

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Onur SEVİM**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2013
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Onur SEVİM**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından 4596 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2013
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

Hazırlayan

Onur SEVİM

Danışman

Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN

Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 4596 nolu proje ile desteklenmiştir.

Kasım 2013

KAYSERİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Onur Sevim



YÖNERGEYE UYGUNLUK

Yapay Sulakalanlarda Renk Gideriminin İncelenmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Onur Sevim



Danışman

Yrd. Doç. Dr. Evrim Karaçetin



ABD Başkanı

Doç. Dr Yalçın Şevki Yıldız



Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN danışmanlığında Onur SEVİM tarafından hazırlanan “Yapay Sulakalanlarda Renk Gideriminin İncelenmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

13 /11/2013

JÜRİ:

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN
Üye :Doç. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ
Üye :Yrd. Doç. Dr. Nuray ATEŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 10/12/2013 tarih ve 2013/53-09 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

10 / 12 / 2013



Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU

Enstitü Müdürü

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Onur SEVİM**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN**

Yüksek Lisans Tezi

**Kasım 2013
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Onur SEVİM**

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN**

**Bu çalışma; Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından 4596 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Kasım 2013
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

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

Onur Sevim

YÖNERGEYE UYGUNLUK

Yapay Sulak Alanlarda Renk Gideriminin İncelenmesi adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan

Onur Sevim

Danışman

Yrd. Doç.Dr. Evrim Karaçetin

TEZ KABUL VE ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN danışmanlığında Onur SEVİM tarafından hazırlanan “Yapay Sulakalanlarda Renk Gideriminin İncelenmesi” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

13 /11/2013

JÜRİ:

Danışman :Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN

Üye :Doç. Dr. Yalçın Şevki YILDIZ

Üye :Yrd. Doç. Dr. Nuray ATEŞ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... /..... /

Prof. Dr. Kâzım KEŞLİOĞLU
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bilimsel katkıları, yardımseverliği ve arkadaşlığından dolayı sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN’ne teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Doç. Dr. Yalçın Şevki Yıldız, Yrd. Doç. Dr. Nuray Ateş, Yrd. Doç. Dr. Filiz Dadaşer Çelik, Arş. Gör. Ömür Gökkuş, Arş. Gör. Şükrü Taner Azgın, Arş. Gör. Hamdi Mihçioğur, Arş. Gör. İbrahim Uyanık ve Yrd. Doç. Dr. İbrahim Bahtiyari’ye teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmalarında deneylerde destek olan Seda Hasserbetçi, Neriman Sağıroğlu, Mert Yiğit’e teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasına maddi destek veren Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne (Proje No: 4596) teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen canım eşim Erhan Sevim’e ve kızım Günay Sevim’e, tekrar başlamamda beni yüreklendiren babam Salih Günay ve annem Dudu Günay’a, reaktör sızdırmazlık çalışmaları için Seçkin Silici’ye, bitki ve dolgu malzemesi arazi etüdü için yardım eden Mehmet Sevim’e, kızıma baktığı için kardeşim Özge Silici’ye, duaları için anneannem Şerife Arıkan’a, ve annem Necla Sevim’e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Onur SEVİM
Kayseri, Kasım 2013

YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Onur SEVİM

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Kasım 2013

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Evrim KARAÇETİN

KISA ÖZET

Yapay sulakalanlar doğal süreçler kullanılarak tasarlanmış arıtım amaçlı kullanılan yarı-kontrollü mühendislik sistemleridir. Yapay sulakalanlarda arıtım, doğal proses ve döngülerin taklit edilmesi yoluyla sağlanır.

Yapay sulakalanlar her ne kadar küçük yerleşim birimlerinde evsel atıksuyun arıtılması konularında standartlaştırılmış hale getirilmiş olsalar da, günümüzde çok farklı amaçlarla da kullanılabilmektedirler. Bu alanlardan bir tanesi de tekstil atıksuyu olup, yapay sulakalanların tekstil atıksuyu arıtımı üzerindeki etkisi de yeni yeni araştırılan konulardan bir tanesi haline gelmiştir.

Bu çalışmada yapay sulakalanların arıtım üzerindeki etkileri araştırılmış olup, tekstil atıksuyu içerisinde doğal boyamacılığa yönelinmiş ve doğal boyamacılıkta sıkça kullanılan ceviz ile boyamada kullanılan boyalar üretilerek, laboratuvar ölçeğinde hazırlanmış bir yapay sulak alanda arıtım verimi araştırılmıştır.

Pilot yapay sulakalan dikey akışlı silindirik bir yapay sulakalan ve yatay akışlı bir dikdörtgen havuzdan oluşmaktadır. Bitkinin etkisinin ölçülmesi amaçlı bitkili ve bitkisiz iki sistem tasarlanmış ve aynı atıksu iki sisteme de aynı anda verilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre %71 ile %96 aralığında renk giderimi elde edilmiş, KOI gideriminde ise %90'lara varan verimler gözlenmiştir.

Çalışma yapay sulakalanların renk giderimi konusunda oldukça etkili olduğunu ve özellikle doğal boyamacılığın yapıldığı küçük yerleşim birimlerinde iyi bir arıtım alternatifi olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay sulakalanlar, tekstil atıksuyu, renk giderimi.

INVESTIGATING COLOR REMOVAL IN CONSTRUCTED WETLANDS**Onur SEVİM****Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences****M.Sc. Thesis, November 2013****Supervisor: Yrd. Doç. Dr.Evrim KARAÇETİN****ABSTRACT**

Constructed wetlands are wetlands designed using natural processes whose aim is for treatment of wastewater in semi-controlled engineering systems. Constructed wetlands achieve treatment by imitating the natural processes and cycles .

Although constructed wetlands are standardized in small settlements on municipal waste water treatment, they also can be used for very different purposes. One of these purpose is the treatment of textile waste water and increasing number of studies are concentrating on solving the on the most problematic issues on this subject.

This study investigated the effects of artificial wetlands on the treatment of textile waste water and natural dyeing. In this study researchers concentrated on walnut textile dye, of the most commonly used natural dyes and color removal was studied in a laboratory scale constructed wetland and removal of color was investigated.

Pilot scale constructed wetland involved a vertical flow cylinder combined to a horizontal flow rectangular pool. To be able to measure the influence of plant of color removal two systems were prepared; one with plant the other without plants and both of the systems were given with the same wastewater at the same time. According to the results, between of 71% and 96% color removal was observed and COD efficiency was approximately %90.

This study shows that constructed wetlands are quite effective in removal of color and can be very practical especially in small residential areas where natural dying methods are readily applied and can be a very good alternative for water treatment.

Keywords: color removal; constructed wetlands, textile wastewater.

İÇİNDEKİLER

YAPAY SULAKALANLARDA RENK GİDERİMİNİN İNCELENMESİ

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	II
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	III
TEZ KABUL VE ONAY SAYFASI	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTACT	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
TABLolar LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLER LİSTESİ	XII
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Yapay Sulakalanlar.....	4
1.1.1. Yapay Sulakalan Tipleri ve Kullanım Alanları	6
1.1.1.1. Yüzeyakışlı Yapay Sulakalanlar	8
1.1.1.2. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalanlar	9
1.1.2. Yapay Sulakalanları Oluşturan Bileşenler	10
1.1.3. Yapay Sulakalanlarda Giderim	12

1.2. Doğal Boyamacılık ve Çevreye Etkisi.....	16
1.2.1. Doğal Boyama Yöntemleri	17
1.3. Atıksularda Renk	21
1.3.1. Renk Ölçüm Metotları.....	22
1.3.1.1. Spektrofotometrik Metot.....	22
1.3.1.2. Tristimulus Filtre Metodu	23
1.3.1.3. ADMI Tristimulus Filtre Yöntemi	23
1.3.1.4 . Görsel Karşılaştırma Metodu	24
1.3.2. Renklilik Sayısı (RES)	24
1.3.3. Atıksularda Renk Giderim Yöntemleri	25
1.3.3.1 Fiziksel Yöntemler	25
1.3.3.2. Biyolojik Yöntemler	28
1.3.3.3. Kimyasal Yöntemler	30

2. BÖLÜM

MATERYAL METOT

2.1 Atıksu Oluşturulması.....	32
2.2. Pilot Yapay Sulakalan Sistemi	34
2.3. Analizler	43
2.3.1. Renk Ölçümleri	43

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Renk Giderimi	44
3.2. KOI (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) Giderimi	46
3.3. TOK (Toplam Organik Karbon) Giderimi	46
3.4. Amonyum Azotu (NH₄-N) Giderimi.....	47
3.5. Nitrat Azotu (NO₃-N) Giderimi	47

3.6. AskıdaKatı Madde (AKM) Giderimi	48
3.7. pH Ölçümü.....	48

4. BÖLÜM

TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Tekstil Atıksuyu ve Yapay Sulakalanlarda Giderimi.....	49
4.2. Yapay Sulakalanlarda Giderim Mekanizmaları.....	51
4.2.1. Sistemde Renk Giderimi.....	52
4.2.2. KOI Giderim Mekanizması.....	54
4.2.3. Azot Giderimi	55
4.2.4. Toplam Organik Karbon (TOK) Giderimi	57
4.3. Sonuç ve Öneriler	57
KAYNAKLAR	59
ÖZGEÇMİŞ.....	65

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1. 1. Atıksu arıtımında kullanılan yapay sulakalan tipleri	7
Tablo 1. 2. Yapay sulakalanlardaki bitkilerin özelliği ve arıtma prosesindeki rolü	13
Tablo 1. 3. Fitoremediasyon teknikleri	14
Tablo 1. 4. Mordanlama işleminde kullanılan mordan maddeleri	19
Tablo 2. 1. Dolgu malzemeleri.....	35
Tablo 2. 2. Sistemin çeşme suyu ile yıkandıktan sonraki renk absorbands değerleri.....	41
Tablo 2. 3. Sistemin çalışma süreci ve yapılan işlemler	42
Tablo 3. 1. Renk ölçüm sonuçları	45
Tablo 3. 2. KOI ölçüm sonuçları	46
Tablo 3. 3. TOK ölçüm sonuçları	47
Tablo 3. 4. Amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$) ölçüm sonuçları ve giderim verimleri	47
Tablo 3. 5. Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) ölçüm sonuçları ve giderim verimleri.....	48
Tablo 3. 6. pH ölçüm sonuçları	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Yüzey akışlı yapay sulakalan kesiti	8
Şekil 1. 2. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan kesiti	9
Şekil 2. 1. Cevizde boyar madde özelliği gösteren organik bileşik Juglon'un kimyasal gösterimi.....	33
Şekil 2. 2. Atıksuyun hazırlanması	33
Şekil 2. 3. Yapay sulakalan sisteminin şematik görünümü	34
Şekil 2. 4. Yapay sulakalan sisteminden genel bir görünüm	36
Şekil 2. 5. Sistemde kullanılan kaba çakıl ve tane büyüklüğü	37
Şekil 2. 6. Sistemde kullanılan ince çakıl ve tane büyüklüğü	37
Şekil 2. 7. Sistemde kullanılan inşaat kumu	38
Şekil 2. 8. Çeşme suyu ile yıkanmış dolgu malzemesinden bir görünüm.....	38
Şekil 2. 9. Bitkilerin laboratuvara getirilmesi ve ekiminden önce bir görünüm	39
Şekil 2. 10. Bitki ekilmiş reaktörlerden bir görünüm.....	40
Şekil 4. 1. Cevizde boyar madde özelliği gösteren organik bileşik Juglon'un kimyasal gösterimi.....	52
Şekil 4. 2. Karbon döngüsü	53
Şekil 4. 3. Renk giriş ve çıkış abs. değerleri	54
Şekil 4. 4. Giriş ve çıkış KOI değerleri.....	55
Şekil 4. 5. Sulakalanlarda azot döngüsü.....	55
Şekil 4. 6. Giriş-çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri	56
Şekil 4. 7. Giriş-çıkış $\text{NO}_3\text{-N}$ değerleri	56
Şekil 4. 8. Giriş-çıkış TOK değerleri	57

GİRİŞ

Yapay sulakalanlar doğal süreçler kullanılarak tasarlanmış arıtım amaçlı kullanılan yarı-kontrollü mühendislik sistemleridir [1]. Yapay sulakalanlarda arıtım, doğal proses ve döngülerin taklit edilmesi yoluyla sağlanır. Sistem; sulakalan bitkilerini, toprak ve onların atıksu arıtımına yardımcı olan mikrobiyal topluluklarla olan ilişkilerini içerir [2].

Yapay sulakalanların, diğer arıtım sistemlerine göre pek çok avantajları bulunmaktadır. Bu avantajlar; doğal proseslerin taklit edilmesi, basit yapım tekniklerinin olması (ki doğal ve yerel malzemelerin kullanılması yoluyla yapılabilir), işletim ve bakım maliyetlerinin düşük ve basit olması ve proseslerin istikrarlı olması olarak gösterilmektedir. Bu avantajlarına rağmen, geniş alan ihtiyacı, her iklimsel koşula ve her tip atıksuya uygun olmaması gibi dezavantajları bulunmaktadır [3]. Bu dezavantajlarına rağmen günümüzde, çalıştırılmasının uygun olduğu yerlerde giderek yaygınlaşan atıksu arıtım tesisleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Öyle ki, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) özellikle gelişmekte olan ülkelerde özendirilmesine yönelik kampanyalar başlatarak, su kirlenmesinin önlenmesi hedefli en ekonomik ve etkili sistemlerden biri olduğunu vurgulamaktadır. Türkiye’de de Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayınlanmış olan 2010 yılı 2000 kişilik tip projesi proses raporu ile yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. 2005 yılı tarihinde Türkiye’de 43 tane yapay sulakalan yapılmış bulunmakta olup günümüzde bu sayı giderek artmaktadır [4].

İlk defa 1960 ve 1970’lerde iki Alman araştırmacı Dr. Kathe Seidel ve Dr. Reinhold Kickuth tarafından tasarlanan yapay sulakalanlar, her ne kadar küçük yerleşim

birimlerinde evsel atıksuyun arıtılması konularında standartlaştırılmış hale getirilmiş olsalar da, günümüzde çok farklı amaçlarla da kullanılabilirler [2].

Genel olarak kullanım amaçları sınıflandırıldığında evsel atıksuların arıtımı, tarımsal atıksuların arıtımı, endüstriyel atıksuların arıtımı ve yağmur/fırtına suyu arıtımı, asit maden atıksularının arıtımı gibi amaçlarla karşımıza çıkmaktadır [5]. Ancak özellikle son elli yılda yerel ve göçmen yaban hayatı için, insan kaynaklı atıksuların arıtımında, fırtına sularının fazlasının deşarjında, kanalizasyon arıtımında, madencilik sonrası arazi düzenlemesi gibi amaçlar da ortaya çıkabilmektedir. Ayrıca 1991-2011 yılları arasında on farklı dilde yayınlanmış olan makaleleri tarayan Zhi ve Ji'nin araştırmasına göre, yapay sulakalanlar ile ilgili yayınlar giderek artmaktadır. Yaptıkları çalışmada yirmi yıllık süreç içerisinde yapay sulakalanlarla ilgili 3787 yayını incelemiş olup, sadece ağır metallerin arıtımını inceleyen 111 çalışma bulunduğunu belgelemiştir. Bu da göstermektedir ki, yapay sulakalanların farklı alanlardaki etkileri giderek araştırılmakta ve farklı kullanım amaçları ortaya konulmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de tekstil atıksuyu olup, yapay sulakalanların arıtımı en sorunlu atıksular üzerindeki etkisi de giderek artan araştırma konuları haline gelmektedir [6-9].

Tekstil endüstrileri çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Tekstil atıksuları genellikle yüksek pH ve renk içeriği, düşük biyolojik parçalanabilirlik gibi özellikleri ile kirli atıksular arasında yer almakta, ve arıtılmadan alıcı ortamlara verildiğinde ciddi ekolojik sorunlara sebep olmaktadır [10]. 1980'lerden sonra bazı sentetik boyar maddelerin toksik ve kanserojen özellikleri ve çevre kirliliğine neden olmalarının farkına varılmasıyla, doğal boyar maddelerin kullanımlarını yeniden gündeme gelmiştir [11] Günümüzde henüz çok yaygın olarak kullanılsa da, doğal boyamacılık giderek artan bir ekonomik aktivite haline gelmektedir. Doğal boyamacılığın ekolojik olarak etkisinin düşük olduğu gibi bir kanı oturmuştur. Ancak, sentetik boyar maddelerin kullanıldığı tekstil sektöründe kullanılan pek çok kimyasal, doğal boyamacılıkta da kullanılmaktadır [12]. Bu sebeple, doğal boyamacılığın çevreye benzer negatif etkiler verdiği düşünülmektedir. Ayrıca, doğal boyar madde kullanılarak

oluşan tekstil atıksularında renk, sentetik boyar madde kullanılarak oluşan atıksularda da olduğu kadar önemli bir sorundur. Alıcı sulara verilen renkli atıksuların, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltmak ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkilemek gibi pek çok olumsuz etkileri vardır.

Bu sebeplerle doğal boyamacılığın yaygın olduğu yerleşim yerlerinde de, arıtım ve renk giderimi gerçekleştirilmelidir. Doğal boyamacılığın özellikle kırsal kesimlerde yaygın olarak kullanıldığı göz önüne alındığında, en etkin ve ekonomik arıtım sistemi olarak yapay sulakalanlar karşımıza çıkmaktadır.

Bu sebeple, doğal boyamacılık sonucu oluşan atıksuların yapay sulakalanlar kullanılarak arıtımı, çalışılması gereken öncelikli konular arasında olmalıdır, ki bu alanda yapılmış çalışma neredeyse hiç bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; ceviz boyar maddesi kullanılarak elde edilen tekstil atıksuyunun laboratuvar ortamında oluşturulan hibrit yapay sulakalanda arıtımı araştırılacak olup özellikle renk giderimi üzerinde durulacak ve temel atıksu kirlilik parametrelerine bakılacaktır.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Yapay Sulakalanlar

Sulakalanlar, binlerce yılda doğanın kendi iç dengesi içinde oluşturduğu sucul ekosistemlerdir. Sulakalanlar yeryüzündeki başka hiçbir ekosistemle kıyaslanamayacak işlev ve değerlere sahiptir. Başta su kuşları olmak üzere zengin yaban hayatını barındırmalarının yanı sıra, bölgenin su rejimini düzenleme, iklimini yumuşatma, tortu ve zehirli maddeleri tutarak suyun kalitesini arttırma gibi işlevleri vardır. Ayrıca balıkçılık, avcılık, sazıcılık ve turizm faaliyetleriyle bölge ve ülke ekonomisine katkı sağlamaktadırlar [13].

Doğal sulakalanların en önemli ekosistem hizmeti olarak doğal arıtım ortaya çıkmaktadır. Bu özellikleri uzun yıllar boyunca kültürel olarak da farkedilmiş, suyun arıtım yeteneği ile ilgili atasözleri bile dilimize yerleşmiştir. Bu sebeplerle doğal sulakalanlar başlangıçta sadece atıksuların verildiği alıcı ortam olarak değerlendirilmiştir, alıcı suların bir parçası olmuştur [4]. Ancak sulakalanların arıtım kapasitesinin üzerine çıkılması ile ciddi kirlilik sorunları ortaya çıkmaya başlamış ve arıtım işlevlerinin hangi parametrelere bağlı olduğu araştırılmaya başlanmıştır. Halen ülkemizde, pek çok kırsal alanda, hatta bazı illerde, arıtıma uğratılmayan atıksular, doğal sulakalan sistemlerine direk olarak deşarj edilmektedir ve kapasitesinin altında atıksu ile karşı karşıya kaldığı durumlarda her ne kadar mikrobiyal kontaminasyona

bağlı olan hastalık riskleri oluşabilse de, doğal sulakalan ekolojik sistemleri arıtımı gerçekleştirebilmektedir.

Yapay sulakalanlar, doğal sulakalanların arıtım süreçleri taklit edilerek tasarlanmış, arıtım amaçlı kullanılan yarı-kontrollü mühendislik sistemleridir [14]. Yapay sulakalanlarla ilgili ilk çalışmalara 1950'li yıllarda Almanya'da Max-Planck Enstitüsünde Dr Kathe Seidel tarafından başlanmıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışmaların çoğunda köklü makrofitlerin (özellikle *Schoenoplectus lacustris* bitkisi) atıksudan organik ve inorganik kimyasalları gidermede katkısının olduğunu bulmuştur [5].

Yapay sulakalanların temelini oluşturan önemli araştırmacılardan bir tanesi de Dr. Reinhold Kickuth olup son elli yılda deneysel düzeyden giderek daha popüler olan uygulama alanı haline gelmiş, göçmen ya da yerleşik yaban hayatına yönelik habitat restorasyonundan, arıtıma, yağmur sularının giderimine, maden alanlarının restorasyonuna, fırtına gibi ekolojik etkenlerin etkilerinin azaltılmasına kadar pek çok farklı alanda kullanılmaya başlanmıştır. Kirlilik kontrolünde yapay sulakalanlar, hem etkili hem de ekonomik bir alternatif olarak ön plana çıkmıştır. Bu arıtım sistemlerine evsel atıksular, tarımsal atıksular, endüstriyel atıksular, şehirselle yağmur suyu, ve asit-maden drenaj sistemleri örnek verilebilir [2].

Yapay sulakalanlarda arıtım, doğal proses ve döngülerin taklit edilmesi yoluyla sağlanır. Sistem; sulakalan bitkilerini, toprak ve onların atıksu arıtımına yardımcı olan mikrobiyal topluluklarla olan ilişkilerini içerir [15]. Genel itibariyle bir yapay sulakalan beş ana bileşenden oluşmaktadır: (1) havuz, (2) dolgu malzemesi (genellikle kum ya da çakıl), (3) bitki örtüsü, (4) geçirimsiz tabaka, (5) giriş-çıkış düzenleme sistemleri [3]. Atıksu; havza içerisine giriş yapar, yüzey ya da dolgu malzemesinin etrafından akışa geçer, atıksuyun derinliğini kontrol eden yapılar sayesinde havza dışına deşarj edilir ve bu sırada arıtım gerçekleşir.

Yapay sulakalanlar günümüzde giderek yaygınlaşan atıksu arıtım tesisleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) özellikle gelişmekte olan ülkelerde özendirilmesine yönelik kampanyalar başlatmış, tip projeler geliştirmiştir. Türkiye’de henüz büyük nüfus ölçekli sulakalanlar mevcut değildir, kırsal kesimdeki küçük nüfuslu bölgelerde inşa edilmektedir. Bu konudaki ilk pilot-ölçekli çalışma bu sistemlerin Türkiye şartlarına uygun tasarım kriterlerinin geliştirilmesi için 1995 yılında Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu-Marmara Araştırma Merkezi (TÜBİTAK-MAM) Gebze Kampüsünde kurulan yapay sulakalandır [16]. Daha sonra 2001 yılında ODTÜ Kampüsünde kurulan 2 adet yapay sulakalanla evsel nitelikli suların arıtımı sağlanmıştır [17]. Bu konudaki diğer bir pilot-ölçekli çalışma ise 2003 yılında İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresine (İSKİ) ait Paşaköy Atıksu Arıtma Tesisi alanına kurulan 3 adet pilot tesistir [18-19].

Diğer pilot projelere örnek olarak Şanlıurfa Viranşehir ve Paşaköy ve Ömerli uygulamaları verilebilir. Türkiye’de yapay sulakalan uygulamasına Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğünce yürütülen “Doğal Arıtma Projesi” kapsamında, Ankara Haymana Dikilitaş Köy sulakalanı çalışması yapılmış ve bu kapsamda yapay sulakalan çıkış suyunun tarımsal sulamada kullanılması hedeflenmiştir. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü’nün bünyesinde kurulan ve işletilen diğer projeler ise Manisa Saruhanlı-Yeni Osmaniye ve Manisa-Akhisar-Sakarya köyleri ile Muğla-Bodrum-Güvercinlik köylerindeki sulakalanlarıdır [4]. Tüm bu çalışmaların sonrasında 2004 itibari ile Türkiye’de 43 adet sulakalan olduğu bilinmektedir ve 2010 yılındaki raporlara göre 174 tanesinin ise projelendirme aşamasında olduğu belirtilmiştir.

1.1.1. Yapay Sulakalan Tipleri ve Kullanım Alanları

Atıksu arıtımında kullanılan yapay sulakalanlar, bitki tipine, suyun bulunduğu seviyeye, akış tipine ve akış yönüne göre farklı kategorilere ayrılmakta ve isimlendirilmektedir. Yapay sulakalanların gruplandırılması Tablo 1.1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. 1. Atıksu arıtımında kullanılan yapay sulakalan tipleri [15].

Sınıflandırma Ölçütü	Yapay Sulakalan Tipleri				
Su Seviyesi	Yüzeysel				Yüzey Altı
Bitkiler	Serbest Yüzen	Yüzen Yapraklı	Batık	Köklü	Köklü
Akış	Yatay				Yatay Dikey
Yön					Aşağı Akış Yukarı Akış

Su seviyesine ve göre yapay sulakalanlar iki ana gruba ayrılmaktadır: (1) yüzey akışlı yapay sulakalanlar, (2) yüzey altı akışlı yapay sulakalanlardır (Tablo 1.1). Yüzey akışlı yapay sulakalanlarda, su yüzeyde bulunur ve sulakalan görüntüsü doğal bir sulakalanı andırır. Bu tip sulakalanlarda serbest yüzen, köklü, batık makrofit sistemlerinin kombinasyonları kullanılır (Tablo 1.1). Yüzey altı akışlı yapay sulakalanlarda, su toprak altında bulunur ve yüzeye çıkmaz, bu sebeple de makrofit seçiminde köklü bitkiler kullanılır.

Yapay sulakalanların farklı alanlarda, özellikle de endüstriyel uygulamalara geçmesiyle beraber farklı sınıflandırmalar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bitkilerin temel alındığı bir sınıflandırma sisteminde yapay sulakalanlar; serbest yüzen makrofitler, köklü makrofitler, batık makrofitler, ormanlık alan sistemleri ve çoklu alg sistemleri olmak üzere beş farklı gruba da ayrılabilir.

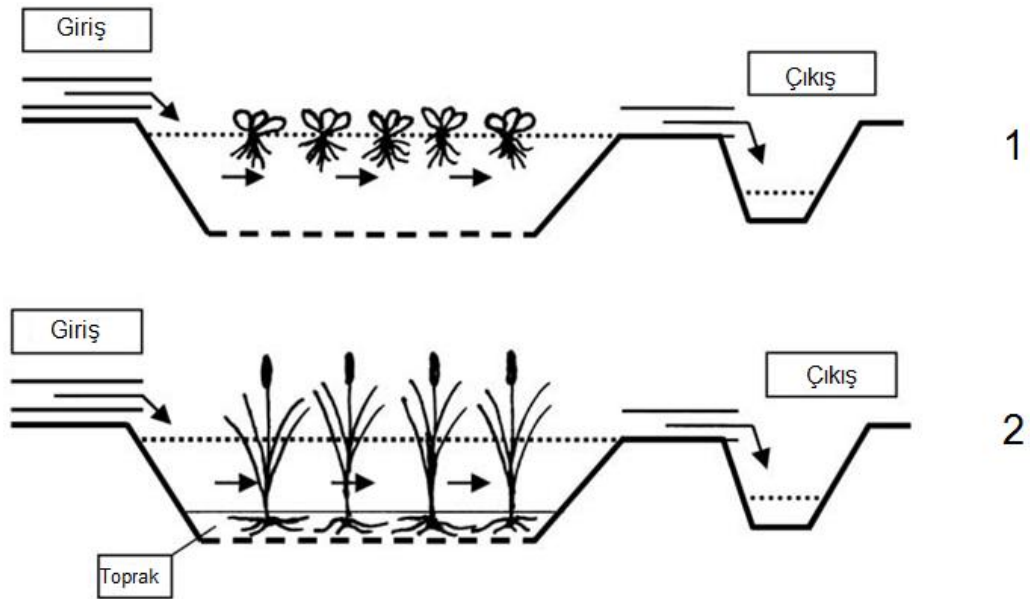
Yapılacak olan sulakalan sistemlerinde öncelikli seçim, iklimsel koşullara bağlı olarak suyun yüzeyde mi yoksa yüzey altında mı olması gerektiği tercihidir. Bu sebeple çoğunlukla ilk sınıflandırma su seviyesi düzeyinde yapılır [20]. İklimsel koşulların daha az değişken olduğu, tropikal bölgelerde ya da ülkemizde Akdeniz ikliminin hakim olduğu bölgelerde yüzey akışlı sistemler de kullanılabilir. yaz-kış hava sıcaklığı farkının yüksek olduğu bölgelerde çoğunlukla yüzey altı akışlı sistemlere yönelir [21]. Çalışmamızda İç Anadolu iklim koşullarının temsil edilmesi sebebiyle yüzey altı akışlı sistemleri çalışma sistemlerine odaklanılmıştır.

1.1.1.1. Yüzeyakışlı Yapay Sulakalanlar

Yüzey akışlı yapay sulakalanlarda su yüzeyde bulunup, bataklık benzeri özelliğe sahip olabilirler ve bu sayede çamur ve diğer siltli kil gibi geniş bir toprak tipi çeşitliliğinin bulunduğu alanlarda yapılabilirler [22].

Serbest yüzen, batık, köklü ve köksüz bitkiler tercih edilebilse de, en çok kullanılan bitkiler arasında saz (*Typha* sp.), hasır otları (*Phragmites* sp.), su sümbülü (*Eichhornia crassipes*) ve *Pontederia* sp. gibi bitkiler yer alır. Saz ve hasırotları dünya çapında yaygın olarak bu sulakalanlar için kullanılmaktadır.

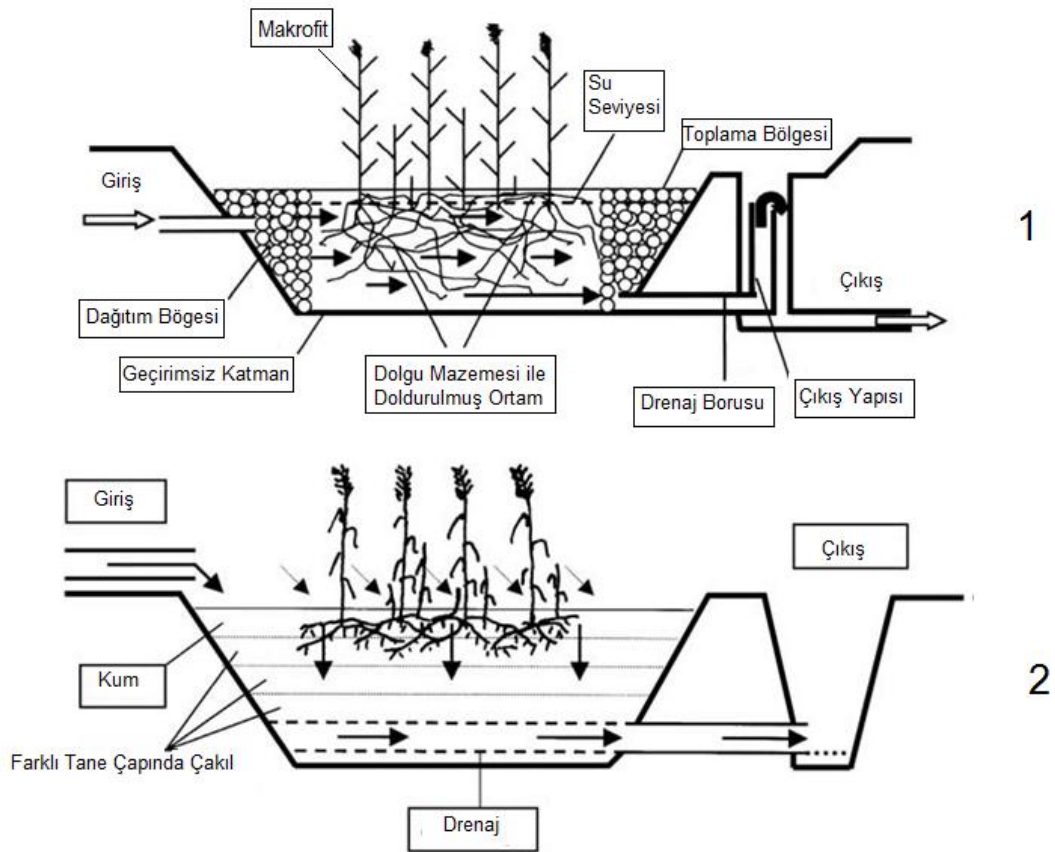
Yüzey akışlı yapay sulakalanlarda, su yüzeyi dolgu malzemesinin üzerindedir. Doğal bataklık veya sulakalanlara benzeyen bu sistemlerde yüzeye yakın bölgeler aerobik, su ve dolgu malzemesi anaerobik koşullar taşırken, bitkilerin ve bitki köklerinin çevresi aerobik ortam oluşturur [16].



Şekil 1. 1. Yüzey akışlı yapay sulakalan kesiti [1]: (1) Yüzen yapraklı makrofit sistemi, (2) Köklü makrofit sistemi.

1.1.1.2. Yüzeyaltı Akışlı Yapay Sulakalanlar

Yüzey altı akışlı yapay sulakalanlarla ilgili ilk çalışmalara 1950 yılında Almanya’da Max-Planck Enstitüsünde Dr. Kathe Seidel tarafından başlanmıştır. Yapmış olduğu deneysel çalışmaların çoğunda köklü makrofitlerin (özellikle *Schoenoplectus lacustris* bitkisi) atıksudan organik ve inorganik kimyasalları gidermede katkısının olduğunu bulmuştur. Bu proses çakıl yatağı makrofit sistemi olarak bilinmektedir ve Krefeld sistemi ya da Max-Planck Enstitü sistemi olarak da adlandırılmaktadır [5].



Şekil 1. 2. Yüzeyaltı akışlı yapay sulakalan kesiti: (1) Yatay yüzeyaltı akışlı sistem (2) Dikey yüzeyaltı akışlı sistem [1].

Bu sistemlerde su, dolgu malzemesinin altından akar ve yüzeyde görünmez. Soğuk iklim koşullarına dayanıklı olan bu sistemlerde, koku problemi büyük ölçüde azaltılmış olup, atıksuyun yüzeyde olmamasından kaynaklı olarak, hastalık ve böcek sorunu da

büyük ölçüde çözülmüştür. Toprak altında bulunan dolgu malzemelerinin gözenekli yüzey alanını arttırmasıyla arıtımda verim sağlanır. Bu sistemlerde sadece köklü bitkiler kullanılır. *Typha* ssp. ve *Phragmites* spp. en çok kullanılan bitki türleri olarak karşımıza çıkmaktadır [22].

Yüzey altı akışlı yapay sulakalanlar kendi içerisinde yatay ve dikey akışlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 1.2). Her bir sistemin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Yatay yüzey altı akışlı yapay sulakalanlar organik ve askıda katı maddelerin giderimini yüksek oranda sağlarken nütrient giderimi düşüktür.

Azot giderimi; amonyak nitrifikasyonuna izin vermeyen filtrasyon yatağı içerisinde anoksik/anaerobik şartlar tarafından kısıtlanır. Fosfor giderimi ise düşük emilim kapasiteli filtre malzemelerinin kullanımı ile kısıtlanır. Yatay yüzey altı akışlı yapay sulakalan sistemlerinde oksijen transfer kapasitesinin kısıtlanmasından dolayı nitrifikasyon sağlanmazken diğer yandan dikey akışlı sistemler nitrifikasyon için uygun şartları sağlar ancak bu sistemlerde de denitrifikasyon oluşmaz. Yapay sulakalanların çeşitli tipleri, yüksek arıtma etkisini başarmak için birleştirilmiş ve hibrit sistemler oluşturulmuştur. Hibrit sistemler, daha çok dikey akış ve yatay akışlı sistemlerin aşamalı bir şekilde düzenlenmesiyle oluşturulmaktadır [15]. Bu çalışma sırasında hibrit bir sistem dizayn edilmiş olup, renk giderimi üzerine etkisi araştırılacaktır.

1.1.2. Yapay Sulakalanları Oluşturan Bileşenler

Genel itibariyle bir yapay sulakalan beş ana bileşenden oluşmaktadır: (1) havuz, (2) giriş-çıkış düzenleme sistemleri, (3) geçirimsiz tabaka, (4) dolgu malzemesi (genellikle kum ya da çakıl), (5) bitki örtüsü [3].

Havuz; suyun bekletildiği bölge olup, yüzey altı akışlı sistemlerde atıksuyun debisi ve kirlilik parametrelerine göre büyüklüğü belirlenir. Havuzun büyüklüğü arıtım kapasitesini belirler [23]. Türkiye'deki çalışmalarda kişi başı havuz büyüklüğü üzerinden hesaplamalar yapılarak arıtımın gereken verime ulaşması sağlanmaktadır.

Giriş çıkış düzenleme sistemleri, suyun havuz içerisinde hareketi, seviye kontrolü gibi işlevleri gerçekleştiren mekanik aksamı oluşturur. Atıksu; havuz içerisine giriş yapar, yüzey ya da dolgu malzemesinin etrafından akışa geçer, atıksuyun derinliğini kontrol eden yapılar sayesinde havuz dışına deşarj edilir ve bu sırada arıtım gerçekleşir.

Geçirimsiz tabaka, havuzun en alt kısmında kullanılan ve suyun geçirimini önleyen bir tabakadır. Atıksuyun yeraltına sızması ve kirliliğe sebep olmaması, ayrıca su bütçesinin doğru olarak hesaplanabilmesi kullanım amaçları olarak sıralanabilir. Kil gibi doğal malzemeler kullanılabilirken, en yaygın kullanılan geçirimsiz tabakayı geomembran oluşturmaktadır. Geçirimsiz tabaka seçiminde suyu geçirmemesi dışında ön plana çıkan diğer özellikler şunlardır: sıcaklık değişimine dayanıklı olması, bitki-ağaç köklerinin verebileceği hasara karşı dayanıklı olması, giderim mekanizmasına girişim yapmaması [24].

Dolgu malzemesi, sistemde fiziksel arıtımın gerçekleştiği önemli tabakalardan birini oluşturur. Mikrobiyal komünitelerin yaşam ortamlarını sağlaması açısından da arıtım için önem taşımaktadır. Yüzey altı akışlı sistemlerde atıksu yatay veya dikey olarak dolgu malzemesi etrafından akmaktadır. Arıtma prosesi ise dolgu malzemesi yüzeyi ve bitki rizosferinin ilişkide olduğu esnada gerçekleşmektedir. Dolgu malzemeleri genel olarak; ırmak kumu, çakıl, toprak, kil, turba, kaya ve zeolitten oluşmaktadır. Dolgu malzemesi seçiminde tane boyutu, porozitesi, kimyasal yapısı (bağ yapma özelliği), yerel olması, maliyeti gibi unsurlar göz önüne alınmaktadır. Çoğunlukla farklı tane çapı sahip dolgu malzemeleri bir arada kullanılarak porozitenin çeşitlenmesi sağlanmaktadır ki, bu sayede arıtımın veriminin artması hedeflenmektedir.

Bitkiler, yapay sulakalanların arıtımda etkisini arttıran en önemli bileşenlerinden biridir. Sulakalanlarda yetişen büyük sucul bitkiler makrofit olarak isimlendirilmektedir. Bu terim sucul damarlı bitkileri, sucul yosunları ve bazı büyük algleri içermektedir. Makrofitler atmosferden inorganik karbonu asimile etmek ve organik madde üretmek için güneş enerjisini kullanırlar. Makrofitlerin varlığı sulakalanların en dikkat çeken özelliklerinden biridir ve yapay sulakalanları ekilmemiş toprak filtreleri ya da

lagünlerden ayırır. Yapay sulakalanlarda yetişen makrofitlerin arıtma prosesinde temel bileşen olmalarının önemli nedenleri arasında; kök çevresindeki aerobik ortam oluşturarak mikrobiyal arıtıma olanak sağlaması, bitkisel özümseme, süzme, sabitleştirme, buharlaştırma, bitkisel bozunum, köklerde bozunum bulunmaktadır [25]. Bitkilerin arıtım üzerindeki etkileri “Yapay Sulakalanlarda Giderim” başlığı altında detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.

1.1.3. Yapay Sulakalanlarda Giderim

Yapay sulakalanlarda arıtım genel olarak biyolojik ve fizikokimyasal reaksiyonlar; bitki destekli arıtım, mikrobiyal kominiteler vasıtasıyla gerçekleşen çevirimler ve dolgu malzemesinde tutunma ve emilim yolu ile gerçekleştirilmektedir [26].

Bitkiler arıtıma farklı şekillerde katkıda bulunurlar. Bunlardan en öncelikli olanı, toprak altı oksijensiz alana oksijen transferini sağlayarak, aerobik reaksiyonların gerçekleşmesi için ortam oluşturmalarıdır. Yapay sulakalanlarda biyolojik (mikrobiyal ve bitkilerin etkisi), fiziksel (köklerde tutulum) ve kimyasal reaksiyonların aktif olarak gerçekleştiği bölge bitkilerin kök bölgesi ya da rizosferdir. Rizosfer, iç rizosfer (kök içi) ve dış rizosfer (kök çevresi) olarak ikiye ayrılmak olup, bu iki bölgenin karşılaştığı bölge rizom (rhizoplane) olarak bilinmektedir. Bu bölgede bitki ve mikroorganizmalar arasındaki etkileşim daha yoğundur [27]. Rizosfer çeşitli bakteriyel formların barınağı olarak bilinir [28].

Bitkili sulakalanların bitkisizlerine göre performansının daha yüksek olmasının sebeplerinden bazıları; kök yüzeyinin mikrobiyal topluluklar için barınma sağlaması; kök sıvıları çevresinde karbon bileşenlerinin yüksek olması; oksijen açığa çıkmasıyla küçük oksijenli ortamlar oluşturmaları sayesinde mikrobiyal aktivitede artış olarak sıralanabilir [25, 29, 30].

Ayrıca arıtımı gerçekleştiren sistemin yalıtımı da bitkiler tarafından sağlanmaktadır. Bitki örtüsünün kışın sağladığı yalıtım sıcak ve soğuk iklimli bölgelerde sistem

performansının sabit olması için çok önemlidir. Bitkiler tarafından gerçekleştirilen yalıtım sayesinde kirlilik gideriminden sorumlu proses yavaşlamaz ve arıtma performansı yıl boyunca sabit kalır [30,31]. Makrofitlerin arıtım üzerindeki diğer rolleri Tablo 1.2’de özetlenmektedir.

Tablo 1. 2. Yapay sulakalanlardaki bitkilerin özelliği ve arıtma prosesindeki rolü [25].

Bitkilerin kısımları	Arıtma prosesindeki rolü
Su üstündeki bitki dokuları	—Işık geçirgenliğini azaltarak fitoplanktonların büyümesini engeller. —Mikroklimal etki ile kışın yalıtım sağlar. —Rüzgar hızını azaltır ve çökeltme oranını artırır süspansiyon riskini azaltır. —Sistemin estetik görünmesini sağlar. —Besinlerin depolanmasını sağlar.
Su içerisindeki bitki dokuları	—Filtre etkisi sayesinde —Akım hızının azaltılması —Bağlı biyofilm tabakası için yüzey alanı yaratır —Fotosentetik oksijeni salgılar ve aerobik ayrışmada artış olur —Besinlerin alınımı ile giderimini sağlar
Toprak altı ve dolgu maddesi içerisindeki kök ve rizomlar	—Çökelti yüzeylerini sabitleyerek erozyonu azaltır —Dikey akışlı sistemlerde sistemin tıkanmasını engeller —Oksijen açığa çıkışı ile bozulmada artış olur (ve nitrifikasyonun da) —Besinlerin alınımı ile giderilmesini sağlar —Antibiyotiklerin açığa çıkmasını sağlar

Bitkiler mikrobiyal aktivitenin desteklenmesinin yanı sıra atıksuların arıtılmasında besin gideriminde aktif olarak yer almaktadır. Bitkiler, atıksu içindeki organik/inorganik maddelerin özümseme, süzme, sabitleme, buharlaştırma ve bozunum yolu ile uzaklaştırılmasında önemli bir rol oynarlar. Bitkiler yolu ile gerçekleştirilen tüm arıtım teknolojisi fitoremediasyon olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir deyişle,

fitoremediasyon; toprak, çamur ve sedimentlerin iyileştirilmesinde, organik ve inorganik bileşenlerle kirlenmiş suların arıtılmasında bitkilerin kullanıldığı teknoloji gurubunun genel bir adıdır. Fitoremediasyon teriminde “*fito*” bitki anlamına gelirken “*remediasyon*” ise ıslah anlamına gelmektedir. Bitkisel arıtma tekniği esasına dayanan bu teknoloji sadece suda değil, toprakta ve havada da organik ve inorganik kirleticilerin gideriminde kullanılabilmektedir [32].

Fitoremediasyon teknikleri Tablo 1.3’te özetlenmiştir. Yapay sulakalanlarla fitoremediasyon ile maden, zirai ve endüstriyel atıkların arıtılmasında başarılı olunmuştur. Bu sistemler; daha az pahalı, kirlilikleri gidermede doğal olarak oluşan fiziksel, kimyasal, biyolojik süreçleri kullandığından geleneksel ıslah tekniklerinden daha az bakım gerektirir [33]. Bitkilerin, toprak, su ve havadan kirliliği ayırması ve bünyesine alması sonrasında, hasat edilmesi yoluyla sistemden kirlilik giderimi gerçekleştirilmiş olur [30].

Tablo 1. 3. Fitoremediasyon teknikleri [34].

Fitoremediasyon Teknikleri	Tanımı
Fitoekstraksiyon (Bitkisel Özümleme)	İnorganik veya organik kirleticilerin bitkinin hasat edilebilen bölümlerinde örneğin sürgünlerinde birikmesini içeren tekniktir. Genelde ağır metallerle kirliliğin toprağın ıslahı amacıyla kullanılmaktadır.
Fitofiltrasyon (Bitkisel Süzme)	Kirleticilerin, bitkiler tarafından kirlenmiş yüzey sularından veya atıksulardan giderilmesini içeren tekniktir. Bitkisel süzme; köklerde gerçekleşiyor ise köklerle süzme olarak isimlendirilmektedir. Biyotik ve abiyotik işlemlere bağlı olarak kirleticilerin köklerin içine alınması (absorpsiyon) veya köklerin üzerinde kalmasıdır (adsorpsiyon).
Fitostabilizasyon (Bitkisel Sabitleme)	Toprakta bitki kökleri yoluyla kirleticilerin giderilmesini içeren tekniktir. Bu teknik sayesinde topraktaki zehirli kirleticiler uzaklaştırılmakta ve hareketlerini sınırlandırılmaktadır.

Tablo 1. 3. Devamı.

Fitoremediasyon Teknikleri	Tanımı
Fitovolatilizasyon (Bitkisel Buharlaştırma)	Kirleticilerin buharlaşabilen formlara dönüştürülüp daha sonra atmosfere ulaştırılması tekniğidir. Bu teknik civa ve selenyum gibi bazı ağır metallerin ve organik kirleticilerin gideriminde kullanılabilir.
Fitodegradasyon (Bitkisel Bozunum)	Fitotransformasyon olarak bilinen bitkisel bozunum organik kirleticilerin rizosferik mikroorganizmalara bağlı kalmaksızın bitki dokularında bitki enzimleri ile bozunması tekniğidir. Bu yöntemde sadece organik kirleticilerin giderimi gerçekleşmektedir.
Rizodegradasyon (Köklerle Bozunum)	Rizosferik mikroorganizmalar tarafından rizosferde organik kirleticilerin toprakta bozunmasıdır.
Fitodesalinasyon	Halofitler tarafından tuzlu topraklardan fazla tuzun giderilmesi tekniğidir.

Yapay sulakalanlarda atıksulardaki önemli kirlilik parametrelerinin gideriminde; bitkilerin rolü bulunabildiği gibi, sistemin diğer bileşenleri arıtımda ön plana çıkabilmektedir. Örneğin suya çeşitli şekillerde karışan ve suda bulanıklık oluşturan ve zamanla çökmeyen askıda katı maddeler yüzeysel akışlı yapay sulakalanlarda; çökeltme, filtrasyon, kimyasal çökeltme gibi proseslerle giderilirken, yüzey altı akışlı yapay sulakalanlarda ise köklerde adsorpsiyon şeklinde gerçekleşmektedir. Yine yapay sulakalanlarda pariküler, çözünmüş, organik ve inorganik formlarında bulunan azotun giderimi; organik azotun amonyak azotuna dönüşüm süreci olan mineralizasyon, amonyak azotunun sıvı formdan gaz formuna geçtiği buharlaşma, biyolojik alım, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve azot sabitleme gibi proseslerle giderilmektedir.

1.2. Doğal Boyamacılık ve Çevreye Etkisi

Tekstil endüstrileri çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Tekstil atıksuları genellikle yüksek pH ve renk içeriği, düşük biyolojik parçalanabilirlik gibi özellikleri ile kirli atıksular arasında yer almaktadır [10].

Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır. Tekstil ürünlerinin çeşitliliğindeki artış ve buna bağlı olarak yüksek değişkenlikte kimyasal özelliklere sahip birçok boyar maddenin kullanılması, bu sektörün atıksularının artırılmasını daha zor hale getirmektedir [35].

1980'lerden sonra bazı sentetik boyar maddelerin toksik ve kanserojen özellikleri ve çevre kirliliğine neden olmalarının farkına varılmış ve daha çevreci olarak düşünülen ve unutulmaya yüz tutmuş olan geleneksel boyamacılık yöntemleri yeniden araştırılmaya, uygulanmaya başlanmıştır [11]. Doğal boya terimi bitkiler, hayvanlar ve mineraller gibi doğal kaynaklardan elde edilen tüm boyaları kapsamaktadır [36]. Doğal boyamacılık, insanlığın tekstil üretimiyle beraber ortaya çıkmış bir faaliyet olup, M.Ö. 4000 yıllarında Hindistan'da ve Mezopotamya'da başlamış olduğu bilinmektedir. Günümüzde henüz çok yaygın olarak kullanılmasa da, doğal boyamacılık giderek artan bir ekonomik aktivite haline gelmektedir [11].

Doğal boyamacılık, sentetik boyar madde kadar farklı renk seçeneği sunabilmektedir hatta doğal boyaların daha yumuşak ve parlak renkler oluşturabildiği de bilinmektedir. Üstelik, sentetik boyalarda kolayca mümkün olmayan, boyama tekniğinde küçük farklılıklar ya da aynı boyada farklı mordan maddeleri kullanarak geniş bir renk geçişi ya da tamamen yeni renkler oluşturmak mümkündür [36]. Ancak doğal boyalarda renk

skalasını genişletmek için kullanılan kimyasallar (mordan) oluşan atıksuların niteliğini belirler ve arıtım aşamasında verim elde edebilmek için, doğal boyaların içeriği ve oluşturulmasının detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

1.2.1. Doğal Boyama Yöntemleri

Doğal boyamacılık mordanlı boyama, küp boyama ve direk boyama yöntemleri olara üç ana grupta sınıflandırılmıştır [11].

Boyama işlemi genel olarak, boyama yönteminin belirlenmesi, gereken boya miktarının belirlenerek boya banyosunun hazırlanması ve istenilen sıcaklık ve süre içerisinde boya içerisindeki aktif maddelerin kumaşa aktarılması işlemine denmektedir.

Bu aşamada ilk olarak, tekstil elyafı için uygun olan boyama yönteminin seçilerek, boyar madde miktarlarının belirlenir. Boyarmadde miktarı tartılarak boyama banyosu içerisine ilave edilir. Boyama banyosu ısıtmaya başlanır ve boyanacak tekstil elyafı boyama banyosuna ilave edilir. Çoğunlukla boyama işlemi 80-100°C sıcaklıkta 10 ile 60 dakika sürede gerçekleşir. Durulama, yıkanma ve sıkma işlemleri sonucunda tekstil atıksuyu oluşur.

Doğal boyamacılıkta, herhangi bir kimyasal işlem gerçekleşmeden direk boyar madde (örn. ceviz suyu, kına vb.) kullanılarak boyama yapılabilir. Ancak bazı durumlarda direk boyama elyafı boyamaz veya boyanın kalıcılığı olmayabilir. Bu tip durumlarda mordanlı boyama yöntemi kullanılır. Mordan, boyaların sabitleşmesi ve değişik renk tonlarının elde edilmesi için kullanılan maddelere verilen genel addır. Bunlara örnek olarak odun külü, şap, sirke, sarap tortusu gibi çevreye negatif etkisi çok olmayan maddeler olabilmektedir. Ancak göztaşı, kalay klorür ve kromatlar gibi ağır metal içeren mordan maddeler de kullanılmaktadır.

Mordanlama yöntemi kullanılacak boya bitkisine göre; (1) önce mordanlama sonra boyama, (2) birlikte boyama, (3) önce boyama sonra mordanlama olmak üzere üç farklı şekilde gerçekleştirilir. Önce mordanlama yönteminde, mordan maddeleri mordanlama banyosunda çözüldükten sonra elyafın ilavesiyle uygun süre ve sıcaklıkta kalarak metal iyonu elyafa bağlanması sağlanır. Açık havada en az üç gün bekletilerek kurutulduktan sonra boyama banyosuna alınarak istenilen renge göre boyarmadde kaynaklarından birisi veya birden fazlası eklenir. Birlikte boyama yöntemi, mordan ve boyanın banyoya birlikte konularak boyamaların gerçekleştirildiği yöntemdir. Bu yöntem zaman ve enerjiden tasarruf sağlasa da, mordan ve boyanın elyafı boyama öncesi birbirleri ile bağ yapmaları sebebiyle elyafa tutunamaması ve dolayısıyla, hem boyamanın etkin olmaması hem de, boyanın çok büyük bir kısmının atıksuda kalarak atılmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple pratikte bu yöntem çok tercih edilmemektedir. Üçüncü ve son mordanlama yöntemi önce boyanarak mordanın sonradan eklenmesi ile gerçekleştirilir. Bu boyama yöntemi genellikle tanin (gallis asit) içeren bitkilerle boyama yapılırken kullanılır. Örneğin, elyaf tanin içeren bitkilerden meşe palamudu (*Quercus* sp.) ile önce boyanır sonrasında demir şapı ile mordanlanarak siyah renk elde edilir. Tablo 1.4’de doğal boyamacılıkta kullanılan mordan maddeleri, kimyasal yapısı ve özellikleri listelenmiştir.

Küp boyamacılık, farklı bir boyama yöntemi olup, indigo içeren bitkilerle (örn. çivitotu) yapılır. İndigo içeren bitkiler toplandıktan sonra mayalanmaya bırakılarak boyarmadde-sinin açığa çıkması sağlanır. Açığa çıkan boyarmadde suda çözünmediğinden yardımcı kimyasal maddeler (sodyum hidroksit ve hidrosülfid veya kireç) kullanılarak boyarmaddenin indirgenmesi yoluyla çözülür. Bu şekilde hazırlanmış boyama banyosuna elyaf daldırılıp çıkartılarak indirgenmiş olan indigo havanın oksijeni ile bileşerek yükseltgenme şeklinde boyama gerçekleşir. Bu şekilde yapılan boyama genellikle mavi ve yeşil rengin mavi bileşeni için gerçekleştirilir. Ancak bazı tarihi tekstillerin mor rengin mavi bileşeni içinde uygulanmaktadır.

En son boyama yöntemi bitkilerin içerdikleri boyarmaddenin doğrudan sıcaklık ve zamana bağlı olarak elyafa aktarılması şeklinde gerçekleştirilen bir boyama yöntemidir. Bu yöntemde yardımcı mordan maddelerine ihtiyaç yoktur. Bu tür boyama sınıfına

giren ülkemizde iki önemli bitki bulunmaktadır. Bunlardan birisi kahve renk için kullanılan zayıf asit özelliği gösteren juglon boyarmaddesini içeren ceviz (*Juglon regia*) kabuğu ve yapraklarıdır. Diğer ise doğal boyarmaddeler içerisinde zayıf baz özelliği gösteren ve sarı renk boyamalarda kullanılan karamuk kökü (*Berberis vulgaris*)'dir. Bunların dışında deniz kabuklusu purpur (*Murex* sp.) direk olarak elyafa sürtünme şeklinde uygulanır ve açık havada oksitlenmeye bırakılır.

Bu çalışma kapsamında, direk boyama yöntemi kullanılmış olup, mordan maddesi kullanılmamış ve renkli atıksuyu oluşturmak için boyar madde olarak ceviz kullanılmıştır. Bu çalışmanın önemli çıktılarından biri renk giderimi olup, doğal boyar madde kullanılarak hangi boyama yöntemi kullanılırsa kullanılsın oluşak atısında renk giderimi önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tablo 1. 4. Mordanlama işleminde kullanılan mordan maddeleri [12].

Mordan maddesi	Kimyasal Formülü	Özellikleri
PotasyumŞap veya Şap, Potayumaliminyumsülfat	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	Renksiz, kokusuz hafif asidik reaksiyon gösteren kompleks bir tuzdur. Suda, özellikle sıcak suda kolay çözünen bir maddedir. Derişik alkolde çözünmez. Eski Mısırlılarda da kullanılmıştır. Kızıldenizden elde edilmiştir. Hemen hemen bütün bitkilerle boyamada kullanılır. Rengi sabitler ve daha koyu yapar. Çevreye zararı yoktur.
Demir II sülfat veya Demirvitriol Karaboya	$(FeSO_4) \cdot 7H_2O$	Nil yeşili rengine kristallerden oluşan bir maddedir. Suda az çözünür, alkol, aseton ve eterde çözünmez. Bitkilerle boyamada ön mordan (Koşnil boyamalarında) veya son mordan maddesi olarak kullanılır. Son mordan olarak kullanıldığında sarı renkleri yeşil tonlara dönüştürür. Miktar arttırılırsa gri ve siyah tonlar elde edilir. Bir kötü tarafı, çok kullanıldığında yüne zarar verir veya yünü sertleştirir. Çevreye zararı yoktur.
Bakırsülfat, Göztaşı	$(CuSO_4) \cdot 5H_2O$	Mavi renkli kristallerden oluşan bir maddedir. Suda kolay çözünür. Çevreyi kirleten ve uzun süre toprakta kalan bir maddedir. Çok gerekmedikçe kullanılmamalıdır.

Tablo 1. 4. Devamı.

Mordan Maddesi	Kimyasal Formülü	Özellikleri
Kalayklorür	SnCl_2	Çevreye zararlıdır.
Kromatlar	CrO_4^{-2} $\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$	Çevre için çok zararlıdır.
Şaraptaşı(Kremtartar) Potasyumhidrojentartarat	$\text{KC}_4\text{H}_5\text{O}_6$	Asidik reaksiyon verir ve ekşimsi bir tatdadır. Şarabın mayalanması sırasında dipte oluşan bir maddedir. Soğuk suda az, sıcak suda iyi çözünür. Alkolde çözünmez, mineral asitlerde az çözünür. Çevreye zarar vermeyen bir maddedir. Şarap imalinde şarap fiçılarının dibinde oluşur. Bitkilerle boyamada rengi daha koyu yapar ve boyanan materyali yumuşatır. Orta çağdan beri bilinen bir mordan maddesidir.
Potasyumkarbonat, Potaş	K_2CO_3	Beyaz renkli, hidroskopik bir tozdur. Ağzı sıkı kapalı kaplarda muhafaza edilmelidir. Suda hafif çözünür, Alkolde çözünmez. Yün yıkamada ve beyazlatmada kullanılır. Bitkilerle boyamada, bitkilerin yumuşatılmasında, mordanlanmasında kullanılır. Bazı renkleri daha koyulaştırır. Anadolu da bitki boyamalarında uzun yıllar odun külü formunda kullanılmıştır.
Soda	Na_2SO_4	Susuz, beyaz higroskopik bir tozdur. Soğuk ve sıcak suda az çözünür, alkolde çözünmez. Kuvvetli bir alkalidir. Bünyesinde su bulunan formu kristal şeklindedir ve çamaşır sodası olarak bilinendir. Isıtılınca bünyesindeki suyu kaybederek susuz forma döner. Bitkiler ile boyamada boyanan materyali sert ve kaba yapar. Pamuk boyamanın vazgeçilmez bir maddesidir.
Tartarikasit	$\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$	Bir organik asittir. Doğada birçok bitkide bulunur. En bilineni üzümdekidir. Bitki boyamada bazı bitkiler için ön mordanlama da kullanılır.

Tablo 1.4. Devamı.

Mordan Maddesi	Kimyasal Formülü	Özellikleri
Sirke	C_3COOH	Asetikasidin %25'lik formudur. Üzümde elde edilen de kullanılır. Su, alkol ve eterle her oranda karışır. Asidik reaksiyon gösterir. Bitkilerle boyamada renklerin tonunu değiştirmede ve renkleri sabitlemede kullanılır.
Amonyak	NH_3	Gaz halindeki amonyağın sudaki çözeltisidir. Kuvvetli bir bazdır. Boyamalarda % 9'luk formu kullanılır. Sarı ve yeşil tonları nüanse etmek için kullanılır.
Tanin		Meşe palamudundan elde edilen bir mordan maddesidir. Bazı bitkilerle siyah boyamada kullanılır.

1.3. Atıksularda Renk

Psikolojik, fizyolojik, fiziksel renk gibi renk kelimesinin birkaç anlamı bulunmaktadır. Bir maddenin renkli oluşu içinden geçen beyaz ışıktan bazı dalga boylarının absorplanmasından ileri gelmektedir [37]. Renk, organik bileşiğin yapısında yer alan ve “kromofor grup” adı verilen grupların özelliklerine bağlı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını yutması ve geri kalan dalga boylarını yansıtması sonucunda göz tarafından karakteristik renkte görülmesi şeklinde de tanımlanabilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara “absorplanan renk”, yansıttığı kısımlara ise “komplementer renk” adı verilir. Örneğin kromofor gruplar sadece sarı-yeşil renge karşı gelen ışınlar ait dalga boyunu absorplarsa, diğer renklere karşı gelen dalga boylarını yansıtacağından menekşe renkli olarak görünür. O halde göze çarpan renk tayfın absorplanmayan kısımlarının bıraktığı etkidir [38]. Temiz su renksizdir. Renk, suyun içine karışmış olan inorganik maddelerden meydana gelebileceği gibi, organik maddelerin ayrışması sonucu da meydana çıkabilir. Suların organiklerden kaynaklı rengine "gerçek renk" (true color) denir. Bunun dışında özellikle yüzey sularında askıda maddelerden oluşan renk gözlenebilir. Bu da "görünen renk" tir (apparent color).

Su, doğal ortamda bile renkli olabilmektedir. Yüzey sularının renkliliği içinde bulundurduğu çözünmüş veya askıda katı maddenin çeşidine göre değişmektedir. Suyu renk veren bu maddeler arasında hümit asit ve hümatlar, tanin, lignin ve suda ferik humat halinde bulunan demir bileşikleri sayılabilir. Doğal bileşiklerden kaynaklanan renk suya toksik veya zararlı özellikler vermez. Renk içeren atıksuların yüzey sularına karışmasıyla renk kirliliği ortaya çıkar [39].

Renkli atıksular, genellikle kağıt endüstrisinde kağıt hamuru üretilmesi esnasında, tekstil endüstrisinde boyama ve yıkama işlemleri esnasında oluşmaktadır. Bunun dışında ilaç, deri, gıda endüstrilerinde ve zeytinyağı üretiminde KOİ değeri yüksek renkli atıksular ortaya çıkabilmektedir. Renk, estetik açıdan bir problem yarattığı gibi, suyun yeniden kullanım imkânını da kısıtlamaktadır [40, 41]. Alıcı sulara verilen renkli atıksular, su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler [35].

1.3.1. Renk Ölçüm Metotları

1.3.1.1. Spektrofotometrik Metot

Spektrofotometre yardımıyla renk ölçümü, Spektrofotometre tarafından gönderilen ışığın absorpsiyonuna dayanır. Işığın şiddetindeki azalma renk miktarı hakkında bize bilgi vermektedir. Özetle bu yöntemle renk ölçümü Beer-Lambert yasasına dayanmaktadır.

Beer-Lambert Yasasına göre Monokromatik ve I_0 şiddetindeki bir ışık demeti, kalınlığı b cm olan bir tüpte bulunan çözeltideki herhangi bir molekül tarafından absorplandığında şiddeti azalır ve tüpü I şiddetinde terk eder. Moleküllerin o dalga boyundaki ışığı absorplaması sonucu ortaya çıkan azalma Beer Lambert eşitliği ile verilir. Bu eşitliğe göre, örnek kabına giren ve kabı terk eden ışık şiddetlerinin logaritmlerinin farkı, ışıkla etkileşen moleküllerin birim hacimdeki sayısı ile yani derişim ile orantılıdır [42].

$$\log I_0/I = a.b.c = A$$

Burada, a: Absorptivite katsayısı, b: Işın yolu uzunluğu, c: Çözelti derişimi, A: Absorbans değeridir.

Ölçümlerde a ve b değerleri sabit tutularak A ile c arasındaki basit doğrusal ilişkiden yararlanılır.

1.3.1.2. Tristimulus Filtre Metodu

Filtre Fotometrisi içindeki fotoelektrik pil ve özel ışık kaynağı ile donatılmış 3 adet filtreden oluşmaktadır. Işık kaynağı ile aydınlatılan cisimden yansıyacak ışınlar detektöre gitmeden önce ayrı ayrı 3 filtreden geçer. Bu filtreler kırmızı yeşil ve mavi filtrelerdir ve X, Y, Z filtreleri olarak adlandırılırlar. X, Y, Z değerlerine tristimulus değerleri de denir. Her üç filtre içinde tristimulus ışık iletkenliği oranı tespit edilir. İletkenlik değerleri daha sonra trikromatik sabitlere ve renk karakteristiği değerlerine dönüştürülür [43].

1.3.1.3. ADMI Tristimulus Filtre Yöntemi

Gerçek renk, görünen renk, Adams Nickerson, Biyolojik olarak parçalanabilen renk olarak adlandırılan tüm terimler ADMI renk sistemi adı altında toplanır. Bu metrik yöntem atıksuda ayrışabilen humik maddelerden, demirden, minerallerden, boyalardan kaynaklanan rengin ölçülmesinde kullanılır. Adams Nickerson tarafından tristimulus metodunun geliştirilmesiyle ADMI (Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü) Renk İndeksi su kalitesinin bir göstergesi olarak atıksu rengini izlemek için geliştirilmiştir.

Bu yöntemle numunenin rengi Adams-Nickerson tarafından bulunan formül yardımıyla numuneler arasındaki renk farklılıkları hesaplanarak belirlenir. Örneğin iki numunenin rengi görsel olarak birbirinin aynısıysa ADMI renk değerleri de aynı olacaktır. Yöntemin modifikasyonu Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü tarafından yapılmıştır [44].

1.3.1.4 . Görsel Karşılaştırma Metodu

Bu metoda göre renk, numunenin bilinen konsantrasyonlarındaki renk çözeltileri ile görsel olarak karşılaştırılması sonucu tespit edilir. Karşılaştırma aynı zamanda kalibre edilmiş cam disklerle de yapılabilir. Platin-kobalt metodu (Hazen metodu) standart bir metottur. 1 mg/l platin ile üretilen renk, standart birim olarak kabul edilir. Ölçümlerde 500 mg/l platin içeren K_2PtCl_6 'dan stok çözelti hazırlanır. Uygun tonu sağlamak için kobalt klorür eklenir. Stok çözeltinin rengi 500 birimdir. Çalışma standartları bu çözelti seyreltilerek hazırlanır. Standart çözeltiler, "Nessler Tüpleri" olarak adlandırılan camdan yapılmış renk karşılaştırma tüplerine konur. 0'dan 70'e kadar olan tonlarda çalışılır. Eğer numune 70 birimden fazla renge sahipse, ölçüm numunenin destile su ile seyreltilmesinden sonra yapılır ve sonuçlar seyrelme göz önüne alınarak hesaplanır. Bu metot, içilebilir suların ve doğal maddelerin oluşturduğu rengi içeren sularda yapılan renk ölçümlerinde kullanılır. Aşırı renkli ve endüstriyel atıksular için uygun değildir. Bu amaçla RES (Renklilik Sayısı) parametresi önerilmiştir [45].

1.3.2. Renklilik Sayısı (RES)

Bir su numunesinin renginin şiddeti en yüksek absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir ve bunun bir spektrofotometre yardımı ile ölçülmesiyle de belirlenir. Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre renklilik sayısı (RES) parametresinin birimi m^{-1} olarak verilmektedir. Standartlarda RES değerinin toplamda $15 m^{-1}$ değerini aşmaması gerektiği belirtilmektedir. Bu standartlarla karşılaştırma yapabilmek amacıyla ölçülen absorbans değerleri m^{-1} birimine çevrilmelidir. Bu işlem için aşağıdaki formül kullanılmaktadır [37].

$$\alpha = (A/d) * f$$

Burada α : m^{-1} cinsinden renk A: Spektrofotometrede ölçülen değer d: Küvet genişliği (mm) f:Faktör(1000).

Numunenin 0,45 μm membran filtreden süzülmesinden sonra ölçülen gerçek renktir. Bir su numunesinin renginin şiddeti, en yüksek maksimum absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir. Renk gideriminin bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmesiyle de kantitatif olarak belirlenir. Endüstriyel atıksuların rengini 1994 yılında yayınlanan uluslararası Avrupa Normu EN ISO 7887'ye

göre belirleyebilmek için görünür ışık spektrumu içinde yer alan üç dalga boyu seçilmiştir.

Bu dalga boyları ve getirilen sınır değerleri aşağıda verilmiştir:

$$\lambda (1)=436 \text{ nm (sarı) : } 7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda (2)=525 \text{ nm (Kırmızı) : } 5 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda (3)=620 \text{ nm (Mavi) : } 3 \text{ m}^{-1}$$

$\lambda (1)=436 \text{ nm}$ 'de ölçüm zorunludur.

$\lambda (2)$ ve $\lambda (3)$ dalga boylarında ise belirlenen değerlerde çok az sapmalar olabilir.

Karakterizasyonun daha iyi olması için ekstinksiyon maksimumuna yakın değerlerde de ölçüm yapılması faydalı olur. Ölçümden önce çözünmemiş maddelerin girişimini önlemek için su numunesi filtre ya da santrifüj edilmelidir.

1.3.3. Atıksularda Renk Giderim Yöntemleri

Atıksulardan renk gideriminde kullanılan fiziksel yöntemler; adsorpsiyon, membran filtrasyonu ve iyon değişimi, biyolojik yöntemler; aerobik arıtım, anaerobik arıtım ve biyosorpsiyon, kimyasal yöntemler ise; oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır.

1.3.3.1 Fiziksel Yöntemler

Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, klasik arıtma yöntemleriyle arıtılması güç olan zehirlilik, koku ve renk kirliliği yaratan kimyasal maddelerin, bu maddeleri tutabilecek yapıda olan katı maddelerin yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutulma işlemidir. Tutma özelliği gösteren katı maddelere “adsorbent” adı verilir. Adsorbent tarafından tutulabilen maddeler ise “adsorbat” olarak adlandırılır. Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir. Fiziksel adsorpsiyon prosesinde adsorplanmış molekülleri adsorbent yüzeyine bağlı tutan Van der Waals kuvvetidir ve tersinir bir olaydır. Adsorbent ve çözünen arasındaki çekim kuvvetleri moleküler olduğu zaman, çözücü ve

çözünen arasındaki çekim kuvvetinden daha fazla olacağından, çözünen adsorbent yüzeyine adsorplanacaktır. Fiziksel adsorpsiyon prosesinde adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır. Kimyasal adsorpsiyon prosesinde adsorbatlar, adsorbent yüzeyine kovalent bağla tutunurlar. Bu nedenle reaksiyon tek yönlüdür yani tersinmez yapıdadır. Adsorplanmış tabaka molekülleri tek tabaka kalınlığındadır [41].

Renk giderimi amacıyla kullanılan en yaygın yöntemlerden birisi adsorbsiyondur. En çok kullanılan adsorban madde aktif karbondur ancak aktif kömür, silikajel, boksit, odun, selüloz türevleri, zeolit, bentonit ve odun külü ekonomik ve kolaylıkla temin edilebilen adsorban maddeler arasında verilebilir. İlk yatırım maliyeti yüksek olan adsorbsiyon prosesinde, adsorban madde gerektiğinde rejenere edilmeli veya değiştirilmelidir. Dolayısıyla adsorbsiyonla renk giderimi proseslerinde ek bir işletme maliyetine neden olmaktadır [38].

Membran Prosesler

Modern fiziksel arıtma yöntemlerinden biri de membran filtrasyonudur. Membran, selüloz asetat ya da polyamid malzemeden yapılmış seçici geçirgen özellikte bariyerlerdir. Çözelti içindeki maddeler, osmotik basınç, elektriksel itim-çekim kuvveti gibi bir itici güç sayesinde membran yüzeyine itilir. Bu maddelerin bazıları membrandan geçebilirken diğerleri çözelti içinde kalırlar, bu sayede ayırma işlemi gerçekleşmiş olur. Tane boyu 1 μm 'den küçük maddeler geleneksel mekanik filtrelerle giderilemezler. Bu tip giderimler için nanofiltrasyon, mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters osmoz olarak adlandırılan membran ayırma sistemleri kullanılmaktadır. Membran prosesleri ile boyalı atıksuların giderimleri mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en belirgin üstünlüğü sistemin sıcaklığa, kimyasal çevre salınımlarına ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasıdır [46].

İyon Değişimi

İyon değiştirme prosesi, bir çözeltideki iyonların, bir katının yüzeyindeki yüklü fonksiyonel gruplara, elektrostatik güçlerle tutunması olayıdır. İyon değiştiricideki yüklü fonksiyonel gruplar, katının yüzeyinde yer alır ve değişen iyonlar, çözelti fazından yüzey fazına transfer olurlar. Aslında iyon değişimi sorpsiyon olayının bir çeşididir.

İyon değişimi atıksuda istenmeyen anyon ve katyonların giderilmesi için kullanılan yöntemdir. Katyonlar H^+ ya da Na^+ , anyonlarda OH^- ile yer değiştirir. Katyon değiştirici reğinelerin çoğu aktif grup olarak SO_3H^- içeren sentetik polimerik bileşikleridir. Anyon değiştirici olarak kullanılan reğineler ise sentetik reğine aminleridir. Reaksiyon, aktif merkezin herhangi bir iyonla seçici olarak yer değiştirmesi esasına dayanan kimyasal denge sonucunda meydana gelir.

İyon değişimi metodu, kullanılmış boya çözeltilisinin suda çözünmeyen organik solvent ve amin ile asidik pH' larda muamele edilmesidir. Atıksu ile ekstraksiyon maddelerinin muamelesi sonucu faz ayrımı geręekleřmektedir. Atıksudaki su fazı renksiz hale gelirken, boyar maddeler üstteki organik fazda tutunmaktadır.

Renk gideriminin geręekleřmesi için iki ön koşulun sağlanması gerekmektedir. Bunlar; boyarmadde en azından bir tane sülfonik asit grubu içermeli ve çözelti asidik hale getirilmeli. Bu koşullar altında, negatif yüklü sülfonat grupları ile suda çözünmeyen pozitif yüklü uzun zincirli aminler (primer, sekonder, tersiyer amin), hidrofobik iyon çiftleri oluşturmak üzere reaksiyona girmekte ve oluşan iyon çiftleri organik fazda tutulmaktadır. Atıksudaki halojen içeren maddelerle, örneğin; yünün klorlanması sırasında atıksuya geçen lanolin ve lipofik yardımcı kimyasallar gibi lipofilik maddeler de organik faz içerisinde tutulmaktadır. İyon çifti ekstraksiyonu ile yapılan atıksu renk çalışmalarının sonucunda oluşan atıksu, canlı hayatı olumsuz etkileyeceğinden tekrar arıtılması gerekir. Ayrıca bu yöntemde kullanılan kimyasallar pahalı olduğundan dolayı işlem maliyeti yüksektir [47].

İyon değişimi renkli atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir. İyon değişimi sağlayan maddelerden en eskileri alüminyum silikatlar, zeolit ve sentetik reğinelerdir. Yaygın olarak kullanılan sentetik reğineler, moleküllerinde SO_3H^- ve NH_4^+ aktif grupları yerleştirilmiş polimerlerdir. Atıksu iyon değiştirici reğineden kullanılabilir kapasitesi dolana kadar geçer. Bu metodun avantajı iyon değiştiricilerin rejenere edilebilmesidir. En büyük dezavantajı ise maliyetinin yüksek olmasıdır [45].

1.3.3.2. Biyolojik Yöntemler

Boyar maddelerin biyolojik parçalanmaya dayanıklı olması nedeniyle biyolojik yöntemler renk gideriminde yetersiz olarak bilinmekteydi. Ancak boyar maddeleri parçalayabilen aerobik anaerobik bakteri türlerinin izole edilmesiyle biyolojik yöntemler tekrar önem kazanmıştır [39].

Biyolojik yöntemlerle renk giderimi boyaların mikrobiyal biolojik dönüşümlerini temel almaktadır. Kararlı ve uzun süreli renk verici maddeler olarak tanımlanan boyaların genellikle biyolojik olarak bozunmaları kolay değildir. Bununla birlikte boyaların tam ve kısmi bozunmasında bakteri, mantar veya alglerin saf veya karışık kültürlerini kullanılarak gerçekleştirilebilir [48]. Boyar maddenin gideriminde bu organizmalar, organik maddelerin aerobik ya da anaerobik koşullarda (bakteri ve algler) ya da biyosorbsiyon ile bünyelerine alması (mantarlar) ve sonrasında parçalanması yolu ile gerçekleştirilir.

Biyolojik renk giderimi, farklı araştırmacılar tarafından farklı kategorilere ayrılmıştır. Burada canlı türüne göre sınıflandırma yöntemi göz önüne alınarak, bakteriyel, alg ve mantarlar yolu ile parçalanma kategorileri altında incelenecektir:

Bakteriyel Parçalanma

Atıksu içerisinde mevcut olan boyalardan kaynaklanan renk gideriminde mikrobiyal biyokatalizörlerin kullanımı fizikokimyasal süreçler içerisinde potansiyel avantajlar sağlayan alternatif bir yaklaşımdır [49].

Boyaların ayrıştırılabilirliği söz konusu olduğunda çalışmalar organik içerikli boyalara odaklanmıştır. Bu boyalar içerisinde en çok araştırmanın yapıldığı grup amonyağın organik türevleri olan zayıf bazlar olan Azo zincirleri ($-N=N-$) içeren ve tekstil endüstrisinde en geniş boya tipini oluşturan Azo boyları olmuştur.

Azo boyalar genellikle aerobik bakteriyel biyo-parçalanmaya karşı dirençlidirler. Bu sebeple, azo boyaların gideriminde öncelikli olarak anaerobik arıtım gerçekleştirilir ve bu reaksiyonun sonunda aromatik aminler oluşmaktadır. Sonrasında aerobik arıtmaya tabi tutularak aromatik aminlerin giderimi gerçekleştirilerek renk giderimi tamamlanır. Azo boyaların yalnızca aerobik koşullar altında giderilebildiği tek durum, laboratuvar koşulları altında çeşitli biyoteknolojik yöntemlerle üretilmiş bakteriler yolu ile olabilmektedir [50].

Mantar Biyolojik Parçalaması

Mantarlarla ile renk giderim çalışmaları 1980’li yılların başlarında başlamıştır. Beyaz çürükçül funguslara (Örn. *P. chrysosporium*, *Coriolus versicolor*, *Funalia trogii*, ve *P. ostreatus*) odaklanılmış olsa da *Aspergillus niger*, *Rhizopus arrhizus*; *Rhizopus oryzae* diğer mantar türlerinin de renk giderimi ve biyosorbsiyon üzerine etkileri araştırılmıştır. Mantarlara renk giderimi çalışmaları üçe ayrılmaktadır; (1) canlı mantar hücreleri kullanarak (biyolojik yıkım ve biyosorbsiyon), (2) ölü hücrelerle (adsorbsiyon ve fungal biyokütle) yapılan çalışmalar, (3) funguslardan elde edilen enzimlerle boyar madde giderim çalışmaları. Kimyasal olarak farklı gruplardan oluşan boyaların hemen hepsi mantar oksidasyonu ile giderilebilmektedir ancak mantar yapısının katalizleme gücü ve boya seçiciliğiyle ilgili olarak mantar türleri arasında oldukça büyük farklılıklar bulunmaktadır [50].

Alg Biyolojik Parçalaması

Alg kullanılarak birçok azo boyasının parçalanması birkaç çalışmada rapor edilmiştir. Parçalanma yolunun azo zincirinin parçalanmasını ve bunu izleyen aromatik aminlerin minerilizasyonunu içerdiği düşünülür. Bu yüzden, alglerin çeşitli aromatik aminleri parçaladığı (hatta sülfonat gruplarını da) görülmüştür. Üstü açık atıksu arıtma sistemlerinde, özellikle stabilizasyon havuzlarında, algler bu yüzden azo boyalarının ve aromatik aminlerin su fazından giderilmesine katkıda bulunabilirler [50].

1.3.3.3. Kimyasal Yöntemler

Kimyasal yöntemler arasında oksidatif, elektrokimyasal, koagülasyon flokülasyon yöntemleri yer almaktadır.

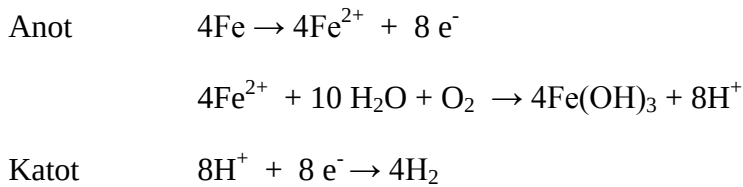
Oksidatif Yöntemler

Oksidasyonda amaç, boyar maddelerin kromofor gruplarının renk veremez duruma getirilmesi ve indirgenen ana ürünlerin biyolojik oksidasyona uygun formlara dönüştürülmesidir. Bütün boyalar bir çok konjuge olmuş veya aromatik bağlar içerirler ve oksidasyon için seçilen oksidan, doymamış bağlarla reaksiyon vererek bileşiği daha küçük molekülü bileşiklere indirger. Boyar maddelerin oksidasyonla giderilmesi için ozonlama, fenton prosesi, klor, klordioksit, hipoklorit, hidrojen peroksit, ıslak hava oksidasyonu, fotokatalitik oksidasyon ve bunların kombinasyonu (H_2O_2/UV , O_3/UV , O_3/H_2O_2 , $O_3/H_2O_2/UV$) gibi yöntemler kullanılmaktadır [38].

Elektrokimyasal Yöntem

Elektrokimyasal proseslerin mekanizması oldukça komplekstir. Prosesin üç mekanizması vardır; elektrokoagülasyon, elektroflotasyon ve elektrooksidasyon.

Oksidasyon ve redüksiyon sırasıyla anotta ve demir elektrottan oluşan katotta aşağıdaki denklemlere göre oluşur [38].



Koagülasyon ve Flokülasyon Yöntemi

Koagülant maddelerin uygun pH’ da atıksuya eklenmesi ile atıksuyun içindeki kolloidal ve askıdaki katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemidir. Flokülasyon ise stabilliği bozulmuş kolloidlerin bir araya getirilip yumak teşkili ve

yumakların büyüülmesi işlemidir. Asit, direkt, vat, mordant ve reaktif boyalar koagüle olmakla birlikte zayıf yapıda yumaklar oluşturmakta ve flokülant ilave edilmesi bile çökelme verimini pek arttırmamaktadır. Bu bakımdan yukarda bahsedilen tipteki boyarmaddelerin koagülasyon-flokülasyon işlemi ile uzaklaştırılmasında pekiyi sonuç alınamamaktadır. Diğer yandan sülfür ve dispers boyalar çok iyi koagüle olmakta, son derece kolay çökmekte olup buna bağılı olarak renk giderimi oldukça yüksek olmaktadır. Bundan dolayı koagülasyon – flokülasyon işlemi bu tür boyalar için son derece uygundur [51].

2. BÖLÜM

MATERYAL METOT

Bu çalışmada pilot ölcekte bir yapay sulakalan sisteminde, doğal boyamacılık sonucu oluşan atıksudaki renk giderimi incelenmiştir. Bu amaçla hibrit bir yapay sulakalan sistemi oluşturulmuş ve bitkili ve bitkisiz reaktörlerde giderim incelenmiştir. Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi yüksek lisans destek projeleri tarafından “Yapay Sulakalanlarda Renk Gideriminin İncelenmesi” başlıklı çalışma kapsamında desteklenmiştir.

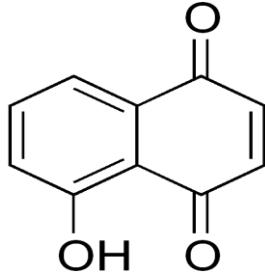
Bu çalışmada sisteme beslenen atıksuyun oluşturulması, kullanılan dolgu malzemeleri ve bitkiler ve reaktörlerin özellikleri ilerleyen kısımlarda detaylandırılmıştır.

2.1 Atıksu Oluşturulması

Tekstil atıksuyunda renk giderimi konusu kapsamında doğal boyamacılık alt başlığına yönelinerek, doğal boyamacılıkta elyaf boyamada kullanılan nitelikte atıksu oluşturabilmek için boya oluşturmada standart prosedürler takip edildi. Örnek boyar madde olarak, özellikle İç Anadolu ve Kayseri bölgesinde yaygın olarak bulunan ceviz (*Juglon regia*) bitkisi seçildi. Bu bitkiden boya üretiminde mordansız direk boyamacılık yöntemleri kullanılabilirken öncelikle renk giderimine odaklanması ve mordan maddesinin içerisinde bulunan ağır metallerin sistemde gideriminin göz ardı edilebilmesi amacıyla ceviz boyar maddesi seçilmiştir.

Cevizde boyar madde niteliğini gösteren kimyasal madde juglondur. Kimyasal yapısı 5-hidroksil-1,4-naphtalindion (IUPAC) olup molekül formülü $C_{10}H_6O_3$ 'dür (Şekil 2.1).

Besin endüstrisinde boya üretiminde kullanılır. Juglon, ceviz bitkisinin yapraklarında, köklerinde, kabuklarında, meyvesinde ve ağaç kabuğunda doğal olarak bulunur [52].



Şekil 2. 1. Cevizde boyar madde özelliği gösteren organik bileşik Juglon'un kimyasal gösterimi [52].

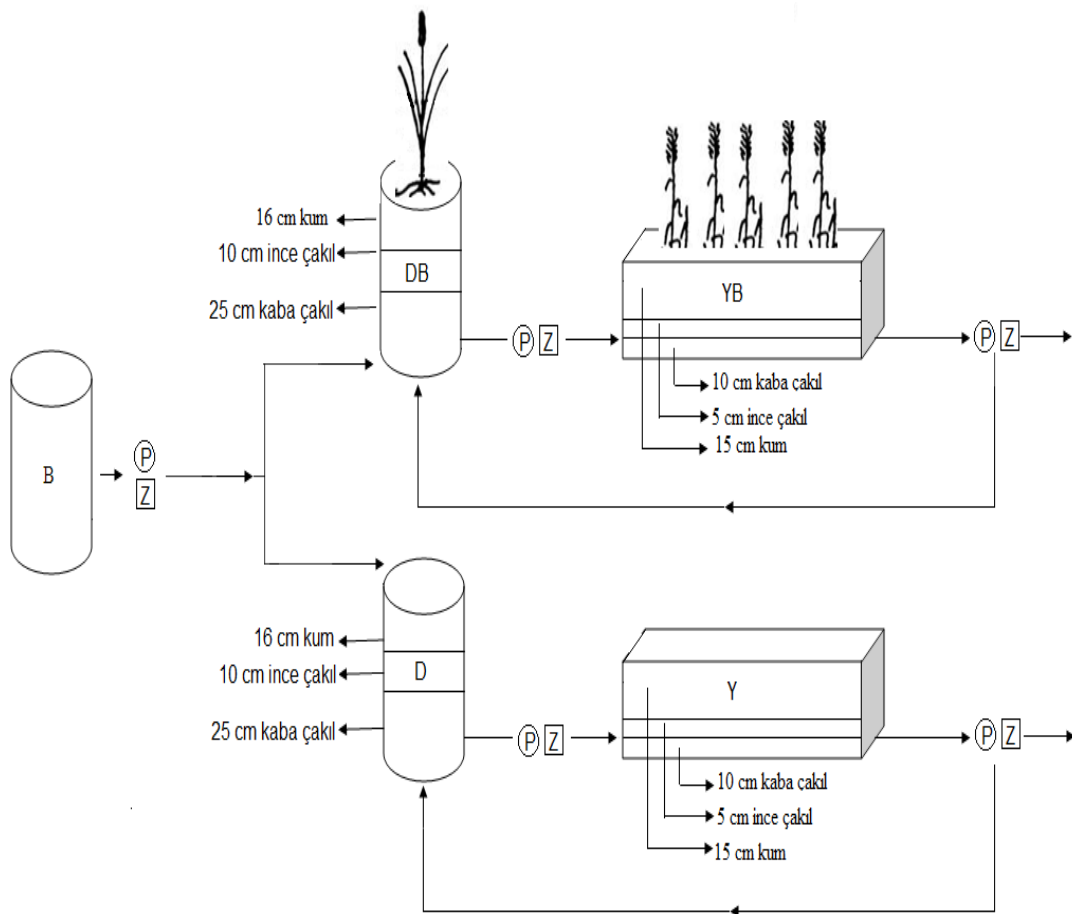
Renkli atıksu oluşturmak için cevizin yeşil kabuğu ve yaprakları toplanıp kurutuldu. Atıksu ceviz kabuğunun boyama reçetesine göre hazırlandı [11]. 20 litre çeşme suyunun içine 200 gram ceviz kabuğu tartılıp eklendi ve su kaynamaya başladıktan sonra 20 dakika daha kaynatılarak renkli atıksu elde edildi (Şekil 3.2). Manuel olarak hazırlanan atıksu spektrofotometrenin ölçüm aralığına bağlı olarak belirlenen seyreltme oranlarında saf su ile seyreltilerek sisteme verildi. İlk Beslemede seyreltme oranı 5 kat diğer iki besleme ise 3 kat olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. 2. Atıksuyun hazırlanması.

2.2. Pilot Yapay Sulakalan Sistemi

Arıtım için seçilen yapay sulakalan sistemi hibrit bir sistem olup, bir adet yüzeyaltı akışlı dikey silindirik reaktör ve buna bağlı ikinci bir dikdörtgen yatay akışlı yüzeyaltı reaktörden oluşmuştur. İki sistem oluşturulmuş, birisine bitki ekilmiş diğerinde ise sadece dolgu maddesi kullanılmıştır. Sitemde kullanılan reaktörler polietilen malzemeden yapılmış olup boş hacmi 100 litre olan 3 dairesel tank ve boş hacmi 300 litre olan 2 adet dikdörtgen tanktan oluşmaktadır (Şekil 2.3).



Şekil 2. 3. Yapay sulakalan sisteminin şematik görünümü: B: Besleme tankı, D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay Akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay Akışlı yapay sulakalan (Bitkili), P:Pompa, Z: Zamanlayıcı.

Şekil 2.3’de görülen şematik reaktörde B reaktörüne atıksu hazırlanıp konulur ve buraya bağlı aynı özellikte iki pompa (Sisdoz marka PRS6 model 1-6 L/saat) ve zamanlayıcı (haftalık, günlük ve saatlik programlanabilen dijital zamanlayıcı) ile DB ve D ile gösterilen bitkili ve bitkisiz dikey akışlı reaktörlere verilmektedir. DB ve D reaktörlerini yaklaşık 3 saat besledikten sonra çıkan su Yatay Akışlı Y ve YB reaktörlerine pompalanmaya başlanmıştır ve B tankında atıksu boşalınca kadar sistem beslenmiş ve 2 gün beklenmiştir. 2 gün sonunda çıkışta tekrar dikey akışlı sisteme geri verilmektedir.

Sistemde besleme tankı olarak kullanılan dairesel reaktörün dış çapı 42 cm yüksekliği 70 cm dir. Dikdörtgen reaktörlerin boyutları: genişlik: 45 cm uzunluk: 107 cm ve yüksekliği: 52 cm’dir. Dairesel reaktörlerin doldurulmuş hacmi 28 litre, dikdörtgen reaktörün doldurulmuş hacmi 65 litredir (Şekil 2.4).

DB, YB, D, Y reaktörlerine, dolgu malzemesi olarak en alt katmandan başlayarak 1,0–3,5 cm tane çapında kaba çakıl, 0,5–1,5 cm tane çapında ince çakıl ve inşaat kumu ile doldurulmuştur (Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7).

Dolgu malzemeleri yıkandıktan sonra belli yüksekliklerde tüm reaktörlere yerleştirildi. Bitkili ve bitkisiz sistemlerde aynı yükseklikler kullanıldı (Tablo 2.1).

Tablo 2. 1. Dolgu malzemeleri.

Dolgu Malzemesi	DB	YB	D	Y
Kaba Çakıl	25 cm	10 cm	25 cm	10 cm
İnce Çakıl	10 cm	5 cm	10 cm	5 cm
Kum	16 cm	15 cm	16 cm	15 cm



Şekil 2. 4. Yapay sulakalan sisteminden genel bir görünüm.



Şekil 2. 5. Sistemde kullanılan kaba çakıl ve tane büyüklüğü.



Şekil 2. 6. Sistemde kullanılan ince çakıl ve tane büyüklüğü.



Şekil 2. 7. Sistemde kullanılan inşaat kumu.

Dolgu malzemelerinden kaba ve ince çakıl reaktörlere doldurulmadan önce sisteme renk vermemesi için çeşme suyu ile yıkandı. (Şekil 3.8)



Şekil 2. 8. Çeşme suyu ile yıkanmış dolgu malzemesinden bir görünüm.

Dikey akışlı sulakalanda bitki olarak *Typha* sp., yatay akışlı sulakalanda ise *Phragmites* sp. bitkileri kullanılmıştır. Bitkiler Kayseri'nin Gesi ve Güzelköy ilçesi arasındaki vadi ve dere kenarındaki doğal sazlıklardan, 08.06.2013 tarihinde kökleri ile birlikte toplanmış ve 3 ay süreyle (08.09.2013'tarihine kadar) doğala yakın açık hava koşullarında yetiştirilerek köklerinin güçlenmesi ve yayılması sağlanmıştır.

Sonrasında bu bitkiler dolgu maddesinin bulunduğu reaktörlere yerleştirilmiş ve bu tarihten itibaren kapalı ortamda büyütülmüş ve iklim koşulları bir süre doğala yakın tutulmaya çalışılarak laboratuvar ortamına adaptasyonu sağlanmıştır (Şekil 2.9, Şekil 2.10).



Şekil 2. 9. Bitkilerin laboratuvara getirilmesi ve ekiminden önce bir görünüm.



Şekil 2. 10. Bitki ekilmiş reaktörlerden bir görünüm.

Sistem; bitkilerin laboratuvara adaptasyonu ve dolgu malzemelerinin yıkanması amacıyla çeşme suyu ile beslenmeye başlanmıştır. Reaktörlerden numuneler alınarak renk ölçümleri yapılmıştır. Yapılan renk ölçümleri Tablo 2.2’de özetlenmiştir.

Tablo 2. 2. Sistemin çeşme suyu ile yıkandıktan sonraki renk absorbands değerleri.

1.Yıkama Renk Ölçüm Sonuçları (Abs.)				
	DB	YB	D	Y
λ_{408}	0,011	0,018	0,004	0,011
λ_{436}	0,007	0,010	0,003	0,007
λ_{525}	0,002	0,003	0,001	0,004
λ_{620}	0,001	0,002	0,001	0,002
λ_{toplam}	0,021	0,033	0,009	0,024
2. Yıkama Renk Ölçüm Sonuçları (Abs.)				
	DB	YB	D	Y
λ_{408}	0,009	0,016	0,002	0,008
λ_{436}	0,006	0,010	0,002	0,005
λ_{525}	0,002	0,003	0,001	0,002
λ_{620}	0,001	0,001	0,000	0,001
λ_{toplam}	0,018	0,030	0,005	0,016
3. Yıkama Renk Ölçüm Sonuçları (Abs.)				
	DB	YB	D	Y
λ_{408}	0,008	0,018	0,003	0,006
λ_{436}	0,005	0,011	0,002	0,004
λ_{525}	0,002	0,003	0,001	0,002
λ_{620}	0,001	0,001	0,001	0,001
λ_{toplam}	0,016	0,033	0,007	0,013
4. Yıkama Renk Ölçüm Sonuçları (Abs.)				
	DB	YB	D	Y
λ_{408}	0,006	0,016	0,002	0,004
λ_{436}	0,003	0,010	0,001	0,003
λ_{525}	0,001	0,003	0,000	0,001
λ_{620}	0,000	0,001	0,000	0,000
λ_{toplam}	0,010	0,030	0,003	0,008

Sistem toplamda üç kez hazırlanan atıksu ile beslenmiş ve her beslemede 2 gün bekleme süresi sonucunda ölçümler yapılmıştır. İki günün sonunda ise atıksu sistem içinde dönmüştür. Sistemin çalışma süreci Tablo 2.3’de özetlenmiştir.

Tablo 2. 3. Sistemin çalışma süreci ve yapılan işlemler.

Tarih	Yapılan İşlem
12.10.2013	Sistemin çeşme suyu ile beslenmesi
13.10.2013	Çeşme suyunun deşarj edilmesi ve ölçümlerin yapılması
14.10.2013	Atıksu ile ilk besleme
15.10.2013	Bekleme süresi
16.10.2013	Bekleme süresi
17.10.2013	Ölçüm
18.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
19.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
20.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
21.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
22.10.2013	Ölçüm ve ikinci besleme
23.10.2013	Bekleme süresi
24.10.2013	Bekleme süresi
25.10.2013	Ölçüm
26.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
27.10.2013	Atıksuyun sistem içinde döngüsü
28.10.2013	Ölçüm ve üçüncü besleme
29.10.2013	Bekleme süresi
30.10.2013	Bekleme süresi
31.10.2013	Ölçüm

2.3. Analizler

Çalışmada geliştirilen sulakalanların performansının izlenmesi için giriş ve çıkışta renk, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam organik karbon, amonyum, nitrat, askıda katı madde ve pH değerleri standart metotlara göre tayin edilmiştir.

2.3.1. Renk Ölçümleri

Renk ölçümünde Hach Lange DR6000 marka spektrofotometre kullanılmıştır. Yapılan dalga boyu taramasında atıksuyun maksimum absorbans yaptığı dalga boyu belirlenmiştir. $\lambda_{\max}=408$ nm olarak tespit edilmiştir. 436 525 ve 620 nm dalga boylarında ve 408 nm de absorbans değerleri okunup verim hesabı absorbans değerleri üzerinden yapılmıştır.

3. BÖLÜM

BULGULAR

Bu çalışmada pilot bir yapay sulakalan sistemi oluşturulmuş ve ceviz boyar maddesi ile hazırlanan renkli atıksudan renk giderimi incelenmiştir.

Sistem toplamda 20 gün çalıştırılmış olup, arıtımın tüm etkilerinin ortaya çıkartılabilmesi için çok daha uzun süreler işletilmesi gerekmektedir. Ancak çalışmada ana amaç, sistemin çalışılabilirliğinin denenmesi ve başlangıçta öncelikli olarak renk giderimlerin ortaya çıkartılmasıdır. Aşağıdaki bölümlerde renk, KOI, TOK, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, AKM ve pH ölçümlerinin sonuçları verilmektedir.

3.1. Renk Giderimi

Spektrofotometrede yapılan dalga boyu taramasında atıksuyun maksimum absorbans yaptığı dalga boyu belirlenmiştir. $\lambda_{\text{max}}=408$ nm olarak tespit edilmiştir. 408 nm de absorbans değerleri okunup verim hesabı absorbans değerleri üzerinden yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de verilmiştir.

İlk besleme sonucunda; dikey bitkisiz reaktörde (D) verim % 73 iken dikey bitkili reaktörde (DB) % 80 olarak ölçülmüştür. Yatay bitkisiz reaktörde (Y) % 97 iken yatay bitkili reaktörde (YB) % 89 verim elde edilmiştir.

Sistem ikinci kez beslendiğinde; dikey bitkisiz reaktörde (D) verim % 82 iken dikey bitkili reaktörde (DB) % 90 olarak ölçülmüştür. Yatay bitkisiz reaktörde (Y) % 88 iken yatay bitkili reaktörde (YB) % 71 verim elde edilmiştir.

Sistem üçüncü kez beslendiğinde ise; dikey bitkisiz reaktörde (D) verim % 77 iken dikey bitkili reaktörde (DB) % 69 olarak ölçülmüştür. Yatay bitkisiz reaktörde (Y) % 73 iken yatay bitkili reaktörde (YB) % 83 verim elde edilmiştir.

Tablo 3. 1. Renk ölçüm sonuçları (AS:Atıksu, D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

1.BESLEME	λ (Abs)	GİRİŞ abs.	ÇIKIŞ abs.				VERİM %			
		AS	D	Y	DB	YB	D	Y	DB	YB
	λ_{408}	1,04	0,28	0,01	0,21	0,02	73	96	80	90
	λ_{436}	0,85	0,23	0,01	0,17	0,01	73	96	80	94
	λ_{525}	0,42	0,11	0,00	0,09	0,01	74	100	79	89
	λ_{620}	0,23	0,06	0,00	0,06	0,00	74	100	74	100
	λ_{toplaml}	2,54	0,68	0,02	0,53	0,04	73	97	79	92
2.BESLEME	λ (Abs)	GİRİŞ abs.	ÇIKIŞ abs.				VERİM %			
		AS	D	Y	DB	YB	D	Y	DB	YB
	λ_{408}	1,39	0,25	0,03	0,14	0,04	82	88	90	71
	λ_{436}	1,12	0,21	0,02	0,11	0,02	81	90	90	82
	λ_{525}	0,53	0,12	0,01	0,06	0,01	77	92	89	83
	λ_{620}	0,27	0,08	0,01	0,04	0,00	70	88	85	100
	λ_{toplaml}	3,31	0,66	0,07	0,35	0,07	80	89	89	80
3.BESLEME	λ (Abs)	GİRİŞ abs.	ÇIKIŞ abs.				VERİM %			
		AS	D	Y	DB	YB	D	Y	DB	YB
	λ_{408}	1,30	0,30	0,08	0,40	0,07	77	73	69	83
	λ_{436}	1,04	0,23	0,06	0,31	0,05	78	74	70	84
	λ_{525}	0,52	0,13	0,03	0,17	0,02	75	77	67	88
	λ_{620}	0,28	0,08	0,02	0,10	0,01	71	75	64	90
	λ_{toplaml}	3,14	0,74	0,19	0,98	0,15	76	74	69	85

3.2. KOI (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) Giderimi

Sistem üç kez beslenmiş olup sistemde ölçülen giriş KOI değerleri sırasıyla 629, 973, 777 mg/L'dir. Giriş-çıkış KOI değerleri ve verim hesabı Tablo 3.2'de verilmiştir.

İlk besleme sonucunda çıkış KOI giderim verimi; dikey bitkisiz reaktör (D) için % 61, dikey bitkili reaktör (DB) için % 69, yatay bitkisiz reaktör (Y) için % 81, yatay bitkili reaktör (YB) için % 83'dir. İkinci besleme KOI giderim verimi; D reaktörü için % 83, DB reaktörü için % 90, Y reaktörü için %89, YB reaktörü için % 84'dir. Üçüncü beslemede ise; D reaktörü için % 76, DB reaktörü için % 71, Y reaktörü için % 57, YB reaktörü için % 81'dir.

Her üç beslemede giderim verimi olumlu sonuçlar vermiştir. Sistemin son çıkışları olan Y reaktöründe KOI giderim verimi en düşük % 57 en yüksek % 89, YB reaktöründe ise en düşük % 81 en yüksek % 84 olarak ölçülmüştür.

Tablo 3. 2. KOI ölçüm sonuçları sonuçları (D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

Besleme Sayısı	Giriş KOI (mg/L)	Çıkış KOI (mg/L)				Verim (%)			
		D	Y	DB	YB	D	Y	DB	YB
1. Besleme	629	245	47	197	34	61	81	69	83
2. Besleme	973	170	18	102	16	83	89	90	84
3. Besleme	777	184	80	224	43	76	57	71	81

3.3. TOK (Toplam Organik Karbon) Giderimi

Sistem 3 kez beslenmiş olup ölçülen TOK değerleri sırasıyla; 241, 313, 307 mg/L'dir. Sistemde ölçülen Giriş-çıkış TOK değerleri ve verim hesabı Tablo 3.3'te verilmektedir.

Tablo 3. 3. TOK ölçüm sonuçları (D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

Besleme Sayısı	Giriş TOK (mg/L)	Çıkış TOK (mg/L)				Verim (%)			
		D	Y	DB	YB	D	Y	DB	YB
1	241	94	0,65	68	18	61	99	72	74
2	313	109	20	71	26	65	82	77	63
3	307	75	40	96	33	76	47	69	66

3.4. Amonyum Azotu (NH₄-N) Giderimi

Sistem üç kez beslenmiş olup sistemde ölçülen giriş amonyum azotu (NH₄-N) değerleri sırasıyla 0,32 mg/L, 0,42 mg/L ve 0,49 mg/L'dir. Giriş-çıkış amonyum azotu (NH₄-N) değerleri ve verim hesabı Tablo 3.4'te verilmiştir. Sistemde ölçülen amonyum azotu (NH₄-N) giderim verimi % 88 ile % 96 arasında değişmektedir.

Tablo 3. 4. Amonyum azotu (NH₄-N) ölçüm sonuçları ve giderim verimleri (Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

Besleme Sayısı	Giriş NH ₄ -N (mg/L)	Çıkış (mg/L)		Verim (%)	
		Y	YB	Y	YB
1. Besleme	0,32	0,01	0,04	97	88
2. Besleme	0,42	0,03	0,04	93	90
3. Besleme	0,49	0,02	0,05	96	90

3.5. Nitrat Azotu (NO₃-N) Giderimi

Üç besleme sonucunda sistemde ölçülen giriş nitrat azotu (NO₃-N) değerleri sırasıyla 6,26 mg/L 8,78 mg/L ve 7,96 mg/L'dir. Yapılan ölçümler ve elde edilen verimler Tablo 3.5'te verilmektedir. Sistemde nitrat azotu (NO₃-N) giderim verimi % 76 ile % 98 arasında değişmektedir. Yapılan ölçümlerde genelleme yapıldığında bitkisiz sisteme göre daha yüksek verim elde edilsede ölçümlerin uzun vadede yapılıp bu durumun desteklenmesi gerekir.

Tablo 3. 5. Nitrat azotu (NO₃-N) ölçüm sonuçları ve giderim verimleri (Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

Besleme Sayısı	Giriş NO ₃ -N (mg/L)	Çıkış (mg/L)		Verim (%)	
		Y	YB	Y	YB
1. Besleme	6,26	1,52	0,19	76	97
2. Besleme	8,78	0,10	0,20	99	98
3. Besleme	7,96	0,19	0,24	98	97

3.6. AskıdaKatı Madde (AKM) Giderimi

Ceviz kullanılarak elde edilmiş olan tekstil atıksuyunun AKM değerleri oldukça düşüktür. Atıksu AKM değerli 0,02 ile 0,05 mg/L arasında değişmekte olup, çıkış değerleri ise 0 ile 0,01 mg/L olarak ölçülmüştür.

3.7. pH Ölçümü

Bu çalışmada doğal boyamacılık yöntemi seçilmiştir. Sentetik boyaların kullanıldığı tekstil atıksularının en büyük sorunlarından biri yüksek pH iken, çalışmakta olduğumuz bu sistemde pH değerlerinde fazla değişim olmamış ve ceviz ile oluşturulmuş olan atıksu pH değerleri 6,62 – 6,96 arasında değişmiştir.

Çıkıştaki pH değerleri de benzer aralıklarda kalmış olup 6,05 ile 6,96 arasında değişmektedir. Tablo 3.6’da atıksu ve alınan numunelerdeki pH değerleri verilmektedir.

Tablo 3. 6. pH ölçüm sonuçları (D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

Besleme Sayısı	Giriş pH	Çıkış pH			
		D	Y	DB	YB
1. Besleme	6,62	6,15	6,24	6,31	6,24
2. Besleme	6,65	6,43	6,65	6,64	6,83
3. Besleme	6,96	6,79	6,96	6,55	6,84

4. BÖLÜM

TARTIŞMA SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapay sulakalanlar günümüzde evsel atıksuların arıtımında standart hale getirilmiş sistemler olmasına rağmen, halen bu sistemlerin farklı atıksuların arıtımı konusunda pek çok araştırma yapılmaktadır [2]. Bu araştırmalardan bir kısmı da, giderek tekstil atıksuyu gibi, karmaşık ve giderimi zor olan atıksulara yönelmektedir [10, 35, 53-55].

Bu çalışma ile doğal boyamacılık sonucu oluşan atıksuyun yapay sulakalanlar yolu ile arıtılıp arıtılmayacağı sorusu çalışılmıştır. Boyar madde olarak ceviz boyar maddesi kullanılarak tekstil atıksuyu elde edilmiş ve laboratuvar ortamında oluşturulan pilot yapay sulakalan ile renk, KOI, TOK ve Azot ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) arıtımı incelenmiştir.

4.1. Tekstil Atıksuyu ve Yapay Sulakalanlarda Giderimi

Yapay sulakalanlar tekstil atıksularını arıtmak için kullanılan nispeten yeni yöntemlerden biridir [53]. Tekstil endüstrileri çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketmektedirler. Gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan bu organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Tekstil atıksuları genellikle yüksek pH ve renk içeriği, düşük biyolojik parçalanabilirlik gibi özellikleri ile kirli atıksular arasında yer almaktadır [10]. Alıcı sulara verilen renkli atıksular su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltır ve fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler. Ayrıca boyar maddelerin bazı sucul organizmalarda birikmesi toksik ve kanserojenik ürünlerin meydana gelme riskini de beraberinde getirmektedir. Bu bağlamda boyar madde içeren tekstil endüstrisi atıksularının renk giderim prosesleri ekolojik açıdan önem kazanmaktadır.

Tekstil ürünlerinin çeşitliliğindeki artış ve buna bağlı olarak yüksek değişkenlikte kimyasal özelliklere sahip birçok boyar maddenin kullanılması, bu sektörün atıksularının arıtılmasını daha zor hale getirmektedir [35]. Tekstil atıksularının arıtılması için kullanılan yaygın yöntemler; koagülasyon, flokülasyon, oksidasyon, membran filtrasyonu, adsorpsiyon ve aktif karbon yöntemleridir.

Bu yöntemlerin yüksek enerji gereksinimi, zehirli çamur ve atık üretimi gibi önemli dezavantajları bulunmaktadır. Bu nedenle verimli, kullanımı kolay, ucuz, çevre dostu alternatif arıtma yöntemlerine ihtiyaç duyulmuş ve yapay sulakalanlarda arıtma alternatifleri araştırılmıştır.

Bu konuda çok fazla araştırma yapılmamıştır ancak araştırmalar giderek artmaktadır. Araştırmaların bir kısmı renk giderimi üzerinden incelenirken bir kısımda azo-boyar maddelerin uzaklaştırılması niteliğindedir.

Bulc G. Tjasa ve arkadaşları [55], yapmış oldukları çalışmada boyar maddece zengin tekstil atık sularının arıtılmasında özellikle renk giderimine yoğunlaşarak yapay sulakalanın verimliliğini incelemişlerdir. Bu çalışmada *Phragmites australis* bitkisinin ekili olduğu pilot yapay sulakalanın ortalama arıtma verimliliği; KOI % 84, BOI % 66, TOK % 89, toplam azot % 52, Organik Azot % 87, NH₄-N % -331 (oksijen eksikliğinden dolayı), Sülfat % 88, Anyon yüzey aktif madde % 80, TAK % 93 ve renk % 90 olarak kaydedilmiştir.

Alenka Ojstrsek ve arkadaşları [54], laboratuvar ortamında hazırladıkları yapay sulakalanda farklı boyar madde içeren atıksulardan renk giderimini incelemişler ve yapay sulakalan modelinin boya kalıntılarını % 70'e varan oranda giderdiğini, TOK ve KOI değerlerini % 88'e, elektriksel iletkenlik % 60'a varan oranda indirdiğini, pH değerini ise 12'den 7,6'ya düşürdüğünü bildirdiler.

Tanveer Saeed ve Guangzhi Sun [56], yapmış oldukları çalışmada 2 adet laboratuvar ölçekli hibrit sulakalan sisteminde tekstil atıksularının giderim verimliliklerini araştırmışlardır. Sistem üniversite kampüsüne kurulmuş Bangladeş'te yerel bir boya fabrikasından alınan atıksu deney alanına taşınmış, sulakalan sistemine dozlanmadan

önce besleme tankında depolanmıştır. Sistemde *Phragmites australis*, *Dracaena sanderiana*, ve *Asplenium platyneuron* bitkilerini, dolgu malzemesi olarak şeker kamışı posası ve kum kullanmışlardır. Her iki sisteminde farklı iki hidrolik yükte kirlilik giderim verimliliklerini incelemişlerdir. Düşük hidrolik yükte sistemin arıtma verimliliğinde giderimlerin sırasıyla bulanıklıkta % 90, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'te % 81, $\text{NO}_2\text{-N}$ 'te % 87, $\text{NO}_3\text{-N}$ 'te % 72, KOI'de % 87, BOI_5 'de % 95, AKM'de % 63 olduğu bulunmuştur. Yüksek hidrolik yükte ise bulanıklık % 83, $\text{NH}_4\text{-N}$ % 70, $\text{NO}_2\text{-N}$ % 87, $\text{NO}_3\text{-N}$ % 77, KOI % 90, BOI_5 % 97, AKM % 38 oranlarında azalmıştır. Yüksek ve değişken kirlilik yükü altında sulakalan sistemlerinin giderimin verimliliğinin sabit ve kararlı olduğunu bildirmişlerdir.

Davies ve arkadaşları [6], yapmış oldukları çalışmada azo boyar madde (AO7) içeren tekstil atıksuyunun *Phragmites australis* ekili dikey yüzeyaltı akışlı yapay sulak sisteminde arıtımını incelemişler ve bu sistemin azo boyar madde (AO7) içeren atık suları arıtmaya elverişli olduğunu belirtmişlerdir. Sistemde azo boyar madde (AO7) giderim veriminin % 69, KOI giderim veriminin % 52, TOK giderim veriminin % 64 olduğunu bildirmişlerdir. Davies ve arkadaşları [57], yapmış oldukları başka bir çalışmada azo boyar madde (AO7) giderim veriminin % 68, KOI giderim veriminin % 69 ve TOK giderim veriminin % 67 olduğunu bildirmişlerdir.

Bu çalışmada yapmış olduğumuz sistemimiz, bu zamana kadar yapılan çalışmalar ile belirli kirlilik giderim parametrelerinin arıtımında paralel özellik göstermiştir. Çalışmayı spesifik hale getiren ise tekstil atıksuyunda doğal boyar maddenin kullanılmış olmasıdır. Çalışmamızda pilot yapay sulakalan sistemi kurulmuş olup sistem toplamda 20 gün çalıştırılmıştır. Doğal boyamacılıkta kullanılanına özdeş bir boya oluşturularak yapay sulakalan sistemine verilmiş ve renk, KOI, TOK, azot ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) giderimine bakılmıştır.

4.2. Yapay Sulakalanlarda Giderim Mekanizmaları

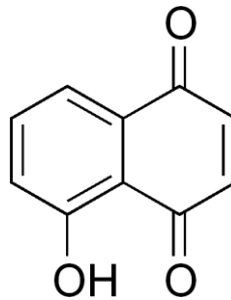
Bu çalışmada üzerinde durulan parametreler; renk, KOI, TOK ve azot ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$). Ceviz kullanılarak üretilmiş olan tekstil atıksuyunun AKM değerleri oldukça düşüktür.

Atıksu AKM değerleri 0,02 ile 0,05 mg/L arasında değişmiş olup, çıkış değerleri ise 0 ile 0,01 mg/L değerleri arasında kalmıştır. Çalışılan sistemde pH değerlerinde fazla değişim olmamış ve ceviz ile oluşturulmuş olan atıksu pH değerleri 6,62 – 6,96 arasında değişmiştir. Çıkıştaki pH değerleri de benzer aralıklarda kalmış olup 6,05 ile 6,96 arasında değişmiştir.

4.2.1. Sistemde Renk Giderimi

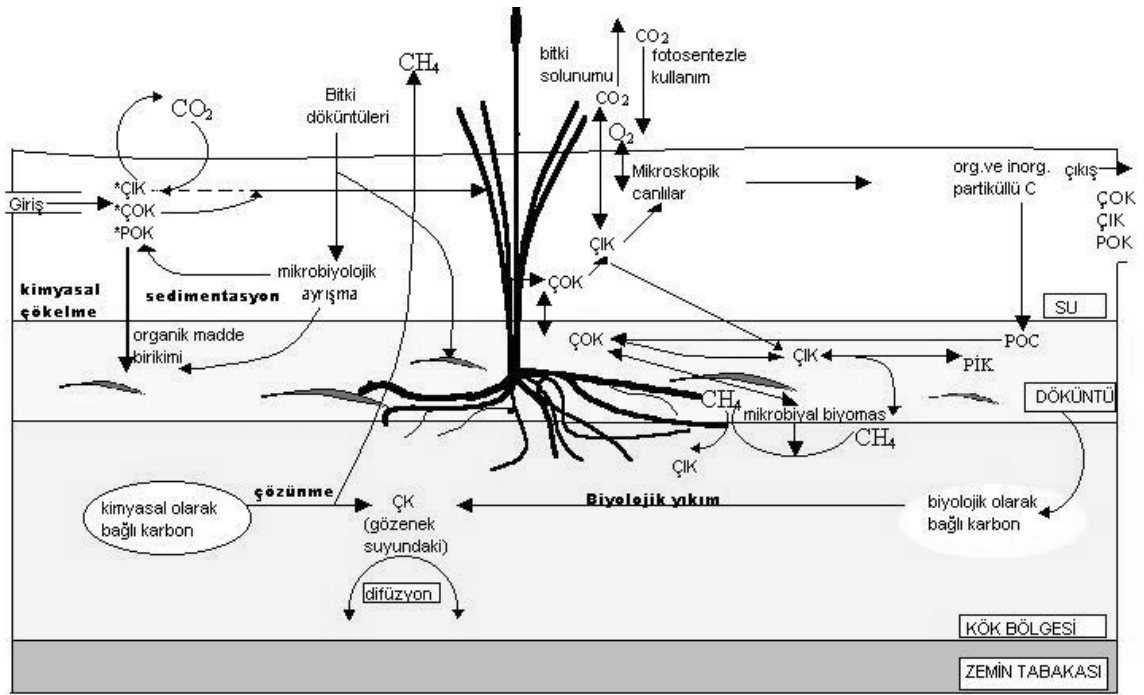
Atıksuyumuzda bulunan renk maddesi cevizde boya özelliği kazandıran juglon isimli organik bileşiktir. Kimyasal yapısı 5-hidroksil-1,4-naphtalindion (IUPAC) olup molekül formülü $C_{10}H_6O_3$ 'dür (Şekil 4.1).

Besin endüstrisinde boya üretiminde kullanılır. Juglon, ceviz bitkisinin yapraklarında, köklerinde, kabuklarında, meyvesinde ve ağaç kabuğunda doğal olarak bulunur [52].



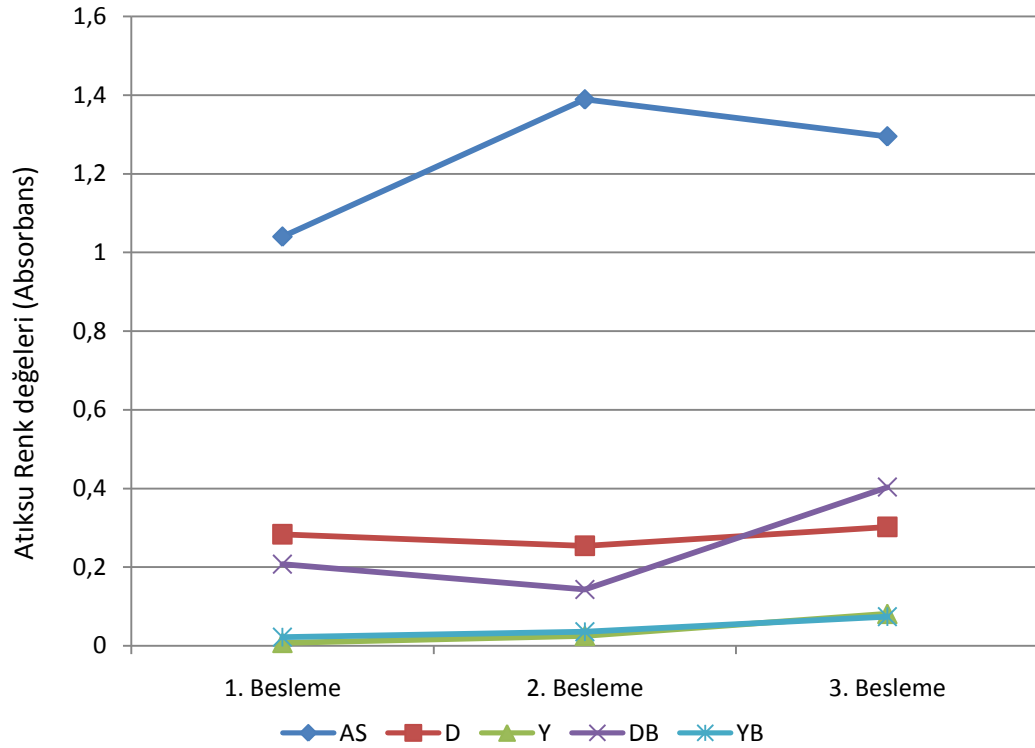
Şekil 4. 1. Cevizde boyar madde özelliği gösteren organik bileşik Juglon'un kimyasal gösterimi [52].

Organik madde olmasından kaynaklı olarak bu maddenin giderimi organik maddelerin fiziksel olarak sistemde filtre edilmesi ve mikrobiyal bozunum yolu ile olmaktadır. Sulakalanda gerçekleşen karbon gideriminden birbiri ile bağlantılı fiziksel ve mikrobiyal mekanizmalar sorumludur. Karbon gideriminde üç temel mekanizma vardır ki bunlardan birincisi organik katıların sulak alanda filtrasyonudur. Bu sayede organik katılar sulakalanda uzun süre tutulmuş ve biyolojik parçalanması için uygun hidrolik koşullar sağlanmış olmaktadır. İkincisi; açık havadan suyun akışı ile sulakalan sistemine oksijen transferidir. Üçüncüsü ise dolgu malzemesi içerisinde anoksik koşulların oluşması ve fermentasyon yolu ile giderimidir. Sulakalanlarda gerçekleşen karbon döngüsü şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4. 2. Karbon döngüsü (ÇİK: Çözünmüş inorganik karbon, ÇOK: Çözünmüş organik karbon, POK: Partiküler organik karbon, PİK: Partiküler inorganik karbon.) [58].

Sistemimizde organik içerikli boyar madde adsorpsiyonla tutulup mikrobiyal aktivite ile giderildi ancak sistemin uzun vadede işletiletilip doygunluğa ulaştıktan sonraki çalışma performansı gözlenmesi gerekmektedir. Sistemde elde edilen giriş ve çıkış renk absorbans değerleri şekil 4.3’de verilmiştir.

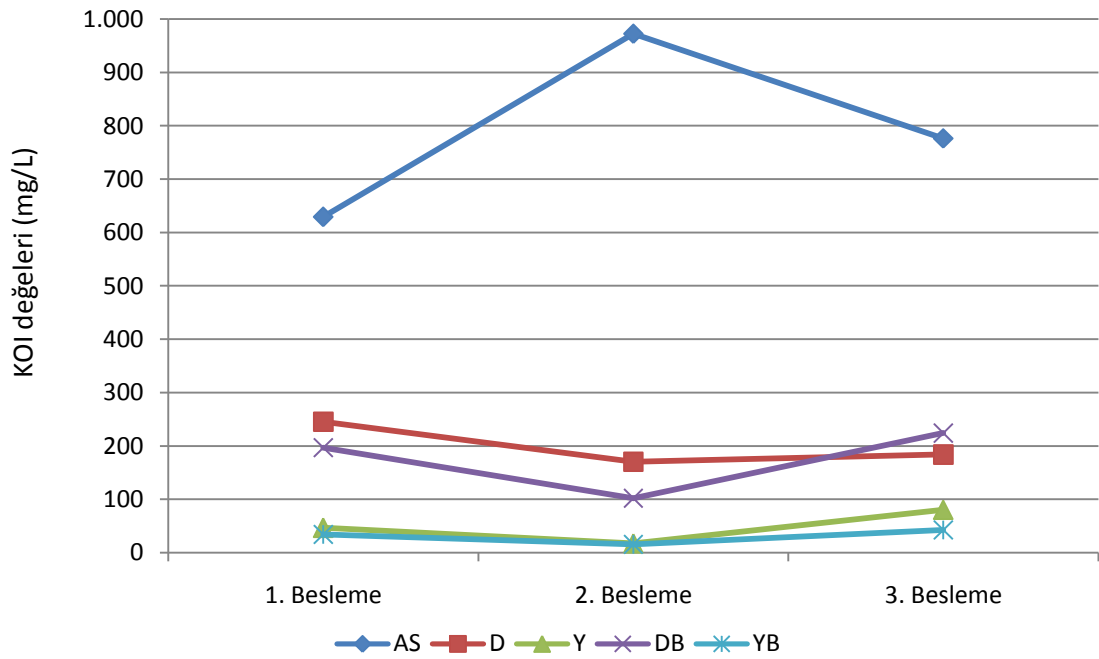


Şekil 4. 3. Renk giriş ve çıkış abs. değerleri (AS:Atıksu, D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

4.2.2. KOI Giderim Mekanizması

Organik maddelerden biri olan KOI aerobik ve anaerobik mikroorganizmalar tarafından giderilmektedir. KOI giderimine bitkiler köklerinin ortamı oksijenlendirmesinden dolayı katkı sağlamaktadır. Sistemimizde giriş çıkış KOI değerleri ölçülmüş olup şekil 4.4'te verilmiştir.

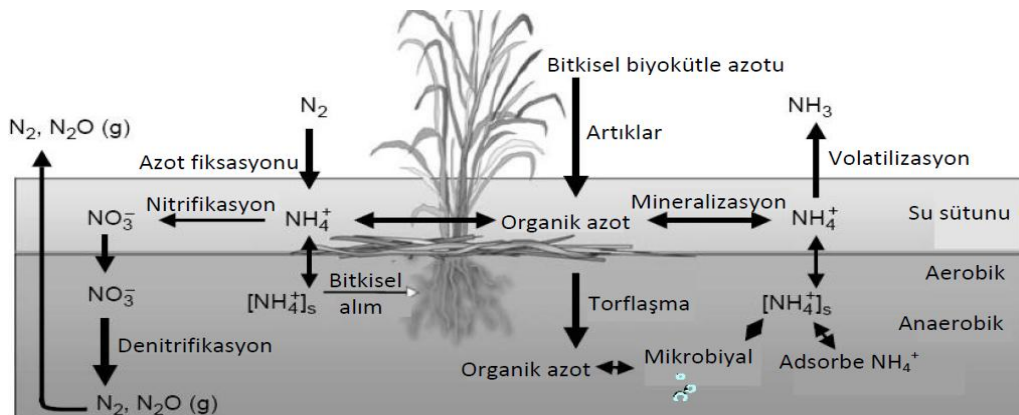
Pilot yapay sulakalan sistemi daha uzun sürede çalıştırılıp çalışma performansı gözlenmeli ayrıca KOI giderimine sistemin bileşenlerinin etkileri incelenmelidir.



Şekil 4. 4. Giriş ve çıkış KOI değerleri (AS:Atıksu, D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

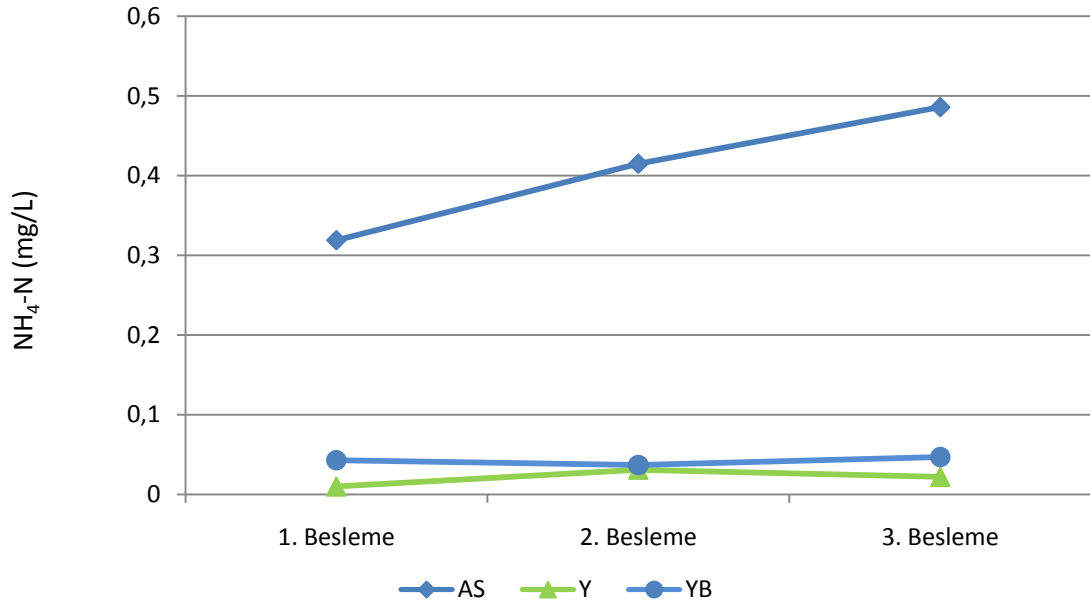
4.2.3. Azot Giderimi

Yapay sulakalarlarda pariküler, çözünmüş, organik ve inorganik formlarında bulunan azot; organik azotun amonyak azotuna dönüşüm süreci olan mineralizasyon, amonyak azotunun sıvı formdan gaz formuna geçtiği buharlaşma, biyolojik alım, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve azot sabitleme gibi proseslerle giderilmektedir. Şekil 4.5'te gerçekleşen prosesler verilmiştir.

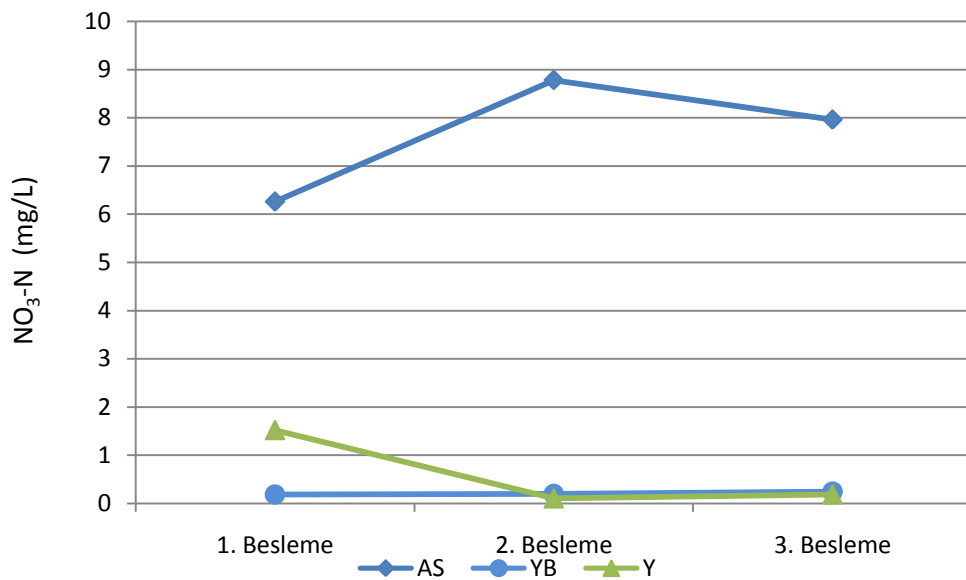


Şekil 4. 5. Sulakalanlarda azot döngüsü [59].

Sistemimizin azot giderimine bitkisel kullanımının etkisi için uzun vadede işletilip gözlemlenmesi gerekmektedir. Sistemde amonyum ve nitrat azotu formları ölçülmüştür. Verileri Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.



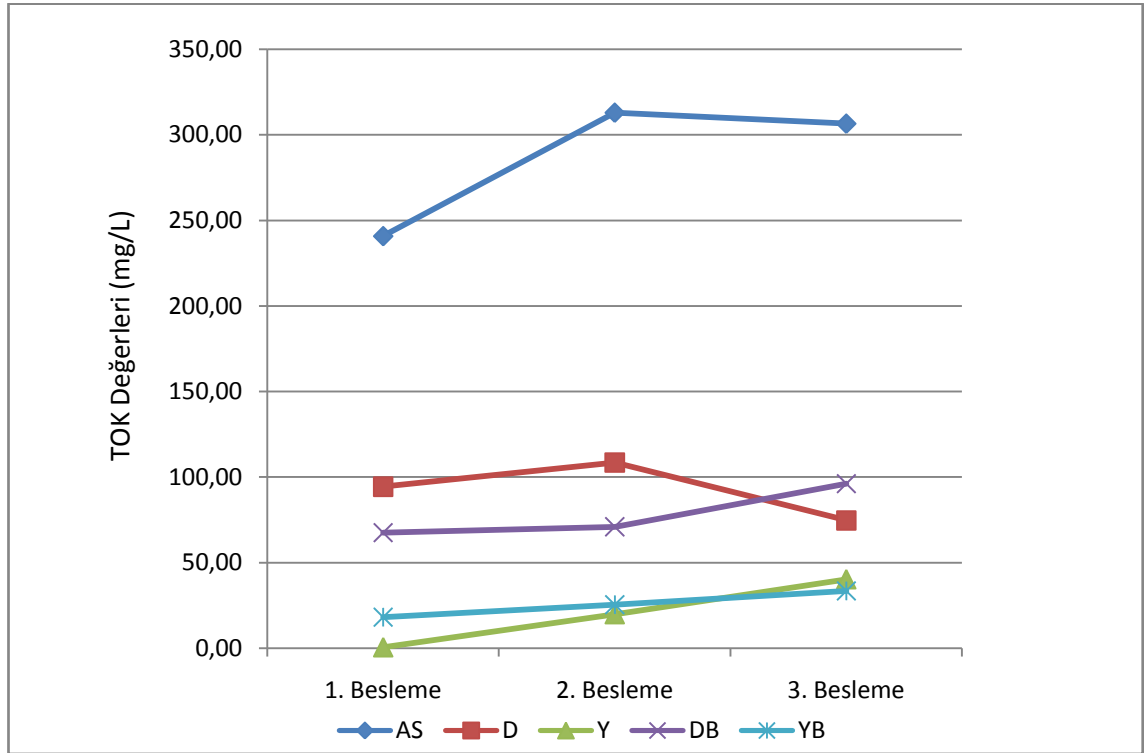
Şekil 4. 6. Giriş-çıkış $\text{NH}_4\text{-N}$ değerleri (AS: Atıksu, Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).



Şekil 4. 7. Giriş-çıkış $\text{NO}_3\text{-N}$ değerleri (AS: Atıksu, Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

4.2.4. Toplam Organik Karbon (TOK) Giderimi

Sistemde giderimin diğer parametrelerde olduğu gibi oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. Sistemde ölçülen giriş-çıkış toplam organik karbon değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4. 8. Giriş-çıkış TOK değerleri (AS:Atıksu, D: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), Y: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkisiz), DB: Dikey akışlı yapay sulakalan (Bitkili), YB: Yatay akışlı yapay sulakalan (Bitkili)).

4.3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışma ile doğal boyamacılığın ortaya koyabileceği ekolojik etkiler tartışılmış olup, yapay sulakalanlar bu etkilerin giderilmesinde bir çözüm olarak sunulmuştur.

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen bulgulara göre pilot düzeydeki yapay sulakalanda renk, KOI, TOK ve Azot gideriminde umut verici giderim elde edildi. Bu sebeple doğal boyamacılığın yapıldığı küçük yerleşim yerlerinde uygulanabilecek ekonomik ve ekolojik arıtma sistemi olarak ön plana çıkmaktadır. Ancak sistem kısa bir süre

işletilmiştir. Ayrıca doğal boyamacılıktaki mordanlamanın etkileri bu araştırmaya dahil edilmemiştir. İleriki çalışmalarda sistemin daha uzun süreli işletilmesi ve doygunluğa ulaştıktan sonraki performansının kaydedilmesi önem taşımaktadır. Yine ileriki çalışmalarda mordan olarak kullanılan ağır metallerin sistem içerisindeki giderim performansı araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR:

1. Vymazal, J., 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. **Science of The Total Environment**, **380**: 48-65.
2. Wei, Z., Guodong, J., 2012. Constructed wetlands, 1991-2011: A review of research development, current trends, and future directions. **Science of the Total Environment**, **441**: 19-27.
3. UN-HABITAT, 2008. Constructed wetlands manual. UN-HABITAT water for Asian cities programme Nepal, Kathmandu.
4. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2010. 2000 kişilik evsel atıksu yapay sulakalanı arıtma tesisi tip uygulama projesi proses raporu. Ankara.
5. Kadlec, R. H., Wallace, S., D., 2009. Treatment wetlands, pp. 687-723. In: Treatment Wetlands Second Edition (Eds: Robert H. Kadlec, Scott D. Wallace) CRC press, New York.
6. Davies, L. C., Carias, C. C. et al. 2005. Phytoremediation of textile effluents containing azo dye by using *Phragmites australis* in a vertical flow intermittent feeding constructed wetland. **Ecological Engineering**, **25**(5): 594-605.
7. Davies, L. C., Pedro, I. S. et al. 2006. Aerobic degradation of acid orange 7 in a vertical-flow constructed wetland. **Water Research**, **40**(10): 2055-2063.
8. Davies, L. C., Pedro, I. S. et al. 2008. Constructed wetland treatment system in textile industry and sustainable development. **Water Science and Technology**, **58**(10): 2017-2023.
9. Davies, L. C., Ferreira, R. et al. 2009. Are plants a solution for textile wastewater treatment? **New Biotechnology**, **25**: 185.
10. Lin, S.H., Chen, M.L., 1997. Treatment of textile wastewater by electrochemical methods for reuse. **Water Research**, **31**: 868–876.
11. Karadağ, R., 2007. Doğal Boyamacılık. T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı Döner Sermaye İşletmesi Merkez Müdürlüğü Yayınları. Ankara, 128 s.

12. Sergüzen, 2007. Bitkilerle tekstil materyali (yün-ipek-kumaş) boyama. (Web sayfası: <http://www.agaclar.net/forum/daha-iyi-bir-yasam-icin/22976.htm>), (Erişim tarihi: Kasım 2013).
13. Gündoğdu, V., 2004. İzmir kuş cenneti sulakalanının ekolojik yapısı ve su kirliliği izleme çalışması. **Ekoloji**, **54**: 31-36.
14. Vymazal, J., 2010. Constructed wetlands for wastewater. **Water**, **2**: 530-549.
15. Vymazal, J., 2005. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, **25**: 478-490.
16. Ayaz, Ç.S., Akça, L., 2000. Treatment of wastewater by constructed wetland in small settlements. **Water Science Technology**, **41**(1): 69-72.
17. Korkusuz, E.A., Beklioğlu, M., Demirer, G.N., 2005. Düşey akışlı ekilmiş sulakalanların arıtma verimlerinin karşılaştırılması. *VI.Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildirileri* (Kasım, İstanbul), s: 506-516, Çevre Mühendisleri Odası.
18. Ayaz, S., Tüfekçi, H., Güneş, K., 2004. Mogan Gölü'ne karışan bazı akarsulardaki kirletici yüklerin belirlenmesi ve doğal arıtım yöntemleriyle ıslahı. TÜBİTAK-MAM-Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü Projesi (ESÇAE).
19. Yıldız, C., Korkusuz, E.A., Arıkan, Y., Demirer, G.N., 2003. Evsel atıksu arıtımı için ekilmiş sulakalan tesisi: Viranşehir örneği. *V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildirileri*, sayfa: 623-625, Ankara.
20. Garfi, M., Pedescoll, A., vd., 2012. Effect of climatic conditions, season and wastewater quality on contaminant removal efficiency of two experimental constructed wetlands in different regions of Spain. **Science of the Total Environment**, **437**: 61-67.
21. Angın, İ., Tunç, T., Şahin, Ü., 2010. Yapay Sulak Alanların Soğuk İklim Şartlarında Kullanılabilirliği. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, **3** (2): 59-64.
22. Vymazal, J., 2008. Constructed wetlands for wastewater treatment: A review. *The 12th World Lake Conference*, s: 965-980.
23. EPA (United States Environmental Protection Agency). 1995. A Handbook of Constructed Wetlands Volume 1. General Considerations.
24. Milhelcic, J., et al. 2009. Field Guide to Environmental Engineering for Development workers. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. 550 pp.

25. Brix, H., 1997. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?. **Water Science Technology**, **35**: 11–17.
26. ITRC (The Interstate Technology & Regulatory Council) , 2003, Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Wetlands. (Web sayfası: www.itrcweb.org/Guidance/GetDocument?documentID=106), (Erişim tarihi: Kasım 2013).
27. Stottmeister, U., vd., 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. **Biotechnology Advances**, **22**: 93–117.
28. Paul, E.A., Clark, F.E., 1996. Soil Microbiology and Biochemistry, 2nd ed. Academic Press, San Diego, CA.
29. Gagnon, V., Chazarenc, F., Comeau, Y., Brisson, J., 2006. Influence of macrophytes species on microbial density and activity in constructed wetlands. *In Proceedings of 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. MAOTDR 2006, Lisbon: 1025–1033.
30. Vymazal, J., 2011. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review. **Hydrobiologia**, **674**: 133–156.
31. Kropfelová, L., Vymazal, J., Svehla, J., Střichová, J., 2009. Removal of trace elements in three horizontal sub-surface flow constructed wetlands in the Czech Republic. **Environmental Pollution**, **157**: 1186–1194.
32. Erakhrumen, A.A., 2007. Review Phytoremediation: an environmentally sound technology for pollution prevention, control and remediation in developing countries. **Educational Research and Review**, **2**: 151–156.
33. Zhanga, B.Y., Zhenga, J.S., Sharp, R.G., 2010. Phytoremediation in engineered wetlands: mechanisms and applications. **Procedia Environmental Sciences**, **2**: 1315–1325. International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference(ISEIS).
34. Ali, H., Khan, E., Sajad, M.A., 2013. Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. **Chemosphere**, **91**: 869–881.
35. O'Neill, C., Hawkes, F.R., vd., 1999. Colour in textile effluents-sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. **Journal of Chemical Technology and Biotechnology**, **74**: 1009–1018.
36. Kumbasar, E.P., 2011. Natural Dyes. Intech press.

37. Köklü, R., 2004. Polimer Adsorpsiyonu ile Tekstil Endüstrisi Atıksularında Renk Giderimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. Sakarya, 44 s.
38. Sevimli, M.F., 2000. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama İle Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 238 s.
39. Eren, Z. 2002. Tekstil Boyar Maddesi İçeren Sulu Ortamdan Renk Giderimi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, 62 s.
40. Gökkuş Ö. 2009. Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Fenton Prosesi ve Kimyasal Koagülasyon Uygulanarak Renk Ve KOI Gideriminin İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 126 s.
41. Başbuğ, M., 2008. Bentonit ve Ponza İle Sulu Çözeltilerden ve Tekstil Atıksuyundan Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 101s.
42. Yıldız, A., Genç, Ö., Enstrümental Analiz Ders Kitabı, 1. Baskı Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 1993.
43. Üren, A., 1999. Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri tristimulus colorimetry. **Gıda**, **24**:193-200.
44. Kao, C.M., Chou, M.S. vd., 2001. Regulating colored textile wastewater by 3/31 wavelength admi methods in Taiwan. **Chemosphere**, **44**: 1055-1063.
45. Sert, N.D., 2006. İlaç Endüstrisi Atıksularında Fenton Prosesi ile Renk KOI Giderimi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 81 s.
46. Sağlam, Ç.Ş., 2008. Boyar Madde içeren Atıksuların Arıtımında Farklı Fotokatalitik Oksidasyon Parametrelerinin Araştırılması. Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 137 s.

47. Temoçin, H., 2006. Tekstil Atıksularının Renginin Giderilmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, 182 s.
48. Karaca, H., 2007. Tekstil Boyar Maddelerinin Mikrobiyal Renk Giderimi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 73 s.
49. Pearce, C.I., Lloyd, J.R., Guthrie, J.T., 2003. The Removal of colour from textile wastewater using whole bacterial cells:a review. **Dyes and Pigments**, **58**: 179-196.
50. Zee, V.D., Frank, P., 2002. Anaerobic azo dye reduction. Wageningen University, Wageningen, Doctoral Thesis, The Netherlands, 142 pages.
51. Karadağ, E.K., 2009. Elektrokoagülasyon Yöntemi ile Karışım Halindeki Tekstil Boyar Maddelerin Renk Giderimi. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 70 s.
52. Çakır, U., 1996. Doğal Boyarmaddelerle Pamuklu Dokuma Kumaşlarının Boyanabilirliği. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekstil Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, 93 s.
53. Correia, V.M., Stephonson, T., Judd, S.J., 1994. Characterisation of textile wastewaters-a review. **Environmental Technology**, **15**: 917–929.
54. Ojstrsek, A., Fakin, D., Vrhovsek, D., 2007. Residual dyebath purification using a system of constructed wetland. **Dyes and Pigments**, **74**: 503–507.
55. Tjasa, G.B., Ojstrsek, A., 2008. The use of constructed wetland for dye-rich textile wastewater treatment. **Journal of Hazardous Materials**, **155**: 76–82.
56. Saeed, T. and Sun, G., 2012. A lab-scale study of constructed wetlands with sugarcane bagasse and sand media for the treatment of textile wastewater. **Bioresource Technology**, **128**: 438-447.
57. Davies, L.C., Cabrita, G.J.M., et al. 2009. Integrated study of the role of *Phragmites australis* in azo-dye treatment in a constructed wetland: From pilot to molecular scale. **Ecological Engineering**, **35**(6): 961-970.

58. Demirörs, B., 2006. Çukurova Bölgesinde Yapay Sulak Alan Teknolojisinin Kırsal Alanda Kullanımının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans tezi. Adana, 86 s.
59. Dzakpasu, M., Hofmann, O., Scholz, M., Harrington, R., Jordan, S., McCarthy, V., 2010. Nitrogen Removal in Integrated Constructed Wetland Treating Domestic Wastewater. *Presentation at 2nd Irish International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment & Environmental Pollution Control*. 1-2 Oct. 2010.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Onur SEVİM
Doğum Yeri ve Tarihi : Kayseri/ 21.04.1983
E-Mail : onurg_83@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

İlk okul: Cacabey İlköğretim Okulu, Kırşehir, 1989–1994
Orta okul: Selçuk Orta Okulu, Sivas, 1994–1997
Lise: Sivas Yabancı Dil Ağırlıklı Kongre Lisesi, Sivas, 1997–2001
Lisans: Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2002–2006
Yüksek Lisans: Erciyes Üniversitesi

İŞ TECRÜBESİ

2006–2007 Akın Plastik Boru San. A.Ş. - Büro Personeli
2010–2012 Kahraman Eko Ltd. Şti Çevre Mühendisi-Çevre Görevlisi

YAPILAN STAJ /TEZ/ PROJELER

- Yibitaş Lafarge Çimento Fabrikası Sivas-Stajyer
- İl Halk Sağlığı laboratuvarı Sivas-Stajyer
- İller Bankası Sivas-Stajyer
- Mühendislik Projesi: Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon
- Bitirme Ödevi: Sivas İli Çöp Deponi Alanı ÇED Raporu
- ÇEVRE2004 1. Ulusal Çevre Kongresi- Organizasyon Görevlisi
- Kayseri Hacılar Belediyesi Ambalaj Atıkları Yönetim Planı-Proje Sorumlusu