

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet Cem SUNA

**SEPIYOLİTİN ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ
(AOSB) ATIKSUYUNDAKİ ORGANİK VE İNORGANİK
PARAMETRELERİN FİZİKO-KİMYASAL YÖNTEMLERLE
(PIHTILAŞTIRMA-YUMAKLAŞTIRMA VE/VEYA
ADSORPSİYON) GİDERİMİNDE KULLANIMININ
ARAŞTIRILMASI**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SEPIYOLİTİN ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ (AOSB)
ATIKSUYUNDAKİ ORGANİK VE İNORGANİK PARAMETRELERİN
FİZİKO-KİMYASAL YÖNTEMLERLE (PIHTILAŞTIRMA-
YUMAKLAŞTIRMA VE/VEYA ADSORPSİYON) GİDERİMİNDE
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ahmet Cem SUNA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 25/07/2019 Tarihinde Aşağıdaki Juri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir

.....
Prof.Dr. Belgin BAYAT Doç.Dr. Bülent SARI Dr.Öğr.Üyesi Hakan DULKADİROĞLU
DANIŞMAN ÜYE ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

**Bu Çalışma Ç.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından
desteklenmiştir. Proje No: FYL-2018-10291**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge
ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat
Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SEPIYOLİTİN ADANA ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ (AOSB)
ATIKSUYUNDAKİ ORGANİK VE İNORGANİK PARAMETRELERİN
FİZİKO-KİMYASAL YÖNTEMLERLE (PIHTILAŞTIRMA-
YUMAKLAŞTIRMA VE/VEYA ADSORPSİYON) GİDERİMİNDE
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ahmet Cem SUNA

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Belgin BAYAT
Yıl: 2019, Sayfa: 82
Jüri : Prof. Dr. Belgin BAYAT
: Doç. Dr. Bülent SARI
: Dr. Öğr. Üyesi Hakan DULKADİROĞLU

Bu çalışmada Eskişehir bölgesinden temin edilen 4 farklı sepiyolit (SCN-1, SCN-2, SCN-3, SCN-4) Adana Organize Sanayi Bölgesinden alınan atıksularda koagülant olarak etkinliği, koagülant olarak yaygın kullanılan demir klorürle karşılaştırılarak incelenmiştir. Laboratuvar ortamında Jar Test düzeneğinde gerçekleştirilen pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemlerinde sepiyolit koagülant olarak etkinliğinin kimyasal bileşenine ve pH'a bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Yapılan Jar Test deneylerinde kalsiyum içeriği yüksek olan SCN-1 sepiyoliti (%66.6 CaO) KOİ gideriminde demir klorür ve diğer sepiyolitlere göre daha etkili sonuçlar vermiştir. AKM, Renk ve Bulanıklık parametrelerinde ise silisyum ve demir içeriği yüksek olan SCN-4 sepiyolitinde (%72,3 Si, %15 Fe) demir klorür ve diğer sepiyolitlerden daha yüksek arıtma verimleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Organize Sanayi Bölgesi, Atıksu, Sepiyolit, Koagülasyon, Flokülasyon

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF USING SEPIOLITES AS A COAGULANT IN ADANA ORGANIZED INDUSTRIAL ZONE WASTEWATER

Ahmet Cem SUNA

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Belgin BAYAT
Year: 2019, Pages: 82
Jury: : Prof. Dr. Belgin BAYAT
: Assoc. Prof. Dr. Bülent SARI
: Assist. Prof. Dr. Hakan DULKADİROĞLU

The effectiveness of sepiolites as a coagulant for Adana Organized Industrial Zone was investigated and compared with ferric chloride. In these experiments, four sepiolite samples with different chemical compositions obtained from different regions of Eskişehir, Turkey were used. In all coagulation-flocculation experiments using sepiolites, it was apperent that the predominant removal mechanism varies with the pH and chemical components of the sepiolites.

In all jar test experiments because of the high calcium content of SCN-1 (%66,6 CaO) sepiolite samples obtained with better results compared to other sepiolite samples and ferric chloride in COD removal. The highest removal efficiency of TSS, color and turbidity was attain all with SCN-4 sepiolite samples with high silicon and ferrous (%72,3 Si, % 15 Fe).

Keywords: Organized Industrial Zone, Waste water, Sepiolite, Coagulation, Flocculation

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Hızla artan nüfusla birlikte, sanayinin gelişmesi, doğal kaynakların tüketilmesi ve üretimin hızlı bir şekilde artması çevreye bırakılan katı, sıvı ve gaz formdaki atıkların oluşumunu kaçınılmaz bir hale getirmiştir. Atıkların arıtıma uğramadan çevreye salınımları, ilerleyen zamanlarda gerek çevreye gerekse canlılar üzerine olan olumsuz etkilerini göstermesiyle atıksuların arıtılmasının önemi daha iyi anlaşılmıştır.

İnsanların günlük ihtiyaç duydukları kullanım sularından, çeşitli üretimler yapan küçük işletmelerden büyük fabrikalara kadar bütün kullanılan kirli sular atıksu olarak nitelendirilir ve uygun proses ve uygulamalarla arıtıma tabii tutulması gerekir.

Bu çalışmada ise Adana Organize Sanayi Bölgesinden alınan atıksuların sepiyolit adı verilen silisyum içeriği yüksek bir mineralin koagülant olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Adana Organize Sanayi Bölgesi Ceyhan yolu üzerinde şehirden 25 km uzaklıkta faaliyet göstermektedir. Bölgede yer alan sanayi kuruluşlarının büyük bir bölümü tekstil endüstrisinden oluşup, metal sanayi, gıda sanayi, plastik üretimi ve kimya sanayi kuruluşlarını da barındırmaktadır. Bu tesislerin oluşturdukları atıksular bölgenin biyolojik ve kimyasal atıksu arıtma tesisinde arıtılmaktadır. Atıksuların kirletici parametrelerine bakıldığında ise ortalama 1300 mgO₂/L kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), 350 mg/L askıda katı madde (AKM) içermektedir.

Sepiyolit minerali yapısında silisyum, magnezyum bileşikleri bulunduran lifli morfolojik yapıda ve bünyesinde su tutabilen kanallardan oluşan yüzey alanı oldukça geniş doğal bir kil mineralidir. Sepiyolit doğada α -sepiyolit (lületaşı) ve β -sepiyolit (endüstriyel) şeklinde iki şekilde bulunur. İki sepiyolit arasında fiziksel yapı ve kimyasal içerik açısından çeşitli farklar görülür. Endüstriyel sepiyolitler

genelde kahverengi, gri ve sarı renk tonlarında görülürken lületaşının rengi ise genellikle beyazdır. Sepiyolit yüksek yüzey alanına sahip olmasından dolayı adsorbant olarak diğer kil mineralleri gibi etkindir. Adsorbant olarak kullanımından ayrı olarak sepiyolit çimento yapımında, deterjan ürünlerinde, asbeste alternatif olarak fren balatalarında, tuğla ve seramik üretiminde kullanım alanına sahiptir.

Çalışmada kullanılan sepiyolitler Eskişehir'in çeşitli bölgelerinden temin edilmiştir. Beylikova, Yukarıdudaş bölgesinden gelen sepiyolite SCN-1, Sivrihisar, Yenidoğan, Karacaören bölgesinden gelen sepiyolite SCN-2, Körpe bölgesinden gelen sepiyolite SCN-3 ve Kurtşeyh bölgesinden gelen sepiyolite ise SCN-4 adı verilmiştir. Sepiyolitlerin kimyasal içeriklerine bakıldığında SCN-1 ve SCN-2 sepiyolitlerinin kalsiyum içerikleri sırasıyla %66,6 ve %50,3 olarak analiz edilirken SCN-3 ve SCN-4 sepiyolitlerinin silisyum içerikleri %81,2 ve %73,4 olarak belirlenmiştir. Ayrıca sepiyolitlerin yoğunlukları 2,11-2,65 g/cm³ aralığında değişmektedir. Başlangıçta farklı tanecik boyutlarına sahip olan sepiyolit örnekleri seramik bilyalı değirmende kırma-öğütme işlemine tabi tutularak 75 µm çaplı elekten geçebilecek boyutlara getirilmiştir.

DeneySEL çalışma aşamasında alınan her atıksu numunesinde arıtma verimlerinin doğru bir şekilde belirlenebilmesi için Jar Test deneyleri öncesi ve sonrasında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Askıda Katı Madde (AKM), Renk ve Bulanıklık parametreleri ölçülmüştür.

Pıhtılaştırma-yumaklaştırma deneylerinde kullanılan sepiyolitlerin doz ve pH değişimlerine karşılık elde ettiği arıtma verimleri değerlendirilmiştir. Sepiyolit dozları 1000-2000-3000-4000 mg/L aralığındaki miktarlarda değerlendirilirken pH aralığı ise 3-12 arasında tutulmuştur. Sepiyolitin etkin bir koagülant olup olmadığını belirlemek için 4 adet karıştırma pedalına sahip jar test düzeneği kullanılmıştır. 900 ml atıksu içeren 1000 ml'lik 4 adet beherin jar test düzeneğine

yerleştirilmesi sonrası 5 dakika süre ile 200 rpm hızda hızlı karıştırma, 30 dakika süre ile 100 rpm hızda yavaş karıştırma ve bunları takip eden 30 dakikalık bir çökeltme işlemine tabi tutulmuştur. Atıksuların pH ayarlamaları ise H₂SO₄ ve NaOH ile sağlanmıştır.

Çalışmanın sonunda sepiyolitlerin koagülant olarak etkinliğinin içerdikleri silisyum, kalsiyum ve demir ile ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. KOİ gideriminde SCN-1 sepiyoliti diğer sepiyolitlere göre daha etkiliyken AKM, Renk ve Bulanıklık gideriminde SCN-4 sepiyolitinin daha etkin olduğu gözlemlenmiştir. SCN-1, SCN-2 ve SCN-3 sepiyolitleri yüksek pH'larda daha çok etkiliyken SCN-4 sepiyoliti düşük pH'larda diğer sepiyolitlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca demir klorürle yapılan benzer çalışma koşullarında sepiyolitinin demir klorürden daha etkili sonuçlar verdiği görölmüştür.



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim boyunca beni bu çalışmaya yönlendiren, çalışmalarımın her aşamasında tecrübesiyle bana yol gösterip destekleyen danışman hocam Prof. Dr. Belgin BAYAT'a,

Sepiyolitlerin temin edilmesinde ve Maden Mühendisliği laboratuvarlarında her türlü kolaylığı ve uygun çalışma ortamını sağlayan Prof. Dr. Oktay BAYAT'a ve bir çok konuda yardımını gördüğüm ve sepiyolit hakkında gerekli bilgilere ulaşmamı sağlayan sayın Arş. Gör. Zehra ÇETİNKAYA'ya,

Deneysel çalışmalarda kullanılan atıksuların düzenli olarak temin edilmesinde elinden gelen her yardımı gösteren Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi çalışanı Çevre Mühendisi Caner SÖZTANACI'ya,

Laboratuvarda yapılan deney ve analizlerde yardımlarını eksik etmeyen fikir alışverişinde bulunduğumuz yüksek lisans öğrencisi ve değerli arkadaşım Selman Türkeş'e,

Yaşamımda beni maddi ve manevi olarak destekleyen aldığım her kararda arkamda duran, bana sabrı, azmi ve kararlı olmayı öğretene, beni bu günlere getiren annem Medine SUNA'ya, babam Tahir SUNA'ya ve abim Kemal SUNA'ya teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
1.GİRİŞ	1
1.1. Organize Sanayi Bölgeleri.....	4
1.1.1. Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi (AOSB).....	6
1.2. Tekstil Sanayi	7
1.2.1. Tekstil Sanayi Atıksularının Miktar ve Özellikleri	8
1.3. Metal Sanayi	9
1.3.1. Metal Sanayi Atıksularının Özellikleri	9
1.4. Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi.....	10
1.4.1. Ön Arıtma Üniteleri.....	11
1.4.2. Kimyasal Arıtım Üniteleri	12
1.4.3 Biyolojik Arıtım Üniteleri	12
1.4.4. Son Çökeltme Havuzu	13
1.4.5. Çamur Susuzlaştırma Üniteleri.....	13
1.5. Pıhtılaştırma – Yumaklaştırma	14
1.5.1. Kolloidal Sistem.....	14
1.5.2. Kolloidlerin Stabilitesi	15
1.5.3 Kolloidlerin Destabilizasyonu (Pıhtılaştırma).....	18
1.5.4. Yumaklaştırma Mekanizması (Flokülasyon)	20
1.5.5.. Koagülant Olarak Kullanılan Maddeler	21
1.6. Çökeltme.....	22

1.6.1. Çökme Tipleri.....	23
1.6.2. Çökmeye Etki Eden Faktörler	24
1.7. Sepiyolit.....	25
1.7.1. Sepiyolitim Kristal Yapısı ve Özellikleri	25
1.7.2. Türkiye’de Sepiyolit Rezervleri ve Üretimi	29
1.7.3. Sepiyolitın Kullanım Alanları	30
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	37
3. MATERYAL VE METOD	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Atıksu	43
3.1.2. Sepiyolit.....	44
3.1.3 Koagülantlar	45
3.2. Metod.....	46
3.2.1. Tanecik Boyutu	46
3.2.2 Atıksu Analizleri	46
3.2.3. Pıhtılaştırma Yumaklaştırma Deneyleri (Jar Test)	46
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	49
4.1. Araştırma Bulguları	49
4.2. Deneysel Sonuçların Tartışması	60
4.2.1. AOSB Atıksularında Sepiyolitın Koagülant Etkisi	60
4.2.2. AOSB Atıksularında Sepiyolitın Koagülant Etkisinin Demir Klorür ile Karşılaştırılması.....	69
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Evsel atıksuların genel bileşimi	2
Çizelge 1.2. Endüstriyel kollara bağlı su tüketim miktarları	3
Çizelge 1.3. AOSB'nin genel sektörel dağılımı.....	7
Çizelge 1.4. Alt Kategorizasyon Bazında Tekstil Sanayi Atıksularının Miktar ve Özellikleri.....	9
Çizelge 1.5. Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Özellikleri	10
Çizelge 1.6. Suda bulunan partikül ve koloidal maddelerin boyutları.....	15
Çizelge 1.7. Koagülant Olarak Kullanılan Maddeler (Eroğlu, 1991)	22
Çizelge 1.8. Lületaş ve endüstriyel sepiyolit % bileşenleri	27
Çizelge 1.9. Endüstriyel Sepiyolit fiziksel Özellikleri (İrkeç, 1991).....	28
Çizelge 1.10. Eskişehir ili bazı lületaş rezervleri (Anonim, 2001)	29
Çizelge 1.11. Eskişehir ilindeki bazı endüstriyel sepiyolit rezervleri (Can, 1992).....	29
Çizelge 3.1. Tesise giren ve deşarj edilen suyun kirlilik yükü.....	43
Çizelge 3.2. Sepiyolit numunelerinin porozite ve yoğunluk sonuçları	44
Çizelge 3.3. Koagülant olarak kullanılan sepiyolit numunelerinin kimyasal bileşimleri (XRF analiz sonuçları).....	45
Çizelge 3.4. Jar Test Deneplerinde Kullanılan Koagülantlar için Uygulanan Deneysel Şartlar.....	47
Çizelge 3.5. Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Küçük ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler)	48
Çizelge 4.1. AOSB Atıksularında pH 3'te Jar Test Sonuçları	50
Çizelge 4.2. AOSB Atıksularında pH 4'te Jar Test Sonuçları	51
Çizelge 4.3. AOSB Atıksularında pH 5'te Jar Test Sonuçları	52
Çizelge 4.4. AOSB Atıksularında pH 6'da Jar Test Sonuçları	53
Çizelge 4.5. AOSB Atıksularında pH 7'de Jar Test Sonuçları	54
Çizelge 4.6. AOSB Atıksularında pH 8'de Jar Test Sonuçları	55

Çizelge 4.7. AOSB Atıksularında pH 9'da Jar Test Sonuçları	56
Çizelge 4.8. AOSB Atıksularında pH 10'da Jar Test Sonuçları	57
Çizelge 4.9. AOSB Atıksularında pH 11'de Jar Test Sonuçları	58
Çizelge 4.10. AOSB Atıksularında pH 12'de Jar Test Sonuçları	59
Çizelge 4. 11. Demir Klorür ile Yapılan Jar Test Sonuçları	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Adana Organize Sanayi Bölgesi Yerleşim Planı	6
Şekil 1.2. Negatif Yüklü Küresel Bir Partikül Etrafındaki Benzer ve Zıt İyonların Dağılımı.....	17
Şekil 1.3. Aktif Çamur Süspansiyonunun Çökme Bölgeleri.....	23
Şekil 1.4. Sepiyolit Şematik Yapısı (Soheilmoghaddam ve ark, 2014).....	26
Şekil 4.1. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin KOİ Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)	61
Şekil 4.2. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin AKM Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)	62
Şekil 4.3. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin Renk Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)	62
Şekil 4.4. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin Bulanıklık Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11).....	63
Şekil 4.5. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın KOİ giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)	65
Şekil 4.6. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın AKM Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)	66
Şekil 4.7. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın Renk Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)	66
Şekil 4.8. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın Bulanıklık Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)	67
Şekil 4.9. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin KOİ Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=5, Doz=3000 mg/L)	69
Şekil 4.10. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin AKM Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=8, Doz=2000 mg/L)	70

Şekil 4.11. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin Renk Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=11, Doz=3000 mg/L) 70

Şekil 4.12. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin Bulanıklık Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=11, Doz=3000 mg/L) 71



SİMGELER ve KISALTMALAR

AOSB	: Adana Organize Sanayi Bölgesi
OSB	: Organize Sanayi Bölgesi
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
AKM	: Askıda Katı Madde
OH	: Hidroksil İyonu
H	: Hidrojen İyonu
Fe	: Demir
Si	: Silisyum
Mg	: Magnezyum
Ca	: Kalsiyum
Al	: Alüminyum
NaOH	: Sodyum Hidroksit
H ₂ SO ₄	: Sülfürik Asit
Rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
µm	: Mikrometre



1.GİRİŞ

Atıksu evsel, sanayi, tarımsal veya başka türlü kullanım yoluyla özellikleri değişmiş olan ve yağışsız havada kendisiyle beraber akan su (pis su) ile yağıştan kaynaklanıp imarlı veya kaplamalı alanlardan akan ve biriken sudur. Atık işleme, ara depolama ve son depolama tesislerinden çıkan ve birikmiş akışkanlar da pis su sayılırlar (Abwasserabgabengesetz, 1976).

Evsel atıksu, evlerden, hastane ve otel gibi küçük ticarethanelerden kaynaklanan, insanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürmek için kullandıkları sulardan oluşan kirli sulardan meydana gelir (SKKY, 2004).

Evsel atıksular oluştukları konutlar ve yerleşim yerlerinden artılacak olan arıtma tesislerine ulaşana kadar renklerinde değişimler görülür. Başlangıçta kahverengi ve gri renklerde bulunan atıksular kanalizasyon sisteminde ilerledikçe ve sistemde bulunma süresi arttıkça atıksularda anaerobik koşullar gelişmeye başlar. Anaerobik koşulların artmasıyla birlikte atıksuların rengi koyu gri ve siyaha yaklaşır. Bunun en belirgin sebebi ise atıksularda bulunan metal iyonlarının anaerobik koşullarda oluşan sülfür bileşikleriyle reaksiyona girip metal sülfürleri oluşturmasıdır.

Evsel atıksular askıda, kolloidal ve çözünmüş halde organik ve inorganik maddeler içerir. Atıksuyun konsantrasyonu, kullanılan suyun kirletilmeden önceki orijinal konsantrasyonuna ve suyun kullanılış amacına bağlıdır. Gerek iklimsel şartlar, gerekse de insanların yaşam standartları ve kültürleri atıksu karakteristiğini önemli ölçüde etkiler. Kanalizasyonlara endüstriyel atıkların kabulü, mevcut evsel atıksu özelliklerini oldukça değiştirir. Konsantrasyonlar kişi başına günlük su kullanımı değerlerine bağlı olarak da değişir.

Evsel atıksular barındırdıkları kirlilik miktarlarına göre zayıf, orta ve kuvvetli olarak karakterize edilir. Evsel atıksuların kirlilik içeriği aşağıda Çizelge 1.1 ile (Metcalf ve Eddy, 1991) gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Evsel atıksuların genel bileşimi (Metcalf ve Eddy, 1991)

Parametreler	Konsantrasyonlar (mg/L)		
	Zayıf	Orta	Kuvvetli
Toplam Katı Madde (TKM)	350	720	1250
Toplam Çözünmüş Maddeler	250	500	850
Sabit	145	300	525
Uçucu	105	200	325
Askıda Katı Madde (AKM)	100	220	350
Çökebilir Katı Maddeler	5	10	20
BOİ ₅	110	220	400
Toplam Organik Karbon (TOK)	80	160	290
KOİ	250	500	1000
Toplam Azot	20	40	85
Toplam Fosfor	4	8	15
Klorür	30	50	100
Sülfat	20	30	50

Endüstriyel tesislerin, hammaddelerini işlemesi ve ürün üretmesi işlemleri sonucu oluşan atıksulara “endüstriyel atıksu” denir. Atıksular temizleme, pişirme, yakma, ekstrakte işlemleri, reaktif ürün eldesi, ayırma, lojistik ve kalite kontrol işlemleri sonucunda oluşabilir. Su kirliliği, kirletici parametrelerin sularda istenmeyecek konsantrasyonda bulunarak su kalitesini olumsuz yönde etkileyerek oluşmaktadır. Ayrıca tesislerde çalışan personelin yemekhane, temizlik gibi kullanım sularından kaynaklanan evsel atıksu özelliğindeki atıksuları da kapsar.

Endüstri tipine ve kullanılan hammaddeye bağlı olarak değişik özellikler gösteren endüstriyel atıksular, organik içeriği yüksek, biyolojik olarak kolaylıkla parçalanabilen, yüksek inorganik karakterli veya toksik özellikte olabilir. Bir başka deyişle askıda katı madde (AKM), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) değerleri 1-2 mg/L'den ≥ 1000 mg/L'ye kadar artan özellikte değişim gösterebilmektedir (Jern, 2006).

Sanayilerde kullanılan su miktarları endüstriyel üretim kollarına bağlı olarak çeşitlilik gösterebilmektedir. Türkiye’de farklı endüstriyel kollardan oluşan organize sanayi bölgeleri bulunmaktadır. Bu kuruluşların ihtiyaç duyduğu sular, bölgeye yakın su kaynakları tarafından temin edilmektedir. Sanayilerde tüketilecek su maliyeti bölgesel olarak değişeceğinden, suyun maliyetinin az olduğu bölgelerde mevcut su miktarının yetersiz kalacağı ve su kaynaklarının çeşitli nedenlerle kirletildiği farzedilirse suyun geri kazanımının ve yeniden kullanımının önemi daha iyi anlaşılacaktır. Endüstriyel kollara bağlı su tüketim miktarları Çizelge 1.2’de gösterilmiştir (Toprak, 1994).

Çizelge 1.2 Endüstriyel kollara bağlı su tüketim miktarları (Toprak, 1994)

Endüstri	Birim	Su Tüketimi
Rafineri	litre/m ³	585–1135
Tekstil/Yün	litre/kg	530
Tekstil/Pamuk	litre/kg	320
Tekstil/Sentetik	litre/kg	125
Et kesim	litre/kg	10
Tavuk kesim	litre/adet	30
Deri	litre/kg	90
Kağıt/Kraft	litre/kg	145–205
Kağıt/Sülfür	litre/kg	150–265
Süt/Tereyağ	litre/kg	35–115
Süt/Peynir	litre/kg	110–195
Süt/Dondurma	litre/kg	50–100
Çelik	litre/kg	40
Konserve	m ³ /ton.ürün	4-70

Farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip sepiyolit numuneleri kullanılarak Adana Organize Sanayi Bölgesi (AOSB) atıksularından organik ve inorganik parametrelerin (AKM, KOI, Renk, Bulanıklık gibi) fiziko-kimyasal

yöntemlerle (Pıhtılaştırma + Yumaklaştırma ve/veya Adsorpsiyon) gideriminde koagülant ve/veya adsorban olarak kullanımının araştırılması bu çalışmanın amacını oluşturmaktadır.

1.1. Organize Sanayi Bölgeleri

Sanayileşme yolunda yapılan çalışmalar Türkiye’de Cumhuriyetin ilanıyla birlikte ağırlık kazanarak iktisadi ilerlemenin ve aynı zamanda siyasi bağımsızlığın temeli olarak ortaya çıkmıştır. Cumhuriyetin kurulduğu ilk yıllarda sanayileşme özel kesim kontrolünde geliştirilmeye bırakılmasına karşılık maddi güç yetersizliği ve tecrübe eksikliği gibi sebeplerle beklenen doğrultuda ilerleyememiştir. Sanayileşmedeki ilk çabaları takiben devletin 1931 yılında yürürlüğe koyduğu “ 1. Beş Yıllık Sanayi Planı “ penceresinde endüstriyel altyapısının oluşturulması için çalışmalar başlatılmıştır. 1. Sanayi Planı zamanında Sümerbank, Eti Bank ve Denizcilik Bankası gibi önemli kuruluşlar faaliyete geçirilerek kamu girişimciliğine ağırlık verilmiştir. 1960’lı yıllarda başlayan planlı kalkınma dönemindeyse sanayinin “lokomotif” sektör olduğu açıkça belirtilerek, ekonomik düzenin kurulması, toplumsal ve ekonomik kalkınmanın beraber gerçekleştirilmesi, düzenli olarak büyümesi ve sanayileşme yolunda önemli adımlar atılması gibi uzun vadeli hedefler belirlenmiştir.

Belirlenen hedefler arasında ülkede sanayinin geliştirilmesi amacıyla uygulamaya konulan pek çok teşvik tedbirlerinden biri olan Organize Sanayi Bölgesi (OSB) uygulamalarına, ilk olarak 1962 yılında Bursa’da bir OSB kurulmasıyla başlanmıştır.

Ülkemizde Devlet Planlama Teşkilatı tarafından OSB’ler çevre problemlerine sebep olmayacak ya da bu problemleri minimumda tutacak şekilde gerçekleştirilmesi ve yatırımların yönlendirilmesi amacıyla kullanılan bir model olarak tarif edilmektedir (Toröz ve ark, 1994).

Organize Sanayi Bölgeleri, “Sanayinin uygun görülen bölgelerde yapılanmasını sağlamak, çevre sorunlarını engellemek, uygun kentleşmeyi

düzenlemek, bilgi ve bilişim teknolojilerinden faydalanmak, üretim sanayi türlerinin belirli bir plan çerçevesinde yerleştirilmeleri ve geliştirilmeleri amacıyla, sınırları belirli arazi parçalarının gerekli altyapı hizmetleriyle ve ihtiyaca göre tayin edilecek teknoparklar ve sosyal tesisler ile donatılıp planlı bir biçimde ve belirli sistemler dâhilinde sanayi için tahsis edilmesiyle oluşturulan ve OSB Kanunu hükümlerine göre işletilen hizmet ve mal üretim bölgeleri” olarak tanımlanan, kuruluş ve işleyiş sürecinde nizamın sağlanması ve yasal bir duruma ulaştırılmaları sebebi ile 4562 Sayılı Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu, 24021 sayılı resmi gazetede yayınlanarak 15.04.2000 tarihinde yürürlüğe sokulmuştur.

OSB uygulaması ile benzer ve entegre sektörlerde çalışan işletmeler aynı iş çatısı altında toplanmakta, ihtiyaçları topluca ve daha kolay bir şekilde ekonomik olarak karşılanabilmektedir. Bu işyerlerine yeni teknolojinin transfer edilmesi ve uygulanması ön yatırım ve işletme bazında daha ekonomik olmaktadır. OSB mahalli ve bölgesel ihtiyaçların karşılanmasında, istihdam imkânlarının artırılması, işsizlik ve plansız şehirleşme ile çevre sorunlarına çözüm bulunmasında büyük rol oynamaktadır. Kalkınma düzeyi, ekonomik, sosyal, coğrafi, politik ve kültürel yapıları birbirinden oldukça farklılık gösteren birçok ülkenin ortak yönlerinden bir tanesidir. Girişim sayısı, üretim ve istihdam kriterleri açısından bünyelerindeki Organize Sanayi Bölgelerinin ülke ekonomilerine önemli bir paya sahiptirler (Anonim).

Şehir sınırları içerisinde veya yakın çevrelerde kurulmuş tekstil, kimya, kağıt ve deri gibi alıcı ortamlara oldukça yoğun kirlilik verdikleri fark edilmiştir. Kirliliğin asıl kaynağı, miktarı ve çevreye olan etkileri araştırılarak bu kirliliği önlemek adına çeşitli yollar aranmıştır. Bu alanda yapılan çalışmalar sonunda atıksuların alıcı ortamlara deşarjı yapılmadan önce arıtılmasının gerektiği ortaya konmuştur (Shu ve ark, 1994; Morrison ve ark, 1996).

Çeşitli endüstri kollarına ait üretim tesisleri ve fabrikaların yoğun şekilde toplandığı organize sanayi bölgelerinde görülen çevre sorunları tekil endüstriyel kuruluşların sebep olduğu genel çevre problemlerinden çokta değişik olmadığı,

ancak kirliliğin (katı, sıvı, gaz atık) miktar ve çeşitliliği yönünden farklı olması mümkün olmaktadır. Bu gibi nedenlerle OSB'lerin çevre kirliliği açısından dikkatle ele alınarak değerlendirilmesi ve uygun çalışmaların yapılması gerekmektedir (Toröz ve ark, 1994).

1.1.1. Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi (AOSB)

AOSB'ye kara, demir ve havayolu ile ulaşım sağlanılabilmektedir. Bölge, Adana Havalimanı'na 28, Yumurtalık Limanı'na 40, İskenderun Limanı'na 80, Mersin Limanı'na ise 98 kilometre uzaklıkta olup tarıma elverişli olmayan 1590 hektarlık bir alan üzerine kurulmuştur. Bölgenin güneyinden D-400 Devlet Karayolu ve TCDD (Bölge içerisinde Yakapınar "Misis" tren istasyonu) demiryolu, kuzeyinde ise TEM Otoyolu geçmektedir (<https://www.adanaorganize.org.tr>). Şekil 1.1'de Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesinin yerleşim planı gösterilmektedir.



Şekil 1.1 Adana Organize Sanayi Bölgesi Yerleşim Planı

Adana Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren 379 firma olup bu firmaların sektörel dağılımı ele alındığında tekstil sektörü ilk sırada bulunmaktadır.

Bu firmalara ait dağılım Çizelge 1.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 1.3 AOSB'nin genel sektörel dağılımı

S.NO	SEKTÖREL DAĞILIM	ÜRETİM	ÜRETİME ARA VEREN FİRMALAR	İNŞAAT	PROJE	TOP	%
1	AĞAÇ SANAYİ	13	1	0	5	19	5,1
2	AMBALAJ	6	0	0	1	7	1,9
3	DEPOLAMA	7	0	0	0	7	1,9
4	DÖKÜM	7	0	1	1	9	2,4
5	GIDA SANAYİ	27	0	5	2	34	9,1
6	KAĞIT SANAYİ	11	0	0	0	11	2,9
7	KİMYA SANAYİ	17	2	5	1	25	6,7
8	MAKİNA	11	0	5	1	17	4,5
9	METAL	35	5	12	9	61	16,3
10	PETROL ÜRÜNLERİ	11	2	0	1	14	3,7
11	PLASTİK	21	1	3	7	32	8,5
12	TEKSTİL	65	6	8	9	88	23
13	YAPI ELEMANLARI	13	2	5	6	26	6,9

1.2. Tekstil Sanayi

Sentetik ve doğal elyafları işleyerek kumaş ve çeşitli dokuma ürünleri üreten bu sektörler, ürettikleri doğal elyaflar arasında pamuk, keten, yün, kenevir ve ipek, sentetik elyaflarda ise reyon, kazein, naylon, polyester, akrilik ve vinil gibi malzemeler örnek olarak verilebilir (Tünay, 1996).

Tekstil sanayi üretimde kullanılan elyaf tipine göre 3 kısımda incelenir.

- Sentetik Tekstil Sanayi
- Pamuklu Tekstil Sanayi
- Yünlü Tekstil Sanayi

1.2.1. Tekstil Sanayi Atıksularının Miktar ve Özellikleri

Türkiye’de ve Dünya’da önemli bir sanayi kolu olan tekstil endüstrisi; boyama, baskı ve kumaşa çeşitli özellikler kazandırmak için yapılan apreleme işlemlerinde yüksek miktarda suya ihtiyaç duymaktadır.

Üretimde oluşan bu atıksular yüksek konsantrasyonlarda boyar madde içerirler ve bu sulardan rengin giderilmesini oldukça güçleştirir. (Shu ve ark, 1994; Morrison ve ark, 1996).

Tekstil sanayi atıksuları genellikle yüksek alkanite, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ₅) ve askıda katı madde (AKM) içeren yüksek sıcaklıktaki renkli atıksulardan oluşur (Nemerow, 1978).

Bu atıksular göz ardı edilmeyecek miktarda karboksimetil selüloz ve nişasta içerirken az miktarda da polivinil alkol içerir. Bu kimyasallar haşılama işleminde kullanılır ve atıksudaki kimyasal oksijen ihtiyacının (KOİ) büyük bir bölümü bu kimyasallardan kaynaklanır. Haşıl ayırma işlemi sonrası atıksuya karışan kimyasallar tekstil sanayi atıksularının KOİ içeriğine önemli katkıda bulunur (Lin ve Peng, 1994).

İşletmede kullanılan boyar maddelerden ve alkali işlemlerden dolayı tekstil sanayi atıksularının pH’ı 2-12 aralığında değişirken boyama ve yıkama işlemlerinde uygulanan çeşitli adımlar sonunda su sıcaklığı 90°C ye kadar çıkabilir. Tekstil sanayi atıksu miktar ve özellikleri alt kategoriler şeklinde ele alınarak Çizelge 1.4’de verilmiştir (Göknil ve ark, 1984).

Çizelge 1.4 Alt Kategorizasyon Bazında Tekstil Sanayi Atıksularının Miktar ve Özellikleri (Göknil ve ark, 1984).

Alt Kategorizasyon	Debi (m ³ /gün)	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	Renk (mg/L)
Yapağı Yıkama	38 2800	100 18000	120 13000	2200
Yün Terbiye	190 1600	280 2000	17 240	1000 2000
Az Su Kullanan Prosesler	23 1100	120 3000	10 530	10
Örgü Kumaş Terbiyesi	110 13000	540 3200	18 760	37 940
Halı Terbiyesi	76 6900	280 2100	37 210	65 1900
Açık Elyaf ve İplik Terbiyesi	45 9600	140 4800	2 4200	57 3000
Dokusuz Yüzeyle Kumaş İmali	53 1900	200 3900	59 180	35 140
Keçeleştirilmiş Kumaş İmali	11 1500	230 2100	68 280	190

1.3. Metal Sanayi

Metal Sanayi, demir-çelik endüstrileri ile metal son işlemleri kapsayan, metal alaşımlarını hammadde olarak kullanıp çeşitli işleme yöntemleri ile ürün elde eden bir endüstri dalıdır (Tünay, 1996).

1.3.1. Metal Sanayi Atıksularının Özellikleri

Metal sanayisinde ürün elde edilmeden toplanılan metallere bir çok ön işlem uygulanır. Kalıplara dökülen ergitilmiş metal sertleşmesi için soğutulmaya bırakılır ve üzerindeki oksitleri ve pası uzaklaştırmak için asit banyosuna daldırılır. Asit banyosundan çıkan metal yıkanarak kaplama işlemi uygulanır. Metale parlaklık kazandırılması için tekrar asit banyosuna yatırılır ve yıkanır. Son işlem olarak metalin kurutulması için fırınlara gönderilir (Şengül, 1991).

Metal sanayinde kaplama, aşındırma, boyama ve yıkama en çok suyun

kullanıldığı ve atıksuyun oluştuğu proseslerdir (Tünay, 1996).

Metal sanayilerde atıksuların içerdiği kirletici türleri işlenen metale ve kullanılan kimyasal maddelere göre çeşitlilik gösterir. Bu atıksular çeşitli asitleri, alkalileri, yağları ve metalik maddeleri içerdiğinden toksik özellikte olabilmektedir (Şengül, 1991).

Metal kaplama endüstrisindeki atıksu özellikleri Çizelge 1.5’de verilmiştir (Jorgensen, 1979).

Çizelge 1. 5 Metal Kaplama Endüstrisi Atıksularının Özellikleri (Jorgenson, 1979)

Parametreler	Değişim Aralığı
AKM (mg/L)	150-380
UAKM (%)	20-60
TKM (mg/L)	1000-6000
UTKM (%)	6-12
KMnO ₄ (mg/L)	8-100
Fe (mg/L)	2-20
SO ₄ ⁻² (mg/L)	30-120
NO ₃ -N (mg/L)	10-120
CN ⁻ (mg/L)	1-6
Cu (mg/L)	0-20
Cr (mg/L)	5-25
Ni (mg/L)	5-40
Çamur (ml/L)	1-15

1.4 Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi

AOSB içinde yer alan arıtma tesisleri kanalizasyon sistemi, evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisi şeklinde faaliyet sürdürmektedir. Atıksu arıtma tesisi merkezi arıtma standartlarına uygun olup, tesisin inşaat kısmında 72.000 m³/gün hidrolik kapasitede, mekanik ve elektrik donanımları ise 36.000 m³/gün hidrolik kapasiteside işletilebilecek düzeyde inşa edilmiştir.

Tesiste arıtılan atıksu miktarı 6.422.350 m³ olup arıtma sonucunda oluşan çamur miktarı 13.050 ton olarak belirlenmiştir. Tesis, fiziksel, kimyasal ve biyolojik ünitelerden oluşan kompleks bir tesistir. Kabaca 4 prosesden oluşan tesiste;

- Ön Arıtma: Kaba ızgara ve havalandırılmalı kum tutucu ünitelerinin yanı sıra debi ve kirlilik konsantrasyonu dengelenmesinden sorumlu dengeleme havuzundan medana gelir.
- Kimyasal Arıtım: Kimyasal maddelerin ilavesi ile pıhtılaştırma, yumaklaştırma ve çökeltme ünitesinden oluşur.
- Biyolojik Arıtım: Havalandırma havuzları ve çökeltme havuzlarından oluşur.
- Çamur Susuzlaştırma: Yoğunlaştırma havuzları ve belt-pres sisteminden oluşmaktadır.

1.4.1. Ön Arıtma Üniteleri

Kaba ızgaralar; Tesis girişinde yer alan ve atıksudaki kaba maddelerin tutulmasını sağlayarak ince ızgaraya gelecek kirlilik yükünü azaltmak amacıyla bir kaba ızgara yerleştirilmiştir. Çubuklar arası mesafe 80 mm iken çubuk genişliği 10 mm olarak dizayn edilmiştir. Kaba ızgarada tutulamayan 80 mm den küçük tanecikler için bir de 25 mm çubuk aralıklı mekanik temizlemeli ince ızgaralar yer almaktadır.

Havalandırılmalı kum tutucular; Trapez en kesitli dizayn edilmiş havalandırılmalı kum tutucu tesise girecek olan yağ, kum, çakıl gibi kirleticilerin atıksudan ayrılması için yerleştirilmiştir. Organize sanayi bölgelerinden kaynaklanan atıksuların aşırı yağ-gres içerdiği göz önüne alınarak kum tutucuya yağ sınırcı ilave edilmiştir. Dipteki çamurlar dalgıç pompalar yardımıyla temizlenirken havalandırma ise blower ve difüzörler yardımıyla sağlanır. Ön arıtmadan geçen atıksuların sürekli olarak debisinin ölçülmesi için debimetre bulunan bir debi ölçme kanalı ve parshall savağı da mevcuttur.

1.4.2. Kimyasal Arıtım Üniteleri

Dengeleme havuzundan hızlı karıştırma ünitesine terfi eden atıksuya, katı maddelerin koagülasyonu (pıhtılaştırma) ve flokülasyonunu (yumaklaştırma) sağlamak ve ardından hızlıca çökmesini sağlayacak kimyasal maddeler ilave edilmektedir. İşlemden uygun verim elde edilebilmesi için pH ayarlaması asit veya kireç, floklaşmayı kolaylaştırmak amacıyla ise demir klorür ($FeCl_3$) kullanılmaktadır. Hızlı karıştırma havuzunda atıksuların kimyasal maddelerle homojen bir şekilde karışmasını sağlamak için hızlı karışım mikseri kullanılmaktadır. Toplamda 4 nihai hızlı karıştırma havuzu bulunmaktadır. Gerektiği zaman atıksuya dozlanan $FeCl_3$ asit depolama tanklarında saklanmakta ve ihtiyaç duyuldukça pompalar yardımıyla atıksuya verilmektedir. Dozlanan kireç çözeltilisinin sisteme kesintisiz olarak verilebilmesi için kireç silosu kullanılmaktadır. Hızlı karıştırma ünitelerinde dozlama işleminden sonra floklaşmanın gerçekleştirilebilmesi için atıksular yavaş karıştırma havuzlarına alınır. Palet tipli yavaş karıştırıcı ile karıştırılan atıksuda bulunan katı maddeler floklar oluşturur. Nihai kapasite için dizayn edilmiş 8 adet yavaş karıştırma havuzu bulunmaktadır. Flok oluşumu gerçekleştirildikten sonra katı maddelerin kendi ağırlığıyla çökmesini sağlayan kimyasal çökeltme havuzuna alınır. Floklar dipte çöklerken kirlilik yükü azaltılmış atıksu havuzun üst kısmından savaklar yardımıyla bir kanaldan havalandırma havuzlarına gönderilmektedir. Toplamda 8 tane kimyasal çökeltme havuzu bulunmaktadır.

1.4.3 Biyolojik Arıtım Üniteleri

Kirliliğin en önemli kısmı olan organik maddelerin giderilmesi ve çıkış suyunda istenen kalitenin sağlanması için biyolojik arıtma üniteleri kullanılmıştır. Nitrifikasyon ve denitrifikasyon işlemlerinin bir arada gerçekleştiği biyolojik arıtımda, atıksuda doğal olarak bulunan mikroorganizmaların gelişimi oksijen ile artarak sudaki temel kirleticiler olan C, N, P' yi besin olarak kullanırlar. Özellikle karbonu oksitleyerek enerji kaynağı olarak kullanan bakteriler bu enerjiyi üreyerek

çoğalmak için kullanırlar. Çoğalmaları sonucunda oluşan bakteri flokları çökebilir boyutlara gelerek fiziksel ve kimyasal yöntemlerle giderilemeyen karbon, çökerek giderilebilecek bakteri floklarına dönüştürülür. Havalandırma havuzlarında oksijen konsantrasyonunu dengede tutmak amacıyla körükler, oksijenin havuz içindeki dağılımını ve karışımı için difüzörler ve havuz içindeki hareketi sağlaması için banana tip dalgıç mikserler bulunmaktadır. Havuz içerisinde yer alan oksijenmetre sayesinde düzenli olarak oksijen konsantrasyonu takip edilir ve oksijen gerekli olduğu durumlarda körüklere uygun sinyaller gönderilerek oksijen akışı sağlanmış olur. Toplamda 4 adet bulunan havalandırma havuzundaki suları 4 adet son çökeltme havuzuna eşit debiyle aktarılması için uygun bir dağıtım yapısı dizayn edilmiştir.

1.4.4. Son Çökeltme Havuzu

Havalandırma havuzlarındaki bakteri flokları savaklar yardımıyla dağıtım yapısından son çökeltme havuzlarına aktarılmaktadır. Son çökeltme havuzlarında yeterli sürede bekletilen bakteri flokları yer çekimi etkisiyle çökerek sudan ayrılır.

Floklar dipte çöklerken kirlilikten arındırılmış atıksu havuzun üst kısımlarında bulunan savaklarla alıcı ortamlara deşarjı sağlanır. Dipte çökeltilen çamurlar sıyrıcılar yardımıyla toplanır ve havalandırma havuzundaki bakteri konsantrasyonunun sabit tutulması için sisteme geri devir pompalarıyla geri devrettirilir. Nihai kapasite için 8 tane son çökeltme havuzu bulunmaktadır. Sistemden uzaklaştırılması gereken fazla çamur pompalar yardımıyla çamur susuzlaştırma ünitelerine gönderilir.

1.4.5. Çamur Susuzlaştırma Üniteleri

3 adet yoğunlaştırma ünitesine eşit debi ile gelmesi için dağıtım yapısı kullanılarak debi ayarlaması kontrol edilir. Çamur yoğunlaştırma havuzunda çamurun yoğunluk kazanması sağlanmaktadır. Yoğunluk arttırımını sağlamak için

kariştrici kullanılmıştır. Yoğunlaşan amur dibe çökelir ve sıyırıcılar yardımıyla merkezdeki çamur toplama konisine aktarılır. Konide biriken çamur pompalar yardımıyla şartlandırma haznesine debinin dengelenmesi için aktarılır. Burada belt-pres pompalarıyla çekilen çamur, susuzlaştırma işleminin gerçekleştiği ekipmanlara aktarılır. amurdan ayrıştırılan üst faz suları çevresel savaklar yardımıyla alınarak arıtma işlemine sokulmak üzere sistemin en başında yer alan dengeleme havuzuna gönderilir. Diğer susuzlaştırma sistemlerine göre daha az yatırım ve işletme maliyeti, kullanım kolaylığı ve daha az teknik eleman gerektirmesi sebebiyle belt filtre presli susuzlaştırma sistemi tercih edilmiştir. Tesiste toplam 6 adet yoğunlaştırma havuzu bulunmaktadır. Belt-pres filtre katı madde yükünün azaltımı ve çamur şartlandırma işlemi için polielektrolit ilavesiyle çalışır. Kek haline getirilen çamurlar katı atık olarak uzaklaştırılır.

1.5. Pıhtılaştırma – Yumaklaştırma

Dünyada yüzey suları da dahil olmak üzere evsel ve endüstriyel tipteki atıksular kendi ağırlıklarıyla çökelemeyen kolloidal ve askıda katı maddeleri ihtiva eder. Kendiliğinden ökelmeyen ve stabil halde bulunan bu maddelerin stabilitesinin bozulması ve çökelmesinin sağlanması için yapılan işlem koagülasyon (pıhtılaştırma) olarak adlandırılır. Flokülasyon (yumaklaştırma) işlemi ise pıhtılaşmış katı maddelerin floklar oluşturarak çökelebilir büyüklüğe ulaştırılması işlemidir.

Koagülasyon-flokülasyon prosesi su ve atıksularda askıda katı madde, zararlı bakteriler, renk, bulanıklık, tat, koku, anyonik ve organik bileşiklerin gideriminde kullanılır (şengül ve Küçükgül, 1995).

1.5.1. Kolloidal Sistem

Bir özücü içerisinde çözünmeyen maddenin ufak partiküller şeklinde ortamda homojenize olacak biçimde dağılmasıyla oluşan sistem kolloidal sistem

olarak adlandırılır. Sularda bulunan koloidal maddelerin ve partiküler maddelerin boyutları Çizelge 1.6'da verilmiştir (Faust ve Aly, 1983).

Çizelge 1. 6 Suda bulunan partikül ve koloidal maddelerin boyutları (Faust ve Aly, 1983).

Partikül	Çap (mm)	Yüzey Alanı (m ²)	Çökelme Süresi (saat)
Çakıllı Kum	10	3.14x10 ⁻⁴	8.3x10 ⁻⁵
Kaba Kum	1	3.14x10 ⁻³	8.3x10 ⁻⁵
İnce Kum	0.1	3.14x10 ⁻²	8.3x10 ⁻⁵
Silt	0.01	0.314	0.55
Bakteri	0.001	3.14	55
Kolloidler	10 ⁻⁴ – 10 ⁻⁶	3.17 - 28350	5520 - 551880

1.5.2. Kolloidlerin Stabilitesi

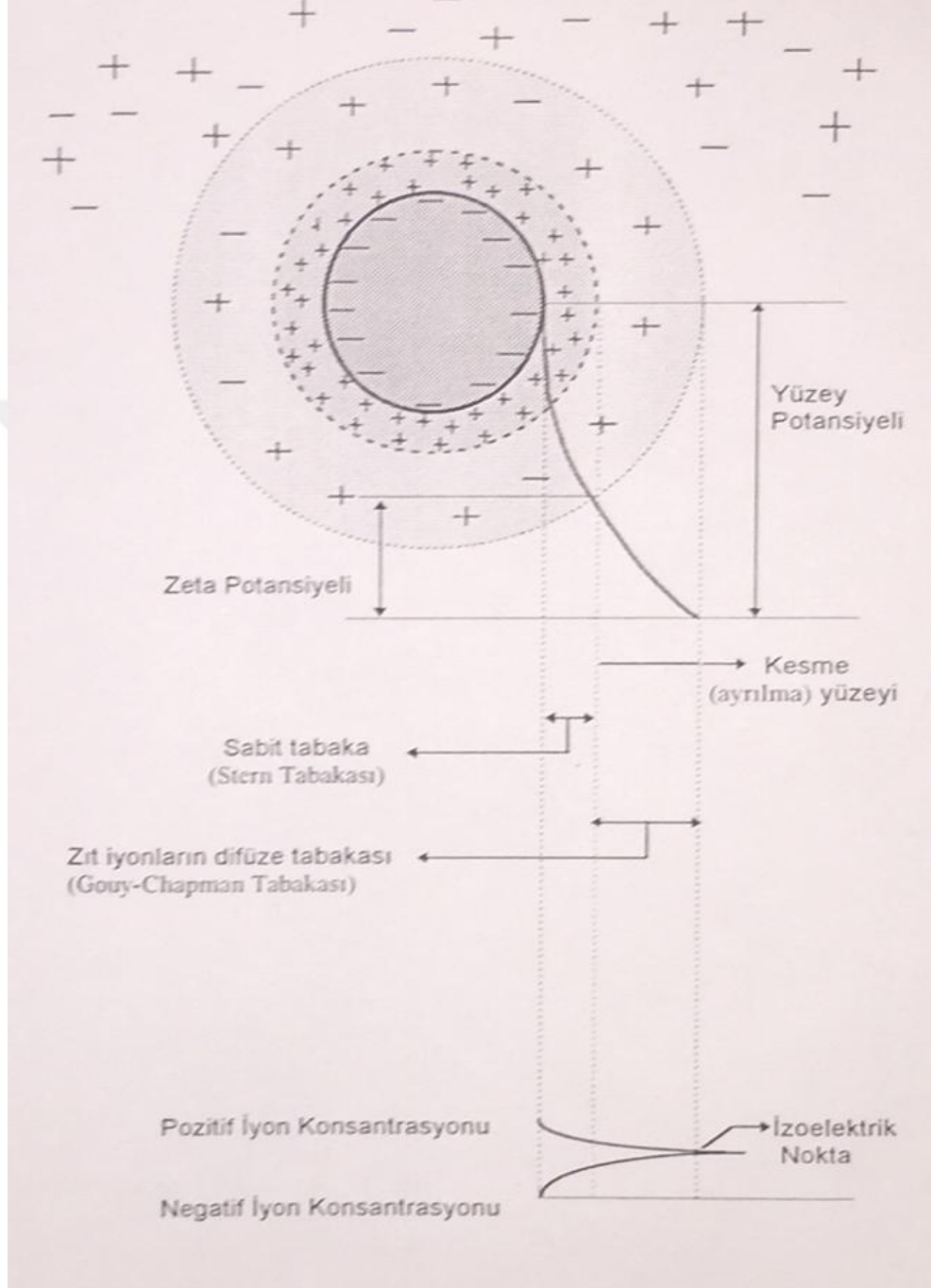
Koloidal tanecikler suyla etkileşim durumları açısından “suyu seven” (hidrofil) ve “suyu sevmeyen” (hidrofob) olarak iki gruba ayrılır. Hidrofil taneciklerin suya karşı olan bu ilgileri üzerlerindeki hidroksil (OH), karboksil (COOH) ve amin (NH₂) gibi polar gruplar sayesinde. Bu gruplar suda çözünerek etrafındaki su moleküllerini çekip yapışırlar. Taneciği saran bu su zarına bağlı su (hidratasyon suyu) denir. Bu su zarı içinde kalan tanecik stabil olarak tanımlanır (Şengül ve Küçükgül, 1995).

Hidrofob tanecikler ise suya ilgi duymayan kolloidlerdir ve sudaki iyonlardan dolayı oluşan partiküller arası elektrostatik itme kuvvetinden dolayı stabil halde kalırlar (Faust ve Aly, 1983).

Suda bulunan kolloid maddeler, moleküllerin uç kısımlarında yer alan reaktif grupların birbirinden ayrılması ya da iyonların partikül yüzeyinde adsorplanmasıyla oluşan ve primer yük olarak adlandırılan bir elektriksel yükü taşıyıcıdır. Koloidal maddelerin büyük bir miktarının sahip olduğu primer yükleri negatiftir. Kolloidlerin birincil yüklerinin büyüklüğü ve işareti sıvı fazın

iyon içeriği ve pH'ı ile doğrudan alakalıdır (Şengül ve Küçükğül, 1995). Negatif yükü dolu küresel bir partikülün çevresinde yer alan benzer ve zıt iyonların dağılımları Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Faust ve Aly, 1983).





Şekil 1.2. Negatif Yüklü Küresel Bir Partikül Etrafındaki Benzer ve Zıt İyonların Dağılımı (Faust ve Aly, 1983)

Pozitif ya da negatif yük barındıran bir kolloidal taneciğin taşıdığı elektriksel yüke zıt iyonlar taneciğin etrafında toplanır ve stabil bir katman oluşturur. Bu katman sabit tabaka (stern tabaka) olarak adlandırılır. Bu tabakanın dışında kalan tanecikle benzer ve zıt yüklü iyonlardan oluşan başka bir tabaka bulunur ve bu tabakaya difüze çift tabaka ya da Gouy – Chapman tabakası denir. Partikül yüzeyinden uzaklaştıkça negatif ve pozitif yükler birbiriyle eşitlenmeye başlar. Yük miktarlarının eşitlendiği nokta izoelektrik nokta olarak adlandırılır ve bu noktanın potansiyel değeri sıfıra eşittir. Kesme yüzeyi olarak adlandırılan ve ayrılma düzlemini karakterize eden bölgede tanecikle birlikte hareket eden ve etmeyen sıvı tabakalar arasında meydana gelir. Sıvı ortam ile kolloid yüzeyi arasındaki potansiyel fark yüzey potansiyeli olarak tanımlanır. Zeta potansiyeli ise sıvı ortam ile kesme yüzeyi arasındaki potansiyel fark olup, çift tabaka kalınlığı ve partikül yükü ile doğrudan ilgilidir. Kolloidal tanecikler aynı elektriksel yüklere sahip olduklarında birbirlerini itmelerine sebep olan ve mesafeye ters orantılı olarak değişen bir kuvvet gösterirler. Çekme kuvvetleri ise Brownian hareketleri ile Van der Waals kuvvetlerinden kaynaklanan kinetik enerjiyle ortaya çıkar. Temas yüzeyindeki itme ve çekme kuvvetlerinden oluşan enerjinin toplanması kolloidal sistemin net stabilitesinin hesabı için kullanılır.

1.5.3 Kolloidlerin Destabilizasyonu (Pıhtılaştırma)

Kendi ağırlığı ile çökelemeyen kolloidal maddelerin çeşitli kimyasallarla stabilitesinin bozularak çökelebilecek duruma getirilmesi işlemidir. Koagülasyon-flokülasyon proseslerinde koagülasyon safhasında gerçekleşen destabilizasyon, çift tabaka sıkıştırılması, adsorpsiyonla yük nötralizasyonu ve çökelek içinde tutma gibi çeşitli mekanizmalara sahiptir.

Çift Tabaka Sıkıştırılması

Atıksuya ihtiva edilen zıt yüklü iyonlar çift tabakaya girerek zıt yüklü iyonların konsantrasyonunun artmasına ve çift tabaka kalınlığını düşürüp zeta

potansiyelinin azalmasına sebep olur. Bu şekilde aynı elektriksel yüklü taneciklerin kendi aralarında uyguladıkları itme kuvvetleri azalarak destabilizasyonu oluşturur. Çift tabaka kalınlığı spesifik olmayan elektrolitlerin değerlik ve konsantrasyonu ile ters orantılıdır (Eckenfelder, 1989).

Kolloidlerin destabilizasyonunda elektrolitlerin iyon değerlerinin önemi ilk kez 1882 yılında Shultz tarafından ortaya atılmıştır (Hıraman ve Tüzün, 1995). Shultz-Hardy kuralı olarak adlandırılan ve zıt yüklü iyonların değerlik etkisini belirten kurala göre taneciklere etki eden iyon değerlikleri arttıkça zeta potansiyeli azalır. Buna göre çift tabakanın etkin kalınlığının azaltılması için 3 değerlikli iyonlar, 1 ve 2 değerlikli iyonlara göre daha az konsantrasyon gerektirir (Faust ve Aly, 1983).

Adsorpsiyonla Yük Nötralizasyonu

Koagülasyon işleminde ortama ilave edilen zıt yüklü iyonlar hızlı karıştırmanın etkisinde kolloid maddelerin yüzeylerini katyonlarla çevreler. Gözle görülür büyüklükteki floklar oluşmadan önce gerçekleşen bu olayda oluşan floklar hidrojen (H^+) adsorpsiyonundan dolayı asidik ortamda pozitif yüklenirler ve mikroflok olarak adlandırılırlar. Mikroflokların artmasıyla atıksudaki kolloid maddeleri çevreleyip nötralize ederek zeta potansiyelini azaltır ve tanecik destabilize edilmiş olur. Zeta potansiyelinin sıfıra ulaştığı noktada optimum pıhtılaşma gerçekleşir ve bu noktaya izoelektrik nokta adı verilir (Eckenfelder, 1989).

Adsorpsiyonla yük nötralizasyonu ve çift tabakanın sıkıştırılması yöntemleri arasında uygulama açısından önemli farklar vardır. Öncelikle kolloid üzerine adsorbe olan zıt yüklü iyonlar konsantrasyonları çok düşük miktarda olsa bile bu tanecikleri destabilize edebilirler. Adsorpsiyon yöntemi stokiometrik olarak gerçekleşir ve bu yüzden ihtiyaç duyulan koagülant miktarı kolloid konsantrasyonuna bağlı doğru orantılı bir şekilde artış gösterir. Son olarak, su ortamına ihtiyaç duyulduğundan fazla koagülant madde eklendiğinde önceden

stabil hale geçmiş kolloidler zıt yüklü iyonların miktarının artmasıyla elektriksel yük değiştirerek tekrar stabil hale geçebilirler (Duran ve Demirer, 1997).

Çökelek İçinde Hapsetme

Alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3$] ve demir klorür ($FeCl_3$) gibi +3 değerlikli metal tuzları suya ilave edildiğinde metal hidroksit yapısında bir tortu oluşur. Kolloidler bu tortuların ya çekirdeğini oluşturarak destabilize olurlar ya da tortu yığınları içinde kalarak destabilize olurlar (Duran ve Demirer, 1997).

1.5.4. Yumaklaştırma Mekanizması (Flokülasyon)

Koagülasyon işlemiyle stabiliteyi bozulmuş taneciklerin birbirine çarparak büyük ve çökebilir floklar haline gelmesi yumaklaştırma işlemi olarak tanımlanmaktadır. Stabilitesi bozulmuş partiküllerin yumaklaştırılmasında perikinetik, ortokinetik ve çökme hızları farkından dolayı yumaklaşma şeklindeki mekanizmalar etkindir (Faust ve Aly, 1983).

Perikinetik Yumaklaşma

Partiküller sahip oldukları termal enerjiden dolayı sürekli hareket halindedir. Brownian hareketi olarak adlandırılan bu hareket sonunda meydana gelen yumaklaşmalar perikinetik yumaklaşma olarak adlandırılmaktadır. Perikinetik yumaklaşmada zamanla tanecik sayısındaki azalmanın tanecik sayısının karesiyle doğru orantılı olduğu ifade edilmiştir (Faust ve Aly, 1983; Eroğlu, 1991).

Ortokinetik Yumaklaşma

Karıştırma sonucu meydana gelen hız gradyanından kaynaklanan bağlı hareketin termal etkiden kaynaklı hareketi aşarak ortokinetik yumaklaştırmayı meydana getirir (Faust ve Aly, 1983). Ortokinetik yumaklaşmada tanecik sayısındaki azalma, tanecik sayısı, tanecik çapı ve hız gradyanı gibi etkenlere bağlıdır.

1.5.5. Koagülant Olarak Kullanılan Maddeler

Su ve atıksu arıtımında genellikle en çok kullanılan koagülant türü alüminyum sülfat [$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$]'tır. Alüminyum hidroksit genellikle $Al_2O_3 \cdot xH_2O$ kimyasal formunda ve amfoter bir yapıda bulunmaktadır. Bu yüzden hem asit hem de baz gibi davranış gösterebilir. Alüminyum hidroksit flokları minimum çözünme durumuna yaklaşık pH 7 de gösterir. PH 7.6' nın altında pozitif yüklü floklar oluştururken 8.2'nin üstünde negatif yüklü floklar oluşturur (Eckenfelder, 1989)

Koagülasyon işleminde yaygın olarak tercih edilen koagülant maddelerden biri de demir tuzlarıdır. Ancak kullanımın ekonomik olmaması büyük bir dezavantaj oluşturmaktadır. pH 3 ile 13 arasında demir hidroksit çözünmeyen formda bulunmaktadır (Eckenfelder, 1989). Buna karşın demir hidroksitler için izoelektrik nokta pH 8 civarında bulunmuştur (Şengül ve Küçükgül, 1995).

Kireç genel olarak bir koagülant sayılmamakla birlikte bikarbonatlarla (HCO_3^-) reaksiyona girdiğinde kalsiyum karbonat çökeleğini ($CaCO_3$) oluşturur. Bunun yanında orto-fosfatlarla reaksiyonunda kalsiyumhidroksilapatit çökeleğini meydana getirir.

Koagülasyon – flokülasyon işleminin verimli gerçekleşmesinde ortamdaki magnezyum hidroksit [$Mg(OH)_2$] çökeleklerinin bulunması da etkin bir rol oynamaktadır. Magnezyum hidroksit yüksek pH'larda iyi bir şekilde çökeltme gösterir (Eckenfelder, 1989). Çizelge 1.7'de koagülant olarak kullanılan maddeler gösterilmiştir (Eroğlu, 1991).

Çizelge 1. 7 Koagülant Olarak Kullanılan Maddeler (Eroğlu, 1991)

Koagülant Cinsi	Formül	Molekül Ağırlığı	Özelliği
Alüminyum Sülfat	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	666	Asidik
Sodyum Alüminat	$NaAlO_2$	82	Alkali
Demir (II) Sülfat	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	278	Asidik
Demir (III) Sülfat	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$	562	Asidik
Demir Klorür	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270	Asidik
Sönmüş Kireç	$Ca(OH)_2$	74	Alkali
Sönmemiş Kireç	CaO	56	Alkali

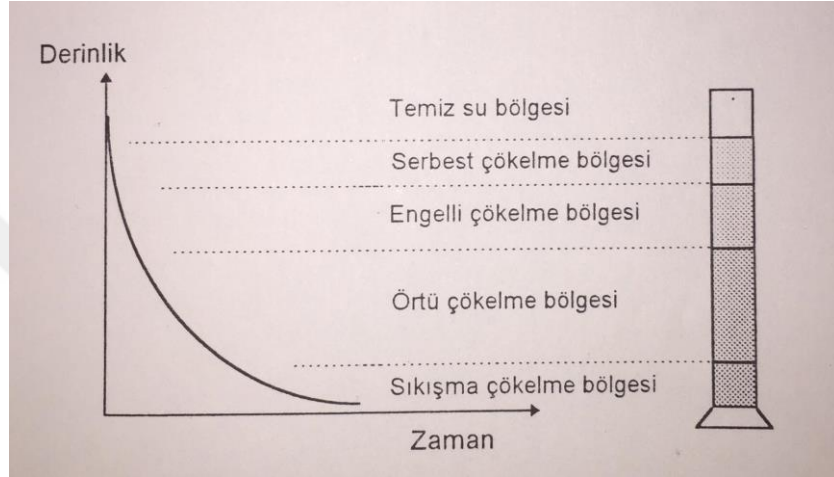
Koagülasyon – Flokülasyon işleminde bazı kimyasal maddeler flokların daha hızlı büyümesine dolayısıyla hızlı çökelen flok oluşumuna sebep olur. Bu şekilde koagülasyon – flokülasyon prosesinin hızı ve verimi artar. Bu süreci hızlandırmak için kullanılan polielektrolitler, yüklü flok tanecikleri veya partiküller arası köprü teşkil eden ve adsorplanabilen gruplar içeren yüksek molekül ağırlığına sahip polimer gruplarından oluşur. Küçük dozlardaki (1-5 mg/L) polielektrolitlerin Al ve Fe tuzları ile kullanılmasıyla iri floklar (0.3-1mm) meydana gelir. pH'tan önemli bir şekilde etkilenmeyen polielektrolitler kolloid üzerindeki yüklerin azaltılmasıyla tek başlarına koagülant özelliği gösterebilirler. Katyonik, anyonik ve noniyonik olmak üzere 3 gruba ayrılırlar (Eckenfelder, 1989).

1.6. Çökeltme

Çökeltme (sedimentasyon) sudaki askıda katı maddelerin ve sudan ağır katı taneciklerin kendi ağırlıkları ve yerçekimiyle birlikte sıvı ortamdan ayrıştırılması işlemidir. Askıda katı madde içeren bir atıksu, hareketsiz bir ortama bırakıldığında sudan hafif olan partiküller sıvı içinde yükselirken ağır olanlar çöker. Sularda ve atıksulardaki partiküllerin büyük bir kısmı yumaklaşan yapıda olduklarından münferit partikülleri esas alan klasik çökeltme teorisi tamamen geçerli değildir.

1.6.1. Çökeltme Tipleri

Yumaklaşan partiküller genellikle dört farklı şekilde çökeltirler. Bir aktif çamur süspansiyonunun çökeltmesinde etkili olan çökeltme tipleri Şekil 1.3'de verilmiştir (Metcalf ve Eddy, 1991).



Şekil 1.3. Aktif Çamur Süspansiyonunun Çökeltme Bölgeleri (Metcalf ve Eddy, 1991).

Serbest Çökeltme

Bu tip çökeltmede partiküller arasında herhangi bir etkileşim oluşmaz. Her partikül tek başına çökeltirken çökeltme sırasında partikülün özgül ağırlığı, şekli ve boyutunda bir değişiklik meydana gelmez. Partiküllerin çökeltmesi klasik çökeltme teorisine göre gerçekleşir. Özellikle askıda katı madde konsantrasyonunun az olduğu durumlarda gözlenir (Duran ve Demirer, 1997).

Engelli Çökeltme

Askıda katı maddeler çökeltmeye başladıkları esnada birbirleriyle birleşerek küçük kütleler haline gelirler. Çökeltme hızı tanecik çapının karesiyle doğru orantılı olduğu için tanecik çapı büyük olan partiküller küçük olanlara göre daha hızlı bir şekilde çökeltir (Egolf ve McCabe, 1997). Bunun yanısıra partikül çapı

büyümesiyle birlikte partikül ile yer değiştiren su kütlelerinin oluşturduğu hareket artarak çökme hızında azalmalara neden olur. Belirli bir noktadan sonra ise partikül sabit bir hızla çökmeye başlar (Uslu ve ark, 1994).

Örtü Çökmesi

Tanecik konsantrasyonlarının çok yüksek olduğu durumlarda, birbiriyle etkileşime giren parçacıklar karakteristik olarak birbirinden farklı ve birden fazla kümeler oluştururlar. Bu kümelerin çökme hızları tekil durumdaki taneciklerin çökme hızlarından daha azdır. Bunun sebebi ise çökelen kümenin çökme sırasında yukarı ittiği akışkanın kütsel olarak daha büyük olması ve akışkan hareketin partikülün aşağı yöndeki çökme hareketini engellemesidir. Bu tip çökmede hız taneciğin büyüklüğü ile konsantrasyonunun bir fonksiyonudur (Weslind, 1965).

Sıkışma Çökmesi

Askıda katı madde konsantrasyonunun oldukça fazla olduğu şartlarda görülen bu tip çökmede tanecikler çökme sırasında birbirlerinin üzerine binerek daha büyük ve daha ağır floklar oluştururlar. Üstteki kümelerin alttaki kümeleri sıkıştırması sonucunda alt kümelerde bulunan tanecikler arasındaki sıvı dışarı atılır. Tanecikleri destekleyen kuvvet, bazen mekanik bazen de hidroliktir (Handley, 1974).

Partiküllerden farklı olarak yumaklaşan bir süspansiyonda çökme hızının hesaplanması için teorik bir ifade geliştirmek oldukça zor olmasına karşın deneysel yollarla elde edilebildiği ve yolun bir fonksiyonu olarak belirtildiği Bond (1965) tarafından bildirilmiştir.

1.6.2. Çökmeye Etki Eden Faktörler

Suyun ısınmasına bağlı olarak küçük taneciklerin çökme hızları artmaktadır. Buna karşılık büyük boyutlu taneciklerin çökme hızı küçük

taneciklere göre sıcaklıkla önemli bir değişiklik göstermez (Bond, 1961). Çökme viskoziteye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sıcaklığın da viskoziteyle ters orantılı olarak değiştiği göz önüne alınırsa sıcaklık arttıkça çökme hızı artmaktadır. (Uslu ve ark, 1994).

Özellikle sıvı ortam pH'ı kolloid yapıdaki süspansiyonların stabil hale geçmesinde oldukça önemli bir görev üstlenir. pH'ın değişmesinden dolayı elektriksel yük dengesinin değişiklik göstermesi kolloidlerin yumaklaşmasını etkiler. Bu sayede partikül çapları büyür ve çökme hızı artar (Faust ve Aly, 1983).

Türbülansın etkisi göz önüne alındığında hidrolik veya mekanik karıştırma doğrudan hız gradyanını etkileyeceğinden oluşacak türbülans partiküller arası çarpışma miktarını artırıp birleştirmeyi çoğaltacaktır. Ancak karıştırma veya türbülans çok fazla olursa oluşan flokların yapısı bozulup tekrar parçalanmaya başlar. Çökme havuzlarında bu yüzden fazla türbülans çökmeyi olumsuz yönde etkiler (San, 1984). Genel olarak dikkatli bir karıştırma kolloidal maddelerin çökmesinde önemli rol oynamaktadır.

Evsel atıksuların kullanıldığı çalışmalar incelendiğinde çökelebilen katı madde oranı fazla olan yüksek konsantrasyonlarda çökme veriminin oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir (Tebbut ve Christoulas, 1975). Buna ek olarak 1948 yılında yaptığı çalışmada Kalinske, konsantrasyonun artması durumunda başlangıçtaki çökme hızının yavaş olduğu sonucuna ulaşmıştır.

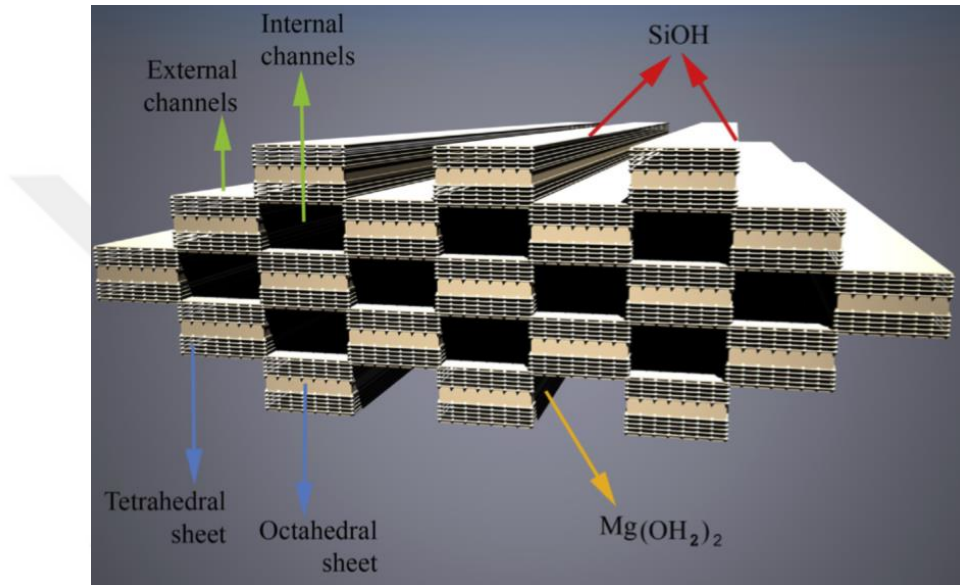
1.7. Sepiyolit

1.7.1. Sepiyolitim Kristal Yapısı ve Özellikleri

Sepiyolit ($\text{Si}_{12}\text{O}_{30}\text{Mg}_8(\text{OH})_4(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) lifli bir morfolojik yapıda magnezyum silikat içeren ve yüksek yüzey alanına sahip, su barındıran nano boyutlu kanallardan oluşan doğal bir kil mineralidir (Murray, 1999; Miura ve ark, 2012; Özcan ve Gök, 2012; Suarez ve Garcia-Romero, 2012). Sepiyolit ortorombik kristal sistemine sahiptir ve formu mikroskobik yapıdadır. Sepiyolitın genel yapısı

demir, nikel, alüminyum ve bakır iyonlarıyla değişebilen magnezyum iyonları içerir (Chuppina, 2008).

Şekil 1.4'te sepiyolitın lifli yapısındaki bloklar ve tünellerin genel durumu gösterilmektedir (Soheilmoghaddam ve ark, 2014).



Şekil 1.4 Sepiyolitın Şematik Yapısı (Soheilmoghaddam ve ark, 2014)

Her blok merkezi magnezyum oksit ya da magnezyum hidroksit tabakasını çevreleyen iki tane tetrahedral silika tabakadan oluşur (Brauner ve Preisinger, 1956; Vico, 2003; Alkan ve ark, 2005; Okte ve Sayınsöz, 2008).

Sepiyolit mineral yapısına üç tip aktif sorpsiyon bölgesi dahildir;

- ❖ Tetrahedral şerit tabaka üzerindeki oksijen iyonları.
- ❖ Su moleküllerine koordine edilmiş magnezyum (Mg) iyonları.
- ❖ Fiber eksen boyunca dizilmiş SiOH grupları (Lemic ve ark, 2005).

Sepiyolit doğada iki değişik formda çökelmektedir. İlk olarak amorf yapıda kompaktlar oluşturarak yumru şeklinde görülen α -sepiyolit ikinci olarak ise amorf agregalar ya da küçük, yassı ve yuvarlak partiküller şeklinde görülen β -sepiyolittir (Fersman, 1913). α -sepiyolit "lületaşı" olarak bilinen ticari anlamda işlenmeye elverişli sepiyolit türüdür. β -sepiyolit ise doğada katmanlaşmış yataklar halinde bulunur ayrıca fiziksel yapısı ve kimyasal içerik açısından lületaşı arasında bazı farklılıklara rastlanır. Lületaşı 4-5 μm uzunlukta 0,2 μm kalınlıkta ve elyafı bir yapıdan oluşurken endüstriyel sepiyolit ise elyaf içeriği az ve pulcuklar halinde görünür. Eskişehir yöresinde bulunan lületaşı ve endüstriyel sepiyolit kimyasal içeriği Çizelge 1.8'de gösterilmiştir (Sarıız ve Nuhoğlu, 1992).

Çizelge 1. 8. Lületaşı ve endüstriyel sepiyolit % bileşenleri (Sarıız ve Nuhoğlu)

Bileşenler	Eskişehir Sarısu (Lületaşı)	Eskişehir Kepeztepe (Endüstriyel)	Eskişehir Yörükçayır (Endüstriyel)	Eskişehir Sivrihisar-Tatarköy (Endüstriyel)
SiO	60,41	58,65	55,24	54,04
MgO	27,75	18,14	24,79	20,69
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	0,75	4,14	2,15	2,85
Fe ₂ O ₃	0,02	2,86	1,05	1,08
CaO	0,16	2,93	2,44	0,19
K ₂ O	-	-	-	0,69
Na ₂ O	-	-	-	0,11
Kızdırma Kaybı	10,62	13,14	14,33	20,03
Toplam	99,71	99,86	100,00	99,68

İnce taneli, toprağımsı bir yapıya sahip endüstriyel sepiyolit, genelde beyaz, gri, kahverengi, pembemsi beyaz, sarımtırak beyaz ve yeşilimsi sarı, renklerinde görülebilmektedir. Saflık derecesine göre renk değişiklikleri görülen endüstriyel sepiyolitlerde saflık ne kadar fazlaysa renk beyaza yaklaşır. Lületaşı ise daha beyaz renktedir nemli iken daha kolay işlenebilir ancak higroskopik ve zeolitik suyunu kaybedince sepiyolit sertleşir ve işlenmesi güç bir hal alır.

Endüstriyel sepiyolit suda kolayca dağılılabılırken lületaşı su üzerinde kalma özelliği gösterir (Yeniol, 1992).

Endüstriyel sepiyolit fiziksel özellikleri Çizelge 1.9'da verilmiştir (İrkeç, 1991).

Çizelge 1. 9. Endüstriyel Sepiyolit fiziksel Özellikleri (İrkeç, 1991).

Yapı	Lifi ve Toprağımsı
Görünüm	Kaygan
Renk	Beyaz, krem, kahverengi, gri veya pembe, açık sarı
Lif Boyutları	
Uzunluk	100 Å -3 ile 5 µm
Genişlik	100-300 Å
Kalınlık	50-100 Å
Gözenek Boyutları	
Mikropor çapı	15 Å
Mezopor yarıçapı	15-45 Å
Yoğunluk	2 - 2,5 g/cm ³
Sertlik (Mohs'a göre)	2 - 2,5
Kırılma İndeksi	1,50
Kuruma Sıcaklığı	40°C
Erime Sıcaklığı	1400°C - 1450°C

Sepiyolit katyon değişim kapasitesi oldukça düşüktür ve oluşum bölgesine bağlı olarak 100 gr sepiyolit başına katyon değişim kapasitesi 20 - 45 meq arasında değişiklik gösterir. Katyon değişim kapasitesi sepiyolit bünyesinde bulunan silisyumun +3 değerlikli katyonlarla yer değiştirmesi sonucunda ortaya çıkan ve çoğunlukla kristal içi yer değişimiyle dengelenen elektriksel yük ihtiyacına, ayrıca lif kenarlarındaki kopan bağların bulunmasına bağlıdır. Kopan kimyasal bağlar daha iyi kristalleşme gösteren sepiyolitlerde katyon değişim kapasitesinin temel etkenidir (Jones ve Galan, 1988). Katyon değişim kapasitesinin kullanılan iyonların iyonik büyüklüklerinden bağımsız olması grupların dış yüzeyde

bulunduğunun göstergesidir. Eskişehir sepiyolitinin değişim kapasitesi 27 meq/100 gr'dır (Çetişli, 1988).

1.7.2. Türkiye’de Sepiyolit Rezervleri ve Üretimi

Rezervler

Ülkemizde sepiyolit oluşumları Eskişehir ve Konya ilimizde görülürken, en fazla ve ekonomik değeri yüksek olanlar Eskişehir ilinin yakın çevresinde bulunur. Eskişehir’deki sepiyolit rezervlerinin büyük bir kısmını doğusunda yer alan Sarısu, Margı, Sepetçi, Kayı, Gökçeoğlu ve Türkmentokat bölgesi kapsarken batısında ise Nemli-Dutluca bölgeleri önemli rezervlerini barındırır. Çizelge 1.10’da Eskişehir’deki lületaşı rezervleri yer alırken Çizelge 1.11’de endüstriyel sepiyolit rezervleri verilmiştir.

Çizelge 1. 10. Eskişehir ili bazı lületaşı rezervleri (Anonim, 2001)

BÖLGE	REZERV (Mümkün)	
	Sandık	Ton
Sarısu Bölgesi	460.000	5.520
Kayıköyü Bölgesi	853.000	10.236
Gökçeoğlu Bölgesi	50.670	608
Toplam	1.363.670	16.364

Çizelge 1. 11. Eskişehir ilindeki bazı endüstriyel sepiyolit rezervleri (Can, 1992)

BÖLGE	REZERV (Mümkün, ton)
Yörükçayır	4.680.000
Kepeztepe	3.200.000
Çerkezkireç	32.000.000
Söğütlük	16.800.000
TOPLAM	56.680.000

Üretim

Ülkemizdeki endüstriyel sepiyolit üretimi Eskişehir-Sivrihisar güneyinde yer alan Neojen havzası ile İlyaspaşa ve Yenidoğan köyleri civarında bulunan maden ocaklarında yürütülmektedir. Bununla birlikte Günyüzü – Kayakent civarlarında da sepiyolitli dolomit üretimi mevcuttur (DPT, 1996).

Çıkrık yöntemi adı verilen yöntem ile lületaşı bulunan bölgelerde zemine tahkimatsız bir kuyu ile inilerek dar galeriler oluşturulur. Bu galerilerde iki veya üç kişilik ekipler halinde çalışmalar gerçekleştirilir. Son yıllarda madencilikte teknolojik gelişmelerin artmasıyla birlikte bir ya da iki kompresör kullanarak kuyu-galeri sisteminde 5 ila 10 işçi çalıştırılabilmektedir. Galeri sisteminde derinlere doğru inildikçe yeraltı suyu ve çalıştırılan kompresör ve pompalar için enerji ihtiyacı artacağından maliyetleri yükseltmektedir. Açık işletme yönteminde kazma işlemleri 5 metre derinliğe kadar kepçe ve dozerlerle gerçekleştirilmektedir ancak derinliğin arttığı durumlarda madencilik oldukça zorlaşmaktadır (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992; Anonim, 2001).

Çıkarılan lületaşı yumruları, ocaklarda nemli bir ortamda üzerleri ıslak çuvallarla örtülerek bekletilir ve bünyesindeki suyu kaybetmemesi sağlanır. Daha sonra sepiyolitler kırma, eleme ve fırınlama işlemlerine tabi tutulur. Parlatma ve tasnif aşamasından sonra yarı ürün haline getirilen lületaşı tane boyutlarına göre gruplara ayrılarak kullanılacakları atölyelere satılır.

1.7.3. Sepiyolitin Kullanım Alanları

Sepiyolit, gözenekli ve lifsi yapısı, fiziko-kimyasal aktivitesi ve yüksek yüzey alanına sahip olması gibi özellikleri sayesinde adsorban özellikli killer arasında yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Sepiyolitin teknolojik uygulamalarına yönelik çalışmaları gerek akademik gerekse teknik düzeyde yürütülen çalışmalarla, araştırma enstitüleri ve üniversitelerin ilgili bölümlerinde yoğunlaşarak sürdürülmektedir. Sepiyolitin genel olarak başlıca kullanım alanları aşağıdaki alt bölümlerde verilmiştir.

Adsorban ve Absorban Olarak Kullanımı

Sepiyolit lifli ve gözenekli yapısı sayesinde son derece yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahiptir ve kendi ağırlığının yaklaşık 200-250 katı kadar su tutabilmektedir. Adsorpsiyon uygulamalarında granüllerin tane boyutu, adsorplanan sıvının kimyasal özellikleri ve mekanik dayanımı kadar, aktif sorplama merkezi, yüzey alanı, mikro gözenekler, kapiler yapı gibi kil karakteristik özellikleri de oldukça büyük rol oynar. Sepiyolit 15 ila 45 Å arasında değişen gözenek çapına sahiptir. Teorik olarak 400 m²/g dış yüzey, 500m²/g iç yüzey alanı tespit edilmiştir. Yüzey alanı hesaplamalarında kristal içi kanallara gönderilen gaz moleküllerinin çapı, şekli ve polaritesi ölçümlerde fark yaratacağından bu gibi farklılıklar mutlaka belirtilmelidir (İrkeç, 1993; Galan, 1996).

Absorpsiyon daha çok sıvı yoğunluğu, viskozite ve granüllerin kapiler emmesini belirleyen yüzey gerilimine bağlıken adsorpsiyon boyut, şekil ve adsorplanan partiküllerin polarlığına bağlıdır. Sepiyolit, su ve amonyum gibi polar moleküller ile polar olmayan bazı bileşikler ve metil - etil alkollerini adsorplayabilmektedir. Ancak polar olmayan bileşiklerin adsorpsiyonu söz konusuysen adsorplama dış yüzeyle sınırlı kalıp, tutulan maddenin boyutuna ve şekline bağlıdır. Bu yüzden büyük molekülü ya da düşük polarlığa sahip partiküller kanallar içine difüzenemediğinden yüzey alanının %40-50'sine denk gelen dış yüzeylerde adsorplanır.

Sepiyolit 300°C'nin üzerine ısıtıldığında yapısal değişikliklere ve gözenek bozulumuna bağlı olarak sorpsiyon kapasitesini kaybeder. 500°C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise liflerin sıklaşmasından dolayı gözenek ve yarıçaplarda azalmaya neden olur böylece sepiyolit'in yüzey alanı azalmış olur. Sepiyolit'in genleşme özelliği yoktur (İrkeç, 1993; Galan, 1996).

Montmorillonit grubu killerde olduğu gibi değişebilen katyon özelliğine sahip olan sepiyolitte yer değiştirme miktarı düşük olmasına karşın kanallı yapısı nedeniyle bünyesindeki bütün aktif bölgeler, bulunduğu sulu çözeltideki iyon ve

molekülleri adsorplayabilecek durumdadır. Hem organik maddeleri hem de diğer iyonları adsorplama özelliği göstermektedir. Sepiyolit yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasında önemli rol oynayan aktif bölgelerine bakıldığında:

- Dörtüzlü tabakada izomorf değişimler az olduğundan, zayıf elektron vericisi olarak etki ederek adsorplanan moleküllerle zayıf bir etkileşim oluşturabilir.
- Sepiyolit bünyesinde bulunan Mg iyonları iki adet su molekülü ile çevrelenmiştir. Bu moleküller asimetric olup her molekülün protonu komşu yapıdaki oksijenlerle hidrojen bağı kurar (Demirci ve ark, 1995)
- Blokları birbirine bağlayan uçtaki Si-O-Si gruplarının kopması ile oluşan yük fazlalığını H^+ veya OH^- iyonlarının bağlanarak dengelenmesiyle sepiyolit yüzeyinde silanol (Si-OH) grupları oluşur. Silanol gruplarının oluşması lif boyutuna ve kristal unsurlarına bağlı olup asidik işlemlerle artar. Bu gruplar organik moleküllerle etkileşime girerek kovalent bağ oluşturabilirler (Serratos, 1979; Akyüz ve ark, 1991; Galan, 1996).

Sepiyolit adsorpsiyon özelliklerinden kaynaklı başlıca kullanım alanları şu şekildedir:

- Çiftlik ve ahırlarda koku giderici olarak,
- Sıvı fazda nötrale yakın pH'a sahip olmasından dolayı tarım ve böcek ilacı taşıyıcısı olarak,
- Madeni ve bitkisel yağlar ile parafinlerin rafinasyonunda,
- Atıksu arıtma sistemlerinde,
- Sigara filtreleri ve karbonsuz kopya kağıtlarında,

- Sindirim sistemi ile ilgili ilaçlar ile toksin ve bakteri emici formülasyonlarda,
- Deterjan ve temizlik maddelerinde kullanılmaktadır (Chambers, 1959; İrkeç, 1993 ve 1995; Gonzales, 2001).

Katalitik Uygulamaları

Sepiyolitın yüksek yüzey alanı, mekanik ve ısı dayanımı gibi özelliklerinden dolayı katalizör taşıyıcı olarak kaolin ve smektit grubu mineraller yerine tercih edilmektedir.

Kil minerallerinin katalitik aktivitesi, yüzey aktivitelerinin bir fonksiyonu olup sepiyolit yüzeyindeki silanol gruplarının katalizör veya tepkime merkezi olarak davranmasının temel nedenidir. Ayrıca yüzeydeki silanol gruplarının belli derecede asit özelliğe sahiptir. Sepiyolitın asitle işleme konulması adsorplanmış katyonların uzaklaştırılmasına ve yüzey alanının artmasına neden olurken gözenek dağılımı ve kristal yapısını da etkilemektedir (İrkeç, 1993; Galan, 1996). Sepiyolitın başlıca katalitik uygulamaları şunlardır:

- Katalitik seramik filtre üretimi (Otomobil eksozları, fabrika bacaları vb.)
- Metanolden hidrokarbon eldesi
- Etanolden bütadien eldesi
- Sıvı yakıtların hidrojenasyonu
- Olefinlerdeki doymun olmayan C=C bağlarının hidrojenasyonu (İrkeç, 1993).

Reolojik Uygulamaları

Sepiyolitın elektron mikroskobu altında yapılan incelemelerinde, iğne şeklindeki tanecik yığınları yapısında olduğu ve geniş lif kümeleri oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu lif yığınları suda ya da diğer çözücülerde dağılarak sıvıyı

bünyelerine hapsederler. Bu sayede süspansiyonun viskozitesi artmış olur. Bu tip sepiyolit süspansiyonları Newton yasasına uymayan davranış gösterirler. Bu durum süspansiyonun konsantrasyonu, elektrolitin bileşimi, pH, itme ve çekme gerilimi gibi birçok parametreyle alakalıdır (Alvarez, 1984). Sepiyolit reolojik özellikleri nedeniyle kullanıldığı alanlar şunlardır:

- Sepiyolit elektrolit varlığına minimum hassasiyet göstermesi, tuzlu ortamlarda bentonit zeolit gibi diğer killere göre daha duyarlı davranması nedeniyle petrol sondajlarında sondaj çamurlarında,
- Çözelti kalınlaştırıcı ve tiksotropik özelliklerinden dolayı boya, gres yağı, asfalt kaplamaları ve kozmetik ürünlerde,
- Tohum kaplama ve gübre süspansiyonlarında düzenleyici olarak tarım sektöründe,
- Bağlayıcı özelliğinin yüksek olması katalizör taşıyıcı pelet ve tablet olarak eczacılıkta,
- Tuğla ve seramik ürünlerinde,
- Kağıt, mukavva, duvar ve filtre kağıdı üretiminde kullanım alanı bulmaktadır (İrkeç, 1993).

Dolgu Maddesi Olarak Kullanımı

Geniş yüzey alanı, silanol ve siloksan grupları içermesi sebebiyle elastik özellik gösteren maddelerin varlığında belirli bir noktaya kadar aktivitesini sürdürebilir ve yarı kuvvetlendirici bir dolgu maddesi gibi davranır. Ucuz bir aktifleştirici ile birlikte kullanıldığında diğer dolgu maddelerine göre daha iyi mekanik özelliklere sahiptir. Vulkanize kauçuk eldesine oldukça yatkın bir katkı maddesidir (Alvarez, 1984). Bunlara ilaveten dolgu maddesi olarak boya, deterjan, ilaç, yapıştırıcı ve çimento gibi ürünlerde kullanılmaktadır (İrkeç, 1993; Galan, 1996).

Diğer Kullanım Alanları

Sepiyolit in asbeste göre daha az kansorejen özellik göstermesi son dönemlerde asbest yerine kullanımını gündeme getirmiştir. Bu yüzden fren balatalarında asbest yerine kullanımı yaygınlaşmıştır. Seramik sektöründe ise lif takviyeli çimento üretiminde, kaplanmış ark kaynak elektrotlarında yalıtım malzemesi olarak kullanımı söz konusudur. Japonya'da sürdürülen çalışmalarda atık sulardan biyogaz üretiminde bakteri taşıyıcısı veya biyoreaktör olarak kullanımı geliştirilmiştir (İrkeç, 1993).





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Altunışık ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada küçük ve orta ölçekli süt endüstrisi atıksularının ön arıtılmasında bentonit ve sepiyolit kullanılabilişliğini incelemiştir. Bu çalışmada Jar test düzeneğinde bentonit için pH, sıcaklık, karıştırma hızı, karıştırma süresi ve dozaj gibi değişkenlerin optimum değerleri (Optimum değerler: pH = 6.2, Sıcaklık = 20°C, Karışım şiddeti = 60 dev/dk, karışım süresi = 15 dk ve optimum dozaj ise 82.25 g/L ye denk olan 700 ml'lik çözelti) belirlenmiş olup bu değerler sepiyolit içinde aynı kabul edilmiştir. Çalışma sonunda ham sepiyolit için %28 KOİ ve %85 yağ gress giderimi ve aktif sepiyolit için %21 KOİ %79 yağ gress giderimi elde edilmiştir.

Uğurlu ve ark. (2003), zeytin karasuyunda lignin ve fenol gibi bileşenlerin giderilmesi üzerine yaptıkları çalışmalarında elektrokimyasal ön arıtıma tutulan (20 volt ve 20 dak.) ve tutulmayan iki farklı karasu örneğinde çalışmışlardır. Adsorban olarak aktif karbon, ham sepiyolit ve aktive edilmiş sepiyolit numeleri kullanılmıştır. pH ve sürenin etkisinin ölçüldüğü bu çalışmada ön arıtıma tutulmuş suda düşük pH'ta, ham atıksuda ise yüksek pH'ta fenol ve lignin giderimi görülmüştür. İki karasu örneğinde de adsorpsiyon bir saat içinde dengeye ulaşmıştır. Adsorban olarak en iyi verimi aktif karbon verirken aktif sepiyolitinde aktif karbona alternatif olarak kullanılabilecek kadar etkisinin olduğu görülmüştür.

Özdemir (2005), sulu çözeltilerden katyonik boyar maddelerin sepiyolit yüzeyine adsorpsiyonu üzerine yaptığı çalışmasında pH, iyon şiddeti, sıcaklık, karıştırma hızı gibi değişkenleri incelemiştir. Boyar madde olarak metil viyole ve metilen mavisinin sepiyolit üzerine adsorpsiyon miktarının pH, sıcaklık ve iyon şiddetinin artmasıyla doğru orantılı olduğu görülürken karıştırma hızının bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Adsorpsiyon süresi 3 saat içinde dengeye ulaşırken deney sonuçlarının Langmuir izotermi ile daha uyumlu olduğu görülmüştür. Metil viyole ve metilen mavisinin aktivasyon enerjisi Arrheniues eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve sırası ile 2,41 ve 16,23 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

Doğan ve ark. (2007), ağır metal iyonlarında adsorpsiyon sağlamak için sepiyolite fonksiyonelleşme yoluna gitmişlerdir. Fonksiyonelleştirme işlemi için 5 gr sepiyolit 100 ml toluenle süspansiyon edilip kuru azot altında 1 saat süreyle karıştırılmıştır. Karışıma daha sonra 5 ml aminoetilaminopropil trimetoksilan damlatılarak 24 saatlik geri akışa bırakılmıştır. Karışım filtreden geçirilip su, metanol ve asetonla yıkanarak modifiye edilen yüzey 110°C'de kurutulmuştur. Modifiye edilmiş sepiyolit 50 ml ağır metal içeren su çözeltisi içine 0,1 gr eklenerek, iyon gücü, pH ve sıcaklık değişimlerine göre adsorpsiyon kapasiteleri incelenmiştir. Ağır metal iyonlarının modifiye edilmiş sepiyolite adsorplanma kapasitesi pH, çözelti dengesi ve sıcaklıkla artarken, iyon gücünün artmasıyla azaldığı görülmüştür. Deneysel veriler Langmuir izotermiyle daha iyi korelasyon sonuçları vermiştir. Sepiyolite adsorplanan metal iyonların adsorplanma kapasiteleri sırasıyla $Zn > Cu > Co > Fe > Mn > Cd$ şeklinde ve $2.167 \times 10^{-4} > 1.870 \times 10^{-4} > 1.865 \times 10^{-4} > 1.193 \times 10^{-4} > 0,979 \times 10^{-4} > 0.445 \times 10^{-4}$ mol.g⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Gölcür (2007), sulu çözeltideki demir siyanür kompleksinin sepiyolit ile adsorplanabilirliğinin gözlemlendiği çalışmada; Tane boyutunun hem Fe⁺³ hem CN⁻ iyonlarının gideriminde etkili olduğu ve ham sepiyolitin asit ve ısı işlem görmüş sepiyolitten daha az Fe⁺³ ve CN⁻ iyonu adsorpladığı görülmüştür. Optimum karıştırma süresinde (120 dk) %96 Fe⁺³ ve %73 CN⁻ giderme verimi elde edilmiştir. Ayrıca ulaşılan maksimum giderim kapasitesi Fe⁺³ için 117 meq/g, CN⁻ için 63 meq/g olarak bulunmuştur.

Künce (2007), ultrasonik işlem ile sepiyolit mineralinin sulu ortamdan ağır metal ve boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanımının incelendiği çalışmada; Metilen Blue (MB) boyarmaddesi için doğal ve ultrasonik işlem uygulanmış sepiyolit minerallerinin maksimum adsorpsiyon kapasiteleri sırasıyla 72,46 mg/g ve 120,48 mg/g, Pb⁺² için uygulanan işlemlerde ise sırasıyla 112,36 mg/g ve 208,33 mg/g sonuçlarına ulaşılmıştır.

Murathan (2008), reactive orange 12 boyar maddesinin dolgulu kolonlarda adsorpsiyonla gideriminde kütleli akış hızının adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Adsorban olarak kahverengi sepiyolit ve diatomit kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları sonunda sepiyolitte 176 mg/g giderim sağlanırken diatomitte 126,5 mg/g reactive orange 12 giderimi hesaplanmıştır.

Murathan ve ark. (2008), dolgulu kolonlarda atıksudaki nikel iyonlarının adsorpsiyonla giderimi üzerine yaptıkları çalışmada adsorban olarak klinoptilolit ve bej sepiyolit kullanmışlardır. Deney şartlarının sabit tutulduğu durumda başlangıç adsorban konsantrasyonunun arttığında adsorbe edilen iyon miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bej sepiyolit klinoptilolite göre daha iyi adsorban olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bej sepiyolit için 20,25 mgNi⁺² / g adsorplama kapasitesi olduğu hesaplanırken klinoptilolitte 7,5 mgNi⁺² / g adsorplama kapasitesinin olduğu hesaplanmıştır.

Aydın (2010), arsenat ve arsenit iyonlarının modifiye edilmiş beydellit, zeolit ve sepiyolit mineralleriyle gideriminin incelendiği çalışma sonunda 300 rpm'lik çalkalayıcıda gerçekleşen deneyde adsorban miktarı arttıkça (0-0.2gr) giderme veriminin arttığı daha sonra sabitlendiği gözlenmiştir. Sepiyolit giderme çalışmalarında optimum pH olarak çözeltinin kendi pH değeri olan 6, ve optimum adsorbent miktarı ise 0.2 gr seçilmiştir. Sepiyolit arsenat üzerindeki giderim verimi %93,6 ve arsenit giderim verimi ise %83,6 olarak ölçülmüştür.

Rytwo ve ark. (2010), şarap atıksularına organik atıksu uygulamasında etkin ön arıtımı için organik sepiyolit parçaları kullanarak yaptıkları çalışmalarında, katyon değişim kapasitesi %0-133 aralığında değişen kristal viyole içeren 2 ml'lik 5gr/l 'lik sepiyolit 8 ml şaraphane atıklarıyla test tüplerinde 5' snlik sürelerle karıştırılarak işlemler tekrar edilerek turbidimetreye ölçülmüştür. Daha sonra 20 ml 5gr/l içeren organosepiyolite 80 ml şaraphane atığı eklenip manyetik karıştırıcıda 1 dakika süre ile karıştırılması sağlanmıştır. 10 kere tekrar edilen bu işlem sonunda %55 ila %65 arasında bir bulanıklık giderimi gözlenirken %20-%40 lık bir KOİ giderimi olduğu hesaplanmıştır.

Ersal (2013), sulu çözeltilerden nikel iyonunun giderilmesinde α -sepiyolit artıkları ve β - sepiyolit adsorban olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacı ile kesikli sistemlerde adsorpsiyon uygulamıştır. Öncelikle ısı ve asit aktivasyonlu sepiyolitlerin nikel adsorpsiyon özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiş ve aktivasyon işlemlerinin sepiyolitler üzerinde nikel adsorpsiyonu açısından olumlu bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir. Doğal α ve β - sepiyolit ile nikel iyonu adsorpsiyonuna adsorban dozajı, pH, temas süresi, başlangıç çözelti derişimi ve sıcaklık parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. En uygun adsorban dozajı 50 mL nikel çözeltisinde 0,6 g sepiyolit ve en uygun pH değeri 6 olarak belirlenmiş ve adsorpsiyon dengesine α -sepiyolit için 480 dakikada, β - sepiyolit için ise 360 dakikada ulaşılmıştır. Doğal α ve β -sepiyolit ile nikel iyonu adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerinin Langmuir izoterm modeli ile daha uyumlu olduğu saptanmıştır.

Sabah ve Güney (2013), sulu ortamda aromatik ve alifatik amin türlerinden benzildimetilhegzadesil amonyum klorür (BDMHDA-Cl) ve hegzadesiltrimetilamonyum klorürün (HDTMA-Cl) sepiyolite adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Elektrokinetik potansiyel ölçümlerin sepiyolit sızır yük noktası değerinin pH 4 te olduğu ve pH artışına bağılı olarak negatif yükün mutlak değerinin arttığı belirlenmiştir. Sepiyolit denge pH'ı 8,5, yüzey elektriksel yükünün -12,3 mV olduğu ve amin adsorpsiyonuna uygun olduğu belirtilmiştir. Adsorpsiyon deneyleri sonunda BDMHDA'nın sepiyolite ilgisinin HDTMA'ya göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. BDMHDA'nın sepiyolite adsorpsiyonunda doğal pH'ta (8,5) artan sıcaklıkta arttığı görülürken adsorpsiyon yoğunluğuna önemli bir etkisinin olmadığı, HDTMA'da ise artan sıcaklığın maksimum adsorpsiyon yoğunluğunu kısmen azalttığı saptanmıştır.

Tekin (2013), ağır metal iyonlarının tekli ve ikili karışımlarının adsorpsiyonunda farklı kil türleri kullanarak adsorplanabilirliğini araştırmak amacıyla yaptıkları çalışmada nikel ve bakır iyonlarının pH 5'te en yüksek olduğu gözlenirken sepiyolit ve zeolit miktarındaki artış adsorpsiyon hızını ve miktarını

arttırdığı saptanmıştır. Hem sepiyolitte hem de zeolitteki adsorpsiyonda bakır adsorpsiyonunun nikel adsorpsiyonuna göre daha fazla olduğu görülmüştür. Sepiyolit ve zeolit adsorban olarak kıyaslandığında ise her iki metal iyonu için sepiyolit adsorpsiyonunun zeolite göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Uzun ve ark. (2014), önemli bir antibiyotik türü olan Flumequinin atık sularından adsorpsiyon yöntemiyle giderilmesine çalışmışlardır. Bağ budama atığı, sepiyolit ve ticari aktif karbon örnekleri adsorban olarak seçilmiş ve adsorban türü, miktarı, süspansiyon pH'ı ve karıştırma süresi parametre olarak değerlendirilmiştir. Bu parametrelerde, ilaç etken maddesinin adsorban değişimleri ile KOİ analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda, düşük pH ve yüksek pH'da suda çözünmenin yüksek olmasından dolayı, KOİ giderimleri % 80 ila %100'e yakın oranlarda elde edilmiştir. Buna göre en yüksek giderimin sırasıyla aktif karbon, sepiyolit ve bağ budama atıklarında gerçekleştiği sonucuna ulaşılmıştır.

Shamsudin ve Shahadat (2019), Azot bazlı antiseptik boyaların gideriminde selüloz, bentonit ve zeolit kaplamalı adsorbanlardan faydalanmışlardır. Boyar madde olarak Brilliant Green (BG) kullanılarak yapılan adsorpsiyon çalışmaları manyetik karıştırıcıda 240 rpm ve 27°C ±2 ' de sürdürülmüştür. 30 dk sonunda kaplayıcı olarak kullanılan bentonit, zeolit, kalsiyum karbonat, titanyum oksit ve çinko oksit içerisinde en yüksek adsorpsiyon kapasitesi %83.4 ile zeolit olurken bunu takiben, bentonit CaCO₃, TiO₃, ve ZnO şeklinde belirlenmiştir. 50 mg/L BG konsantrasyonunda dengeye ulaşıldığında bentonik kaplama %96.3'lük bir adsorpsiyon ile en yüksek verimi sağlayarak zeolitin önüne geçmiştir (%91.7). Adsorpsiyon için optimum pH çözeltinin kendi pH'ı olan 5,64 olarak hesaplanmıştır.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. Atıksu

Bu çalışmada kullanılan atıksular, Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinin giriş suyundan 2 saatlik kompozit numune şeklinde temin edilmiştir. Adana Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisine gelen atıksuların karakteristiği Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Tesise giren ve deşarj edilen suyun kirlilik yükü

Parametre	Birim	Tesise Giren Suyun Kirlilik Yükü	Deşarj Edilen Suyun Kirlilik Yükü
Ph		7,5-8,5	7.55
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	mgO ₂ /l	1318	76.8
Askıda Katı Madde	mg/l	326	10.7
Yağ ve Gres Miktarı	mg/l	50-90	<10
Toplam Fosfor	mg/l	<3	0.42
Toplam Krom	mg/l	<5	0.04
Krom ⁺⁶	mg/l	<3	<0.1
Kurşun	mg/l	<3	<0.1
Toplam Siyanür	mg/l	<10	0.10
Kadmiyum	mg/l	<2	<0.02
Demir	mg/l	<4	0.84
Florür	mg/l	<2	0.86
Bakır	mg/l	<2	0.14
Çinko	mg/l	<10	0.12
Sülfat	mg/l	<1700	552

3.1.2. Sepiyolit

Bu çalışmada farklı kaynaklardan ve jeolojik kökenlere ait 4 farklı doğal sepiyolit numuneleri kullanılmıştır. Sepiyolit numuneleri Eskişehir’de Beylikova, Yukarıdudaş Bölgesinde Sakarya Madencilik, Sivrihisar, Yenidoğan – Karacaören bölgesinde Dolsen Madencilik, Körpe bölgesinde Özmaltaş Madencilik ve Sivrihisar, Kurtşeyh bölgesinde Turan Madencilikten temin edilmiştir. Sakarya Madencilikten gelen gri renkteki sepiyolit örneğine SCN-1, Dolsen Madencilikten gelen sepiyolit örneğine SCN-2, Özmaltaş Madencilikten gelen sepiyolit örneğine SCN-3 ve son olarak Turan Madencilikten gelen sepiyolit örneğine ise SCN-4 adı verilmiştir.

Sepiyolit numunelerinin Blaine cihazıyla yapılan yoğunluk ve porozite aralıkları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Sepiyolit numunelerinin porozite ve yoğunluk sonuçları

Numune Kodu	Yoğunluk (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g) Yüzey Alanı	Porozite (e)
SCN-1	2,65	4180	0,573
SCN-2	2,54	33400	0,743
SCN-3	2,19	3480	0,657
SCN-4	2,11	9640	0,719

Sepiyolit numunelerinin kimyasal içeriğini gösteren XRF analizine ait sonuçlar Çizelge 3.3’te verilmiştir. SCN-2, SCN-3 ve SCN-4 sepiyolitlerinin SiO₂ içerikleri sırasıyla %44,8 , %81,2 ve %73,4 gibi oldukça yüksek değerlerde olduğu Çizelge 3.3’te görülmektedir. SCN-1 ve SCN-2 numunelerinin CaO içeriği diğer numunelere (SCN-3 ve SCN-4) oranla daha yüksektir. Diğer taraftan SCN-3 ve SCN-4 numunelerinin Fe₂O₃ içerikleri de SCN-1 ve SCN-2’ye göre daha yüksektir. Sepiyolit numunelerinin yüzey elektriksel yüklerinin pozitif değerden negatif değere dönüştüğü izoelektrik nokta SCN-1 ve SCN-3 için pH_{zpc}=7.4 iken SCN-2 için pH_{zpc}=6.2 ve SCN-4 için pH_{zpc}=6.7 civarındadır.

Çizelge 3.3. Koagülant olarak kullanılan sepiyolit numunelerinin kimyasal bileşimleri (XRF analiz sonuçları)

Bileşenler (%)	Sepiyolit Numuneleri			
	SCN-1	SCN-2	SCN-3	SCN-4
SiO ₂	25,1	44,8	81,2	73,4
SO ₃	0,02	-	-	-
CaO	66,6	50,3	7,87	5,13
TiO ₂	0,28	0,16	0,46	1,193
MnO	0,08	0,04	0,072	0,19
Fe ₂ O ₃	3,16	1,50	7,37	15,0
CuO	0,17	0,101	0,083	0,080
As ₂ O ₃	0,07	-	-	-
SrO	1,98	1,60	0,045	0,095
ZrO ₂	0,05	0,03	0,033	0,073
RuO ₂	2,16	1,19	0,905	0,82
BaO	0,2	0,1	0,02	0,1
Eu ₂ O ₃	0,1	0,06	-	0,1
PbO	0,05	-	-	-
V ₂ O ₅	-	0,058	0,13	0,109
Cr ₂ O ₃	-	0,03	0,582	0,104
K ₂ O	-	-	1,10	3,40
NiO	-	-	0,115	0,084
Yb ₂ O ₃	-	-	0,008	-
ZnO	-	-	-	0,023
Rb ₂ O	-	-	-	0,058
Re ₂ O ₇	-	-	-	0,02

3.1.3 Koagülantlar

Çalışmada sepiyolit ile atıksu arıtımında koagülant olarak kullanımı çok yaygın olan demir klorür (FeCl₃.6H₂O) karşılaştırma amacı ile kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Tanecik Boyutu

Sepiyolit numunelerinin birim yüzey alanlarının genişletilmesi için tanecik boyutu küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için 75 µm elek çapından geçebilecek şekilde seramik bilyalı değirmende kırma ve öğütme işlemleri yapılmıştır. Çalışmada kullanılan sepiyolit numuneleri 75 µm çaplı elek altında kalan örneklerdir.

3.2.2 Atıksu Analizleri

Deneyel çalışmalar sırasında Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizinde kullanılan Dikromat Reflux Metod, atıksu numunesinin 148°C'de potasyum dikromat ($K_2Cr_2O_7$), sülfürik asit (H_2SO_4) ve gümüş sülfatla (Ag_2SO_4) iki saat oksidasyonu sonucunda Cr^{3+} 'ün Demir Amonyum Sülfat ile (DAS) titrimetrik olarak hesaplanmasına dayanmaktadır. Bu metod 1500 mg/L KOİ konsantrasyonuna kadar sonuç verip yüksek konsantrasyonlu numuneler için uygun seyreltmeler yapılarak uygulanmaktadır. Renk ölçümünde kullanılan metod rengin Hazen Rengi (APHA-Platinum-Cobalt-Standart) olarak fotometrik saptanması esasına dayanmaktadır. Metod 0-550 Pt/Co aralığında hassas olup analiz Hach DR/890 Portable Colorimeter ile yapılmıştır. Bulanıklık analizleri de Hach DR/890 Portable Colorimeter kullanılarak ölçülmüştür. Askıda katı madde analizleri 1-1.2µm gözenek çaplı Whatman GF/C filtre kağıdı ile vakum filtreden geçirilerek yapılmıştır. Deneyel çalışmada yapılan bütün analizler standart metotlara (APHA, 2012) bağlı kalınarak hata payının en aza indirgenmesi için iki kere tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.3. Pıhtılaştırma Yumaklaştırma Deneyleri (Jar Test)

Sepiyolitin atıksu arıtımında koagülant olarak etkinliğini belirlemek amacıyla laboratuvar koşullarında hızı 0-300 rpm arasında değiştirilebilen 4 pedala sahip jar test cihazı (MTops SF4) kullanılmıştır.

Jar Test deneyleri, 1000 ml'lik 4 (dört) tane behere konulan 900 ml'lik atıksu numunelerinin jar test düzeneğine yerleştirilmesini takiben 5 dakika süreyle 200 rpm hızda hızlı karıştırma, 30 dk süreyle 100 rpm hızda yavaş karıştırma ve oluşan flokların çökebilmesi için 30 dk süreyle çökeltme şeklinde yapılmıştır. Hızlı karıştırma sırasında sepiyolit numunelerinin hazırlanmış çeşitli dozlarının (1000, 2000, 3000 ve 4000 mg/L) herbir behere ilavesinden sonra çözeltinin pH'ı 1N H₂SO₄ ve NaOH ile istenilen değere ayarlanmıştır. Çökeltme işlemi sonunda beherlerin üst kısmından 300 ml numune sifonla alınmış ve önceden belirlenen parametreler (KOI, AKM, Renk ve Bulanıklık) analiz edilmiştir (Bknz. Bölüm 3.2.2). Ortam pH'ı 3'den 12'ye kadar değişen deney serileri karşılaştırma yapmak amacıyla demir klorürün çeşitli dozları (2000 ve 3000 mg/L) kullanılarak tekrar edilmiştir. Jar test deneylerinde kullanılan koagülantlar için uygulanan optimum şartlar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Jar Test Deneylerinde Kullanılan Koagülantlar için Uygulanan Deneysel Şartlar

DENEY ŞARTLARI	KOAGÜLANTLAR				
	Demir Klorür	SCN-1	SCN-2	SCN-3	SCN-4
Hızlı Karıştırma Hızı (devir/dk)	200	200	200	200	200
Hızlı Karıştırma Süresi (dk)	5	5	5	5	5
Yavaş Karıştırma Hızı (devir/dk)	100	100	100	100	100
Yavaş Karıştırma Süresi (dk)	30	30	30	30	30
Çökeltme Süresi (dk)	30	30	30	30	30
pH	3-12	3-12	3-12	3-12	3-12

Herbir sepiyolit numunesi ve demirklorür kullanılarak yapılan pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri için optimum koşullar (koagülant dozu ve pH) jar test serileri ile saptanmıştır. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemleri daha çok atıksulardan AKM giderimi için uygulandığından optimum koşulların

belirlenmesinde çökeltme işlemi sonrası arıtılmış suyun AKM değerlerinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY, 2004) Küçük ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayilerin Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartlarının 2 saatlik kompozit numune AKM değerlerine eşit veya daha az olması dikkate alınmıştır (Çizelge 3.5)

Çizelge 3. 5. Karışık Endüstriyel Atıksuların Alıcı Ortama Deşarj Standartları (Küçük ve Büyük Organize Sanayi Bölgeleri ve Sektör Belirlemesi Yapılamayan Diğer Sanayiler)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 Saatlik	KOMPOZİT NUMUNE 24 Saatlik
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/l)	400	300
ASKIDA KATI MADDE (AKM)	(mg/l)	200	100
YAĞ VE GRES	(mg/l)	20	10
TOPLAM FOSFOR	(mg/l)	2	1
TOPLAM KROM	(mg/l)	2	1
KROM (Cr ⁺⁶)	(mg/l)	0.5	0.5
KURŞUN (Pb)	(mg/l)	2	1
TOPLAM SİYANÜR (CN ⁻)	(mg/l)	1	0.5
KADMİYUM (Cd)	(mg/l)	0.1	-
DEMİR (Fe)	(mg/l)	10	-
FLORÜR (F ⁻)	(mg/l)	15	-
BAKIR (Cu)	(mg/l)	3	-
ÇİNKO (Zn)	(mg/l)	5	-
CİVA (Hg)	(mg/l)	-	0,05
SÜLFAT (SO ₄)	(mg/l)	1500	1500
TOPLAM KJELDAHL-AZOTU	-	20	15
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	10	10
PH	(Pt-Co)	6-9	6-9
Renk		280	260

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Araştırma Bulguları

Jar test dűzeneęinde yapılan pıhtılaŐtırma-yumaklaŐtırma ve çökeltme deney sonuçlarının değerlendirilmesinde Adana Organize Bölgesi atıksularının Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOI), Askıda Katı Madde (AKM), Renk ve Bulanıklık parametreleri göz önüne alınmıŐtır. Deneysel alıŐmalar sırasında atıksu numuneleri için 4 farklı sepiyolit örneği ve demir klorür koagűlant olarak kullanılmıŐ ve etkileri tespit edilmiŐtir. Deney sonuçları izelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da verilmiŐtir.

Çizelge 4.1. AOSB Atıksularında pH 3'te Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	2190	-	76,4	-	-	-	-	-
	1000	669	69	33	56	-	-	-	-
	2000	591	73	46	39	-	-	-	-
	3000	609	72	52	31	-	-	-	-
	4000	618	71	57	25	-	-	-	-
SCN-2	0	1206	-	371	-	2260	-	420	-
	1000	990	17	60	83	520	76	75	82
	2000	762	36	42	88	305	86	42	90
	3000	720	40	61	83	320	85	46	89
	4000	690	42	76	79	375	83	54	87
SCN-3	0	957	-	480	-	8825	-	1448	-
	1000	777	18	66	86	1230	86	166	88
	2000	741	22	69	85	925	89	122	91
	3000	732	23	60	87	1125	87	107	92
	4000	711	25	72	85	920	89	99	93
SCN-4	0	1692	-	1466	-	3900	-	586	-
	1000	888	47	108	92	1260	67	153	73
	2000	888	47	104	92	1185	69	137	76
	3000	888	47	100	93	1085	72	136	76
	4000	882	47	91	93	950	75	116	80

Çizelge 4.2. AOSB Atıksularında pH 4'te Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1710	-	82	-	1600	-	188	-
	1000	972	46	57	30	-	-	176	6
	2000	822	51	50	39	-	-	155	17
	3000	810	52	66	19	-	-	109	42
	4000	801	53	74	9	395	75	69	63
SCN-2	0	1071	-	335	-	4480	-	744	-
	1000	642	40	60	82	1145	74	149	79
	2000	651	39	45	86	890	80	103	86
	3000	552	48	44	86	900	79	84	88
	4000	711	33	55	83	775	82	87	88
SCN-3	0	957	-	480	-	8825	-	1448	-
	1000	873	8	75	84	825	90	155	89
	2000	714	25	64	86	665	92	123	91
	3000	705	26	58	87	725	91	111	92
	4000	705	26	60	87	925	89	94	93
SCN-4	0	1692	-	1466	-	3900	-	586	-
	1000	933	44	117	92	1075	72	198	66
	2000	906	46	117	92	1040	73	181	69
	3000	897	46	108	92	795	79	161	72
	4000	891	47	97	93	695	82	146	75

Çizelge 4.3. AOSB Atıksularında pH 5'te Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1710	-	82	-	1600	-	188	-
	1000	1011	40	51	37	1180	26	119	36
	2000	942	44	70	14	-	-	200	0
	3000	822	51	54	34	-	-	198	0
	4000	762	55	74	9	-	-	242	0
SCN-2	0	1071	-	335	-	4480	-	744	-
	1000	651	39	62	81	1220	72	180	75
	2000	630	41	51	84	840	81	130	82
	3000	612	42	45	86	855	80	110	85
	4000	551	44	44	86	900	79	95	87
SCN-3	0	1577	-	605	-	15850	-	2190	-
	1000	717	54	86	85	3500	77	343	84
	2000	651	58	83	86	2400	84	284	87
	3000	606	61	77	87	1850	88	209	90
	4000	594	62	77	87	1550	90	200	90
SCN-4	0	1692	-	1466	-	3900	-	586	-
	1000	966	42	112	92	1550	60	177	69
	2000	918	45	109	92	1325	66	158	73
	3000	897	46	87	94	1195	69	139	76
	4000	897	46	87	94	1075	72	130	77

Çizelge 4.4. AOSB Atıksularında pH 6'da Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1200	-	101	-	7200	-	961	-
	1000	885	26	95	5	4075	43	357	62
	2000	681	43	105	0	3875	46	549	42
	3000	660	45	93	7	6625	7	1011	0
	4000	582	51	79	21	1725	76	220	77
SCN-2	0	1224	-	285	-	2525	-	340	-
	1000	762	37	61	78	820	67	89	73
	2000	735	39	58	79	533	78	77	77
	3000	705	42	46	83	485	80	70	75
	4000	813	33	48	83	500	80	71	79
SCN-3	0	1577	-	605	-	15850	-	2190	-
	1000	915	41	207	65	7200	54	1138	48
	2000	867	45	123	79	7125	55	1116	49
	3000	849	46	118	80	6275	60	1030	52
	4000	858	45	98	83	4825	69	786	64
SCN-4	0	1692	-	1466	-	3900	-	586	-
	1000	987	41	130	91	1400	64	212	63
	2000	927	45	121	91	1375	64	200	65
	3000	876	48	111	92	1135	70	177	69
	4000	876	48	105	92	1010	74	162	72

Çizelge 4.5. AOSB Atıksularında pH 7’de Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1200	-	101	-	7200	-	961	-
	1000	942	21	88	12	2700	62	394	59
	2000	891	25	99	1	1750	75	235	75
	3000	720	40	103	0	1200	83	170	82
	4000	660	45	83	17	2000	72	155	83
SCN-2	0	1224	-	285	-	2525	-	340	-
	1000	861	29	57	80	840	66	93	72
	2000	732	40	47	83	670	73	82	75
	3000	732	40	54	81	610	75	70	79
	4000	720	41	53	81	850	66	88	74
SCN-3	0	1305	-	1076	-	3930	-	510	-
	1000	1191	8	117	89	1375	65	218	57
	2000	1017	22	106	90	1305	66	175	65
	3000	957	26	86	92	1075	72	145	71
	4000	924	34	78	92	850	78	115	77
SCN-4	0	810	-	276	-	4030	-	577	-
	1000	780	3	83	69	1880	53	289	49
	2000	792	2	99	64	1790	55	288	50
	3000	759	6	99	64	1605	60	261	54
	4000	825	0	92	66	1440	64	232	59

Çizelge 4.6. AOSB Atıksularında pH 8’de Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1350	-	378	-	2575	-	668	-
	1000	762	43	62	83	1050	59	132	80
	2000	762	43	41	89	950	63	96	85
	3000	750	44	46	87	600	76	95	85
	4000	726	46	54	85	1110	56	113	83
SCN-2	0	909	-	356	-	3080	-	620	-
	1000	1032	0	101	71	1125	63	215	65
	2000	825	9	45	87	520	83	105	83
	3000	795	12	37	89	463	84	73	88
	4000	765	15	48	86	360	88	63	89
SCN-3	0	1305	-	1076	-	3930	-	510	-
	1000	966	25	130	87	1800	54	225	55
	2000	912	30	114	89	1475	62	186	63
	3000	876	32	97	90	1450	63	156	69
	4000	867	33	84	92	1300	66	124	75
SCN-4	0	810	-	276	-	4030	-	577	-
	1000	753	7	116	57	2235	44	319	44
	2000	732	9	110	60	2225	44	314	45
	3000	687	15	114	58	2055	49	310	46
	4000	897	0	106	61	1675	58	256	55

Çizelge 4.7. AOSB Atıksularında pH 9'da Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1350	-	378	-	2575	-	668	-
	1000	831	38	64	83	630	75	129	80
	2000	750	44	49	87	530	79	89	86
	3000	741	45	40	89	380	85	72	89
	4000	732	45	50	86	400	84	67	89
SCN-2	0	909	-	356	-	3080	-	620	-
	1000	1002	0	82	76	1050	65	203	67
	2000	801	11	50	85	400	87	109	82
	3000	771	15	40	88	415	86	82	86
	4000	810	10	29	91	329	89	62	90
SCN-3	0	1422	-	312	-	3100	-	595	-
	1000	1314	7	115	63	1885	39	275	53
	2000	1185	16	100	67	1640	47	230	61
	3000	1038	27	94	69	1400	54	185	68
	4000	1137	20	80	74	1140	63	145	75
SCN-4	0	810	-	276	-	4030	-	577	-
	1000	771	4	130	52	2350	41	370	35
	2000	780	3	144	47	2250	44	365	36
	3000	714	11	146	47	2035	49	342	40
	4000	726	10	114	58	1880	53	291	49

Çizelge 4.8. AOSB Atıksularında pH 10'da Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1395	-	435	-	8050	-	1364	-
	1000	753	46	101	76	5900	26	834	38
	2000	627	55	64	85	3800	52	334	75
	3000	492	64	67	84	3300	59	334	75
	4000	555	60	58	86	3075	61	237	82
SCN-2	0	1360	-	387,7	-	5500	-	825	-
	1000	801	41	49	87	1435	73	140	83
	2000	771	43	40	89	990	82	88	89
	3000	735	45	43	88	805	85	66	92
	4000	657	51	34	91	830	84	63	92
SCN-3	0	1422	-	312	-	3100	-	595	-
	1000	1116	21	126	59	1725	44	230	61
	2000	1002	29	126	59	1550	50	197	66
	3000	984	30	174	44	2310	25	333	44
	4000	945	33	155	50	2225	28	317	46
SCN-4	0	810	-	276	-	4030	-	577	-
	1000	792	2	140	49	2660	33	403	30
	2000	792	2	175	36	2585	35	454	21
	3000	747	7	181	34	2590	35	432	25
	4000	759	6	170	38	2485	38	358	37

Çizelge 4.9. AOSB Atıksularında pH 11’de Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1395	-	435	-	8050	-	1364	-
	1000	570	59	38	91	348	95	55	95
	2000	552	60	44	89	990	87	181	86
	3000	552	60	63	85	1530	80	301	77
	4000	582	58	68	84	2800	65	449	67
SCN-2	0	1360	-	387,7	-	5500	-	825	-
	1000	819	39	22	94	167	96	26	96
	2000	762	43	47	87	538	90	83	89
	3000	744	45	31	91	555	89	89	89
	4000	723	46	36	90	462	91	62	92
SCN-3	0	954	-	385	-	3890	-	462	-
	1000	765	19	81	78	1210	68	128	72
	2000	747	21	107	72	1575	59	187	59
	3000	756	20	106	72	1420	63	172	62
	4000	765	19	103	73	1445	62	172	62
SCN-4	0	1224	-	510	-	5050	-	695	-
	1000	900	26	45	91	256	94	32	95
	2000	846	30	38	92	265	94	33	95
	3000	834	31	39	92	230	95	31	95
	4000	825	32	45	91	238	95	28	95

Çizelge 4.10. AOSB Atıksularında pH 12'de Jar Test Sonuçları

Numune NO	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	% AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
SCN-1	0	1206	-	371	-	2260	-	420	-
	1000	702	41	25	93	160	92	15	96
	2000	711	41	34	90	225	90	16	96
	3000	732	39	36	90	250	88	26	93
	4000	831	31	40	89	285	87	30	92
SCN-2	0	957,6	-	480	-	8825	-	1448	-
	1000	957	0	48	90	3120	64	413	71
	2000	774	19	67	86	4240	51	619	57
	3000	696	27	78	83	5360	39	556	61
	4000	648	32	79	83	4100	53	374	74
SCN-3	0	954	-	385	-	3890	-	462	-
	1000	714	25	73	81	610	84	94	79
	2000	672	29	54	85	429	88	49	89
	3000	672	29	53	86	443	88	51	88
	4000	681	28	50	87	431	88	49	89
SCN-4	0	1224	-	510	-	5050	-	695	-
	1000	792	35	56	89	421	91	59	91
	2000	792	35	65	87	528	89	78	88
	3000	771	37	65	87	489	90	69	90
	4000	879	28	80	84	662	86	102	85

Çizelge 4. 11. Demir Klorür ile Yapılan Jar Test Sonuçları

pH	Doz mg/L	KOI mg/L	%KOI Giderimi	AKM mg/L	%AKM Giderimi	Renk PtCo	% Renk Giderimi	Bulanıklık Ntu	% Bulanıklık Giderimi
3	0	1233	-	-	-	-	-	-	-
	2000	819	33	-	-	-	-	-	-
4	0	1224	-	-	-	5050	-	695	-
	3000	699	42	-	-	288	94	38	94
5	0	1224	-	510	-	-	-	-	-
	3000	675	44	42	91	-	-	-	-
7	0	-	-	510	-	-	-	-	-
	3000	-	-	78	84	-	-	-	-
8	0	-	-	454	-	-	-	-	-
	2000	-	-	95	79	-	-	-	-
	3000	-	-	63	86	-	-	-	-
9	0	-	-	-	-	4050	-	-	-
	3000	-	-	-	-	777	80	-	-
10	0	-	-	-	-	-	-	645	-
	3000	-	-	-	-	-	-	94	85
11	0	-	-	-	-	5050	-	695	-
	3000	-	-	-	-	395	92	69	90
12	0	-	-	-	-	4050	-	645	-
	2000	-	-	-	-	517	87	54	91

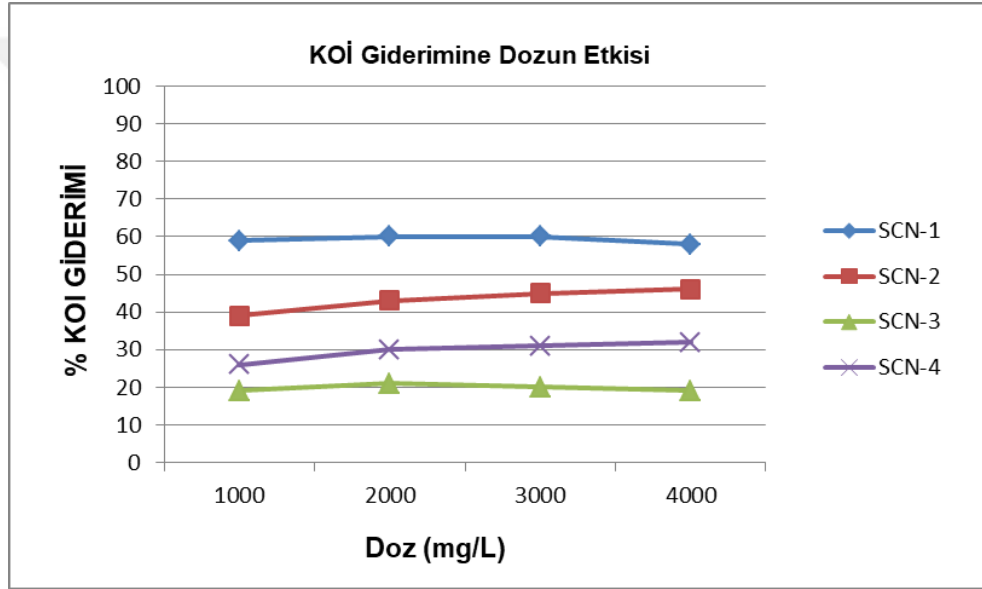
4.2. Deneysel Sonuçların Tartışması

4.2.1 AOSB Atıksularında Sepiyolit Koagülant Etkisi

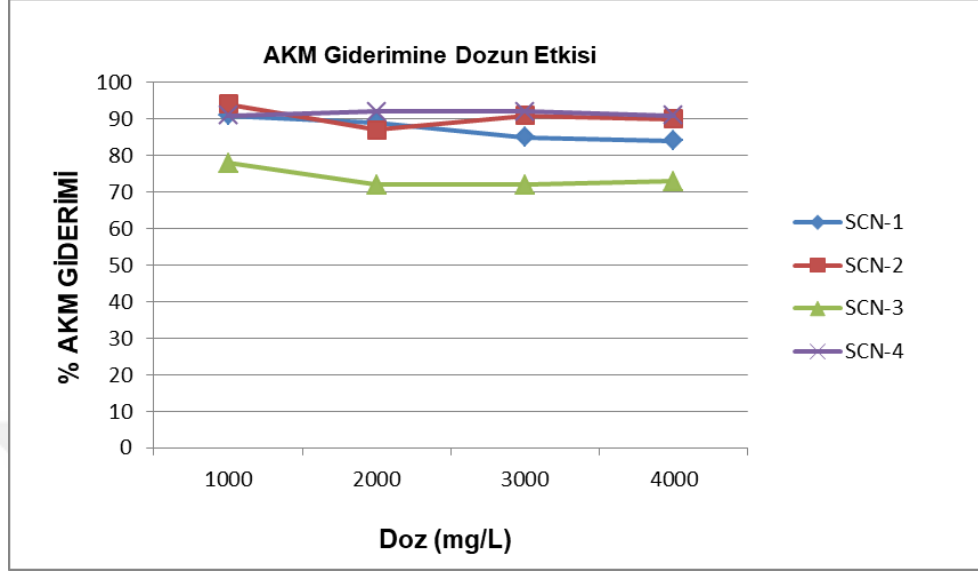
Dozun Etkisi

Adana Organize Sanayi Bölgesinden alınan atıksularda sepiyolit ile yapılan jar test deneylerinde sırasıyla SCN-1, SCN-2, SCN-3, SCN-4 olarak adlandırılan sepiyolit örnekleri kullanılmıştır. AOSB atıksu numunelerine her bir sepiyolit örneği ayrı ayrı uygulanarak Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Askıda Katı Madde (AKM), Renk ve Bulanıklık giderme verimleri tespit edilmiştir. Uygulanan sepiyolit dozlarına karşılık elde edilen arıtma verimleri sırasıyla Şekil 4.1, 4.2, 4.3

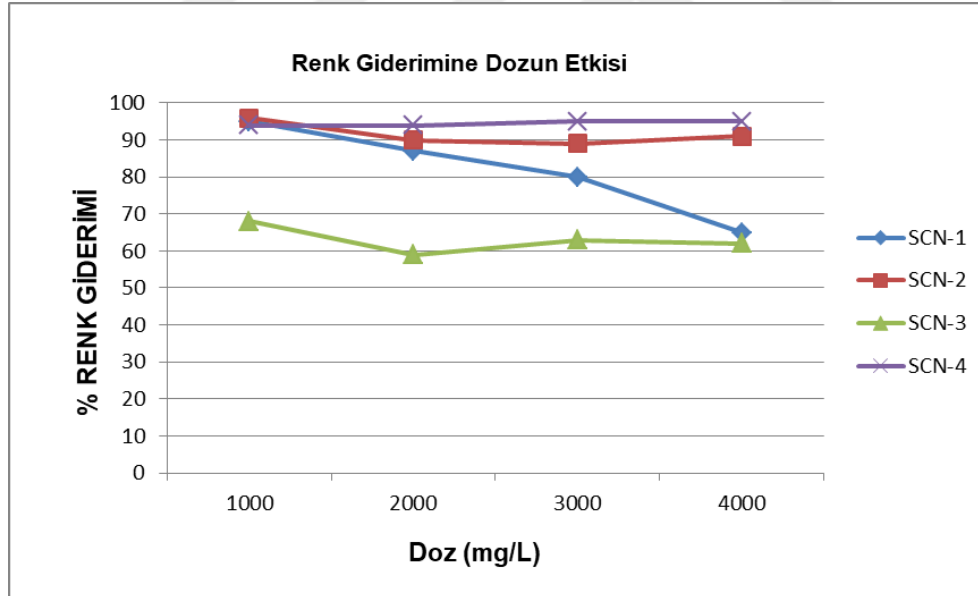
ve 4.4’de verilmiştir. Pıhtılaştırma ve yumaklaştırma işlemi daha çok atıksulardan AKM giderimi için uygulandığından optimum koşullar belirlenirken Çizelge 3.5’teki AKM deşarj standartları göz önünde bulundurulmuştur. Çizelgelerden (4.1-4.10) ve şekillerden (4.1-4.4) tüm sepiyolit numunelerinin (SCN-1, SCN-2, SCN-3, SCN-4) optimum koşulları doz = 2000 mg/L ve pH = 11 olarak tespit edilmiştir.



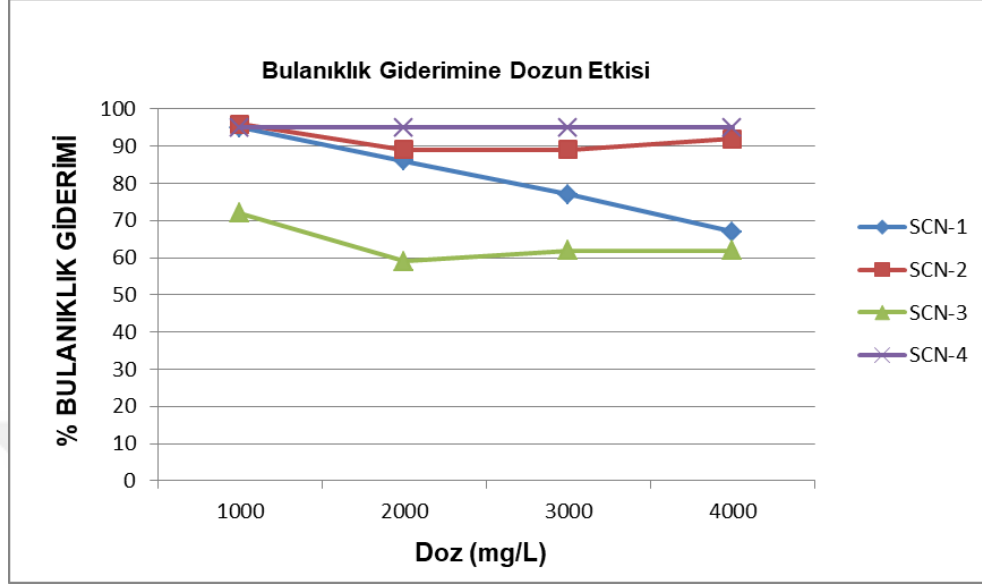
Şekil 4.1. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin KOİ Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)



Şekil 4.2. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin AKM Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)



Şekil 4.3. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin Renk Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)



Şekil 4.4. AOSB Atıksu Numunelerinde Sepiyolitlerin Bulanıklık Giderimi Üzerine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numunelerinde Optimum pH = 11)

KOI gideriminde dozun etkisi incelendiğinde tüm sepiyolit örnekleri için doz arttıkça KOI gideriminde çok az artış gözlenmiştir. Tüm koşullar için elde edilen verilere göre KOI gideriminde doz etkisi için sepiyolit numuneleri SCN-1 > SCN-2 > SCN-4 > SCN-3 olacak şekilde sıralanabilir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.1). Ayrıca en yüksek KOI giderimi (%73) 2000 mg/L ve pH 3'te SCN-1 numunesi için elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) en yüksek giderme verimi yine SCN-1 numunesi için (%60) elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında KOI gideriminde CaO bileşeninin en yüksek olduğu ve silika bileşeninin en düşük olduğu sepiyolit numunesinde (SCN-1) en iyi sonucun elde edildiği tespiti yapılmıştır.

AKM gideriminde dozun etkisi incelendiğinde tüm sepiyolit numuneleri için doz arttıkça azalma tespit edilmiştir. Tüm koşullar için elde edilen verilere göre AKM gideriminde doz etkisi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 şeklinde sıralanabilir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.2). İlave olarak

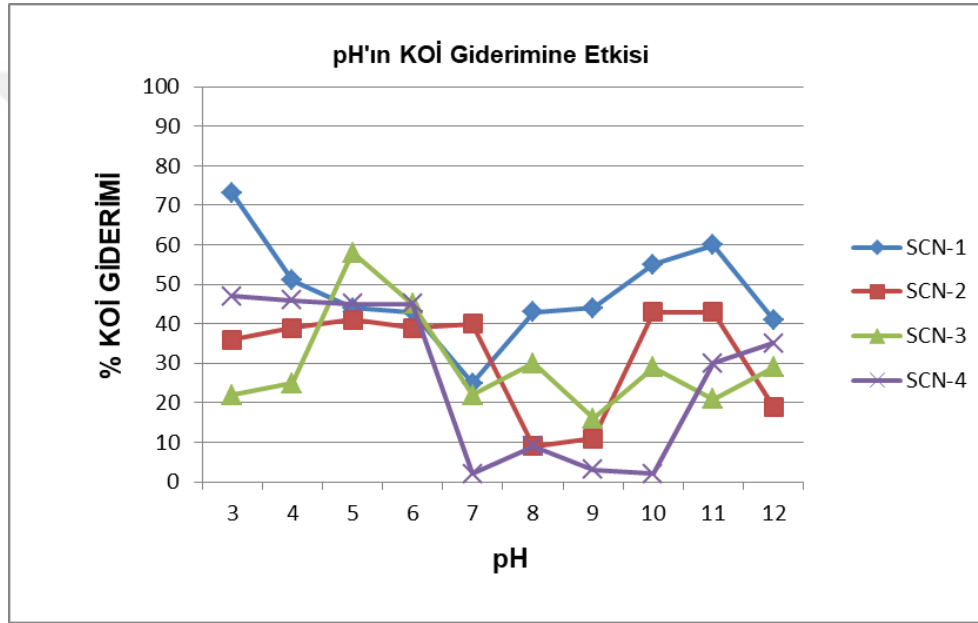
en yüksek AKM giderimi (%94) 4000 mg/L ve pH 4-5 aralığında SCN-4 numunesi için elde edilmiştir (Çizelge 4.2-4.3). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) en yüksek AKM giderimi SCN-4 örneği için %94 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Sepiyolit numunelerinin içeriği göz önüne alındığında AKM gideriminde Fe₂O₃ ve silika bileşeninin etkili olduğu görülmektedir.

Renk gideriminde dozun etkisi incelendiğinde tüm sepiyolit numuneleri göz önüne alındığında AKM'de olduğu gibi doz arttıkça azalma gözlenmiştir. Tüm koşullar için elde edilen verilere göre Renk gideriminde doz etkisi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 olarak sıralanabilir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.3). En yüksek renk giderimi 1000 mg/L ve pH 11'de %96 olarak SCN-2 örneği için elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve 2000 mg/L) SCN-4 örneği için %94 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında Renk gideriminde en etken bileşenin CaO ve silika olduğu görülmektedir.

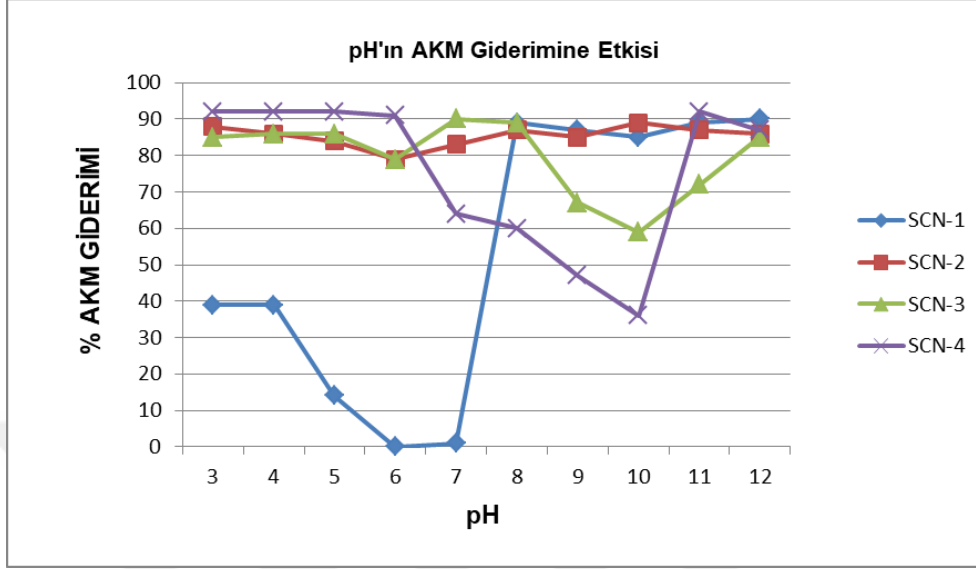
Bulanıklık gideriminde dozun etkisi incelendiğinde tüm sepiyolit örnekleri için doz arttıkça azalma gözlenmiştir. Tüm koşullar için elde edilen verilere göre bulanıklık gideriminde doz etkisi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 şeklinde sıralandığı gözlenmiştir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.4). En yüksek bulanıklık giderimi (%96) 1000 mg/L ve pH = 11-12 'de hem SCN-1 hem de SCN-2 numuneleri için gözlenmiştir (Çizelge 4.9 ve 4.10). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) SCN-4 örneği için %95 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Ayrıca sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında Bulanıklık gideriminde en etken bileşenlerin CaO ve Silika olduğu tespiti yapılmıştır.

pH Etkisi

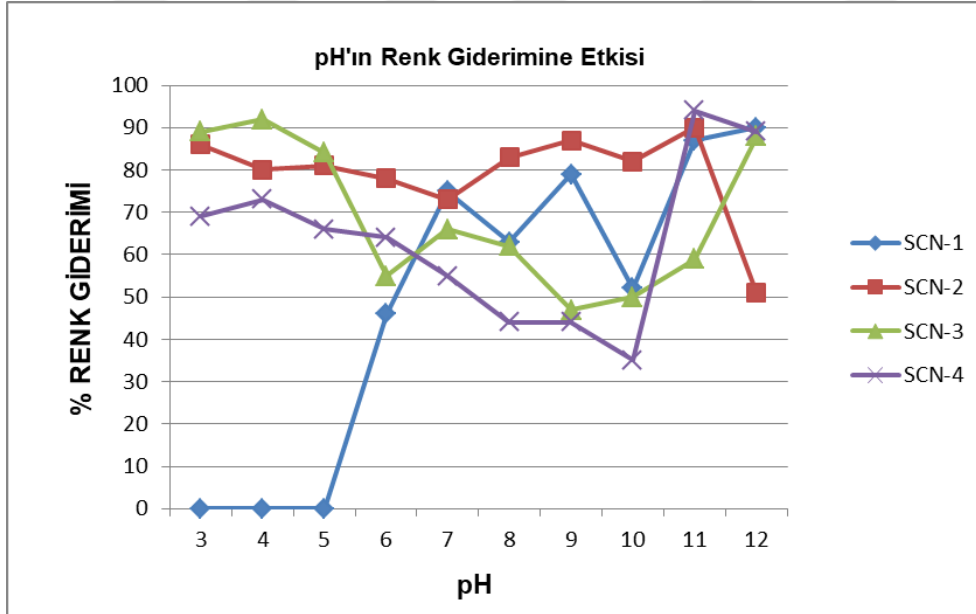
Adana Organize Sanayi Bölgesinden alınan atıksu örneklerine mevcut 4 sepiyolit numunesinin herbiriyle ayrı ayrı jar test deneyleri uygulanmıştır. Jar test deneylerinde KOİ, AKM, Bulanıklık ve Renk parametrelerinde giderim verimlerinin pH etkisi incelenmiştir. Uygulanan farklı pH'lara karşılık elde edilen optimum arıtma verimleri sırasıyla Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.



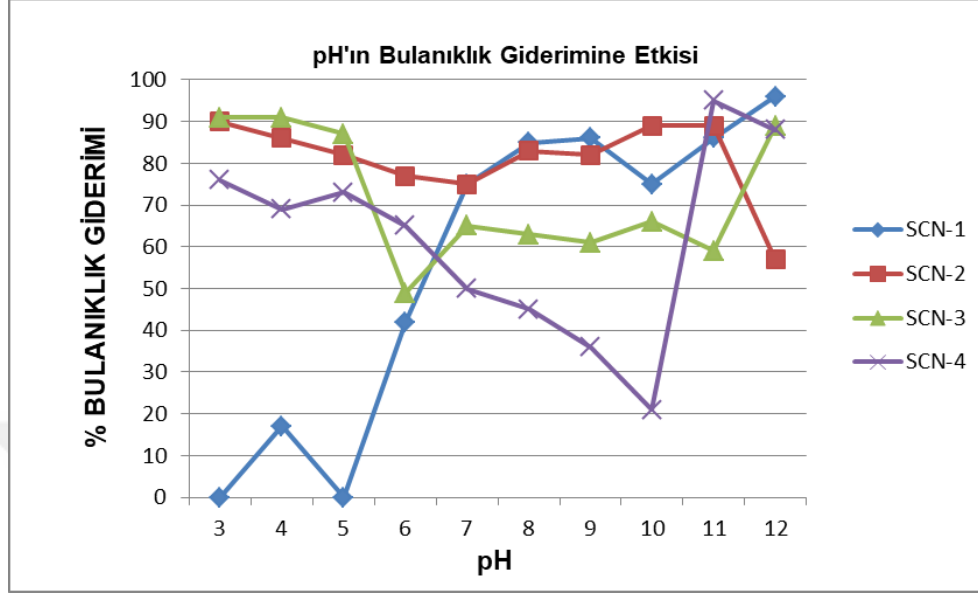
Şekil 4.5. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın KOİ giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)



Şekil 4.6. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın AKM Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)



Şekil 4.7. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın Renk Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)



Şekil 4.8. AOSB Atıksu Numunelerinde pH'ın Bulanıklık Giderimine Etkisi (Tüm Sepiyolit Numuneleri için Optimum Doz 2000 mg/L)

KOI gideriminde pH'ın etkisi incelendiğinde tüm sepiyolit örnekleri için pH arttıkça izoelektrik noktaya kadar önce azalmış sonra artış göstermiştir. En yüksek KOI giderimi (%73) 2000 mg/L ve pH 3'te SCN-1 numunesi için elde edilmiştir (Çizelge 4.1). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) en yüksek giderim verimi yine SCN-1 için (%60) elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullar göz önünde bulundurulduğunda KOI giderimi için sepiyolit numuneleri SCN-1 > SCN-2 > SCN-4 > SCN-3 şeklinde sıralanabilir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.5). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında KOI gideriminde silika bileşeninin minimum olduğu ve CaO bileşeninin maksimum olduğu sepiyolit örneğinde (SCN-1) en iyi sonucun elde edildiği görülmektedir.

AKM gideriminde pH'ın etkisi incelendiğinde SCN-1, SCN-3 ve SCN-4 sepiyolit numuneleri için pH arttıkça izoelektrik noktaya kadar azalma ve izoelektrik noktadan sonra ise artış gözlenmiştir. SCN-2 ise çok az etkilenmiştir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.6). En yüksek AKM giderimi (%94) olarak 4000 mg/L

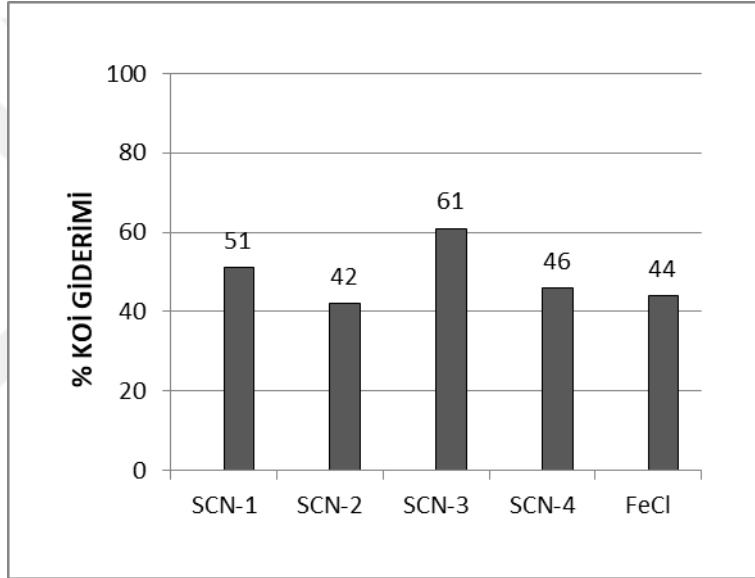
ve pH 4-5 aralığında SCN-4 numunesi için elde edilmiştir (Çizelge 4.2-4.3). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) en yüksek giderme verimi SCN-4 numunesi için %94 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullar göz önünde bulundurulduğunda AKM giderimi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 olarak sıralanabilir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.6). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında AKM gideriminde Fe₂O₃ bileşeninin ve silika bileşeninin etkili olduğu görülmektedir.

Renk gideriminde pH'ın etkisi incelendiğinde SCN-1, SCN-3 ve SCN-4 sepiyolit numuneleri için pH arttıkça izoelektrik noktaya kadar azalma ve noktadan sonra ise artış gözlenmiş SCN-2 ise çok az etkilenmiştir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.7). En yüksek renk giderimi 1000 mg/L ve pH 11'de %96 olarak SCN-2 numunesi için elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve doz 2000 mg/L) en yüksek giderme verimi SCN-4 numunesi için %94 olarak elde edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullar göz önünde bulundurularak Renk giderimi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 olarak sıralanabilir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.7). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında Renk gideriminde etken bileşenin CaO olduğu görülmektedir.

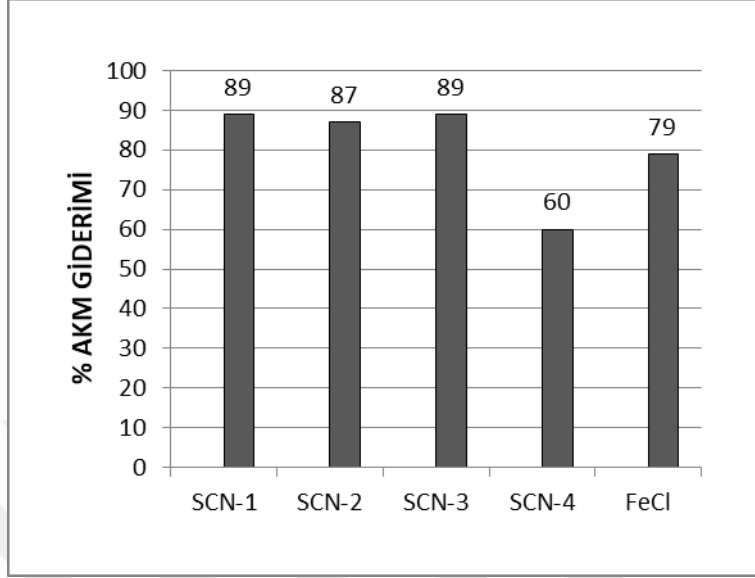
Bulanıklık giderimi için pH'ın etkisi incelendiğinde SCN-1, SCN-3 ve SCN-4 sepiyolit numunelerinde pH arttıkça izoelektrik noktaya kadar azalma ve noktadan sonra ise artış gözlenirken SCN-2'de ise çok az etki gözlenmiştir (Çizelge 4.1-4.10 ve Şekil 4.8). En yüksek bulanıklık giderimi (%96) 1000 mg/L ve pH 11-12'de hem SCN-1 hem de SCN-2 numuneleri için gözlenmiştir (Çizelge 4.9-4.10). Optimum koşullarda ise (pH 11 ve 2000 mg/L) en yüksek giderme verimi SCN-4 numunesi için (%95) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.9). Optimum koşullar göz önünde bulundurularak bulanıklık giderimi için sepiyolit numuneleri SCN-4 > SCN-2 > SCN-1 > SCN-3 olarak sıralanabilir (Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8). Sepiyolit numunelerinin içerikleri göz önüne alındığında Bulanıklık gideriminde Fe₂O₃ ve silika bileşeninin etkili olduğu görülmektedir.

4.2.2. AOSB Atıksularında Sepiyolitlerin Koagülant Etkisinin Demir Klorür ile Karşılaştırılması

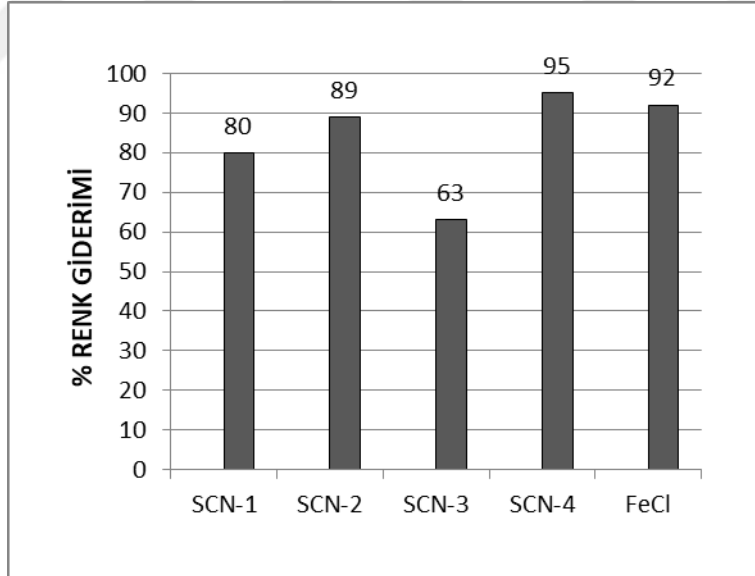
Çalışmanın bu kısmında sepiyolitlerin koagülant olarak etkinliğini karşılaştırmak amacıyla atıksu arıtımında yaygın bir koagülant olarak kullanılan demir klorür ile jar test deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda sepiyolit numunelerinden elde edilen KOİ, AKM, Renk ve Bulanıklık giderim değerleriyle birlikte Şekil 4.9, 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.



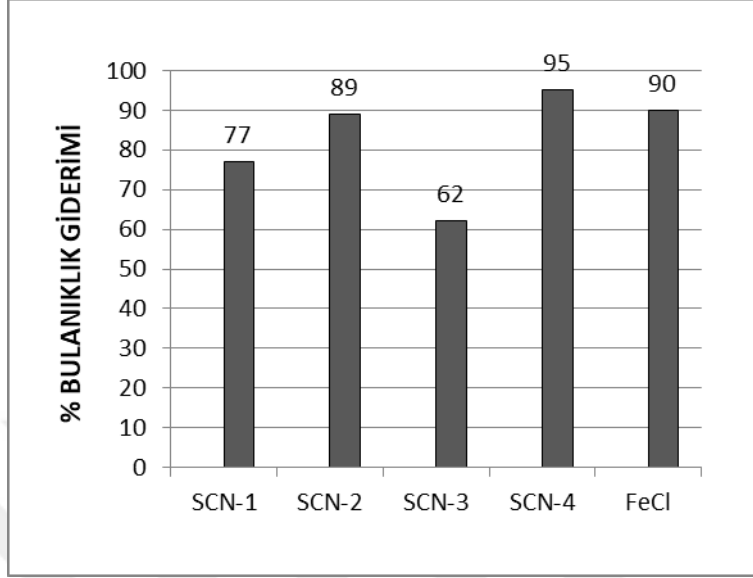
Şekil 4.9. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin KOİ Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=5, Doz=3000 mg/L)



Şekil 4.10. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin AKM Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=8, Doz=2000 mg/L)



Şekil 4.11. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin Renk Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=11, Doz=3000 mg/L)



Şekil 4.12. AOSB Atıksu Numunesinde Demir Klorür ve Sepiyolitlerin Bulanıklık Giderme Verimlerinin Karşılaştırılması (Karşılaştırma Koşulları: pH=11, Doz=3000 mg/L)

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi KOI gideriminde (pH=5 ve Doz=3000 mg/L) silika bileşeninin en yüksek olduğu SCN-3 örneği ile en yüksek verim elde edilmiştir.

Şekil 4.10 incelendiğinde AKM gideriminde (pH=8, Doz=2000 mg/L) SCN-3 ve SCN-1 örneklerinde FeCl’den daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Şekil 4.11’de görüldüğü üzere Renk gideriminde (pH=11, Doz=3000 mg/L) yüksek oranda Fe₂O₃ ve SiO₂ içeren SCN-4’den FeCl₃ kadar hatta daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi Bulanıklık gideriminde (pH=11, Doz=3000 mg/L) yüksek oranda Fe₂O₃ ve SiO₂ içeren SCN-4’de FeCl₃’den daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Grafiklerden de görüldüğü gibi tüm parametrelerdeki giderimlerin sepiyolit örnekleri ile demir klorürden daha iyi sonuç elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla benzerlik

göstermektedir (Uzun ve ark. 2014, Rytwo ve ark. 2011, ve Altunışık ve ark. 2002).



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Adana Organize Sanayi Bölgesi atıksularında sepiyolit koagülant olarak etkinliğini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Sepiyolitlerin koagülant olarak etkinliği, içerdikleri silisyum (Si), kalsiyum (Ca), demir (Fe) ile ilişkili olduğu tespiti yapılmıştır. Özellikle KOİ gideriminde kalsiyum içeriği arttıkça arıtma veriminin de arttığı görülmüştür.
2. Yapılan jar test deneylerinin sonuçlarına göre KOİ, AKM, Renk ve Bulanıklık parametreleri ayrı ayrı değerlendirildiğinde; KOİ giderimi için SCN-1 sepiyoliti, AKM, Renk ve Bulanıklık gideriminde SCN-4 sepiyolit örneklerinin daha etkin olduğu görülmüştür.
3. Sepiyolit örneklerinin tamamı doz arttıkça tüm parametrelerde daha etkili olduğu görülmektedir.
4. SCN-1, SCN-2 ve SCN-3 sepiyolit örnekleri yüksek pH'larda etkili olurken SCN-4 sepiyolit örneği düşük pH'larda tüm parametreler için daha etkin olduğu tespit edilmiştir..
5. Tüm parametrelerin gideriminde (KOİ, AKM, Renk ve Bulanıklık) sepiyolit örnekleri ile demir klorürden daha iyi sonuç elde edilmiştir.
6. Sepiyolit minerali adsorpsiyon işlemi ile ağır metal ve boyar madde gideriminde kullanılabileceği önerilebilir.
7. Sepiyolit maddesi yüksek oranda içerdiği silika bileşeninin yüzey yükünün pozitif değerden negatife dönüştüğü pH_{zpc} değeri 2 civarında olduğundan, silika bileşenine sahip sepiyolit maddesi ile özellikle Cr(VI) gideriminin yüksek olabileceği düşünülmektedir (Panday ve ark.,1985; Bayat, 2002).



KAYNAKLAR

- Abwasserabgabengesetz, 1976. Gesetz über Abgaben für das Einleiten von Abwasser in Gewässer
- Akyüz, S., Akyüz, T., Davies, J.C., 1991, Bipridin Molekülünün Lületaş Tarafından Yüzeysel Soğurulmasının Fourier Transform Kırmızı-Altı ve Laser Raman Spektroskopileri ile İncelenmesi, V. Ulusal Kil Sempozyumu, 16-20 Eylül, Anadolu Ü., Eskişehir, 247-256.
- Alkan, M., Tekin, G., ve Namlı, H. 2005. FTIR and Zeta Potential Measurements of Sepiolite Treated with Some Organosilanes. *Microporous and Mesoporous Materials*, 84, 75-83.
- Altunışık, İ., İleri, R., Artır, R., 2002. Küçük ve Orta Ölçekli Süt Endüstrisi Atıksularının Önartılmasında Bentonit ve Sepiyolit Kullanılabilirliği. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6.Cilt, 2.Sayı
- Alvarez, A., 1984. Sepiolite: Properties and Uses, in: A.Singer and E. Galan, *Palygorskite- sepiolite, Occurrences, Genesis and Uses, Developments in Sedimentology*, Elsevier, Amsterdam, 37, 253-287.
- Apha, 2012. *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th edn. American Public Health Association, Washington DC.
- Aydın, S., 2010. Arsenat ve Arsenit iyonlarının Modifiye Edilmiş Beydellit, Zeolit ve Sepiyolit Mineralleri İle Giderimi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, s.36-65.
- Bayat, B., 2002. Comparative Study of Adsorption Properties of Turkish Fly Ashes II. The Case of Chromium (VI) and Cadmium (II), *Journal of Hazardous Materials B95 (2002) 275-290*.
- Bond, A.W., 1961. The Behaviour of Suspensions *J. Inst. Water Eng.* 15, 494.
- Brauner, K., ve Preisinger, A., 1956. Struktur and Entstehung des Sepioliths. *Miner U Petrogr Mittlgn*, 6, 120-140.

- Can, G., 1992. Dünya'da ve Türkiye'de Sepiolitik Kil, MTA Fizibilite Etüdüleri Dairesi, Ankara, 1- 8.
- Chuppina, S.V., 2008. Investigation of the Functional Role of Sepiolite in Organosilicate Composites. Glass Physics and Chemistry, 34, 166-172.
- Çetişli, H., 1988. Eskişehir Sepiolitinin Yüzey Asit-baz Özelliklerinin Geçiş Metal Katyonlarını Adsorplama Kapasitesinin Araştırılması, Tübitak Proje No: 704, 78 s.
- Demirci, Ş., Erdoğan, B., Akay, M.Y., 1995. Bentonit ve Sepiyolit Şeker Çözeltileri ile Etkileşimi, VII. Ulusal Kil Sempozyumu, 27-30 Eylül, Ankara, 331-340.
- Doğan, M., Turhan, Y., Alkan, M., Namlı, H., Turan, P., Demirbaş, Ö., 2007. Functionalized Sepiolite for Heavy Metal Ions Adsorption, Desalination 230, 248-268.
- Dpt, 1996. Lületaş, Tabakalı Sepiyolit, Atapulgit (Paligorskit), Devlet Planlama Teşkilatı VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu, Cilt 1, Yayın No: DPT 2421 ÖİK :480, Ankara, 5-35.
- Duran, M. ve Demirer, G.N., 1997. Su Arıtımında Temel İşlemler. Lazer Ofset, Ankara, 203s.
- Eckenfelder, W.W., Jr., 1989 Industrial Water Pollution Control. McGraw-Hill Inc. 400p.
- Egolf, C.B., McCabe, W.L., 1937. Rate of Sedimentation of Flocculated Particles. Trans.Amer.Inst.Chem.Engrs., 33, 620.
- Eroğlu, V., 1991. Su Tasfiyesi. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, 314s.
- Ersal, E. K., 2013. Sepiolit ile Sulu Çözeltilerden Ni(II) İyonunun Giderilmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Faust, S.D., Aly, O.M., 1983. Chemistry of Water Treatment. Butterworth Publishers, 723p.

- Fersman, A.E., 1913. Research on Magnesium Silicates, Zap. Imp. Akad. Nauk, 32, 321-430.
- Galan, E., 1996. Properties and Applications of Palygorskite - Sepiolite Clays, Clay Minerals, 31, (4) , 443-453.
- Göknil, H., Töröz, İ., Çimşit, Y., 1984. Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlanma Esasları Projesi-Tekstil Endüstrisi . İTÜ Çevre ve Şehircilik Araştırma Merkezi, 282s.
- Gölcür, N., 2007. Sulu Çözeltilerdeki Demir Siyanür Kompleksinin Sepiyolit ile Adsorplanabilirliği, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, s.68-70.
- Handley, J., 1974. Sedimentation: On Introduction to Solids Flux Theory. Water Pollution Control, 73, 230-239.
- Hıraman, E. ve Tüzün, Ş., 1995. Kolloid Kimya. İstanbul Üniversitesi Müh. Fak. Yayınları, İstanbul, 295s.
- <https://www.adanaorganize.org.tr>
- İRKEÇ, T., 1993. Sepiyolitin Kullanım Alanları ve MTA-GİRİN Ortak Araştırma Projesinin Sonuçları, Ankara, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 5-6, 32-37.
- İRKEÇ, T., 1995. Regresyondaki Türkiye Madencilik Sektörü İçin Yeni Bir Umud: Sepiolit, VI. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara
- Jern N.W. (2006). Industrial Wastewater Treatment. Imperial College Press
- Jones, B.F., GALAN, E., 1988, Sepiolite and Polygorskite, Mineralogical Soc.19, 375 p.
- Jorgensen, S.E., 1979. Industrial Wastewater Management. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, Netherlands. ISBN: 0-444-41795-8. 388.
- Kalinske, A. A., 1948. Settling Characteristics of Suspensions in Water Treatment Processes. J.A. Wat.Wks.Ass., 40, 113-126.

- Künceek, İ., 2007. Ultrasonik İşlem ile Sepiyolit Mineralinin Sulu Ortamdan Ağır Metal ve Boyarmadde Gideriminde Adsorbent Olarak Kullanımının Geliştirilmesi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı , s99-100.
- Lemic, J., Tomasevic-Canovic M., Djuricic, M., ve Stanic, T., 2005. Surface Modification of Sepiolite With Quaternary Amines. *Journal of Colloid and Interface Science*, 292. 11-19.
- Lin, S.H., Peng, C.F., 1994. Treatment of Textile Wastewater by Electrochemical Method. *Water Research*, 28 (2), 277-282
- Metcalf ve Eddy, 1991. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. McGraw Hill Inc., McGraw-Hill Inc., 1334s.
- Miura, A., Nakazawa, K., Takei, T., Kumada, N., Kinomura, N., Ohki, R., ve Koshiyama, H., 2012. Acid-, base-, and heat-induced degradation behaviour of Chinese sepiolite. *Ceramics International*, 38, 4677-4684.
- Morrison, C., Bandara, J., Kiwi, J., 1996. Sunlight induced decolouration degradation of non-biodegradable Orange 2 dye by advanced oxidation technologies in homogeneous and heterogeneous media. *J. Adv. Oxid. Technol.*(1): 160-169.
- Murathan, A.S., 2008. Atıksulardan Reaktif Boyanın Dolgulu Kolonlarda Giderilmesi, *Kafkas Üniv. Fen ve Müh. Derg.* 2008, 1(1): 5-8.
- Murathan, A., Hıdıroğlu, B., Murathan, A.S., 2008. Atıksulardaki Nikel İyonunun Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyonla Giderimi, *Kafkas Üniv. Fen ve Müh. Derg.* 2008, 1(1): 9-12.
- Murray, H.H., 1999. *Applied Clay Mineralogy today and tomorrow*. *Clay Minerals*, 34, 39-49.
- Nemerow, N.L., 1978. *Industrial Water Pollution, Origins, Characteristics and Treatment*. Addison-Wesley Publishing Company, 733s.

- Okte, A.N., ve Sayınsoz, E., 2008. Characterization and Photocatalytic activity of TiO₂ supported sepiolite catalysts. *Separation and Purification Technology*, 62, 535-543.
- Ozcan, A.S., ve Gok, O., 2012. Structural characterization of dodecyltrimethylammonium (DTMA) bromide modified sepiolite and its adsorption isotherm studies. *Journal of Molecular Structure*, 1007, 36-44.
- Özdemir, Y., 2005. Katyonik Boyar Maddelerin Sepiyolit Yüzeyinde Adsorpsiyonu ve Adsorpsiyon Kinetiği, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Panday, K.K., Prasad, G., Singh, V.N., 1985. *Water Res.* 19 (7) (1985) 869.
- Rytwo, G., Rettig, A., Gonen, Y., 2010. Organo Sepiolite Particles for Efficient Pretreatment of Organic Wastewater: Application to Winery Effluents, *Applied Clay Science* 51, (2011) 390-394.
- Sabah, E., Güney, E., 2013. Sepiyolite Aromatik (BDMHDA-Cl) ve Alifatik (HDTMA Cl) Amin Adsorpsiyonu, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 025803, 19-24.
- Sariz, K., ve Nuhoglu, İ., 1992. Eskişehir, Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciligi, *Anadolu Üniversitesi Yayınları*, 636, 338-343.
- Serratos, J.M., 1979. Surface Properties of Fibrous Clay Minerals (Palygorskite and Sepiolite), *Development Sedimentol*, 27, 99-109.
- Shamsudin, M.S., Shahadat, M., 2019. Cellulose/Bentonite-Zeolite Composite Adsorbent Material Coating for Treatment of N-Based Antiseptic Cationic Dye from Water, *Journal of Water Process Engineering* 29 (2019) 100764,
- Shu, H.Y., Huang, C.R., Chang, M.C., 1994. Decolourization of mono-azo dyes in wastewater by advanced oxidation process: a case study of acid red 1 and acid yellow 23. *Chemosphere*, 29:2597-2607 *International Journal of Environment and Pollution*. IJEP. 21(6):603-611.
- Skky, 2004 Su kirliliği Kontrolü Yönetmeliği.

- Soheilmoghaddam, M., Wahit, M.U., Yusuf, A.A., Al-Saleh, M.A., ve Whye, W.T., 2014. Characterization of bio regenerated cellulose/sepiolitenanocompositefilms prepared via ionic liquid. *Polymer Testing*, 33, 121-130.
- Suarez, M., ve Garcia-Romero, E., 2012. Variability of the Surface Properties of Sepiolite. *Applied Clay Science*, 67-68, 72-82.
- Şengül, F., Küçükgül, E.Y., 1995 Çevre Mühendisliğinde Fiziksel Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler. DEÜ Müh. Fak. Basım Ünitesi, İzmir, 165s.
- Tebbut, T.H.Y. ve Christoulas, D.G., 1975. Performance Relationship for Primary Sedimentation. *Water Res.*, 9(4): 347-359.
- Tekin, B., 2013. Ağır Metal İyonlarının Tekli ve İkili Karışımlarının Farklı Kil Türleriyle Adsorpsiyonun İncelenmesi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.
- Toprak, H., 1994. Atıksu Arıtma Sistemlerinin Tasarım Esasları, Cilt I.
- Toröz, İ., Meriç, S., Talımlı, İ., Sarıkaya, H.Z., 1994. Bursa Organize Sanayi Bölgesinde Kirlenme Profili. İTÜ 4. Endüstriyel Kirlenme Profili Sempozyumu İstanbul, s.29-41.
- Tünay, O., 1996. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü. İTÜ İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul, 128s.
- Uğurlu, M., Kula, İ., Vaizoğullar, A.İ., 2003. Elektrokimyasal Ön Arıtıma Tabi Tutulan Ve Tutulmayan Karasuda, Fenol ve Lignin Bileşiklerinin Adsorpsiyonu, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.Cilt, 3.Sayı, s.63-69
- Uslu, O., Özer, A. ve Toprak, H., 1994. Su ve Atıksu Arıtımında Çökeltme, Yüzdürme ve Mekanik Filtrasyon. D.E.Ü. Müh. Fak. Yayınları No.239, 233s.

- Uzun, M.T., Yılmaz, S.İ., Vaizoğullar, A.İ., Uğurlu, M., 2014 Çeşitli Adsorbentler Kullanılarak Flumequin' in (Antibiyotik türü) Atık Sulardan Adsorbsiyon Yöntemiyle Giderilmesi, ISEM 2014, s 1411-1420.
- Vico, L.I., 2003. Acid-base Behaviour and Cu²⁺ and Zn²⁺ Complexation Properties of the Sepiolite/Water Interface. Chemical Geology, 198, 213-222.
- Weslind, P.A., 1965. The Significance of Particle Size Distrubition in Hindered Settling. E.S.E. Notes, 2, No. 4,6
- Yeniyol, M., 1992. Yenidoğan (Sivrihisar) Sepiyolit Yatağının Jeolojisi, Mineralojisi ve Oluşumu, MTA Dergisi 114,71-84.

ÖZGEÇMİŞ

1994 yılında Çanakkale'nin Çan ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Niğde Atatürk İlköğretim Okulu ve Atatürk Lisesinde tamamladı. 2012 yılında başladığı Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden 2016 yılında mezun oldu. Aynı yıl içerisinde Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünden yüksek lisansa başladı ve halen yüksek lisans öğrenimine devam etmekte.

