

LABORATUVAR ÖLÇEKLİ YAPAY SULAK ALANDA ATIKSU ARITIMI

İrem ÖZKUL

Yüksek Lisans Tezi

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Teknolojisi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2022

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

İrem ÖZKUL'nin LABORATUVAR ÖLÇEKLİ YAPAY SULAK ALANDA ATIKSU ARITIMI başlıklı çalışması 09/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek “Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği”nin ilgili maddeleri uyarınca, Çevre Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye	: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ
Üye	: Prof. Dr. Alime ÇITAK
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Emine Esra GEREK

Prof. Dr. Murat TANIŞLI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

09/08/2022

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ęrencisi İrem ÖZKUL, LABORATUVAR ÖLÇEKLİ YAPAY SULAK ALANDA ATIKSU ARITIMI başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun grlmştir.

Tez Daniřmanı

Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

ÖZET

LABORATUVAR ÖLÇEKLİ YAPAY SULAK ALANDA ATIKSU ARITIMI

İrem ÖZKUL

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Teknolojisi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2022

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

Bu çalışmada laboratuvar ölçekli yapay sulak alanda sentetik evsel atıksuyun farklı debilerde ve farklı yapay sulak alan türlerinde arıtma verimliliği araştırılmıştır. Yatay Yüzealtı Akışlı Yapay Sulak Alan ve Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan olmak üzere iki yapay sulak alan için 0,9 L/sa, 3,36 L/sa ve 9,12 L/sa debide reaktörler laboratuvar ölçeğinde kurulmuş olup, 24 saatte bir alınan örneklerin KOİ analizi, ham atıksu ve arıtılmış atıksuların azot ve fosfor analizleri yapılarak giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Bitki seçiminde absorban olarak yüksek arıtma verimine, çok yıllık ve yapay sulak alanlarda yaygın kullanıma sahip olma özelliklerine bakılarak *Typha Domingensis* (Hasır, Saz Otu) kullanılmıştır. %90'ın üzerinde çıkan KOİ arıtma verimine sahip arıtılmış atıksuların Toplam Kjeldahl Azotu ve Toplam Fosfat Fosforu analizleri yapılmış olup, pH ve iletkenlikleri de ölçülmüştür. Toplam Kjeldahl Azotu analizinde %65-95 arasında verim gerçekleşirken, Toplam Fosfat Fosforu analizinde %14-54 arasında giderim sağlandığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Sulak Alanlar, Yapay Sulak Alan, Atıksu Arıtımı, Evsel Atıksu.

ABSTRACT
**WASTEWATER TREATMENT IN LABORATORY SCALE CONSTRUCTED
WETLAND**

İrem ÖZKUL

Department of Environmental Engineering

Programme in Environmental Technology

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2022

Supervisor: Prof. Dr. Yusuf YAVUZ

In this study, the treatment efficiency of synthetic domestic wastewater at different flow rates and in different constructed wetland types was investigated in a laboratory scale constructed wetland area. For two constructed wetlands with Horizontal Subsurface Flow and Free Surface Flow Constructed Wetland, reactors at 0,9 L/h, 3,36 L/h and 9,12 L/h flow rates were installed at laboratory scale, and COD analysis of samples taken every 24 hours. Nitrogen and phosphorus analyzes of raw wastewater and treated wastewater were made and their removal efficiencies were compared. *Typha Domingensis* (Wicker, Reed Grass) was used as an absorbent in plant selection, considering its high purification efficiency and widespread use in perennial and constructed wetlands. Total Kjeldahl Nitrogen and Total Phosphorus analyzes of the treated wastewater with a COD treatment efficiency of over 90% were made, and their pH and conductivity were also measured. While the yield was between 65-95% in the Total Kjeldahl Nitrogen analysis, it was observed that 14-54% removal in the Total Phosphate Phosphorus analysis was achieved.

Keywords: Wetlands, Constructed Wetland, Wastewater Treatment, Domestic Wastewater.

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans tez sürecim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli tez danışmanım Prof. Dr. Yusuf YAVUZ'a, laboratuvar çalışmalarımı yapmamda yardımcı olan sayın Dr. Öğr. Üyesi Filiz BAYRAKÇI KAREL, Öğr. Gör. Dr. Fadime KARAER ÖZMEN ve Araş. Gör. Dr. Burcu ŞİMŞEK UYGUN'a teşekkürlerimi borç bilirim.

Manevi desteğiyle her zaman yanımda olan ve beni destekleyen sevgili eşim Ömer Faruk ÖZKUL'a, tez çalışmamı uygulamamda da çok büyük emeği olan, beni destekleyen ve her zaman yanımda olan annem Şadan BÖBÜR ve ağabeyim Volkan YÖRÜK'e, yüksek lisans tezini yazmamda yardımcı olan değerli iş arkadaşlarım Ar-Ge Müdürü Hasan DEMİRBAŞ ve Ar-Ge Müdür Yard. Aslıhan AKDENİZ'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

İrem ÖZKUL

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İrem ÖZKUL

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
GÖRSELLER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. TEORİ.....	3
2.1. Sulak Alan Tanımı	3
2.2. Sulak Alanların Önemi	3
2.3. Sulak Alanların Sınıflandırılması.....	3
2.3.1. Doğal Sulak Alanlar	4
2.3.2. Yapay Sulak Alanlar	4
2.4. Yapay Sulak Alan Türleri	5
2.4.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan.....	5
2.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan.....	6
2.5.1. Bitkiler.....	7
2.5.1.1. Yapay Sulak Alanlarda Kullanılan Bazı Bitki Türleri	9
2.5.2. Mikroorganizmalar	13
2.5.3. Fauna	13
2.6. Yapay Sulak Alanlarla Kirlilik Giderme Mekanizmaları.....	15

2.7. Yapay Sulak Alan Kullanım Alanları	16
2.8. Yapay Sulak Alanların Tasarımı	20
2.8.1. Fiziksel Arıtma	21
2.8.2. Fosseptik	21
2.8.3. Yüzey Alanı	21
2.8.4. Derinlik	22
2.8.5. Dolgu Malzemesi	22
2.8.6. Giriş ve Çıkış Yapıları	24
2.8.7. Bitki Seçimi	25
2.8.8. BOİ Yükleme Hızı	25
2.8.9. Hidrolik Yükleme Hızı	26
2.9. Yapay Sulak Alanları Avantaj ve Dezavantajları	26
2.9.1. Yapay Sulak Alanların Avantajları	26
2.9.2. Yapay Sulak Alanların Dezavantajları	27
2.10. Yapay Sulak Alanlarda Karşılaşılan Problemler	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Kullanılan Kimyasallar	29
3.1.2. Kullanılan Cihazlar	30
3.2. Yöntem	37
3.2.1. Çözelti Hazırlama	37
3.2.2. Reaktör ve Deney Düzeneği Tasarımı	40
3.2.3. Yapılan Analizler	43
3.2.3.1. KOİ Analizi	44
3.2.3.2. Fosfat Fosforu Analizi	46
3.2.3.3. TKN (Toplam Kjeldahl Azotu) Analizi	50
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	54
4.1. KOİ Analizi	54
4.2. Toplam Fosfat Fosforu Analizi	61
4.3. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) Analizi	64
4.4. pH ve İletkenlik	65
KAYNAKÇA	69

EKLER	78
ÖZGEÇMİŞ	79



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Sulak Alanlardaki Hayvan Türleri, Arıtımdaki Görev ve Önemi, Tasarım ve İşletmedeki Rolü	14
Tablo 2.2. Yapay Sulak Alanlar İçin Tipik Boyutlandırma Değerleri	20
Tablo 2.3. Yapay Sulak Alan Bitki Özellikleri ve Karakteristik Özellikleri (Reed vd., 1995; Crites ve Technobanoglous, 1998).	25
Tablo 3.1. 5 ve 15 L'lik Sentetik Evsel Atıksu İçin Eklenmesi Gereken Çözelti Miktarları	43
Tablo 4.1. KOİ Analizi Özet Sonuçları.....	57
Tablo 4.2. Fosfor Analizinde Kalibrasyon Eğrisini Hazırlamak İçin Hazırlanan Derişimlerde ABS Değerleri.....	62
Tablo 4.3. Ham Atıksu ve Arıtılmış Atıksu Örneklerinin ABS Değerleri ve TP Derişimleri	63
Tablo 4.4. Toplam Kjeldahl Azotu Analiz Sonuçları	64
Tablo 4.5. pH ve İletkenlik Değerleri	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Yapay Sulak Alan Kesiti (Gökalp, 2015).....	5
Şekil 2.2. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan (Gökalp, 2005).....	6
Şekil 2.3. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan a) Düşey Akışlı b) Yatay Akışlı (Gökalp, 2005).....	7
Şekil 2.4. Serbest Su Yüzeyli Yapay Sulak Alanlarda Gerçekleşen Etkin Arıtım Mekanizmaları (Çiftçi vd. 2007).....	7
Şekil 2.5. Yapay Sulak Alanlarda Kök Bölgesinde Oluşabilen Etkileşimler (Brown, 2000).....	8
Şekil2.6. <i>Phragmites australis</i> (Kamış).....	10
Şekil2.7. <i>Typha domingensis</i> (Hasır, Saz Otu).....	10
Şekil2.8. <i>Pistia stratiotes</i> (Su Marulu).....	11
Şekil2.9. <i>Lemna minor</i> (Su Mercimeği).....	12
Şekil2.10. <i>Pontederia crassipes</i> (Su Sümbülü).....	12
Şekil2.11. Yatay Akışlı Yapay Sulak Alan (Cop, 2015).....	22
Şekil 2.12. 0-5 mm Çapında Taş Tozu.....	23
Şekil 2.13. 5-12 mm Çapında Taş Tozu.....	23
Şekil 2.14. 12-22 mm Çapında Taş Tozu.....	24
Şekil 2.15. 0-50 mm Çapında Taş Tozu.....	24
Şekil 3.1. Reaktör Boyutları ve Bitki Köklerinin Dizilimi Üstten Görünüş... ..	42
Şekil 3.2. Elektromanyetik Spektrum.....	47
Şekil 4.1. 1.Reaktör: 9,12 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan.....	54
Şekil 4.2. 2. Reaktör: 3,36 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan.....	55
Şekil 4.3. 3. Reaktör: 3,36 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan.....	55
Şekil 4.4. 4.Reaktör: 0,9 L/sa Debide Serbest Yüsey Akışlı Yapay Sulak Alan.....	56
Şekil 4.5. 5.Reaktör: 9,12 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan.....	56

Şekil 4.6. 6.Reaktör: 0,9 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan.....	57
Şekil 4.7. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan KOİ Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.8. Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan KOİ Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	58
Şekil 4.9. Aynı Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması.....	59
Şekil 4.10. 3,36 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması.....	60
Şekil 4.11. 9,12 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması.....	61
Şekil 4.12. Kalibrasyon Eğrisi.....	62
Şekil 4.13. Reaktörlerin ve Ham Atıksuyun TP Derişimlerini Gösteren Grafik.....	63
Şekil 4.14. Toplam Fosfat Fosforu Analizinden Elde Edilen Giderim Yüzdeleri.....	64
Şekil 4.15. TKN Analizinde Reaktör Verimlerinin Grafikte Gösterimi.....	65

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 3.1. Masterflex L/S Easy Load, Model 7518-00 Peristaltic Pump	30
Görsel 3.2. IKA Werke Peristaltic Pump	30
Görsel 3.3. Masterflex L/S model 7529 00	31
Görsel 3.4. Gerhardt VAP40 Vapodest Distilasyon Ünitesi	31
Görsel 3.5. Gerhardt TTA Turbotherm Block Digester	32
Görsel 3.6. ROSS® Triode™ Ultra pH/ATC Glass pH Electrode (Thermo Orion 8302BNUMD)	32
Görsel 3.7. Thermo Scientific Orion Star A215 pH/Conductivity Benchtop Multiparameter	33
Görsel 3.8. MMM Ecocell Medcenter Laboratory Drying Oven	33
Görsel 3.9. Ohaus EP64C Explorer Pro Analytical Balance	34
Görsel 3.10. Ohaus Adventurer AX423 Analytical Balance	34
Görsel 3.11. IDL LMS-1003 Hotplate Stirrer	35
Görsel 3.12. Hach Company 45600-00 COD Reactor	35
Görsel 3.13. Velp Eco 25 Thermoreactor	36
Görsel 3.14. Shiwarzdu UV-1700 Spectrophotometer	36
Görsel 3.15. Amonyum demir (II) sülfat, $[\text{NH}_4]_2 [\text{Fe}(\text{SO})_2].6\text{H}_2\text{O}$	37
Görsel 3.16. Glikoz, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$	38
Görsel 3.17. Monopotasyum fosfat, KH_2PO_4	38
Görsel 3.18. Sodyum bikarbonat, (NaHCO_3) , Magnezyum sülfat $(\text{MgSO}_4.7\text{H}_2\text{O})$ ve Sodyum klorür (NaCl)	39
Görsel 3.19. Kalsiyum klorür (CaCl_2)	39
Görsel 3.20. Reaktör ve Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan 5 mm Çapında Çakıl	40
Görsel 3.21. Çakıl Yüksekliği ve Serbest Yüzey Akışlı YSA ile Yatay Yüzeyaltı Akışlı YSA İçin Belirlenen Yükseklikler	41
Görsel 3.22. Ekilen Bitki (a), Ekimden 6 Gün Sonra (b), Ekimden 15 Gün Sonra (c)	41
Görsel 3.23. Bitkilendirilen Reaktörler	42
Görsel 3.24. 0,9 L/sa Dehide Serbest Yüzey Akışlı YSA (a), 9,12 L/sa Dehide Serbest Yüzey Akışlı YSA (b)	43

Görsel 3.25. KOİ Analizi Yapılırken	46
Görsel 3.26. Kalibrasyon Eğrisini Oluşturmak İçin Derişimlere Göre Elde Edilen Renkler	49
Görsel 3.27. Spektrofotometre ile 690 nm’de Ölçülen Değerler	50
Görsel 3.28. Çeker Ocak İçerisindeki Isıtma Cihazı ile Yakma İşlemi	51
Görsel 3.29. Yakma İşlemi Sonrası Soğumaya Bırakılan Kolonlar.....	52
Görsel 3.30. Distilasyon İşlemi	52
Görsel 4.1. Su Yüzeyinde Görünen Sucul Canlılar.....	68



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$(C_6H_{12}O_6)$	: Glikoz
$(NH_4)_2S_2O_8$	: Amonyum persülfat
$(NH_4)_6Mo_7O_{24}.4H_2O$	: Amonyum molibdat çözeltisi
$[NH_4]_2$	: Amonyum demir (II) sülfat
$[Fe(SO)_2].6H_2O$	
μS	: Mikrosiemens
A_h	: Yapay Sulak Alan Alanı
Ag_2SO_4	: Gümüş sülfat
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
C:N:P:	: Karbon-azot-fosfor
$C_{12}H_8N_2.H_2O$	: 1,10 – fenantrolin monohidrat
$CaCl_2$	: Kalsiyum klorür
Cd	: Kadmiyum
Ci	: Giriş BOİ Konsantrasyonu
Co	: Kobalt
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
$CuSO_4$	: Bakır (II) sülfat
CE	: Çıkış BOİ Konsantrasyonu
DAS	: Demir amonyum sülfat
DYAYSA	: Dikey Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan
$FeSO_4.7H_2O$	: Demir sülfat
H_2SO_4	: Sülfürik asit
H_3BO_3	: Borik asit
$HgSO_4$	: Civa sülfat
HNO_3	: Nitrik asit
$K_2Cr_2O_7$	: Potasyum dikromat
K_2HPO_4	: Potasyum fosfat
$K_2S_2O_8$	: Potasyum persülfat,
K_2SO_4	: Potasyum sülfat

K_{BOI}	: BOİ Sabiti
KH_2PO_4	: Monopotasyum fosfat
KOI	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
$MgSO_4.7H_2O$	: Magnezyum sülfat
Mn	: Manganez
$Na_2B_4O_7.10H_2$	: Sodyum tetraborat
$Na_2S_2O_3$	: Sodyum tiyosülfat
NaCl	: Sodyum klorür
$NaHCO_3$	: Sodyum bikarbonat
$NaNO_3$	: Sodyum nitrat
NaOH	: Sodyum hidroksit
NH_4-N	: Amonyum
Ni	: Nikel
NO_3-N	: Nitrat
Pb	: Kurşun
Q_{ort}	: Ortalama Debi
$SnCl_2.2H_2O$	: Kalay klorür
SYA-YSA	: Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan
TAKM	: Toplam Askıda Katı Madde
TKM	: Toplam Katı Madde
TN	: Toplam Azot
TOK	: Toplam Organik Karbon
TP	: Toplam Fosfor
UV	: Ultraviyole
YA-YSA	: Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan
YSA	: Yapay Sulak Alan
YYA-YSA	: Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

1. GİRİŞ

Nüfusun hızla artması ve ekonominin büyümesi, kentsel ve endüstriyel atık suların yoğun olarak ortaya çıkmasına, kolayca bertaraf edilememesine ve çevreyi kirletmesine, bu sebeple de arıtım teknolojilerinin geliştirilmesi gerektiğine yol açmıştır. Sanayi faaliyetleri, üretim ve yaşamı idame ettirme süresince oluşan atık suların bir arıtma işleminden geçmesi, arıtımından sonra uygun alıcı ortama deşarjı veya yeniden kullanılabilirliğinin sağlanması canlı sağlığı ve çevre açısından büyük bir önem taşımaktadır (Göçmez vd., 2018).

Günümüzde bütün atık su çeşitlerini (kompost sızıntı suyu, endüstriyel ve evsel atık sular, tarımsal atık sular vb.) belirli standartlar dahilinde arıtan, fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçleri içeren sistemler geliştirilse de, özellikle endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atık suların arıtımı için yüksek kuruluş maliyetleri ve nitelikli işgücüne ihtiyaç duyulması sorunlarını beraberinde getirdiği için böyle sistemlerin yerine fazla maliyet ve işgücü gerektirmeyen arıtım sistemleri arayışına gidilmiştir. Bu bilgiler göz önüne alındığında, biyolojik arıtma süreçlerini içeren doğal arıtım sistemlerinin bir alternatif olarak kullanılabilmesi düşünülmüştür (Shutes, 2001).

Doğal arıtma terimi, doğal ortamlardaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik süreçler sonucunda kirletici maddelerin tutulması veya dönüştürülmesini tanımlayabilmek için kullanılmaktadır. Bitkiler, fotosentez yaparak oksijen sağlama ve bazı kirleticileri bünyesine alabilme kabiliyeti sayesinde bu sürece katkıda bulunurlar. Gerekli dolgu malzemesi (toprak, çakıl vb.) de filtreleme ve adsorpsiyon gibi prosesleri sağlayarak atık suyun arıtılmasına katkı sağlarlar. Ayrıca yüzeyde oluşan biyofilm tabakasında nitrifikasyon, denitrifikasyon ve organik madde giderimi sağlanır.

Doğal arıtım yönünden yüksek verimli ve oldukça karmaşık sayılabilecek ortamlar, bitki, su ve dolgu malzemesinin birlikte bulunduğu sulak alanlardır. Doğal arıtım süreçleri içerisinde yer alan stabilizasyon havuzları, infiltrasyon ve buharlaştırma havuzlarının yanı sıra, sulak alanlar son yıllarda ülkemizde oldukça yaygınlaşan sistemlerdir. Bu sistemler kendi içinde üç ayrı gruba ayrılmıştır. Bunlar; doğal sulak alanlar, yapay sulak alanlar ve sucul bitki sistemleridir (Ayaz vd., 2011, Göçmez vd., 2018).

Doğal arıtım yöntemlerinden biri olan doğal sulak alanlarda iklimsel değişimler (sıcaklık, yağış vb.), bazı böceklerin bitkileri besin maddesi olarak kullanması gibi etkenler arıtma verimini etkilemektedir. Yapay sulak alanlar ise arıtımın daha kontrollü bir şekilde gerçekleştirildiği ve doğal sulak alanların taklit edildiği, inşa edilmiş sistemlerdir. Özellikle kırsal yerleşim yerlerindeki evsel atık suların arıtımında etkilidir.

Ortamdaki güneş enerjisini kullanabilme ve kendi kendini yenileyebilme özelliği ile yapay sulak alanlar atık sudaki askıda katı maddeleri, organik/inorganik kirleticileri, toksik maddeleri, patojen organizmaları ve ağır metalleri giderebilmektedir. Bu yönüyle yapay sulak alanlar yüksek arıtım verimine sahiptirler (Göçmez vd., 2018).

Yapay sulak alan sistemleri filtrasyon, adsorpsiyon, sedimentasyon, kirleticilerin mikroorganizmalar ile mineralizasyonu ve sulak alan bitkileri tarafından alınıp gibi farklı prosesler kullanılarak atık sulardaki kirletici maddelerin giderilmesini sağlarlar (Ran vd., 2004).

Başarılı bir yapay sulak alan tasarımı için havuz boyutlarının, yüksekliğin, dolgu malzemesinin ve bitkinin doğru seçilmesi gerekir. Ayrıca atık su girişi ve arıtılmış su çıkışında tıkanıklık meydana gelmemesine dikkat edilmelidir. Bu yüzden yapay sulak alanlarda atık su arıtımı her ne kadar basit gibi görünse de, herhangi bir işletim problemi yaşanmaması ve gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için bu tasarımlar birtakım mühendislik unsurlarını içermelidir.

Doğal arıtma sistemlerinden olan yapay sulak alanların ölçeklendirilmesi göz önüne alındığında, pilot ölçekli yapay sulak alanlar geçirimsiz bir tabaka, belirli bir yükseklik, boyutlandırma, uygun dolgu malzemesi ve bitki seçimiyle arıtma veriminin mevsimsel olarak incelenmesini sağlarken, laboratuvar ölçekli yapay sulak alan tasarımı, arıtımın sabit sıcaklık altında (oda koşullarında, 20-25°C) daha kontrollü bir şekilde gerçekleşmesini sağlar. Bu çalışmada, laboratuvar ölçekli yapay sulak alan tasarımı planlanmış, uygulanmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Laboratuvar ölçeğinde yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan ve serbest yüzey akışlı yapay sulak alan kurulmuş olup; 0,9, 3,36 ve 9,12 L/sa olmak üzere üç ayrı debide KOİ, azot ve fosfor giderimleri ve sentetik evsel atıksuyu ne kadar sürede arıttığı karşılaştırılmıştır.

2. TEORİ

Bataklık, lagün, göl, nehir, baraj gibi sulak alanlar toprağın sürekli veya mevsimlere bağlı olarak suya daldırıldığı, yeni ortaya çıkan bitkiler ile istila edilen kara ve su kütleleri arasındaki geçiş ekosistemleri olarak kabul edilmektedir (Dronova, 2012).

2.1. Sulak Alan Tanımı

Türkiye'de kabul edilen Ramsar Sözleşmesi' ndeki tanıma göre sulak alan "Derinliği 6 metreyi geçmeyen, doğal veya insan yapımı, geçici veya sürekli, durağan veya akan, tatlı, alkali veya tuzlu sazlık, bataklık, turbalık, sucul, göl ve denizel alanlardır (Uyanık vd., 2006). Sulak alanların birçok tanımının olmasının yanı sıra, genel olarak suya doygunluğun baskın olduğu ve bu baskınlığın toprak gelişimi ve bitki türleri üzerinde etkili olduğu alanlara sulak alan veya ıslak alan denmektedir. Biyolojik çeşitliliğin çok fazla olması nedeniyle de sulak alanlar yeryüzünün en önemli ekosistemi olarak kabul edilir (Gülgün vd., 2010).

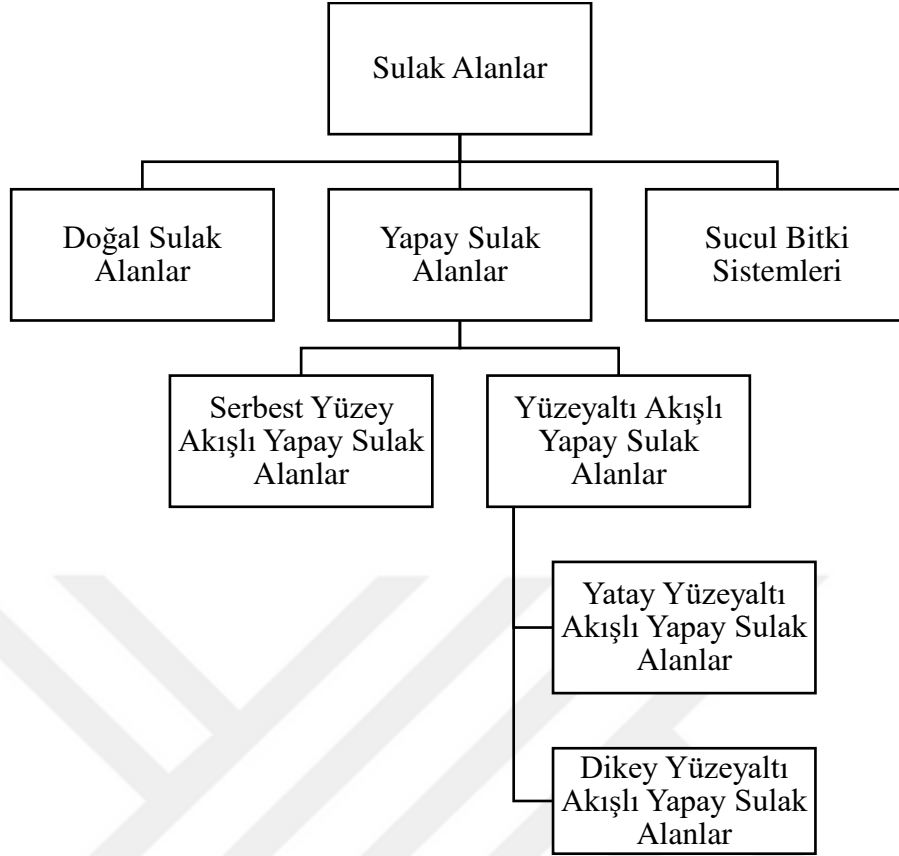
2.2. Sulak Alanların Önemi

Sulak alanlar, biyolojik çeşitliliğin korunmasını görev alan, dünyanın en verimli çevreleri olması yönüyle nesli tükenmekte olan canlı türlerini barındıran, başka bir deyişle canlıların yaşayabilmeleri, üreyebilmeleri, göç edebilmeleri için bir sığınak olarak kabul edilen alanlardır. Ekolojik süreçlerin devamlılığı açısından sulak alanlar büyük bir öneme sahiptir (Gülgün vd., 2010).

Sulak alanların; farklı alanlarda farklı besin zincirlerine sahip olması, aşırı yağışlar ile taşkınlar sonucu oluşan aşırı suyu depolaması, erozyonu önlemesi, tuzlu su girişini önlemesi, mikro iklim oluşturmaları ve suyu temizlemesi gibi çok fazla işlevi vardır.

2.3. Sulak Alanların Sınıflandırılması

Sulak alanlar doğal sulak alan, yapay sulak alan ve sucul bitki sistemleri olmak üzere üç ana grupta toplanmıştır.



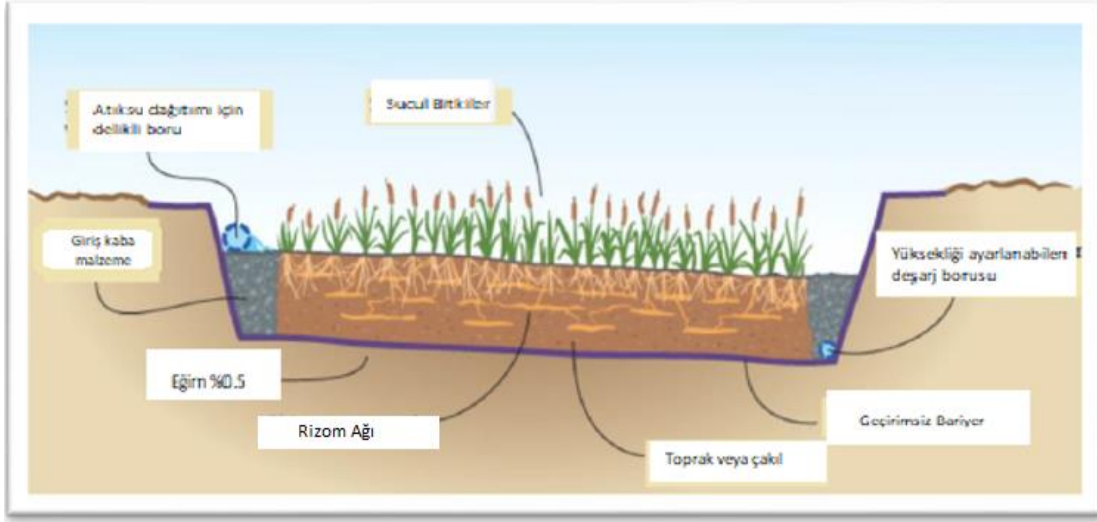
2.3.1. Doğal Sulak Alanlar

Alıcı su ortamları olarak düşünülen doğal sulak alanların amacı, alıcı ortam standartlarının sağlanması ve mevcut habitatın zenginleştirilmesidir. Doğal sulak alanlar genel olarak ikincil veya ileri arıtmadan geçen atık suların daha ileri arıtım ile sınırlandırılmasıdır. Arıtma kapasitesini artırmak için doğal sulak alanların değiştirilerek modifiye edilmesi doğal habitatı bozacağından bu alanlara müdahale edilmemesi gerekir (Ayaz vd., 2011).

2.3.2. Yapay Sulak Alanlar

Son yıllarda oldukça önemli hale gelen ve yaygınlaşan yapay sulak alanlar (YSA), geleneksel atık su arıtma tesislerine uygun maliyetli, doğal bir alternatiftir (Lee, 2009). Yapay sulak alanlar aynı zamanda doğal sulak alanların olumlu özelliklerine sahip, olumsuz özelliklerini ise bertaraf etmek amacıyla kurulmuş sistemlerdir (Temel, F., 2017). Yapay sulak alanlar doğal arıtım sistemleri olarak da adlandırılmaktadır ve bu arıtma sistemi doğada bulunan sulak alanları taklit etme niteliğine sahiptir (Göçmez vd., 2018).

Projelendirilmesi doğru yapılan yapay sulak alan sistemleri nüfusu 2000'in altındaki kırsal bölgelerde evsel atık suların arıtılmasında, işletim masrafları ve kurulum maliyeti düşük olan sistemlerdir (Göçmez vd., 2018).



Şekil 2. 1. Yapay Sulak Alan Kesiti (Gökalp, 2015).

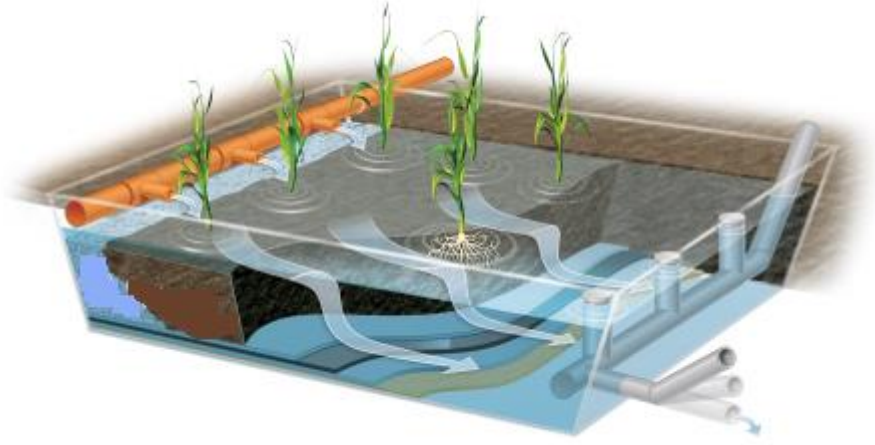
2.4. Yapay Sulak Alan Türleri

Yapay sulak alanlar Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan (SYA-YSA) ve Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan (YA-YSA) olmak üzere iki çeşittir (Lee, 2009).

2.4.1. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan

Serbest yüzey akışlı sulak alanlar tipik olarak 0.2-0.6 m derinliğe ve yoğun bitki örtüsüne sahip olan sulak alanlardır. Sulak alan tabanı geçirgen olabilir, bu da suyun dışarı sızmasına sebep olmaktadır (Lee, 2009).

Bu sistemde atıksu, destek ortamı üzerinden, yüzey kalıntılarından ve bitkilerin gövdeleri arasından herhangi bir geçer. Güneş ışığı, sistem içindeki sığ bir su havzasından dibe nüfuz eder, böylece daha hızlı fotosentez reaksiyonu ve alg büyümesi sağlanır. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan sistemleri Kuzey Amerika'da da sıklıkla kullanılmaktadır (Reed vd., 1995). Serbest yüzey akışlı sulak alan sistemleri inşaatının maliyeti düşüktür, fakat genellikle yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemleriyle kıyaslandığında daha düşük arıtma verimliliğine sahiptir (Jang vd., 2007).



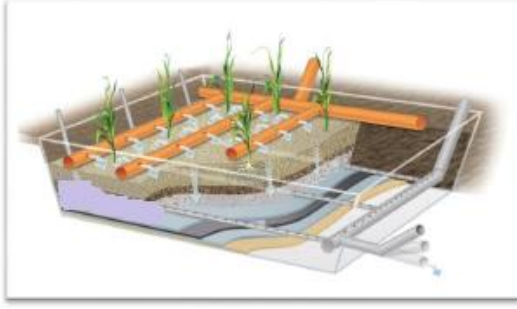
Şekil 2.2. *Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan (Gökalp, 2005).*

2.4.2. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemleri tipik olarak, sızıntıyı engellemek için geçirimsiz bir madde ile kapatılmış bir hendek veya bir yatak ve bitkilerin büyümesine yardımcı olan ortamlardan oluşmaktadır (Lee, 2009; Kaseva, 2004).

Bu sistemler, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), ağır metalleri, nitrojen ve fosfor gibi çeşitli kirleticilerin yanı sıra bitkiye zarar veren mikroorganizmaları da ortadan kaldırma özelliği ile yaygın olarak tanınmaktadır (Khawwaja, 1999).

Yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlar ve dikey yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanlardır. Yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda atıksu; bitki kökleri, çakıl ve/veya kumdan oluşan sulak alan matrisi boyunca yatay olarak akmaktadır.

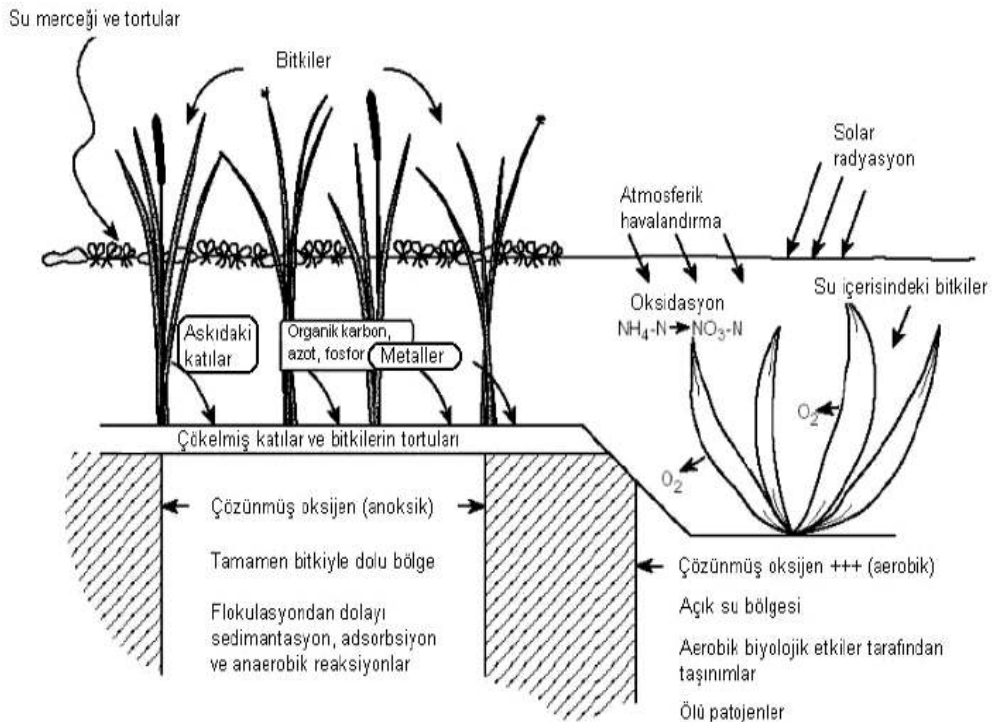


(a)



(b)

Şekil 2.3. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan a) Düşey Akışlı b) Yatay Akışlı (Gökalp, 2005).



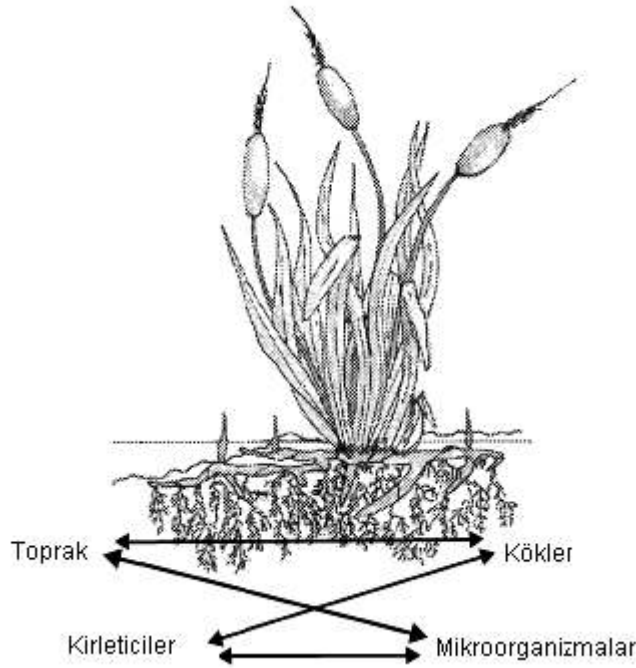
Şekil 2.4. Serbest Su Yüzeyli Yapay Sulak Alanlarda Gerçekleşen Etkin Arıtım Mekanizmaları (Çiftçi vd. 2007).

2.5.1. Bitkiler

Sulak alan bitkileri suda veya su altındaki oksijenden yoksun kalan toprakta büyüyüp gelişebilen bitkilerdir. Özellikle su kuşları ve avcı balıklar için beslenme, üreme ve barınma yeri sağlarlar. Fotosentez yoluyla çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artıran sulak alan bitkileri, azotu uzaklaştırır ve sediment kaynaklı bulanıklığı azaltarak biyolojik çeşitliliği ve su kalitesini artırır (Gülgün vd., 2010).

Yapay sulak alanların işletiminde oksijen konsantrasyonu en önemli parametrelerden biridir. Oksijen, yapay sulak alanlardaki mikroorganizmalar tarafından biyolojik ve metabolik reaksiyonlarda kullanılmaktadır. Bu yüzden sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonu düşer. Giriş atık suyundaki organik maddeler, mikroorganizmaların depoladığı organik maddeler, su yüzeyinde ve tabanında biriken ölü bitkiler, askıda katı maddeler ve girişteki amonyak azotu oksijene ihtiyaç duyar. Bitkilerin fotosentez yaparak çözünmüş oksijen konsantrasyonunu artırması bu nedenle önem teşkil etmektedir (Çiftçi vd., 2007, Gülgün vd., 2010).

Yapay sulak alanlarda arıtımın gerçekleştiği yer çoğunlukla kök bölgesi yani rizosferdir. Bitkiler, mikroorganizmalar, toprak ve kirleticilerin etkileşimlerinin olduğu bu bölgede fizikokimyasal ve biyolojik reaksiyonlar gerçekleşmektedir.



Şekil 2.5. *Yapay Sulak Alanlarda Kök Bölgesinde Oluşabilen Etkileşimler (Brown, 2000).*

Rizosfer 2 kısımda incelenmektedir. Bunlar endorizosfer (kök içi) ve ektorizosfer (kök çevresi) dir. Bitki bünyesindeki maddelerin kök bölgesine geçişine rizo-birikme denmektedir ve rizosferde çok sayıda biyolojik prosesin gerçekleşmesine rizo-birikme ürünleri olan organik karbon, ölü hücre materyalleri vb. sebep olmaktadır. Ortama yayılan organik karbon bileşiklerinin miktarı, fotosentez sonucu oluşan net ürün miktarının %10-40 arasında olduğu belirlenmiştir (Helal ve Sauerbeck, 1989).

Yapay sulak alanlarda hasır otu, saz, su kamışı en çok kullanılan bitkiler arasındadır (Brown, 2000). Fakat tüm bitki türlerini atıksu arıtımı için kullanmak uygun olmayabilir. Kullanılması istenen bitkinin sürekli su altında kalmaya uygun olması ve yüksek kirlilik konsantrasyonlara sahip atıksulara maruz kaldığında dayanıklı olması gerekir. Atıksu arıtımı için kullanılan bitki türlerinin yöresel veya lokal olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü lokal türler o bölgedeki iklime, toprağın yapısına ve diğer bitki ve hayvan türlerine adapte olabildiklerinden daha hızlı büyüyüp gelişebilmektedirler (Brown vd., 2000; Moshiri, 2020).

Yapay sulak alanlarda bitki seçilirken;

- Makrofit türlerinin o bölgede yetişebiliyor olması,
- Atıksuyun yapay sulak alan içerisinde yer değiştirmesini sağlamak için fazla biokütle ve kalın gövdeye sahip olması ,
- Lifli ve saçaklı köklere sahip olması,
- Köklerinin derine nüfuz etme kabiliyeti yüksek olması,
- Mikroorganizmalar için maksimum yüzey alanı sağlaması ve
- Etkin oksijen transferi özelliği olması gerekir (Cop, 2017).

2.5.1.1. Yapay Sulak Alanlarda Kullanılan Bazı Bitki Türleri

***Phragmites australis* (Kamış):** 3 metreye kadar uzayabilen çok yıllık ve yaprakları 3 cm genişliğinde ve 60 cm uzunluğundaki bu bitki bambuya benzer bir görünüme sahiptir. Açık alanlarda, göl ve hendek çevrelerinde derin kök yapısı sayesinde şev stabilizasyonunda, balıkçılar için olta yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca budanıp kurutulan kamış bitkisi hasır kilim yapımında, sepet, süs eşyası vb. olarak kullanılabilir (Gülgün vd., 2010).



Şekil 2.6. *Phragmites australis* (Kamış)

***Typha Domingensis* (Hasır, Saz Otu):** Boyları 2.5-3 metreye kadar ulaşabilen, karşılıklı sarı ve yeşil damarları olan, 7-9 yapraklı, yaklaşık 30cm kadar başak'ı olan sulak alan bitkisidir. Üst kısımdaki başak erkek, alt kısımdaki başak ise dişidir. Tozlaşma zamanı geldiğinde döllenmiş dişi rüzgarla birlikte tohumlarını etrafa saçarak yayılır. Ülkemizdeki sulak alanlarda yaygın olarak bulunan saz bitkisi, ekolojik arıtımın sağlandığı tesislerde de su kalitesini artırarak son zamanlarda önem kazanmıştır.



Şekil 2.7. *Typha domingensis* (Hasır, Saz Otu)

***Pistia Stratiotes* (Su Marulu):** Her mevsim yeşil kalan, katmanlı ve küme şeklinde hızlı büyütebilen çok yıllık bir bitkidir. Akvaryumlarda bitkinin çapı 5-6 cm olabilirken, doğada bu değer 20 cm'yi bulabilmektedir. Serbest olarak yüzen su marulu, rüzgarla hareket ederken küçük, büyük havuzlar ile yavaş akan sularda kullanıma uygundur. Üstü açık akvaryumlarda, bahçe havuzlarında ve yapay sulak alanlarda kullanımı mümkündür.



Şekil 2.8.. *Pistia stratiotes* (Su Marulu)

***Lemna Minor* (Su Mercimeği):** Kanallarda ve durgun sularda yaşayabilen su mercimeği, bütünüyle yaprak yapısında olup 3-4 yaprak birleşmiş şekilde bulunmaktadır. 1-3 mm genişliğindeki yaprağı ve 1 cm civarındaki kökleriyle su sümbülüyle kıyaslandığında düşük sıcaklıklara daha toleranslıdır. Su mercimeği yeterli seviyedeysen çok iyi bir biyolojik filtrasyon özelliğine sahiptir. Su mercimekleriyle gerçekleştirilen arıtım proseslerinde ikincil arıtmadan geçen besin maddelerini gidermek amacıyla kullanımı tavsiye edilmektedir. Ayrıca yavru balıkların beslenmesi ve saklanabilmeleri için de su mercimekleri uygundur. Ülkemizde oldukça yaygın olarak bulunan ve kullanılan su mercimeği hasatı kolay ve hayvan yemi olarak kullanımı mümkün olan bir bitkidir.



Şekil 2.9. *Lemna minor* (Su Mercimeği)

***Pontederia crassipes* (Su Sümbülü):** Serbest yüzen çok yıllık bir bitki olan su sümbülünün rozet şeklinde, kalın ve mumsu yaprakları bulunur. Yaprak ayaları 4-12 cm genişliğindedir. Su üzerinde kalmasını sağlayan şişkin yapıdaki pertiolleri su sümbülünün ayırt edici özelliğinden biridir. Çiçekleri lila renkte olup, 5-12 cm büyüklüğündedir ve yaz ortasında açar. Bitkinin saplarından fiber levha yapımı ve kağıt üretimi yapılmaktadır. Ayrıca sepet imalatında hasır örgü yapımında kullanılmaktadır. Yeşil gübre veya kompost olarak da değerlendirilebilen su sümbülleri kanalizasyonlardaki atık suların ve içme sularının arıtımında kullanılmaktadır.



Şekil 2.10. *Pontederia crassipes* (Su Sümbülü)

2.5.2. Mikroorganizmalar

Yapay sulak alanlarda besinlerin ve organik kirleticilerin bozunması ve mineralizasyonu sanılanın aksine bitkiler tarafından değil, mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilir. Sedimentler, bitki ve bitki artıkları ise mikrobiyal aktivitenin yoğunlaşabileceği katı yüzeyleri oluştururlar (Çiftçi, 2009). Özellikle mikrobiyal bileşim ve çeşitlilik, sulak alan kaldırma kapasitesini büyük ölçüde etkiler (Zhang ve Pei, 2021). Daha yüksek topluluk çeşitliliği genellikle mikrobiyal topluluğun işlevsel çeşitliliğinin arttığını gösterir ve bu da mikrobiyal bozunmanın atık bileşenlerinin sayısını ve aralığını artırır (Ruppelt vd., 2020). Bitki absorpsiyonunun N uzaklaştırılmasına katkısı sınırlıdır ve toplam uzaklaştırma verimliliğinin %10'undan daha azını oluşturur (Cui vd., 2019). Nitrifikasyon ve denitrifikasyon bakterilerinin işbirliği, sudaki N giderme verimliliğinin %50'den fazlasına katkıda bulunmuştur (Zhuang vd., 2019). Mikroorganizmaların bağlanma mekanizmaları, yapay sulak alanların koşullarına bağlı olarak değişir (Tang vd., 2020). Ayrıca, hidrofitlerin büyümesini teşvik etmek, özellikle bitki köklerine bağlı mikroplar olmak üzere besinlerin uzaklaştırılmasını teşvik eder (Adrados vd., 2014). Bu nedenle, mikrobiyal topluluklar sulak alan işlevinde kilit bir rol oynar ve mikrobiyal toplulukların incelenmesi, sulak alanlardaki su arıtma mekanizmalarını aydınlatmak için kritik öneme sahiptir.

Oksijen temini, bitkilerin kök bölgesindeki mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen aktivite ve metabolizma türünde çok önemli bir rol oynamaktadır. Bitkilerin kök bölgesine oksijen girişinde, besin maddelerinin alımında ve kirleticilerin doğrudan parçalanmasındaki rolleri ile mikroorganizmaların rolü daha ayrıntılı olarak incelenir (Stottmeister vd., 2003).

2.5.3. Fauna

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alanlar doğal sulak alanların ve sucul habitatların ekolojisine benzer yapıda olduğundan suya ihtiyaç duyan tüm hayvan türlerini de kendisine çeker. Bu hayvan türlerinden bazıları protozoalar, kuşlar, sürüngenler, böcekler, omurgasızlar, memeliler ve yumuşakçalardır (Çiftçi, 2009).

Yapay sulak alanlar, omurgalı ve omurgasız hayvanların çeşitliliğinin zengin olabilmesi için yaşam alanları sağlamaktadır. Yapay sulak alanlarda bulunan hayvan grupları şu şekilde sınıflandırılabilir; protozoalar, böcekler, balıklar, kuşlar,

memeliler, sürüngenler, yumuşakçalar ve hem suda hem de karada yaşayabilen hayvanlar (amfibyanlar) (Brown, 2000).

Tablo 2.1. Sulak Alanlardaki Hayvan Türleri, Arıtmadaki Görev ve Önemi, Tasarım ve İşletmedeki Rolü

Hayvan Grupları	Hayvan Türleri	Arıtmadaki Görevi ve Önemi	Tasarım ve İşletmedeki Rolü
Kuşlar	Genellikle göçmen kuşlardır, mevsimsel olarak popülasyon ve çeşitlilikleri farklılık gösterir. 35-60 arasında türleri vardır.	Küçük canlıları tüketirler.	Göçmen su kuşları kirletici mevsimsel yükünü artırabilirler.
Balıklar	Yüzeye yakın yerde yaşamaya adapte olan türler, örneğin; sivrisinek balığı Kirlenmiş sularda yaşayabilen türler, örneğin; turna balığı, kedi balığı, sazan balığı	Bozunan maddeleri ve böcekleri tüketerek beslenirler, örneğin; sivrisinek balığı, sivrisinek larvaları ile beslenir.	Popülasyonları anaerobik şartlardan dolayı sınırlanacaktır. Alana ihtiyaçları vardır. Su dibinden beslenenler sedimentleri hareket ettirerek bitki kökleri ile beslenirler.
Sürüngen ve Amfibyanlar	Timsahlar, kurbağalar, yılanlar, su kampumbağaları	Daha küçük canlılarla beslenirler.	Su kaplumbağaları suyun kontrol mekanizmasını bozabilmektedir.
Omurgasızlar	Çeşitli türlerde bulunabilirler ve mevsimsel olarak popülasyon ve çeşitlilikleri farklılık gösterir.	Kimyasal ve biyolojik döngülerde rol oynamaktadırlar. Daha gelişmiş canlılara besin kaynağı olabilirler.	Sivrisinekler kontrol edilmeli, bitkiler böcek/sinek istilasına karşı oldukça hassastır.
Memeliler	Geyik, büyük etoburlar, kır faresi, tarla faresi gibi küçük kemirgenler ve tavşan, kunduz, misk faresi gibi büyük kemirgenler	Bitki ve daha küçük canlılar ile beslenirler.	Memeli hayvanlara karşı birtakım yapısal kontroller ve hayvanların uzaklaştırılması gerekebilir.

Birçok kuş türünün göçmen olması sulak alanlardaki kuş popülasyonunun yıl içinde değişmesine sebep olmaktadır ve birçok kuş için sığ ve besin yönünden zengin sulak alanlar uygun ortamlardır. Sulak alan kuşları için en önemli besin kaynakları balıklar, su altındaki bitkiler, çayırlar, sucul omurgasızlardır.

Balıklar düşük oksijen değerlerinde ve suda çözünebilen toksinlere karşı oldukça hassas hayvanlardır. Oksijen bakımından fakir ve asidik sularda yaşamaları mümkün değildir (Merritt, 1994). Av balıkları (alabalık, som balığı vb.) soğuk, akış hızı ve oksijen açısından zengin sularda yaşayabildiğinden yapay sulak alanlarda yaşayamazlar.

Yılan balığı, sazan gibi balıklar ise besin açısından zengin ve bulanık sularda yaşayabildiğinden yapay sulak alanlarda da yaşayabilmektedirler (Price ve Probert, 1997).

Sürüngen ve amfibyanlar çoğalmak ve yavrularını büyütmek için su altı bitkilerini içeren sulak alanlarda yaşayabilirler. Semenderler ve kurbağalar asidik sularda bile yaşayabilse de nötr pH değerine sahip sulak alanlarda yaşamaları bu hayvanlar için en uygun şartları sağlamaktadır (Price ve Probert, 1997; Merritt, 1994).

Birincil üreticiler ve tüketiciler arasındaki besin bağlantısı oluşturan omurgasızların sulak alanlardaki besin döngüsünde önemli bir yeri vardır. Çok fazla sayıda böcek larvası sulak alanlarda beslenerek önemli miktarlarda organik madde tüketmektedirler. Ayrıca omurgasızlar birçok ekolojik süreçte de aktif olarak rol almaktadır. Omurgasızlar ile beslenen balık, su kuşları vb. hayvanların sulak alanlarda bulunabilmesi besin kaynağının varlığına ve miktarına bağlı olarak değişir (Price ve Probert, 1997).

Sulak alanlarda bulunan memeli hayvanların başında su samuru, su faresi ve su sıçanı vardır. Su sıçanı bitkinin kök ve gövde bölümleri ile beslenir. Toprak yığınlarını kazdıklarından dolayı bu memeli hayvanlar düşük akışlı sulak alanları tercih ederler. Bu durum önemli bir çevre sorunu olan toprak erozyonuna sebebiyet verebilir. Küçük karasal hayvanlar, örneğin tarla faresi, sulak alan bitki örtüsünde hayatlarını sürdürürler (Price ve Probert, 1997).

2.6. Yapay Sulak Alanlarla Kirlilik Giderme Mekanizmaları

Atıksularda kirliliği meydana getiren parametreler askıda katı maddeler, organik maddeler, azot, fosfor, ağır metaller ve patojenlerdir.

Askıda katı maddeler yemek artıkları, atık kağıtlar ve fekal maddelerden oluşmaktadır ve giderimleri atıksuyun durgun olması, akış hızının düşük olması ile sağlanabilmektedir.

Organik madde gideriminde bir kısmı bitki üzerinde meydana gelen biyofilm, diğer kısmı askıda katı madde giderimi ile adsorbsiyon , absorbsiyon ve aerobik parçalanmalar şeklinde gerçekleşmektedir.

Azot suda nitrit, nitrat, organik azot ve amonyak azotu olarak bulunmakta ve bitkilerde biyolojik aktiviteler sonucunda oluşan nitrifikasyon, denitrifikasyon ile

giderimi sağlanabilmektedir. Ayrıca amonyumun uçuculaşması, adsorbsiyon, adsorbsiyon ve iyon değişikliği ile de giderimleri gerçekleştirilebilmektedir.

Fosfor partikül veya çözelti halindeki ortofosfat olarak bulunmakta ve çökmesi adsorbsiyon, adsorbsiyon mekanizmaları ile giderimleri gerçekleştirilmektedir.

Bor, nikel, berilyum, molibden, kurşun, kadmiyum gibi kirletici maddelerin toksik olduğu konsantrasyonlardaki kirletici giderimi bitki köklerindeki çökme ve adsorbsiyon ile sağlanabilmektedir (EPA, 2000).

Sulak alanlarda patojen giderim mekanizmaları ana hatlarıyla aşağıdaki gibidir;

Fiziksel: filtrasyon, sedimentasyon ve bitki gibi biyokütlelere adsorpsiyon.

Biyolojik: protozoalar tarafından avlanma yoluyla tüketim, bakteriyofajlar, bitkilerin bakterisit etkisi, doğal ölüm.

Kimyasal: oksidasyon, güneş ışığındaki UV ışınları ile doğal dezenfeksiyon, diğer mikroorganizmalar ve bitkilerden üretilen faydalı toksinlerle ölüm (Ottova vd., 1997).

Yapay sulak alanlarda patojen giderimi %80-90 arasındadır.

2.7. Yapay Sulak Alan Kullanım Alanları

Yapay sulak alanlar birçok farklı sektörde sızıntı sularının arıtımında, evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımında kullanım alanına sahiptir. Bazı endüstriyel atıksu üreten sektörler; tekstil endüstrileri, deri endüstrileri, gıda işleme endüstrileri ve şarap endüstrileridir.

a) Tekstil Sektörü

Tekstil endüstrisi gelişmekte olan ülkelerde kilit bir endüstridir. Bu sektörün büyük ölçekli uygulamaları sonucunda oluşan atıksuların tarım arazilerine veya serbest toprağa karışması çok ciddi çevresel sorunlara yol açmaktadır (Reddy ve Osborne, 2020).

Tekstil endüstrisinde üretilen ürünlerde kullanılan ham maddelerin çeşitli oluşu sebebiyle oluşan atıksuyun niteliği de çeşitlenmektedir (Temel, 2017). Tekstil sektöründe oluşan renkli atıksuyun kirlilik değerleri parametreleri düşünüldüğünde, 25000 mg/L'den fazla toplam askıda katı madde (TAKM), 35000 mg/L'den fazla kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), düşük biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ5) değerleri, amonyak ve sülfat içerikleri akla gelmektedir (Vymazal, 2009). Tekstil atıksularında Pb,

Cu, Cr, Cd, Mn, Ni, Co gibi çok sayıda ekotoksik ağır metal de yaygın olarak rapor edilmiştir (Ishaq vd., 2021). Bu ağır metallerin yanı sıra, baskı, boyama, kurutma, haşıl sökme, merserize, terbiye gibi işlemler sonucunda oluşan aşırı besin yükü de ötrofikasyona ve alg patlamalarına sebep olmaktadır (Wang vd., 2006). Ayrıca, tekstil prosesleri sonucu BOİ ve KOİ'yi artırarak pH'ı 4-5 değerlerine düşürerek çevre kirliliğine ve canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Magdum, 2013; Holkar, 2016). Yapay sulak alanların kullanımında tekstil sektörü atıksuları kullanımı için ilk denemeler Almanya ve Avusturalya'da 1980 sonları ile 1990 başlarında yapılmıştır.

Slovenya'da gerçekleştirilen çalışmada yapay sulak alan ile tekstil atıksularının arıtma verimliliği araştırılmıştır. İlk olarak tekstil atıksuyun arıtımında ortam malzemesi olarak daha az maliyet gerektiren materyallerin potansiyelini araştırabilmek için çakıl, kum ve zeolit tuf ile sıkıştırılmış yapay sulak alan modelleri ile birtakım denemeler yapılmıştır. Bu çalışmada 1 m³/gün debiye sahip, kum ve çakıl ile doldurulmuş, *Phragmites australis* bitkisi ile bitkilendirilen düşey ve yatay akışlı yapay sulak alan inşa edilmiştir ve giderim verimleri KOİ için %84, BOİ için %66, TOK (Toplam Organik Karbon) için %89, Nt (Toplam Azot) için %52, No (Organik Azot) için %87, sülfat için %88, yüzey aktif madde için %80, TKM (Toplam Katı Madde) için %93 ve renk giderimi için de %90 olarak bulunmuştur (Bulc ve Ojstrsek, 2008).

Başka bir çalışmada ise tekstil atıksuyunun arıtımı için pilot ölçekli bir yapay sulak alan tasarlanmış ve %72-77 oranında renk giderimi, %68-73 KOİ giderimi ve %53-57 sülfat giderimi gerçekleşmiştir (Mbuligwe, 2005). Laboratuvar ölçekli yapay sulak alanda yürütülen bir çalışmada ise yukarı akışlı ve havalandırmalı yapay sulak alanda *Phragmites australis* ve *Zizania latifolia* bitkileri ile bitkilendirilen düzeneklerde farklı konsantrasyonlarda hidrolik alıkonma süresinin ve ek havalandırmanın giderim verimleri üzerindeki etkileri incelenmiş olup, havalandırmanın olduğu düzenekte NH₄-N ve NO₃-N gideriminin olmadığını, havalandırma olmayan düzenekte ise NH₄-N giderim veriminin çok yüksek olduğu, KOİ gideriminde ise havalandırmanın bir etkisinin olmadığı, sırasıyla havalandırmalı olan ve olmayan reaktörlerde %86 ve %75 giderim olduğu gözlemlenmiştir (Ong vd., 2010; Ong vd., 2009).

b) Deri Sektörü

Deri tabaklama, Çin, Türkiye, Brezilya, Pakistan, Bangladeş ve Hindistan da dahil olmak üzere dünyanın farklı ülkelerinde kurulmuş ana endüstrilerden biridir (Lofrano vd., 2013, Moktadir vd., 2018, Alemu vd., 2019a ,Alemu vd., 2019b). Ülkemizde, deri sektörü sanayi kolları arasında 10. sırada yer almaktadır. Deri işleme kapasitesi de yaklaşık olarak 400 bin ton/yıldır (Gönüllü, 2004). Deri sektöründe oluşan atıksular genel olarak yüksek konsantrasyonlarda askıda madde, organik ve çözünmüş madde, organik azot, krom (Cr), amonyak ve azot içermektedir (Song vd., 2004). Deri endüstrisi atıksuları genel olarak anaerobik arıtım sistemleri ile arıtılmaktadır (Temel, 2016). Fakat membran biyoreaktörler veya kimyasal ve elektrokoagülasyon da kullanılarak arıtmada kullanılmaktadır (Espinoza-Quñones vd., 2009; Song vd., 2004; Mannucci vd., 2010; Munz vd., 2008).

Yapılan bir çalışmada, yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda, yüzey alanı 378 m² olan ve *Phragmites australis* ile bitkilendirilen, 8 günlük hidrolik alıkonma süresine sahip deri endüstrisi atıksuyunun %95 NH₄-N, %30 KOİ ve %45-55 arasında krom gideriminin gerçekleştiği belirtilmiştir (Küçük vd., 2003).

Bir başka çalışmada (Calheiros vd., 2012), tuzluluğa karşı yüksek direnç gösterebilen *Arundo donax* ve *Sarcocornia fruticosa* bitkileri ile bitkilendirilmiş deri işleme endüstrisi atıksuyunu arıtması için yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan inşa edilmiştir. İki arıtma da giderim elde etmiş ve yaklaşık olarak %73 BOİ, %65 KOİ ve TAKM, %73 NH₄-N ve %75 TKN giderilmiştir. Toplam fosfor (TP) için ise sırasıyla *Arundo* %83, *Sarcocornia* ise %79 giderimi gözlenmiştir.

c) Gıda Sektörü

Birçok gıdanın (et,süt, peynir, meyve, zeytin, balık, şeker, deniz ürünleri vb.) işlenmesi sırasında yüksek derişimlere sahip parçalanabilen organik madde içeren atıksular meydana gelmektedir. Gıda işleme endüstrilerinden ortaya çıkan atıksuların içeriği işlenen gıdaya göre farklılık göstermektedir. Genellikle aerobik ve anaerobik arıtma süreçleri ile arıtılabilen gıda endüstrisi atıksuları dışında bazı sektörlerin atıksuları nanofiltrasyon, ters osmoz gibi arıtma işlemlerinden geçmektedir (Güven vd., 2002, Gannoun vd., 2009; Ün vd., 2008; Coşkun vd., 2010).

Zeytin işleme endüstrisinden çıkan atıksuyun arıtılması için yapılan bir çalışmada pilot ölçekli düşey yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan kurulmuş, sistem kaba-ince çakıl,

kum gibi dolgu malzemeleri ile doldurularak 1 saatlik hidrolik alıkonma süresi ile %73 KOİ, %75 TKN, %72 NH₄-N ve % fosfor giderimi elde edilmiştir (Herouvim vd., 2011).

Et işleme endüstrisi atıksularının arıtılması için yapılan bir çalışmada ise yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan kurulmuştur. Yatak malzemesi kum ve su bitkisi *P. australis* olan 1880 m²'lik yapay sulak alanda %79 TP, %98 BOİ, %92 AKM ve %65 TN giderilmiştir (Gasiunas vd., 2005).

d) Şarap Sektörü

Kırma, ezme, üzüm sıkma gibi işlemlerden geçen şarap endüstrisinden kaynaklanan atıksular, şeker, alkol ve asit gibi biyolojik olarak parçalanabilen organik maddeleri ve lignin gibi zor ayrışan molekül ağırlığı yüksek bileşikleri içerir (Furni vd., 1995; Anastasiou vd., 2009; Agustina vd., 2008). Tüketici baskıları, şarap imalathanelerinde şarap atıksuyunun miktarının ve toksisitesinin azaltılması için mahzenlerde en iyi uygulama önlemlerinin alınmasına sebep olmuştur (Conradie vd., 2014). Şarap sektöründe mevcut olan en iyi teknolojiler ve temiz üretim metodları ile arıtılmış atıksuların temizlik faaliyetleri için tekrar kullanılması ve filtrasyon ile atıksudaki katı madde miktarının oldukça azalması sağlanabilmektedir (Bolzonella vd., 2019; Welz vd., 2016). Herhangi bir şarap atıksuyu arıtma sistemini seçerken dikkat edilmesi gereken faktörler vardır. Bunlar; üretilen suyun hacmi ve karakteristiği, şaraphanenin büyüklüğü, arazinin uygunluğu, işletme maliyetleri ve uygun kalifiye operatör mevcudiyetidir (Bolzonella vd., 2019; Howell ve Myburgh, 2018). Yeterli araziye sahip fakat daha karmaşık sistemler kurmak ve işletmek için zamanı ve sermayesi olmayan küçük ölçekli şarap imalathaneleri için yapay sulak alanlar uygun bir seçenek olarak görülebilmektedir (Mader vd., 2022).

Kaliforniya'da yapılan bir çalışmada şarap endüstrisinde oluşan atıksuların arıtımı için *T. Domingensis*, *S. Acutus* ve *Sagittaria latifolia* bitkileri ile bitkilendirilmiş, %36 poroziteye sahip ince çakıl ile doldurulan, 14.9 m² yüzey alanına sahip bir yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan kurulmuştur. %98 KOİ, % 97 TAKM, %78 TKN ve %63 ortofosfat giderimi sağlanmıştır (Shepherd, vd., 2001).

Başka bir çalışmada şarap imalathanesinde oluşan atıksuyun arıtımı için ince çakıl ve kayalar ile doldurulmuş, 1 saatlik alıkonma süresine sahip yapay sulak alanda su

kamışı ve hasır otu bitkileriyle arıtım sağlanarak giderim verimleri karşılaştırılmıştır. Giderim verimlerinin sonucu TAKM için %85, KOİ için %79, Nitrat için %73, amonyum için %66, TKN için %66 ve sülfat için %95 olarak bulunmuştur (Grismer vd., 2011).

2.8. Yapay Sulak Alanların Tasarımı

Yapay sulak alanlar tasarlanırken dikkat edilmesi gereken dizayn kriterleri; hidrolik ve hidrolojik şartlar, toplam askıda katı madde ve BOİ₅ mekanizmaları, bitki seçimi, azot uzaklaştırma oranı ve işletme maliyet analizidir (Arı, 2006). Sistem tipine göre bu kriterler kontrol edildikten sonra yapay sulak alanların boyutlandırılabilmesi için aşağıdaki sıralama göz önüne alınmalıdır:

- Kullanılacak olan dolgu malzemesi (kum, kaba-ince çakıl vb.), bitki türü ve yatak derinliği belirlenmelidir.
- Kullanılacak malzemenin porozitesi ve hidrolik kondüktivitesi yapay sulak alanın büyüklüğüne göre (laboratuvar ölçekli veya pilot ölçekli) belirlenmelidir.
- Uzunluk/genişlik oranı seçilmelidir. Uygun olan oran L:W için 0.4/1'dir. 3:1 oranına kadar kabul edilir.
- Atıksu yapay sulak alanda homojen olarak dağılmalıdır. Bu yüzden giriş ve çıkış yapıları kontrol edilmeli, herhangi bir tıkanıklık olması engellenmelidir.

Tablo 2.2. *Yapay Sulak Alanlar İçin Tipik Boyutlandırma Değerleri*

Parametre	Birim	Sistemin Tipi	
		Serbest Yüzey Akışlı	Yüzeyaltı Akışlı
Hidrolik Bekletme Süresi	gün	4-15	4-15
Derinlik	m	0,1-0,6	0,3-0,75
BOİ ₅ Yükleme Hızı	kg/ha-gün	<67	<67
Hidrolik Yükleme Hızı	m ³ /m ² -gün	0,014-0,05	0,014-0,05
Alan	ha/1000m ³ -gün	7-12	7-12

Bir yapay sulak alan kurulmadan önce fiziksel arıtmanın, fosseptiklerin, yüzey alanının, derinliğin, yatak medyasının, giriş ve çıkış yapılarının ve bitki seçiminin iyi düşünülerek uygulanması gerekir.

2.8.1. Fiziksel Arıtma

Fiziksel arıtmada atıksu içerisinde katı maddeler filtrelenerek atıksudan ayrıştırılmalıdır. Fiziksel arıtma için ülkemizde ızgaralar yaygın olarak kullanılmaktadır. Burada ızgara aralıklarını belirlemek önemli bir kriterdir. Çok büyük aralıklar ızgara sonrası tıkanmalara, çok küçük aralıklar ise ızgaraların tıkanmasına ve dolayısıyla önemli bir işletme sorununa dönüşmesine sebep olmaktadır.

2.8.2. Fosseptik

Askıda katı madde ve organik madde gideriminde oldukça etkili olan fosseptiklerin esas prensibi aktif çamur ile giriş atıksuyunun temas süresini artırmaktır (UN-HABITAT, 2008). Fosseptiklerin verimli olması için tıkanma olmaması ve yılda en az 2 kere vidanjör ile çekilmesi gerekmektedir. Aksi halde işletim sorunlarına yol açar ve atıksu taşmalarına sebep olur.

2.8.3. Yüzey Alanı

Yapay sulak alanlarda yüzey alanı hesaplanırken kişi sayısı baz alınabilmektedir. Atıksu miktarı veya atıksu içerisindeki organik madde miktarına göre de hesaplanabilmektedir. Aşağıda yüzey alanı hesaplanmıştır:

$$A_h = \frac{Q_{ort} (\ln C_i - \ln C_e)}{K_{BOİ}} \quad (2.1.)$$

A_h : Yapay Sulak Alan Alanı (m^2)

Q_{ort} : Ortalama debi ($m^3/gün$)

C_i : Giriş BOİ konsantrasyonu (mg/L)

C_e : Çıkış BOİ konsantrasyonu (mg/L)

$K_{BOİ}$: BOİ sabiti ($m/gün$)

Kişi başına düşen yapay sulak alan yüzey alanı yatay yüzey akışlı yapay sulaklar için 1-2 m^2 /kişi, dikey yüzey akışlı yapay sulak alanlar için 0,8-1,5 m^2 /kişi olarak kabul edilebilmektedir (UN-HABITAT, 2008).

2.8.4. Derinlik

Etkin bir arıtım için yapay sulak alanlarda bitkinin köklerinin atıksu ile temas halinde olması gerekir. Bunun için optimum derinliğin sağlanması gerekmektedir. Hidrolik alıkonma süresi de derinlik seçilirken dikkat edilmesi gereken bir faktördür. Yatay akışlı yapay sulak alanlar için optimum derinlik 0.3-0.4 m olmalıdır (UN-HABITAT, 2008). Ortalama derinlik Avrupa ve Amerika’da farklılık göstermektedir. Amerika’da derinlik 0.3-0.45 m aralığındayken Avrupa ülkelerinde genel olarak bu değer 0.6 m’dir (Cooper vd., 1996; Steiner ve Watson, 1993).

Dikey akışlı yapay sulak alanlar düşünüldüğünde yatay akışlı yapay sulak alanlara göre daha derin yapıda olmalıdırlar. Ortalama yatak derinliği düşey akışlı yapay sulak alanlar için 0.6-0.7 m aralığında olmalıdır (UN-HABITAT, 2008).



Şekil 2.11. Yatay Akışlı Yapay Sulak Alan (Cop, 2015).

2.8.5. Dolgu Malzemesi

Yapay sulak alanlarda dolgu malzemesinin işlevselliği düşünüldüğünde, mikrobiyal büyüme için yüzey alanı sağlaması, filtre görevi görmesi, atıksuyun homojen olarak dağılması ve bitki köklerinin tutunabilmesi sayılmaktadır. Dolgu malzemeleri ne çok büyük ne de çok küçük boyutlarda olmalıdır. Çok büyük taneli dolgu malzemeleri düşük hidrolik iletkenliğe, çok küçük taneli olanları ise yüksek hidrolik iletkenliğe sebep olmaktadır ve bu mikrobiyal büyümeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. (UN-HABITAT, 2008).

Yapay sulak alanlarda dolgu malzemesi olarak yıkanmış ve elenerek tozu giderilmiş dere çakılı tavsiye edilmektedir. Dolgu malzemesi çapı yatay akışlı yapay

sulak alanlar için birçok çalışmada 0.2-30 mm aralığındadır (Steiner ve Watson, 1993; Reed ve ark., 1995; Vymazal, 1998). Yatay akışlı yapay sulak alanlarda giriş ve çıkış yapılarındaki dolgu malzemesi çapının 40-80 mm olması uygunken arıtmanın yapıldığı bölgede bu değer 5-20 mm aralığında olmalıdır. Dikey akışlı yapay sulak alanlarda ise atıksu girişinde 20-40 mm çaplarında, sonrası ve atıksu çıkışı bölgelerinde 5-10 mm aralığında ve arıtma bölgesinde 1-4 mm çaplarında dere çakılı kullanılmalıdır (UN-HABITAT, 2008).



Şekil 2.12. 0-5 mm Çapında Taş Tozu



Şekil 2.13. 5-12 mm Çapında 2 Numara Çakıl



Şekil 2.14. 12-22 mm Çapında 3 Numara Çakıl



Şekil 2.15. 0-50 mm Çapında Alt Temel Malzemesi

2.8.6. Giriş ve Çıkış Yapıları

Yapay sulak alanlarda giriş ve çıkış yapıları tasarlanırken herhangi bir tıkanıklık olmamasına ve atıksuyun homojen olarak dağılmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca su akışının doğru yönde olduğunun kontrol edilmesi ve su derinliğinin iyi ayarlanması gerekir. Su dağılımının eşit olabilmesi ve ölü bölgelerin oluşmaması için giriş ve çıkış yapılarında yeterince boşluk bulunmalıdır.

Yapay sulak alanda akışın homojen dağılması için atıksuyun tek bir giriş yapısından verilmemesi gerekir. Giriş yapıları yüzey üzerinden veya yüzey altından verilebilmektedir. Fakat yüzey altından verilen atıksuyun bakım ve onarım işlemleri yüzey üzerinden verilen atıksuya göre daha zor olmaktadır.

Yapay sulak alanlarda çıkış yapısı akışın homojen olmasının sağlanmasının yanı sıra su derinliğinin belirlenmesinde de etkin bir rol oynar. Bitki büyümesi de göz önüne alınması gerektiğinden çıkış yapıları yapay sulak alandaki su seviyesini 15 cm kadar artırıp azaltacağı şeklinde düşünülerek tasarlanmalıdır (Cop, 2017).

2.8.7. Bitki Seçimi

Yapay sulak alanlarda etkin bir arıtımın sağlanması ve estetik bir görünüm için bitki seçimi önemli bir faktördür. Aşağıdaki tabloda en yaygın kullanılan yapay sulak alan bitkilerinin karakteristik özellikleri verilmiştir:

Tablo 2.3. *Yapay Sulak Alan Bitki Özellikleri ve Karakteristik Özellikleri (Reed vd., 1995; Crites ve Technobanoglous, 1998).*

Yapay Sulak Alan Bitki Türleri			
Karakteristik Özellikler	Hasırotu	Su Kamışı	Saz
Sıcaklık (°C)	16-27	10-30	12-23
pH	4-9	4-10	2-8
Tuzluluk toleransı (ppt)	20	30	45
Kuraklığa karşı dayanıklılık	Ortalama	İyi	Yüksek
Büyüme	Ortalama hız	Hızlı	Çok Hızlı
Kök nüfuz derinliği (m)	0,6	0,4	0,3

Yapay sulak alanlarda bitkilendirme yapılırken 1 m'ye 4 bitki kökü gelecek şekilde yerleştirme yapılmalıdır. Senede bir kez hasat edilmeli ve ilkbahar veya sonbahar aylarında ekim yapılmalıdır (UN-HABITAT, 2008).

2.8.8. BOİ Yükleme Hızı

Yapay sulak alanlarda organik yük kontrolünün sağlanmasındaki amaçlardan biri karbon kaynağının denitrifikasyon bakterileri için sağlanması, diğeri ise bitkilerin sisteme fazla oksijen vermesini önlemektir. Denitrifikasyon için karbon kaynağının yetersiz olduğu durumlarda azot giderimi az olacaktır. Organik yükün fazla olması veya iyi bir şekilde dağılmaması durumlarında koku problemi ve bitki ölümü meydana gelmektedir.

Serbest akışlı yapay sulak alanlar için tipik bir organik yükleme miktarı 112 kg BOİ/ha.gün'dür. Formülasyonu ise iki şekildedir. Gerekli oksijen miktarına göre hesaplama;

$$Gerekli O_2 = 1,5 \times BOI_5 \quad (2.2.)$$

Burada BOİ₅, organik yük (kg/gün); 1,5 ise güvenlik faktörüdür.

Kabul edilen yüzey alanı için kullanılabilen oksijen miktarı ise aşağıdaki gibidir:

$$Kullanılabilir O_2 = (TrO_2)(As): 1000 \quad (2.3.)$$

Burada (TrO_2) vejetasyon için O_2 transfer hızı, $20 \text{ g/m}^2.\text{gün}$; As ise yapay sulak alanın yüzey alanıdır (m^2).

Organik yükleme hızı, tipik oksijen transfer hızı $20 \text{ g/m}^2.\text{gün}$ için $133 \text{ kg BOIs/ha.gün}$ olabilmektedir. Literatür taraması sonucu başka bir kaynaktan ise (Steiner, Watson and Choate, 1993) bu değer $770 \text{ kg BOIs/ha.gün}$ 'dür.

2.8.9. Hidrolik Yükleme Hızı

Serbest yüzey akışlı sistemlerde hidrolik yükleme hızı birçok faktöre bağlı olarak (toprak koşulları, hava şartları, bitki türü vb.) değişmektedir. Literatürde, $200 \text{ m}^3/\text{ha.gün}$ değerinde maksimum arıtma verimi elde edildiği görülmektedir.

Sulak alan performansını etkileyen bir diğer parametre de sıcak yaz günlerinde evapotranspirasyon nedeniyle oluşan su kayıplarıdır. Su miktarındaki azalma ile birlikte kütle bazında yeterli miktarda giderim gerçekleşmesine rağmen konsantrasyonun arttığı gözlemlenmiştir.

Sıfır deşarj için tasarlanan bir sulakalanda en önemli parametre hidrolik yükleme hızıdır. Bu şekilde tasarlanan sulak alanlarda transpirasyon (terleme), buharlaşma ve yer altı suyunun akımı ile birlikte sistemden uzaklaşarak yeraltına akışı sağlanan atıksu iyon değişimleri vb. sistemler ile arıtılmaktadır.

2.9. Yapay Sulak Alanları Avantaj ve Dezavantajları

Sulak alanların uzun dönemli performansı hakkında çok fazla bilgi bulunmamakta, dolayısıyla optimum tasarımı ile ilgili herhangi bir fikir birliği de bulunmamaktadır.

2.9.1. Yapay Sulak Alanların Avantajları

Yapay Sulak Alanların avantajları şunlardır:

- Diğer arıtma sistemlerine göre yapay sulak alanların maliyeti oldukça ucuzdur.
- İşletme ve bakım masrafları yok denecek kadar azdır.
- Debideki değişim kolaylıkla tolere edilebilir.
- Çamur üretimi oldukça azdır.

- Arıtılan suyun yeniden kullanılmasını sağlarlar.
- Organizmalar için uygun yaşam ortamıdır (Emektar, G).

2.9.2. Yapay Sulak Alanların Dezavantajları

Yapay sulak alanların kullanımında birtakım kısıtlamalar bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

- Klasik atıksu arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında daha büyük alan gerektirmektedir. Biyolojik bileşenlere, pestisit ve amonyak içerikli kimyasallara karşı hassastırlar.
- Kuruluğa karşı dirençleri yoktur.
- Debideki ani değişimler ve kirleticilerin artması arıtım performansını etkiler.
- Performansları klasik arıtma yöntemlerine göre daha düşüktür. Aşırı yağış ve kuraklık gibi çevre koşullarının değişimi ile mevsimsel olarak farklılık gösterebilirler.
- Sucul bitkilerin her sene ekilmesi gerekmektedir.
- Diğer sistemlere göre uygun ve elverişli arazi varsa ekonomiktir.

2.10. Yapay Sulak Alanlarda Karşılaşılan Problemler

Doğal arıtım sistemlerinde karşılaşılabilecek problemler arasında yer seçimi, bitki seçimi, filtre malzemesinin tıkanıklığı, işletme ve bakım faaliyetleri, izleme ve ölçme vardır (Gökalp ve Çakmak, 2013). Uygun yer seçilirken dikkat edilmesi gereken faktörler ise filtre malzemesi, arazi kullanımı, hidrolik koşullar, toprak kimyası, nesli tükenme tehlikesinde olabilecek türlerin varlığı, ve sosyo-kültürel etkiler olarak sıralanabilmektedir. Doğal arıtım sistemleri için seçilmemesi gereken yerler sel geçitleri, kuru dere yatakları veya taşkın sahaları gibi yüzeysel akışlara maruz kalabilecek taban arazilerdir.

İşletmede karşılaşılan en ciddi problemler ise filtre malzemesi tıkanıklığı, giriş dağıtım boruları ve çıkış drenaj borularında meydana gelen tıkanıklıklardır. Bu tıkanıklıkların başlıca nedenleri askıda katı maddelerin birikmesi ve arıtma süreci boyunca mikroorganizmaların yarattığı çamur üretimidir. Diğer nedenler arasında humik maddelerin oluşumu ve birikimi, gözeneklerde meydana gelen kimyasal

çökelmeler vardır. Tüm bu problemler filtre malzemesinin hidrolik iletkenliğini düşürerek tıkanıklılığa sebep olmaktadır.

Doğal arıtım sistemlerinde doğru bitkilendirme arıtma performansını etkileyen önemli unsurlardan biridir. Uygun zaman aralıklarında mevsimsel koşullar da göz önüne alınarak tohum ekilmesi veya tüm bitkinin dikimi ile bitkilendirme gerçekleşir. Ülkemizde yapay sulak alanların tasarımında genellikle yaygın olarak soğuk iklim şartlarına karşı dayanıklı saz bitkisi olan kamış bitkisi kullanılmaktadır. Bitkilendirme metrekaresine başına 5 rizom olarak şekilde yapılması gerekmektedir. Yapay sulak alanların çoğunda bu bitkilendirme şekli ne yazık ki gerçekleştirilememektedir. Homojen bir bitkilendirme sağlanamadığı için filtre havuzlarında oluşan yabancı otların varlığı da sistemi başarısız kılmıştır.

İşletme-bakım ve izleme faaliyetleri doğal arıtım sistemleri performansının elde edilmesinde rol oynayan önemli bir kriterdir. İstenilen performansa ulaşmak için tasarımın uygun olması yeterli değildir. İşletim ve bakım süreçlerinin de etkin bir şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Dikkat edilmesi gereken noktalar şevlerin bakımı, düzenli akış kontrolü ve vejetasyon idaresidir.

Doğal arıtım sisteminin performansının sürekliliği için sistemin rutin olarak izlenmesi önem arz etmektedir. Biyolojik koşullar, su kalitesi ve seviyeleri, suyun giriş-çıkış oranları gibi faktörler düzenli bir şekilde kontrol ve takip edilmelidir. Ülkemizde ne yazık ki bir bakım ve izleme takibi yapılamamaktadır. Kurulumu yapan yüklenici kuruluşlar tasarımını yaptığı inşaatı bitirdikten sonra doğal arıtma sistemini devrederek herhangi bir bakım ve izleme faaliyetine dahil olmamıştır (Gökalp ve Çakmak, 2017).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

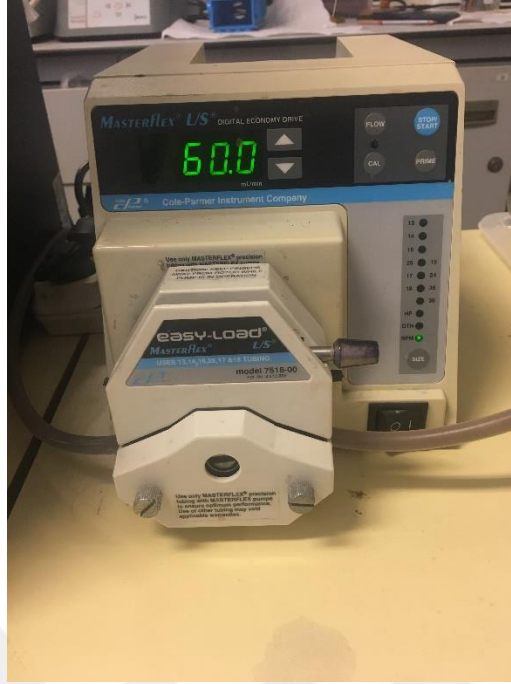
3.1. Materyal

3.1.1. Kullanılan Kimyasallar

Çalışmada, sentetik evsel atıksu hazırlarken çözelti oluşturmak için ve KOİ, Toplam Kjeldahl Azotu, Toplam Fosfat Fosforu analizleri için kimyasallar kullanılmıştır. Bunlar:

- Amonyum demir (II) sülfat, $[\text{NH}_4]_2 [\text{Fe}(\text{SO})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- Amonyum molibdat çözeltisi, $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
- Amonyum persülfat, $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Bakır (II) sülfat, CuSO_4
- Borik asit, H_3BO_3
- Civa sülfat, HgSO_4
- Demir sülfat, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Glikoz, $(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$
- Gümüş sülfat, Ag_2SO_4
- Kalay klorür, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Kalsiyum klorür, CaCl_2
- Magnezyum sülfat, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
- Monopotasyum fosfat, KH_2PO_4
- Nitrik asit, HNO_3
- Potasyum dikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$
- Potasyum fosfat, K_2HPO_4
- Potasyum sülfat, K_2SO_4
- Potasyum persülfat, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$
- Sodyum bikarbonat, NaHCO_3
- Sodyum hidroksit, NaOH
- Sodyum klorür, NaCl
- Sodyum nitrat, NaNO_3
- Sodyum tetraborat, $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2$
- Sodyum tiyosülfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
- Sülfürik asit, H_2SO_4

3.1.2. Kullanılan Cihazlar



Görsel 3.1. Masterflex L/S Easy Load, Model 7518-00 Peristaltic Pump



Görsel 3.2. IKA Werke Peristaltic Pump



Görsel 3.3. *Masterflex L/S model 7529 00*



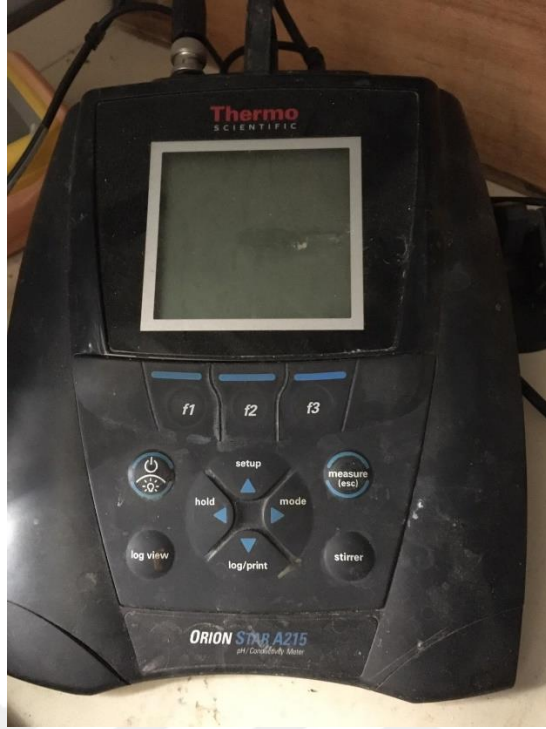
Görsel 3.4. *Gerhardt VAP40 Vapodest Distilasyon Ünitesi*



Görsel 3.5. *Gerhardt TTA Turbotherm Block Digester*



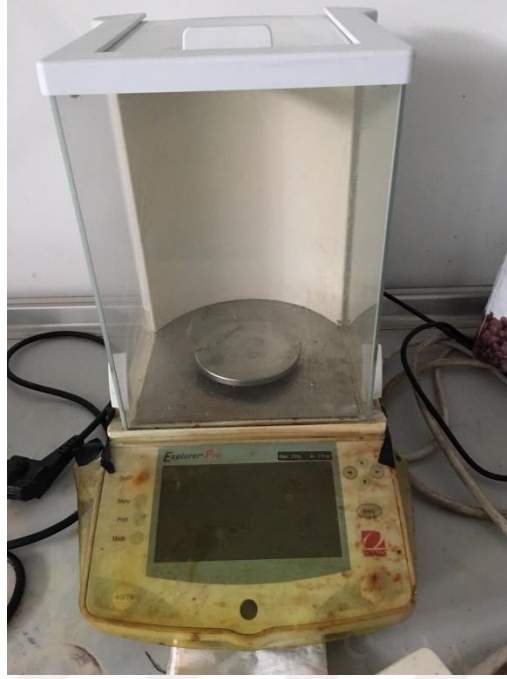
Görsel 3.6. *ROSS® Triode™ Ultra pH/ATC Glass pH Electrode (Thermo Orion 8302BNUMD)*



Görsel 3.7. *Thermo Scientific Orion Star A215 pH/Conductivity Benchtop Multiparameter*



Görsel 3.8. *MMM Ecocell Medcenter Laboratory Drying Oven*



Görsel 3.9. *Ohaus EP64C Explorer Pro Analytical Balance*



Görsel 3.10. *Ohaus Adventurer AX423 Analytical Balance*



Görsel 3.11. *IDL LMS-1003 Hotplate Stirrer*



Görsel 3.12. *Hach Company 45600-00 COD Reactor*



Görsel 3.13. *Velp Eco 25 Thermoreactor*



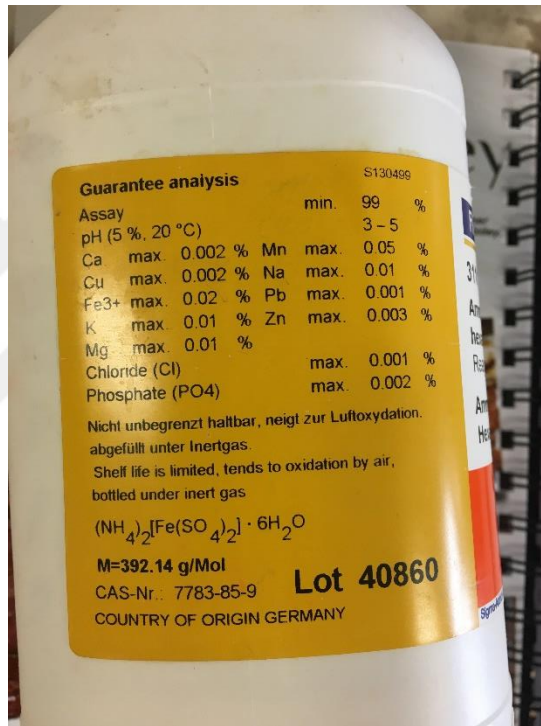
Görsel 3.14. *Shiwadzu UV-1700 Spectrophotometer*

3.2. Yöntem

3.2.1. Çözelti Hazırlama

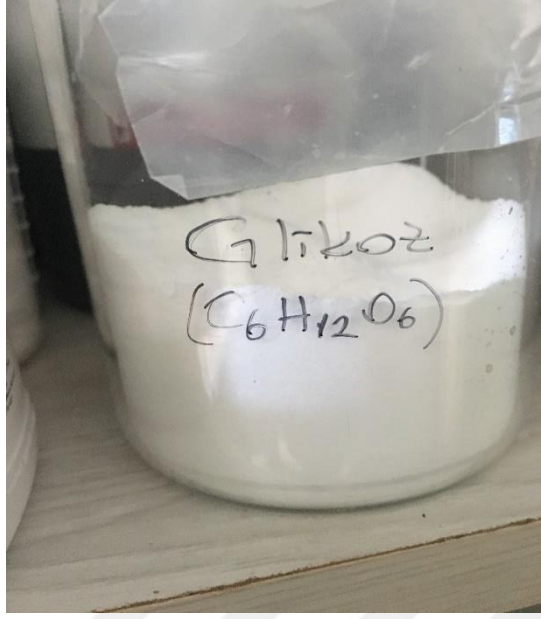
Sentetik evsel atıksu hazırlanırken C:N:P (Karbon:Azot:Fosfor) oranına dikkat edildi. Evsel atıksularda bulunması gereken bileşenlerin C:N:P oranı genel olarak 100:5:1'dir.

Amonyum demir (II) sülfat çözeltisi için 0,5 L suya 28,05 gr $[\text{NH}_4]_2[\text{Fe}(\text{SO})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ hassas terazide tartılarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 5 L'lik atıksu için 7 mL eklenmiştir.



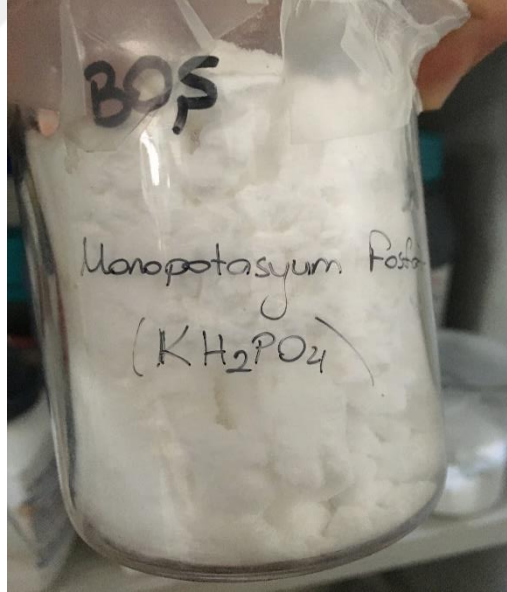
Görsel 3.15. Amonyum demir (II) sülfat, $[\text{NH}_4]_2[\text{Fe}(\text{SO})_2] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Glikoz çözeltisi için 1 L suya 32 gr $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ hassas terazide tartılarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiden 5 L'lik atıksu için 78 mL eklenmiştir.



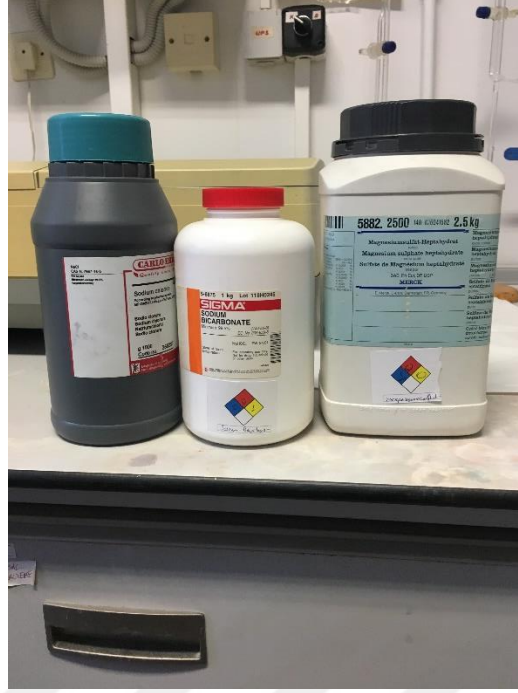
Görsel 3.16. *Glikoz, $C_6H_{12}O_6$*

Monopotasylum fosfat çözeltisi için 0,5 L suya 0,105 gr KH_2PO_4 hassas terazide tartılıp çözelti hazırlanarak 5 L suya 12 mL eklenmiştir.



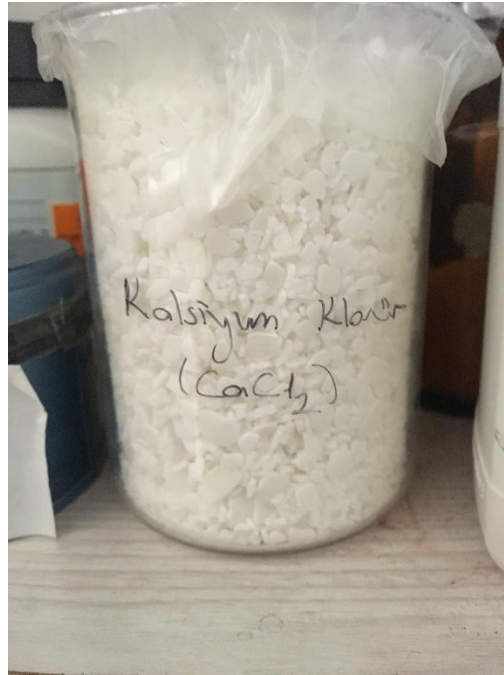
Görsel 3.17. *Monopotasylum fosfat, KH_2PO_4*

Sodyum bikarbonat, magnezyum sülfat ve sodyum klorür çözeltileri için 0,5 L suya 26,25 gr $NaHCO_3$, 0,525 gr $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ve 0,835 gr $NaCl$ hassas terazide tartılıp ayrı ayrı çözelti hazırlanarak 5L suya 131 mL $NaHCO_3$, 25 mL $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ve 25 mL $NaCl$ eklenmiştir.



Görsel 3.18. Sodyum bikarbonat, (NaHCO_3), Magnezyum sülfat ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ve Sodyum klorür (NaCl)

Potasyum fosfat ve kalsiyum klorür çözeltileri için 0,5 L suya 0,425 gr K_2HPO_4 , 0,55 gr CaCl_2 hassas terazide tartılıp çözelti hazırlanarak 5 L suya 12 mL K_2HPO_4 , 25 mL CaCl eklenmiştir.



Görsel 3.19. Kalsiyum klorür (CaCl_2)

3.2.2. Reaktör ve Deney Düzeneği Tasarımı

Laboratuvar ölçekli yapay sulak alan tasarlanırken; giriş ve çıkış yapıları, bitki seçimi, dolgu malzemesi, reaktör boyutları, yüzey alanı ve hidrolik alıkonma süresine literatür taramasında bulunan çalışmalardan yola çıkılarak karar verilmiştir.

Reaktör olarak 30cm eninde (W), 0,38 m boyunda (L) ve 0,30 m yüksekliğe (h) sahip polietilen kap kullanılmıştır. Reaktör içine ortalama 5 mm çapa sahip çakıl kullanılmıştır ve reaktörün içi 0,20 m yüksekliğe kadar çakıl ile doldurulmuştur.

$$L=0,38 \text{ m}$$

$$W=0,30 \text{ m}$$

$$h= 0,30 \text{ m}$$

Buradan reaktörün alanı:

$$A = L \times W \text{ } 0,38 \text{ m} \times 0,30 \text{ m} = 0,114 \text{ m}^2$$

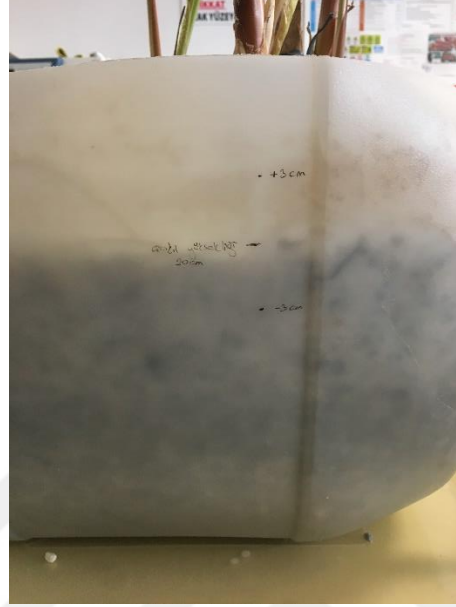
olarak bulunur.



Görsel 3.20. Reaktör ve Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılan 5 mm Çapında Çakıl

Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ve yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan olmak üzere iki ayrı reaktör kurulmuştur. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan için atıksu giriş vanası, dolgu malzemesi olarak kullanılan çakılların 3 cm üzerinde olacak şekilde; yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda ise çakılların 3 cm altında olacak şekilde takılmıştır. Çıkış vanası ise atıksuyun bitkiler ile temasının maksimum

olabilmesi için en uzak mesafe olan giriş vanalarının çapraz köşesine ve tabandan 0,10 m yüksekliğe kurulmuştur. Giriş ve çıkış yapıları için takılan vanaların 5 gün boyunca sızdırmazlığı test edilmiştir.



Görsel 3.21. Çakıl Yüksekliği ve Serbest Yüzey Akışlı YSA ile Yatay Yüzeyaltı Akışlı YSA İçin Belirlenen Yükseklikler

Reaktörün içi 0,25 m yüksekliğe kadar su ile doldurulmuş, içerisine kampüs içerisindeki dere yatağından alınan *Typha Domingensis* (Hasır, Saz Otu) kökü ekilmiş ve büyümesi gözlenmiştir.



(a)



(b)

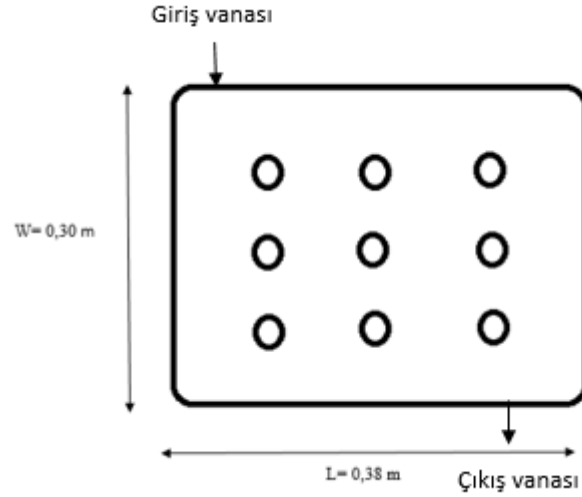


(c)

Görsel 3.22. Ekilen Bitki (a), Ekimden 6 Gün Sonra (b), Ekimden 15 Gün Sonra (c)

Bir bitki kökü ile yapılan denemede bitkinin köklerinin tutunduğu ve sağlıklı bir şekilde büyüdüğü gözlemlendikten sonra, 3 farklı debi için (0,9, 3,36 ve 9,12 L/sa),

serbest yüzey akışlı ve yatay yüzeyaltı akışlı olmak üzere toplamda 6 reaktör kurulmuştur. Her reaktöre eşit aralıklarla olacak şekilde 9 adet bitki çakılların 0,10 m altına ekilmiştir.



Şekil 3.1. Reaktör Boyutları ve Bitki Köklerinin Dizilimi Üstten Görünüş

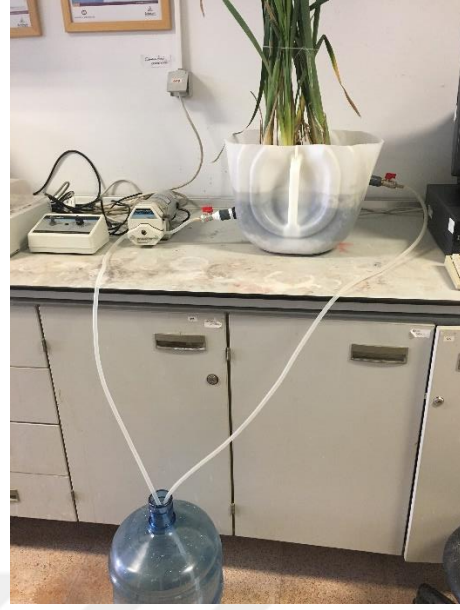


Görsel 3.23. Bitkilendirilen Reaktörler

Hazırlanan sentetik evsel atıksu peristaltik pompa ile giriş vanasına verilip bitkiler ile temas ettirildikten sonra çıkış vanasından alınarak tekrar atıksu haznesine gelecek şekilde devirdaim ettirilmiştir. Her reaktör için 15 L sentetik evsel atıksu hazırlanmıştır.



(a)



(b)

Görsel 3.24. 0,9 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı YSA (a), 9,12 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı YSA (b)

15 L sentetik evsel atıksu hazırlamak için gereken çözelti miktarları aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 3.1. 5 ve 15 L'lik Sentetik Evsel Atıksu İçin Eklenmesi Gereken Çözelti Miktarları

Çözeltiler	5 L'lik Atıksu İçin	15 L'lik Atıksu İçin
Amonyum demir (II) sülfat	7 mL	21 mL
Glikoz	78 mL	234 mL
Kalsiyum klorür	25 mL	75 mL
Monopotasyum fosfat	12 mL	36 mL
Potasyum fosfat	12 mL	36 mL
Sodyum bikarbonat	131 mL	393 mL
Sodyum klorür	25 mL	75 mL
Magnezyum sülfat	25 mL	75 mL

3.2.3. Yapılan Analizler

Laboratuvar ölçekli yapay sulak alanda, serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ve yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan olmak üzere 0,9, 3,36 ve 9,12 L/sa debilerde

sentetik evsel atıksuyun arıtımı için kurulan 6 düzenekte KOİ, TKN (Toplam Kjeldahl Azotu) ve Toplam Fosfat Fosforu analizleri yapılmıştır.

KOİ analizi Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Elektrokimyasal Arıtım laboratuvarında gerçekleştirilmiş, standart yöntemlere göre (TSE, Türk Standardı TS 2789, Su Kalitesi, Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini, 2010) yapılmıştır. KOİ analizi için atıksuyun çıkış vanasından ilk olarak çıkan atıksu ($t=0$) anından itibaren 24 saatte bir örnek alınarak KOİ analizi gerçekleştirilmiştir.

TKN analizleri Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. TKN deneyi standart yöntemlere göre (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Edition, 1992) yapılmıştır.

Toplam Fosfat Fosforu analizi Eskişehir Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Kimyası laboratuvarında, standart yöntemlere göre (Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 18th Edition, 1992) gerçekleştirilmiştir.

Ham atıksu ve arıtılmış atıksuların pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2.3.1. KOİ Analizi

Gerekli Kimyasallar

- *Sülfürik asit çözeltisi:* 500 mL'lik suya 220 mL sülfürik asit yavaşça ve dikkatli bir şekilde eklendi, manyetik karıştırıcı ile karıştırıldıktan sonra soğumaya bırakıldı. Soğutulduktan sonra 1000 mL'ye seyreltildi.
- *Gümüş sülfat-Sülfürik asit Çözeltisi:* Gümüş sülfatın 10 gramı 35 mL suya ilave edildi. Üzerine 1,84 g/mL yoğunluklu sülfürik asitten 965 mL dikkatli bir şekilde eklenerek 1-2 gün çözünmesi beklendi.
- *Standart Potasyum dikromat çözeltisi (0,040 mol/L):* Civa (II) sülfatın 80 gramı 800 mL suda çözüldü. Dikkatli bir şekilde 100 mL sülfürik asit ilave edildi ve soğumaya bırakıldı. 105 °C'de 2 saat kurutulmuş 11,768 gram $K_2Cr_2O_7$ çözeltiye ilave edildi ve çözüldü. 1000 mL'lik balon jojeye aktarılacak kadar su ile tamamlandı.
- *Amonyum demir (II) sülfat standart çözeltisi:* Amonyum demir (II) sülfat heksahidrattan 47 gram alınarak suda çözüldü. 20 mL sülfürik asit ilave edilerek

soğumaya bırakıldı ve 1000 mL'ye tamamlandı. Bu çözelti her hafta düzenli olarak yenilendi ve aşağıdaki gibi ayarlandı:

Potasyum dikromat çözeltisinin 10 mL'si H₂SO₄ çözeltisi ile 100 mL'ye seyreltildi. 2-3 damla ferroin indikatörü eklenerek amonyum demir (II) sülfat ile titre edildi. Amonyum demir (II) sülfatın derişimi (C) mol/L cinsinden aşağıdaki formül ile hesaplanır (TSE, 2010):

$$C = \frac{10,0 \times 0,040 \times 6}{V} = \frac{2,4}{V} \quad (3.2.)$$

V: Harcanan amonyum demir (II) sülfat çözeltisinin hacmi (mL)

- *Standart potasyum hidrojen fitalat çözeltisi (2,0824 mmol/L)*: Potasyum hidrojen fitalatın 105 °C'de kurutulmuş 0,4251 gramı suda çözüldü ve su ile 1000 mL'ye tamamlandı. Bu çözeltinin KOİ değeri 500 mg/L'dir. Yaklaşık 4 °C'de buzdolabında 1 hafta süre ile kullanılarak her hafta yenilendi.
- *Ferroin indikatör çözeltisi*: Amonyum demir (II) sülfat heksahidrattan 1 gram alınarak suda çözüldü. 1,10 – fenantrolin monohidrat (C₁₂H₈N₂.H₂O)'dan 1,50 gram çözeltiye ilave edilerek manyetik karıştırıcıda karıştırıldı. Su ile 100 mL'ye tamamlandı.

Deneyin Yapılışı

Çıkış vanasından 10 mL kadar örnek alındı ve 1 mL numune tüp içine aktarıldı. Ardından 0,5 mL potasyum dikromat çözeltisi ve 1,5 mL gümüş sülfat-sülfürik asit çözeltisi eklendi. 1-2 damla ferroin indikatörü eklenerek tüplerin kapakları sıkıca kapatıldı ve termoreaktöre yerleştirildi. Hazırlanan tüpler 150 C'de 2 saat termoreaktörde yakıldı. 2 saatin sonunda tüpler termoreaktörden alınarak soğutuldu. Soğutulduktan sonra kapakları açılarak 4 mL saf su eklendi ve erlene aktarıldı. 1-2 damla ferroin indikatörü eklenerek DAS is titrasyon gerçekleştirildi.



Görsel 3.25. KOİ Analizi Yapılırken

KOİ aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$KOİ = \frac{8000 \times C \times (V_1 - V_2)}{V_o} \quad (3.3.)$$

Burada:

C: Standart amonyum demir (II) sülfat çözeltisinin hesaplanan derişimi (mg/L)

V_o: Deney numunesinin hacmi (mL)

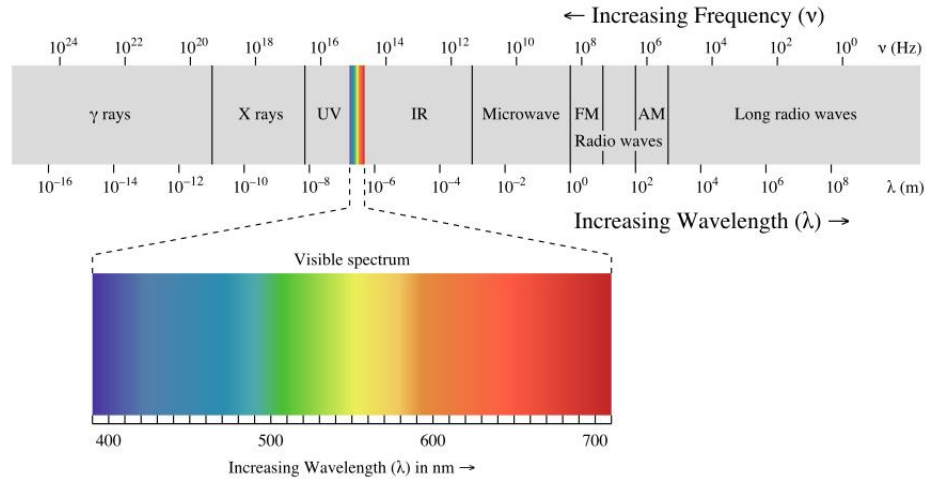
V₁: Tanık deneyde titrasyonda kullanılan DAS çözeltisinin hacmi (mL)

V₂: Deney çözeltisinin titrasyonunda kullanılan DAS hacmi (mL)

8000: Sonucu mg O₂/L cinsinden ifade edebilmek için dönüştürme faktörü

3.2.3.2. Fosfat Fosforu Analizi

Kalitatif analizler için absorbsiyon spektrofotometresi uygun ve faydalı bir cihazdır. Ultraviyole spektrofotometresi, organik bileşiklerin ve bazı fonksiyonel grupların varlığı veya yokluğuna ilişkin bilgi edinebilmek açısından önemli bir yere sahiptir (Karagözlü ve Akbulut, 2012).



Şekil 3.2. Elektromanyetik Spektrum

Organik bileşiklerin birçoğu spektrofotometrik ölçümleri yönünden 180 nm'nin üzerindeki dalga boyuna sahip bölgelerdedir. Uzun dalga boyuna sahip ultraviyole ışınları, kromofor olarak bilinen düşük uyarılma enerjili değerlik elektronları içeren bazı fonksiyonel gruplar ile sınırlıdır. Absorbsiyon dalga boyları, ultraviyole spektroskopisinde maksimum absorpsiyon dalga boyu ($\lambda_{\max}$) ve maksimum molar soğurma ($\epsilon_{\max}$) olarak verilmektedir (Yavaş, 2019).

Derişim ile soğurma arasındaki ilişkinin bilinmesi, maddenin absorblama derecesini ölçerek derişimini saptama açısından önemlidir.

Lambert-Beer eşitliği, moleküllerin seçilmiş olan dalga boyundaki ışımayı absorblaması sonucu ortaya çıkan azalmayı vermektedir.

$$\log \frac{I_0}{I} = \epsilon bc = A \quad (3.1.)$$

Burada;

I_0 : Örnek kabına giren ışık şiddeti

I : Örnek kabını terkeden ışık şiddeti

ϵ : Molar absorpsiyon katsayısı (L/mol.cm)

b : Örnek kabının kalınlığı (cm)

c : Derişim (mol/L)

A : Absorbans

Yukarıdaki Lambert-Beer eşitliğinin geçerli olabilmesi için, uygulanan ışık tek dalga boyuna sahip olmalı ve hazırlanan örnek de homojen bir yapıya sahip olmalıdır. Bileşenler birden fazlaysa, her bir bileşen diğerlerinin absorpsiyonunu etkilememelidir. Soğurma, ışının dalga boyuna bağlı olmakla birlikte ışının dalga boyu değiştirilirse ve her dalga boyu için soğurum kaydedilerek çizilirse eğriler elde edilir ve bu eğrilere spektrum denmektedir.

Spektrometrede doğru sonuçlar elde edebilmek için,

- Küvetlerin çizilmemiş ve temiz olmasına dikkat etmek gerekir.
- Cihaza yerleştirilirken küvetlerin cilalı yerleri ışığın giriş ve çıkış yönlerine göre yerleştirilmelidir.
- Cilalı yerlerden tutulmamalıdır.
- Küvetler cihaza yerleştirilmeden önce kuru bir kağıt veya peçeteyle silinmelidir (Yavaş, 2019).

Gerekli Kimyasallar

- *Fenolftalein indikatör çözeltisi*
- *Sülfürik asit çözeltisi:* (300 mL derişik sülfürik asit yaklaşık 600 mL distile suya dikkatlice ilave edilerek 1 litreye tamamlandı.)
- *Amonyum persülfat:* $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$, katı
- *Sodyum hidroksit* (NaOH)
- *Kuvvetli Asit çözeltisi:* 300 mL derişik sülfürik asit 600 mL distile suya yavaş ve dikkatli bir biçimde eklendi. Soğutulduktan sonra 4 mL derişik HNO_3 ilave edilerek hacmi 1 litreye tamamlandı.
- *Amonyum molibdat çözeltisi:* 25 gram $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 175 mL distile su ile çözüldü. Derişik sülfürik asitten 280 mL ilave edildi ve soğutuldu. Soğutulduktan sonra amonyum molibdat çözeltisi eklenerek hacmi 1 litreye tamamlandı.
- *Kalay klorür çözeltisi:* 2,5 gram $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 100 mL gliserol içine eklendi ve manyetik karıştırıcı ile ısıtıcıda çözüldü.
- *Standart fosfat çözeltisi:* 219,5 mg susuz KH_2PO_4 distile suda çözüldü ve hacmi 1 litreye tamamlandı.

Deneyin Yapılışı

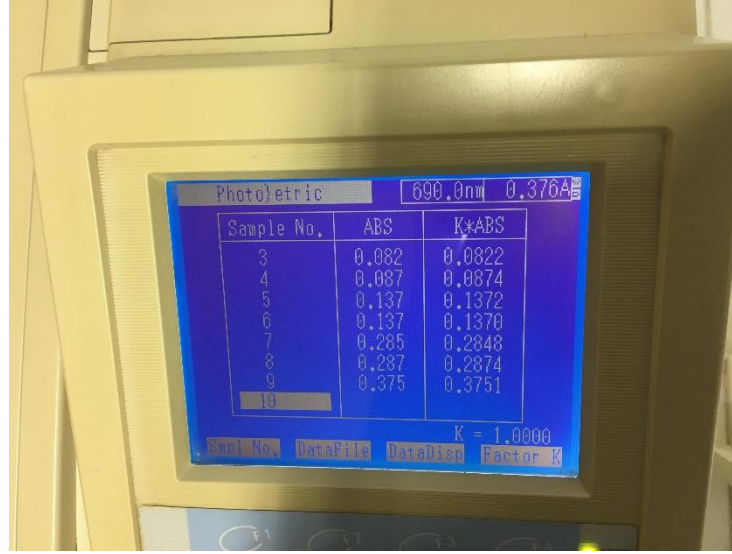
Örnek hazırlama: Numuneden 50 mL alınarak içerisinde 1 damla fenolftalein indikatör çözeltisinden eklendi. Ardından 1 mL sülfürik asit çözeltisi ve 0,4 gram $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ilave edildi. Yaklaşık 40 dakika kadar son hacim 10 mL olana kadar ısıtıcıda kaynatıldı. Örnekler soğutulduktan sonra 30 mL'ye distile su ile seyreltildi, 1 damla fenolftalein indikatör çözeltisinden damlatıldı ve NaOH ile soluk pembe renk oluşuncaya kadar nötralize edildi. Daha sonra hacim 100 mL'ye seyreltildi. 1 damla fenolftalein indikatör çözeltisinden ilave edildi. Kırmızı renk oluşmamasına dikkat edildi.

Renk oluşumu: 4 mL amonyum molibdat çözeltisi ve 0,5 mL kalay klorür çözeltisi eklendi ve iyice karıştırıldı.



Görsel 3.26. Kalibrasyon Eğrisini Oluşturmak İçin Derişimlere Göre Elde Edilen Renkler

Renk ölçümü: 10-12 dakika sonra distile su kör olarak kullanılarak 690 nm'de hazırlanan kalibrasyon eğrisi ile karşılaştırılarak renk ölçümü yapıldı.



Görsel 3.27. Spektrofotometre ile 690 nm'de Ölçülen Değerler

Kalibrasyon eğrisi hazırlanması:

1 mg/L = 1 mL standart çözelti + 49 mL su

0,8 mg/L = 1 mL standart çözelti + 61,5 mL su

0,6 mg/L = 1 mL standart çözelti + 82,3 mL su

0,4 mg/L = 1 mL standart çözelti + 124 mL su

0,2 mg/L = 1 mL standart çözelti + 249 mL su

Kalibrasyon eğrisi kullanılarak örneklerin fosfat derişimleri belirlendi.

3.2.3.3. TKN (Toplam Kjeldahl Azotu) Analizi

Gerekli Kimyasallar

- *Borat Tampon Çözeltisi:* 88 mL 0,1 N Sodyum hidroksit çözeltisi yaklaşık 0,025M 500 mL sodyum tetraborat çözeltisine eklendi ve hacmi 1 litreye tamamlandı.

- *Sodyum hidroksit-Sodyum tiyosülat Çözeltisi:* 500 gram NaOH ve 25 gram $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ suda çözüldü. Hacmi 1 litreye tamamlandı.

- *Yakma Çözeltisi:* 134 gram K_2SO_4 ve 7,3 gram CuSO_4 yaklaşık 00 mL suda çözüldü. Üzerine 134 mL sülfürik asit ilave edildi ve soğumaya bırakıldı.

- *İndikatörlü borik asit Çözeltisi:* 20 gram H_3BO_3 suda çözüldü. 10 mL karışık indikatör çözeltisi eklendi ve hacmi 1 litreye tamamlandı.

- *Karışık indikatör çözeltisi:* 200 mg metil kırmızısı indikatörü 100 mL %95 etil ya da izopropil alkolde çözüldü. 100 mg metilen mavisi 50 mL %95 etil alkol ile çözüldü. İki çözelti birleştirildi ve 150 mL'lik karışık indikatör çözeltisi elde edildi.
- *Standart sülfürik asit çözeltisi:* 0,02 N H₂SO₄

Deneyin Yapılışı

Yakma: Ham atıksu ve arıtılmış atıksu örneklerinden 100 mL distilasyon kolonuna aktarıldı. Üzerlerine 50 mL yakma çözeltisi dikkatli bir şekilde eklendi. Kolona birkaç adet kaynama taşı eklendikten sonra asit dumanını uzaklaştırmak için çeker ocağın içerisine yerleştirilen ısıtıcıda ısıtılmaya başlandı.



Görsel 3.28. Çeker Ocak İçerisindeki Isıtma Cihazı ile Yakma İşlemi

Distilasyon kolonunda 25-50 mL azalma gözlenip beyaz duman çıkışı görülene kadar ısıtıldıktan 30 dakika sonra soluk yeşil rengi görülene kadar yakmaya devam edildi. Daha sonra kolonlar soğutuldu ve 300 mL'ye saf su ile seyreltildi. Üzerlerine 50 mL sodyum tiyosülat eklendi ve numune tam olarak karıştırıldıktan sonra kolon distilasyon cihazına yerleştirildi.



Görsel 3.29. *Yakma İşlemi Sonrası Soğumaya Bırakılan Kolonlar*

Distilasyon: 200 mL distilat toplanıncaya kadar distilasyona devam edildi. Bir erlene konulan 50 mL indikatörlü borik asit çözeltisi kondansörün çıkış noktasındaki borunun altına yerleştirildi. Kondansör tamamen temizlenene kadar distilasyona devam edildi.



Görsel 3.30. *Distilasyon İşlemi*

Titrasyon: Çözelti 0,02 N sülfürik asit ile soluk menekşe rengi görülene kadar titrasyon gerçekleştirildi ve harcanan asit miktarı kaydedildi. Sonuçların hesaplanabilmesi için aynı işlemler saf su ile de yapıldı.

Hesaplama:

$$mg/L = \frac{(A - B) \times 280}{mL \text{ örnek}} \quad (3.3.)$$

A: Titrasyonda örnek için harcanan sülfürik asit miktarı (mL)

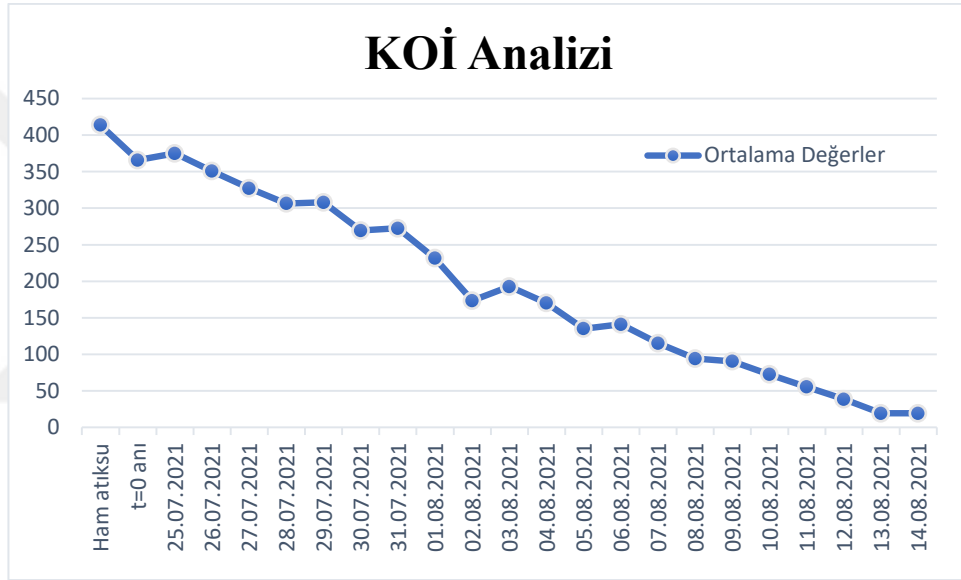
B: Titrasyonda kör için harcanan sülfürik asit miktarı (mL)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. KOİ Analizi

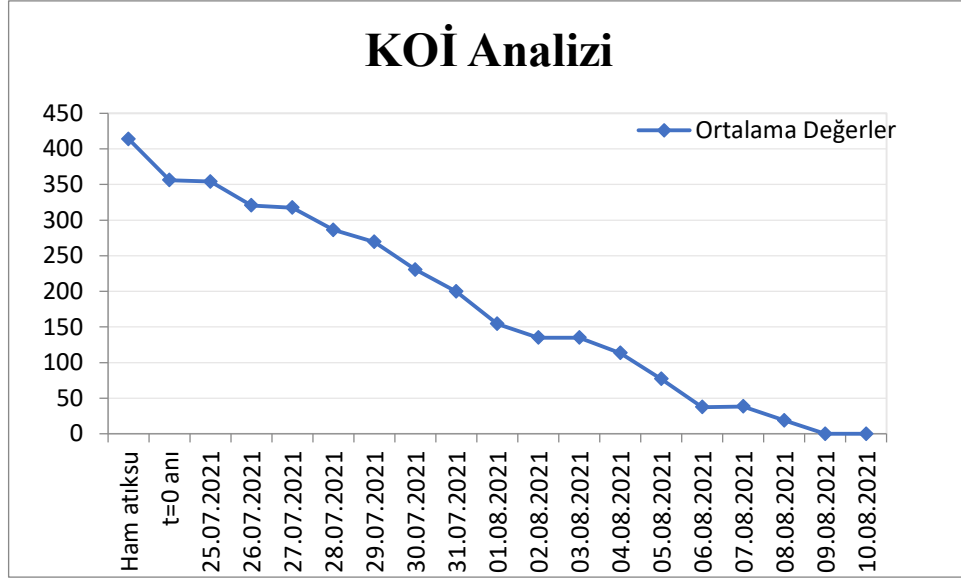
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) analizleri için 0,9, 3,36 ve 9,12 L/sa debide serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ve yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan sistemlerinde 6 ayrı reaktördeki atıksuyun çıkış vanasından ilk çıkan atıksu örneğinin (t=0) alınmasından itibaren 24 saatte bir alınan örnekler ile KOİ analizi gerçekleştirilmiştir. Burada hangi sistemin atıksuyu kaç günde arıttığı göz önünde bulundurulmuştur.

Her bir sistem için bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir:



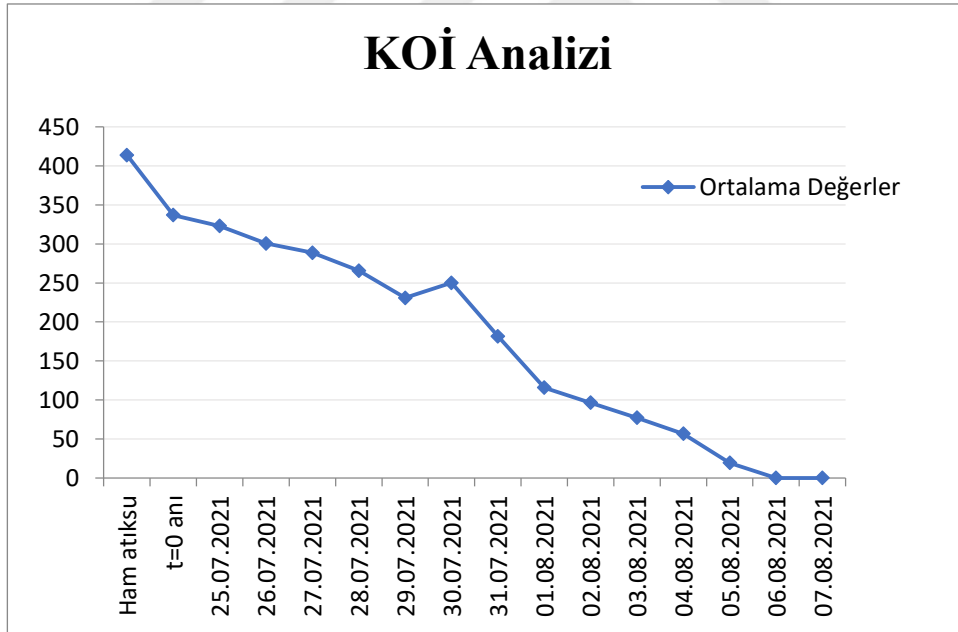
Şekil 4.1. 1.Reaktör: 9,12 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan

Yukarıdaki grafikte ham atıksu, t=0 anında ve 24 saatte bir alınan örneklerin günlere göre KOİ değerleri gösterilmiştir. 22. gün sonunda %95,36 KOİ verimi elde edilmiştir.



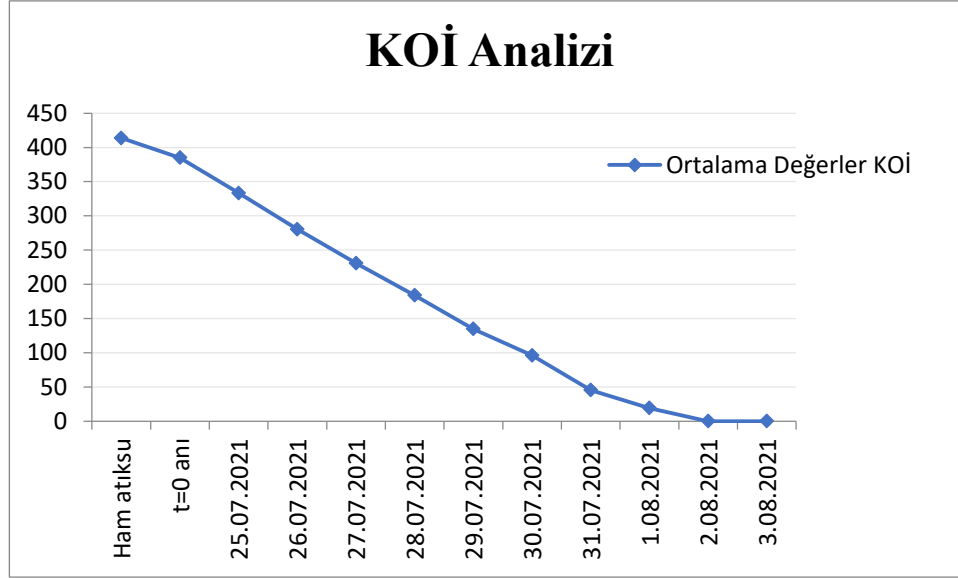
Şekil 4.2. 2. Reaktör: 3,36 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan

Bu grafikte 3,36 L/sa debide serbest yüzey akışlı yapay sulak alanda günlere göre KOİ değerleri verilmiştir. 16. günün sonunda %95,46 verim elde edilmiştir.



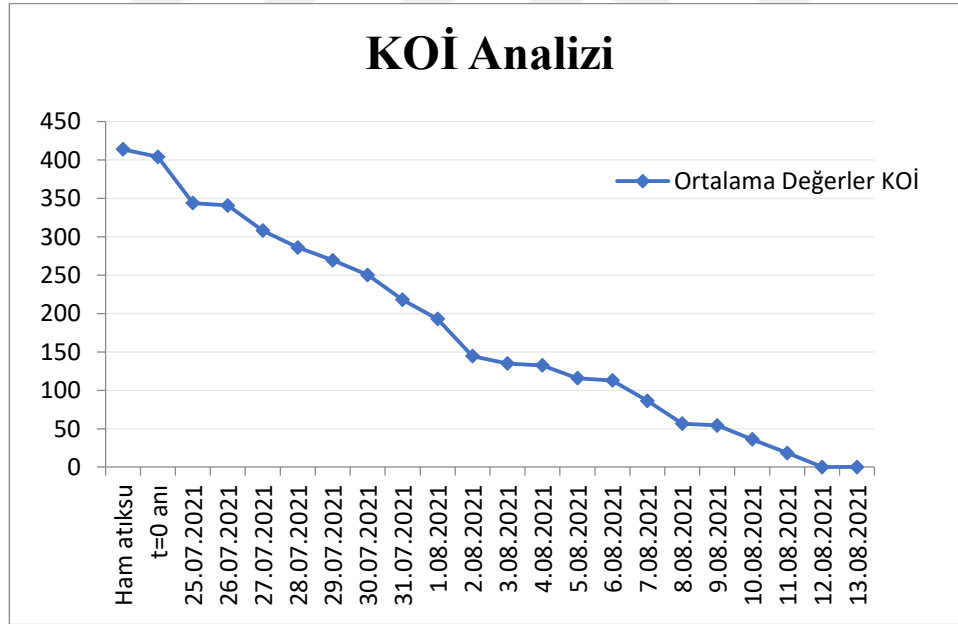
Şekil 4.3. 3. Reaktör: 3,36 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

Burada 3,36 L/sa debide yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda günlere göre KOİ değerleri gösterilmiştir. 13. Günün sonunda %95,34 verime ulaşılmıştır.



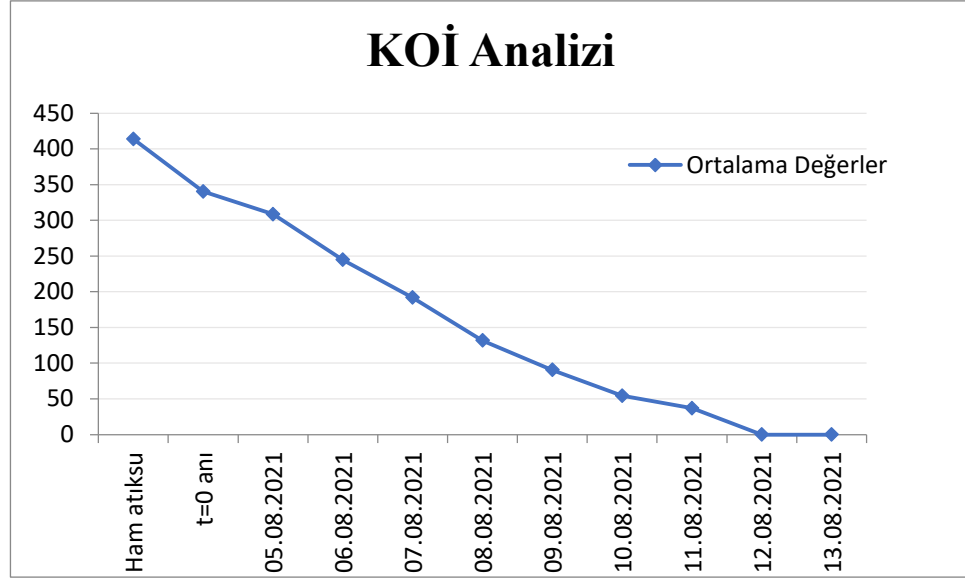
Şekil 4.4. 4.Reaktör: 0,9 L/sa Debide Serbest Yüsey Akışlı Yapay Sulak Alan

Yukarıdaki grafikte 0,9 L/sa debide serbest yüzey akışlı yapay sulak alanda günlere göre KOİ değerleri gösterilmiştir. 9. gün sonunda %95,34 verim elde edilmiştir.



Şekil 4.5. 5.Reaktör: 9,12 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

Şekil 4.5.'te 9,12 L/sa debide yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda KOİ değerlerinin günlere göre değişimi gösterilmektedir. Burada 19. günün sonunda %95.53 verime ulaşmıştır.

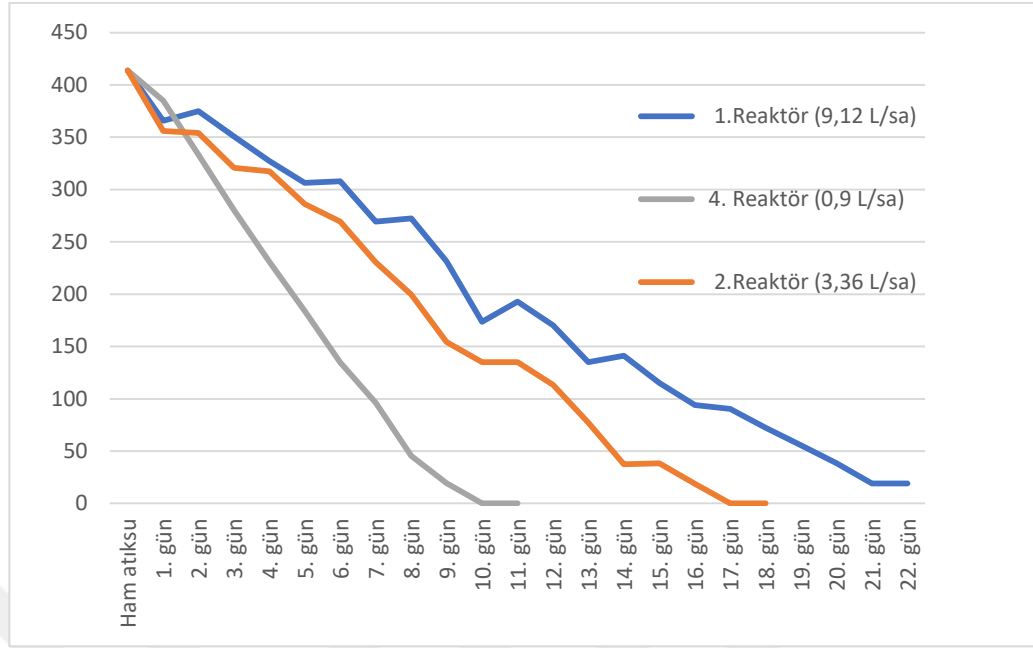


Şekil 4.6. 6.Reaktör: 0,9 L/sa Debide Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan

Şekil 4.6.'da 0,9 L/sa debide yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda KOİ analizinin günlere göre değerleri gösterilmiştir. 8. günün sonunda toplam verim %91,08 olarak bulunmuştur.

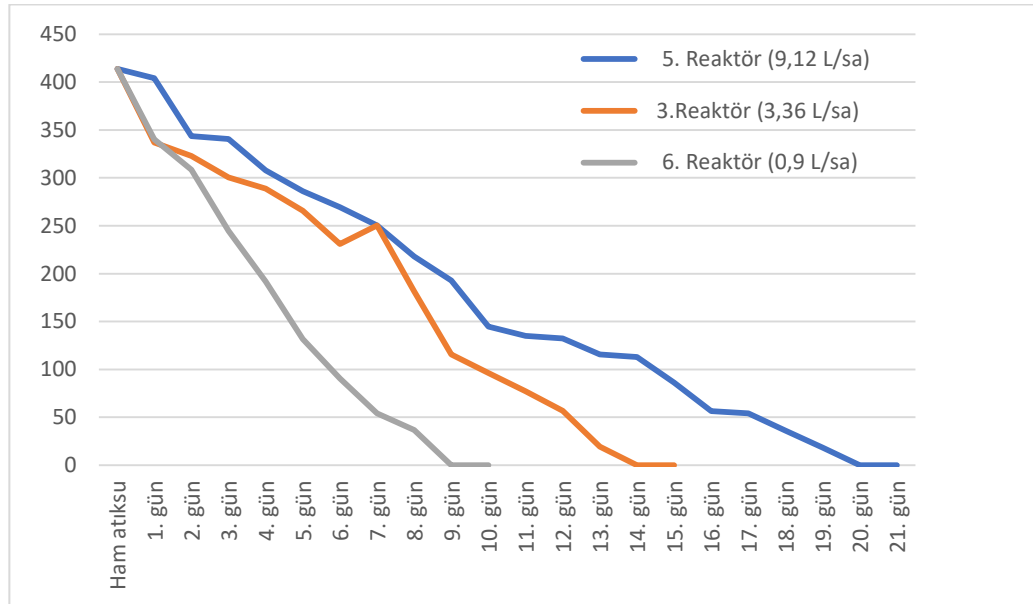
Tablo 4.1. KOİ Analizi Özet Sonuçları

Reaktörler	Sulak Alan cinsi	Debi		Aritma	
		(rpm)	(L/saat)	Süresi (gün)	Verimi (%)
1.Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	60	9,12	22	95,36
2.Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	20	3,36	16	95,46
3.Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	20	3,36	13	95,34
4.Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	5	0,9	9	95,34
5.Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	60	9,12	19	95,53
6.Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	5	0,9	8	91,08



Şekil 4.7. Serbest Yüzey Akışlı Yapay Sulak Alan KOİ Sonuçlarının Karşılaştırılması

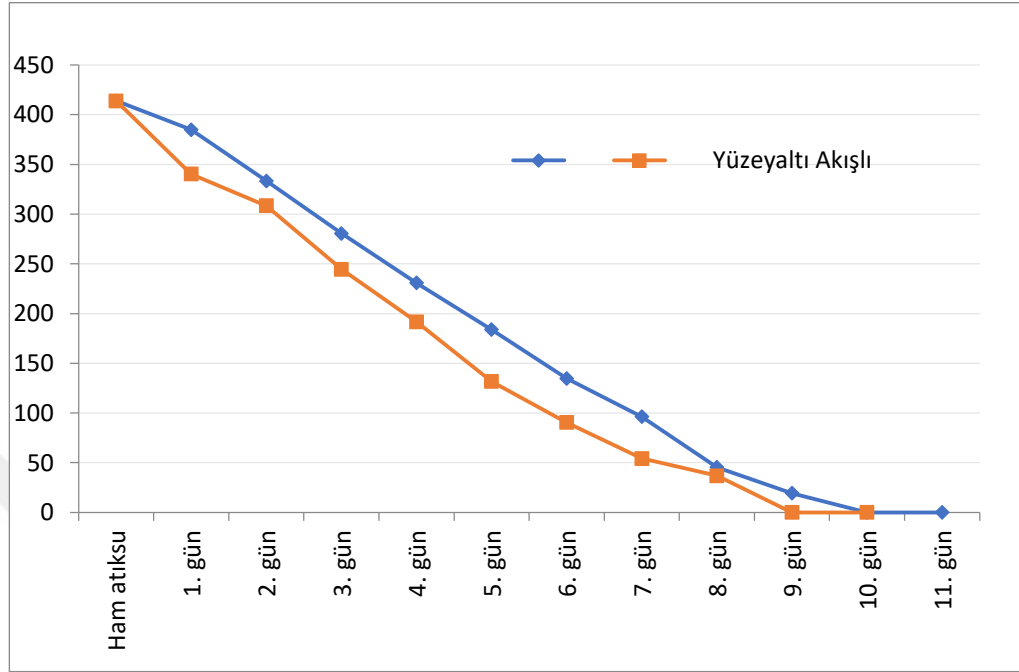
Şekil 4.7.'de serbest yüzey akışlı yapay sulak alanların KOİ değerlerinin zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir. Grafikten anlaşıldığı üzere debi arttıkça atısu arıtma süresi artmaktadır. 0,9 L/sa debide sentetik evsel atıksu 9. gün sonunda arıtılmışken, 3,36 L/sa debide bu süre 16 güne, 9,12 L/sa debide ise 22 güne çıkmıştır.



Şekil 4.8. Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan KOİ Sonuçlarının Karşılaştırılması

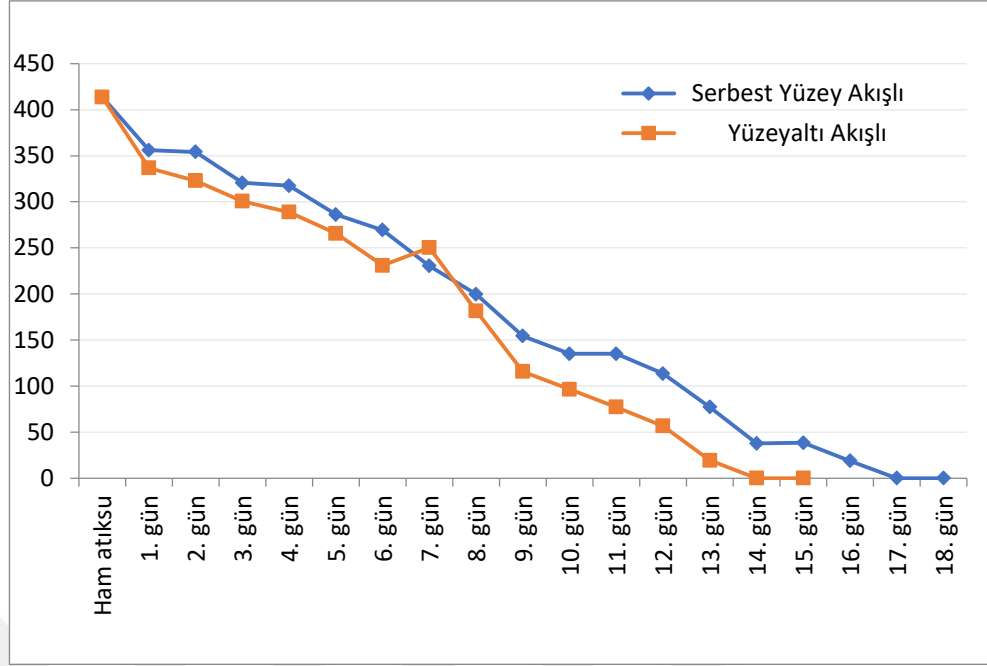
Şekil 4.8.'de yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan çalışmalarının KOİ değerlerinin zamana bağlı değişimleri gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere serbest

yüzey akışlı yapay sulak alanda olduğu gibi debideki artışla birlikte arıtma süresi de artmaktadır.



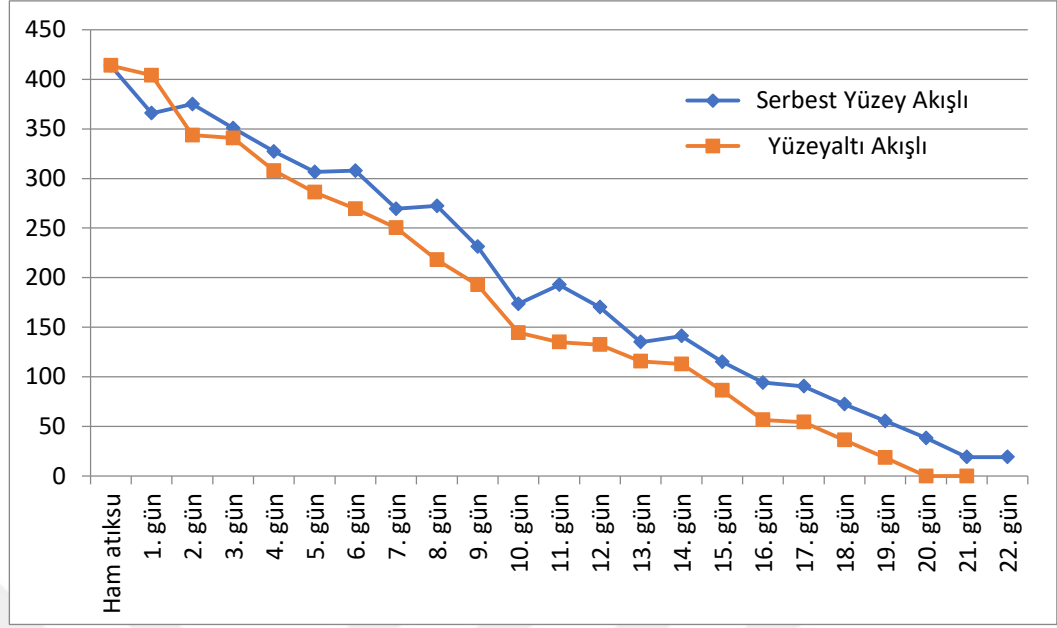
Şekil 4.9. 0,9 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.9.'da 0,9 L/sa debideki iki farklı yapay sulak alanda (serbest yüzey akışlı ve yatay yüzeyaltı akışlı) KOİ analizinin günlere göre değerleri gösterilmiştir. Bu grafikten anlaşıldığı üzere, yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda serbest yüzey akışlı yapay sulak alana göre daha hızlı (1 gün) bir KOİ giderimi gerçekleşmiştir. Bunun sebebi; atıksuyun bitki köküyle olan teması arttıkça arıtım süresi kısalır. Yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda atıksu doğrudan bitki köküyle temas ettiğinden serbest yüzey akışlı yapay sulak alana göre daha kısa sürede arıtımı sağlamıştır.



Şekil 4.10. 3,36 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.10.'da aynı şekilde serbest yüzey akışlı ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda KOİ analizi arıtma süreleri karşılaştırılmıştır. 3,36 L/sa ile çalışan iki sistemde serbest yüzey akışlı yapay sulak alanda 16. günün sonunda %95,46 KOİ verimi gözlenirken yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda bu süre 13 güne düşerek %95,34 KOİ verimi elde edilmiştir.



Şekil 4.11. 9,12 L/sa Debide Serbest Yüzey Akışlı ve Yatay Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Çalışmalarının KOİ Değerlerinin Zamana Bağlı Değişimlerinin Karşılaştırılması

Yukarıdaki grafikte (Şekil 4.11.) 9,12 L/sa debide iki ayrı sulak alan çalışmasında elde edilen KOİ değerleri ve atıksuyu kaç günde arıttıkları gösterilmiştir. Burada arıtma süresi yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda serbest yüzey akışlı yapay sulak Alana göre daha hızlı bir arıtma söz konusudur.

Son 3 grafik değerlendirildiğinde gözlemlenen ortak sonuç; serbest yüzey akışlı yapay sulak alanda yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alana göre KOİ giderim verim süresi daha uzundur. Arıtım bitki kökleri ile gerçekleştiğinden yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda atıksuyun bitki ile daha çok temas halinde olması, arıtma süresinin kısalmasına sebep olmaktadır.

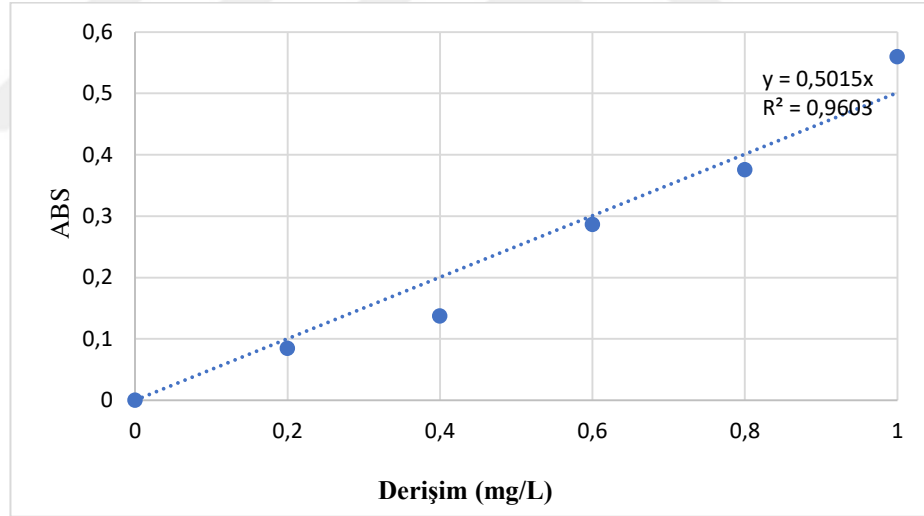
4.2. Toplam Fosfat Fosforu Analizi

Toplam Fosfat Fosforu analizinde ilk olarak kalibrasyon eğrisi için farklı derişimlerde ABS değerleri spektrofotometrede okundu. Her örnek 2 kez tekrarlanarak ortalama değerler ile kalibrasyon eğrisi hazırlandı.

Tablo 4.2. Fosfat Fosforu Analizinde Kalibrasyon Eğrisini Hazırlamak İçin Hazırlanan Derişimlerde ABS Değerleri

Derişim (mg/L)	ABS		
	1.Tekrar	2.Tekrar	Ortalama
0	0	0	0
0,2	0,082	0,087	0,0845
0,4	0,137	0,137	0,137
0,6	0,285	0,287	0,286
0,8	0,375	0,376	0,3755
1,0	0,559	0,560	0,5595

Tablo 4.2.'de kör ve farklı derişimlerdeki çözeltilerin spektrofotometrede okunan değerleri gösterilmiştir. Bu değerler ile kalibrasyon eğrisi çizilerek ABS-Derişim grafiğı oluşturulmuştur.



Şekil 4.12. Kalibrasyon Eğrisi

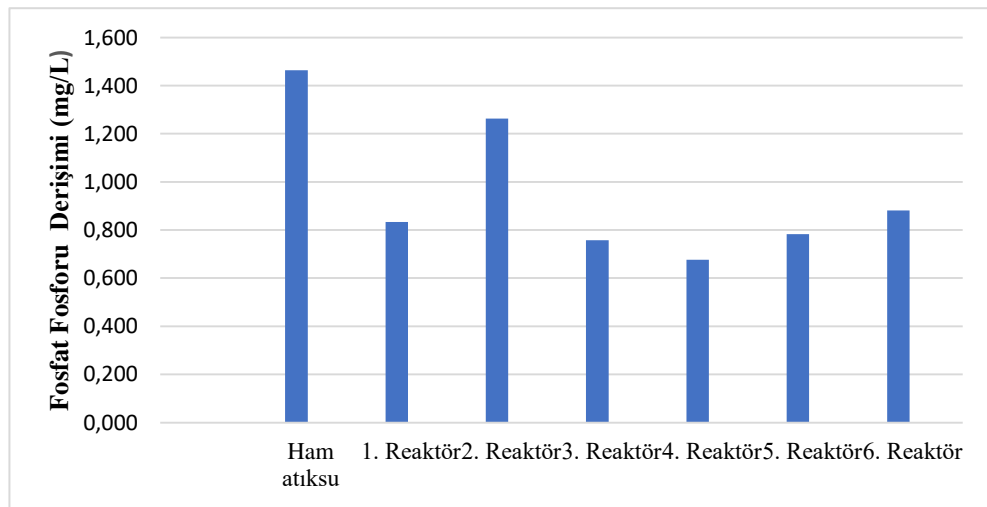
Kalibrasyon eğrisi hazırlandıktan sonra ham atıksuyun ve arıtılan atıksu örneklerinin fosfat fosforu analizleri yapılmıştır. Bulunan sonuçlar aşağıdaki tabloda gösterilmiştir:

Tablo 4.3. Ham Atıksu ve Arıtılmış Atıksu Örneklerinin ABS Değerleri ve Fosfat Fosforu Derişimleri

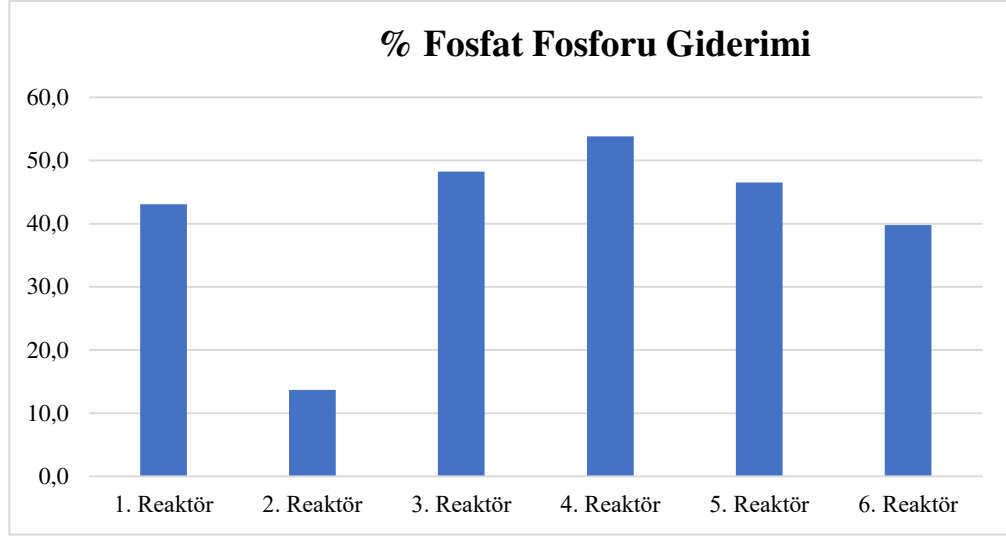
Örnekler	Fosfat Fosforu			derişimi (mg/L)	% Giderim
	1. Tekrar	2. Tekrar	ABS ort		
Ham atıksu	0,732	0,736	0,734	1,464	-
1. Reaktör	0,418	0,418	0,418	0,833	43,1
2. Reaktör	0,635	0,632	0,634	1,263	13,7
3. Reaktör	0,383	0,377	0,380	0,758	48,2
4. Reaktör	0,339	0,339	0,339	0,676	53,8
5. Reaktör	0,393	0,392	0,393	0,783	46,5
6. Reaktör	0,440	0,444	0,442	0,881	39,8

Toplam fosfat fosforu analizinde ölçülen fosfat derişimleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Burada ham atıksuyun derişimi 1,464 mg/L, reaktörlerdeki fosfat derişimleri ise sırasıyla 0,833 mg/L, 1,263 mg/L, 0,758 mg/L, 0,676 mg/L, 0,783 mg/L ve 0,881 mg/L olarak bulunmuştur. Giderim verimleri de sırasıyla %43,1, %13,7, %48,2, %53,8, %46,5 ve %39,8 olarak bulunmuştur.

Aşağıdaki şekilde (Şekil 4.13.) toplam fosfat fosforu analizinden elde edilen derişimlerin grafik olarak gösterimi mevcuttur.



Şekil 4.13. Reaktörlerin ve Ham Atıksuyun Fosfat Fosforu Derişimlerini Gösteren Grafik



Şekil 4.14. Toplam Fosfat Fosforu Analizinden Elde Edilen Giderim Yüzdeleri

4.3. Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) Analizi

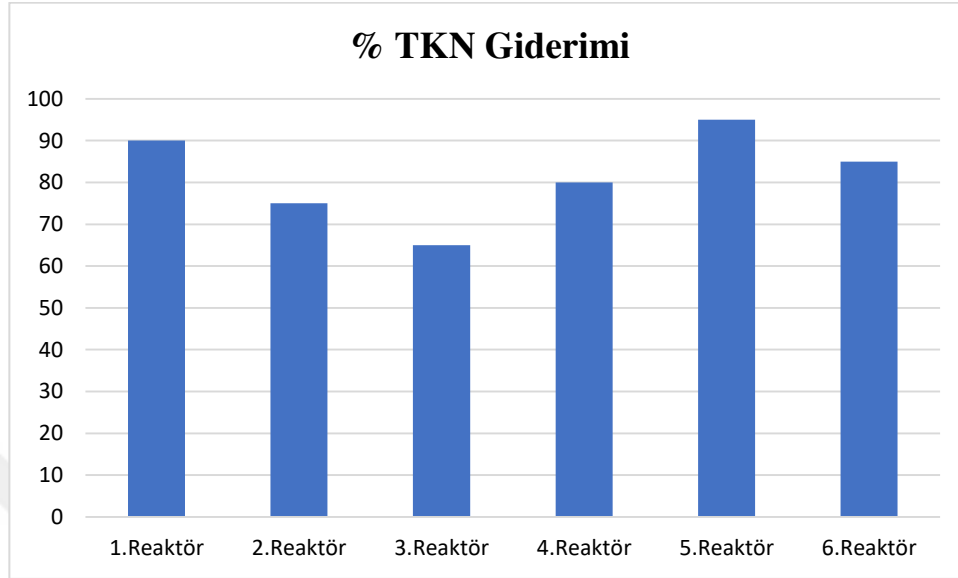
Toplam Kjeldahl azotu analizinde saf su, ham atıksu ve arıtılmış atıksu örneklerinin derişimleri ölçülmüştür. Tablo 8.'de titrasyon sonucu harcanan standart sülfürik asit çözeltisi miktarı, derişim değerleri ve verim gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Toplam Kjeldahl Azotu Analiz Sonuçları

Harcanan Standart			
Örnekler	Sülfürik Asit Çöz. Miktarı (mL)(B)	Derişim (mg/L)	Verim (%)
Kör (A)	0,1	-	-
Ham atıksu	2,1	5,6	-
1. Reaktör	0,3	0,56	90
2. Reaktör	0,6	1,4	75
3. Reaktör	0,8	1,96	65
4. Reaktör	0,5	1,12	80
5. Reaktör	0,2	0,28	95
6. Reaktör	0,4	0,84	85

Tablo 4.4.'te görüldüğü gibi reaktörlerdeki arıtılmış atıksu örneklerinin TKN analizi sonucu bulunan verimleri %65'in üzerindedir. Yapay sulak alanlarda azot verimi %30-80 arasındadır. Bu değerler göz önünde bulundurulduğunda bulunan sonuçlar

anlamalıdır. Aşağıda (Şekil 4.15.) artırılmış atıksu örneklerinin TKN analizi sonucu bulunan verimlerinin grafiği gösterilmektedir.



Şekil 4.15. TKN Analizinde Reaktör Verimlerinin Grafikte Gösterimi

Burada 3,36 L/sa debide serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alandaki (2. ve 3. Reaktör) artırılmış atıksuların verimleri sırasıyla %75 ve %65 olarak bulunmuştur. 0,9 L/sa debide serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda (1. ve 5. Reaktör) verimler sırasıyla %90 ve %95, 9,12 L/sa debideki serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda (4. ve 6. Reaktör) ise verimler %80 ve %85 olarak bulunmuştur. Aynı debilerde TKN verimleri serbest yüzey akışlı ve yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alandaki verimler %5-10 oranında farklılık göstermektedir.

4.4. pH ve İletkenlik

Ham atıksu ve artırılmış atıksuların pH ve iletkenlik değerleri ölçülmüştür. Tablo 4.5'te pH ve iletkenlik değerleri gösterilmiştir.

Tablo 4.5. pH ve İletkenlik Değerleri

Örnekler	Sulak Alan cinsi	Debi (L/sa)	pH	İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Ham Atıksu	-	-	8,64	1777
1. Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	9,12	8,79	1754
2. Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	3,36	8,95	1769
3. Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	3,36	8,87	1742
4. Reaktör	Serbest Yüzey Akışlı	0,9	8,67	1758
5. Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	9,12	8,70	1765
6. Reaktör	Yatay Yüzeyaltı Akışlı	0,9	8,72	1775

Bu çalışmada laboratuvar ölçekli yapay sulak alanda sentetik evsel atıksu arıtımı yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Serbest yüzey akışlı yapay sulak alan ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alan olmak üzere iki ayrı yapay sulak alanda 0,9 L/sa, 3,36 L/sa ve 9,12 L/sa debilerde toplamda 6 ayrı düzenek kurulmuştur. Dolgu malzemesi olarak ortalama 5 mm çaplı çakıl, bitki çeşidi olarak *Typha Domingensis* (Hasır, Saz Otu) kullanılmıştır. Sistem 15 litrelik sentetik evsel atıksu için 19 litrelik su haznesi, giriş ve çıkış yapıları, peristaltik pompa ve reaktörden oluşmaktadır. Çalışmada KOİ analizi, Toplam Fosfat Fosforu ve Toplam Kjeldahl Azotu tayini yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

KOİ analizi sonucunda debideki artışın arıtsuyu arıtma süresinde artışa sebep olduğu, serbest yüzey akışlı yapay sulak alanda arıtılan atıksu ile yatay yüzeyaltı akışlı yapay sulak alanda arıtılan atıksu arasında oluşan temel fark arıtma süresidir. Arıtım bitki kökleri ile sağlandığından bitki kökü ile temasın artması arıtma süresinin kısılmasına sebep olmaktadır.

Yapay sulak alanlarda %20-70 aralığında fosfat giderimi elde edilmektedir (Angın vd., 2010). Toplam Fosfat Fosforu analizinde bulunan giderimler %14-54 arasındadır. Literatürdeki bilgiler incelendiğinde, elde edilen giderim değerleri ile uygunluk göstermektedir.

Yapay sulak alanlarda %30-80 arasında TKN giderimi sağlandığı bilinmektedir (Angın vd., 2010). Toplam Kjeldahl Azotu analizinde tüm reaktörlerde %65-95 arasında verime ulaşılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde iyi bir TKN giderimi sağlandığı gözlemlenmiştir.

İletkenlik ölçüm sonuçları, sulak alan çeşidi ve debi bakımından iki farklı parametre ile incelenmiştir. İletkenlik değerleri tüm reaktörler için ortalama 1762 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. Literatürden edinilen bilgilere göre bulunan iletkenlik değerleri benzerlik göstermektedir.

Aynı debide (9,12 L/sa) 1. ve 5. Reaktörlerdeki iletkenlik değerleri serbest yüzey akışlı YSA ve yatay yüzeyaltı akışlı YSA için sırasıyla 1754 ve 1765 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunurken, pH değerleri 8,79 ve 8,70 olarak ölçülmüştür.

2. ve 3. Reaktörler kıyaslandığında aynı debide (3,36 L/sa) iletkenlik değerleri serbest yüzey akışlı YSA ve yatay yüzeyaltı akışlı YSA için sırasıyla 1769 ve 1742 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülürken, pH sonuçları ise sırasıyla 8,95 ve 8,97 olarak bulunmuştur.

4. ve 6. Reaktörde 0,9 L/sa debideki iletkenlik değerleri sırasıyla 1758 ve 1775 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pH değerleri ise 8,67 ve 8,72 olarak bulunmuştur.

Aynı debide farklı sulak alanlar için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde iletkenlik ve pH değerlerinin bu parametrelere bağlı olmadığı gözlemlenmiştir.

Aynı sulak alan çeşidine göre değerlendirme yapıldığında, 1., 2. ve 4. reaktörlerde serbest yüzey akışlı YSA’da farklı debilerde bulunan iletkenlik değerleri sırasıyla 1754, 1769 ve 1758 siemens/cm ölçülürken, pH değerleri sırasıyla 8,79, 8,95 ve 8,67 olarak bulunmuştur.

3., 5 ve 6. Reaktörlerde yatay yüzeyaltı akışlı YSA’larda farklı debilerde iletkenlik değerleri sırasıyla 1742, 1765 ve 1775 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak bulunurken, pH değerleri sırasıyla 8,87, 8,70 ve 8,72 olarak ölçülmüştür. Bu değerler incelendiğinde, farklı debilerdeki aynı sulak alan cinsinin iletkenlik ve pH değerlerinde bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.



Görsel 4.31. *Su Yüzeyinde Görünen Sucul Canlılar*

Yukarıdaki görselde (Görsel 4.1.) yapay sulak alanlarda yaşayan sucul canlılar görülmektedir. Bu canlılar su yüzeyinde kalan ölü bitki parçaları ile beslenerek atıksu arıtımında fosfat ve TKN gideriminde rol oynamıştır.

Literatür taramasında yapılan incelemeler neticesinde, laboratuvar ölçekli YSA'da sentetik evsel atıksu arıtımı sonucu bulunan analiz sonuçları diğer çalışmalarda bulunan sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

KAYNAKÇA

Adrados, B., Sánchez, O., Arias, C. A., Becares, E., Garrido, L., Mas, J. and Morató, J. (2014). Microbial Communities From Different Types of Natural Wastewater Treatment Systems: Vertical and Horizontal Flow Constructed Wetlands and Biofilters. *Water research*, 55, 304-312.

Alemu, A., Lemma, B. and Gabbiye, N. (2019). Adsorption of Chromium (III) from Aqueous Solution Using Vesicular Basalt Rock. *Cogent Environmental Science*, 5(1), 1650416. a

Alemu, T., Lemma, E., Mekonnen, A. and Leta, S. (2016). Performance of Pilot Scale Anaerobic-SBR System Integrated with Constructed Wetlands for The Treatment of Tannery Wastewater. *Environmental Processes*, 3(4), 815-827.

Alemu, T., Mekonnen, A., and Leta, S. (2019). Integrated Tannery Wastewater Treatment for Effluent Reuse for Irrigation: Encouraging Water Efficiency and Sustainable Development in Developing Countries. *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100514. b

Angın, İ., Tunç, T. ve Şahin, Ü. (2010). Yapay Sulak Alanların Soğuk İklim Şartlarında Kullanılabilirliği, Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi 3 (2): 59-64

Anonim. (2000). Guiding Principles for Constructed Wetland Treatment. United States Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, EPA 843-B-00-003

APHA, AWWA, WEF. (1992). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 18th Edition, American Public Health Association, Washington.

APHA, AWWA, WEF. (1992). “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 20th Edition, American Public Health Association, Washington.

Arı, H. (2006). Design of Treatment Plant with Subsurface Flow System For Campus Wastewater, Proceedings of the Fifth GAP Engineering Congress, Şanlıurfa, Turkey, Volume:2

Ayaz, S., Fındık, N., Kınacı, C., Tunçsiper, B., Güneş, E., (2011). Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi, Çevre Enstitüsü, Yapay Sulakalanlar El Kitabı.

Bolzonella, D., Papa, M., Da Ros, C., Anga Muthukumar, L., and Rosso, D. (2019). Winery Wastewater Treatment: a Critical Overview of Advanced Biological Processes. *Critical reviews in biotechnology*, 39(4), 489-507.

Brown, D S., J F. Kreissl, R. A. Gearhart vd., (2000)., Manual - Constructed Wetlands Treatment Of Municipal Wastewaters.

Bulc, T.G. ve Ojstršek, A., (2008). The Use of Constructed Wetland For Dye-Rich Textile Wastewater Treatment, *J. of Hazardous Materials*, 155, 76-82.

Conradie, A., Sigge, G. O., and Cloete, T. E. (2014). Influence of Winemaking Practices on The Characteristics Of Winery Wastewater and Water Usage of Wineries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 35(1), 10-19.

Cooper, P. F., Job, G. D. ve Green, M. B. (1996). Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment, Water Research Centre.

Cop, M. (2017). *Konya İli Yapay Sulak Alanlarda Arıtma Verimi, Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Coskun, T., Debik, E. and Demir, N.M., (2010). Treatment of Olive Mill Wastewaters By Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes, *Desalination*, 259, 65–70.

Crites, R. ve Technobanoglous, G. (1998). Small And Decentralized Wastewater Management Systems, McGraw-Hill.

Cui, H., Yang, Y., Ding, Y., Li, D., Zhen, G., Lu, X. and Huang, X. (2019). A novel pilot-scale tubular bioreactor-enhanced floating treatment wetland for efficient in situ nitrogen removal from urban landscape water: Long-term performance and microbial mechanisms. *Water Environment Research*, 91(11), 1498-1508.

Çiftçi, H., Kaplan, Ş., Köseoğlu, H., Karakaya, E., Kitiş, M. (2007). Yapay Sulak Alanlarda Atık Su Arıtımı ve Ekolojik Yaşam. Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enst. Dergisi. 23 (1-2): 149-160.

Dronova, I. (2012). *The Study Of Seasonal Composition and Dynamics of Wetland Ecosystems and Wintering Bird Habitat at Poyang Lake, PR China Using Object-based Image Analysis and Field Observations* (Doctoral dissertation, UC Berkeley).

Emektar, G., Tanık, A., Arslan, İ., Gürel, M., Övez, S., Orhon, D. (2005). Türkiye’de Doğal Arıtma Uygulamaları ve Projeleri. Atık Suların Tarımsal Sulamada Kullanılması Çalıştayı, 9-10 Haziran 2005, İstanbul.

EPA, Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, September 2000.

Espinoza-Quiñones, F.R., Fornari, M.M.T., Módenes, A.N., Palácio, S.M., da Silva Jr., F.G., Szymanski, N., Kroumov, A.D. and Trigueros, D.E.G. (2009). Pollutant Removal From Tannery Effluent By Electrocoagulation, *Chem.Eng. J.*, 151, 59–65.

Gannoun, H., Bouallagui, H., Okbi, A., Sayadi, S. and Hamdi, M., (2009). Mesophilic and Thermophilic Anaerobic Digestion Of Biologically Pretreated Abattoir Wastewaters in an Upflow Anaerobic Filter, *Journal of Hazardous Materials*, 170, 1, 263–271.

Gasiunas, V., Strusevicius, Z., & Struseviciene, M. S. (2005). Pollutant Removal by Horizontal Subsurface Flow Constructed Wetlands in Lithuania. *Journal of Environmental Science and Health*, 40(6-7), 1467-1478.

Göçmez, S., Güngör, M., Akyürek, A., Şenyurt, M., Öztürk, A., Karabuğa, M. Ç. (2018). Denizli İlinde Yapay Sulak Alanların Revizyonu: Bozkurt-Alıkurt Yapay Sulak Alan Örneği, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*.

Gökalp, Z. and Çakmak, B. (2013). “Doğal Arıtma Sistemlerinde Karşılaşılan Problemler ve Çözüm Önerileri”, 3. Uluslararası Bursa Su Kongresi ve Sergisi, 22-24 Mart, Bursa, Türkiye.

Gökalp, Z., ve Çakmak, B. (2015). Atık Su Arıtmada Yapay Sulak Alan Teknolojileri ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar. 1. *Ulusal Biyosistem Mühendisliği Kongresi*, 9-11.

Gönüllü, T., (2004). *Endüstriyel kirlenme kontrolü*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Grismer, M. E., & Shepherd, H. L. (2011). Plants in Constructed Wetlands Help To Treat Agricultural Processing Wastewater. *California Agriculture*, 65(2).

Gülgün, B., Keskin, N. ve Aktaş, E. (2010). Ziraat Mühendisliği Dergisi, Sayı:355

Güven, G., Perendeci, A. and Tanyolaç, A., (2009).Electrochemical Treatment of Simulated Beet Sugar Factory Wastewater, *Chem. Eng. J.*, 151, 149–159.

Haberl, R. (1999). Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries. *Water Science and Technology*, 40(3), 11-17.

Helal, H. M., and Sauerbeck, D. (1989). Carbon Turnover in the Rhizosphere. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 152(2), 211-216.

Herouvim, E., Akrotos, C.S., Tekerlekopoulou, A. and Vayenas, D.V., (2011). Treatment of Olive Mill Wastewater in Pilot-Scale Vertical Flow Constructed Wetlands, *Ecological Engineering*, 37, 931–939

Holkar, C. R., Jadhav, A. J., Pinjari, D. V., Mahamuni, N. M., & Pandit, A. B. (2016). A critical Review on Textile Wastewater Treatments: Possible Approaches. *Journal of environmental management*, 182, 351-366.

Howell, C. L., and Myburgh, P. A. (2018). Management of Winery Wastewater By Re-Using it For Crop Irrigation - A review. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 39(1), 116-131.

Ishaq, H. K., Farid, M., Zubair, M., Alharby, H. F., Asam, Z. U. Z., Farid, S., ... and Ali, S. (2021). Efficacy of Lemna minor and Typha latifolia for The Treatment of Textile Industry Wastewater in a Constructed Wetland Under Citric Acid Amendment: A Lab Scale Study. *Chemosphere*, 283, 131107.

Jang, J. R., Choi, S. H., and Kwun, S. K. (2007). Water Treatment Characteristics by Const ucted Wetland with Different Vegetation-Open Water Arrangements. *Journal of Korean Society on Water Environment*, 23(1), 122-130.

Karagözlü, C. ve Akbulut, N. (2012). Laboratuvar Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 143s, İzmir.

Kaseva, M. E. (2004). Performance of a Sub-Surface Flow Constructed Wetland in Polishing Pre-Treated Wastewater—A Tropical Case Study. *Water research*, 38(3), 681-687.

Khatiwada, N. R., & Polprasert, C. (1999). Assessment Of Effective Specific Surface Area for Free Water Surface Constructed Wetlands. *Water Science and Technology*, 40(3), 83-89.

Kucuk, O.S., Sengul, F. and Kapdan, I.K., (2003). Removal of Ammonia From Tannery Effluents in a Reed Bed Constructed Wetland, *Water Sci. Technol.*, 48, 11/12, 179–186.

Lee, C. G., Fletcher, T. D. and Sun, G. (2009). Nitrogen Removal in Constructed Wetland Systems. *Engineering in Life Sciences*, 9(1), 11-22.

Lofrano, G., Meriç, S., Zengin, G. E., & Orhon, D. (2013). Chemical and Biological Treatment Technologies For Leather Tannery Chemicals And Wastewaters: A Review. *Science of the Total Environment*, 461, 265-281.

Lu, S., Gao, X., Wu, P., Li, W., Bai, X., Sun, M., & Wang, A. (2019). Assessment of The Treatment of Domestic Sewage by a Vertical-Flow Artificial Wetland at Different Operating Water Levels. *Journal of Cleaner Production*, 208, 649-655.

Mader, A. E., Holtman, G. A., & Welz, P. J. (2022). Treatment Wetlands and Phyto-technologies for Remediation of Winery Effluent: Challenges and opportunities. *Science of The Total Environment*, 807, 150544.

Magdum, S., Minde, G., & Kalyanraman, V. (2013). Rapid Determination of Indirect Cod and Polyvinyl Alcohol From Textile Desizing Wastewater. *Pollution Research*, 32(3), 515-519.

Mandi, L., Bouhoum, K., and Ouazzani, N. (1998). Application of Constructed Wetlands for Domestic Wastewater Treatment in an Arid Climate. *Water Science and Technology*, 38(1), 379-387.

Mannucci, A., Munz, G., Mori, G. and Lubello, C., (2010). Anaerobic Treatment Of Vegetable Tannery Wastewaters: A Review, *Desalination*, 264, 1–8.

Mbuligwe, S.E. (2005). Comparative Treatment of Dye-Rich Wastewater in Engineerd Wetlands (Ewss) Vegetated With Different Plants, *Water Research*, 39, 2-3, 271-280.

Merritt, A. (1994). Wetlands, Industry and Wildlife—A Manual of Principles and Practices, Wildfowl and Wetlands Trust, Slimbridge, 22-25.

Mitsch, W. J., and Gosselink, J. G. (1993). Wetlands. 2nd Edition John Wiley and Sons. Inc. New York, NY.

Mitsch, W.L. and Cronk, J.K. (1992). Creation and Restoration of Wetlands: Some Design Consideration for Ecological Engineering, Adv. Soil. Sci., 17, 217-255.

Moktadir, M. A., Rahman, T., Rahman, M. H., Ali, S. M. and Paul, S. K. (2018). Drivers to Sustainable Manufacturing Practices and Circular Economy: A Perspective of Leather Industries in Bangladesh. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1366-1380.

Moshiri, G. A. (2020). *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. CRC Press.

Munz, G., Gori, R., Cammilli, L. and Lubello, C. (2008). Characterization of Tannery Wastewater and Biomass in a Membrane Bioreactor Using Respirometric Analysis, *Bioresource Technology*, 99, 8612–8618.

Ong, S.A, Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y. and Yamagiwa, K., (2009). Phytoremediation of Industrial Effluent Containing Azo Dye By Model Up-Flow Constructed Wetland, *Chinese Chemical Letters*, 20, 225-228.

Ong, S.A, Uchiyama, K., Inadama, D., Ishida, Y. and Yamagiwa, K., (2010). Treatment of Azo Dye Azid Orange 7 Containing Wastewater Using Upflow Constructed Wetland With and Without Supplementary Aeration, *Bioresource Technology*, 101, 9049-9057.

Ottova, V., Bakarova, J. and Vymazal, J. (1997). Microbial Characteristics of Constructed Wetlands, *Water Sci. Technol.*, 35, 117–123.

Price, T. and Probert, D. (1997). Role of Constructed Wetlands in Environmentally-Sustainable Developments, *Applied Energy*, 57(2/3), 129-174.

Ran, N., Agami, M. and Oron, G. (2004). A Pilot Study of Constructed Wetlands Using Duckweed (*Lemna Gibba* L.) for Treatment of Domestic Primary Effluent in Israel, *Water Research* 38 page: 2241–2248.

Reddy, S., and Osborne, W. J. (2020). Heavy Metal Determination and Aquatic Toxicity Evaluation of Textile Dyes And Effluents Using *Artemia Salina*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 25, 101574.

Ruppelt, J. P., Tondera, K., Wallace, S. J., Button, M., Pinnekamp, J., and Weber, K. P. (2020). Assessing The Role of Microbial Communities in The Performance of Constructed Wetlands Used to Treat Combined Sewer Overflows. *Science of The Total Environment*, 736, 139519.

Reed, S. C., Crites, R. W. and Middlebrooks, E. J. (1995). Natural Systems for Waste Management and Treatment, Ed. 2, McGraw-Hill, Inc., p.

Shepherd, H.L., Grismer, M.E. and Tchobanoglous, G., (2001). Treatment of High-Strength Winery Wastewater Using a Subsurface-Flow Constructed Wetland, *Water Environ. Res.*, 73, 394–403.

Shutes, R. B. E. (2001). Artificial Wetlands and Water Quality Improvement. *Environment international*, 26(5-6), 441-447.

Song, Z., Williams, C.J., Edyvean, R.G.J., (2004). Treatment of Tannery Wastewater By Chemical Coagulation, *Desalination*, 164, 249–259.

Steiner, G. R. and Watson, J. T. (1993). General design, Construction and Operation Guidelines: Constructed Wetlands Wastewater Treatment Systems For Small Users Including Individual Residences, *Tennessee Valley Authority, Chattanooga, TN (United States)*.

Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O. And Moormann, H. (2003). Effects of Plants and Microorganisms in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. *Biotechnology advances*, 22(1-2), 93-117.

Subsurface Flow Constructed Wetlands In Lithuania, *J. Environ. Sci.Health*, 40A, 1467– 1478.

Tang, S., Liao, Y., Xu, Y., Dang, Z., Zhu, X. and Ji, G. (2020). Microbial Coupling Mechanisms of Nitrogen Removal in Constructed Wetlands: A Review. *Bioresource Technology*, 314, 123759.

Temel, F. A. (2017). Endüstriyel Atıksuların Arıtımında Yapay Sulak Alanların Kullanımı, Mühendislik Dergisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Cilt:8 Sayı:1, 213-226.

TSE. (2010). Türk Standardı TS 2789, Su Kalitesi, Kimyasal Oksijen İhtiyacı Tayini

UN-HABITAT. (2008). Constructed Wetlands Manual.

Uyanık, S., Armağan, B., Arı, H., Aslan, M., Gök. (2006). Kampüs Atıksuları İçin Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulak Alan Tasarımı, Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 26-28 Nisan 2006, Şanlıurfa, Turkey.

Ün, Ü.T., Altay, U., Koparal, A.S. and Öğütveren, B.Ü., (2008). Complete Treatment of Olive Mill Wastewaters By Electrooxidation, *Chem. Eng. J.*, 139, 445-452.

Vymazal, J. (1998). Constructed Wetlands For Wastewater Treatment in Europe, Backhuys Publishers, p.

Wang, B. (2006). Cultural Eutrophication in the Changjiang (Yangtze River) Plume: History and Perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 69(3-4), 471-477.

Welz, P. J., Holtman, G., Haldenwang, R., and le Roes-Hill, M. (2016). Characterisation of Winery Wastewater From Continuous Flow Settling Basins and Waste Stabilisation Ponds Over The Course Of 1 Year: Implications For Biological Wastewater Treatment and Land Application. *Water Science and Technology*, 74(9), 2036-2050.

Yavaş, U. (2019). Yüksek Tansiyon Tedavisinde Kullanılan Bazı İlaç Etken Maddelerinin UV-VIS Spektrofotometrik Ve Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografik (HPLC) Yöntemlerle İncelenmesi Ve Elde Edilen Verilerin Kemometrik Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

Zhang, Y., Ji, Z., and Pei, Y. (2021). Nutrient Removal and Microbial Community Structure in an Artificial-Natural Coupled Wetland System. *Process Safety and Environmental Protection*, 147, 1160-1170.

Zhuang, L. L., Yang, T., Zhang, J., and Li, X. (2019). The Configuration, Purification Effect and Mechanism of Intensified Constructed Wetland For Wastewater Treatment From The Aspect of Nitrogen Removal: A review. *Bioresource Technology*, 293, 122086.



EKLER



ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0000-0002-6468-9017

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad-Soyad: İrem ÖZKUL

EĞİTİM

Lise: H. Ahmet Kanatlı Anadolu Lisesi, Eskişehir

Üniversite: Anadolu Üniversitesi

Yüksek Lisans: Eskişehir Teknik Üniversitesi

İŞ TECRÜBESİ

Bolat Geri Dönüşüm 08.2019-01.2021 (1 yıl 5 ay)

Gamateks Tekstil A.Ş. 12.2021-Halen