtrasyon hibrit arıtımı bulanıklık giderim verimleri (2000-12000 mg/L kireç dozu aralığında).

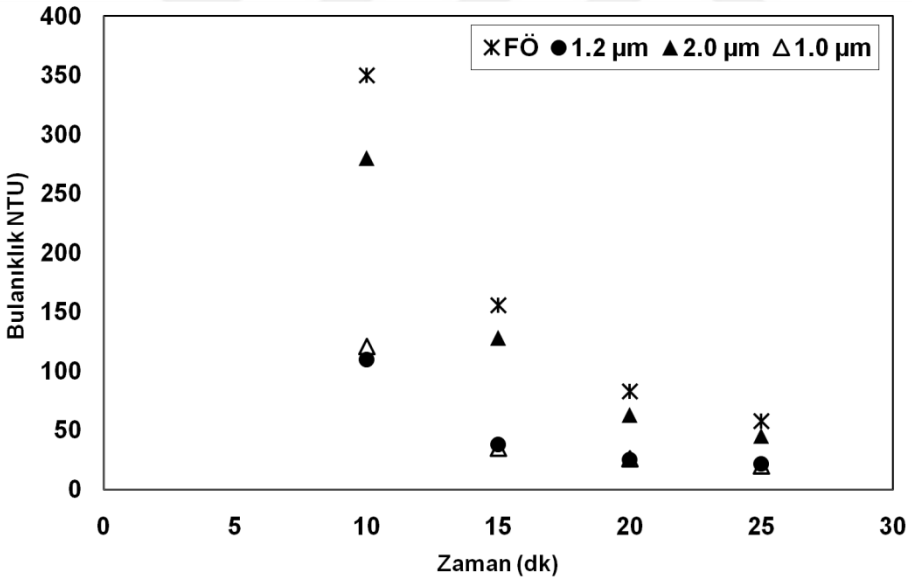
4.3.3. Santrifüj ve Membran Filtrasyon Hibrit Arıtımı

Seramik atıksuyu arıtımında öncelikli olarak ham atıksuya farklı devir ve farklı sürelerde santrifüj uygulanmış ve santrifüjlenmiş atıksuyun üst kısmından alınan örnekler membran filtrasyon işlemine tabi tutulmuştur. Santrifüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı sonuçları Tablo 16'da verilmiştir. Santrifüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı ile bulanıklık gideriminde optimum 3000 rpm, optimum santrifüj süresi 15 dakika olarak tespit edilmiştir. Bulanıklık değeri 155,5 NTU'dan 37,8 NTU'ya düşmüş ve %76 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir. Optimum filtrasyon gözenek çapı 1,2 µm olan membran filtre tespit edilmiştir. Santrifüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı ile bulanıklık gideriminde bizlere en iyi sonucu veren, 4000 rpm'de 25 dakika süre ile 1 µm gözenek çapına sahip olan membran filtre olmuştur. Santrifüj ile bulanıklık değeri 31,1 NTU olan atıksuyun, membran filtrasyon sonrası bulanıklık değeri 13,4 NTU'ya düşerek %58 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir.

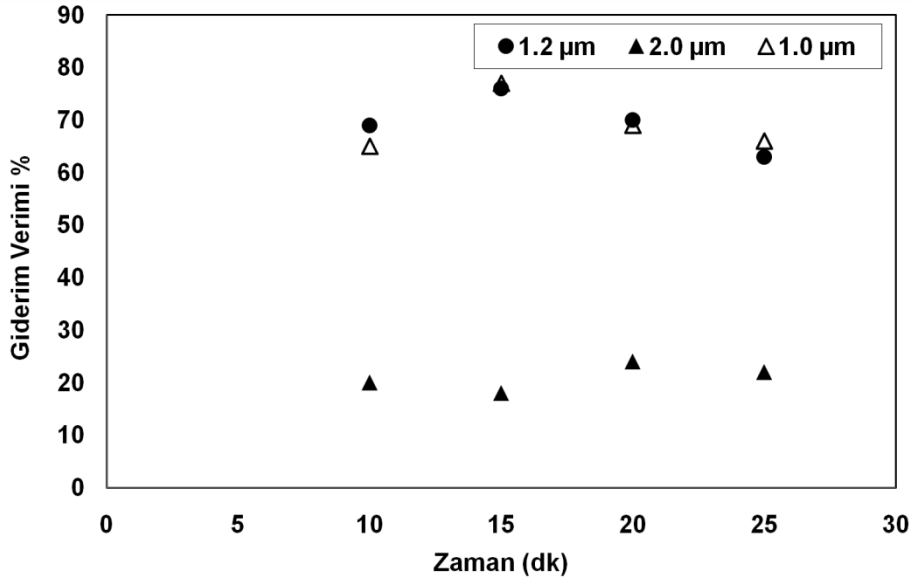
Tablo 16. Santrifüj ve membran filtrasyon hibrit arıtımı

Filtre Cinsi	**Bulanıklık Değeri (NTU)**				**Giderim Verimleri (%)**			
				3000 rpm/dak				
Zaman	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**
F.Ö	350	155,5	83	58				
1.2 µm	110	37,8	25	21,4	69	76	70	63
2.0 µm	280	128	62,8	45,1	20	18	24	22
1.0 µm	121	35	26,1	20	65	77	69	66
				3500 rpm/dak				
Zaman	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**
F.Ö	249	164	60,5	52,9				
1.2 µm	85,1	62,8	30,4	23,7	66	62	50	55
2.0 µm	194	135	48,9	40	22	18	19	24
1.0 µm	85	65	28,3	23,2	66	60	53	56
				4000 rpm/dak				
Zaman	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**	**10 dk**	**15 dk**	**20 dk**	**25 dk**
F.Ö	123	78,1	27,5	31,1				
1.2 µm	45,3	45,3	14,3	17,2	63	42	48	45
2.0 µm	93,8	59,2	23	19,1	24	24	16	39
1.0 µm	48,5	35,3	15,1	13,2	61	55	45	58

Seramik atıksuyuna uygulanan 3000 rpm santrifüj sonrasında üst kısımdan alınan atıksu örneği farklı gözenek çaplı membran filtrelerden geçirilmiş ve grafiği çizilmiştir (Şekil 47). 3000 rpm için optimum süre 15 dakika ve optimum membran filtrasyon çapı 1,2 µm olduğu gözlenmiştir. 15 dakika santrifüjlenen atıksu 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 37,8 NTU ölçülmüş ve filtre öncesindeki bulanıklık değerine (155,5 NTU) göre %76 bulanıklık giderilmiştir (Şekil 47). En iyi bulanıklık giderimi ise, 25 dakika santrifüj uygulanmış atıksuyun 1,0 µm gözenek çapı olan membran filtreden geçirilmesiyle elde edilmiş ve bulanıklık değeri 20 NTU olarak tespit edilmiştir. Böylece filtrasyon öncesindeki bulanıklık değerine (58 NTU) göre %66 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 48).

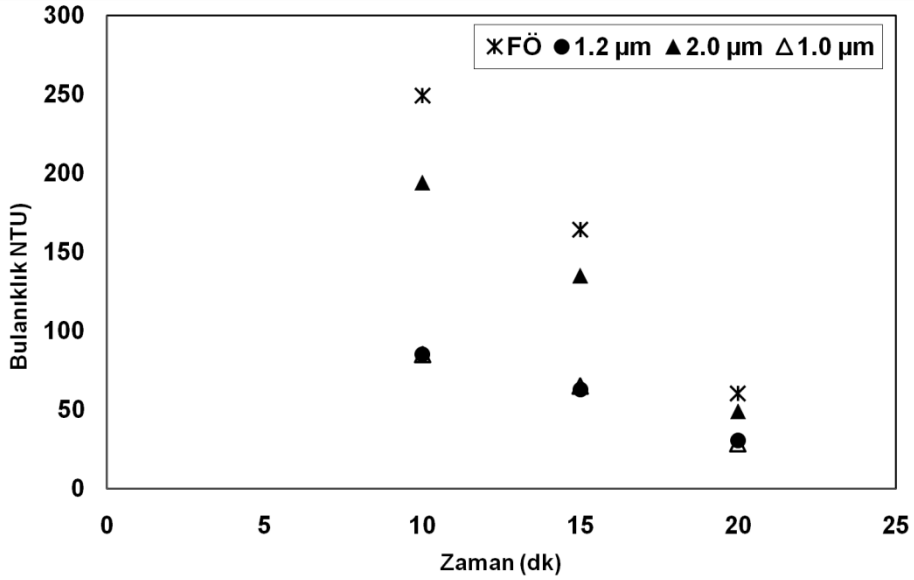


Şekil 47. Santrifüj+membran filtrasyon hibrit arıtım ile santrifüj süresine bağlı bulanıklık değişimi (3000 rpm)

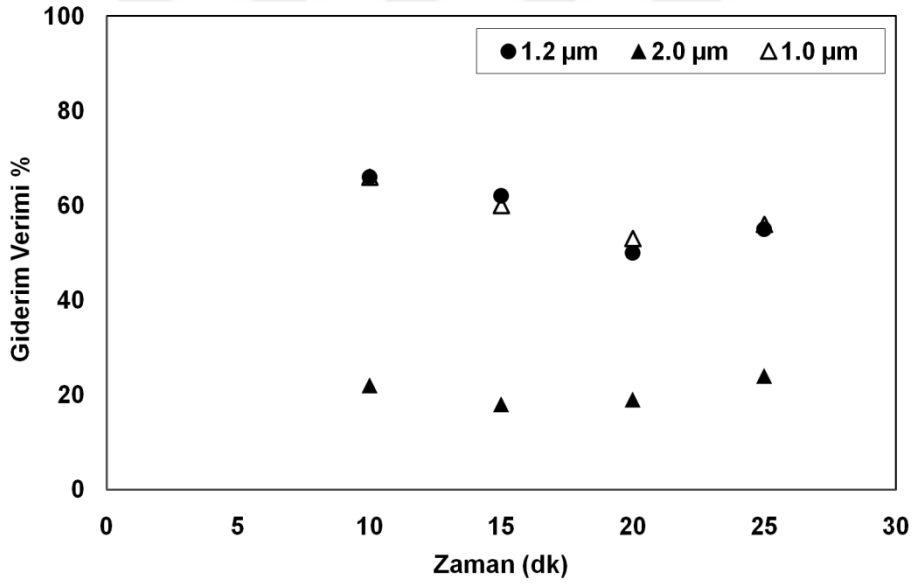


Şekil 48. Santrifüj+membran filtrasyon hibrit arıtım ile santrifüj süresine bağlı bulanıklık giderim verimleri (3000 rpm)

Seramik atıksuyuna uygulanan 3500 rpm santrifüj sonrasında üst kısımdan alınan atıksu örneği farklı gözenek çaplı membran filtrelerden geçirilmiş ve grafiği çizilmiştir (Şekil 49). 3500 rpm için optimum süre 15 dakika ve optimum membran filtrasyon çapı 1,2 µm olduğu gözlenmiştir. 10 dakika santrifüjlenen atıksu 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 85,1 NTU ölçülmüş ve filtre öncesindeki bulanıklık değerine (249 NTU) göre %66 bulanıklık giderilmiştir (Şekil 50). En iyi bulanıklık giderimi ise, 25 dakika santrifüj uygulanmış atıksuyun 1,0 µm gözenek çapı olan membran filtreden geçirilmesiyle elde edilmiş ve bulanıklık değeri 23,2 NTU olarak tespit edilmiştir. Böylece membran filtrasyon öncesindeki bulanıklık değerine (52,9 NTU) göre %56 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 50).



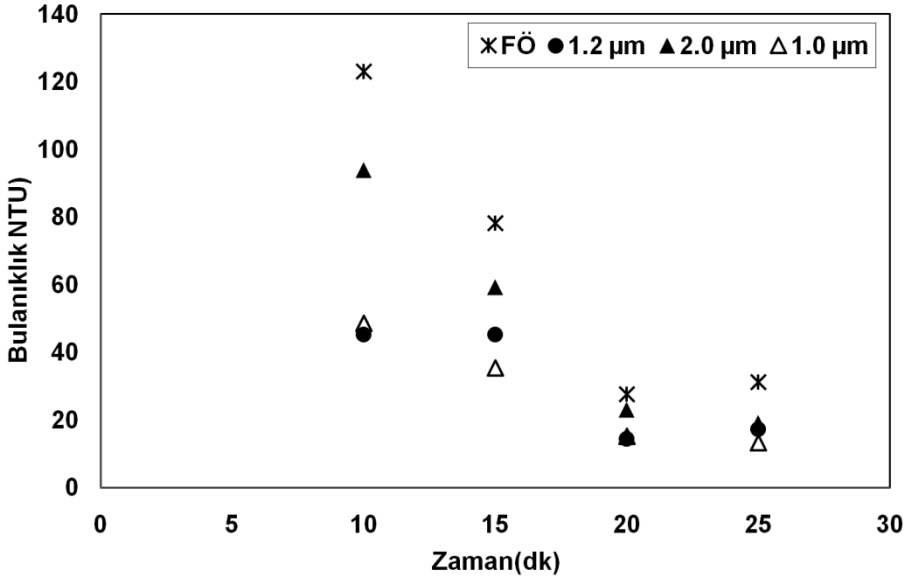
Şekil 49. 3500 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklığa etkisi.



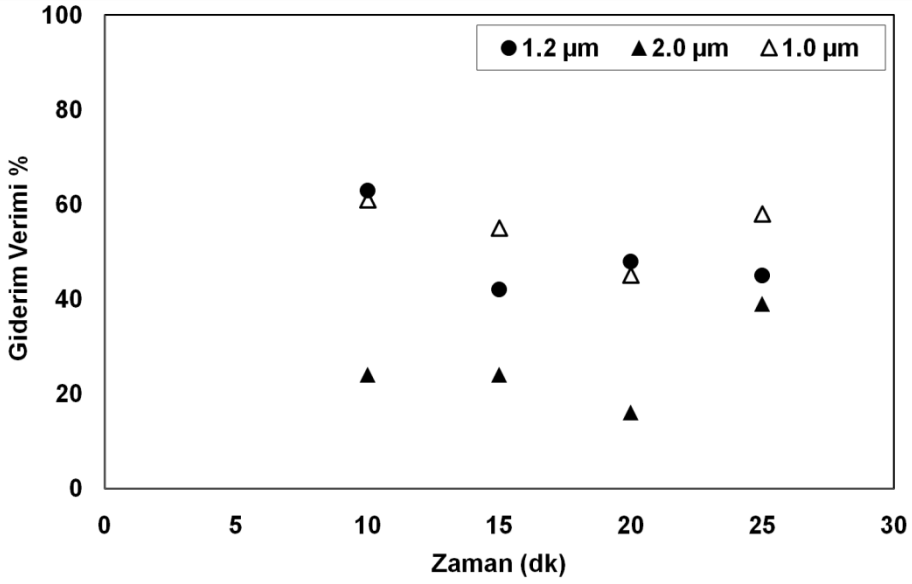
Şekil 50. 3500 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklık giderim verimine etkisi.

Seramik atıksuyuna uygulanan 4000 rpm santrifüj sonrasında üst kısımdan alınan atıksu örneği farklı gözenek çaplı membran filtrelerden geçirilmiş ve grafiği çizilmiştir (Şekil 51). 4000 rpm için optimum süre 10 dakika ve optimum membran filtre çapı 1,2 µm olduğu gözlenmiştir. 10 dakika santrifüjlenen atıksu 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 45,3 NTU ölçülmüş ve filtre öncesindeki bulanıklık değerine (123 NTU) göre %63 bulanıklık

giderilmiştir (Şekil 52). En iyi bulanıklık giderimi ise, 25 dakika santrifüj uygulanmış atıksuyun 1,0 µm gözenek çapı olan membran filtreden geçirilmesiyle elde edilmiş ve bulanıklık değeri 13,2 NTU olarak tespit edilmiştir. Böylece filtrasyon öncesindeki bulanıklık değerine (31,1 NTU) göre %58 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir (Şekil 52).



Şekil 51. 4000 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklığa etkisi.



Şekil 52. 4000 rpm santrifüj sonrası membran filtrasyonun bulanıklık giderim verimine etkisi.

Tablo 17'de KOSB kanal deşarj ve SKKY limitleri (SKKY, 2004) verilmiştir. Bu çalışmada, atıksuyun kimyasal analizi yapılmış, ağır metal konsantrasyonları verilmiştir (Tablo 3). Ağır metallerin ve KOİ miktarının (Tablo 2), KOSB kanala deşarj ve SKKY deşarj limitlerinin altında olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla deney sonuçları yorumlanırken sadece AKM bazında bulanıklık giderimi hesaplanmıştır.

Tablo 17. KOSB kanala deşarj ve SKKY limitleri

Parametre	**KOSB Kanal Deşarj Limiti**	**SKKY Limitleri**
Sıcaklık (˚C)	40	-
pH	6,5-10,0	6-9
AKM (mg/L)	1000	100
KOİ (mg/L)	2500	80
Arsenik (As) (mg/L)	3	-
Toplam kurşun (Pb) (mg/L)	3	1
Toplam kadmiyum (Cd) (mg/L)	1	0,1
Toplam krom (Cr) (mg/L)	3	-
Toplam nikel (Ni) (mg/L)	5	-
Toplam çinko (Zn) (mg/L)	10	3
Toplam alüminyum (Al) (mg/L)	15	-
Toplam demir (Fe) (mg/L)	20	-

5. BÖLÜM
SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kimyasal çöktürme (alüm, demirklorür, kireç), santrifüj ve bu yöntemlerin membran filtrasyon prosesi (1μm, 1,2 μm, 2 μm) ile hibrit kullanımı sonucunda seramik atıksuyundaki ince partiküllerin giderilmesi çalışılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Yapılan ön çalışmalarda, ham atıksuyun 20-4500 mg/L aralığında alüm eklenmesi durumunda kimyasal çöktürmenin etkisi tespit edilememiştir. Bundan dolayı, ham atıksu numunesi 50 ve 100 kat olmak üzere seyreltilmiştir. 50 kat seyreltilmiş atıksuya doğal pH'da (7-8) 700 mg/L alüm dozlandığında bulanıklık değeri 355 NTU'dan 1,7 NTU'ya kadar düşmüş ve %99,5 bulanıklık giderimi sağlanmıştır Optimum alüm (300 mg/L) dozunda bulanıklık değeri 60 NTU tespit edilmiş ve %83 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.

- 100 kat seyreltilmiş atıksuda doğal pH'da (7-8) en iyi bulanıklık giderimi 750 mg/L alüm dozunda gerçekleşmiştir. Atıksuya 750 mg/L alüm dozlandığında bulanıklık değeri 128 NTU'dan 1,3 NTU'ya kadar düşürülmüş ve %99 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Optimum alüm dozlandığında (100-200 mg/L) bulanıklık değeri ~70 NTU tespit edilmiş ve %45 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.

- Demirklorür ile koagülasyonda düşük pH'da (5,3) en iyi çökelme 1250 mg/L dozunda gerçekleşmiştir. Seramik atıksuyunun demirklorür ile çökelebilmesi için optimum pH aralığı 3,5-6,9'dur. Ham atıksuya 1250 mg/L demirklorür dozlandığında bulanıklık değeri 11000 NTU'dan 7,4 NTU'ya düşürülmüş ve ~%100 bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Optimum demirklorür dozu 1000

mg/L'dir. Atıksuya 1000 mg/L demirklorür eklendiğinde bulanıklık 27,6 NTU tespit edilmiş ve %99,7 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.

- Seramik atıksuyuna doğrudan kireç ilavesinde en iyi çökelme 4000 mg/L dozunda tespit edilmiştir. Bulanıklık değeri 11000 NTU'dan 0,6 NTU'ya düşmüştür. Neredeyse %100 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Kirecin atıksuya eklenmesiyle pH 8'den 12,6'ya yükselmiştir. Kireç ile koagülasyonda optimum pH aralığı 11,6-13 aralığındadır. Kireç yüksek pH'da etki etmektedir. Kireç ile koagülasyonda optimum koagülant miktarı 600 mg/L'dir ve bulanıklık değeri 20 NTU tespit edilmiştir. Optimum dozda pH değeri 11,6 ve %99,8 bulanıklık giderimi gözlenmiştir.

- Optimum koagülant dozu seçilirken, deşarj kriterlerine uygunluğu ve ekonomik olması esas alınmıştır.

- Santrifüj ile bulanıklık gideriminde doğal pH'da (7,5) ham atıksuda optimum koşullar 3000 rpm ve 20 dk olarak tespit edilmiştir. Bu koşullarda, bulanıklık 11000 NTU'dan 83 NTU'ya düşürülmüş ve yaklaşık %99,2 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En iyi bulanıklık giderimi 4000 rpm'de 25 dk boyunca uygulanan santrifüj işleminde gözlenmiştir ve bulanıklık 6,46 NTU'ya düşerek ~% 100 verim elde edilmiştir.

- Bulanıklık gideriminde pH'nın kimyasal çöktürmeye etkisi araştırılmış ve optimum pH aralığı 11,6-13 olarak tespit edilmiştir. pH 12' nin üzerinde iken bulanıklık giderimi sağlanmıştır. pH 12,6 iken bulanıklık değeri 11000 NTU'dan 7,2 NTU'ya düşürülerek %99,9 giderim verimi elde edilmiştir. Dolayısıyla seramik atıksuyunun çöktürülmesi için pH'nın yüksek değerlerde olması gerekmektedir.

- Alüm ile hibrit arıtımda, 50 kat seyreltilmiş ve 20 mg/L alüm ile çöktürülmüş atıksuyun üstünden alınan numunenin bulanıklığı 251 NTU iken, 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 46 NTU'ya düşürülerek %82 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En az alüm miktarı ile çöktürme sonrasında membran filtrasyon hibrit arıtımında en iyi bulanıklık giderimi 1,2 µm'lik membran filtre ile elde edilmiştir.

- Alüm ile hibrit arıtımda, 100 kat seyreltilmiş ve 50 mg/L alüm ile çöktürülmüş atıksuyun üstünden alınan numunenin bulanıklığı 103 NTU iken, 1,2 µm gözenek çapına sahip membran filtreden geçtikten sonra bulanıklık değeri 16 NTU'ya düşürülerek %85 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En az alüm miktarı ile çöktürme sonrasında membran filtrasyon hibrit arıtımında en iyi bulanıklık giderimi 1,2 µm'lik membran filtre ile elde edilmiştir.

- $FeCl_3$ ile hibrit arıtımda, optimum $FeCl_3$ (750 mg/L) dozu kullanılarak yapılan membran filtrasyon sonucunda, hem deşarj standardına uygunluğu hem de enerji tasarrufu sağlaması açısından optimum membran filtre gözenek çapı 2 µm tespit edilmiştir.

- Santrifüj sonrası membran filtrasyonda, atıksuyun optimum devir ve dakikada (3000 rpm, 15 dk) santrifüjlenmesiyle elde edilen üst su membran filtrasyona tabi tutulmuş, optimum membran filtre gözenek çapı olarak 1,2 µm gözlenmiştir. Santrifüj sonrası bulanıklık değeri 155,5 NTU iken 1,2 µm çaplı membran filtreden geçtikten sonraki bulanıklık değeri 37,8 NTU tespit edilmiş ve %76 verim elde edilmiştir.

- Bu çalışmada farklı koagülantların tek başına kullanımı ile seramik atıksularından AKM bazında bulanıklık giderimi sağlandığı görülmüştür. 3 farklı koagülant arasında $FeCl_3$ ve alüme göre daha ucuz ve kolay bulunabilir olması sebebiyle seramik atıksuyundan bulanıklık gideriminde 'kireç' tercih edilebilir. Ayrıca daha hızlı çökelmesini sağlamak amacıyla koagülant sonrasında farklı flokülantlar da kullanılabilir.

- Kimyasal çöktürme sonrasında membran filtrasyon ile daha fazla bulanıklık giderilerek verim artmış ve tesisin üretim prosesinde yeniden kullanıma hazır hale getirilmiştir.

- Santrifüj yöntemiyle bulanıklık gideriminde başarılı olunmuştur. Bu yöntem ile benzer endüstrilerin atıksuyundan bulanıklık ve AKM giderimi çalışmaları yapılabilir. Bundan sonraki seramik atıksuyunun arıtılması çalışmalarında elektrokoagülasyon yöntemiyle AKM giderim verimleri araştırılabilir.

KAYNAKÇA

Adhoum, N., Monser, L., Bellakhal, N., Belgaied, J. E. 2004. Treatment of electroplating wastewater containing Cu^{+2}, Zn^{+2} and Cr^{+6} by electrocoagulation, **Journal of Hazardous Materials, 112**, 207-213.

Adıbelli, G. 2015. Anadolu uygarlıkları seramik desenlerinin tasarım olarak incelenmesi, İstanbul Arel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Grafik Tasarım Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, syf. 18.

Aktaş, E., Imre, S., Ersoy, L. 2001. Characterization and lime treatment of olive oil mill wastewater, **Water Research, 35**(9), 2336-2340.

Alptekin, A., M. 2006. Doğal taş atıksularının flokülasyon/koagülasyon yöntemiyle arıtılması, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, syf. 93.

Arcasoy, A. 1983. Seramik teknolojisi, Marmara Üniversitesi Yayın No:457, Güzel Sanatlar Fakültesi Yayın No:2, İstanbul 1983.

Arslan, E.I., Aslan, S., Ubeyde, İ., Altun, S., Yazicioğlu, S. 2005. Physico-chemical treatment of marble processing wastewater and the recycling of its sludge. **Waste Management Research, 23**(6), 550-559.

Arslan, E.I., Aslan, S., Topal, M. 2010. Karo endüstrisi atıksularının fizikokimyasal arıtılabilirliği, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 26**(1), 50-56.

Arslan, T. 2008. Kompleks olarak bağlı ağır metal içerikli atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, syf. 45.

Atılgan, M. 2006. Vitrifiye ürünlerin endüstride gerçekleştirilme süreçleri ve kişisel öneri, Marmara Üniversitesi, Seramik Sanatı-Türkiye Endüstriyel Tasarım Ana Sanat Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, syf. 26.

Bayraktar, I., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z. Can, M. 1999. Temel Seramik ve Cam Hammaddelerimizdeki (Feldispat, Kuvars ve Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri, 3. Endüstriyel Hammadde Sempozyumu, 14-15 Ekim, İzmir, 22-33.

Bettazzi E., Morelli M., Caffaz S., Caretti C., Azzari E., Lubello C. 2006. Olive mill wastewater treatment: an experimental study, **Water Science&Technology, 54**(8), 17-25.

Beyazyüz, P. 2010. Traverten işleme tesis atıksularındaki bulanıklığın fizikokimyasal yöntemlerle giderilmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, syf. 80.

Bozkurt, S., Ödemiş, B., 2007. Geri Dönüşüm Sularının Damla Sulamada Kullanım Olanakları. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, İzmir, 777-780.

Büyükkamacı, N. 2009. Su Yönetiminin Etkin Bileşeni: Yeniden kullanım. İzmir Kent Sorunları Sempozyumu, 8-10 Ocak, 363 -377

Büyükkamacı, N., Onbaşı A.N. 2007. Endüstriyel atıksuların yeniden kullanımının değerlendirilmesi: Entegre et tesisi atıksuları, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, İzmir, 502-510.

Chang, H.M.J. Kao, 2007. An innovative nanofluid manufacturing system, **Journal of the Chinese Society of Mechanical Engineers, 28**(2), 187-194.

Ching, H.W., Tanaka, T. S., Elimelech, M. 1994. Dynamics of coagulation of kaolin particles with ferric chloride, **Water Research, 28**(3), 559-569.

Demirci, Ş., Erdoğan, B., Özcimder, R. 1998. Wastewater treatment at the petroleum refinery, Turkey Using Some Coagulants and Turkısh Clays as Coagulant Aids, **Water Research, 32**(11), 3495-3499.

Deniz, V., Umucu, Y. 2014. Flocculation of fine particles in ceramic wastewater by using polymers, **Journal of the Polish Mineral Engineering Society, 15**(2), 55-60.

Dinçer, A.R., Kargı, F. 2000. Seramik Endüstrisi Atıksularının Özellikleri ve Biyolojik Arıtılabilirliği, **Çevre Bilim&Teknoloji, 1**(1), 24-28.

Domopoulou, A.E., Gudulas, K.H., Papastergiadis, E.S., Karayannis, V.G. 2015. Coagulation/Flocculation/Sedimentation Applied to Marble Processing Wastewater Treatment, **Modern Applied Science, 9** (6), 137-144.

Dudnik, V. 2013. Talkın farklı yağlar ile flokülasyonu, Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, syf. 58.

Ehteshami, M., Maghsoodi, S., Yaghoobnia, E. 2015. Optimum turbidity removal by coagulation/flocculation methods from wastewaters of natural stone

processing, **Journal Desalination and Water Treatment, 57** (44), 20749-20757.

Erman, D.O. 2012. Türk Seramik Sanatının Gelişimi: Toprağın Ateşle Dansı, Acta Turcıca Online Thematic Journal of Tukıe Studies: **Kültürümüzde Toprak, 1**, 18-33.

Ersoy, B., Alptekin, A.M., Sanışık, A., Gürcan, S. 2005. Doğal Taş İşleme Tesisi Atık Sularından Bulanıklığın Giderilmesine Farklı Yöntemlerin ve Farklı Koagülantların Etkisi, Madencilik ve Çevre Sempozyumu, Ankara, 5-6 Mayıs 2005, 117-125.

Eyvit Seramik Sanayi ve Ticaret LTD. ŞTİ., Organize Sanayi Bölgesi, 34. Cad. No:2 Kayseri.

Fahiminia, M., Ardani, R., Hashemi, S., Alizadeh, M. 2013. Wastewater Treatment of Stone Cutting Industries by Coagulation Process, **Arch Hyg Sci, 2**(1), 16-22.

Friedler, E., 2000. Water reuse – An Integral Part of Water Resources Management: Israel As A Case Study. **Water Policy, 3**, 29-39.

Gamila, H.A., Naglaa, F.A. 1999. Estimation of the Hazard Concentration of Industrial Wastewaters Using Algal Bioassay, **Bulletin of Contamination and Toxicology, 63**, 407-414.

Hasçakır, B., Dölgen, D. 2005. Oluklu Mukavva Endüstrisi Boya-Baskı İşlemlerinden Kaynaklanan Atıksuların Kimyasal Arıtımı, In: 6, Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi, Ulusal Çevre Politikaları ve Temiz Üretim, İstanbul,24 Kasım 2005, 248-255.

Hasçakır, B., Dölgen, D. 2008. Kil Minerallerinin Atık Su Arıtımında Kullanılabilirliği: Kaolinit ile Organik Madde Giderimi, Çev-Kor Ekoloji Dergisi, 17(66), 47-54.

Holt, P., Barton, G.W., Mitchell, C.A. 2001. Deciphering the science behind electrocoagulation to remove suspended clay particles from water, Water Science and Technology, 50, 177–184.

http://www.tdk.gov.tr/index.php?option=com_gts&arama=gts&guid=TDK.GTS.5c3705e13b7b90.55113704 (Aralık 2018)

İsrail İ., L., Köseoğlu K., Cengizler, H. 2014. seramik fabrikası masse sır atık çamurunun çöktürme yöntemiyle arıtımı, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım Ve Teknoloji, 2** (4), 315-321.

Johnson, S.B., Franks, G.V., Scales, P.J., Boger, D.V., Healy, T.W. 2000. Surface chemistry-rheology relationships in concentrated mineral suspensions, **International Journal of Mineral Processing, 58**, 267-304.

Kaya, V:S. 2010. Saniter seramik sektöründe kullanılan refrakter malzemelerin geliştirilmesi, Dokuz Eylül Ünversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, syf. 66.

Kestioğlu, K. 2001. Endüstriyel atksu arıtma tesisi boyutlandırma kriterleri, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, Yayın no: 174.

Kingery, W.D., Bowen, H.K., Uhlmann, D.R. 1976. Introduction to ceramics, Wiley Series on the Science and Technology of Materials, 2. Edition.

Kobya, M., Demirbaş, E., Can, O.T., Bayramoğlu, M. 2006. Treatment of levafix orange textile dye solution by electrocoagulation, **Journal of Hazardous Materials, 132**, 183-188.

Köktürk, U. 1997. Endüstriyel Hammaddeler. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No:205, İzmir 1997, 3.

Kutluay, G. 2005. Boya endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, syf. 144.

Küçükerman, Ö. 1987. Dünya Saraylarının Prestij Teknolojisi Ve Yıldız Çini Fabrikası, Sümerbank Yayınları, İstanbul, 1987, syf. 20.

Lai, W.Y., Phelan, P.E., Vinod, S., Prasher, R.L. 2008. Convective heat transfer for water-based alumina nanofluids in a single 1.02-mm tube, in 2008 11th Ieee Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, 1(3), 970-978.

Sousteil, L. 2000. Osmanlı Seramiklerinin Görkemi 16.-19. yüzyıl. Suna İnan Kıraç ve Sadberk Hanım Müzesi Kolleksiyonlarından, AKMED Yayınları, İstanbul 2000, syf. 23.

Li, X., Zhu, D., Wang, X. 2007. Evaluation on dispersion behavior of the aqueous copper nano-suspensions, **Journal of Colloid and Interface Science, 310** (2), 456-463.

Li, H., Zhang, Y.L. 2013. Research on PFS Coagulating Treating the Ceramic Wastewater, Ham'han Normal University, Department of Chemistry, 1511-1514.

Lolos G., Skordilis A., Parissakis G. 1994. Polluting characteristics and lime precipitation of olive mill wastewater, **Journal of Environmental Science and Health, 29**, 1349-1356.

Metcalf and Eddy, 2004. Wastewater engineering treatment and reuse, McGraw Hill, New York, 1820p.

Mihail, M. 1972. Researches on Removal of Colloidal Matter From Waste Produced in Sanitary Porcelain Ware and Ceramic Industry, **Water Research Pergamon Pres (6)**, 951-958.

Moghadassı, A.R., Masoud Hosseını, S., Henneke, D., Elkamel, A. 2009. A Model Of Nanofluıds Effectıve Thermal Conductıvıty Based On Dımensıonless Groups, **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 96**, 81-84,

Mpofu, P., Addai-Mensah, J., Ralston, J., 2004. Investigation of the effect of polymer structure type on flocculation, rheology and dewatering behaviour of kaolinite dispersions, **International Journal of Mineral Processing, 17**, 411-423.

Mpofu, P., Addai-Mensah, J., and Ralston, John., 2005, Interfacial chemistry, particle interactions and improved dewatering behaviour of smectite clay dispersions, **International Journal of Mineral Processing, 75**, 3-4.

Mutlu, H.S. 2007. Zamanın çarkında Anadolu'da seramik,İnönü Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, **Anadolu Sanat Dergisi, 18**, 71-75.

Nasserdine, K., Mimi, Z., Bevan, B., Elian, B. 2009. Environmental Management Of The Stone Cutting Industry, **Journal of Environmental Management, 90 (1**), 466-470.

Nourouzi, M.M., Chuah, T.G., Choong, T.S. 2010. Optimization Of Flocculation Process For Cut-Stone Wastewater Effect Of Rapid Mix Parameters, **Desalination and Water Treatment, 22** (1-3), 127-132.

Oğul, K., 2005, Mermer ince atıklarının koagülasyonu ve flokülasyonu, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, Eskişehir, syf. 92.

Oktav, E., Ç. Çatalkaya, E., Şengül F. 2003. Zeytinyağı endüstrisi atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtımı, DEÜ Mühendislik Fakültesi, **Fen ve Mühendislik Dergisi, 5**(3), 11-21.

Oktav, E., Şengül, F. 2000. Zeytinyağı Üretimi Atıksularının Arıtılabilirliği Üzerine Bir Çalışma, İTÜ 7. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu-2000 Bildiriler Kitabı, İstanbul, 51-58.

Oktav, E., Şengül, F. 2003. Zeytinyağı üretimi atıksularının distilasyon yöntemiyle arıtımı, **SKKD, 13**(3), 8- 17.

Önder, S. 2011. Seramik cam birlikteliğinin araştırılması ve uygulanması, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Seramik Anasanat Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 3

Öney, G., Çobanlı, Z. 2007. Anadolu'da türk devri çini ve seramik sanatı, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Yayınları, İstanbul 2007, syf. 203.

Öztürk, İ., Timur, H., Koşkan, U. 2005. Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, syf. 459.

Pala, İ. 2010. Osmanlı dönemi'nde saray mutfağında kullanılan pişmiş toprak sunum kaplarının form özellikleri, Dokuz Eylül Üniversitesi, Güzel Sanatlar Enstitüsü, Geleneksel Türk El Sanatları Anasanat Dalı Sanatta Yeterlik Tezi, İzmir, 2010, syf. 196.

Pierre, A.C., Ma, K. 1997. Sedimaniaiion behaviour of kaolinite and montmoriilonite mixed with iron additives, as a function of their zeta potential**, Journal Of Materiah Science. 32**, 2937-2947.

Poon, C.S., Chu, C.W. 1999. The use of ferric chloride and anionic polymer in the chemically assisted primary sedimentation process, Chemosphere. 39,10: 1573-1582.

Rodrigues, R.T., Rubio, J. 2007. DAF–dissolved air flotation: Potential applications in the mining and mineral processing industry, **International Journal of Mineral Processing, 82** (1), 1-13.

Sabah E., Cengiz I. 2004. An evaluation procedure for flocculation of coal preparation plant tailings, **Water Research, 38,** 1542-1549.

Seramik Tanıtım Komitesi, Türkiye'de Seramik: Toprakla Ateşin Öyküsü, Grup 7 İletişim Hizmetleri, İstanbul 2003, syf. 6.

Solak, M., Kılıç, M. 2007. Elektrokoagülasyon prosesi ile mermer atıksularının arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, syf. 46.

Sözen, M., Tanyeli, U. 1986. Sanat kavram ve terimleri sözlüğü: Resim-heykel-mimarlık, geleneksel Türk sanatları, uygulamalı sanatlar ve genel sanat kavramları, Remzi Kitabevi, Büyük Fikir Kitapları Dizisi (71), syf. 291.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY), Resmi Gazete, Tarih: 31.12.2004, No: 25687, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Şahin, F., Namlı, L. 2018. Nanoakışkanlarda Kararlılığın Isı Transferini İyileştirme Açısından Önemi, **Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7**(2), 880-898.

Şahin, Ü., Elmaslar, E., Tüfekçi, N., Bayat, C. 2004, Seramik Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Arıtılabilirliği, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 34320, Avcılar, İstanbul, 356-359.

Şener, A.G. 2013. Zeolit süspansiyonunun farklı değerlikli katyonlara sahip inorganik tuzlar ile koagülasyonu, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya, syf. 58.

Tombacz, E. ve Szekeres, M. 2006. Surface Charge Heterogeneity of Kaolinite in Aqueous Suspension in Comparison with Montmorillonite. **Appl. Clay Sci. 34**, 105-124.

Turner, A. ve Millward, G.E. 2002. Suspended particles: Their role in estuarine biogeochemical cycles. Estuarine, **Coastal and Shelf Science 55**, 857–883.

Türkel, E. 2008. Bilgisayar destekli tasarım programlarıyla seramik ürünlerin modellenmesi ve bir pisuar uygulaması, Dokuz Eylül Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü Seramik Anasanat Dalı Sanatta Yeterlik Tezi, İzmir 2008, syf. 75.

Ural, M. Acartürk Akyurtlaklı, B. 2017. Deformations encountered in vitrified ceramic production process and the factors that cause occurrenceo deformation, **Journal of Current Researches on Social Sciences, 7**(1), 323-334.

Urkiaga, A., De Las Fuentes, L., Bis, B., Chiru, E., Balasz, B. ve Hernandez, F. 2006. Development of analysis tools for social, Econumic and Ecological Effects of Water Reuse, **Desalination, 218** (2008), 81-91.

Usefi, S., Asadi-Ghalhari, M. 2019. Optimization of turbidity removal by coagulation and flocculation process from synthetic stone cutting wastewater, **International Journal of Energy and Water Resources, 3** (1), 33-41.

Ünsal, H., Kılıç, A., Polat, Ş., Tabak, Y., K. Vatansever, B. 2016. Su Bazlı Si3N4 Süspansiyonlarda Dispersan Miktarının Optimizasyonu, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31**(2), 27-32.

Üstün, G.E., Solmaz, S.K.A, Kestioğlu, K. 2004. Organize sanayi bölgelerinde atıksu arıtımı, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 9-1

Vandsburger, L. 2009. Synthesis and covalent surface modification of carbon nanotubes for preparation of stabilized nanofluid suspensions, in Departman of Chemical Enggineering, McGill University.

Weı, Y., Huaqıng, X., 2012. A Review on Nanofluids: Preparation, Stability Mechanisms, and Applications, **Journal of Nanomaterials,** 1-17.

Yariv, S. ve Cross, H. 1979. Geochemistry of Colloid Systems For Earth Scientists, Springer, Berlin, July 2009, 117(4), pp. 450.

Yıldız, Ş. Yılmaz, E. Ölmez, E. 2009. Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu, İstanbul, 3.

Yılmazer, Y. 2008. Alçı şekillendirme (1.Baskı). İstanbul: Ada Pazarlama Reklam Turizm San. Tic. A.Ş.

Zaman, A.A., Tsuchiya, R. ve Moudgil, B.M., 2002. Adsorption of Low-Molecular-Weight Polyacrylic Acid on Silica, Alumina, and Kaolin, **Journal of Colloid and Interface Science, 256**, 73-78.

Zhang, P., Chen, L.F., Zhang, Q., Wang, S., Xıe, Q., Chen, N. 2016. SS and COD Removal in Artificial Stone Wastewater Using Coagulation Process, 2nd International Conference on Sustainable Development (ICSD 2016), **Advances in Engineering Research, 94,** 272-275.

Zouari, N. 1998. Olive oil mill effluent by physical and chemical treatment prior to anaerobic digestion, **J. Chemical Technology Biotechnology, 73**, 297-303.

EK A

SKKY SERAMİK ATIKSUYU DEŞARJ LİMİTİ

Tablo A1. Sektör: Maden Sanayii (Seramik ve Topraktan Çanak-Çömlek Yapımı ve Benzerleri)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	80	-
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/L)	100	-
KURŞUN (Pb)	(mg/L)	1	-
KADMİYUM (Cd)	(mg/L)	0.1	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/L)	3	-
Ph	-	6-9	6-9

Size Statistics Report by Intensity

v2.0

Malvern

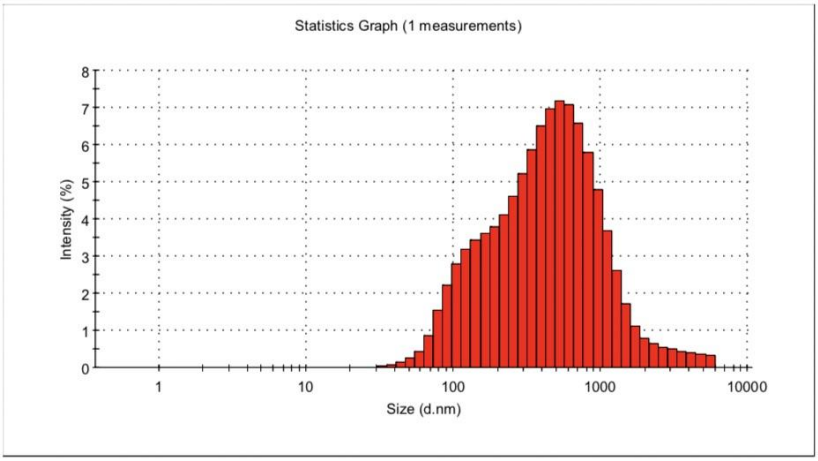
Malvern Instruments Ltd - © Copyright 2008

Sample Details

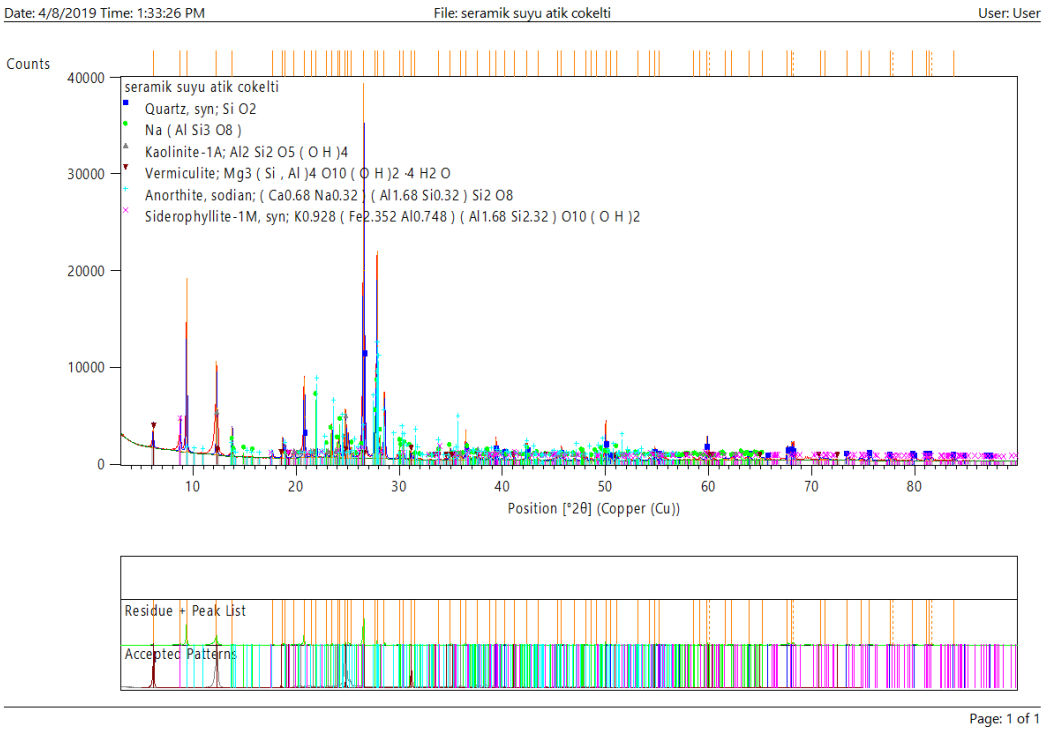
Sample Name: %v/v 25 atık su 1
File Name: ERNAM.dts
SOP Name: mansettings.nano
Measurement Date and Time: 21 Ocak 2019 Pazartesi 10:55:25

Z-Average (nm):	310,0566	**Derived Count Rate (kcps):**	1088,2287528...
Standard Deviation:	0	**Standard Deviation:**	0
%Std Deviation:	0	**%Std Deviation:**	0
Variance:	0	**Variance:**	0

Size d.nm	Mean Intensity %	Std Dev Intensity %	Size d.nm	Mean Intensity %	Std Dev Intensity %	Size d.nm	Mean Intensity %	Std Dev Intensity %	Size d.nm	Mean Intensity %	Std Dev Intensity %
0,4000	0,0		5,615	0,0		78,82	1,5		1106	3,7	
0,4632	0,0		6,503	0,0		91,28	2,2		1281	2,6	
0,5365	0,0		7,531	0,0		105,7	2,8		1484	1,7	
0,6213	0,0		8,721	0,0		122,4	3,2		1718	1,1	
0,7195	0,0		10,10	0,0		141,8	3,4		1990	0,8	
0,8332	0,0		11,70	0,0		164,2	3,6		2305	0,6	
0,9649	0,0		13,54	0,0		190,1	3,8		2669	0,5	
1,117	0,0		15,69	0,0		220,2	4,1		3091	0,5	
1,294	0,0		18,17	0,0		255,0	4,6		3580	0,4	
1,499	0,0		21,04	0,0		295,3	5,2		4145	0,4	
1,736	0,0		24,36	0,0		342,0	5,9		4801	0,4	
2,010	0,0		28,21	0,0		396,1	6,5		5560	0,3	
2,328	0,0		32,67	0,0		458,7	7,0		6439	0,0	
2,696	0,0		37,84	0,1		531,2	7,2		7456	0,0	
3,122	0,0		43,82	0,1		615,1	7,1		8635	0,0	
3,615	0,0		50,75	0,3		712,4	6,6		1,000e4	0,0	
4,187	0,0		58,77	0,4		825,0	5,8				
4,849	0,0		68,06	0,9		955,4	4,8				



Şekil A1. Seramik atıksuyu tanecik boyut dağılımı**.**



Şekil A2. Seramik atıksuyunun XRD analiz spektrumu.

Zeta Potential Report

v2.2

Malvern

Malvern Instruments Ltd - © Copyright 2008

Sample Details

Sample Name: atık su 1
SOP Name: mansettings.nano
General Notes: Average result created from record number(s): 3014 3015 3016

File Name: ERNAM.dts
Record Number: 3017
Date and Time: 21 Ocak 2019 Pazartesi 11:13:...
Dispersant Name: Water
Dispersant RI: 1,330
Viscosity (cP): 0,8872
Dispersant Dielectric Constant: 78,5

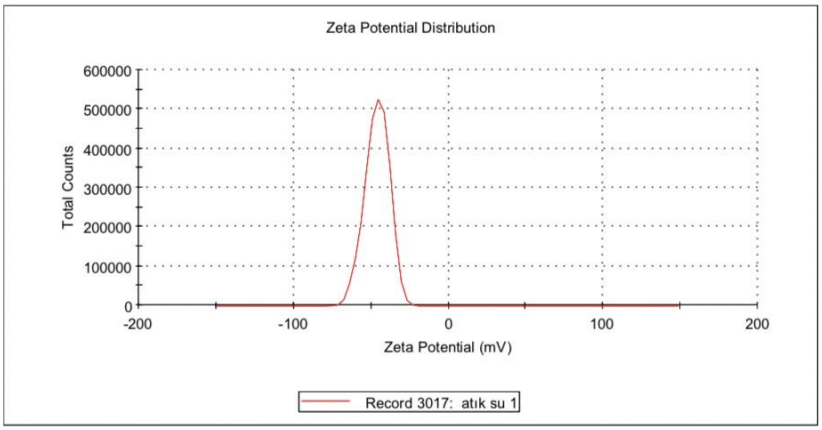
System

Temperature (°C): 25,0
Count Rate (kcps): 442,5
Cell Description: Clear disposable zeta c...
Zeta Runs: 12
Measurement Position (mm): 2,00
Attenuator: 6

Results

		Mean (mV)	Area (%)	Width (mV)
Zeta Potential (mV): -46,0	**Peak 1:**	-46,0	100,0	7,83
Zeta Deviation (mV): 7,82	**Peak 2:**	0,00	0,0	0,00
Conductivity (mS/cm): 0,0234	**Peak 3:**	0,00	0,0	0,00

Result quality Good



Şekil A3. Seramik atıksuyunun zeta potansiyel analizi sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Emel ERDOĞAN BÜYÜKKUTLU
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 17.02.1989 - İstanbul
Medeni Durum: Evli
e-mail: emel.erdogan3838@gmail.com
Yazışma Adresi: Melikgazi Mah. Kızılırmak Cad. Bademli Sok. Seçil Apt. No:13/9 Melikgazi/KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği	2015
Ön Lisans	Erciyes Üniversitesi, Kimya Teknolojileri	2010
Lise	Mustafa Eminoğlu Melikgazi Lisesi, Kayseri	2006

YABANCI DİL

İngilizce