Yağlı atık suların koagülasyon ile arıtımında etkin koagülantların araştırılması

Beyzanur Oruç

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2024

Investigation of effective coagulants for oily wastewater treatment by coagulation method

Beyzanur Oruç

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Chemical Engineering

January 2024

Yağlı atık suların koagülasyon ile arıtımında etkin koagülantların araştırılması

Beyzanur Oruç

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği Uyarınca
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Neşe Öztürk

“ESOGÜ-BAP tarafından FLY-2023-2732 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.”

Ocak 2024

ONAY

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Beyzanur Oruç'un YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Yağlı atık suların koagülasyon ile arıtımında etkin koagülantların araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oybirliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Neşe Öztürk

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye: Prof. Dr. Neşe Öztürk

Üye: Prof. Dr. Mine Özdemir

Üye: Prof. Dr. Elif Akbay

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

Prof. Dr. ....

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Neşe Öztürk danışmanlığında hazırlamış olduğum "Yağlı atık suların koagülasyon ile arıtımında etkin koagülantların araştırılması" başlıklı Yüksek Lisans tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallarına uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 23/01/2024

Beyzanur Oruç

İmza

ÖZET

Sularda bulunan en önemli kirlilikten birisi de yağlardır. Bu çalışma kapsamında, yağlı atık suların koagülasyon ile arıtımında etkin koagülantlar araştırılmıştır. Çalışmada, geleneksel koagülantlardan olan alüminyum sülfat, demir (III) sülfat ve polialüminyum klorür, doğal koagülant olarak kitosan, demir aşılı kitosan, selüloz, asitle aktive edilmiş selüloz, demir aşılı selüloz, aloe vera ve atık kağıt kullanılmıştır. Koagülasyon çalışmalarında başlangıç derişimi, pH ve koagülant dozu başlıca incelenen parametrelerdendir. Arıtım sonunda bulanıklık, askıda katı madde miktarı (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yağ geri kazanımı değerleri kaydedilmiştir.

Alüminyum sülfat ile gerçekleştirilen çalışmalarda ağırlıkça %5 yağ içeren sentetik atık suda en iyi bulanıklık giderimi, KOİ giderimi ve yağ geri kazanımı (%), pH 5 ve 16000 mg/L dozunda, sırasıyla %99,6, %97,99 ve %72,2 olarak elde edilmiştir. Demir (III) sülfat için ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda, pH 4 ve 30000 mg/L dozunda, bulanıklık giderimi %97,4; KOİ giderimi %90,4 ve yağ geri kazanımı %84,6 olarak elde edilmiştir. Polialüminyum klorür, selüloz, asitle aktive edilmiş selüloz, demir aşılı selüloz, demir aşılı kitosan ve aloe vera ile gerçekleştirilen koagülasyon sonucunda yüksek verim elde edilememiştir. Doğal koagülantlarda en iyi verim kitosan ve atık kağıt (30 g/L çözelti – 1 saatlik) ile elde edilmiştir. Kitosan ile ağırlıkça %5 yağ içeren sentetik atık suda en iyi bulanıklık ve KOİ giderimi, pH 8 ve 1000 mg/L dozda, sırasıyla %99,89 ve %96,2 olarak elde edilmiştir. Atık kağıt (30 g/L çözelti – 1 saatlik) ile ağırlıkça %5 yağ içeren sentetik atık suda en iyi bulanıklık, KOİ giderimi ve yağ geri kazanımı (%), pH 8,96 ve 29000 mg/L dozda, sırasıyla %93,1; %95,9 ve %77,1 olarak elde edilmiştir. Ağırlıkça %5 yağ içeren sentetik atık su için iki kademeli koagülasyon gerçekleştirilmiştir. İlk kademede atık kağıt (30 g/L çözelti – 1 saatlik) ardından ikinci kademede alüminyum sülfat uygulanmıştır ve toplamda %77 yağ geri kazanımı, %99,5 KOİ ve % 98,1 bulanıklık giderimi elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yağlı atık su, koagülasyon, koagülant, atık kağıt, kitosan

SUMMARY

One of the most important contaminants in water are oils. Within the scope of this study, effective coagulants in the treatment of oily wastewater by coagulation were investigated. In the study, aluminum sulfate, iron (III) sulfate and polyaluminum chloride, which are traditional coagulants, and chitosan, iron-grafted chitosan, cellulose, iron-grafted cellulose, activated cellulose by acids, aloe vera and waste paper were used as natural coagulants. In coagulation studies, pH and initial concentration are the main parameters examined. At the end of the treatment, turbidity, suspended solids amount (SS), chemical oxygen demand (COD), and oil recovery values were recorded.

In studies conducted with aluminum sulfate, the best turbidity removal, COD removal and oil recovery (%), in 5 wt% oily wastewaters, were 99.6%, 97.99% and 72%, respectively, at pH 5 and 16000 mg/L dose has been obtained. For iron (III) sulfate, in 5 wt% oily wastewater, pH 4 and 30000 mg/L dose, turbidity removal was 97.4%; COD removal was achieved as 90.4% and oil recovery as 84.6%. High removal efficiency could not be achieved as a result of coagulation with polyaluminum chloride, cellulose, acid-activated cellulose, iron-grafted cellulose, iron-grafted chitosan and aloe vera. The best efficiency of natural coagulants was obtained with chitosan and waste paper (30 g/L solution-1 hour). The best turbidity and COD removal in 5 wt% oily wastewaters with chitosan was obtained as 99.89% and 96.2%, respectively, at pH 8 and 1000 mg/L dose of chitosan. The best turbidity, COD removal and oil recovery (%) was obtained with waste paper (30 g/L solution-1 hour; at pH 8.96 and 29000 mg/L dose) respectively as 93.1%, 95.9% and 77.1%. Two-stage coagulation was performed for 5 wt% oily wastewaters. Waste paper (30 g/L solution-1 hour) was applied in the first stage, followed by aluminum sulfate in the second stage, and a total of 77% oil recovery, 99.5% COD removal and 98.1% turbidity removal was achieved.

Keywords: Oily wastewaters, coagulation, coagulants, waste paper, chitosan

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı destekleyen Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine teşekkürlerimi iletmek isterim. Yüksek lisans tez çalışmam boyunca desteğini hep hissettiren, bilgi, birikim ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın danışmanım Prof. Dr. Neşe Öztürk'e teşekkürü bir borç bilirim. Bütün hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve eğitim hayatımda her kararımı her şekilde destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi

SUMMARY ……..……...……...……...…… vii

TEŞEKKÜR ……..……..……..……... viii

İÇİNDEKİLER ix

ŞEKİLLER DİZİNİ …..……...…….……...…. xii

ÇİZELGELER DİZİNİ ….…….……...…….... xx

KISALTMALAR DİZİNİ …….……..……...……..... xxiii

1. GİRİŞ VE AMAÇ ……...……...…… 1

2. YAĞLI ATIK SULAR ....…….....…… 3

2.1. Yağlı Atık Suların Kaynakları ve Özellikleri …….....…..…..……. 3

2.2. Yağlı Atık Suların Arıtım Yöntemleri ……..…..…..…..…… 5

3. METAL KESME SIVILARI ……...…….. 7

3.1. Metal Kesme Sıvılarının Özellikleri, Kullanım Alanları ve Sınıflandırılması ……. 7

3.2. Metal Kesme Sıvısı İçeren Atık Suların Özellikleri …….……. 9

3.3. Metal Kesme Sıvısı İçeren Atık Suların Arıtım Yöntemleri …...…….…….... 11

4. KOAGÜLASYON ……..…….……... 13

4.1. Koagülasyon Mekanizmaları ……... 14

4.2.Koagülantlar …….……... 15

İÇİNDEKİLER

Sayfa

5. KULLANILAN KOAGÜLANTLAR ……..…… 18

5.1.Alüminyum Sülfat ve Demir (III) Sülfat ……..… 18

5.2. Kitosan 19

5.3. Selüloz 20

5.4. Aloe Vera 22

5.5. Atık Kağıt ……..... 22

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 24

7. MATERYAL VE YÖNTEM 34

7.1. Materyaller ……..…..…… 34

7.2. Yağlı Sentetik Atık Suyun Hazırlanması ……...……...……...…… 34

7.3. Koagülantların Hazırlanması ……..…….. 35

7.4. Jar Testi ……...……. 37

7.5. Analizler …….……. 39

7.5.1. Bulanıklık, Askıda Katı Madde ve KOİ Analizleri ……...……. 40

7.5.2. Yağ ve Gres Analizi …….. 40

7.5.3. Zeta Potansiyeli Analizi ……. 40

7.5.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) Analizi ……..……. 41

7.5.5. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi ……...……...…..…. 41

7.5.5. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi ……..… 41

İÇİNDEKİLER

Sayfa

8. BULGULAR VE TARTIŞMA ……..……...……..…….. 42

8.1. Alüminyum Sülfat Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar …….…… 44

8.2. Demir (III) Sülfat Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar ……...…… 49

8.3. Kitosan Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar ..……. 53

8.4. Selüloz Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar ……..……. 66

8.5. Aloe Vera Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar ……..……. 72

8.6. Atık Kağıt Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar ……..……...…… 77

8.7. İki Kademeli Deney Sonuçları ……..……. 109

8.8. Analiz Sonuçları ……..…….. 111

8.8.1. Yağ ve Gres Analiz Sonuçları …….…….... 111

8.8.2. Zeta Potansiyeli Analiz Sonuçları …….…….. 111

8.8.3. FTIR Analiz Sonuçları …….…….... 113

8.8.4. XRD Analiz Sonuçları …...……..……... 121

8.8.5. FE-SEM ve EDS Analiz Sonuçları …….. 124

9. SONUÇ VE ÖNERİLER …….……..……..... 130

KAYNAKLAR DİZİNİ 133

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

3.1. Sürdürülebilir işlemenin özellikleri ……..…….…. 10

5.1. a) Kitin ve kitosan monomerleri b) kitin ve kitosan polimerleri ……..…..……. 19

5.2. Bitkiden izole edilmiş selüloz hiyerarşisi ……...……...……. 21

8.1. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile bulanıklık ilişkisini gösteren grafik ……..…….……...… 42

8.2. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile askıda katı madde ilişkisini gösteren grafik ……...……...…… 43

8.3. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile pH ilişkisini gösteren grafik ……..……..……. 43

8.4. Alüminyum sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık ……..…….…….…….. 45

8.5. Alüminyum sülfat koagülantı ile bulanıklık giderimi …….…….…… 45

8.6. Alüminyum sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık ……..……..……..…….…… 46

8.7. Alüminyum sülfat koagülantı ile bulanıklık giderimi ….…….…….... 47

8.8. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık ……..…….…….. 50

8.9. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı bulanıklık giderimi ……..……..……...…..… 50

8.10. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı askıda katı madde miktarı ……..……..……. 51

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

8.11. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı askıda katı madde giderimi ……. 51

8.12. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde kalan bulanıklık ……. 54

8.13. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimi ……... 54

8.14. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde askıda katı madde miktarı ……... 55

8.15. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde askıda katı madde giderimi ……. 55

8.16. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık ...….. 56

8.17. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanık giderimi …..... 57

8.18. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ……. 57

8.19. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …….……...……...……. 58

8.20. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık …..... 59

8.21. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi ... 60

8.22. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı …….……..…..……...……. 60

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

8.23. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……..…….…. 61

8.24. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık ..…... 62

8.25. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi 63

8.26. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ……..…….…..... 63

8.27. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……...…….....…. 64

8.28. a) %5 yağlı sentetik atık su b) kitosanla koagülasyon sonucu elde edilen su 65

8.29. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda kalan bulanıklık …….……... 69

8.30. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda bulanıklık giderimi ……..…..……. 69

8.31. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda askıda katı madde miktarı …..……..……. 70

8.32. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……...…..... 70

8.33. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde kalan bulanıklık …..……...……...…….……. 72

8.34. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimi ……...……...……...… 73

8.35. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık ….. 74

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

8.36. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi ……..……..…….……..…. 74

8.37. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 75

8.38. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi ……..……...…….…..…..... 76

8.39. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 78

8.40. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi …….……...……..…….. 79

8.41. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı …….…….……....… 79

8.42. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …….……...…….……..….. 80

8.43. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık ….……. 81

8.44. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi …….……...…….…… 82

8.45. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ...…….…….……..…... 82

8.46. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ...…..…….....…….……. 83

8.47. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık ….. 84

8.48. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderim ……...…… 84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

8.49. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktar ……..……..…….……..…. 85

8.50. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …..……...…….……..... 85

8.51. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 87

8.52. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi .. ……..……..……... 87

8.53. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı …….……..……. 88

8.54. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …….……..……...… 88

8.55. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ ……..……... 89

8.56. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi …..... 89

8.57. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 92

8.58. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi …….…..……..……...…..... 92

8.59. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ……..……..……..……. 93

8.60. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……..…….....…..…… 93

8.61. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ ……...… 94

8.62. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi ….…. 94

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil **Sayfa**

8.63. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktar ……..……..……...…….……..…. 96

8.64. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …..…….……..…...…….……..... 96

8.65. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 97

8.66. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi .. ……..……..…... 97

8.67. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ……..……...……..…. 98

8.68. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……..……...……..…..... 98

8.69. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 101

8.70. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi …..…..……..……...…... 101

8.71. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı ……..……..……....…... 102

8.72. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi ……..……..……..…... 102

8.73. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ ……..……. 103

8.74. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi …..... 103

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

8.75. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık 105

8.76. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi ……..……..…….…….…..…. 105

8.77. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı …….……..…….……..…... 106

8.78. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi …….……..…….……..... 106

8.79. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ ……..…….... 107

8.80. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi …..... 107

8.81. İki kademeli koagülasyonu sonucu a) ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık su b) birinci kademe sonrası arıtılan atık su c) ikinci kademe sonucunda arıtılan atık su …….……. 110

8.82. Ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık suya ait zeta potansiyeli ……..…… 112

8.83. Ağırlıkça %5'lik yağlı atık suyun ilk kademe koagülasyonu sonucunda zeta potansiyeli …..……..…….…….……..……... 112

8.84. Ağırlıkça %5'lik yağlı atık suyun ikinci kademe koagülasyonu sonucunda zeta potansiyeli …….…….……..……..…... 112

8.85. %5 Yağlı atık suya ait FTIR sonucu ……..……..……. 114

8.86. %5 yağlı atık suyun atık kağıt koagülantı ile koagülasyonu sonucunda elde edilen FTIR sonucu …..…….……... 115

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sekil **Sayfa**

8.87. Atık kağıt koagülantına ait FTIR sonucu …….. 118

8.88. Selüloza ait XRD sonucu ……..…..……... 121

8.89. Demir aşılı selüloza ait XRD analiz sonucu ……. 121

8.90. Kitosana ait XRD analiz sonucu …….…….. 122

8.91. Demir aşılı kitosana ait XRD analiz sonuçları ….…….. 122

8.92. EDS grafikleri Spectrum I-) selüloz, Spectrum III-) demir aşılı selüloz …..... 124

8.93. Selüloza ait SEM görüntüleri ……..…….. 125

8.94. Demir aşılı selüloza ait SEM görüntüleri ……..…… 126

8.95. Kitosana ait EDS grafiği ……..…….…… 127

8.96. Kitosanın SEM görüntüleri …… 127

8.97. Demir aşılı kitosana ait EDS grafiği ……..……..…….. 127

8.98. Demir aşılı kitosana ait SEM görüntüleri ……..……...……. 128

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

2.1. Bölgesel olarak atık sularda yağ deşarj sınırları ……..…….. 4

4.1. Sık kullanılan koagülantlar ……...……...…….....……..... 17

6.1. Yağlı atık su arıtımını koagülasyon kullanılan çalışmalar …….. 33

7.1. Bor metal kesme yağının özellikleri …… 34

8.1. Farklı derişimlerdeki sentetik yağlı atık su özellikleri ……..... 42

8.2. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda alüminyum sülfat koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları ……..…... 44

8.3. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda farklı alüminyum sülfat koagülant dozlarıyla yapılan koagülasyon deney sonuçları ……...…….. 46

8.4. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda demir (III) sülfat koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları ……..…….…….. 49

8.5. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda demir (III) sülfat koagülantı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları …….……. 49

8.6. Ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları …….……...…… 53

8.7. Ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları …….…….……...…… 56

8.8. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı yapılan koagülasyon deney sonuçları …….……..……...…… 59

8.9. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları …….……..……...…… 62

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

8.10. Selüloz koagülantı ile yapılan ön deneme uygulamaları ……. 66

8.11. Demir aşılı selülozda farklı doz uygulaması ……..…… 68

8.12. Ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları ……..……..…… 72

8.13. Ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları ……..……..……...…… 73

8.14. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları ……..…..... 75

8.15. Atık kağıt ile yapılan farklı pH değerleride koagülasyon sonuçları …… 77

8.16. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları …… 78

8.17. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları …… 81

8.18. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları ……..... 83

8.19. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları ……..... 86

8.20. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları ……..... 91

8.21. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları ……..... 95

8.22. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları ……...… 100

8.23. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları …….…….. 104

8.24. İki kademeli deney sonuçları …….……. 109

8.25. Selüloza ait EDS sonuçları ……..……..……...… 125

8.26. Demir aşılı selüloza ait EDS sonuçları …….…….. 125

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge **Sayfa**

8.27. Kitosana ait EDS sonuçları ……..……..…….. 127

8.28. Demir aşılı kitosana ait EDS sonuçları ……..…….……..… 128

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
T.C	Türkiye Cumhuriyeti
EPA	Çevre Koruma Ajansı
CAGR	Bileşik Yıllık Büyüme Oranı
USEPA	Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
IARC	Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
PAFSi	Polimerik Alüminyum Ferrik Silikat
PAC	Polialüminyum Klorür
PFSA	Poliferrik Silikat Asetat
PAZS	Polialüminyum Zirkonyum Silikat Sülfat
PAMALAM	Poli akrilamid-ko-dialil-dimetilamonyum klorür
MO	Moringa Oleifera
PDMS	Polidimetilsiloksan
PU	Poliüretan
AAE	Asitle Aktive Edilmiş
BD	Başlangıç Değeri
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
AKM	Askıda Katı Madde
GK	Geri Kazanılan

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
ZP	Zeta Potansiyeli
XRD	X-Işını Kırınımı
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrofotometresi
FE-SEM	Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Enerji Dispersiv Spektrum
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Su kirliliği hem doğayı hem de insan sağlığını tehdit eden bir problemdir. Her geçen gün artan atık su miktarı temiz suya ulaşımı daha da zorlaştırmaktadır. Su kıtlığı günümüzde önemli problemden birisi olmaya devam etmektedir. Birlemiş miletlere göre 2017 yılında dünyada 2,2 milyar insan su kıtlığı çekmekteyken bu sayıya 2030 yılına kadar 700 milyon insan daha eklenmesi beklenmektedir (Abuhasel vd., 2021). Birleşmiş Milletler Uluslararası Çocuklara Acil Yardım Fonu (UNICEF) bir raporunda iyi arıtılmamış veya kirlenmiş sulardan kaynaklanan, su ile ilişkilendirilmiş hastalıkların neden olduğu 1,5 milyon ölümün gerçekleştiğini belirtmiştir. Raporlara göre bu vakaların %90'ı 5 yaş altı çocuklarda görülmektedir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

Yağlı atık sular, atık suların önemli bir kısmını oluşturmaktadır. 2035 yılına kadar yağ talebinin günlük 110 milyon varil olması tahmin edilmektedir ve bu günlük 605 milyon varil atık su demektir (Kusworo vd., 2018). Yağlı atık sular oldukça kompleks yapıdadır. İçerisinde yüksek konsantrasyonlarda yağ, gres ve askıda partiküller bulunur. Yağlı atık su, gıda, tekstil, bitkisel yağ üretimi, metal işleme veya petrokimya endüstrilerinden kaynaklanabilmektedir (Sun vd., 2017). Yağlı suların en büyük kaynakları arasında metal işleme endüstrisi yer almaktadır. Kesme sıvılarının kullanımı materyallerin kullanım ömrünü uzatır, boyutsal doğruluk ve iyi yüzey kalitesi gibi avantajlar sağlar. Bu avantajları sayesinde yüksek üretim hızına olanak verir (Sloman, 2002).

Yağlı atık sular, içme suyu ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesine, atmosferin kirlenmesine neden olmaktadır. Bunun beraberinde sucul ortam yaşamını ve insan sağlığını tehlikeye atmakta ve bitki üretimine etki etmektedir. Atık su arıtımı hala endüstriler tarafından gerektiği kadar benimsenmemiştir. Bunun en büyük nedenleri arasında arıtım tesisinin kurulum maliyetlerinin yüksek olması, işletme maliyetinin yüksek olması, endüstriye yakın alanda geniş alan gereksinimi duyulabilmesi, deşarj sınırı ile ilgili mevzuatın etkin uygulanmaması ve atık su arıtım sistemleri hakkında teknik anlayışın yetersizliği belirtilebilir (Abuhasel vd., 2021).

Yağlı atık suların arıtımında elektrokimyasal (Göç, 2018), koagülasyon (Lester-Card vd., (2023); Choudhary vd., (2009); Fard vd., (2021); Sun vd., (2017)), membran filtrasyonu (Wu vd., 2021), adsorpsiyon (Pham vd., 2021) gibi yöntemlerin yanında hibrit sistemler de (Jiang vd., 2022) kullanılmaktadır. Koagülasyon ile atık su arıtımı gerçekleştiren çalışmalarda çeşitli koagülantlar kullanılmıştır. Bu koagülantlar, polimerik alüminyum ferrik silikat (PAFSi) (Sun vd., 2017), polialüminyum klorür (PAC) (Li vd., 2022), polialüminyum zirkonyum silikat sülfat (PAZS) (Zhuang vd., 2021), poliferrik silikat asetat (PFSA) (Wei vd.,2022) gibi doğal olmayan, Moringa oleifera (MO) (Varsani vd., 2022), Lallemantia musilajı (Fard vd., 2021), Opuntia ficus-indica (Choudhary vd., 2019) gibi doğal koagülantlardır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada yağlı atık suların koagülasyonla arıtımında etkin arıtım sağlayan koagülantlar araştırılmıştır. Çalışmada alüminyum sülfat ve demir (III) sülfat gibi geleneksel koagülantlar ve kitosan, selüloz, aloe vera, atık kağıt gibi doğal koagülantlar kullanılmıştır. Bu amaçla sentetik yağlı atık su hazırlanarak jar testleri uygulanmıştır. Koagülasyona başlangıç derişiminin, başlangıç pH değerinin ve koagülant dozunun etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma ile geleneksel koagülantlara alternatif olabilecek daha çevre dostu, toksik olmayan, deşarj edildiği ortamın özelliklerini bozmayan doğal koagülantların belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. YAĞLI ATIK SULAR

Endüstriler tarafından deşarj edilen atık suların önemli bir kısmını yağlı atık sular oluşturmaktadır (Abuhasel vd., 2021). Yağlı atık sular, sularda bulunan en önemli kirlilikler arasında yer almaktadır. Yağlı atık su, organik ve/veya inorganik bileşenlerin suda çözünmüş hallerinin bulunması yanında yağ ve gres içeren atık sulardır. Yağ, suda serbest, dağılmış (dispers), emülsiyon, çözünmüş yağ şekilde bulunabilmektedir (Ghadhban vd., 2023).

2.1. Yağlı Atık Suların Kaynakları ve Özellikleri

Yağlı atık sular, endüstriler tarafından deşarj edilen atık suların çok büyük bir bölümünü oluşturmaktadır (Abuhasel vd., 2021). Yağlı atık suların farklı kaynakları vardır. Endüstride yağlar, gıda endüstrisi, metal temelli endüstriler, tekstil endüstrisi (deri üretimi olan endüstriler), mezbahalar, petrol temelli endüstriler, gemi inşa endüstrilerinde kullanılmaktadır ve kullanımları sonucunda bu tür endüstrilerin atık sularında yağlar bulunmaktadır (Sun vd., 2017). Özellikle petrokimya ve metal işleme endüstrileri yağlı atık suların çoğunluğunu oluşturmaktadır (Abuhasel vd., 2021). Enerji ihtiyacının karşılanması için hala önemli kaynaklardan birisi olan fosil yakıtlar, petrol ve doğal gaz, hidrokarbon ürünlerinin en büyük bölümünü oluşturmaktadır. Bu ürünlerin elde edilmesi için kullanılan proseslerde ve ulaştırılmasında yağlı atık sular oluşmaktadır (Zhao vd., 2021). Geleneksel petrol bazlı mineral yağlar da metal işleme endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Gajrani ve Sankar, 2020). Yağlı atık suların içerikleri de kaynağına göre değişiklik göstermektedir. Kanalizasyon sularında yağ ve gres içeriği 50 ile 100 mg/L arasında değişebilmekteyken, petrokimya endüstrilerinin atık sularında yağ 4000-6000 mg/L olabilmektedir (Zhao vd., 2021).

Yağlı atık suların çoğunluğunu oluşturan petrokimya ve metal işleme endüstrisi kaynaklı atık suların içeriğinde hidrokarbonlar, yağlar, dizel yağ, benzin ve kerosen gibi maddeler bulunmaktadır. Bu bileşenler yağ-su emülsiyonlarında da bulunmaktadır. 2002 yılında ABD Ulusal Araştırma Konseyi, bilinen kaynaklardan yılda 1,3 milyon ton petrolün denize salındığını bildirmiştir (Abuhasel vd., 2021). Dünya çapında yağlı atık su miktarı

2013 yılında 10-15 milyar m^3 değerine ulaşmıştır. Bu değerin son yıllarda kayda değer şekilde artması beklenmektedir (Zhao vd., 2021). Yağlı atık su deşarj limitleri için farklı ülkelerin farklı limitleri bulunmaktadır. Yağlı atık suların deşarjında maksimum yağ limiti 5-100 mg/L arasında değişiklik göstermektedir. Türkiye için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre yağ ve gres sınırları derin deniz deşarjına izin verilebilecek evsel/kentsel atık suların için 15 m/L, gıda sanayi atık suları için sınır 30-75 mg/L, petrol sanayi için 20-30 mg/L ve metal sanayi için 20 mg/L'dir (Mevzuat Bilgi Sistemi, 2004). Farklı bölgelere ait deşarj limitleri Çizelge 2.1. verildiği gibidir.

Çizelge 2.1. Bölgesel olarak atık sularda yağ deşarj sınırları (Abuhasel vd., 2021)

Kuruluş/Düzenlemeler	Yağ Deşarj Sınırı
Oslo-Paris (OSPAR) Kuzey Denizi Bölgesi'ndeki Antlaşma	Denize deşarj için üst sınır = 30 mg/L
Paris Antlaşması	Denize deşarj için üst sınır = 40 mg/L Açık deniz sahaları ve kara sahaları için = 5 mg/L
Amerika Birleşik Devletlerindeki Çevre Koruma Ajansı (EPA)	Üst sınır = 72 mg/L
Çevre Bölümü, Çevre Kalitesi Hareketliliği, 1974 Malezya	Yağ ve gres deşarj sınırı = 10 mg/L
Çin Devleti	Üst sınır = 10 mg/L
Birleşik Arap Emirlikleri Çevre Düzenlemesi	Endüstriyel yağ ve gres atık sınırı = 100 mg/L
Hindistan Merkezi Kirlilik Kurulu (CPCB)	Yağ ve gres için izin verilen sınır = 35 mg/L

Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA), yağ ile kirlenmiş atık suyu çevredeki en zehirli ve zararlı atık sular arasında sınıflandırmaktadır (Ghadhban vd., 2023). Yağlı atık su, içme suyu ve yer altı su kaynaklarının kirlenmesine, atmosferin kirlenmesine neden olmaktadır (Ghadhban vd., 2023; Abuhasel vd., 2021). Yağlı atık su insan sağlığı için kanserojen ve mutajeniktir. Bunun yanında bitkilerin büyümesini de engelleyebilmektedir. Yağlı atık suların uygun deşarj kriteleri sağlanmadan deşarj edilmesi, su ortamının biyolojik oksijen ihtiyacını ve kimyasal oksijen ihtiyacını artırabilir. Su

ekosistemini, su yüzeyinde bir tabaka oluşturarak güneş ışığının suya nüfus etmesini engelleyerek bozabilmektedir (Abuhasel vd., 2021).

2.2. Yağlı Atık Suların Arıtım Yöntemleri

Yağlı atık sular tehlikeli yapılarından dolayı insan sağlığına, su, toprak ve havaya önemli tehditler oluşturmaktadır. Birçok endüstri, yağlı atık suyun çevresel açıdan kabul edilebilir bir şekilde bertaraf edilmesi konusunda zorluklarla karşılaşmaktadır. Yağlı atık su arıtım teknikleri günümüzde daha fazla ilgi görmektedir (Rambabu ve Banat, 2023).

Yağlı atık suların arıtımında en çok kullanılan yöntemler flotasyon, koagülasyon/flokülasyon, biyolojik arıtım, membran filtrasyonu, hidrosiklon, sorpsiyon, mekanik yöntemler ve ileri oksidasyon yöntemleri olarak belirtilebilir. Biyolojik arıtım, uzun bekleme süresi, büyük alan ihtiyacı, aktif çamur mikroorganizmalarının aromatik hidrokarbonlara ve ağır metallere karşı toleranssız kalabilmesi gibi dezavantajlara sahiptir. Gravitasyonel yöntemler ise sadece yüzer durumda veya dispers yağ için kullanılabilmektedir. Membran filtrasyonu yağlı atık su arıtımında da yaygın kullanılanılan yöntemlerdendir. Fakat yağ içeriği nedeniyle membran gözeneklerinde tıkanma olmaktadır. Özellikle polimerik membranlar düşük mekanik dayanıma, düşük termal stabiliteye ve kimyasal dayanıma sahiptir. Bu nedenlerden dolayı yağlı atık sular için bu tip membranların kullanımı sınırlanmaktadır (Abuhasel vd., 2021). Günümüzde membranın kirlenmesi tam anlamıyla henüz çözülememiş bir problemdir (Zhao vd., 2021). Koagülasyon ve flokülasyonun en önemli dezavantajı atık çamur oluşumudur. Aynı zamanda kullanılan koagülant ve flokülant maddelerin uygulama koşullarına dikkat edilmelidir. Flokülasyon, membran filtrasyonu, çözünmüş hava flotasyonu, ve biyolojik yöntemlere kıyasla uygulaması daha kolay, işletme ve yatırım maliyeti daha düşük olan bir yöntemdir. Flokülasyon yönteminin en önemli dezavantajlarından birisi koagülant ve flokülantlardır. Alüminyum sülfat, polimerize edilmiş demir sülfat, polialüminyum klorür gibi inorganik maddelerin kullanılması kolay ve ucuzdur. Fakat düşük topaklaştırma özelliği göstermektedirler. Aynı zamanda inorganik maddelerin uygulmasında pH değeri oldukça önemli bir faktördür. Organik polimerik maddelerden olan poliakrilamid ise düşük dozlarda kullanıldığında bile iyi topaklaştırma özelliği gösterir ve geniş bir pH aralığında

uygulanabilmektedir. Fakat bu maddeler, biyolojik olarak parçalanamadığı için çevre ve insan sağlığına zararlıdır. Bu dezavantajların üstesinden gelinmesi için kitosan gibi toksik olmayan ve mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilen maddeler üzerinde de çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Fakat bu uygulamalar henüz başlangıç aşamasında olduğundan genellikle diğer organik polimerik flokülantlarla birlikte kullanılmaktadır (Abuhasel vd., 2021). Koagülasyon/flokülasyon yöntemi ekonomik ve çevre dostu yöntemler arasında yer almaktadır. İyi bir alternatif oluşturmasında göreceli olarak daha düşük maliyete, kolay uygulama koşullarına ve iyi verim sağlayan bir yöntem olması yer almaktadır (Zhao vd., 2021).

Kullanılan ve araştırılan birçok arıtım yöntemi olmasına rağmen daha stabil, düşük işletme maliyetine sahip ve daha az enerji tüketen sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir (Abuhasel vd., 2021).

3. METAL KESME SIVILARI

İmalat endüstrilerinde metal işleme, belirli ürünleri veya bileşenleri şekillendirmek için kullanılan temel tekniklerdendir. Mekanik enerjinin uygulandığı en yaygın geleneksel işleme süreçleri arasında frezeleme, delme, tornalama ve taşlama yer almaktadır (Haider ve Hashmi, 2014). Kesme sıvıları işleme endüstrisinde çeşitli avantajlar sağlamaktadır. En önemli avantajları arasında soğutucu ve yağlayıcı olmaları yer almaktadır. Sağladığı bu avantajlar doğrultusunda üretim verimini önemli ölçüde artırır ve metal işlemede yaygın olarak kullanılır.

3.1. Metal Kesme Sıvılarının Özellikleri, Kullanım Alanları ve Sınıflandırılması

Metal işleme, istenilen bir şekil elde etmek için istenmeyen malzemenin işlenen parça yüzeyinden talaşlarla uzaklaştırıldığı tek veya çok noktalı bir kesici takım ile yapılan frezeleme, delik delme ve tornalamayı içeren kesme işlemidir (Kantharaj vd., 2021). Kesme sıvıları, iş parçası ve takım arasındaki temasta meydana gelen sürtünmeyi yağlama yoluyla azaltmak için kullanılmaktadır. İşleme yapılan bölgede sürtünme sonucu meydana gelen ısınma yağlayıcı bir madde kullanımı ile soğutulur. Soğutma için yüksek miktarda kesme sıvısına ihtiyaç duyulur. Kesme sıvılarının kullanımı ile elde edilen bu avantajların yanında hem iş parçasının hem de takım tezgahının korozyonunu engellenmekte, işlenmiş talaşlar kesme bölgesinden uzaklaştırılıp taş temizliğini sağlanmaktadır (Bianchi vd., 2013). Kesme yağları, çeşitli katkı maddelerinin (oksidasyon inhibitörleri, antiseptikler, koku kontrol maddeleri ve köpük önleyici maddeler) bir karışımı ile petrol, hayvansal ve bitkisel bazlı olarak hazırlanmaktadır (Woon, 2021).

Kesme sıvıları işleme endüstrisinde performans artırıcı madde olarak kullanılmaktadır. Kesme sıvıları genellikle 3 temel amaç doğrultusunda kullanılmaktadır.

Bunlar:

1- Kesme sırasında sürtünmeden dolayı meydana gelen ısıyı düşürmek ve materyallerin deformasyonunu önlemek için
2- Takım-talaş ve takım-iş ara yüzlerindeki sürtünme katsayısını azalmak için
3- İşleme sırasında oluşan küçük talaşların daha kolay ayrılıp, bertaraf edilmesi için

kullanılmaktadır (Woon, 2021).

Metal işleme, kuru işleme, ıslak işleme, ısı borusu destekli işleme, kriyojenik soğutma ve minimum miktarda yağlama şeklinde uygulanabilmektedir. Kuru işlemede kesme sıvısı kullanılmazken ıslak işlemede yüksek miktarda kesme sıvı kullanılır. Islak işlemede minimum ısınma ve minimum sürtünme sağlanır. Isı borusu destekli işlemede bir ısı borusu sistemiyle pasif ısı transferi sağlayarak kuru durumda bile işleme gerçekleştirilebilmektedir. Kriyonejik soğutmada işlem çok düşük sıcaklıklarda (-150^{o}C ila -273^{o}C aralığında) gerçekleşmektedir. Minimum miktarda yağlamada ise ıslak işlemede kullanılan kesme sıvısından daha az miktarlarda kesme sıvısı kullanılarak metal işleme gerçekleşmektedir. Kesme sıvısı kullanılmayan işlemelerde sürtünme ve ısıdan dolayı makine ve teçhizatta hasarların meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bundan dolayı yağlayıcı madde olarak kesme sıvıları metal işleme verimini artırmaktadır (Kantharaj vd., 2021).

Metal kesme sıvıları uygulanmasına göre 4'e ayrılabilir. Bunlar aşağıda verildiği gibidir (Göç, 2018):

- Sentetik metal kesme sıvıları
- Yarı sentetik metal kesme sıvıları
- Saf metal kesme sıvıları
- Emülsiyon metal kesme sıvıları

Sentetik kesme sıvısı petrol esaslı olmayan sentetik bazlı yağlardan elde edilir. Sentetik kesme yağları mineral yağlara alternatif olarak kullanılabilmektedir. Suyla seyreltildiklerinde şeffaf veya yarı şeffaf görünüme sahip çözelti oluştururlar. Yarı sentetik metal kesme sıvıları ise kararlı mikro-emülsiyon oluşturmak için su ile emülsiye edilmektedir. Bu kesme yağlarının içeriğine dayanımın yüksek olması, pas önleyici olması,

anti-bakteriyel özellikte olması için çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir. Saf metal kesme sıvıları özellikle yağlayıcılık özelliğinin istendiği işlemelerde kullanılmaktadır. Emülsiyon haline getirilmeden direk susuz uygulanmaktadır. Emülsiyon metal kesme sıvıları, katkı maddelerinin yanında yüzey aktif maddelerle birlikte suyla karıştırıldığında su içerisinde damlacıklar halinde askıda kalan metal kesme sıvılarıdır (Göç, 2018). Metal kesme sıvısı olarak su bazlı metal kesme sıvıları da endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Su bazlı kesme sıvıları, su ve mineral yağdan oluşmaktadır. Karışımın bileşimine bağlı olarak su bazlı kesme yağlarının bileşimi %1 ila %5 arasında değişiklik göstermektedir (Rahimov ve Akgün, 2022).

3.2. Metal Kesme Sıvısı İçeren Atık Suların Özellikleri

Metal işleme sonucunda, kesme sıvısı emdirilmiş metal talaşları, kullanılmış kesme sıvısı, yağ ile kirlenmiş su, yağ buharı, metal tozu ve gereksiz enerji kullanımı dahil olmak üzere birçok yan ürün ve atık ortaya çıkmaktadır (Haider ve Hashmi, 2014). Kesme sıvılarına, korozyon önleyici, köpük önleyici maddeler ve biyosit gibi bileşenler de bazen eklenmektedir. Kesme sıvılarına bulaşan ağır metaller nedeniyle ciltte tahriş, sindirim ve solunum sistemlerinde hasar oluşturabilir (Bianchi vd., 2013). Metal kesme sıvıları çeşitli işlemler sonucunda endüstriyel sulara karışmaktadır. Bundan dolayı kesme sıvılarının içerisinde bulunan zararlı maddelerin bu endüstrilerdeki atık sularda ortaya çıkması beklenir.

Hidrokarbon bazlı mineral yağlar geleneksel kesme sıvıları arasında yer alır ve etkili soğutma sağlamaktadır. Fakat çalışma ortamında havada bulunan sis, duman ve partiküllere neden olmakla birlikte hem çevreye hem de insan sağlığına zararları vardır (Debnath vd, 2021). Hidrokarbon bazlı geleneksel kesme sıvıları operatör sağlığına ve çevreye zararlı olup, bertarafı ve geri dönüşümü problemlidir (Bayraktar vd., 2021). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı'na (IARC) göre, petrol (hidrokarbon) bazlı kesme sıvıları, cilt kanserine yol açabilecek kanserojen heterosiklik ve poliaromatik halkalar içermektedir. Bununla birlikte geleneksel kesme sıvılarına maruz kalmak solunum yolu hastalıklarına, akciğer kanserine, genetik hastalıklara ve dermatolojik hastalıklara neden olabilmektedir. Bundan dolayı kesme sıvısının bertaraf edilmesi önemlidir. Bertaraf maliyeti, biyolojik olarak parçalanabilen kesme sıvılarından daha yüksek olabilmektedir (Debnath vd, 2021).

Metal kesme sıvıları, operatörün cildi ile temas ettiğinde zararlı etkileri ile birlikte, işleme çıkışında atık sulara bulaşarak suyun ve toprağın kirlenmesine yol açmaktadır (Kantharaj vd., 2021). Metal kesme sıvılarıyla kirlenmiş atık sularda, askıda katılar (AK), KOİ, $BOİ_5$, toplam kjeldal azotu (TKN), amonyak azotu (NH_3-N), yağ-gres, selenyum (Se), arsenik (As), siyanür (CN), cıva (Hg), kurşun (Pb), bakır (Cu), nikel (Ni), gümüş (Ag), çinko (Zn), krom (Cr), sülfat (SO_4^{2-}), nitrat (NO_3^-), nitrit (NO_2^-), ve toplam toksik organikler (TTO) gibi kirleticiler bulunmaktadır (Göç, 2018). Bundan dolayı metal kesme sıvısı içeren atık suların iyi arıtılması önemlidir. Aynı zamanda sürdürülebilir işleminin düşünülmesi gerekir. Şekil 3.1'de sürdürülebilir işlemenin sağlanabilmesi için bir döngü diyagramı verilmiştir (Kantharaj vd., 2021).



Şekil 3.1. Sürdürülebilir işlemenin özellikleri (Kantharaj vd., 2021)

Metal kesme sıvılarının kullanılmaması belirtilen zararlı yönlerinden dolayı en iyi seçenek olarak düşünülebilir. Fakat kesme sıvılarının kullanılmadığı kuru işleme uygulaması uzun yıllardır araştırılmasına rağmen bu işleme türünde hala problemlerle karşılaşılmaktadır (Bayraktar vd., 2021). Bundan dolayı kesme sıvılarının metal işlemede kullanılması günümüzde hala kaçınılmazdır. Belirtilen bu durumlar göz önüne alındığında kesme

sıvılarının atık sulardan giderilmesi için iyi arıtım sistemlerinin geliştirilmesi zorunluluk haline gelmiştir.

3.3.Metal Kesme Sıvısı İçeren Atık Suların Arıtım Yöntemleri

Metal kesme sıvıları içeren atık suların arıtımında kompleks içeriklerinden dolayı zorluklarla karşılaşılmaktadır. Metal kesme sıvılı atık suların bertaraf edilmesi genel olarak yakma işlemi ile gerçekleşmektedir. Fakat bu atık yakma sonucunda NOx, SO_2 ve HCl gibi zararlı gazların çevreye yayılmasına neden olmaktadır. Depolama işlemi ile bertarafı gerçekleştirilen metal kesme sıvılı atık sular ise toprağı ve yer altı sularını kirletme riski taşımaktadır. Bundan dolayı, Avrupa Birliği Su Direktifi (2000/76/EC) ve Depolama (İngiltere ve Galler) Düzenlemeleri (No: 1375, 2004), sürdürülebilir ve güvenli bir bertaraf işlemi için yakma ve depolama yöntemleriyle metal kesme sıvılı atık suların bertarafını kısıtlamıştır (Rahimov ve Akgün, 2022).

Metal kesme sıvılı atık suların arıtımında, yağlı atık suların arıtımında olduğu gibi çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Garcia-Costa vd. (2021) gerçekleştirdiği bir çalışmada kesme yağ-su emülsiyonunlu atık suyu mikrodalga destekli katalitik ıslak peroksit oksidasyonu ile arıtmışlardır. Kullanılan atık suyun başlangıç KOİ değeri 14860 mg/L ve pH değeri 9 olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda en iyi grafit yükü 10 g/L'de 10 dakikada, pH 9 değerinde %85 KOİ giderimi elde edilmiştir. Chen vd. (2020) gerçekleştirdiği bir çalışmada kesme sıvılı atık suların arıtımında elektrokimyasal mikromembran yöntemini kullanmıştır. Kullanılan kesme sıvılı atık suyun başlangıçtaki KOİ değeri 50300-57100 mg/L aralığında, yağ içeriği 4639-5590 mg/L ve pH değeri 8,1-8,5 aralığındadır. Bu yöntemle 10,0 V değerinde 90 dakikada yağ damlacıklarının çapı 7,0 μm'den 55,0 μm değerine yükselmiştir. KOİ giderimi %87,89 ve yağ geri kazanımı 5173 mg/L olarak elde edilmiştir.

Göç (2018) gerçekleştirdiği metal kesme sıvısı içeren yağlı atık su arıtım çalışmasında elektrokimyasal arıtım kullanmıştır. Başlangıçta %2 derişimli bor kesme yağlı sentetik atık su kullanılmıştır. Elektrot yataklarına üç farklı potansiyel farkı uygulanmış (5, 10 ve 15 V) ve en iyi sonuç 15 V için %90 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Aynı zamanda

9, 18 ve 27 cm olmak üzere üç farklı elektrot yatak uzunluğu kullanılmıştır. 2 saat arıtım işlemi sonucunda 9, 18 ve 27 cm için sırasıyla %87, %90 ve %90 bulanıklık giderim verimi elde edilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde %90 KOİ gideriminin sağladığı belirtilmiştir.

4. KOAGÜLASYON

Koagülasyon, tarihi çok eski zamanlara dayanan bir işlemdir. Koagülasyonun kullanımı milattan önce 2000'li yıllara kadar dayanmaktadır. Koagülasyon için birçok tanım bulunmaktadır. Koagülasyon genel olarak, atık su içerisinde bulunan askıda katı maddeleri ve/veya koloid maddeleri, atık suyun kararlılığını bozarak ayırma işlemi olarak tanımlanabilir (Bratby, 2016). Koagülasyon, bir başka deyişle, kullanılan koagülantın, suda çöktürülmek istenen maddeleri hızlı karıştırma ile kararsızlaştırmasıdır. Koagülant ise bu kararlılığın bozulması için kullanılan maddedir. Kararsızlaştırma işlemi, arıtılmak istenen suda bulunan koloit nitelikli ve çok küçük askıda taneciklerin elektrik yük dengelerinin bozulması ile gerçekleşir. Koloit maddeler, soller ve emülsiyonlar olmak üzere 2'ye ayrılırlar. Soller sıvı içerisinde dağılmış katı maddeleri ifade ederken, emülsiyonlar ise sıvı içerisinde dağılmış sıvıları ifade eder. Emülsiyonlara verilebilecek en iyi örneklerden birisi yağlı sulardır (Reynolds ve Richards, 2022).

Koagülasyon ve flokülasyon birçok endüstri için temel proseslerdendir. Bu endüstriler, biyokimya, peynir üretimi, kauçuk üretimi ve su-atık su arıtım işlemleri olarak verilebilir (Bratby, 2016). Koagülasyon, atık sulardan istenmeyen ve bir koagülant yardımı ile çöktürülebilen maddelerin çöktürülmesi amacı ile kullanılır. Koagülasyonda sadece katıların koagülasyonu gerçekleşmez. Örneğin, evsel atık suların koagülasyonunda fosfat iyonlarının bir kısmı kimyasal olarak çöktürülür (Reynolds ve Richards, 2022). İçme suyu arıtımında ve suyun arıtılmasında, koagülasyon yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Su arıtımında, çeşitli filtreleme gibi işlemlerden önce kimyasal ön arıtımın gerçekleştirilmesi, fiziksel ön arıtım işlemlerinin gerçekleştirilmesinden daha çok verimli sonuç ortaya çıkartmaktadır (Bratby, 2016).

Koagülasyonun gerçekleşmesine etki eden çeşitli parametreler vardır. Bunlar, koagülant dozu ve yapısı, bulanıklık, askıda katılar, pH, karıştırma süresi, sıcaklık, katyon ve anyonların bileşimi ve derişimleri olarak belirtilebilir (Reynolds ve Richards, 2022).

4.1. Koagülasyon Mekanizmaları

Koagülasyon/flokülasyon mekanizmaları 4 şekilde gerçekleşebilir. Bunlar:

- Yük nötralizasyonu
- Adsorpsiyon/polimer köprüleme
- Süpürme ya da çökeltici flokülasyon
- Elektriksel çift katman sıkışması

şeklindedir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023). Zuang vd. (2021) koagülasyon mekanizmalarını yük nötralizasyonu, adsorpsiyon köprüleme ve süpürme olarak 3'e ayırmıştır.

Yük nötralizasyonu iyonize olabilen kimyasalların veya polimerik (polielektolit) materyallerin kullanımında gözlenebilir. Polielektrolitler yüksek miktarda yüklendiğinde ve koloid maddenin negatif yüklü olduğu durumda gerçekleşmektedir. Nötralize etme etkisi zeta potansiyeli ölçümü ile tespit edilebilir. Zeta potansiyeli, oluşan yumakların toplanmasını ve çökelmesini destekleyen van der Waals çekim kuvvetleri gibi moleküller arası kuvvetlerin oluşumu için önemlidir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

Adsorpsiyon/moleküller arası köprüleme mekanizması ise birden fazla moleküle yapışabilen polimer zincirlerinin kullanılması sonucunda oluşabilmektedir. İki uzun zincirli polimer birbirlerine çekilirler. Bazı durumlarda bu polimer köprülenmesi, polimer adsorpsiyonunun öncülüdür. Bu mekanizma yüksek molekül ağırlıklı polimerlerde görülebilir. Doğal koagülantlarda adsorptif/polimer köprüleme mekanizması görülebilmektedir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

Süpürme mekanizması aynı zamanda çökeltici koagülasyon olarak da bilinir. Bu mekanizma, kolloidal parçacıkların metal hidroksit çökeltileri içine girmesiyle meydana gelir ve nötrleştirmeyle karşılaştırıldığında daha yüksek giderim verimliliği sağlayabilmektedir. Bu mekanizma düşük askıda katı madde içeriği (10 mg/L) olduğunda meydana gelebilmekte ve bunun için yüksek koagülant dozlarına ihtiyaç duyulmaktadır (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

Koagülasyonda elektriksel çift katman mekanizması gerçekleşiyorsa, koagülant ilavesi koloit dağılımlarında kararsızlaştırma olayının anlaşılması için öncelikle hidrofobik koloitler tarafından taşınan yüzey yükü, yüzey yükünün etkisi veya etki bölgesi, basit koagülantların hem etkili yüzey yükü hem de etki alanı üzerindeki etkisi, ve basit koagülantlar ile hidrofobik koloitlerin kararsızlaşması bilinmelidir. Yüzey yükü, sıvıda bulunan yakındaki iyonların dağılımına etki eder. Zıt yüklü iyonlar yüzeye doğru çekilir ve benzer yüklü iyonlar yüzeyden uzağa doğru itilir. Böylelikle, termal hareketin karışma eğilimi ve karşılıklı iyonik itme/çekme ile yüklü yüzeyden oluşan elektriksel bir çift tabakanın oluşmasına neden olur. Bu elektriksel çifte katman teorisi olarakta bilinir ve yüklü yüzey bölgesinde meydana gelen elektrik potansiyellerinin büyüklüğü ile ilgilidir (Bratby, 2016). Elektriksel çift katman mekanizması, sıvı yüzeyinin yüklü olduğu durumlarda gerçekleşmekte ve metalik oksi-hidroksi veya yüksek moleküler ağırlığa sahip malzemeler kullanıldığında görülebilmektedir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

4.2.Koagülantlar

Koagülasyonun verimli gerçekleştirilebilmesi için en önemli etkenlerden birisi koagülanttır. Koagülasyonun gerçekleştirilmesi için çözeltideki kararlılığın bozulması gerekir. Bu kararlılığın bozulması koagülant bir madde ile gerçekleştirilir. Koloid maddelerin karalılığı, katı-sıvı ara yüzeyi ile ilişkili kuvvetlerin baskınlığından kaynaklanır. Bu kuvvetler iki durumdan ortaya çıkar. Bunlar, koloid ve sıvı ara yüzeyde yüzey yükünün varlığı ve koloidin yüzey katmanlarının hidrasyonudur. Koagülasyonda ilk eklenen koagülant madde birincil koagülanttır. Birincil koagülant sonrası flok oluşumu görülebilir. Bu floklara perikinetik flokülasyon denilir. Bir flokülantın eklenmesinin ardından gerçekleşen flokülasyon ise ortokinetik flokülasyon olarak adlandırılır (Bratby, 2016).

Koagülasyon işleminde kullanılmak üzere çeşitli koagülantlar bulunmaktadır (Bkz. Çizelge 4.1). Bu koagülantlardan bazıları öne çıkmaktadır. Düşük maliyetlerinden dolayı, çok değerlikli olan metallerin geleneksel inorganik tuzları koagülant olarak yaygın bir şekilde kullanılırlar. Negatif yüklü koloidal partiküller üzerine adsorpsiyonları nedeniyle sıklıkla tercih edilirler. Aynı zamanda yüzey yükünün azalmasına ve mikro topakların oluşmasına neden olurlar. Topak oluşumunun verimli olabilmesi için yüksek miktarlarda

koagülant kullanılması gerekebilmektedir. Bu durum büyük hacimlerde hidroksit çamuruna ve bertaraf etme sorununa yol açar. Bunun yanında inorganik koagülantların bir diğer dezavantajı ise pH'a karşı duyarlı olmalarıdır. Küçük pH değişimlerinde bile etkisiz kalabilmektelerdir. Geleneksel koagülantların en önemli dezavantajlarından biri ise arıtılan sudaki metal derişimini artırabilmeleridir. Sudaki metal derişiminin artması, insana sağlığı üzerinde ciddi sorunlara neden olur. Alüminyum tuzlarının kullanımının insan sağlığı üzerinde çeşitli olumsuz etkileri olduğu belirtilmiştir. Alzheimer hastalığı ve yaşa bağlı nörodejenerasyon ile ilişkili davranışsal ve morfolojik değişikler, alüminyumun belirtilmiş olumsuz etkilerindendir. Düşük derişimlerde alüminyum seviyelerinde bile bu olumsuz etkilerle karşılaşılabilmektedir (P*é*rez-Calder*ó*n vd., 2018).

Çizelge 4.1.Sık kullanılan koagülantlar (Wang vd., 2021)

Tür	Kimyasal Maddenin Adı	Kimyasal Maddenin Formülü	Uygulama Koşulları
Alüminyum	Alüminyum Sülfat	$Al_2(SO_4)_3.18H_2O$	pH aralığı: 6-8
		$Al_2(SO_4)_3.14H_2O$	
	Alum	$KAI(SO_4)_2.12H_2O$	Sıcaklık: 20-40^oC
		$NH_4KAl(SO_4)_2.12H_2O$	
	Polialüminyum Klorür	$[Al_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$	Geniş pH aralığı: 5-9
	Polialüminyum Sülfat	$[Al_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$	Düşük sıcaklık ve yüksek veya düşük bulanık çamurlu ortam
Demir	Demir (III) klorür	$FeCl_3.6H_2O$	Optimum pH: 8,5-11 Yüksek bulanık çamurlu ortam
	Demir Sülfat	$FeSO_4.7H_2O$	Optimum pH: 8,5-11 Yüksek alkaliniteye sahip ve sertliği yüksek çamurlu ortam
	Poliferrik sülfat	$[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$	Geniş pH aralığı: 5-11 Düşük sıcaklık ve yüksek veya düşük bulanıklığa sahip çamurlu ortam
Organik Koagülantlar	Poliferrik klorür	$[Fe_2(OH)_nCl_{6-n}]_m$	Uygun pH: 6-9
	Poliakrilamid	$(C_3H_5NO)_n$	Uygun pH: 6-9
	Polioksietilen	H-(-O-CH2-CH2-)n-OH	Geniş uygulanabilir alan, yüksek polimerizasyon ve mikrotoksisite

5. KULLANILAN KOAGÜLANTLAR

5.1. Alüminyum Sülfat ve Demir (III) Sülfat

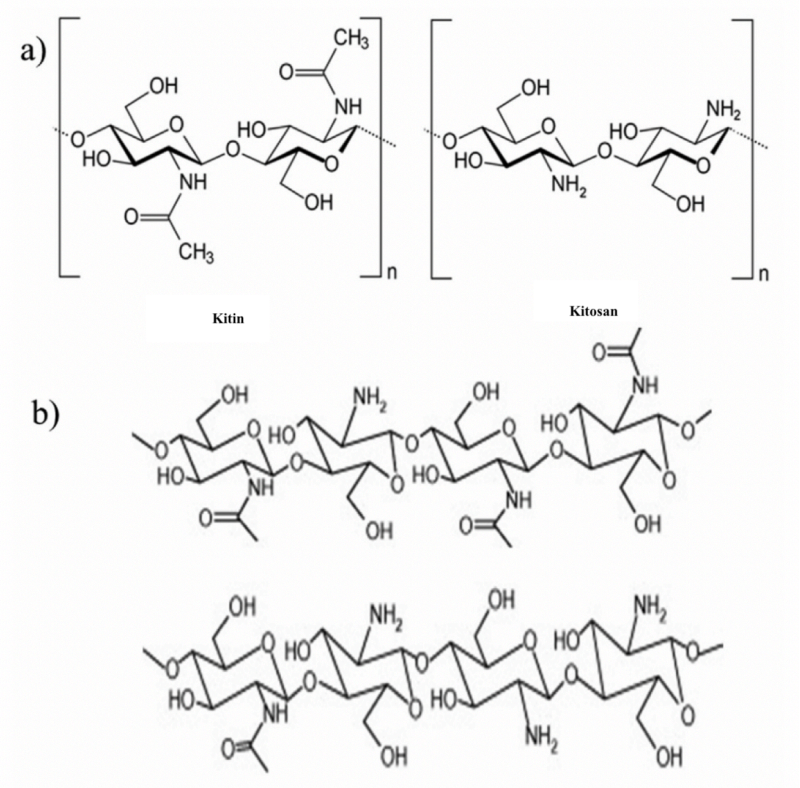
Koagülasyon ve flokülasyon yöntemi birçok organik ve inorganik maddelerin (yağlar, metaller, fosfor gibi) ve askıdaki maddelerin giderilmesi için kullanılmaktadır. Alüminyum ve demir tuzları koagülasyonda koagülant olarak en yaygın kullanılan geleneksel koagülantlardandır (Bratby, 2016; Freitas cd., 2016).

Alüminyum iyonu, organik moleküllerle kompleks oluşturma ve parçacık yüklerini nötrleştirme konusunda güçlü bir kapasiteye sahiptir (Freitas vd., 2016). Alüminyum tuzları içeren koagülantlar su arıtımında kullanılmaktadır. Fakat suda arıtım sonrasında kalan alüminyumun insan beyninde lezyonlara yol açtığı ortaya çıkarılmıştır. Çevre Koruma Ajansı (The Environmental Protection Agency-EPA), içme suyunda ikincil maksimum kirletici seviyesinin 0,05 ila 0,2 mg/L alüminyum olmasını önermiştir. Gıda ve İlaç İdaresi (The Food and Drug Administration-FDA), şişelenmiş su için 0,2 mg/L alüminyum sınırı belirlemiştir (Freitas vd., 2016).

Demir tuzları bir diğer çok kullanılan geleneksel koagülantlardandır. Demir sülfat ($FeSO_4$), demir (III) sülfat $Fe_2(SO_4)_3$ gibi farklı şekillerde koagülasyon/flokülasyon çalışmalarında kullanılmaktadır. Demir (III) sülfatın kullanılabildiği pH aralığı alüminyum sülfata göre daha geniş olup 4,0 ve 11,0 pH aralığında kullanılabilmektedir. Özellikle pH 4,0 değeri demir (III) sülfatın renk giderim verimi için tercih edilen pH değerleri arasındadır (Bratby, 2016). Demir tuzları farklı atık sularda koagülant olarak kullanılmıştır. Cui vd. (2015) gerçekleştirdiği bir çalışmada yer altı suyunun arıtımında hem demir (III) sülfat hem poliferrik sülfat kullanmıştır. Gerçekleştirdiği çalışma sonucunda ise poliferrik sülfatın demir (III) sülfata göre daha düşük dozunda aynı verimi elde etmiştir.

5.2. Kitosan

Kitin (β-(1–4)-poly-N-acetyl-D-glucosamine), doğada en bol bulunan ikinci polisakkarittir. Kitin, çeşitli organizmalarda, özellikle böceklerin, ıstakozların, karideslerin ve yengeçlerin dış iskeletlerinde kolayca bulunabilir (Ke vd., 2021). Kitosan ise kitinin deasetilasyonu ile üretilir. Kitosan doğadaki tek polikatyondur ve yük yoğunluğu ortamın asetilasyon derecesine ve pH'ına bağlıdır. Kitosanın çözünürlüğü asetilasyon derecesine ve molekül ağırlığına bağlıdır. Kitosan oligomerleri, asidikten bazik olanlara kadar geniş bir pH aralığında çözünür. Aksine, daha yüksek molekül ağırlığına sahip kitosan numuneleri, yüksek deasetilasyon derecelerinde bile sadece asidik sulu ortamda çözünür. Nötr ve bazik pH'ta bu çözünürlük eksikliği, kitosanın bazı uygulamalarda nötr fizyolojik koşullar altında kullanılmasını engellemiştir (Aranaz vd., 2021). Kitin ve kitosan monomer ve polimeleri Şekil 5.1'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.1. a) Kitin ve kitosan monomerleri b) kitin ve kitosan polimerleri (Pal vd., 2021)

2019 yılında, küresel kitosan pazarının büyüklüğü 6,8 milyar USA dolarıydı. Bu pazarın büyüklüğünün bileşik yıllık büyüme oranı (CAGR) temel alındığında, 2020 ile 2027 yılları arasında %24,7 değerinde bir büyüme beklenmektedir (Aranaz vd., 2021).

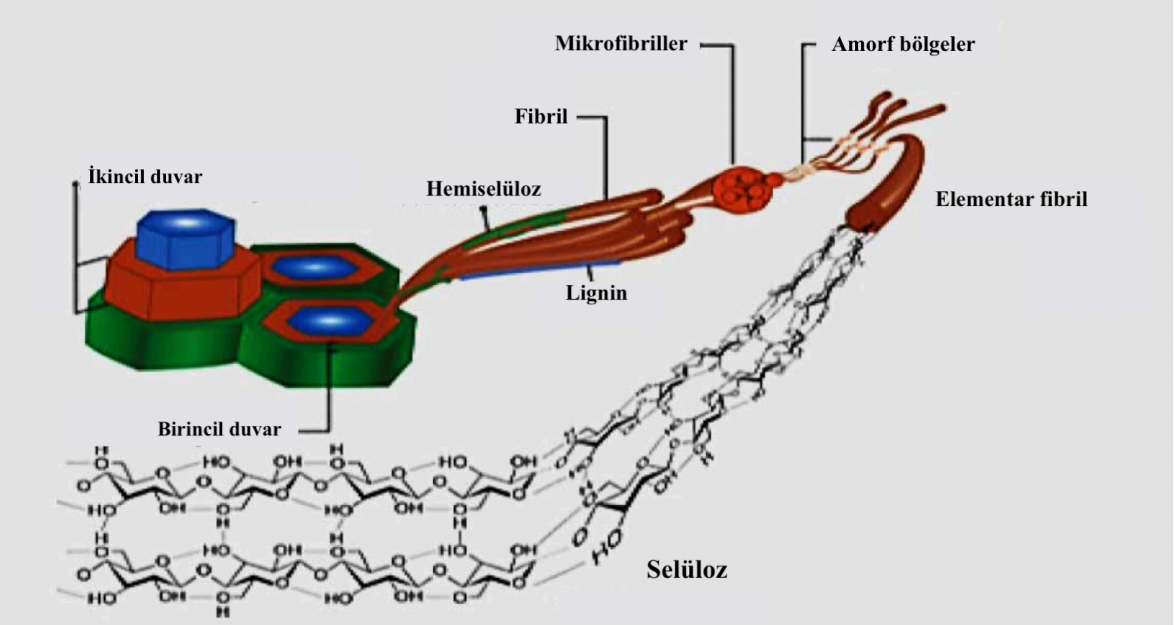
Kitosanın oldukça geniş uygulama alanı vardır. Örneğin, atık su arıtımında floklaştırıcı madde, bitkilerde savunma sistemini etkinleştirici madde, gıda muhafazasında ve gıda katkı maddesi, kozmetikte bir nem giderici ajan ve ilaç sektöründe hidrojel filmler için kullanılmaktadır. Ayrıca kitosanın bakteri ve mantarlara karşı geniş antimikrobiyal aktivitesi birçok makalede bildirilmiştir. Bununla birlikte kitosanın antimikrobiyal aktivitesinin etkinliği büyük ölçüde hedef mikroorganizmanın tipine bağlıdır. Ayrıca kitosanın antimikrobiyal aktivite mekanizmaları fizikokimyasal özellikleri ile ilişkilidir (Ke vd., 2021). Kitosanın yağlı atık suda koagülasyon uygulaması için P*é*rez-Calder*ó*n vd. (2018) bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmaya göre 2,55 g/L başlangıç derişimine sahip yağlı atık suda, 0,793 g/L dozunda kitosan uygulanarak kalan bulanıklık %8,9 ve KOİ giderimi %67 olarak elde edilmiştir.

5.3. Selüloz

Selüloz, en bol bulunan doğal polimerdir. Yıllık küresel üretimi yaklaşık $1{,}5 \times 10^{12}$ tondur. Bu büyüklük en önemli fosil ve mineral kaynakların sınırlı rezervleriyle aynı sıradadır. Selüloz odun ve yıllık bitkilerin en ana bileşenidir (Heinze ve Liebert, 2012). Selülozu kullanım alanı çok yaygındır. Hem yenebilir hem de yenilenebilir bir kaynaktır. Selüloz ticari olarak, ağaç, tekstil ve kağıt endüstrilerinde yaygındır. Bunun yanında, kromatografi, filtrasyon ve elektronik ekranlar dahil olmak üzere yeni uygulama alanları geliştirilmektedir (Song vd., 2012). Eşsiz bir yüzey işlevselliğine sahip oldukları için selüloz hakkında çok sayıda araştırma yapılmıştır (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023).

Selülozdaki glikoz birimlerinin sayısı, polisakkarit kaynağına bağlı olarak 500 ila 5000 arasında değişir. β-asetal bağlar ve molekül içi hidrojen bağı nedeniyle selüloz, yüksek sertlik ve rijitliğe sahip kristalimsi mikrofibriller oluşturur. Suda ve diğer birçok yaygın çözücüde çözünmez. Bitkilerde yapısal takviye bileşenleri olarak gerekli olan üstün

mekanik özellikler sergiler (Song vd., 2012). Bitkiler, algler, bakteriler, mantarlar ve tulumlar selüloz lifinin temel kaynaklarındandır. Pamuk lifleri %90 selüloz içeriğine sahipken odun %45-50 selüloz içeriğine sahiptir. Selülozun farklı türleri vardır. Selüloz I doğal polimerdir ve selüloz I α (triklinik yapı) ve selüloz I β (monoklinik yapı) olarak karşılaşılır. Selüloz II aynı zamanda rejenere selüloz olarak da bilinir ve daha çözünebilir kristal yapıdadır (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023). Selüloz I ve Selüloz II arasında temel fark Selüloz II'nin atom paketinin paralel olmaması ile Selüloz I'in paralel düzende olmasıdır. Selüloz I ve Selüloz II'nin amonyak ile işlem görmesi ile Selüloz III_I ve III_{II} elde edilir. Selüloz III'ün sıcak gliserol işlem görmesi ile Selüloz IV elde edilir (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023; Holtzapple, 2003). Bitkilerden izole edilen selüloz hiyerarşisini gösteren görsel Şekil 7.2'de verildiği gibidir.



Şekil 5.2. Bitkiden izole edilmiş selüloz hiyerarşisi (Ivbanikaro ve Adeniyi, 2023)

5.4. Aloe Vera

Aloe vera, Liliaceae familyasının bir üyesidir. Aloe vera yaprakları, klorenkima hücrelerine ve parankimi oluşturan daha ince duvarlı hücrelere ayrılabilen mezofili çevreleyen kütiküllerle kaplı kalın bir deriden oluşur. Aloe veranın jel kısmı yaklaşık %98,5-%99,5 sudan oluşur ve kalan kısmı 200'den farklı bileşen içerir (Minjares-Duentes ve Femenia, 2019). Aloe vera jeli, antrakinonlar, alkaloidler, enzimler, glikoproteinler, vitaminler ve polisakkaritler ile cilt bakımı ve diğer sağlık bakımı ve kozmetik uygulamaları için etkili tedavi için gerekli olan müsilajlı polisakkaritler dahil olmak üzere oldukça besleyici biyoaktif bileşenler içerir (Lad ve Murthy, 2016). Aloe vera bağışıklık düzenleyici, nemlendirici, yara iyileştirici, antioksidan, antienflamatuar, antitümör, antibakteriyel ve antifungal etkilere sahiptir. Jelin salisilik asit bileşeni sayesinde keratolitik etkisi de bulunmaktadır (Ünlü, 2022).

5.5. Atık Kağıt

Kağıt üretimi yapan bir endüstride, her bir 1 ton kağıt içi yaklaşık 190-200 m^3 su kullanılmaktadır. Hamurlaştırma işlemi sonrasında deşarj edilen kısımda %40-45 hamur ve %55-60 lignoselülozik materyal bulunmaktadır (Singh vd., 2022).

T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın 2022 yılında yayınladığı 2021 yılına ait kağıt sektör raporunda Türkiye'nin kağıt ve kağıt ürünleri ihracatı 2,2 milyar $ olarak gerçekleşmiştir ve bir önceki yıla göre ihracatta %25 artış olduğu belirtilmiştir. Bu rapora göre büyüyen nüfus ve kentleşmenin etkisi ile selüloz, kağıt, kereste ve tekstil talebenin yükseleceği, bununla birlikte atık kağıt miktarının artmasının beklendiği belirtilmiştir. Buna bağlı olarak geri dönüşüm ve atık kağıt toplamanın öneminin artacağının beklendiği belirtilmiştir (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022).

2019 yılı verilerine göre Güney Kore dünyanın 9. En fazla kağıt üretimini (9,8 milyon ton kağıtla) gerçekleştiren ülkesi olarak yer almaktadır. Kore Çevre Bakanlığı'nın yürüttüğü Ulusal Atık İstatistiklerine göre, Kore'de kişi başına üretilen evsel kağıt atık miktarı 2012

yılında 0,95 kg/gün olarak kaydedilmiştir. Kore'nin nüfusu göz önüne alındığında yaklaşık 48 990 ton atık kağıt her gün ortaya çıkmaktadır. Bu atık kağıtlar ise Güney Kore'de %44,5'dan az geri dönüştürülmektedir (Xu vd., 2022). Avrupa'da kağıt kazanma oranı %70-75 iken Türkiye'de bu oran %40-45 civarındadır (Sanayi Genel Müdürlüğü, 2022).

Kağıt bazlı malzemelerin atık sularda uygulaması bulunmaktadır. Bunlar arasında en çok karşılaşılanlardan birisi ise selüloz fiberler kullanılarak yapılan kağıt bazlı materyallerin atık su arıtımında kullanılmasıdır. Selüloz fiberlerin atık sularda fazlasıyla ilgi odağı olmasının en büyük nedenleri arasında düşük maliyete sahip olmaları, çevre dostu olmaları, mükemmel modifikasyona olanak sağlayan hidroksil gruplarının varlığı, gözenekli yapısı, nispeten yüksek spesifik yüzey alanı, ayırma performansı, geri kazanım kolaylığı ve geri dönüşümünün kolay olması yer almaktadır (Jiang vd, 2022).

Kağıt bazlı malzemeler, atık su arıtımında farklı çalışmalarda kullanılmıştır. Jiang vd. (2022) gerçekleştirdiği çalışmada yağlı atık su arıtımında, sitrik asit ve sodyum hipofosfat ile muamele edilmiş kağıt bazlı materyali (CP-APM) adsorban olarak kullanmıştır. Xu vd. (2022) gerçekleştirdiği bir çalışmada atık sudan ağır metal gideriminde adsorban olarak geri dönüştürülmüş endüstriyel atık kağıt çamurunu kullanmıştır. Pham vd. (2021) gerçekleştirdiği çalışmada atık sularda bulunan organik kirleticilerin yine adsorpsiyonla, atık kağıttan elde edilmiş karbon bazlı aerojeli (CWP) kullanarak giderimi üzerinde çalışmıştır.

6. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Ahmad vd. (2006) gerçekleştirdiği çalışmada palm yağlı atık sudan kitosan, alüminyum sülfat ve polialuminyum klorür (PAC) koagülantlarını kullanarak koagülasyon üzerinde çalışmıştır. Kullanılan yağlı atık suda yağ ve gres miktarı 4000-6000 mg/L, KOİ 50000 mg/L ve askıda katı madde miktarı 18000 mg/L olarak belirtilmiştir. Kitosan, alüminyum sülfat ve PAC koagülantlarına göre daha iyi sonuç vermiştir. Kitosan dozu 0,5 g/L ve pH 4 değerinde %95 yağ ve askıda katı madde giderimi sağlanmıştır.

Dominguez vd. (2007) gerçekleştirdiği bir çalışmada yüksek miktarda kirlilik içeren şişe mantarı üretim proses atık suyunun alüminyum sülfat koagülantı kullanılarak koagülasyon yöntemi ile arıtılması üzerine çalışılmıştır. 3 farklı kirlilikte atık suda çalışılmıştır. Bunlar, Su I, Su II ve Su III örnekleri olarak adlandırılmış ve sırasıyla 1060 mg/L, 1855 mg/L ve 3047 mg/L KOİ değerlerine ve 115 NTU, 180 NTU ve 280 NTU bulanıklık değerlerine sahiptir. Su I ve II örneğinde en iyi KOİ giderimleri pH değeri 5'te ve Su III için pH 11'de gözlenmiştir. Dozun etkisinin araştırıldığı deneyler alüminyum sülfatın farklı dozları için (33-166 mg/L aralığında) pH 5 değerinde gerçekleştirilmiştir. En iyi KOİ giderimi (bütün numunelerde yaklaşık %55 giderim) sağlayan dozlar Su I, Su II ve Su III numuneleri için sırasıyla 66 mg/L, 100 mg/L ve 166 mg/L dozlarında gözlenmiştir. Su I için gerçekleştirilen koagülasyon, pH 5 değeri gibi düşük bir pH değerinde gerçekleştiğinden, izoelektrik noktanın altında olduğundan, koagülasyonda yük adsorpsiyonu-nötralizasyon mekanizması baskın olarak gerçekleşmiştir. Su II için gerçekleştirilen koagülasyon için pH 5-8 aralığında giderimin düştüğü görülmüştür. pH 9 değerinde ise KOİ giderimi ve fenollerin gideriminde artış olduğu belirtilmiştir. Burada görülen ikinci maksimum noktası süpürme mekanizması ile açıklanabilir. KOİ, fenoller ve aromatik giderimlerindeki net sonuçlar geniş pH aralığında iki koagülasyon mekanizmasının gerçekleşmesi ile gerçekleşmiştir. Su III için gerçekleştirilen atık su arıtımında maksimum giderimler (KOİ, fenoller ve aromatik giderimleri) pH 11'e doğru değişiklik göstermiştir. Burada da yine süpürme mekanizmasının baskın olduğu belirtilmiştir.

Zouboulis vd. (2008) yaptığı çalışmada poliferrik sülfat (PFS) koagülantını kaolin süspansiyonu içeren ve biyolojik arıtım ile arıtılmış atık suyun koagülasyonunda denemiştir. Çalışmada kullanılan kaolin süspansiyonunun başlangıç bulanıklık 7 NTU iken biyolojik olarak önceden arıtılmış atık suda başlangıçta fosfat iyonu derişimi 3 mg/L ve başlangıç bulanıklığı 10 NTU olarak belirtilmiştir. Çalışma sonucunda PFS koagülantının düşük dozunda (5 mg/L) arıtılan suda 1 mg/L'nin altında fosfat iyonu derişimine düşülmüştür. Bu değerin hassas bölgelerde atık sular için deşarj limitini sağlamakta olduğu belirtilmiştir.

Zhu vd. (2011) gerçekleştirdiği bir çalışmada polimerik alüminyum demir sülfat (PAFS) koagülantı ile lağım suyunun koagülasyon ile arıtımını çalışmıştır. Kullanılan atık suyun bulanıklığının 70-100 NTU, KOİ değerinin 270-320 mg/L ve pH değerinin 8,02-8,5 aralığında olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen arıtım veriminin değerlendirilmesi için bulanıklık ve kimyasal oksijen ihtiyacı kullanılmıştır. Bunun yanında, koagülasyon-flokülasyonla arıtım verimini etkileyen koagülant dozu, atık su başlangıç pH değeri incelenmiştir. Çalışma sonucunda PAFS maksimum %83,6 KOİ giderimi sağlamış, en düşük kalan bulanıklık 0,96 NTU ve en iyi doz 45 mg/L olarak elde edilmiştir. Koagülasyon-flokülasyon prosesinin mekanizmasında ise adsorpsiyon-köprüleme ve yük nötralizasyonu mekanizmalarının önemli bir rol oynadığı belirtilmiştir.

Cui vd. (2015) yaptığı bir çalışmada yer altı sularından arsenik giderimini hem demir (III) sülfat ile hem de poliferrik sülfat ile gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada koagülasyon/flokülasyon için iki kova sistemi kullanılmıştır. İki kova sistemi hem kum filtrasyonunu hem de koagülasyonu kombinleyen bir sistem olarak kullanılmıştır. Çalışma sonucunda demir (III) sülfatın 0,12 g/L dozunda ve polidemir sülfatın 0,10 g/L dozunda kullanıldığı deneylerde %95 arsenik giderimi elde edilmiştir.

Freitas vd (2016) yapmış olduğu bir çalışmada kirlenmiş akarsuyu arıtımı koagülasyon yöntemiyle, alüminyum sülfat ve suda çözünebilir Moringa oleifera maddelerini koagülant olarak kullanarak arıtmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada %2 (w/v) alüminyum sülfatın kullanılması ile %73,12 bulanıklık giderimi elde edilirken moringa oleifera ve alüminyum sülfatın birlikte kullanılması sonucunda bulanıklık giderimi %90 üzerinde elde edilmiştir. Alüminyum sülfat koagülantının ardından Moriga oleifera lektin

kullanılarak bulanıklık giderimi %96,8 iken bu iki koagülantın aynı anda uygulanması ile bulanıklık giderimi %91,3 olarak elde edilmiştir.

Sun vd. (2017) yaptığı bir çalışmada, polimerik alüminyum ferrik silikat (PAFSi) adlı kompozit bir koagülant hazırlanmıştır. Arıtımı yapılan atık su, yüksek derişime sahip (5000±100 mg/L yağ derişimli, 20000 ± 400 mg/L KOİ) yağlı sentetik atık sudur. PAFSi koagülantının yapısının karakterizasyonu için X-ray kırınımı, SEM (taramalı elektron mikroskobu) ve kızıl ötesi spektrumları kullanılmıştır. Gerçekleştirilen çalışma sonunda hazırlanan PAFSi koagülantı ile, 60-120 mg/L koagülant dozu aralığında, 4-9 pH aralığında ve 300-600 s^{-1} G değerleri aralığında, KOİ gideriminde %98,2 ve yağ gideriminde %98,4 verim elde edilmiştir.

Eryılmaz ve Genç (2018) gerçekleştirdiği yağlı atık suların elektrokogülasyon ile arıtımında yatay ve dikey elektrot yerleşiminin etkisini incelemiştir. Çalışmada bor yağı kullanılmış olup, iletkenlik, bulanıklık, KOİ, pH ve zeta potansiyeli ölçülmüştür. Çalışmada kullanılan atık su %2'lik başlangıç derişimine, 10500-13500 NTU bulanıklığa, 50000 ile 60000 mg/L arasında KOİ değerine sahiptir. Alüminyum levha elektrotların yatay ve dikey yerleştirildiği elektrokoagülasyon deneyleri sonucunda en iyi KOİ giderimi sırasıyla %97 ve %88 olarak, bulanıklık giderimi ise sırasıyla %95 ve %76 olarak elde edilmiştir.

P*é*rez-Calder*ó*n vd. (2018), emülsifiye atık suyun arıtımını koagülasyonla gerçekleştirdiği çalışmada kitosan kullanmıştır. Çalışmada kullanılan atık su emülsiyon haline getirilmiş olup en yüksek yağ derişimi 2,55 g/L'dır. Bu derişime sahip atık suda koagülasyon sonucu, optimal 0,986 g/L SDS dozu ve 0,793 g/L kitosan dozu uygulanarak, (kalan bulanıklık) %RT = 8,9, (zeta potansiyeli) ZP = -1,1, CL (arıtılmış bölgenin göreli uzunluğu) = 0,56 ve %67 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Daud vd. (2020) yaptığı bir çalışmada, biyodizel atık suyunun koagülasyon ve flokülasyon ile arıtımı çalışılmıştır. Arıtımın koagülasyon/flokülasyonla gerçekleştirilmesi için demir klorür ve organik polielektrolit (katyonik) maddeleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında askıda katı, renk, KOİ, yağ ve gres değerleri kaydedilmiştir. Aynı zamanda çalışmanın optimum koşulları için pH, koagülant dozu ve polielektrolit çözelti dozu gibi

çeşitli parametreler belirlenmiştir. Elde edilen çalışmalar sonucunda optimum pH 6 ve optimum koagülant dozu 350 mg/L olarak belirtilmiştir. Giderim verimleri ise; AKM %95, renk %93, KOİ %63, yağ ve gres %97 olarak elde edilmiştir. Bununla beraber 125 mg/L demir klorüre 10 mg/L katyonik polielektrolit ilave edilmesi ile AKM, renk, KOİ, yağ ve gress giderimi sırasıyla, %86,3, %86,7, %57,2 ve %81 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda demir klorür ile, biyodizel içeren atık suların arıtımında öncül arıtım olarak koagülasyon/flokülasyon prosesi gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir.

Favero vd. (2020) gerçekleştirdiği bir çalışmada yeniden rafineri edilmiş yağlayıcı özellikte yağlı suyun arıtılması için elektrokoagülasyon ve koagülasyon proseslerini kombinleyerek bir arıtım gerçekleştirmiştir. Elektrokoagülasyon verimi KOİ, renk ve bulanıklık gözlenerek değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında 3 farklı başlangıç pH değerinde (3,00; 4,00; ve 9,00), farklı akım yoğunlukları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Koagülant olarak alüminyum poliklorür ve flokülant olarak süper-floc A300 kullanılmıştır. Deneyler gerçekleştirilirken öncelikle elektrokoagülasyon ardından koagülasyon-flokülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Arıtımı yapılan atık suyun başlangıç KOİ, bulanıklık ve pH değerleri sırasıyla 33980,58 mg/L O_2/L, 1940 NTU ve 4,41 olarak kaydedilmiştir. İlk kademede gerçekleştirilen elektrokoagülasyon sonucunda %85,14 KOİ giderimi ve %99,85 bulanıklık giderimi gözlenmiştir. Koagülasyon-flokülasyon işleminin elektrokoagülasyon sonrasında uygulanması sonucunda toplamda %96,00 KOİ giderimi ve %99,94 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. En iyi sonuçlar pH 9; 16 A/m^2, 7V; koagülant dozu 13,8 mg/L ve flokülant dozu 80 mg/L değeriyle elde edilmiştir.

Zhang vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, yağlı olmayan (örn. humus atık suyu) ve yağlı refrakter atık suyu (örn. yağlama atık suyu) arıtımı için yeşil, klorsuz bir polialüminyum ferrik silikat (PSAF) koagülantını sentezlemiştir. Sonuçlar, yağlı olmayan atık sudaki humus maddelerinin en yüksek uzaklaştırma verimliliği, yalnızca PSAF kullanılarak pH 7,0'da %96 olarak elde edilmiştir. Yağlı atık su arıtıldığında, PAMALAM'ın (Poli (akrilamid-ko-dialil-dimetilamonyum klorür)) dozajı ve ekleme sırasının koagülant performansını önemli ölçüde etkilediği belirtilmiştir. PSAF +%0,08 PAMALAM'ın optimal ekleme dizisi ile bulanıklık, kimyasal oksijen ihtiyacı ve toplam azot giderim verimlilikleri sırasıyla 0,3, 1,8 ve 5,9 kat artmıştır.

Liu vd. (2021) yaptığı bir çalışmada yağ-su ayrımını gerçekleştirmek amacı ile istiridye kabuklarını polidimetilsiloksan (PDMS) ile iyi bir şekilde birleştirerek poliüretan (PU) sünger üzerine çözeltiye daldırma yöntemi ile süperhidrofobik bir yüzey oluşturmuşlardır. Elde edilen nano-hidroksiapatit (nano-hydroxyapatite, nano-Hap) sünger, 150^{o} temas açısı ve yüksek adsorplama kapasitesi ile organik çözücüler ve yağlar için PU süngerinden daha iyi bir adsorplama kapasitesine sahiptir. Aynı zamanda mükemmel bir yağ/su seçiciliğine sahip olduğu gerçekleştirilen çalışmada belirtilmiştir. Geliştirilen süperhidrofobik nano-HAp/PU süngerin, 10 döngüde sudan yağ geri kazanım kapasitesinde belirgin bir azalma olmadan mekanik olarak kararlı olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma sonucuda istiridye kabuğunun yalnızca yağ içeren atık su arıtımı için değil, aynı zamanda sürdürülebilir su ürünleri yetiştiriciliğine de yararlı olabilecek süperhidrofobik kaplamalara alternatif olabileceği belirtilmiştir.

Fard vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, tuzlu yağlı atık suların arıtımında Lallemantia isimli musilajın kullanımı araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada kinetik çalışmaya, prosesin optimize edilmesine ve modellemeye yer verilmiştir. Bu doğal koagülant, başlangıçta KOİ değeri 1202,5 ± 8,5 mg/L olan sintine suyu (bilge water) arıtımında, koagülant dozu 10 mg/L'de, pH değeri 7,00'de ve temas süresi 28,3 dakikada %87,57 KOİ giderimi sonucunu vermiştir. Aynı zamanda optimum koşullarda, Lallemantia musilajı, sürfaktantların (giriş akımında 55 ± 0,4 mg/L olarak bulunan) %20,6'sının giderimini sağlamıştır.

Zhuang vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, kaolin-hümik asit içeren sentetik suyun koagülasyon ile arıtımı için polialüminyum zirkonyum silikat sülfat (PAZS) koagülantı hazırlanmış ve kullanılmıştır. Hazırlanan koagülantın karakterizasyonu SEM (taramalı elektron mikroskobu), XRD (X-ray kırınımı) ve FTIR (kızıl ötesi spektrumları) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada deneysel veriler için öncelikle koagülant hazırlık koşullarının optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. En iyi koşullar, Al/Zr için 3 değerinde, Si/(Zr+Al) için 1 değerinde ve OH/(Al+Zr) için 0,15 değerinde elde edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma kapsamında farklı pH değerleri farklı koagülantlar için denenmiş ve buna göre pH 4, 6 ve 8 değerlerinde UV254 giderim performansı gösteren koagülantın PAZS olduğu ortaya çıkmıştır. PAZS dışında çalışmada kullanılan diğer koagülantlar ise,

polialüminyum klorür (PAC) ve polialüminyum silikat sülfat (PSS)'dir. Çalışmanın sonuç bölümünde bir çizelgede farklı çalışmalarda kullanılan koagülantlara ait ve çalışılan atık sular hakkında çeşitli bilgiler verilerek PAZS koagülantı ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda ve yapılan karşılaştırma sonucunda, sentezlenen PAZS'nin etkin bir koagülant olduğu vurgulanmıştır.

Ahmad vd. (2021) tarafından yapılan bir çalışmada, bitki bazlı olan Azadirachta indica (Neem-Hint Leylağı) ve alum koagülant olarak kullanılmış ve karşılaştırmıştır. Çalışmada bulanıklık giderimi toplam askıda katılar ve renk giderimi incelenmiştir. Çalışmada arıtımı yapılan atık su Malezya'dan elde edilmiş su kültür atık suyudur. Deneysel çalışmalar her iki koagülant için 180 rpm'de 3 dk hızlı karıştırma, 10 rpm'de 20 dk yavaş karıştırma uygulanmış ve 30 dk ila 60 dk arasında çökelmeye bırakılmıştır. Bu işlemin sonucunda optimum çökelme zamanı 30 dk olarak belirlenmiştir. Hint leylağı için 0,3 mg/L doz ile bulanıklık giderimi %82,7, toplam askıda madde giderimi %81,37 ve renk giderimi ise %65,8 olarak belirlenmiştir. Alum koagülantı ile 362,7 mg/L koagülant dozuyla bulanıklık giderimi %99,7, toplam askıda madde giderimi %98,8 ve renk giderimi ise %97,3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar ele alındığında kullanılan doğal koagülantın yüksek verimli bir arıtım sağlamaya yardımcı olan potansiyeli yüksek bir koagülant olduğu ortaya çıkartılmıştır.

Andrade vd. (2021) yaptığı bir çalışmada, evsel bir atık suyun koagülasyon, flokülasyon, çökeltme ve hızlı granüler filtrasyon yoluyla üçüncül arıtımı için Moringa oleifera (MO) tohumunun sulu ekstraktının kullanımını değerlendirmeyi amaçlamıştır. Görünen renk, bulanıklık, BOİ, KOİ, TOK, besin maddeleri, oluşan çamur, pH ve alkalilik tüketimini giderme kapasitesini değerlendirmek için MO ve alum dozajları ile ikincil arıtımdan çıkmış atık su numunelerinde kum filtreli birleştirilmiş jar testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalarda optimum MO dozajı 600 mg/L olarak belirlenmiştir ve bu değerin istatiksel olarak alumun 200 mg/L dozuna denk geldiği belirtilmiştir. Bakteri yükü, bulanıklık ve görünür renk gideriminde sırasıyla %99, %92 ve %66 sonuçları elde edilmiştir.

Feng vd. (2021) gerçekleştirdiği bir çalışmada boyar madde içeren atık su arıtımını flokülasyon ile kağıt üretim çamuru bazlı flokülant (PSBF) ve ticari lignin bazlı flokülant (LBF) ile gerçekleştirmiştir. Çalışmada karşılaştırma yapabilmek için ticari PAC ve PAM flokülant olarak kullanılmıştır. Kağıt üretim çamuru bazlı flokülantın ve ticari lignin bazlı flokülantın boyar madde giderimindeki veriminin PAC ve PAM'a göre daha iyi olduğu belirtilmiştir. PSBF ve LBF'nin daha iyi flokülasyon performansı göstermesi, bu maddelerin güçlü yük nötralizasyonu ve adsorpsiyon köprüleme etkilerinin bir göstergesi olduğu belirtilmiştir. En iyi renk gideriminin pH 2 ve 6 aralığında gözlendiği belirtilmiştir.

Pham vd. (2021) gerçekleştirdiği bir çalışmada atık kağıttan elde edilmiş karbon bazlı aerojeli (CWP) atık sularda bulunan organik kirleticilerin (fenol ve 2-klorofenol) adsorpsiyonla giderimi üzerine incelemeler yapılmıştır. Gerçekleştirilen adsorpsiyon sonucu olarak adsorplanma yüzdeleri fenol için 91,3 ve 2-klorofenol için 93,8 olarak elde edilmiştir.

Ahmad vd. (2022) gerçekleştirdiği bir çalışmada dokumasız kumaş bazlı elek membranları (NWF-non-woven fabric-based sieve membranes) hidrofilik kitosan ve grafen oksit ile modifiye ederek yağ-su emülsiyonunda %98 verimle bir ayırma sağlamıştır. Bu sistem kerosen, dizel, petrol, hardal, zeytin ve hindistan cevizi yağlı su emülsiyonlarında denenmiştir. En iyi yağ-su ayrımı %98,05 ile hindistan cevizi yağında elde edilmiştir. Petrol bazlı yağlarda ise en iyi yağ-su ayrım verimi petrol yağında %91,85 olarak elde edilmiştir.

Jiang vd. (2022) gerçekleştirdiği yağlı atık suların arıtımı için filtrasyon ve adsorpsiyonun kullanıldığı çalışmada, yüksek ıslanma mukavemetine, iyi yağ-su ayırma özelliğine ve yüksek ağır metal adsorpsiyon kapasitesine sahip yeşil kağıt-bazlı malzeme kolay ve uygun maliyetli bir şekilde hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan yağ-su emülsiyonu hacimce 100:1 oranında karıştırılarak hazırlanmıştır. Aynı zamanda hazırlanan emülsiyona emülsiye edici madde olarak Tween 80 eklenmiştir. Yağ fazının hazırlanmasında toluen, petrol eteri ve n-hegzan kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan modifiye edilmiş fonksiyonel kağıt, iğne yapraklılardan elde edilen (kozalak veren) kağıt hamuru kullanılarak elde edilmiştir ve ağır metal iyonları için iyi adsorpsiyon performansı göstermiştir. Kullanılan kompozit membran ise silika nanopartiküllerinin pürüzlü yüzey yapısı oluşturup ardından hidrofobik modifikasyon oluşturmak üzere filtre kağıdı üzerine sabitlenmesiyle

hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda sitrik asit ve sodyum hipofosfat ile muamele edilmiş kağıt bazlı materyalin (CP-APM) kullanıldığı deney sonucunda petrol eteri, n-hegzan ve soya fasulyesi yağında sırası ile %99,3, %98,9 ve %98,6 ayırma verimleri sağlanmıştır.

Kang vd. (2022) gerçekleştirdiği bir çalışmada hayvan çiftliği atık suyunda alüminyum bazlı arıtım çamurunu (Al-WTS) koagülant olarak kullanmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada en iyi sonuçlar pH 7,0 (pH 7,0-9,0 aralığında elde edilmiştir. Fakat pH ayarlanmasında kullanılan madde sarfı göz önüne alındığında atık suyun orijinal pH değerine yakın olan 7,0 ile çalışmalara devam edilmiştir) değerinde Al-WTS dozunun 1588 mg/L olduğu deneyde toplam askıda katı madde giderimi %87,8 ± %2,2, toplam organik karbon giderimi %62,1 ± %1,8 ve fosfat giderimi %96,6 ± %2,9 olarak elde edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan atık su Lyons Research Farm çiftliğinden alınmıştır. Bu çalışmada kullanılan koagülant alüminyum bazlı arıtım çamuru zaten atık durumunda olan bir madde olduğundan, ekonomik olarak değerlendirilmiştir.

Kurusu vd. (2022) gerçekleştirdiği sürdürülebilir demir aşılı selüloz lifleri, koagülant geri dönüşümünün sağlanması ve su arıtımında kirletici madde giderimi konulu çalışmasında, derişimi 0,1-0,2 g/L arasında olan demir aşılı liflerleri koagülasyon işleminde süper köprüleme ajanı ve adsorban olarak kullanmıştır. Temel olarak çalışmada alum koagülant olarak, poliakrilamid (PAM) ise flokülant olarak kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda birden çok koagülantın tekrar kullanımı söz konusu olduğunda kullanılan koagülant (alum) ihtiyacında %60 dan fazla azalma olduğu belirtilmiştir.

Li vd. (2022) yaptığı bir çalışmada, yağlı mürekkepli atık su ve nano-Fe_3O_4/$Na_2S_2O_8$ ile modifiye edilmiş yağ çözücü maddenin koagülant olarak kullanımı ile bir koagülasyon ve sedimentasyon çalışması gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada, nano-Fe_3O_4 (MNP) ile aktifleştirilmiş sodyum persülfatın (SPS) yağ çözme etkisi ile koagülasyon veriminin arttırılması amaçlanmıştır. Sonuçlar, 40 ila 50 dakika içinde yağ, KOİ, amonyak azotu, krom ve bulanıklık giderimlerinin sırasıyla %96,4, %98,4, %88,0, %99,7 ve %98,2'ye ulaştığını göstermiştir.

Xu vd. (2022) gerçekleştirdiği bir çalışmada geri dönüştürülmüş endüstriyel atık kağıt çamurunu atık sulardan ağır metal gideriminde adsorban olarak kullanmıştır. Çalışmada kullanılan çamur-kitosan adsorbanı atık suda bulunan Cu^{2+} ve Cr^{3+} giderimi için incelenmiştir. Adsorban kapasitesi, Cu^{2+} ve Cr^{3+} giderimi için sırasıyla 114,6 mg/g ve 110,3 mg/g olarak belirtilmiştir.

Zhuang vd. (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, Moringa oleifera tohumları kanalizasyon suyunun (sewage wastewater) koagülasyon ile arıtımında koagülant olarak kullanılmıştır. Kullanılan bio-koagülant, M. oleifera tohum tozu (MOSP), yüzeyinin aktifleştirilmesi için distile su, HCl, NaOH ve NaCl ile muamele edilmiştir. Kullanılan bio-koagülantın performansı bulanıklık giderimi, EC, pH, TS, BOİ ve KOİ gibi değerlerin incelenmesi ile belirlenmiştir. Koagülantın karakterizasyonu FTIR, SEM ve EDAX ile gerçekleştirilmiştir. En iyi sonucu veren yüzey aktifleştirme HCl ile gerçekleştirilmiş olup %90 değerinde elde edilmiştir. Bütün MOSP çeşitleri WHO'nun belirlediği sınır değerlerde arıtımı gerçekleştirmeyi başarmıştır.

Yağlı atık suyun koagülasyonla arıtımında farklı çalışmalarda kullanılan koagülantları ve uygulamalarıyla ilgili bilgi veren çizelge Çizelge 6.1'de verildiği gibidir. Arıtım yapılan atık su, en iyi koagülant dozu, KOİ ve bulanıklık giderimi (varsa başlangıç değerleri (B.D) ile) bu çizelgede verildiği gibidir.

Çizelge 6.1. Yağlı atık su arıtımında koagülasyon kullanılan çalışmalar

Kullanılan Koagülant	**Atık Su**	**En İyi Doz (mg/L)**	**KOİ Giderimi (%)**	**Bulanıklık Giderimi (%)**	**Kaynak**
Polimerik alüminyum ferrik silikat (PAFSi)	Yağlı sentetik atık su	60	98,2 (B.D.20000± 400 mg/L)	98,4 (yağ giderimi)	Sun vd. (2017)
Polialüminyum klorür (PAC)	Yağlı mürekkepli atık su	500-600	98,35 (B.D.9500 ± 574 mg/L)	98,22 (B.D.7260 ± 270 NTU)	Li vd. (2022)
Moringa oleifera (MO)	Evsel atık su	600	1 ± 11 (B.D.915 ± 119 mg/L)	92,0	Andrade vd. (2021)
Lallemantia musilajı	Tuzlu yağlı atık su	10	87,57 (B.D. 1202,5 ± 8,5 mg/L)	-	Fard vd. (2021)
Opuntia ficus-indica	Yağ kumları prosesi atık suyu	1500	-	98,0 (B.D.500 NTU)	Choudhary vd. (2019)
Kitosan	Palm yağlı atık su	500	-	95	Ahmad vd. (2006)
Kitosan	Yağlı sentetik atık su	0,793	67	8,9 (kalan bulanıklık)	Pérez-Calderón vd. (2018)
Moringa oleifera	Metal işleme atık suyu	50	-	95 (yağ giderimi)	Lester-Card vd. (2023)

7. MATERYAL VE YÖNTEM

7.1.Materyaller

Bu çalışmada koagülant olarak, alüminyum sülfat ($Al_2(SO_3)_4.18H_2O$) (Acros Organics, CAS-No: 7784-31-8), demir sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$) (Sigma Aldrich Catalog No: 307718, CAS-No: 15244-10-7), polialüminyum klorür (TEKKİM Kimya Sanayi Tic. Ltd. Şti., CAS-No: 1327-41-9), kitosan (Sigma Aldrich Catalog No: C3646, CAS-No: 9012-76-4), selüloz (Sigma Aldrich Catalog No: C6288, CAS-No: 9004-34-6) kimyasalları, aloe vera ve atık kağıtlar kullanılmıştır. Yağlı sentetik atık suyun hazırlanması için kullanılan bor metal kesme yağı İLKSEM Mühendislikten temin edilmiştir. Bor metal kesme yağının özellikleri Çizelge 7.1.'de verildiği gibidir. pH ayarlaması için 0,1M HCl, 1M HCl ve 0,1M NaOH kullanılmıştır.

Çizelge 7.1. Bor metal kesme yağının özellikleri

Görünüş	Berrak, açık kahverengi
pH	(%3 emülsiyon) 8,8
Özkütle	20^oC'de 0,89 g/cm^3
Refraktometre faktörü	1,60

7.2. Yağlı Sentetik Atık Suyun Hazırlanması

Yağlı sentetik atık suyun hazırlanması için bor metal kesme yağı kullanılmıştır. Ağırlıkça %0,025'lik (250 mg/L), %0,05'lik (500 mg/L), %0,1'lik (1000 mg/L), %0,25'lik (2500 mg/L), %0,5'lik (5000 mg/L), %1'lik (10000 mg/L) ve %5'lik (50000 mg/L) yağlı atık sular hazırlanmıştır. Yağlı atık sular hazırlanırken öncelikle gereken miktarda saf su 1L'lik beherin içerisine konulmuştur ve üzerine gerekli miktarda tartılan bor metal kesme yağı, yavaş yavaş eklenmiştir. Emülsiyonun tam olarak oluşması için yaklaşık 10 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 700 rpm'de karıştırılmıştır.

7.3. Koagülantların Hazırlanması

Bu çalışmada, alüminyum sülfat ($Al_2(SO_3)_4.18H_2O$), demir (III) sülfat ($Fe_2(SO_4)_3$), polialüminyum klorür ($Al_2(OH)_nCl_6$-n) geleneksel koagülant olarak kullanılmıştır. Polialimünyum klorür koagülantından verim alınamadığı için ön denemelerden sonra kullanılmamıştır. Polialüminyum klorür, alüminyum sülfat ve demir (III) sülfat koagülantları katı olarak uygulanmıştır.

Deneylerde kullanılan aloe vera uygulanmadan önce yıkanmıştır ve kabuk bölümü soyulmuştur. Jel kısmı ayrılan aloe vera, blender ile jel formunu kaybedip, daha akışkan kıvama gelene kadar karıştırılmıştır. Deneylerde kullanılmadan önce cam kaplarda buzdolabında saklanmıştır. Aloe vera bozulmaması için kullanılmadan en geç 1 gün önce hazırlanmış ve taze olarak kullanılmıştır.

Kitosan için 5g/L'lik stok kitosan çözeltisi hazırlanmıştır. 2,5 g kitosan, 500 mL balon jojede, 20 mL 1M HCl ile çözülmüştür. Homojen ve tam çözünmüş bir çözelti elde etmek için kitosan çözeltisi yaklaşık 20 saat 500 rpm'de manyetik karıştırıcı ile devamlı karıştırılmıştır.

Selüloz katı, asitler ile aktive edilerek ve demir aşılı olmak üzere 3 farklı şekilde uygulanmıştır. Asitle aktive edilmiş (AAE) selülozun elde edilmesi için hem hidroklorik asit (1M HCl) hem de asetik asit (1M CH_3COOH) kullanılmıştır. 3 g selüloz 50 mL 1M HCl içerisinde 60^{o}C'de 1 saat boyunca 300 rpm'de karıştırılmıştır. Karıştırma tamamlandıktan sonra saf su ile yıkanıp filtre kağıdından süzülmüştür. Ayrılan katı kısım 1 saat 60^{o}C'de etüvde kurutulmuş ve ardından ağzı kapalı kaplarda kullanılmak üzere saklanmıştır. Asetik asit ile aktivasyon için aynı işlemler gerçekleştirilmiş olup, hidroklorik asit yerine asetik asit kullanılmıştır.

Demir aşılı selüloz ve kitosanın hazırlanması için, 21 mM'lık demir oksit içeren çözeltisi hazırlanmıştır (Kurusu vd., 2022). Demir oksit çözeltisinin elde edilebilmesi için

demir (III) sülfat kullanılmıştır. Belirlenen demir (III) sülfat miktarı için gerçekleştirilen hesaplama aşağıda verildiği gibidir:

1 mmol'da 55,85x2=111,7 mg demir varsa 21 mmol için 2345,7 mg (2,35 g) demir gerekir. Buna göre, 1 L için gerekli demir (III) sülfat miktarı:

$$(2{,}35 \text{ g} \times 399{,}88 \text{ g/mol}) / (55{,}85 \times 2) = 8{,}41 \text{ g}$$

şeklinde bulunur. Demir (III) sülfattan 4,205 g alınmış ve 500 mL balon jojeye konulmuştur. 500 mL balon joje içerisinde bulunan demir (III) sülfat çözeltisinin pH değeri 2,00'a ayarlanmıştır. Demir oksitlerin, koyu kırmızı renk alarak çökeldiği gözlenmiştir. Daha sonra çökelekli çözeltinin pH'ı 7,00'a ayarlanmıştır. Selüloza demir aşılanması için, demir oksitli çözeltiden 250 mL bir erlene konulmuştur. Erlenin içerisine 2,5 g selüloz lifi tartılıp konulmuş ve 1 dk 300 rpm'de, 5 dk 100 rpm'de karıştırılmıştır. Karıştırma tamamlandıktan sonra filtre kağıdından süzülüp katı kısım 1 saat 105 ^{o}C'de etüvde kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra elde edilen demir aşılı selüloz daha sonra kullanılmak üzere ağzı kapalı kaplarda saklanmıştır. Demir aşılı kitosan elde etmek için, 100 mL demir oksit çözeltisinden alınıp bir erlene konulmuştur. Erlen içerisine 1 g kitosan tartılıp konmuş ve 1 dk 300 rpm'de, 5 dk 100 rpm'de karıştırılmıştır. Demir aşılı kitosan da kurutulduktan sonra ağzı kapalı kaplarda saklanmıştır.

Atık kağıt koagülantının hazırlama işlemi parçalanmış kağıtların saf su ile yıkanıp, 60^{o}C'de suda yaklaşık 30 dakika bekletilmesi sonunda hamurlaşması ile başlamıştır. Hamurlaşan kağıtlar kaba süzgeç kağıtları ile süzüldükten sonra etüvde 60^{o}C'de 2 saat kurutulmuştur. Kurutulan kağıt hamurları 1L beher içerisinde 70 mL HCl ve 930 mL saf su eklendikten sonra 1 saat boyunca 60 ^{o}C'de karıştırılmıştır. Atık kağıt için 24 g/L ve 30 g/L derişimde kağıt hamurlu stok süspansiyonlar hazırlanmıştır. Süspansiyon hazırlanırken su eklendikten sonra 1 saat karıştırma uygulandı ise isimlendirmede 1 saatlik, 1 saat karıştırılıp 1 gün bekletildi ise 1 günlük tanımlamaları kullanıldı. 24 g/L'lik süspansiyonun süzülmesi ile 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik koagülant olarak kullanılmıştır. 30 g/L için hem 1 saat asitle 60^{o}C'de karıştırılarak hazırlanan çözelti (30g/L'lik çözelti-1 saatlik) hem de 1 gün oda sıcaklığında asitle karıştırılarak hazırlanan çözelti (30g/L'lik çözelti-1 günlük) uygunlanmıştır.

7.4. Jar Testi

Bu çalışmada koagülasyon deneyleri standart bir yöntem olan Jar testi ile gerçekleştirilmiştir. Bütün deneylerde hızlı karıştırma 700 rpm'de 3 dk, yavaş karıştırma 100 rpm'de 15 dk olarak gerçekleştirilmiştir. Kitosan ve selüloz ile gerçekleştirilen koagülasyon deneylerinde koagülasyon sonrası süzme işlemi gerçekleştirilmiştir. Alüminyum sülfat, demir (III) sülfat, aloe vera ve atık kağıt ile gerçekleştirilen koagülasyon deneylerinde koagülasyon sonrasında yağlı sular 45 dakika ayırma hunilerinde bekletilmiştir. Ayırma hunisinde ayrılan yağ ayırılıp tartılmış ve yağ geri kazanım yüzdesi denklem 7.1'deki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Yağ geri kazanımı}(\%)=\frac{Ayırma\ hunisinde\ ayrılan\ yağ\ miktarı\ (g)}{Başlangıçta\ sentetik\ atık\ sudaki\ yağ\ miktarı(g)} * 100 \quad (7.1)$$

Koagülasyon deneylerinde, farklı başlangıç derişimlerinde, pH değerlerinde ve koagülant dozlarında çalışılmıştır. Aynı zamanda atık kağıt koagülantı ile çökelme süresinin etkisi de araştırılmıştır.

Alüminyum sülfat koagülantı kullanılarak yapılan koagülasyon deneyleri pH 5,00'de gerçekleştirilmiştir (Oğuz, 1986). Ağırlıkça %5 ve %0,5'lik yağlı sentetik atık sular ile çalışılmıştır. Koagülant dozunun etkisinin incelenmesi için %5'lik yağlı sentetik atık suda 6000, 10000, 16000, 20000, 24000 ve 30000 mg/L dozlarında çalışılırken, %0,5'lik yağlı sentetik atık suda 2000, 4000, 5000, 6000, 10000, 16000, 20000, 24000 ve 30000 mg/L dozlarında çalışılmıştır.

Demir (III) sülfat koagülantı ile 4,00; 6,00 ve 8,42 (orijinal) pH değerlerinde, ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık su ile 16000 mg/L dozunda çalışılmıştır. Koagülant dozunun etkisinin incelenmesi için 6000, 10000, 16000, 20000, 24000 ve 30000 mg/L dozlarında, pH 4'te deneyler gerçekleştirilmiştir.

Kitosan ile yapılan çalışmalarda ağırlıkça %0,025, %0,5 ve %5'lik yağlı sentetik atık sular ile deneyler gerçekleştirilmiştir. pH değerinin etkisini araştırmak için yapılan yapılan deneyler, %0,025'lik yağlı sentetik atık su ile pH 4,00; 5,00; 6,00; 7,00; 8,00 ve 9,00 değerlerinde 400 mg/L dozunda gerçekleştirilmiştir. Koagülant dozunun etkisinin incelenmesi için pH'8 olan %0,025; %0,5 ve %5'lik yağlı sentetik atık sularda 200, 400, 1000, 1200, 1500, 1700 ve 2000 mg/L dozlarında çalışılmıştır. Demir aşılı kitosanla ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda, pH 8'de ve 300 mg/L dozunda çalışılmıştır. Demir aşılı kitosanla kitosana göre daha yüksek verim elde edilemediğinden başka dozların etkisi araştırılmamıştır.

Aloe vera ile yapılan koagülasyon deneylerinde ağırlıkça %0,1 ve %0,5'lik yağlı sentetik atık suda deneyler gerçekleştirilmiştir. pH etkisi için %0,1'lik yağlı sentetik atık suda 100000 mg/L dozunda 3,00; 5,00; 7,00; 8,50 (orijinal) ve 11,00 pH değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Koagülant dozunun etkisinin incelenmesi için %0,5'lik yağlı sentetik atık suda (pH değeri:8,50) 14000, 20000, 40000, 60000, 100000, 140000 ve 180000 mg/L dozlarında çalışılırken, %0,1'lik yağlı sentetik atık suda (pH değeri 8,50) 14000, 20000, 30000, 40000, 100000 ve 140000 mg/L dozlarında çalışılmıştır.

Selüloz ve AAE selüloz için gerçekleştirilen çalışmalarda, ağırlıkça %5 ve %0,1'lik yağlı sentetik atık sular ön denemelerde kullanılmıştır. Bu ön denemelerde pH orijinal (8,90), 7,00 ve 4,00'da deneyler yapılmış ve yine ön denemelerde 4000, 10000, 14000 ve 20000 mg/L dozlarında deneyler yapılmıştır. Demir aşılı selüloz için ağırlıkça %5 yağlı sentetik suda, orijinal pH değerinde 2000, 6000, 10000, 14000, 16000 ve 20000 mg/L dozları ile çalışılmıştır.

Atık kağıt ile yapılan koagülasyon çalışmalarında ağırlıkça %1'lik ve %5'lik yağlı sentetik atık sular kullanılmıştır. pH etkisinin incelenmesi için yapılan deneylerde %5'lik sentetik yağlı atık su kullanılarak 2,00; 7,00 ve 8,96 (prijinal) pH değerlerinde (30 g/L çözelti-1 saatlik) 24000 mg/L dozunda çalışılmıştır. Deneylerde 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik, 24g/L'lik süspansiyon-1 günlük, 24 g/L çözelti-1 saatlik, 30g/L çözelti-1 saatlik, 30g/L çözelti-1 günlük olarak tanımlanan koagülantlar kullanılmıştır. 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik ve 24 g/L'lik süspansiyon 1- günlük koagülantları kullanılarak orijinal

pH değerinde (8,94) yürütülen deneylerde %5'lik yağlı sentetik atık su kullanılarak 2400, 3400, 4800, 7200, 9600, 12000 ve 19200 mg/L dozlarında deneyler yapılmıştır. 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik koagülantı kullanılarak %5'lik yağlı sentetik atık su kullanılarak orijinal pH değerinde (8,94) gerçekleştirilen çalışmalarda 5000, 10000, 14000, 19000, 24000 ve 29000 mg/L dozlarında deneyler yapılmıştır. %5'lik yağlı sentetik atık su kullanılarak 30 g/L çözelti-1 saatlik ve 30g/L çözelti- 1 günlük koagülantları ile orijinal pH değerinde ve 30 g/L çözelti- 1saatlik koagülantı ile pH 2'de 5000, 10000, 14000, 19000, 24000 ve 29000 mg/L dozlarında çalışılmıştır. Ayrıca 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik koagülantı ile orijinal pH değerinde %5'lik sentetik yağlı atık su kullanılarak çökelme süresinin etkisinin incelendiği deneyler de yürütülmüştür. %1'lik yağlı sentetik atık su kullanılarak 30 g/L çözelti-1 saatlik orijinal pH değerinde 5000, 10000, 14000, 19000, 24000 ve 29000 mg/L dozlarında çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen deneyler sonucunda en iyi sonuç alınan 2 koagülant ile ardışık iki kademeli koagülasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk kademeye ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık suyun atık kağıt koagülantının (30g/L çözelti-1 saatlik) en iyi dozu (24000 mg/L) ile orijinal pH'da koagülasyonunun ardından alüminyum sülfat koagülantının 6000 mg/L dozuyla pH 5,00'te ikinci bir koagülasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

7.5. Analizler

Ağırlıkça %0,025; 0,05; 0,10; 0,25 ve 0,5 derişimlerde hazırlanan yağlı suların bulanıklık ve AKM değerleri ölçülmüştür. Yağ derişimi-bulanıklık ve yağ derişimi-AKM değerleri arasında doğrusal ilişki nedeniyle yağ gideriminin takibi için deneylerde bulanıklık ve AKM değerleri ölçülmüştür. Bazı deneylerde bulgular KOİ testi ile desteklenmiştir.

Zeta potansiyeli ve yağ-gres analizleri, %5 yağ içeren sentetik atık suda, %5 yağ içeren sentetik atık suyun iki kademeli koagülasyonunda hem birinci hem de ikinci kademesi için arıtılan sularda yapılmıştır. Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrometresi (FTIR) analizi %5 yağ içeren sentetik atık su, %5 yağ içeren atık suyun atık kağıt koagülantı (30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; 24000 mg/L) ile yapılan koagülasyon sonucunda arıtılan suda ve atık kağıt (30 g/L çözelti-1 saatlik) koagülantı için yapılmıştır. X-ışını difraktormetresi (XRD), alan

emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM) ve enerji dispersiv spektrum (EDS) analizleri selüloz, demir aşılı selüloz, kitosan ve demir aşılı kitosan için yapılmıştır.

7.5.1. Bulanıklık, Askıda Katı Madde ve KOİ Analizleri

Bulanıklık, ışığı emen ya da saçan asılı maddenin varlığından dolayı su berraklığındaki azalma olarak tanımlanabilir (Likens, 2009). Askıda katı madde ise, suda bulunan filtrelenemeyen katı olarak tanımlanabilir (HACH, 1990). Bulanıklık ve askıda katı madde giderimi için HACH DR/2000 marka spektrofotometre kullanılmıştır. Bulanıklık için 450 nm'de, askıda katı madde giderimi için 810 nm'de okumalar gerçekleştirilmiştir. Her iki ölçüm için 25 mL'lik cam numune küvetleri kullanılmış ve referans olarak saf su kullanılmıştır. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), ölçüm yapılan çözeltideki reaksiyonla tüketilebilecek oksijen miktarının bir ölçüsü olarak tanımlanabilir (Li ve Liu, 2019). KOİ için hazır test kitleri ve çürütme cihazı (Lovibond RD 125) kullanılmıştır. KOİ okumaları yine HACH DR/2000 spektrofotometresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

7.5.2. Yağ ve Gres Analizi

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Analitik Kimya Araştırma Laboratuvarında hegzan kullanılarak ekstraksiyon yöntemi ile yapılmıştır.

7.5.3. Zeta Potansiyel Analizi

Zeta potansiyel analizi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü Polimer Araştırma Laboratuvarında Nano-ZS cihazı ile yapılmıştır.

7.5.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektrometresi (FTIR) Analizi

FTIR analizi Perkin Elmer Spectrum Two cihazı ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ARUM)'nde yapılmıştır.

7.5.5. X-Işını Difraktometresi (XRD) Analizi

XRD analizi Panalytical Empyrian cihazı ile Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ARUM)'nde yapılmıştır.

7.5.6. Alan Emisyonlu Taramalı Elektron Mikroskobu (FE-SEM) ve Enerji Dispersiv Spektrum (EDS) Analizi

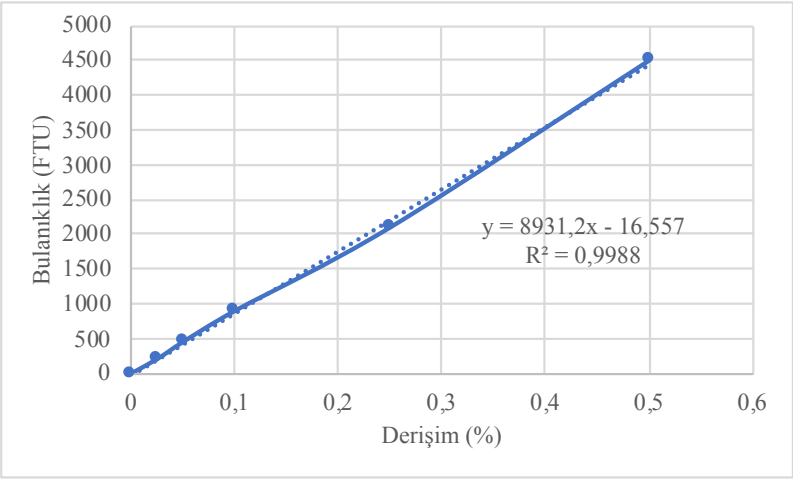
FE-SEM/EDS analizi Hitatchi Regulus 8230 FE-SEM cihazı ile gerçekleştirilmiştir ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı Uygulama ve Araştırma Merkezi (ARUM)'nde yapılmıştır.

8. BULGULAR VE TARTIŞMA

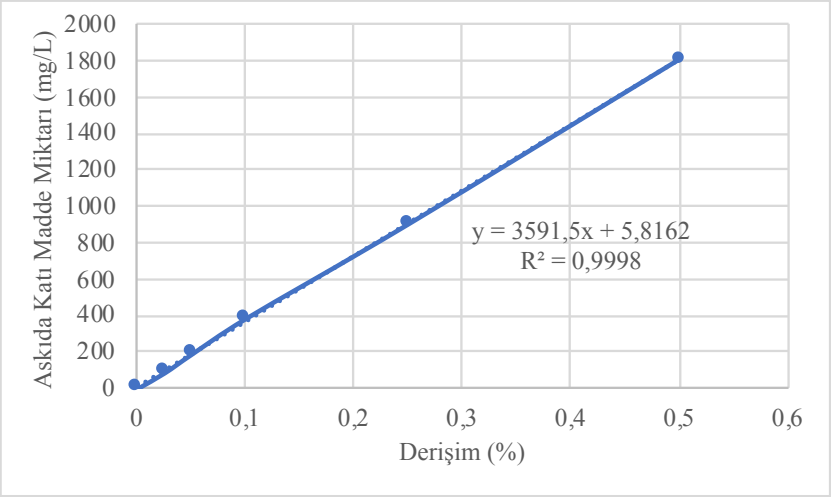
Farklı derişimlerde hazırlanan yağlı sentetik atık suların özellikleri Çizelge 8.1'de belirtildiği gibidir. Bu çizelgedeki veriler ile elde edilen derişimle değişen bulanıklık (FTU), askıda katı madde (mg/L) ve pH grafikleri sırasıyla Şekil 8.1, Şekil 8.2 ve Şekil 8.3'te verildiği gibidir.

Çizelge 8.1. Farklı derişimlerdeki sentetik yağlı atık su özellikleri

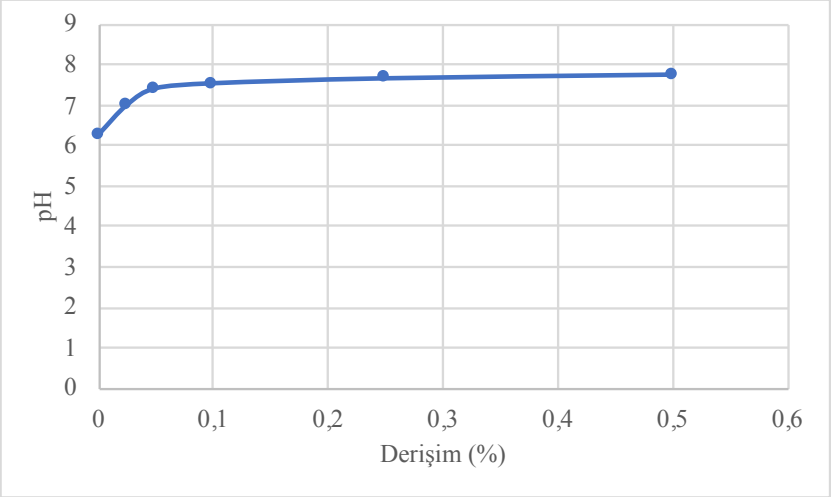
Derişim (Ağırlıkça %)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	Bulanıklık (FTU)	pH
0	0	0	6,27
0,025	86	208	7,00
0,05	188	454	7,40
0,10	383	900	7,52
0,25	900	2100	7,64
0,50	1800	4500	7,73
5	31000	59000	8,98



Şekil 8.1. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile bulanıklık ilişkisini gösteren grafik



Şekil 8.2. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile askıda katı madde ilişkisini gösteren grafik



Şekil 8.3. Farklı derişimlerdeki yağlı sentetik atık suyun derişim ile pH ilişkisini gösteren grafik

Çizelge 8.1'e bakıldığında yağlı sentetik atık suyun derişimi arttığında bulanıklık ve askıda katı madde değerlerinin arttığı ve doğrusal olarak değiştiği görülmüştür. pH değeri ise derişim arttıkça 8,00 değerine yaklaşmıştır. pH'ın derişimle birlikte 8,00 değerine yaklaşması yağın orijinal pH'ının 8,8 (%3 emülsiyonda) olmasından kaynaklanmaktadır.

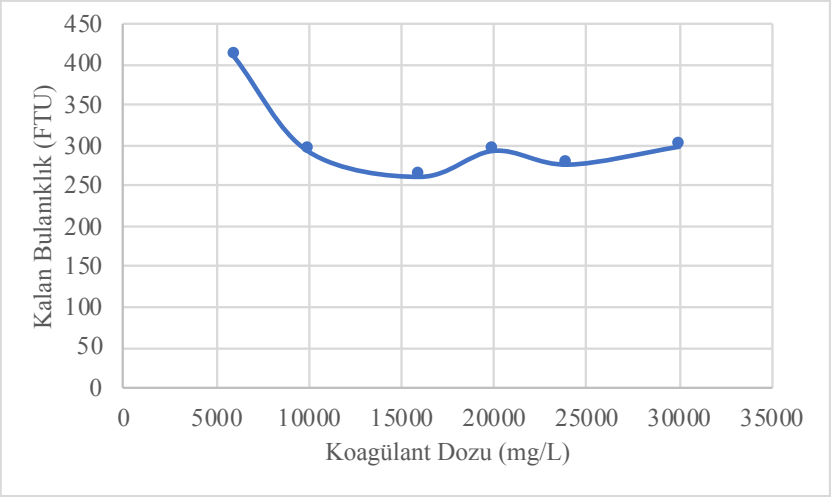
8.1. Alüminyum Sülfat Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

Alüminyum sülfat koagülantı ile pH 5,00'te ağırlıkça %5 yağlı sentetik su ile gerçekleştirilen farklı dozlarda koagülasyon deney sonuçları Çizelge 8.2'de verildiği gibidir. %5'lik yağlı sentetik atık suda farklı doz denemeleri sonucu kalan bulanıklık ve bulanıklık giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.4 ve Şekil 8.5'te verildiği gibidir.

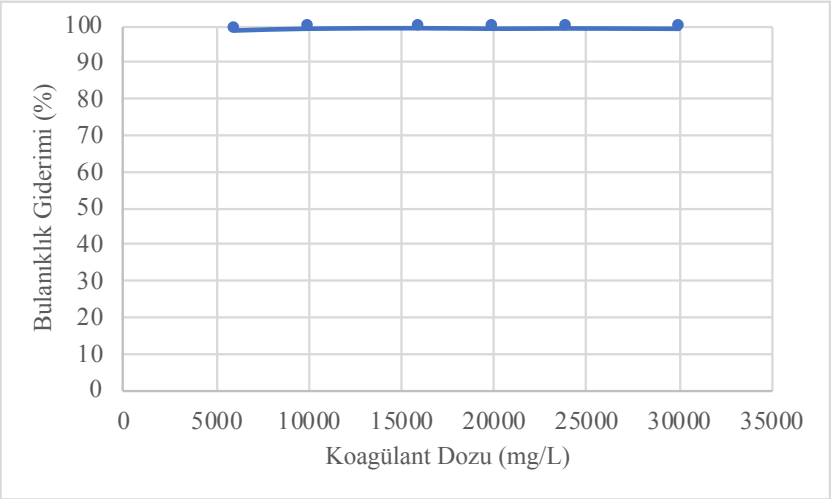
Çizelge 8.2. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda alüminyum sülfat koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık= 63000 FTU; KOİ = 164000 mg/L; pH= 5,00)

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Al Miktarı (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)
1	6000	486	4,01	409	99,4	1,512	60,5
2	10000	810	3,84	293	99,5	1,676	67,0
3	16000	1296	3,82	262	99,6	1,804	72,2
4	20000	1620	3,78	294	99,5	1,544	61,8
5	24000	1944	3,74	277	99,6	1,537	61,5
6	30000	2430	3,70	299	99,5	1,379	55,2

Çizelge 8.2'ye göre artan koagülant dozu ve alüminyum miktarı ile birlikte ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda kalan bulanıklık azalmıştır. Bulanıklık giderimi bütün dozlar için %99'un üzerinde elde edilmiştir. Kalan bulanıklık değerinin 6000 mg/L dozda 409 FTU ve 16000 mg/L dozda 262 FTU değerine kadar düştüğü görülmektedir. Geri kazanılan yağ miktarının minimum %55,2 olarak 30000 mg/L dozda sağlandığı görülmektedir. En iyi giderim 16000 mg/L dozda bulanıklık giderimi %99,6 ile elde edilirken, bu dozda %72,2 yağ geri kazanımı sağlanmıştır.



Şekil 8.4. Alüminyum sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 63000 FTU; KOİ = 164000 mg/L; pH = 5,00)



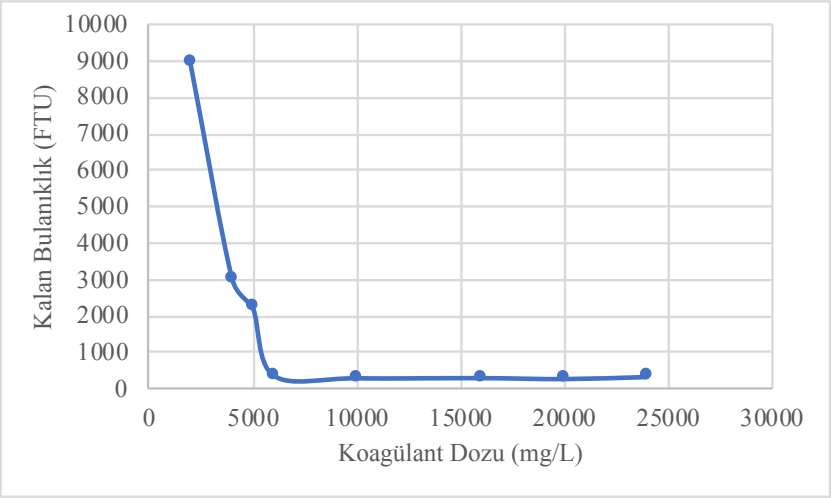
Şekil 8.5. Alüminyum sülfat koagülantı ile bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 63000 FTU; KOİ = 164000 mg/L; pH = 5,00)

Şekil 8.5'te farklı koagülant dozlarına karşı bulanıklık giderimi görülmektedir. Denenen bütün dozlarda bulanıklık giderimi %99'un üzerindedir. Farklı dozların bulanıklık üzerinde etkisi Şekil 8.4'te daha belirgin olarak görülmektedir. Burada görüldüğü gibi en düşük kalan bulanıklık 16000 mg/L'dozunda 262 FTU'dur. Bu dozda KOİ değeri 3300 mg/L olarak ölçülmüş olup KOİ giderimi %97,99 olarak elde edilmiştir.

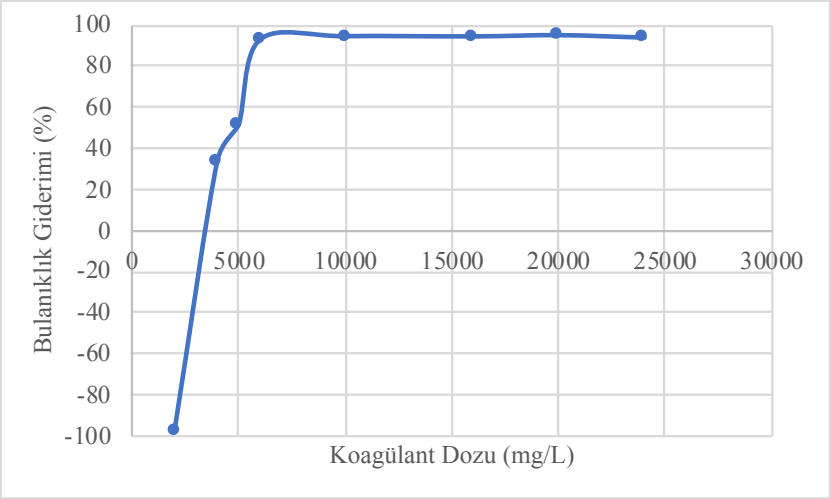
Alüminyum sülfat koagülantı ile pH 5,00'te ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik su ile gerçekleştirilen koagülant dozunun etkisinin araştırıldığı deney sonuçları ise Çizelge 8.3'te verildiği gibidir. Ağırlıkça %0,5'lik yağlı sentetik atık suda farklı doz denemeleri sonucu kalan bulanıklık ve bulanıklık giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.6 ve Şekil 8.7'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.3. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda farklı alüminyum sülfat koagülant dozlarıyla yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık= 4500 FTU; pH= 5,00)

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Al Miktarı (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)
1	2000	162	4,15	8900	-97,8
2	4000	324	4,10	3000	33,3
3	5000	405	4,08	2200	51,1
4	6000	486	4,00	340	92,4
5	10000	810	3,88	264	94,1
6	16000	1296	3,78	269	94,0
7	20000	1620	3,76	243	94,6
8	24000	1944	3,83	299	93,4



Şekil 8.6. Alüminyum sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,5, bulanıklık = 4500 FTU; pH = 5,00)



Şekil 8.7. Alüminyum sülfat koagülantı ile bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,5, bulanıklık = 4500 FTU; pH = 5,00)

Çizelge 8.3'te görüldüğü gibi ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik yağlı atık suda en iyi doz 20000 mg/L'dir. Bu dozda bulanıklık giderimi %94,6'ya ulaşmıştır. Şekil 8.6'ya bakıldığında 6000 mg/L doz ile birlikte kalan bulanıklığın düştüğü görülürken en düşük kalan bulanıklığın 20000 mg/L dozda 243 FTU olarak elde edildiği belirtilebilir. Şekil 8.7'ye bakıldığında 5000 mg/L'ye kadar bulanıklık gideriminde bir artış olduğu ve 6000 mg/L dozu ile birlikte daha yüksek miktardaki dozlarda bulanıklık gideriminin %90 üzerine çıktığı söylenebilir. Burada en uygun dozun, %92,4 bulanıklık giderimi ile daha az madde sarfiyatı gerektirdiği için 6000 mg/L olduğu belirtilebilir.

Alüminyum sülfatın farklı türde atık su arıtımında kullanımına ait birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Dominguez vd., (2007) yüksek miktarda kirliliğe sahip şişe mantarı üretim prosesinden kaynaklanan atık su arıtımında alüminyum sülfat kullanmıştır. Çalışmada 3 farklı KOİ ve bulanıklık değerine sahip atık su kullanılmıştır. Bu atık sularda 1060 mg/L KOİ (115 NTU bulanıklık) ve 1855 mg/L KOİ (180 NTU bulanıklık) değerine sahip atık sularda pH 5'te, 66 mg/L ve 100 mg/L koagülant dozu ile gerçekleştirilen koagülasyon sonucu yaklaşık %55 KOİ giderimi sağlanmıştır. Alüminyum sülfatın başka koagülantlarla kombinlendiği çalışmalar da bulunmaktadır. Freitas vd. (2016) gerçekleştirdiği bir çalışmada koagülant olarak aüminyum sülfat ve suda çözünebilir Moringa oleifera kullanmıştır. Çalışmada kirlenmiş akarsu kullanılmış olup sadece alüminyum sülfat ile %73 bulanıklık giderimi, alüminyum sülfatın ardından Moringa

oleifera kullanımı ile %96,8 ve bu iki koagülantın aynı anda kullanılması ile %91,3 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. Kang vd. (2022) gerçekleştirdiği çalışmada alüminyum bazlı arıtım çamurunu koagülant olarak hayvan çiftliği atık suyunun arıtımında kullanmış ve pH 7 değerinde 1588 mg/L koagülant dozunda yaklaşık %88 askıda katı giderimi elde etmiştir.

8.2. Demir (III) Sülfat Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

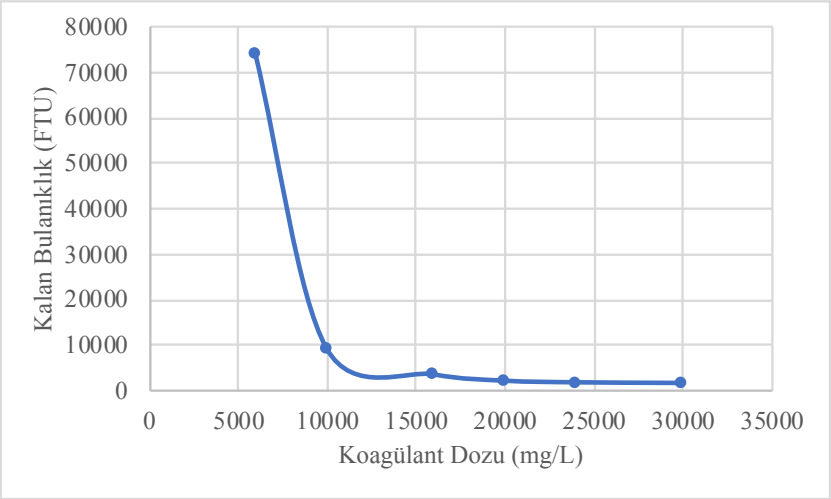
Demir (III) sülfat koagülantı ile ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda gerçekleştirilen pH etkisinin incelendiği deneyin sonuçları Çizelge 8.4'de, farklı dozların incelendiği deney için Çizelge 8.5'te verildiği gibidir. Çizelge 8.5'te koagülant dozu, arıtım sonrası pH, kalan bulanıklık (FTU), bulanıklık giderimi (%), askıda katı madde (AKM) miktarı (mg/L) ve giderimi (%), geri kazanılan (GK) yağ miktarı (g) ve miktarı (%) olarak sonuçlar verilmiştir. Farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderimi grafikleri sırasıyla Şekil 8.8, Şekil 8.9, Şekil 8.10 ve Şekil 8.11'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.4. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda demir (III) sülfat koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık= 59000 FTU; AKM = 24000 mg/L; koagülant dozu = 16000 mg/L)

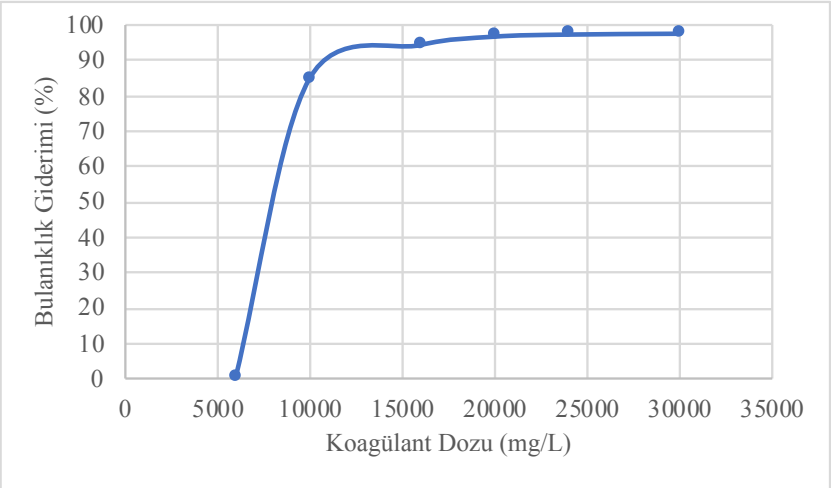
No	pH	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	AKM Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)
1	4,00	1,88	3400	94,2	4200	82,5
2	6,00	1,91	4300	92,7	4700	80,4
3	8,42 (orijinal)	2,03	5000	91,5	7100	70,4

Çizelge 8.5. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda demir (III) sülfat koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık= 59000 FTU; AKM = 24000 mg/L; pH = 4,00)

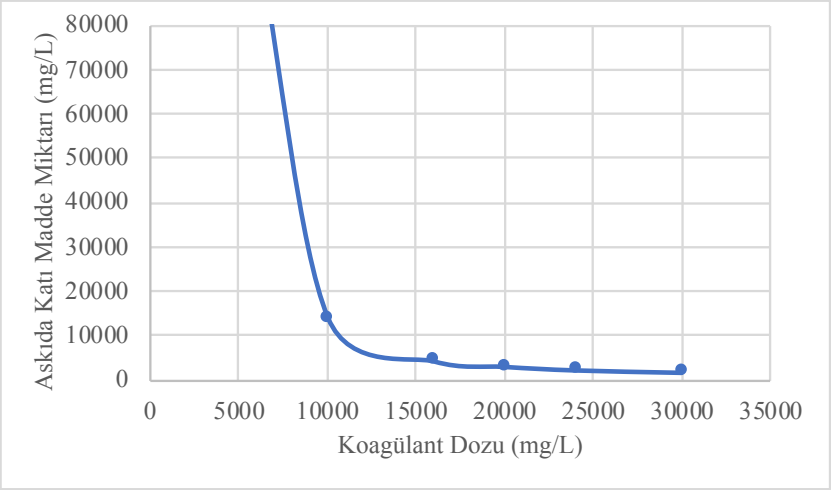
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	AKM Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)	GK Yağ Miktarı (g)	GK Yağ Miktarı (%)
1	6000	2,35	74000	-25,4	100000	-316,7	0	0,0
2	10000	2,22	9100	84,6	14000	41,7	1,538	61,5
3	16000	2,14	3400	94,2	4200	82,5	1,500	60,0
4	20000	198	2000	96,6	2960	87,7	1,505	60,2
5	24000	2,08	1650	97,2	2170	91,0	1,349	54,0
6	30000	1,91	1510	97,4	1630	93,2	2,115	84,6



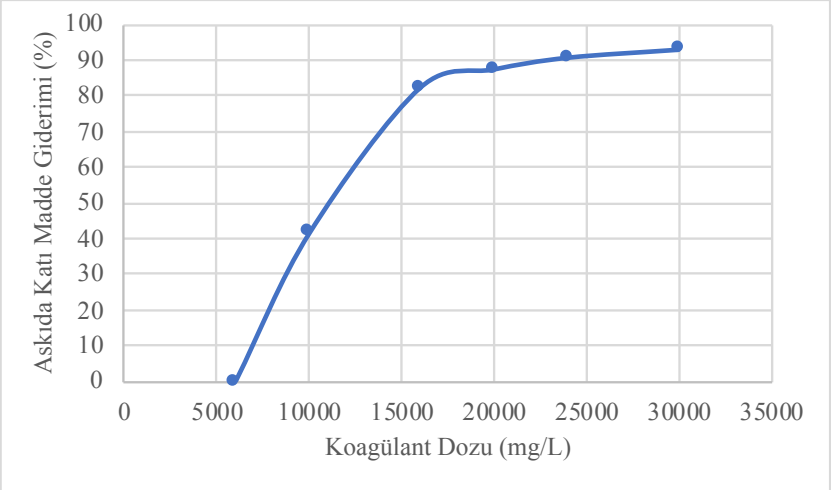
Şekil 8.8. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 24000 mg/L; pH = 4,00)



Şekil 8.9. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 24000 mg/L; pH = 4,00)



Şekil 8.10. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 59000 FTU; AKM= 24000 mg/L; pH = 4,00)



Şekil 8.11. Demir (III) sülfatla koagülasyon sonucunda farklı dozlara karşı askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5, bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 24000 mg/L; pH = 4,00)

Demir (III) sülfat koagülantı katı olarak uygulanmıştır. Farklı dozların etkisi incelenmeden önce pH etkisi incelenmiştir ve en iyi sonucun pH 4,00'te elde edildiği görülmüştür. Çizelge 8.4'e göre pH 4,00'de bulanıklık giderimi ve askıda katı madde giderimi sırasıyla %94,2 ve %82,5 olarak elde edilmiştir. Çizelge 8.5'te en iyi giderim 30000 mg/L dozda %97,4 bulanıklık giderimi, %93,2 askıda katı madde giderimi ve %84,6 yağ

geri kazanımı ile elde edilmiştir. Şekil 8.8 ve Şekil 8.10 incelendiğinde artan doz ile kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarının azaldığı görülmektedir. Şekil 8.9 ve Şekil 8.11 incelendiğinde bulanıklık giderimi ve askıda katı madde giderimi artan doz ile artmıştır. Bu artış grafiklerde de görüldüğü gibi birbirleri ile uyumlu bir artış şeklindedir. Demir (III) sülfatın en iyi sonuçları veren 30000 mg/L dozunda KOİ 15800 mg/L olarak ölçülmüş ve %90,4 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Demir tuzlarının koagülant kullanımı farklı çalışmalarda kullanılmıştır. Cui vd. (2015) yer altı sularının arıtımında demir (III) sülfat ve poliferrik sülfat kullanmıştır. Çalışma sonucunda poliferrik sülfatın 0,10 g/L dozunda ve demir (III) sülfatın 0,12 g/L dozunda %95 arsenik giderimi elde etmiştir.

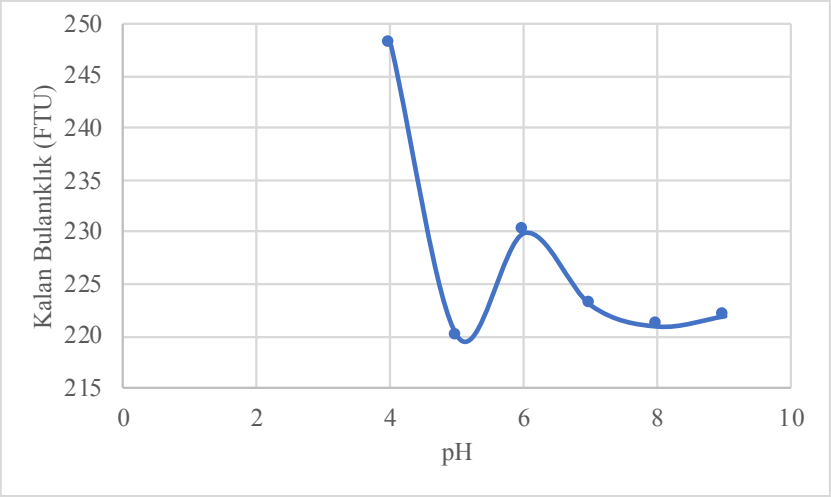
8.3. Kitosan Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

Kitosan koagülantı ile ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen pH etkisinin incelendiği deney için sonuçlar Çizelge 8.6'da verildiği gibidir. pH etkisinin incelendiği deneylerde kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.12, Şekil 8.13, Şekil 8.14 ve Şekil 8.15'te verildiği gibidir.

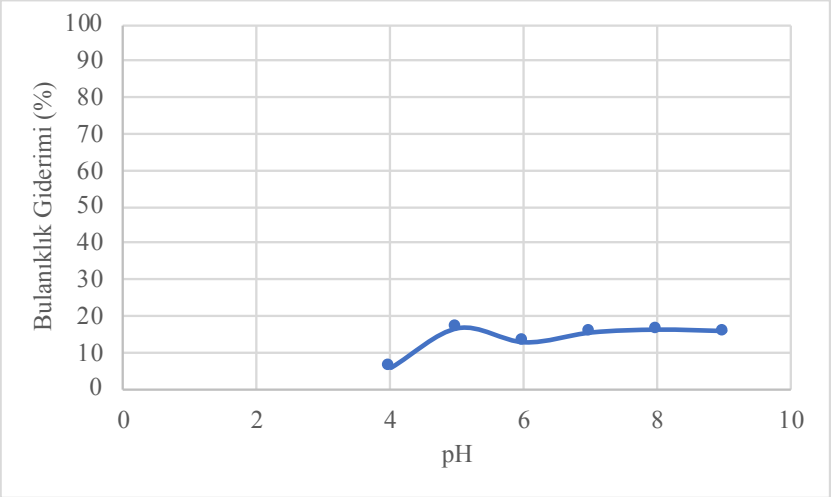
Çizelge 8.6. Ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; koagülant dozu = 400 mg/L)

No	pH	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)
1	4,00	3,85	248	6,1	114	4,2
2	5,00	4,03	220	16,7	98	17,6
3	6,00	4,08	230	12,9	100	16,0
4	7,00	4,24	223	15,5	96	19,3
5	8,00	4,23	221	16,3	94	21,0
6	9,00	4,40	222	15,9	95	20,2

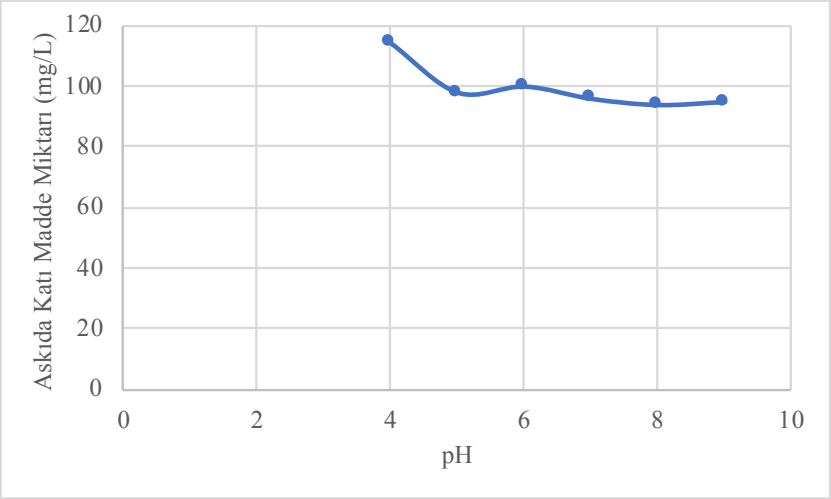
Çizelge 8.6'da verildiği gibi %0,025 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile en iyi bulanıklık ve askıda katı madde gideriminin pH 8,00'de sırasıyla %16,3 ve %21,0 olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 8.12 ve Şekil 8.14 incelendiğinde en düşük kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarının yine pH 8,00'de sırasıyla 221 FTU ve 94 mg/L olarak görülmektedir. Şekil 8.13 ve Şekil 8.15 incelendiğinde bulanıklık gideriminin %16,7'nin üzerine çıkmadığı, askıda katı madde gideriminin ise %21,0'in üzerine çıkmadığı görülmektedir.



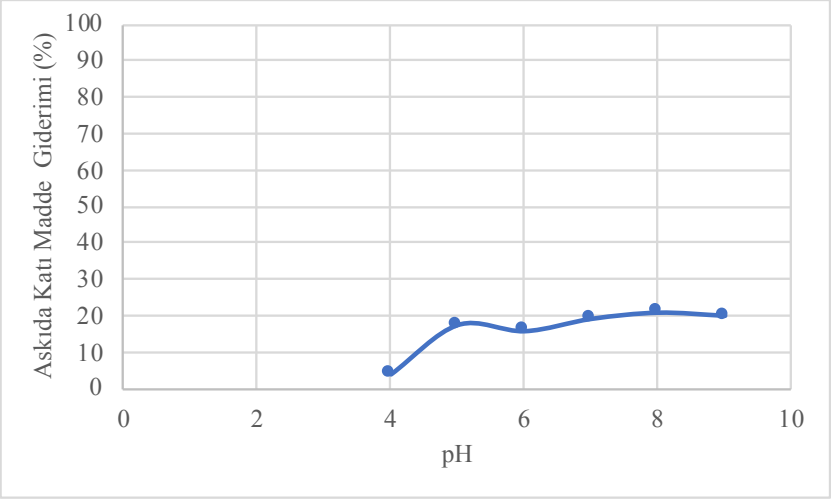
Şekil 8.12. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM= 119 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.13. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.14. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM= 119 mg/L; pH = 8,00)

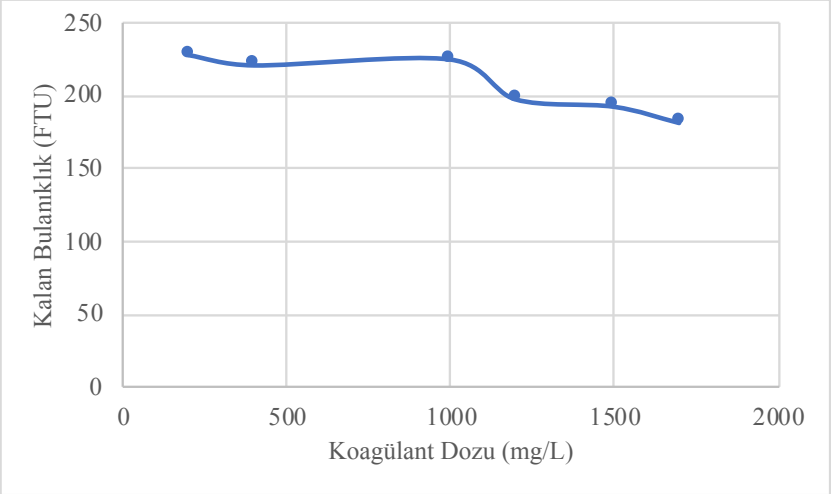


Şekil 8.15. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)

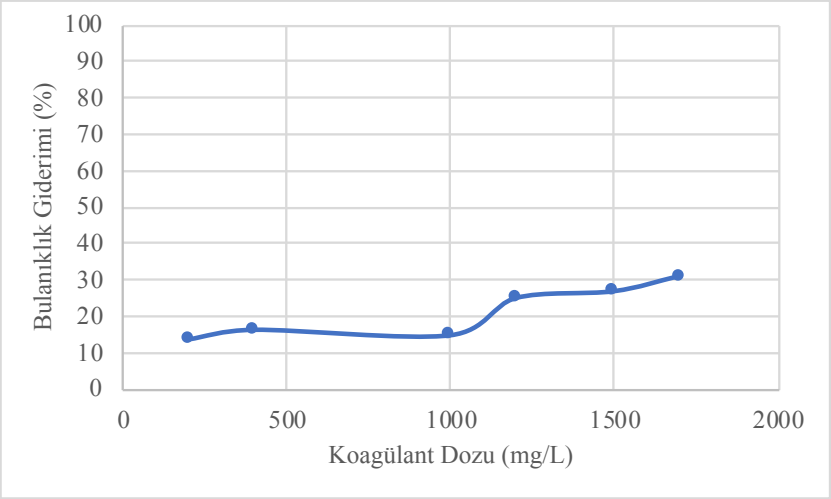
Kitosan koagülantı ile ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı dozların etkisinin incelendiği deneylere ait sonuçlar Çizelge 8.7'de verildiği gibidir. Kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.16, Şekil 8.17, Şekil 8.18 ve Şekil 8.19'te verildiği gibidir.

Çizelge 8.7. Ağırlıkça %0,025 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)

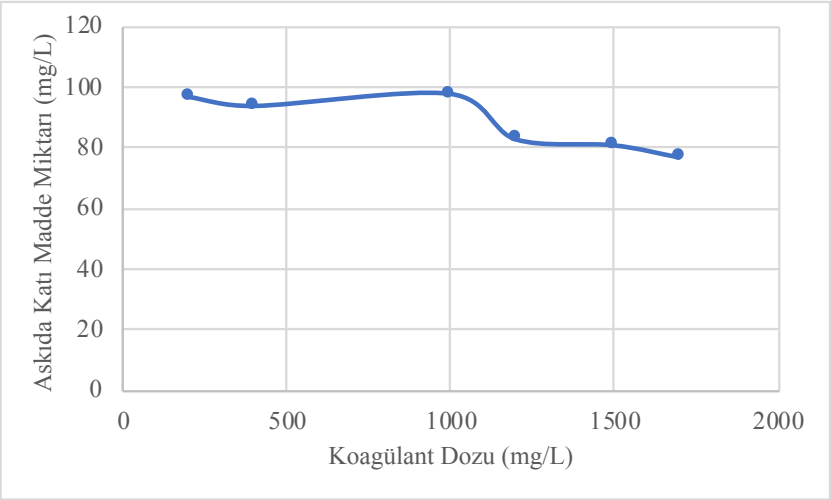
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)
1	200	4,54	228	13,6	97	18,5
2	400	4,23	221	16,3	94	21,0
3	1000	3,94	225	14,8	98	17,6
4	1200	3,90	198	25,0	83	30,3
5	1500	3,81	193	26,9	81	31,9
6	1700	3,77	182	31,1	77	35,3



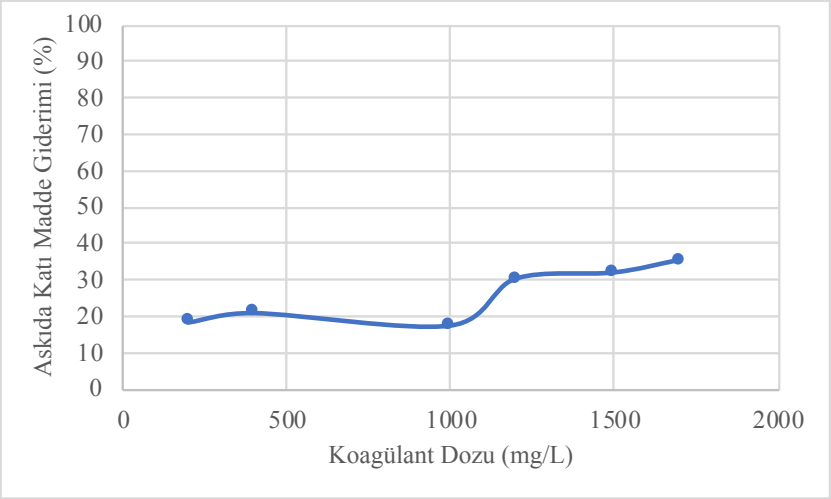
Şekil 8.16. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.17. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.18. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)



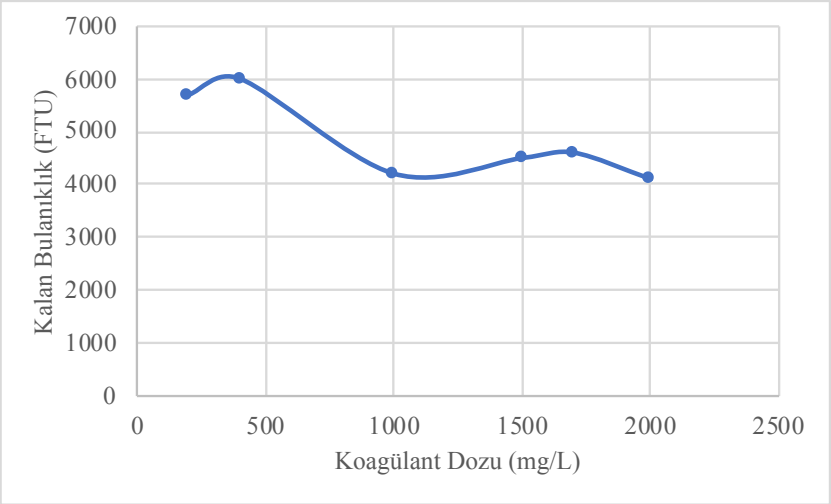
Şekil 8.19. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,025; bulanıklık = 264 FTU; AKM = 119 mg/L; pH = 8,00)

Çizelge 8.7 incelendiğinde en iyi bulanıklık ve askıda katı madde gideriminin 1700 mg/L dozda sırasıyla %31,1 ve %35,3 olarak elde edildiği görülebilir. Şekil 8.16 ve Şekil 8.18 incelendiğinde kitosanın artan dozu ile kalan bulanıklığın ve askıda katı madde miktarının azaldığı görülmektedir. Şekil 8.17 ve Şekil 8.19'a bakıldığında kitosanın artan dozu ile hem bulanıklık gideriminin hem de askıda katı madde gideriminin arttığı görülmektedir.

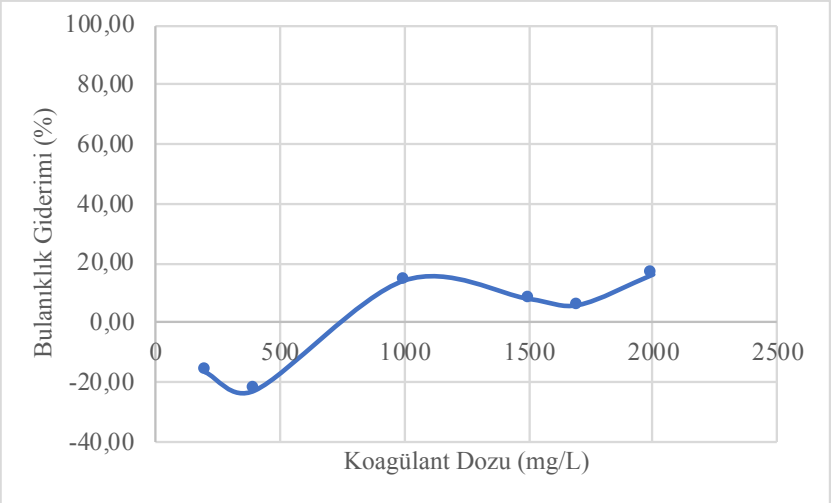
Kitosan koagülantı ile ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı dozlarda yapılan deneyler için sonuçlar Çizelge 8.8'de verilmiştir. Farklı dozların incelendiği deneylerde kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.20, Şekil 8.21, Şekil 8.22 ve Şekil 8.23'te verilmiştir.

Çizelge 8.8. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 4900 FTU; AKM = 3200 mg/L; pH = 8,00)

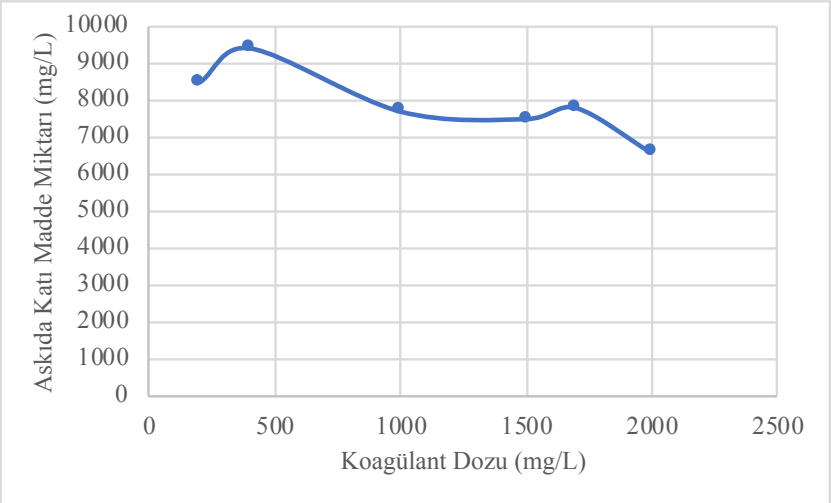
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	AKM (mg/L)	AKM Giderimi (%)
1	200	5,76	5700	-16,33	8500	-165,63
2	400	5,00	6000	-22,45	9400	-193,75
3	1000	4,77	4200	14,29	7700	-140,63
4	1500	4,74	4500	8,16	7500	-134,38
5	1700	4,75	4600	6,12	7800	-143,75
6	2000	4,44	4100	16,33	6600	-106,25



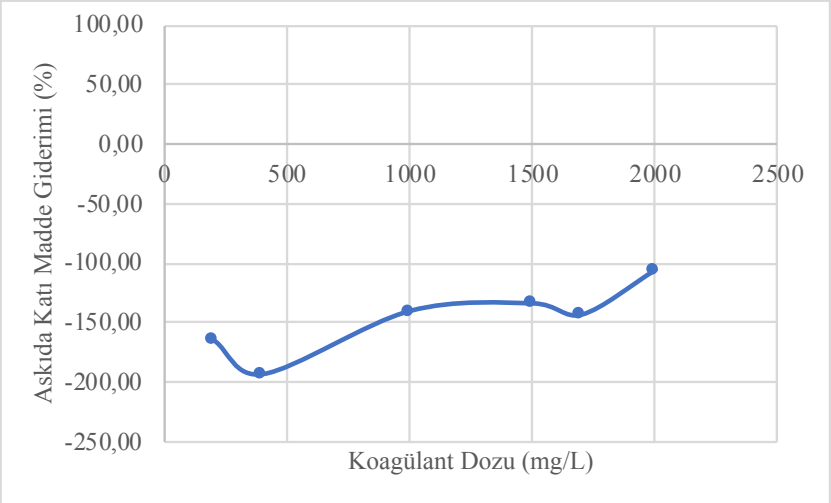
Şekil 8.20. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4900 FTU; AKM = 3200 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.21. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4900 FTU; AKM = 3200 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.22. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4900 FTU; AKM = 3200 mg/L; pH = 8,00)



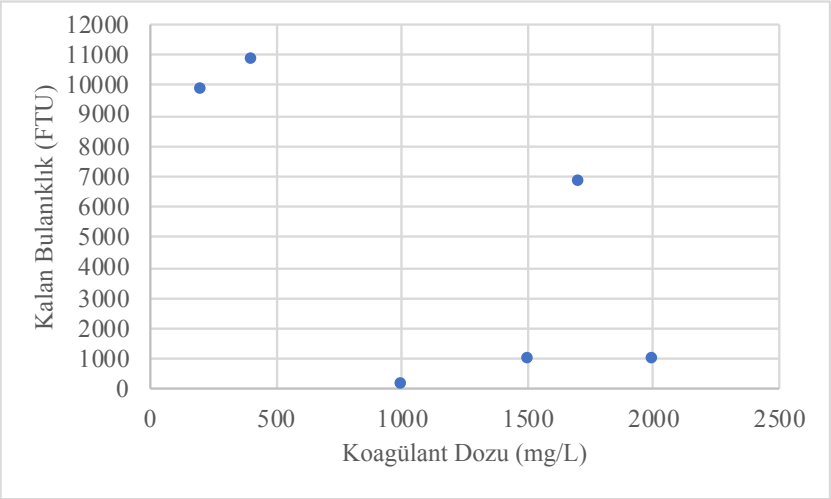
Şekil 8.23. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4900 FTU; AKM = 3200 mg/L; pH = 8,00)

Çizelge 8.8 incelendiğinde en iyi bulanıklık giderimi 2000 mg/L dozda %16,33 olarak elde edilirken askıda katı madde miktarı için herhangi bir dozda giderim elde edilemediği görülmektedir. Bunun yanında, Şekil 8.21 ve Şekil 8.23 incelendiğinde bulanıklık ve askıda katı madde giderimlerinin benzer şekilde değiştiği görülmektedir.

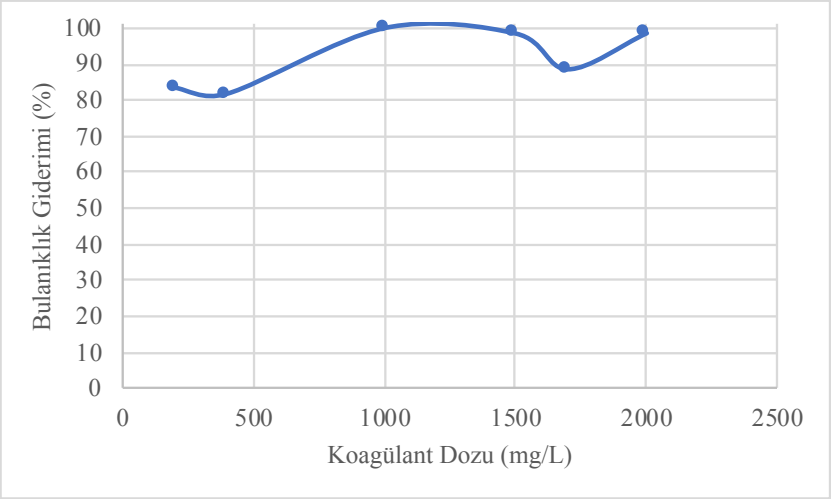
Kitosan koagülantı ile ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı dozlarda yapılan deneyler için sonuçlar Çizelge 8.9'da verilmiştir. Farklı dozların incelendiği deneylerde kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.24, Şekil 8.25, Şekil 8.26 ve Şekil 8.27'te verilmiştir.

Çizelge 8.9. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda kitosan koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 31000 mg/L; pH = 8,00)

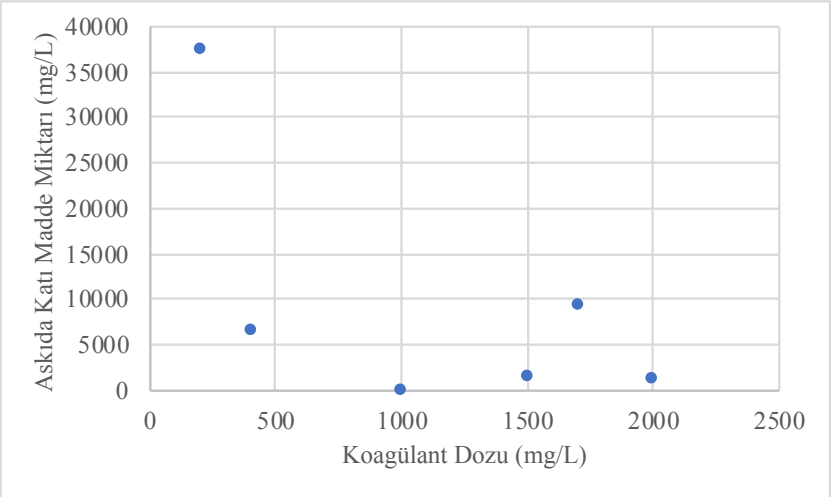
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)
1	200	8,00	9800	83,39	37400	-20,65
2	400	7,99	10800	81,69	6500	79,03
3	1000	7,42	62	99,89	4	99,99
4	1500	7,10	950	98,39	1440	95,35
5	1700	6,85	6800	88,47	9400	69,68
6	2000	6,57	900	98,47	1290	95,84



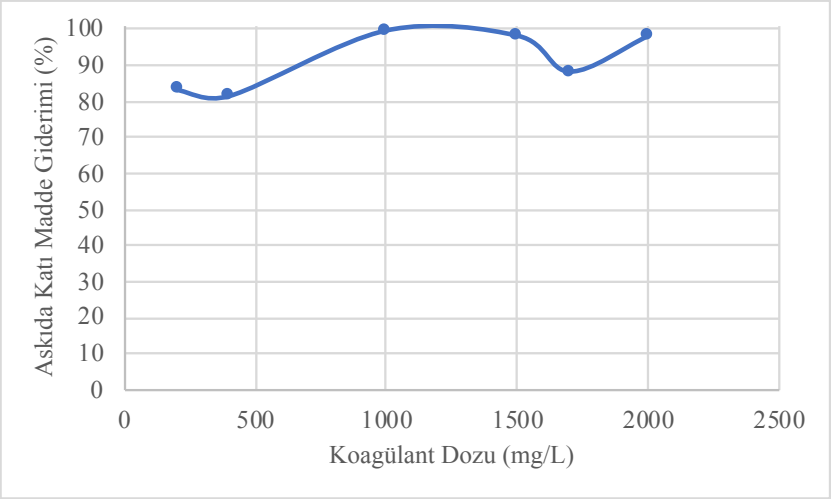
Şekil 8.24. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık= 59000 FTU; AKM = 31000 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.25. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 31000 mg/L; pH = 8,00)



Şekil 8.26. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 31000 mg/L; pH = 8,00)

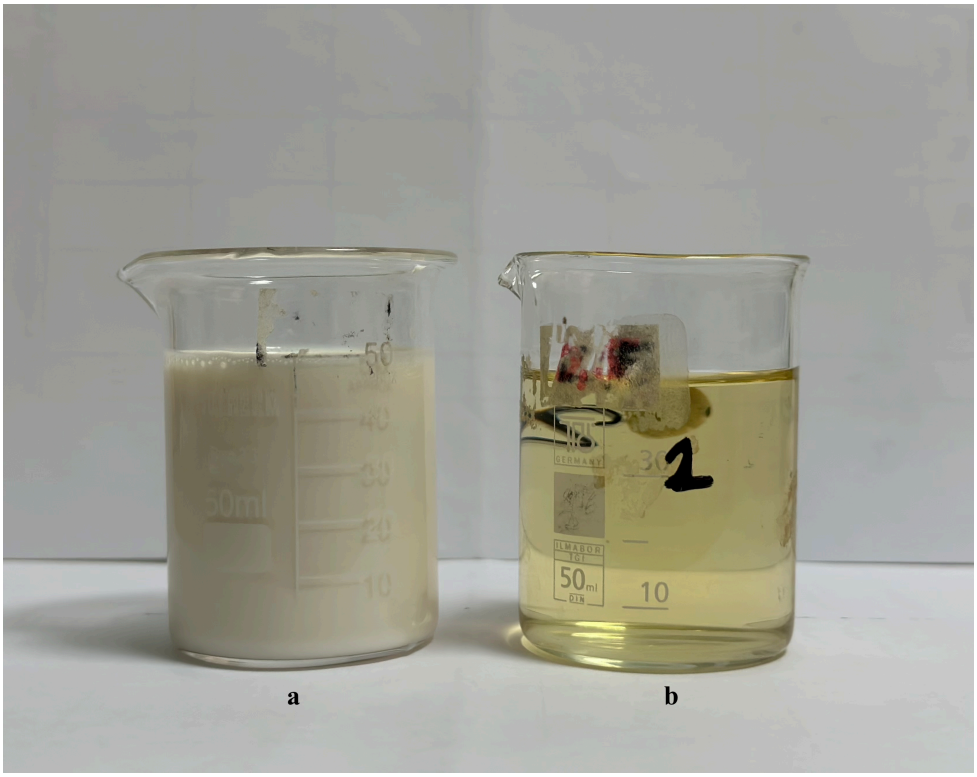


Şekil 8.27. Kitosan koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 59000 FTU; AKM = 31000 mg/L; pH = 8,00)

Çizelge 8.9'a göre %5'lik yağlı sentetik atık suda en iyi bulanıklık giderimi ve askıda katı madde giderimi 1000 mg/L kitosan dozunda sırasıyla %99,89 ve %99,99 olarak elde edilmiştir. Şekil 8.24 ve Şekil 8.26'da da görüldüğü gibi 1000 mg/L dozunda kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarı diğer dozlara göre oldukça düşüktür. Şekil 8.25 ve Şekil 8.27'ye bakıldığında bulanıklık ve askıda katı madde giderimlerinin 1000 mg/L dozda %99,8'in üzerinde olduğu görülmektedir. Başlangıçta 164000 mg/L olan KOİ değeri, en iyi dozda (1000 mg/L) KOİ 6200 mg/L olarak ölçülmüş ve KOİ giderimi %96,2 olarak elde edilmiştir.

Demir aşılı kitosanla ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda, pH 8'de ve 300 mg/L doz ile gerçekleştirilen koagülasyon sonucunda %0 bulanıklık giderimi ve %5,3 AKM giderimi elde edilmiştir. Kitosana göre giderim verimleri düşük olduğundan başka dozların etkisi araştırılmamıştır.

Şekil 8.28'de a %5'lik yağlı sentetik atık su (emülsiyon halinde), b ise kitosan ile koagülasyon sonucunda elde edilen arıtılmış su görülmektedir.



Şekil 8.28. a) %5 yağlı sentetik atık su b) kitosanla koagülasyon sonucu elde edilen su (Derişim = ağırlıkça %5; koagülant dozu = 1000 mg/L; pH = 8,00)

Ahmad vd. (2006) gerçekleştirdiği çalışmada başlangıçta 18000 mg/L AKM değerine sahip palm yağı içeren suda kitosanın 500 mg/L dozu ve pH 4 değerinde gerçekleştirdiği koagülasyon sonucu %95 AKM ve yağ giderimi elde etmiştir.

Bor yağı damlaları pH 6-8 aralığında negatif yüklenmektedir (Eryılmaz ve Genç, 2018). Kitosanın kullanıldığı koagülasyon deneylerinde en iyi verim pH 8'de elde edilmiştir. Kitosan katyonik bir biyopolimerdir (Ahmad vd., 2006). Yağ damlacıklarının negatif yüklendiği pH değerinde koagülasyonla iyi giderim verimi sağlamasının bu yüzden olduğu düşünülebilir.

8.4. Selüloz Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

Selüloz koagülantı ile yapılan çalışmalarda, selülozun katı uygulanması ve asitle aktivasyonu ile yapılan ön deneme sonuçları Çizelge 8.10'da verildiği gibidir.

Çizelge 8.10. Selüloz koagülantı ile yapılan ön deneme uygulamaları

Koagülant	Uygulama	Kalan Bulanıklık (FTU)	AKM Miktarı (mg/L)
		Bulanıklık Giderimi (%)	AKM Giderimi (%)
Katı Selüloz	pH = 8,90 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 57000 FTU AKM = 20000 mg/L Doz = 10000 mg/L	156000	76000
		-173,7	-280,0
	pH = 7,00 Derişim = ağırlıkça %0,1 Bulanıklık = 900 FTU Doz = 4000 mg/L	780	-
		13,3	-
	pH = 4,00 Derişim = ağırlıkça %0,1 Bulanıklık = 900 FTU Doz = 4000 mg/L	990	-
		-10,0	-
AAE Selüloz (1M HCl)	pH = 7,00 Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 4000 mg/L	48000	16000
		5,9	15,8

Çizelge 8.10. Selüloz koagülantı ile yapılan ön deneme uygulamaları *(devamı)*

Koagülant	Uygulama	Kalan Bulanıklık (FTU)	AKM Miktarı (mg/L)
		Bulanıklık Giderimi (%)	**AKM Giderimi (%)**
AAE Selüloz (1M HCl)	pH = 7,00 Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 10000 mg/L	50000	17000
		2,0	10,5
	pH = 7,00 Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 14000 mg/L	47000	20000
		7,8	-5,3
	pH = 8,96 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 4000 mg/L	47000	15000
		7,8	21,1
	pH = 8,96 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 14000 mg/L	48000	15000
		5,9	21,1
AAE Selüloz (1M CH_3COOH)	pH = 8,96 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 4000 mg/L	45000	15000
		11,8	21,1
	pH = 8,96 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 10000 mg/L	47000	15000
		7,8	21,1
	pH = 8,96 (orijinal) Derişim = ağırlıkça %5 Bulanıklık = 51000 FTU AKM = 19000 mg/L Doz = 20000 mg/L	46000	15000
		9,8	21,1

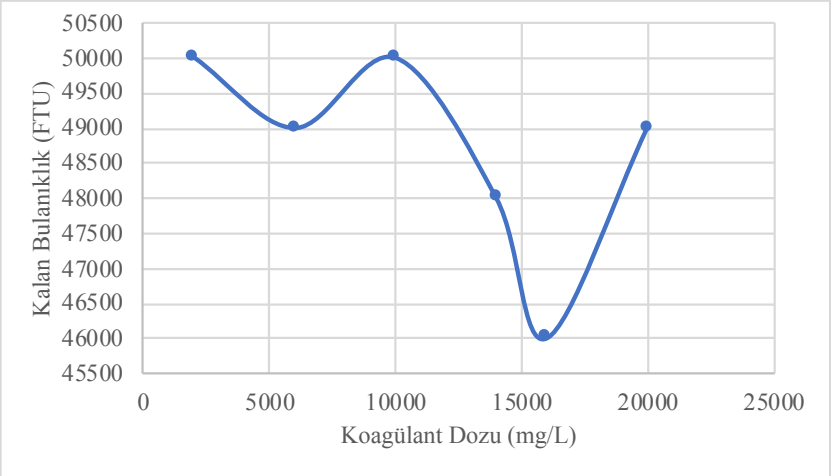
Çizelge 8.10 incelendiğinde katı selüloz uygulamasında %5'lik yağlı sentetik atık suda bir giderim elde edilmemiş iken %0,1'lik yağlı sentetik atık suda (pH=7) %13,3 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. AAE selüloz (1M HCl) ile orijinal pH değerinde 4000 mg/L dozunda bulanıklık gideriminin %7,8 ve AKM gideriminin %21,2 olduğu görülmektedir. 1M CH_3COOH ile aktive edilen selüloz ile orijinal pH değerinde 4000 mg/L dozda en iyi giderim olarak bulanıklık giderimi %11,8 ve askıda katı madde giderimi %21,1 elde edilmiştir.

Demir aşılı selülozun ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık sularda farklı dozlarda kullanıldığı deney sonuçları Çizelge 8.11'de verildiği gibidir.

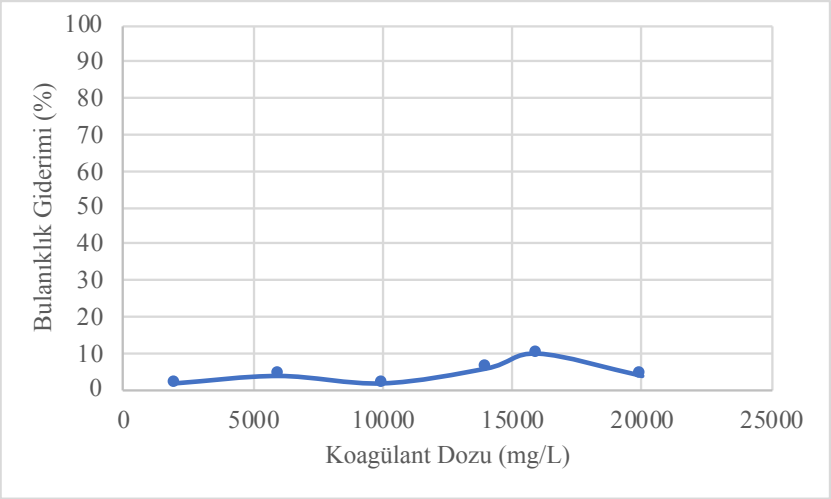
Çizelge 8.11. Demir aşılı selülozda farklı doz uygulaması (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 51000 FTU; AKM = 19000 mg/L; pH = 8,59 (orijinal))

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Giderimi (%)
1	2000	8,49	50000	19000	1,96	0,00
2	6000	8,47	49000	16000	3,92	15,79
3	10000	8,45	50000	22000	1,96	-15,79
4	14000	8,41	48000	16000	5,88	15,79
5	16000	8,37	46000	16000	9,80	15,79
6	20000	8,31	49000	22000	3,92	-15,79

Farklı dozların etkisinin incelendiği deneylerde kalan bulanıklık ve bulanıklık giderimi grafikleri sırasıyla Şekil 8.29 ve Şekil 8.30'da verildiği gibidir.

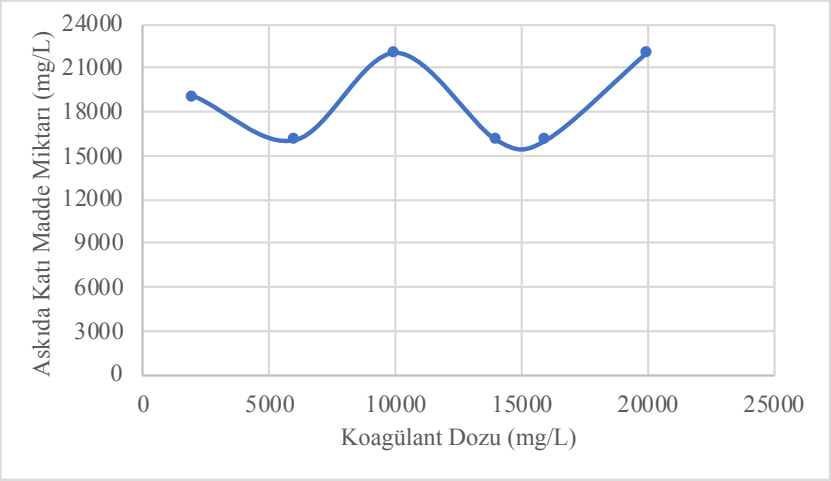


Şekil 8.29. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 51000 FTU; AKM = 19000 mg/L; pH = 8,59 (orijinal))

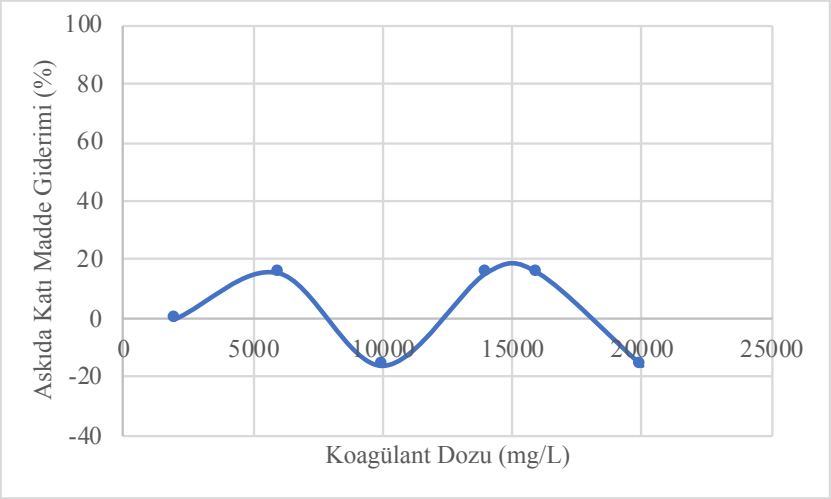


Şekil 8.30. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 51000 FTU; AKM = 19000 mg/L; pH = 8,59 (orijinal))

Farklı dozların etkisinin incelendiği deneylerde askıda katı madde miktarı ve askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.31 ve Şekil 8.32'de verildiği gibidir.



Şekil 8.31. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 51000 FTU; AKM = 19000 mg/L; pH = 8,59 (orijinal))



Şekil 8.32. Demir aşılı selülozda farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim= ağırlıkça %5; bulanıklık = 51000 FTU; AKM = 19000 mg/L; pH = 8,59 (orijinal))

Demir aşılı selüloz için Çizelge 8.11'de verilen sonuçlar incelendiğinde, ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda en iyi sonuç veren değerlerin 16000 mg/L dozda bulanıklık giderimi için %9,80 ve askıda katı madde giderimi için %15,79 olduğu görülebilir. Bu sonuçlar işlem görmemiş selülozun katı uygulanması ile karşılaştırıldığında demir aşılı selülozun atık suyun bulanıklığını az da olsa azaltmayı sağladığı söylenebilir.

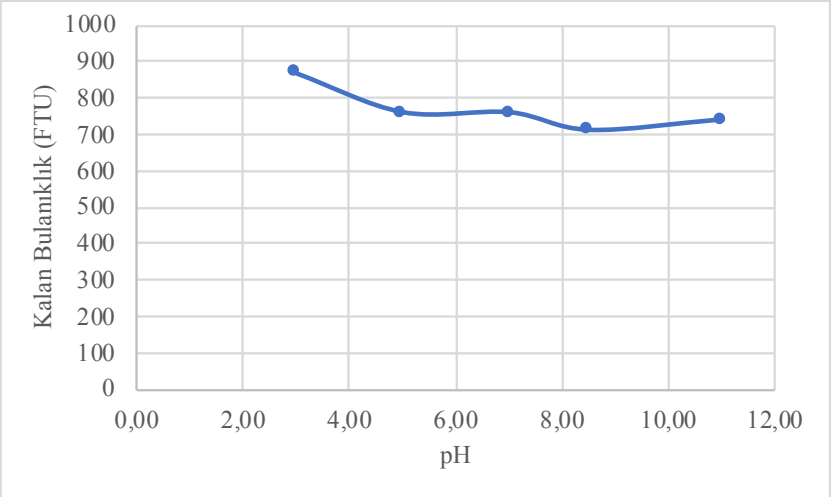
Kurusu vd. (2022), demir aşılı selülozun koagülasyonda süper köprüleyici olarak yüzey suyunun (6,1 ± 0,7 NTU) arıtımında kullanıldığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Demir aşılı selüloz, alum ile birlikte yüzey sularının koagülasyonla arıtımı için kullanılmıştır. Çalışmada 100 mg/L demir aşılı fiberlerin, poliakrilamidin flokülant olarak kullanıldığı deneye göre daha büyük floklar oluşturduğu belirtilmiştir. Aynı zamanda demir aşılı fiberlerin kullanılması ile 1 NTU'dan düşük bulanıklık değerlerine 60 saniye çökelme süresi sonunda ulaşıldığı belirtilmiştir.

8.5. Aloe Vera Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

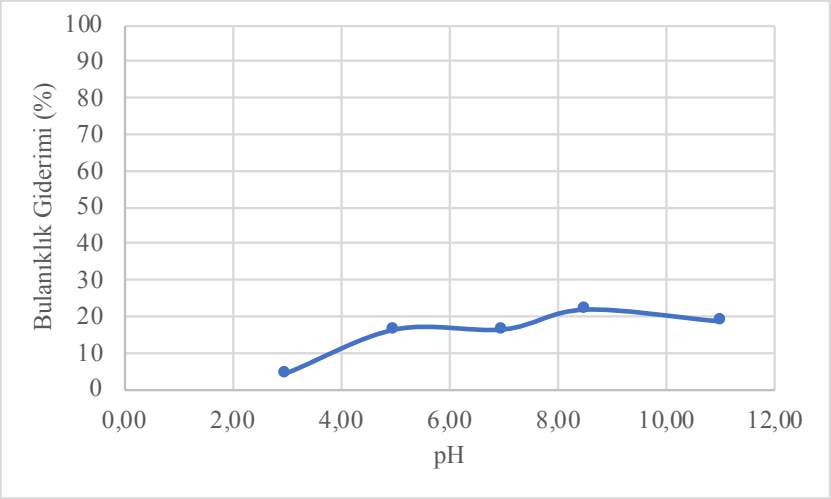
Aloe vera koagülantı ile ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı pH değerlerinde yapılan deneyler için sonuçlar Çizelge 8.12'de verildiği gibidir. Farklı pH değerlerinin incelendiği deneylerde kalan bulanıklık ve bulanıklık giderimi grafikleri sırasıyla Şekil 8.33 ve Şekil 8.34'te verildiği gibidir.

Çizelge 8. 12. Ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı pH değerlerinde yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 910 FTU; koagülant dozu = 100000 mg/L)

No	pH	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)
1	3,00	3,45	870	4,4
2	5,00	5,53	760	16,5
3	7,00	6,32	760	16,5
4	8,50 (orijinal)	6,05	710	22,0
5	11,00	10,37	740	18,7



Şekil 8.33. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,1; bulanıklık = 910 FTU; koagülant dozu = 100000 mg/L)



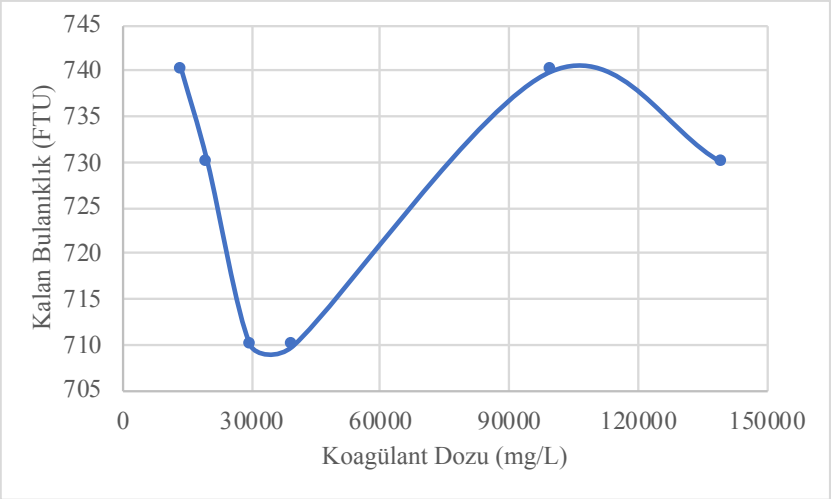
Şekil 8.34. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı pH değerlerinde bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,1; bulanıklık = 910 FTU; koagülant dozu = 100000 mg/L)

Şekil 8.33'e göre pH 8,50 değerinde kalan bulanıklık en düşük değerdedir. En iyi bulanıklık giderimi Şekil 8.34'te görüldüğü gibi %22 ile pH 8,50'de elde edilmiştir.

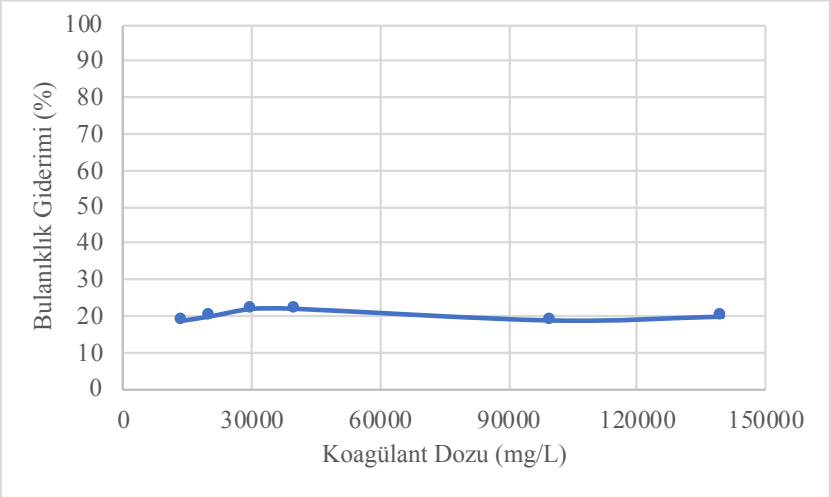
Aloe vera koagülantı ile ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı dozlarda yapılan deneyler için sonuçlar Çizelge 8.13'te verildiği gibidir. Farklı dozlarda yapılan deneylerde kalan bulanıklık ve bulanıklık giderimi grafikleri sırasıyla Şekil 8.35 ve Şekil 8.36'da verildiği gibidir.

Çizelge 8.13. Ağırlıkça %0,1 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 910 FTU; pH = 8,50 (orijinal))

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)
1	14000	7,23	740	18,7
2	20000	7,01	730	19,8
3	30000	6,78	710	22,0
4	40000	6,75	710	22,0
5	100000	5,78	740	18,7
6	140000	5,65	730	19,8



Şekil 8.35. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,1; bulanıklık = 910 FTU; pH = 8,50 (orijinal))



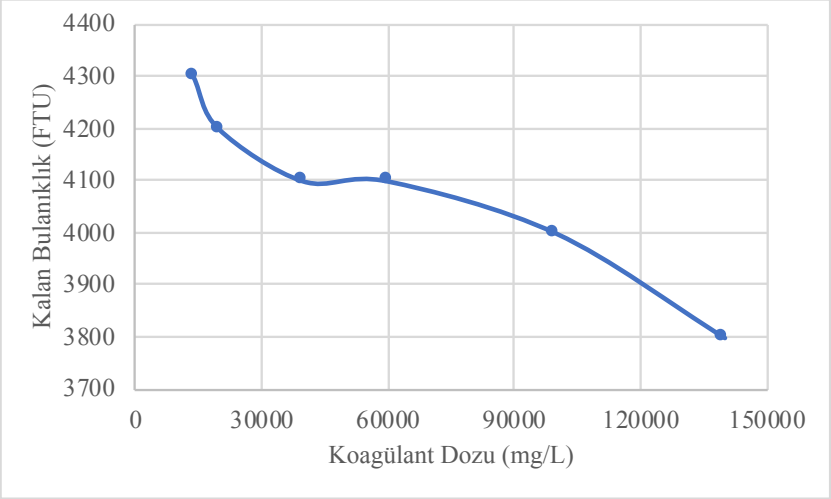
Şekil 8.36. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,1; bulanıklık = 910 FTU; pH = 8,50 (orijinal))

Çizelge 8.13'e göre ağırlıkça %0,1'lik yağlı sentetik suda en iyi bulanıklık giderimi %22 olarak aloe veranın 30000 ve 40000 mg/L dozlarında elde edilmiştir. Şekil 8.36'da 30000 mg/L değerinde diğer dozlara göre hafif bir yükselme görülmektedir. Şekil 8.35'deki grafiğe bakıldığında 30000 mg/L'de kalan bulanıklıktaki azalma daha net görülmektedir.

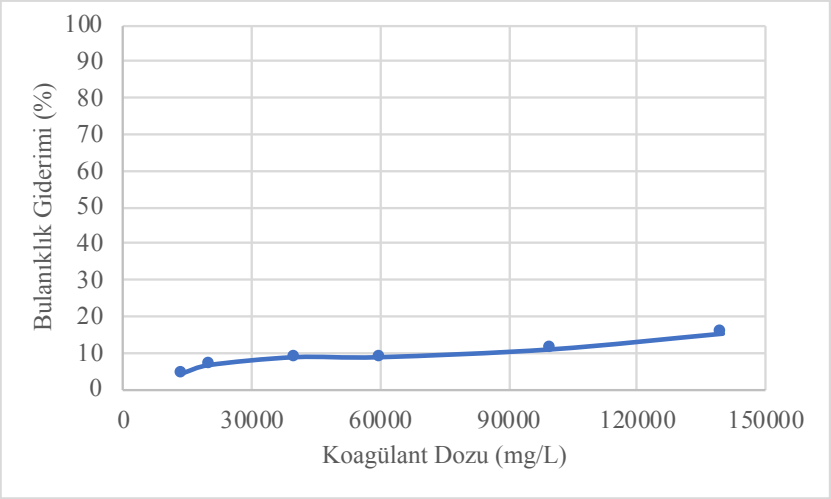
Aloe vera koagülantı ile ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık su ile gerçekleştirilen farklı dozlarda yapılan deneyler için sonuçlar Çizelge 8.14'te verildiği gibidir. Farklı dozlarda yapılan deneylerde kalan bulanıklık ve bulanıklık giderimi grafikleri sırasıyla Şekil 8.37, ve Şekil 8.38'te verildiği gibidir.

Çizelge 8.14. Ağırlıkça %0,5 yağlı sentetik atık suda aloe vera koagülantı ile farklı dozlarda yapılan koagülasyon deney sonuçları (Bulanıklık = 4500 FTU; pH = 8,90 (orijinal))

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)
1	14000	8,66	4300	4,4
2	20000	8,17	4200	6,7
3	40000	8,04	4100	8,9
4	60000	7,47	4100	8,9
5	100000	6,95	4000	11,1
6	140000	6,29	3800	15,6



Şekil 8.37. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4500 FTU; pH = 8,90 (orijinal))



Şekil 8.38. Aloe vera koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %0,5; bulanıklık = 4500 FTU; pH = 8,90 (orijinal))

Çizelge 8.14'e göre ağırlıkça %0,5'lik yağlı sentetik suda en iyi bulanıklık giderimi 140000 mg/L dozunda %15,6 olarak elde edilmiştir. Şekil 8.38 incelendiğinde artan koagülant dozu ile bulanıklık gideriminin arttığı görülmektedir. Şekil 8.37'deki grafiğe bakıldığında 140000 mg/L'de kalan bulanıklıktaki azalma görülmektedir.

Choudhard vd., (2019) yaptığı çalışmada yağ kumları prosesi sonucunda oluşan atık suda biyokoagülant olarak kaktüsün bir türü olan Opuntia ficus-indica (OFI) kullanmıştır. Çalışmada kaktüsün musilaj kısmı koagülant olarak kullanılmış ve düşük (50 NTU), orta (200 NTU) ve yüksek (500 NTU) bulanıklığa sahip atık sular kullanılmıştır. En iyi bulanıklık giderimi 500 NTU başlangıç bulanıklığına sahip atık su için pH 7 ve 8 değerinde, 80 mg/L dozunda 60 dakikalık çökelme süresi ile %98 olarak elde etmiştir.

8.6. Atık Kağıt Koagülantı ile Elde Edilen Sonuçlar

Atık kağıt için farklı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Atık kağıt koagülantı (30 g/L'lik çözelti-1 saatlik) ile farklı pH denemelerinin yapıldığı deneylere ait sonuçlar Çizelge 8.15'te verildiği gibidir. En iyi bulanıklık, AKM ve KOİ giderimi sırasıyla %93,3; %75,0 ve %94,7 olarak pH = 2,00 değerinde elde edilmiştir. Fakat orijinal pH (8,96) değerinde elde edilen deney sonuçlarına göre pH = 2,00'de elde edilen KOİ ve bulanıklık giderim değerlerinin de %90'nın üzerinde olduğu görülmektedir. pH değerinin orijinal pH değerinden 2,00 değerine düşürülebilmesi için HCl kullanılmaktadır. Bu durum göz önüne alındığında gerçekleştirilen diğer deneylerin genel olarak orijinal pH değerinde yürütülmesine karar verilmiştir. Yine de pH 2,00 için de deneyler gerçekleştirilmiştir (Bkz. Çizelge 8.20).

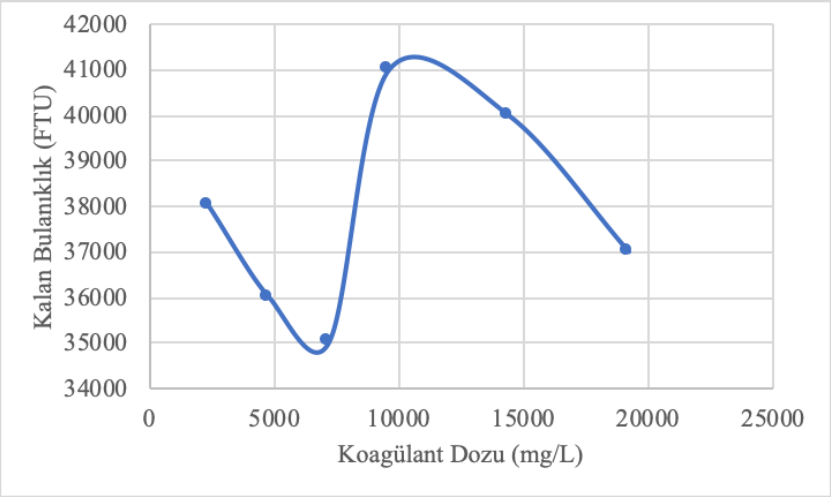
Çizelge 8.15. Atık kağıt ile yapılan farklı pH değerlerinde koagülasyon sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 24000 mg/L doz)

No	**1**	**2**	**3**
pH	2,00	7,00	8,96
Arıtım Sonrası pH	2,29	7,16	8,54
Kalan Bulanıklık (FTU)	3700	11000	5200
Bulanıklık Giderimi (%)	93,3	80,0	90,5
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	5500	15800	7400
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	75,0	28,2	66,4
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	8667	13933	10900
KOİ Giderimi (%)	94,7	91,5	93,4
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	1,664	1,501	1,861
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	66,56	60,04	74,44

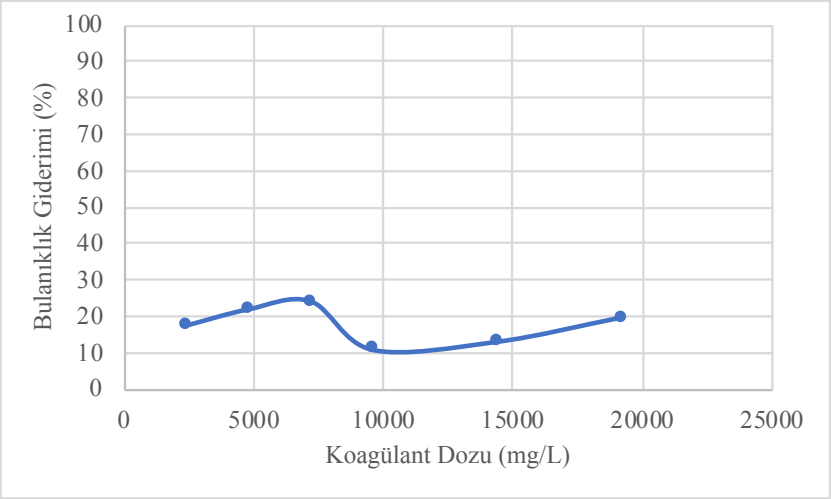
24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik koagülantın uygulama sonuçları Çizelge 8.16'da verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.39, Şekil 8.40, Şekil 8.41 ve Şekil 8.42'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.16. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik; pH = 8,94)

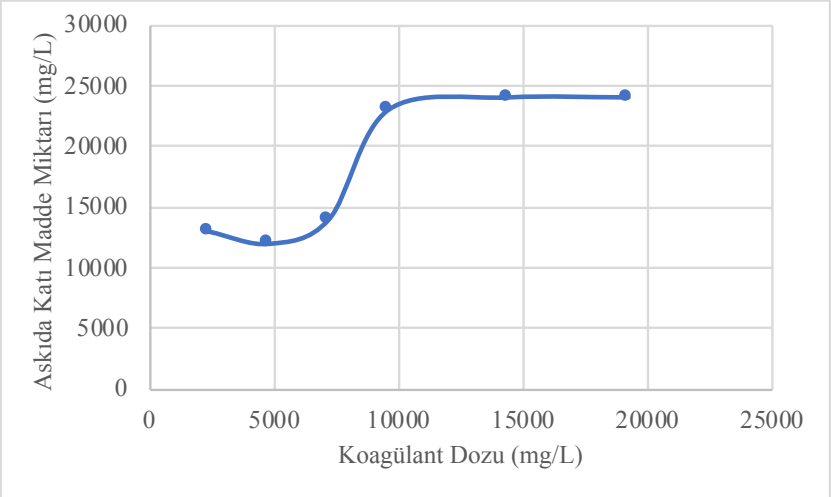
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	Askıda Katı Madde Giderimi (%)
1	2400	7,67	38000	17,4	13000	23,5
2	4800	6,91	36000	21,7	12000	29,4
3	7200	3,00	35000	23,9	14000	17,6
4	9600	5,60	41000	10,9	23000	-35,3
5	14400	3,02	40000	13,0	24000	-41,2
6	19200	2,68	37000	19,6	24000	-41,2



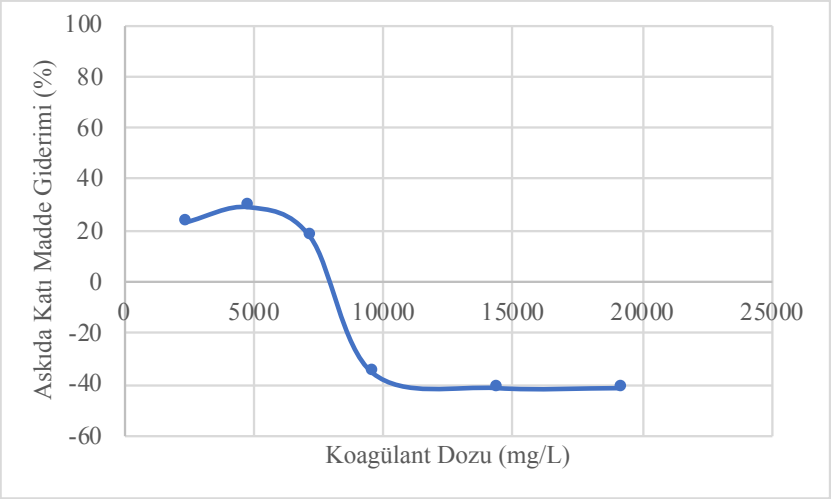
Şekil 8.39. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.40. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.41. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



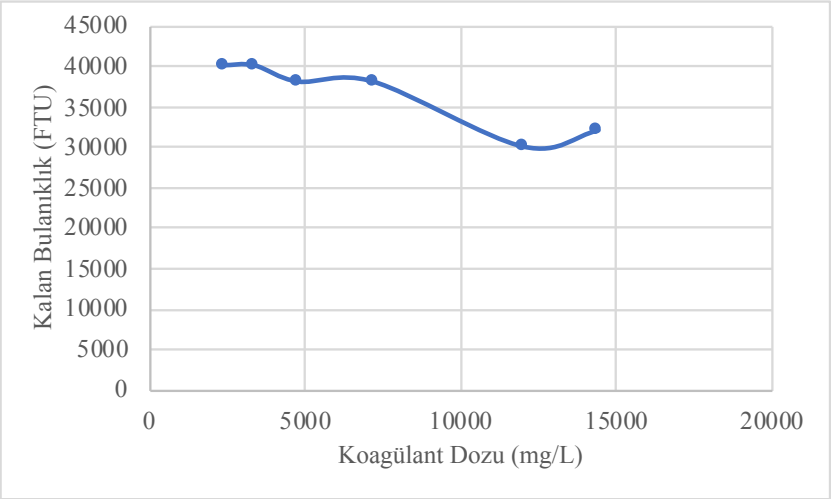
Şekil 8.42. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))

Çizelge 8.16'da verilen sonuçlar incelendiğinde en iyi bulanıklık gideriminin %23,9 ile 7200 mg/L'de elde edildiği görülmektedir. En iyi askıda katı madde giderimi ise %29,4 ile 4800 mg/L dozda elde edilmiştir. 4800 mg/L'den sonra askıda katı madde miktarı, koagülant dozunun artması ile artmıştır. Bu durumda, koagülant dozunun artmasının çözeltide bulunan askıda katı madde miktarını artmasına neden olduğu düşünülebilir. Şekil 8.39 ve Şekil 8.41 incelendiğinde 7200 mg/L koagülant dozundan sonra kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarının özellikle bir sondaki doz olan 9600 mg/L'de arttığı görülmektedir. Şekil 8.40 ve Şekil 8.42 incelendiğinde 7200 mg/L'de bulanıklık ve askıda katı madde giderimlerinin düşüş gösterdiği görülmektedir.

Atık kağıt koagülantının 24 g/L'lik süspansiyon-1 günlük uygulanmasına ait sonuçlar Çizelge 8.17'de verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.43, Şekil 8.44, Şekil 8.45 ve Şekil 8.46'da verildiği gibidir.

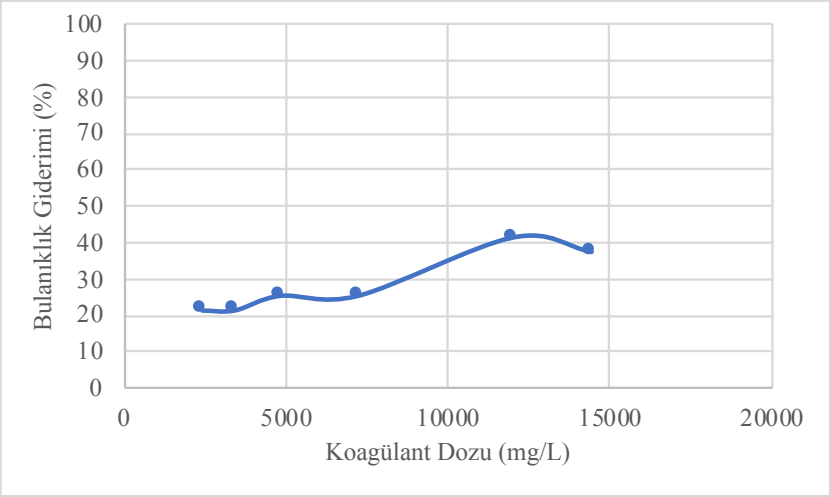
Çizelge 8.17. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon -1 günlük; pH = 8,94)

No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	Askıda Katı Madde Giderimi (%)
1	2400	8,11	40000	21,6	18000	0,0
2	3400	7,93	40000	21,6	13000	27,8
3	4800	6,50	38000	25,5	13000	27,8
4	7200	2,85	38000	25,5	13000	27,8
5	12000	2,28	30000	41,2	10000	44,4
6	14400	2,40	32000	37,3	11000	38,9

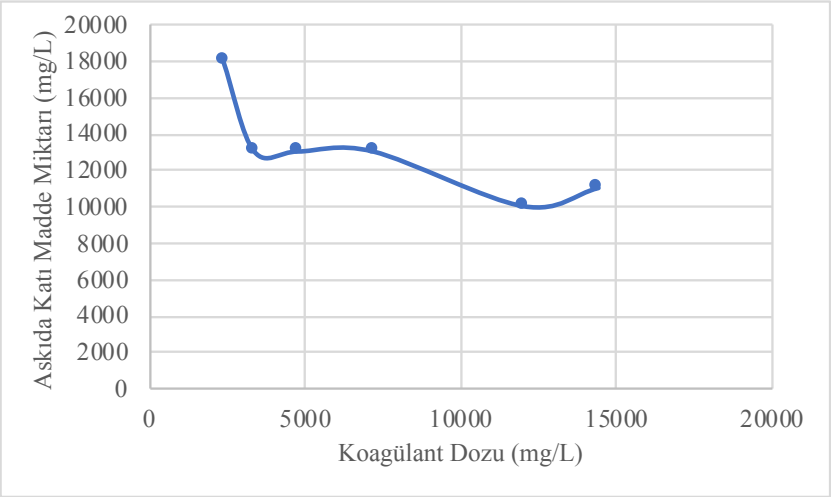


Şekil 8.43. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon -1 günlük; pH = 8,94 (orijinal))

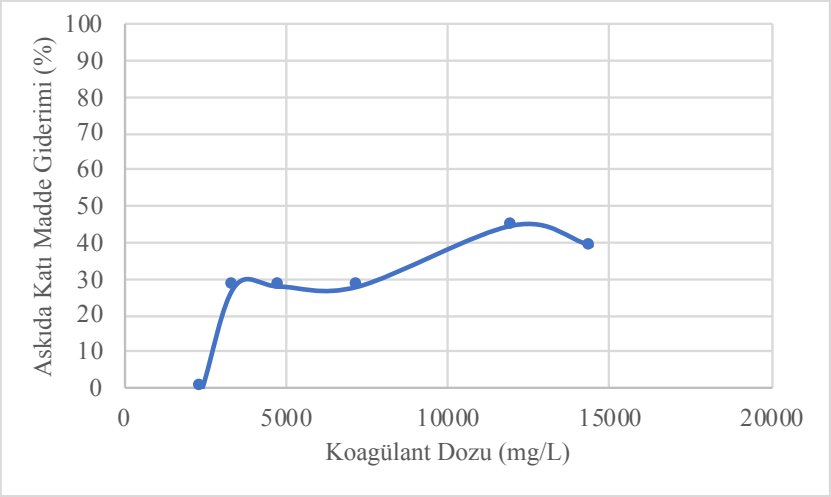
Çizelge 8.17'ye incelendiğinde en iyi bulanıklık ve askıda katı madde gideriminin 12000 mg/L dozunda sırasıyla %41,2 ve %44,4 değerlerinde olduğu görülmektedir. Şekil 8.43 ve 8.45 incelendiğinde 12000 mg/L'de kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarındaki düşüş görülmektedir. Şekil 8.44 ve Şekil 8.46 incelendiğinde bulanıklık ve askıda katı madde gideriminin yine 12000 mg/L'de yükseldiği, ayrıca bulanıklık giderimi ve askıda katı madde gideriminin benzer şekilde değiştiği görülebilir.



Şekil 8.44. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon -1 günlük; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.45. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon -1 günlük; pH = 8,94 (orijinal))

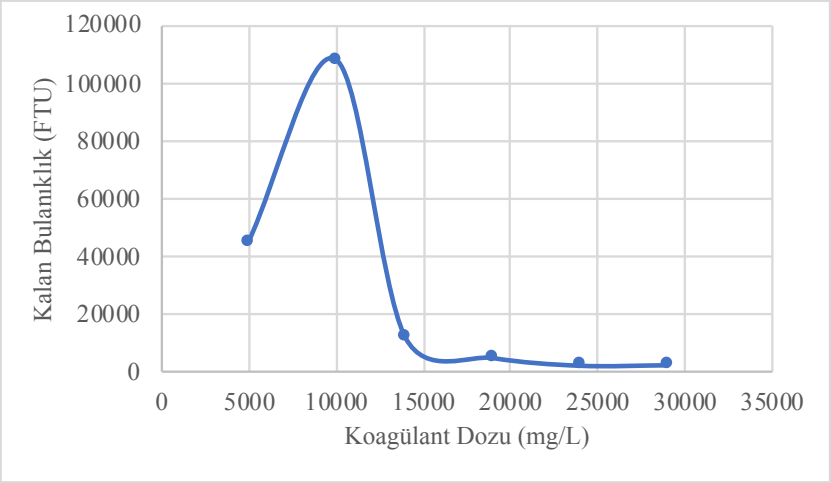


Şekil 8.46. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik süspansiyon -1 günlük; pH = 8,94 (orijinal))

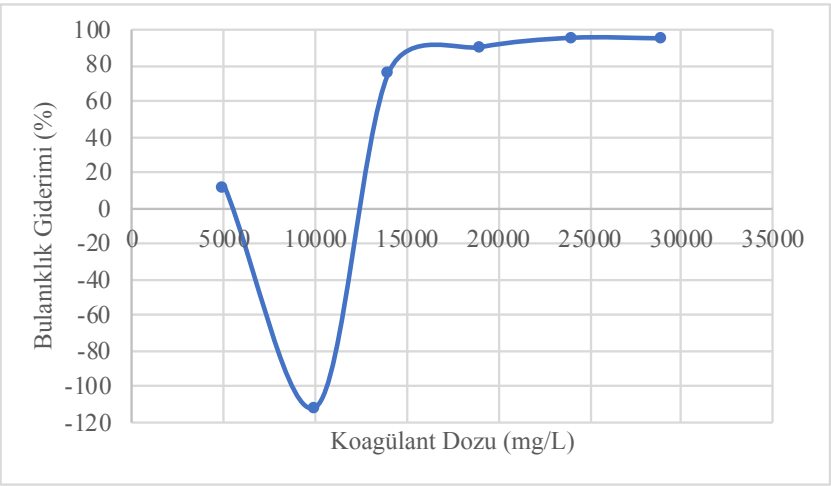
Atık kağıt koagülantının 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik uygulanmasına ait deney sonuçları ise Çizelge 8.18'de verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.47, Şekil 8.48, Şekil 8.49 ve Şekil 8.50'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.18. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,94)

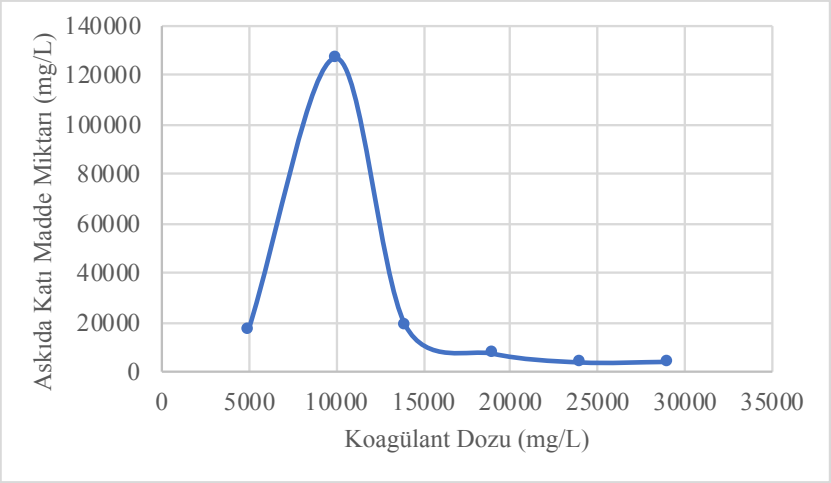
No	Koagülant Dozu (mg/L)	Arıtım Sonrası pH	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	Askıda Katı Madde Giderimi (%)
1	5000	8,62	45000	11,8	17000	5,6
2	10000	8,50	108000	-111,8	127000	-605,6
3	14000	8,71	12100	76,3	19100	-6,1
4	19000	8,65	5100	90,0	7700	57,2
5	24000	8,54	2430	95,2	4170	76,8
6	29000	8,60	2600	94,9	4400	75,6



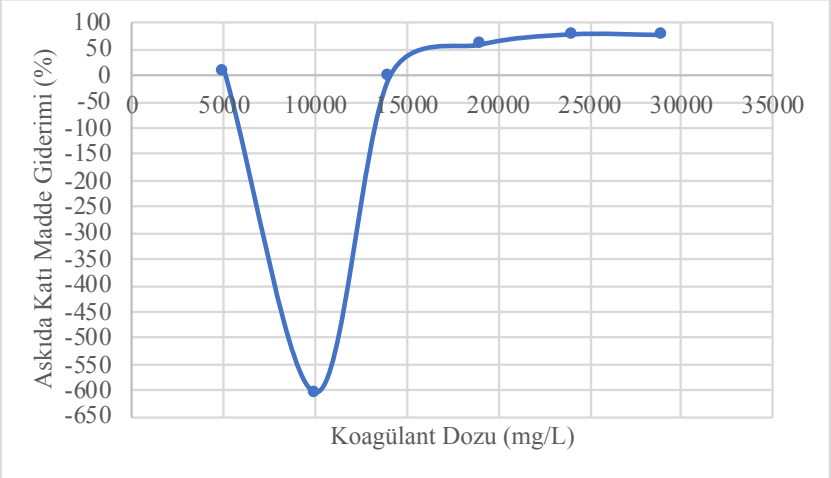
Şekil 8.47. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.48. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.49. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık= 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))



Şekil 8.50. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim= ağırlıkça %5; bulanıklık = 46000 FTU; AKM = 17000 mg/L; 24 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,94 (orijinal))

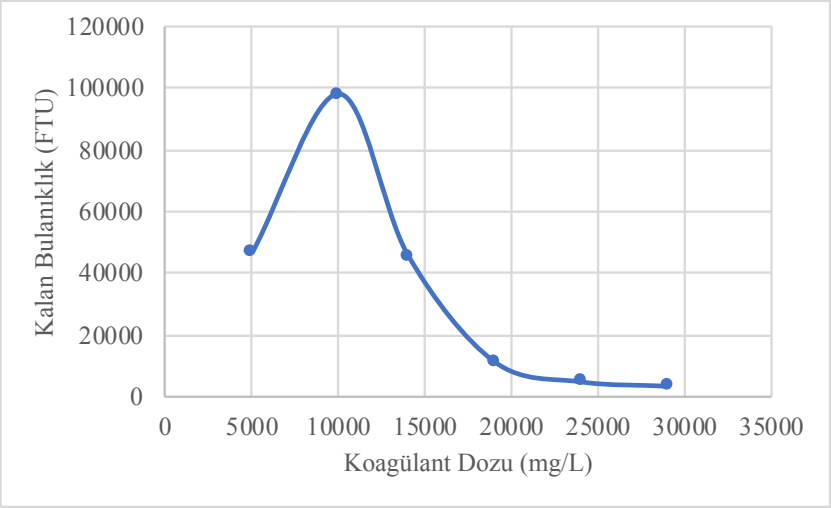
Çizelge 8.18 incelendiğinde en iyi bulanıklık giderimi ve askıda katı madde giderimi değerlerinin 24000 mg/L dozunda sırasıyla %95,2 ve %76,8 olduğu görülmektedir. Şekil 8,47 ve Şekil 8.49 incelendiğinde kalan bulanıklık ve askıda katı madde miktarının en düşük olduğu dozun 24000 mg/L olduğu görülmektedir. Şekil 8.48 ve Şekil 8.50 incelendiğinde en

iyi giderimin yine 24000 mg/L dozunda olduğu grafik üzerinde görülmektedir. Şekil 8.48 ve Şekil 8.50'de 10000 mg/L dozunda bulanıklık ve askıda katı madde gideriminde önemli bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu düşüşün ardından giderim değerlerinde önemli bir artış görülmektedir.

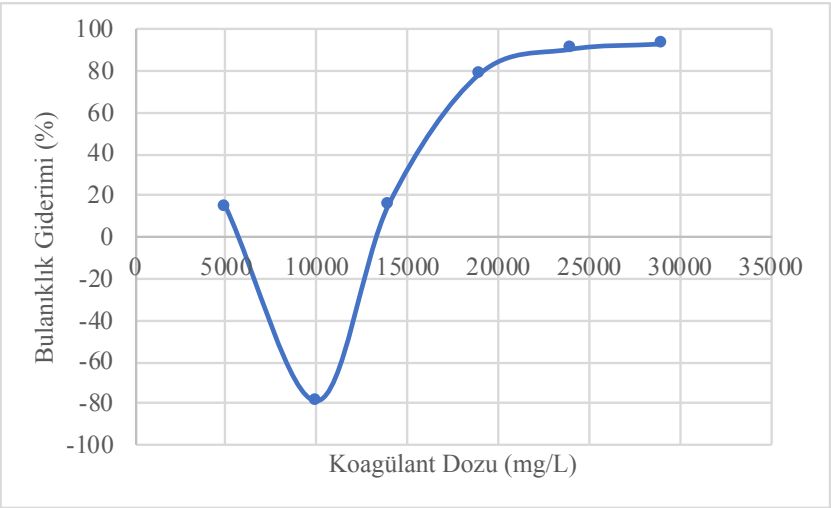
Atık kağıt koagülantının 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik uygulamasına ait deney sonuçları Çizelge 8.19'da verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), KOİ giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.51, Şekil 8.52, Şekil 8.53, Şekil 8.54, Şekil 8.55 ve Şekil 8.56'da verildiği gibidir.

Çizelge 8.19. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96)

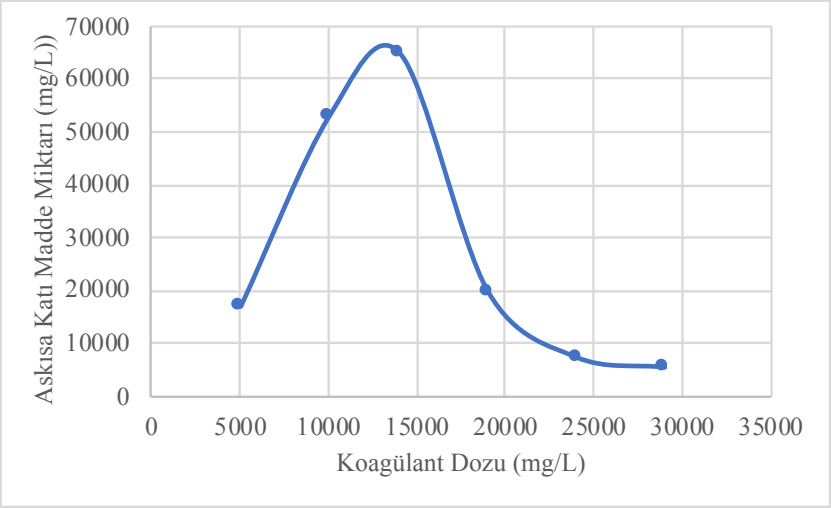
No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Koagülant Dozu (mg/L)	5000	10000	14000	19000	24000	29000
Arıtım Sonrası pH	8,49	8,47	8,53	8,52	8,54	8,49
Kalan Bulanıklık (FTU)	47000	98000	46000	11700	5200	3800
Bulanıklık Giderimi (%)	14,5	-78,2	16,4	78,7	90,5	93,1
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	17000	53000	65000	19800	7400	5500
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	22,7	-140,9	-195,5	10,0	66,4	75,0
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	111667	108667	69333	18300	10900	6733
KOİ Giderimi (%)	31,9	33,7	57,7	88,8	93,4	95,9
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	0	0	0	1,599	1,861	1,927
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	0	0	0	64,0	74,4	77,1



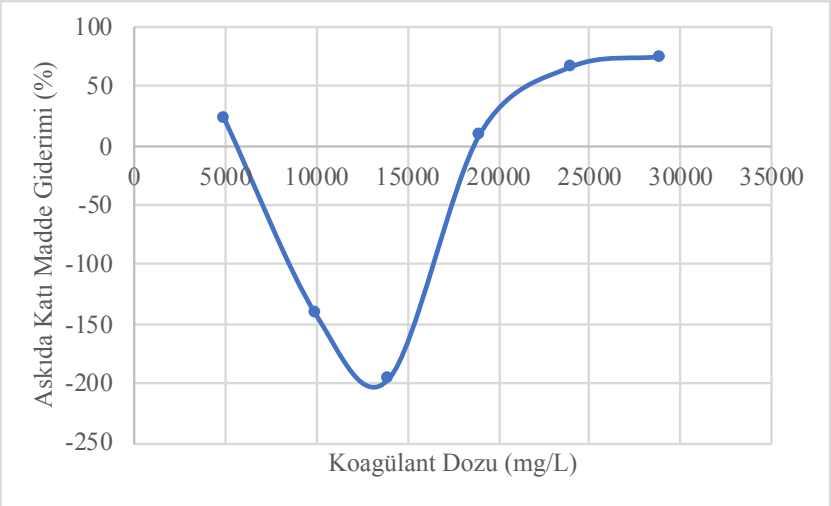
Şekil 8.51. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))



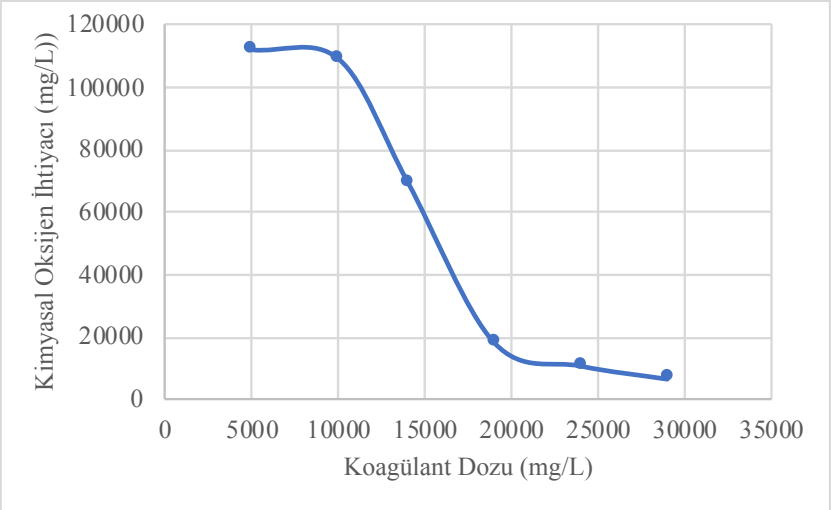
Şekil 8.52. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))



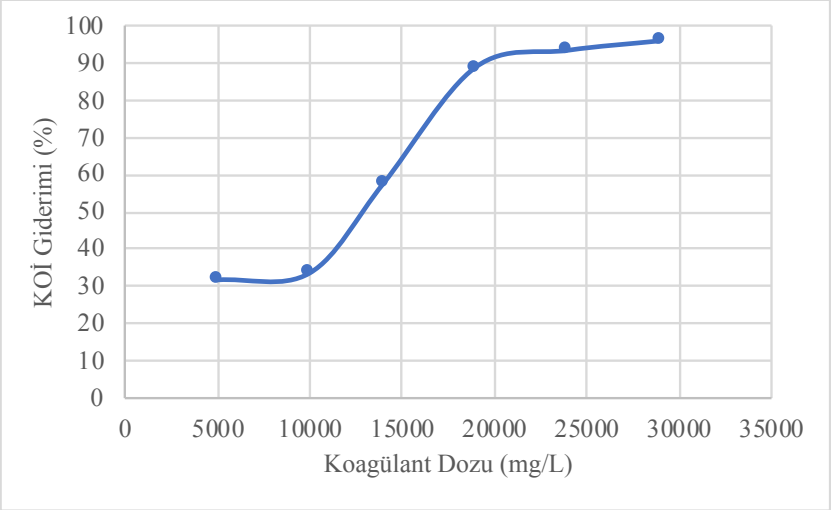
Şekil 8.53. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.54. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.55. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.56. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,96 (orijinal))

Çizelge 8.19 incelendiğinde en iyi bulanıklık, AKM ve KOİ gideriminin 24000 mg/L dozda sırasıyla %90,5; 66.4 ve 93,4 olduğu ve 29000 mg/L'de biraz daha artarak sırasıyla %93,1; 75 ve 95,9 değerlerine ulaştığı görülmektedir. Şekil 8.52, Şekil 8.54 ve Şekil 8.56 incelendiğinde Şekil 8.48 ve Şekil 8.50'de görülen düşüsün burada da yine 10000 mg/L dozunda görüldüğü belirtilmelidir. Bu düşüşün ardından giderim (%) değerlerinde artış görülmüş ve bu artış 29000 mg/L dozuna kadar devam etmiştir.

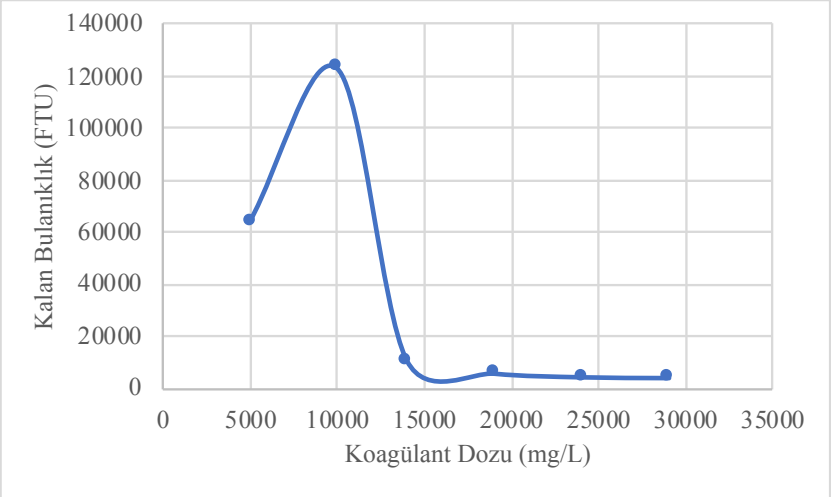
Atık kağıt koagülantının 30 g/L'lik çözelti-1saatlik uygulamasının pH 2,00'de uygulanması ait deney sonuçları Çizelge 8.20'de verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim, kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.57, Şekil 8.58, Şekil 8.59, Şekil 8.60, Şekil 8.61 ve Şekil 8.62'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.20. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)

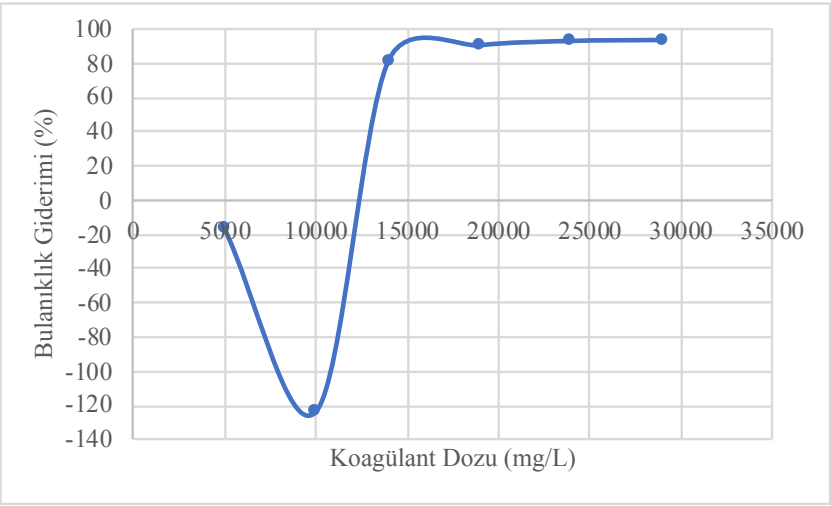
No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Koagülant Dozu (mg/L)	5000	10000	14000	19000	24000	29000
Arıtım Sonrası pH	2,13	2,28	2,21	2,18	2,49	2,65
Kalan Bulanıklık (FTU)	64000	123000	10400	5400	4000	3700
Bulanıklık Giderimi (%)	-16,4	-123,6	81,1	90,2	92,7	93,3
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	26000	100000	15900	7800	6000	5100
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	-18,2	-354,5	27,7	64,5	72,7	76,8
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	119333	97667	13667	11767	8667	6900
KOİ Giderimi (%)	27,2	40,4	91,7	92,8	94,7	95,8
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	0	0	0	2,046	1,399	1,211
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	0	0	0	81,8	56,0	48,4

Çizelge 8.20'ye göre pH 2,00 değerinde gerçekleştirilen deneylerde en iyi bulanıklık, AKM ve KOİ giderimi değerleri 29000 mg/L dozunda sırasıyla %93,3, %76,8 ve %95,8 olarak elde edilmiştir. Orijinal pH (8,96) değerinde gerçekleştirilen arıtım sonucu (% 64 yağ geri kazanımı; Bkz. Çizelge 8.19) ile pH 2,00 değerinde gerçekleştirilen arıtım sonucu karşılaştırıldığında daha düşük doz olan 19000 mg/L'de pH 2'de emülsiyonun daha iyi kırılarak %81,8 yağ geri kazanımı sağlandığı belirtilebilir. pH 8,96 değerinde 24000 ve 29000 mg/L dozlarında geri kazanılan yağ miktarı sırası ile %74,4 ve %77,1 iken bu miktar

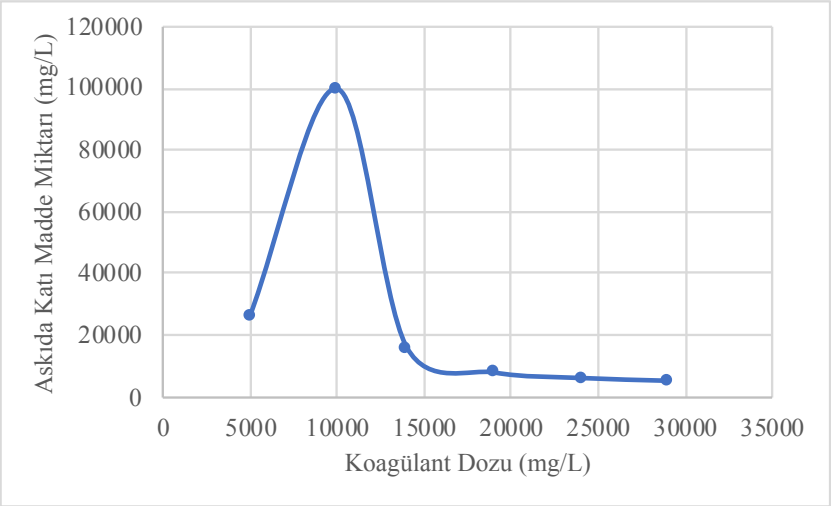
pH 2,00 değerinde gerçekleştirilen deneyde aynı dozlar için sırasıyla %56,0 ve %48,4'e düşmüştür. Bu durumda düşük dozda pH 2,00 değerinin daha etkin olduğu belirtilebilir.



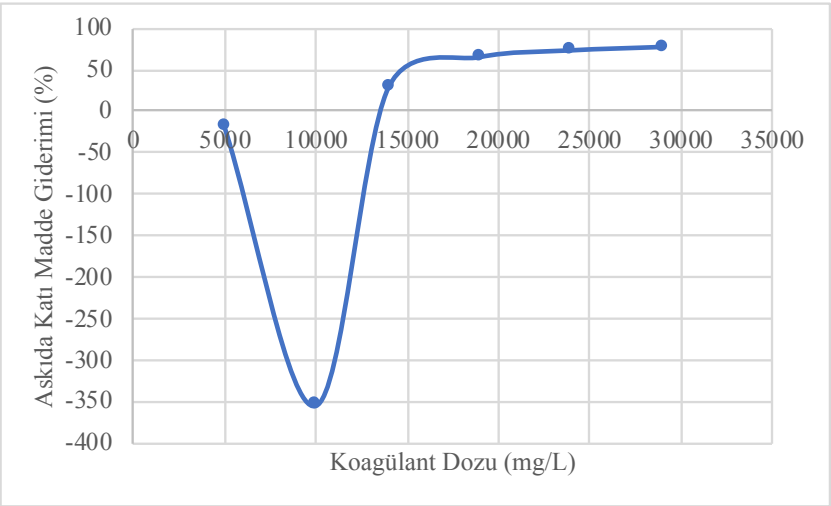
Şekil 8.57. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)



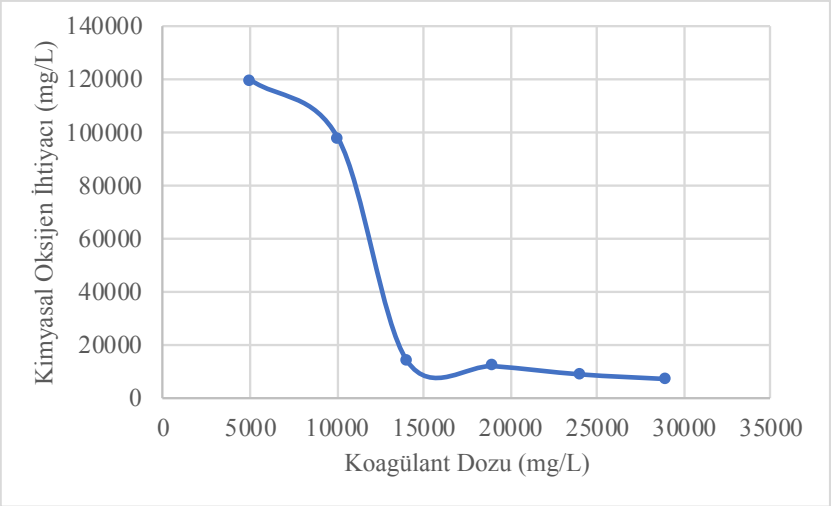
Şekil 8.58. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)



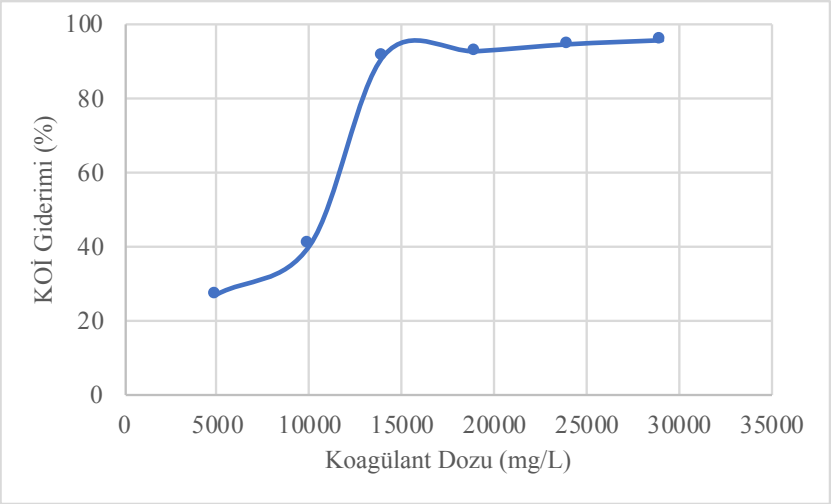
Şekil 8.59. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)



Şekil 8.60. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)



Şekil 8.61. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)



Şekil 8.62. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 2,00)

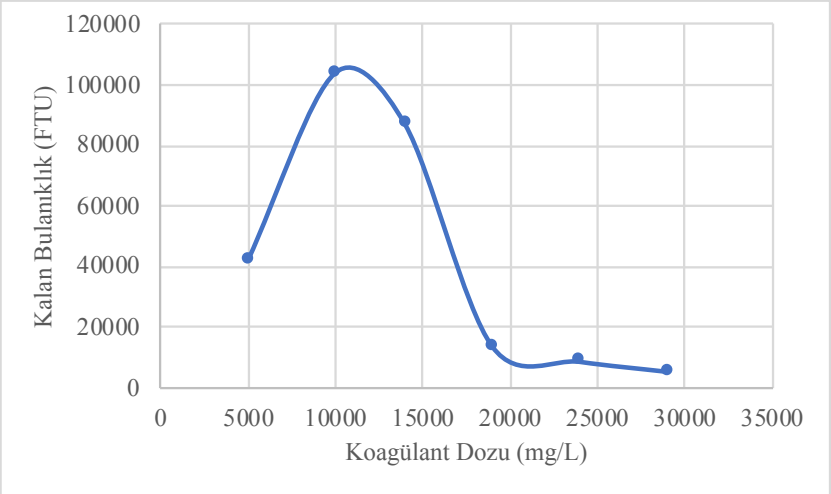
Şekil 8.58, Şekil 8.60 ve Şekil 8.62 incelendiğinde bulanıklık ve KOİ giderim değerinin 14000 mg/L dozu AKM giderimi için 19000 mg/L dozu ile yüksek giderim

değerleri elde edilmiş olup, bu dozlardan sonra doz artışı ile giderimlerde yavaş bir artış olduğu gözlenmiştir.

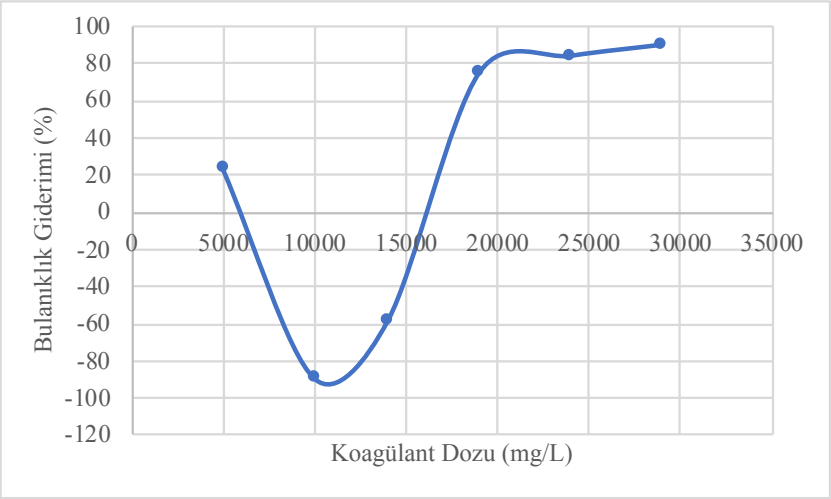
Atık kağıt koagülantının 30g/L'lik çözelti-1 günlük uygulamasına ait deney sonuçları Çizelge 8.21'de verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim, kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.63, Şekil 8.64, Şekil 8.65, Şekil 8.66, Şekil 8.67 ve Şekil 8.68'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.21. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))

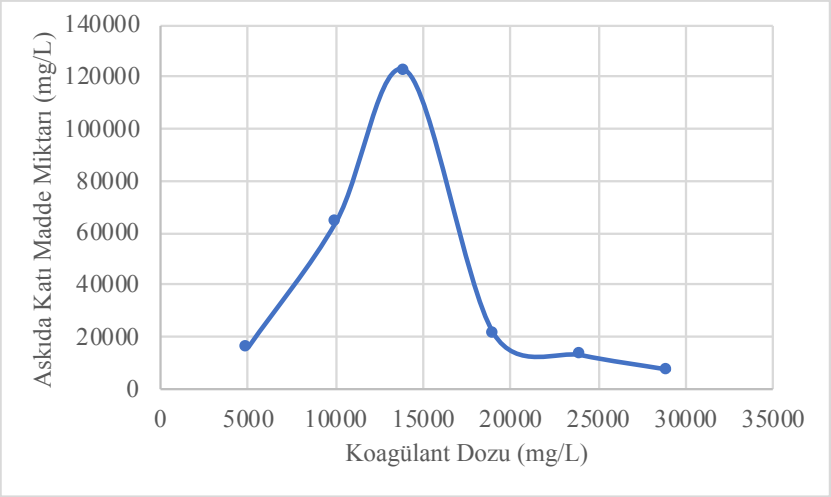
No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Koagülant Dozu (mg/L)	5000	10000	14000	19000	24000	29000
Arıtım Sonrası pH	8,40	8,56	8,49	8,32	8,30	8,17
Kalan Bulanıklık (FTU)	42000	104000	87000	13500	8500	5200
Bulanıklık Giderimi (%)	23,6	-89,1	-58,2	75,5	84,5	90,5
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	16000	64000	122000	21200	12900	7300
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	27,3	-190,9	-454,5	3,6	41,4	66,8
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	108000	56333	20333	8333	4167	7567
KOİ Giderimi (%)	34,1	65,7	87,6	94,9	97,5	95,4
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	0	0	0	1,689	1,601	1,528
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	0	0	0	67,6	64,0	61,1



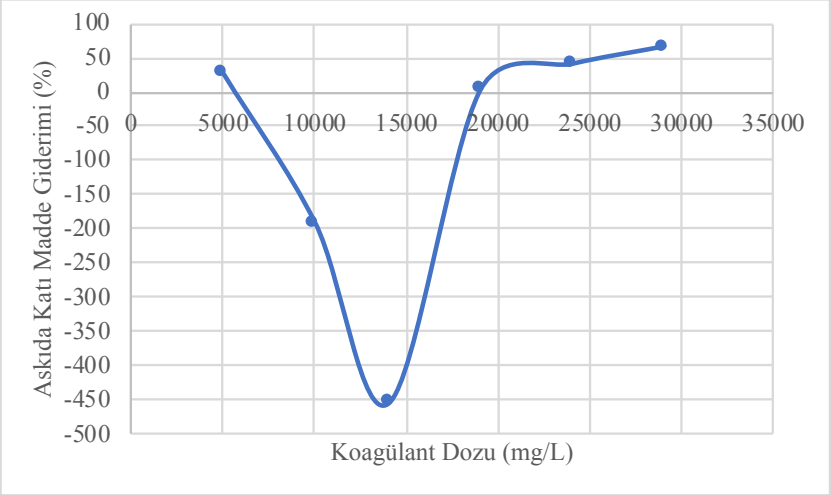
Şekil 8.63. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))



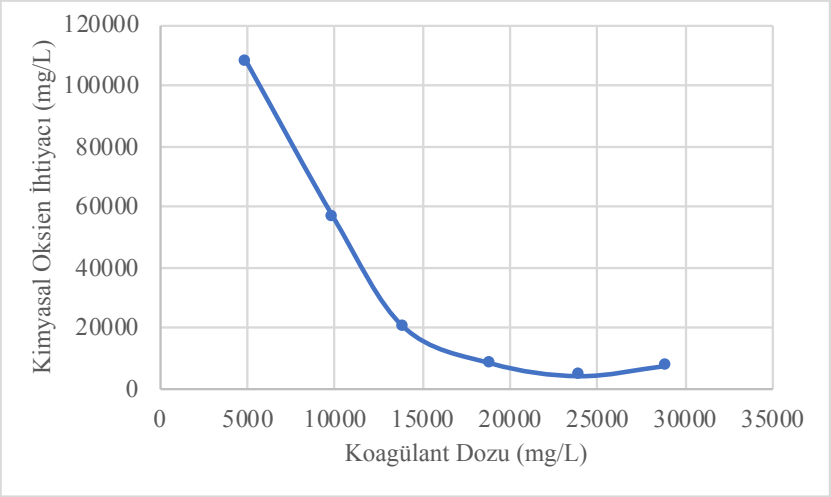
Şekil 8.64. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))



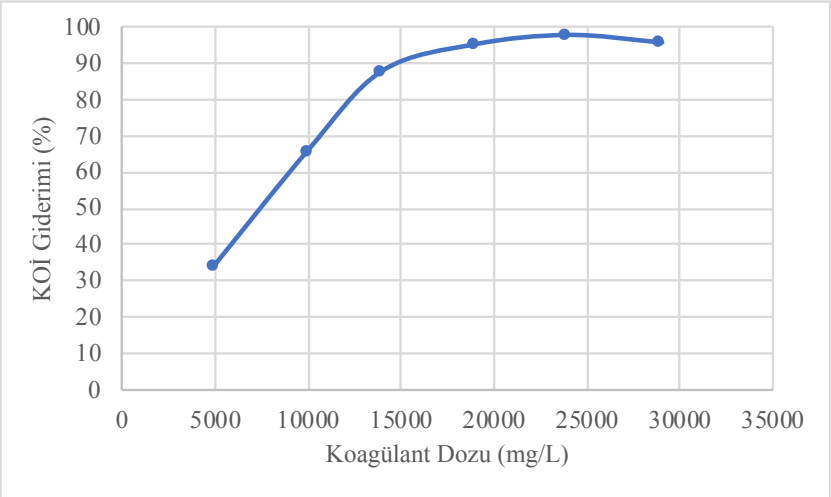
Şekil 8.65. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.66. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.67. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))



Şekil 8.68. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 55000 FTU; AKM = 22000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 günlük; pH = 8,96 (orijinal))

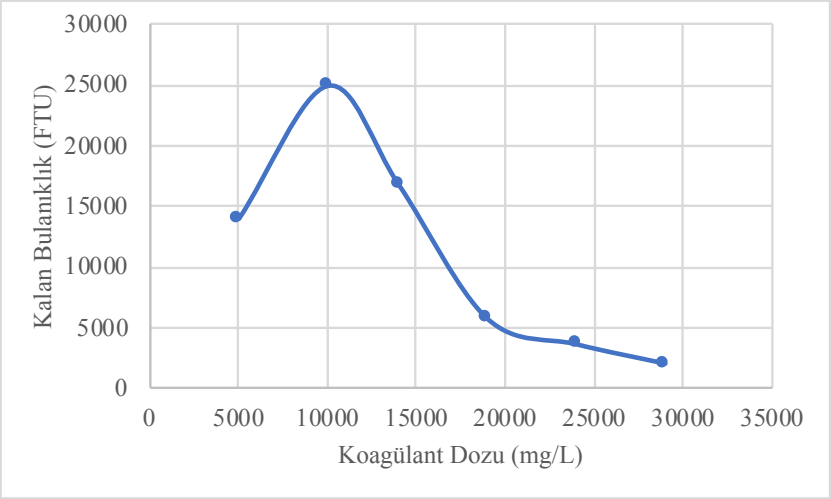
Çizelge 8.21'e göre en iyi bulanıklık, AKM ve KOİ giderimi değerleri 29000 mg/L dozunda sırasıyla %90,5; %66,8; %95,4 olarak elde edilmiştir. Şekil 8.64, Şekil 8.66 ve Şekil 8.68 incelendiğinde 19000 mg/L dozundan itibaren bulanıklık, AKM ve KOİ giderim değerlerinde yavaş bir artış olduğu görülmektedir.

Atık kağıt koagülantının 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik, ağırlıkça %1'lik yağlı sentetik atık suda orijinal pH değerinde uygulanmasına ait deney sonuçları Çizelge 8.22'de verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, askıda katı madde miktarı, askıda katı madde giderim, kimyasal oksijen ihtiyacı, KOİ giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.69, Şekil 8.70, Şekil 8.71, Şekil 8.72, Şekil 8.73 ve Şekil 8.74'te verildiği gibidir.

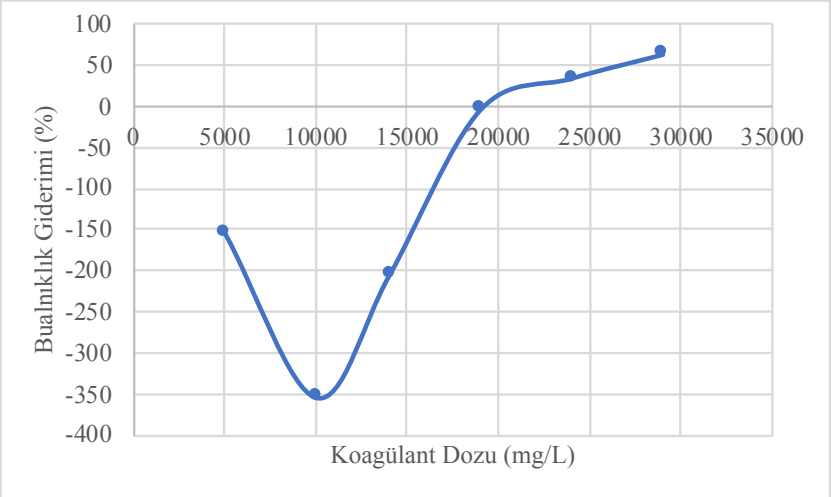
Çizelge 8.22'ye göre en iyi bulanıklık, AKM ve KOİ giderimi 29000 mg/L dozunda sırasıyla %63,6; %61,5 ve %97,2 olarak elde edilmiştir. Şekil 8.70, Şekil 8.72 ve Şekil 8.74'de de görüldüğü gibi giderim (%) değerlerinde görülen düşüş 14000 mg/L dozunda daha net olmakla birlikte 19000 mg/L değerine kadar devam etmektedir. Yağ geri kazanımı ise maksimum %14,0 olarak elde edilmiştir.

Çizelge 8.22. Atık kağıt ile yapılan farklı dozlarda yapılan deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))

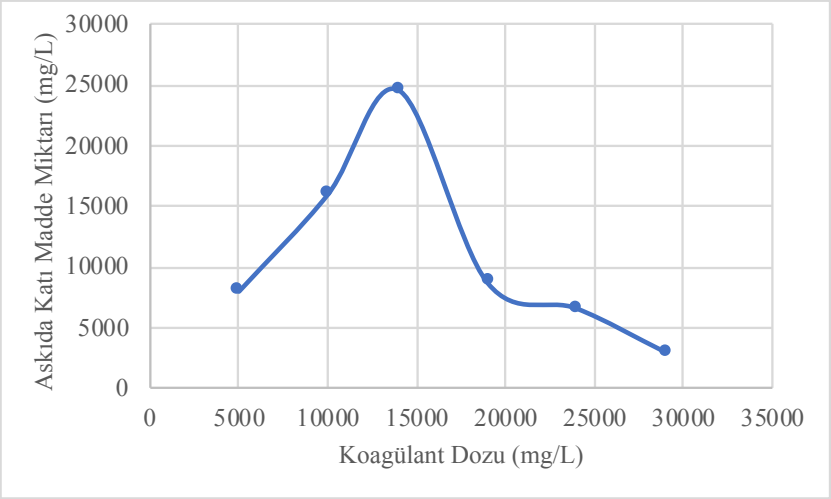
No	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Koagülant Dozu (mg/L)	5000	10000	14000	19000	24000	29000
Arıtım Sonrası pH	7,94	7,86	7,74	7,73	7,69	7,71
Kalan Bulanıklık (FTU)	14000	25000	16800	5700	3600	2000
Bulanıklık Giderimi (%)	-154,5	-354,5	-205,5	-3,6	34,5	63,6
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	8000	16000	24600	8700	6600	3000
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	-2,6	-105,1	-215,4	-11,5	15,4	61,5
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	18000	22000	16553	11167	7567	4933
KOİ Giderimi (%)	89,9	87,6	90,7	93,7	95,7	97,2
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	0	0	0	0	0,278	0,351
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	0	0	0	0,0	11,1	14,0



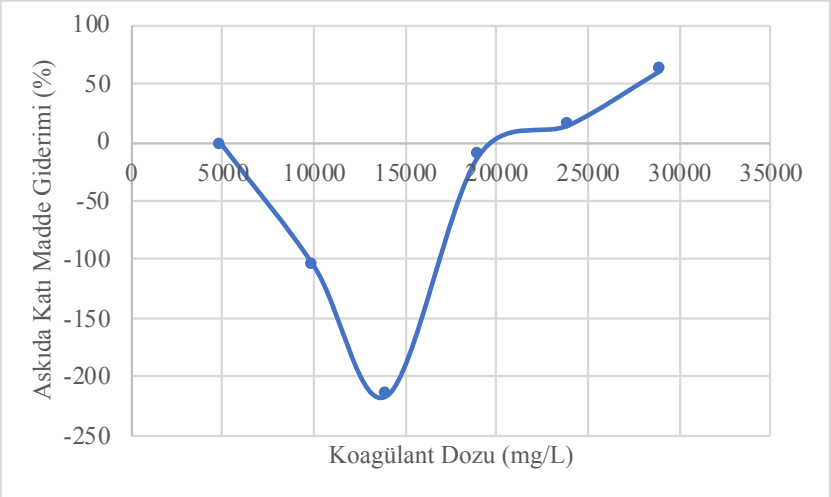
Şekil 8.69. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



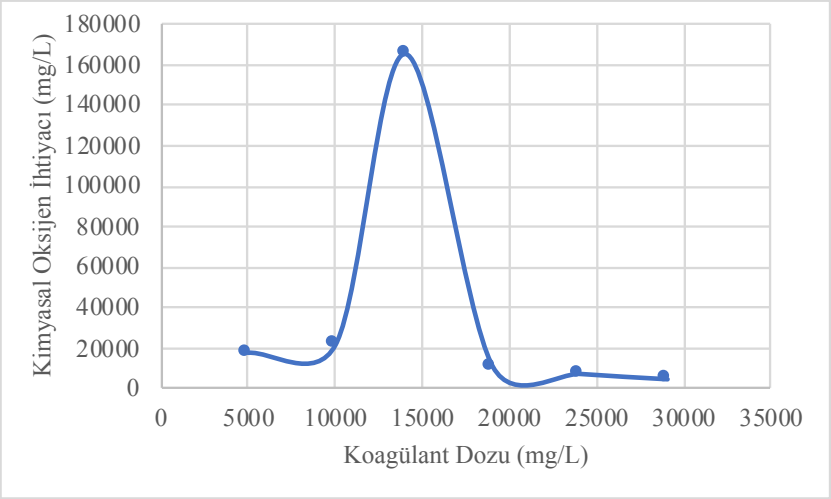
Şekil 8.70. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



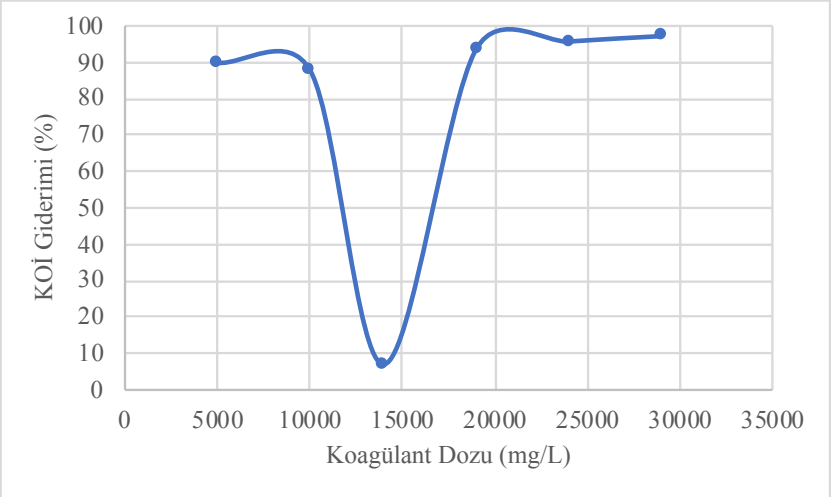
Şekil 8.71. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.72. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.73. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.74. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı dozlarda KOİ giderimi (Derişim = ağırlıkça %1; bulanıklık = 5500 FTU; AKM = 7800 mg/L; KOİ = 178000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))

Atık kağıdın çözelti olarak uygulandığı bütün deneylerde genellikle 10000 mg/L dozunda bulanıklık ve AKM giderim (%) değerlerinde sıfırın altına düşme gözlenmiş olup doz miktarının artması ile birlikte giderim (%) değerlerinde önemli ölçüde yükselme

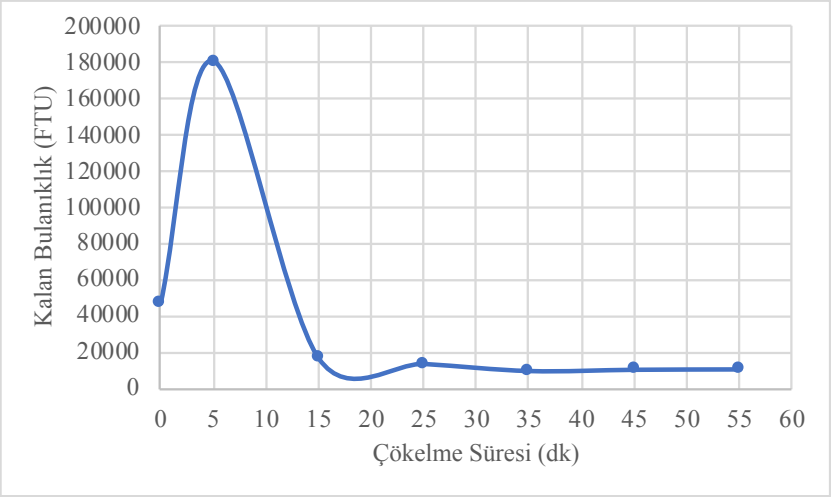
gözlenmiştir. Bu yükselme, ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık suda 30 g/L stok çözeltinin 1 saat karıştırılması ile hazırlanan koagülantın orijinal pH'da uygulandığı deneyde bulanıklık gideriminde %93,1 değerine kadar gözlenmiştir.

30g/L çözelti-1 saatlik koagülantının orijinal pH değerinde ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık suda uygulanmasına ait çökelme süresinin incelendiği deney ait sonuçlar Çizelge 8.23'te verildiği gibidir. Bu uygulama sonucunda elde edilen farklı dozlarda kalan bulanıklık, bulanıklık giderimi, AKM miktarı, AKM giderimi, KOİ, KOİ giderim grafikleri sırasıyla Şekil 8.75, Şekil 8.76, Şekil 8.77, Şekil 8.78, Şekil 8.79 ve Şekil 8.80'de verildiği gibidir.

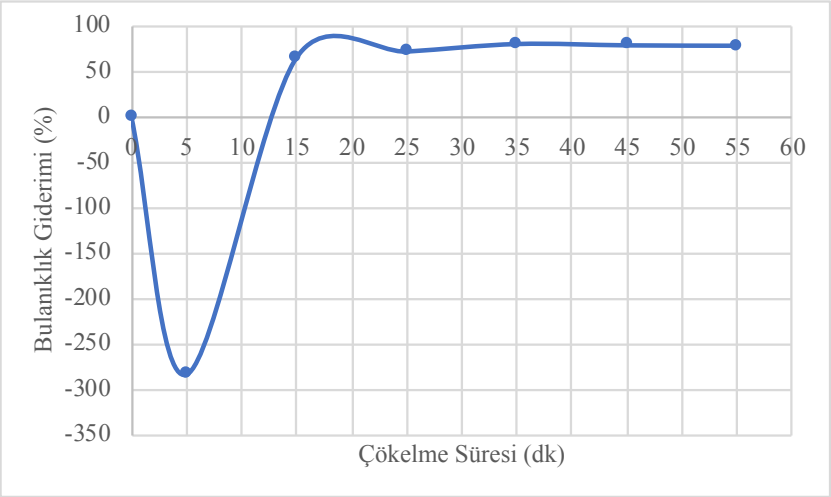
Çizelge 8.23. Atık kağıt ile yapılan farklı çökelme sürelerinde deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 147000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))

No	Çökelme Süresi (dk)	Kalan Bulanıklık (FTU)	Bulanıklık Giderimi (%)	AKM Miktarı (mg/L)	AKM Giderimi (%)	KOİ (mg/L)	KOİ Giderimi (%)
1	0	47000	0,0	19000	0,0	164000	-11,6
2	5	180000	-283,0	27500	-44,7	15800	89,3
3	15	16600	64,7	23500	-23,7	15600	89,4
4	25	13600	71,1	18700	1,6	12100	91,8
5	35	9700	79,4	11100	41,6	7900	94,6
6	45	10400	77,9	14100	25,8	9400	93,6
7	55	10600	77,4	16500	13,2	13300	91,0

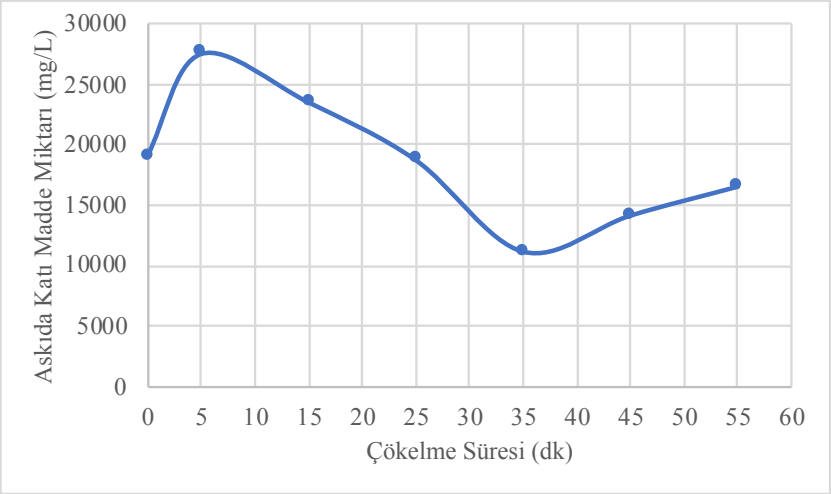
Çizelge 8.23'e bakıldığında en iyi bulanıklık, AKM ve KOİ giderimine sırasıyla %79,4; %41,6 ve %94,6 değerleri ile 35.dakikadan sonra ulaşıldığı görülmektedir.



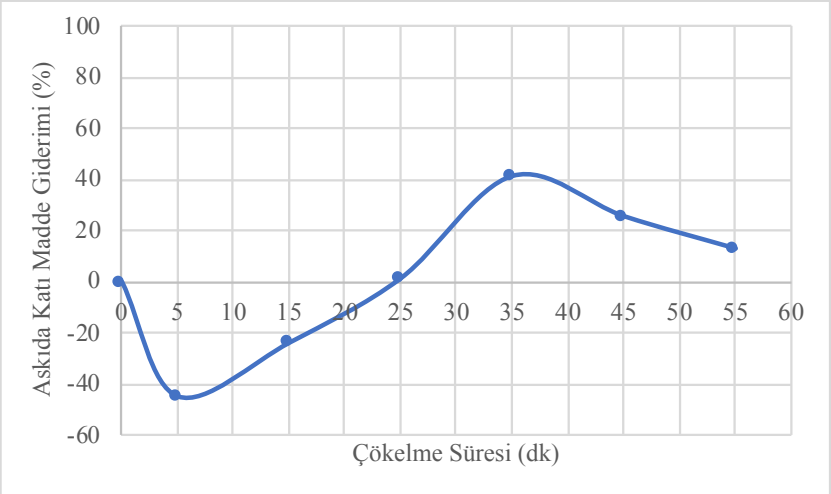
Şekil 8.75. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde kalan bulanıklık (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



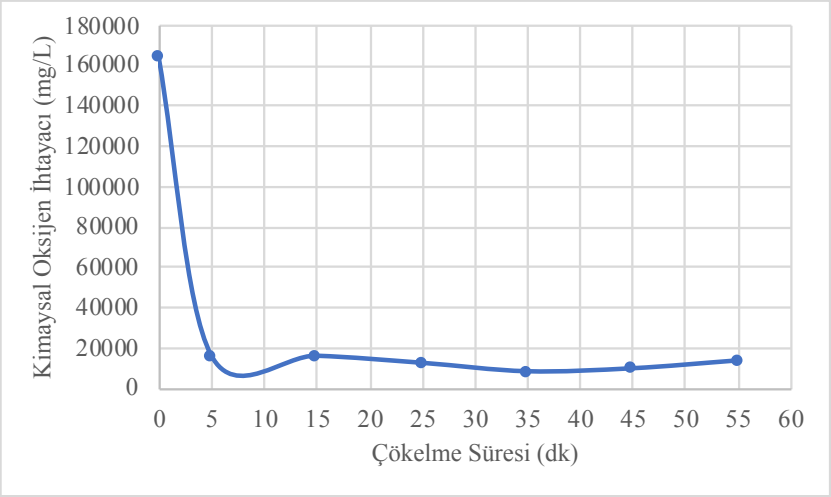
Şekil 8.76. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde bulanıklık giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



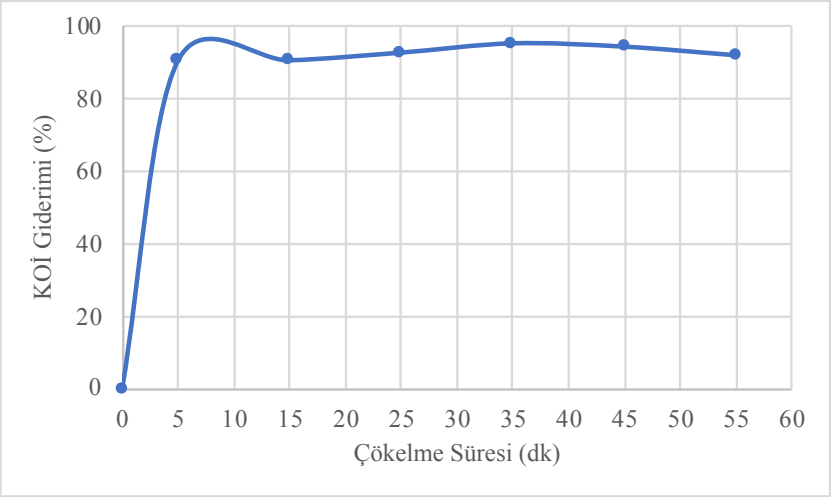
Şekil 8.77. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde askıda katı madde miktarı (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.78. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde askıda katı madde giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.79. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde KOİ (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))



Şekil 8.80. Atık kağıt koagülantıyla yapılan deneylerde farklı çökelme sürelerinde KOİ giderimi (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 164000 mg/L; 30 g/L'lik çözelti-1 saatlik; pH = 8,44 (orijinal))

Şekil 8.75-8.80 incelendiğinde 35 dakikalık bekletme süresinin uygun olduğu görülmektedir.

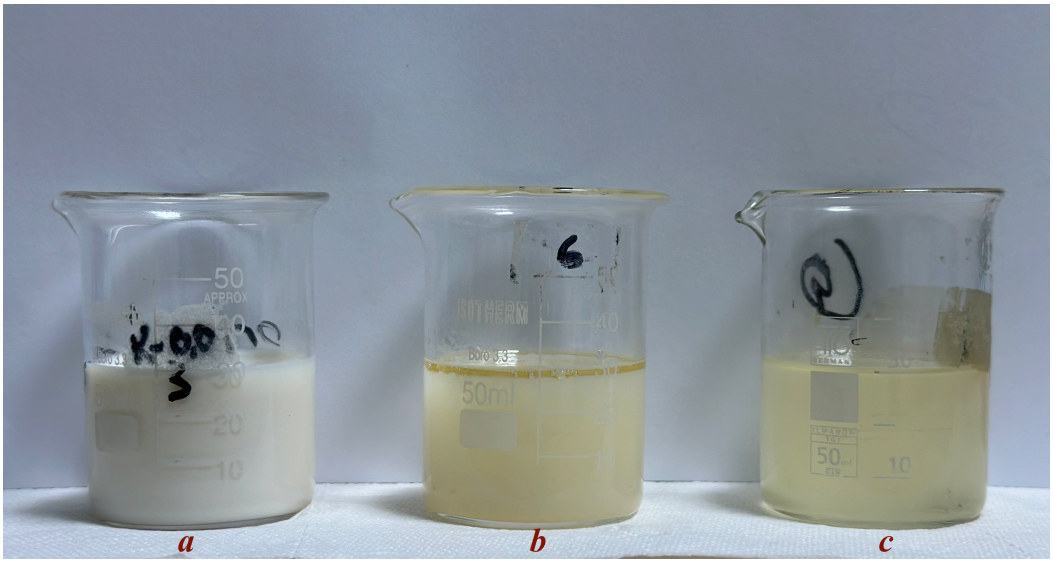
Kağıt bazlı materyallerin atık sularda kullanımına ait çalışmalar bulunmaktadır. Ancak atık kağıdın koagülasyonda kullanıldığı çalışmalar ile karşılaşılmamıştır. Feng vd. (2021) gerçekleştirdiği bir çalışmada boyar madde içeren atık su arıtımını flokülasyon ile kağıt üretim çamuru bazlı flokülant (PSBF) ve ticari lignin bazlı flokülant (LBF) ile gerçekleştirmiştir. En iyi renk giderimini (> %90) pH 2 ve 6 aralığında elde etmiştir.

8.7. İki Kademeli Deney Sonuçları

İki kademeli deneyin ilk kademesinde atık kağıt ve ikinci kademesinde alüminyum sülfat koagülant olarak kullanılmıştır. Bu deneyin sonucuna ait veriler Çizelge 8.24'de verildiği gibidir. İki kademeli koagülasyona ait görsel ise Şekil 8.81'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.24. İki kademeli deney sonuçları (Derişim = ağırlıkça %5; bulanıklık = 47000 FTU; AKM = 19000 mg/L; KOİ = 147000 mg/L; pH = 8,44 (orijinal))

Kademe	**1**	**2**
Koagülant Dozu (mg/L)	24000	6000
Arıtım Sonrası pH	7,36	3,54
Kalan Bulanıklık (FTU)	8900	900
Bulanıklık Giderimi (%)	81,1	89,9
Askıda Katı Madde Miktarı (mg/L)	12900	10000
Askıda Katı Madde Giderimi (%)	32,1	22,5
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (mg/L)	9400	700
KOİ Giderimi (%)	93,6	92,6
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	16,077	3,212
Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	64,3	36,0
Toplam Geri Kazanılan Yağ Miktarı (g)	19,289	
Toplam Geri Kazanılan Yağ Miktarı (%)	77,2	



Şekil 8.81. İki kademeli koagülasyonu sonucu a) ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık su b) birinci kademe sonrası arıtılan atık su c) ikinci kademe sonucunda arıtılan atık su

İlk kademeye Şekil 8.81'a)'da görülen %5'lik yağlı sentetik atık su ile başlanmıştır ve Şekil 8.81 b'de görülen beherdeki atık kağıt ile ilk koagülasyon sonucunda elde edilen, Şekil 8.81 c'deki beher alüminyum sülfat ile yapılan koagülasyon sonucunda elde edilen arıtılmış suyu göstermektedir. Çizelge 8.24 incelendiğinde, ilk kademe sonucunda bulanıklık 47000 FTU'dan 8900 FTU değerine düşürülüp %81,1 bulanıklık giderimi elde edilmiştir. İlk kademede AKM değeri 19000 mg/L'den 12900 mg/L değerine düşürülerek %32,1 AKM giderimi elde edilmiştir. Yine ilk kademede KOİ 147000 mg/L'den 9400 mg/L'ye düşürülerek %93,6 KOİ giderimine ulaşılmıştır. İkinci kademe alüminyum sülfatın 6000 mg/L doz uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. İkinci kademede bulanıklık 8900 FTU'dan 900 FTU değerine düşerek %89,9 bulanıklık giderimi, AKM 12900 mg/L'den 10000 mg/L değerine düşerek %22,5 AKM giderimi ve KOİ 9400 mg/L'den 700 mg/L değerine düşerek %92,6 KOİ giderimi elde edilmiştir.

8.8. Analiz Sonuçları

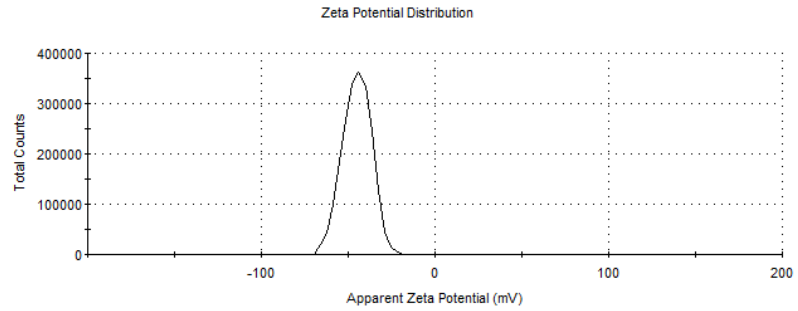
8.8.1. Yağ ve Gres Analiz Sonuçları

Yağ oranı ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık su için %0,033, atık kağıt koagülantı (30 g/L çözelti-1 saatlik) ile birinci kademe koagülasyon sonrasında %0,567 ve ikinci kademe pH 5'te alüminyum sülfat ile koagülasyon sonrası %0,614 olarak elde edilmiştir. Yağ oranlarına bakıldığında, koagülasyon işleminden sonra bir artma olduğu görülmektedir. Yağlı sentetik atık su için, emülsiyon yapısının çok kararlı olması ve bundan dolayı yağın, yağ ve gres analizinde hegzan fazına geçmemesi ile açıklanabilir. Arıtım sonrasında artan yağ oranı ise emülsiyonun kırıldığının ve yağın hegzan fazına geçtiğinin göstergesi olarak yorumlanabilir.

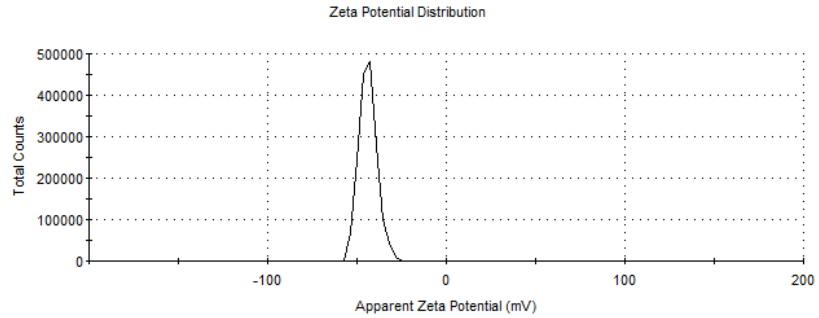
8.8.2. Zeta Potansiyeli Analiz Sonuçları

Zeta potansiyeli, atık sularda kararlığın bir ölçüsüdür (Eryılmaz ve Genç, 2018). Şekil 8.82, 8.83 ve 8.84'te sırasıyla ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suya ait atık kağıt koagülantı (30g/L çözelti-1 saatlik) ile koagülasyonu (ilk kademe) sonucunda ve alüminyum sülfat ile gerçekleştirilen ikinci kademe koagülasyon sonrasındaki zeta potansiyeli sonuçları yer almaktadır. Zeta potansiyelinin değerlerinin aağırlıkça %5 yağlı sentetik atık su için -45,1 mV; ilk kademe sonrasında -44,0 mV ve ikinci kademe sonrasında -9,27 mV olduğu görülmektedir.

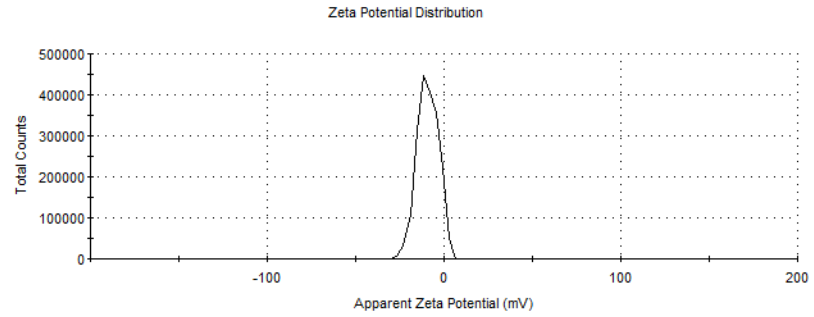
Feng vd. (2021) gerçekleştirdiği çalışmadan zeta potansiyeli sonucunun sıfıra yaklaşmasının güçlü bir yük nötralizasyonunun bir göstergesi olduğunu belirtmiştir. Sun vd. (2017) gerçekleştirdiği çalışmada kullandığı polimerik alüminyum ferrik silikat ve polimerik ferrik silikat koagülantı için zeta potansiyeli analiz sonuçlarını incelemiştir. Aynı dozlarda polimerik alüminyum ferrik silikatın zeta potansiyeli polimerik ferrik silikata göre daha yüksek olduğu için yük nötralizasyon yeteneğinin daha iyi olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Bu durum göz önüne alındığında alüminyum sülfatın yük nötralizasyon kabiliyetinin atık kağıttan daha iyi olduğu söylenebilir.



Şekil 8.82. Ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık suya ait zeta potansiyeli



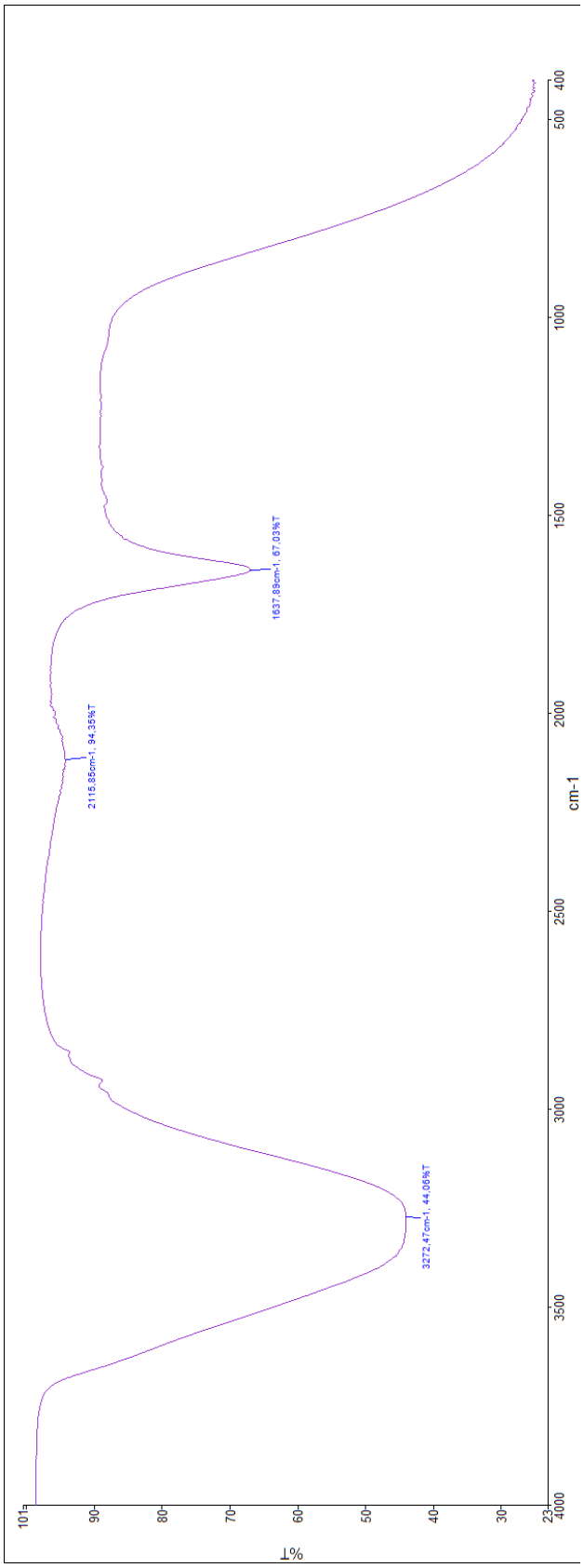
Şekil 8.83. Ağırlıkça %5'lik yağlı atık suyun ilk kademe koagülasyonu sonucunda zeta potansiyeli



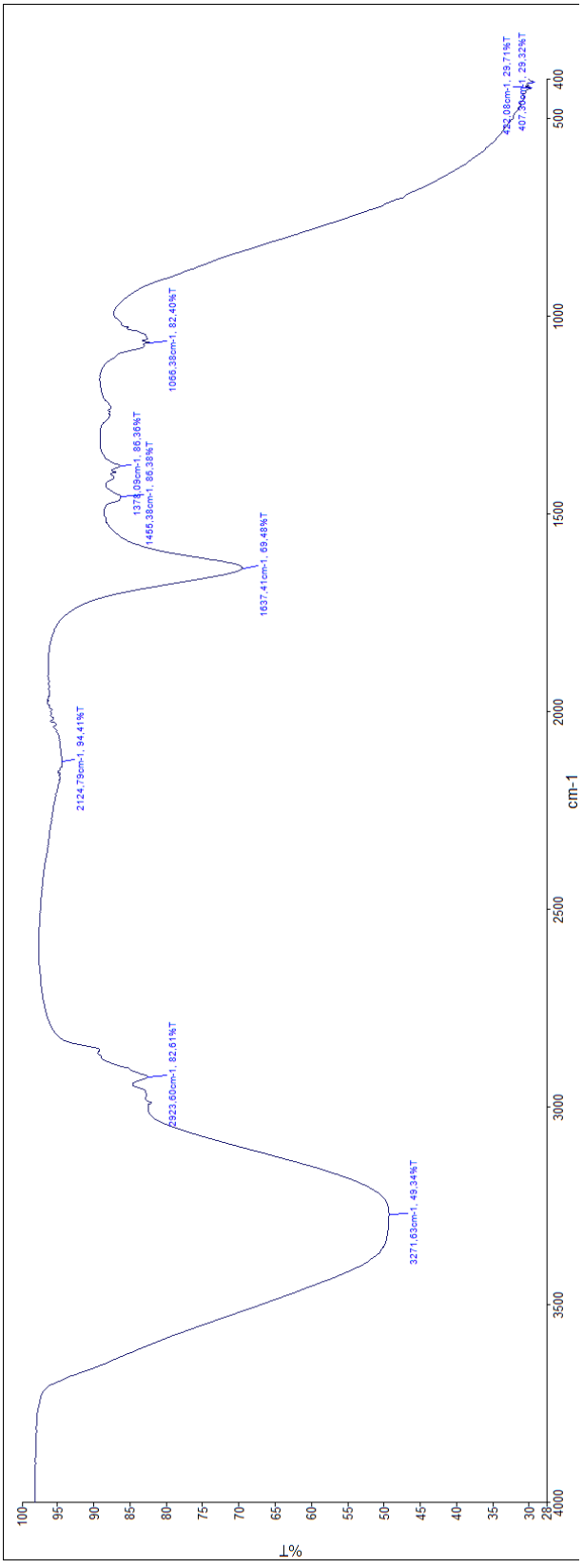
Şekil 8.84. Ağırlıkça %5'lik yağlı atık suyun ikinci kademe koagülasyonu sonucunda zeta potansiyeli

8.8.3. FTIR Analiz Sonuçları

FTIR analizi %5 yağ içeren sentetik atık su, %5 yağlı atık suyun atık kağıt koagülantı (30 g/L çözelti-1 saatlik) ile koagülasyonu sonrasında elde edilen atık su ve atık kağıt koagülantı (30 g/L çözelti-1 saatlik) için gerçekleştirilmiştir ve sonuçları sırasıyla Şekil 8.85, Şekil 8.86 ve Şekil 8.87'de verilmiştir. FTIR analizi için 4000-400 cm^{-1} arasında dalga boylarında sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 8.85'e bakıldığında 3 tane pik görülmektedir. 3272,47 cm^{-1}'de görülen pik alkol (3550-3200 cm^{-1}) veya karboksilik asit (3300-2500 cm^{-1}) sınıflarında bulunan O-H bağları arasındaki gerilimden veya alkin sınıfında bulunan C-H arasındaki gerilimden (3333-3267 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında güçlü ve geniş yapılı bir pik olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında 3272,47 cm^{-1}'de görülen pikin alkol bileşik sınıfında yer alan moleküller arası O-H bağlarındaki gerilimden kaynaklandığı düşünülebilir. 2115,85 cm^{-1}'de görülen pik, alkin sınıfında bulunan C ≡ C bağları arasındaki gerilimden (2140-2100 cm^{-1}) veya izotiyosiyanat grubundaki N=C=S bağlarındaki gerilmeden (2140-1990 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında zayıf bir pik olduğu görüldüğünden buradaki pikin alkin sınıfında bulunan C ≡ C bağları arasındaki gerilimden kaynaklandığı düşünülebilir. 1637,89 cm^{-1}'de görülen pik, alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1662-1626 cm^{-1}), konjuge alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1600 cm^{-1}), amin sınıfındaki N-H bağlarındaki esnemeden (1650-1580 cm^{-1}), halkalı alken sınıfında bulunan C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1566 cm^{-1}) veya alken sınıfında bulunan C=C bağları arasındaki gerilmeden (1648-1638 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir (Sigma Aldrich, 2023). Pikin görünümüne bakıldığında orta ve keskin bir görünümde olduğu belirtilebilir. 1637,89 cm^{-1}'deki pik için belirtilenler göz önüne alındığında halkalı alken, amin veya konjuge alkenin göstergesi olarak düşünülebilir.



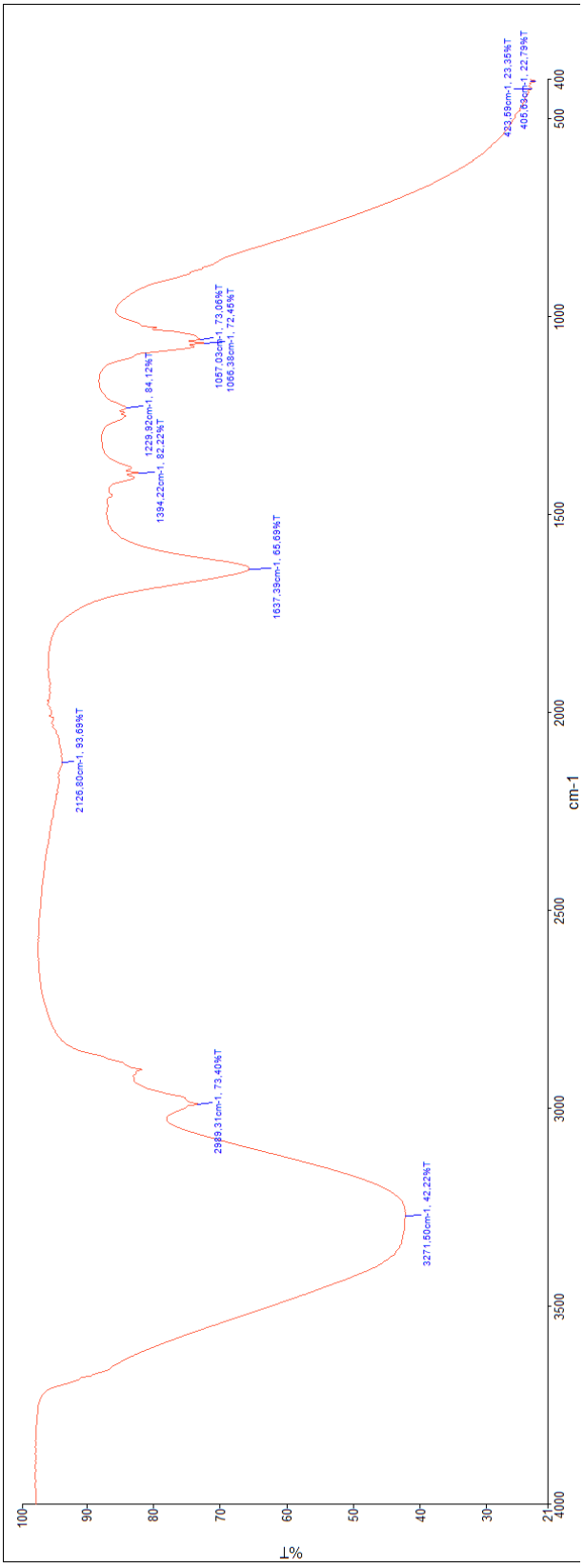
Şekil 8.85. %5 Yağlı atık suya ait FTIR sonucu



Şekil 8.86. %5 yağlı atık suyun atık kağıt koagülantı ile koagülasyonu sonucunda elde edilen FTIR sonucu

Şekil 8.86'ya bakıldığında Şekil 8.85'de görülen piklere benzer piklerin yanı sıra yeni pikler görülmektedir. 3271,63 cm^{-1}'de görülen pik geniş ve güçlü bir piktir. Buradaki pik alkollerde moleküller arası O-H bağlarındaki gerilimden (3550-3200 cm^{-1}) kaynaklanmaktadır. 2923,60 cm^{-1}'de görülen pik, alkollerde moleküller arası O-H bağlarının geriliminden (3000-2700 cm^{-1}), amin tuzlarında bulunan N-H arasındaki gerilimden (3000-2800 cm^{-1}) veya alkan gruplarında bulunan C-H bağlarındaki gerilmeden (3000-2840 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında zayıf bir pik olduğu belirtilebilir. 2923,60 cm^{-1}'de görülen pik için, bütün bunlar göz önüne alındığında, alkollerde bulunan moleküller arası O-H bağlarının geriliminden dolayı kaynaklandığı düşünülebilir. 2124,79 cm^{-1}'de görülen pik, azit sınıfında bulunan N=N=N bağlarındaki gerilmeden (2160-2120 cm^{-1}), karbodiimid sınıfında bulunan N=C=N bağlarındaki gerilmeden (2145-2120 cm^{-1}), alkin sınıfında tek ikameli (monosubstitued) olarak bulunan C ≡ C bağları arasındaki gerilmeden (2140-2120 cm^{-1}) ve izotiyosiyanat sınıfında bulunan N=C=S bağlarındaki gerilmeden dolayı kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında zayıf bir pik olduğundan 2124,79 cm-1'deki pikin alkin sınıfında tek ikameli (monosubstitued) olarak bulunan C ≡ C bağlarının göstergesi olduğu düşünülebilir. 1637,41 cm^{-1}'de görülen pik, alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1662-1626 cm^{-1}), konjuge alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1600 cm^{-1}), amin sınıfındaki N-H bağlarındaki esnemeden (1650-1580 cm^{-1}), halkalı alken sınıfında bulunan C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1566 cm^{-1}) veya alken sınıfında bulunan C=C bağları arasındaki gerilmeden (1648-1638 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında orta görünümdedir. 1637,89 cm^{-1}'deki pik halkalı alken, amin veya konjuge alkenin göstergesi olarak düşünülebilir. 1455,38 cm^{-1}'deki pike bakıldığında bu pikin parmak izi bölgesinde olduğu belirtilmelidir. 1455,38 cm^{-1}'deki pik, alkan sınıfında yer alan metilen grubundaki C-H esnemesinden (1465 cm^{-1}) veya yine alkan sınıfında yer alan metil grubundaki C-H esnemesinden (1450 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. 1378,09 cm^{-1}'de görülen pik yine parmak izi bölgesinde yer almaktadır ve bu pik, fenol sınıfındaki O-H bağlarındaki gerilimden (1390-1310 cm^{-1}), floro bileşiklerinde bulunan C-F bağları arsındaki gerilmeden (1400-1000 cm^{-1}), veya alkol sınıfında yer alan O-H bağları arasındaki gerilmeden (1420-1330 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir (Sigma Aldrich, 2023). 1066,38 cm^{-1}'de görülen pik yine parmak izi bölgesinde yer almaktadır ve amin sınıfında yer alan C-N bağları arasındaki gerilmeden (1250-1020 cm^{-1}), birincil alkol sınıfında yer alan C-O bağlarındaki gerilmeden (1085-1050 cm^{-1}), sülfoksit sınıfında yer alan S=O bağlarındaki gerilmeden (1070-1030 cm^{-1}) veya floro

bileşiklerinde bulunan C-F bağları arsındaki gerilmeden (1400-1000 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir (Sigma Aldrich, 2023).



Şekil 8.87. Atık kağıt koagülantına ait FTIR sonucu

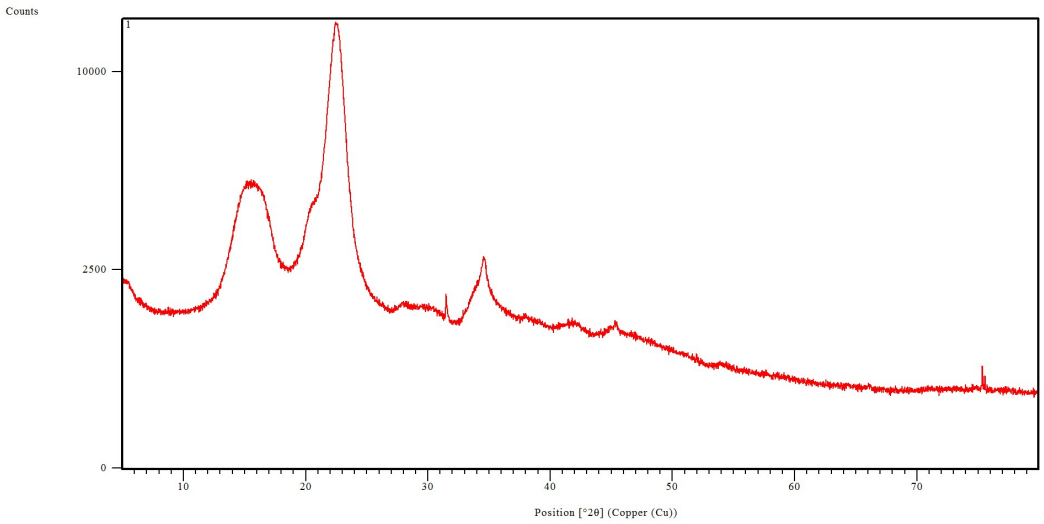
Şekil 8.87'de verilen FTIR analiz sonuçları atık kağıt koagülantına (30 g/L çözelti-1 saatlik) aittir. 3271,50 cm^{-1}'de görülen pik, alkol (3550-3200 cm^{-1}) veya karboksilik asit (3300-2500 cm^{-1}) sınıflarında bulunan O-H bağları arasındaki gerilimden veya alkin sınıfında bulunan C-H arasındaki gerilimden (3333-3267 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında güçlü ve geniş yapılı bir pik olduğu görülmektedir. Bu durum göz önüne alındığında 3271,50 cm^{-1}'de görülen pikin alkol bileşik sınıfında yer alan moleküller arası O-H bağlarındaki gerilimden kaynaklandığı düşünülebilir. 2989,31 cm^{-1}'de görülen pik alkollerde moleküller arası O-H bağlarının geriliminden (3000-2700 cm^{-1}), amin tuzlarında bulunan N-H arasındaki gerilimden (3000-2800 cm^{-1}) veya alkan gruplarında bulunan C-H bağlarındaki gerilmeden (3000-2840 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Burada gözlenen pik zayıf ve geniştir. Bu durum göz önüne alındığında 2989,31 cm^{-1}'deki pikin alkollerde bulunan moleküller arası O-H geriliminden kaynaklandığı düşünülebilir. 2126,80 cm^{-1}'de görülen pik, azit sınıfında bulunan N=N=N bağlarındaki gerilmeden (2160-2120 cm^{-1}), karbodiimid sınıfında bulunan N=C=N bağlarındaki gerilmeden (2145-2120 cm^{-1}), alkin sınıfında tek ikameli (monosubstitued) olarak bulunan C ≡ C bağları arasındaki gerilmeden (2140-2120 cm^{-1}) ve izotiyosiyanat sınıfında bulunan N=C=S bağlarındaki gerilmeden dolayı kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında zayıf bir pik olduğundan 2126,80 cm^{-1}'deki pikin alkin sınıfında tek ikameli (monosubstitued) olarak bulunan C ≡ C bağlarının göstergesi olduğu düşünülebilir. 1637,39 cm^{-1}'de görülen pik, alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1662-1626 cm^{-1}), konjuge alken sınıfındaki C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1600 cm^{-1}), amin sınıfındaki N-H bağlarındaki esnemeden (1650-1580 cm^{-1}), halkalı alken sınıfında bulunan C=C bağlarındaki gerilmeden (1650-1566 cm^{-1}) veya alken sınıfında bulunan C=C bağları arasındaki gerilmeden (1648-1638 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. Pikin görünümüne bakıldığında orta şiddette bir görünüme sahiptir. 1637,39 cm^{-1}'deki pik halkalı alken veya konjuge alkenin göstergesi olduğu düşünülebilir. 1394,22 cm^{-1}'de bulunan pik 1500 cm^{-1}'den daha düşük değerde yer aldığından parmak izi bölgesindedir. Burada görülen pik, fenol sınıfındaki O-H bağlarındaki gerilimden (1390-1310 cm^{-1}) veya alkol sınıfında yer alan O-H bağları arasındaki gerilmeden (1420-1330 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. 1229,92 cm^{-1}'deki pik yine parmak izi bölgesindedir. Bu pik, alkil aril ether sınıfında bulunan C-O bağlarındaki gerilmeden (1275-1200 cm^{-1}), amin sınıfında bulunan C-N bağlarındaki gerilmeden (1250-1020 cm^{-1}) ve vinil eter sınıfında bulunan C-O bağlarındaki gerilmeden (1225-1200 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir. 1057,03 cm^{-1}'deki ve 1066,38 cm^{-1}'deki pikleri yine parmak izi bölgesindedir. Bu pikler, birincil alkol sınıfında

yer alan C-O bağlarındaki gerilmeden (1085-1050 cm^{-1}) kaynaklanabilmektedir (Sigma Aldrich, 2023).

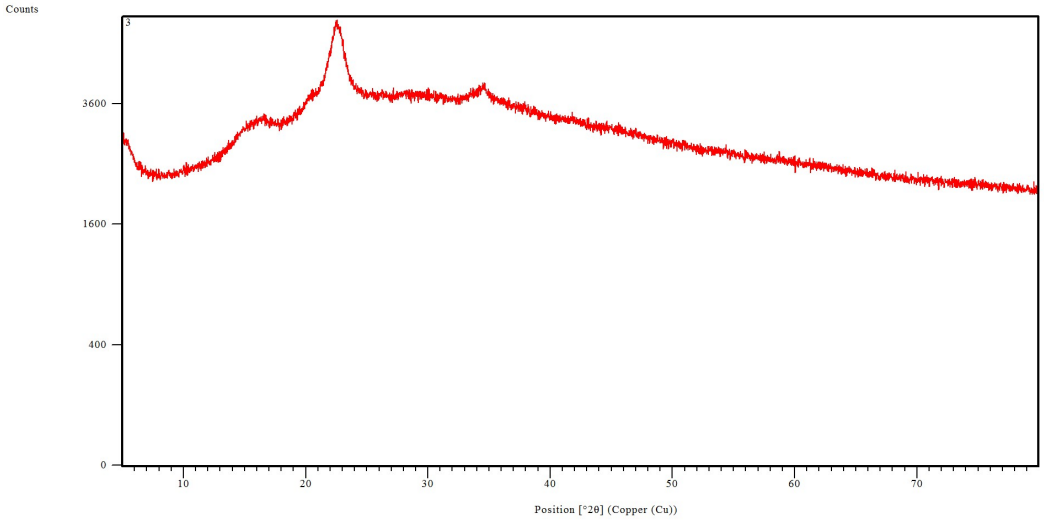
Feng vd. (2021) gerçekleştirdiği çalışmada kağıt üretim çamuru bazlı flokülantı için FTIR analizini incelemiştir. Kağıt üretim çamuru bazlı flokülantın O-H (3361,32 cm^{-1}'de) ve C-O grupları (1150 cm^{-1}'de) alkali lignin ve lignindekilerle aynı olduğu belirtmiştir. Alkali lignin ve ligninin FTIR sonuçlarında 3360 cm^{-1}'de görülen pik O-H grupları, 1580 cm^{-1}'de görülen pik ise karboksil grupları, 1050 cm^{-1}'de görülen pik ise C-O grupları olarak yorumlanmıştır. Atık kağıt koagülantı (30 g/L çözelti-1 saatlik) için verilen Şekil 8.87'ye bakıldığında görülen 1057,03 cm^{-1}'de görülen pikin C-O bağlarındaki gerilmeden (1085-1050 cm^{-1}) kaynaklandığı düşünülebilir. Ahmad vd. (2022) gerçekleştirdiği yağlı atık suların arıtımına ait bir çalışmada, arıtımdan sonra elde edilen berrak çözeltideki FTIR sonuçlarında, -OH gerilmesini gösteren 3320-3450 cm^{-1} arasında pik, 2840-2969 cm^{-1} değerinde görülen pik -CH bağlarında gerilmeyi gösterdiği belirtilmiştir. Ahmad vd. (2022) yaptığı çalışmadaki bu piklerin yağ-su emülsiyon ayrımının başarılı gerçekleştiğinin bir göstergesi olarak yorumlanmıştır. Şekil 8.86'da bakıldığında koagülasyon sonucunda elde edilen çözelti için verilen FTIR sonucunda da aynı durum gözlenmektedir ve burada da yağ-su emülsiyon ayrımının başarı olduğu belirtilebilir.

8.8.4. XRD Analiz Sonuçları

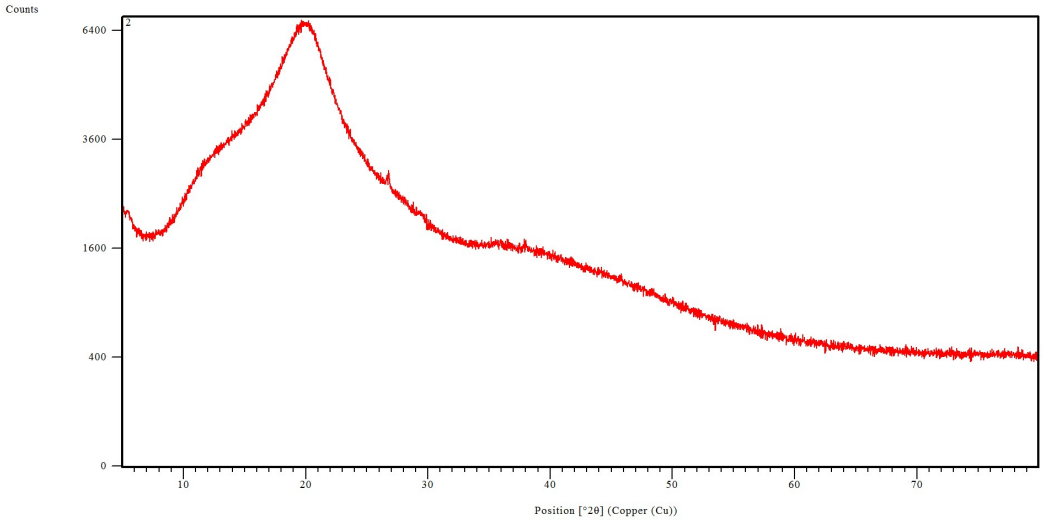
Selüloza ait XRD analizi Şekil 8.88'de verildiği gibidir. Şekil 8.89'da verilen XRD analiz sonuçları ise demir aşılı selüloza aittir. Şekil 8.90 ve Şekil 8.91'de ise sırasıyla kitosana ve demir aşılı kitosana ait XRD sonuçları verilmiştir.



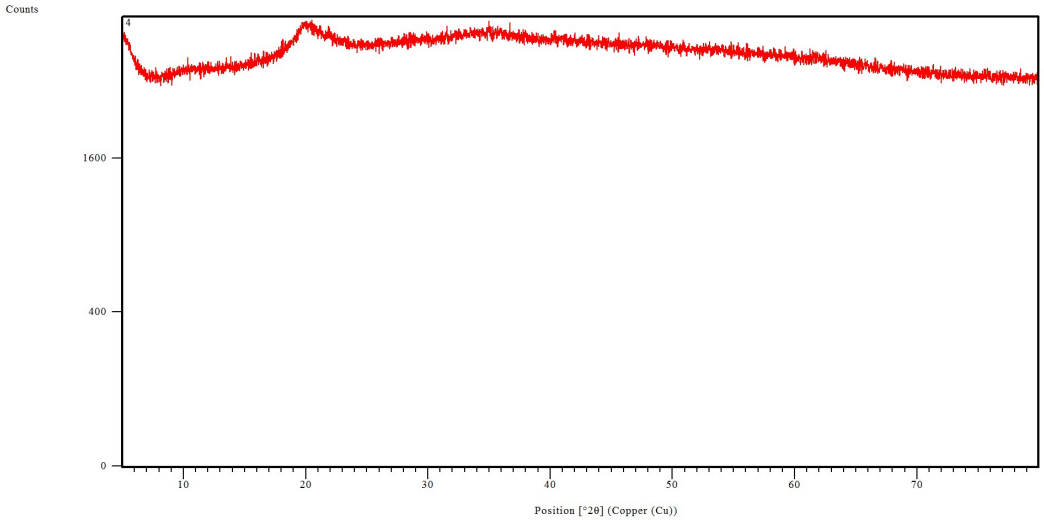
Şekil 8.88. Selüloza ait XRD analiz sonucu



Şekil 8.89. Demir aşılı selüloza ait XRD analiz sonucu



Şekil 8.90. Kitosana ait XRD analiz sonucu



Şekil 8.91. Demir aşılı kitosana ait XRD analiz sonucu

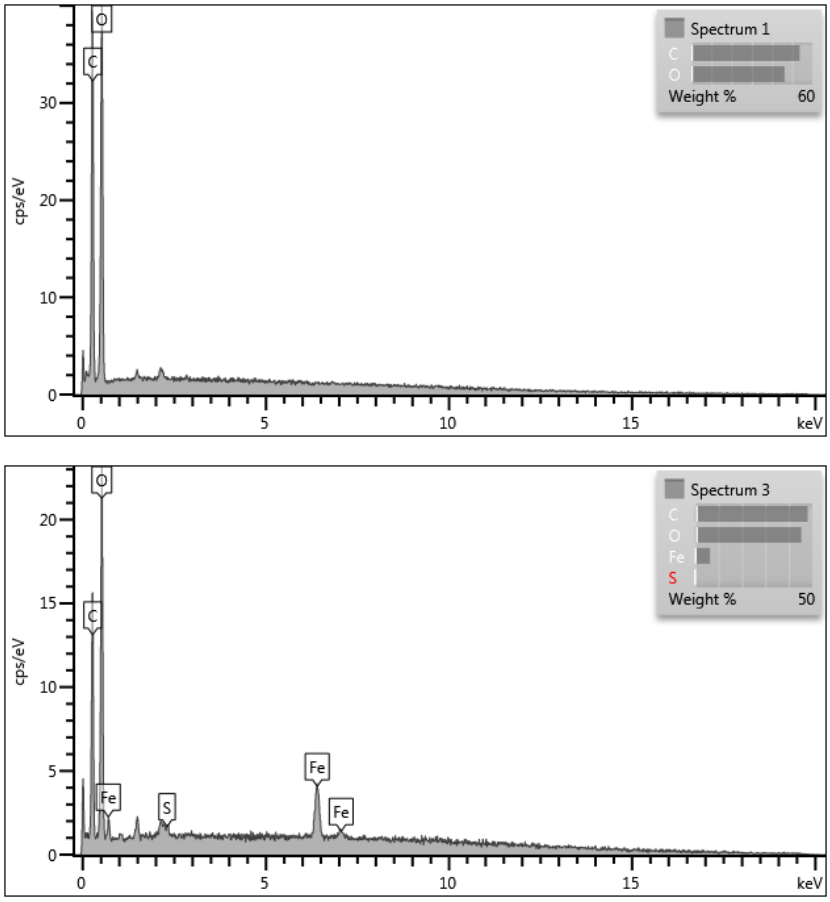
Şekil 8.88'e bakıldığında görülen piklerin daha keskin olduğu söylenebilir. Bu durum selülozun kristal yapıda olduğunun bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Şekil 8.89'a bakıldığın demir aşılanması ile piklerdeki keskinlik bir miktar azalmıştır. Bu durum demir aşılı selülozun yapısındaki kristalliğinde düşme olarak yorumlanabilir. Son olarak Şekil 8.90'a bakıldığında kitosan için elde edilen sonucun selülozdaki XRD sonucuna göre biraz

daha geniş yapıda pik görülmektedir. Bu durum kitosanın yapısının amorf olduğunun bir göstergesi olarak düşünülebilir. Şekil 8.91'e bakıldığında da kitosanın işlem görememiş halindeki piklerin burada kaybolmak üzere olduğu görülmektedir.

Kitosan ve grafen oksit ile modifiye edilen NWF için XRD analizi gerçekleştirilmiştir. XRD analiz sonuçlarına göre modifiye edilmeden önceki NWF 25,56º, 22,36º ve 17,18º'de pikler göstermiştir. Bu durum yarı kristal yapıyı desteklemiştir. Kitosan ile modifiye edildikten sonra XRD sonuçlarına bakıldığında $2\theta = 20{,}06$º'da geniş bir pik görüşmüştür ve geniş pikler yapının amorf olduğunu göstermiştir. Kitosanla modifiye edilen NWF yapısının kristalliğinde düşme görüldüğü belirtilmiştir. Membran üzerine yapılan kitosan ve grafen oksit yüklemesinin artmasıyla piklerde ve kristallikte azalma görüldüğü belirtilmiştir. Bu durum yarı kristal nanokompozit membranın yapısının amorfa döndüğü şeklinde yorumlanmıştır (Ahmad vd., 2022).

8.8.5. FE-SEM ve EDS Analiz Sonuçları

Selüloz ve demir aşılı selüloz için EDS sonuçları Şekil 8.92 ve Çizelge 8.25-26'da verilmiştir. Çizelge 8.25' bakıldığında selülozda karbon (C) ve oksijen (O) ağırlığı olduğu gözlenirken, demir aşılı selülozun EDS sonucuna bakıldığında (Bkz. Şekil 8.92 ve Çizelge 8.26) demir (Fe) ve az miktarda kükürt (S) olduğu görülmüştür. Fe ve S kaynağının demir oksitlerinin elde edilmesi için kullanılan demir (III) sülfattan kaynaklandığı düşünülmüştür. Selüloza ait SEM görüntüleri Şekil 8.93 ve demir aşılı selüloza ait SEM görüntüleri Şekil 8.94'te verildiği gibidir.



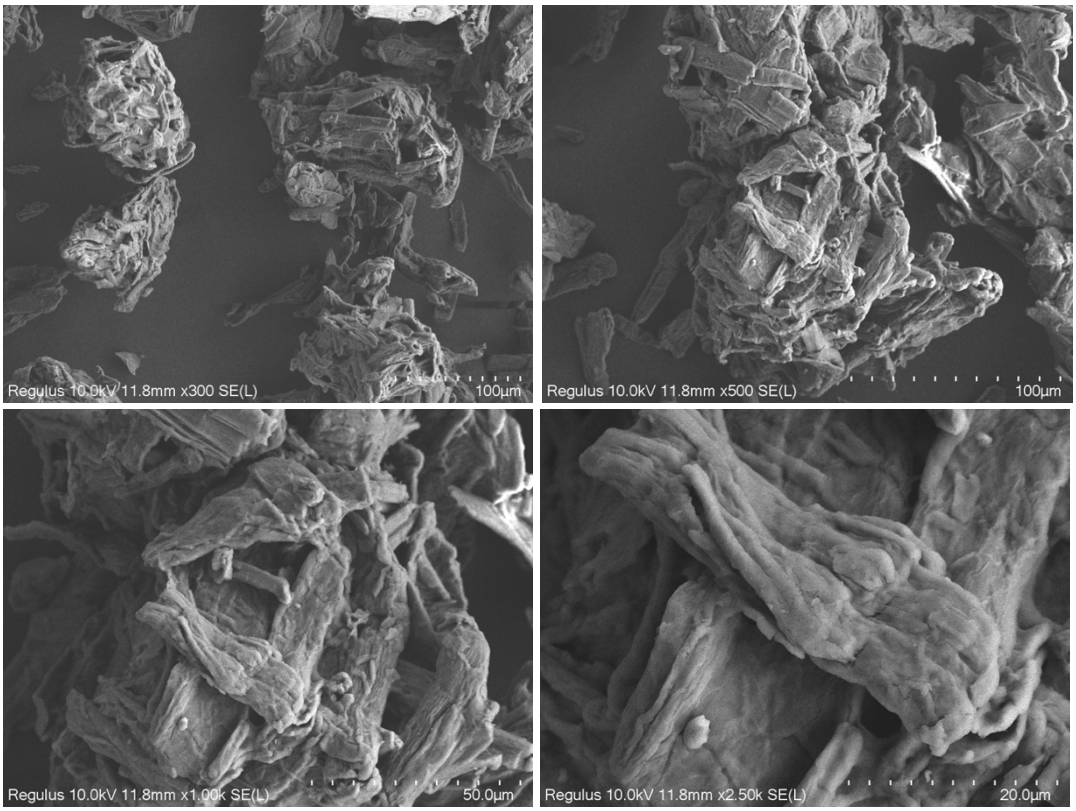
Şekil 8.92. EDS grafikleri Spectrum I-) selüloz, Spectrum III-) demir aşılı selüloz

Çizelge 8.25. Selüloz ait EDS sonuçları

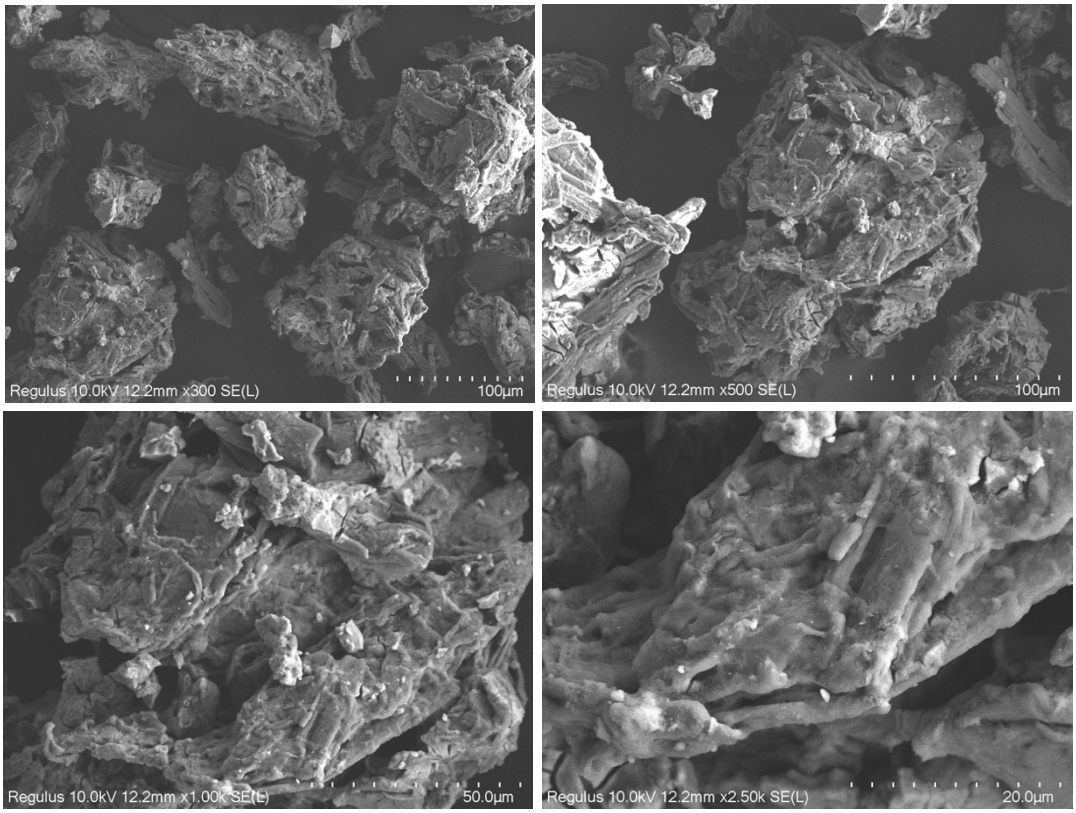
Element	Wt%	Wt% Sigma
C	53.71	0.52
O	46.29	0.52
Total:	100.00	

Çizelge 8.26. Demir aşılı selüloza ait EDS sonuçları

Element	Wt%	Wt% Sigma
C	48.05	0.77
O	45.31	0.74
S	0.28	0.07
Fe	6.36	0.26
Total:	100.00	



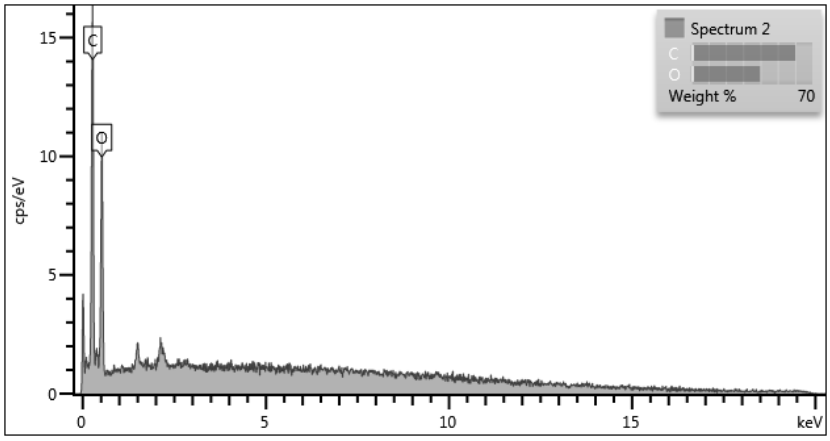
Şekil 8.93. Selüloza ait SEM görüntüleri



Şekil 8.94. Demir aşılı selüloza ait SEM görüntüleri

Kurusu vd., (2022) demir aşılı selüloz fiberlerinin atık su arıtımında kullanımı ile ilgili yaptığı bir çalışmada elde edilen fiber karakterizasyonu için SEM, EDS, FTIR ve XRD analizleri kullanılmıştır. Demir aşılı selülozların morfolojisi ve elemental olarak incelenmesi sırası ile SEM ve EDS ile gerçekleştirilmiştir. EDS sonuçlarını incelediğinde, selüloz içeriğinde karbon ve oksijen görüldüğün ve demir aşılı selüloz içerisinde demir, oksijen, karbon ve az miktarda kükürt görüldüğünü belirtmiştir. Demir aşılı selülozun sonuçlarındaki kükürtün, aşılama işleminde kullanıllan demir (III) sülfattan kaynaklanabileceğini belirtmiştir. Elde edilen veriler incelenip kıyaslandığında Kurusu vd., (2022) elde ettiği sonuçlar ile benzerlik olduğu gözlenmiştir.

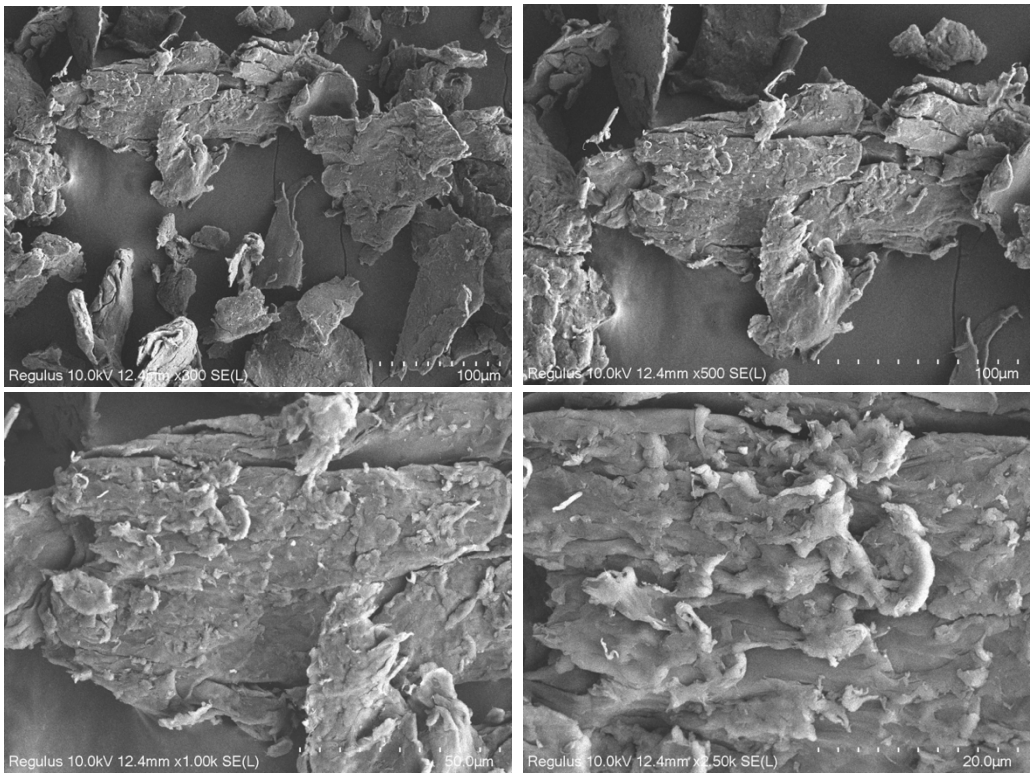
Kitosan için elde edilen EDS sonuçları Şekil 8.95 ve Çizelge 8.27'de verildiği gibidir. Şekil 8.95 ve Çizelge 8.27'ye bakıldığında kitosanda karbon (C) ve oksijen (O) ağırlığı olduğu gözlenmektedir. Kitosana ait SEM görüntüleri Şekil 8.96'da verildiği gibidir.



Şekil 8.95. Kitosana ait EDS grafiği

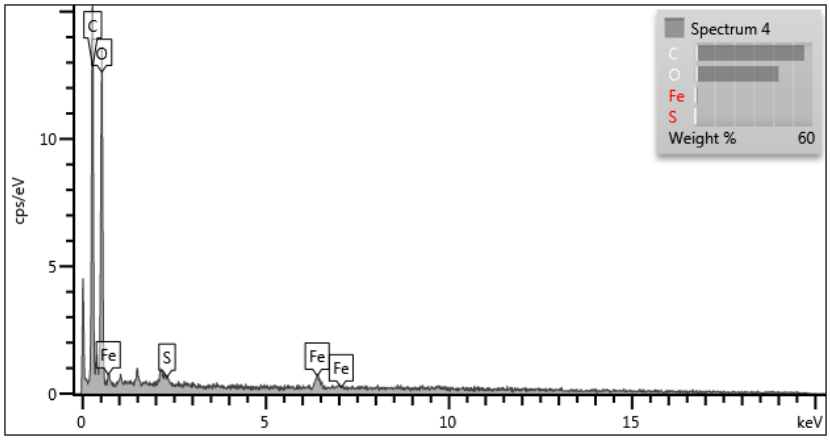
Çizelge 8.27. Kitosana ait EDS sonuçları

Element	Wt%	Wt% Sigma
C	60.19	0.94
O	39.81	0.94
Total:	100.00	



Şekil 8.96. Kitosanın SEM görüntüleri

Demir aşılı kitosan için elde edilen EDS sonuçları Şekil 8.97 ve Çizelge 8.28'de verildiği gibidir. Şekil 8.97 ve Çizelge 8.28'e bakıldığında kitosanda karbon (C) ve oksijen (O) ağırlığı olduğu gözlenmektedir. Kitosana ait SEM görüntüleri Şekil 8.98'de verildiği gibidir.

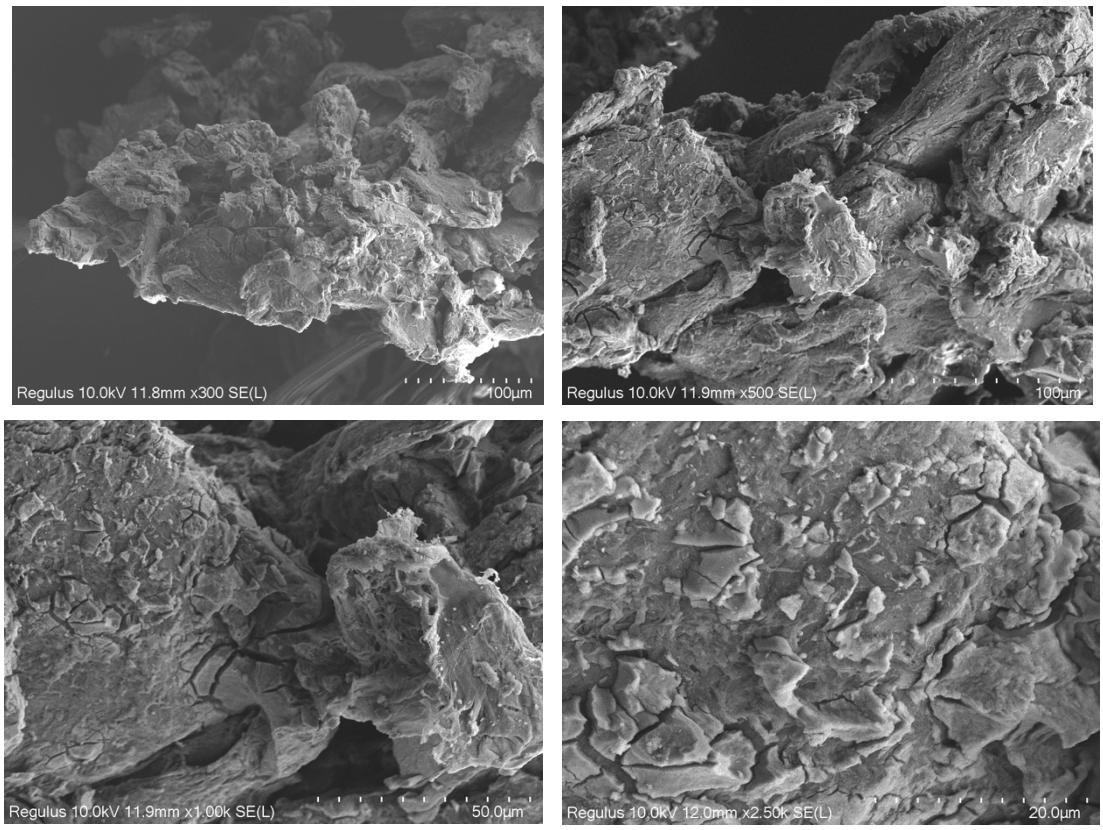


Şekil 8.97. Demir aşılı kitosana ait EDS grafiği

Çizelge 8.28. Demir aşılı kitosana ait EDS sonuçları

Element	Wt%	Wt% Sigma
C	55.87	0.82
O	42.68	0.81
S	0.18	0.06
Fe	1.27	0.15
Total:	100.00	

Şekil 8.97 ve Çizelge 8.28 incelendiğinde demirin varlığı görülmektedir. Bu durumun, demir aşılı selülozda da olduğu gibi demir aşılama işlemi sonunda gerçekleştiği belirtilebilir.



Şekil 8.98. Demir aşılı kitosana ait SEM görüntüleri

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu çalışma ile birlikte yağlı atık sularda hem geleneksel koagülantların hem de doğal koagülantların etkinlikleri incelenmiştir. Alüminyum sülfat ve demir (III) sülfat yaygın kullanılan koagülantlardan olmalarına rağmen, suda arıtım sonrası kalıntıları çevreye ve insan sağlığına zararlıdır. Bu tür geleneksel koagülantlara alternatif, daha doğal, çevre dostu, doğada bozunabilir ve verimli giderim sağlayan koagülantların geliştirilmesi kaçınılmazdır. Bu çalışmada kullanılan koagülantlar ile elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 9.1'de verildiği gibidir.

Çizelge 9.1 incelediğinde, selüloz ve aleo vera koagülantları ile yüksek verimli sonuçlar elde edilememiştir. Ağırlıkça %5'lik yağlı sentetik atık sularda koagülasyonla, alüminyum sülfat ve demir (III) sülfat koagülantlarıyla elde edilen en iyi bulanıklık ve KOİ giderimleri alüminyum sülfat için (pH 5 ve 16000 mg/L dozda) sırasıyla %99,6 ve %97,99 iken demir (III) sülfat için (pH 4 ve 30000 mg/L dozda) sırasıyla %97,4 ve %90,4 olarak elde edilmiştir. Yine aynı başlangıç derişimine sahip yağlı atık suda (%5) gerçekleştirilen koagülasyonda kitosan ile (pH 8 ve 1000 mg/L dozda) bulanıklık giderimi %99,89 ve KOİ giderimi %96,2 olarak elde edilmiştir. Ağırlıkça %5 yağlı sentetik atık suda, atık kağıt koagülantı (30 g/L çözelti-1 saatlik) ile orijinal pH değerinde bulanıklık giderimi %93,1 ve KOİ giderimi %95,9 olarak elde edilmiştir. Böylelikle kitosanın ve atık kağıdın özellikle yüksek derişimli yağlı atık suların koagülasyonla arıtımında geleneksel koagülantlara güçlü bir alternatif olduğu belirtilmelidir.

Çizelge 9.1. Bu çalışmada kullanılan koagülantlar ve bu koagülantlar ile elde edilen en iyi sonuçlar

Koagülant	**Bulanıklık Giderimi (%)**	**KOİ Giderimi (%)**	**Uygulama**
Alümiyum Sülfat	99,6	97,99	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 5 ve 16000 mg/L doz
Demir (III) Sülfat	97,4	90,4	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 4 ve 30000 mg/L doz
Kitosan	99,89	96,2	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8 ve 1000 mg/L doz
Atık Kağıt	93,1	95,9	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8,96 (orijinal) ve 29000 mg/L (30g/L çözelti-1 saatlik)
Demir Aşılı Kitosan	0	-	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8 ve 300 mg/L doz
AAE (1M HCl ile) Selüloz	7,8	-	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8,96 ve 4000 mg/L doz
AAE (1M CH_3COOH ile) Selüloz	11,8	-	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8,96 ve 4000 mg/L doz
Demir Aşılı Selüloz	9,8	-	%5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8,59 ve 16000 mg/L doz
Aloe Vera	15,6	-	%0,5'lik yağlı sentetik atık su, pH 8,90 ve 140000 mg/L doz

Kağıt bazlı materyallerin atık suların arıtımında kullanıldığında dair çalışmalarla karşılaşılmıştır. Fakat incelenilen literatürde, atık kağıdın koagülasyonda koagülant olarak uygulanması hakkında bir çalışma ile karşılaşılmamıştır. Kağıt bazlı ve atık kağıttan elde edilen malzemelerin atık sularda kullanımıyla ilgili çalışmalar genellikle son yıllarda gerçekleştirilmiştir. Buna dayanarak atık kağıdın atık su arıtımında kullanılmasına ilişkin çalışmaların ilerleyen zamanlarda artması öngörülebilir. Yağlı atık suda koagülasyonda atık kağıdın kullanımı, atık kağıtların değerlendirmesi için alternatif sağlar. Atık kağıt kullanılarak koagülant hazırlanma aşamasından sonra süzülüp kalan kağıt hamuru tekrardan kağıt haline getirilip kullanılması değerlendirilebilir. Atık kağıt, özellikle çok yüksek yağ derişimine sahip atık suların koagülasyonunda etkili kullanılabilir. Atık kağıtların bu alanda kullanımı ileri araştırmalara olanak sağlayabilecek açık bir konudur.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Abuhasel, K., Kchaou, M., Alquraish, M., Munusamy, Y., Jeng, Y. T., (2021), *Oily wastewater treatment: Oberview of conventional modern methods, challenges, and future oppurtunities,* Water, 13: 980. https://doi.org/10.3390/w13070980

Ahmad, A., Abdullah, S., R., S., Hasan, H., A., Othman., A., R., Ismail, N., I., (2021), *Plant-based versus metal-based coagulants in aquaculture wastewater treatment: Effect of mass ratio and settling time,* Journal of Water Process Engineering, Elsevier, 43, 102269.

Ahmad, A. L., Sumathi, S., Hamee, B. H., (2006), *Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum ve PAC,* Chemical Engineering Journal, 118: 99-105. doi:10.1016/j.cej.2006.02.001

Ahmad, S., Siddiqi, W. A., Ahmad, S., (2022), *Facile hydrophilic chitosan and praphene oxide modiified sustainable non-woven fabric composite sieve membranes (NWF@Cs/Gx): Antifouling, protein rejection, and oil-water emulsion seeparation stuies,* Chemical Engineering Research and Design, 181: 220-238, https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.03.012

Andrade, P., V., Palanca, C., F., Oliveira, A., C., Ito, C., Y., K., Reis, A., G., (2021), *Use of Moringa oleifera seed as a natural coagulant in domestic wastewater tertiary treatment: Pychochemical, cytotoxicity and bacterial load evaluation*, Journal of Water Process Engineering, Elsevier, 40, 101859.

Aranaz, I., Alcantara, R., A., Civera, C., M., Arias, C., Elorza, B., Caballero, A., H., Acosta, N., (2021*), Chitosan: An overview of its properties and applications,* Polymers, 13, 3256.

Bayraktar, S., (2021), *Sustainable Manufacturing: A volume in Handbooks in Advanced Manufacturing, Gupta, K., Salonitis, K. (Eds.), Dry cutting: a sustainable machining technology* (pp. 231-257). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2018-0-00912-3

KAYNAKLAR DİZİNİ

Bianchi, E. C, Aguiar, P. R., Canarim, R. C., Diniz, A. E., (2013), *Machining and machine-tools, Research and Development: A volume in Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series, Davim, J. P. (Ed.), Optimization of minimum quantity lubrication in grindiing with CBN wheels* (pp. 113-133). Woodhead Publishing.

Bratby, J., (2016), *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment (3rd Edition),* IWA Publishing.

Chen, P., Yin, D., Song, P., Liu, Y., Cai, L., Wang, H., Zhang, L., (2020), *Demulsificatiion and oiil recovery from oil-in-water- cutting fluid wastewater using electrochemical micromembrane technology,* Journal of Cleaner Production, 244, 118698. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118698

Choudhary, M., Ray, M., B., Neogi, S., (2019), *Evaluation of the potential application of cactus (Opuntia ficus-indica) as a bio-coagulant for pre-treatment of oil sands process-affected water,* Separation and Purification Technology, Elsevier, 209, 714-124.

Cui, J., Jing, C.,Che, D., Zhang, J., Duan, S., (2015), *Groundwater arsenic removal by coagulation using ferric (III) sulfate and polyferric sulfate: A comparative and mechanistic study,* Journal of Environmental Sciences, 31:42-53, http://dx.doi.org/10.1016/j.jes.2014.10.020

Daud, Z., Tajarudin, H., A., Gomesh, N., Santiagoo, R., Awang, H., Nasir, N., Detho, A., Ridzuan, M., B., (2020*), Coagulation and flocculation treatment of biodiesel wastewater using ferric chloride,* 2nd International Conference on Green Environmental Engineering and Technology, IOP Publishing, 616, 012066.

Dominguez, J. R., Gonzalez, T., Garcia, H. M., Sanchez-Lavado, F., de Heredia, J. B., (2007), *Aluminium sulfate as coagulant for highly polluted cork processing wastewaters: Removal of organic matter*, Journal of Hazardous Materials, 148:15-21, doi:10.1016/j.jhazmat.2007.05.003

KAYNAKLAR DİZİNİ

Debnath, S., Anwar, M., Pramanik, A., Basak, A. K., (2021), *Sustainable Manufacturing: A volume in Handbooks in Advanced Manufacturing, Gupta, K., Salonitis, K. (Eds.), Nanofluid-minimum quantity lubrication system in machining: towards clean manufacturing* (pp.109-135). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2018-0-00912-3

Eryılmaz, C., Genç, A., (2018), *Yağlı atıksuların elektrokoagülasyon ile arıtımında yatay ve dikey elektrot yerleşiminin karşılaştırılması,* Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18: 538-547, 10.5578/fmbd.67404

Fard, M., B., Hamidi, D., Alavi, J., Jamshidian, R., Pendashteh, A., Mirbagheri, S., A., (2021), *Saline oily wastewater treatment using Lallemantia mucilage as a natural coagulant: Kinetic study,* process optimization, and modeling, Industrial Crops & Products, Elsevier, 163, 113326.

Favero, A. C., Favero, B.M., Souza, F. S., Taffarel, S. R., (2020), *Treatment of re-refining effluent from lubrication oils by combining electrocoagulation and coagulation-flocculation processes,* Journal of Environmental Science and Health, 55 (4), 402-410. https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1702407

Feng, Q., Gao, B., Yue, Q, Guo, K., (2021), *Flocculation performance of papermaking sludge-based flocculants in different dye wastewater treatment: Comparison with commercial lignin and couagulants,* 262, 128416. *https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128416*

Freitas, J. H. E. S., de Santana, K. V., do Nascimento, A. C. C., de Paiva, S. C., de Moura, M. C., Coelho, L. C. B. B., de Oliveira, M. B. M., Paiva, P. M. G., do Nascimento, A. E., Napoleao, T. H., (2016), *Evaluation of using aluminum sulfate and water-soluble Moringa oleifera seed lectin to reduce turbidity and toxicity of polluted stream water,* Chemosphere, 163:133-141, http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.08.019

Gajrani, K. K., Sankar, M. R., (2020), *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials, Sustainable Cutting Fluids: Thermal, Rheological, Biodegradation, Anti-Corrosion, Storage Stability Studies and its Machining Performance* (Volume 1, pp. 839-852). Elsevier.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Garcia-Costa, A. L., Luengo, A., Zazo, J. A., Casas, J. A., (2021), *Cutting oil-water emulsion wastewater treatment by microwave assisted catalytic wet peroxide oxidation,* Separation and Purification Technology, 257, 117940. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117940

Ghadhban, Y., M., Rashid, T., K., AbdulRazak, A., A., Alsalhy, F., Q., (2023), *Recent progress and furture directions of membranes green polymers for oily wastewater treatment,* Water Science & Technology, 87 (1), 57.

Göç, S., (2018), *Yağlı atıksuların üç boyutlu çelik tel elektrot kullanımı ile elektrokimyasal arıtımı,* Yüksek lisans tezi, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 131 s. (yayımlanmamış).

HACH, 1990, DR/2000 spektrophotometer insturment manual.

Haider, J., Hashmi, M. S. J., (2014), *Comprehensive Materials Processing, Hashmi, S., Batalha, G. F., Tyne, C. J. V., Yilbas, B. (Eds.), Health and Environmental Impacts in Metal Machinig Processes* (Volume 8, pp. 7-33). Elsevier.

Heinze, T., Liebert, T., (2012), Polymer science: *A comprehensive reference* (pp. 83-152), Elsevier Science.

Ivbanikaro, A. E., Adeniyi, A., (2023), *Cellulose nanocrystals: source, production and application as a coagulant for water purification,* Water Practice & Technology, 18 (5), 1148. doi: 10.2166/wpt.2023.064

Kang, C., Zhao, Y., Tang, C., Addo-Bankas, O., (2022), *Use of aluminum-based water treatment sludge as coagulant for animal farm wastewater,* Journal of Water Process Engineering, 46: 102645, https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102645

Kantharaj, I., Vijay, S. J., Vasanth, X. A., Mohanasundaram, S., Rai, R. S., (2021), *Sustainable Manufacturing and Design: A Volume in Woodhead Publishing Reviews: Mechanical Engineering Series, Kumar, K., Zindani D., Davim, J. P. (Eds.), Heat pipe-embedded tooling for sustainable manufacturing* (pp. 63-81). Woodhead Publishing. https://doi.org/10.1016/C2019-0-03492-9

KAYNAKLAR DİZİNİ

Ke, C., Deng, F., Chuang, C., Lin, C., (2021), *Antimicrobial actions and applications of chitosan*, Polymers, 13, 904.

Kurusu, R., S., Lapointe, M., Tufenkji, N., (2022), *Sustainable iron-grafted cellulose fibers enable coagulant recycling and improve contaminant removal in water,* Chemical Engineering Journal, Elsevier, 430, 132927.

Kusworo, T. D., Aryanti, N., Qudratun, Utomo, D. P., (2018), *Oilfield produced water treatment to clean water using integrated activated carbon-bentonite adsorbent and double stages membrane process,* Chemical Engineering Journal, 347: 462-471. https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.136

Lad, N., V., Murthy, P., V., (2016), *Novel Approaches of Nanotechnology in Food, Nanotechnology and wine, An important natural gel: aloe vera gel*, (Volume 1, pp. 165-199). Academic Press.

Lester-Card, E., Smith, G., Lloyd, G., Tizaoui, C., (2023), *A green approach fort he treatment of oily steelworks wastewater using natural coagulant of Moringa oleifera seed,* Bioresource Technology Reports, 22, 101393. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101393

Li, D., Liu, S., (2019), *Water quality monitoring and management* (pp.303-328), Academic Press.

Li, X., Liu, W., Wang, A., Gao, X., Tao, Y., Ge, X., Lin, Z., (2022), *Echanced treatment of oily ink wastewater using a modified degreaser by nano-$Fe_3O4/Na_2S_2O_8$: Efficient coagulation and sedimentation,* Journal of Water Process Engineering, Elsevier, 47, 102675.

Likens, G. E., (2009), *Encyclopedia of Inland Waters (pp.699-704),* Academic Press. (Edt).

Liu, C., Chen, S., Yang-Zhou, C., Zhang, Q., Michael, N., R., (2021), Application of nano-hydroxyapatite derived from oyster Shell in fabrication superhydrophobic sponge for efficient oil/water seperation, Molecules, 26, 3703.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Mevzuat Bilgi Sistemi, 2004, *Su kirliliği kontrolü yönetmeliği,* T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi web sitesi: https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

Minjares-Duentes, R., Femenia, A., (2019), *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements,Aloe vera* (pp. 145-152). Academic Press.

Oğuz, M., (1986), *Fiziko-kimyasal arıtım* (s. 179-184), TMMOB Kimya Mühendisleri Odası, Ankara.

Pal, P., Pal, A., Nakashima, K., Yadav, B. K., (2021), *Application of chitosan in environmental remediation: A review,* Chemosphere, 266, 128934, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128934

Pham, T. H., Jung, S. H., Kim, Y. J., Kim, T., (2021), *Adsorptive removal and recovery of organic pollutants from wastewater using waste paper-derived carbon-based aerogel,* Chemosphere, 268: 129319, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129319

Pérez-Calderón, J., Santos, V., M., Zaritzky, N., (2018), *Optimal clarification of emulsified oily wastewater using a surfactant/chitosan biopolymer*, Journal of Environmental Chemical Engineering, 6, 3808-3818.

Sanayi Genel Müdürlüğü, (2022), *Kağıt sektör raporu,* T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı web sitesi: https://www.sanayi.gov.tr/assets/pdf/plan-program/KagitSektorRaporu2021v2.pdf

Sigma Aldrich, 2023, IR spectrum table & chart, https://www.sigmaaldrich.com/TR/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table , erişim tarihi: 15.12.2023.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Singh, A., Kumar, A., Chandra, R., (2022), *Environmental pollutants of paper industry wastewater and their toxic effects on human and ecosystem,* Bioresource Technology Reports, 20, 101250. https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101250

Sloman, E., (2002), *Plant Engineer's. Reference Book, Snow, D. A. (Ed.), Lubrication* (2nd ed., pp. 40-1-40-46). Butterworth-Heinemann. https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-4452-5.X5052-4

Song, E., H., Shang, J., Ratner, D, M., (2012), *Polymer science: A comprehensive reference* (pp. 137-155). Elsevier Science.

Sun, Y., Zhu, C., Zheng, H., Sun, W., Xu, Y., Xiao, C., You, Zhaoyang, Liu, C., (2017), *Characterization and coagulation behavior of polymeric aluminum ferric silicate for high-concentration oily wastewater treatment,* Chemical Engineering Research and Desing, 119: 23-32. http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2017.01.009

Rahimov, M., Akgün, M., (2022), *Threatment of metal cutting fluid wastewater over Pt/Al_2O_3 and Ru/Al_2O_3 in supercritical water medium,* Journal of Water Process Engineering, 46:102571, https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102571

Rambabu, K., Banat, F., (2023), *Advanced Technologies in Wastewater Treatment, Oily Wastewaters, Basile, A., Cassano, A., Rahimpour, M. R., Makarem, M. A. (Eds.), Adsorption-enhanced process fort he treatment of oily wastewater* (pp. 125-152). Elsevier. https://doi.org/10.1016/C2021-0-00545-9

Reynolds, D., T., Richards, A., P., (2022), *Çevre Mühendisliğinde Temel İşlemler ve Süreçler* (Çev. Ü., B., Öğütveren; s.170-180), Palme Yayınevi.

Ünlü, B., (2022), *Herbal Medicines, Herbal medicine and common dermatologic diseases* (pp. 329-345), Academic Press.

Varsani, V., Vyas, S., J., Dudhagara, D., R., (2022), *Development of bio-based material from the Moringa oleifera and its bio-coagulation kinetic modeling-A sustainable approach to treat the wastewater,* Heliyon, CellPress, 8, e10447.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Wang, S., Fu, J., Zhang, C., Yang, J., (2021), *Shield tunnel engineering*, Elsevier Imprint, p.491-521.

Wei, Y., Ding, A., Chen, Y., (2022), *Removal of refractory dyes by a novel chlorine-free coagulant of polyferric-silicate-acetate (PFSA): Characterizastion and performance evaluation,* Journal of Environmental Chemical Engineering, Elsevier, 10, 108524.

Woon, K. S., (2021), *Encycloped,a of Materials: Composites, Brabazon, D. (Ed.), High Performance Machining of Metal Matrix Composites* (Volume 1, pp. 512-524). Elsevier.

Wu, H., Sun, C., Huang, Y., Zheng, X., Zhao, M., ed., (2022), *Treatment of oily wastewaters by higly poroous whisker-constructed ceramic membranes: Separation performance and fouling models,* Water Research, Elsevier, 211, 118042.

Xu, K., Li, L., Zuohua, H., Zhenbang, T., Li, H., (2022), *Efficient adsorption of heavy metals from wastewater on nanocomposite beads prepared by chitosan and paper sludge,* Science of the Total Environment, 846: 157399, http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157399

Zhang, H., Lin, H., Li, Q., Cheng, C., Shen, H., Zhang, Z., Zhang, Z, Wang, W., (2021), *Removal of refractory organics in wastewater by coagulation/flocculation with green chlorine-free coagulant*, Science of the Total Environment, Elsevier, 787, 147654.

Zhao, C., Zhou, J., Yan, Y., Yang, L., Xing, G., Li, G., Wu, P., Wang, M., Zheng, H., (2021), *Application of coagulation/flocculation in oily wastewater treatment: A review,* Science of the Total Environment, 765, 142795, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142795

Zhu, G., Zheng, H., Zhang, Z., Tshukudu, T., Zhang, P., Xiang, X., (2011), *Characterization and coagulation-flocculation behavior of polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS),* Chemical Engineering Journal, 178:50-59, doi:10.1016/j.cej.2011.10.008

Zhuang, J., Qi, Y., Yang, H., Li, H., Shi, T., (2021), *Preparatiın of polyaluminum zirconium silicate coagulant and its performance in water treatment,* Journal of Water Process Engineering, Elsevier, 41, 102023.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Zouboulis, A. I., Moussas, P. A., Vasilakou, F., (2008), *Polyferric sulphate: Preparaation, characterisation and application in coagulation experiments,* Journal of Hazardous Materials, 155: 459-468, doi:10.1016/j.jhazmat.2007.11.108