

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN MURADIYE ATIKSU ARITMA TESİSİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ  
KULLANILARAK ARITMA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine CANGÜL  
Danışman: Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN  
İkinci Danışman: Doç. Dr. Adnan ALDEMİR

VAN – 2025

□□□

T.C.  
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**VAN MURADIYE ATIKSU ARITMA TESİSİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ  
KULLANILARAK ARITMA PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emine CANGÜL

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ (Danışman-Başkan)

Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN (Üye)

Doç. Dr. Dilara ÖZTÜRK (Üye)

VAN – 2025

□

□

### KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN danışmanlığında, Emine CANGÜL tarafından sunulan “Van Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinin Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanılarak Arıtma Performansının Değerlendirilmesi” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 20/08/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş ve yüksel lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Doç. Dr. Ayşegül DEMİR YETİŞ İmza:

Üye: Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN İmza:

Üye: Doç. Dr. Dilara ÖZTÜRK İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .... /.... /..... tarih ve ..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

Enstitü Müdürü

□ □

iii

## ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İmza

Emine CANGÜL

□

□

iii

□

iii

## ÖZET

### VAN MURADIYE ATIKSU ARITMA TESİSİNİN YANIT YÜZEY YÖNTEMİ KULLANILARAK ARITMA TESİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

CANGÜL, Emine

Yüksek Lisans Tezi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Adnan ALDEMİR

Ekim 2025, 73 sayfa

Nüfusun artışı, teknolojik gelişmeler, hayat standartlarının yüksek olması, sanayinin gelişmesi gibi sebeplerle günümüzde su ihtiyacı sürekli artmakta ve temiz su kaynakları hızla tükenmektedir. Bununla birlikte ülkemizde ve dünyada atıksu üretimi sürekli arttığından meydana gelen atıksuların herhangi bir kontrol yapılmadan doğaya verilmesi çevre kirliliğine neden olmaktadır. Atıksuların arıtılması, su kaynaklarının korunması için önemli bir faktördür ve fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri günümüzde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu çalışmada Van'ın Muradiye ilçesinde bulunan atıksu arıtma tesisinin farklı noktalarından atıksu numuneleri alınarak; pH, çözülmüş oksijen, iletkenlik, askıda katı madde (AKM), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), azot ve fosfor gibi parametreler ölçülerek bu veriler ışığında atıksu arıtma tesisinin performansı değerlendirilmiştir. Parametre değerlerine bakılarak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) deşarj standartlarına uygun olup olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada atıksu arıtma tesisinin performansı CYY (Cevap Yüzey Yöntemi) kullanılarak değerlendirilmiş ve kirlilik parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. Arıtma tesisinin performansının değerlendirilmesinde havalandırma havuzundan alınan numunelerde karışık sıvıdaki askıda katı madde (MLSS), karışık sıvıdaki uçucu askıda katı madde (MLVSS), çamur hacim indeksi (SVI), oksidasyon redüksiyon potansiyeli (ORP) gibi parametrelerin zamana bağlı grafikleri çizilerek değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada yapılan proses

optimizasyonu sayesinde VASKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen Van Muradiye Eysel Atıksu Arıtma tesisinin işletme veriminin artırılması mümkün olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Atıksu arıtımı, Giderim verimi, Optimizasyon, Van Muradiye atıksu arıtma tesisi, Yanıt yüzey yöntemi

□

□

□

## ABSTRACT

### EVALUATION OF VAN MURADIYE WASTEWATER TREATMENT PLANT USING RESPONSE SURFACE METHOD

CANGÜL, Emine

M.Sc. Thesis, Department of Environmental Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN

Second Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Adnan ALDEMİR

October 2025, 73 pages

Water demand is increasing and water resources are rapidly depleting because of reasons such as population growth, technological development, rising living standards, and industrial development. For this reason, wastewater production has increased in the world and in our country. The uncontrolled discharge of these wastewaters into nature causes environmental problems. Treatment of wastewater is an important factor for the protection of water resources, and physical, chemical, biological and advanced biological treatment methods are widely applied today. In this study, wastewater samples will be taken from different points determined in the wastewater treatment plant located in Muradiye district of Van; parameters such as pH, dissolved oxygen, conductivity, Suspended Solids (SSM), Chemical Oxygen Demand (COD), Biological Oxygen Demand (BOD), nitrogen and phosphorus will be measured and the performance of the wastewater treatment plant will be evaluated in the light of these data. By looking at the parameter values, it will be determined whether it complies with the discharge standards of the Water Pollution Control Regulation (WCR). In addition, the performance of the wastewater treatment plant will be evaluated using CCD (Central Composite Design) and the optimization of pollution parameters will be done. In the evaluation of the performance of the treatment plant, the parameters such as mixed liquid suspended solids (MLSS), mixed liquid volatile suspended solids (MLVSS), sludge volume index (SVI), oxidation reduction potential (ORP) will be evaluated by drawing time-dependent graphs in the samples taken from the aeration tank. Thanks to the process optimization carried out in this study, it will be possible to solve the operational problems of Van Muradiye Domestic Wastewater Treatment Plant operated by Vaski General Directorate.

**Keywords:** Expiration efficiency, Optimization, Response surface method, Wastewater treatment, Van Muradiye wastewater treatment plant

□

x

□

□

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması süresince her türlü bilgi ve tecrübesini benimle paylaşarak yol gösteren, danışmanım Sayın Doç. Dr. Ayşe ÖZGÜVEN' e ve Ayrıca sabır ve ilgisiyle beni cesaretlendiren bilgi ve tecrübesinden faydalandığım Sayın Doç. Dr. Adnan ALDEMİR'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm hayatım boyunca her türlü kararımı destekleyerek sabırla her zaman arkamda olduklarını hissettiğim, beni cesaretlendiren ve moral veren annem Hamide CANGÜL ve babam Mehmet CANGÜL 'e sonsuz teşekkürler...

Çalışmada verileri kullanılan VASKİ Genel Müdürlüğü ve desteklerinden dolayı Arıtma Daire Başkanı Sayın Ahmet DURAK Beye teşekkür ederim.

□

□  
iv

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

<a href="#">ÖZET</a>	i
<a href="#">ABSTRACT</a>	iii
<a href="#">TEŞEKKÜR</a>	v
<a href="#">İÇİNDEKİLER</a>	vii
<a href="#">ÇİZELGELER LİSTESİ</a>	ix
<a href="#">ŞEKİLLER LİSTESİ</a>	xi
<a href="#">SİMGELER VE KISALTMALAR</a>	xiii
<a href="#">1. GİRİŞ</a>	1
<a href="#">1.1 Proses Parametrelerinin Optimizasyonu</a>	6
<a href="#">1.2 Atıksular</a>	7
<a href="#">1.3 Atıksu Arıtma Yöntemleri</a>	9
<a href="#">1.3.1 Fiziksel Arıtma</a>	9
<a href="#">1.3.2 Izgaralar</a>	9
<a href="#">1.3.3 Kum Tutucular</a>	10

<a href="#">1.3.4 Yağ Tutucular</a>	10	
<a href="#">1.3.5 Çökeltme Havuzları</a>	11	
<a href="#">1.3.6 Biyolojik Arıtma- Aktif Çamur Prosesleri</a>	12	
<a href="#">1.3.6.1 Geleneksel aktif çamur prosesleri</a>	12	
<a href="#">1.3.6.2 Temas Stabilizasyon Prosesi</a>	13	
<a href="#">1.3.6.3 Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesleri</a>	14	
<a href="#">1.3.7 Kimyasal Arıtma</a>	16	
<a href="#">2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ</a>	19	
<a href="#">3. MATERYAL VE YÖNTEM</a>	23	
<a href="#">3.1 Van Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi</a>	23	
<a href="#">3.2 Muradiye Atıksu Arıtma Tesislerinin Bölümleri</a>	25	
<a href="#">3.2.1 Giriş Ünitesi ve Izgara Sistemleri</a>	25	
<a href="#">3.2.2 Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi</a>	27	
<a href="#">3.2.3 Bio-Fosfor (Anaerobik) Ünite</a>	28	
<a href="#">3.2.4 Havalandırma Ünitesi</a>	29	
<a href="#">3.2.5 Son Çökeltim Ünitesi</a>	30	
<a href="#">3.2.6 Geri Devir Sistemi ve Teleskopik Vanaların Rolü ve Fazla Çamur Yönetimi</a>	32	
<a href="#">3.2.7 Ultraviyole (UV) Ünite</a>	34	
<a href="#">3.3 Atıksu Parametreleri</a>	35	
<a href="#">3.3.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)</a>	35	
<a href="#">3.3.2 Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)</a>	36	
<a href="#">3.3.3 Toplam Katı Madde (TKM)</a>	37	
<a href="#">3.3.4 Askıda Katı Madde (AKM)</a>	38	
<a href="#">3.3.5 pH</a>	39	
<a href="#">3.3.6 İletkenlik</a>	39	
<a href="#">3.3.7 Azot (N)</a>	39	
<a href="#">3.3.8 Fosfor (P)</a>	40	
<a href="#">3.3.9 Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Madde (MLSS)</a>	41	
<a href="#">3.3.10 Karışık Sıvıdaki Uçucu Askıda Katı Madde (MLVSS)</a>	41	
<a href="#">3.3.11 Çamur Hacmi İndeksi (SVİ)</a>	41	
<a href="#">3.4 Merkezi Kompozit Tasarımı</a>	42	
<a href="#">3.5 Optimizasyon ve Design Expert Programı</a>	45	
<a href="#">3.5.1 Optimum Arıtım Koşullarını Belirlemek İçin Yapılan Deneyler</a>	46	
<a href="#">4. BULGULAR</a>	49	
<a href="#">4.1 Atıksuya Ait Kirlilik Yüklerinin Değerlendirilmesi</a>	49	
<a href="#">4.2 Design Expert Programında Oluşturulan Varyans Analizi Sonuçları ve Üç Boyutlu Grafikler</a>	52	
<a href="#">4.3 Program Tarafından Oluşturulan Kodlu ve Gerçek Değerlere Göre Model Denklemleri</a>	62	
<a href="#">4.4 Optimizasyon Sonuçları</a>	63	
<a href="#">5. TARTIŞMA VE SONUÇ</a>	65	
<a href="#">KAYNAKLAR</a>	67	
<a href="#">ÖZ GEÇMİŞ</a>	73	

Sayfa

## ÇİZELGELER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<a href="#">Çizelge 1.1 Aktif çamur proseslerinin karşılaştırılması</a>	16
<a href="#">Çizelge 1.2 Kimyasal arıtma sürecinin temel basamakları</a>	17
<a href="#">Çizelge 3.1 Çamur susuzlaştırma yöntemleri ve tipik katı madde oranları</a>	34
<a href="#">Çizelge 3.2 MKT için seçilen değişkenlerin faktöriyel, aksiyal ve merkez noktaları</a>	46
<a href="#">Çizelge 3.3 Van Muradiye atıksu arıtma tesisi için MKT ile oluşturulan deney programı</a>	47
<a href="#">Çizelge 4.1 Van Muradiye atıksu arıtma tesisinin MKT deney sonuçları</a>	51
<a href="#">Çizelge 4.2 Programdaki modellerin kareler toplamı</a>	52
<a href="#">Çizelge 4.3 Programda verilerin uygulandığı modellerin istatistiksel özeti</a>	53
<a href="#">Çizelge 4.4 KOİ giderimi için kuadratik modelin ANOVA sonuçları</a>	54
<a href="#">Çizelge 4.5 KOİ giderimi için belirlenmiş R<sup>2</sup> değerleri ve diğer istatistik değerler</a>	54
<a href="#">Çizelge 4.6 Çalışılan aralık için yazılım programının optimizasyon kriterleri</a>	64
<a href="#">Çizelge 4.7 Program tarafından önerilen optimum arıtım koşulları</a>	64

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
<a href="#">Şekil 1.1 Geleneksel aktif çamur işlemi</a>	13
<a href="#">Şekil 1.2 Temas stabilizasyon prosesi</a>	14
<a href="#">Şekil 1.3 Uzun havalandırmalı aktif çamur presesleri</a>	15
<a href="#">Şekil 3.1 Muradiye atıksu arıtma tesisi giriş ünitesi</a>	26
<a href="#">Şekil 3.2 Muradiye atıksu arıtma tesisinin kum ve yağ tutucu ünitesi</a>	27
<a href="#">Şekil 3.3 Muradiye atıksu arıtma tesisine ait anaerobik ünite</a>	29
<a href="#">Şekil 3.4 Muradiye atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu ünitesi</a>	30
<a href="#">Şekil 3.5 Muradiye atıksu arıtma tesisi son çökeltme ve dağıtım yapısı</a>	32
<a href="#">Şekil 3.6 Muradiye atıksu arıtma tesisi geri devir yapısı</a>	33
<a href="#">Şekil 3.7 Muradiye atıksu arıtma tesisi çamur susuzlaştırma ünitesi</a>	33

<a href="#">Şekil 3.8 Muradiye atıksu arıtma tesisine ait Ultraviyole (UV) ünite</a>	35
<a href="#">Şekil 3.9 Atıksudaki KOİ fraksiyonları</a>	36
<a href="#">Şekil 3.10 Aerobik mikroorganizmalar aracılığıyla organik maddelerin parçalanması.</a>	37
<a href="#">Şekil 3.11 Atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması</a>	38
<a href="#">Şekil 3.12 Atıksularda azot formlarının sınıflandırılması.</a>	40
<a href="#">Şekil 3.13 Üç değişkenli üç seviyeli merkezi kompozit tasarımın kübik gösterimi</a>	43
<a href="#">Şekil 3.14 (a) iki değişkenli ve (b) üç değişkenli MKT'lerin gösterimi</a>	45
<a href="#">Şekil 4.1 Zamana bağlı KOİ giderimi ile MLSS ve MLVSS konsantrasyonlarının karşılaştırılması</a>	49
<a href="#">Şekil 4.3 % KOİ giderimi için gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin gösterimi</a>	55
<a href="#">Şekil 4.4 Deneysel değerler ile modelden hesaplanan değerler arasındaki hataların gösterimi</a>	56
<a href="#">Şekil 4.5 pH ve iletkenlik değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	57
<a href="#">Şekil 4.6 pH ve çözülmüş oksijen değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	58
<a href="#">Şekil 4.7 pH ve askıda katı madde değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	59

#### Sayfa

<a href="#">Şekil 4.8 İletkenlik ve çözülmüş oksijen değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	60
<a href="#">Şekil 4.9 İletkenlik ve askıda katı madde değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	61
<a href="#">Şekil 4.10 Çözülmüş oksijen ve askıda katı madde değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi</a>	62



□

## **SİMGELER VE KISALTMALAR**

**Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.**

### **Simgeler Açıklama**

<b>%</b>	<b>Yüzde</b>
<b>°</b>	<b>Derece</b>
<b>µm</b>	Mikrometre
<b>µS</b>	<b>Mikrosaniye</b>
<b>cm</b>	Santimetre
<b>Fe</b>	<b>Demir</b>
<b>ha</b>	<b>Hektametre</b>
<b>K</b>	Potasyum
<b>km</b>	Kilometre
<b>L</b>	Litre
<b>m</b>	Metre
<b>m<sup>3</sup></b>	Metreküp
<b>mg</b>	Miligram
<b>mg/L</b>	Miligram/Litre
<b>mm</b>	Milimetre
<b>N</b>	Azot
<b>P</b>	Fosfor

### **Kısaltmalar Açıklama**

<b>AKM</b>	<b>Askıda Katı Madde</b>
<b>BOİ</b>	<b>Biyolojik Oksijen İhtiyacı</b>
<b>BBT</b>	Box Behnken Tasarımı
<b>CYY</b>	<b>Cevap Yüzey Yöntemi</b>
<b>DMT</b>	<b>Doehlert Matrix Tasarım</b>
<b>Kısaltmalar Açıklama</b>	

<b>DO</b>	<b>Çözülmüş Oksijen</b>
-----------	-------------------------

<b>EC</b>	Emülsiyon Konsantre
<b>KOİ</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>MKT</b>	Merkezi Kompozit Tasarımı
<b>MLSS</b>	Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Madde
<b>MLVSS</b>	Karışık Sıvıdaki Uçucu Askıda Katı Madde
<b>ORP</b>	Oksidasyon-Redüksiyon Potansiyeli
<b>RAS</b>	Retiküler Aktivasyon Sistemi
<b>SKKY</b>	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
<b>SRT</b>	Katı Tutma Süresi
<b>SVI</b>	Çamur Hacim İndeksi
<b>TÜİK</b>	Türk İstatistik Kurumu
<b>UAKM</b>	Uçucu Askıda Katı Madde
<b>UV</b>	Ultraviyole
<b>vd.</b>	ve diğerleri

□□

72

## 1. GİRİŞ

Su kaynakları insan hayatının vazgeçilmez unsurlarından biridir ve gelecek kuşaklara temiz ve sağlıklı bir şekilde aktarılması gerekmektedir. Su kaynaklarının kirlenmesinde sanayileşme ve buna bağlı olarak oluşan atıksular en büyük öneme sahiptir. Doğadaki ekolojik dengenin olumsuz etkilenerek suyun yararlı kullanılmasına engel oluşturacak olayları engelleymek adına atıksuların uzaklaştırılmadan önce arıtılması gerekmektedir. Bundan dolayı atıksu arıtma tesisleri yerleşim kentlerine kurularak endüstriyel ve evsel atıksular bir kanal sistemi aracılığıyla tesislere ulaştırılmaktadır (Samsunlu, 2006).

Dünya genelinde bulunan suyun yüzde birini akarsular, göller ve tatlı sular oluşturmaktadır. Sanayileşme, insan faaliyetleri ve nüfusun hızla artmasından dolayı ortaya çıkan atıksular doğayı kirletmektedir. Bunun sonucunda kirlenme tehlikesi ile alıcı ortamlar karşı karşıya kalmaktadır. Toplumların gelişmesinin garanti altına alma gereksinimi ve giderek daha sınırlandırıcı hale gelen su yasaları nedeniyle, tesisatlar ile bağlantılı olan nüfus yüzdesi, gerekli arıtım seviyeleri ve kentsel atıksu arıtma tesislerinin sayısı Dünya ve Avrupa genelinde sürekli artmaktadır (Silva vd., 2014).

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre ülkemizde su tüketimi toplam 39 milyar m<sup>3</sup> olup, bunun 4 milyar m<sup>3</sup>'ü sanayi sektöründe, 6 milyar m<sup>3</sup>'ü içme-kullanma suyu temininde ve 29 milyar m<sup>3</sup>'ü sulama sektöründe kullanılmaktadır (TÜİK, 2022). 2030 yılına yönelik öngörüler, sanayi, içme-kullanma ve sulama suyu tüketiminde artış olacağını göstermektedir. Bununla birlikte, sulama alanında modern sulama teknolojilerinin yaygınlaşmasıyla su kullanımında yaklaşık %10 oranında bir azalma beklenmektedir (SBB, 2018; Tarım ve Orman Bakanlığı, 2019). Ancak genel olarak bakıldığında, 2030 yılında Türkiye'nin su ihtiyacının günümüzdeki tüketim miktarının yaklaşık üç katına ulaşacağı tahmin edilmektedir. Su kaynakları genellikle tarımsal sulama, içme-kullanma ve endüstriyel üretim amaçlı kullanılmaktadır ve bu süreçlerde karşılaşılan en önemli sorunların başında aşırı su kayıpları ve yüksek tüketim gelmektedir. Özellikle tarımsal bölgelerde ihtiyaçtan fazla yapılan su kullanımı, mevcut kaynakların sürdürülebilirliğini tehdit etmekte ve her geçen gün su potansiyelinin azalmasına yol açmaktadır (TÜİK, 2022).

Türkiye'de mevcut su kaynakları, ağırlıklı olarak yeraltı suları ve yüzeysel kaynaklar olmakla birlikte; akarsu, göl, baraj, deniz, kaynak ve kuyu suları şeklinde çeşitlilik arz etmektedir. Ancak, suyun kaynaktan tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süreçte buharlaşma, kaçaklar ve sızıntılar nedeniyle önemli miktarda kayıpların meydana gelmesi, suyun etkin yönetimi için altyapı yatırımlarının gerekliliğini ön plana çıkarmaktadır. Nüfus artışı, hızlı kentleşme, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler doğrultusunda günlük su tüketiminde sürekli bir artış yaşanmakta, bu durum ise yeraltı ve kaynak sularındaki rezervlerin azalmasına neden olmaktadır. Buna bağlı olarak, içme ve kullanma suyu temininde yüzeysel su kaynaklarının önemi giderek artmaktadır. Atıksu arıtma teknolojilerinde kaydedilen ilerlemeler, arıtma tesislerinin hizmet verdiği nüfus oranının artmasına önemli katkılar sağlamıştır; bu gelişmeler hem su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi hem de çevre sağlığının korunması açısından kritik bir öneme sahiptir. Ayrıca, yürürlükteki mevzuat kapsamında, kanalizasyon şebekesine sahip yerleşim birimlerinde atıksuların şebekeye verilmesi yerel yönetimler açısından yasal bir zorunluluk haline getirilmiştir. Çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması açısından ise atıksuların alıcı ortamlara deşarj edilmeden önce uygun arıtma

süreçlerinden geçirilmesi kritik bir gereklilik olarak değerlendirilmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2008).

Literatürde, kullanılan suların içerdiği çok sayıda kirleticinin çevre ve halk sağlığı açısından ciddi tehdit oluşturduğu vurgulanmaktadır (İbadullayeva vd., 2019). Bu nedenle, atıksuların etkin bir şekilde arıtılması, sürdürülebilir su yönetiminin temel bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle artan nüfus, sanayileşme ve kentleşme süreçleri dikkate alındığında hem dünyada hem de Türkiye’de atıksu arıtma tesislerinin tasarımı ve işletilmesi kritik bir öneme sahiptir. Atıksu arıtma tesisleri, seçilen arıtma yöntemine bağlı olarak atıksuları işlemden geçirerek alıcı ortamlara kontrollü bir şekilde deşarj etmektedir. Ancak, bu tesislerin yüksek yatırım maliyetlerine sahip olması, projelendirme sürecinde titiz bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Tesislerin yalnızca inşa edilmesi yeterli olmayıp, aynı zamanda işletme aşamasında doğru bir şekilde yönetilmesi hedeflenen su kalitesine ulaşılması açısından önemlidir (İbadullayeva vd., 2019).

Atıksuların arıtılmasında kullanılan yöntemler, genellikle suyun karakteristik özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır, bu yöntemler birincil, ikincil ve üçüncül arıtma aşamalarını içermektedir. Birincil arıtma, çoğunlukla çökebilir ve yüzebilen katı maddelerin uzaklaştırılmasına yönelik fiziksel işlemleri kapsamaktadır. İkincil arıtma yöntemleri ise, organik kirletici maddelerin gideriminin de biyolojik ve kimyasal süreçlere dayanmaktadır. Üçüncül arıtma yöntemleri ise, özellikle ikincil arıtma süreçlerinde yeterince giderilemeyen çözünmüş kirleticilerin ve organik maddelerinin uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır (Demir, 2000). Bu bağlamda, literatürde farklı arıtma teknolojilerinin çevresel etkinliği üzerine yapılan çalışmalar, arıtma sistemlerinin temel yapısında büyük bir değişim olmadığını, ancak otomasyona dayalı kontrol mekanizmalarının giderek yaygınlaştığını ortaya koymaktadır. İnsan gücüne dayalı süreçler hâlâ önemini korumakla birlikte, otomasyon teknolojilerinin entegrasyonu, arıtma tesislerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesine olanak tanımaktadır (Demir, 2000).

Atıksu arıtma tesislerinde mikroorganizmaların davranışlarının izlenmesi ve arıtma performansının değerlendirilmesi yeni arıtma teknolojilerinin geliştirilmesi açısından önemli bir araştırma alanı olarak değerlendirilmektedir (Salihoğlu, 2012). Literatürde, arıtma süreçlerinin etkinliğinin büyük ölçüde mikroorganizmaların biyolojik aktivitesine ve çamur dinamiklerine bağlı olduğu vurgulanmaktadır. Bu nedenle, aktif çamur sistemleri başta olmak üzere biyolojik arıtma yöntemleri, modern tesislerde en yaygın kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır.

Atıksu arıtma genel olarak mekanik, biyolojik ve ileri arıtma aşamalarını kapsamaktadır. Mekanik aşamada ızgaralar, kum tutucular ve ön çökeltme havuzları aracılığıyla iri taneli partiküller, yağ ve kum gibi maddeler uzaklaştırılmaktadır. Biyolojik arıtma aşamasında, organik kirliliğin giderimi için nitrifikasyon, denitrifikasyon ve biyolojik fosfor giderimi gibi süreçler uygulanmakta olup, bu aşamada mikroorganizmalar temel rol üstlenmektedir. İleri arıtma aşaması ise ikincil arıtmada yeterince giderilemeyen azot, fosfor ve çözünmüş organik maddelerin giderimini hedeflemektedir (Öztürk vd., 2005).

Benzer şekilde, farklı araştırmalarda da biyolojik arıtma proseslerinin çevresel verimliliği ve performansı incelenmiştir. Örneğin, Öztürk vd. (2005), aktif çamur sistemlerinde havalandırma havuzlarının nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçlerindeki rolünü vurgulamış ve biyolojik fosfor gideriminin anaerobik koşullarda mikroorganizmaların metabolik tepkimeleriyle gerçekleştiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, çamur susuzlaştırma ve uzaklaştırma ünitelerinin, arıtma tesislerinin bütünsel performansında kritik bir aşama olduğu, özellikle dekantör ve kurutma ünitelerinin nihai çamur hacmini azaltarak bertaraf sürecini kolaylaştırdığı ifade edilmektedir (Öztürk vd., 2005). Atıksularda mikroorganizma gideriminin yalnızca biyolojik süreçlerle sınırlı olmadığı, aynı zamanda deşarj hattı uzunluğu ve ek dezenfeksiyon yöntemleri (ozonlama, ultraviyole) ile de desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Öztürk, 2011).

Literatürde özellikle yerel ölçekte atıksu arıtma tesislerinin performans değerlendirmeleri üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Okumuş vd. (2023) Van ili Edremit ve Gevaş Atıksu Arıtma Tesisleri üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada, tesislerin çıkış suyu kalitesi ve atıksu karakteristiği mevsimsel olarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma, arıtma tesislerinin verimliliğinin yüksek olduğunu ve Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği standartlarına uygun çıkış suyu kalitesi sağladığını göstermiştir. Bu tür araştırmalar, yalnızca mevcut performansı ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda geleceğe yönelik altyapı yatırımlarının yapılmasına ve işletme planlamalarının geliştirilmesine yönelik yol gösterici nitelik taşımaktadır. (VASKİ, 2015).

Sonuç olarak, atıksu arıtma tesislerinde kullanılan mekanik, biyolojik ve ileri arıtma yöntemlerinin büyük oranda benzer prensiplere dayandığı; ancak proseslerin etkinliğinin, tesisin tasarımına, işletme koşullarına ve kullanılan otomasyon sistemlerine

bağlı olarak farklılık gösterebildiği anlaşılmaktadır. Çalışmalar, özellikle biyolojik arıtma süreçlerinin sürekli izlenmesinin, sürdürülebilir ve çevreyle uyumlu bir su yönetimi için kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışmada, arıtma proseslerinde istenilen verimin elde edilmesi ve zamandan tasarruf sağlanması amacıyla, atıksu arıtma tesisi çıkış suyu kalitesinin değerlendirilmesinde Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanılarak işletme parametrelerinin optimizasyonu hedeflenmiştir. CYY'nin uygulanması, prosesin verimliliğinin sistematik olarak incelenmesini kolaylaştırmakta ve arıtma performansının bilimsel yöntemlerle değerlendirilebilmesine olanak sağlamaktadır. Böylece sağlıklı koşullar oluşturan ve bulaşıcı hastalık riskini artıran geçici deşarjların önlenmesi, atıksuların etkin bir şekilde arıtma tesisine iletilerek arıtıldıktan sonra alıcı ortamlara kontrollü bir biçimde deşarj edilmesi ve böylece yerleşim alanlarının Çevre Kanunları çerçevesinde korunması hedeflenmektedir (VASKİ, 2015; Durak, 2020).

Muradiye (Van) Atıksu Arıtma Tesisi, ileri biyolojik arıtma sistemi ile işletilmekte olup, kolektör hattından gelen atıksu ön arıtma ünitelerinden geçirildikten sonra geri devir sistemi ve çökeltme havuzları vasıtasıyla arıtılmakta ve son olarak Bendimahı Çayı'na deşarj edilmektedir. Tesisin çamur hattında ise, çamur susuzlaştırma ünitesinde dekantör kullanılarak susuzlaştırma işlemi gerçekleştirilmekte ve oluşan çamur mevzuata uygun yöntemlerle bertaraf edilmektedir (VASKİ, 2015).

Cevap Yüzey Yöntemi, deneylerin planlanması, parametreler arasındaki etkileşimlerin değerlendirilmesi, modelleme ve süreç optimizasyonu için kullanılan matematiksel ve istatistiksel yöntemlerin bütünüdür. Çalışmada, prosesin arıtma verimi deneysel olarak incelenmiş ve CYY ile optimize edilmiştir. Literatürde CYY'nin kirleticilerin giderimi ve endüstriyel atıksuların arıtımının optimizasyonunda etkili bir yöntem olduğu vurgulanmaktadır (Öztürk vd., 2017; Arslan-Alaton vd., 2011).

Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nin yeni işletmeye alınmış olması nedeniyle, bu konuda yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu tez çalışmasında KOİ, BOİ, AKM, azot (N) ve fosfor (P) gibi temel parametrelerin zamana bağlı değişimleri incelenmiş, proses veriminin değerlendirilmiş ve CYY yöntemi ile proses parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Atıksu arıtma proseslerinde özellikle fosfor ve azot gideriminin sağlanması, Van Gölü'nün hassas su kütlesi niteliği nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinde ileri biyolojik arıtma prosesi tercih edilmiş olup, anaerobik ve havalandırma havuzlarında gerçekleşen biyolojik reaksiyonlarla organik karbon, azot ve fosfor giderimi gerçekleştirilmektedir. Ardından çökeltme havuzlarında aktif çamur ayrılarak, arıtılmış su deşarj standartlarına uygun biçimde Bendimahı Çayı'na deşarj edilmektedir (VASKİ, 2015).

Sonuç olarak, bu çalışmada, Muradiye (Van) Atıksu Arıtma Tesisi'nde arıtma veriminin değerlendirilmesi, CYY yöntemi ile optimizasyonun sağlanması ve düşük maliyetli yaklaşımlar sayesinde proses performansının hedeflenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen verilerin hem tesis işletmesine hem de benzer ölçekli atıksu arıtma tesislerinin tasarım ve planlama süreçlerine bilimsel katkı sağlaması beklenmektedir (Köymen, 2019).

Araştırmadan elde edilecek bulgular sayesinde;

- Prosesin daha verimli ve düşük maliyetli çalıştırılması,
- Zaman, enerji ve iş gücünden tasarruf sağlanması,
- Yeni işletmeye alınmış olan Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nin performansının artırılması,
- Van Gölü gibi hassas su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunulması hedeflenmektedir.

## 1.1 Proses Parametrelerinin Optimizasyonu

Endüstriyel bir tesisin planlanmasındaki temel amaç, belirli kalite standartlarına sahip ürünleri en ekonomik kurulum ve uygun işletme maliyetleriyle üretmektir. Bu hedefe ulaşmak için genellikle çok sayıda deneysel çalışma yapılması gerekmektedir; aksi takdirde tasarım sürecinde zaman, iş gücü ve donanım maliyetleri önemli ölçüde artmaktadır. Bu noktada optimizasyon, prosesin belirlenen çıktı parametreleri (bağımlı değişkenler) çerçevesinde, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve çıktıya etkileri göz önünde bulundurularak bütünsel bir şekilde yönetilmesi anlamına gelmektedir (Koç ve Kaymak-Ertekin, 2010).

Optimizasyon, deneysel mühendislik verilerinin planlanması, analiz edilmesi ve yorumlanmasını içeren istatistiksel yöntemler bütünüdür. Tasarlanmış deneyler sayesinde, uygulamada geçerli, güvenilir ve ekonomik şartlar altında süreci etkileyen kritik faktörler belirlenebilmekte ve süreç stabilitesi ile verimliliği artırılabilir. Ayrıca optimizasyon çalışmaları, yatırım maliyetleri ve üretim karı üzerindeki etkilerin değerlendirilmesine, reaksiyon süresinin kontrol edilmesine ve en uygun ürün

koşullarının tespitine olanak sağlamaktadır (Antony, 2003). Geleneksel yöntemlerde her bir değişkenin prosese etkisi incelenirken diğer değişkenler sabit tutulmakta ve böylece değişkenler arası etkileşimler tam olarak değerlendirilememektedir. Bu sınırlılığı aşmak, deney sayısını azaltmak, kaynakları etkin kullanmak ve zamandan tasarruf sağlamak amacıyla, sistem yanıtını ölçecek deneysel tasarımların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu tür deneysel tasarımlar, araştırma ve geliştirme süreçlerinin hızlanmasına ve proses performansının daha doğru bir şekilde optimize edilmesine imkan tanımaktadır (Aygün, 2012).

Muradiye (Van) Atıksu Arıtma Tesisinde arıtma proseslerinin verimliliğini artırmak ve işletme parametrelerini optimize etmek amacıyla Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) uygulanmıştır. CYY, deneysel tasarım, regresyon analizi ile yüzey modellemesi ve optimizasyon olmak üzere üç temel aşamadan oluşmaktadır. Bu yöntem, tesisin arıtma performansını etki eden kritik parametrelerin (pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, askıda katı madde ve KOİ gibi) belirlenmesini ve bu parametreler arasındaki etkileşimlerin sistematik bir şekilde analiz edilmesini sağlamaktadır (Tunç vd., 2014).

Atıksu arıtma tesisinde proses parametrelerinin optimizasyonu hem biyolojik hem de kimyasal arıtma aşamalarındaki performansı artırmayı, enerji, iş gücü ve zamandan tasarruf sağlamayı mümkün kılmaktadır. CYY kapsamında kullanılacak deney tasarım modelleri şunlardır:

- Doehlert Matrix Tasarımı (DMT),
- Merkezi Kompozit Tasarımı (MKT),
- Box-Behnken Tasarımı (BBT).

Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nde MKT tasarımları tercih edilmektedir. Bunun nedeni, her iki tasarımın ikinci dereceden modellere uygun olması ve üç boyutlu grafikler ile parametre etkileşimlerinin görselleştirilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu yaklaşım sayesinde, tesisin proses parametrelerinin optimum değerleri belirlenerek arıtma verimliliği artırılacak, proses stabilitesi sağlanacak ve arıtılmış suyun alıcı ortamlara deşarjı çevresel standartlara uygun hale getirilecektir (Tunç vd., 2014). Bu çalışma kapsamında, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan atıksu numuneleri üzerinde pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, askıda katı madde ve KOİ giderimi, CYY ile bu parametrelerin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Böylelikle, tesisin performansı hakkında detaylı veri elde edilmiştir ve gelecekteki işletme koşulları için bilimsel temelli öneriler geliştirilmiştir.

## 1.2 Atıksular

Atıksu, evsel, endüstriyel ve ticari faaliyetlerden kaynaklanan ve çeşitli kirleticiler içeren kullanılmış sular olarak tanımlanmaktadır. Bu sular, organik ve inorganik maddeler, besin tuzları, mikroorganizmalar ve kimyasal atıkları içerebilmektedir. Atıksular genellikle evsel atıksu, endüstriyel atıksu ve yağmur suyu akışı gibi kategorilere ayrılmaktadır (Fan vd., 2023; Zhang vd., 2025). Evsel atıksular, toplama sistemine karışan suyun tipine ve miktarına bağlı olarak farklı kirleticiler içerir. Bu sulara askıda katılar, çözünmüş organik ve inorganik maddeler ile kolloidal bileşenler bulunmaktadır. Ayrıca, evsel atıksulara endüstriyel atıkların karışması ile kimyasal ve fiziksel özellikler değişebilir (Sinan, 2010). Endüstriyel atıksular ise hammaddelerin işlenmesi, yıkama, ısıtma, taşıma ve ürün kontrol süreçlerinden kaynaklanır. Bu tür atıksuların içeriği, kullanılan malzeme ve endüstri türüne bağlı olarak farklılık göstermekte olup, genellikle yüksek BOİ, KOİ ve askıda katı madde içermektedir. Evsel atıksuların pH değeri genellikle 6-8 aralığında bulunurken, endüstriyel atıksularda bu değer çok daha düşük veya yüksek olabilir (Durak, 2020). Atıksuların arıtılması, suyun kullanım sonra geri kazanılması ve deşarj edilecek ortamın insan sağlığı ve ekolojik denge açısından uygun hâle getirilmesi amacıyla gerçekleştirilir. Arıtma süreçleri biyolojik, fiziksel ve kimyasal yöntemler aracılığıyla uygulanmakta olup, bu kapsamda organik maddeler, AKM, ağır metaller, patojenler ve azot ile fosfor gibi besin elementleri sistemden uzaklaştırılmaktadır (Demir, 2000; Mara ve Horan, 2003).

Muradiye (Van) Atıksu Arıtma Tesisi, ilçe merkezinden gelen evsel atıksuları toplayarak arıtmak amacıyla kurulmuştur. Tesis, ön arıtma, ikincil arıtma ve ileri arıtma aşamalarından oluşmaktadır. Ön arıtma sürecinde, kaba ızgaralar ve kum-yağ tutucular ile çökebilene ve yüzebilene katılar sistemden uzaklaştırılmaktadır. İkincil arıtma aşamasında, biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar sayesinde organik maddelerin giderimi sağlanmaktadır. İleri arıtma aşamasında ise, ön ve ikincil arıtmada yeterince giderilemeyen azot ve fosfor gibi besin elementleri ortamdan giderilmektedir. Bu

çalışma kapsamında, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan atıksu numunelerinde pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, askıda katı madde ve KOİ parametreleri ölçülmüş ve Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) ile proses optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede, tesisin arıtma performansı değerlendirilmiş ve optimum işletme koşulları belirlenmiştir (Tunç vd., 2014).

### 1.3 Atıksu Arıtma Yöntemleri

Atıksular, içerdiği yabancı maddelerin boyut ve özelliklerine bağlı olarak çökebilen, çözünmüş, kolloidal veya askıda maddeler içerebilmektedir. Bu kirleticiler, uygun arıtma yöntemleri kullanılarak giderilebilir. Atıksu arıtım teknikleri genel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılmaktadır. Bu yöntemler genellikle birbirini tamamlayıcı şekilde entegre edilerek ileri arıtma sistemlerinde uygulanmaktadır (Öztürk vd., 2005).

#### 1.3.1 Fiziksel Arıtma

Atıksulardan katı maddelerin uzaklaştırılması, arıtma tesislerinde uygulanan fiziksel arıtma süreçleri ile sağlanmaktadır. Bu aşamada, atıksularda bulunan iri ve askıda katı partiküller, suyun fiziksel özelliklerinden yararlanılarak sistemden ayrılır. Fiziksel arıtma, genellikle arıtma sürecinin başlangıç evresinde uygulanmakta olup, suyun biyolojik ve kimyasal arıtım üniteleri için uygun hâle gelmesini sağlamaktadır. Bu kapsamda başlıca yöntemler arasında çökeltme, süzme ve flotasyon yer almaktadır; büyük taneli partiküller yerçekimi etkisiyle dibe çökerken, daha küçük partiküller filtreleme ile ayrılır ve küçük taneli partiküller hava kabarcıkları yardımıyla yüze çıkarılır. Bu işlemler, sonraki arıtma aşamalarına daha temiz bir suyun iletilmesini sağlamak ve tesisin genel verimliliğini artırmaktadır (Yıldız vd., 2013).

#### 1.3.2 Izgaralar

Fiziksel arıtma süreçleri içerisinde elekler ve ızgaralar, atıksu arıtımında ilk aşamada yer almakta ve sürecin etkinliğini doğrudan etkilemektedir. Bu ünitelerin temel amacı, atıksulardan büyük boyutlu katı partikülleri uzaklaştırarak sonraki arıtma aşamalarının etkin ve sorunsuz bir şekilde yürütülmesini sağlamaktır. Izgaralar, sudaki katı maddeleri tutarak, pompa ve diğer mekanik ekipmanların zarar görmesini engeller ve tesisin genel işleyişini kolaylaştırır. Ayrıca, su da bulunan büyük kirleticilerin uzaklaştırılması da ızgaraların işlevi arasında yer almaktadır (Quasim, 2017).

Izgaraların tasarımı ve kullanımı tesisin büyüklüğüne göre değişkenlik göstermektedir. Büyük ölçekli tesislerde genellikle mekanik ekipmanlarla, küçük ölçekli tesislerde ise operatörler aracılığıyla manuel olarak temizleme yapılmaktadır. Örneğin, nüfusu yaklaşık 10 bin kişiye kadar olan yerleşim yerlerinde, çubuk aralığı 3–5 cm olan tek bir ızgara kullanılmakta ve bu ızgaralar ince ve kaba olmak üzere iki grupta sınıflandırılmaktadır (Quasim, 2017). Atıksu arıtma tesislerinde, kaba ızgaralar genellikle ilk üniteye konumlandırılmakta olup, suyun içerisindeki büyük katı maddelerin (örneğin, kumaş parçaları, plastikler, odun ve taşlar) uzaklaştırılmasını sağlamaktadır. Bu ızgaralar, suyun akış yönüne dik olarak yerleştirilen çubuklardan oluşur ve çubuk aralıkları genellikle 6–20 mm arasında değişir (Hubert, 2025). Kaba ızgaralar, manuel veya mekanik temizlik sistemleriyle temizlenebilir. Mekanik temizlik sistemleri arasında zincirli sistemler, katenary sistemler ve sürekli bantlı sistemler yer almaktadır (Water Environment Federation, 2017). Bu üniteler, boruların, pompaların ve diğer ekipmanların korunmasını sağlamak, tıkanmaları önlemek ve tesis içerisindeki dirsek ve aparatların verimli çalışmasını temin etmek amacıyla kullanılmıştır.

#### 1.3.3 Kum Tutucular

Atıksularda çakıl ve kum gibi iri mineral parçacıkların uzaklaştırılması için kum tutucular kullanılmaktadır. Bu üniteler, özellikle birleşik kanalizasyon sistemlerinde, yağmur sularıyla taşınan mineral partiküllerin birikmesini önlemek amacıyla tasarlanır. Ancak, ayrık sistemlerde de çeşitli nedenlerle kum taşınması durumunda kum tutuculara ihtiyaç duyulabilmektedir (Eroğlu, 2015). Kum tutucuların temel işlevi, yalnızca katı maddelerin çökmesini sağlamaktır; organik maddelerin çökmesi istenmez. Çünkü organik malzemelerin birikmesi, bakım ve temizlik sırasında istenmeyen koku

oluşumuna neden olabilir. Bu kapsamda kum tutucularda biriken partiküller genellikle çapı 0,1 mm'den büyük ve özgül ağırlığı yaklaşık 2650 kg/m<sup>3</sup> olan iri taneciklerden oluşur (Eroğlu, 2015).

### 1.3.4 Yağ Tutucular

Yağ tutucular, yağın yoğunluğunun suyun yoğunluğundan düşük olması prensibine dayanarak, yağın yüze çıkmasını ve birikmesini sağlar. Atıksularda bulunan diğer kirleticilerin yağ tabakasının üzerinde kalması, çöktürme işleminin etkinliğini azaltabilir (Samsunlu, 2006). Yağ tutucu ünitelerinin etkinliği; tasarım parametreleri, işletme koşulları ve yağın fiziksel ile kimyasal faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, yağ tutucuların tasarımında ve işletmesinde koşulların dikkate alınması önemlidir. Ayrıca, yağ tutucuların düzenli bakımı ve temizliği, sistemin verimli çalışmasını ve uzun ömürlü olmasını sağlar. Yağ tutucularının etkinliğini artırmak amacıyla yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesi gerekmektedir.

### 1.3.5 Çöktürme Havuzları

Atıksu arıtma tesislerinde, ön arıtma üniteleri içerisinde yer alan ön çöktürme havuzları, genellikle ızgara ve kum tutuculardan sonra konumlandırılmaktadır. Bu havuzların temel görevi, atıksularda bulunan çökelme özelliğine sahip askıda katı maddelerin sistemden uzaklaştırılmasıdır. Böylece biyolojik arıtma basamağına ulaşan atıksuların organik yükü azalmakta ve biyolojik süreçlerin daha verimli çalışması sağlanmaktadır. Ayrıca ön çöktürme havuzları, sisteme gelen ani kirlilik dalgalanmalarının dengelenmesini sağlayarak, biyolojik arıtma kademesinde oluşabilecek şok yüklerin etkisini azaltmaktadır (Polat, 2013). Ön çöktürme havuzlarında gerçekleşen çökelme süreci hem atıksuyun berraklaşmasını hem de dibe çöken çamurun yoğunlaşmasını kapsamaktadır. Çökelme mekanizmaları farklı evrelerden oluşmaktadır. İlk evrede, düşük konsantrasyonlarda partiküller birbirlerinden bağımsız şekilde çöker ve bu aşama taneli çökelme olarak adlandırılır. Konsantrasyonun artmasıyla birlikte tanecikler arası etkileşimler başlamaktadır. Bu durumda, çökelme süreci engelli çökelme evresine geçmekte ve tanecikler topluca hareket ederek daha düzenli bir şekilde dibe çökmektedir. Bu aşamanın başlangıcında, çökelme hızının sabit olduğu ve belirli bir kütlenin çöklediği gözlenir. Çökelme sürecinin ilerleyen aşamasında, yoğunluk artışı nedeniyle çökelme başlamaktadır. Bu evrede, partiküller birbirlerine yaklaşarak aralarındaki suyun uzaklaşmasına neden olur. Özellikle havuzun alt bölgelerinde, çökelmiş taneciklerin ağırlığı ve suyun hidrostatik basıncıyla birlikte çamurun konsantrasyonu daha da yükselmektedir. Dolayısıyla, ön çöktürme havuzları yalnızca askıda katı madde giderimi için değil, aynı zamanda biyolojik arıtma sisteminin stabil çalışmasını destekleyen kritik bir ünite olarak da ön plana çıkmaktadır (Metcalf & Eddy, 2014; Water Environment Federation, 2017).

### 1.3.6 Biyolojik Arıtma- Aktif Çamur Prosesleri

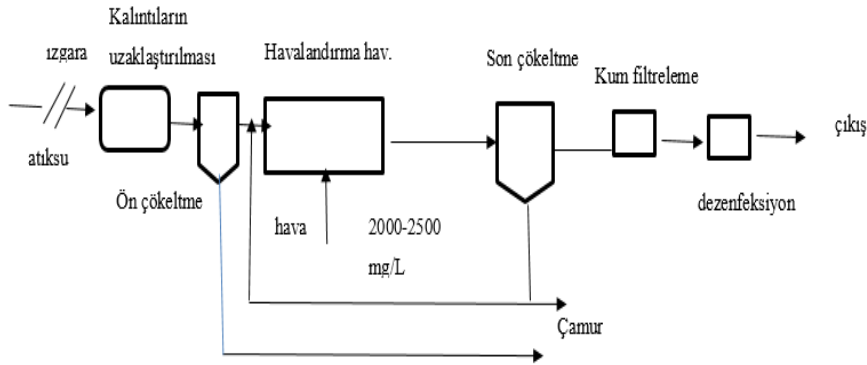
Biyolojik arıtma, çevreye duyarlı, güvenilir ve ekonomik bir yöntem olarak öne çıkmakta olup atıksularda bulunan organik ve inorganik kirleticilerin giderilmesini sağlamaktadır. Bu unsur atıksularda bulunabilen bileşiklerin mikroorganizmaların faaliyetlerini engellemesini önlemektedir. Söz konusu koşul sağlandığında biyolojik arıtma süreçleri verimli bir şekilde işletilebilmektedir (Saunamaki, 1997).

Aktif çamur yöntemi, atıksu arıtımında en yaygın kullanılan biyolojik proseslerden biridir ve farklı işletme varyasyonlarına sahiptir. Temel prensip, havalandırma havuzlarında askıda büyüme sistemine dayanmaktadır. Ancak zaman içerisinde bu sürece farklı uygulama yöntemleri eklenmiş ve sistemler çeşitlendirilmiştir. Literatürde aktif çamur prosesleri genel olarak geleneksel aktif çamur, uzun havalandırma aktif çamur ve kontak stabilizasyon aktif çamur prosesleri olmak üzere üç ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Henze vd., 2008; Polat, 2013; Maarooof, 2014). Bu prosesler arasında bekletme süresi, karışık sıvıdaki askıda katı madde (MLSS) konsantrasyonu ve F:M (Besin: Mikroorganizma) oranı farklılık göstermektedir. Çalışma prensiplerindeki en temel kontrol parametresi ise çözünmüş oksijen (ÇO) seviyesidir. Verimli bir arıtma süreci için ÇO değerinin genellikle 2,0–4,0 mg/L aralığında olması gerektiği bildirilmektedir (Tchobanoglous vd., 2003). Bu aralık, aerobik koşulların korunmasına imkân tanırken aynı zamanda koku oluşumunu da engellemektedir. Havalandırma süreci, difüzör sistemleri ya da mekanik havalandırıcılar kullanılarak sağlanmaktadır. Söz konusu prosesler arasındaki en önemli fark, mikroorganizmaların sistemde kaldığı süre, yani katı alıkonma süresi (SRT) ile ilgilidir.

SRT, sistemde bulunan MLSS miktarının günlük olarak sisteme giren askıda katı madde miktarına oranı ile hesaplanır. Bu parametre, biyolojik arıtımın performansını doğrudan etkileyen kritik bir göstergedir (Maarof, 2014).

### 1.3.6.1 Geleneksel aktif çamur prosesleri

Konvansiyonel aktif çamur prosesi, atıksu arıtımında en yaygın kullanılan sistemlerden biridir ve belirli işletme parametreleri çerçevesinde çalışmaktadır. Bu yöntemde havalandırma havuzunda hidrolik bekleme süresi (HRT) genellikle 4–6 saat arasında değişmektedir. Bu süre boyunca mikroorganizmalar, atıksuda bulunan biyokimyasal oksijen ihtiyacını (BOİ) büyük oranda gidererek organik maddeleri stabilize etmektedir. Sistemdeki karışık sıvıdaki askıda katı madde (MLSS) konsantrasyonunun ise çoğunlukla 2000–3500 mg/L aralığında tutulması önerilmektedir. Ayrıca, çamur yaşı ya da diğer bir ifadeyle ortalama hücre bekleme süresi (MCRT) yaklaşık olarak 5–15 gün arasında değişmektedir. Bu parametreler, sistemin biyolojik performansını doğrudan etkileyen kritik unsurlar olarak kabul edilmektedir (Maarof, 2014). Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, MLSS konsantrasyonları genellikle 2000-2500 mg/L arasında değişir. F:M oranları 0.2-0.5 arasında olmalıdır. Hücre bekleme süresi veya çamur yaşı 5-15 gün arasında değişir (Polat, 2013).

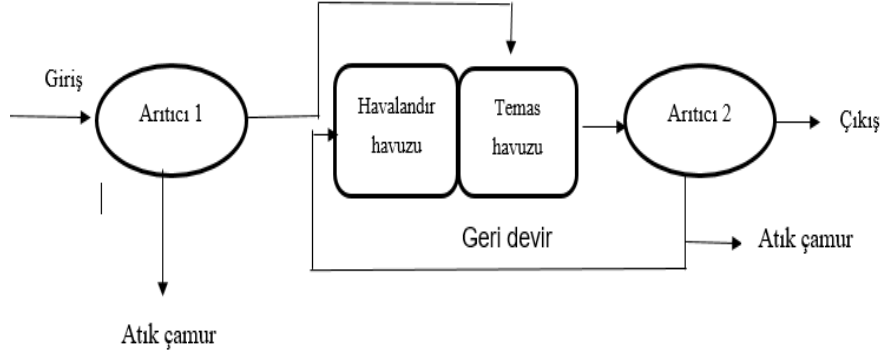


Şekil 1.1 Geleneksel aktif çamur işleme (Maarof, 2014)

### 1.3.6.2 Temas Stabilizasyon Prosesi

Temas stabilizasyonu, klasik aktif çamur sistemine alternatif olarak geliştirilen ve iki kademeli havalandırmaya dayalı bir biyolojik arıtma yöntemidir. İlk aşamada, atıksuda bulunan biyolojik oksijen ihtiyacının (BOİ) mikroorganizmalar tarafından hızla tüketilmesi sağlanır ve organik maddelerin çökeltme özellikleri artırılır. Bu aşamada oluşan karışık sıvıdaki askıda katı maddeler (MLSS), çöktürme havuzunda tutulur. Sistemin temel farkı, geri devir çamurunun doğrudan sisteme verilmek yerine ayrı bir stabilizasyon havuzunda belirli bir süre havalandırılmasıdır. Bu havuzda mikroorganizmalar, mevcut organik maddeleri tüketerek stabilize olur ve tekrar temas havuzuna geri döndürülür. Böylece sistem döngüsel olarak çalıştırılır (Maarof, 2014). Literatürde yapılan çalışmalar, temas stabilizasyon prosesinin özellikle yük dalgalanmalarına karşı dirençli olduğunu ve hidrolik şok yükleri sırasında katı madde kayıplarını önemli ölçüde azalttığını göstermektedir (Metcalf & Eddy, 2014). Ayrıca bu yöntemde biyokütlenin büyük kısmının stabilizasyon havuzunda tutulması, sistemin daha kısa geri kazanım süresine sahip olmasını sağlamaktadır (Tchobanoglous vd., 2003). Temas stabilizasyonunun diğer bir avantajı da konvansiyonel aktif çamur sistemlerine kıyasla daha düşük çamur yaşı ile çalışabilmesidir. Bu durum, özellikle küçük ve orta ölçekli atıksu arıtma tesislerinde prosesin uygulanabilirliğini artırmaktadır (Henze vd., 2008). Şekil 1.2 ‘de, atıksu arıtımında kullanılan temas stabilizasyon prosesi gösterilmektedir. Stabilizasyon havuzundaki bekleme süresi 4-8 saat ve MLSS konsantrasyonu 2000-2500 mg/L arasındadır (Maarof, 2014)



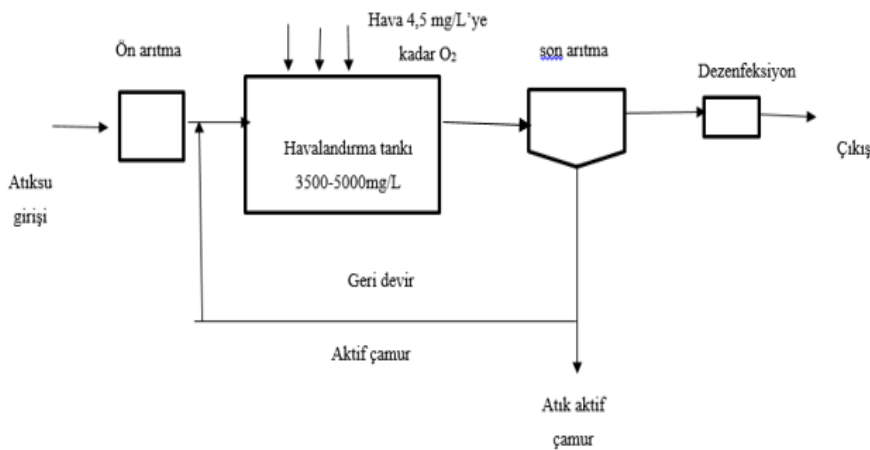


Şekil 1.2 Temas stabilizasyon prosesi (Maarroof, 2014)

### 1.3.6.3 Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesleri

Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesleri, atıksudaki organik maddelerin stabilize edilmesi amacıyla geliştirilmiş biyolojik arıtma yöntemlerinden biridir. Bu sistemlerde havalandırma havuzlarındaki bekletme süresi 16-24 saat arasında olup, mikroorganizmaların organik kirliliği parçalayarak kararlı formlara dönüştürmesine imkân sağlamaktadır. Havalandırma havuzlarındaki MLSS konsantrasyonları genellikle 3000-5000 mg/L aralığında olup, bu sistemler aktif çamur prosesleri içinde en düşük F/M (besin/mikroorganizma) oranına sahip uygulamalardan biridir. Bu düşük F/M oranı, organik yükün mikroorganizmalar tarafından daha verimli şekilde tüketilmesine olanak tanır (Tchobanoglous vd., 2003; Aktaş ve Çeçen, 2007; Metcalf & Eddy, 2014). Çamur oluşumu açısından değerlendirildiğinde, proses sonunda genellikle çamur katı maddesi içeriği oldukça düşük olup, geriye çoğunlukla inertleşmiş kül benzeri artıklar kalmaktadır. Uzun havalandırmalı sistemlerde ön arıtma üniteleri bulunmasına rağmen birincil çökeltme havuzları genellikle kullanılmamaktadır. İşletme sırasında geri devir çamuru, sistemin biyolojik dengesini korumak amacıyla havuz girişine yönlendirilmekte; fazla çamur ise stabilize edilmek üzere aerobik çürütücülere gönderilmektedir (Chang vd., 2023).

Şekil 1.3, havalandırma süresi ve MLSS değerleri açısından üç yöntemin temel farklarını göstermektedir. Uzun havalandırmalı sistemler daha yoğun ve uzun süreli arıtma sağlarken, temas stabilizasyonu daha kısa süreli temas ile ek bir stabilizasyon aşaması ile çalışmaktadır.



Şekil 1.3 Uzun havalandırmalı aktif çamur prosesleri (Maarroof, 2014)

Çizelge 1.1 geleneksel aktif çamur, uzun havalandırmalı aktif çamur ve temas stabilizasyon prosesi gibi farklı biyolojik atıksu arıtma yöntemlerinin temel tasarım ve işletme parametrelerini karşılaştırmaktadır.

Çizelge 1.1 Aktif çamur proseslerinin karşılaştırılması (Metcalf & Eddy, 2014; Tchobanoglous vd., 2003)

	Geleneksel Aktif Çamur	Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur	Temas Stabilizasyon Prosesi
<b>Havalandırma Süresi (h)</b>	4 – 6	16 – 24	0.5 – 2 (temas) + 2 – 6 (stabilizasyon)
<b>MLSS (mg/L)</b>	2000 – 3500	3000 – 6000	2000 – 3500
<b>Çamur Yaşı (MCRT, gün)</b>	5 – 15	20 – 30	3 – 10
<b>BOİ Giderim Verimi (%)</b>	85 – 95	90 – 98	85 – 95
<b>Nitrifikasyon</b>	Sınırlı	Yüksek	Orta
<b>Şok Yük Direnci</b>	Orta	Düşük	Yüksek
<b>Enerji İhtiyacı</b>	Orta	Yüksek	Orta
<b>Avantajlar</b>	Yaygın kullanımı, kolay işletme	Yüksek verim, düşük çamur üretimi	Yüksek dayanıklı, dalgalanmalarına kısa geri kazanım süresi
<b>Dezavantajlar</b>	Hidrolik duyarlı	şoklara Yüksek enerji alan ihtiyacı	ve Daha karmaşık işletme, ek stabilizasyon havuzu gerektirir

### 1.3.7 Kimyasal Arıtma

Kimyasal arıtma, atıksularda biyolojik ve fiziksel yöntemlerle giderilemeyen çözünmüş kirleticilerin uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu yöntem, genellikle koagülasyon, flokülasyon ve çöktürme gibi ardışık işlemlerden oluşmaktadır. Koagülasyon aşamasında alüminyum veya demir bazlı kimyasal maddeler eklenerek sudaki askıda katı maddelerin bir araya gelmesi sağlanır. Takip eden flokülasyon adımı, oluşan küçük parçacıklar birleşerek daha büyük ve kolay çöktürülebilir floklar meydana getirilir. Son aşamada ise çöktürme işlemi ile bu floklar sudan ayrılır ve böylece arıtılmış suyun kalitesi artırılır (Tchobanoglous, vd., 2014).

Türkiye'deki uygulamalara bakıldığında, kimyasal arıtma yöntemlerinin özellikle endüstriyel atıksuların arıtılmasında etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Örneğin, İzmir'deki çamur çürütme ve kurutma tesisi, günlük olarak arıtılan çamuru önemli ölçüde azaltmakta ve kurutulmuş çamur hem tarım hem de sanayide değerlendirilmektedir. Bu tür uygulamalar, kimyasal arıtmanın çevresel sürdürülebilirliğe ve kaynakların verimli kullanımına katkısını göstermektedir. Bu nedenle, kimyasal arıtma sistemlerinin tasarımı ve işletimi, atıksu özellikleri ve yerel koşullar göz önünde bulundurularak planlanmalıdır (Tchobanoglous, vd., 2014).

Çizelge 1.2 Kimyasal arıtma sürecinin temel basamakları (Tchobanoglous, vd., 2014)

Basamak	Açıklama	Kullanılan Kimyasal/Malzeme	Çıktı/Kazanım
Koagülasyon	Sudaki askıda katı parçacıkların birbirine yapışması sağlanır	Alüminyum sülfat ( $Al_2(SO_4)_3$ ), Demir klorür ( $FeCl_3$ )	Koagül adı verilen mikro-floklar
Flokülasyon	Küçük parçacıklar bir araya gelerek daha büyük floklar oluşturur	Polielektrolitler, organik flokülantlar	Daha kolay çöktürülebilir büyük floklar
Çöktürme	Oluşan floklar yerçekimi ile sudan ayrılır		Arıtılmış su ve çamur

Atıksu → [Koagülant Ekleme] → [Koagülasyon] → [Flokülasyon] → [Çöktürme] → Arıtılmış Su

## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Değirmenci vd. (2000) yapmış oldukları çalışmada atıksu arıtma tesislerinin işletme, inşaat ve enerji maliyetlerine olan etkilerini incelemişlerdir. Elde ettikleri bulgular da BOİ, debi, F/M ve uçucu askıda katı madde (UAKM) oranlarındaki değişikliklerin önemli ölçüde maliyet giderlerinin de değiştirdiği sonucuna varmışlardır. Arıtma tesislerinin tasarımları esnasında kullanmayı planladıkları kirlilik yükü, debi ve diğer parametrelerin seçiminin önemli olduğunu belirtmişlerdir. Fakat olması gerekenden fazla emniyet payı bırakmanın enerji ve işletim maliyetlerini önemli ölçüde etkilediği sonucuna varmışlardır.

Nurizzo vd. (2001) atıksu arıtma yöntemlerinin yeterince gelişmediğini, altyapıların yetersiz olduğunu toplumlar için düşük teknolojili ve az maliyetli atıksu arıtma alternatiflerini önermişlerdir. İşletiminin kolay olması, enerjide tasarruf sağlaması gibi sebeplerden dolayı stabilizasyon havuzu, yapay sulak alan uygulaması, kum filtrasyonu, septik tank modeli ve damlatmalı filtre yöntemini tercih etmişlerdir. Bu yöntemlerin ardından kullanım süreleri, arıtma etkinlikleri ve teknolojik açıdan yeterli olup olmadıkları incelenmiştir.

Eker ve Çiner (2004) Sivas Organize Sanayi Bölgesi atıksularının arıtımı için hızlı karıştırma, nötralizasyon havuzu, kimyasal çöktürme, yavaş karıştırma ve çamur yoğunlaştırma ünitelerini içeren kimyasal arıtma yöntemlerini önermektedir.

Arslan-Alaton vd. (2011) çalışmalarında, Türkiye’de sürdürülebilir kentsel atıksu yönetimi konusunda çeşitli değerlendirmeler yapmışlardır. Araştırmada, Türkiye’nin yakın gelecekte su sıkıntısı çekme ihtimali yüksek ülkeler arasında gösterildiği belirtilmiştir. Bu nedenle atıksuların bir kaynak olarak değerlendirilmesi ve geri dönüşümüne yönelik çalışmalara ağırlık verilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bununla birlikte, yanlış planlanan, iyi işletilmeyen, uzman personel yetersizliği yaşayan ve altyapısı eksik olan atıksu arıtma tesislerinin inşasından kesinlikle kaçınılması gerektiği ifade edilmektedir. Ayrıca, atıksu yönetim politikaları kapsamında arıtma yöntem ve teknolojileri, arıtılan suların karakteristik özellikleri, yeniden kullanım alanları ve alıcı ortama olan etkileri gibi hususların incelendiği belirtilmektedir.

Karichappan vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, gerçek evsel atıksuyun aktif çamur ardışık kesikli reaktörde (SBR) arıtımına yönelik parametrik optimizasyonu, Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanılarak yapılmıştır.

Ayat vd. (2021) tarafından yürütülen bir başka çalışmada ise, atıksu arıtımında biyokoagülant/flokülant kullanımının yanısıra, sürdürülebilir çevresel gelişim açısından biyokoagülant dozajı ve başlangıç pH gibi faktörlerin etkileri incelenmiştir. Söz konusu faktörlerin bulanıklık ve KOİ giderim performansları üzerindeki etkileri değerlendirilmiş ve atıksuların koagülasyon/flokülasyon prosesiyle arıtılmasında Cevap Yüzey Yöntemi’nden (CYY) yararlanılmıştır.

Akhlaghi (2024) tarafından yapılan çalışmada, İç Anadolu Bölgesi’ndeki büyük bir arıtma tesisinin karbon ayak izi incelenmiştir. Tesisin GHG emisyonları, Ecozero ve CarbonIT yazılımları kullanılarak hesaplanmış ve 2021-2022 yılları için değerler belirlenmiştir. Hesaplama farklılıklarının WTT emisyon faktörleri ve sızıntı gazı yöntemlerinden kaynaklandığı ifade edilmiştir. Araştırma, bu yazılımların sürdürülebilir

uygulamaları izleme ve teşvik etmede etkili araçlar olduğunu göstermiş ve emisyonları azaltmaya yönelik öneriler sunmuştur.

Durak (2020) tarafından yapılan çalışmada, evsel atıksuların arıtımında farklı proses ve teknolojilerin kullanıldığı ve bölgeye uygun arıtma teknolojisinin belirlenmesinin önem taşıdığı vurgulanmıştır. Araştırmada, atıksu arıtma tesislerindeki sorunların çoğunlukla fizibilite eksiklikleri, tip proje uygulamaları ve mekanik, elektrik, inşaat hatalarından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında biyolojik arıtma yöntemleri ve uygulama alanları incelenmiş; farklı tesislerin arıtma verimi, işletme koşulları ve alıcı ortam özellikleri dikkate alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, Van ilinin çevresel ve coğrafi koşullarına uygun prosesin belirlenmesi hedeflenmiştir.

Ordu (2024) tarafından yapılan çalışmada, çevre kirliliği ve artan çevre sorunlarının önemli bir problem haline geldiği vurgulanmıştır. Araştırmada, Akşehir Gölü'ne deşarj yapan 15.102 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Akşehir Atıksu Arıtma Tesisi'nin çıkış suyu kalitesi incelenmiştir. pH, elektriksel iletkenlik, KOİ, BOİ<sub>5</sub>, toplam fosfor ve toplam azot analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, tesisin ileri biyolojik arıtma prosesleri sayesinde çıkış suyunun gölü beslemeye elverişli olduğunu ve hedeflenen giderim verimlerinin sağlandığını göstermiştir. Çalışma, tesisin bölgeye kazandırılmış etkili ve sürdürülebilir bir yatırım olduğunu ortaya koymaktadır.

Kutlu (2010) İstanbul'un içme suyu kaynaklarından biri olan Ömerli Barajı'nın korunmasına yönelik bir inceleme yapmıştır. Çalışmada, Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi sayesinde baraja endüstriyel ve kentsel atıksu girişlerinin engellendiği, tesis çıkış suyunun dizayn kriterleri ile Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği standartlarına uygun olduğu bulunmuştur. Böylece baraj, içme suyu açısından 1. sınıf kaliteye ulaşmıştır.

Erdirençelebi (2022) tarafından yapılan çalışmada, su ihtiyacının artışı ve buna bağlı atıksu miktarının yükselmesi nedeniyle atıksu yönetiminin önemine değinilmiştir. Özellikle planlanmamış nüfus artışı durumlarında, atıksu arıtma tesislerinin uygun şekilde işletilmesinin ekosistemin korunması ve sosyoekonomik gelişime katkı sağlaması açısından kritik olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada, küçük boyutlu atıksu arıtma tesislerinde mevcut durumun tespiti yapılmış ve arıtma verimliliğinin artırılması için öneriler sunulmuştur.

2000-2500 mg/L

□  
3. □  
72

#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

##### 3.1 Van Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi

Van İli, Türkiye'nin doğusunda stratejik bir konuma sahip olup doğuda İran,

kuzeyde Ağrı, batıda Bitlis, güneyde Hakkâri ve Şırnak illeri ile çevrilidir. İl, topoğrafik olarak dağlık bir yapıya sahiptir ve yerleşim alanları sınırlıdır. Bölgede önemli yükseltiler arasında Nemrut (3.050 m), Süphan (4.434 m), Aladağ (3.255 m) ve Tendürek (3.312 m) dağları bulunmaktadır (Yılmaz vd., 2010). Ayrıca, Van Gölü, Nemrut Volkanı'nın patlaması sonucu oluşmuş tektonik kökenli bir göl olup 3.713 km<sup>2</sup> yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük sodalı gölüdür (Hoşgören, 2012).

Muradiye İlçesi, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Van İli'ne bağlı bir yerleşim birimidir. İl merkezinin yaklaşık 85 km kuzeyinde bulunan ilçe, 1.100 km<sup>2</sup> yüzölçümüne sahiptir ve deniz seviyesinden ortalama yüksekliği 1.700 metredir. İlçede Fatih, Fevzi Çakmak, Kandahar, Karaoğlan, Şehit Mehmet Bey, Yavuz Selim ve Yenişehir olmak üzere toplam yedi mahalle bulunmaktadır. Muradiye'nin kuzeyinde Ağrı İli, doğusunda Çaldıran İlçesi, güneyinde Van Merkez ve Özalp ilçeleri, batısında ise Erciş İlçesi yer almaktadır (Aşur ve Alphan, 2017).

Yaklaşık 70 km uzunluğundaki Bendi Mahi Çayı, Muradiye İlçesi'nin doğal su kaynağıdır. Bu akarsu, Muradiye Ovası'nı suladıktan sonra Van Gölü'ne ulaşmaktadır. İlçede kurulması planlanan Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi, Bendi Mahi Çayı yakınında projelendirilmiş olup arıtılmış atıksular, yaklaşık 125 metrelik bir hat aracılığıyla bu çaya deşarj edilmektedir. (Aşur ve Alphan, 2017). Tesis, hâlihazırda üç stabilizasyon havuzunun bulunduğu 6,5 hektarlık bir alan üzerinde inşa edilmiştir. Muradiye'de kurulan bu tesis, bölgenin çevresel sürdürülebilirliği açısından önem arz etmektedir. Van Gölü Havzası, artan nüfus ve tarımsal faaliyetler nedeniyle kirlenme baskısı altında olup, gölün su kalitesinin korunması açısından arıtma tesislerinin işletilmesi bir zorunluluk haline gelmiştir (Kadioğlu ve Kara, 2014; Şen ve Demirtaş, 2018).

Nüfus artışı, kentleşme ve teknolojik gelişmelerin hızlanmasıyla birlikte suya olan ihtiyaç her geçen gün artmakta, buna paralel olarak atıksu miktarı da önemli ölçüde artmaktadır. Atıksuların herhangi bir arıtma işleminden geçirilmeden doğrudan alıcı ortamlara verilmesi, su kaynaklarının kirlenmesine, ekosistem dengesinin bozulmasına ve ciddi çevre sorunlarına yol açmaktadır (Polat, 2013; Tchobanoglous vd., 2014). Günümüzde bu olumsuz etkileri azaltmak amacıyla fiziksel, kimyasal, biyolojik ve ileri biyolojik arıtma yöntemleri yaygın olarak uygulanmaktadır.

Bu çalışmada, Van'ın Muradiye ilçesinde bulunan evsel atıksu arıtma tesisi incelenmiş ve tesisin alınan numunelerde pH, iletkenlik, askıda katı madde (AKM) ve Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametrelerinin optimizasyonu Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, arıtma tesisinin performansı CYY yöntemiyle değerlendirilmiş, kirlilik parametrelerinin arıtım verimi ve zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Böylece, VASKİ Genel Müdürlüğü tarafından işletilen Muradiye Evsel Atıksu Arıtma Tesisinde yaşanabilecek işletme sorunlarının çözümüne yönelik bilimsel katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Yapılan proses optimizasyonu ile arıtma tesisinin verimliliğinin artırılması, enerji ve kimyasal madde kullanımının azaltılması ve işletme maliyetlerinin düşürülmesi mümkün olacaktır (Montgomery, 2002; Aşur ve Alphan, 2017). Araştırmada, tesisin farklı noktalarından alınan atıksu numuneleri laboratuvar ortamında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) deşarj standartlarıyla karşılaştırılarak tesisin giderim performansı değerlendirilmiştir (Okumuş vd., 2023).

Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi, evsel ve kısmen endüstriyel atıksuların arıtımına yönelik olarak mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma ünitelerinden oluşmaktadır. Kanalizasyon şebekesiyle toplanan atıksular, öncelikle mekanik ızgaralardan geçirilerek iri katı maddelerden arındırılmakta; daha sonra havalandırmalı kum ve yağ tutucu ünitelerde çökebilir katılar ayrıştırılmakta ve yüzeydeki yağ-gres türü maddeler uzaklaştırılmaktadır. Sonrasında biyolojik arıtma ünitelerine gönderilen atıksular, aktif çamur prosesi yardımıyla arıtılmakta ve çıkış suları Bendi Mahi Çayı'na deşarj edilmektedir (Henze vd., 2008; Aşur ve Alphan, 2017).

Atıksu arıtma proseslerinde son çökeltme havuzları, sistemin kritik ünitelerinden biri olarak işlev görmektedir. Havalandırma havuzlarında mikroorganizmalar gelişir ve biyolojik arıtma sırasında askıda katı maddeler oluşur. Suyun dinlendirilmesiyle bu maddeler yerçekimi etkisiyle çöker. Parçalanmış organik maddeler çamur halinde tabana birikir ve arıtılmış su üst kısımdan berrak bir şekilde alınır (Metcalf & Eddy, 2014). Son çökeltme havuzundan çıkan arıtılmış su, dezenfeksiyon ünitesine iletilmekte ve burada klorlama veya alternatif dezenfeksiyon yöntemleriyle (UV ışınlama, ozonlama vb.) zararlı mikroorganizmaların giderimi gerçekleştirilmektedir. Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinde dezenfeksiyon işlemi klor dozajı ile yapılmakta ve bu sayede deşarj edilen suyun çevresel ve halk sağlığı açısından güvenli olması sağlanmaktadır. Arıtılan su, dezenfeksiyon işleminin ardından Van Gölü'ne deşarj edilmekte ve böylece göldeki ekosistemin korunması hedeflenmektedir (Tchobanoglous vd., 2003; Aşur ve Alphan, 2017).

Son çökeltme havuzlarında tabanda biriken fazla biyolojik çamur ise çamur işleme ünitelerine aktarılmakta ve burada stabilizasyon, susuzlaştırma veya kurutma

gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Çamur yönetimi günümüzde arıtma tesislerinin en önemli sorunlarından biri olup, sürdürülebilir bertaraf yöntemlerinin geliştirilmesi çevre mühendisliği literatüründe yoğun olarak çalışılan bir konudur (Chen vd., 2012; Öztürk, 2017). Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nde uygulanan son çökeltme, dezenfeksiyon ve çamur bertaraf süreçleri, arıtma veriminin artırılması ve Van Gölü'nün su kalitesinin korunması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu süreçlerin etkinliği, yalnızca su kalitesini değil, aynı zamanda bölgedeki ekosistemin ve halk sağlığının korunmasına da katkı sunmaktadır.

### 3.2 Muradiye Atıksu Arıtma Tesislerinin Bölümleri

#### 3.2.1 Giriş Ünitesi ve Izgara Sistemleri

Atıksu arıtma tesislerinde giriş ünitesi, toplama hatlarından gelen atıksuların ilk ulaştığı ve arıtma prosesine dâhil olmadan önce çeşitli ön işlemlerden geçtiği bölüm olarak tanımlanmaktadır. Bu ünite, tesisin en kritik kısımlarından biri olup, arıtma tesisinin korunması ve etkin çalışabilmesi için temel işlev görmektedir. Tesise ulaşan atıksular öncelikle kaba ızgaralardan geçirilmekte ve burada tırnak aralıkları genellikle 5 cm olan mekanik temizlemeli sistemler kullanılmaktadır. Bu uygulamanın amacı, atıksu içinde bulunabilecek odun parçaları, plastikler, bezler ve diğer büyük boyutlu malzemelerin sistem ekipmanlarına zarar vermesini önlemek ve sonraki ünitelerin verimliliğini artırmaktır (Aşur ve Alphan, 2017).

Kaba ızgaradan geçen atıksu, ardından daha küçük aralıklara sahip olan ince ızgaralara yönlendirilmektedir. İnce ızgaralar, kaba ızgarada tutulamayan ve sisteme zarar verebilecek daha küçük partiküllerin tutulmasını sağlamaktadır. Bu şekilde, pompaların ve mekanik ekipmanların tıkanması engellenmekte, ayrıca sonraki arıtma aşamalarının daha etkin çalışması sağlanmaktadır. Izgaralarda biriken katı malzemeler, konveyör bant veya vidalı taşıyıcı sistemler aracılığıyla uzaklaştırılmakta ve düzenli depolama sahalarına gönderilmektedir (Tchobanoglous vd., 2003; Metcalf & Eddy, 2014).

Ön arıtma sürecinde gerçekleştirilen uygulamalar yalnızca sistem güvenliğini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda arıtma verimliliğini de artırmaktadır. Bu aşamada kullanılan ızgaraların etkin çalışmaması durumunda pompalar, çamur geri devir sistemleri ve havalandırma ekipmanlarında tıkanma, aşınma ve arıza gibi ciddi problemler ortaya çıkabilmektedir. Özellikle mekanik ızgara ve kum-yağ tutucu sistemlerinin düzenli çalıştırılması, tesisin işletme ömrünü uzatmakta ve bakım maliyetlerini azaltmaktadır. Nitekim güncel çalışmalarda, tıkanmış ızgaraların atıksu toplama ve arıtma sistemlerinde pompa arızalarının önemli bir kısmına neden olduğu belirtilmiştir (Adroit Water, 2025). Ön arıtma ünitesinde gerçekleştirilen işlemler (ızgaralar ve kum-yağ tutucular), yalnızca sistem güvenliğini artırmakla kalmaz; aynı zamanda enerji tüketimini azaltılmakta ve bakım maliyetlerini düşürmektedir (Adroit Water, 2025). Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nin giriş ünitesine ait görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere, tesis girişine ulaşan atıksu, arıtma süreçlerinden önce mekanik arıtma proseslerine aktarılmıştır.



Şekil 3.1 Muradiye atıksu arıtma tesisi giriş ünitesi

#### 3.2.2 Kum ve Yağ Tutucu Ünitesi

Atıksuların arıtma tesisine girişinde, öncelikle terfi merkezi aracılığıyla atıksular havalandırılmalı yağ ve kum tutucu ünitelerine iletilmektedir. Bu aşamada, atıksu içerisinde yer alan kum, çakıl gibi çökebilin inorganik maddeler ile yağların sudan uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Böylece söz konusu maddelerin kanallar, borular ve havuzlarda birikerek vana, pompa ve diğer mekanik ekipmanlarda arızalara veya işletme sorunlarına yol açmasının önüne geçilmektedir (Aşur ve Alphan, 2017).

Havalandırılmalı kum tutucular, blowerlar aracılığıyla sağlanan hava akışı ile çalışmaktadır. Havuzların uzun kenarları boyunca verilen hava sayesinde su içerisinde yatay bir akış oluşturulmakta, bu akışın etkisiyle çakıl ve kum gibi ağır partiküller tabana çökmektedir. Çöken bu malzemeler tasarlanmış kum kanallarında birikmekte, ardından hareketli köprüler yardımıyla toplanarak kum ayırıcı ünitelerine aktarılmaktadır. Bu ünitelerde kum ve su birbirinden ayrılmakta, elde edilen süzüntü su tekrar tesise geri gönderilmekte, ayrılan katı malzemeler ise kum toplama konteynirlerinde depolanarak uygun yöntemlerle bertaraf edilmektedir (Metcalf & Eddy, 2014; Aşur ve Alphan, 2017). Şekil 3.2'de görüldüğü üzere, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinin kum ve yağ tutucu ünitesi, atıksudaki kum ve yüzeydeki yağ-gresin ayrılmasını sağlamak amacıyla tasarlanmıştır.



Şekil 3.2 Muradiye atıksu arıtma tesisinin kum ve yağ tutucu ünitesi

### 3.2.3 Bio-Fosfor (Anaerobik) Ünite

Ön arıtım aşamasından geçirilen atıksular, debi ölçümünün yapılmasını ardından biyolojik arıtma sürecine yönlendirilmektedir. Bu aşamada atıksu, öncelikle biyofosfor havuzlarına gönderilmektedir. Bu ünite, tesis tasarımına bağlı olarak seri veya paralel düzenek halinde üç adet havuz şeklinde planlanmıştır. Anaerobik havuzlara giren atıksu, geri devir çamuru ile karıştırılarak biyolojik süreçlerin daha etkin gerçekleşmesi sağlanmaktadır (Aşur ve Alphan, 2017). Bu havuzlarda havalandırma yapılmamakta, böylece oksijensiz ortam koşulları oluşturulmaktadır. Bu koşullar altında, atıksu içerisindeki fosfor biriktiren mikroorganizmalar (Poly-P bakterileri), hücre içi polifosfat bileşiklerini parçalayarak fosforu su ortamına serbest bırakmaktadır. Bu süreç, biyolojik fosfor gideriminin ilk aşamasını oluşturmakta ve sonraki aerobik ortamlarda fosforun mikroorganizmalar tarafından tekrar kullanılarak giderilmesine olanak tanımaktadır (Tchobanoglous, vd., 2003; Metcalf & Eddy, 2014).

Biyolojik fosfor giderimi, özellikle azot ve fosforun eşzamanlı olarak uzaklaştırıldığı ileri biyolojik arıtma sistemlerinde yaygın olarak uygulanmaktadır. Bu yöntem, kimyasal çöktürme gibi geleneksel fosfor giderme yöntemlerine kıyasla ekonomik avantajlar sunmakta ve oluşan çamur miktarını da azaltmaktadır. Ayrıca fosforun biyolojik yöntemlerle giderilmesi, arıtma tesislerinin çevresel sürdürülebilirliğine katkı sağlamakta ve alıcı ortamda ötrofikasyon riskini azaltmaktadır (Fan vd., 2023; Zhang vd., 2025). Muradiye atıksu arıtma tesisine ait anaerobik ünite Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 Muradiye atıksu arıtma tesisine ait anaerobik ünite

### 3.3.4 Havalandırma Ünitesi

D: Askıda Katı Madde

B: İletkenlik

D: Askıda Katı Madde

C: Çözünmüş Oksijen

fosfor gideriminden sonra, havalandırma havuzlarına gönderilmektedir. Bu aşamada havuzlarda istenilen akış hızının sağlanması ve çökelmenin önlenmesi amacıyla her bir havuza dalgıç tip karıştırıcılar yerleştirilmiştir. Bu ekipmanlar genellikle polyster ve poliüretan esaslı malzemelerden üretilmekte olup, gövdelerinde paslanmaya karşı dayanıklı çelik alaşımlar bulunmaktadır. Böylelikle atıksu içerisinde uzun süre güvenilir bir şekilde çalışabilmektedir (Şanlıer, 2019).

Havalandırma havuzları genellikle iki ünitelen oluşmakta ve kademeli besleme prosesi ile işletilmektedir. Bu tanklarda biyolojik arıtımın temel bileşenleri olan nitrifikasyon ve denitrifikasyon süreçleri ardışık şekilde gerçekleştirilmektedir. Azot giderimi, atıksuyun önce nitrifikasyon ardından denitrifikasyon bölgesinden geçirilmesiyle gerçekleştirilir. Denitrifikasyon aşamasında mikroorganizmalar, nitrat iyonlarındaki oksijeni kullanarak azot gazı üretir; bu durum sistemde serbest oksijen ihtiyacını azaltır. Ayrıca, bu yöntem enerji verimliliğini artırmakta ve blowerların enerji tüketimini düşürmektedir (Tchobanoglous vd., 2003; Metcalf & Eddy, 2014). Havalandırma havuzlarında biyolojik süreçlerin sürdürülebilmesi için gerekli oksijen, blowerlar aracılığıyla sağlanmakta ve havuz tabanına yerleştirilen ince kabarcıklı membran difüzörler vasıtasıyla sisteme iletilmektedir. İnce kabarcık teknolojisi, geniş temas yüzeyi oluşturarak oksijen transfer verimliliğini artırmakta ve mikroorganizmaların metabolik aktivitelerini desteklemektedir. Bunun yanı sıra, tanklarda kullanılan karıştırıcılar akışın homojenliğini sağlayarak çökme eğilimini önlemekte ve mikroorganizmaların atıksu içerisinde dengeli bir şekilde dağılmasına katkıda bulunmaktadır (Zhang vd., 2021; Li vd., 2023). Bu süreçte mikroorganizmalar, organik kirlenmeleri parçalayarak kendi metabolizmalarında kullanmakta, aynı zamanda fosfor elementini bünyelerine alarak fosfor giderimini desteklemektedirler. Böylelikle biyolojik arıtım sürecinde hem organik madde hem de azot ve fosfor gibi besin elementlerinin giderimi mümkün hale gelmektedir. Son olarak, havalandırma havuzlarında çözünmüş oksijen, pH, iletkenlik gibi parametrelerin sürekli kontrol edilmesi amacıyla otomatik ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Bu cihazlar hem havuz üzerinde lokal olarak hem de merkezi SCADA sistemleri üzerinden takip edilebilmekte, böylece işletme güvenliği ve verimlilik artırılmaktadır (Şanlıer, 2019; Henze vd., 2008). Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nde havalandırma havuzlarına oksijen, blowerlar ve ince kabarcıklı difüzörler aracılığıyla verilmektedir. Bu sistem oksijen transferini artırarak biyolojik süreçleri desteklemekte, karıştırıcılar ise akışın homojenliğini sağlayarak çökme riskini önlemektedir. Şekil 3.4.'te Muradiye atıksu arıtma tesisi havalandırma ünitesi gösterilmiştir.





Şekil 3.4 Muradiye atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu ünitesi

### 3.2.5 Son Çökeltim Ünitesi

Biyolojik arıtım sürecinin ardından atıksu, son çökeltim havuzlarına (ikincil çöktürme tankları) yönlendirilmektedir. Bu ünitelerin temel amacı, biyolojik arıtım esnasında oluşan biyokütle ile suyun birbirinden ayrılmasıdır. Atıksu, iki adet dağıtım yapısıyla son çöktürme tanklarına ulaşmakta ve burada belirli bir süre dinlendirilerek içerisindeki askıda katı maddelerin çökmesi sağlanmaktadır. Çökeltim havuzlarının boyutları ve tasarımı, tesisin kapasitesine bağlı olarak genellikle dairesel veya dikdörtgen biçiminde yapılmaktadır (Şanlıer, 2019; Metcalf & Eddy, 2014).

Havuzlarda bulunan organik ve inorganik kirleticiler, yer çekiminin etkisiyle çöker ve tabanda biriken çamur tabakası oluşur. Bu çamur, tabana yerleştirilmiş sıyrıcılarla çamur toplama bölgesine yönlendirilir. Toplanan çamur, gerekliyse biyolojik arıtma ünitesine geri devir çamuru olarak gönderilir; fazla çamur ise arıtma sürecinden çıkarılarak çamur bertaraf tesisine transfer edilir (Daneshgar vd., 2024; Merkle vd., 2025). Ayrıca yüzey sıyrıcılar yardımıyla suyun yüzeyinde biriken köpük, yağ ve hafif atık maddeler toplanarak köpük haznesine iletilmekte ve tesisten uzaklaştırılmaktadır (Tchobanoglous vd., 2003). Son çöktürme havuzlarında dibe çöken çamurun bir bölümü, geri devir ünitesine aktarılır ve böylece biyolojik arıtım süreçlerinde mikroorganizma popülasyonunun sürekliliği sağlanır. Bu uygulama, aktif çamur prosesinin kararlı bir şekilde işletilmesine olanak tanır. Arıtılmış su ise çıkış hattına yönlendirilerek ilgili alıcı ortama deşarj edilir (Metcalf & Eddy, 2014).

Havuzların etkin çalışabilmesi için yılda en az bir kez tamamen boşaltılarak bakım ve temizlik işlemleri yapılması önerilmektedir. Düzenli bakım hem çökeltim veriminin artırılması hem de ekipman ömrünün uzatılması açısından önem arz etmektedir (Aşur ve Alphan, 2017). Şekil 3.5'te Muradiye atıksu arıtma tesisi son çökeltme havuzu ve dağıtım yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.5 Muradiye atıksu arıtma tesisi son çökeltme ve dağıtım yapısı

### 3.2.6 Geri Devir Sistemi ve Teleskopik Vanaların Rolü ve Fazla Çamur Yönetimi

Atıksu arıtma tesislerinde biyolojik arıtım süreçlerinin verimliliği, mikroorganizma konsantrasyonu ve çamur yaşının doğru bir şekilde kontrol edilmesine bağlıdır (Metcalf & Eddy, 2014). Teleskopik vanalar yardımıyla geri devir ve fazla çamur akışları yönetilerek bu kontrol sağlanır. Son çöktürme havuzunda çökeltilen aktif çamur, geri devir pompaları aracılığıyla biyolojik fosfor giderimi için kullanılan

biyofosfor havuzlarına yönlendirilir (Su ve Çevre Dergisi, 2017). Bu işlem, havuzlardaki mikroorganizma seviyesinin belirli bir düzeyde tutulmasını sağlar ve biyolojik arıtımın verimliliğini artırır.

Sistemden alınan fazla çamur, çamur dengeleme tanklarına iletilir (Şanlıer, 2019; Metcalf & Eddy, 2014). Bu tanklarda çamur homojenize edilerek susuzlaştırma ünitesine uygun hâle getirilir. Çamurun susuzlaştırılmasının ardından katı madde içeriği yaklaşık %25 olur ve çevreye zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilir veya güvenli alanlara transfer edilir (Tchobanoglous vd., 2014; Şanlıer, 2019).

Şekil 3.6'da gösterildiği üzere, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nde, biyolojik arıtma sürecinde oluşan çamurun bir kısmı geri devir çamuru olarak yeniden havuzlara yönlendirilmekte ve böylece mikroorganizmaların yeterli yoğunluğu korunmaktadır.



Şekil 3.6 Muradiye atıksu arıtma tesisi geri devir yapısı

Şekil 3.7'de gösterildiği üzere, Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi'nde toplanan fazla çamur, çamur susuzlaştırma ünitesine aktarılmakta ve burada nem oranı azaltılarak taşınabilir ve depolanabilir hâle getirilmektedir.



Şekil 3.7 Muradiye atıksu arıtma tesisi çamur susuzlaştırma ünitesi

Çizelge 3.1 çökeltme/filtrasyon, santrifüj ve pres filtre yöntemlerinin katı madde içeriği ile avantaj ve dezavantajlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir (Metcalf & Eddy, 2014; Filibeli vd., 2017).

Çizelge 3.1 Çamur susuzlaştırma yöntemleri ve tipik katı madde oranları (Metcalf & Eddy, 2014).

Susuzlaştırma Yöntemi	Katı Madde İçeriği (%)	Avantajları	Dezavantajları
Çökeltme Filtrasyon	20-25	Basit, düşük enerji	Hacim büyük
Santrifüj	25-30	Hızlı, kompakt	Yüksek enerji
Pres Filtre	20-30	Yüksek verim	Maliyetli, bakım

### 3.2.7 Ultraviyole (UV) Ünite

Arıtılmış atıksuların son dezenfeksiyon aşamasında kullanılan ultraviyole (UV) ünitesi, son yıllarda arıtma tesislerinde yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır. Bu üniteye yer alan UV lambaları sayesinde, su içerisinde bulunabilecek bakteri, virüs, mantar ve diğer patojen mikroorganizmaların DNA yapılarını bozarak etkisiz hale getirmektedir. Böylece kimyasal madde kullanılmadan mikrobiyolojik arıtım sağlanmakta, toksik yan ürünlerin oluşumu engellenmektedir (Şanlıer, 2019).

UV dezenfeksiyonunun en önemli avantajları arasında hızlı etki göstermesi, düşük işletme maliyeti, minimum bakım gereksinimi ve çevreye zarar veren kimyasalların kullanılmaması yer almaktadır. Ayrıca, bu yöntem güvenilirliği ve etkinliği nedeniyle dünya genelinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir (Tarım ve Orman Bakanlığı, 2006). Türkiye’de de özellikle ileri biyolojik arıtma tesislerinde, çıkış suyunun güvenli bir şekilde alıcı ortama deşarj edilmesi için UV dezenfeksiyon sistemleri kullanılmaktadır (Metcalf & Eddy, 2014; Filibeli vd., 2017). Yapılan çalışmalarda, UV lambalarının optimum dalga boyunda (254 nm) etkili bir şekilde çalıştırılmasıyla yüksek seviyede dezenfeksiyon sağlandığı ve su kalitesinin alıcı ortam standartlarını karşıladığı rapor edilmiştir (Bitton, 2011; Linden vd., 2015). Muradiye Atıksu Arıtma Tesisi’nde arıtılmış suyun dezenfeksiyonu, ultraviyole (UV) üniteler aracılığıyla sağlanmakta ve bu üniteler, suyun mikrobiyolojik açıdan güvenli hâle gelmesini sağlayarak alıcı ortama deşarj öncesi riskleri minimize etmektedir. Şekil 3.8’de Muradiye atıksu arıtma tesisine ait Ultraviyole (UV) ünite gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Muradiye atıksu arıtma tesisine ait Ultraviyole (UV) ünite

### 3.3 Atıksu Parametreleri

#### 3.3.1 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

Atıksuda bulunan organik maddelerin kimyasal olarak parçalanması için gerekli olan oksijen miktarıdır. Birimi mg/L’dir. Atıksu arıtma tesislerinin işletilmesinde en önemli parametredir. Atıksuyun organik kirlilik yükünü belirlemek ve arıtma sistemlerinin verimliliğini izlemek amacıyla kullanılır. BOİ ve KOİ arasında belirlenmiş oranlar olduğundan, BOİ<sub>5</sub>’in yaklaşık değeri KOİ’ye göre de hesaplanabilir. Atıksular için BOİ<sub>5</sub> /KOİ =0,4-0,8 arasında değişir. Hem atıksuyun içerisinde hem de arıtma sürecinde inert organik maddeler bulunmaktadır. Bu nedenle arıtma tesislerinin işletilmesinde KOİ’nin inert ve biyolojik olarak oksitlenebilen bileşenleri belirlenmelidir (Nas ve Yılmaz, 2019).

Toplam Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), ayrışma karakteristiklerine göre iki farklı sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflar; biyolojik olarak ayrışamayan (inert) KOİ ve biyolojik olarak ayrışabilen KOİ’dir (Metcalf & Eddy, 2014). Atıksu numunesi, dikromat içeren reaktif tüpe ilave edilerek 150 °C’de 2 saat ısıtılmıştır. Numune soğutulduktan sonra spektrofotometrik ölçümler yapılarak KOİ değeri hesaplanmıştır. Analizler sırasında Hach Company’nin hazır analiz kitleri kullanılmış ve uçucu organik bileşiklerin tayini için U.S. EPA’nın Method 8000C prosedürü uygulanmıştır (USEPA, 1996). KOİ, çözülmüş ve askıda organik bileşenlerin oksidasyon kapasitesini yansıtır ve atıksu karakterizasyonunda önemli bir parametredir. Atıksudaki KOİ bileşenlerinin dağılımı Şekil 3.9’da gösterilmiştir (Nas ve Yılmaz, 2019).

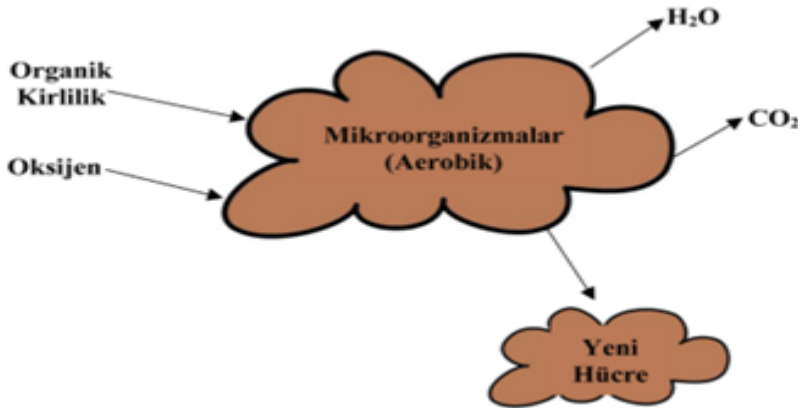


Şekil 3.9 Atıksudaki KOİ fraksiyonları (Nas ve Yılmaz, 2019)

### 3.3.2 Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Atıksudaki biyokimyasal oksijen ihtiyacı, biyolojik olarak parçalanabilen organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından aerobik şartlar altında 5 gün içinde oksitlenmesi için gereken oksijen miktarıdır. Birimi mg/L'dir. Bu yöntem atıksuyun biyolojik olarak bozunabilir kısmını ölçmek ve biyolojik arıtma sistemlerinin kontrolünü sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Oksitlenme sürecinde fazla oksijen kullanılması atıksudaki organik madde miktarının fazla olduğunu gösterir (Nas ve Yılmaz, 2019). Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı deneyi, atıksudaki çözünmüş oksijen tüketimini ölçerek organik madde miktarını belirlemek amacıyla uygulanır. Numune alındıktan sonragerekli seyreltmeler yapılır ve başlangıç çözünmüş oksijen değeri kaydedilir. Biyolojik aktiviteyi sağlamak için numuneye aktif çamur aşısı eklenir; gerekirse besi tuzları ve tampon çözelti ile pH dengesi sağlanır. Numune, hava geçirmeyen kapaklı şişelere konularak 20 °C'de karanlık ortamda inkübe edilir. İnkübasyon süresi genellikle 5 gün ( $BOİ_5$ ) veya 20 gün ( $BOİ_{20}$ ) olarak belirlenir. İnkübasyon sonunda çözünmüş oksijen tekrar ölçülür ve başlangıç çözünmüş oksijen değeri ile son değer farkı alınarak BOİ değeri hesaplanır (USEPA, 1996; Metcalf & Eddy, 2014; Filibeli vd., 2017). Deney sırasında şişelerin karanlıkta tutulması, sıcaklık ve pH kontrolünün sağlanması ile kontrol şişeleri kullanılması, testin doğruluğunu güvence altına alır.

Atıksudaki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanabilme kapasitesi, biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) ile ölçülmektedir. BOİ, aerobik koşullar altında mikroorganizmalar tarafından organik maddelerin oksitlenmesi için gereken oksijen miktarını göstermektedir. Bu süreçte aerobik mikroorganizmaların organik maddeleri parçalama mekanizması Şekil 3.10'da gösterilmiştir (Nas ve Yılmaz, 2019).



Şekil 3.10 Aerobik mikroorganizmalar aracılığıyla organik maddelerin parçalanması (Nas ve Yılmaz, 2019)

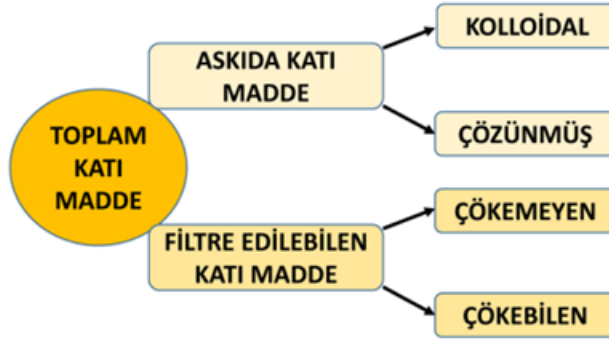
### 3.3.3 Toplam Katı Madde (TKM)

Sularda bulunan askıda veya çözülmüş katı maddeler toplam katı madde olarak adlandırılır ve bu, süzdürülebilir ile süzdürülemeyen katı maddelerin toplamını ifade eder. Çözülmüş katı maddeler süzdürülebilirken, çözünmeyen katı maddeler

süzdürülemez. Orta seviyede kirletici içeren atık sulara askıda katı maddelerin oranı %75, organik madde oranı ise %40'tır (Nas ve Yılmaz, 2019).

Yüksek konsantrasyonlarda katı madde içeren atıksular, alıcı ortamı ve arıtma tesisi çıkış suyunu olumsuz etkiler. Katı madde miktarının alıcı su ortamlarında fazla olması, dip çamuru oluşumuna ve çökelmelere yol açar. Ayrıca, sular yüksek miktarda katı madde içeriyorsa endüstriyel amaçlı veya içme suyu temininde kullanılamazlar.

Atıksularda bulunan katı maddeler, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama, çözünmüş, askıda ve süspanse katı maddelerin belirlenmesi ve arıtma süreçlerinin tasarımı açısından önem taşımaktadır. Atıksulardaki katı maddelerin sınıflandırılması Şekil 3.11'de gösterilmiştir (Nas ve Yılmaz, 2019).



Şekil 3.11 Atıksularda mevcut katı maddelerin sınıflandırılması (Nas ve Yılmaz, 2019)

### 3.3.4 Askıda Katı Madde (AKM)

Askıdaki katı maddeler, mg/L birimi ile ifade edilmektedir. Birim hacimde alınan su örneğinin 103 ila 105°C'de buharlaştırılmasının ardından geriye kalan maddelerin ağırlığına askıda katı madde denir. Filtre kağıdını geçen maddeler çözünmüş maddeler olarak adlandırılırken, geçemeyen maddeler ise çözünmemiş maddeler olarak adlandırılmaktadır. Genellikle bu tarz durumların analizinde ampirik yöntemler kullanılır (Ordu, 2024). Atıksularda organik ve inorganik kısımlardan oluşan katı maddelerin partikül boyutları 0.001 mikron ile 100 mikron arasında değişmektedir. Katı madde analizleri yapılırken genellikle 0.45 mikron por çaplı filtre kağıtları kullanılır. Çözünmüş maddelerde en büyük partikül çapı 11 mikron olarak kabul edilmektedir. Partikül çapı 10 mikrondan küçük olan maddeler ise kolloid olarak isimlendirilmektedir. Partiküllerde en küçük çap 0.001'dir. Partikül çapı 1 mikrondan küçük maddeler çökeltme tanklarında bekletilseler dahi çökelmezler. Çünkü bu maddelerin birim başına olan yüzey alanları oldukça yüksektir (Metcalf & Eddy, 2014). Askıda Katı Madde (AKM) tayini, atıksu veya su numunesinin homojen hâle getirilmesiyle başlar. Numune, önceden tartılmış filtre kağıdı kullanılarak filtrasyon cihazından geçirilir. Filtre üzerinde tutulan askıda katı maddeler, 103–105 °C'de kurutulur ve soğutulduktan sonra tartılır. AKM miktarı, kurutulmuş filtrenin kütlesi ile boş filtrenin kütlesi arasındaki farkın numune hacmine bölünmesiyle mg/L cinsinden hesaplanır (Gilcreas, 1996). Bu yöntem, numunedeki askıda katı maddelerin miktarının güvenilir bir şekilde belirlenmesini sağlar.

### 3.3.5 pH

pH, suyun asidik veya bazik özelliğini tanımlayan bir ölçüdür ve biyolojik süreçlerin işleyişi ile kimyasal arıtmanın etkinliğini belirlemeyi amaçlar. Atıksuda mikroorganizmaların yaşamlarını devam ettirebilmesi için pH'nın belirli bir aralıkta olması gerekir. Bundan dolayı bu biyolojik süreçte pH çok önemli bir parametredir (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksudan alınan numunenin pH ölçümü, elektrot tabanlı dijital pH metre ile yapılmıştır. Kalibrasyon tamamlandıktan sonra doğrudan ölçüm gerçekleştirilmiştir (Gilcreas, 1966).

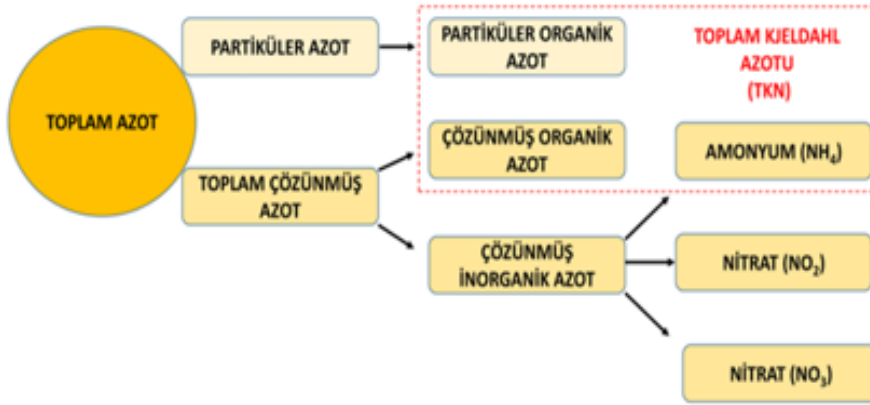
### 3.3.6 İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, sudaki çözünmüş iyonların iletkenlik kapasitesini ifade eder ve birimi  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir. Bu ölçümün amacı, suda çözünmüş tuzlar ve minerallerin toplamını izlemektir. Genellikle havuz içine yerleştirilen sensörler aracılığıyla yapılır (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksudan alınan numunede ise laboratuvar ortamında dijital iletkenlik ölçer ile ölçüm gerçekleştirilmiştir (Gilcreas, 1996).

### 3.3.7 Azot (N)

Azot genellikle toplam azot veya belirli bir azot formunu ifade eder. Nutrient (besin) maddesi olan azot, biyolojik arıtma proseslerinde atıksuda gerekli miktarda bulunmalıdır. Azotun yetersiz olması durumunda atıksuya dışarıdan azot ilavesi yapılmalı; fazla olması durumunda ise yosun oluşumuna neden olur. Yosunlaşmayı önlemek için ileri arıtma metodları kullanılır (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksu numunesinde laboratuvar ortamında UV-persülfat uygulanır ve ardından spektrofotometre ile analiz gerçekleştirilir (HACH, 2021).

Atıksularda bulunan azot, farklı formlarda mevcut olup, genellikle organik azot, amonyak ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) ve nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) olarak sınıflandırılmaktadır. Azot formlarının bu şekilde ayrılması, arıtma süreçlerinin tasarımında ve izlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Atıksulardaki azot formlarının sınıflandırılması Şekil 3.12'de gösterilmiştir (Nas ve Yılmaz, 2019).



Şekil 3.12 Atıksularda azot formlarının sınıflandırılması (Nas ve Yılmaz, 2019)

### 3.3.8 Fosfor (P)

Sudaki tüm organik ve inorganik fosfor bileşiklerinin toplamıdır. Son yıllarda deterjan yapımında fosfat ve polifosfat kullanıldığından atıksu içerisinde fosfor konsantrasyonu artmıştır. Bu da atıksuda alg patlamasına neden olmaktadır. Fosfor ölçümünün amacı, ötrifikasyon riskini izlemek ve fosfor giderimini değerlendirmektir (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksu numunesi laboratuvar ortamında asitle parçalama yapıldıktan sonra renkli kompleks oluşturulur ve spektrofotometre ile ölçülür (Gilcreas, 1996).

### 3.3.9 Karışık Sıvıdaki Askıda Katı Madde (MLSS)

Aktif çamur sistemlerindeki toplam askıda katı madde miktarıdır. Havalandırma havuzu içinde karışık sıvıdaki askıda katı maddelere MLSS (karışık sıvıdaki askıdaki katı madde) denir. Biyolojik arıtma verimini etkileyen bir parametredir. Uygun MLSS konsantrasyonunda işletilmeyen aktif çamur proseslerinde çeşitli köpük ve çamur problemleri ortaya çıkar. Biyolojik reaktördeki mikrobiyal yoğunluğu belirlemenin amacı, aktif çamur miktarını ve biyolojik arıtma sürecinin etkinliğini izlemektir (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksu numunesi laboratuvar ortamında süzülükten sonra filtre kağıdı  $105^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde tutulduktan sonra buharlaşan kısım ölçülür (Gilcreas, 1996).

### 3.3.10 Karışık Sıvıdaki Uçucu Askıda Katı Madde (MLVSS)

MLVSS, MLSS'in organik yani biyolojik olarak parçalanabilir kısmıdır ve aktif biyokütle oranını ölçmeyi amaçlar. MLVSS, tam karışımli sıvıda bulunan organik veya uçucu askıda katı madde konsantrasyonunu ifade eder ve MLSS'in uçucu kısmı mikroorganizma varlığının göstergesi olarak kullanılır (Nas ve Yılmaz, 2019). Tesise gelen atıksu numunesi laboratuvar ortamında kurutulmuş filtre üzerinde  $550^{\circ}\text{C}$ 'de kül fırınında yakılır; bu işlem sırasında kayıp olan uçucu kısım ölçülür (Gilcreas, 1996).

### 3.3.11 Çamur Hacmi İndeksi (SVİ)

Çamur hacim indeksi, çamurun çökme özelliği hakkında bilgi verir ve 1 gram çamurun kapladığı hacmi ifade eder. Bu indeks, çamurun çökme ve yoğunlaşma kapasitesini değerlendirmeyi amaçlar. Tesise gelen atıksu numunesi laboratuvar ortamında 1 litrelik hacimde 30 dakika süreyle çöktürülür (Gilcreas, 1996). SVI, 30 dakika bekletilen Imhoff konisindeki çamur hacminin (ml/L), havalandırma havuzundaki MLSS konsantrasyonuna oranlanmasıyla hesaplanır (Gilcreas, 1996).

(3.1)

Bu değer, çamurun çökme yeteneğini gösterir; düşük SVI değerleri çamurun yoğun ve iyi çöktüğünü, yüksek SVI değerleri ise çamurun kabarık ve yavaş çöken yapıda olduğunu gösterir (Gilcreas, 1996; Nas ve Yılmaz, 2019).

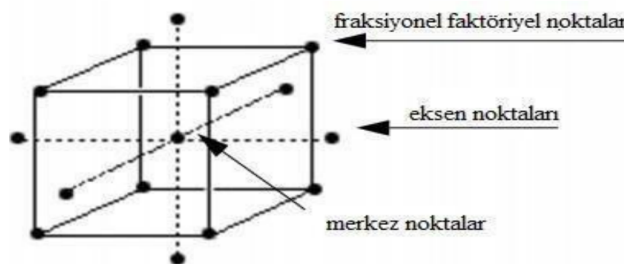
### 3.4 Merkezi Kompozit Tasarımı

Cevap yüzey yöntemi; deney aşamalarının tasarımı, modelin seçilmesi ve geliştirilmesinin sağlanması, model denkleminin istatistiksel biçimde doğrulama yapılması ve parametrelerin optimizasyonu gibi çeşitli aşamalardan meydana gelmektedir (Güngör, 2013). Cevap yüzey yöntemleri arasında en yaygın olarak kullanılan tasarımlar Box-Behnken Tasarımı ve Merkezi Kompozit Tasarımı (MKT)'dir (Cadena vd., 2013). Günümüzde özellikle proseslerin optimizasyonunda yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan MKT'nin, etki eden çeşitli ve farklı birçok değişken parametresi bulunmaktadır. Proseslerde klasik olarak uygulanan yöntemlerde tüm etkenlerin ortaya çıkardığı etkilerin belirlenmesi zor bir süreç olup hatta mümkün değildir. Bu yöntemler ayrıca oldukça zaman gerektiren proseslerdir. Uygun parametrelerin tespit edilmesi için birçok deney uygulaması yapılması gerekmektedir. Klasik yöntemlerle cevap yüzey yöntemi karşılaştırıldığında çok uzun çalışma vaktini ve deneysel çalışmaları, istatistiksel ve matematiksel yaklaşımlarla kısa ve net çözüme kavuşturan bir yöntemdir. Ampirik modeller ve istatistiksel analizler karmaşık ve ayrıntılı sistemlerdeki temel ya da daha basit mekanizmaların belirlenmesinde oldukça kolaylık sağlamaktadır. Bunun yanı sıra daha net sonuçlara ulaştırarak prosesin daha iyi anlaşılmasını ve kontrol edilmesini sağlamış olur (Ordu, 2024). Merkezi kompozit tasarım (MKT) deneysel tasarım yöntemleri içerisinde ardışık deneysel çalışmalar için ideal olan ve en yaygın kullanılan tasarım metodudur. Bu yöntemi 1951'de ilk kez Box ve Wilson literatüre kazandırmıştır. Deneysel tasarımlar, prosesi matematiksel denklemlerle açıklar ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkiyi matematiksel olarak belirler (Myers vd., 2016). Çok fazla deneysel tasarım türü ve uygulaması vardır. Bu tasarımların çalışma alanı ve yöntemleri farklılık göstermektedir. Cevap yüzey metodunda daha çok merkezi kompozit tasarım kullanılmaktadır. Bu yöntem temel noktalar hariç deneysel çalışma ve tekrar edebilme imkânı sağlamaktadır. Bu tasarım ile bütün değişkenlerin değişimi ve etkileşimi aynı süreçte incelenebilir. Bu tasarımın en büyük kolaylığı en baştan bir tasarım oluşturmaksızın 2k faktöriyel tasarıma sadece merkez ve eksen noktaları ilave edilerek deney tasarımının oluşturulabilmesidir (Myers vd., 2016).

Merkezi kompozit tasarım yöntemiyle;

- Faktörlerin doğrusal etkileri incelenir.
- Faktörlerin parabolik etkileri ve aralarındaki interaksiyon ve karesel ilişki incelenebilir.
- Uygun koşullar ve bu koşulların karşılandığı bağımsız değişkenlerin etki alanı bulunabilir.
- Deneysel hata olup olmadığı kontrol edilebilir.

Merkezi kompozit tasarımı çok boyutlu tek değişkenli ile faktöriyel tasarımın bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Şekil 3.13'de merkezi kompozit tasarımın kübik şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Üç değişkenli üç seviyeli merkezi kompozit tasarımın kübik gösterimi

Merkezi kompozit tasarım bağımsız parametrelerin çalışma aralığı üç bölüme ayrılır;

1. Köşe noktalar, fraksiyonel faktöriyel noktaları içermektedir.
2. Eksen noktaları (çekirdek dışında).
3. Merkez noktaları,

Oluşturulan sistemin yanıtı, bağımsız olan değişkenin doğrusal fonksiyonu şeklinde ifade edilebiliyorsa, birinci dereceden bir polinomal denklem model şeklinde kullanılabilir. Ancak sistemin yanıt yüzeyinde bir eğrilik olması durumunda, birinci dereceden denklemin yetersiz kalması nedeniyle hata oranı yüksek olacaktır. Bu sebeple cevap yüzeyindeki eğriliğin belirlenmesinde ikinci dereceden polinomal "Eşitlik 3.2" ile "Eşitlik 3.3" kullanılmaktadır (Aygün, 2012).

Birinci dereceden polinomal "Eşitlik 3.2";

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n + e \quad (3.2)$$

İkinci dereceden polinomal "Eşitlik 3.3";

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n (b_i X_i) + \sum_{i=1}^n (b_{ii} X_i^2) + \sum_{i < j} [ \hat{a}_{ij}^n (b_{ij} X_i X_j) ] + b \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.2, i ve j; lineer ve ikinci dereceden katsayı,  $b_0$ ; sabit katsayı,  $b_i$ ; lineer katsayı,  $b_{ii}$ ; etkileşimli katsayı  $b_{ij}$ ; ikinci dereceden katsayısı şeklindedir. Örneğin üç bağımsız değişken için düzenlenmiş "Eşitlik 3.4" ile verilmiştir.

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_{11} X_1^2 + b_{22} X_2^2 + b_{33} X_3^2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{13} X_1 X_3 + b_{23} X_2 X_3 \quad (3.4)$$

$\beta_0$  : Sabit katsayı,

$X_i$  : Çalışan değişkenler,

$\beta_i$  : Lineer katsayı,

$\beta_{ii}$  : Quadratik katsayı

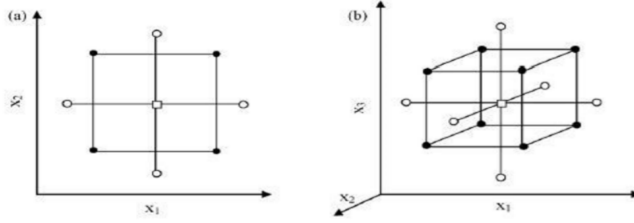
$\beta_{ij}$  : İnteraksiyon katsayısı

İkinci dereceden fonksiyonları CYY'de daha çok kullanılmasının önemli sebepleri aşağıda belirtildiği gibidir;

- Esnek olması nedeniyle çok çeşitli fonksiyonel yapılara girebilmesinden dolayı gerçek yanıt fonksiyonun tahmin edilebilmesinde avantaj sağlaması,
- Katsayı değerlerinin karışık işlemler olmadan en ufak kareler yönteminden yararlanılarak tahmin edilebilmesine olanak sağlaması,
- CYY'nin problem çözümünde başarıyla uygulanabildiğini gösteren çok sayıda deneysel işlem olması,
- Matematiksel olarak optimum nokta kolaylıkla belirlenebilmektedir.

Matris şeklinde ikinci dereceden modellerin gösterilmesi, kolaylığı ve çözümü bakımından yaygın olarak kullanılmasının temel sebebidir. Bu modeller en küçük kareler yöntemi ile çözülebilmektedir. Bu yöntemde hatanın rastgele şekilde ve hataların birbirinden bağımsız ve sıfır olduğu kabul edilir. İki değişkenli ve üç değişkenli MKT düzlemleri Şekil 3.14'de gösterilmiştir (Aygün, 2012).





Şekil 3.14 (a) iki değişkenli ve (b) üç değişkenli MKT'lerin gösterimi

### 3.5 Optimizasyon ve Design Expert Programı

Design-Expert yazılımı, deney tasarımı ve süreç optimizasyonu için kapsamlı bir araçtır. Bu yazılım, deneylerin hızlı ve istenilen şekilde tasarlanarak veri analizleri ve sonuçlar grafiksel olarak gözlemlenebilir. İki ve üç boyutlu renkli grafik çıktıları alınarak varyans analizleri yapılabilir. Kendi etrafında dönebilen üç boyutlu ve renkli grafikler ile sonuçlar farklı açılardan detaylı şekilde incelenebilir. Design-Expert'in güçlü optimizasyon özelliği sayesinde birden fazla yanıtın eş zamanlı alt veya üst değeri elde edilebilir. Program ile prosesi optimize etmek için farklı deney tasarım yöntemleri uygulanabilir ve özellikle Box-Behnken Tasarımı ile Merkezi Kompozit Tasarımı (MKT) gibi yanıt yüzey yöntemleri tercih edilmektedir (Sopyan vd., 2022).

#### 3.5.1 Optimum Arıtım Koşullarını Belirlemek İçin Yapılan Deneyler

Van Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinde alınan atıksu örneklerinin atıksuyun arıtılması için merkezi kompozit tasarımına bağlı olarak pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve askıda katı madde (AKM) değerleri ölçülerek bu değerler ile hesaplanan en yüksek KOİ giderim veriminin belirlenmesi için MKT yanıt yüzey yöntemi kullanılmıştır. Optimizasyon işlemlerinde KOİ giderim verimini etkileyen en önemli parametreler olarak pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen ve askıda katı madde seçilmiştir. Bu dört parametre bağımsız değişkenlerde kullanılmış ve arıtım sonrası ölçülen KOİ giderim verimi bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Bu dört bağımsız değişkenleri alt ve üst sınırlar Design Expert programına işlenmiş ve program tarafından önerilen deneysel tasarım seti belirlenmiştir. Deney tasarımındaki deneyler sırasıyla yapılarak deneylerden sonra KOİ giderim verimi hesaplanmıştır. Design Expert programı içindeki MKT'den elde edilen değerler işlenmiştir. Programın işlemindeki adımlar sırasıyla uygulanarak ANOVA tabloları ve üç boyutlu grafikler elde edilmiştir. MKT programı için seçilen değişkenlerin aksiyal ve merkez noktaları çizelge 3.2 'de ve program tarafından önerilen deney listesi çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 MKT için seçilen değişkenlerin faktöriyel, aksiyal ve merkez noktaları

Faktör İsim	Minimum	Maximum	Düşük kodlanmış	Yüksek kodlanmış	Ortalama
A pH	7.10	7.80	-1	+1	7.45
B iletkenlik	300.00	780.0	-1	+1	540.00
C Çözülmüş oksijen	0.6000	1.20	-1	+1	0.9000
D Askıda katı madde	20.00	200.0	-1	+1	110.00

Çizelge 3.3 Van Muradiye atıksu arıtma tesisi için MKT ile oluşturulan deney programı

Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
C:	Çözülmüş	D:	Askıda katı

No	A: pH	B: İletkenlik	oksijen	madde
1	7.1	780	0.6	20
2	7.8	780	1.2	20
3	7.45	540	0.9	110
4	7.45	540	0.9	110
5	7.1	780	0.6	200
6	7.45	540	0.9	20
7	7.1	300	1.2	200
8	7.45	540	0.6	110
9	7.1	300	0.6	20
10	7.45	540	0.9	110
11	7.1	300	1.2	20
12	7.8	780	0.6	200
13	7.8	300	0.6	200
14	7.45	300	0.9	110
15	7.1	780	1.2	200
16	7.8	780	0.6	20
17	7.8	300	1.2	200
18	7.45	540	1.2	110
19	7.1	540	0.9	110
20	7.45	540	0.9	110
21	7.45	540	0.9	110
22	7.1	780	1.2	20
23	7.8	300	1.2	20
24	7.45	540	0.9	110
25	7.45	540	0.9	200
26	7.1	300	0.6	200
27	7.8	300	0.6	20
28	7.8	780	1.2	200
29	7.8	540	0.9	110
30	7.45	780	0.9	110

## 5. BULGULAR

### 4.1 Atıksuya Ait Kirlilik Yüklerinin Değerlendirilmesi

Tez çalışmasında standarda uygun olarak karakterizasyon işlemi yapılan atıksuya ait kirlilik yükü değerleri MLSS, MLVSS ve SVI analiz sonuçları şekil 4.1 ve şekil 4.2'de verilmiştir.

Şekil 4.1 Zamana bağlı KOİ giderimi ile MLSS ve MLVSS konsantrasyonlarının karşılaştırılması (Metcalf & Eddy, 2014)

Grafikte görüldüğü üzere KOİ giderimi %88-%92 arasında değişmektedir. 9. ve 21. günlerde gözlenen düşüşler, sistemde kısa süreli değişiklikler veya şok yüklemelerden kaynaklanmış olabilir. Genel olarak %KOİ değerlerine bağlı olarak arıtma tesisin etkin bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir (Metcalf & Eddy, 2014). MLSS değeri, 3200-3500 mg/L aralığında ve stabildir ve tesisteki toplam çamur konsantrasyonunu göstermektedir. Grafikteki değerlere göre çamur yaşı ve geri devir çamur oranının iyi kontrol edildiği anlaşılmaktadır (Metcalf & Eddy, 2014). MLVSS değeri ise 2600-2900 mg/L arasında değişmektedir. Bu değerler, sistemdeki biyokütle miktarının yüksek olduğunu ve dolayısıyla biyolojik arıtma kapasitesinin güçlü olduğunu göstermektedir (Metcalf & Eddy, 2014). Grafik incelendiğinde, MLSS ve MLVSS değerlerinin stabil olduğu dönemlerde % KOİ gideriminin yüksek olduğu görülmektedir. KOİ gideriminin azaldığı günlerde ise MLVSS değerinde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir (Metcalf & Eddy, 2014). Bu bulgular, KOİ gideriminin biyolojik çamur miktarı ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. MLSS 'nin stabil tutulması ve MLVSS' nin yüksek olması KOİ verimini olumlu yönde etkilemiştir. Bu durum biyolojik arıtma tesislerinde optimum çamur konsantrasyonu ve dengeli çamur yaşının, KOİ giderimi üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir (Metcalf & Eddy, 2014).

Şekil 4.2 Zamana bağlı KOİ giderimi ile SVI değerlerinin karşılaştırılması (Metcalf & Eddy, 2014)

KOİ giderim oranı genel olarak %86 ile %92 arasında değişmektedir. Özellikle 9., 21. ve 25. günlerde KOİ gideriminde belirgin düşüşler gözlenmiştir. Genel olarak sistemin yüksek verimlilikte çalışmakta, ancak bazı günlerde geçici performans düşüklükleri yaşandığı anlaşılmaktadır (Jenkins vd., 2004). SVI değerleri yaklaşık 100–150 mL/g arasında değişmektedir ve 100 mL/g'nin altına düşmemiştir. Bu durum çamurun genellikle iyi çöktüğünü ama zaman zaman şişkin çamur eğilimi gösterebileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle 21. gün civarında SVI değerinde artış gözlenirken, KOİ gideriminde düşüş meydana gelmiştir. Bu durum, çamur çökmesinin geçici olarak zayıfladığını ve dolayısıyla sistem veriminin kısa süreli olarak düştüğünü göstermektedir. (Jenkins vd., 2004). Grafiğe balı olarak, KOİ giderimi ve SVI arasında ters orantı dikkat çekmektedir; yani SVI arttığında KOİ giderimi azalma eğilimindedir. Bu durum biyolojik arıtmada çamur çökme kalitesinin genel sistem performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Özellikle 21. gün civarındaki yüksek SVI ve düşük KOİ giderimi, filamentli bakteri artışı, çökme sorunları ya da hidrolik dengesizlikler gibi problemlerden kaynaklanmış olabilir. Sonuç olarak SVI değeri biyolojik çamurun çökme özelliklerini gösterdiğinden, sistem performansının değerlendirilmesinde kritik bir parametredir. İdeal SVI aralığı 80–150 mL/g olarak kabul edilmektedir, bu aralıkta kalındığı sürece çamur çökmesi yeterli düzeydedir. Ancak SVI'nin artışı, KOİ gideriminde düşümlere neden olabileceğinden, SVI'nin kontrolü verimli arıtma açısından büyük önem taşımaktadır (Jenkins vd., 2004).

Tez çalışmasında standarda uygun olarak karakterizasyon işlemi yapılan atıksuya ait kirlilik yükü değerleri, MKT deney sonuçları çizelge 4.1 ve çizelge 4.2'de sunulmuştur.

Çizelge 4.1 Van Muradiye atıksu arıtma tesisinin MKT deney sonuçları

Numara	Faktör 1 A:pH	Faktör 2 B:İletkenlik	Faktör 3 C:Çözünmüş oksijen	Faktör 4 D:Askıda katı madde	Cevap 1 %KOİ Giderimi
1	7.1	780	0.6	20	92
2	7.8	780	1.2	20	88
3	7.45	540	0.9	110	90
4	7.45	540	0.9	110	90
5	7.1	780	0.6	200	89
6	7.45	540	0.9	20	91
7	7.1	300	1.2	200	87

8	7.45	540	0.6	110	90
9	7.1	300	0.6	20	86
10	7.45	540	0.9	110	90
11	7.1	300	1.2	20	89
12	7.8	780	0.6	200	85
13	7.8	300	0.6	200	86
14	7.45	300	0.9	110	91
15	7.1	780	1.2	200	90

Çizelge 4.1 Van Muradiye atıksu arıtma tesisinin MKT deney sonuçları (devamı)

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4	Cevap 1
Numara	A:pH	B:İletkenlik	C:Çözünmüş oksijen	D:Askıda katı madde	%KOİ Giderimi
16	7.8	780	0.6	20	85
17	7.8	300	1.2	200	87
18	7.45	540	1.2	110	90
19	7.1	540	0.9	110	86
20	7.45	540	0.9	110	90
21	7.45	540	0.9	110	90
22	7.1	780	1.2	20	90
23	7.8	300	1.2	20	85
24	7.45	540	0.9	110	90
25	7.45	540	0.9	200	90
26	7.1	300	0.6	200	86
27	7.8	300	0.6	20	83
28	7.8	780	1.2	200	88
29	7.8	540	0.9	110	85
30	7.45	780	0.9	110	91

Çizelge 4.2 Programdaki modellerin kareler toplamı

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-Değeri	P- Değeri
Ortalama Toplam	2.341E+05	1	2.341E+05		
Lineer ortalama	55.44	4	13.86	3.17	0.0308
2FI -lineer	15.00	6	2.50	0.5041	0.7976
Kuadratik-2FI	<b>80.65</b>	<b>4</b>	<b>20.16</b>	<b>22.28</b>	<b>&lt; 0.0001 Önerilen</b>
Kübik Kuadratik	12.56	8	1.57	10.80	0.0026
Artık	1.02	7	0.1454		
Toplam	2.342E+05	30	7808.27		

#### 4.2 Design Expert Programında Oluşturulan Varyans Analizi Sonuçları ve Üç Boyutlu Grafikler

Deneyler sonucunda elde edilen veriler Design Expert programına işlendi, ardından program tarafından pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve AKM değerleri için yine program tarafından önerilen modelin kareler toplamı, çizelge 4.2’de ve programda verilerin uygulandığı modellerin istatistiksel özeti çizelge 4.3’de verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde, optimizasyon için önerilen kuadratik modelin diğer modellere kıyasla F değerinin daha büyük olduğu ve p değerlerinin ise daha küçük olduğu anlaşılmıştır. Program tarafından yine çıktısı alınan ANOVA sonuçları ise çizelge 4.4’te gösterilmiştir. ANOVA çizelgedeki sonuca göre optimizasyon için önerilen kuadratik modelin p değerinin KOİ sonucu için oldukça küçük olduğu, bu nedenle modelin çok önemli olduğu belirlenmiştir. Çizelge 4.4’teki ANOVA sonuçlarına göre bağımsız değişkenlerden, pH değerlerinin KOİ giderimi üzerinde daha etkin olduğu gözlenmiştir.

Programdan elde edilmiş hesaplanan  $R^2$ , tahmin edilen  $R^2$  değerleri, standart sapma ve ortalama değerleri ise, çizelge 4.5'te verilmiştir. Hesaplanan  $R^2$  değerinin 0.9176 olduğu ve böylelikle deneysel veriler ile model tarafından hesaplanmış olan sonuçların oldukça uyumlu olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca 0.8406 olan düzeltilmiş  $R^2$  değerinin 0.75'ten büyük olduğu için modelin önemli, güvenilir ve deneysel veriler ile modelden hesaplanan sonuçların uyumlu olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunda optimizasyon için seçilen kuadratik model için belirlenen p değerinin 0.0001'den küçük olduğundan modelin önemli olduğunu ve 11.93 olan F değerinin de modelin anlamlı olduğunu gösterir. 0.05'den küçük p değerleri, model terimlerinin çok anlamlı olduğunu ve yanıt üzerinde daha çok etkili olduğunu gösterir. Bu durumda pH, iletkenlik, çözülmüş oksijen, pH\*askıda katı madde, pH<sup>2</sup> çok anlamlı ve en önemli model terimleridir. p'nin 0.1000'den büyük değerleri, model terimlerinin az anlamlı olduğunu ve yanıt üzerinde daha az etkili olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3 Programda verilerin uygulandığı modellerin istatistiksel özeti

Kaynak	Standart sapma	Hesaplanan $R^2$	Düzeltilmiş $R^2$	Tahmin edilen $R^2$	PRESS
Ortalama	2.09	0.3367	0.2306	0.0585	155.03
2FI	2.23	0.4278	0.1266	-0.7107	281.69
<b>Kuadratik</b>	<b>0.9512</b>	<b>0.9176</b>	<b>0.8406</b>	<b>0.4244</b>	<b>94.78</b>
Kübik	0.3813	0.9938	0.9744	-0.5142	249.33

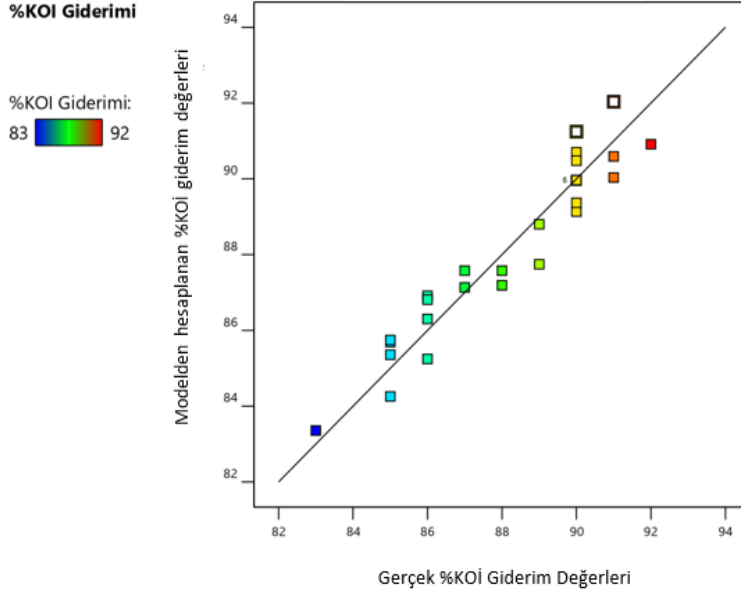
Çizelge 4.4 KOİ giderimi için kuadratik modelin ANOVA sonuçları

Kaynak	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	F-Değeri	P-Değeri	Önemli
Model (Kuadratik)	151.09	14	10.79	11.93	< 0.0001	Önemli
A-pH	29.39	1	29.39	32.48	< 0.0001	
B-iletkenlik	18.00	1	18.00	19.89	0.0005	
C-Çözülmüş oksijen	8.00	1	8.00	8.84	0.0095	
D-Askıda katı madde	0.0556	1	0.0556	0.0614	0.8077	
AB	4.00	1	4.00	4.42	0.0528	
AC	2.25	1	2.25	2.49	0.1357	
AD	6.25	1	6.25	6.91	0.0190	
BC	0.2500	1	0.2500	0.2763	0.6068	
BD	2.25	1	2.25	2.49	0.1357	
CD	0.0000	1	0.0000	0.0000	1.0000	
A <sup>2</sup>	50.84	1	50.84	56.19	< 0.0001	
B <sup>2</sup>	2.97	1	2.97	3.28	0.0902	
C <sup>2</sup>	0.0128	1	0.0128	0.0141	0.9071	
D <sup>2</sup>	0.8423	1	0.8423	0.9309	0.3499	
Gerçek	13.57	15	0.9049			
Uyum Eksikliği	13.57	10	1.36			
Hata	0.0000	5	0.0000			
Toplam	164.67	29				

Çizelge 4.5 KOİ giderimi için belirlenmiş  $R^2$  değerleri ve diğer istatistik değerler

Standart sapma	0.9512	Hesaplanan $R^2$	0.9176
Ortalama yanıt değeri	88.33	Düzeltilmiş $R^2$	0.8406
Varyasyon katsayısı	1.08	Tahmin Edilen $R^2$	0.4244

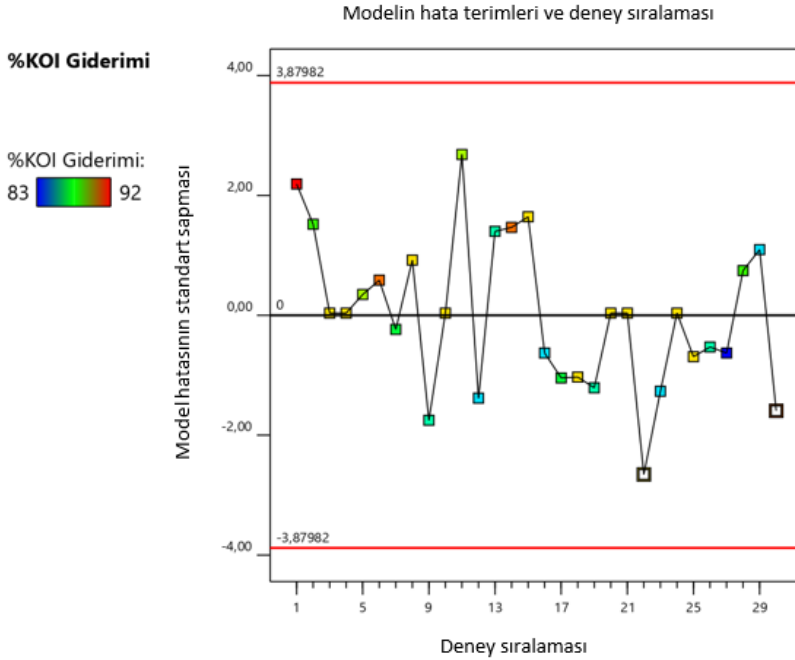
Şekil 4.3'te modelden hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin karşılaştırıldığı diyagram gösterilmektedir



Şekil 4.3 % KOİ giderimi için gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin gösterimi

Şekildeki noktaların 45° çizgisi etrafında rastgele dağılımı deneysel değerler ile modelden elde edilen değerlerin birbiri ile uyumlu olduğu görülmektedir. Buna göre deneysel değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki hata oranının az olduğu belirlenmiştir ve program tarafından oluşturulan modelin, prosesin KOİ giderimini belirlemek için güvenilir düzeyde olduğunu kanıtlamıştır.

Şekil 4.4'te 0 eksenini üzerindeki çizgi model tarafından tahmin edilen değerleri ve renkli işaretlenmiş noktalar ise deneylerden elde edilen gerçek değerleri temsil etmektedir. Buna göre deneysel değerlerin dağılımı model çizgisine yakın bir yerleşim gösterdiği ve bazı değerlerin de model çizgisi üzerinde olduğu görülmektedir.

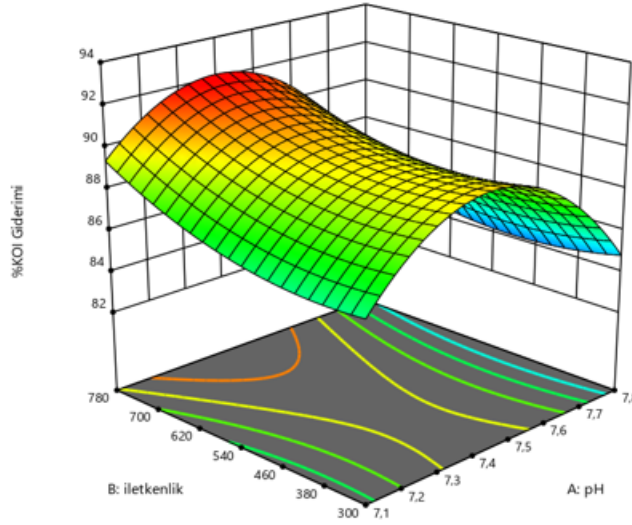


Şekil 4.4 Deneysel değerler ile modelden hesaplanan değerler arasındaki hataların gösterimi

Buna göre Şekil 4.4 bir modelin ne kadar iyi çalıştığını ve hataların sıfıra ne kadar yakın olduğu belirlenerek doğruluk oranını değerlendirmek için kullanılır. Deneysel değerler 0 eksenini üzerindeki model çizgisine ne kadar yakınsa hata oranı da

düşük olduğundan Şekil 4.4 incelenerek hata oranının az olduğu ve model değerleri ile deneysel değerlerin uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.

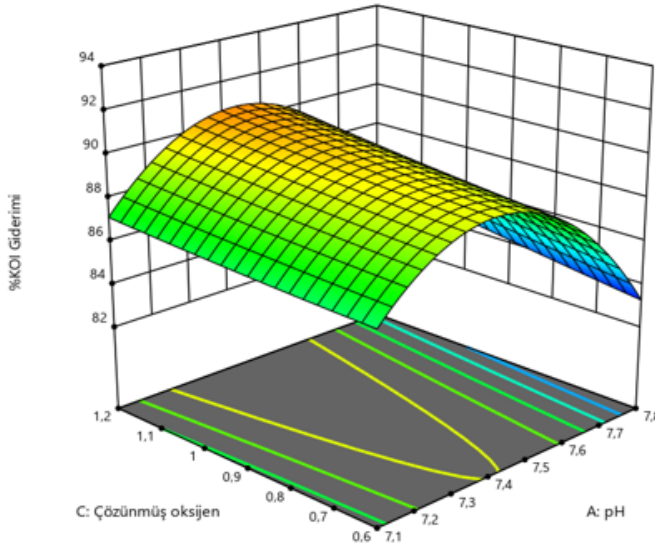
Şekil 4.5'te KOİ gideriminin pH ve iletkenlik değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir. Şekilde yüksek % KOİ gideriminin elde edilmesi için hem pH hem de iletkenliğin önemli faktörler olduğunu göstermektedir



Şekil 4.5 pH ve iletkenlik değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Şekil 4.5 incelendiğinde % KOİ giderim değerlerinin % 84 ile % 92 arasında değiştiği görülmektedir. pH 7.5'te yaklaşık % 92 KOİ giderimi elde edildiği ve en yüksek KOİ giderimi yaklaşık 780 mS değerlerinde elde edildiği belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda pH ve iletkenlik parametrelerinin seçilen çalışma aralığında en yüksek KOİ giderimini elde etmek için optimum pH ve iletkenlik değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır.

Şekil 4.6'da KOİ gideriminin pH ve çözülmüş oksijen değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir.

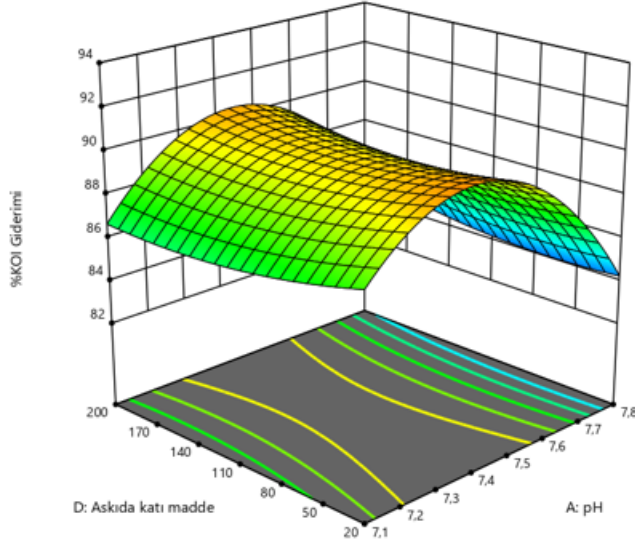


Şekil 4.6 pH ve çözülmüş oksijen değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Şekil 4.6'da yüksek % KOİ gideriminin elde edilmesi için hem pH hem de çözülmüş oksijen parametrelerinin önemli faktörler olduğu görülmüştür. Çünkü % KOİ giderim değerlerinin %83 ile %91 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Yüzeyin eğimli yapısı, pH ve çözülmüş oksijen arasında % KOİ giderimi üzerinde bir etkileşim olduğunu göstermektedir. pH 7.5'te yaklaşık %91 olarak en yüksek KOİ giderimi elde edildiği ve çözülmüş oksijenin KOİ giderimi üzerinde sabit bir etkiye sahip olduğu

belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda pH ve çözülmüş oksijen parametrelerinin belirlenen çalışma aralığında en yüksek KOİ giderimini sağlamak üzere optimum değerleri tespit edilmiştir.

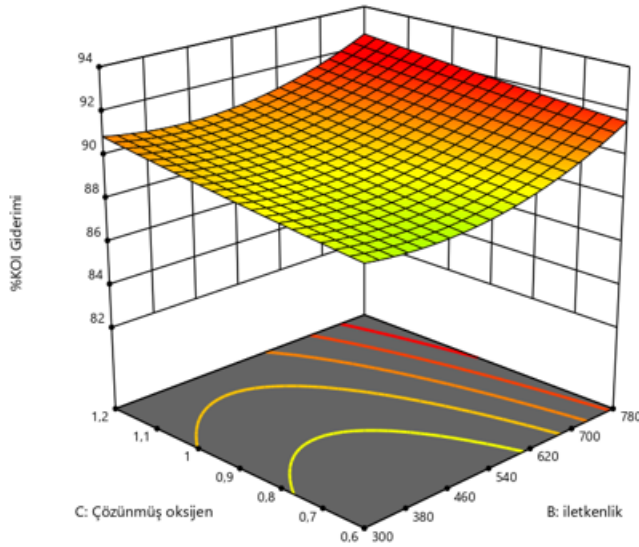
Şekil 4.7’de KOİ gideriminin pH ve askıda katı madde değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir.



Şekil 4.7 pH ve askıda katı madde değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Yüksek KOİ gideriminin elde edilmesinde hem pH hem de askıda katı madde parametrelerinin önemli rol oynadığı görülmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde KOİ giderim değerlerinin % 84 ile % 91 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Yüzeyin eğimli yapısı, pH ve askıda katı madde arasında KOİ giderimi üzerinde bir etkileşim olduğunu göstermektedir. pH 7.5’te yaklaşık % 91 ile en yüksek KOİ giderimi elde edilmiş ve çözülmüş oksijenin KOİ giderimi üzerindeki etkisinin sabit olduğu belirlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda seçilen çalışma aralığında hem pH hem de AKM parametrelerinin en yüksek KOİ giderimini sağlayacak optimum değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.8’de KOİ gideriminin iletkenlik ve çözülmüş oksijen değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir.



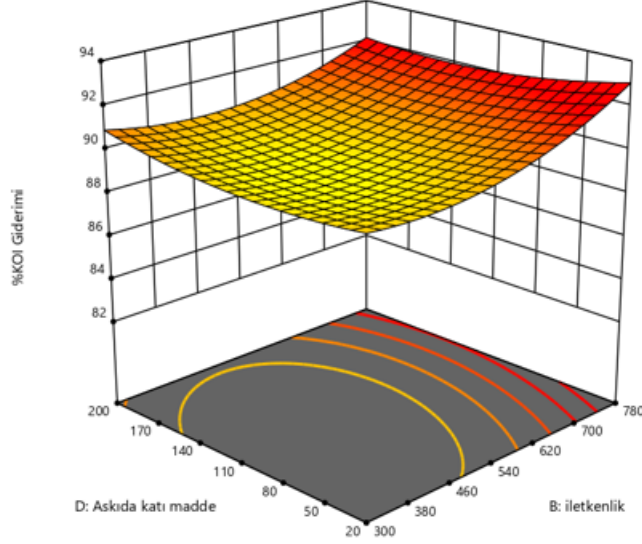
Şekil 4.8 İletkenlik ve çözülmüş oksijen değerleri ile %KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Şekil 4.8, KOİ gideriminin elde edilmesinde iletkenlik ve çözülmüş oksijen parametrelerinin önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Şekil incelendiğinde KOİ giderim değerlerinin %89 ile %92 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Yüzeyin eğimli



yapısı, iletkenlik ve çözülmüş oksijen arasında KOİ giderimi üzerinde bir etkileşim olduğunu göstermektedir. Özellikle iletkenliğin 780 ms/cm olduğu durumda yaklaşık %92, çözülmüş oksijenin 1.2 mg/L olduğu durumda ise yaklaşık %91 KOİ giderimi elde edilmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda seçilen çalışma aralığında hem iletkenlik hem de çözülmüş oksijen parametrelerinin en yüksek KOİ giderimini sağlayacak optimum değerleri belirlenmiştir.

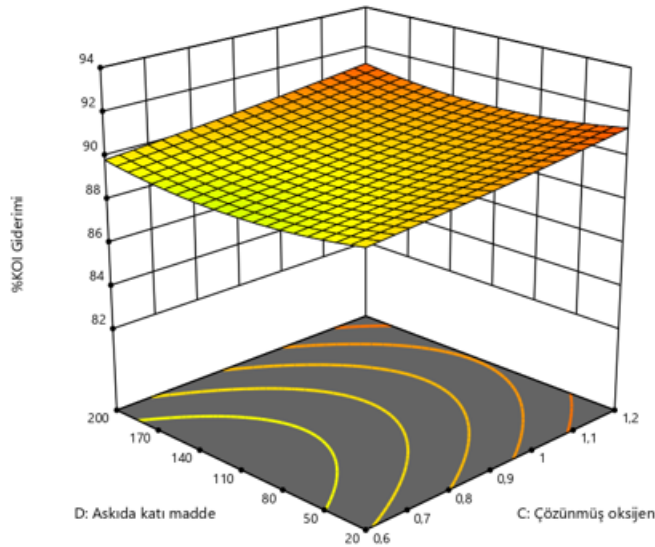
Şekil 4.9'da KOİ gideriminin iletkenlik ve askıda katı madde değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir.



Şekil 4.9 İletkenlik ve askıda katı madde değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Şekil 4.9 KOİ gideriminin elde edilmesinde iletkenlik ve askıda katı madde parametrelerinin önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Şekil incelendiğinde KOİ giderim değerlerinin %90 ile %92 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Yüzeyin eğimli yapısı, iletkenlik ve askıda katı madde arasında KOİ giderimi üzerinde bir etkileşim olduğunu göstermektedir. İletkenliğin 780 mS/cm olduğu durumda yaklaşık %92 KOİ giderimi elde edilmiş ve AKM'nin KOİ giderimi üzerinde belirgin bir değişiklik oluşturmadığı tespit edilmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda seçilen çalışma aralığında hem iletkenlik hem de AKM parametrelerinin en yüksek KOİ giderimini sağlayacak optimum değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.10'da KOİ gideriminin çözülmüş oksijen ve askıda katı madde değerleri ile değişimini gösteren üç boyutlu grafik görülmektedir.



Şekil 4.10 Çözülmüş oksijen ve askıda katı madde değerleri ile % KOİ gideriminin üç boyutlu değişimi

Şekil 4.10, % KOİ gideriminin elde edilmesinde çözünmüş oksijen ve AKM parametrelerinin önemli faktörler olduğunu göstermektedir. Şekil incelendiğinde KOİ giderim değerlerinin %90 ile %91 arasında değiştiği anlaşılmaktadır. Yüzeyin eğimli yapısı, çözünmüş oksijen ve AKM arasında KOİ giderimi üzerinde bir etkileşim olduğunu göstermektedir. Özellikle çözünmüş oksijenin 1.2 mg/L olduğu durumda yaklaşık %91 KOİ giderimi elde edilmiş ve AKM'nin KOİ giderimi üzerinde büyük bir değişim oluşturmadığı gözlenmiştir. Optimizasyon çalışmaları sonucunda seçilen çalışma aralığında hem çözünmüş oksijen hem de AKM parametrelerinin en yüksek KOİ giderimini sağlayacak optimum değerleri belirlenmiştir.

#### 4.3 Program Tarafından Oluşturulan Kodlu ve Gerçek Değerlere Göre Model Denklemleri

Design Expert programı tarafından yanıt (% KOİ giderimi) için kodlu faktörlere bağlı oluşturulan model denklemi Eş. 4.1'de ve gerçek faktörlere bağlı oluşturulan model denklemi Eş. 4.2'de ifade edilmiştir.

Kodlanmış faktörlere göre oluşturulan KOİ için model denklemi:

$$\begin{aligned} \% \text{ KOİ giderimi} = & +86.96 -1.28[A] + 1.0000[B] + 0.6667[C] - 0.0556[D] - 0.5000 [A] \\ & [B] + 0.3750 [A][C] + 0.6250[A][D] -0.1250[B][C] -0.3750[B][D] +0.0000[C][D] \\ & -4.43[A]^2 + 1.07[B]^2 + 0.0702[C]^2 + 0.5702[D]^2 \end{aligned} \quad (4.1)$$

Kodlanmış faktörler açısından denklem, her faktörün verilen seviyeleri için yanıt hakkında tahminlerde bulunmak için kullanılabilir. Varsayılan olarak, faktörlerin yüksek seviyeleri +1 olarak kodlanır ve düşük seviyeleri -1 olarak kodlanır. Kodlanmış denklem, faktör katsayılarını karşılaştırarak faktörlerin göreceli etkisini belirlemek için yararlıdır.

Gerçek faktörlere göre oluşturulan KOİ için model denklemi:

$$\begin{aligned} \% \text{ KOİ giderimi} = & -1872.80491 + 532.97798[\text{pH}] + 0.031918[\text{iletkenlik}] + 24.85093[\text{çözünmüş} \\ & \text{oksijen}] - 0.154546[\text{askıda katı madde}] - 0.005952 [\text{pH}][\text{iletkenlik}] + 3.57143 [\text{pH}] \\ & [\text{çözünmüş oksijen}] + 0.019841[\text{pH}][\text{askıda katı madde}] - 0.001736[\text{iletkenlik}][\text{çözünmüş} \\ & \text{oksijen}] - 0.000017[\text{iletkenlik}][\text{askıda katı madde}] + 1.55716\text{E-}14[\text{çözünmüş oksijen}] \\ & [\text{askıda katı madde}] - 36.16183[\text{pH}]^2 + \\ & 0.000019[\text{iletkenlik}]^2 + 0.779727[\text{çözünmüş oksijen}]^2 + 0.000070[\text{askıda katı madde}]^2 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Gerçek faktörler açısından denklem, her faktörün verilen seviyeleri için yanıt hakkında tahminlerde bulunmak için kullanılabilir. Burada, seviyeler her faktör için orijinal birimlerde belirtilmektedir. Bu denklem, her faktörün göreceli etkisini belirlemek için kullanılmamalıdır çünkü katsayılar her faktörün birimlerini barındıracak şekilde ölçeklenir.

#### 4.4 Optimizasyon Sonuçları

Optimizasyon prosedüründe artırım verimi oldukça önemlidir bu sebeple verimin yüksek olduğu optimum koşullar araştırılmalıdır. İstenilen düzeyde ve kalitede verimin alınabilmesi için, proses parametrelerinin (pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve askıda katı madde) optimum değerlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu nedenle optimizasyon prosedüründe seçilen aralıklar ve yapılan deneyler zaman ve maliyet açısından ekonomik olmalıdır. Parametrelerin optimizasyonunda MKT'den elde edilen grafikleri doğru yorumlamak oldukça önemlidir. Muradiye atıksu arıtma tesisi atıksuyunun optimum arıtım koşullarının belirlenmesi için program tarafından önerilen gerçek değerlere bağlı model eşitliği matris yöntemiyle de çözülebilir (Montgomery, 2002).

Arıtım koşulları için Design Expert programına işlenen optimizasyon kriterleri çizelge 4.6'da ve program tarafından önerilen optimizasyon çözümleri çizelge 4.7'de verilmiştir. Design Expert programı tarafından önerilen optimizasyon çözümü incelendiğinde yanıt olarak seçilen %KOİ gideriminin en yüksek değeri için pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve askıda katı madde parametrelerinin optimum değerleri pH 7.304, iletkenlik 765.609, çözünmüş oksijen 1.060 mg/L ve askıda katı madde için 84.213 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu optimum değerler için % 92.275 KOİ giderimi elde edilmiştir.

Çizelge 4.6 Çalışılan aralık için yazılım programının optimizasyon kriterleri

Parametre	Amaç	Alt Limit	Üst Limit
A: pH	Çalışılan aralıkta	7.1	7.8
B: İletkenlik	Çalışılan aralıkta	300	780
C: Çözünmüş oksijen	Çalışılan aralıkta	0.6	1.2
D: Askıda katı madde	Çalışılan aralıkta	20	200
Y: % KOİ giderimi	En yüksek değer	83	92

Çizelge 4.7 Program tarafından önerilen optimum arıtım koşulları

No	pH	İletkenlik	Çözünmüş oksijen	Askıda katı madde	%KOİ giderimi	İstenilirlik
1	7.304	765.609	1.060	84.213	92.275	1.000

□  
72

## 6. TARTIŞMA VE SONUÇ

Muradiye (Van) atıksu arıtma tesisi yeni kurulduğundan, bu konuda daha önce herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, alınan atıksu numunelerinin pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve AKM gibi parametrelerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Bu sayede zaman, iş gücü ve enerjiden tasarruf sağlanmıştır. Bu çalışmanın bilime katkısı, tesisten alınan numuneler üzerinden arıtma performansının değerlendirilmesi ve parametrelerin Cevap Yüzey Yöntemi (CYY) ile optimize edilerek verimliliğin artırılmasıdır. Böylece pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen, AKM ve KOİ parametrelerinin optimize edilmesi ile sistem performansı iyileştirilmiş ve işletme açısından önemli ölçüde iş gücü, enerji ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.

Design Expert programı tarafından önerilen optimizasyon çözümü incelendiğinde, yanıt olarak seçilen %KOİ gideriminin en yüksek değeri için pH, iletkenlik, çözünmüş oksijen ve AKM parametrelerinin optimum değerleri sırasıyla pH 7.304, iletkenlik 765.609, çözünmüş oksijen 1.060 mg/L ve AKM 84.213 mg/L olarak belirlenmiştir. Bu optimum değerler ile % 92.275 KOİ giderimi elde edilmiştir.

ANOVA sonuçlarına göre bağımsız değişkenlerden, pH değerinin KOİ giderimi üzerinde en etkili parametre olduğu gözlenmiştir. Programdan edilen  $R^2$ , düzeltilmiş  $R^2$  ve tahmin edilen  $R^2$  değerleri, standart sapma ve ortalama değerler Tablo 4.5'te verilmiştir. Hesaplanan  $R^2$  değeri 0.9176 olup, deneysel veriler ile model tarafından tahmin edilen sonuçların oldukça uyumlu olduğunu göstermektedir. Varyans analizi sonucunda optimizasyon için seçilen kuadratik modelin p değerinin 0.0001'den küçük olması modelin istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca modelin F değeri 11.93 olup, modelin yanıt üzerindeki etkisinin anlamlı olduğunu göstermektedir.

0.05'ten küçük p değerleri, model terimlerinin çok anlamlı olduğunu ve yanıt üzerinde daha güçlü bir etkisi bulunduğunu göstermektedir. Grafikteki değerlere bağlı olarak, Muradiye atıksu arıtma tesisinin çamur yaşının ve geri devir çamur oranının iyi kontrol edildiği de belirlenmiştir.

Grafiğe bağlı olarak, MLSS ve MLVSS değerleri stabil kaldığı dönemlerde % KOİ gideriminin yüksek olduğu gözlemlenmiştir. KOİ gideriminin azaldığı günlerde ise MLVSS değerinde bir miktar düşüş meydana gelmiştir. Bu durum biyolojik arıtma tesislerinde optimum çamur konsantrasyonu ve dengeli çamur yaşının KOİ giderimi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

SVI değerleri yaklaşık 100–150 mL/g arasında değişmekte olup, 100 mL/g'nin altına düşmemiştir. Bu durum çamurun genel olarak iyi çöktüğünü, ancak zaman zaman şişkin çamur eğilimi gösterebileceğini ortaya koymaktadır ve söz konusu durumun işletme koşulları ile ilişkili olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle 21. gün civarında SVI değerinde artış gözlenmiş ve bu dönemde KOİ gideriminde düşüş meydana gelmiştir.

□  
72

## KAYNAKLAR

- Adroit Water. (2025). *Basamaklı ızgaraların atıksu arıtımında enerji tüketimini nasıl azalttığı*. <https://www.adroitwater.com/how-step-screens-reduce-energy-consumption-in-wastewater-treatment/>
- Akhlaghi, E. (2024). *Büyük ölçekli bir atıksu arıtma tesisinin karbon ayak izinin hesaplanması*, Yüksek lisans tezi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Aktaş, Ö., Çeçen, F. (2007). Adsorption, desorption and bioregeneration in the treatment of 2-chlorophenol with activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 141(3), 769-777.
- Antony, J. (2003). *Design of experiments for engineers and scientist* (First Edition, pp.

- 1-162). Elsevier Science & Technology Books, Elsevier: Londra, United Kingdom
- Arslan-Alaton, İ., Ölmez-Hancı, T., Karahan, Ö., Pala, İ., Orhon, D. (2011). Yüzeysel Aktif Maddelerin İleri Oksidasyon Prosesleri ile Arıtımı: Proses Optimizasyonu ve Toksikite Analizi. *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 21(1), 69-80
- Aşur, F., Alphan, H. (2017). Van Gölü Güney Kıyı alanlarında yerleşim alan kullanım değerlendirilmesi ve görsel analiz yaklaşımları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 7(4), 223-233
- Ayat, A., Arris, S., Abbaz, A., Bencheikh-Lehocine, M., Meniai, A. H. (2021). Application of response surface methodology for modeling and optimization of a bio coagulation process (sewage wastewater treatment plant). *Environmental Management*, 67(3), 489-497
- Aygün, A. (2012). Tekstil endüstrisi reaktif ve dispers boya banyo atıksularının elektrokoagülasyon prosesi ile arıtımı: Yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyon, Doktora tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Bitton, G. (2011). *Wastewater Microbiology* (4th edition). Wiley-Blackwell, Hoboken, New Jersey
- Cadena, F., Irusta, L., Fernandez-Berridi, M. J. (2013). Performance evaluation of alkyd coatings for corrosion protection in urban and industrial environments. *Progress in Organic Coatings*, 76(9), 1273-1278
- Chang, H., Zhao, Y., Xu, A., Damgaard, A., Christensen, T. H. (2023). Mini-review of sewage sludge parameters related to system modelling. *Waste management & research: the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association, ISWA*, 41(5), 970-976
- Chen, G., Lo, I. M. C., Li, X. (2012). Wastewater Sludge Management. *Water Research*, 46(2), 331-340
- Daneshgar, S., Polesel, F., Borzooei, S., Sørensen, H. R., Peeters, R., Weijers, S., Torfs, E. (2024). A full-scale operational digital twin for a water resource recovery facility—A case study of Eindhoven Water Resource Recovery Facility. *Water Environment Research*, 96(3), e11016.
- Değirmenci, M., Altın, A., Altın, S. (2000). Atıksu miktarı ve BOİ5 kirlilik yükünün, havalandırma havuzu ilk yatırım ve enerji maliyetlerine olan etkilerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 1-12.
- Demir, A. (2000). Atıksu arıtma tesisleri: Teorik ve uygulamalı yaklaşımlar. Çevre Yayınları: Ankara, Türkiye
- Durak, A. (2020). Evsel Atık Suların Arıtılmasında Biyolojik Arıtma Yönteminin Uygulanması ve İşletme Sorunlarının İncelenmesi Van İli Örneği, Yüksek lisans tezi. Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van, Türkiye.
- Eker, A., Çiner, F. (2004). Sivas organize sanayi bölgesinde atıksu karakterizasyonu ve arıtma alternatifleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 97-112.
- Erdirencelebi, D. (2022). Kentsel Atıksu Arıtma Tesislerinin İyileştirilmesine Yönelik Güncel Yaklaşım ve Uygulamalar. *Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2), 109-116.
- Eroğlu, İ. (2015). *Atıksu Arıtma ve Kanalizasyon Sistemleri*, (72-73). Nobel Akademik Yayıncılık: İstanbul, Türkiye
- Fan, Z., Zeng, W., Jia, Y., Meng, Q., Liu, H., Liu, H., Peng, Y. (2023). A novel process for simultaneous biological nutrient removal and waste activated sludge reduction in one-stage system without aeration. *Chemical Engineering Journal*, 454, 140253
- Filibeli, A., Büyükkamacı, N., Ayol, A. (2017). Yeşil Kampüs Uygulaması: Kampüs Atıksularının Sulama Amacıyla Yeniden Kullanımı. *Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi*, 46, 34-39
- Gilcreas, F. W. (1966). Standard methods for the examination of water and waste water. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 56(3), 387-388
- Güngör, Ö. (2013). Zeytinyağının püskürtmeli kurutma yöntemi ile mikroenkapsülasyonunun d-optimal dizayn ile optimizasyonu, Yüksek lisans tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
- HACH. (2021). *Atık Su Arıtma Tesislerinde Suyun ve Enerjinin Geri Kazanımı*. [https://info.hach.com/1495043\\_2140\\_Hach\\_WBNR\\_c-loc\\_energy-water-rec-wwtp-Webinar-Event\\_TR-tr\\_Landing-Page.html](https://info.hach.com/1495043_2140_Hach_WBNR_c-loc_energy-water-rec-wwtp-Webinar-Event_TR-tr_Landing-Page.html)
- Henze, M., Van Loosdrecht, M. C. M., Ekama, G.A., Brdjanovic, D. (2008). *Biyolojik Atıksu Arıtımı: Prensipler, Modelle ve Tasarım*. İTÜ Çevre Mühendisliği Yayınları: İstanbul, Türkiye.
- Hoşgören, M. (2012). *Türkiye'nin Fiziki Coğrafyası*. Çantay Kitabevi: İstanbul, Türkiye.
- Hubert. (2025). *Coarse screen - Quality and Long Service Life!* Erişim tarihi: 3 Eylül 2025. Erişim adresi: <https://hubert.nl/water-intake-systems/coarse-screen/>
- İbadullayeva, J., Jumaniyazova, K., Azimzadeh, S., Canigür, S. Ve Esen, F., (2019).

- Çevre kirliliğinin insan sağlığı üzerindeki etkileri. *Türk Tıp Öğrencileri Araştırma Dergisi*, 1(3), 52-58
- Jenkins, D., Richard, M. G., Daigger, G. T. (2004). Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems. CRC Press: London
- Kadioğlu, M., Kara, F. (2014). Van Gölü Havzasında çevresel sorunlar ve çözüm önerileri. *Çevre ve Ekoloji Dergisi*, 23(2), 45-60.
- Karichappan, T., Venkatachalam, S., Jeganathan, P. M. (2014). Optimization of Electrocoagulation Process to Treat Grey Wastewater in Batch Mode Using Response Surface Methodology. *Journal Of Environmental Health Science And Engineering*, 12, 1-8.
- Koç, B., Kaymak-Ertekin, F. (2010). Yanıt Yüzey Yöntemi ve gıda işleme uygulamaları. *Gıda*, 35(1), 1-8.
- Köymen, S. (2019). *Aksaray İli Evsel Atıksu Karakteristiğine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi*, Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye
- Kutlu, U. (2010). *Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi performansının değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi. Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Li, J., Wang, X., Chen, Y., Liu, H. (2023). Optimization of diffuser layout for improving oxygen transfer efficiency in activated sludge systems. *Journal of Environmental Engineering*, 149(4), 04023012.**
- Linden, K. G., Hull, N., Speight, V. L. (2015). Su dağıtım sistemlerinde ultraviyole dezenfeksiyon: Geleneksel tesislerin ötesinde düşünmek. *Accounts of Chemical Research*, 48(2), 825–831.
- Maarouf, A. I. (2014). *Atıksu Mühendisliği: Aktif Çamur Prosesi ve Modellemesi*. Gazi Kitabevi: Ankara, Türkiye.
- Mara, D., Horan, N. J. (2003). *Handbook of water and wastewater microbiology*. Elsevier: London, United Kingdom.
- Merkler, K., Leverenz, D., Dobsław, D., Locher, C., Launay, M., Kohlgrueber, V., Braeutigam, P. (2025). Improved removal of micropollutants and pathogens from municipal wastewater using a pilot-scale hybrid system combining powdered activated carbon and ultrafiltration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 118642.
- Metcalf & Eddy. (2014). Wastewater engineering treatment and resource recovery. McGraw-Hill Education: ABD
- Montgomery, D. C. (2002). *Design and Analysis of Experiment*. John Wiley&Sons Inc: New York.
- Myers, R. H., Montgomery, D. C., Anderson-Cook, C. M. (2016). *Response surface methodology: process and product optimization using designed experiments*. John Wiley & Sons: Hoboken, New Jersey.
- Nas, B., Yılmaz, C. (2019). Arıtılmış evsel/kentsel atıksuların yeni bir su kaynağı olarak kullanımında faydalar ve riskler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 4(2), 42-46.
- Nurizzo, C., Bonomo, L. Malpei, F. (2001). Some economic considerations on wastewater reclamation for irrigation, with reference to the Italian situation. *Water science and technology*, 43(10), 75-81.
- Ordu, Y. K. (2024). *Akşehir Gölünü besleyen Akşehir Atıksu Arıtma Tesisi çıkış suyu kalitesinin değerlendirilmesi*, Yüksek lisans tezi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray, Türkiye.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2008). *Atıksu Arıtımı Eylem Planı (2008-2012)*. <https://kutuphane.tarimorman.gov.tr/vufind/Record/1251479>
- Okumuş, Y. E., Yönten, V., Özgüven, A. (2023). Van ili evsel atıksu arıtma tesislerindeki atıksu karakteristiğinin ve çıkış suyu kalitesinin değerlendirilmesi: Edremit ve Gevaş örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(2), 482–494.
- Öztürk, D., Sahan, T., Bayram, T., Erkus, A. (2017). Application Of Response Surface Methodology (Rsm) To Optimize The Adsorption Conditions Of Cationic Basic Yellow 2 Onto Pumice Samples As A New Adsorbent. *Fresenius Environ. Bull*, 26(5) 3285–3292.
- Öztürk, İ. (2011). *Deniz Deşarjı Tesisleri Tasarımı*. Su Vakfı Yayınları: İstanbul, Türkiye.
- Öztürk, İ. (2017). Atıksu Arıtma Tesislerinde Çamur Yönetimi ve Enerji Geri Kazanımı. İTÜ Yayınları: İstanbul, Türkiye
- Öztürk, I., Timur, H., Koşkan U. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları: Evsel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/icerikler/kapak-20191127122604.pdf>
- Polat, A. (2013). Su kaynaklarının sürdürülebilirliği için arıtılan atıksuların yeniden kullanımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, (1), 58-62.

- Quasim, S. R. (2017). Wastewater treatment plants: Planning, design and operation. CRC Yayınları: Londra
- Samsunlu, R. (2006). *Yağ tutucu sistemler ve atıksu arıtma uygulamaları*. Çevre Yayıncılık: İstanbul, Türkiye
- Saunamaki, K. (1997). *Biyolojik atıksu arıtımı*. Çevre Yayınları: Helsinki, Finland.
- SBB. (2018). *Kamu-Özel İş birliği Modelinin Kentsel İçme Suyu ve Atıksu Projelerine Uygulanması*. <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Kamu-Ozel-Isbirligi-Modelinin-Kentsel-Icme-Suyu-ve-Atıksu-Projelerine-Uygulanmasi-Ayse-Sofuoglu.pdf>
- Silva, C., Quadros S., Ramalho P., Alegre H., Rosa M. J. (2014). Translating Removal Efficiencies Into Operational Performance Indices Of Wastewater Treatment Plants. *Water Research*, 57, 202-214.
- Sinan, S. (2010). *Evsel ve endüstriyel atıksuların özellikleri*. Ankara: Çevre Mühendisliği Yayınları: Ankara, Türkiye
- Sopyan, I., Gozali, D., Sriwidodo, Guntina, R. K. (2022). Design-Expert software (DOE): An application tool for optimization in pharmaceutical preparations formulation. *Innovare Journal of Pharmaceutical Sciences*, 10(3), 1-6.
- Su ve Çevre Dergisi. (2017). *Ambarlı İleri Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi*. [https://www.suvecevre.com/yayin/588/ambarli-ileri-biyolojik-atıksu-arıtma-tesisi\\_17346.html](https://www.suvecevre.com/yayin/588/ambarli-ileri-biyolojik-atıksu-arıtma-tesisi_17346.html)
- Şanlıer, H. (2019). Atık Su Arıtma Tesislerinde Çalışanların İş Doyumlarının Ölçülmesi ve İş Güvenliği Algılarının İncelenmesi, Yüksek lisans tezi. Üsküdar Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Şen, Z., Demirtaş, H. (2018). Atıksu Yönetimi ve Su Kaynaklarının Korunması: Van Gölü Örneği. *Su ve Çevre Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 55-72.
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2006). *İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Projesi Proje Nihai Raporu*. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fi%20C4%9Finin%20su%20kaynaklar%20B1na%20etkisi%20C4%B0klm\\_Nihai\\_Rapor\\_UyumFaaliyetleri\\_Ek\\_29\\_06052016\\_iocevre.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/iklim%20de%20de%20C4%9Fi%20C5%9Fi%20C4%9Finin%20su%20kaynaklar%20B1na%20etkisi%20C4%B0klm_Nihai_Rapor_UyumFaaliyetleri_Ek_29_06052016_iocevre.pdf)
- Tarım ve Orman Bakanlığı. (2019). *Türkiye'de 3 Pilot Nehir Havzasında Nehir Havzası Yönetim Planlarının Hazırlanması; Su Verimliliği ve Ekonomik Analizler Teknik Yardım Projesi*. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Nehir%20havza%20Y%20C3%96NET%20C4%B0M%20Planlar%20C4%B1/Bat%20C4%B1%20Akdeniz/Bat%20C4%B1%20Akdeniz%20Nehir%20Havza%20Y%20C3%B6netim%20Plan%20C4%B1.pdf>
- Tchobanoglous, G., Burton, F. L., Stensel, H. D. (2003). *Wastewater engineering: Treatment and reuse*. McGraw-Hill: New York
- Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education: New York
- TUİK. (2022). *Su ve Atıksu İstatistikleri*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-ve-Atıksu-Istatistikleri-2022-49607>
- Tunç, İ., Çalışkan, F., Özkan, G., Karacabey, E. (2014). Mikroalgla destekli soxhlet cihazı ile fındık yağı ekstraksiyonunun yanıt yüzey yöntemi ile optimizasyonu. *Akademik Gıda*, 12(1), 20-28.
- USEPA. (1996). Method 8000C: Determinative chromatographic separations. In Test methods for evaluating solid waste, physical/chemical methods (SW-846). <https://www.epa.gov/hw-sw846/sw-846-test-method-8000c>
- Water Environment Federation. (2017). *Screening*. [https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-020-mrrdc-lsf-screening\\_final.pdf](https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-020-mrrdc-lsf-screening_final.pdf)
- VASKİ. (2015). *Muradiye (Van) Atıksu Arıtma Tesisi Projesi*. <https://www.vaski.gov.tr/upload/ckfinder/files/MURAD%20C4%B0YE%20C4%B0LER%20B%20C4%B0YOLOJ%20C4%B0K%20ATIKSU%20ARITMA%20TES%20C4%B0S%20C4%B0.pdf>
- YILDIZ, S., NAMAL, O. Ö., ÇEKİM, M. (2013). ATIK SU ARITMA TEKNOLOJILERİNDEKİ TARİHSEL GELİŞİMLER. *SELÇUK ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK, BİLİM VE TEKNOLOJİ DERGİSİ*, 1(1), 55-67.
- Zhang, Z., Guo, Y., Quan, C., Zhou, Y., Song, Y., Li, J., Wang, D. (2025). Tuning phosphorus removal and sludge reduction performance in S2EBPR process by regulating sludge retention time in side-stream anaerobic reactor. *Journal of Water Process Engineering*, 70, 107133.

## ÖZ GEÇMİŞ

### **Kişisel Bilgiler**

Adı Soyadı :Emine CANGÜL

### **Eğitim Bilgileri**

Lisans

Üniversite :Fırat Üniversitesi

Fakülte :Mühendislik Fakültesi

Bölüm :Çevre Mühendisliği  
Bölümü

Mezuniyet Yılı :2021





**VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU**

Tarih 21/10/2025

Tez Başlığı: ‘Van Muradiye Atıksu Arıtma Tesisinin Yanıt Yüzey Yöntemi Kullanarak Arıtma Performansının Değerlendirilmesi’

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 97 (doksan yedi) sayfalık kısmına ilişkin, 20/08/2025 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı %8 (yüzde sekiz) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Emine CANGÜL  
Öğrenci No: 22910001061  
Anabilim Dalı: Çevre Mühendisliği Bölümü  
Programı: Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Statüsü: ( X ) Yüksek lisans ( ) Doktora

DANIŞMAN

ENSTİTÜ ONAYI

