

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA MİKROALG  
KULLANIMI**

**Kemal ŞİMŞEK**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. H. Göknur ŞİŞMAN AYDIN**

**Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı**

**Sunuş Tarihi : 23.01.2019**

**Bornova-İZMİR**

**2019**



Kemal ŞİMŞEK tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan “Endüstriyel Atıksu Arıtımında Mikroalg Kullanımı” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş v e23.01.2019 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

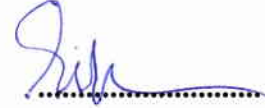
**Jüri Üyeleri:**

**İmza**

**Jüri Başkanı : .Doç.Dr. H. Göknur ŞİŞMAN AYDIN**



**Raportör Üye: Doç.Dr. Dilek TÜRKER**



**Üye : .Prof.Dr. H.Baha BÜYÜKİŞİK**





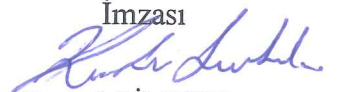
## EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

### ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi / Doktora Tezi olarak sunduğum “Endüstriyel Atıksu Artımında Mikroalg Kullanımı” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

24 /01 /2019

İmzası

  
Kemal ŞİMŞEK



**ÖZET****ENDÜSTRİYEL ATIKSU ARITIMINDA****MİKROALG KULLANIMI**

ŞİMŞEK, Kemal

Yüksek Lisans Tezi, Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. H. Gökür ŞİŞMAN AYDIN

Ocak 2019, 55 sayfa

Bu tezin amacı, mikroalglerden yararlanılarak endüstriyel atıksu (tekstil endüstrisi atıksuyu) arıtımı araştırılması ve arıtma veriminin belirlenmesidir. Bu amaçla, tekstil endüstrisi atıksuyunun yeşil mikroalg *Oocystis solitaria* Wittrock, (1879) türünün büyümesi üzerine olan etkisi, klorofil tabanlı (Chl a ve Chl b) incelenmiştir. Tekstil atıksuyunun NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, KOI parametrelerinin mikroalg kullanılarak giderimi verimi araştırılmış ve beraberinde pH, Ç.O, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik parametreleri takip edilmiştir. Çalışmada kullanılan türü *Oocystis solitaria* Wittrock, (1879), Ege Üniversitesi Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Deniz Biyolojisi Anabilim Dalı, Ekoteknoloji laboratuvarı mikroalg koleksiyonundan temin edilmiştir. Çalışmalar, Aydın Söke’de bulunan tekstil atıksu arıtma tesisinin iki farklı noktasından (aktif çamur çıkış, çıkış) alınan örneklerle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; tekstil endüstrisi atıksuyunda yetiştirilen *O.solitaria* biyokütle verimi, 10 ve 6 günlük çalışma grupları için sırasıyla; K(kontrol) %533-%92, Ç(çıkış) %151-%131 ve A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) %565-%348 olarak elde edilmiştir. Atıksu N, P, KOI giderim verimleri sırasıyla; NO<sub>2</sub> %67-72, NO<sub>3</sub> %28-45, PO<sub>4</sub> %85-90, KOI %97-98 olarak elde edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasıyla, *O. solitaria* türünün tekstil atıksuyunun fikoremediasyonu için yüksek potansiyeli olduğu tespit edilmiş ve dahası, tekstil atıksuyunun *O. solitaria* türünün kültüre edilmesindeki kullanım potansiyeli ortaya çıkarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tekstil atıksuyu, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, KOI, mikroalg, *Oocystis solitaria*.



**ABSTRACT**

**USE OF MICROALGAE IN INDUSTRIAL WASTEWATER  
TREATMENT**

ŞİMŞEK, Kemal

MSc in Marine–Inland Waters Sciences and Technology

Supervisor: Assoc. Dr. H. Gökür ŞİŞMAN AYDIN

January 2019, 55 pages

The aim of this thesis is to investigate the treatment of industrial wastewater (textile industry wastewater) by using microalgae and to determine the treatment efficiency. For this purpose, the effect of textile industry wastewater on the growth of green microalgae *Oocystis solitaria* Wittrock, (1879) was investigated by chlorophyll-based (Chl a and Chl b). The efficiency of removal of NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, COD parameters by using microalgae was investigated and the pH, temperature, salinity, conductivity parameters were followed. *O. solitaria* Wittrock, (1879), which is used in the study, was obtained from the microalgae collection of Ecotechnology Laboratory at Department of Marine–Inland Waters Sciences and Technology, Fisheries Faculty, Ege University. The studies were carried out with the samples taken from two different points of the textile wastewater treatment plant in Aydın Söke (active sludge effluent, effluent). According to the results obtained; *O. solitaria* biomass yield grown in the textile industry wastewater, respectively, for trial groups 10 and 6 days; 533- 92% C (control), 151-134% E (effluent) and 565-348% ASE (active sludge effluent). Wastewater removal efficiencies of N, P, COD respectively; % 67-72 NO<sub>2</sub>, 28-45% NO<sub>3</sub>, 85-90% PO<sub>4</sub>, 97-98% COD was obtained. With this study, it was determined that *O. solitaria* species had a high potential for the phycoremediation of textile wastewater and, moreover, the potential for the use of textile wastewater to cultivate *O. solitaria* species.

**Keywords:** Textile wastewater, microalgae, *Oocystis solitari.*, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, COD,



## TEŞEKKÜR

7 yıllık bir çalışma süresince tüm bilgi ve birikimlerini, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, tez çalışmalarım sırasında büyük destek gördüğüm hocam, Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı Öğretim Üyesi, Sayın Doç. Dr. Gökür ŞİŞMAN AYDIN' a teşekkür ederim. Ayrıca, çalışmalarım süresince desteğini esirgemeyen eşim Fatma KOZAN ŞİMŞEK, aileme ve arkadaşım Ömer BAYSAL' a maddi manevi her türlü desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, 18.SUF.012 nolu, "Endüstriyel atık su arıtımında mikroalg kullanımı" başlıklı proje ile desteklenmiştir. Proje ve tez çalışmaları kapsamında gerekli tekstil atıksuyu ve atıksu arıtma tesisi verilerini sağlayan SÖKTAŞ A.Ş., Tekstil Sanayi' ne teşekkür ederim.

Kemal ŞİMŞEK



**İÇİNDEKİLER**Sayfa

ÖZET .....	vii
ABSTRACT .....	ix
TEŞEKKÜR .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xix
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Tekstil Nedir?.....	1
1.2. Tekstil Tarihçesi.....	1
1.3. Türkiye Tekstil Üretimi .....	1
1.4. Dünya ve Türkiye Su Dağılı .....	2
1.5. Tekstil Endüstrisinde Su Tüketimi.....	3
1.6. Tekstil Atıksu Karakterizasyonu.....	4
1.7. Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımı .....	7
1.7.1 Fiziksel Arıtım.....	8
1.7.2 Kimyasal Arıtım .....	9

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
1.7.3.Biyolojik Arıtım.....	9
1.8. Mikroalg Nedir? .....	10
1.9. Mikroalg Kullanım Alanları.....	11
1.10. Tekstil Atıksuyu Arıtımında Mikroalg Kullanımı ve Etkisi .....	11
1.11. Tezin Amacı .....	14
2.MATERYAL VE METOD.....	16
2.1.Tekstil Fabrikası Atık su Arıtma Tesisi Üniteleri ve Atık su Özellikleri..	16
2.2. Mikroalg Tür Temini ve Kültürü .....	18
2.3. Atıksu Örnekleme Noktası Belirlenmesi.....	21
2.4. <i>Oocystis solitaria</i> Mikroalg Türü İçin Çalışma Düzeneği .....	21
2.5.Fiziko-Kimyasal Analizler ve Kullanılan Teçhizatlar .....	24
3.BULGULAR.....	26
3.1 Ön Denemeler .....	26
3.2. <i>Chroococcus turgidus</i> Chl a Büyüme Hızı .....	27
3.3. <i>Oocystis solitaria</i> Chl a Büyüme Hızı.....	30
3.3.1. 10 ve 6 Günlük Denemeler .....	30

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
3.4. Sıcaklık, pH, Ç.O, Tuzluluk, İletkenlik .....	35
3.5.NH <sub>4</sub> , NO <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , PO <sub>4</sub> , KOİ Giderimi .....	41
4. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	47
4.1 Sıcaklık, pH, Ç.O, Tuzluluk ve İletkenlik .....	47
4.2 NH <sub>4</sub> , NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , PO <sub>4</sub> , KOİ Giderimi .....	50
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	57
ÖZGEÇMİŞ.....	67



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şeki.1. Işık mikroskopu altında bazı mikroalg türlerini görünümü.....	11
Şekil.2. Yüksek yığın alg havuzları.....	14
Şekil.3. Tekstil fabrikası atıksu arıtım tesisinin akış şeması.....	16
Şekil.4. Tekstil fabrikası atıksu arıtım tesisinin kroki çizimi.....	17
Şekil.5. Tekstil atıksu arıtım tesisine ait görseller.....	17
Şekil.6. <i>Chroococcus. turgidus</i> türüne ait görsel ve sistematigi.....	19
Şekil.7. <i>Nitzschia umbonata</i> türüne ait görsel ve sistematigi.....	19
Şekil.8. <i>Oocystis solitaria</i> türüne ait görsel ve sistematigi.....	19
Şekil.9. Çalışma düzeneği.....	22
Şekil.10. 10 günlük tekstil atık suyunun kesikli sistemdeki düzeneği.....	23
Şekil.11. 6 günlük tekstil atık suyunun kesikli sistemdeki düzeneği.....	23
Şekil.12. Çalışma süresince mikroalg büyümesindeki değişim.....	23
Şekil.13. Fiziko-Kimyasal analizler için kullanılan cihazlar.....	25
Şekil.14. Nutrient analizleri için santrifüj işleminden geçirilen atıksu numuneleri	25
Şekil.15(a) Steril edilmiş Tekstil endüstrisi atık suyu (b) Steril edilmemiş Tekstil atık suyu K (BG11 besi ortamı), Ç (Çıkış), A.Ç.Ç (Aktif Çamur Çıkış), D (Dengeleme tankı), H (Ham) ortamına aşıl原因an <i>C. turgidus</i> mikroalg türünün Chl a' ya bağlı büyüme grafiği.....	28

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.15. (c). Steril edilmiş Tekstil endüstrisi atık suyu (d) Steril edilmemiş Tekstil atık suyu K (BG11 besi ortamı), Ç (Çıkış), A.Ç.Ç (Aktif Çamur Çıkış), D (Dengeleme tankı), H (Ham) ortamına aşıl原因an <i>C. turgidus</i> mikroalg türünün Chl b' ye bağlı büyüme grafiği.....	29
Şekil.16.10 günlük <i>O. solitaria</i> mikroalg türünün Chl a' ya bağlı K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki büyüme hızları grafiği .....	31
Şekil.17. 6 günlük <i>O. solitaria</i> mikroalg türünün Chl a' ya bağlı K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.....	31
Şekil.18.10 günlük <i>O. solitaria</i> mikroalg türünün Chl b' ye bağlı K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.....	32
Şekil.19. 6 günlük <i>O. solitaria</i> mikroalg türünün Chl b' ye bağlı K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.....	33
Şekil.20. 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait <i>O. solitaria</i> türünün 6 gün boyunca Chl a' ya bağlı büyüme grafiği. ....	34
Şekil.21. 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait <i>O. solitaria</i> türünün 6 gün boyunca Chl b büyüme grafiği.....	35
Şekil.22. 10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Sıcaklık değişim grafiği. ....	35
Şekil.23. 6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Sıcaklık değişimleri.	36
Şekil.24. 10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki pH değişimleri. .	37

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.25.6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki pH değişimleri.....	37
Şekil.26.10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Ç.O (Çözülmüş Oksijen) miktarı .....	38
Şekil.27.6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Ç.O (Çözülmüş Oksijen) miktarı .....	38
Şekil.28.10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Tuzluluk değişimleri .....	39
Şekil.29.6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Tuzluluk değişimleri .....	39
Şekil.30.10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki İletkenlik değişimleri .....	39
Şekil.31.6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki İletkenlik değişimleri .....	39
Şekil.32. 10 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Biyomas verimi.	40
Şekil.33.6 günlük çalışmaya ait K, Ç, A.Ç.Ç ortamlarındaki Biyomas verimi ....	40
Şekil.34. <i>O. solitaria</i> K, Ç, A.Ç.Ç ortamındaki NO <sub>2</sub> üzerindeki etkisi.....	43
Şekil.35. <i>O. solitaria</i> K, Ç, A.Ç.Ç ortamındaki NO <sub>3</sub> üzerindeki etkisi.....	44

**ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)**ŞekilSayfa

Şekil.36 (a); <i>O. solitaria</i> K(kontrol) ortamındaki NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N giderimi üzerindeki etkisi ve NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N (b); <i>O. solitaria</i> Ç(çıkış) ortamındaki NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N giderimi üzerindeki etkisi ve NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N, (c); <i>O. solitaria</i> A.Ç.Ç(aktif çamur çıkış) ortamındaki NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N giderimi üzerindeki etkisi ve NO <sub>2</sub> -N ve NO <sub>3</sub> -N arasındaki ilişki .....	45
Şekil.37. <i>O. solitaria</i> K, Ç, A.Ç.Ç ortamındaki PO <sub>4</sub> giderimi.....	46
Şekil.38. <i>O. solitaria</i> K, Ç, A.Ç.Ç ortamındaki KOİ giderimi.....	47

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge.1. Dünyada ki suyun dağılımı.....	2
Çizelge.2.TÜİK (2017)' e göre Türkiye 2016-2046 yılları arasında tahmini nüfus artışı .....	3
Çizelge.3. Tekstil atıksu karakterizasyonu .....	5
Çizelge.4. Boyama atık sularının karakteristiği.....	6
Çizelge.5. Boyama işleminde en çok kullanılan yardımcı kimyasallar.....	6
Çizelge.6. Geleneksel tekstil atık su arıtım yöntemi .....	8
Çizelge.7. BG11 (stok solusyonları) besi ortamı.....	20
Çizelge.8. BG11 iz metal stok solusyonları .....	21
Çizelge.9. BG11 vitamin stok solusyonları .....	21
Çizelge.10 Tekstil atık su örnekleme arazisinde Ç ve A.Ç.Ç ortamlarından alınan atık suların karakterizasyonu. ....	27
Çizelge.11. <i>C. turgidus</i> türünün steril BG11 ve steril tekstil atıksu ortamındaki Chl a ve Chl b' ye bağlı büyüme fazları.....	29
Çizelge.12. <i>C. turgidus</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki Chl a ve Chl b' ye bağlı büyüme fazları.....	29
Çizelge.13. <i>C. turgidus</i> türünün steril BG11 ve steril tekstil atıksu ortamındaki max Chl a,max Chl b kotaları ve spesifik büyüme hızları. ....	30
Çizelge.14 <i>C. turgidus</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki max Chl a,max Chl b kotaları ve spesifik büyüme hızları.....	30

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge.15. Tekstil atıksuyu örneklemesinde (10-6 günlük çalışma grupları) ham A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) ve ham Ç (Çıkış) noktasındaki atıksuların Chl a ve Chl b değerleri.....	31
Çizelge.16 <i>O. solitaria</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki max Chl a, max Chl b kotaları ve spesifik büyüme hızları.....	33
Çizelge.17 <i>O. solitaria</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait Chl a ve Chl b' ye bağlı büyüme fazları.....	33
Çizelge.18 <i>O. solitaria</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait 0-6.gün arasındaki Chl a, Chl b kotaları ve yüzdesel olarak nutrient giderim verimi.....	34
Çizelge.19 <i>O. solitaria</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki bir günlük yüzdesel nutrient giderim verimleri .....	42
Çizelge.20 <i>O. solitaria</i> türünün steril BG11 ve steril olmayan tekstil atıksu ortamındaki toplam nutrient giderim verimleri.....	42
Çizelge. 20.1. <i>O. solitaria</i> türünün spesifik büyüme hızı ve biyomas veriminin nutrient giderimi arasındaki ilişki. ....	43
Çizelge.21. Farklı mikroalg türleri ile yapılan atıksu arıtım denemelerinde nutrient giderim oranları.....	52
Çizelge.22. Mikroalgal sistemlerin avantaj ve dezavantajları .....	54

**SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\mu$	mikro boyut
$\mu$	Spesifik büyüme hızı
$N_1$	Üssel büyüme fazının başlangıcındaki Chl a ve Chl b değerleri
$N_2$	Üssel büyüme fazının sonundaki Chl a ve Chl b değerleri
$t_1$	$N_1$ değerinin tayin edildiği zaman dilimi
$t_2$	$N_2$ değerinin tayin edildiği zaman dilimi
$M_c$	Filtre kağıdı+ kuru kalıntının tartımı
$M_D$	Filtre kağıdının tartımı
V	Süzülen numunenin hacmi
T (°C)	Santigrat derece
$\mu\text{g/L}$	Bir litredeki mikro gram ağırlık
$\text{mg/L}$	Bir litredeki miligram ağırlık
$\text{ms/cm}$	Milisiemens (1 santimetredeki iletkenlik değeri)
%S	Binde tuzluluk oranı
%R	Yüzde giderim verimi
%B	Biyomas verimi

Kısaltmalar

vb	ve benzeri
M.Ö.	Milattan önce
T.C.	Türkiye Cumhuriyeti
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
Ç.O.	Çözünmüş oksijen
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
C	Karbon
N	Azot
P	Fosfor
TN	Toplam azot
TP	Toplam fosfor
NH <sub>4</sub>	Amonyum
NO <sub>2</sub>	Nitrit
NO <sub>3</sub>	Nitrat
PO <sub>4</sub>	Fosfat
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
Chl a	Klorofil a

Kısaltmalar

Chl b	Klorofil b
AKM	Askıda katı madde
K	Kontrol
Ç	Çıkış(deşarj)
A.Ç.Ç	Aktif çamur çıkış





# 1. GİRİŞ

## 1.1. Tekstil Nedir?

Günümüzde tekstil terimi Latince örgü anlamına gelen **TAXERE** kelimesinden türemiştir (Hossain, 2013). Tekstil farklı ham maddelerden (yün, pamuk, deri, elyaf, ipek vb.) meydana getirilen ipliklerin dokuma, örme, düğümleme işlemi görmüş veya dokuma işlemi uygulanmamış tüm kumaşlara denir (Hossain, 2013).

## 1.2. Tekstil Tarihçesi

Arkeolojik çalışmalar sonucunda M.Ö. 5000 yıllarına ait keten kumaş eski toplumların yaşadığı Mısır topraklarında rastlanılmıştır. Ayrıca o dönemlere ait keten kumaşın nasıl yapıldığına yani ipliklerin örme, dokuma, işleminin yapıldığı alete de rastlanılmıştır (Hossain, 2013). Başka bir arkeolojik çalışmada İskandinavya ve İsviçre topraklarında Bronz çağına ait ham maddesi yün olan kumaşlara rastlanılmıştır. Tekstil sektöründe önemli değere sahip diğer iki ham maddeden biri beyaz altın diye tabir edilen pamuk ve bir diğeri ise ipek böceklerinden elde edilen ipek'tir. Pamuk M.Ö. 3000 yıllarında iplik haline getirilip dokuma işlemi görülen ülke Hindistan'dır. İpek M.Ö. 1000 yıllarından günümüze kadar dokuma işlemi görüldüğü ülke Çin'dir (Hossain, 2013). Günümüzde tekstil sektöründe geniş bir kullanım alanına sahip olan yapay elyaflar 1920-1930 yıllarında icat edilmiştir (Hossain, 2013). Gelişen teknoloji ve lojistik imkânları ile bir çok ülkede tekstil üretimi için gerekli ham madde temini kolaylaştırılmıştır. Ülkemizde ilk ham ipek dokuma işlemi M.S. 400 yıllarında İstanbul Çin'den ithal ettiğinde başlamıştır (Hossain, 2013).

## 1.3. Türkiye Tekstil Üretimi

Türkiye 2014 yılında ihracatta 6. sırada iken 2016 yılında 5. sırada yer almıştır (Statista, 2017). İhracatı oluşturan tekstil ürünleri %34'ü dokuma kumaşlardan, %21'i ipliklerden, %20'si de örme kumaşlardan oluşmaktadır (TSKB, 2014). %21 ipliklerden oluşan ihracat payının ekonomik getirisi yaklaşık 1,7 milyar dolardır (TSKB, 2014). %21'lik iplik ihracatın Türkiye

sahip olduğu pay ise %3,1 oranı ile dünya genelinde en büyük iplik ihracatçıları arasında 12. sırada yer almaktadır (TSKB, 2014). İhracatı yapılan ipliklerin ürün bazında dağılımı %58'i sentetik liflerden, %28'i pamuk, %14'ü de diğer ürünler oluşmaktadır (TSKB, 2014). Pamuk ipliği üretiminde Marmara Bölgesi, Gaziantep, Kahramanmaraş, Denizli illerinde 500 tesisi bulunması ile dünya genelinde büyük ihracatçıları arasında Türkiye 7. sırada yer almaktadır (TSKB, 2014).

#### 1.4. Dünya ve Türkiye' de Su Dağılımı

Çizelge.1.Dünyada ki suyun dağılımı

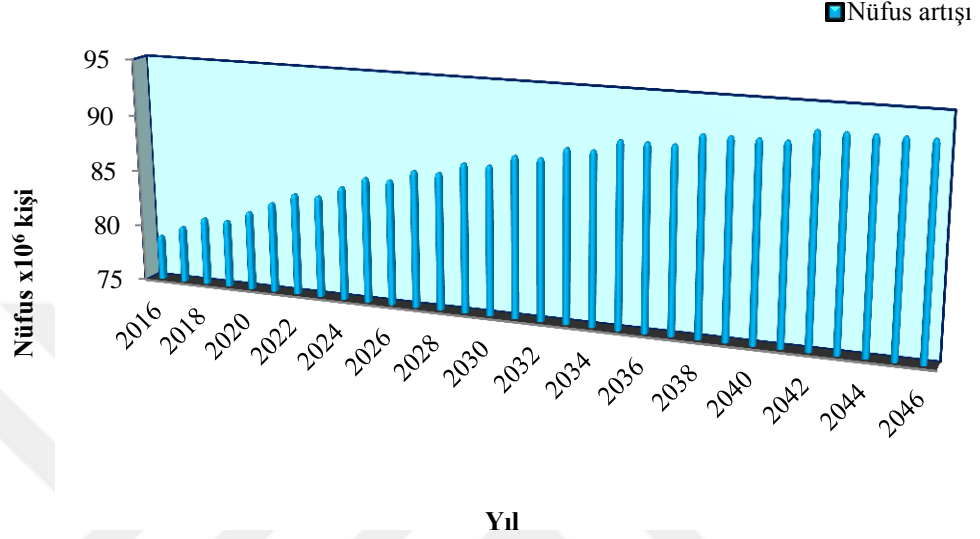


Tüm canlıların temel yaşam kaynağı olan su; dünya genelinde yüzdesel dağılım oranına bakıldığında dünyanın %70'lik kısmını oluşturmaktadır. Suyun %95'i deniz ve okyanuslardan oluşurken, %2,5'lik kısmı tatlı sudan oluşmaktadır. Erişilen tatlı su kaynağının sadece %1'den daha az bir kısmı kullanılabilir ve kullanılabilir niteliktedir (Shiklomanov, 1993). Dünya nüfusunun 1950'den 2050 yılına kadar sürekli artacağı ve bu artış 2,5 milyardan 8,9 milyar olacağı öne sürülmektedir (Andreev vd, 2013).

Dünyada her ülkede olduğu gibi sahip oldukları su kaynaklarını kirletmek gibi bir hakkı olmadığı ve bu nedenle su kaynaklarını korumakla yükümlüdürler. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı verilerine bakıldığında ülkemizin yıllık yağış miktarı 501 milyar m<sup>3</sup>'tür. Kullanılabilir su miktarı ise 112

milyar m<sup>3</sup>tür. Ülkemizin su kullanım dağılımına bakıldığında %75 tarımsal sulama, %15 evsel kullanım, %11 sanayide kullanılması ile yıllık kişi başına düşen su miktarını <1500 m<sup>3</sup>/yıl olarak su fakiri olan ülkeler arasına girmektediriz.

Çizelge.2. TÜİK (2017)' e göre Türkiye 2016-2046 yılları arasında tahmini nüfus artışı



Son dönemler ülkemize olan göç ve nüfus artışı paralelinde su tüketimi artmaktadır. TÜBİTAK (2011)'e göre 2030 yılına kadar su tüketiminin 3 kat artacağını ön görmektedir. Ülkemizin 30 yıllık nüfus artış tahminine bakıldığında doğrusal bir artış vardır (Çizelge. 2). Bu durumda kişi başına düşen su miktarında daha da azalma görüleceği kesindir (TÜİK, 2017). Yukarıdaki nüfus artış tahminlerine bakıldığında artan nüfus ile doğru orantılı gerek tekstil sanayisi ürün üretimi ve gerekli su tüketiminde sürekli artış olacağı sonucuna varılmaktadır. Her tüketilen suyun büyük bir kısmı atık su olarak doğaya alıcı ortamlara (okyanus, deniz, göl ve gölet gibi) geri dönecektir.

### 1.5. Tekstil Sanayisinde Su Tüketimi

Türkiye toplam endüstriyel üretimin %13'ü tekstil'dir. Su kullanım miktarları yüzdesel olarak bakıldığında 122,362.10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>/yıl miktarının %7,6'sı tekstil sanayisi tarafından kullanılmaktadır (Yıldız, 2014). Farklı kaynaklardan temin edilen su miktarlarının yüzdesel olarak tekstil sanayisindeki kullanımını şu şekildedir. 5,033.10<sup>7</sup>m<sup>3</sup>/yıl'lık şehir şebeke suyunun %12,4 tekstilde kullanılmaktadır (Yıldız, 2014).267,22.10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>/yıl kuyulardan temin edilen suyun

%24,6 tekstilde kullanılmaktadır(Yıldız, 2014). Tekstil sanayisinde en çok su tüketilen kısım proses suyudur. Toplam tüketilen su miktarının %76'ı proses sırasında kullanılmaktadır (Yıldız, 2014). Türk tekstil sanayisi için 1 ton tekstil kumaşı için 20 ile 230 m<sup>3</sup> arasında su tüketilmektedir (Orhon, 2003).

Tekstil endüstrisinde en çok su kullanan ülke sadece Türkiye değildir. Dünya tekstil üretimi ve ticaretinin %50 sini Çin lider olmasına karşın, su tüketimi konusunda yapmaktadır. Dünya çapında tekstil endüstrisinde en çok temiz suyu tüketenler gelişmekte olan ülkelerdir. Kullanılan temiz su belirli proseslerden geçerek atıksu şeklinde alıcı (göl, gölet, deniz ve okyanuslar) ortamlaradeşarj edilmektedir. Hindistan'ın tekstil endüstrisinde kullandığı temiz su miktarı yıllık 1,6 milyar m<sup>3</sup> 'tür (CSE, 2006). Hindistantekstil endüstrisi, su tüketiminde ve bunun sonucunda ortaya çıkan atık su miktarı ile birinci sıradadır. Türkiye'de tekstil sektörü toplam endüstriyel üretimin %13'ünü oluşturmaktadır. Sektörün yıllık su kullanım miktarları endüstriyel su kullanımının %7,6'dır (Yıldız, 2014).1 ton kumaş üretimi için 20-230 m<sup>3</sup> arasında su tüketilmektedir (Orhon, 2003).Dünya tekstil sanayisinin, günde 4 trilyon litre veyahut dakikada birkaç milyon litre atık su bıraktığı tahmin edilmektedir. (Can, 2014).

Tekstil endüstrisinde yüksek hacimlerde su kullanılan prosesler; yapağı, iplik, yarı mamullerin yıkanması, ağartma, boyama ve son ürünlerin yıkanması, durulanmasıdır (Yıldız, 2014). Islak prosesler; haşıl sökme, ağartma, merserizasyon ve boyama işlemleridir (Yıldız, 2014). Yukarıdaki tüm bilgiler doğrultusunda tekstil sektörünün su kaynaklarının kirliliğinde ve su tüketiminde büyük rol oynadığı görülmektedir.

## **1.6. Tekstil Atıksu Karakterizasyonu**

Tekstil endüstrisi atık suyu organik ve inorganik kirletici maddeler bakımından zengindir. Alıcı ortama (göl, gölet, deniz ve akarsular) deşarj edilen tekstil atık suyu; alıcı ortamındaki su kütlesinin rengini değiştirmektedir. Bu durum sonucunda suya nüfuz eden ışığın geçirgenliğini sınırlandırmakta ve fotosentetik aktiviteleri durdurmaktadır. Fotosentetik aktivitelerin etkin olmayan ortamlarda ötrofikasyon kaçınılmaz hale gelmektedir. Bunun yanı sıra görüntü

kirliliği, kötü koku ve alıcı ortamlarda aşırı çamur oluşumunasebep olmaktadır.Ayrıca tekstil endüstrisinde kullanılan kimyasallar suyun pH, iletkenlik, toplam katı madde, çözülmüş oksijen (ÇÖ), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi su kalitesi için en önemli fiziko-kimyasal parametre değerlerinde değişikliklere neden olarak, su ortamında bulunan biyolojik çeşitliliği azaltmakta ve su ortamında yaşayan canlıların habitatlarını kirlenmektedir. (Elumalai and Saravanan, 2016; Lim ve ark, 2010).Genel olarak tekstil endüstrisine ait atık suyu özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan önemli parametreler Çizelge.3'de verilmektedir (Lim, 2010).

Çizelge .3.Tekstil atıksu karekterizasyonu

Fiziko-Kimyasal Parametreler	Ağır Metaller
pH*	Çinko (mg/L)
Sıcaklık (°C)*	Manganez (mg/L)
İletkenlik (mS)*	Kadmiyum (mg/L)
Çözülmüş Oksijen (mg/L)*	Bakır (mg/L)
KOİ (mg/L)*	Kurşun (mg/L)
PO <sub>4</sub> -P (mg/L)*	Nikel (mg/L)
NH <sub>4</sub> -N (mg/L)*	Arsenik (mg/L)
NO <sub>3</sub> -N (mg/L)*	Demir (mg/L)
Toplam Katı Madde (mg/L)	
Askıda Katı Madde (mg/L)*	
Çözülmüş Katı Madde (mg/L)	
Görünen renk (PtCo unit)	
Gerçek renk (PtCo unit)	
C:N:P oranı	

Bu çalışmada tekstil atık su karekterizasyonu olarak tespit edilen parametreler (\*) gösterilmiştir. Günümüzde atık su arıtım sistemlerinde aşırı azot ve fosfat yükü, deşarj standartlarını sağlasa bile arıtma tesisi çıkış sularının sucul canlılar üzerinde olumsuz etkilerinin devam ettiği görülmüştür. (Şişman Aydın ve Oral, 2014).

Tekstil sektörü dünya genelinde artan nüfus ile doğru oranda artmaktadır. Bu durum tekstil sektöründe temiz su kullanımını artırmakta ve sonucunda yüksek miktarda atık su oluşmaktadır (İlter, 2015). Tekstil sanayisinin farklı ürünler çıkarabilmesi için farklı hammaddeler (pamuk, deri ve polyester gibi)

kullanılmaktadır (İlter, 2015). Bir kumaşın işlenmesi ve boyanması ile dikime hazır gelinceye kadarki süreçte kullanılan kimyasal bileşiklerin atıkları suda çözülmüş olarak doğaya deşarj edilmesi sonucunda suda hem fiziksel (pH, sıcaklık, renk, iletkenlik, tuzluluk) hem de kimyasal olarak (organik ve inorganik bileşikler) kirlilik meydana gelmektedir. Tekstil atık suyu kirliliğini ön plana çıkaran maddeler boyar maddeler ve bazı kimyasallardır. Kullanılan boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre 7 guruba ayrılır (İlter, 2015). Bunlar sırasıyla Azo, Nitro ve Nitrozo, Polimetin, Arilmetin, Azo annulen, Karbonil, ve Kükürt boyarmaddelerdir.

Boyar maddelerde en çok kullanılan Azo boyarmaddelerdir ve diğer boyar maddeler her biri en az bir azot grubu bulundurmaktadır. Kullanılan kimyasallar ise; Kostik, Soda, Asetik Asit, Hidrojen Peroksit ve benzeri gibi kimyasallar (comodity chemicals) sayılabilir (İlter, 2015). Boyama atık sularının karakteristiği ve en sık kullanılan yardımcı kimyasallar aşağıda Çizelge. 4 ve 5' de verilmiştir.

Çizelge.4. Boyama atık sularının karakteristiği (Kocaer. ve Alkan. 2002).

Boya türü	Elyaf çeşidi	Renk ADMI	BOİ (mg/L)	TOK (mg/L)	AKM (mg/L)	ÇKM (mg/L)	pH
Asit	Poliamid	400	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazık	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sıcaklıkta	polyester	1245	198	360	75	1700	10.2

ADMI: Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi, BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı, TOK: Toplam Organik Karbon, AKM: Askıda Katı Madde, ÇKM: Çözülmüş Katı Madde.

Çizelge.5. Boyama işleminde en çok kullanılan yardımcı kimyasallar (Kocaer ve Alkan, 2002).

Kimyasal madde	Bileşim	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat	Elyafın zeta potansiyellerini nötralize edici, yavaşlatıcı
Asitler	Asetik asit Sülfürik asit	pH kontrolü
Bazlar	Sodyum hidroksit Sodyum karbonat	pH kontrolü
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks yapıcılar	EDTA	Kompleks yapma, yavaşlatıcı
Dispers edici, düzgünleştirici ve yüzey aktif maddeler	Anyonik Katyonik Noniyonik	Boyaları dağıtma, boyanın uygulamasını düzene sokma
Okside edici maddeler	Hidrojen peroksit Sodyum nitrit	Boyaları çözünemez yapma
İndirgeyici maddeler	Sodyum hidrosülfid Sodyum sülfid	Boyalara çözünemez yapma, reaksiyona girmemiş boyanın uzaklaştırılması
Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu benzenler	Adsorbsiyonun artırılması

Tekstil atık suyunun içeriğindeki parlak renkli boyalar ve suda çözünen reaktif ve asit boyar maddeler geleneksel arıtım sistemlerinde etkilenmeden

çıkmaktadır. Bu yüzden çevresel sorunlarının arasında en önemli kirlilik sıkıntısı olarak bilinirler. (Correia ve ark,1994).

### **1.7. Tekstil Endüstrisi Atık Suyu Arıtımı**

Genel tekstil endüstrisinde kullanılan atık su arıtım sistemifiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç aşamadan oluşan sistemlerdir. Fiziksel arıtımda kaba ızgaralar, membran filtrasyon, adsorbsiyon ve iyon değişim yöntemleridir. Fiziksel arıtımdaki amaç büyük katı partiküllerin uzaklaştırılması ile teçhizatları zarar verebilecek maddelerin uzaklaştırılmasıdır. Kimyasal arıtım en yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde oksidasyon yöntemi (fenton ayırıcı, ozon, fotokimyasal yöntem, sodyum hipoklorit elektrokoagülasyon), kimyasal flokülasyon, çöktürme yöntemi ve cucurbituril yöntemi ile yapılan arıtımdır (Kocaer ve Alkan, 2002). Kimyasal arıtım aşamasında askıda kalan ve fiziksel arıtım aşamasında uzaklaştırılmayan partiküllerin kimyasallar yardımı ile floklaştırılarak uzaklaştırılmasıdır. Biyolojik arıtımda ise bir çok organik ve inorganik kirletici maddenin uzaklaştırılmasında aktif çamur içerisinde bakteri ve çeşitli mikroorganizmalar kullanılması ile yapılan bir yöntemdir (Elumalai, and Saravanan, 2016). Biyolojik arıtımda kullanılan mikroorganizmalar atık su içerisinde bulunan nutrientlerin yanı sıra KOİ ve BOİ miktarındaki artışı gidermek için kullanılır. Yaygın olarak kullanılan bu arıtım modelleri ekonomik açıdan çok maliyetli olması yanı sıra istenilen su kalitesi kriterlerine erişilememektedir. Maliyeti artıran etmenler ise arıtım tesisinde kullanılan kimyasallar, enerji, mikroorganizmalar ve en son ortaya çıkan çamurun bertaraf edilmesidir. Kocaer ve Alkan, (2002)' a göre biyolojik arıtım sistemleri daha az çamur üretmesi, maliyetinin düşük olması ile alıcı ortama zararlı ürünlerin oluşmaması özelliğinden dolayı tekstil atıksu arıtımında uygun bir proses olduğunu kabul etmektedirler. Geleneksel atık su arıtım sistemlerinde özellikle kimyasal arıtım prosesinde kullanılan kimyasalları minimuma indirgeyecek ve enerji olarak gün ışığından faydalanılacak üçüncül arıtım sistemi denilen mikroalg kültürü kullanılmıştır. Mikroalg ile atık su arıtımı ilk 1970'lerde ötrofikasyonu engellemek için yığın alg havuzları kullanılmıştır (McGriff,& McKenney, 1971; Oswald vd,1978; Shelef, vd, 1978). Tekstil endüstrisinde kullanılan atık su arıtım sistemleri aşağıdaki Çizelge, 6. verilmiştir.

Çizelge.6. Geleneksel tekstil atıksu arıtım yöntemi

<b>TEKSTİL ATIK SU ARITMA METODU</b>		
<b>Fiziksel</b>	<b>Kimyasal</b>	<b>Biyolojik</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dengeleme</li> <li>✓ Izgaralar</li> <li>✓ Mikroelekler</li> <li>✓ Karıştırıcılar</li> <li>✓ Flotasyon</li> <li>✓ Filtrasyon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Nötralizasyon</li> <li>✓ Kimyasal Çöktürme</li> <li>✓ Pıhtılaştırma</li> <li>✓ Yumaklaştırma</li> <li>✓ Kimyasal Oksidasyon veya Redüksiyon</li> <li>✓ İyon Değişirme</li> <li>✓ Adsorbsiyon</li> <li>✓ Dezenfeksiyon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Mikroorganizmalar (bakteriler) kullanılmasıyla organik bileşiklerin inorganik bileşiklere dönüştürerek giderimin olduğu kısımdır.</li> <li>✓ Biyoflokülasyon ve mineralizasyonun kontroledildiği yerdir.</li> </ul>

### 1.7.1. Fiziksel Arıtım

Dengeleme, gün boyunca değişim gösteren kirlilik yükünün bir sonraki proses aşamasına homojen atıksu sağlanması ve tekstil atıksuyunun yüksek ısını (70°C) dengelemektir. Atık suyun dengeleme tankında bekleme süresi 4-10 saat arası değişebilmektedir. Izgaralar, tekstil işletmesinin kullandığı elyaf veya ham maddesine bağlı suspanse ve yüzen katı maddeleri ayırmak için kullanılır. Katı maddelerin ekipmanlara zarar verilmesi engellenir. Kullanılan genel ızgaraların açıklığı (0,5-1 mm ile 20-60 mm) genelde tekstil firmasının kullandığı elyaf, pamuk vb. maddeye göre değişir. Mikroelekler, göz açıklıkları mikron boyutta olan eleklerin mikron boyuttaki maddeleri toplanması ve geri kazanım için arıtma sistemlerinde son arıtım işleminde kullanılırlar. Karıştırıcılar, çökelen maddelerin askıda yüzer hale getirmek ve suyun içerisindeki gaz ve katı maddelerin çözülmesi için pervane veya hava sistemleri ile yapılır. Flotasyon ve Filtrasyon, flotasyon, atık su içindeki askıdaki katı maddelerin, yağ ve gres, elyaf, reçineli maddeler vb, yüzmeye yatkın maddelerin ayrılması için kullanılır. Filtrasyon, Atıksuyun deşarj edilmeden önce suyun içerisinde kalabilecek ince askıdaki katı maddeler ve koloidal katı maddeleri ayırmak için kullanılır.

### 1.7.2 Kimyasal Arıtım

Tekstil atık suyu içerisindeki kimyasal bileşiklerin yapısının değiştirilmesi amacıyla kurulan bir arıtım aşamasıdır. Kimyasal arıtım işleminde 7 aşama izlenmektedir. Bunlar; Nötralizasyon: Güçlü asitlerin ve güçlü alkali atık sularının pH düzenlemesi için kullanılan bir işlemdir. Genelde kullanılan asitler sülfirik asit ve karbondioksit'dir. Kimyasal Çöktürme İşlemi, parçalanma özelliği az olan veya parçalanmayan katı maddeleri atık sudan ayırmak için kullanılan çöktürme işlemidir. Pıhtılaştırma ve Yumaklaştırma, kimyasal çöktürme ve çamur kalınlaştırma esnasında kullanılan bir yöntemdir. Burdaki amaç kimyasal ilavesi ile askıda çözünmüş maddelerin yumak haline getirerek ve pıhtılaştırarak atık sudan uzaklaştırılmasıdır. Pıhtılaştırma işleminde renk giderimi yapılmaktadır.

Kimyasal Oksidasyon veya Redüksiyon. atıksudaki kimyasal reaksiyonların doğaya alıcı ortamlara (göl/gölet, deniz ve akarsular) zararlı etkisini ortadan kaldırmak için bir sonraki arıtım aşamasına alınabilecek hale getirilmesi işlemidir. İyon değiştirme, tank içine yerleştirilen doğal veya yapay reçineler aracılığıyla metal iyonların, bazı organik maaddeler ve bazı besleyici tuzların uzaklaştırılmasında kullanılır. Adsorbsiyon, genelde aktif karbon kullanılarak çözünmüş organik ve inorganik maddelerin tutularak uzaklaştırılmasında kullanılır. Bu aşamada genelde renk giderimi, BOİ ve KOİ gideriminde etkilidir. Dezenfeksiyon atık su ortamından gelebilecek hastalık ve zararlı maddelerin ortadan kaldırılması amacıyla kullanılır. En çok kullanılan ozon ve ultraviyole sistemleri uygulanmaktadır.

### 1.7.3 Biyolojik Arıtım

Biyolojik arıtım Elumalaive Saravanan, (2016) tanımına göre geleneksel atık su arıtım tesislerinde uygulanan ikincil bir arıtım aşamasıdır. Bakteri, mantar ve mikroalg gibi mikroorganizmaların kullanılarak aerobik veya anaerobik sindirim kabiliyetleri sayesinde atık su içerisinde bulunan maddelerin biyolojik olarak ayrıştırabilme kabiliyetleridir. Bu mikroorganizmalar geleneksel biyolojik arıtım sistemlerinde aktif çamur aşamasında kullanılmaktadır. Atık su ortamında mevcut olan parçalanamayan ve su ortamında giderimi zor olan zararlı kirletici

bileşikleri bakteri, mantar ve mikroalg gibi mikroorganizmalar sayesinde zararsız hale getirilip uzaklaştırılmaktadır. Van der Zee ve Villaverde, (2005); Kaushik, ve Malik, (2009)' e göre fiziko-kimyasal proseslerde yüksek maliyet, minimum verimlilik, özel ekipman gerekliliği ve arıtım sonrası oluşan atıkların işlenmesi dezavantajlardır. Pandey et al, (2007) fiziko- kimyasal proseslerdeki tüm dezavantajları ortadan kaldıran, fosfat ve azotu neredeyse tamamen giderebilen sistem biyolojik arıtım sistemi oluşunu belirtmişler. Aynı zamanda Elumalai ve Saravanan, (2006) biyolojik arıtım sistemlerinde en çok nitrojen ve fosfat bileşiklerinin giderimi yapıldığını söylemektedirler. Şişman Aydın ve Şimşek, (2017)'e göre biyolojik arıtımda mikroalg kullanılması etkin maliyeti, düşük enerji gereksinimi, yararlı biyokütle üretimi, çamur oluşumunda azalma, ağır metallerin uzaklaştırılmasındaki başarısı, biyokütle içinde % 50'den fazla yağ ihtiva etmesi, ile elde edilen biyokütlenin yeniden değerlendirilip biyodizel üretimi ve arıtma verimliliğinin yüksek olması; atıksu arıtımında mikroalg kullanımının avantajları arasında sayılabilir.

### **1.8. Mikroalg Nedir?**

Mikroalgler dünyada birçok çeşidi bulunan basit yapılu tek hücreli bir bitkidir (Anonim, 2018). Genel olarak renkleri yeşil, kahverengi, mavi-yeşil ve turuncu-sarı karışımı şeklinde renklere sahiptirler (Anonim, 2018). Boyut ölçüleri genel olarak mikron boyutunda olup, kendi enerjilerini güneş ışını ve CO<sub>2</sub> kullanarak fotosentez yoluyla üretmektedirler (Anonim, 2018). Genelde bölünerek çoğalmakta olan fitoplanktonik mikroorganizmalardır. Mikroalgler, birçok çeşit organik minerale dönüşen yeterli güneş ışığı ve zengin toprak koşulları ile kaplı ortamlarda yetiştirilmektedir (Anonim, 2018). Yaşamlarını tatlı, deniz ve acı su gibi birçok çeşitli ortamda sürdürebilen mikroorganizmalardır. Besin değerleri protein açısından oldukça yüksektir (%65). Kendi ağırlığının %10-%70 oranında lipid ihtiva ederler (Anonim, 2018). Mikroalgler kalsiyum, fosfor, demir ve diğer birçok mineral elementleri içerir, ancak aynı zamanda β-karoten, pantotenik asit, folik asit, biyotin, vitamin kompleksleri A, B, C ve E bakımından zengindir. B12 vitamini ve demir değerleri oldukça yüksektir (Anonim, 2018). Aşağıdaki bir kaç mikroalg çeşidi Şekil.1.'de verilmiştir.



Şekil.1. Işık mikroskobu altında bazı mikroalg türlerinin görünümü.

### 1.9. Mikroalg Kullanım Alanları

Mikroalgler birçok farklı alanlarda kullanımı mevcuttur.Çoğunlukla kümes hayvanları işletmelerinde, mandıra, tarım, tekstil, posa ve kağıt, içki ve bira tesislerinde, deri fabrikası, gıda, petrokimya, tıbbi ürün imalatında, kimya, maden ve demir gibi fabrikaların atıksularını arıtmada kullanılmaktadır (Anonim, 2011). Sanayi atıksuyunda elde edilen mikroalg biyoması, insan besini, hayvan besininde, boya sanayisinde, tarımsal gübre, biyodizel ve kozmetik gibi çeşitli kullanım alanları mevcuttur (Pittman vd, 2011). Mikroalg ile arıtım işleminden geçirilen atıksuların peyzaj ve rekreasyon gibi alaların sulamasında temiz su yerine atıksu değerlendirilebilir olması avantajlarından biridir.

### 1.10. Tekstil Atık Suyu Arıtımında Mikroalg Kullanımı ve Etkisi.

Tekstil atıksu içeriğinde bulunan C, N, P bileşiklerinin birlikte bazı ağır metallerin bulunması ile atıksuda mikroalglerin büyümesine olanak sağlamaktadır. Bu durum mikroalglerin büyümesi için gerekli besleyici maddelerin var olduğunu göstermektedir. Mikroalglerin atıksu arıtımında kullanımı araştırmaları 20 yıldan fazla üzerinde çalışılmaktadır. Yapılan birçok araştırma sonucunda mikroalglerin atıksu içerisinde büyümek için gerekli besinlerin var olduğu tespit edilmiştir. Bu demektir ki, atık su içerisinde bulunan kirletici bileşiklerin mikroalgler tarafından absorbe ve adsorbe edilerekuzaklaştırabildiklerini göstermektedir.Mikroalglerazot ve fosfatça zengin

deniz ve içsularda hızla çoğalabilen ve bu özelliklerinden dolayı aşırı üreme olaylarında rol alabilen organizmalardır(Şişman Aydın ve ark, 2009; Şişman Aydın ve ark, 2012; Şişman Aydın ve ark, 2013a; Şişman Aydın ve ark,2014). Bu durum atıksuların içerisinde barındırdığı aşırı azot ve fosfat mikarolglerin atık su arıtımında kullanılabilirliğini ve yüksek biyomas elde edilebilirliğini göstermektedir.

Mikroalgler çok ekstrem ortamlarda bile adaptasyon kabiliyeti sayesinde su ortamında yüksek oranda bulunan C, N ve P bileşiklerinin ve bir çok ağır metallerinin uzaklaştırılmasında etkilidirler (Alexis, 2015). Ayrıca mikroalglerin adsorpsiyonu sayesinde tekstil ve boya sanayisi kaynaklı renk kirliliği giderilebilmektedir. Lim ve ark. (2010) 'a göre mikroalg türü olan *Chlorella vulgaris*'in adsorpsiyonu sayesinde tekstil atıksuyundaki azot bileşikli boyaların uzaklaştırılmasında %41,8 ile %50 oranında bir giderim sağladığını tespit etmişlerdir.

Geleneksel atıksu arıtım çalışmaları en sık karşılaşılan problem ekonomik maliyettir. Yüksek maliyetli olmasının asıl nedenleri gerekli enerji kaynağı teminidir. Mikroalg arıtım sistemlerinde ise maliyetin yüksek olmasının nedeni yüksek biyomas için yetersiz gelen besleyici elementlerin dışarıdan ilave edilmesidir. (Lin ve Wu, 2015, Rogers vd, 2014). Bu nedenle atıksu arıtımında mikroalglerin pozitif etkisi kanıtlanmıştır.Ancak günümüzde yapılan araştırmalarda amaç genelde düşük maliyet, yüksek arıtım verimliliği ve yüksek biyomas verimi elde edilebilir bir proses elde etmektir. Delrue vd. (2016)'e göre mikroalglerin atıksu arıtımında kullanılması maliyeti azaltacağını ve yüksek arıtım verimliliğinin elde edilebileceğini belirtmiştir. Şişman Aydın, (2017)'e göre mikroalglerin, atıksuların biyoremedasyonunda kullanımı etkin maliyeti, yararlı biyokütle üretimi, çamur oluşumunda azalma, ağır metallerin uzaklaştırılmasındaki başarısı, biyokütle içinde %50'den fazla yağ içermesi elde edilen biyokütlenin yeniden değerlendirilerek biyodizel üretimi ve arıtma verimliliğinin yüksek olması sayesinde birçok avantaj sağladığını belirtmiştir. Umdu vd, (2009)'e göre mikroalg üretimi için yüksek ölçeklerde suya ve besleyici elementlere ihtiyaç duyulduğunu vurgulayarak temiz su kullanımı yerine kentsel, sanayi ve tarımsal atıksuların kullanılması ile gerekli su ve besleyici elementlerin

karşılanabilir olduğunu belirtmiştir. Bu durum temiz su kullanımı açısından tasarruf demektir ve kirli suların tekrar kullanıma geri kazanılmasını sağlayacağı anlamını taşımaktadır. Ayrıca, doğanın kendini yenileyebilme hızına katkı sağlamaktadır. Mikroalg kültür sistemlerinin atıksu arıtımında kullanımın önemli dezavantajlarından biri olan mikroalglerin çeşitli  $\mu$  (mikro) boyutlarda olması mikroalglerin hasat işleminin oldukça zor olmasıdır.

Mikroalgler sayesinde düşük maliyetli atıksu arıtım metodu elde etmek için mikroalglerin farklı koşullarda (miksotrofik, ototrofik ve heterotrofik) adapte olabilmesi ve çoğalabilmesidir (Perez-Garcia vd. 2011). Yapılan bir araştırmada mikroalglerin atıksu içerisinde en iyi çoğalabildikleri koşul miksotrofik olduğu tespit edilmiştir (Tian-Yuan vd. 2013, Lin ve Wu 2015). Miksotrofik koşullarda hem organik hemde inorganik karbonları aynı anda asimile edebilirler ve sürekli ışık ihtiyacı olmadığından düşük maliyetli ve en yüksek lipid verimi elde edilebilir (Perez-Garcia vd. 2011, Tian-Yuan vd. 2013, Lin ve Wu. 2015). Alexis, (2015)'e göre miksotrofik koşullar altında mikroalgerin atıksu içerisinde bulunan toplam azot (TN) %77-91 oranında, toplam fosfat (TP) %84-99 oranında ve çözülmüş organik karbon ise (KOI) %81 oranında uzaklaştırdığını kanıtlamıştır. Şişman Aydın ve Şimşek, (2017) yapılan bir çalışmada *Golenkinia radiata* mikroalg türü ile  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$  ve  $\text{BOİ}$  giderim etkisi sırasıyla %83, %71,3, %72,6 ve %76 oranında atıksu ortamından uzaklaştırıldığını tespit etmişlerdir. Atıksu arıtımdan en iyi verimliliği sağlamak için farklı türler üzerinde araştırma yapılmaktadır. İyi bir arıtım elde etmek için mikroalg türünün çoğalabileceği ortamda istenilen besleyici elementler ve fiziksel koşulların optimum olması ile elde edilebilir. Mikroalgler kendi enerjilerini fotosentez yoluyla üreten bir canlı mikroorganizma olduğu için bulunduğu ortamın pH, sıcaklık, iletkenlik,  $\text{Ç.O}$  ve besleyici elementlerin eksikliği veya fazlalığı büyümesinde sınırlayıcı bir etki yaratabilmektedir (Elumalai and Saravanan, 2016). Atıksu arıtımında kullanılan mevcut sistemler genelde yüksek yığın alg havuzlarında (Şekil.2) 4-10 gün alıkonma süreleri içerisinde kullanılmaktadır (Whitton vd, 2015). Tekstil sanayisinde günlük deşarj edilen atık su miktarı yaklaşık 1000 ton civarındadır. Bu nedenle arıtım işleminde kullanılan türün büyüme hızı çok yüksek olmalıdır ki atık suyun alı konma süreleri oldukça kısa tutulmasını gerektirir.



Şekil.2.Yüksek yağın algal havuzlar.(<https://www.cnet.com/news/joint-venture-to-use-coal-emissions-to-grow-algae-for-biofuels/>)

### 1.11. Tezin Amacı

Doğa kendi kendini yenileyebilme özelliğine sahip olmasına rağmen insan kaynaklı kirlilik doğanın özümleme hızını geçerek kendini yenileyebilmesine fırsat vermemektedir. Doğada oluşan kirli alanların önem sırasına bakıldığında kentleşme ve üretim tesislerinden gelen atıksularının alıcı ortamlarda (göl-gölet, akarsu, deniz ve okyanuslar) meydana getirdiği kirlilik birinci sıradadır. Tekstil sanayisinde tüketilen su farklı işlemlerde kullanıldıktan sonra doğaya alıcı ortamlara (göl/gölet, deniz ve akarsular) kirli su olarak doğrudan deşarj edilmektedir. Deşarj edilen atıksular herhangi bir işlem (arıtım işlemi) geçirilmeden doğrudan alıcı ortamlara sürekli verileceğinden dolayı oradaki su biyokütlesinde aşırı kirlilik meydana gelecektir. Oluşan kirlilikten sadece sudaki görünen kirlilik olmamakla beraber bu durum başta sucul ortamdaki ve daha sonra sudan beslenen tüm canlı mikroorganizmaların yok olmasına sebep olacaktır. Bu gibi problemlerin engellenmesi için başta su tüketimi aşırı olan ve alıcı ortamlara aşırı atık su deşarj eden tekstil atıksuyu kontrol altına alarak önlemektir.

Tekstil atıksularının bir arıtım işleminden geçirilmesi ile tekrar kullanıma kazandırılması su kaynaklarını korumakta önem arz etmektedir. Su kaynaklarının kirliliğe karşı korunmasında atık su arıtım tesis sayısının artması ile değil tam aksine var olan sistemlere ek alternatif sistemlerin eklenmesi ile etkililik derecesi artırmaktır. Tüm dünyada alternatif sistem olarak atık su arıtımında mikroalg kullanımı ile su kirliliğinin giderilmesine yoğunlaşmaktadır.

Ülkemizde sanayi atıksuyunun geri kazanımında uygulanan mevcut atık su arıtma tesisleri %72 kimyasal ve biyolojik arıtım tesisi, %28'ini ileri arıtım tesisleri oluşturmaktadır (TUİK. 2014; Anonim. 2014). Sanayi atık su kanallarından atık su miktarının %82 artırılarak ve %18 artırılmadan deşarj edilmektedir (TUİK. 2014, Anonim. 2014). %82 artırılan atık su tam anlamıyla gerekli olan iyileştirme kriterlerinde edilememektedir. Bu durumda atıksu arıtımında biyolojik arıtım sistemlerinde fitoplanktonik mikroorganizmalardan faydalanarak gerekli olan su kalitesi sağlamak ve yüksek maliyeti minimuma indirmektir.

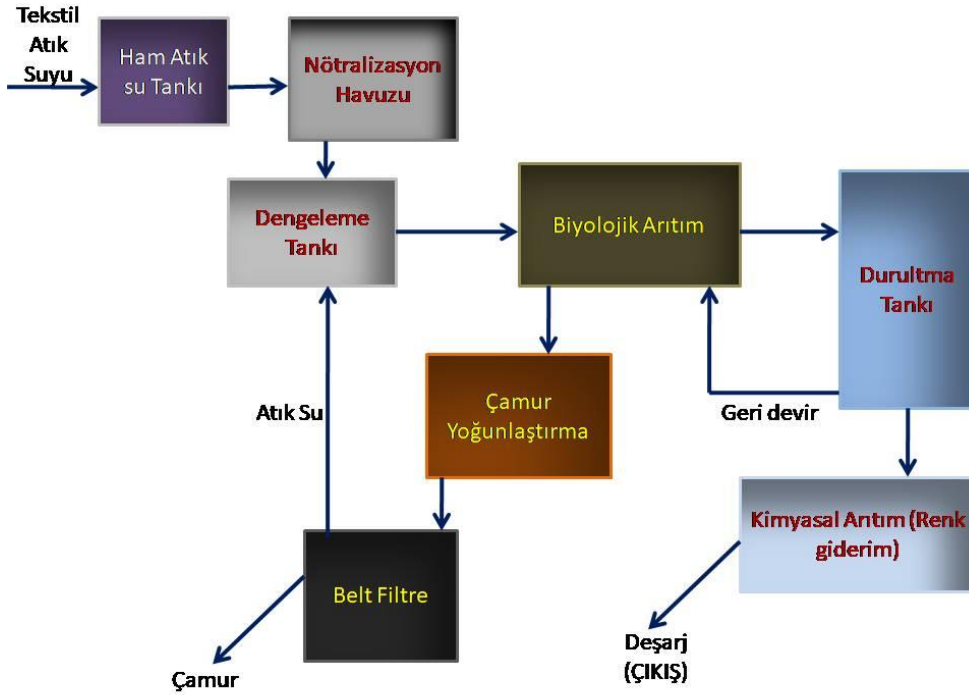
Bu tez çalışmasında günümüzde tekstil endüstrisi atıksuyundan gelen kirletici elementlerin uzaklaştırılmasında yetersiz kalan kimyasal arıtım yöntemine karşı mikroalgal biyolojik arıtım yönteminin geliştirilmesi ile arıtım verimliliğini artırılması amaçlanmıştır. Mevcut olan biyolojik arıtma sistemlerine alternatif olarak mikroalg ile atıksu arıtım sisteminin biyolojik arıtım tesisinde hangi aşamada kullanılacağı ve etkililik derecesi tespit edilecektir. Kullanılan farklı mikroalglerin tekstil atıksuyundaki büyüme hızına bakılarak en iyi arıtma verimliliği ve en iyi biyomas verimi sağlayacak türün hangisi olduğu ön deneme çalışması yapılarak tespit edilecektir. Tezin önemi tekstil atık su geri kazanımı ile su kaynaklarını ve suyun içerisindeki biyoçeşitliliğin korunmasında önem arz etmektedir. Ülkemizde mikroalg ile arıtım sistemlerinin olmamasından dolayı bazı önemli fiziko kimyasal parametreler ölçülerek bu çalışma, bu sistemler üzerindeki eksikliklerin giderilmesine katkı sağlayacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOD

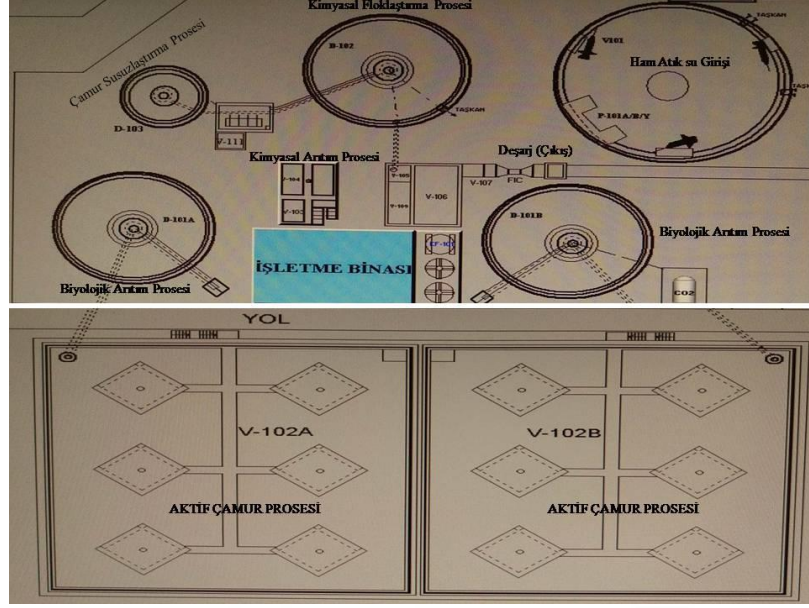
Bu çalışmada, tekstil atık su arıtma tesisinden farklı iki noktadan alınan atık suda tatlı su mikroalg türü kullanılarak havalandırmalı kesikli sistemde çalışılmıştır. Bazı fiziko-kimyasal parametreler; pH, sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik, Ç.O, ölçümleri ile birlikte mikroalgin  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  ve  $\text{PO}_4\text{-P}$ , KOI parametrelerinin analizleri yapılarak arıtma verimi incelenmiştir. Denemeler; Chl a kotası ve büyüme hızı yüksek olan *O. solitaria* Wittrock (1879) türü ile gerçekleştirilmiştir. Denemeler 10 gün süre ile 3 tekrarlı olarak yapılmıştır. Çalışmanın son aşamasında, elde edilen verilere göre çıkış suyu kalitesinin mevcut yönetmelikler çerçevesinde geri kazanım ve kullanım potansiyelleri değerlendirilmiştir.

### 2.1. Tekstil Fabrikası Atıksu Arıtma Tesisi Üniteleri

Tekstil atık suyu Aydın İli, Söke İlçesi'nde bulunan bir tekstil fabrikasına ait atık su arıtma tesisinden temin edilmiştir. Tekstil fabrikasına ait arıtma tesisinin çalışma prensibi ve krokisi Şekil (3, 4 ve 5) 'de gösterilmiştir. Arıtma tesisinin günlük atık su deşarj miktarı  $3000 \text{ m}^3/\text{gün}$ 'dür.



Şekil.3. Tekstil fabrikası atıksu arıtım tesisinin akış şeması



Şekil.4. Tekstil fabrikası atıksu arıtım tesisinin kroki çizimi.



Şekil.5. Tekstil atıksu arıtım tesisine ait görseller (2018).

Tekstil fabrikasına ait farklı atıksu miktar ve içerikleri arıtım tesisine geldiği için gerek renk, gerek sıcaklık ve asitlik düzeyi oldukça farklılıklar göstermektedir. KOİ değerleri 1200-1700 mg/L arasında değişebilmektedir. KOİ değerinin yüksek olmasında en büyük etken kullanılan kimyasallardan ve boyalardan kaynaklanmaktadır. Tesise gelen ham atıksu yüksek sıcaklıkta olması yanı sıra aşırı katı madde içermektedir. Ham atıksu, fiziksel arıtım prosesinde ilk başta 2 cm' lik kaba ızgaradan, daha sonra 0,75 mm'lik ince ızgaralardan

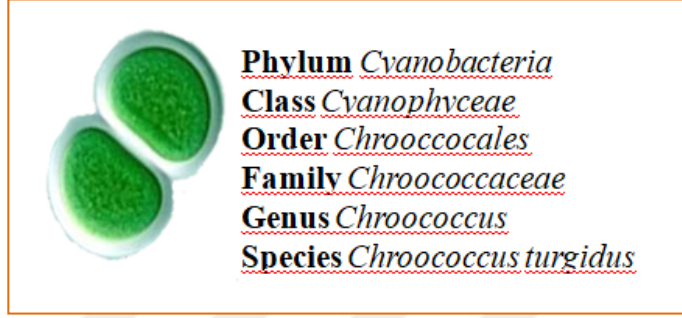
geçirilerek, kalın ve ince partiküllerden arındırılmaktadır. Kaba ve ince partiküllerin uzaklaştırılması genelde arıtım tesisinin ekipmanlarına hasar vermemesi için gerekli kılınan bir procestir. Gelen ham atıksu, yüksek pH'larda olduğundan sülfirik asit uygulaması ile pH'ı düşürülmektedir. Kimyasal arıtım prosesinde, alüminyum sülfat ( $Al_2SO_4$ ) ile flokleştirme işlemi uygulanarak, uzaklaştırılamayan organik ve inorganik katı madde giderimi sağlamaktadır. Daha sonra biyolojik arıtım prosesine gelen atıksu, aktif çamur havuzuna gönderilerek, enzim parçalayıcı bakteriler yardımı ile KOİ ev AKM giderimi sağlanmaktadır. Aktif çamur sonrası uygulanan işlem; biyolojik arıtmadan gelen ölü bakterilerin ve su yüzeyine çıkan katı maddelerin uzaklaştırılması için, sıyırıcılar ve ince savaklar kullanılarak katı maddelerin uzaklaştırılması ve çöken aktif çamurun geri devirle aktif çamur havuzuna geri devrinin yapılmasıdır. Arıtma prosesinin en son aşamasında, tekrar bir kimyasal yardımı ile renk giderimi yapıldıktan sonra atıksu alıcı ortama deşarj edilmektedir. Arıtım süresince oluşan çamur, çamur susuzlaştırma tankında sudan arındırılmaktadır. Ortaya çıkan çamur belt-press yardımı ile susuzlaştırılmış çamurun transferi yapılmaktadır. Çamur bertarafı, kara yolları asfalt yapımında çamuru yakma işleminde kullanarak bertaraf edilmektedir.

## 2.2. Mikroalg Tür Seçim ve Kültürü

Bu tez kapsamında kullanılan tatlı su mikroalg türleri ***O. solitaria* Wittrock (1879)**, ***C. turgidus* Nageli (1849)** ve ***N. umbonata* Ehrenberg (1978)** Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Ekoteknoloji Laboratuvarında kültür koleksiyonundan temin edilmiştir. Tür seçimi denemelerinde kullanılan türler; *Chlorophyta* Filumuna ait *O. solitaria*, *Cyanobacteria* Filumuna ait *C. turgidus* ve *Bacillariophyta* Filumuna ait *N. umbonata*'dır. *O. solitaria* türünün hücre boyutları; 15-42 µm uzunluğu ve 9-22 µm genişliği arasında değişiklik gösterir. *C. turgidus* türünün hücre çapı 27-30 µm, toplam uzunluk (dıştaki şeffaf tabaka dahil) 41-52 µm arasında değişir. *N. umbonata* uzunluk 37-57 µm, genişlik 7-8 µm, fibula 9-13/10 arasında farklılık gösterir.

Tür seçimi için yapılan ön denemeler sonucunda, *C. turgidus* biyomas verimi az, hasatı zor, *N. umbonata* hasatı kolay fakat bentik bir tür olduğundan

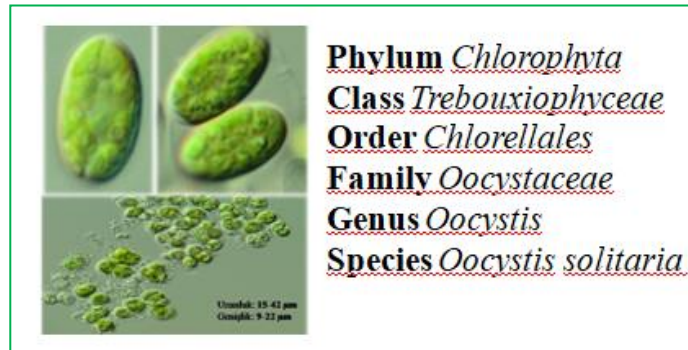
zeminde birbirini gölgeleyerek ışıktan az faydalandığı için biyomas verimi düşük olması nedeni ile değerlendirmeye alınmadı. *O. solitaria* türü; biyomas veriminin daha yüksek olması, hasatının daha kolay olması nedeniyle, tekstil endüstrisi atıksu arıtım denemesinde ana materyali olarak seçilmiştir. Ön denemelerde kullanılan ve ana materyal olarak kullanılan mikroalg türlerinin sistematığı Şekil 6, 7 ve 8’ de verilmiştir.



Şekil.6. *Chroococcus turgidus* türüne ait görsel ve sistematığı



Şekil.7. *Nitzschia umbonata* türüne ait görsel ve sistematığı



Şekil.8. *Oocystis solitaria* türüne ait görsel ve sistematığı

Steril mikroalg kültür ortamının hazırlanması için tatlı su öncelikle 0,2µ'luk kartuş filtreden geçirilerek 1 L'lik cam kapların içine konulmuştur. Daha sonra 121°C ve 1,5 atm basınç altında otoklav ile sterilizasyonu gerçekleştirilmiştir (Guillard, 1975). Yığın mikroalg kültürü için BG11 (modifiye) besin ortamı olarak kullanılmıştır (Kuhl ve ark, 1964; Rippka ve ark, 1992; Stanier ve ark, 1974).BG11 besi ortamı için kullanılan zenginleştirme besinleri aşağıda (Çizelge. 7, 8, 9) verilmiştir. Besin ortamı hazırlandıktan sonra mikroalg kültürü sürekli aydınlatma ve havalandırma koşulları altında büyümeye bırakıldı.Yığın biyomas kültürü için 250 ml hazırlanmış besi yeri ortamına 1 ml mikroalg aşılandı. 5 gün kültüre edildikten sonra daha büyük 1L hacimlerde hazırlanmış besi yerine nakledildi. 7 gün daha kültüre edildi daha sonra 5L' lik hazırlanmış besi yeri ortamına nakledilerek 8 gün kültüre edildikten sonra hasat edilerek atık su arıtımı için yığın mikroalg biyoması elde edilmiştir.Toplam kültür süresi 20 gün olarak gerçekleştirilmiştir.Büyüme ortamını havalandırmak için Hailea ACO-9630 marka sekiz çıkışlı akvaryum havalandırma motoru; aydınlatma için daylight floresan (1000 ftCD ışık şiddeti) kullanılmıştır. Floresan 24:0 (L:D) fotoperiyotta uygulanarak mikroalglerin logaritmik büyüme fazları takip edilmiştir. *O. solitaria* mikroalg türünün tekstil atıksu ortamındaki spesifikbüyüme hızı Chl a tabanlı olarak logaritmik büyüme fazı takip edilerek hesaplanmıştır. Bu türün deneme gruplarındaki büyüme hızı, kontrol grubu (BG11 besin ortamına aşılana biyomas) ile karşılaştırılmıştır.Spesifik büyüme hızları ( $\mu$ ) (Guillard, 1973) kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge.7. BG11- ( stok solusyonları) Besi ortamı

<b>Miktar mL</b>	<b>Kimyasal Madde</b>	<b>Stok Çözelti g/100 mL dH<sub>2</sub>O</b>	<b>Molar Konsantrasyon (Final Ortam), M</b>
60,0	NaNO <sub>3</sub>	2,50	1.76x10 <sup>-2</sup>
10,0	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,75	3.04x10 <sup>-4</sup>
20,0	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,10	1.89x10 <sup>-4</sup>
5,3	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,75	2.28x10 <sup>-4</sup>
14,0	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,25	2.38x10 <sup>-4</sup>
6,0	Citrid acid	0,10	3.12x10 <sup>-5</sup>
10,0	Ferric ammonium citrate	0,06	2.26x10 <sup>-5</sup>
10,0	Na <sub>2</sub> EDTA.2H <sub>2</sub> O	0,01	2.69 x10 <sup>-6</sup>

Çizelge.8.BG11- İz metal stok solusyonu

<i>Miktar mL</i>	<i>Kimyasal Madde</i>	<i>Stok Çözelti mg/1 L dH<sub>2</sub>O</i>	<i>Molar Konsantrasyon (Final Ortam), M</i>
1	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	61,0	9,87x10 <sup>-7</sup>
	MnSO <sub>4</sub> ·H <sub>2</sub> O	169,0	1,00x10 <sup>-6</sup>
	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	287,0	9,98x10 <sup>-7</sup>
	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2,5	1,00x10 <sup>-8</sup>
	(NH <sub>4</sub> ) <sub>6</sub> Mo <sub>7</sub> O <sub>24</sub> ·4H <sub>2</sub> O	12,5	1,01x10 <sup>-8</sup>

Çizelge.9. BG11- Vitamin stok solusyonu

<i>Miktar mL</i>	<i>Kimyasal Madde</i>	<i>Stok Çözelti</i>		<i>Molar Konsantrasyon (Final Ortam), M</i>
1	Vit. B <sub>1</sub> (Thiamine HCl)	0.1 g	/100 dH <sub>2</sub> O mL	2.96 x10 <sup>-6</sup>
	Vit. H (Biotin)	0.025 mg		1.02 x10 <sup>-9</sup>
	Vit. B <sub>12</sub> (Cyanocobalamin)	0.015 mg		1.11 x10 <sup>-10</sup>

### 2.3. Atıksu Örnekleme Noktası Belirlenmesi

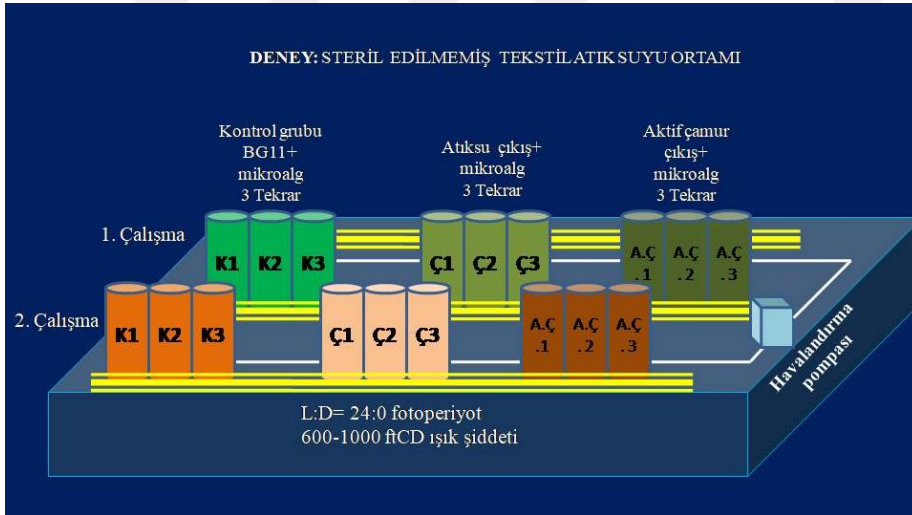
Atıksu örneklerinin alındığı arıtma sistemi; fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım sistemlerinin bir kombinasyonudur. Tekstil endüstrisi atıksuyun örnekleme noktalarını belirlemek amacıyla yapılan ön deneme çalışmasında, tesisin 4 farklı noktasından örnekleme yapılmıştır (ham, dengeleme, aktif çamur çıkış, çıkış). Bu noktalardan alınan atıksu örnekleriyle *O. solitaria* Wittrock (1879) ve *C. turgidus* Nageli (1849) türlerinin Chl a tabanlı büyümesi izlenmiştir. Türlerin adapte olduğu iki farklı nokta tespit edilmiştir ve çalışma bu zemine oturtulmuştur. Tüm ön denemeler boyunca, türler aktif çamur çıkış (AÇÇ) ve çıkış (Ç) noktalarından alınan atık su örneklerinde en yüksek büyüme oranını gösterdiğinden dolayı denemelerde bu noktalardan alınan atıksu örnekleri kullanılmıştır.

### 2.4.O. solitaria türü için Çalışma Düzenegi

*O. solitaria* türü, 10 gün ve 6 gün süreli denemelere alınmıştır. Çalışmalar iki grup halinde yapılmıştır. Birinci. Grup denemelerde; pH, sıcaklık, Ç.O, tuzluluk, iletkenlik parametrelerinin günlük ölçümleri yapılmıştır. *O. solitaria* türünün, Biyomas verimi, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> parametreleri giderim verimi üzerindeki etkisi çalışılmıştır. İkinci grup çalışmada ise, türün KOİ giderimi

üzerindeki etkisi araştırılmış vepH, sıcaklık, Ç.O, tuzluluk, iletkenlik, biyomas verimi parametreleri günlük olarak ölçülmüştür. Çalışma düzeneğindeiki farklı noktadan (AÇÇ ve Ç) alınan tekstil atık suyu herhangi bir süzme işlemi uygulanmadan vesteril edilmedendeneme gruplarına eklenmiştir. BG11 kontrol grubu için steril edilmiş ortam kullanılmıştır. Kontrol grubununsterilizasyon işlemi 121 °C'de 1,5 atm basınç altında 15 dakika otoklav içerisinde steril edilmiştir.

Denemeler, laboratuvar ortmamaında sürekli havalandırma ve aydınlatma (L:D= 24:0) ortamında yapılmıştır. Birinci çalışmada,*O. solitaria* için5L'lik şişelerde steril edilmemiş tekstil atıksuyu(4950 mL) ortamına santrifüj yardımı ile yığın hale getirilmiş mikroalg (50 ml) aşılammıştır. Birinci çalışmada aşılammış *O. solitaria* başlangıç Chl a değeri 150 µg/L'dir. İkinci çalışmada ise *O. solitaria* için 5 L'lik şişelerde steril edilmemiş tekstil atıksuyu(4990 mL) ortamına santrifüj yardımı ile yığın hale getirilmiş mikroalg (10 ml) aşılammıştır. İkinci çalışmada aşılammış olan *O. solitaria* Chl a değeri 350 µg/L'dir.Tüm deneme gruplarına 3 tekrarlı olacak şekilde mikroalg aşılammıştır.Çalışma düzeneğinin görsel olarak Şekil. 9, 10, 11 ve 12' de gösterilmiştir.



Şekil.9.Çalışma düzeneği



Şekil.10.10 günlük tekstil atıksuyunun kesikli sistemdeki düzeniği



Şekil.11.6 günlük tekstil atık suyunun kesikli sistemdeki düzeniği



Şekil.12. Çalışma süresince mikroalg büyümesindeki değişim

## 2.5 Fiziko-Kimyasal Analizler ve Kullanılan Teçhizatlar.

*O. solitaria* büyümesi için kullanılan ortam BG11 ve tekstil atıksuyudur. Büyüme ortamını havalandırmak için hava motoru ve aydınlatma olarak daylight floresan (1000 ftCD ışık şiddeti) kullanılmıştır. BG11 ve tekstil atıksu ortamına aşılana türler günlük olarak ışık mikroskopu altında gözlemlenmiştir. Ortamdaki *O. solitaria* türünün büyümesi günlük ölçülen Chl a değerleri ile ölçülmüştür. Büyüme hesaplamaları Guillard (1973)'e göre yapılmıştır. Günlük ölçülen parametreler Chl a, Chl b (AquaFluor Handheld Fluorometer and Turbidimeter), pH, Sıcaklık, Çözünmüş oksijen, Tuzluluk ve İletkenlik (WTW Oxi 330 çözünmüş oksijen metre, pH Orion SA 729) ölçülmüştür. PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N NH<sub>4</sub>-Nölçümleri Merck Spectroquant kolorimetre-fotometresi (Şekil 13) KOİ ve renk ölçümü (Merck Spectroquant Pharo 100) ile Ege Üniversitesi Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü Ekoteknoloji laboratuvarında yapılmıştır. Biyomas verimi için Whatman Glass microfiber (GF/C) 0.45 µm kullanılmıştır. Her bir noktadan (birinci çalışmada 50 mL, ikinci çalışmada 10 mL) numune alınarak önceden 70°C' de kurutulmuş ve daha sonra darası alınan GF/C kağıtlarından nuçe erleni ile süzölmüştür. Süzme işlemi yapılmış GF/C kağıtları tekrar kurutma işleminden geçirilerek en son tartımları üç dijital elektronik tartı ile yapıldı ve aşağıdaki formöl (2.2) ve (2.3) kullanılarak biyomas verimi hesaplaması yapılmıştır. Nutrient analizleri Merck analiz kitleri kullanıldı. Analizlerin yapılması için *O. solitaria* türünün aşılana olmuş olduğu K, Ç ve A.Ç.Ç ortamlarının her bir tekrarından 50 ml örnek alınarak 5000 rpm'de 4 dk santrifüj ile mikroalg ortamdan uzaklaştırıldı (Şekil. 14). Her bir analiz için gerekli pH değeri sağlanmış, daha sonra gerekli reaktifler eklenerek PO<sub>4</sub>-P, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-Nve KOİ ölçümleri yapıldı.

Büyüme hızı hesapları eşitlik 2.1'e göre (Guillard 1973),Biyomasve biyomas verimi hesaplaması eşitlik 2.2 ve 2.2.1' e göre (Standard Methods, 1989), % Nutrient Giderim verimi hesaplaması eşitlik 2.3'e göre yapılmıştır.

$$\mu = \frac{1}{t_2 - t_1} \log_2(N_2 - N_1) \quad (2.1)$$

$\mu$ : Spesifik büyüme hızı,  $N_1$ : Üssel büyüme fazının başlangıcındaki Chl a, b değeri, µg/L,  $N_2$ : Üssel büyüme fazının sonundaki Chl a,b değeri, µg/L,  $t_1$ :  $N_1$  değerinin tayin edildiği zaman dilimi,  $t_2$ :  $N_2$  değerinin tayin edildiği zaman dilimi olarak ifade edilmiştir.

$$\text{Biyomas (mg/L)} = (M_C - M_D) \times 1000 / V \quad (2.2)$$

$$\%B = \frac{(M_n - M_o)}{M_o} 100 \quad (2.2.1)$$

(2.2) için  $M_C$ ; Filtre kağıdı+ Kuru kalıntı mikrolag tartımı (mg),  $M_D$ ; Filtre kağıdının tartımı (mg),  $V$ ; Süzülennumune hacmi (mL). 1000 sabit sayı (mL).

(2.2.1) için  $M_n$ ; Sonuncu gün elde edilen biyomas ağırlığı,  $M_o$ ; Sıfırıncı gün elde edilen biyomas ağırlığı,  $100$ ; Yüzdeler hesaplama katsayısı.

$$\%R = \frac{(M_o - M_n)}{M_o} 100 \quad (2.3)$$

$\%R$ ; yüzde giderim değeri,  $M_o$ ; Sıfırıncı günkü ölçüm yapılan nutrient miktarı,  $M_n$ ; Sonuncu gün ölçüm yapılan nutrient miktarı,  $100$ ; Yüzdeler hesaplama katsayısı.



Şekil.13. Fiziko-kimyasal parametrelerin ölçümü için kullanılan cihazlar.



Şekil.14. Nutrient analizleri için santrifüj işleminden geçirilen atık su numuneleri. (a); Santrifüj işlemi uygulanmamış atıksu, (b); a numunesinin 5000 rpm /4 dk işleminden sonra çökelmiş *O. solitaria* ve diğer mikroorganizmalar, (c); b ortamındaki su numunesinin mikropipet yardımı ile alındıktan sonra nutrient analizleri için hazır hale getirilmiş.

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Ön Denemeler

Bu çalışmada, tekstil atık su arıtma tesisinden farklı iki noktadan alınan atık suda havalandırılmalı kesikli sistemde tatlı su mikroalg türleri *Oocystis* ve *C. turgidus* 'un Chl a 'ya bağlı büyümeleri izlenmiştir. Daha sonra, gerek biyomas açısından gerekse hasat bakımından en elverişli olan tür *O. solitaria* bulunduğundan dolayı bu çalışmanın ana materyali olarak seçilmiştir. Tatlı su mikroalg türü olan *O. solitaria*'nın tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılabilirliğinin, atık sudaki büyümesi ve arıtım verimi araştırılması çalışılmıştır. Çalışma için tekstil atıksu arıtma tesisinin aktif çamur çıkış suyu (A.Ç.Ç) ve çıkış (Ç) kısmından alınmıştır. Şekil. 9 ve 10' da gösterilen çalışma düzeneğinde 5 L'lik şişelere 3 tekrarlı olacak şekilde mikroalg aşılmalıdır. Mikroalgin açık havuz sistemlerinde de uygulanabilirliğini tespit etmek amacıyla, çalışma oda sıcaklığı koşullarında yapılmıştır.

*O. solitaria* ve *C. turgidus* için en iyi büyüme ortamı BG11 besin ortamıdır. Yapılan ön kültür çalışmalarında, *O. solitaria* ve *C. turgidus* için kontrol grubu BG11 besin ortamı kullanılmıştır. Kontrol grubu, mikroalglerin tekstil atıksu içerisindeki büyüme hızını karşılaştırmak, klorofil kotaları arasındaki farklılıkları görebilmek ve uygun türün seçimi için referans olarak kullanılmıştır. Bu çalışmada, steril edilmiş tekstil atıksuyunun kullanılmamasının nedeni, yapılan ön denemelerde *C. turgidus* ve *O. solitaria* türleri ile steril edilmemiş ortamda daha iyi bir büyüme elde edilmesidir. Ön denemede K (kontrol) grubu ayrı olmak üzere; 4 farklı noktadan alınan tekstil atıksu (Ç (çıkış), A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış), D (dengeleme), H (ham)) ortamına başlangıç Chl a değeri ~28 µg/L olacak şekilde üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Kullanılan *C. turgidus* steril edilmiş ve steril edilmemiş ortamlardaki Chl a ve Chl b karşılaştırmaları aşağıda (Şekil.15a,b,c,d) verilmiştir. Çalışmada kullanılan tekstil endüstrisine ait atıksu karakterizasyonu Çizelge.10' da gösterildiği gibidir.

Ön denemeler sonucunda elde edilen Chl a kotası büyükten küçüğe sıralandığında *C. turgidus* için K>A.Ç.Ç>D>H' dir (Çizelge. 13). *O. solitaria* için K>A.Ç.Ç>Ç' dir (Çizelge. 16).

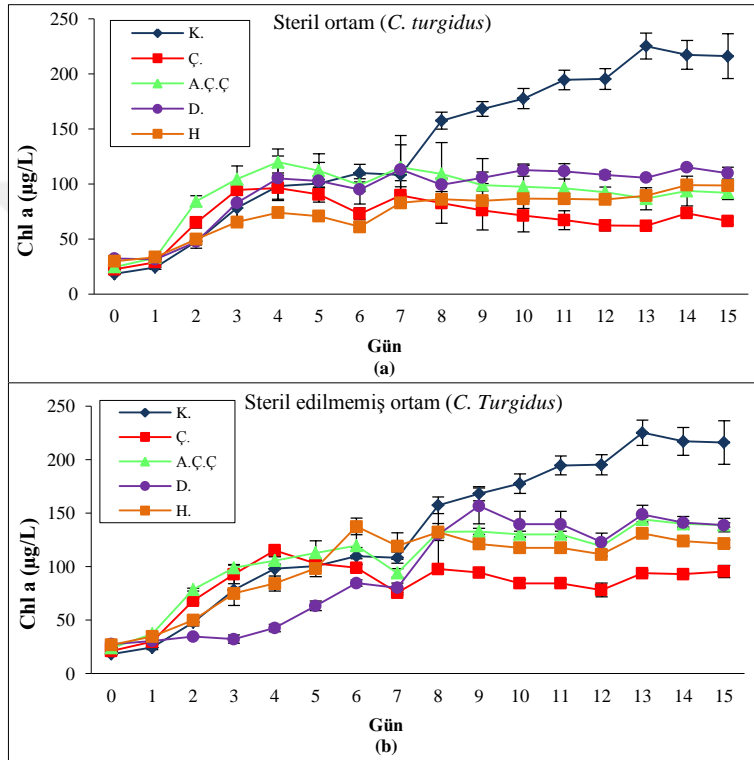
Çizelge.10. Tekstil atıksuyu örnekleme arazisinde A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) ve Ç (çıkış) noktasından alınan atıksuların karakterizasyonu.

	A.Ç.Ç	Ç
<b>T(°C)</b>	24.1	22.2
<b>pH</b>	7,793	7,955
<b>Ç.O (mg/L)</b>	8,05	8,50
<b>Tuzluluk (%oS )</b>	4,4	4,5
<b>İletkenlik (ms/cm)</b>	7,94	8,12
<b>KOİ (mg/L)</b>	1500>	1500>
<b>AKM</b>	-	117
<b>Renk (Girişi ile Çıkış)</b>	-	3298.5
<b>NO<sub>2</sub> (mg/L)</b>	0.068	0,004
<b>NO<sub>3</sub> (mg/L)</b>	4.6	4,6
<b>PO<sub>4</sub> (mg/L)</b>	1	0,96
<b>NH<sub>4</sub> (mg/L)</b>	-	-

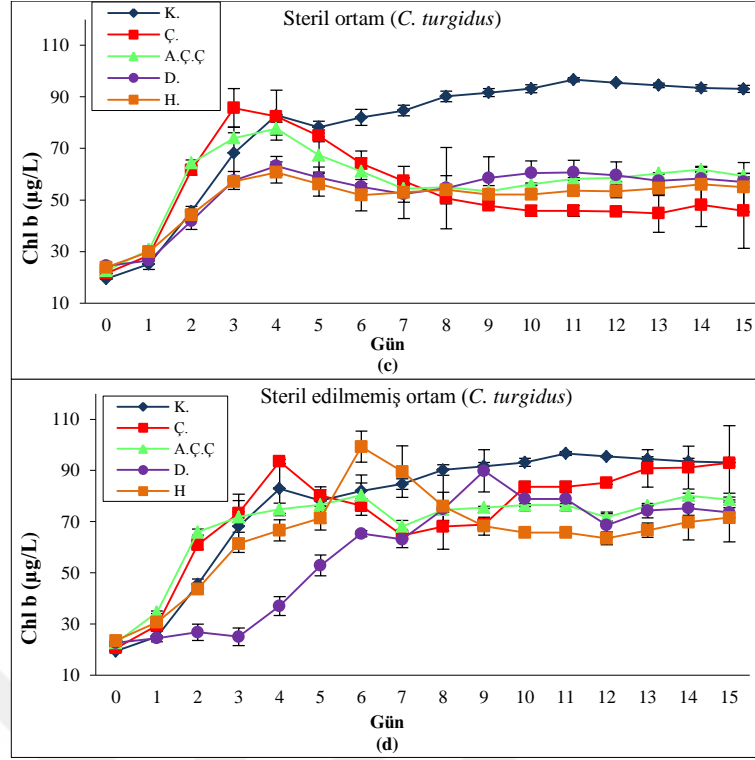
### 3.2.C. *turgidus* Chl a Büyüme Hızı

Yapılan 15 günlük deneme sonucunda elde edilen verilere göre, *C. turgidus* Chl a tabanlı büyüme fazlarına (Şekil. 15a ve 15b) bakıldığında hem steril ortamda hem de steril olmayan ortamda (Çizelge. 11 ve 12) Ç (çıkış) 0-4. gün, A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) 0-8. gün, H (ham) 0-6. gün arasında gerçekleşen büyüme kontrol grubuyla benzer artış görülmektedir. Steril edilmiş D (dengeleme havuzu çıkış) denemesi ve H (ham atıksu) denemesinde 0-1 gün arasında lag fazı, 1-7. gün arasında exponansiyel faz, steril olmayan ortamda ise 0-3. gün arasında lag fazı 3-9. gün arasında ise exponansiyel büyüme fazı görülmüştür. Türün 15. günlük ön deneme bitiminde, steril olmayan tüm denemeler için saturasyon fazında kaldığı görülmüştür. Bu durum, Chl a kotası ve saturasyon fazı dikkate alındığında, nutrient takviyesi ile büyümenin devam ettirilebileceğini göstermiştir. Steril ortamda, en yüksek maximum Chl a kotası  $216,1 \pm 20,4 \mu\text{gL}^{-1}$  ile K grubundan elde edilirken,  $119,8 \pm 12$  maximum Chl a- $\mu\text{gL}^{-1}$  lik Chl a kotasıyla A.Ç.Ç denemesinden elde edilen sonuçlar takip etmektedir. En yüksek büyüme hızı ise, A.Ç.Ç denemesinde  $\mu_{\text{exp}}$  Chl a  $1,64 \pm 0,27 \text{ gün}^{-1}$  dir. Steril olmayan ortamda en yüksek maximum Chl a kotası K grubu  $217,2 \pm 20,4 \mu\text{gL}^{-1}$ , ikinci büyük Chl a kotasına sahip olan D denemesinden elde edilen maximum Chl a kotası  $148,8 \pm 8,49 \mu\text{gL}^{-1}$  değeridir. En yüksek büyüme hızı Ç denemesinde

$\mu_{exp} 1,64 \pm 0,003 \text{gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Denemenin sonuçlarına göre, mikroalgin en iyi büyüdüğü tekstil atıksu arıtma ünitesi ortamı A.Ç.Ç ve Ç noktası olarak tespit edilmiştir. Ham ve Dengeleme yüksek sıcaklık ve asiditeden dolayı tercih edilmemiştir. Bu sonuca göre, çalışmada tekstil atık suyu arıtımı için A.Ç.Ç ve Ç noktasından örnekleme yapılarak çalışma yapılmıştır. Ham atıksu ve dengeleme havuzu çıkış noktasındaki atık suyun yüksek/değişken pH ve yüksek sıcaklık değerlerine sahip olması bir diğer tercih edilmeme nedenidir.



Şekil. 15.(a). Steril edilmiş Tekstil endüstrisi atık suyu (b) Steril edilmemiş Tekstil atık suyu K (BG11 besi ortamı), Ç (Çıkış), A.Ç.Ç (Aktif Çamur Çıkış), D (Dengeleme tankı), H (Ham) ortamına aşıl原因an *C. turgidus* mikroalg türünün Chl a' ya bağlı büyüme grafiği.



Şekil. 15. (c). Steril edilmiş Tekstil endüstrisi atık suyu (d) Steril edilmemiş Tekstil atık suyu K (BG11 besi ortamı), Ç (Çıkış), A.Ç.Ç (Aktif Çamur Çıkış), D (Dengeleme tankı), H (Ham) ortamına aşıl原因an *C. turgidus* mikroalg türünün Chl b' ye bağlı büyüme grafiği.

Çizelge. 11. Steril edilmiş BG11 ve steril edilmiş tekstil endüstrisi atıksuyu ortamına aşıl原因an *C. turgidus* türünün Chl a ve Chl b' ye bağlı büyüme fazları

Steril	Chl a				Chl b			
	Lag Faz	Exp. Faz	Str. Faz	Dead Faz	Lag Faz	Exp. Faz	Str. Faz	Dead Faz
	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün
K	-	0-13	-	13-15	-	0-13	-	13-15
Ç	-	0-4	4-7	7-15	-	0-4	4-7	7-15
A.Ç.Ç	-	0-4	4-7	7-15	-	0-4	4-7	7-15
D	0-1	1-7	7-15	-	0-1	1-7	7-15	-
H	0-1	1-7	7-15	-	0-1	1-7	7-15	-

Çizelge. 12. Steril edilmemiş BG11 ve steril edilmemiş tekstil endüstrisi atıksuyu ortamına aşıl原因an *C. turgidus* türünün Chl a ve Chl b' ye bağlı büyüme fazları.

Steril olmayan	Chl a				Chl b			
	Lag Faz	Exp. Faz	Str. Faz	Dead Faz	Lag Faz	Exp. Faz	Str. Faz	Dead Faz
	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün	Gün
K	-	0-13	-	13-15	-	0-4	4-15	-
Ç	-	0-4	4-15	-	-	0-4	-	4-15
A.Ç.Ç	-	0-8	8-15	-	-	0-6	6-15	-
D	0-3	3-9	9-15	-	0-3	3-9	-	9-15
H	-	0-6	6-15	-	-	0-6	-	6-15

Çizelge. 13. Steril edilmiş BG11 ve steril edilmiş tekstil endüstrisi atıksuyu ortamına aşılana *C. turgidus* türünün max Chl a, max Chl b kotaları ve Chl a ve Chl b' ye bağlı spesifik büyüme hızları.

Steril	<i>C. turgidus</i>				
	Başlangıç Chl a değeri $\approx 28 \mu\text{g/L}$				
	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç	D	H
max Chl a ( $\mu\text{g/L}$ )	216,1 $\pm$ 20,4	94,6 $\pm$ 5,1	119,8 $\pm$ 12	115,1 $\pm$ 1,3	98,6 $\pm$ 1,95
$\mu_{\text{exp}}$ Chl a ( $\text{gün}^{-1}$ )	0,59 $\pm$ 0,27	1,55 $\pm$ 0,44	1,64 $\pm$ 0,27	1,05 $\pm$ 0,74	0,94 $\pm$ 0,08
max Chl b ( $\mu\text{g/L}$ )	96,6 $\pm$ 0,79	85,7 $\pm$ 5,65	77,7 $\pm$ 12,2	63,2 $\pm$ 6,45	60,7 $\pm$ 0,38
$\mu_{\text{exp}}$ Chl b ( $\text{gün}^{-1}$ )	1,50 $\pm$ 0,81	2,00 $\pm$ 0,83	1,45 $\pm$ 0,90	1,32 $\pm$ 0,66	1,30 $\pm$ 0,60

Çizelge. 14. Steril edilmiş BG11 ve steril edilmemiş tekstil endüstrisi atıksuyu ortamına aşılana *C. turgidus* türünün max Chl a, max Chl b kotaları ve Chl a ve Chl b' ye bağlı spesifik büyüme hızları.

Steril olmayan	<i>C. turgidus</i>				
	Başlangıç Chl a değeri $\approx 28 \mu\text{g/L}$				
	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç	D	H
max Chl a ( $\mu\text{g/L}$ )	217,2 $\pm$ 20,4	115,2 $\pm$ 1,21	144,1 $\pm$ 2,33	148,8 $\pm$ 8,49	132,4 $\pm$ 7,84
$\mu_{\text{exp}}$ Chl a ( $\text{gün}^{-1}$ )	0,59 $\pm$ 0,27	1,64 $\pm$ 0,003	0,85 $\pm$ 0,18	1,16 $\pm$ 0,61	1,13 $\pm$ 0,48
max Chl b ( $\mu\text{g/L}$ )	96,7 $\pm$ 0,79	93,5 $\pm$ 2,34	80,1 $\pm$ 0,94	89,9 $\pm$ 8,2	99,3 $\pm$ 6,09
$\mu_{\text{exp}}$ Chl b ( $\text{gün}^{-1}$ )	1,50 $\pm$ 0,81	1,55 $\pm$ 0,010	0,98 $\pm$ 0,47	1,003 $\pm$ 0,37	1,04 $\pm$ 0,43

### 3.3.O. *solitaria* Chl a büyüme hızı

#### 3.3.1. 10 ve 6 Günlük Denemeler

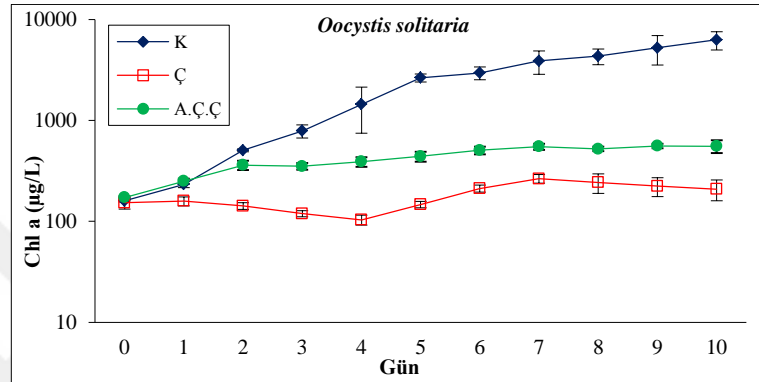
Çizelge 10'da örneklenen tekstil atık suların içerisine mikroalg inokule edilmemiş durumdaki Chl a ve Chl b değerleridir. Denemede kullanılan mikroalg türlerinin inokule edilmiş durumdaki Chl a ve Chl b değerleri aşağıdaki Şekil.16 ve 17' de verilmiştir.

*O. Solitaria* türünün birinci (10 gün) ve ikinci (6 gün) çalışmaya ait Chl a ve Chl b değerlerine bağlı günlük büyümesi izlenmiştir (Şekil.16, 17). Her iki çalışma için büyüme grafiklerine bakıldığında; birinci çalışmada aktif çamur çıkış ortamında gerçekleşen büyüme 0. günden itibaren ilk 2 günde kontrol grubuyla benzer artış görülmektedir. Çıkış ortamında ise, *O. solitaria* büyümesi ilk dört gün adaptasyon süreci olarak görülmüştür. Chl a kotası birinci çalışmada *O. solitaria* en büyük kota K (kontrol) grubunda 6281 $\pm$ 1289  $\mu\text{g/L}$  iken A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) denemesinde 558,0 $\pm$ 26,5  $\mu\text{g/L}$  elde edilmiştir. *O. Solitaria* için Chl a kotası

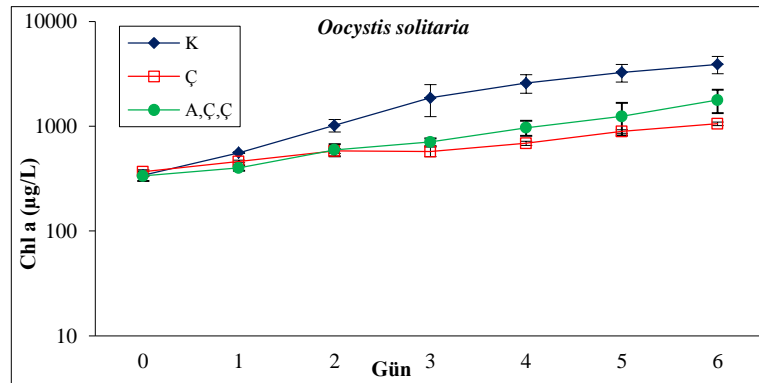
büyükten küçüğe sıralandığında  $K > A.Ç.Ç > Ç$ 'dir.

Çizelge.15. Tekstil atıksuyu örneklemede (10-6 günlük çalışma grupları) ham A.Ç.Ç (aktif çamur çıkış) ve ham Ç (Çıkış) noktadaki atıksuların Chl a ve Chl b değerleri.

Çalışma süreleri	Ortamlar	Chl a (µg/L)	Chl b (µg/L)
10 günlük çalışma	A.Ç.Ç	9,275	5,019
	Ç	3,077	2,788
6 günlük çalışma	A.Ç.Ç	14,13	4,137
	Ç	14,26	4,336



Şekil.16.10 günlük çalışma *O. solitaria* mikroalg türünün Chl a' ya bağlı K(Kontrol), Ç(Çıkış) ve A.Ç.Ç(Aktif Çamur Çıkış) ortamlarındaki büyüme hızları grafiği

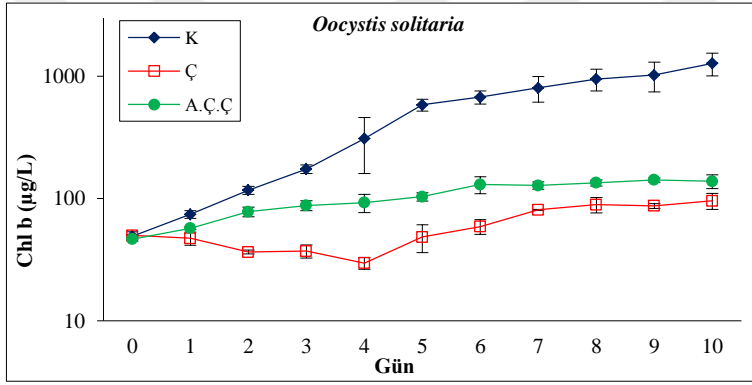


Şekil.17.6 günlük çalışma *O. solitaria* mikroalg türünün Chl a' ya bağlı K(Kontrol), Ç(Çıkış) ve A.Ç.Ç(Aktif Çamur Çıkış) ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.

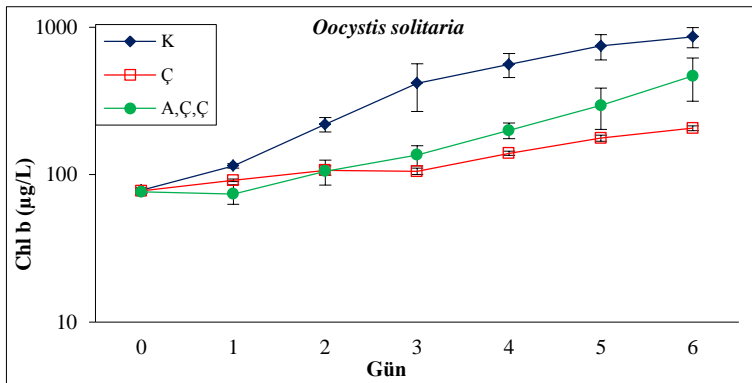
6 günlük çalışmada ise, Chl a büyüme eğrisine bakıldığında K grubu 0-4 gün arasında logaritmik artış göstermiştir. Ç ve A.Ç.Ç ortamındaki büyümesi, 0-4.gün arasında benzer bir artış göstermiştir. Ç ve A.Ç.Ç gruplarında,0-3 günler arasında arası, adapte süreci olarak tespit edildi(Şekil. 17), fakat yüksek bir eğim elde edilememiştir. Max Chl a kotasına bakıldığında, en yüksek kota,  $3894 \pm 727$

$\mu\text{g/L}$  ile K grubunda elde edilmiştir. K'den sonraki Max Chl a kotası  $1776\pm 447\mu\text{g/L}$  ile A.Ç:Ç denemesinden elde edilmiştir (Çizelge.16). Maksimum Chl a kotasına göre büyükten küçüğe doğru sıralandığında  $K>A.\dot{C}:\dot{C}>\dot{C}$  şeklinde gerçekleşmiştir. Her iki denemede (10 ve 6 günlük) de Chl a kota sıralamasında bir değişiklik olmamıştır.

*O. solitaria* için Chl b logaritmik eğrisine bakıldığında (Şekil. 18), Chl a'da olduğu gibi benzer bir artış gözlenmiştir. 10 günlük çalışmada maksimum Chl b kotasının en yüksek değeri, K ortamından  $1272\pm 269,3 \mu\text{g/L}$  olarak elde edilmiştir. Maksimum Chl b kotası büyükten küçüğe sıralandığında  $K>A.\dot{C}:\dot{C}>\dot{C}$  şeklindedir.



Şekil.18.10 günlük çalışma *O. solitaria* mikroalg türünün Chl b' ye bağlı K(Kontrol), Ç(Çıkış) ve A.Ç.Ç(Aktif Çamur Çıkış) ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.



Şekil.19.6 günlük çalışma *O. solitaria* mikroalg türünün Chl b' ye bağlı K(Kontrol), Ç(Çıkış) ve A.Ç.Ç(Aktif Çamur Çıkış) ortamlarındaki büyüme hızları grafiği.

6 günlük çalışmagruplarıiçin maksimum Chl b kotası 860,5±145,3µg/L olarak elde edilmiş (Çizelge 16) ve logaritmik büyüme eğrileri Chl a büyüme eğrileri ile benzer bir artış seyri izlemiştir(Şekil. 16). Logaritmik büyüme eğrisine bakıldığında 0-6 gün aralığındaki maksimum Chl b kotası sıralaması K>A.Ç.Ç>Ç şeklindedir(Şekil. 16, Çizelge.16).*O. solitaria* için,10 günlükve 6 günlük çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Chla ve Chl b' ye bağlı hesaplanan spesifik büyüme hızları Çizelge. 16' da. verilmiştir.

Çizelge.16.*O. solitaria* türünün Chl a ve Chl b kotaları ve spesifik büyüme hızları.

	10 Günlük çalışma( <i>O. solitaria</i> ) Başlangıç Chla değeri ≈150 µg/L Chl b değeri ≈ 45 µg/L			6 Günlük çalışma( <i>O. solitaria</i> ) Başlangıç Chla değeri ≈350 µg/L Chl b değeri ≈75 µg/L		
	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç
max Chl a (µg/L)	6281±1289	264,4±25,9	558,0±26,5	3894±727,3	1056±59,46	1776±447,2
max Chl b(µg/L)	1272±269,3	95,62±14,3	141,7±5,59	860,5±145,4	206,5±8,72	467,2±152,5
exp.µ a(gün <sup>-1</sup> )	2,25±1,0	2,44±1,96	1,61±0,63	1,96±1,58	1,6±0,75	1,70±1,4
exp.µ b(gün <sup>-1</sup> )	1,03±0,81	1,11±0,19	1,06±0,71	1,60±1,17	1,16±0,4	1,43±1,2

Çizelge.17. *O. solitaria* türünün Chl a 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait büyüme fazları.

10 Günlük	Chl a				Chl b			
	Lag Faz Gün	Exp. Faz Gün	Str. Faz Gün	Dead Faz Gün	Lag Faz Gün	Exp. Faz Gün	Str. Faz Gün	Dead Faz Gün
K	-	0-5	5-10	-	-	0-5	5-10	-
Ç	0-4	4-7	-	7-10	0-4	4-7	-	7-10
A.Ç.Ç	-	0-2	2-10	-	0-1	1-6	6-10	-
6 Günlük	Lag Faz Gün	Exp. Faz Gün	Str. Faz Gün	Dead Faz Gün	Lag Faz Gün	Exp. Faz Gün	Str. Faz Gün	Dead Faz Gün
K	-	0-6	-	-	-	0-6	-	-
Ç	-	0-6	-	-	-	0-6	-	-
A.Ç.Ç	-	0-6	-	-	-	0-6	-	-

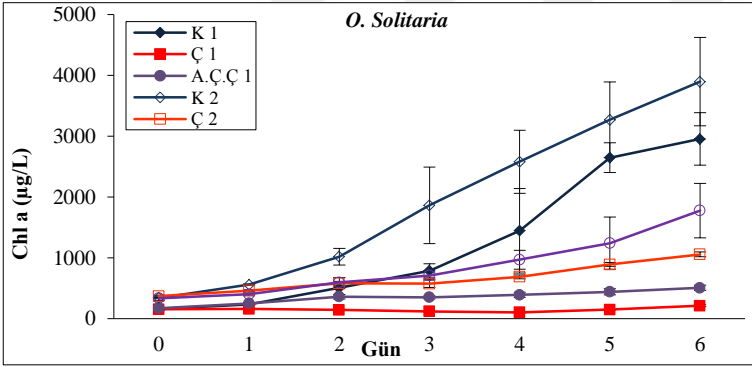
Giderim oranları ve maximum Chl a kotaları ile ilişkilendirildiğinde 10 günlük ve 6 çalışma gruplarında şu şekildedir. Çizelge. 18' de tekstil atıksu ortamı için 10 günlük çalışmanın 6. günün sonunda elde edilen max Chl a kotası A.Ç.Ç>Ç şeklindedir. Giderim verimi ise NO<sub>2</sub>-N için A.Ç.Ç (%71) >Ç (%52) şeklinde paralel bir sıralama göstermiştir. Fakat NO<sub>3</sub>-N ve PO<sub>4</sub>-P için sırasıyla bu durum tam tersi Ç (%43, %92 )>A.Ç.Ç (%19, %80) şeklinde tespit edildi. KOİ giderimi için yapılan 6 günlük çalışma grubunda ise tekstil atık suyu için en yüksek max Chl a değeri sıralaması A.Ç.Ç>Ç şeklindedir. KOİ giderim oranı ise en yüksek A.Ç.Ç (%98)>Ç (97,1). Elde edilen bu sonuçlar giderim verimi max

Chl a kotaları ile doğru orantılı giderimi yapılan  $\text{NO}_2\text{-N}$  ve  $\text{KOİ}$  olarak ortaya çıkmaktadır.

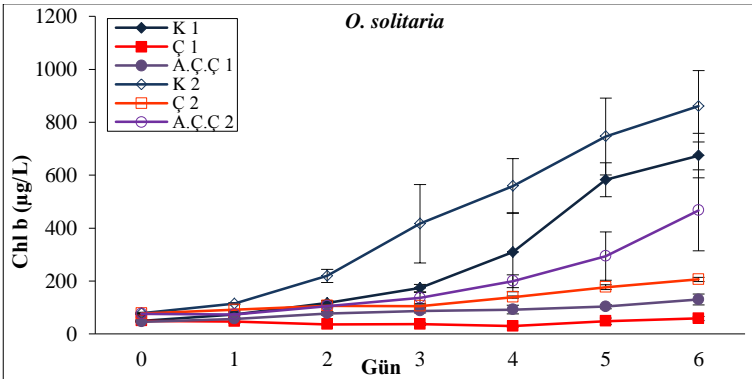
Çizelge.18.O. solitaria türünün 10 günlük ve 6 günlük çalışmaya ait 0-6. gün arası Chl a ve Chl b kotaları ve nutrient giderim verimi.

6 Günlük	Başlangıç Chl a ~150 ( $\mu\text{g/L}$ ) 0-6 gün arası			Başlangıç Chl a ~350 ( $\mu\text{g/L}$ ) 0-6 gün arası		
	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç
max Chl a ( $\mu\text{g/L}$ )	2951,7 $\pm$ 435	211,7 $\pm$ 16,8	505,8 $\pm$ 43,6	3894 $\pm$ 727,3	1056 $\pm$ 59,46	1776 $\pm$ 447,2
max Chl b ( $\mu\text{g/L}$ )	674,1 $\pm$ 83,9	58,9 $\pm$ 8,05	130,13 $\pm$ 20,6	860,5 $\pm$ 145,4	206,5 $\pm$ 8,72	467,2 $\pm$ 152,5
Giderim %R	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç	K (BG11)	Ç	A.Ç.Ç
$\text{NO}_2$	-	1-6. gün %52	1-6. gün %71	-	-	-
$\text{NO}_3$	-	0-6. gün %43	1-6. gün %19	-	-	-
$\text{PO}_4$	0-6. gün %96	0-6. gün %92	0-6. gün %80	-	-	-
$\text{KOİ}$	-	-	-	0-6. gün %60,7	0-6. gün %97,1	0-6. gün %98

10 günlük (150 $\mu\text{g/L}$ ) ve 6 günlük (350 $\mu\text{g/L}$ ) çalışma gruplarına ait 0-6. gün arasındaki Chl a ve Chl b büyüme eğrisinin artışı aşılana mikroalg miktarı ile doğru orantılıdır (Şekil. 20 ve 21).



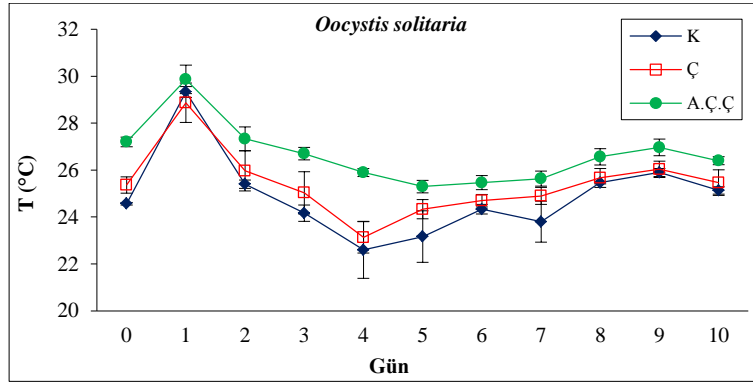
Şekil.20.10 günlük (150 ( $\mu\text{g/L}$ ))O. solitaria aşılana ortamlar (K1, Ç1, A.Ç.Ç1), 6 günlük (350 ( $\mu\text{g/L}$ )) O. solitaria aşılana ortamlar (K2, Ç2, A.Ç.Ç2), 6 günlük Chl a büyüme grafiği



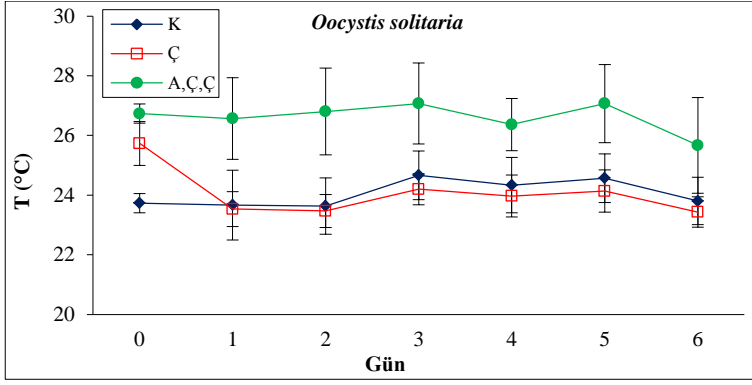
Şekil.21.10 günlük( 150 (µg/L))*O. solitaria* aşıl原因 ortamlar (K1, Ç1, A.Ç.Ç1), 6 günlük( 350 (µg/L))*O. solitaria* aşıl原因 ortamlar (K2, Ç2, A.Ç.Ç2), 6 günlük Chl b büyüme grafiği.

### 3.4. Sıcaklık, pH, Ç.O, Tuzluluk, İletkenlik

*O. solitaria* mikroalg türünün her iki çalışma grubundan (6 ve 10 günlük) elde edilensıcaklık değışimleri Şekil.22 ve 23' de verilmiştir. Sıcaklık değışimi her iki çalışma grubunda farklı dalgalanmalar göstermiştir. Çalışmalar mikroalgin inoküle edildiği oda sıcaklığı 24-25°C iken ortamlarda 10 günlük çalışmada 1. günde ortam sıcaklıkları 28-31°C aralğında değıştiği gözlemlendi.1. gün sıcaklık artışı mikroalg türlerinin adaptasyonu gereğince fotosentetik aktivitelerin az olmasından kaynaklanmış olabilir. 6 günlük çalışmada ise sıcaklık değışiminde dalgalanmalar pek fazla gözlemlenmedi fakat her iki çalışma da final gününde ortam sıcaklıkları 0. gün ile aynı değerde tespit edilmiştir. 6 günlük çalışmada aynı şekilde pek bir değışiklik gözlemlenmemiştir. Bu sonuç, tekstil atıksu ortamında büyüeyebilen türün, açık atıksu arıtım sistemlerinde kullanıldığında, sıcaklık değışimlerinden önemli derecede etkilenmeden kullanılabileceğini göstermektedir.



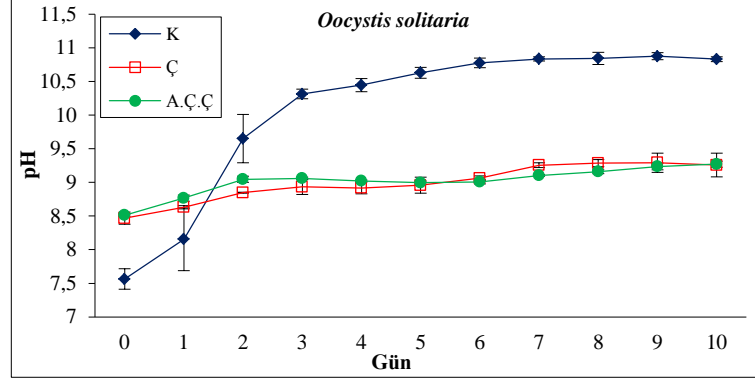
Şekil.22.10 günlük çalışma süresince K, Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki sıcaklık değışim grafiği.



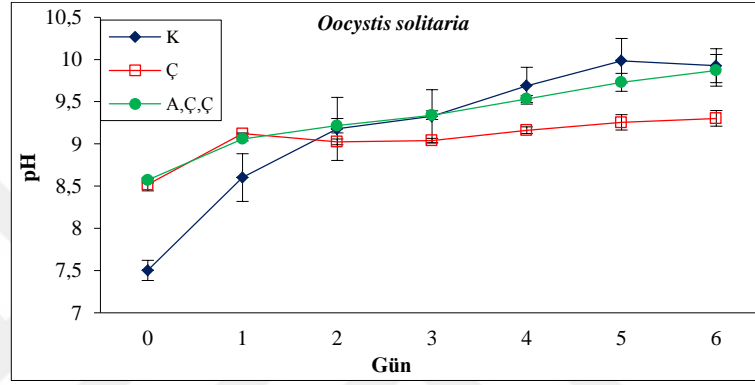
Şekil.23. 6 günlük çalışma süresince K, Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki sıcaklık değişimleri.

Arıtım tesisine gelen ham atık suyu sülfirik asit ile pH dengelemesi yapıldığı için, her iki çalışma grubunda (6 ve 10 günlük) da laboratuvara getirilen tekstil atık su örneklerin örnekleme anındaki pH değeri 7.5 ile 8 civarındadır (Çizelge. 10). Atık suların beklemesinden ve sıcaklık değişiminden dolayı *O. Solitaria* tekstil atık su ortamlarına ve kontrol gruplarına inoküle edildiği anki pH değeri 8 ile 9 arasında tespit edilmiştir (Şekil. 24 ve 25).

Yapılan her iki çalışma grubunda (6 ve 10 günlük) kontrol grubundaki pH değeri en yüksek değere ulaşmıştır. 10 günlük denemelerde *O. solitaria* K (kontrol) grubunda pH'nın ulaştığı maksimum değer 9. günde 10.87 iken, 6 günlük çalışmada K (kontrol) grubunda pH ulaştığı maksimum değer 5. gün 9.98 olarak tespit edildi. 10 günlük çalışmada A.Ç.Ç ve Ç ortamındaki pH değerleri *O. solitaria* için A.Ç.Ç, 9. günde 9.23 Ç, 7. günde 9.25 tespit edilmiştir. 6 günlük çalışmada A.Ç.Ç, 6. günde 9.87, Ç, 6. günde 9.30'a kadar ulaşmıştır. Tekstil atık su ortamlarına inoküle edilen her iki çalışma grubu (6 ve 10 günlük) için maksimum pH değerleri neredeyse aynıdır. Çalışma grupları (6 ve 10 günlük) K (kontrol) denemelerinde, pH'daki artışın BG11 ortamının besin değerlerinin yüksek olması ile mikroalgin büyümesindeki fotosentez aktivitelerinin etkilemesinden kaynaklanması muhtemeldir. (Mara and Pearson, 1986; De la Noüe and De Pauw, 1988). Bu bilgilere dayanarak, iki çalışma grubunda (6 ve 10 günlük) görüldüğü gibi K, A.Ç.Ç ve Ç ortamının Chl a değerine bakıldığında *O. solitaria* çoğalması beraberinde fotosentez aktivitelerinin artması ile pH değerleride artmaktadır (Şekil.24, 25).



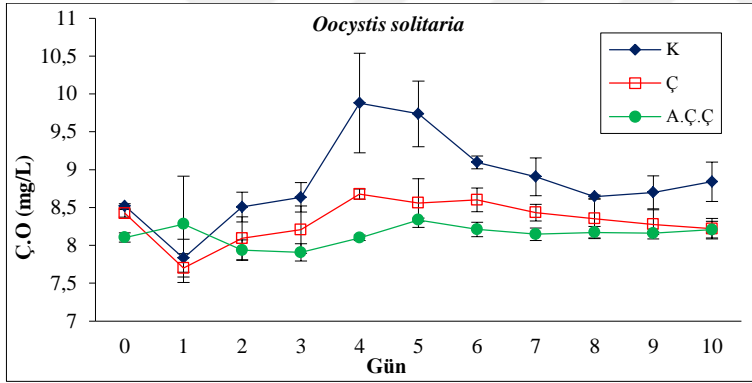
Şekil.24. 10 günlük çalışma süresince K, Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki pH değişimleri.



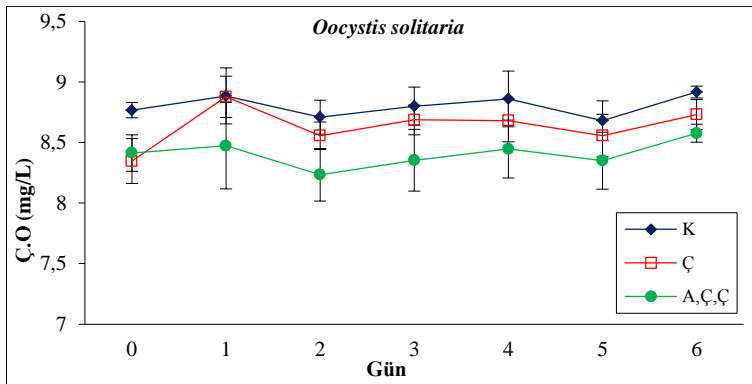
Şekil.25.6 günlük çalışma süresince K, Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki pH değişimleri.

Mikroalgler fotosentez aktiviteleri ile buldukları ortamda sürekli oksijen üretmektedir. Ç.O değerleri yapılan iki çalışma grubu (6 ve 10 günlük) için şu şekildedir:10 günlükdenemerde *O. solitaria* inoküle edildikten sonra 1. günde 8.5 mg/L' den 7.5 mg/L kadar düşüş göstermiştir (Şekil. 26). Ancak, Ç ortamında tam aksine Ç.O değerlerinde bir artış görüldü. A.Ç.Ç ortamına inoküle edilmiş *O. solitaria* türünün, 0-1. günün büyüme eğrisine bakıldığında, başlangıç eğiminin yüksek olduğu ancak, 1. günün sonunda azalmaya başladığı görülmektedir (Şekil 26.).Bu durum,A.Ç.Ç ortamında az dahi olsa bakteri bulunmasından dolayı oksijenin tüketilmesine neden olmuş olabilir. Nitekim takip eden diğer günlerde de Ç.O değerleri düşük seyretmiştir.Aşağıdaki Şekil .26 ve 27' e bakıldığında iki çalışma grubu (6 ve 10 günlük) için, A.Ç.Ç ve Ç denemelerinden elde edilen sonuçlara göre4.ve 5. günler Ç.O miktarının en yüksek olduğu günlerdir .Türün atıksuya adaptasyon sürecinden sonra exponansiyel fazında iken ortamın oksijen miktarı,türün inoküle edildiği başlangıç Ç.O değerinden daha fazladır.6 günlük çalışmada ise Ç.O miktarında az değişim görülmüştür.Bunun sebebi inoküle edilen biyomasın daha fazla olması ve mikroalgin birbirlerini gölgelemesi ile

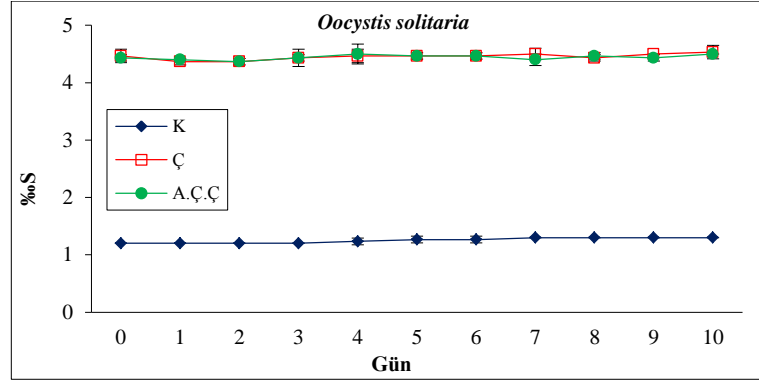
fotosentetik aktivitesini engellenmesinden kaynaklanmış olabilir. *O. solitaria* 10 günlük çalışmada en yüksek Ç.O miktarları sırasıyla, 5. gün A.Ç.Ç 8.33 mg/L, 4. gün Ç 8.67 mg/L' dir. 6 günlük çalışmada en yüksek Ç.O miktarları sırasıyla 6. gün A.Ç.Ç 8.57 mg/L, 6. gün Ç 8.73 mg/L' dir. Her iki çalışma grubunda (6 ve 10 günlük), A.Ç.Ç ve Ç ortamındaki Ç.O miktarlarındaki değişimler az bir farklılık göstermiştir fakat tek fark en yüksek artış miktarları farklı günlerde meydana gelmesidir. Kontrol grupları için aynı durum söz konusudur. K grubundakiler için, 10 günlük çalışmada *O. solitaria* en yüksek Ç.O miktarı 4. günde 9.88 mg/L iken, 6 günlük çalışmada 6. günde Ç.O miktarı 8.91 mg/L olarak neredeyse 0. gün ile aynı seviyede olduğu tespit edilmiştir. *O. solitaria* ile yapılan 6 ve 10 günlük çalışma gruplarıyla yapılan çalışmaların sonunda, K denemelerindeki Ç.O miktarları, 10 günlük çalışma için; 10. günün sonunda sırasıyla 8.84 mg/L, 6 günlük çalışma için 6. günün sonunda 8.91 mg/L şeklinde benzerlik göstermiştir.



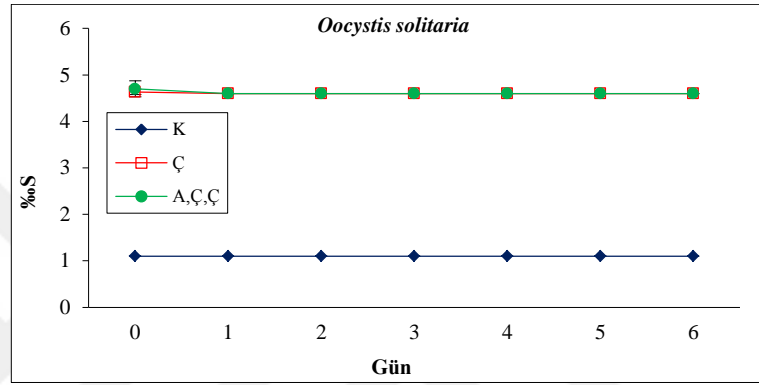
Şekil.26.10 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarındaki Ç.O miktarı.



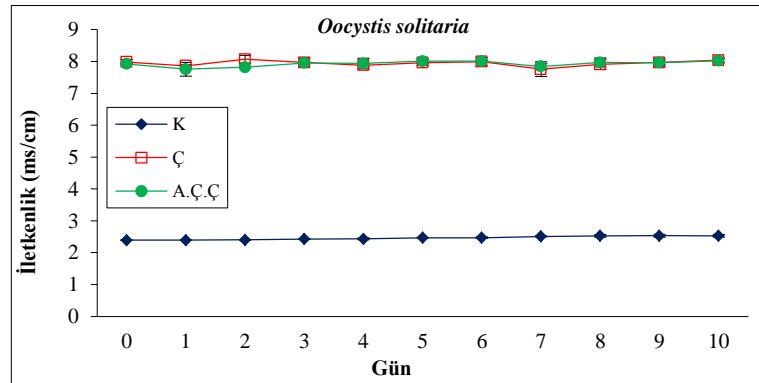
Şekil.27.6 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarındaki Ç.O miktarı.



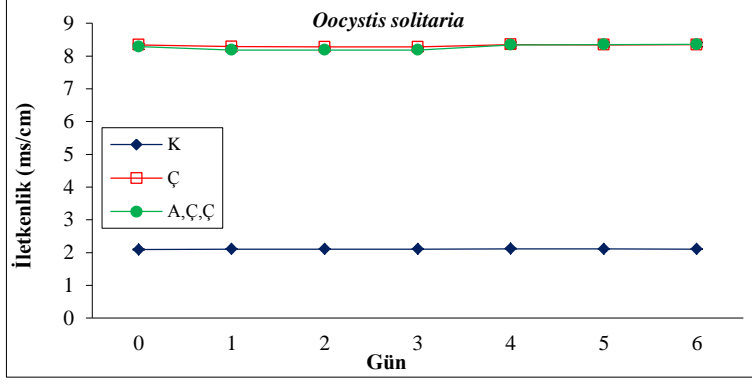
Şekil.28.10 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Çortamlarındaki % tuzluluk değişimleri.



Şekil.29.6 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Çortamlarındaki % tuzluluk değişimleri.

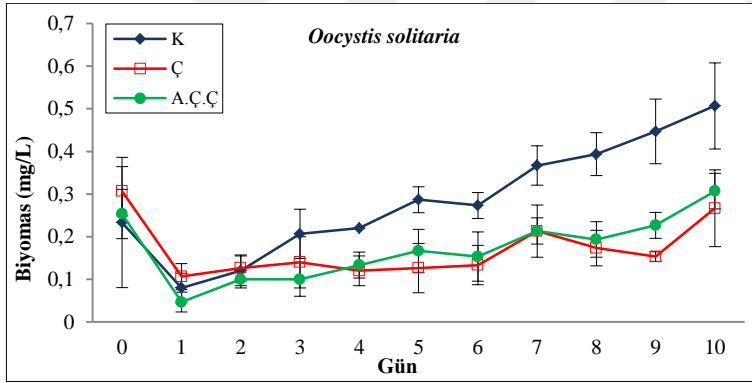


Şekil.30.10 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Çortamlarındaki İletkenlik değişimleri.

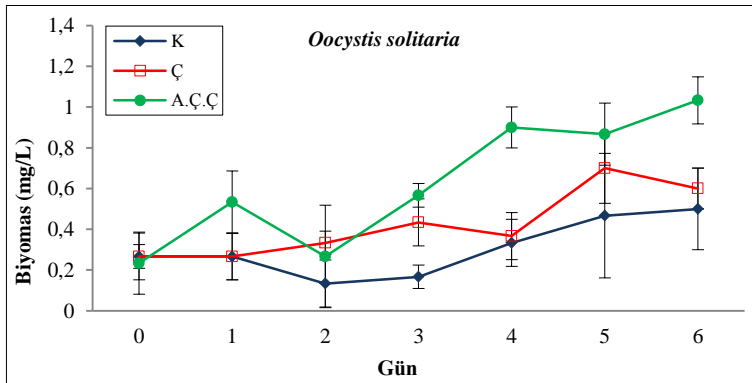


Şekil.31.6 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarındaki İletkenlik değişimleri.

Her iki çalışma grubu (6 ve 10 günlük) ile yapılan denemelerden elde edilen sonuçlara göre, tuzluluk (Şekil 28 ve 29) ve iletkenlik değerleri (Şekil 30 ve 31), *O. solitaria* türünün inoküle edildiği K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarında 0. (başlangıç) ile final gününe kadar yok denecek kadar az değişim göstermiştir (Şekil. 28, 29, 30 ve 31).



Şekil.32.10 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarındaki Biyomas verimi



Şekil.33.6 günlük çalışmada K, A.Ç.Ç ve Ç ortamlarındaki Biyomas verimi

Su ortamında önemli kirletici parametrelerden biri olan askıda katı madde

(AKM) miktarıdır. AKM su ortamında bulanıklılığa yol açarak su ortamındaki ışık geçirgenliğini azaltmaktadır. Bir çok literatürde geçtiği gibi su ortamında gerekli olan oksijen kaynağınısucul bitkiler ve mikroalgler tarafından sağlanmaktadır. Bu nedenle AKM fotosentez aktivitesinde sınırlayıcı bir etkidir. Tekstil sanayisi genel arıtım proseslerindeAKM uzaklaştırmada her ne kadar floklaştırıcı kimyasal maddeler kullanılsa dahi, tamamen su ortamından uzaklaştırılamamaktadır. Bu çalışmada, herhangi bir süzme işlemi yapılmadan denemeler gerçekleştirilmiştir.

Şekil.32 görüldüğü gibi 10 günlük deneme grubunda biyomas verimi 0-1. gün arasında bir azalma gerçekleşirken 1-10. gün arasında K, Ç ve A.Ç.Ç için sırasıyla %533, %151 ve %565 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kontrol ortamındaki biyomas K, Ç ve A.Ç.Ç için sırasıyla 6.3, 2.5 ve 6.7 kat artış gösterdiği anlamına gelektedir. Büyükten küçüğe sıralandığında en yüksek biyomas verimi A.Ç.Ç deneme gruplarında elde edilmiş, daha sonra K ve Çolarak sıralanmıştır (A.Ç.Ç>K>Ç)

6 günlük çalışma grubunda biyomas verimi ise K, Ç ve A.Ç.Ç için sırasıyla %92, %131 ve %348 şeklindedir (Şekil 33). Bu deneme grubunda ise K, Ç ve A.Ç.Ç için sırasıyla 1.9, 2.3 ve 4.5 kat biyomas artışı sağlanmıştır. Büyükten küçüğe sıralandığında en yüksek biyomas verimi A.Ç.Ç>Ç>K şeklindedir.

### 3.5.NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-Pve KOİ Giderimi

Bu çalışmada günlük yapılan nutrient analizlerinde NH<sub>4</sub> yok denecek kadar az olduğunda *O. solitaria* amonyum giderimi üzerindeki etkisi hesaplanamamıştır. Çalışma sonucunda elde edilen yüzdesel giderim (%R) verimleri NO<sub>2</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, KOİ için bir günlük giderim ve hangi günler arasında en yüksek giderim değerleri aşağıdaki Çizelge.19, 20' de verilmiştir.

Günlük nutrient giderim verimlerine (Çizelge. 19) *O. solitaria*, NO<sub>2</sub>-N için sırasıyla K; 8. gün %3, Ç; 6. gün %52, A.Ç.Ç; 2. gün %39 oranında giderim sağlamıştır. NO<sub>2</sub>-N giderimi kısa sürede gerçekleşmesi için 2. gün A.Ç.Ç ortamında olduğu görülmüştür. NO<sub>3</sub>-N için K; 8. gün %20,7, Ç; 6. gün %40,

A.Ç.Ç ise 3. gün %38,6' dır. NO<sub>3</sub>-N giderimi kısa sürede gerçekleşmesi için 3. gün A.Ç.Ç ortamında olduğu görülmüştür. PO<sub>4</sub>-P giderimi için K; 3. gün %70,1, Ç; 5. gün %85, A.Ç.Ç; 2. gün %58' dir. PO<sub>4</sub>-P giderimi kısa sürede gerçekleşmesi için 2. gün A.Ç.Ç ortamında olduğu görülmüştür. Elde edilen bu bulgulara göre günlük giderim verimleri atıksu ortamlarına aşılana mikroalg biyomas miktarına göre değişebilir. KOİ giderimi ise K; 1. gün%38,1, Ç: 1. gün %72,3, A.Ç.Ç; 4. gün %92,6' dır. KOİ giderimi için yapılacak çalışmalar için Ç ortamı kısa sürede yapılabilmesi bakımından uygundur fakat giderim verimi bakımından en avantajlı ortam ise A.Ç.Ç ortamı olduğu görülmektedir.

Çizelge.19.O. *solitaria* tekstil endüstrisi atık suyu ortamı ve BG11 besi yeri ortamındaki bir günlük yüzdesel nutrient giderim verimleri.

K, Ç, A.Ç.Ç Yüzdesel Giderim Verimleri (%R)															
n.Gün	NO <sub>2</sub> -N			NO <sub>3</sub> -N			NH <sub>4</sub> -N			PO <sub>4</sub> -P			KOİ		
	K	Ç	AÇÇ	K	Ç	AÇÇ	K	Ç	AÇÇ	K	Ç	AÇÇ	K	Ç	AÇÇ
1	-	-	-	-	18	-	-	-	-	2.13	27.1	33.6	<b>38.1</b>	<b>72.3</b>	-
2	-	13	<b>39</b>	-	-	-	-	-	-	62.3	29	<b>58.3</b>	26.0	64.4	37.9
3	-	-	30	-	-	<b>38.6</b>	-	-	-	<b>70.1</b>	-	-	14.3	58.1	11.4
4	-	-	27	-	-	-	-	-	-	33.9	18.9	20	-	-	<b>92.6</b>
5	-	-	4.8	-	6.7	-	-	-	-	42.6	<b>85</b>	16	-	14	51.6
6	-	<b>52</b>	-	-	<b>40</b>	-	-	-	-	8.9	-	-	-	33	-
7	-	25	-	-	20	-	-	-	-	22.5	18	28.3	-	-	-
8	<b>3</b>	-	5	<b>20.7</b>	-	-	-	-	-	16.4	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Çizelge. 20' ye bakıldığında toplam giderim verimi bakımından en iyi tekstil atık suyu ortamı A.Ç.Ç' dir. Fakat burda sadece NO<sub>3</sub>-N gideriminde iyi bir başarı elde edilememiştir. Bu başarı konsorsiyum bir çalışma ile bakteriler sayesinde denitrifikasyon olayı nitratın nitrite dönüştürülerek daha iyi giderim elde edilebilir.

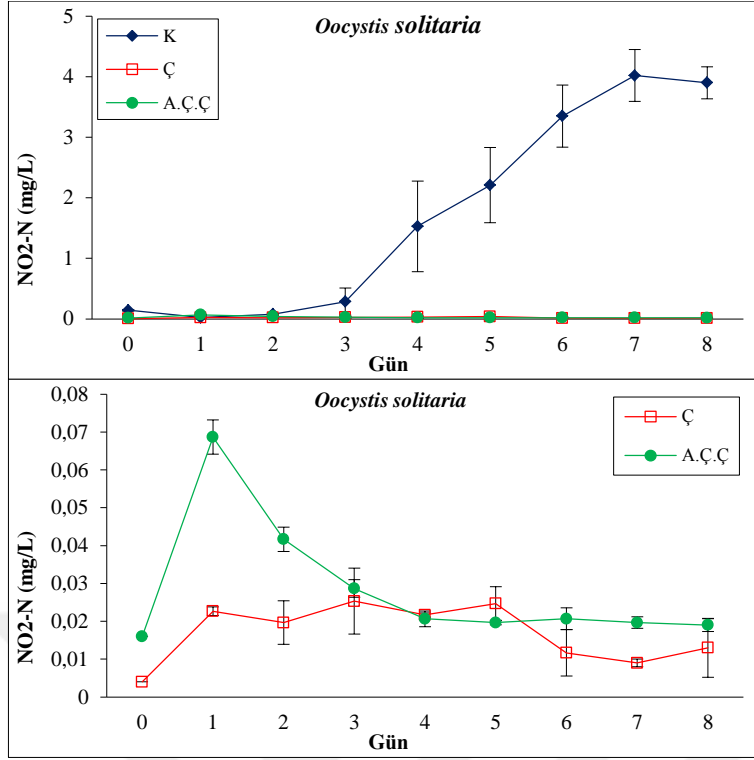
Çizelge.20. *O. solitaria* logaritmik büyüme fazında tekstil endüstrisi atık suyu ortamı ve BG11 besi yeri ortamındaki toplam nutrient giderim verimleri.

Ortam	Gün	NO <sub>2</sub> -N %R	Gün	NO <sub>3</sub> -N %R	Gün	NH <sub>4</sub> -N %R	Gün	PO <sub>4</sub> -P %R	Gün	KOİ %R
K	-	-	-	-	-	-	0-9	<b>97</b>	0-6	60.7
Ç	5-8	67.5	2-8	<b>45</b>	-	-	0-9	90	0-6	97.6
A.Ç.Ç	1-8	<b>72</b>	2-8	28	-	-	0-9	84	0-6	<b>98</b>

Toplam nutrient giderimlerine bakıldığında spesifik büyüme hızı büyükten küçüğe bakıldığında (Çizelge. 20.1) NO<sub>2</sub>-N giderimi için; spesifik büyüme hızı Ç>K>A.Ç.Ç iken giderim verimi A.Ç.Ç>Ç>K şeklindedir. NO<sub>3</sub>-N giderimi için; spesifik büyüme hızı Ç>K>A.Ç.Ç iken giderim verimi Ç>A.Ç.Ç>K şeklindedir. PO<sub>4</sub>-P giderimi için; spesifik büyüme hızı Ç>K>A.Ç.Ç iken giderim verimi K>Ç>A.Ç.Ç şeklindedir. KOİ giderimi için; spesifik büyüme hızı K>A.Ç.Ç>Ç iken giderim verimi A.Ç.Ç>Ç>K şeklindedir. Biyomas verimi ve nutrient giderimi arasındaki ilişki Çizelge 20.1' de olduğu gibidir.

Çizelge.20.1.*O.solitaria* türünün spesifik büyüme hızı ve biyomas veriminin nutrient giderimi arasındaki ilişki.

Ortam	NO <sub>2</sub> -N %R	NO <sub>3</sub> -N %R	NH <sub>4</sub> -N %R	PO <sub>4</sub> -P %R	KOİ %R	μ <sub>max</sub> Chl a (gün <sup>-1</sup> )	Biyomas (mg/L) %B
<b>10. Günlük çalışma</b>							
K	-	-	-	97	-	2.25±1.0	%533
Ç	67,5	45	-	90	-	2.44±1.96	%151
A.Ç.Ç	72	28	-	84	-	1.61±0.63	%565
<b>6. Günlü Çalışma</b>							
K					60,7	1.96±1.58	%92
Ç					97,6	1.60±0.75	%131
A.Ç.Ç					98	1.70±1.40	%348

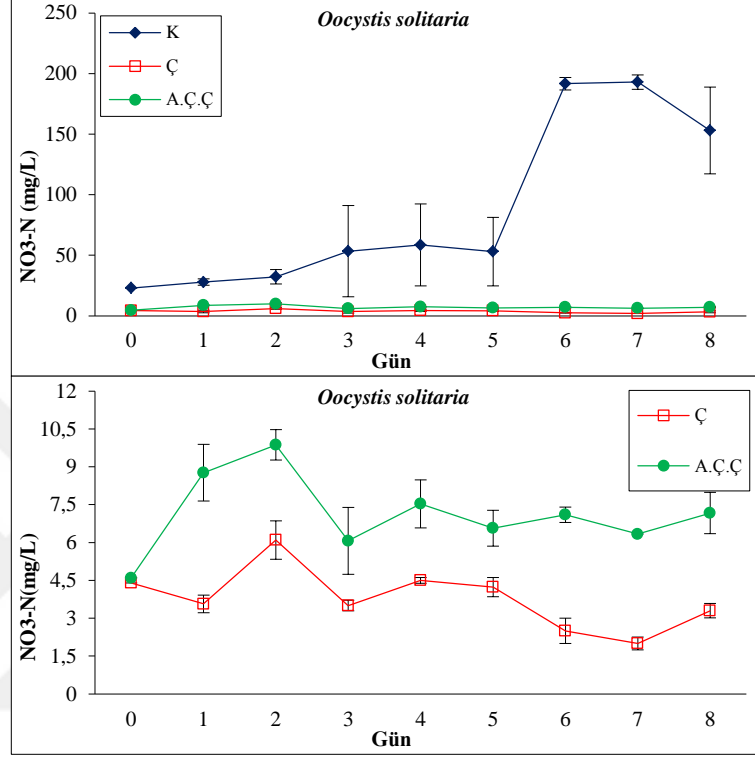


Şekil.34. *O. solitaria* K, A.Ç.Ç, ve Ç ortamındaki NO<sub>2</sub> üzerindeki etkisi

Bu çalışmada başlangıçta ortamların pH'ı ayarlanmadığı için NO<sub>2</sub>-N giderim miktarlarında değişiklik göstermiştir. Glass ve Silverstein, (1998) çalışmalarında nitritin pH'ın artmasıyla denitrifikasyon olayının sınırlandığını ve bu nedenle NO<sub>2</sub>-N artabileceğini göstermişlerdir. Bu çalışmada da olduğu pH'ın artışından dolayı K ortamında NO<sub>2</sub>-N gideriminde olumlu bir sonuç elde edilmedi. Ç ortamında, 0-5 gün arasında NO<sub>2</sub>-N miktarında artış görülmüştür. K ve Ç denemelerinden elde edilen bu sonucun Glass ve Silverstein (1998)'da belirtildiği gibi gerçekleşmiş olması olasıdır. Ç ortamında 5. günden sonra NO<sub>2</sub>-N miktarında azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, ortamdaki NO<sub>3</sub>-N miktarının azalmasına bağlı olarak, mikroalgün NO<sub>2</sub>-N'a yönlendirmesinden kaynaklanmış olabileceğini göstermektedir. Nitekim, Şişman Aydın ve Şimşek, 2017' çalışmalarında mikroalglerin atıksu içerisinde bulunan nutrientlerin gideriminde türden türe değişimi söylemişlerdir.

A.Ç.Ç denemesinde ise, 1. gün NO<sub>2</sub>-N miktarında en yüksek artış gözlemlendi, ancak 1-8 gün aralığında NO<sub>2</sub>-N miktarı kademeli olarak azalma eğilimine girdi. 5. günden sonra 0,040 mg/L olan NO<sub>2</sub>-N miktarı 8. günün

sonunda 0,013 mg/L' ye düşerek %67,5 oranında giderim gerçekleşti. A.Ç.Ç ortamında ise 0-2 gün arasında pH artması ile NO<sub>2</sub>-N miktarında artış daha sonra pH neredeyse sabit değerler arasındaki değişimi ile 1. gün 0,068 mg/L olan NO<sub>2</sub>-N miktarı 8. günde 0,019 mg/L' ye düşerek %72 oranında giderim gerçekleşti.

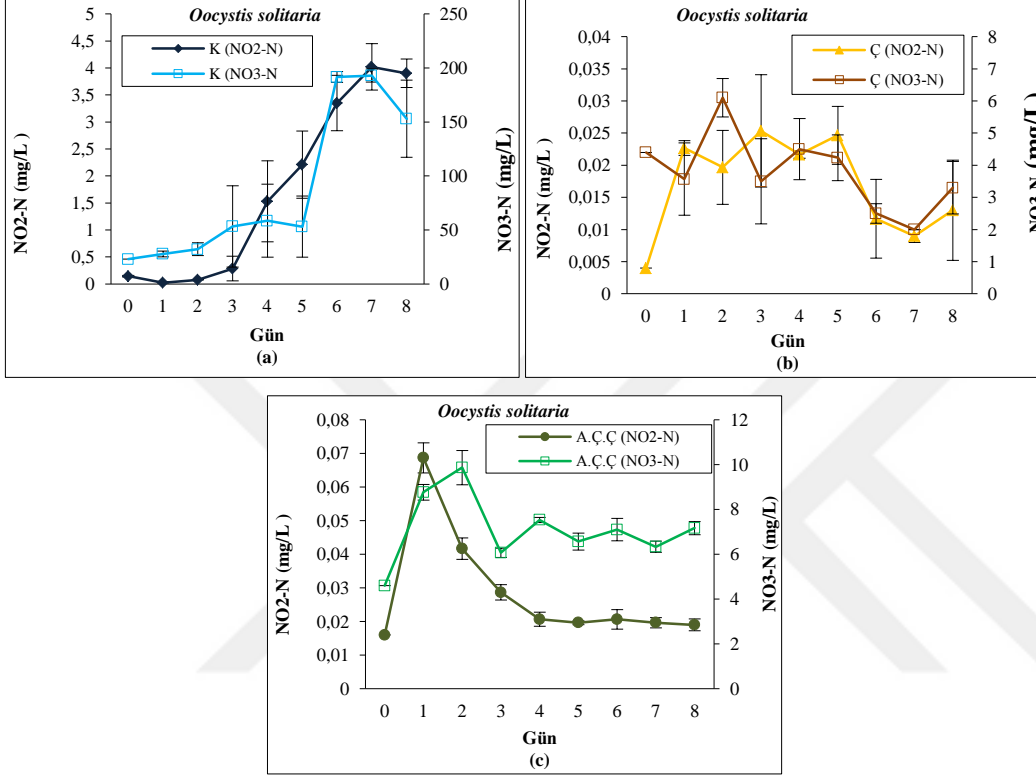


Şekil.35. *O. solitaria* K, A.Ç.Ç, ve Ç ortamındaki NO<sub>3</sub> üzerindeki etkisi

*O. solitaria* aşılınmış olduğu ortamlarda K grubunda NO<sub>3</sub>-N gideriminde bir başarı elde edilememiştir. Bu durum Glass ve Silverstein, (1998) çalışmasında belirttiği gibi pH kaynaklı olabilir. Ç ortamında 0. günden (4,4 mg/L) 2. güne (6,1 mg/L) kadar NO<sub>3</sub>-N miktarında artış gerçekleşmiştir. 2. günden sonra 6,1 mg/L' ye çıkan NO<sub>3</sub>-N miktarı 8. günün sonunda 3,3 mg/L' ye düşmesi ile %45 oranında başarılı bir giderim elde edilemedi. A.Ç.Ç ortamında Ç ortamındaki gibi benzer günlerde NO<sub>3</sub>-N miktarında artış olmuştur. 2. günden (9,86mg/L) itibaren 8. günün (7,1 mg/L) sonunda düşmesi ile %28 oranında bir giderim ile kayda değer bir başarı elde edilemedi.

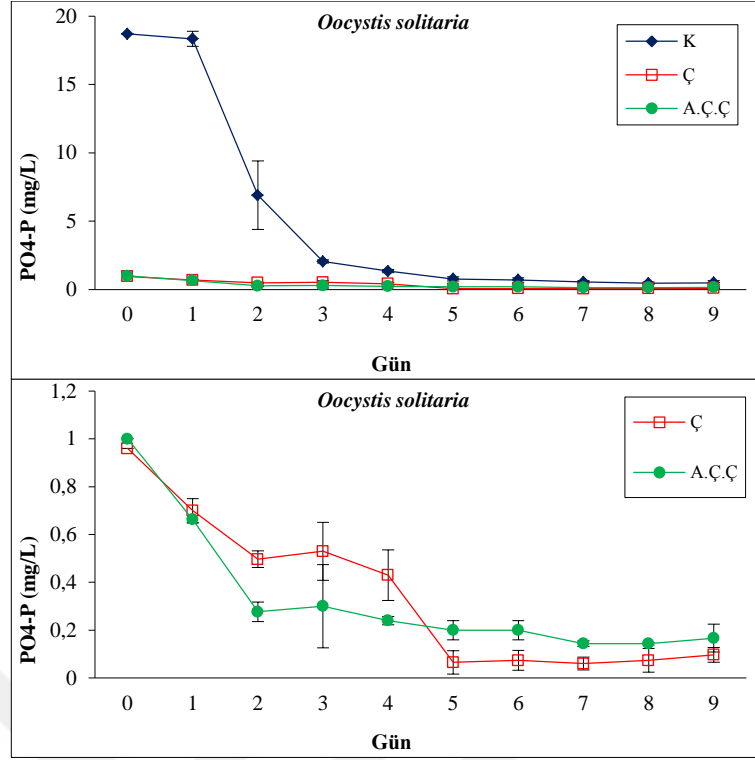
K grubunda Nitrit ve Nitrat arasındaki artma ve azalma ilişkisi uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil. 36a). Ç grubunda Nitrit ve Nitratın 0-5. gün arasında biri artarken diğeri azalarak ters orantılı bir uyum göstermiştir. 5. günden sonra doğru

orantılı bir eğim göstermişlerdir (Şekil. 36b). A.Ç.Ç grubunda ise 0-1 gün arasında hem Nitrit hemde Nitratta keskin bir artış gözlemlenmiştir. 1-8. gün arasında Nitritte azalma gözlemlenirken Nitrat ise 2. günden sonra azalma eğiminde dalgalanmalar gözlemlenmiştir (Şekil. 36c). *O. solitaria* türünün A.Ç.Ç örneklerinde azot formları için uygun bir seçenek olduğu görülmektedir.



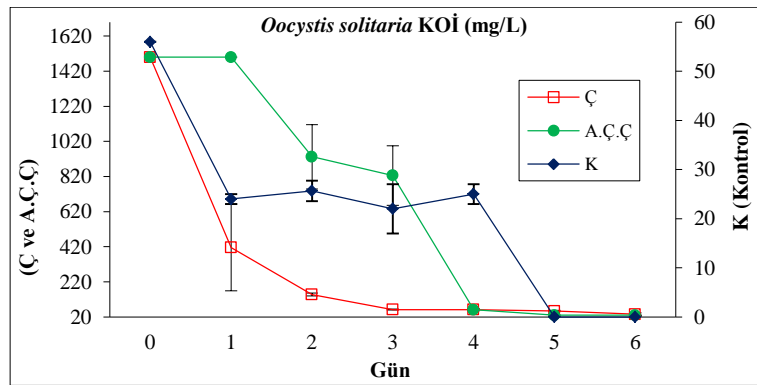
Şekil 36 (a); *O. solitaria* K(kontrol) ortamındaki NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N giderimi üzerindeki etkisi ve NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N, (b); *O. solitaria* Ç(çıkış) ortamındaki NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N giderimi üzerindeki etkisi ve NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N, (c); *O. solitaria* A.Ç.Ç(aktif çamur çıkışı) ortamındaki NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N giderimi üzerindeki etkisi ve NO<sub>2</sub>-N ve NO<sub>3</sub>-N arasındaki ilişki.

*O. solitaria* türü ortamda büyüme için PO<sub>4</sub> bileşimini tercih etmiştir. Tüm ortamlardaki PO<sub>4</sub> giderim oranı yüzdelik olarak bakıldığında sırasıyla K için (0. gün 18,7 mg/L iken 9. günde 0.50 mg/L' ye kadar azalarak) %97 oranında giderim, Ç için (0. gün 0.96 mg/L, 9. gün 0.096 mg/L) 0. günden 9. güne kadar %90 oranında giderim belirlendi. A.Ç.Ç için (0. gün 1 mg/L, 9. gün 0.16 mg/L) %84 oranında bir giderim elde edildi (Şekil. 37).



Şekil.37.*O. solitaria* K, A.Ç.Ç, ve Ç ortamındaki PO<sub>4</sub> giderimi

Çalışma süresince *O. solitaria* mikroalg türünün atık su ortamında bulunan KOİ miktarındaki yüzdesel giderim etkisi; K (BG11), Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki sırasıyla %60.7, 97.6 ve %98' dir. Kontrol grubundaki 0. gün KOİ miktarı 56 mg/L iken 6. gün 22 mg/L' dir. Çıkış noktasındaki giderim miktarı ise 1500 mg/L bir değere sahip iken 6. gün bu değer 36 mg/L' ye kadar azaldı. A.Ç.Ç noktasında ise aynı şekilde 1500 mg/L bir değerde ölçülerek final gününde (6. gün) 30 mg/L kadar düşüş gözlemlendi. *O. solitaria* türünün KOİ giderimi üzerindeki etkisi Şekil. 38' de verilmiştir.



Şekil. 38.*O. solitaria* K, A.Ç.Ç, ve Ç ortamındaki KOİ giderimi

## 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

### 4.1. Sıcaklık, pH, Ç.O, Tuzluluk ve İletkenlik

Mikroalglerin büyümesi fotosentetik aktivitelerin gerçekleşmesinde besin alımı yanı sıra bir çok çevresel etkenlerde etkilemektedir. Bunları sıralarsak pH, Ç.O, sıcaklık, ışık yoğunluğu gibi fiziksel faktörlerdir (Azov ve Shelef, 1987). Bu çalışmada laboratuvar ortamının sıcaklığı 24 °C'de sabitlenmesine rağmen *O. solitaria* inoküle edildiği ortamlarda az miktarda olsa bile sıcaklıkta değişimler görülmüştür. Bu durum ortamın havalandırma hızı, mikroalglerin çoğalması ortamda oluşan mikroalg yoğunluğu, ışık geçirgenliğinin azalması ile fotosentetik aktivitelerin azalması sonucu olabilir. Bu çalışmanın oda koşullarında yapılmasının nedeni mikroalg ile endüstriyel atıksu arıtımının geleneksel biyolojik arıtma sistemlerinde uyumluluğunu göstermiştir. Mikroalglerin adaptasyon sürecinden sonra büyümenin hızlı olduğu günlerde 2.-6. günler arasında Ç.O değeri artma eğilimi göstermiştir. Çalışmada kullanılan *O.solitaria* türünün bulunduğu tüm ortamlar da Ç.O miktarları 7,5 ile 10 mg/L arasında değişerek büyümeyi sınırlandıracak kadar bir artış gözlenmemiştir. Şişman ve Şimşek, (2017) çalışmalarında Ç.O miktarının mikroalgin büyümesinin (>35 mg/L) üzerine çıkmadığı sürece büyümeyi inhibe edecek bir durum söz konusu olmadığını belirtmişlerdir. Ç.O miktarı mikroalg ve bakteri ile birlikte konsorsiyum kültürler atık su arıtımında kullanılması nitrifikasyon ve denitrifikasyon olayı için oldukça önemlidir. Jia ve Yuan, (2016); Zhou, et al, (2015); Li et al, (2008); Pochana & Keller, (1999) belirttikleri gibi Ç.O değeri 0.2 mg/L altına düştüğünde nitrifikasyon olayı durduğunu, 0.3 mg/L altında düştüğü anda denitrifikasyon aktif hale geldiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda Ç.O miktarı nitrifikasyon ve denitrifikasyon oranlarının belirlenmesinde anahtar rol oynamaktadır.

Çalışmada dışarıdan ekstra CO<sub>2</sub> ilavesi yapılmamış, kullanılan havalandırma pompaları aracılığıyla havadan sağlanan CO<sub>2</sub> girişi olmuştur. Alexis, (2015) bir çalışmada ortama CO<sub>2</sub> ilave edildiğinde pH arttığını ve CO<sub>2</sub> ilavesi olmayan ortamlarda ise pH değerinin azaldığını belirtmiştir. Bu çalışmada CO<sub>2</sub> ilavesi olmadan yapılan doğal havalandırma ile *O. solitaria* türünün

bulunduğu tüm ortamlarda pH seviyesi 7,5'den 10' a kadar yükseldiği görülmüştür. Atıksu örneklemesinde atık su karakterizasyonu değişebilmektedir. Dışarıdan CO<sub>2</sub> ilavesi mikroalglerin büyümesinde ve biyomas veriminde katkı sağlayabilmektedir. Abdel rauf ve ark (2012); Sekomo ve ark, (2012),pH artışı mikroalglerin fotosentez aktivitesini hızlandırdığını belirterek bu çalışmada Chl a büyüme eğrisindeki artış pH ile doğru orantılı görülmüştür. Mikroalgal arıtım sistemleri yüksek alg havuzlarında uygulandığında pH değerindeki artış havuzların dipten çalkalanması veya havalandırılması ile dengelenebilir (Elumalai, 2016). Yüksek pH seviyesi bazı mikroalglerin floklaşmasına neden olabilir bu durum mikroalglerin besin alımı ve büyümesini sınırlandırabilmektedir (Borowitzka, 1998; Chevalier ve ark. 2000). Elumalai, (2016) pH artışı sonucu oluşan floklaşma mikroalglerin hasatı için faydalı olabileceğini belirtmiştir. *O. solitaria* ile yapılan bu çalışmada da pH artışı ile nisbi bir floklaşma gözlemlenmiştir. Bu durum mikroalglerin atıksu arıtımında kullanılarak ve daha sonra arıtım sonucunda oluşan biyoması hasat etmek için hem maliyet açısından hemde hasat kolaylığı açısından avantaj sağlayabilir.

Sıcaklık doğada bulunan tüm canlıların büyümesinde, çoğalmasında ve yaşamını sürdürmesinde önemli bir etkidir. Sıcaklık mikroalglerin büyümesinde sınırlayıcı bir etkiye sahiptir fakat bu durum mikroalg türüne göre farklılık gösterebilmektedir (de Godos et al. 2010). Elumalai, (2016) Sıcaklık mikroalglerin biyosorpsiyon aktiviteleri için optimum değerlerde olması gerektiğini bildirmiştir. Sıcaklık ortamdaki PO<sub>4</sub> gideriminde de mikroalgler için sınırlayıcı bir etkidir (Cembella,1984). Çünkü fosfat belli bir sıcaklıkta kristal halini alarak mikroalgler tarafından alınması zorlaşabilir. Bu çalışmada, sıcaklık değerlerindeki değişkenlik, PO<sub>4</sub> giderim oranına bakılacak olursa, PO<sub>4</sub> alımını sınırlayacak derecede olmadığı söylenebilir.

Mikroalglerin fotosentez aktivitesinde gerekli olan en temel kaynaklardan biri ışıktır. Işık sıcaklığı etkilemesinin yanı sıra Ç.O ve pH gibi fiziko- kimyasal parametreler üzerinde de etkisi olabilmektedir (Sekomo et al. 2012). Alexis, (2015) çalışmasında mikroalglerin buldukları ortamın sürekli aydınlatılmasında ışığın ortamın sıcaklığını arttırdığını yada tam aksine aydınlatmanın olmadığı süreçte sıcaklığın azaldığını belirtmektedir. Yüksek yoğunlukta ışık kaynağı

sağlandığında mikroalglerin fosfat akümülyasyonu ve akümülyasyon hızını artırmakla beraber mikroalglerin büyümesinde hızlandırmaktadır(Powell et al. 2009).Mikroalgler ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek kendi enerjilerini karşılamaktadır (Jia. and Yuan, 2016). Mikroalgler ışık enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürme aşamasında inorganik karbonu organik molleküllere yayarak oksijen ve indirgeyici maddeler üretirler(Masojidek et al.,2004).Işık yoğunluğunun, türünün ve dalga boyunun biyomas verimini, amonyak ve azot giderimini etkilediğini bilinmektedir (Jia ve Yuan. 2016). Örneğin, *Scenedesmus spile* yapılan bir çalışmada, kırmızı ve mavi ışık dalga boyları altında yapılan kültürde beyaz ışık altında yapılan kültürden %50 daha fazla biyomas verimi elde ettiklerini belirtmişlerdir(Kim, et al. 2013). Karmaşık ışık dalga boylarında ise nutrient gideriminin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.*C. vulgaris* beyaz, kırmızı ve yeşil ışık altında yapılan kültürdeki biyomas verimi mavi ışık altındakinden daha az biyomas verimi elde edilmiştir (Blair vd , 2014). Bu çalışmada Day-Light floresan kullanılmış, ışık yoğunluğu ve türü sabit tutulmuş olup, en iyi nutrient giderimi PO<sub>4</sub>, NO<sub>2</sub> ve KOİ de gözlemlenmiştir.

Tatlı su mikroalg türleri için yüksek tuz miktarı mikroalglerin nutrient sindirimini engelleyebilmektedir (Elumalai, 2016). Her iki çalışmada da kullanılan *O. solitaria*'nın bulunduğu ortamlarda (K, Ç ve A.Ç.Ç) tuzluluk değerinde pek değişim olmadığı görülmüştür.Hem 10 günlük hemde 6 günlük yapılan çalışmada yapılan ölçüm sürecinde *O. solitaria*'nın iletkenlik üzerideki etkisi yok denecek kadar azdır.

#### 4.2. NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PO<sub>4</sub>ve KOİ Giderimi

Her iki çalışma grubu (6 ve 10 günlük) ile yapılan denemelerden elde edilen sonuçlara göre, tekstil endüstrisi atık suyunun NH<sub>4</sub>değerleri <2.0 mg/L altında tespit edilmiştir. Bunun nedeni A.Ç.Ç noktasından alınan atık sudaki nitrifikasyon/denitrifikasyon sürecinde N bileşiklerinin nitrat ve nitrit formuna dönüşmeleri sonucu olabilir. Bu durumda çalışma süresince NH<sub>4</sub>-N miktarı kullanılan cihazın ölçüm sınırlarının altında kaldığı için yapılamamıştır.

Şişman Aydın ve Şimşek, 2017, bir çalışmasında mikroalglerin

azotalımında da en karmaşık olan nitrat formu olduğunu belirtmişlerdir. Mikroalgler nitratı, amonyum ve üre miktarının doygunluk seviyesinin altında olduğu durumlarda kullanımı söz konusu olduğu belirtmişlerdir(Şişman Aydın ve Şimşek, 2017).Glass ve Silverstein. (1998) çalışmalarında belirttikleri gibi pH değerindeki artış NO<sub>2</sub> ve NO<sub>3</sub> miktarında azalmasından ziyade artış olacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmada da olduğu gibi pH artışı sonucu NO<sub>2</sub> ve NO<sub>3</sub> miktarında önemlibir giderim elde edilebilmesi için çalışma başlagıcında atık su ortamının pH değerleri optimum seviyeye getirilmesi gerekir. pH değeri istenilen optimum değerlerde olmadığı durumlarda Cautteau, (1996)' da belirttiği gibi aşırı yüksek pH değeri mikroalg hücrelerinin parçalanmasına sebep olur; bununla beraber kullanılan mikroalg kültürü çöker. Genelde istenilen pH değeri ise 7-9 aralığındadır. Önemli bir durum ise bu çalışmada pH ayarlanmaması durumunda bile *O. solitaria* Ç ortamında %67,5 A.Ç.Ç ortamında ise %72 NO<sub>2</sub> oranında iyi bir giderim gösterebilmiştir. Çalışmada kullanılan atık su ortamında NH<sub>4</sub> miktarının aşırı azlığından dolayı,*O. solitaria* N formlarından olan NO<sub>2</sub>-Nve NO<sub>3</sub>-N'ıkullanmak durumunda kalmıştır. NO<sub>2</sub>-Nve NO<sub>3</sub>-N 'ı fitoplanktonik organizmalar genelde enerji gereksinimini (NADH) için kullanmaktadırlar (Şişman Aydın ve Şimşek, 2017).

PO<sub>4</sub> giderimin de *O. solitaria* %97' ye kadar kayda değer bir giderim elde edilmiştir. Fitoplanktonik organizmalar PO<sub>4</sub> giderimin de göstermiş olduğu başarı fosforu genetik materyalin (DNA ve RNA) temelini oluşturması aynı zamanda enerji iletiminde (ATP) ana rol oynamasıdır(Şişman Aydın vd, 2013a, Şişman, ve Şimşek, 2017). Bu çalışmada fosfor formu PO<sub>4</sub> gideriminin hesaplanması,mikroalgler biyolojik olarak kullanabildiği fosfor formunun PO<sub>4</sub> (Şişman Aydın vd, 2013a, Şişman Aydın ve Şimşek, 2017) olmasından kaynaklanmaktadır. Peeters ve Peperzak, (1990) fosfor eksikliği mikroalgin büyümesini sınırlandıran bir faktör olduğunu belirtmişlerdir.Zhuat al, 2013, bir çalışmasında *C. zoofingiensis* mikroalg türü ile tektsil atıksuda CO<sub>2</sub> sekestrasyonu yanı sıra mikroalgal kültürlerin tatlı sudan nutrient giderimin %91 N, % 93.5 P giderimi sağladığını belirtmiştir. Bu çalışmada ise ortalama %70 N ve %97 fosfat giderimi sağlanmıştır.

KOİ su içerisinde bulunan karbonlu maddenin karbondioksite dönüşüncüye kadar ilave edilecek oksijen miktarı anlamına gelmektedir (Anonim. 1989). Tekstil endüstrisi ham atık sularında bu çalışmada da belirtildiği gibi KOİ miktarı 1500 mg/L' nin üzerinde olmaktadır. KOİ miktarı yüksek olduğu durumlarda su ortamında oksitlenme gerçekleşmektedir. Mikroalgler enerji için kullandığı karbon dioksit sayesinde suda bulunan karbonlu maddelerden karşılayabilmektedir. Bu durumda atık su ortamındaki yüksek KOİ değerlerini %100' e yakın bir giderim sağlayabilmektedirler. Bu çalışmada elde edilen KOİ giderim başarıları; *O. solitaria* mikroalg türünün atık su ortamında bulunan KOİ miktarındaki yüzdesel giderim etkisi; K (BG11), Ç ve A.Ç.Ç ortamlarındaki sırasıyla %60.7, 97.6 ve %98' dir. Diğer literatürlerde KOİ giderimi üzerindeki çalışmaları Fekry et al., 2018 çalışmalarında *C. vulgaris* ile %96 oranında bir giderim elde etmiştir. Metcalf and Eddy, (1993) KOİ gideriminin sadece mikroalgler tarafından olmadığını ayrıca atık su ortamında oksidasyona sebep olan canlılar tarafından da KOİ giderimi üzerine etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada kullanılan tekstil endüstrisi atık suyu sterilizasyon işlemi uygulanmadığından dolayı KOİ giderim etkisi ortamda bulunan farklı mikroorganizmaların da katkısı olabilir. Mevcut KOİ miktarı TN giderimi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ahn, (2006) 1 g nitrat giderimi için gerekli KOİ miktarı 4 g olduğunu belirtmiştir. Diğer bir literatürde Meng et al, (2008) KOİ/N oranı 15 mg/L olduğunda nitrifikasyon olayının sınırlandırıldığını ve bu oran düşük olduğu durumlarda denitrifikasyon olayının sınırlandırıldığını tespit etmişlerdir. Jia. and Yuan, (2016) KOİ oranının düşük olduğu ortamlarda TN gideriminin daha az olduğunu kendi çalışmasında kullandığı *C. zafingien* mikroalg türü ile tespit etmişlerdir. Bu çalışmalarında KOİ oranı 3500 mg/L olan ve başlangıç TN miktarı 148 mg/L olan ortama aşılınmış *C. zafingien* ile %81 oranında TN giderimi sağlanmıştır. KOİ oranı 400 mg/L ile başlangıç TN miktarı 17 mg/L olan ortamda ise %69 oranında TN giderimi tespit etmişlerdir.

Çizelge.21. Farklı mikroalg türleri ile yapılan atıksu arıtım denemelerinde nutrient giderim oranları

Tür	Atıksu çeşidi	Arıtım sistemine Çalışma süresi	NO <sub>3</sub> % R	NO <sub>2</sub> % R	NH <sub>4</sub> % R	PO <sub>4</sub> % R	KOİ % R	Referans
<i>Scenedesmus sp</i>	Tekstil atık suyu	Kesikli sistem (2 Gün)	-	-	-	-	94,7	Chiu Yue Lin vd. (2017)
<i>C. vulgaris</i>	Tekstil atık suyu	Kesikli-yıgım alg havuzu(HRAP) (10 Gün)	-	-	44.4	33	62.3	Lim (2010)
<i>C. vulgaris</i> + aktif çamur	Sentetik atıksu	Erlen mayer (8 Gün)	89	89	-	91	83.6	Xu vd (2016)
<i>C. vulgaris</i> + <i>Lemma minuscula</i>	kompleks effluent	Kesikli reaktör 16,5 L (15 Gün)	71	71	-	28	61	Valderiama vd (2002)
<i>Scenedesmus sp</i> + <i>Bakteri grubu</i>	Evsel atıksu	Kesikli sistem (14 Gün)	95.7	95.7	-	98.1	92.3	Lee vd (2016)
<i>Spirulina platensis</i>	Atıksu	Packed-bed Biyoreaktör(-)	-	-	-	-	85.6	Devi vd (2015)
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Atıksu	Kesikli sistem (6 Gün)	-	-	-	19.9	82.7	Sinha vd (2016)
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>	Tekstil atık suyu	Kesikli sistem (15 gün)	82	-	-	87	-	Pathak vd (2015)
<i>Chlorella sp</i>	Tekstil atık suyu	cam tüp(20ml) (11 Gün)	-	-	72	-	75	Wu vd (2016)
<i>C. vulgaris</i>	Tekstil atık suyu	Merkezi kompozit dizayn (CCD) (15 gün)	-	-	-	-	69.9	El-Kassas (2014)
<i>G. radiata</i>	Evsel atık su	Kesikli Sistem (7 Gün)	71.3	-	83.02	83.9	58	Şişman Aydın vd (2017)
<i>Chlorococcum vitiosum</i>	Tekstil atık suyu	Kesikli Sistem (7 Gün)	-	-	-	-	%13	Jaya Chitra vd (2015)
<i>Oocystis solitaria</i>	Tekstil atıksuyu	Kesikli sistem (10 Gün)	45	72	-	90	98	Bu çalışmada

Bazı literatürlerde mikroalglerin çok sert ve değişken koşullarda büyüyebildiklerini belirtilmektedir. Pang and Chu, (2004) bir çalışmalarında *C.vulgaris* türünün çok değişken koşullar altında büyüdüğünü belirtmişler. Fakat El Kassas. ve Mohammed, (2014) çalışmalarında *C. vulgaris* %100 tekstil atıksuyu içerisinde büyüdüğünü ancak, burdan elde edilen mikroalg biyomasının %20-80 oranında tekstil atıksu içeren ortamlardaki biyomas miktarından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Sonuç olarak mikroalglerin endüstriyel atık su arıtımında kullanılabilir ve kültürü yapılabilir olması, sürdürülebilirlik açısından mikroalgleri sınırsız bir materyal olarak kılmaktadır. Kant, (2012) çalışmasında belirttiği gibi tekstil atık suyu 70 farklı tehlikeli maddeler barındırmaktadır. Bu maddelerin geleneksel atık su arıtım sistemlerinde sadece 40 tanesinin giderimi yapılabilmektedir, diğer 30 maddenin ise giderimi oldukça zordur. Mikroalgler diğer kalan 30 tanesinin giderimi üzerinde önemli derecede bir etkiye sahiptir. Apostol et al., (2012), ve Modi, et al., (2010) tekstil endüstrisi atık suyu içerisinde barındırdığı maddelerin toksik olduğunu belirtmişlerdir ve bunların aynı zamanda ekolojik dengenin bozulmasına sebep olmakta olduğuda belirtilmiştir. Literatürlerde belirtildiği gibi, mikroalglerin kullanım alanları oldukça geniş bir yelpazeye sahiptir. Tekstil atık suyu arıtımından elde edilen biyomas besin olarak tüketilmeyebilir fakat en önemlisi toksik olmayan biyodizel enerji üretiminin yapılabilir olmasıdır. Mikroalgler tekstil atık su arıtımında kullanılabilmesi için önerilen sistemler fotobiyoreaktörler veya yığın alg havuzlarıdır (yüzey/hacim oranı geniş ve karıştırıcı sistemli). Bunun nedeni aşırı mikroalg biyomas yoğunluğundan dolayı ışık nüfuzusun engellenmemesidir.

*O. solitaria* Çizelge 19 ve 20 de gösterildiği gibi NO<sub>2</sub>-N giderimi için 5-6. gün arasında (24 saat) bir süreçte Ç ortamında %52 oranında giderim verimi sağlarken A.Ç.Ç ortamında ise 1-2. gün arasında (24 saat) %39 bir giderim sağlamıştır. NO<sub>3</sub>-N giderimi aynı şekilde Ç ortamında 5-6. gün arasında %40'lık bir giderim sağlarken A.Ç.Ç ortamında ise 3-4. gün arasındaki 24 saatlik bir süreçte %39 oranında giderim elde edilmiştir. PO<sub>4</sub>-P giderimi ise sırasıyla K için 2-3. gün arasında %70, Ç için 4-5. gün arasında %85, A.Ç.Ç için 1-2. gün arasında %58 oranında giderim performansı sağlamıştır. KOİ giderimi en iyi giderim 1-2. gün arasında A.Ç.Ç ortamından %98, 0-1. gün arasında Ç ortamından %72 oranında iyi bir giderim elde edilmiştir.

Bu çalışmada örneklenen tekstil atık su içerisine aşılana *O. solitaria* türü ile giderim verimi NO<sub>2</sub>-N için K ortamında giderim elde edilemedi fakat Ç, A.Ç.Ç için sırasıyla %67,5 ile %72'dir. NO<sub>3</sub>-N için K ortamında giderim elde edilemezken Ç ve A.Ç.Ç için sırasıyla %45 ile %28'dir. PO<sub>4</sub>-P için K Ç, A.Ç.Ç için sırasıyla %97, %90, %84'dür. KOİ için K Ç, A.Ç.Ç için sırasıyla %60,7,

%97,6, %98'dir. Elde edilen verilere bakıldığında mikroalgal atıksu arıtım sistemlerinin genel atıksu arıtım sistemlerine A.Ç.Ç noktasından sonra kurulması hem biyomas verimi, hem de kirlilik giderimi bakımından kısa sürede iyi sonuçlar elde edilebilirliğini göstermiştir. Mikroalgal sistemler, genel atıksu arıtım tesisine ilave olarak kurulabilir (fikoremediasyon), ancak kullanılma amacına göre bazı avantajları ve dezavantajları göz önüne alınmalıdır (Çizelge. 22).

Çizelge.22. Mikroalgal sistemlerin avantaj ve dezavantajları (Cheah, 2014., Zhang, 2014., Umamaheswari,2016)

Üretim sistemi	Avantaj	Dezavantaj
Açık/Değirmen arkı havuzları	Biyomas kültürü için iyi, nispeten ucuz, bakımı kolay ve kolayca inşa edilebilir.	Fazla alan kaplar, buharlaşma payı yüksek, CO <sub>2</sub> yayılımı yüksek, ışıktan az yararlanır, biyomas verimi az, kontaminasyon riski yüksek.
Tübüler fotobiyoreaktör	Dış mekan için uygun, kontaminasyon riski az, biyomas verimi yüksek.	İlk kurulum maliyeti yüksek, aşırı ısınması ile oksijen kirliliği yaratarak toksik birikimine sebep olur, yosun izi oluşur, ışık yayılımını engelleyen film tabakası büyür.
Düz plak fotobiyoreaktör	Yüksek aydınlatma yüzey alanı, ışık yolu fazla, nispeten biyomas verimi yüksek, kontaminasyon riski düşük, az enerji gereksinimi. çözünmüş oksijen birikimi düşüktür.	Geniş alan gerekir, aşırı sıcaklık kontrolü ve ölçeklendirme için bir çok destekleme malzemesi gerekir.
Kolon fotobiyoreaktör	Kolay sterilizasyon, kirlenme az, biyomas taşınım kapasitesi yüksek, fotooksidasyon riski düşük.	Aydınlatma alanı düşük, ölçeklendirmek zor, inşa etmek zor, yüksek enerji tüketimi.
Hibrit havuzları	Biyomas kültür ekiminde daha iyi kontrol sağlanır, enerji gereksinimi az.	Kurulum maliyeti yüksek, yüksek bakım maliyeti.

Sonuç olarak,kullanılan mikroalg türü *O. solitaria* tekstil atıksuyuna iyi adapte olmuştur. Hem biyomas verimi hem de nutrient giderimi açısından, tekstil endüstrisi atık su arıtımında ya da besin kaynağı olarak kullanılmasının mümkün olduğu söylenebilir.*O. solitaria* türün, arıtma sistemlerinde en uygun kullanılabileceği yerin, biyolojik arıtma çıkışı (aktif çamur ünitesi) olduğu sonucuna varılmıştır. Mikroalg biyomasını arttırmak için, kesikli sistemden ziyade yarı- kesikli sistemlerin kullanılması ile besin takviyesi sağlanmış olacak ve büyüme fazı devam edecektir. *O. solitaria* türünün spesifik büyüme hızları ve biyomas verimine bakıldığında, tekstil atıksuyundaki en uygun kültür süresi 7 gün olarak tespit edilmiştir. Bu süre, başlangıç mikroalg yoğunluğuna göre değişebilir.



## KAYNAKLAR DİZİNİ

- Abdel-Raouf N., Al-Homaidan, A.A., Ibraheem I.B.M.,** 2012. Microalgae and wastewater treatment. Saudi Journal of Biological Sciences, 19 (3): 257–275
- Ahn, Y. H.,**2006, Sustainable nitrogen elimination biotechnologies, A review. Process Biochemistry, 41, 1709–1721.
- Alexis, N.,** 2015, Treatment of wastewater with microalgae under mixotrofik growth, Dept. of Ecology and Environmental Science (EMG) S-901 87 Umeå, Sweden
- Andreev, K., Kantorov, V.. and Bongaarts, J.,** 2013. “Demographic Components of Future Population” Growth. Population Division Technical Paper No. 2013/3 UN. New York, 2013
- Anonim.,** 2018, Febico, "What is microalgae", <http://www.febico.com/en/health-library/What-is-Microalgae/FL-1-Microalgae.html> Erişim Tarihi: 3 Ocak. 2018
- Anonim.,** 2014. Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi ve Turizmde Atıksu Yönetimi Eğitimi/ 24-25 Eylül 2014-Gebze-Kocaeli.
- Anonim.,** 2011, Oligae Wastewater Treatment Using Algae Report Preview.
- Anonim.,** 1989, "Kimyasal oksijen ihtiyacı"., Erciyes Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Çevre Kimyası Kaboratuvar Dersi-II Dönem.
- Apostol, L.C., Pereira, L., Pereira, R., Gavrilesu, M., Alves,M.M.,** 2012. Biological decolorization of xanthene dyes byanaerobic granular biomass. Biodegradation. 23(5), 725-737.
- Aydın, G. Ş., Büyükişık, B., Kocataş, A.,** 2013. “Farklı Azot Kaynağının (NO<sub>3</sub> ve NH<sub>4</sub>) Zararlı Denizel Diyatomu Thalassiosira allenii Takano (Bacillariophyceae) Büyümesi Üzerine Etkisi”, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi 10(3): 90-96.
- Aydın, G.Ş., Büyükişık, B., Kocataş, A.,** 2014. Fosfat ve Silikatın Zararlı Denizel Diyatom Büyümesi Üzerine Etkisi: Thalassiosira allenii Takano (Bacillariophyceae), JOTAF/ 11(1), 44-52.
- Azov, Y. and Shelef. G.,** 1987, The Effect of pH on the Performance of High-Rate Oxidation Ponds, Water Science and Technology, vol. 19 (12) 381-383.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Blair, M. F., Kokabian, B., & Gude, V. G.,** 2014, Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 665– 674.
- Blier R, Laliberte G, De la Nou" e J.,** 1995, Tertiary treatment of cheese factory anaerobic effluent with *Phormidium bohneri* and *Micractiniumpusillum*. *Bioresour Technol.* Vol;52: 151–155.
- Borowitzka, M.A.,** 1998, Limits to growth, in *Wastewater treatment with algae*. In: Wong YS, Tam NFY, Editors. Springer Verlag, p. 203–226.
- Can. Y.,** 2014, "Tekstil Sektöründe Su Kullanımı ve Atık Su Yönetimi", ISEM2014 Adiyaman - TURKEY.
- Cautteau, P.,** 1996, Algal production. In P. Lavens & P. Sorgeloos (Eds.), *Manual on the production and use of livefood for aquaculture* (pp. 10–30). Roma: Food and Agriculture Organization (FAO).
- Cembella AD, Antia NJ, Harrison PJ.,** 1984, The utilization of inorganic and organic phosphorus compounds as nutrients by eukaryotic microalgae: a multidisciplinary perspective: Part I. *CRC Crit Rev Microbiol.* 10:317–391.
- Chen, H., Burns, L.D.,** 2006, *Environmental Analysis of Textile Products*, *Clothing and Textile Research Journal*, 24,3, 248-261.
- Chevalier, P., Proulx, D., Lessard, P., Vincent WF and De la Noüe J.,** 2000, Nitrogen and phosphorus removal by high latitude mat-forming cyanobacteria for potential use in tertiary wastewater treatment. *J Appl Phycol.* 12: 105-112.
- Christian B. S., Diederik P.L. Rousseau, Saleh A. Saleh, Piet N.L., Lens.,** 2012, Heavy metal removal in duckweed and algae ponds as a polishing step for textile wastewater treatment, *Ecological Engineering* vol 44 102–110
- Correia, V.M., Stephonson, T. and Judd, S.J.,** 1994 Characterisation of Textile Wastewaters-A Rewiev, *Environmental Technology*, 15, 917-929.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- CSE.,** 2006, Study on pollution of Bandi river by textile industries in Pali town, Centre for Science and Environment, New Delhi, and “Socio-Economic, Environmental and Clean Technology Aspects of Textile Industries in Tiruppur, South India”, Prakash Nellyat, Madras School of Economics.
- Cheah WY, Show PL, Chang J-S, Ling TC, Juan JC.,** 2014, Biosequestration of atmospheric CO<sub>2</sub> and flue gas-containing CO<sub>2</sub> by microalgae. *Bioresour Technol*;184:190–201.
- De la Nou e J, Laliberete´ G, Proulx D.,** 1992, Algae and wastewater. *J Appl Phycol*.Vol;4: 247–254.
- Noüe, J. D., N.D. Pauw.,**1988,The potential of microalgal biotechnology. A review of production and uses of microalgae, *Biotechnol. Adv.* 6 :725-770
- Godos, I., Blanco, S., García-Encina, P., Becares, E., Muñoz, R.,** 2010, Influence of flue gas sparging on the performance of high rate algae ponds treating agro-industrial wastewaters. *Journal of Hazardous Materials*, 179: 1049-1054.
- Delrue, F., Álvarez-Díaz, P.D., Fon-Sing, S., Fleury, G., Sassi, J. F.,** 2016, The Environmental Biorefinery: Using Microalgae to Remediate Wastewater, a Win-Win Paradigm. *Energies*, 9, 132; doi:10.3390/en9030132.
- Devi, S. Murugappan A., Kannan,R. R.,**2016. Textile dye wastewater treatment using freshwater algae in packed-bed reactor: modeling, *Desalination and Water Treatment*,57:38, 17995-18002, DOI: [10.1080/19443994.2015.1085910](https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1085910)
- El Kassas. H, Y, and Abdelfattah Mohammed. L.,** 2014, Bioremediation of the textile waste effluent by *Chlorella vulgaris*, *Egyptian Journal of Aquatic Research*,V40, 301–308.
- Elumalai, S. and Saravanan, G.K.,** 2016, " The Role of Microalgae In Textile Dye Industrial Waste Water Recycle (Phycoremediation)" *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 7(4 ): (B) 662 - 673.
- Fekry M. G., EL-Sayed M. M., Abd EL- Fattah M. S., Abd ELGawad Y., EL-Sadanyand Doha Naeem M. E.,** 2018, The Use of Microalgae in Bioremediation of the Textile Wastewater Effluent, *Nature and Science* ;16(3)

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Glass. C, Silverstein. J.**,1997, Denitrification Kinetics of High Nitrate Concentration Water: pH Effect on Inhibition and Nitrite Accumulation, Peramon, Wat. Res. Vol. 32, No. 3, pp. 831±839.
- Guillard R.R.L.**, 1973, Division Rates, Handbook of Phycological Methods- Culture Methods and Growth Measurements, Cambridge University Press, Chapter 19,pp289-311.
- Guillard R.R.L.**, 1975. Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. in: Culture of marine invertebrate animals. W. L. Smith & M.H. Chanley (eds.), Plenum Press, New York, 26–60.
- Hossain. R.**,2013,"History of Textile", <https://www.slideshare.net/rakibplabon/history-of-textile>.(Son erişim tarihi:24.12.2017)
- İlter, M.**, 2015 "TEKSTİL ÜRETİMİ VE YARDIMCI KİMYASALLAR". TMMOB Kimya Mühendisleri Odası.
- Jia. H and Yuan. Q.**, 2016, Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae–bacteria consortia, Cogent Environmental Science, 2: 1275089.
- Jaya Chitra. M., Das. A., Goel. M., Ravi Kumar. K.**,2015, Microalgae Application for Treatment of Textile Effluents, Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences, ISSN: 0975-858,5 Volume 4, Issue 4, Page No. 1602.
- Kant, R.**, 2012, Textile dyeing industry an environmentalhazard. Natural science. 4(1), 22-26.
- Kaushik P, Malik A.**, 2009, Fungal dye decolorization: recent advances and future potential. Environ Int.Vol;35: 127-141.
- Kim, J., Yoo, G., Lee, H., Lim, J., Kim, K., Kim, C.W., Park, M.S., Yang, J.-W.**, 2013. "Methods of downstream processing for the production of biodiesel from microalgae". Biotechnol. Adv. 31, 862–76.
- Kocaer,F.O., Alkan, U.**, 2002. Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7:1, 47-55

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Kuhl, A. and Lorenzen, H.**, 1964, Handling and culturing of Chlorella, - In: Preston, D.M. (ed.): Methods of cell physiology, Academic Press, London, Vol. 1: p. 159-187
- Lee, C.S., Oh, H.S., Oh, H.M., Kim, H.S., Ahn, C.Y.**, 2016, Two-phase photoperiodic cultivation of algal-bacterial consortia for high biomass production and efficient nutrient removal from municipal wastewater. *Bioresour. Technol.* 200, 867– 875.
- Li, Y. Z., He, Y. L., Ohandja, D. G., Ji, J., Li, J. F., & Zhou, T.**, 2008, Simultaneous nitrification–denitrification achieved by an innovative internal-loop airlift MBR: Comparative study. *Bioresource Technology*, 99, 5867–5872.
- Lim, L.S., Loy Chu, W., Phang, S.M.**, 2010, Use of Chlorella vulgaris for bioremediation of textile wastewater, *Bioresource Technology*, V 101, 7314–7322.
- Lim, S.L., Chu, W.L., Phang, S.M.**, 2010, Use of Chlorella vulgaris for bioremediation of textile wastewater, *Bioresource Technology* 101 7314–7322.
- Lin, C.Y., Ti Nguyen, M. L., Lay, C.H.**, 2017, Starch-containing textile wastewater treatment for biogas and microalgae biomass production, *Journal of Cleaner Production* V 168 331-337.
- Lin, T., and Wu, J.**, 2015, Effect of carbon sources on growth and lipid accumulation of newly isolated microalgae cultured under mixotrophic conditions, *Bioresource Technology*, 184: 100-107 pp.
- M. Ras, J-P. Steyer, O. Bernard.**, 2013, Temperature effect on microalgae: a crucial factor for outdoor production, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, Springer, 12 (2), pp.153-164. .
- Mara and Pearson.**, 1986, Mara, D.D., Pearson, H., 1986. Artificial freshwater environment: waste stabilization ponds. In: Rehm, H.-J., Reed, G. (Eds.), *Biotechnology*, vol. 8, VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, pp. 177–206.
- Masojidek, J., Koblizek, M., & Torzillo, G.**, 2004. Photosynthesis in Microalgae. In A. Richmond & Q. Hu (Eds.), *Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology* (pp. 20–39).

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- McGriff, E. C., & McKenney, R. E.,** 1971, Activated algae: A nutrient process. *Water & Sewage Works*, 118, 377.
- Meng, Q., Yang, F., Liu, L., & Meng, F.,** 2008, Effects of COD/N ratio and DO concentration on simultaneous nitrification and denitrification in an airlift internal circulation membrane bioreactor. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 933–939.
- Metcalf and Eddy.,** 1993, *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*. McGraw-Hill, Boston.
- Modi, H.A., Rajput, G., Ambasana, C.,** 2010. Decolorization of water soluble azo dyes by bacterial cultures, isolated from dye house effluent. *Bio-resource Technology*. 101(16), 6580-6583.
- Niinimäki, K.,** 2013, Tenets of Sustainable Fashion, in “Sustainable Fashion: New Approaches”, Aalto University Publication Series, Helsinki, Finland, 12- 29.
- Orhon, D., Kabdasli, I., Germirli Babuna, F., Sozen, S., Dulkadiroglu, H., Dogruel, S., Karahan, O. Ve Insel, G.,** 2003. Wastewater reuse for the minimization of fresh water demand in coastal reassessed cases from the textile finishing industry, *Journal of Environmental Science and Health A* 38, 1641-1657.
- Oswald WJ, Gotaas H.B.,** 1957, Photosynthesis in sewage treatment. *Trans Am Soc Civ Eng*, Vol; 122: 73-105.
- Oswald, W. J., Lee, E. W., Adan, B., & Yao, K. H.,** 1978, New waste water treatment method yields a harvest of saleable algae. *WHO Chronicle*, 32(9), 348–350.
- Pandey A, Singh P, Iyengar L.,** 2007, Bacterial decolorization and degradation of azo dyes. *Int Biodet Biodeg*. Vol; 59: 73-84.
- Pathak VV, Kothari R, Chopra AK, Singh DP.,** 2015, Experimental and kinetic studies for phycoremediation and dye removal by *Chlorella pyrenoidosa* from textile wastewater. *J Environ Manag*; 163:270–7.
- Perez-Garcia, O., Escalante, F., de-Bashan, L., Bashan, Y.,** 2011, Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products. *Water Research*, 45: 11-36.

## **KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)**

- Phang, S.M., Chu, W.L.,** 2004, The University of Malaya Algae Culture Collection (UMACC) and potential applications of a unique *Chlorella* from the collection. *Jpn. J. Phycol.* 52, 221–224.
- Pittman, J., Dean, A., Osundeko, O.** 2011, The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource Technology*, 102: 17-25.
- Pochana, K.,& Keller, J.,** 1999, Study of factors affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). *WaterScience and Technology*, 39, 61–68.[http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00123-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00123-7)
- Powell N, Shiltona A, Chistia Y, Pratt S.,** 2009, Towards a luxury uptake process via microalgae – Defining the polyphosphate dynamics. *water research.* vol; 43: 4207 – 4213.
- Rippka, R. and Herdman, H.,** 1992, *Pasteur Culture Collection of Cyanobacteria Catalogue & Taxonomic Handbook*, Institut Pasteur, 1. Catalogue of Strains, Paris.
- Rogers, J., Rosenberg, J., Guzman, B., Oh, V., Mimbela, L., Ghassemi, A., Betenbaugh, M., Oyler, G., Donohue, M.,** 2014, A critical analysis of paddlewheel-driven raceway ponds for algae biofuel production at commercial scales. *Algal Research*, 4:76-88.
- Sawayama S, Rao KK, Hall D.O.,** 1998; Nitrate and phosphate ions removal from water by *Phormidium laminosum* immobilized on hollow fibres in a photobioreactor. *Appl Microbiol Biotechnol.* Vol; 49: 463–468.
- Sekomo, C.B., Rousseau D.P.L., Saleh, A.S., Lens, P.N.L.,** 2012, Heavy metal removal in duckweed and algae ponds as a polishing step for textile wastewater treatment, *Ecological Engineering* 44: 102– 110.
- Shelef, G., Moraine, R., & Oron, G.,** 1978. Photosynthetic biomass production from sewage. *Ergebnisse der Limnologie*, 2,3–14.
- Shiklomanov, I. A.,** 1993.“ World fresh water resources”. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh Water Resources.* Editor: Peter H. Gleick Oxford University Press, New York.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sinha S, Singh R, Chaurasia AK, Nigam S.**, 2016, Self-sustainable *Chlorella pyrenoidosa* strain NCIM 2738 based photobioreactor for removal of Direct Red-31 dye along with other industrial pollutants to improve the water-quality. *J Hazard Mater* 306:386–94.
- Sisman Aydın. G.**, 2012, Interval Nutrient Pulses Responses of Competitive Culture Experiment: *Chaetoceros* sp. *Thalassiosira allenii* (Takano), *Gomphosphaeria* sp, *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11:799-802.
- Standard Methods.**, 1989, Katı madde tayini, Çevre mühendisliği bölümü, Erciyes Üniversitesi, S.2-75, GEMS S.22
- Stanier, R.Y., Kunisawa, R., Mandel, M. & Cohen-Bazire, G.**, 1974, Purification and properties of unicellular bluegreen algae (order Chroococcales), *Bacteriological Reviews*, 35(2): 171-205 pp.
- Statista.**, 2017, "Value of the leading 10 textile exporters worldwide 2016, by country", TheStatistics Portal.
- Şişman Aydın,G., Büyükişık, B., Kocataş, A.**, (a). 2013, “Farklı Azot Kaynağının ( $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$ ) Zararlı Denizel Diyatomu *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae) Büyümesi Üzerine Etkisi”, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi Cilt* 10(3), 90-96.
- Şişman Aydın, G.**, 2017. Bioremediation Approach to Wastewater Recovery : Example of Microalgae. 2nd International Water And Health Congress Antalya February 13-17.
- Şişman Aydın, G., Kocataş, A. and Büyükişık, B.**, 2009, Effects of light and temperature on the growth rate of potentially harmful marine diatome: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae). *African Journal of Biotechnology*, Vol.8 (19): 4983-4990.
- Şişman Aydın,G., Oral, R.**, 2014, “Investigation of The Hormesis/Toxicity Potential of Manisa (Turkey) Urban Wastewater Treatment Plant by using *Selenastrum Capricornutum* Printz”, *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(5), 1183-1189.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şişman. Aydın. G., Şimşek. K.,** 2017, Kesikli Sistemde Fitoplanktonik Organizma Kullanarak Atıksu Arıtımının Araştırılması, Ege Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projei, Proje no; 014-SÜF-010, Sayfa; 52.
- Talbot P, De la Nou" e J.,** 1993, Tertiary treatment of wastewater with Phormidium bohneri (Schmidle) under various light and temperature conditions. Water Res.Vol; 27(1): 153–159.
- Tian-Yuan, Z., Yin-Hu, W., Shu-feng, Z., Feng-Min, L., Hong-Ying, H.,** 2013, Isolation and heterotrophic cultivation of mixotrophic microalgae strains for domestic wastewater treatment and lipid production under dark condition. Bioresource Technology, 149: 586- 589.
- TSKB.,** 2014, "Tekstil-İplik", TSKB Ekonomik Araştırmalar
- TÜBİTAK.,** 2011, Ulusal Su Ar-Ge ve Yenilik Stratejisi. Ek2. TÜBİTAK Bilim, Teknoloji ve Yenilik Politikaları Daire Başkanlığı Ankara [http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek2\\_ulusal\\_su\\_arge\\_yenilik\\_stratejisi.pdf](http://www.tubitak.gov.tr/sites/default/files/ek2_ulusal_su_arge_yenilik_stratejisi.pdf). (Son erişim tarihi:7.8.2014)
- TÜİK.,** 2014, Belediye Su İstatistikleri, 22/12/2015, S 18779
- TÜİK.,** 2015, " Dünya tekstil ve konfeksiyon ihracatında Türkiye 6. sırada", Basın Odası Haberleri, Sayı: 52/2015.
- TÜİK.,** 2017, "Nüfus Projeksiyonları", 2013-2075", <http://www.tuik.gov.tr/PreTabloArama.do> Erişim tarihi: 6 Aralık 2017)
- Umdu, E.S., Tuncer, M., Seker, E.,** 2009, Transesterification of Nannochoropsis oculata microalga's lipid to biodiesel on Al<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> supported CaO and MgO catalysts, Bioresour.
- Umamaheswari J, Shanthakumar S.,**2016, Efficacy of microalgae for industrial wastewater treatment: a review on operating conditions, treatment efficiency and biomass productivity. Rev Environ Sci Biotechnol 15:265–84.

## KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Valderrama, L.T., Del Campo, C.M., Rodriguez, C.M., de- Bashan, L.E., Bashan, Y.**, 2002, Treatment of recalcitrant wastewater from ethanol and citric acid production using the microalga *Chlorella vulgaris* and the macrophyte *Lemna minuscula*, *Water Res.* 36 (17), 4185–4192.
- Van der Zee FP, Villaverde S.**, 2005, Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes- a short review of bioreactors studies. *Water Res.* Vol;39: 1425-1440.
- Whitton,R., Ometto, F., Pidou, M., Jarvis, P., Villa, R., Jefferson, B.** 2015, Microalgae for municipal wastewater nutrient remediation: mechanisms, reactors and outlook for tertiary treatment, *Environmental Technology Reviews*, Vol. 4, No. 1, 133–148 p.
- Wu JY, Lay CH, Chen CC, Wu SY.**, 2016, Lipid accumulating microalgae cultivation in textile wastewater: environmental parameters optimization. *J Taiwan Inst Chem Eng*; 0:1–6.
- Xu, M., Li, P., Tang, T., Hu, Z.**, 2015, Roles of SRT and HRT of an algal membrane bioreactor system with a tanks-in-series configuration for secondary wastewater effluent polishing. *Ecol. Eng.* 85, 257–264
- YAN J-G., HUANG Xu-xiong., Sheng-jun, M.A., HUANG Z.Z., Wei-qun, L.**, 2011, Culture condition and cellular biochemical composition of two microalgae *Oocystis solitaria* and *Selenastrum* sp, *Chinese Journal of Ecology*, Vol. 30 » Issue (12): 2761-2766 .
- Yıldız T.**, 2014, "Tekstil Sektörü Su Sorunu ve Su İhtiyacı", <http://slideplayer.biz.tr/slide/2284190/>. (Son erişim tarihi: 26.12.2017)
- Zhou, L., Wu, F., Zhao, Z., & Wang, B.**, 2015, Effects of environmental factors on nitrogen and phosphorus removal by *Chlorella vulgaris* in wastewater. *Current Biotechnology*, 5, 60–65.
- Zhu LD., Takala J., Hiltunen E., Wang ZM.**, 2013, Recycling harvest water to cultivate *Chlorella zofingiensis* under nutrient limitation for biodiesel production, *Bioresour Technol* 144:14–20.
- Zhang X, Rong J, Chen H, He C, Wang Q.**, 2014, Current Status and Outlook in the Application of Microalgae in Biodiesel Production and Environmental Protection. *Front Energy Res*;2:1–15.

## ÖZGEÇMİŞ

Kemal ŞİMŞEK 15.08.1989 yılında Mardin'nin Kızıltepe İlçesinde doğdu. İlkokul, Orta ve Lise eğitimini Kızıltepe'de tamamladıktan sonra Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi kazandı. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'nden 2015 yılında mezun olduktan sonra 2015-2016 güz dönemi Balıkesir Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü Zooloji Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans başlamıştır. 2017 yılında yatay geçiş ile Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Anabilim Dalında Tezli Yüksek Lisans eğitimine devam etmiştir.

