

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK SU ORTAMINDA YETİŞTİRİLEN *Scenedesmus
aequicaudatus* ALGININ BİYOKİMYASAL VE BİYOLOJİK
AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Soner ATİK

Biyoloji Anabilim Dalı

HAZİRAN 2025

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ATIK SU ORTAMINDA YETİŞTİRİLEN *Scenedesmus
aequicaudatus* ALGININ BİYOKİMYASAL VE BİYOLOJİK
AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Soner ATİK

Biyoloji Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Tuğba ONGUN SEVİNDİK

HAZİRAN 2025

Soner ATİK tarafından hazırlanan “Atıksu Ortamında Yetiştirilen *Scenedesmus aequicaudatus* Alginin Biyokimyasal ve Biyolojik Aktivitelerinin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 16.06.2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Tuğba ONGUN SEVİNDİK (Danışman).....**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Prof. Dr. Şule BARAN**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Doç. Dr. Keziban ATACAN**
Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “ATIK SU ORTAMINDA YETİŞTİRİLEN *Scenedesmus aequicaudatus* ALGİNİN BİYOKİMYASAL VE BİYOLOJİK AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(...../...../20.....).

(imza)

Soner ATİK





Açtığın yolda, gösterdiğin hedefe...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans sürecim boyunca bana yol gösteren ve her konuda yardımcı olan değerli danışman hocam Prof. Dr. Tuğba ONGUN SEVİNDİK' e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam sırasında gerek teorik gerekse pratik bilgilerinden yararlandığım Öğr. Gör. Alican Bahadır SEMERCİ' ye, Uzman Biyolog Ayşegül TEKBABA' ya ve Uzman Biyolog Uğur GÜZEL' e minnetlerimi sunarım.

Tüm hayatım boyunca bana her zaman güvenen ve çıktığım her yolda tam destek olan annem Çiğdem ONUR' a teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan ve bir sonraki günümeye daha motive bir şekilde uyanmama vesile olan sevgili Esmâ Nur BERBER' e sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Kaygıya kapıldığım, stres olduğum durumlarda nefes alıp rahatlamamı sağlayan güzel kedim Mays' a tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu proje Tubitak 1002-A Hızlı destek Modülü kapsamında 124Y040 Kodlu "Atık Su Ortamında Yetiştirilen *Scenedesmus aequicaudatus* Hortobágyi Alginin Gelişiminin, Biyokimyasal İçeriğinin, Biyodizel Üretim Potansiyelinin ve Biyolojik Aktivitesinin Değerlendirilmesi" başlıklı proje ile desteklenmiştir.

Soner ATİK



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxv
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Algler	3
2.1.1. Alglerin genel özellikleri	3
2.1.2. Alglerin besin maddesi içerikleri.....	3
2.1.2.1. Alglerin karbonhidrat içerikleri	4
2.1.2.2. Alglerin protein ve amino asit içerikleri	4
2.1.2.3. Alglerin lipid ve yağ asidi içeriği	5
2.1.2.4. Alglerin içerdiği pigmentler.....	5
2.1.2.5. Alglerin içerdiği vitaminler	6
2.1.2.6. Alglerin içerdiği mineraller	6
2.1.3. Alglerin antioksidan özellikleri	6
2.1.4. Alglerin antibakteriyal özellikleri.....	6
2.1.5. Alglerin kullanım alanları.....	7
2.1.6. Alglerin sınıflandırılması.....	9
2.1.7. <i>Scenedesmus</i> sp. genel özellikleri.....	9
2.2. Atık Su.....	10
2.3. Çalışmanın Amacı	11
3.MATERYAL VE METOT	13
3.1. Çalışma Materyali	13
3.2. Kullanılan Cihazlar	14
3.3. Metot	15
3.3.1. Hücre kültürünün hazırlanması	15
3.3.2. Deney ortamı ve düzeneği	15
3.4. Ölçümler ve Analizler	16
3.4.1. İnorganik besin tuzu giderimi.....	16
3.4.1.1. Nitrit azotu (NO ₂ -N) analizi	16
3.4.1.2. Nitrat azotu (NO ₃ -N) analizi.....	17
3.4.1.3. Ortofosfat (PO ₄ -P) analizi.....	18
3.4.2. Büyüme parametreleri (OD, Klorofil- <i>a</i>) ve pH.....	19
3.4.3. Kuru alg biyokütlesi	19
3.4.4. Toplam pigment analizi	20

3.4.5. Toplam protein analizi	20
3.4.6. Toplam karbohidrat analizi	20
3.4.7. Toplam lipid içeriğinin belirlenmesi	21
3.4.8. Ekstraksiyon metodu	21
3.4.9. Toplam fenolik madde (TPC) miktarının belirlenmesi	22
3.4.10. 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH) analizi	22
3.4.11. GC-MC analizi	23
3.4.12. Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesi	23
3.4.13. İstatiksel analizler	24
4. BULGULAR	25
4.1. Optik Yoğunluk (OD)	25
4.2. Fotosentetik Pigment Analizi (Klorofil- <i>a</i>)	26
4.3. pH	27
4.4. Nitrit Azotu (NO ₂ -N) Analizi	28
4.5. Nitrat Azotu (NO ₃ -N) Analizi	29
4.6. Ortofosfat (PO ₄ -P) Analizi	30
4.7. Toplam Pigment	31
4.8. Kuru Biyokütle	32
4.9. Toplam Protein	33
4.10. Toplam Karbohidrat	34
4.12. 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH)	35
4.13. Toplam Fenolik İçeriği (TPC)	36
4.14. Antibakteriyel Aktivite	37
4.15. Toplam Lipit İçeriği ve Biyodizel Potansiyeli	38
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	41
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

CN	: Setan sayısı
DPPH	: 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin
IV	: İyot değeri
KA	: Kuru ağırlık
kl	: Klorofil
kl-<i>a</i>	: Klorofil- <i>a</i>
kl-<i>b</i>	: Klorofil- <i>b</i>
SV	: Sabunlaşma değeri
TPC	: Toplam fenolik madde



SİMGELER

cm	: Santimetre
%	: Yüzde
°C	: Derece Santigrat
µg	: Mikrogram
mg	: Miligram
CO₂	: Karbondioksit
µm	: Mikrometre
dk	: Dakika
g	: Gram
H₂O	: Su
L	: Litre
M	: Molar
mL	: Mililitre
nm	: Nanometre
pH	: H ⁺ iyonu konsantrasyonunun kologaritması
rpm	: Dakikada devir sayısı



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1. Kullanılan cihazlar.	14
Tablo 3.2. BG11 ortamı içeriği.....	15
Tablo 4.1. <i>S. aequicaudatus</i> alginin Ortofosfat giderme değerleri (%).....	31
Tablo 4.2. <i>S. aequicaudatus</i> alginin kuru biyokütle miktarı	33
Tablo 4.3. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam protein miktarı	34
Tablo 4.4. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam karbohidrat miktarı	35
Tablo 4.5. Ekstraktların antibakteriyel aktivite sonuçları	37
Tablo 4.6. <i>S. aequicaudatus</i> alginin yağ asit içeriği.	39
Tablo 4.7. <i>S. aequicaudatus</i> alginin biyodizel potansiyeli.....	40



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Mikroalglerin kullanım alanları.....	7
Şekil 2.2. <i>Scenedesmus aequicaudatus</i> alginin ışık mikroskobu görüntüsü.....	10
Şekil 3.1. Karaman Atıksu Tesisi ve su örneği toplama süreci.	13
Şekil 3.2. Atıksu filtrasyonunda kullanılan sistem.	14
Şekil 3.3. Farklı konsantrasyonlarda atıksu ile hazırlanan <i>S. aequicaudatus</i> kültürleri.	16
Şekil 3.4. <i>S. aequicaudatus</i> kültürleri ile yapılan deneyler.	16
Şekil 3.5. Nitrit azotu (NO ₂ -N) analizi.	17
Şekil 3.6. Nitrat azotu (NO ₃ -N) analizi.....	18
Şekil 3.7. Ortofosfat (PO ₄ -P) analizi.....	19
Şekil 3.8. Ekstraksiyon aşamaları.	22
Şekil 4.1. <i>S. aequicaudatus</i> ' un 10 günlük OD680 absorbansındaki değişim grafiği.	26
Şekil 4.2. <i>S. aequicaudatus</i> ' un 10 günlük klorofil- <i>a</i> miktarındaki değişim grafiği.	27
Şekil 4.3. <i>S. aequicaudatus</i> kültür ortamlarının 10 günlük pH değeri değişimi.....	28
Şekil 4.4. Nitrit azotu (NO ₂ -N) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği.	29
Şekil 4.5. Nitrat azotu (NO ₃ -N) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği.....	30
Şekil 4.6. Ortofosfat (PO ₄ -P) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği....	31
Şekil 4.7. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam kl- <i>a</i> , kl- <i>b</i> , karotenoid miktarları.....	32
Şekil 4.8. <i>S. aequicaudatus</i> alginin kuru biyokütle miktarları.....	33
Şekil 4.9. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam protein miktarları.....	34
Şekil 4.10. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam karbohidrat miktarları.	35
Şekil 4.11. <i>S. aequicaudatus</i> alginin antioksidan aktivitesi.....	36
Şekil 4.12. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam fenolik miktarları.....	37
Şekil 4.13. <i>S. aequicaudatus</i> alginin toplam % lipid içeriği.....	38



ATIK SU ORTAMINDA YETİŞTİRİLEN *Scenedesmus aequicaudatus* ALGININ BİYOKİMYASAL VE BİYOLOJİK AKTİVİTELERİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Çeşitli atıksular (evsel, endüstriyel ve tarım kaynaklı) ve substratlar (süt atıkları, peynir ve şeker fabrikalarının atıkları), mevcut su rezervlerini korumak ve kullanılan kimyasalların maliyetini minimuma düşürmek için alg yetiştiriciliğinin yapıldığı ortamlar olarak kullanılmaktadır. Alg yetiştiriciliği ile biyokütle elde edilmesi için temel ihtiyaçlar; yüksek miktarda enerji, su ile karbondioksit, makro ve mikro besin tuzları şeklinde sıralanabilmektedir. Algal biyokütle üretiminden ekonomik fayda sağlanabilmesi için, üretim sürecinde kullanılan girdilerin düşük maliyetli olması ve elde edilmesi hedeflenen ham maddenin ticari ölçekte uygun fiyatla üretilebilmesi gerekmektedir. Mikroalg biyokütlesi üretiminde kullanılan yöntemle bağlı olarak maliyetin kilogram başına yaklaşık 20 ila 200 dolar arasında değiştiği tahmin edilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda gerçekleştirilen araştırmalarda besin tuzu maliyetlerini düşürmek amacıyla; belediye, endüstriyel ve tarımsal atıksular gibi uygun ve düşük maliyetli kaynaklar alternatif besin tuzu kaynağı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Atık sudaki besin tuzları algler tarafından kullanıldığından dolayı atık suyun temizlenmesi de sağlanarak çevresel sürdürülebilirlik artırılmış olacaktır. Endüstrinin türüne bağlı olarak ortaya çıkan atıksular; mineraller, uçucu organik bileşikler, yağ ve gresler, ağır metaller ile pestisitler gibi çeşitli kirletici maddeleri içerebilmektedir. Ayrıca, endüstriyel ve kanalizasyon kaynaklı atıksular genellikle besin tuzları bakımından oldukça zengindir. Bu kirleticilerin doğada birikmesi ve çevreye salınması hem tatlı su hem de denizel ekosistemler üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Öte yandan, atıksulardaki besin tuzları mikroalgler için bir besin kaynağı işlevi görerek, hücrelerinde biyokimyasal bileşenlerin sentezlenmesini mümkün kılmaktadır. Atıksu temelli alg üretimi, enerji açısından sürdürülebilir bir yaklaşım sunarken; ekonomik değeri yüksek ürünlerin elde edilmesi, çevresel geri kazanım ve kirlilik kontrolü gibi pek çok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bu entegre yaklaşım, yalnızca ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmaz, aynı zamanda atık yönetimi politikalarına katkı sağlayarak çevre kirliliğinin azaltılmasına da yardımcı olur. Atıksuların bu şekilde değerlendirilmesi, geleneksel arıtma yöntemlerine kıyasla daha düşük maliyetli ve çevre dostu bir alternatif sunar. Ayrıca mikroalgler bazı ağır metalleri ve toksik bileşikleri bünyelerine alarak ortamdaki uzaklaştırabilme yetenekleri sayesinde biyoremediasyon potansiyeli de taşımaktadır. Bu yönüyle mikroalg temelli üretim sistemleri hem atıkların bertarafı hem de değerli ürünlerin kazanımı açısından çift yönlü bir fayda sunmaktadır. Ayrıca son yapılan çalışmalar, atıksu ortamında yetiştirilen mikroalglerin lipid, protein ve karbohidrat içeriklerinin optimize edilerek biyoyakıt, hayvan yemi ve biyoplastik gibi farklı alanlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece bu sistemlerin sadece çevresel değil, aynı zamanda ticari potansiyeli de ön plana çıkmaktadır. Gelecekte, mikroalg temelli üretim teknolojilerinin daha da geliştirilmesiyle, atıksuların değerlendirilmesine yönelik uygulamaların yaygınlaşması beklenmektedir.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada alg üretim maaliyetini minimuma indirmek ve çevresel sürdürülebilirliği arttırmak adına atıksu destekli alg üretimine odaklanılmıştır. Yeryüzünde çeşitli mikroalg türleri kullanılarak biyokimyasal içerikleri, biyolojik aktiviteleri ve biyodizel üretim potansiyelleri üzerine araştırmalar yapıldığı görülmektedir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada, daha önce üzerinde yapılmış hiçbir çalışma bulunmayan *Scenedesmus aequicaudatus* algi, Sapanca Gölü'nden izole edilmiştir ve Sakarya ili sınırları içerisinde yer alan Karaman Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan atıksu ile hazırlanan kültür ortamında büyüme ve gelişme parametreleri araştırılmıştır. Toplanan atıksu örnekleri Whatman filtre kağıdı kullanılarak filtrelendikten sonra 121°C, 20 dakika otoklavlanarak steril edilmiştir. Daha sonra adi süzgeç kağıdından geçirilip 100 litrelik su deposunda homojen olarak karıştırılmıştır. 10 günlük ölçümlere başlamadan önce standart metodlar kullanılarak inorganik besin giderimini tespit etmek üzere başlangıç kimyasal analizleri (NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P) yapılmıştır. %100 BG11, 80 BG11- %20 Atıksu, %60 BG11- %40 Atıksu, %40 BG11- %60 Atıksu ve %20 BG11- %80 Atıksu ve %100 Atıksu olacak şekilde 6 farklı kültür ortamı kullanılmıştır. Hazırlanan kültür ortamları sıcaklık: 25±1°C, aydınlatma: 93 µmol foton m⁻² s⁻¹, ışık periyodu: 12 saat aydınlık: 12 saat karanlık olacak şekilde büyüme kabini içinde inkübe edilmiştir. Çalışmada kontrol grubu olarak %100 BG11 ortamı kullanılmıştır. *Scenedesmus aequicaudatus* alginin gelişim parametreleri (OD680, kl-a, pH); %100 BG11, 80 BG11- %20 Atıksu, %60 BG11- %40 Atıksu, %40 BG11- %60 Atıksu ve %20 BG11- %80 Atıksu ve %100 Atıksu ortamlarında 10 gün boyunca takip edilmiştir. Günlük ölçümler tamamlandıktan sonra başlangıç kimyasal analizleriyle karşılaştırmak için final kimyasal analizleri yapılmıştır. 10. günde elde edilen kuru biyokütleden toplam protein, toplam karbohidrat, klorofil-a (kl-a), klorofil-b (kl-b), toplam karotenoid değerleri tespit edilmiştir. Bunun yanında ekstraksiyon yöntemiyle hazırlanan etanolik ekstraktlardan toplam fenolik madde, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH) radikali süpürme aktivitesi ve antibakteriyel aktivite tespit edilmiştir. Ayrıca lipid ekstraksiyonu yapılarak toplam lipid ve yağ asit içeriği tespit edilerek bu algin biyodizel potansiyeli araştırılmıştır.

Başlangıç ve final kimyasal analizleri laboratuvar ortamında standart yöntemlerle gerçekleştirilmiştir (APHA, 2012). OD680 değerleri 10 gün boyunca spektrofotometrik ölçümlerle tespit edilmiştir. Aynı şekilde kl-a değerleri de 10 gün boyunca spektrofotometre kullanılarak elde edilmiştir. pH değerleri ise 10 gün boyunca masaüstü pH metre kullanılarak (HI 2211pH-HANNA) belirlenmiştir. 6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *Scenedesmus aequicaudatus* alginin toplam protein değerleri Bradford (1976) yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Toplam karbohidrat değerleri belirlenirken Fenol-Sülfürik Asit Yöntemi kullanılmıştır (Kochert, 1975). Toplam pigment değerleri (kl-a, kl-b ve toplam karotenoid) ise Tavakoli ve diğerlerine (2021) göre spektrofotometrik yöntemlerle tespit edilmiştir. Toplam fenolik madde miktarı, 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH) radikali süpürme aktivitesi ve antibakteriyel aktivite belirlenirken öncelikle ultrason destekli ekstraksiyon metodu uygulanmıştır. Ultrasonik banyodan geçirilen numuneler filtre kağıdı ile süzülerek katı partiküllerinden ayrılmıştır. Elde edilen sıvı numuneler döner buharlaştırıcıda 50 °C'de vakum altında döndürülerek çözücü madde uzaklaştırılmıştır. Buharlaştırma işlemi sonrası elde edilen ekstraktlar stok olarak (10 mg mL⁻¹ konsantrasyonda) +4°C'de saklanmıştır. Bu ekstraktlar kullanılarak yapılan toplam fenolik madde analizi Folin-Ciocalteu Yöntemi kullanılarak yapılmıştır. 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH) radikali süpürme aktivitesi Blois yöntemi (Blois, 1958) ile gerçekleştirilmiştir. Antibakteriyel aktivite ise disk difüzyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Altı farklı kültür ortamında yetiştirilen *Scenedesmus aequicaudatus* alglerinin büyüme parametrelerinde (OD680, kl-*a* ve pH) maksimum değerler sırasıyla %80 BG11-%20 Atıksu, %80 BG11-%20 Atıksu ve %60 BG11-%40 Atıksu (pH=11,61) ile %80 BG11-%20 Atıksu (pH=11,6) olarak tespit edilmiştir. 10 gün süren çalışmamızda, algler öncelikli azot kaynağı olarak amonyağı tercih ettikleri için nitrit ve nitrat konsantrasyonlarında deney süresine bağlı olarak hiçbir kültür ortamında giderim gözlemlenmemişken, en etkili PO₄-P giderimi %100 Atıksu ortamında tespit edilmiştir. Kuru biyokütlerdeki pigment miktarlarındaki (kl-*a*, kl-*b* ve toplam karotenoid) en yüksek ve en düşük değerler kontrol grubundan (%100 BG11) sonra sırasıyla; %60 BG11-%40 Atıksu, %80 BG11-%20 Atıksu ve %40 BG11-%60 Atıksu şeklinde izlenmiştir. Atıksu ile belirli oranlarda seyreltilmiş kültür ortamlarında yetiştirilen alglerin en yüksek biyokütle miktarına %80 BG11-%20 Atıksu ortamında, toplam protein (%60 BG11-%40 Atıksu) ve toplam karbohidrat (%60 BG11-%40 Atıksu) yüzdelerine sahip olduğu belirlenmiştir. En yüksek DPPH süpürme etkisinin pH, kl-*a*, toplam protein ve toplam karbohidrat miktarı ile aynı olarak %60 BG11-%40 Atıksu ortamında olduğu tespit edilmiştir. Toplam fenolik miktarı karotenoid miktarıyla benzer olarak kontrol grubundan sonra en yüksek %40 BG11-%60 Atıksu ortamında gözlemlenmiştir. Setan sayısı, iyot değeri ve sabunlaşma miktarlarına bağlı olarak %60 BG11-%40 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu ortamlarından elde edilen biyokütlenin biyodizel potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir. Farklı ortamlardaki biyokütlelerden hazırlanan etanolik ekstraktların çalışmada kullanılan test bakterileri üzerinde (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228) antibakteriyel etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, alg yetiştiriciliğinin yüksek maliyetlerini iyileştirme girişimlerinde atıksu ortamını standart besin ortamıyla destekleyerek alg üretimi alanında kullanılabilirliğini gösterilerek Sapanca Gölü'nden izole edilen bu türün biyokimyasal bileşenleri literatüre kazandırılmıştır. Özellikle *S. aequicaudatus*'un yağ asidi profili ve biyolojik aktiviteleri ilk kez belgelenmiştir. *S. aequicaudatus* alginin yenilebilir yağlar, protein ve nişasta gibi gıda ürünlerinin üretimi açısından önemli bir potansiyele sahip olduğu tespit edilmiştir.



DETERMINATION OF BIOCHEMICAL AND BIOLOGICAL ACTIVITIES OF *Scenedesmus aequicaudatus* ALGAE CULTIVATED IN WASTEWATER ENVIRONMENT

SUMMARY

Various wastewaters (domestic, industrial and agricultural) and substrates (dairy waste, cheese and sugar factory waste) are used as algal cultivation medium to preserve existing water reserves and minimize the cost of chemicals used. The basic needs for obtaining biomass through algae cultivation can be listed as high amounts of energy, water, carbon dioxide, macro and micronutrients. In order to obtain economic benefits from algal biomass production, the inputs used in the production process must be low-cost and the targeted raw material must be produced at an affordable price on a commercial scale. It is estimated that the cost varies from approximately \$20 to \$200 per kilogram, depending on the method used to produce microalgae biomass. For this reason, in order to reduce nutrient costs in recent years, suitable and low-cost sources such as municipal, industrial and agricultural wastewater have begun to be used as alternative nutrient salt sources. Since the nutrients in the wastewater are used by algae, the wastewater will also be cleaned, thus increasing environmental sustainability.

Depending on the type of industry, the resulting wastewater may contain various pollutants such as minerals, volatile organic compounds, oil and grease, heavy metals and pesticides. Additionally, industrial and sewage wastewater is generally rich in nutrients. The accumulation of these pollutants in nature and their release into the environment can have serious negative effects on both freshwater and marine ecosystems. On the other hand, nutrients in wastewater serve as a nutrient source for microalgae, enabling the synthesis of biochemical components in their cells. While wastewater-based algae production offers a sustainable approach in terms of energy, it can also bring many advantages such as obtaining products with high economic value, environmental recovery and pollution control. This integrated approach not only supports economic and environmental sustainability, but also helps reduce environmental pollution by contributing to waste management policies. This way of evaluating wastewater offers a more cost-effective and environmentally friendly alternative to traditional treatment methods. Microalgae also have the potential for bioremediation thanks to their ability to absorb and remove some heavy metals and toxic compounds from the environment. In this respect, microalgae-based production systems offer a dual benefit in terms of both waste disposal and the acquisition of valuable products. In addition, recent studies show that microalgae grown in wastewater can be used in different areas such as biofuel, animal feed and bioplastic by optimizing their lipid, protein and carbohydrate contents. Thus, not only the environmental but also the commercial potential of these systems come to the fore. In the future, with the further development of microalgae-based production technologies, it is expected that applications for the evaluation of wastewater will become widespread.

In this study, we focused on wastewater-supported algae production in order to minimize algae production costs and increase environmental sustainability. It is seen that research is being carried out on biochemical contents, biological activities and biodiesel production potential using various microalgae species on earth. In this study, *Scenedesmus aequicaudatus* alga, which has not been studied before, was isolated from Sapanca Lake and its growth and development parameters were investigated in the culture medium prepared with wastewater taken from Karaman Wastewater Treatment Plant within the borders of Sakarya province. The collected wastewater samples were filtered using Whatman filter paper and then sterilized by autoclaving at 121°C for 20 minutes. Then it was passed through ordinary filter paper and mixed homogeneously in a 100-liter water tank. Before starting the 10-day measurements, initial chemical analyses (NO₂-N, NO₃-N, PO₄-P) were performed to determine inorganic nutrient removal using the standard methods (APHA, 2012). 6 different culture medium were used as 100% BG11, 80 BG11- 20% Wastewater, 60% BG11- 40% Wastewater, 40% BG11- 60% Wastewater and 20% BG11- 80% Wastewater and 100% Wastewater. Prepared culture media were incubated in the growth cabinet at temperature: 25±1°C, illumination: 93 μmol photon m⁻² s⁻¹, photoperiod: 12 hours light: 12 hours dark. 100% BG11 medium was used as the control group in the study. The growth parameters of *Scenedesmus aequicaudatus* algae (OD680, chl-*a*, pH) were followed for 10 days in 100% BG11, 80% BG11- 20% Wastewater, 60% BG11- 40% Wastewater, 40% BG11- 60% Wastewater and 20% BG11- 80% Wastewater and 100% Wastewater environments. After the daily measurements were completed, final chemical analyses were performed to compare with the initial chemical analyses. Total protein (Bradford, 1976), total carbohydrate (Kochert, 1978) and *chlorophyll-a* (chl-*a*), chlorophyll (chl-*b*), total carotenoid values were determined from the dry biomass obtained on the 10th day. In addition, total phenolic content, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) radical scavenging activity and antibacterial activity were determined from ethanolic extracts prepared by the extraction method. Also, the biodiesel potential of this algae was investigated by lipid extraction to determine total lipid and fatty acid content.

Initial and final chemical analyses were carried out in a laboratory environment using standard methods (APHA, 2012). OD680 values were determined by spectrophotometric measurements for 10 days. Similarly, chl-*a* values were obtained using a spectrophotometer for 10 days. pH values were determined using a desktop pH meter (HI 2211pH-HANNA) for 10 days. Total protein values of *Scenedesmus aequicaudatus* algae grown in 6 different culture media were determined using the Bradford (1976) method. The Phenol-Sulfuric Acid Method (Kochert, 1975) was used to determine total carbohydrate values. Total pigment values (chl-*a*, chl-*b* and total carotenoid) were determined by spectrophotometric methods according to Tavakoli et al. (2021). While determining the total phenolic substance amount, 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) radical scavenging activity and antibacterial activity, ultrasound-assisted extraction method was first applied. The samples passed through the ultrasonic bath were filtered with filter paper to separate the solid particles. The obtained liquid samples were rotated in a rotary evaporator under vacuum at 50 °C to remove the solvent. The extracts obtained after the evaporation process were stored as stock (at a concentration of 10 mg mL⁻¹) at +4 °C. Total phenolic substance analysis using these extracts was carried out using the Folin-Ciocalteu Method. 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazine (DPPH) radical scavenging activity was carried out by the Blois method (Blois, 1958). Antibacterial activity was determined using the disk diffusion method.

The maximum values in the growth parameters (OD680, chl-*a* and pH) of *Scenedesmus aequicaudatus* grown in six different culture medium were determined as 80% BG11-20% Wastewater, 80% BG11-20% Wastewater, 60% BG11-40% Wastewater (pH=11,61) and 80% BG11-20% Wastewater (pH=11,6), respectively. In our 10-day study, since algae prefer ammonia as their primary nitrogen source, no removal was observed in any culture medium depending on the duration of the experiment in nitrite and nitrate concentrations, while the most effective PO₄-P removal was determined in the 100% Wastewater medium. The highest and lowest values in pigment amounts (chl-*a*, chl-*b* and total carotenoids) in dry biomass were observed as 60% BG11-40% Wastewater, 80% BG11-20% Wastewater and 40% BG11-60% Wastewater, respectively, after the control group (100% BG11).

It was determined that algae grown in culture media diluted with wastewater at certain ratios had the highest biomass amount (80% BG11-20% Wastewater), total protein (60% BG11-40% Wastewater) and total carbohydrate (60% BG11-40% Wastewater) percentages. It was determined that the highest DPPH scavenging effect at all concentrations was in 60% BG11-40% wastewater medium with the same pH, chl-*a*, total protein and total carbohydrate amount. The total phenolic amount was observed to be the highest in the 40% BG11-60% wastewater environment, similar to the carotenoid amounts, after the control group. Depending on the cetane number, iodine value and saponification amounts, it was determined that biomass obtained from 60%BG11-40% Wastewater and 20%BG11-80% Wastewater environments had biodiesel potential. It was determined that ethanolic extracts prepared from biomass in different environments had no antibacterial effect on the test bacteria used in the study (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 25922 and *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228).

In conclusion, this study has demonstrated the usability of this species isolated from Sapanca Lake in the field of algae production by supporting the wastewater medium with standard nutrient medium in attempts to improve the high costs of algae cultivation, and the biochemical components of this species have been introduced to the literature. In particular, the fatty acid profile and biological activities of *S. aequicaudatus* have been documented for the first time. *S. aequicaudatus* has been found to have significant potential for the production of food products such as edible oils, protein and starch.



1. GİRİŞ

Dünya üzerinde nüfusun giderek artmasıyla birlikte gıda yetersizliğinden ve gelişmiş ülkelerin yaşam tarzları nedeniyle yüksek kalorili yiyecekler tüketilmesinden kaynaklanan obezite, diyabet, kolesterol ve kardiyovasküler hastalıklar gibi sağlık sorunları meydana gelmektedir. Araştırmacılar, dünya genelinde gıda yetersizliğinin artmasına bir çözüm üretmek amacıyla insan vücudunun ihtiyaçlarını karşılayacak alternatif besleyici ürün arayışı içerisinde. Bu nedenle protein, karbohidrat, yağ asitleri ve doğal pigment gibi zengin besleyici içeriğe sahip olan mikroalgler olan ilgi git gide artmaktadır (Demircan, 2022). Mikroalgler; tek hücreli fotosentez yapabilen, içeriği uzun zincirli çoklu doymamış yağ asitleri, karotenoidler, proteinler, vitaminler, mineraller ve fenolikler gibi moleküller açısından zengin olan canlı grubudur. Bu organizma grubu zengin içeriklerinden dolayı gıda, kozmetik, biyoyakıt ve farmasötik endüstrileri için yenilikçi ve umut vadeden biyobiyosentetik kaynağı olarak araştırılmaktadır (Manning, 2022; Russel ve ark., 2022). Biyokütlelerinden hayvan ve insan beslenmesi, kozmetik ve farmasötiklerden biyodizel, biyogaz ve hidrojen gibi biyoyakıtlara kadar birçok değerli ürün elde edilebilmektedir (Zuliani ve ark., 2016). Bu canlılar yüksek verimlilikleri sayesinde değerli besinlerin alternatif kaynakları olarak kabul edilirler (Vigani ve ark., 2015). Uygun iklim şartlarında tüm sene boyunca üretilebilirler ve geleneksel mahsullerle kıyaslandığında çok daha hızlı büyürler fakat alglerin büyük boyutlu ticari üretimi, geleneksel mahsul üretimiyle kıyaslandığında potansiyel olarak daha maliyetlidir. Alg yetiştiriciliğinde yüksek miktarlarda enerji, su, karbondioksit ve mikro-makro besin maddesi kullanımı gereklidir. Alglerin gelişmeleri için ihtiyaç duydukları temel besinler; azot, fosfor ve potasyum gibi bazı makro ve mikro maddelerdir. Besin tuzlarını CO₂ ile birlikte alarak fotosentez yoluyla biyokütle üretimi gerçekleştirirler (Jalilian ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2021). Bu besin maddelerinin temin edilmesi de yüksek maliyetlere dayanmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda besin maliyetini azaltmak için uygun besin maddesi kaynağı olarak; belediye, endüstriyel ve tarımsal atık suları kullanmaya başlanmıştır (Zhou ve ark., 2018; Ye ve ark., 2020).

Atıksu içerisinde, mikroalg kültürleri için faydalı olan azot ve fosfor gibi bazı bileşikler bulunmaktadır (Chiu ve ark., 2015). Mikroalg büyümesi ve atıksu arıtımının kombinasyonu, mikroalg yetiştiriciliğinin neden olduğu mevcut yüksek maliyetlerin üstesinden gelmek için umut verici bir çözümdür (Kadir ve ark., 2018; de Souza Leite ve ark., 2019). Atıksuların kullanılarak mikroalglerin biyokütle üretmesi ile birlikte atıksularının geri dönüştürülmesi için de bir imkân sunulmuş olur (Wollmann ve ark., 2019).

Yapmış olduğumuz bu çalışmada esas amaç, *Scenedesmus aequicaudatus* türünün atık su ortamında düşük maliyetli olarak yetiştiriciliğinin yapılması ve bu mikroalg türünün farmasötik, kozmetik, gıda, biyoyakıt vb. sektörlerde biyokaynak olarak kullanılabilirlik potansiyelinin açığa çıkarılmasıdır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Algler

Algler temel olarak makroalgler ve mikroalgler olarak iki gruba ayrılır. Makroalgler, tatlı sularda ve denizlerde yaşayan türleri içermesine rağmen çoğunlukla deniz yosunu olarak bilinen, gözle görünen büyük alg popülasyonlarıdır (Ge ve ark., 2018). Mikroalgler ise ökaryotik protistler ve prokaryotik siyanobakterilerden meydana gelen çok büyük bir canlı grubudur (Bello ve ark., 2021). Mikroalgler gözle görülme de kendi aralarında gruplar halinde koloniler oluşturabilirler (Aktar ve Cebe, 2010). Algler, su ekosistemlerinin birincil üretici canlılarıdır ve besin piramidinin önemli bir basamağını oluştururlar (Cirik ve Cirik, 2011). Ayrıca algler güneş ışığından faydalanarak CO₂' i potansiyel biyoyakıtlara, besin maddelerine, yemlere ve yüksek değerli biyoaktif maddelere dönüştüren organizmalardır (Paul Abishek ve ark., 2014).

2.1.1. Alglerin genel özellikleri

Algler tatlı-tuzlu lentik ve lotik sistemlerde, denizlerde ve bazı aşırı koşullara sahip habitatlar da dahil olmak üzere pek çok farklı ekosistemlerde yaşamlarını sürdürebilmektedirler (Sahoo ve Baweja, 2015). Hızlı çoğalıp büyüebilme özelliklerine sahiptirler. Bazı makroskobik alg türleri günde 50 cm'e kadar uzayabilmektedirler (Aktar ve Cebe, 2010). Algler; kök, gövde, yaprak ve vasküler sistemleri bulunmayan organizmalardır (Barsanti ve Gualtieri, 2022). Klorofil içeren, dolayısıyla fotosentez yaparak çoğunlukla kendi besinini kendi üreten ototrofik canlılardır. Mikroalgler kendi içerisinde içerdikleri pigmentlere göre kırmızı, kahverengi ve mavi-yeşil algler gibi adlarla da anılmaktadırlar (Dineshkumar ve ark., 2017). Biyokimyasal içeriğini; karbonhidratlar, proteinler, pigmentler ve yağlar oluşturmaktadır (Sajjadi ve ark., 2018). Yapıları ve yaşadıkları habitat bakımından çeşitlilik gösterdikleri için üreme ve yaşamlarını sürdürebilme stratejilerinde çok fazla çeşitlilik vardır (Sahoo ve Baweja, 2015).

2.1.2. Alglerin besin maddesi içerikleri

Algler içerdikleri; karbonhidrat, protein, lipid, pigmentler (klorofiller, karotenoidler, fikobilinler), çoklu doymamış yağ asitleri ve amino asitler bakımından oldukça zengin

bir yapıya sahiptir. Bunlara ek olarak mineral, vitamin ve polifenoller gibi antibakteriyel, antifungal ve antiviral özelliğe sahip biyoaktif maddeler içerdikleri de tespit edilmiştir. (Arasaki ve Arasaki, 1983; Gökpınar ve ark., 2001; Durmaz ve ark., 2002; Chandini ve ark., 2008).

2.1.2.1. Alglerin karbonhidrat içerikleri

Mikroalgal karbonhidratlar karmaşık yapıya sahiptir. Nötr şekerler, amino şekerler ve üronik asitlerin bir karışımından meydana gelirler ve bu bileşimler türlere ve büyüme koşullarına göre değişiklik gösterir (Templeton ve ark., 2012). Örneğin *Spirulina*'nın hücre duvarı %86 sindirilebilirliğe sahip ve insan vücudu tarafından kolayca absorbe edilebilen polisakkaritlerden oluşmaktadır. (Akyıl ve ark., 2016).

Yeşil makroalgler; glukanlar (selüloz ve nişasta) ve sülfatlanmış polisakkaritler (örneğin ulvan) içerir. Kırmızı makroalgler; agar, karajenan ve glukanlar içerir. Kahverengi makroalgler; mannitol, aljinat ve glukanlar (selüloz ve laminarin) içerir. Yeşil makroalglerin ana karbonhidratları (glukan) nispeten kolay fermente olabilirken, kırmızı ve kahverengi mikroalglerin ana karbonhidratları (kahverengi makroalglerin aljinat ve mannitol, kırmızı makroalglerin 3,6-anhidro-1-galaktozu kolay fermente edilememesi nedeniyle zor olarak kabul edilmiştir (Yanagisawa ve ark., 2013; Kawai ve Murata, 2016).

2.1.2.2. Alglerin protein ve amino asit içerikleri

Protein kaynağı olarak başvuru alan alternatiflerden biri olan mikroskobik tatlı su algleri üreme koşullarına bağlı olarak %16-70 oranında protein içerirler. Yüksek protein değerleri nedeniyle insan ve hayvan besini olarak kullanılmaktadırlar (Katırcıoğlu ve Aksöz, 2003). *Spirulina*, yüksek protein içeriğinden dolayı yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan bir siyanobakteridir. Ham protein içeriği %60 civarındadır. Ayrıca *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* ve *Chlorella pyrenoidosa* türleri kendi hücre kütlelerinin %50' sini aşan miktarda protein içermektedir. Alglerin yüksek protein içeriği pazar değerini arttırmaya katkıda bulunmaktadır (Akyıl ve ark., 2016). Ayrıca birçok tür için, proteinleri oluşturan amino asitlerin büyük bir kısmını aspartik ve glutamik asitler teşkil eder. Aspartik ve glutamik asitler lezzet artırıcı olarak bilinmektedir. *Laminaria japonica* (kombu) Asya'da yaygın olarak kullanılan monosodyum glutamatın (Çin tuzu) orijinal kaynağıdır (MacArtain ve ark., 2007).

Algler; alanin, valin, izolösin, lösin, tirozin, fenilalanin, lizin, arginin gibi birçok amino asidi de içermektedirler (Dawczynski ve ark., 2007).

2.1.2.3. Alglerin lipid ve yağ asidi içeriği

Algler, dünyanın hemen hemen her yerinde dağılım gösteren fotosentetik organizmalardır ve aşırı habitat çeşitliliği nedeniyle çeşitli lipid formları içerirler (Kumari ve ark., 2013). Lipid sınıfları temelde iki gruba ayrılabilir: polar lipidler (fosfogliseritler, glikosilgliseritler) ve polar olmayan lipidler (açılgliseroller, steroller, esterleştirilmemiş yağ asitleri, balmumu ve steril esterler). Alglerin membran lipidleri; glikosilgliseritler, fosfogliseritler ve betain eter lipidleridir. Depolama lipidleri ise triaçılgliserol formundadır (Guschina ve Harwood, 2009; Li-Beisson ve ark., 2019). Çoğunlukla triaçılgliseroller veya hidrokarbonlar şeklinde polar olmayan lipidler biriktirirler ve içerdikleri lipid miktarları kuru hücre ağırlığının %20-%50'sine kadar ulaşabilir (Guschina ve Harwood, 2012). Ayrıca mikroalglerin yapısında nutrasötikler ve gıda takviyeleri olarak kullanılan çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) omega-3 ve omega-6 vardır (Castejón ve Señoráns, 2020).

2.1.2.4. Alglerin içerdiği pigmentler

Alglerden elde edilen önemli maddelerden biri pigmentlerdir (Tüney Kızılkaya ve Bayraktar, 2018). Başlıca alg pigment grupları; klorofiller, karotenoidler ve fikobilinlerdir (Bidigare ve ark., 1990).

Klorofiller yeşilimsi renkte ve porfirin halkası içeren pigmentlerdir. Birçok çeşidi (kl-*a*, kl-*b*, kl-*c*) bulunmaktadır. En önemlisi, fotosentezin kilit elemanı olan klorofil-*a* pigmentidir. Klorofil-*a*'dan sonra en çok bulunan pigment klorofil-*c*, Chromista ve Dinophyta gruplarında bulunur. Bunun dışında yeşil algler ve bitkilerde klorofil-*b* bulunmaktadır (Tüney Kızılkaya ve Bayraktar, 2018).

Karotenoidler, genellikle kırmızımsı-turuncu renklidir. Bu bileşikler, birbirine karbon zinciriyle bağlı iki küçük 6 karbonlu halkadan oluşmuştur. Suda çözünmezler. Güneş enerjisinden gelen enerjiyi doğrudan fotosentetik yolağa sokamazlar ancak absorbe ettikleri enerjiyi klorofile aktarabilirler. Bu nedenle de yardımcı pigment olarak adlandırılırlar (Tüney Kızılkaya ve Bayraktar, 2018).

Fikobilinler ise suda çözünebilen pigmentlerdir. Genellikle siyanobakteriler ve kırmızı alglerde bulunurlar (Tüney Kızılkaya ve Bayraktar, 2018).

2.1.2.5. Alglerin içerdiği vitaminler

Alglerin içermiş olduğu zorunlu vitaminler (A, B1, B2, B6, B12, C, D, E, K, nisin, biyotin, folik asit ve pantotenik asit), bu organizmaların besin değerinin artmasına katkıda bulunurlar. Ayrıca *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis oculata*, *Spirulina platensis*, *Tetraselmis suecica*, *Euglena gracilis* ve *Undaria pinnatifida* gibi alg türleri bu vitaminlere ek olarak E ve C vitamini üretmektedirler (Akyıl ve ark., 2016; Alçay ve ark., 2017).

2.1.2.6. Alglerin içerdiği mineraller

Algler bünyelerinde dengeli miktarlarda kalsiyum, fosfor, magnezyum, sodyum, demir, krom, klorür, potasyum, germanyum, çinko, manganez, bakır, selenyum, molibden ve iyot gibi birçok minerali barındırır (Polat ve Polat, 2022).

2.1.3. Alglerin antioksidan özellikleri

Algler fotosentetik organizmalar olduğu için, yüksek oksijen konsantrasyonlarına ve ışığa maruz kaldıklarında serbest radikaller ve diğer oksidatif reaktifler üretirler. Yapısal hasarların gerçekleşmemesi için bu organizmalarda kendilerini oksidasyona karşı korumak amacıyla üretilen, antioksidan aktivite gösteren maddeler bulunmuştur. Bu nedenle algler, vücudun normal metabolizması sonucu üretilen reaktif oksijen türlerinin zararlı etkisine karşı vücudumuzu korumak için de uygun olabilecek güçlü bir antioksidan bileşik kaynağıdır. Alg antioksidanları; karotenoidler ve E vitamini (a-tokoferol) gibi çok farklı bileşikler içerir. Vitaminler, fikobiliproteinler ve polifenoller suda çözünen güçlü antioksidanlardır (Ikeda ve ark., 2003; Ina ve Kamei, 2006; Munir ve ark., 2013; Stabili ve ark., 2023).

Günümüz dünyasında, sentetik antioksidanlar sağlık için güvenlik endişeleri oluşturmaları sebebiyle doğal antioksidanlar git gide önem kazanmıştır ve günümüzde algler bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır (Stabili ve ark., 2023).

2.1.4. Alglerin antibakteriyel özellikleri

Mikroalglerin antibakteriyel aktiviteleri üzerinde çoklu doymamış yağ asitleri ve kolesterol gibi bazı bileşikler önemli bir rol üstlenmektedir. Bu canlıların göstermiş olduğu antibakteriyel aktivite, zincir uzunluğuna ve doymamışlık derecesine bağlı olduğundan serbest yağların göstermiş olduğu kompozisyon ve konsantrasyon miktarları çok önemlidir (Akyıl ve ark., 2016). Araştırmacılar tarafından yapılan bazı çalışmalarda farklı türdeki alglerin antimikrobiyal aktiviteleri araştırılmış ve çeşitli

bakteri türlerini inhibe edici etkilerinin olduğu bildirilmiştir (Demiriz, 2008). *Chlorella* ve *Scenedesmus* cinsinden yeşil mikroalgler, özellikle antimikrobiyal aktiviteye sahip çok çeşitli biyoaktif bileşiklerin değerli kaynaklarıdır. Birçok çalışmada her iki türün de farklı patojenik bakteri türlerine karşı antimikrobiyal aktivitesi bildirilmiştir (Jafari ve ark., 2018, Zielinski ve ark., 2020).

2.1.5. Alglerin kullanım alanları

Mikroalgler; yağ asitleri, proteinler, pigmentler ve vitaminler bakımından oldukça zengin bir içeriğe sahip olan mikroskobik organizmalardır (Hoppe ve ark., 1979). Bu canlılardan ilk olarak içerdikleri pigmentler nedeniyle Roma imparatorluğunda Virjil ve Heros zamanında, kozmetik alanında renk maddesi olarak yararlanılmıştır. Alglerin bilinen en eski diğer bir kullanım alanı ise gübre yapımıdır. Bu amaçla en çok Uzak Doğu'da kullanılmıştır (Cirik, 1981).

Yine günümüzde insanların ve hayvanların beslenmesinde, ilaç sektöründe, yenilenebilir kaynakların üretimi, su kalitesinin değerlendirilmesinde, geri kazanılmış su eldesi, enerji amaçlı bir biyokütle kaynağı (biyometan, biyodizel, biyohidrojen), biyogübre ve biyopestisit olarak kullanılmaktadırlar (Şekil 2.1.) (Piwowar ve Harasym, 2020; Dalrymple ve ark., 2013; Patrick, 1973).



Şekil 2.1. Mikroalglerin kullanım alanları.

Ayrıca alg içeriğine göre: alg biyokütlesinden; biyoetanol, biyogaz veya biyoyağ; lipitten biyodizel; karbonhidrattan biyoetanol veya biyodizel; proteinden biyogaz veya biyodizel; CO₂ ve H₂O'dan biyohidrojen gibi çeşitli maddeler elde edilebilmektedir (Çalışkan Eleren ve Öner, 2019). Mikroalgelere ait birincil metabolitler arasında yer alan lipidler, sıklıkla biyoyakıt üretimi, gıda takviyesi ve hayvan yemi amaçlarıyla değerlendirilmektedir. Farklı biyoyakıt çeşitleri içerisinde, yenilenebilir, biyolojik olarak parçalanabilir ve çevre dostu bir seçenek olan biyodizel; fosil kökenli dizel yakıtlara alternatif olarak öne çıkmakta ve araştırmacıların ilgisini çekmektedir (Saidi ve Jahangiri, 2017; Moradi ve Saidi, 2022). Atık su destekli mikroalg üretiminin lipid verimini artırdığı ve bu alglerin biyodizel üretimi açısından yüksek potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, üretim maliyetlerini azaltma amacı doğrultusunda son yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, ağırlıklı olarak atık su kullanılarak yapılan üretim sistemlerine odaklanmıştır (El-Sheekh ve ark., 2017; Sharma ve ark., 2018; Lutz ve ark., 2021). Atık su kullanılarak yapılan bir çalışmada, *Scenedesmus obliquus* türü mikroalglerin biyodizel üretimi için ideal lipid içeriği ile yetiştirildiği ve biyodizel üretimi için verimli bir kaynak sağladığı tespit edilmiştir (Álvarez-Díaz ve ark., 2015). Başka bir çalışma, atık su kullanımının biyoyakıt üretimi için çevresel ve ekonomik açıdan uygun bir seçenek sunduğunu vurgulamaktadır (Şirin ve Sillanpaa, 2015). *Nannochloropsis oculata* türü mikroalglerin, zengin lipid içeriği sayesinde biyodizel üretiminde yüksek verim sağladığı belirlenmiştir. Çalışmada, uygun ışık koşulları ve azot sınırlaması uygulanan kültürlerde lipid birikiminin önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir (Rodolfi ve ark., 2009). Yapılan bir diğer çalışmada ise, *Scenedesmus dimorphus* türü mikroalglerin fotobiyoreaktörde yetiştirilmesi sonucunda yüksek düzeyde biyokütle ve lipid üretildiği gözlemlenmiş; bu lipidlerin transesterifikasyonu ile kaliteli biyodizel elde edilmiştir (Zhang ve ark., 2015). *Chlorella vulgaris* türü mikroalglerin atık su ortamında yetiştirilmesiyle hem su arıtımı sağlandığı hem de elde edilen biyokütleden başarılı bir şekilde biyodizel üretildiği bildirilmiştir. Araştırma, çevresel sürdürülebilirliği destekleyen bir yaklaşım olarak alg tabanlı sistemlerin potansiyelini vurgulamaktadır (Mohan ve ark., 2015).

Mikroalgler, yenilenebilir enerji, nutrasötikler, farmasötikler ve diğer yüksek değerli endüstriyel ürünler için umut verici bir hammaddedir. Mikroalgler, amino asit bileşimine, protein kalitesine ve sindirilebilirliğe dayalı alternatif bir "protein mahsulü" olarak da kullanılabilir (Shahid ve ark., 2020).

2.1.6. Alglerin sınıflandırılması

Algler genellikle mikroalgler ve makroalgler olarak boyutlarına göre sınıflandırılması yapılan heterojen bir organizma grubudur (Abubakar ve ark., 2012; Leal ve ark., 2013; Şirinyıldız ve Yorulmaz, 2022). Birçok alg bölümünün (divisio) ortak adı o kategoride bulunan canlı grubunun rengine atıfta bulunur (Doyle, 1970).

Makroalgler ve mikroalgler, Chlorophyta (yeşil algler), Cyanobacteria (mavi-yeşil algler), Bacillariophyta (diatomlar), Chrysophyta (altın algleri), Cryptophyta, Euglenophyta, Dinoflagellata, Haptophyta, Rhodophyta (kırmızı algler) ve Phaeophyta (kahverengi algler) olarak sınıflandırılmaktadırlar (Kawai ve Murata, 2016; Özlü, 2019).

2.1.7. *Scenedesmus* sp. genel özellikleri

Chlorophyta (Yeşil algler) grubunda yer alan *Scenedesmus* sp.'nin sistematik kategorisi şu şekildedir:

Alem: Plantae

Altalem: Viridiplantae

Grup: Chlorophyta

Sınıf: Chlorophyceae

Takım: Sphaerosleales

Aile: Scenedesmaceae

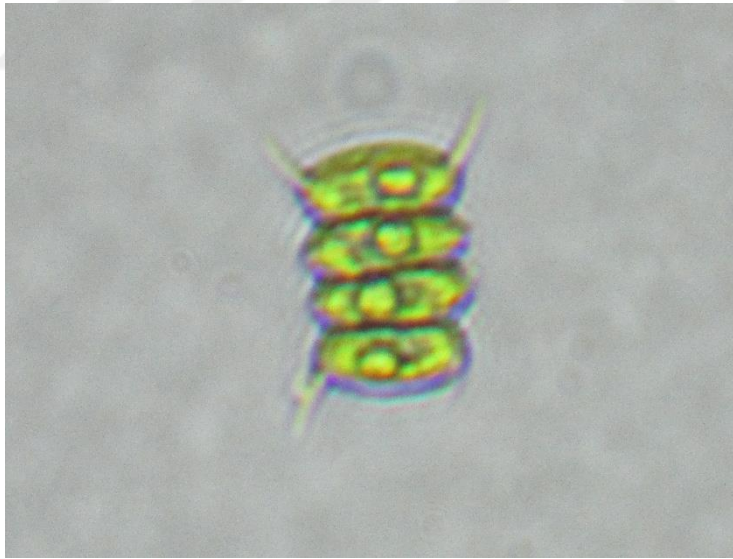
Cins: *Scenedesmus*

Genel olarak tatlı sularda dağılışı gösteren Chlorophyta sınıfı alglerinin yaklaşık %10'u denizel ortamlarda yaşamlarını sürdürmektedir (Kılıç, 2017). Bu sınıfa ait türlerin çoğunluğu sucul olmasına rağmen kar üzerinde, ağaçların gövdelerinde ve toprakta simbiyotik olarak yaşayanları da mevcuttur (Kurusakız, 2020). Bu organizmaların hücreleri mekik şeklindedir ve bu sınıfın üyeleri tek hücreli olarak veya 2, 4, 8, 16' lı koloniler halinde yaşamlarını sürdürürler. Göz ve kamçı yapısı bulunmaz fakat bazı türlerinde sayısı ve şekli değişen boynuzsu çıkıntılar mevcuttur (Mercado ve ark., 2020). Ek olarak bu organizmalarda birer adet kromotofor, pirenoid ve çekirdek bulunmaktadır (Güner ve Aysel, 2009). *Scenedesmus* cinsine ait mikroalglerin yapısı; lipit, protein ve lutein bakımından oldukça zengindir (Güner ve Aysel, 2009). Bu cinse ait türlerin biyokütlesinde bulunan protein oranı genellikle %50-%53 arasındadır. Hücre çeperi hücre ağırlığının yaklaşık olarak %5-%6'sını oluşturmaktadır. Hücre çeperinin içeriğini kuru ağırlık olarak %31 hemiselüloz, %28 selüloz, %14 protein,

%9 lipid, %1,7 pektin oluşturmaktadır. Hücrenin şeklini koruyan ve ona dayanıklılık veren çeper içerisindeki polisakkaritler; glikoz, galaktoz ve mannozdur (Jakobsson ve Svantesson, 2019). Türlerin sahip olduğu toplam yağ asidi miktarı genellikle kuru ağırlığın yaklaşık olarak %5’idir. Ancak yapılan bazı çalışmalarda bu toplam yağ asidi içeriğinin %70’ lere kadar ulaştığı da ileri sürülmüştür. *Scenedesmus* türlerinin hidrojenaz enzimi üretme kabiliyetleri vardır. Nişasta hidroliz edileceği durumda ekstraselüler amilaz salgırlar. Üremeleri genellikle eşeysiz olarak otokoliyel olarak veya zoosporlar ile gerçekleşir (Borowitzka ve Borowitzka, 1992).

Bu cinse ait mikroalgler hızlı büyüme özelliğine sahiptir ve 10°C ile 40°C arasında geniş bir sıcaklık skalasında yaşamlarını sürdürebilirler. Ayrıca 7-9,5 pH aralığında hayatta kalabilirler (Jakobsson ve Svantesson, 2019). Zorlu çevresel koşullara karşı dayanıklı olmaları sayesinde bu türlerin kültür yetiştiriciliği kolay yapılmaktadır. *Scenedesmus* cinsine ait türler ilk kültürü yapılan mikroalgler arasında yer alır (Kılıç, 2017).

Bu tez çalışmasında kullanılan tür *Scenedesmus aequicaudatus* (Şekil 2.2.) bu cins içine dahil edilir.



Şekil 2.2. *Scenedesmus aequicaudatus* alginin ışık mikroskobu görüntüsü.

2.2. Atık Su

Mikroalglerin yetiştiriciliği için kullanılan besin tuzlarının fiyatları, bu organizmalardan elde edilen biyokütlenin yüksek maliyetinin ana sebeplerinden biridir. Bu nedenle mikroalglerin endüstriyel yetiştiriciliği için sınırlayıcı bir faktördür. Atıksular sahip oldukları yüksek besin içeriği nedeniyle düşük maliyetle besin elde etmek için

alternatif bir çözüm gibi görünmektedir, bu da biyoyakıt üretiminin atıksu arıtımı ile birleştirilmesi olasılığını düşündürmektedir (Oswald ve ark., 1957; Pittman ve ark., 2011; Koller ve ark., 2012; Zuliani ve ark., 2016). Dolayısıyla, atık türetilmiş substratlardan yararlanarak mikroalg yetiştiriciliğinin maliyetlerini düşürmeye yönelik olası çözümler tanımlanabilir (Zuliani ve ark., 2016).

Atıksudaki mikroalglerin verimli büyüüp gelişebilmeleri çeşitli değişkenlere bağlıdır. Herhangi bir büyüme ortamında olduğu gibi, mikroalglerin büyümesi üzerinde etkili olan kritik değişkenler; ortamın pH'ı ve sıcaklığı, azot (N), fosfor (P) ve organik karbon (ve bu bileşenlerin oranları) dahil olmak üzere temel besin maddelerinin konsantrasyonu ve ışığın belli şiddet ve sürelerdeki varlığıdır (Pittman ve ark., 2011). Atıksu ortamı ile diğer büyüme ortamları arasındaki önemli bir fark, atıksudaki N ve P gibi maddelerin yüksek besin konsantrasyonudur. Azotun çoğu genellikle yüksek konsantrasyonda alg büyümesini engelleyebilen amonyak formundadır (Ip ve ark., 1982; König ve ark., 1987; Wrigley ve Toerien, 1990; Pittman ve ark., 2011). Kadmiyum veya civa gibi toksinlerin veya organik kimyasalların varlığı, atıksudaki alg büyümesi üzerinde etkili olan bir başka kritik faktördür. Bu durum özellikle endüstriyel kaynaklı atıksularla alg yetiştiriciliğinde bir sorun teşkil edebilmektedir (Lau ve ark., 1995).

Alg büyümesini olumsuz etkileyebilecek biyotik faktörler arasında patojenik bakteriler ve yırtıcı zooplankton türleri bulunur. Bunlara ek olarak, atıksudaki diğer mikroorganizmalar, temel besinler için mikroalglerle rekabet edebilir. Atıksudaki mikroalglerin başlangıç yoğunluğunun da tüm popülasyonun büyümesi için kritik bir faktör olması muhtemeldir (Lau ve ark., 1995).

Farklı alg türlerinin belirli bir atıksu durumunu tolere etme yeteneklerinde farklılıklar olacaktır. Tek hücreli klorofitik mikroalglerin birçok atıksu koşuluna özellikle toleranslı olduğu ve atıksudan besin biriktirmede çok verimli olduğu gösterilmiştir (González ve ark., 1997; Aslan ve Kapdan, 2006; Ruiz-Marin ve ark., 2010; Pittman ve ark., 2011).

2.3. Çalışmanın Amacı

Yapılan bu çalışmada atıksu ortamında mikroalg yetiştiriciliği yapılarak, yüksek yetiştiricilik maliyetlerinin düşürülmesi amaçlanmıştır. *Scenedesmu aequicaudatus* mikroalgi; %100 BG11 medium, %80 BG11: %20 Atıksu, %60 BG11: %40 Atıksu,

%40 BG11: %60 Atıksu, %20BG11: %80 Atıksu, %100 Atıksu ortamlarında yetiştirilip elde edilen biyokütellerin biyokimyasal içerikleri (klorofil-*a*, klorofil-*b*, toplam karotenoid, toplam protein, toplam karbohidrat, toplam lipid) ve antioksidan aktivitesi ile antibakteriyel aktivitesi üzerindeki etkisi incelenmiştir. *Scenedesmus aequicaudatus* alginin biyodizel potansiyelinin değerlendirilmesi için yağ asidi içeriğine bakılarak; setan sayısı, iyot değeri (IV), ve oksidasyon stabilitesi gibi biyodizel kalitesini etkileyen ana parametreler tespit edilmiştir. Sürdürülebilir geri dönüşümün sağlanması için atıksuyun NO₂-N, NO₃-N ve PO₄-P miktarlarının ne kadarının bu alg tarafından ortamdaki temizlendiği belirlenmiştir.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Çalışma Materyali

Çalışmada kullanılan evsel atıksu, Sakarya Büyükşehir Belediyesi'ne bağlı Adapazarı ilçesinde yer alan Karaman Atıksu Arıtma Tesisi'nden Kasım 2023 tarihinde temin edilmiştir (Şekil 3.1.). Belirli oranlarda kültür ortamında kullanılacak olan atıksu örnekleri, mikroalglerin monospesifik kültürlerini sağlamak ve bakteriyel kontaminasyonu önlemek için 1,2 µm gözenek boyutuna sahip Whatman filtre kağıdından süzölmüş (Şekil 3.2.) ve 1 atmosfer buhar basıncında 121°C'de 20 dakika boyunca otoklavlanmıştır.

Çalışmada kullanılan *Scenedesmus aequicaudatus* (Hortobágyi) algi Sapanca Gölü'nden (40° 44' 06" N, 30° 19' 07" E) 2023 Mayıs ayında izole edilerek Sakarya Üniversitesi Alg kültür yetiştiriciliği laboratuvarında kültüre alınmıştır. Tür Huber-Pestalozzi (1983) teşhis kitabı kullanılarak tanımlanmıştır ve Sakarya Üniversitesi Bitki Fiziolojisi ve Alg Kültürü Laboratuvarı'nda aksenik koşullar altında BG11 Medium'da (Rippka ve ark., 1979) yetiştirilmeye devam edilmektedir.



Şekil 3.1. Karaman Atıksu Tesisi ve su örneği toplama süreci.



Şekil 3.2. Atıksu filtrasyonunda kullanılan sistem.

3.2. Kullanılan Cihazlar

Yapılan bu çalışmada kullanılan cihazlar Tablo 3.1.' de verilmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan cihazlar.

Cihaz	İşlev	Marka
Buzdolabı	Numune ve çözeltilerin saklanması	Beko
Etüv	Kurutma ve sterilizasyon	Nüve
Hassas terazi	Tartım	Schimadzu SLB 320
Istıcılı manyetik karıştırıcı	Çözelti hazırlanması	Dragon med M 10068
İklimlendirme kabini	Alg kültürü	Dev/Pet
Soğutuculu mikrosantrifüj	Süpernatant eldesi	Centrion scientific K3
Soğutuculu santrifüj	Pelet eldesi	Nüve
Spektrofotometre	Absorbans ölçümü	Shimadzu mini UV 1240
Mikropipet	Enzim analizleri	Nichipet (100-1000 µL)
Mikropipet	Enzim analizleri	Eppendorf (10-100 µL)
Mikropipet	Solüsyon hazırlanması ve enzim analizleri	Eppendorf (1-10 mL)
Otoklav	Sterilizasyon	Alp
pH metre	pH ölçümleri	Metler Toledo
Ultrasonik banyo	Ekstraksiyon	Wisd WiseClean

3.3. Metot

3.3.1. Hücre kültürünün hazırlanması

Scenedesmus aequicaudatus suşu aksenik koşullarda hazırlanmış BG11 ortamında (Rippka ve ark., 1979) yetiştirilmiştir (Tablo 3.2.). 300 mL alg kültürü steril olarak hazırlanmış 2700 mL kültür besiyerine inoküle edilerek iklimlendirme kabininde $25\pm 1^{\circ}\text{C}$ 'lik sıcaklıkta, $93 \mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (12 saat aydınlık, 12 saat karanlık) 10 gün inkübasyona bırakılmıştır.

Tablo 3.2. BG11 ortamı içeriği (Rippka ve ark., 1979).

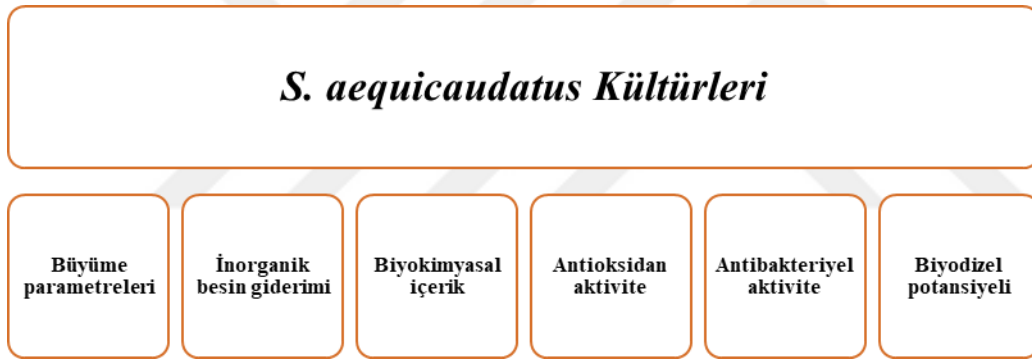
Bileşik	Miktar
NaNO_3	$1,5 \text{ g L}^{-1}$
NaHCO_3	1 g L^{-1}
K_2HPO_4 (1M)	$0,2 \text{ mL L}^{-1}$
BG11 konsantre stok solüsyonu	10 mL L^{-1}

3.3.2. Deney ortamı ve düzeneği

Deney öncesi alg kültürleri 10 gün boyunca iklimlendirme kabininde adaptasyona bırakılmıştır. *Scenedesmus aequicaudatus* deney ortamı hazırlanırken, evsel atıksu 5 L'lik kavanozlara 3 tekrarlı olarak önceden hesaplanan oranlarda (%80 BG11-%20 Atıksu, %60 BG11-%40 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu, %20BG11-%80 Atıksu, %100 Atıksu) homojenize edilerek hazırlandı. Ayrıca pozitif kontrol olarak da BG11 ortamında (%100 BG11) yetiştirildi. Her bir tekrar grubunda 2700 mL hacim karıştırıldı. Adaptasyonda 10. gününü tamamlayan *Scenedesmus aequicaudatus* kültürü test gruplarına 300 mL ekilerek toplam hacim 3000 mL'ye tamamlandı. Bu sayede adaptasyondaki koşullara uygun bir deney grubu (1/10) oluşturuldu (Şekil 3.3.). Hazırlanan deney gruplarıyla ilgili yapılan çalışmalar Şekil 3.4' de verilmiştir. Her 10 günde bir test grubu santrifüjlenerek elde edilen yaş biyokütleler 40°C 'de kurutulmak üzere inkübasyona bırakıldı. Toplanan biyokütleler ileriki analizler için kullanılmak üzere $+4^{\circ}\text{C}$ ' de saklandı.



Şekil 3.3. Farklı konsantrasyonlarda atıksu ile hazırlanan *S. aequicaudatus* kültürleri.



Şekil 3.4. *S. aequicaudatus* kültürleri ile yapılan deneyler.

3.4. Ölçümler ve Analizler

3.4.1. İnorganik besin tuzu giderimi

3.4.1.1. Nitrit azotu (NO₂-N) analizi

NO₂-N konsantrasyonu; su örneklerinin standart metotlara göre spektrofotometrik olarak ölçülmesi sonucu belirlenmiştir. Bu analiz için seriler; 0, 0.5, 1, 1.5 ve 2 mL olarak kullanılmıştır (Şekil 3.5.). Serilerin bulunduğu erlenlere 50 mL distile su konulmuştur ve erlenlerden sırayla 0, 0.5, 1, 1.5, 2 mL su çıkartılıp yerine çıkarılan su miktarı kadar çalışma solüsyonu eklenmiştir. Kullanılan çalışma solüsyonu, stok solüsyonunun 1:1000 oranında seyreltilmesi ile hazırlanmıştır (99,9 mL saf su + 0,1 mL stok solüsyonu). Stok solüsyonu ise 2,482 g sodyum nitritin (NaNO₂) 1 L saf suda

çözünmesiyle hazırlanmıştır. Analizi yapılacak örneklerin konulduğu diğer erlenlere ise 0,5 örnek ve 49,5 distile su konularak 1:100 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra hem serilere hem örneklerle 1 mL sülfanilamid solüsyonu eklenerek 5 dk beklenmiştir. 1 mL N (1-naftil) etilin-diamin solüsyonu eklenip ve karıştırmıştır. 10 dk beklendikten sonra 550 nm dalga boyunda absorbans ölçümü yapılmıştır. 10. günün ölçümleri tamamlandıktan sonra süzülen besiyeri örneklerine NO₂-N analizi yapılmıştır.



Şekil 3.5. Nitrit azotu (NO₂-N) analizi.

3.4.1.2. Nitrat azotu (NO₃-N) analizi

NO₃-N konsantrasyonu; su örneklerinin standart metotlara göre spektrofotometrik olarak ölçülmesi sonucu belirlenmiştir. Bu analiz için kullanılan seriler; 0, 0.25, 0.5, 1, 2 ve 3 mL olarak kullanılmıştır (Şekil 3.6.). Serilere yazan miktarlarda çalışma solüsyonu konulmuştur ve saf su eklenmemiştir. Çalışma solüsyonu, stok solüsyonunun 1:10 seyreltilmesi ile hazırlanmıştır (9 mL saf su + 1 mL stok solüsyonu). Stok solüsyonu 0,722 gr potasyum nitratın (KNO₃) 1 L distile suda çözülerek hazırlanmıştır. Analizi yapılacak örneklerin konulduğu diğer erlenlere 0,5 örnek ve 49,5 distile su konularak 1:100 oranında seyreltilmiştir. Daha sonra hem serilere hem örneklerle 1 mL Na-salisilat solüsyonu eklenmiştir ve bir gece 95°C'de etüvde kuruyana kadar bekletilmiştir. Ertesi gün üzerlerine 1 mL H₂SO₄ eklenerek iyice çalkalanmıştır. Ardından 50 mL distile su eklenmiştir. Sonrasında 7 mL NaOH-

tartarat çözeltisi eklenmiştir. Örneklere distile su ilavesi yapılarak toplam 100 mL'ye tamamlanır (42 mL distile su). İyice karıştırıldıktan hemen sonra 420 nm dalga boyunda absorbans değeri ölçülmüştür. 10. günün ölçümleri tamamlandıktan sonra süzülen besiyeri örneklerine $\text{NO}_3\text{-N}$ analizi yapılmıştır.



Şekil 3.6. Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) analizi.

3.4.1.3. Ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) analizi

$\text{PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonu, su örneklerinin standart metotlara göre spektrofotometrik olarak ölçülmesi sonucu belirlendi. Bu analiz için seriler; 0, 0.25, 0.5, 1, 2 ve 5 mL olacak şekilde kullanılmıştır (Şekil 3.7.). Serilere 50 mL saf su konulmuştur ve erlenlerden sırayla 0, 0.25, 0.5, 1, 2, 5 mL saf su çıkartılmıştır. Çalışma solüsyonu, stok solüsyonunun 1:1000 oranında seyreltilmesi ile hazırlanmıştır (99,9 mL saf su + 0,1 mL stok solüsyonu). Stok solüsyonu 24,393 gr potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) + 800 mL saf su +1 mL sülfürik asit (H_2SO_4) ile hazırlanıp 1 L'ye tamamlanmıştır. Çıkarılan saf su yerine aynı miktarlarda çalışma solüsyonu eklenmiştir. Diğer erlenlere ise 50 mL örneklerden konulmuştur. Sonrasında hem serilere hem de örneklere 5'er mL çözelti karışımı eklenip karıştırılmıştır. Çözelti karışımı 100 mL amonyum molibdat çözeltisi, 250 mL sülfürik asit çözeltisi, 100 mL askorbik asit çözeltisi ve 50 mL potasyum antimonil tartarat çözeltisi eklenerek hazırlanmıştır. 5 dk beklendikten sonra 720 nm dalga boyunda absorbans değeri

ölçülmüştür. 10. günün ölçümleri tamamlandıktan sonra süzülen besiyeri örneklerine PO₄-P analizi yapılmıştır.



Şekil 3.7. Ortofosfat (PO₄-P) analizi.

3.4.2. Büyüme parametreleri (OD, Klorofil-*a*) ve pH

Scenedesmus aequicaudatus alginin gelişim parametreleri OD₆₈₀ ve klorofil-*a* analizleriyle belirlenmiştir. 10 gün boyunca hergün 1/10 oranında seyreltme yapılan alg kültürlerinin spektrofotometrede 680 nm'deki (100 µL kültür, 900 µL saf su) absorbansları ölçülmüştür. Kör çözelti olarak saf su kullanılmıştır.

Klorofil-*a* ölçümü için 1/10 oranında saf metanol ile ekstraksiyon yapılmıştır (100 µL kültür, 900 µL saf metanol). Bunun için 1 dk vortekslenen örnekler 2 dk 13.800 rpm ve +4°C'de mikrosantrifüj ile santrifüjlenmiştir. Daha sonra spektrofotometrede 665 nm dalga boyunda absorbansda ölçülmüştür. Kör çözeltisi olarak saf metanol kullanılmıştır (Mackinney, 1941). Ölçümler 10 gün boyunca her 24 saatte bir yapılmıştır. Ayrıca deney gruplarının pH ölçümleri masaüstü pH metre (HI 2211pH-HANNA) kullanılarak deney süresince her gün takip edilmiştir.

3.4.3. Kuru alg biyokütlesi

Alg biyokütlesi, 10 günlük kültürlerin Whatman GF/C filtre kağıdından vakum filtrasyonu ile elde edilmiştir. Daha sonra, kuru alg biyokütlesi Whatman kağıdı

üzerinde 35°C'de 24 saat boyunca fanlı bir etüvde kurumaya bırakılmıştır. Böylece 1 L sıvı kültürdeki kuru biyokütle (mg) mg L⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

3.4.4. Toplam pigment analizi

Örneklerin kuru biyokütledeki pigmentlerinin (klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam karotenoid) belirlenmesi spektrofotometrik olarak Tavakoli ve ark. (2021) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ekstraktlar, kurutulmuş örneklerden %70 etil alkol kullanılarak 1 mg mL⁻¹ konsantrasyonlarında hazırlanmıştır. Örneklerin absorbansları spektrofotometre ile 470, 648 ve 664 nm'de ölçülmüştür. Klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam karotenoid miktarları (mg g⁻¹ kurutulmuş ekstrakt) aşağıdaki eşitliklere (3.1., 3.2. ve 3.3.) göre hesaplanmıştır.

$$Kl-a = 13,36 \times A_{664} - 5,19 \times A_{648} \quad (3.1.)$$

$$Kl-b = 27,43 \times A_{648} - 8,12 \times A_{664} \quad (3.2.)$$

$$\text{Toplam karotenoid} = \frac{1000 \times A_{470} - 1,63 \times Kl-a - 104,96 \times Kl-b}{221} \quad (3.3.)$$

3.4.5. Toplam protein analizi

Toplam protein, Bradford (1976) yöntemi değiştirilerek uygulanmıştır. 0,01 kuru alg biyokütlesi 2 mL 0,031 M Sitrata-Fosfat tamponu (pH: 5,5) çözeltisi ile homojenize edilmiştir. Homojenize edilmiş numuneler +4°C'de 14.000 rpm'de 20 dk boyunca santrifüjlenmiştir ve süpernatantları ayrılmıştır. Karışım, süpernatantlara 0,031 M Sülfata-Fosfat tamponu (pH:5,5) ve %0,01 Coomassie Brilliant Blue G-250 eklenerek hazırlanmıştır. Protein miktarlarının belirlenmesi hazırlanan standart çizelge (bovin serum albumin) kullanılarak mg g⁻¹ cinsinden hesaplanmıştır.

3.4.6. Toplam karbohidrat analizi

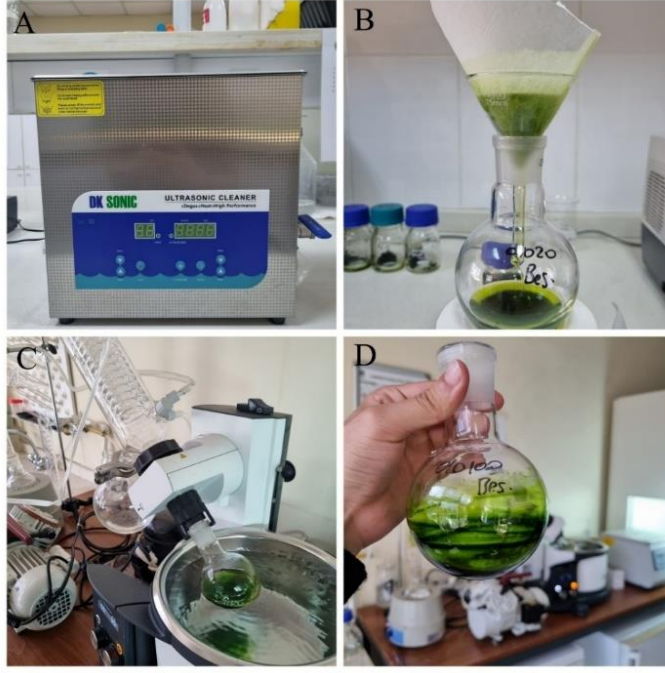
Karbohidrat miktarının belirlenmesinde Fenol-Sülfürik Asit Yöntemi kullanılmıştır (Kochert, 1975). 0,5 mg mL⁻¹ konsantrasyondaki 1 mL alg numunesi, 3 mL konsantre sülfürik asit ile karıştırılmıştır ve 1 mL %5 fenol ilave edildi. Karışım daha sonra 90°C'deki su banyosunda 5 dakika inkübe edildi ve absorbansı 490 nm'de ölçülmüştür. Hazırlanan d-glukoz standart grafiği kullanılarak örneklerin karbohidrat içerikleri hesaplanmıştır.

3.4.7. Toplam lipid içeriğinin belirlenmesi

Öğütülmüş alg örnekleri üzerine 3 mL ekstraksiyon solüsyonu (kloroform-metanol ((v/v) 2:1)) şişeye eklenerek 24 saat 27°C de karıştırıldı. Üzerine 1 mL distile su ilave edilerek 5000 rpm de 10 dk santrifüj edildi. Üst faz metanol ve suyu, alt faz kloroform ve lipidi içermektedir. Üst faz atılarak 2 mL ekstraksiyon solüsyonu eklenmiştir ve 2 saat süreyle ekstraksiyon yöntemi tekrarlanmıştır. Daha sonra süpernatant faz ve geri kalan mikroalg biyokütlesi ayrılarak kloroform, 50 °C de evaporatörde uzaklaştırılmıştır. Ekstrakte edilen lipidin ağırlığı, kloroformun tamamen buharlaştırılmasından sonra şişenin ağırlığı ile şişenin başlangıç ağırlığı arasındaki farka göre belirlenmiştir.

3.4.8. Ekstraksiyon metodu

10 günlük büyümenin ardından, filtrelenen kültürlerden elde edilen biyokütle distile su ile yıkanarak ortamdaki arındırılmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon metoduyla sabit 30 kHz (f) frekansında 100 W maksimum güç (W) sağlayan bir ultrasonik banyo kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 3g mikroalg biyokütlesine 100 mL metanol eklenmiş ve 12 saat boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra ultrasonik banyoya yerleştirilen karışımlar 100 W güç uygulanarak 60 dk boyunca ekstrakte edilmiştir (Tavakoli ve ark., 2021). Örnekler filtre kağıdından süzülmüştür. Daha sonra çözücüleri döner buharlaştırıcıda 50°C'de vakum altında uzaklaştırılmıştır (Şekil 3.8.). Ekstraktlar stok olarak hazırlanmıştır (10 mg mL⁻¹ konsantrasyonda) ve deneye kadar +4°C'de saklanmıştır (Semerci ve ark., 2020).



Şekil 3.8. Ekstraksiyon aşamaları.

3.4.9. Toplam fenolik madde (TPC) miktarının belirlenmesi

Toplam fenolik madde tayini Folin-Ciocalteu Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Folin-Ciocalteu yöntemi modifiye edilerek çalışılmıştır. Hazırlanan ekstraktan 100 mL alınarak, 200 mL %50'lik Folin-Ciocalteu reaktifi eklenmiş ve 2 dk bekletilmiştir (%50'lik Folin-Ciocalteu reaktifi: 1000 mL distile su ile 1000 mL Folin-Ciocalteu reaktifi karıştırılarak hazırlanmıştır). Üzerine 1 mL %2'lik Na_2CO_3 çözeltisi ilave edilerek 1 saat karanlıkta bekletilmiş ve 760 nm'de absorbansları okunmuştur. Örneğin toplam fenolik madde içeriği Gallik Asit Standart'ı kullanılarak mgGA mg^{-1} cinsinden hesaplanmıştır (Singleton ve Rossi,1965).

3.4.10. 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH) analizi

DPPH radikal süpürme aktivitesini belirlemek için modifiye Blois yöntemi kullanılmıştır (Blois, 1958). En çok kullanılan antioksidan analizlerinden biridir. 1 mL alg ekstraktıyla 1 mL %0,04'lük DPPH çözeltisi ile karıştırılıp vortekslenmiştir (%0,004'lük DPPH çözeltisi: 20 mg 2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl reaktifi 500 mL metanol ile çözülerek elde edilmiştir). 30 dk oda koşullarında karanlıkta bekletildikten sonra 517 nm'de absorbans değeri ölçülmüştür. Kontrol 1 mL DPPH çözeltisine 1 mL %70'lik metanol eklenerek hazırlanmıştır.

Antioksidan aktivite aşağıdaki eşitliğe (3.4.) göre hesaplanmıştır:

$$\text{DPPH giderme aktivitesi} = \frac{\text{kontrol} - \text{örnek}}{\text{kontrol}} \times 100 \quad (3.4.)$$

3.4.11. GC-MC analizi

Hazırlanan metanolik ekstraktların detaylı kimyasal içeriklerinin belirlenmesi için GC-MC analizi yapıldı. GCMS-QP2010 plus cihazı (Shimadzu, Kyoto, Japonya) otoenjektr ve 30x0.25 mm'lik 0.25  m film kalınlığına sahip HP-5MS kolonu ile GC-MS profilini oluşturmak için kullanıldı. Taşıyıcı gaz olarak helyum, 1.15 mL dk⁻¹ kış hızında kullanıldı. Kütle spektroskopik analizi 70 eV iyonizasyon sistemi ile gerçekleştirildi. Birincil sıcaklık 2 dk boyunca 80  C'ye ayarlandı ve 10  C dk⁻¹ hızında 5 dk boyunca 280  C'ye kademeli olarak artırıldı. Numune enjeksiyonu 250  C'de bölünmüş modda gerçekleştirildi. Çıkarılan bileşenlerin alıkonma suresi ve kütle spektrumlarına dayalı karakterizasyonu için Wiley 10th/NIST 2014 kütle spektral kütüphanesi (W10N14) kullanıldı.

3.4.12. Antibakteriyel aktivitenin belirlenmesi

Hazırlanan ekstraktların disk difüzyon yöntemi kullanılarak antibakteriyel aktiviteleri araştırılmıştır. Bakteri suşları olarak *Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Escherichia coli* ATCC 25922 ve *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228 kullanılmıştır.

Disk difüzyon metodu: Alg ekstraktları %1'lik dimetil sülfoksit (DMSO çözülerek 10 mg mL⁻¹ konsantrasyonda ayarlanarak 6 mm çapındaki steril disklere 20'şer  L emdirilmiştir. 24 saatlik taze suş kültürlerinden densitometer kullanılarak 0.5 Mcfarland (108) yoğunlukta süspansiyonlar hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan süspansiyonlardan eküvyon çubukla alınan rnekler Mueller Hinton Agar besiyerine inoküle edilmiştir. Önceden hazırlanan ekstrakt emdirilmiş diskler mikroorganizma ekimi yapılan petrilere yerleştirilmiştir. 24 saat 37  C'deki inkübasyon sonrası petride oluşan inhibisyon bölgeleri dijital kumpas yardımıyla ölçülerek sonuçlar değerlendirilmiştir (Semerci ve ark., 2020). Pozitif kontrol olarak Gentamicin antibiyotiği yüklü diskler kullanılmıştır. Tüm deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiş olup sonuçlar ortalama olarak verilmiştir.

3.4.13. İstatiksel analizler

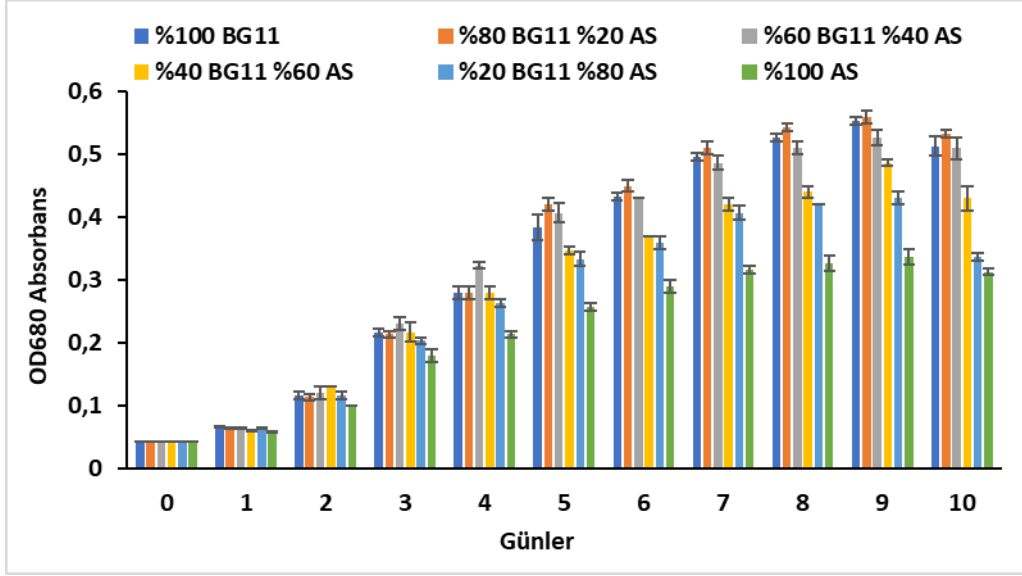
Her bir deney seti üç tekrar olarak gerçekleştirilmiştir. Verilerin normal dağılımına bağlı olarak, büyüme parametreleri (OD680, klorofil-a), pH, nitrit (NO₂-N), nitrat (NO₃-N) ve ortofosfat (PO₄-P) giderimi, biyokimyasal içerikler (toplam protein, toplam karbohidrat, toplam yağ asiti, toplam fenolik madde) ve antioksidan (DPPH) aktivite ile antibakteriyal aktivite açısından 6 farklı kültür ortamı arasındaki farklılıkları tespit etmek için verilere SPSS 22.0 yazılımı ile tek yönlü varyans analizi (ANOVA) veya Kruskal-Wallis testi uygulanmıştır. Büyüme parametreleri (OD680, klorofil-a) ve pH'ta 10 gün arasındaki farklılıkları tespit etmek için de ANOVA veya Kruskal-Wallis testi kullanılmıştır. Parametrik veya parametrik olmayan Post-hoc testleri çoklu karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. Optik Yoğunluk (OD)

S. aequicaudatus' un besiyer ve atıksu ortamlarındaki gelişiminin 10 gün boyunca OD680 absorbansı üzerine etkisi Şekil 4.1.'de verilmiştir. Kùltürler kendi aralarında kıyaslandığında %100 BG11, %80 BG11-%20 Atıksu ve %60 BG11-%40 Atıksu ortamında yetiştirilen alglerin, %100 Atıksu ortamında yetiştirilen alglere göre büyüme ve gelişim miktarında istatistiksel olarak anlamlı bir artış görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 16,303$; $df=5$, $p<0,05$). %100 Atıksu kùltür ortamı ile %40 BG11- %60 Atıksu ve %20 BG11- %80 Atıksu ortamları arasında anlamlı bir fark görülmemiştir ($p > 0,05$). Hazırlanan besiyeri ortamları içerisinde en yüksek alg gelişimi %80 BG11-%20 Atıksu ortamında, en düşük alg gelişimi ise %100 Atıksu ortamında tespit edilmiştir.

Her bir kùltür ortamının OD değerleri kendi içinde kıyaslandığında %100 BG11 ortamında istatistiksel olarak 1. günden 9. güne kadar anlamlı bir artış görülürken, 10. günde azalma görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,678$; $df = 10$, $p < 0,01$). Benzer olarak %80 BG11-%20 Atıksu ortamında 1. günden 9. güne kadar anlamlı bir artış gözlemlenmişken, 10. günde azalma meydana gelmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,743$; $df = 10$, $p < 0,05$). %60 BG11-%40 Atıksu ortamındaki büyüme 8. güne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir artış göstermişken 9. ve 10. günlerde büyüme sabit kalmıştır (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,363$; $df = 10$, $p < 0,05$). %40 BG11-%60 Atıksu ortamında 9. güne kadar anlamlı bir artış meydana gelmiştir ve 10. günde azalma görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,513$; $df = 10$, $p < 0,05$). %20 BG11-%80 Atıksu ortamındaki büyüme 8. güne kadar anlamlı bir artış göstermiştir, 9. gün sabit kalıp, 10. günde düşüş izlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,600$; $df = 10$, $p < 0,05$). %100 Atıksu ortamında ise 7. güne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir artış tespit edilmiştir. 8. ve 9. günlerde sabit kalıp 10. günde azalma görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,450$; $df = 10$, $p < 0,05$).



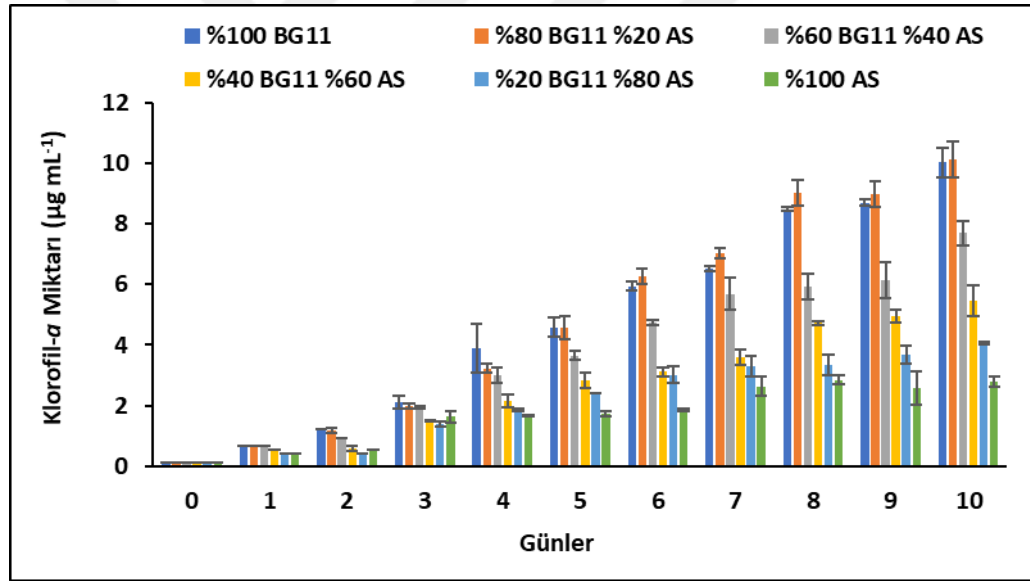
Şekil 4.1. *S. aequicaudatus*'un 10 günlük OD680 absorbansındaki değişim grafiği.

4.2. Fotosentetik Pigment Analizi (Klorofil-*a*)

S. aequicaudatus'un besiyer ve atıksu ortamlarındaki gelişiminin klorofil-*a* üzerine etkisi Şekil 4.2.'de verilmiştir. 10 günlük takip süresi boyunca kültürler kendi aralarında kıyaslandığında %100 BG11 ortamı, %80 BG11-%20 Atıksu ortamında ve %60 BG11-%40 Atıksu ortamında yetiştirilen alglerin %100 Atıksu ortamında yetiştirilen algere göre klorofil-*a* (kl-*a*) miktarında istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu belirlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 28,331$; $df = 5$, $p < 0,01$). %80 BG11-%20 Atıksu ortamı ve %60 BG11-%40 Atıksu ortamı, kontrol grubuyla kıyaslandığında anlamlı bir fark olmadığı gözlemlenmiştir ($p > 0,05$). %100 Atıksu ortamının ise %20 BG11- %80 Atıksu ve %40 BG11-%60 Atıksu ortamıyla arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Kültürler arasındaki en yüksek kl-*a* gelişimi %80 BG11-%20 Atıksu ortamında gözlemlenirken, en düşük gelişim ise %100 Atıksu ortamında tespit edilmiştir.

Kültürler kendi içinde kıyaslandığında %100 BG11 ortamında yetiştirilen algin kl-*a* değerlerinde 1. günden 8. güne kadar istatistiksel olarak anlamlı bir artış, 9. gün stabil kalıp, 10. gün tekrar artış görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,729$; $df = 10$, $p < 0,05$). %80 BG11-%20 Atıksu ortamındaki kl-*a* değerlerinde 1. gün artış olup 2. gün sabitlendikten sonra tekrar 3. günden 8. güne kadar artma, 9. gün sabitlenme ve 10. gün tekrar artışa geçerek dalgalı bir gelişim gözlemlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,695$; $df = 10$, $p < 0,05$). %60 BG11-%40 Atıksu ortamının kl-*a* değeri %80 BG11-

%20 Atıksu ortamındaki gibi 1. günde artış gösterip 2. gün sabit kalmıştır. Bu ortamdan farklı olarak ise 7. güne kadar sürekli bir artış, 8. ve 9. günlerde sabit kalma izlenmiştir. 10. günde yine benzer olarak artış görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,284$; $df = 10$, $p < 0,05$). %40 BG11-%60 Atıksu ortamındaki kl- a değeri 1. günde artış gösterip 2. günde sabit kalmıştır. Tekrar artış 5. güne kadar devam etmiştir. 6. gün sabitlenerek, 7. ve 8. gün artma gözlemlenmiştir. 9. gün stabil kalıp 10. gün yine artış tespit edilmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,563$; $df = 10$, $p < 0,05$). %20 BG11-%80 Atıksu ortamındaki kl- a değerindeki gelişim ilk 2 gün sabit olup, 3. günden 6. güne kadar sürekli bir artış göstermiştir. 7. 8. ve 9. gün stabil kalıp 10. gün tekrar artış gözlemlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,104$; $df = 10$, $p < 0,05$). %100 Atıksu ortamındaki kl- a değeri yavaş bir gelişim izlemiştir. Sadece 3. ve 7. gün anlamlı artış eğilimi gösterip diğer tüm günlerde (1., 2., 4., 5., 6., 8., 9. ve 10. gün) sabit kalmıştır (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 29,925$; $df = 10$, $p < 0,05$).



Şekil 4.2. *S. aequicaudatus* 'un 10 günlük klorofil- a miktarındaki değişim grafiği.

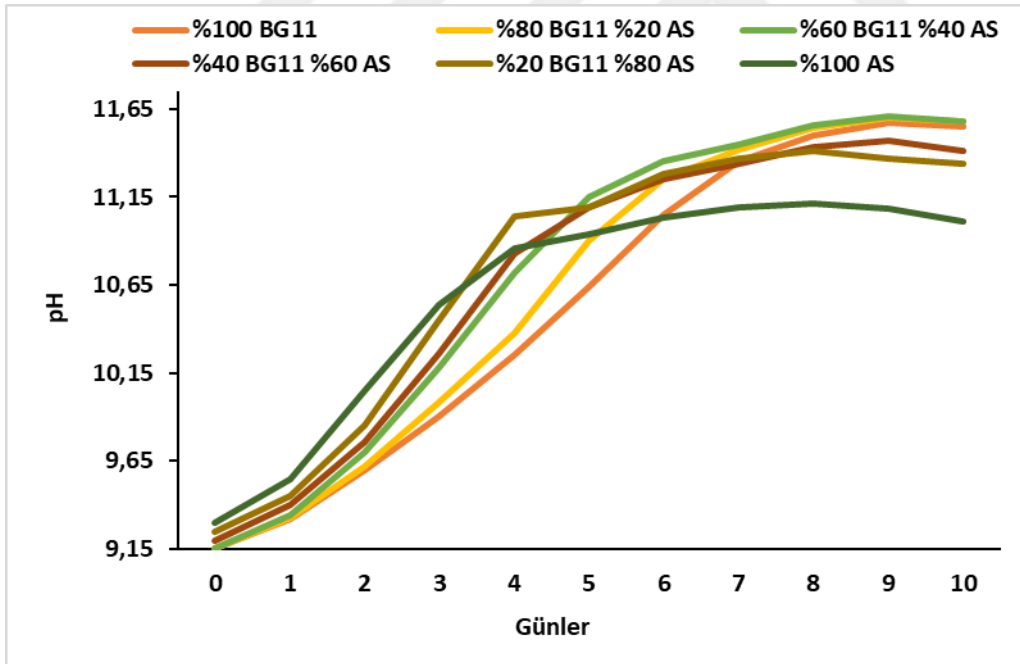
4.3. pH

S. aequicaudatus 'un besiyer ve atıksu ortamlarındaki gelişiminin pH değeri üzerindeki değişimi Şekil 4.3.'de verilmiştir. 1. günden 10. güne kadar pH değerlerinde büyümeye bağlı olarak artış gözlemlense de hazırlanan kültür ortamları kendi içerisinde kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($p > 0,05$).

%100 BG11 ve %80 BG11-%20 Atıksu kültür ortamlarının pH değerleri 9. güne kadar anlamlı bir artış gösterip 10. gün sabitlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,625$,

Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,690$, sırasıyla; $df = 10$, $p < 0,05$). %60 BG11-%40 Atıksu ortamının pH değeri de benzer olarak 9. güne kadar anlamlı bir artış gösterip, farklı olarak 10. gün düşüşe geçmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,734$; $df = 10$, $p < 0,05$). %40 BG11-%60 Atıksu ortamında pH artışı 2. gün başlamakla birlikte 6. güne kadar anlamlı bir artış göstermiştir. Diğer günler (7., 8., 9. Ve 10. Gün) stabil kalmıştır (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 29,774$; $df = 10$, $p < 0,05$). %20 BG11-%80 Atıksu ortamında 1. günden 8. güne kadar sürekli bir artış gözlemlenirken, %100 Atıksu ortamında 7. güne kadar sürekli bir artış gözlemlenmiştir. %20 BG11-%80 Atıksu ortamında 9. ve 10. günlerde düşüş görülürken, %100 Atıksu ortamında 8. ve 9. günler sabit olup 10. günde düşüş görülmüştür (Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,776$, Kruskal-Walis $H_{(1,11)} = 31,461$, sırasıyla; $df = 10$, $p < 0,05$).

9. günde en yüksek pH değerine (pH=11,61) %60 BG11-%40 Atıksu ortamında ulaşılmış olup %80 BG11-%20 Atıksu ortamındaki pH değeriyle (pH=11,6) benzerlik göstermiştir. En düşük pH değeri büyümeye paralel olarak %100 Atıksu ortamında (pH=11,08) izlenmiştir.

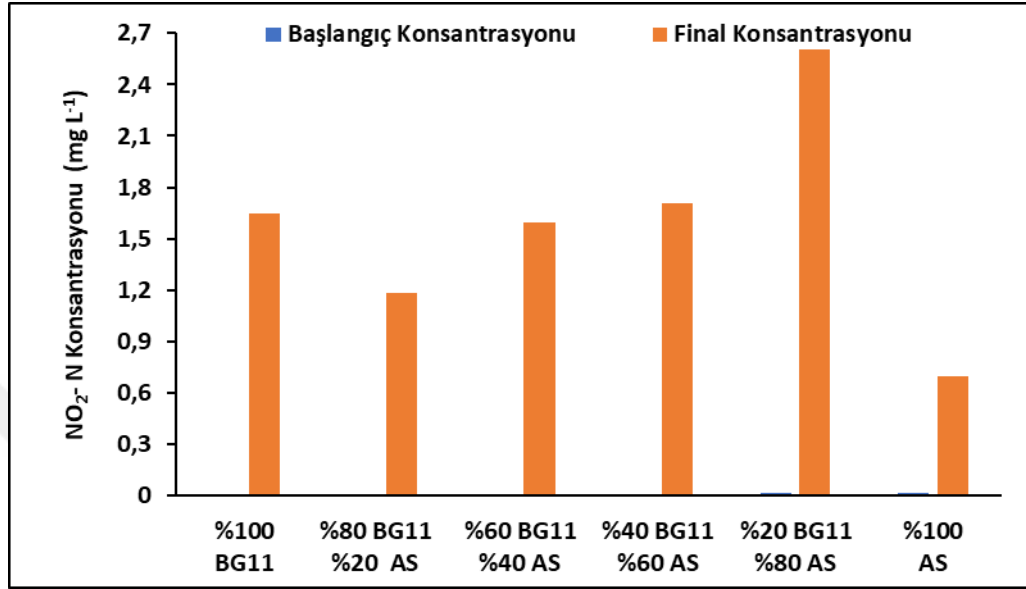


Şekil 4.3. *S. aequicaudatus* kültür ortamlarının 10 günlük pH değeri değişimi.

4.4. Nitrit Azotu (NO₂-N) Analizi

6 farklı kültür ortamının başlangıç nitrit azotu (NO₂-N) konsantrasyonu ve *S. aequicaudatus* alginin 10 gün yetiştiriciliği yapıldıktan sonraki final nitrit azotu (NO₂-

N) konsantrasyonu Şekil 4.4.'de verilmiştir. Tüm kültür ortamları kendi aralarında kıyaslandığında anlamlı bir fark olmadığı istatistiksel olarak tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Tüm kültür ortamları kendi içinde kıyaslandığı durumda ise her bir grup için anlamlı bir artış görülmüştür ($z = -1.964, p < 0,05$).

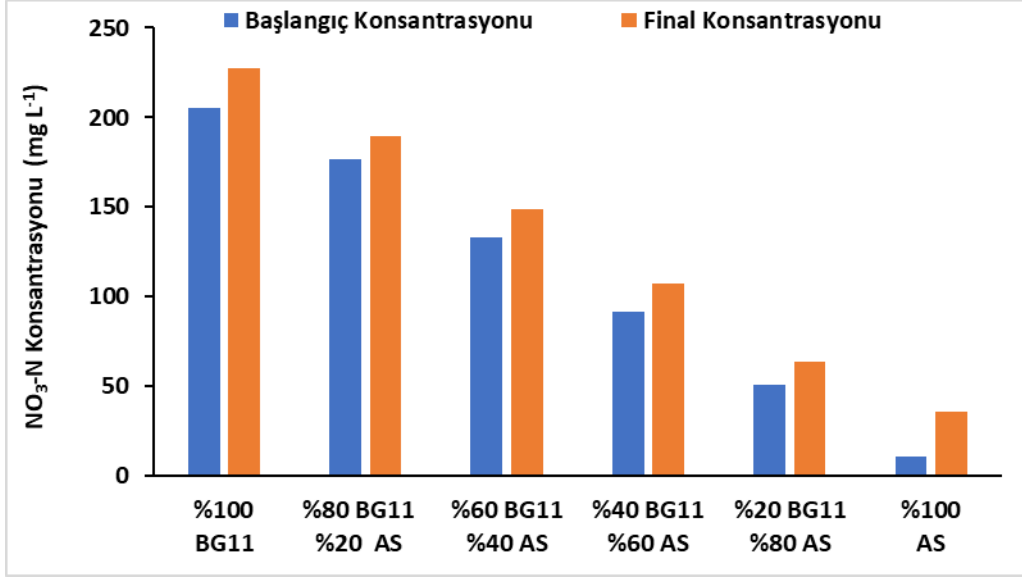


Şekil 4.4. Nitrit azotu (NO₂-N) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği.

4.5. Nitrat Azotu (NO₃-N) Analizi

6 farklı kültür ortamının başlangıç nitrat azotu (NO₃-N) konsantrasyonu ve *S. aequicaudatus* alginin 10 gün yetiştiriciliği yapıldıktan sonraki final nitrat azotu (NO₃-N) konsantrasyonu Şekil 4.5.'de verilmiştir. 10. günün sonunda tüm kültür ortamlarındaki başlangıç nitrat azotu (NO₃-N) konsantrasyonunda istatistiksel olarak anlamlı artış tespit edilmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 34,054; df = 5, p < 0,01$).

Ayrıca 10. günün sonunda tüm kültür ortamları kendi içinde kıyaslandığı durumda %100 BG11, %60 BG11-%40 Atıksu ve %100 Atıksu ortamlarının NO₃-N konsantrasyonlarında anlamlı bir artış olduğu tespit edilmiştir ($z = -1,964, p < 0,05$). %80 BG11-%20 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu ortamlarında yine anlamlı bir artış gözlemlenirken ($t = -13,057, t = -13,175$; sırasıyla, $p < 0,01$), %40 BG11-%60 Atıksu ortamında anlamlı bir artış gözlemlenmemiştir ($p > 0,05$).



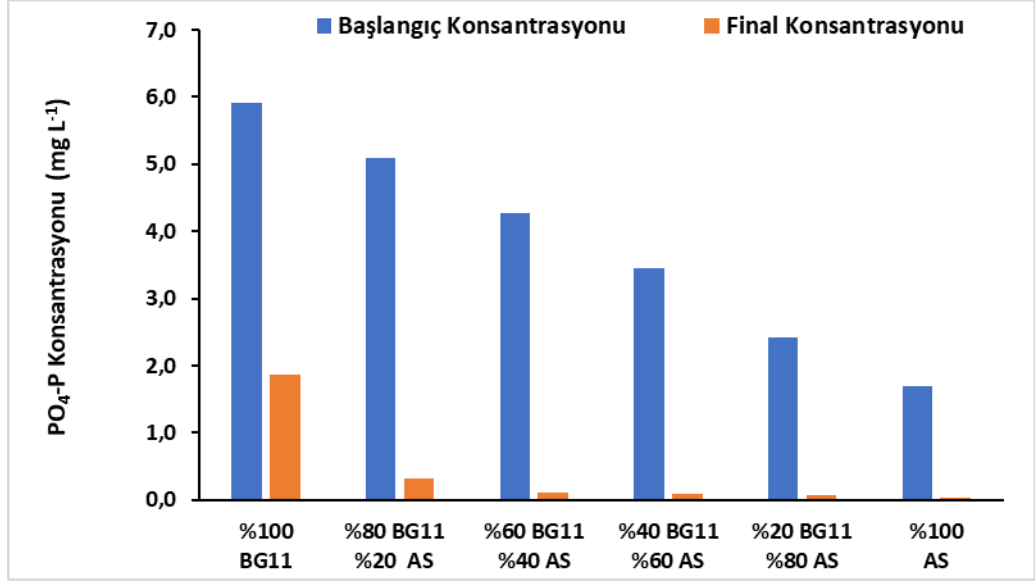
Şekil 4.5. Nitrat azotu (NO₃-N) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği.

4.6. Ortofosfat (PO₄-P) Analizi

6 farklı kültür ortamının başlangıç ortofosfat (PO₄-P) konsantrasyonu ve *S. aequicaudatus* alginin 10 gün yetiştiriciliği yapıldıktan sonraki final ortofosfat (PO₄-P) konsantrasyonu Şekil 4.6.'da verilmiştir. 10. günün sonunda tüm kültür ortamlarındaki başlangıç ortofosfat (PO₄-P) konsantrasyonunda istatistiksel olarak anlamlı azalış gözlemlenmiştir (Kruskal-Wallis H (1,6) = 16,579; df = 5, $p < 0,01$).

Ayrıca 10. günün sonunda tüm gruplar kendi içinde kıyaslandığı durumda %100 BG11, %80 BG11-%20 Atıksu, %60BG11-%40 Atıksu ve %100 Atıksu ortamlarının PO₄-P konsantrasyonlarında anlamlı bir azalış olduğu tespit edilmiştir ($z=-1,964$, $p<0,05$). %40 BG11-%60 Atıksu ortamındaki PO₄-P konsantrasyonunda anlamlı bir azalış gözlemlenirken ($t=5,652$, $p <0,01$) yine %20 BG11-%80 Atıksu ortamındaki PO₄-P konsantrasyonunda anlamlı bir azalış izlenmiştir ($t=3,951$, $p <0,05$).

Ortofosfat (PO₄-P) giderim miktarları Tablo 4.1.'de gösterilmiştir. Grupların başlangıç ve final konsantrasyonları kendi içerisinde kıyaslandığında en yüksek % giderim miktarı %100 Atıksu ortamında gözlemlenmiştir. En düşük giderim miktarı ise kontrol grubunda (%100 BG11), daha sonra %80 BG11-%20 Atıksu ortamında tespit edilmiştir.



Şekil 4.6. Ortofosfat (PO₄-P) başlangıç ve final konsantrasyon seviyeleri grafiği.

Tablo 4.1. *S. aequicaudatus* alginin Ortofosfat giderme değerleri (%)

Büyüme Ortamı	PO ₄ -P		Giderim (%)
	Başlangıç konsantrasyon (mg L ⁻¹)	Son konsantrasyon (mg L ⁻¹)	
%100 BG11	5,91 ± 0,01	1,87±1,29	%68,34
%80 BG11-%20 AS	5,09 ± 0,02	0,32±0,05	%93,57
%60 BG11-%40 AS	4,27 ± 0,02	0,11±0,02	%97,27
%40 BG11-%60 AS	3,44 ± 0,04	0,08±0,79	%97,40
%20 BG11-%80 Atıksu	2,41± 0,01	0,07±1,46	%97,07
%100 Atıksu	1,69 ± 0,05	0,03±0,001	%98,01

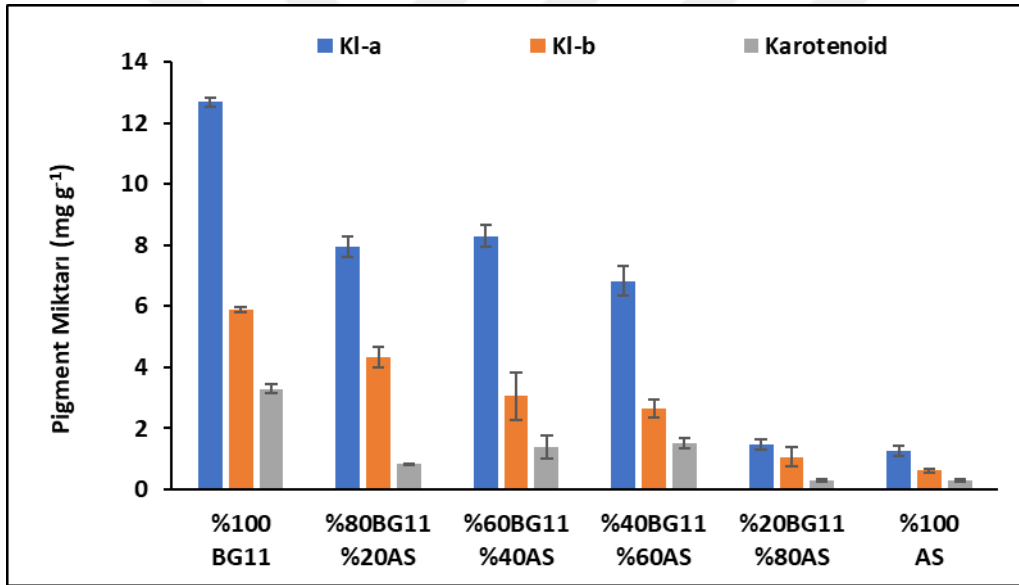
4.7. Toplam Pigment

6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin 10. gün sonunda elde edilen kuru biyokütlesinden klorofil-*a*, klorofil-*b* ve toplam karotenoid miktarları Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. Kültür ortamları kendi aralarında kıyaslandığında kl-*a* miktarında anlamlı bir fark gözlemlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 16,229$; $df = 5$, $p < 0,05$). Kuru biyokütlerdeki kl-*a* miktarları en yüksekten en düşüğe sıralandığında

%100 BG11, %60 BG11-%40 Atıksu, %80 BG11-%20 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu, %20 BG11-%80 Atıksu, %100 Atıksu şeklindedir.

Benzer olarak kl-b miktarında da istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 16,580$; $df = 5$, $p < 0,05$). Toplam kl-b miktarları en yüksekten en düşüğe sıralandığında; %100 BG11 (Kontrol), %80 BG11-%20 Atıksu, %60 BG11-%40 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu, %20 BG11-%80 Atıksu ve %100 Atıksu şeklindedir.

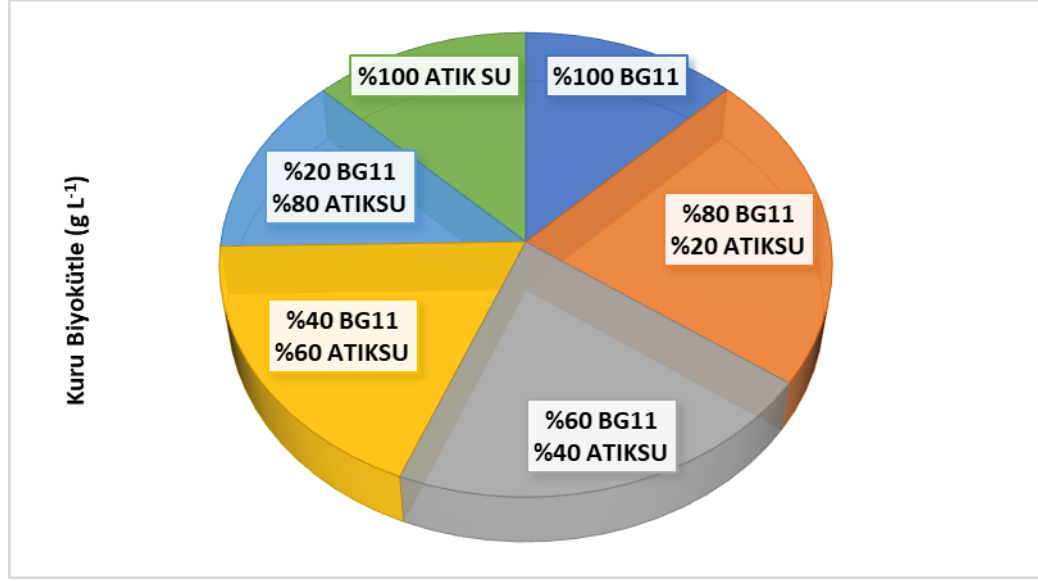
6 farklı kültür ortamında yetiştirilen alglerin toplam karotenoid miktarları kendi arasında kıyaslandığında anlamlı bir fark belirlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 15,555$; $df = 5$, $p < 0,05$). Toplam karotenoid miktarları en yüksekten en düşüğe sıralandığında ise; %100 BG11 (Kontrol), %40 BG11-%60 Atıksu, %60 BG11-%40 Atıksu, %80 BG11-%20 Atıksu, %100 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu şeklindedir.



Şekil 4.7. *S. aequicaudatus* alginin toplam kl-a, kl-b, karotenoid miktarları.

4.8. Kuru Biyokütle

6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin kuru biyokütle miktarı Şekil 4.8.'de ve Tablo 4.2.'de verilmiştir. Besiyeri ortamlarından elde edilen kuru biyokütle miktarları en yüksekten en düşüğe sırasıyla %80 BG11-%20 Atıksu, %60 BG11-%40 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu, %20 BG11-%80 Atıksu, %100 Atıksu ve %100 BG11 şeklindedir.



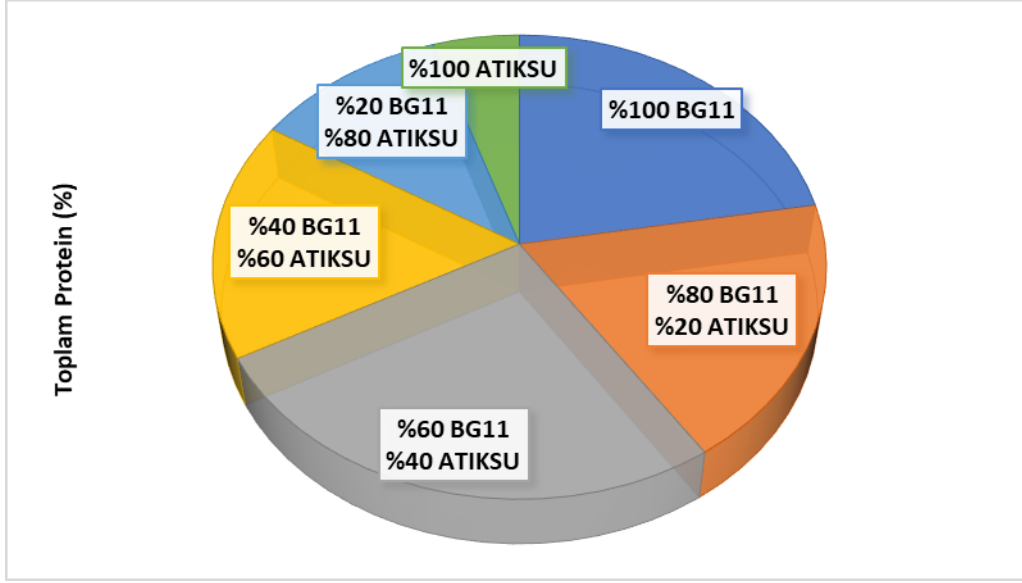
Şekil 4.8. *S. aequicaudatus* alginin kuru biyokütle miktarları.

Tablo 4.2. *S. aequicaudatus* alginin kuru biyokütle miktarı.

<i>S. aequicaudatus</i>	Kuru Biyokütle (g L ⁻¹)
%100 BG11	0,108
%80 BG11 %20 Atıksu	0,193
%60 BG11 %40 Atıksu	0,184
%40 BG11 %60 Atıksu	0,160
%20 BG11 %80 Atıksu	0,109
%100 Atıksu	0,108

4.9. Toplam Protein

S. aequicaudatus alginin farklı kültür ortamlarındaki toplam protein miktarı Şekil 4.9. ve Tablo'4.3.'de verilmiştir. Farklı besiyeri ortamlarında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin kuru biyokütlelerinden elde edilen protein miktarı kendi aralarında kıyaslandığı durumda istatistiksel olarak anlamlı fark gözlemlenmiştir ($F = 59,881$, $df = 5$, $p < 0,05$). Sadece %80 BG11-%20 Atıksu ile %40 BG11-%60 Atıksu ortamı arasında fark görülmemiştir ($p > 0,05$). Yüksekten düşüğe sıralandığında; %60 BG11-%40 Atıksu, %100 BG11, %80 BG11-%20 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu, %20 BG11-%80 Atıksu ve %100 Atıksu şeklindedir.



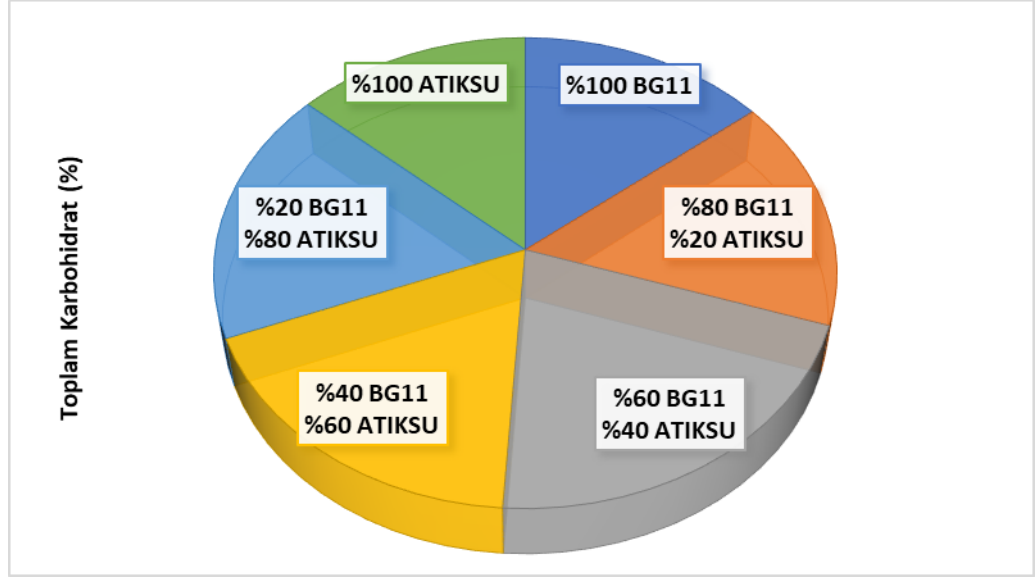
Şekil 4.9. *S. aequicaudatus* alginin toplam protein miktarları.

Tablo 4.3. *S. aequicaudatus* alginin toplam protein miktarı.

<i>S. aequicaudatus</i>	Protein Miktarı (%KA)
%100 BG11	20,63 ± 1,96
%80 BG11 %20 Atıksu	17,07 ± 0,95
%60 BG11 %40 Atıksu	24,63 ± 2,23
%40 BG11 %60 Atıksu	15,46 ± 1,43
%20 BG11 %80 Atıksu	10,39 ± 1,78
%100 Atıksu	4,66 ± 0,65

4.10. Toplam Karbohidrat

6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin toplam karbohidrat miktarı Şekil 4.10. ve Tablo 4.4.'de verilmiştir. *S. aequicaudatus* alginin kuru biyokütlelerinden elde edilen karbohidrat miktarları kendi aralarında kıyaslandığında anlamlı bir fark tespit edilmiştir ($F = 40,819$, $df = 5$, $p < 0,05$). %100 BG11 ile %100 Atıksu ortamı ve %40 BG11-%60 Atıksu ile %20 BG11-%80 Atıksu ortamında yetiştirilen alglerden elde edilen toplam karbohidrat miktarları arasında istatistiksel olarak bir fark belirlenmemiştir ($p > 0,05$). Farklı kültür ortamlarında yetiştirilen alg biyokütlelerindeki en yüksek karbohidrat miktarı %40 BG11-%60 Atıksu ortamında, en düşük karbohidrat miktarı ise %100 Atıksu ortamında gözlemlenmiştir.



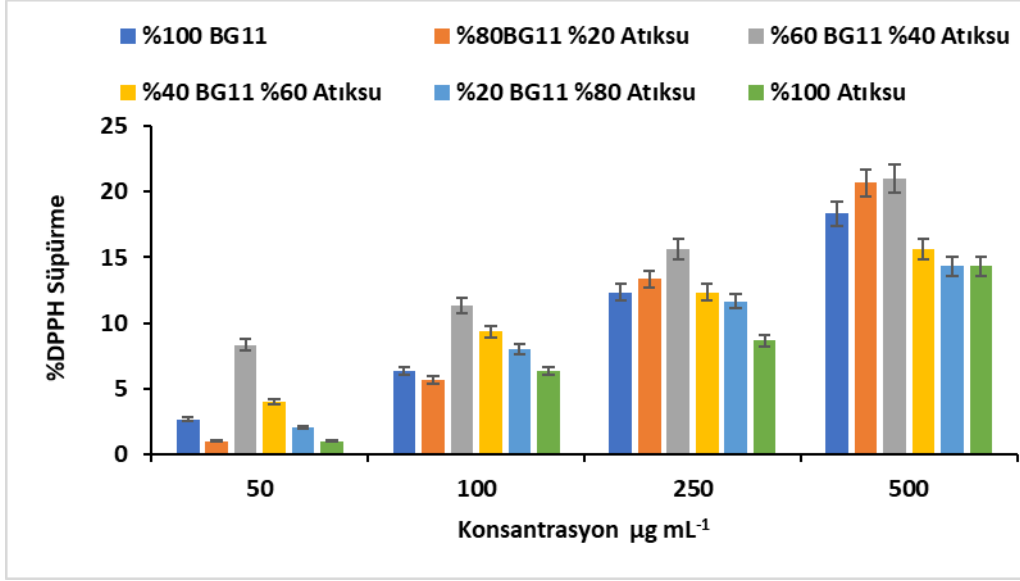
Şekil 4.10. *S. aequicaudatus* alginin toplam karbohidrat miktarları.

Tablo 4.4. *S. aequicaudatus* alginin toplam karbohidrat miktarı.

<i>S. aequicaudatus</i>	Karbonhidrat Miktarı (%KA)
%100 BG11	27,99 ± 2,5
%80 BG11-%20 Atıksu	31,45 ± 0,12
%60 BG11-%40 Atıksu	41,38 ± 1,86
%40 BG11-%60 Atıksu	35,47 ± 0,08
%20 BG11-%80 Atıksu	34,65 ± 1,78
%100 Atıksu	26,54 ± 0,46

4.12. 1,1-difenil-2-pikrilhidrazin (DPPH)

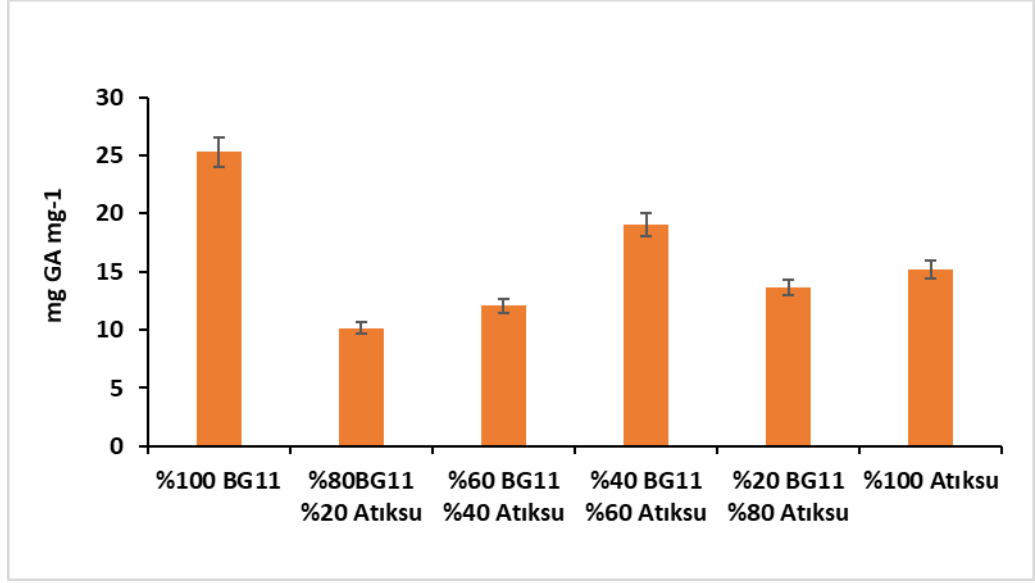
S. aequicaudatus alginin antioksidan aktivitesi DPPH süpürme yöntemi ile değerlendirilmiştir ve sonuçlar Şekil 4.11.'de verilmiştir. %80 BG11-%20 Atıksu ile %60 BG11-%40 Atıksu ortamının diğer tüm ortamlarla arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark gözlemlenmiştir (Kruskal-Walis $H_{(1,6)} = 15,441$; $df = 5$, $p < 0,05$). 500 $\mu\text{g mL}^{-1}$ konsantrasyonundaki değerler sırasıyla %60 BG11-%40 Atıksu ortamında %51, %80 BG11-%20 Atıksu ortamında %20,66, %100 BG11 ortamında %18,33, %40 BG11-%60 Atıksu ortamında %15,66, %20 BG11-%80 Atıksu ortamında ve %100 Atıksu ortamında ise %14,33 şeklindedir.



Şekil 4.11. *S. aequicaudatus* alginin antioksidan aktivitesi.

4.13. Toplam Fenolik İçeriği (TPC)

S. aequicaudatus alginin farklı ortamlardaki toplam fenolik içerikleri Şekil 4.12.'de verilmiştir. Tüm kültür ortamlarında yetiştirilen alg biyokütellerindeki TPC miktarı kendi aralarında kıyaslandığında istatistiksel olarak anlamlı bir fark belirlenmiştir ($F=30,459$, $df=5$, $p < 0,05$). %60 BG11-%40 Atıksu ortamı ile %80 BG11-%20 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu arasında; %20BG11-%80 Atıksu ortamı ile %100 Atıksu ortamında yetiştirilen mikroalglerin TPC miktarları arasında anlamlı bir fark belirlenmemiştir ($p > 0,05$). En yüksek TPC miktarı kontrol grubundan ($25,31 \text{ mg GA mg}^{-1}$) sonra %40 BG11-%60 Atıksu ortamında ($19,04 \text{ mg GA mg}^{-1}$) olarak belirlenmiştir. En düşük TPC miktarı ise %80 BG11-%20 Atıksu ortamında tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. *S. aequicaudatus* alginin toplam fenolik miktarları.

4.14. Antibakteriyel Aktivite

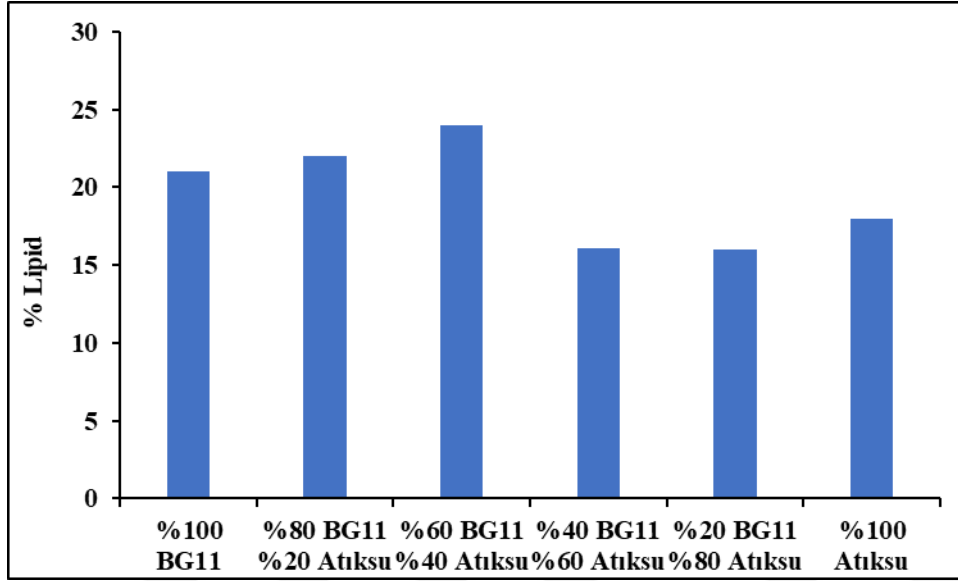
S. aequicaudatus alginin farklı ortamlardaki antibakteriyel aktiviteleri Tablo 4.5.'de verilmiştir. Farklı kültür ortamlarında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin, çalışmada kullanılan test bakterileri üzerinde anlamlı bir antibakteriyel etkisinin olmadığı belirlenmiştir ($p > 0,05$).

Tablo 4.5. Ekstraktların antibakteriyel aktivite sonuçları.

Ekstrakt	İnhibisyon zon çapı (mm)					
	<i>E.coli</i>	<i>S.epidermidis</i>	<i>B.subtilis</i>	<i>S.aureus</i>	<i>E.faecalis</i>	<i>S.typhimurium</i>
%100 Atıksu	0	0	0	0	0	0
%20 BG11- %80 Atıksu	0	0	0	0	0	0
%40BG11- %60 Atıksu	0	0	0	0	0	0
%60 BG11- %40 Atıksu	0	0	0	0	0	0
%80BG11- %20 Atıksu	0	0	0	0	0	0
%100 BG11	0	0	0	0	0	0
Gentamicin	18	22	20	21	20	19

4.15. Toplam Lipit İçeriği ve Biyodizel Potansiyeli

6 farklı ortamda yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin toplam lipid içeriği değişiklikler göstermiştir (Şekil 4.13.). %100 Atıksu ortamı %18, %20 BG11-%80 Atıksu ortamı %16, %40BG11-%60 Atıksu ortamı %16,1, %60 BG11-%40 Atıksu ortamı %24, %80BG11-%20 Atıksu ortamı %22 ve %100 BG11 ortamı %21 oranında toplam lipid içerdiği tespit edilmiştir.



Şekil 4.13. *S. aequicaudatus* alginin toplam % lipid içeriği.

Farklı kültür ortamlarda yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin yağ asit içerikleri Tablo 4.6'da verilmiştir. %80 BG11- %20Atıksu ortamında geliştirilen biyokütle 5 farklı yağ asidi metil esterini (9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester, 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, 11-Octadecenoic acid, methyl ester ve 9-Hexadecenoic acid, methyl ester) içermektedir. 9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, %100 BG11, %80 BG11-%20 Atıksu, %40 BG11-%60 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu besiyeri ortamında üretilen biyokütlelerde baskın yağ asidi olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.6. *S. aequicaudatus* alginin yağ asit içeriği.

%100BG11	BİLEŞİK	% MİKTARI
1	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	15,6459
2	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	4,5177
3	7,10,13-Hexadecatrienoic acid, methyl ester	1,3756
%80BG11-20AS	BİLEŞİK	%MİKTARI
1	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	18,3952
2	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	9,6549
3	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	9,6625
4	11-Octadecenoic acid, methyl ester	1,6403
5	9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	1,4779
%60BG11-40AS	BİLEŞİK	%MİKTARI
1	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	19,5618
2	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	6,2307
3	11-Octadecenoic acid, methyl ester	2,5036
4	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1,4232
5	7-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	0,6504
%40BG11-%60AS	BİLEŞİK	% MİKTARI
1	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	16,9854
2	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	6,5728
%20BG11-0AS	BİLEŞİK	%MİKTARI
1	9,12,15-Octadecatrienoic acid, methyl ester, (Z,Z,Z)-	19,4595
2	Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	8,0393
3	7-Octadecenoic acid, methyl ester	1,7261
4	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1,7064
%100 ATIK	BİLEŞİK	%MİKTARI
1	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	19,5618
2	Hexadecanoic acid, methyl ester	6,2307
3	9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	2,5036
4	9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	1,4232
5	7-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	0,6504

6 farklı kültür ortamında gözlemlenen iyot değeri, sabunlaşma değeri ve setan sayısı Tablo 4.7.' de verilmiştir. En yüksek setan sayısı %20BG11-%80Atıksu ortamında tespit edilirken en yüksek sabunlaşma değeri ve iyot değeri %40BG11-%60Atıksu ortamında belirlenmiştir.

Tablo 4.7. *S. aequicaudatus* alginin biyodizel potansiyeli.

Kültürler	İyot Değeri (IV)	Sabunlaşma Değeri (SV)	Setan Sayısı (CN)
%100BG11	17,38	13,81	43,3
%80BG11-%20Atıksu	11,22	13,28	45,4
%60BG11-%40Atıksu	6,32	11,51	51,9
%40BG11-%60Atıksu	27,79	22,52	28,4
%20BG11-%80Atıksu	11,86	10,81	54,8
%100 Atıksu	4,92	12,87	46,9

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Atıksuda alg yetiştiriciliği, ortamdaki besin maddelerinin giderilmesi ve geri dönüştürülmesi için sürdürülebilir bir çözüm olarak önerilmiştir. Mikro ve makroalgler büyüme ve gelişmeleri için ihtiyaçları olan inorganik besin maddelerini yaşadıkları sucul ekosistemden doğal olarak alabilirler. Laboratuvar çalışmaları, inorganik besin maddesi gideriminde alg yetiştiriciliğinin önemini başarıyla göstermiştir. Yapılan bu çalışmada 6 farklı atıksu içerikli kültür ortamında yetiştiriciliğini yaptığımız *S. aequicaudatus* alginin biyokimyasal içerikleri (klorofil-*a*, klorofil-*b*, toplam karotenoid, toplam protein, toplam karbohidrat, toplam lipid, yağ asit içerikleri) belirlenerek, antioksidan aktivitesi ile antibakteriyel aktivitesi incelenmiştir. Bu algin atıksu arıtımında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin gelişim parametreleri (OD680, kl-*a*) incelendiğinde tüm gruplarda logaritmik gelişim fazına bağlı olarak bu parametrelerde 9. güne kadar sürekli bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca pH değerleri de gelişime paralel olarak genel bir artış göstermiştir. CO₂, suda çözünerek geri dönüşümlü bir şekilde H₂CO₃, HCO₃ ve CO₃ bileşiklerini oluşturur. Bu bileşikler, ortamın pH dengesini koruyan tampon sistemini meydana getirir. Fotosentez hızlandığında, CO₂ yoğun şekilde tüketildiğinden, H₂CO₃ tersinir tepkime yoluyla CO₂'ye dönüşür ve ortamın asitliği azaldığı için pH değeri yükselir. Bunun tersine, fotosentezin yavaşlaması durumunda, kullanılmayan CO₂'nin H₂CO₃'e dönüşümü artar ve bu da ortamın asitliğini artırarak pH'ın düşmesine neden olur (Wetzel, 2001). Ayrıca pH değerlerinde gözlemlenen düzenli artışlar fotosentezin sürekliliğinin göstergesidir (Tekbaba ve ark., 2025). 10 gün süren ölçümlerde tespit edilen klorofil-*a* miktarındaki artış bu durumu desteklemektedir. Literatüre göre, kl-*a* seviyelerindeki değişimler alg türlerinin büyüme aşamaları ve çevresel koşullarla yakından ilişkilidir. *Scenedesmus quadricauda* ve *Chlorella vulgaris* gibi mikroalgler için, kl-*a* içeriği genellikle ilk büyüme evresinde hızlı bir artış gösterir. Bu artış, alglerin optimum ışık, sıcaklık ve besin koşulları altında hücre bölünme oranlarının yüksek olduğu üstel büyüme evresinde olduğunu gösterir (Rezaei ve ark., 2019).

Çalışmalar, genellikle ilk 7-10 günü kapsayan erken üstel büyüme evresinde, *Scenedesmus* ve *Chlorella* türleri gibi mikroalglerin, uygun koşullar altında hücreler aktif olarak bölündükçe hızlı bir kl-a birikimi gösterdiğini bildirmektedir (Esteves ve ark., 2024). %100 Atıksu ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* alginin OD680 değerleri incelendiğinde, diğer ortamlara göre daha yavaş gelişim gözlemlenmiştir. %100 Atıksu ortamının nitrat azotu konsantrasyonu 1:18 ve ortofosfat konsantrasyonu 1:5 oranında %100 BG11 ortamının (kontrol grubu) altında kalmasına rağmen OD680 değeri 9 gün boyunca, kl-a değeri ise 8 gün boyunca yavaş bir şekilde artış göstermiştir. Franchino ve ark. (2013) çalışmalarında, *C. vulgaris* ve *Scenedesmus obliquus* kültürlerinin büyümesinin 7. günden itibaren atıksuyun tüm seyreltilerinde yavaşladığını bildirmiştir. Bu durumda ortamların başlangıç tuz konsantrasyonlarının kontrol başlangıç tuz konsantrasyonlarından daha düşük olması ve mevcut besinsel tuzların hızla tükenmesinin etkili olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda kullanılan kültür ortamlarındaki başlangıç ve final nitrat azotu (NO₃-N) miktarları kıyaslandığında en yüksek artış %100 Atıksu ortamında yaklaşık 3,26 kat olarak gözlemlenmiştir. Nitrit azotu (NO₂-N) miktarı için kontrol grubundan (368,11 kat) sonra en yüksek artış miktarı (167,5 kat) %80 BG11-%20 Atıksu ortamında gözlemlenirken, NO₃-N artış miktarının aksine en düşük artış %100 Atıksu ortamında 41,29 kat olarak belirlenmiştir. Algler genellikle azot kaynaklarını öncelik sırasına göre kullanır: Amonyum> üre> nitrat> nitrit (Junying ve ark., 2013). 10 gün süren çalışmamızda algler öncelikli azot kaynağı olarak amonyağı tercih ettikleri için nitrit ve nitrat konsantrasyonlarında deney süresine bağlı olarak azalma gözlemlenmemiştir. Algler amonyağı kolayca emip büyümeleri için kullanma yeteneğine sahiptir. Atık sudan gelen amonyağın besin kaynağı olarak kullanılması, alglerin amonyağı daha hızlı tüketme oranına dayanır ve algler bunu öncelikli besin olarak kullanır. Nitrat (NO₃⁻) ve nitrit (NO₂⁻) gibi diğer azot formlarıyla karşılaştırıldığında, algler genellikle çevrede mevcut olduğunda amonyak için daha hızlı bir alım oranı sergiler. Bitki tarafından NO₃-N asimilasyonu, kloroplastta amonyum üretmek için iki taşıma ve iki indirgeme adımı içerir (Fischer ve Klein, 1988; Crawford, 1995). Bu nedenle, NO₃-N'in amonyuma indirgenmesi sürecinde NO₂-N üretilir ve üretilen NO₂-N'in bir kısmının çevreye boşaltılması mümkündür (Burhenne ve Tischner, 2000). Çalışmamızdaki tüm ortamlarda meydana gelen NO₂-N miktarındaki artışın, NO₃-N miktarındaki artıştan fazla olmasının nedenlerinden biri alglerin azot kaynağı olarak

nitritten önce nitratı tercih etmeleridir. Bir diğer nedeni ise $\text{NO}_3\text{-N}$ 'in zamanla $\text{NO}_2\text{-N}$ 'e indirgenmesi olayıdır. Yapılan bir çalışmada yüksek $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonunun nitrat redüktaz aktivitesini arttırdığı ve böylece $\text{NO}_2\text{-N}$ birikiminin artmasına neden olduğu bildirilmiştir (Jeanfils ve ark., 1993). Çalışmamızla benzer olarak, yapılan bir çalışmada Chlorophyta'ya ait 3 alg türünün süt çiftliğinden deşarj edilen atıksuyun arıtılmasına katkısı araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan *Neochloris oleoabundans* alginin yüksek $\text{NO}_3\text{-N}$ seviyeleri nedeniyle bir giderim etkisi göstermediğini ve alg azot kaynağı tercihinin güçlü bir şekilde amonyuma yöneldiğini bildirmişlerdir (Franchino ve ark., 2013).

6 kültür ortamındaki maksimum ortofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) giderim verimi %100 Atıksu ortamında %98,01 olarak tespit edilmiştir. Uryawan ve Sofiyah (2020). Yaptıkları çalışmada evsel atıksu ortamında *Chlorella* sp. alginin $\text{PO}_4\text{-P}$ besin maddelerinin giderim veriminin %70,2 ve %57,1 olduğunu bildirmişlerdir. Choi ve Lee (2012) atıksu arıtımında besin maddelerinin giderimi için en uygun *C. vulgaris* konsantrasyonunu belirlemek amacıyla 5 farklı *C. vulgaris* konsantrasyonu denemişlerdir. Her grup için başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ miktarları $4,04 \text{ mg L}^{-1}$ olacak şekilde ayarlanarak belirlenen yoğunluklarda *C. vulgaris* inokülasyonları yapılmıştır. Deneysel takibi 8 gün olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak maksimum giderim yüzdesini run 4 grubunda (4. çalışma fraksiyonu) %48,76 olarak bildirmişlerdir. Ancak bizim çalışmamızda %60 BG11 %40 Atıksu ortamının başlangıç $\text{PO}_4\text{-P}$ miktarı ($4,27 \text{ mg L}^{-1}$) bu çalışmada belirlenen $\text{PO}_4\text{-P}$ miktarına yakın olmasına rağmen giderim yüzdesi %97,27 olarak görülmüştür. Çalışmamızdaki diğer tüm ortamlardaki giderim yüzdeleri de bu çalışmada rapor edilen giderim değerlerinden yüksek çıkmıştır. Bu durumda, yetiştirme ortamlarının, deney koşullarının ve alg türünün giderim miktarı üzerinde etkisi olduğu söylenebilir.

Hücrelerin kimyasal bileşimlerini ve biyolojik aktivitelerini araştırmak için kullanılan ekstraksiyon adımından önce hücre yoğunluğunu kontrol etmek için kuru ağırlığın belirlenmesi önemlidir. Alg biyokütlesini kuru ağırlık olarak hesaplamak, büyümeyi ölçmek, alg kültürlerinin verimliliğini hesaplamak ve farklı alg türlerini karşılaştırmak için güvenilir bir yöntemdir (Semerci ve ark., 2025). Literatürdeki çalışmalar, genel bir besin ortamı olan BG11'de üretilen maksimum mikroalg biyokütlesinin $0,3\text{-}0,5 \text{ gL}^{-1}$ aralığında olduğunu göstermektedir (Xin ve ark., 2010; Singh ve ark., 2020). Yapılan bu çalışmada kullanılan BG11: Atıksu ortamındaki inorganik besin konsantrasyonları

BG11 kültür ortamına kıyasla daha düşük olmasına rağmen biyokütle miktarları incelendiğinde en yüksek kuru biyokütle miktarı %80 BG11-%20 Atıksu ortamından (0,193 gL⁻¹) elde edilmiştir. Farklı oranlarda atıksu karıştırımının alg biyokütlesi gelişimi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir. 5 farklı kültür ortamı kullanılarak yapılan bir çalışmada en yüksek kuru biyokütle eldesi %50 atıksu ile seyreltme yapılarak oluşturulan kültür ortamında 98,54 mg L⁻¹ olarak belirlenmiştir (Apandi ve ark., 2019). Kültür hacminin %30 ve %50 oranında yapay atıksu ile değiştirilmesiyle oluşturulan ortamlarda *Scenedesmus* sp. kullanılarak yapılan bir çalışmada en yüksek kuru biyokütle %30 seyreltme yapılan ortamdan 0,331 gL⁻¹ olarak tespit edilmiştir (Voltolina ve ark., 1999). Kültür ortamlarının ve yetiştirme koşullarının farklılığına bağlı olarak, yapılan bu çalışmada elde edilen kuru biyokütle miktarının bizim çalışmamızdan yüksek çıkma sebebi sürekli aydınlatma kullanılmasından kaynaklanabilir.

Yapılan bu çalışmada, *S. aequicaudatus* mikroalginin pigment miktarları farklı atıksu konsantrasyonlarına göre değişiklikler göstermiştir. 6 farklı kültür ortamında yetiştirilen mikroalgün 10 günlük biyokütellerindeki toplam pigment miktarları en yüksekten en düşüğe doğru sıralandığında kl-*a* için; %100 BG11 (12,68 mg g⁻¹), %60 BG11-%40 Atıksu (8,29 mg g⁻¹), %80 BG11-%20 Atıksu (7,93 mg g⁻¹), %40 BG11-%60 Atıksu (6,83 mg g⁻¹), %20 BG11-%80 Atıksu (1,45 mg g⁻¹) ve %100 Atıksu (1,26 mg g⁻¹) şeklindedir. Çalışmamızda elde edilen biyokütlerdeki toplam kl-*b* miktarı en yüksek olan konsantrasyon kontrol grubundan (5,88 mg g⁻¹) sonra %80 BG11-%20 Atıksu (4,32 mg g⁻¹) ortamında tespit edilmiştir. En düşük kl-*b* miktarı ise %100 Atıksu (0,60 mg g⁻¹) ortamında gözlemlenmiştir. Toplam karotenoid miktarı kontrol grubundan (3,27 mg g⁻¹) sonra en yüksek %40 BG11-%60 Atıksu (1,51 mg g⁻¹) ortamında belirlenirken, en düşük toplam karotenoid miktarı diğer pigmentlerden farklı olarak %20 BG11-%80 Atıksu (0,28 mg g⁻¹) ortamında görülmüştür.

Pigmentler arasında, özellikle karotenoid ve klorofil pigmentlerinin birbirlerine dönüşebilme yetenekleri nedeniyle ters bir ilişkisi vardır. Yaşam sürecinde besin alımının azalması ve diğer fizyolojik koşullar klorofil içeriğinin azalmasına neden olur ancak karotenoid üretimi devam edebilir (Varaprasad ve ark., 2019; Caner ve ark., 2025). Çalışmamızdaki %60 BG11-%40 Atıksu ve %40 BG11-%60 Atıksu besiyeri ortamlarında kl-*a* da azalma varken karotenoid değerlerindeki artışın besin eksikliğine bağlı karotenoid artışı olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda kontrol grubundan

sonra en yüksek kl-*a* değerleri sırasıyla %60 BG11-%40 Atıksu ve %80 Bg11-%20 Atıksu ortamlarında gözlemlenirken bu iki konsantrasyonda karotenoid miktarı, kl-*a* miktarına kıyasla oldukça düşük seviyelerdedir. Bu durum karotenoid ve klorofil pigmenti arasındaki ters ilişkiye atfedilebilir. Toplam karotenoid içeriği en yüksek olan konsantrasyon ayrıca toplam fenolik madde (TPC) miktarı en yüksek olan %40 BG11-%60 Atıksu ortamında tespit edilmiştir. Karotenoid, fotosentez için yardımcı pigment görevi görmesinin yanında ribonükleik aside ve deoksiribonükleik aside verilen zararı azaltan bir antioksidandır (da Fontoura ve ark., 2017). Toplam karotenoid ve TPC miktarının en yüksek olduğu konsantrasyonun aynı olması bu durumla açıklanabilir.

Mikroalgler genellikle türlere, kültür metabolizmalarına ve kullanılan tekniklere bağlı olarak %7-23 lipid, %4-57 karbonhidrat ve %6-71 proteinden oluşur (Prajapati ve ark., 2013). Çalışmamızda farklı kültür ortamlarında yetiştirilen *Scenedesmus aequicaudatus* alginin sahip olduğu karbonhidrat değerleri %41,38-%26,54 aralığındadır. En yüksek karbonhidrat değeri (%41,38), toplam protein miktarının da en fazla olduğu %60 BG11-%40 Atıksu ortamında gözlemlenmiştir. Büyümenin en düşük olduğu %100 atıksu ortamında karbohidrat içeriğinin de en düşük (%26,54) olduğu belirlenmiştir. Büyüme ve gelişmede etkili olan besiyeri ortamındaki inorganik tuz içeriğine bağlı olarak toplam karbohidrat değerinin de değiştii görülmüştür. Yapılan bir çalışmada farklı ortamlarda yetiştirilen *Scenedesmus* türünden elde edilen kuru biyokütlelerdeki karbonhidrat değerlerinin %39,11-%43,7 aralığında olduğu bildirilmiştir (Mathimani ve ark., 2025). *Scenedesmus* sp. CCNM 1077 suşunun, optimize edilmiş koşullar altında %42,68 karbonhidrat ürettiği görülmüştür (Pancha ve ark., 2015). Ayrıca, *S. obliquus* CNW-N'nin 400 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık altında yetiştirildiğinde %38 ila %40 arasında daha yüksek karbonhidrat içeriği biriktirdii bildirilmiştir (Ho ve ark., 2012). Türün sahip olduğu biyokimyasal içerikler; türün özelliklerine ve yetiştirildikleri ortam şartlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Farklı hücre bileşenleri arasında, alg proteinleri yem ve gıda maddeleri üretmek için kullanılabilir ve hayvansal proteinlere önemli bir alternatif olarak kabul edilir. Esansiyel amino asitler, vitaminler ve mineraller açısından zengin olan bu proteinler, hayvansal protein kaynaklarına kıyasla yüksek kaliteli beslenme sunar (Silkina ve ark., 2025). Yapılan bir çalışmada *Scenedesmus* türüne ait ham biyokütledeki kuru ağırlığın %30 protein içerdiği bildirilmiştir (Mendez ve ark., 2014). Başka bir çalışmada temel BG11 kültür ortamı kullanılarak yetiştiriciliği yapılan *S. dimorphus* alginin içerdiği

protein miktarı ise %35 olarak belirlenmiştir (Wang ve ark., 2013). Bizim çalışmamızda %60 BG11-%40 Atıksu ortamında yetiştirilen mikroalgin içerdiği protein miktarıyla (%24,63) benzer olarak yapılan başka bir çalışmada *Scenedesmus* mikroalg örneğinin kuru ağırlığındaki protein miktarının %24 olduğunu bildirmiştir (Amiri ve ark., 2024). *Scenedesmus* cinsine ait türlerin içerdiği protein miktarlarının, bitkisel protein içeriği yüksek olan soya (%35), ıspanak (%26,5), kenevir (39,5), kişniş (22,2) bitkilerine benzer protein miktarına sahip olduğu tespit edilmiştir (Olsen ve ark., 2021; Macado ve ark., 2020; Gordalina ve ark., 2021). Kükürt içeriği bakımından farklı ortamlarda yetiştirilen *S. acuminatus* türünün protein değerlerinin kültür şartları ve kültürün yetiştirme süresine göre %11,6- %38,2 aralığında değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir (Zhang ve ark., 2020). Çalışmamızda ise 6 farklı kültür ortamında yetiştirilen *S. aequicaudatus* türünün içerdiği protein miktarının %4,66-%24,63 aralığında olduğu görülmüştür. Kültür ortamlarının ve yetiştirme koşullarının farklılığına bağlı olarak *Scenedesmus* cinsine ait türlerin içerdiği protein miktarları da değişiklikler gösterebilmektedir.

Literatürde *Scenedesmus aequicaudatus* biyokütlesinin antioksidan aktivitesini değerlendiren bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapılan çalışmalarda farklı besin ortamlarında yetişen farklı alg kültürlerinin kimyasal içeriklerinin farklı olduğu ve dolayısıyla antioksidan aktiviteyi etkilediği görülmüştür (Gauthier ve ark., 2020; Curcuraci ve ark., 2022). Bizim çalışmamızda da literatürle uyumlu olarak 6 farklı besin ortamının *S. aequicaudatus* alginin antioksidan aktivitesi üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda algler potansiyel bir doğal antioksidan kaynağı olarak görülse de mikroalglerde bulunan fenolik bileşiklerin antioksidan aktivitedeki rolü son zamanlarda önem kazanmıştır (Monteiro ve ark., 2020; Andriopoulos ve ark., 2022). Yapılan bazı çalışmalar, mikroalglerde fenolik içerik ve antioksidan aktivite arasındaki ilişkinin çelişkili olduğunu göstermiştir dolayısıyla fenolik maddelerin mikroalglerde önemli antioksidanlar olup olmadığı belirsizliğini korumaktadır. Bu çalışmalar fenolik içerik ile antioksidan aktivite arasında bir korelasyon olmadığını göstermiştir (Goh ve ark., 2010; Monteiro ve ark., 2020). Bununla birlikte, bazı çalışmalarda ise çalışmamızda olduğu gibi, fenolik içeriğin mikroalglerin antioksidan kapasitesine önemli ölçüde katkıda bulunduğunu bildirmiştir (Goiris ve ark., 2012; Hmani ve ark., 2021).

Mikroalglerin antibakteriyel aktiviteleri üzerinde çoklu doymamış yağ asitleri ve kolesterol gibi bazı bileşikler önemli bir rol üstlenmektedir. *Scenedesmus aequicaudatus* alginin antibakteriyel aktivitesinin araştırıldığı bir çalışmaya daha önce rastlanılmamıştır. *Scenedesmus* cinsine ait bazı antibakteriyel aktivite çalışmaları şöyledir: *Scenedesmus obliquus* alginden elde edilen ekstraktların, 9 ile 9,7 mm arasında değişen inhibisyon zon çapı ile *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* ve *Staphylococcus aureus* 'a karşı aktif olduğu gösterilmiştir. Yine *Scenedesmus obliquus* alginden elde edilen hekzan ve kloroform ekstraktlarının *Escherichia coli* üzerinde yüksek antibakteriyel aktivite gösterdiği tespit edilmiştir (Mukherjee ve ark., 2024). *Scenedesmus subspicatus* alginin DMSO'lu ekstraktlarının ise *Escherichia coli* ve *Bacillus subtilis* üzerinde düşük antibakteriyel etkinliğe sahip olduğu görülmüştür (Dantas ve ark., 2019). Yapılan başka bir çalışmada *Scenedesmus* sp.'den elde edilen ekstraktların çalışmamızla benzer şekilde herhangi bir antibakteriyel aktiviteye sahip olmadığı bildirilmiştir (Fadjria ve ark., 2023). *Scenedesmus* cinsinin antibakteriyel aktivitesiyle ilgili farklı sonuçlar literatürde görülmektedir. Bu farkın temel nedeni cins içeriğinde yer alan farklı türlerin genetik olarak biyoaktif bileşik profilinin farklı olmasıdır. Ayrıca üretilen biyokütlenin yetiştirme şartlarında biyoaktif içeriği etkilediği görülmektedir.

Çalışmamızda içerdikleri yağ asit metil esterlerine bağlı olarak farklı kültür ortamlarının biyodizel potansiyel aktivitesi üzerindeki etkilerine odaklanılmıştır. Elde edilen iyot değerleri 4,92-27,79 aralığında olup EN 14214 standardına göre, (IV'ü 120 'den az olan) biyodizeller motor performansını artırabilir. Setan sayısı ise 10,81-22,52 aralığında olduğu görülmüştür. Çalışmada belirlenen sabunlaşma değerleri düşük olup biyodizel potansiyeli için olumlu bir etki yaratmaktadır. Çünkü yüksek sabunlaşma değeri seviyeleri biyodizelde yüksek asit yüzdesi anlamına gelir ve bu da sabun oluşumuna neden olur ve bu önerilmez (Hasnain ve ark., 2023).

Mevcut çalışmada, farklı ortamda üretilen *S. aequicaudatus* biyokütellerinin setan sayılarının (CN) 28,4-54,8 aralığında olduğu tespit edilmiştir. ASTM D6751 standardı CN'ye (minimum 47) göre biyodizel için geçerli standartlarla karşılaştırıldığında %60 BG11-%40 Atıksu, %20 BG11-%80 Atıksu ve %100 Atıksu ortamlarından elde edilen yağ içeriğinin biodisel olarak kabul edilebilir bir aralıkta olduğu görülmektedir. Daha iyi motor performansı için Avrupa standardı EN 14214 (minimum 51) önerilmektedir.

Bu standarta göre sadece %60 BG11-%40 Atıksu ve %20 BG11-%80 Atıksu ortamlarından elde edilen değerlerin uygun olduğu görülmüştür.

Dünyada farklı alg türlerinin kullanılarak biyokimyasal içeriklerinin, biyolojik aktivitelerin ve biyodizel üretim potansiyelinin araştırıldığı çalışmaların bulunduğu görülmektedir. Çalışmamızda daha önce üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanılmayan *Scenedesmus aequicaudatus* türünün biyokimyasal içeriği ve biyolojik aktiviteleri açığa çıkarılmıştır.

Hazırlanan besiyeri ortamları içerisinde en yüksek alg gelişimi %80 BG11-%20 Atıksu ortamında, en düşük alg gelişimi ise %100 Atıksu ortamında tespit edilmiştir. Kültürler arasındaki en yüksek kl-a gelişimide OD destekler biçimde %80 BG11-%20 Atıksu ortamında belirlenmiştir.

Tüm gruplar kendi içinde kıyaslandığı durumda %100 BG11, %80 BG11-%20 Atıksu, %60BG11-%40 Atıksu ve %100 Atıksu ortamlarının PO₄-P konsantrasyonlarında anlamlı bir azalış olduğu tespit edilmiş olup *Scenedesmus aequicaudatus* türünün fosfat gideriminde kullanılmak için potansiyel bir aday olduğu görülmüştür.

Çalışmamızda kullanılan kültür ortamlarındaki başlangıç konsantrasyonuna göre final NO₃-N değerlerinde tüm gruplarda artış olduğu görülmüştür.

Farklı ortamlardan elde edilen kuru biyokütle miktarının %80 BG11-%20 Atıksu, %60 BG11-%20 Atıksu ortamlarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

En yüksek toplam protein (%24,63), toplam lipid (%24) ve toplam karbohidrat (%41,38); %60 BG11-%40 ortamından elde edilen kuru biyokütlerde tespit edilmiştir.

En yüksek TPC miktarı BG11 ortamında (25,31mg GA mg-1) sonra %40 BG11-%60 Atıksu ortamında (19,04 mg GA mg-1) olarak belirlenmiştir. En düşük TPC miktarı ise %80 BG11-%20 Atıksu ortamında sokslet metoduyla hazırlanan ekstrakta belirlenmiştir. Ultrasonik destekli maserasyon metodunun fenolik bileşiğin açığa çıkarılmasında daha etkili olduğu görülmüştür.

%60 BG11-%40 Atıksu ortamında üretilen biyokütlerden elde edilen ekstraktların en yüksek DPPH süpürme aktivitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca fenolik madde miktarına benzer şekilde ultrasonik destekli maserasyon metodunun sokslet metoduna göre antioksidan aktivite üzerinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

Farklı ortamlardaki biyokütlelerden hazırlanan etanolik ekstraktların çalışmada kullanılan test bakterileri üzerinde (*B. subtilis* ATCC 6633, *S. aureus* ATCC 29213, *E. faecalis* ATCC 29212, *S. typhimurium* ATCC 14028, *E. coli* ATCC 25922 ve *S. epidermidis* ATCC 12228) antibakteriyel etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

Setan sayısı, iyot değeri ve sabunlaşma miktarlarına bağlı olarak %60BG11-%40AS, %20BG11-%80AS ortamlarından elde edilen biyokütlenin biyodizel potansiyelinin olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmamızda %60BG11-%40AS ortamının *Scenedesmus aequicaudatus* alginin biyokimyasal içeriğini olumlu yönde artırdığı belirlenmiştir. Sonuç olarak Sapanca Gölü'nden saflaştırılan bu türün biyokimyasal içerikleri literatüre kazandırılmıştır. Özellikle *S. aequicaudatus*'un yağ asit bileşimi ve biyolojik aktiviteleri bileşimi ilk kez raporlanmıştır. *S. aequicaudatus*'un, yenilebilir yağlar, protein ve nişasta gibi gıda ürünlerinin üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir.

Çalışmamızda %60 BG11-%40 Atıksu ortamının *Scenedesmus aequicaudatus* alginin biyokimyasal içeriğini, DPPH süpürme aktivitesini ve biyodizel potansiyelini olumlu yönde artırdığı belirlenmiştir. Bununla birlikte farklı konsantrasyonlarda seyreltilen atık su ortamlarında farklı parametrelerin de (örneğin TPC değerleri) daha yüksek sonuç verebildiği görülmüştür. Bu durum bu alg ile yapılan çalışmalarda hangi parametrenin yüksek olarak elde edilmesi isteniyorsa atık su seyreltim oranının ona göre ayarlanması gerektiğini göstermektedir. Bu durum diğer alglerden elde edilecek ürünler için de benzer şekilde atık suyun farklı seyreltmelere maruz bırakılarak en yüksek ürünün elde edilmesi amacıyla kullanılabilirliğini de göstermektedir. Sonuç olarak Sapanca Gölü'nden saflaştırılan daha önce üzerinde bu tip çalışmalar yapılmamış olan bu türün biyokimyasal içerikleri ve biyolojik aktiviteleri ilk kez raporlanmıştır ve hazırlanan bilimsel yayınlara birlikte ilerleyen dönemde literatüre kazandırılacaktır. *S. aequicaudatus* yenilebilir yağlar, protein ve nişasta gibi gıda ürünlerinin üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Avrupa Yeşil Mutabakatında ve 2030 İklim Hedef Planında yer alan “Döngüsel ve temiz ekonomi için endüstriyi harekete geçirmek”, hedefi bu projenin çıktılarıyla uyumludur.



KAYNKLAR

- Abubakar, L.U., Mutie, A.M., & Kenya, E.U. (2012). Characterization of algae oil (oilgae) and its potential as biofuel in Kenya. *Journal of Applied Phytotechnology in Environmental Sanitation*, 1, 147-153.
- Aktar, S., & Cebe, G. E. (2010). General Specifications, Using Areas Of Algae And Their Importance On Pharmacy. *Journal of Faculty of Pharmacy of Ankara University*, 39(3), 237-264. https://doi.org/10.1501/Eczfak_0000000568
- Akyıl, S., İter, I., Koç, M., & Kaymak-Ertekin, F. (2016). Alglerden Elde Edilen Yüksek Değerlikli Bileşiklerin Biyoaktif/Biyolojik Uygulama Alanları. *Akademik Gıda*, 14(4), 418-423.
- Alçay, A.Ü., Bostan, K., Dinçel, E., & Varlık, C. (2017). Alglerin İnsan Gıdası Olarak Kullanımı. *Aydın Gastronomy*, 1(1):47-59.
- Álvarez-Díaz, P. D., Ruiz, J., Arbib, Z., Barragán, J., Garrido-Pérez, M. C., & Perales, J. A. (2015). Wastewater treatment and biodiesel production by *Scenedesmus obliquus* in a two-stage cultivation process. *Bioresource technology*, 181, 90-96.
- Amiri, M., Hosseini, S. E., Asadi, G., Khayambashi, B., & Abedinia, A. (2024). Optimization of microalgae protein extraction from *Scenedesmus obliquus* and investigating its functional properties. *LWT*, 198, 116028.
- Andriopoulos, V., Gkioni, M. D., Koutra, E., Mastropetros, S. G., Lamari, F. N., Hatziantoniou, S., & Kornaros, M. (2022). Total phenolic content, biomass composition, and antioxidant activity of selected marine microalgal species with potential as aquaculture feed. *Antioxidants*, 11(7), 1320.
- Apandi, N., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A., Gani, P., Ibrahim, A., & Kassim, A. H. M. (2019). *Scenedesmus* biomass productivity and nutrient removal from wet market wastewater, a bio-kinetic study. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 2783-2800.
- Arasaki, S., & Arasaki T. (1983). Low calorie, high nutrition vegetables from the sea to help look and feel better. Tokyo: Japan Publications.
- Aslan, S., & Kapdan, I. K. (2006). Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecological engineering*, 28(1), 64-70.
- Barsanti, L., & Gualtieri, P. (2022). *Algae: anatomy, biochemistry, and biotechnology*. CRC press.
- Bello, A. S., Saadaoui, I., & Ben-Hamadou, R. (2021). "Beyond the source of bioenergy": microalgae in modern agriculture as a biostimulant, biofertilizer, and anti-abiotic stress. *Agronomy*, 11(8), 1610.

- Bidigare, R. R., Ondrusek, M. E., Morrow, J. H., & Kiefer, D. A. (1990). In-vivo absorption properties of algal pigments. In **Ocean Optics X**, 1302, 290-302. SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.21451>
- Blois, M. S. (1958). Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 181(4617), 1199-1200.
- Borowitzka, M.A. & Borowitzka, L.J. Microalgal biotechnology, *Cambridge University press*, Vol :1, (477pp). Cambridge, 1992.
- Bradford, M. M., 1976. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254
- Burhenne, N., & Tischner, R. (2000). Isolation and characterization of nitrite-reductase-deficient mutants of *Chlorella sorokiniana* (strain 211-8k). *Planta*, 211, 440–445.
- Caner, C., Erdağı, D., Şeker, B., Altundağ, H., Çetin, G., & Tunca, H. (2025). Effects of molybdenum to growth parameters and lipid content of two algae in Scenedesmaceae taxa. *Heliyon*, 11(1).
- Castejón, N., & Señoráns, F. J. (2020). Enzymatic modification to produce health promoting lipids from fish oil, algae and other new omega-3 sources: A review. *New biotechnology*, 57, 45-54.
- Chandini, S.K., Ganesan, P., Suresh, P.V., & Bhaskar, N. (2008). Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 45(1), 1-13
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Chen, T. Y., Chang, Y. B., Kuo, C. M., & Lin, C. S. (2015). Cultivation of microalgal *Chlorella* for biomass and lipid production using wastewater as nutrient resource. *Bioresource technology*, 184, 179-189.
- Choi, H. J., & Lee, S. M. (2012). Effects of microalgae on the removal of nutrients from wastewater: various concentrations of *Chlorella vulgaris*. *Environmental Engineering Research*, 17(S1), 3-8.
- Cirik, Ş. (1981). Türk denizlerindeki algler ve değerlendirme araçları. *Çevre Haberleri*, 9, 65-68
- Cirik, Ş., & Cirik, S. (2011). Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları*, 58: 135-145.
- Crawford, N. M. (1995). Nitrate: Nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell*, 7, 859–868.
- Curcuraci, E., Manuguerra, S., Messina, C. M., Arena, R., Renda, G., Ioannou, T., ... & Santulli, A. (2022). Culture conditions affect antioxidant production, metabolism and related biomarkers of the microalgae *Phaeodactylum tricorutum*. *Antioxidants*, 11(2), 411.
- Çalışkan Eleren S., & Öner B. (2019). Sustainable and Eco-Friendly Raw Materials for Biofuels: Microalgae. *Pamukkale University Journal Of Engineering Sciences (Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi)*, 25(3): 304-319. <https://dx.doi.org/10.5505/pajes.2018.93992>

- da Fontoura, J. T., Rolim, G. S., Farenzena, M., & Gutterres, M. (2017). Influence of light intensity and tannery wastewater concentration on biomass production and nutrient removal by microalgae *Scenedesmus* sp. *Process Safety and Environmental Protection*, 111, 355-362.
- Dalrymple, O. K., Halfhide, T., Udom, I., Gilles, B., Wolan, J., Zhang, Q., & Ergas, S. (2013). Wastewater use in algae production for generation of renewable resources: a review and preliminary results. *Aquatic biosystems*, 9, 1-11.
- Dantas, D. M. D. M., Oliveira, C. Y. B. D., Costa, R. M. P. B., Carneiro-da-Cunha, M. D. G., Gálvez, A. O., & Bezerra, R. D. S. (2019). Evaluation of antioxidant and antibacterial capacity of green microalgae *Scenedesmus subspicatus*. *Food Science and Technology International*, 25(4), 318-326.
- Dawczynski, C., Schubert, R., & Jahreis, G. (2007). Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food chemistry*, 103(3), 891-899.
- de Souza Leite, L., Hoffmann, M. T., & Daniel, L. A. (2019). Microalgae cultivation for municipal and piggery wastewater treatment in Brazil. *Journal of Water Process Engineering*, 31, 100821. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100821>
- Demircan, D. (2022). *Scenedesmus* sp. besin ortamının zenginleştirilmesi ve elde edilen biyomasın gıdaya uygunluğunun değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı, İzmir.
- Demiriz, T. (2008). *Bazı alglerin antibakteriyel etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Ankara, 60 s.
- Dineshkumar, R., Narendran, R., Jayasingam, P. & Sampathkumar, P. (2017). Cultivation and chemical composition of microalgae *Chlorella vulgaris* and its antibacterial activity against human pathogens. *Journal of Aquaculture ve Marine Biology*, vol. 5(3), <https://doi.org/10.15406/jamb.2017.05.00119>
- Doyle, W.T. (1970). Introduction to Algae. (In): Nonseed Plants: Form and Function. *Fundamentals of Botany Series* (s. 87-98). Palgrave, London. https://doi.org/10.1007/978-1-349-00412-6_5
- Durmaz, Y., Işık, O., Bandarra, N.M., Cirik, S., Turan, G., & Gökpınar, Ş. (2002). *Porphyridium cruentum* (Rhodophyceae) yağ asitleri kompozisyonuna kurutma yöntemlerinin etkisi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 19(1-2): 189-195.
- El-Sheekh, M.M., El-Gamal, A., Bastawess, A.E., & El-Bokhomy, A. (2017). Production and characterization of biodiesel from the unicellular green alga *Scenedesmus obliquus*. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39(8), 783-793.
- Esteves, A. F., Salgado, E. M., Vilar, V. J., Gonçalves, A. L., & Pires, J. C. (2024). A growth phase analysis on the influence of light intensity on microalgal stress and potential biofuel production. *Energy Conversion and Management*, 311, 118511.
- Fadjria, N., Arfiandi, A., Nofita, D., & Fadhila, M. (2023). Screening Phytochemicals and Antibacterial Activity of Microalgae Strain *Scenedesmus* sp. Auma-020. *Journal of Pharmaceutical and Sciences*, 46-51.

- Fischer, P., & Klein, U. (1988). Localization of nitrogen-assimilating enzymes in the chloroplast of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology*, 88, 947–952.
- Franchino, M., Comino, E., Bona, F., & Riggio, V. A. (2013). Growth of three microalgae strains and nutrient removal from an agro-zootechnical digestate. *Chemosphere*, 92(6), 738-744.
- Gauthier, M. R., Senhorinho, G. N. A., & Scott, J. A. (2020). Microalgae under environmental stress as a source of antioxidants. *Algal research*, 52, 102104.
- Ge, S., Madill, M., & Champagne, P. (2018). Use of freshwater macroalgae *Spirogyra* sp. for the treatment of municipal wastewaters and biomass production for biofuel applications. *Biomass and Bioenergy*, 111, 213-223. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.03.014>
- Goh, S. H., Yusoff, F. M., & Loh, S. P. (2010). A comparison of the antioxidant properties and total phenolic content in a diatom, *Chaetoceros* sp. and a green microalga, *Nannochloropsis* sp. *Journal of Agricultural Science*, 2(3), 123.
- González, L. E., Cañizares, R. O., & Baena, S. (1997). Efficiency of ammonia and phosphorus removal from a Colombian agroindustrial wastewater by the microalgae *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus dimorphus*. *Bioresource technology*, 60(3), 259-262.
- Gordalina, M., Pinheiro, H. M., Mateus, M., da Fonseca, M. M. R., & Cesário, M. T. (2021). Macroalgae as protein sources—a review on protein bioactivity, extraction, purification and characterization. *Applied Sciences*, 11(17), 7969.
- Gökpınar, Ş., Göksan, T., & Durmaz, Y. (2001). PUFA (çok doymamış yağ asitleri) kaynağı olarak mikroalgler, *XI. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Hatay*, 4-6 Eylül, Cilt II, s. 779-785.
- Guschina, I. A., & Harwood, J. L. (2009). Algal lipids and effect of the environment on their biochemistry. In: Kainz, M., Brett, M., Arts, M. (eds) *Lipids in Aquatic Ecosystems*. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-0-387-89366-2_1
- Guschina, I. A., & Harwood, J. L. (2012). Algal lipids and their metabolism. *In Algae for biofuels and energy* (pp. 17-36). Dordrecht: Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5479-9_2
- Güner H., Aysel V. (2009). Tohumuz bitkiler sistematiği, *Ege Üniversitesi basımevi*, Bornova, İzmir, 1(7): 63s.
- Hasnain, M., Munir, N., Abideen, Z., Macdonald, H., Hamid, M., Abbas, Z., ... & Radicetti, E. (2023). Prospects for biodiesel production from emerging algal resource: Process optimization and characterization of biodiesel properties. *Agriculture*, 13(2), 407.
- Hernodh Svantesson, I., & Grånäs Jakobsson, S. (2019). *An analysis of creating plastic material based on the microalgae Scenedesmus*.
- Ho, S. H., Chen, C. Y., & Chang, J. S. (2012). Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO₂ fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. *Bioresource technology*, 113, 244-252.

- Hoppe, H. A., Levring T. & Tonaka Y. (1979). *Marine Algae in Pharmaceutical Science*, Berlin.
- Ikeda, K., Kitamura, A., Machida, H., Watanabe, M., Negishi, H., Hiraoka, J., & Nakano, T. (2003). Effect of *Undaria pinnatifida* (Wakame) on the development of cerebrovascular diseases in stroke-prone spontaneously hypertensive rats. *Clinical and experimental pharmacology & physiology*, 30(1-2), 44–48. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1681.2003.03786.x>
- Ina, A., & Kamei, Y. (2006). Vitamin B₁₂, a chlorophyll-related analog to pheophytin a from marine brown algae, promotes neurite outgrowth and stimulates differentiation in PC12 cells. *Cytotechnology*, 52(3), 181–187. <https://doi.org/10.1007/s10616-006-9038-z>
- Ip, S. Y., Bridger, J. S., Chin, C. T., Martin, W. R. B., & Raper, W. G. C. (1982). Algal growth in primary settled sewage: the effects of five key variables. *Water research*, 16(5), 621-632.
- Jafari, S., Mobasher, M. A., Najafipour, S., Ghasemi, Y., Mohkam, M., Ebrahimi, M. A., & Mobasher, N. (2018). Antibacterial potential of *Chlorella vulgaris* and *Dunaliella salina* extracts against *Streptococcus mutans*. *Jundishapur Journal of Natural Pharmaceutical Products*, 13(2).
- Jalilian, N., Najafpour, G. D., & Khajouei, M. (2020). Macro and micro algae in pollution control and biofuel production—a review. *ChemBioEng Reviews*, 7(1), 18-33.
- Jeanfils, J., Canisius, M. F., & Burlion, N. (1993). Effect of high nitrate concentrations on growth and nitrate uptake by free-living and immobilized *Chlorella vulgaris* cells. *Journal of applied phycology*, 5, 369-374.
- Junying, Z. H. U., Junfeng, R. O. N. G., & Baoning, Z. O. N. G. (2013). Factors in mass cultivation of microalgae for biodiesel. *Chinese Journal of Catalysis*, 34(1), 80-100. [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(11\)60497-X](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(11)60497-X)
- Kadir, W. N. A., Lam, M. K., Uemura, Y., Lim, J. W., & Lee, K. T. (2018). Harvesting and pre-treatment of microalgae cultivated in wastewater for biodiesel production: a review. *Energy Conversion and Management*, 171, 1416-1429. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.074>
- Katırcıoğlu, H., & Aksöz, N. (2003). Tek hücre proteini. *Orlab On-Line Mikrobiyoloji Dergisi*, 1(08), 34-49.
- Kawai, S., & Murata, K. (2016). Biofuel production based on carbohydrates from both brown red macroalgae: recent developments in key biotechnologies. *International journal of molecular sciences*, 17(2), 145. <https://doi.org/10.3390/ijms17020145>
- Kılıç H.E. (2017). *Çinko ağır metalin Scenedesmus ellipsoideus chodat alginin gelişimi ve antioksidan enzimlerin aktivitesi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 71s.
- Koller, M., Salerno, A., Tuffner, P., Koinigg, M., Böchzelt, H., Schober, S., ... & Braunegg, G. (2012). Characteristics and potential of micro algal cultivation strategies: a review. *Journal of Cleaner Production*, 37, 377-388.
- Konig, A., Pearson, H. W., & Silva, S. A. (1987). Ammonia toxicity to algal growth in waste stabilization ponds. *Water science and technology*, 19(12), 115-122.

- Kumar, B. R., Mathimani, T., Sudhakar, M. P., Rajendran, K., Nizami, A. S., Brindhadevi, K., & Pugazhendhi, A. (2021). A state of the art review on the cultivation of algae for energy and other valuable products: application, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110649.
- Kumari, P., Kumar, M., Reddy, C. R. K., & Jha, B. (2013). Algal lipids, fatty acids and sterols. In *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals* (pp. 87-134). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1533/9780857098689.1.87>
- Kurusakız, M. (2020). *Scenedesmus intermedius ve Scenedesmus planctonicus alg türlerinde azota bağlı lipid içeriğindeki değişimlerin incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, Kırıkkale.
- Lau, P. S., Tam, N. F. Y., & Wong, Y. S. (1995). Effect of algal density on nutrient removal from primary settled wastewater. *Environmental pollution*, 89(1), 59-66.
- Leal, M.C., Munro, M.H., Blunt, J.W., Puga, J., Jesus, B., Calado, R., & Madeira, C. (2013). Biogeography and biodiscovery hotspots of macroalgal marine natural products. *Natural Product Reports*, 30, 1380-1390.
- Li-Beisson, Y., Thelen, J. J., Fedosejevs, E., & Harwood, J. L. (2019). The lipid biochemistry of eukaryotic algae. *Progress in Lipid Research*, 74, 31-68.
- Lutzu, G.A., Ciurli, A., Chiellini, C., Di Caprio, F., Concas, A., & Dunford, N.T. (2021). Latest developments in wastewater treatment and biopolymer production by microalgae. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (1), 104926.
- MacArtain, P., Gill, C.I.R., Mariel Brooks, M., Campbell, R., & Rowland, I.R. (2007). Nutritional Value of Edible Seaweeds. *Nutrition Reviews*, 65(12) :535–543.
- Machado, M., Machado, S., Pimentel, F. B., Freitas, V., Alves, R. C., & Oliveira, M. B. P. (2020). Amino acid profile and protein quality assessment of macroalgae produced in an integrated multi-trophic aquaculture system. *Foods*, 9(10), 1382.
- Manning, S. R. (2022). Microalgal lipids: Biochemistry and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, 74, 1-7.
- Mathimani, T., Le, T. H. T., & Al-Ansari, M. M. (2025). Unraveling the bioenergy production potential of native *Scenedesmus* and *Nannochloropsis* species by ameliorating non-polar lipids and desirable fatty acid production. *Renewable Energy*, 238, 122021.
- Mendez, L., Mahdy, A., Ballesteros, M., & González-Fernández, C. (2014). Methane production of thermally pretreated *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus* sp. biomass at increasing biomass loads. *Applied energy*, 129, 238-242.
- Mercado I., Alvarez X., Verduga M.E. & Cruz A. (2020). Enhancement of Biomass and Lipid Productivities of *Scenedesmus* sp. Cultivated in the Wastewater of the Dairy Industry. Microbial Biotechnology Laboratory (BiotemLab), Faculty of Natural Sciences, Universidad de Guayaquil, Guayaquil 471, Ecuador. *Processes* 2020, 8, 1458; doi:10.3390/pr8111458

- Mohan, S. V., Rohit, M. V., Chiranjeevi, P., Chandra, R., & Navaneeth, B. (2015). Heterotrophic microalgae cultivation to synergize biodiesel production with waste remediation: progress and perspectives. *Bioresource technology*, 184, 169-178.
- Monteiro, M., Santos, R. A., Iglesias, P., Couto, A., Serra, C. R., Gouvinhas, I., ... & Díaz-Rosales, P. (2020). Effect of extraction method and solvent system on the phenolic content and antioxidant activity of selected macro-and microalgae extracts. *Journal of Applied Phycology*, 32, 349-362.
- Moradi, P., & Saidi, M. (2022). Biodiesel production from *Chlorella Vulgaris* microalgal-derived oil via electrochemical and thermal processes. *Fuel Processing Technology*, 228, 107158.
- Mukherjee, C., Suryawanshi, P. G., Kalita, M. C., Deka, D., Aranda, D. A., & Goud, V. V. (2024). Polarity-wise successive solvent extraction of *Scenedesmus obliquus* biomass and characterization of the crude extracts for broad-spectrum antibacterial activity. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14(2), 2467-2483.
- Munir, N., Sharif, N., Naz, S., & Manzoor, F. (2013). Algae: a potent antioxidant source. *Sky J. Microbiol. Res*, 1(3), 22-31.
- New Potential Source of Antibacterial and Antioxidant Compounds. Journal of Marine Science and Engineering*. 11(11), 2072. <https://doi.org/10.3390/jmse11112072>
- Olsen, M. F. L., Pedersen, J. S., Thomsen, S. T., Martens, H. J., Petersen, A., & Jensen, P. E. (2021). Outdoor cultivation of a novel isolate of the microalgae *Scenedesmus* sp. and the evaluation of its potential as a novel protein crop. *Physiologia Plantarum*, 173(2), 483-494.
- Oswald, W. J., Gotaas, H. B., Golueke, C. G., Kellen, W. R., Gloyna, E. F., & Hermann, E. R. (1957). Algae in waste treatment [with discussion]. *Sewage and industrial wastes*, 29(4), 437-457.
- Özlu, Ş. (2019). *Alg esashı doğal sindirim destekleyicisinin etlik piliçlerin performansı üzerine etkileri* (Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Pancha, I., Chokshi, K., & Mishra, S. (2015). Enhanced biofuel production potential with nutritional stress amelioration through optimization of carbon source and light intensity in *Scenedesmus* sp. CCNM 1077. *Bioresource Technology*, 179, 565-572.
- Patrick, R. (1973). Use of algae, especially diatoms, in the assessment of water quality. *ASTM Spec. Tech. Publ.*, 528, 76-95.
- Paul Abishek, M., Patel, J., & Prem Rajan, A. (2014). Algae oil: a sustainable renewable fuel of future. *Biotechnology Research International*.
- Pittman, J. K., Dean, A. P., & Osundeko, O. (2011). The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresource technology*, 102(1), 17–25. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.035>
- Piwowar, A., & Harasym, J. (2020). The importance and prospects of the use of algae in agribusiness. *Sustainability*, 12(14), 5669.
- Polat, S., & Polat, A. (2022). Makroalglerin mineral içeriği ve insan sağlığı için kullanım olanakları. *Food and Health*, 8(2), 150-160.

- Prajapati, Sanjeev Kumar, Prajapati, S. K., Kaushik, P., Malik, A., & Vijay, V. K. (2013). Phycoremediation coupled production of algal biomass, harvesting and anaerobic digestion: possibilities and challenges. *Biotechnology Advances*, 31(8), 1408-1425.
- Rezaei, R., Akbulut, A., & Sanin, S. L. (2019). Effect of algae acclimation to the wastewater medium on the growth kinetics and nutrient removal capacity. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 1-10
- Rippka, R., Deruelles, J., Waterbury, J. B., Herdman, M., & Stanier, R. Y. (1979). Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. *Microbiology*, 111(1), 1-61.
- Rodolfi, L., Chini Zittelli, G., Bassi, N., Padovani, G., Biondi, N., Bonini, G., & Tredici, M. R. (2009). Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and bioengineering*, 102(1), 100-112.
- Ruiz-Marin, A., Mendoza-Espinosa, L. G., & Stephenson, T. (2010). Growth and nutrient removal in free and immobilized green algae in batch and semi continuous cultures treating real wastewater. *Bioresource technology*, 101(1), 58-64.
- Russell, C., Rodriguez, C., & Yaseen, M. (2022). High-value biochemical products & applications of freshwater eukaryotic microalgae. *Science of The Total Environment*, 809,
- Sahoo, D., & Baweja, P. (2015). General Characteristics of Algae. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7321-8_1
- Saidi, M., & Jahangiri, A. (2017). Refinery approach of bio-oils derived from fast pyrolysis of lignin to jet fuel range hydrocarbons: reaction network development for catalytic conversion of cyclohexanone. *Chemical Engineering Research and Design*, 121, 393-406.
- Sajjadi, B., Chen, W. Y., Raman, A. A. A., & Ibrahim, S. (2018). Microalgae Lipid and Biomass for Biofuel Production: A Comprehensive Review on Lipid Enhancement Strategies and Their Effects on Fatty Acid Composition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 97, 200-232.
- Semerci, A. B., İnceçayır, D., Konca, T., Tunca, H., & Tunç, K. (2020). Phenolic constituents, antioxidant and antimicrobial activities of methanolic extracts of some female cones of gymnosperm plant. *Indian Journal of Biochemistry and Biophysics (IJBB)*, 57(3), 298-303.
- Semerci, A. B., Tekbaba, A. G., & Sevindik, T. O. (2025). The effect of different culture mediums on the morphological characters, growth parameters, chemical contents, and biological activities of *Kamptonema formosum* (Bory ex Gomont) Strunecký, Komárek & J. Smarda. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1-16.
- Shahid, A., Khan, F., Ahmad, N., Farooq, M., & Mehmood, M. A. (2020). Microalgal carbohydrates and proteins: Synthesis, extraction, applications, and challenges. *Microalgae biotechnology for food, health and high value products*, 433-468.

- Sharma, P. K., Saharia, M., Srivstava, R., Kumar, S., & Sahoo, L. (2018). Tailoring microalgae for efficient biofuel production. *Frontiers in Marine Science*, 5, 382.
- Silkina, A., Gayo-Peláez, J. I., Fernandes, F., Fuentes-Grünewald, C., Kapoore, R. V., & Tang, K. W. (2025). From waste to wealth: coupling different nutritional modes of *Scenedesmus obliquus* for waste remediation and algal product development. *Journal of Applied Phycology*, 1-10.
- Singh, A., Ummalyma, S. B., & Sahoo, D. (2020). Bioremediation and biomass production of microalgae cultivation in river watercontaminated with pharmaceutical effluent. *Bioresource technology*, 307, 123233. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123233>
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Stabili L, Acquaviva MI, Cecere E, Gerardi C, Petrocelli A, Fanizzi FP, Angilè F, & Rizzo L. (2023). Screening of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyceae) Lipidic Extract as a New Potential Source of Antibacterial and Antioxidant Compounds. *Journal of Marine Science and Engineering*. 11(11), 2072. <https://doi.org/10.3390/jmse11112072>
- Suryawan, I. W. K., & Sofiyah, E. S. (2020). Cultivation of chlorella sp. and algae mix for NH₃-N and PO₄-P domestic wastewater removal. *Civil and Environmental Science Journal*, 3(1), 31-36.
- Şirin, S., & Sillanpää, M. (2015). Cultivating and harvesting of marine alga *Nannochloropsis oculata* in local municipal wastewater for biodiesel. *Bioresource technology*, 191, 79-87.
- Şirinyıldız, D. D., & Yorulmaz, A. (2022). Algae as an alternative and sustainable food source. *Toros University Journal of Food, Nutrition and Gastronomy*, 1(1), 101–117. <https://doi.org/10.58625/jfng-1935>
- Tavakoli, S., Hong, H., Wang, K., Yang, Q., Gahruie, H. H., Zhuang, S., ... & Luo, Y. (2021). Ultrasonic-assisted food-grade solvent extraction of high-value added compounds from microalgae *Spirulina platensis* and evaluation of their antioxidant and antibacterial properties. *Algal Research*, 60, 102493
- Tekbaba, A. G., Kutlu, N., Semerci, A. B., Atik, S., & Sevindik, T. O. (2025). Nutrient Removal and Biochemical Content Yield of *Chloroidium ellipsoideum* Cultivation in Domestic Wastewater Environment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(5), 303.
- Templeton, D. W., Quinn, M., Van Wychen, S., Hyman, D., & Laurens, L. M. (2012). Separation and quantification of microalgal carbohydrates. *Journal of Chromatography A*, 1270, 225-234.
- Tüney Kızılkaya, İ., & Bayraktar, E. (2018). Alg Pigmentlerinin Tekstilde Doğal Boyar Madde Olarak Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22, 50-57. <https://doi.org/10.19113/sdufbed.01327>

- Varaprasad, D., Raga Sudha, N., Nazaneen Parveen, S., & Chandrasekhar, T. (2019). Effect of various solvents on chlorophyll and carotenoid extraction in green algae: *Chlamydomonas reinhardtii* and *Chlorella vulgaris*. *Annals of Plant and Soil Research*, 21(4), 341-345.
- Vigani, M., Parisi, C., Rodríguez-Cerezo, E., Barbosa, M. J., Sijtsma, L., Ploeg, M., & Enzing, C. (2015). Food and feed products from micro-algae: Market opportunities and challenges for the EU. *Trends in Food Science & Technology*, 42(1), 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.12.004>
- Voltolina, D., Cordero, B., Nieves, M., & Soto, L. P. (1999). Growth of *Scenedesmus* sp. in artificial wastewater. *Bioresource technology*, 68(3), 265-268.
- Wang, L., Li, Y., Sommerfeld, M., & Hu, Q. (2013). A flexible culture process for production of the green microalga *Scenedesmus dimorphus* rich in protein, carbohydrate or lipid. *Bioresource Technology*, 129, 289-295.
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Gulf professional publishing. USA.
- Wollmann, F., Dietze, S., Ackermann, J. U., Bley, T., Walther, T., Steingroewer, J., & Krujatz, F. (2019). Microalgae wastewater treatment: Biological and technological approaches. *Engineering in Life Sciences*, 19(12), 860-871. <https://doi.org/10.1002/elsc.201900071>
- Wrigley, T. J., & Toerien, D. F. (1990). Limnological aspects of small sewage ponds. *Water Research*, 24(1), 83-90.
- Xin, L., Hong-Ying, H., & Jia, Y. (2010). Lipid accumulation and nutrient removal properties of a newly isolated freshwater microalga, *Scenedesmus* sp. LX1, growing in secondary effluent. *New Biotechnol*, 1, 59-63. <https://doi.org/10.1016/j.nbt.2009.11.006>
- Yanagisawa, M., Kawai, S., & Murata, K. (2013). Strategies for the production of high concentrations of bioethanol from seaweeds: Production of high concentrations of bioethanol from seaweeds. *Bioengineered*, 4, 224–235.
- Ye, S., Gao, L., Zhao, J., An, M., Wu, H., & Li, M. (2020). Simultaneous wastewater treatment and lipid production by *Scenedesmus* sp. HXY2. *Bioresource Technology*, 302, 122903.
- Zhang, S. S., Liu, H., Fan, J. F., & Yu, H. (2015). Cultivation of *Scenedesmus dimorphus* with domestic secondary effluent and energy evaluation for biodiesel production. *Environmental Technology*, 36(7), 929-936.
- Zhang, Y., Huang, Z., Zheng, H., Wang, Q., & Li, A. (2020). Growth, biochemical composition and photosynthetic performance of *Scenedesmus acuminatus* under different initial sulfur supplies. *Algal Research*, 45, 101728.
- Zhou, W., Wang, Z., Xu, J., & Ma, L. (2018). Cultivation of microalgae *Chlorella zofingiensis* on municipal wastewater and biogas slurry towards bioenergy. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 126(5), 644-648.
- Zielinski, D., Fraczyk, J., Debowski, M., Zielinski, M., Kaminski, Z. J., Kregiel, D., ... & Kolesinska, B. (2020). Biological activity of hydrophilic extract of *Chlorella vulgaris* grown on post-fermentation leachate from a biogas plant supplied with stillage and maize silage. *Molecules*, 25(8), 1790.

Zuliani, L., Frison, N., Jelic, A., Fatone, F., Bolzonella, D., & Ballottari, M. (2016). Microalgae Cultivation on Anaerobic Digestate of Municipal Wastewater, Sewage Sludge and Agro-Waste. *International journal of molecular sciences*, 17(10), 1692. <https://doi.org/10.3390/ijms17101692>





ÖZGEÇMİŞ

Ad- Soyad : Soner ATİK

ÖĞRENİM DURUMU

- **Lisans** : 2022, Sakarya Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2025, Sakarya Üniversitesi, Biyoloji Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER

- Sakarya Üniversitesi Biyoloji Lisans derecesiyle (birincilik) tamamladı.
- Farklı mikroalglerin biyokimyasal içeriklerinin ve biyolojik aktivitelerinin araştırılması 05.01.2024- 05.01.2025 Sakarya Üniversitesi genel araştırma projesi (Proje no: 2023-24-51-101) (Bursiyer).

TEZDEN TÜRELİTEN ESERLER

- ATİK, S., TEKBABA, A. G., SEMERCİ, A. B., ONGUN SEVİNDİK, T., 2024. Low Cost *Scenedesmus aequicaudatus* Hortobágyi cultivation. İstanbul University Faculty Of Aquatic Sciences 3rd International Aquatic Biotechnology Symposium, 25 – 27 September, 2024 İstanbul – TÜRKİYE.

DİĞER ESERLER

- Tekbaba, A. G., Kutlu, N., Semerci, A. B., Atik, S., & Sevindik, T. O. (2025). Nutrient Removal and Biochemical Content Yield of *Chloroidium ellipsoideum* Cultivation in Domestic Wastewater Environment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 236(5), 303
- Suyun, Y., Ertan, S., Atik, S., Semerci, A. B., Tekbaba, A. G., & Sevindik, T. O. Evaluation of Biochemical Content and Antioxidant Activity of *Pterocladia capillacea* Algae. *Acta Aquatica Turcica*, 21(2), 158-166.
- TEKBABA A. G., KUTLU N., SEMERCİ A.B., ATİK S., ONGUN SEVİNDİK T., 2024. Effect of Wastewater Supported Environment on Biochemical Content, Removal Capacity and Antioxidant Activity of *Chloroidium ellipsoideum* (Gerneck) Darienko & al. İstanbul University Faculty Of Aquatic Sciences 3rd International Aquatic Biotechnology Symposium, 25 – 27 September, 2024 İstanbul – TÜRKİYE.