

T.C.  
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GÜL İŞLEME ATIKSUYUNUN *CHLORELLA SP.* İLE ARITIMI VE  
SONRASINDA BİYOGÜBRE VE SULAMA SUYU AÇISINDAN  
DEĞERLENDİRİLMESİ

Önder UYSAL

Danışman  
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

DOKTORA TEZİ  
TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ISPARTA - 2019



© 2019 [Önder UYSAL]

## TEZ ONAYI

**Önder UYSAL** tarafından hazırlanan "**Gül İşleme Atıksuyunun *Chlorella sp.* ile Arıtımı ve Sonrasında Biyogübre ve Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü **Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

**Danışman**

**Prof. Dr. Kamil EKİNCİ**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Fatma GÜRBÜZ**

Aksaray Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Caner KOÇ**

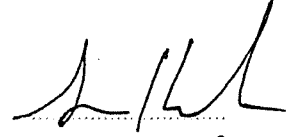
Ankara Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Mehmet KILIÇ**

Süleyman Demirel Üniversitesi



**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Nalan Özgür YİĞİT**

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Yusuf UÇAR**

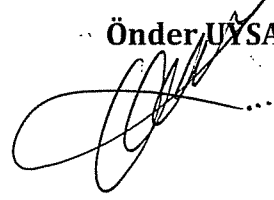




## TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Önder UYSAL



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Mikroalgler.....	5
1.2. Mikroalg Yetiştirme Parametreleri.....	5
1.2.1. Işık.....	6
1.2.2. Sıcaklık.....	7
1.2.3. Tuzluluk.....	8
1.2.4. Besin konsantrasyonu.....	9
1.2.5. pH.....	10
1.2.6. O <sub>2</sub> ve CO <sub>2</sub> .....	11
1.3. Mikroalg Üretim Sistemleri.....	11
1.4. Mikroalg Yağ.....	15
1.5. Atıksu Uygulamalarında Mikroalgler.....	16
1.6. Gül İşleme Atıksuları.....	19
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	23
3. MATERYAL VE METOT.....	28
3.1. Materyal.....	28
3.1.1. Gül işleme atıksuyu.....	28
3.1.2. Denemede kullanılan mikroalg suşu: <i>Chlorella sp.</i> .....	29
3.1.3. Besi ortamı.....	30
3.1.4. Laboratuvar (iç ortam-stok kültür kabini) denemeleri.....	31
3.1.5. Sera (dış ortam) denemeleri.....	32
3.1.6. Mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan açık sistem.....	33
3.1.7. Mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan kapalı sistem.....	33
3.2. Metot.....	34
3.2.1. İç ortam denemesinin kurulması ve yürütülmesi.....	34
3.2.2. Dış ortam denemesinin kurulması ve yürütülmesi.....	35
3.2.3. Deneme süresince yapılan analizler.....	36
3.2.3.1. Optik yoğunluk.....	36
3.2.3.2. Biyokütle kuru ağırlığı.....	37
3.2.3.3. pH.....	37
3.2.3.4. EC.....	38
3.2.3.5. Çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu.....	38
3.2.3.6. KOİ.....	39
3.2.3.7. BOİ <sub>5</sub> .....	39
3.2.3.8. Ortofosfat analizi.....	40
3.2.3.9. Nitrat ve nitrat azotu analizi.....	40
3.2.3.10. Amonyum azotu analizi.....	40
3.2.3.11. Sulama suyu analizleri.....	40
3.2.3.12. Fotosentetik aktif radyasyon ölçümleri.....	41

3.2.3.13. Mikroalg üretim sistemlerinde enerji ölçümleri .....	42
3.2.3.14. Mikroalg biyokütlesinin toplam karbon (C) ve azot (N) içeriğinin belirlenmesi.....	42
3.2.3.15. Mikroalg biyokütlesinin mikro ve makro element analizleri.....	43
3.2.3.16. KOİ, BOİ <sub>5</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – N, PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ve NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – N giderimi.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	44
4.1. İç Ortam Denemelerine Ait Parametrelerin Değişimi .....	44
4.1.1. pH değişimi .....	44
4.1.2. EC değişimi.....	45
4.1.3. TDS değişimi.....	45
4.1.4. NaCl değişimi.....	46
4.1.5. DO <sub>2</sub> değişimi .....	47
4.1.6. O <sub>2</sub> -SAT değişimi .....	48
4.1.7. Mikroalg biyokütlesi değişimi .....	48
4.1.8. OD <sub>680</sub> değişimi.....	49
4.1.9. KOİ değişimi .....	52
4.2. Dış Ortam Denemelerine Ait Parametrelerin Değişimi .....	53
4.2.1. Mikroalg hücre kontrolü.....	54
4.2.2. FAR değişimi.....	55
4.2.3. Sıcaklık değişimi .....	55
4.2.4. pH değişimi .....	56
4.2.5. EC değişimi.....	57
4.2.6. TDS değişimi.....	57
4.2.7. NaCl değişimi.....	58
4.2.8. DO <sub>2</sub> değişimi .....	59
4.2.9. O <sub>2</sub> -SAT değişimi .....	59
4.2.10. Mikroalg biyokütlesi değişimi.....	60
4.2.11. OD <sub>680</sub> değişimi.....	61
4.2.12. KOİ değişimi.....	62
4.2.13. BOİ <sub>5</sub> değişimi .....	64
4.2.14. NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ve NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – N değişimi.....	64
4.2.15. PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> değişimi .....	66
4.2.16. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – N değişimi .....	66
4.2.17. Mikroalg biyokütlesinin toplam karbon (C) ve azot (N) değişimi .....	67
4.2.18. Sulama suyu kalitesi açısından değişim.....	68
4.2.19. Mikroalg biyokütlesinin mikro ve makro besin içerikleri .....	72
4.2.20. Mikroalg sistemlerinin enerji tüketimleri.....	73
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR .....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	89

## ÖZET

### Doktora Tezi

## GÜL İŞLEME ATIKSUYUNUN *CHLORELLA SP.* İLE ARITIMI VE SONRASINDA BİYOGÜBRE VE SULAMA SUYU AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Önder UYSAL

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Türkiye’de uçucu yağ üretiminin büyük kısmını “*Rosa damascena*” yağlık gülünden elde edilen gül yağı oluşturmaktadır. Gül yağı fabrikalarında prosesten kaynaklanan atıksular herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın doğaya doğrudan boşaltılmakta veya biriktirme çukurlarında toplanmaktadır. Bu durum olumsuz çevresel koşullar yaratmaktadır. Bu tez çalışmasında, *Chlorella sp.* suşunun açık ve kapalı mikroalg sistemlerinde gülyağı işleme atıksuyunun biyolojik arıtımı, biyokütle eldesi, sulama suyu kalitesi, biyogübre ve üretim enerjileri açısından performansının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında gül işleme tesisi atıksuyunun *Chlorella sp.* mikroalg suşunun besin olarak değerlendirilmesi için öncelikle laboratuvar denemelerinde (iç ortam) inkübasyon dozajı belirlenmiştir. Sonra belirlenen doz, açık ve kapalı sistemlerde atıksu arıtımı ile biyogübre ve sulama suyu potansiyellerinin belirlenmesi için sera koşullarında (dış ortam) işletilen tübüler fotobiyoreaktör (T-FBR) ve kanal tipi havuz (RW) üretim sistemlerinde uygulanmıştır.

İç ortam bulgularında *Chlorella sp.* mikroalg suşu için besin olarak gül işleme atıksuyu seçilmiş ve bu atıksuyun optimum dozu besi ortamı ve atıksuyun % 50 oranında uygulandığı G4 olarak belirlenmiştir. G4 dozu dış ortamda açık ve kapalı sistemlerde 8 gün boyunca besin olarak kullanılmıştır. Dış ortamda yürütülen testlerde RW sisteminde % 61.76 KOİ giderimi sağlanırken aynı sistem için % 78.75 BOİ<sub>5</sub> giderimi sağlanmıştır. T-FBR sisteminde ise % 53.03 KOİ giderimi sağlanırken BOİ<sub>5</sub> için % 60’lık bir giderim elde edilmiştir. RW sisteminde % 16.8, T-FBR sisteminde % 7.8 oranında NO<sub>3</sub><sup>-</sup> giderim sağlanmıştır. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N açısından RW sisteminde % 17.1, T-FBR sisteminde ise % 8.7 oranında giderim sağlanmıştır. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N giderimi RW sisteminde % 67, T-FBR sisteminde % 34.9 olarak bulunmuştur.

Bu tez çalışmasında elde edilen bulgular doğrultusunda atıksu arıtımının en önemli parametrelerinden olan KOİ ve BOİ<sub>5</sub> giderimi için en iyi sonuç RW sisteminde tespit edilmiştir. Aynı zamanda bu sistemden elde edilen atıksuyun sulama suyu açısından yüksek tuzlu-düşük sodyumlu C3-S1 sınıfında yer aldığı

tespit edilmiştir. Biyogübre potansiyeli açısından değerlendirildiğinde ise en iyi sonucu T-FBR sistemi vermiştir.

Göller Yöresi ekonomisine en önemli girdiyi sağlayan ve giderek gelişen gül sektörünün çıktısı olan gül işleme atıksuyunun biyolojik olarak arıtımı sonrasında, katma değeri yüksek biyogübre ve sulama suyu elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu tez çalışmasında  $KOİ$ ,  $BOİ_5$ ,  $NO_3^-$ ,  $NO_3^- - N$  ve  $NH_4^+ - N$  giderim oranları ve sulama suyu açısından RW sisteminde en iyi sonuçlar elde edilirken, T-FBR sisteminde biyogübre açısından en iyi sonuç elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Chlorella sp.*, gül işleme atıksuyu,  $KOİ$ ,  $BOİ_5$ , kanal tipi havuz, tübüler fotobiyoreaktör.

**2019, 91 sayfa**





## ABSTRACT

### Ph.D. Thesis

## Treatment of Rose Processing Wastewater by *Chlorella Sp.* and Evaluation of Effluent as Biofertilizer and Irrigation Water

Önder UYSAL

Isparta University of Applied Sciences  
The Institute for Graduate Education  
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

The majority of the essential oil produced in Turkey constitutes the rose oil obtained from "Rosa damascena". In the rose oil plants, the process wastewater is discharged directly into the nature or collected in the accumulation ponds without any treatment. This creates adverse environmental conditions. In this study, treatment of rose processing wastewater by *Chlorella sp.* in open and closed microalgae cultivation systems and evaluation of process performance in terms of treatment effectiveness, algal biomass production, quality of irrigation water, biofertilizer, and production energies were determined. In this thesis, the optimum dosage of the rose processing wastewater for biological treatment was determined as the nutrient for *Chlorella sp.* microalgae strain indoor condition. Then, the determined dose was applied to the tubular photobioreactor (T-FBR) and raceway (RW) cultivation systems operated in greenhouse conditions (outdoor) to determine the wastewater treatment and biofertilizer and irrigation water potentials in open and closed systems.

Findings for the indoor conditions showed that G4, 50 % of which the cultivation media comes from rose processing wastewater, was determined as the optimum dose as the nutrient for *Chlorella sp.* for microalgae strain. G4 dose was used as nutrient for 8 days in open and closed systems.

At the end of the experiment conducted in the outdoor condition, 61.76 % COD removal was provided in the RW and 78.75 % BOD<sub>5</sub> removal was achieved for the same system. In the T-FBR, 53.03 % COD removal was achieved and 60 % removal was obtained for BOD<sub>5</sub>. A reduction of 7.8% in the T-FBR system was achieved for NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. For NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - N, 17.1% reduction in RW system and 8.7% reduction in T-FBR system was maintained. The NH<sub>4</sub><sup>-</sup> - N removal was 67% in the RW system and 34.9% in the T-FBR system.

It was concluded that the best result was obtained from RW cultivation system in terms of COD and BOD<sub>5</sub> removal. At the same time, the irrigation water obtained from this system was found to be in the C3-S1 class in terms of irrigation water. When evaluated in terms of biofertilizer potentials, T-FBR system gave the best result.

High value added biofertilizer and irrigation water have been obtained from the rose processing wastewater after the treatment, which is the output of the growing rose sector, which is the most important input to the economy of the Lakes Region. In conclusion, RW is preferred cultivation system in terms of COD, BOD<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N, while the T-FBR system was determined to be better than RW system in terms of biofertilizer potential.

**Keywords:** *Chlorella sp.*, rose process wastewater, COD, BOD<sub>5</sub>, water reuse, channel type open pond system, tubular photobioreactor.

**2019, 91 pages**



## TEŞEKKÜR

Tezimin her aşamasında desteklerini ve derin tecrübelerini esirgmeden paylaşan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Kamil EKİNCİ'ye ve TİK üyeleri hocalarım Prof. Dr. Fatma GÜRBÜZ'e ve Doç. Dr. Caner KOÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda kimyasal analizlerin yürütülmesinde destek veren Isparta Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Müdürlüğü sorumlu amiri Çevre Mühendisi Ertan AKARSU ve personeli Hasan TEKELİ'ye teşekkürlerimi sunarım. Aynı zamanda tübüler fotobiyoreaktör sisteminde desteği için Cenk SOYÖZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım sırasında mikroalg yetiştiriciliği konusunda destek veren Università Degli Studi di Napoli Federico II CAISIAL Enstitüsü öğretim elemanları Prof. Carmela Maria Assunta Barone, Antonio Luca Langellotti, Silvia Buono, Marina Massa, Francesca Rinna'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan başta rahmetli annem Hülya UYSAL'a, babam Ahmet Naci UYSAL'a, eşim Fatmagül Özge UYSAL'a ve ailesine, neşesi ve gülümsemesi ile bana en büyük gücü veren canım oğlum Eren UYSAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Önder UYSAL  
ISPARTA, 2019

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. RW sistemi .....	13
Şekil 1.2. T-FBR sistemi.....	14
Şekil 1.3. Büyüme eğrisi .....	15
Şekil 1.4. Gül işleme tesisinde (a) gül posalı atıksu bekletme havuzu; (b) gül posasız ızgaralı bekletme havuzu; (c) gül yağı kazanı; (d) gül atığı posası ve atıksuyu .....	21
Şekil 3.1. Gül işleme atıksuyuna ait resimler: (a) gül işleme tesisi, (b) atıksu örnek temini, (c) gül işleme atıksuyu deşarj kanalı.....	29
Şekil 3.2. <i>Chlorella sp.</i> mikroalg suşunun mikroskopik görüntüsü.....	30
Şekil 3.3. İç ortam (stok kültür kabini) .....	31
Şekil 3.4. İç ortam başlangıç <i>Chlorella sp.</i> mikroalg suşu aşılması; (a) mikroalg aşılması, (b) atıksu ortamlarına aşılama.....	32
Şekil 3.5. Polikarbon sera .....	32
Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan RW sistemi.....	33
Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan T-FBR sistemi.....	34
Şekil 3.8. İç ortam dozaj denemeleri .....	35
Şekil 3.9. Dış ortam denemelerinin kurulması; (a) T-FBR, (b) RW .....	36
Şekil 3.10. Denemede kullanılan spektrofotometre (Mecacys optizen pop uv/visible).....	36
Şekil 3.11. Biyokütlenin kuru ağırlığının belirlenmesi için kullanılan etüv..	37
Şekil 3.12. HD98569 DELTA OHM kayıt cihazına bağlı pH, EC ve O <sub>2</sub> sensörleri.....	38
Şekil 3.13. KOİ ölçümünde kullanılan ısıtma bloklu kuru termoreaktör (LT 200), kitler (LCK514) ve spektrofotometre (HACH LANGE, DR 3900) .....	39
Şekil 3.14. BOİ <sub>5</sub> belirlemede kullanılan WTW marka BOİ metre .....	39
Şekil 3.15. Spektrofotometre (HACH LANGE, DR 3900) .....	40
Şekil 3.16. DELTA OHM 9847K veri kaydedici .....	41
Şekil 3.17. FAR ölçümü için kullanılan LP471 FAR sensörü .....	42
Şekil 3.18. T-FBR ve RW sistemlerinde kullanılan elektronik elektrik sayaç (VİKO, VEM-M) .....	42
Şekil 3.19. C ve N tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı .....	43
Şekil 4.1. İç ortam denemesine ilişkin pH değerleri.....	44
Şekil 4.2. İç ortam denemesine ilişkin EC değerleri .....	45
Şekil 4.3. İç ortam denemesine ilişkin TDS değerleri .....	46
Şekil 4.4. İç ortam denemesine ilişkin NaCl değerleri .....	46
Şekil 4.5. İç ortam denemesine ilişkin DO <sub>2</sub> değerleri.....	47
Şekil 4.6. İç ortam denemesine ilişkin O <sub>2</sub> -SAT değerleri .....	48
Şekil 4.7. İç ortam denemesine ilişkin biyokütle verilerinin ortalama değerleri .....	49
Şekil 4.8. İç ortam denemesine ilişkin OD <sub>680</sub> değerleri.....	49
Şekil 4.9. G1 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon .....	50
Şekil 4.10. G2 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon ...	51
Şekil 4.11. G3 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon ...	51
Şekil 4.12. G4 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon ...	51
Şekil 4.13. G5 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon ...	52

Şekil 4.14. G6 uygulaması için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon ...	52
Şekil 4.15. İç ortam denemesine ilişkin KOİ değerleri .....	53
Şekil 4.16. Dış ortam denemesi sonucu kontaminasyon kontrolü .....	54
Şekil 4.17. RW (a) ve T-FBR (b) sistemlerinde deneme sonunda bulaşmanın olmadığı mikroalg hücrelerinin mikroskopik görüntüsü.....	54
Şekil 4.18. Dış ortam denemesi süresince ölçüm günlerinde kaydedilen ortalama FAR değişimleri .....	55
Şekil 4.19. Dış ortam sıcaklık değişimleri .....	56
Şekil 4.20. Dış ortam denemesine ilişkin pH değerleri .....	56
Şekil 4.21. Dış ortam denemesine ilişkin EC değerleri.....	57
Şekil 4.22. Dış ortam denemesine ilişkin TDS değerleri.....	58
Şekil 4.23. Dış ortam denemesine ilişkin NaCl değerleri .....	58
Şekil 4.24. Dış ortam denemesine ilişkin DO <sub>2</sub> değerleri.....	59
Şekil 4.25. Dış ortam denemesine ilişkin O <sub>2</sub> -SAT değerleri .....	60
Şekil 4.26. RW ve T-FBR sistemlerinden elde edilen biyokütle değerlerinin zamana bağlı değişimi.....	60
Şekil 4.27. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin OD <sub>680</sub> ortalama değerleri .....	61
Şekil 4.28. T-FBR sistemi için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon.....	62
Şekil 4.29. RW sistemi için OD <sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon .....	62
Şekil 4.30. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin KOİ değerlerinin değişimi.....	63
Şekil 4.31. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin BOİ <sub>5</sub> değerlerinin değişimi .....	64
Şekil 4.32. T-FBR ve RW sistemlerinin NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> değişimleri.....	65
Şekil 4.33. T-FBR ve RW sistemlerinin NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> – N değişimleri.....	65
Şekil 4.34. T-FBR ve RW sistemlerinin NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – N değerlerinin değişimi.....	67
Şekil 4.35. T-FBR ve RW sistemlerinden elde edilen mikroalg biyokütlesindeki N, C ve C/N değişimleri .....	68
Şekil 4.36. Sulama suyu sınıflandırma grafiği.....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 1.1. Mikroalg büyümesine etki eden faktörler .....	6
Çizelge 1.2. Bazı mikroalglerin büyüme sıcaklıkları .....	8
Çizelge 1.3. Açık ve kapalı mikroalg üretim sistemlerinin avantaj ve dezavantajları.....	12
Çizelge 1.4. RW sistemlerinde bazı mikroalg türlerinin biyokütle üretimi...	13
Çizelge 1.5. Bazı mikroalg türlerinin yağ içerikleri .....	15
Çizelge 1.6. Atıksuda yetiştirilen bazı mikroalg suşları .....	17
Çizelge 1.7. Isparta ilinde bazı gül yağı fabrikalarına ait atıksu numunelerinin analiz sonuçları .....	21
Çizelge 3.1. Gül işleme atıksuyunun kimyasal özellikleri.....	28
Çizelge 3.2. <i>Chlorella sp.</i> sistematigi .....	29
Çizelge 3.3. Basal solüsyonunun hazırlanışı.....	31
Çizelge 3.4. Mikroelement solüsyonunun hazırlanışı.....	31
Çizelge 3.5. Laboratuvar denemesinde kullanılan atıksu dozajları.....	35
Çizelge 3.6. Sulama suyu parametreleri ve analiz metodları.....	41
Çizelge 4.1. Deneme sonunda T-FBR ve RW sistemlerinden mikroalg biyokütle hasadı sonrası atıksuyun sulama suyu parametreleri .....	69
Çizelge 4.2. DSİ genel sulama suyu kriterleri.....	70
Çizelge 4.3. Deneme sonunda T-FBR ve RW sistemlerinden hasat edilen mikroalg biyokütlesinin makro ve mikro besin içerikleri .....	72
Çizelge 4.4. T-FBR ve RW sistemlerinin enerji değişimleri .....	73

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	Askıda katı madde
BBM	Bold basal medium (besi ortamı)
BOİ	Biyolojik oksijen ihtiyacı
C	Karbon
Ca	Kalsiyum
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Karbonat
cm	Santimetre
Cu	Bakır
D <sub>B</sub>	Başlangıç değeri
D <sub>S</sub>	Son değer
DO <sub>2</sub>	Çözünmüş oksijen
dS	Desi siemens
EC	Elektriksel iletkenlik
FAR	Fotosentetik aktif radyasyon
Fe	Demir
g	Gram
G1	% 0 Gül işleme atıksuyu - %100 BBM
G2	% 12.5 Gül işleme atıksuyu + % 87.5 BBM
G3	% 25 Gül işleme atıksuyu + % 75 BBM
G4	% 50 Gül işleme atıksuyu + % 50 BBM
G5	% 75 Gül işleme atıksuyu + % 25 BBM
G6	% 100 Gül işleme atıksuyu + % 0 BBM
GIAS	Gül işleme atıksuyu
GC	Gaz kromatografisi
h	Saat
ha	Hektar
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Bikarbonat
K	Potasyum
kg	Kilogram
KOİ	Kimyasal oksijen ihtiyacı
kWh	Kilovat saat
L	Litre
m <sup>2</sup>	Metrekare
m <sup>3</sup>	Metreküp
mg	Miligram
Mg	Magnezyum
ml	Mililitre
mm	Milimetre
Mn	Mangan
mol	Mol
mS	Milisiemens
N	Azot
Na	Sodyum
NaCl	Sodyum klorür
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> – N	Amonyum azotu
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Nitrat

$\text{NO}_3^- - \text{N}$	Nitrat azotu
nm	Nanometre
$\text{O}_2$	Oksijen
OD	Optik yoğunluk
P	Fosfor
$\text{PO}_4^{3-}$	Ortofosfat
PVC	Polivinilklorür
rpm	Dakikadaki devir sayısı
RW	Kanal tipi havuz (Raceway)
SAG	Sammlung von Algenkulturen der Universität Göttingen
SAR	Sodyum absorpsiyon oranı
SAT	Doygunluk
TCD	Termal iletkenlik dedektörü
TDS	Toplam çözünmüş katı madde
T-FBR	Tübüler fotobiyoreaktör
TKN	Toplam kjehldal azotu
TL	Türk lirası
V	Hacim
Zn	Çinko
$^{\circ}\text{C}$	Santrigrat derece
%	Yüzde
$\mu$	Mikro
$\emptyset$	Çap (mm)



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda şehirleşme ve endüstrileşme nedeniyle atıksu miktarında önemli ölçüde artış meydana gelmiştir. Uygun bir şekilde arıtma yapılmayan atıksuların çevreye boşaltılması önemli çevresel sorunlara yol açmaktadır (Aslan ve Kapdan, 2006; Rawat vd., 2011; Renuka vd., 2013; Sonune ve Ghate, 2004). Su kaynaklarına yapılan boşaltımın en önemli problemlerinden biri ötrofikasyondur (su kaynağında azot ve fosfor birikimi). Bu birikim, ekosistemdeki tatlı suları olumsuz etkileyen alg patlaması, sucul bitkilerin yayılması, oksijen eksikliği ve türlerin kaybolmasına neden olmaktadır (Renuka vd., 2013; Sonune ve Ghate, 2004; Ruiz vd., 2013). Bunun yanında alg patlaması halk sağlığı açısından önemli riskler oluşturmaktadır (Cai vd., 2013). Bu nedenle atıksuların su kaynaklarına boşaltılmasından önce özellikle azot ve fosfor konsantrasyonlarının belirli bir düzeye kadar azaltılması gerekmektedir. Mikroalgler, atıksu arıtımı için bir alternatif olarak görülmektedir (Gonçalves vd., 2017). Bunun başlıca sebebi mikroalglerin karbondioksiti (CO<sub>2</sub>) kullanması, yüksek biyokütle verimi, yüksek lipit/karbonhidrat birikimi, farklı ortamlara karşı daha iyi tolerans, kontaminasyona karşı dirençli ve yüksek fotosentetik verime sahip olmasıdır (Rogers vd., 2014; Bhatnagar vd., 2011; Nascimento vd., 2012; McGinn vd., 2011; Zhou vd., 2014; Patil vd., 2008; Gong ve Jiang, 2011).

Proses atıksuyunun mikroalg yetiştiriciliği için bir gelişme ortamı olarak entegrasyonu, uygun maliyetli bir biyo-yakıt üretimiyle birlikte atıksu arıtımı sağlayabilir (Cheah vd., 2016). Diğer taraftan, mikroalgler atıksularda bulunan organik maddeleri ve besinleri kullanabilme yeteneklerinden dolayı atıksularda hayatta kalabilmektedirler (Pittman vd., 2011; Unnithan vd., 2014).

Günümüzde zeytin karasuyu, meyve suyu işleme atıksuları, peynir altı suyu ve alkolooid işleme atıksuları gibi tarımsal-endüstriyel atıksular, doğrudan kanalizasyona boşaltılmaları halinde çevreye oldukça zarar vermektedir. Bu nedenle tarımsal-endüstriyel atıkların çevre koruma kanunu gereği doğrudan boşaltılması yasaklanmıştır. Ancak arıtma işlemleri uygulanarak kanalizasyona boşaltılan bu atıklar, yine tarımsal üretimde kullanılmak üzere katma değeri

yüksek ürünlere dönüştürülebilir. Son yıllarda, bahsedilen atıksuların arıtımı ve tekrar kullanımı ile ilgili çalışmalar artmıştır. Bu yöntemlerden biri de mikroalglerin atıksularda yetiştirilmesi ve sonucunda oluşan biyokütleden yararlanılmasıdır. Bu sayede atıklar katma değeri yüksek ürünlere dönüştürülebildiği gibi atıkların organik kirlilik yükü de (kimyasal oksijen ihtiyacı - KOİ) azaltılabilmektedir. Biyoyakıt üretimi ve atıksularda kirlenici maddelerin uzaklaştırılması için kent atıksularında mikroalglerin yetiştirilmesine rağmen, gül işleme atıksularında mikroalg yetiştiriciliğinin fizibilitesi konusunda araştırma yapılmamıştır.

Son zamanlarda, tarımsal faaliyetlerde kimyasal gübreler yerine organik tabanlı gübrelere olan talep artmaktadır. Mikroalglerin gübre olarak kullanılması, toprak verimliliğini ve ürün verimini artırabilir. Aynı zamanda çevre dostu bir yaklaşım olduğu da bildirilmiştir (Faheed ve Fattah, 2008). Mikroalglerin sıvı biyogübre olarak değerlendirilmesinin mısır ve buğday bitkilerinin çimlenme oranını ve bitki boyunu arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca, iyi tarım uygulamaları veya organik tarım için bir kaynak olarak kullanılabilmesi de vurgulanmıştır (Uysal vd., 2015).

Asya, Avrupa ve Kuzey Amerika'da özellikleri birbirinden farklı 100'ü aşkın gül çeşidi bulunmaktadır. Ancak, "Rosa damascena" uçucu yağ üretiminde en önemli gül türü olarak kabul edilmektedir. Ülkemizde "Rosa damascena Mill." yağlık gül çiçeği sadece Isparta ve çevresinde yetişmektedir. Gül çiçeğinden gül yağı ve gül suyu dışında 40'tan fazla gül ürünü elde edilmektedir (Anonim, 2018b). Mayıs ve Haziran aylarında hasat edilen yağlık gül çiçeğinden mevsim şartlarına bağlı olarak dekar başına yaklaşık 450-1000 kg arası rekolte elde edilebilmektedir. 1 kg gül yağı elde etmek için yaklaşık 3750 kg gül çiçeği, 1 kg gül konketi elde etmek için de yaklaşık 350 kg gül çiçeği işlenmesi gerekmektedir (Anonim, 2018b). Gül çiçeğinin işlenmesi esnasında, gül çiçeği miktarının yaklaşık 3 katı su kullanılmakta ve bu suyun 2/3'ü ise atıksu olarak boşaltılmaktadır. Gül yağı fabrikalarında oluşan proses atıksuları, bazı işletmelerde kurulu olan ızgaralardan geçirildikten sonra atıksular ile gül posaları birbirinden ayrılmaktadır. Bu gül posaları ayrı bir alanda biriktirilerek

tarımsal amaçlı gübreleme veya ısınma amaçlı yakacak olarak kullanılmaktadır. Atıksular ise sadece biriktirme çukurlarında ya da havuzlarında buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılabilmektedir. Bu buharlaşma sırasında çevreye kötü kokular yayılabilmektedir. Ancak, bazı biriktirme çukurlarının ya da havuzlarının zeminleri toprak olması ve atıksuyu ayırmak için ızgaraların bulunmaması nedeniyle özellikle fabrika bölgelerinde yüzeysel ve yeraltı suları için önemli bir kirlilik faktörü oluşturması sonucu çevre sorunlarına da yol açmaktadır.

Mikroalgler, tatlı veya tuzlu sularda, toprakta, karanlık veya aydınlık ortamlarda olmak üzere geniş bir habitat çeşitliliği gösteren, ökaryotik veya prokaryotik mikroorganizmalardır (Yan vd., 2013). Aydınlık ortamda kültür edilen fotosentetik mikroorganizma olan mikroalgler büyümeleri için su, ışık, CO<sub>2</sub> ve inorganik besinlere ihtiyaç duymaktadırlar (Gamal, 2010; Radmer ve Parker, 1994). Mikroalgler, büyüme için gerekli olan organik maddeleri ve besinleri asimile etme yeteneklerinden dolayı atıksularda hayatta kalabilmektedir (Pittman vd., 2011; Unnithan vd., 2014). 1950'lerden beri atık stabilizasyon havuzlarında algler kullanılmaktadır (Oswald, 1963; Oswald ve Gotaas, 1957). Atıksudan besin eldesi için mikroalglerin büyük bir potansiyele sahip olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Liang vd., 2013; Lee ve Lee, 2001; Renuka vd., 2013; Wang vd., 2014). Genel olarak, atıksularda mikroalg yetiştirilmesinin iki amacı vardır: (1) katma değeri yüksek mikroalgal biyokütle üretmek, (2) atıksuda bulunan organik ve inorganik (esas olarak N ve P) yükü azaltarak biyolojik arıtma yapmaktır (Markou vd., 2012).

Mikroalgler, tatlı su ve deniz suları, tarımsal atıksu, endüstriyel atıksu ve kent atıksuları gibi çeşitli su kaynaklarında büyüeyebilirler. Bu sular kimyasal özellikleri açısından farklılık göstermektedir. Mikroalgler olumsuz çevresel koşullara karşı yüksek bir tolerans seviyesine sahip oldukları için atıksularda hayatta kalabilirler (Cheah vd., 2016). Gül işleme atıksuyu, mikroalg yetiştiriciliği için bir ortam ve böylelikle biyoyakıt ve biyogübre üretimleri için kullanılabilir. Gül işleme atıksuyunda bulunan besinler, mikroalg büyümesi için kolayca asimile edilerek biyoyakıt ve biyogübre üretimi için gerekli azot ve biyoyakıt üretimi için de azot-karbon birikmesine yardımcı olur.

Mikroalgal biyokütle üretiminde açık ve kapalı sistemler kullanılmaktadır. Dünyada yaygın olarak açık sistemler tercih edilmektedir. Açık sistemler (kanal tipi havuz (Raceway)), mikroalglerin endüstriyel üretimi için 1950'lerden beri kullanılmaktadır. Son yıllarda, dünya çapında mikroalgal biyokütle üretiminin %90'dan fazlası, bu tür açık sistemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Benemann, 2013). Tübüler fotobiyoreaktör gibi kapalı sistemler, açık sistemlere kıyasla, dış ortamdan daha ari olması nedeniyle kontaminasyon olmamakta, birim alandan daha yüksek mikroalgal biyokütle elde edilebilmekte ve bu biyokütle katma değeri yüksek bir ürün olarak kullanılabilir (Wang vd., 2012).

Bu tez çalışmasında, *Chlorella sp.* suşunun açık ve kapalı mikroalg sistemlerinde gül işleme atıksuyunun biyolojik arıtımı, biyokütle eldesi, sulama suyu kalitesi, biyogübre ve üretim enerjileri açısından performansının belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 1.1. Mikroalgler

Mikroalgler, tatlı veya tuzlu sularda, toprakta, karanlık veya aydınlık ortamlarda olmak üzere geniş bir habitat çeşitliliği gösteren, ökaryotik veya prokaryotik mikroorganizmalardır (Yan vd., 2013). Mikroalgler, çeşitli tatlı su, acı su, deniz suyu ve atıksu ortamlarında yaşayan 50000'den fazla bir grup ototrofik mikroorganizmaları içermektedir (Rawat vd., 2013; Rashid vd., 2014). Yapılarında karbonhidrat, yağ ve protein bulunmaktadır. Mavi-yeşil mikroalgler farklı renklerde pigment içerdikleri için kahverengimsi veya kırmızı renkte görülebilmektedir. Yeşil mikroalgler ökaryotiktir. Klorofil-a, klorofil-b,  $\beta$ - ve  $\alpha$ -karoten ile ksantofiller gibi fazla sayıda pigment içerirler. Yeşil algler ile mavi-yeşil algler fotosentez yapabildikleri için yağ depolama özellikleri vardır. Mikroalglerin, fotosentez yapmaları havadaki CO<sub>2</sub> azalmasına katkıda bulunduğu gibi aynı zamanda oluşan ürünlerin bünyelerine yağ olarak depolanması biyoyakıt için çok iyi hammadde olabileceğinin bir göstergesidir. Mikroalg hücrelerinin sorunsuz bir şekilde hızla çoğalabilmesi için kültür ortam şartlarının uygun olması gerekir. Aydınlık ortamda kültür edilen fotosentetik mikroorganizma olan mikroalgler büyümeleri için su, ışık, CO<sub>2</sub>, azot (N) ve fosfor (P) gibi inorganik besinlere ihtiyaç duymaktadırlar (Gamal, 2010; Radmer ve Parker, 1994).

## 1.2. Mikroalg Yetiştirme Parametreleri

Mikroalg üretimi yapılırken ortam şartlarının optimum olması gerekmektedir. Ortam şartları her bir mikroalg çeşidi için farklılık göstermektedir. Mikroalgler yetiştiriciliğine cansız (abiyotik) faktörler (ışık, sıcaklık, besin, suda çözünmüş oksijen konsantrasyonu, karbondioksit içeriği, pH, tuzluluk, yetiştirme ortamında toksik kimyasal maddeler), canlı (biyotik) faktörler (ortamda bulunan bakteri, virüs, mantar, diğer algler), işlevsel faktörler (karıştırılmadan kaynaklanan kesme kuvvetleri, seyreltme oranı, hasat metodu ve sıklığı) (Çizelge 1.1) etki etmektedir (Shen vd., 2009).

Kaliteli ürün elde etmek için bu parametrelerin en uygun seviyelerde olması gerekmektedir. Bu bölümde bu faktörlerden bazıları açıklanacaktır.

Çizelge 1.1. Mikroalg büyümesine etki eden faktörler (Becker, 1988)

Abiyotik faktörler	Işık
	Sıcaklık
	Tuzluluk
	Besin konsantrasyonu
	pH
	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
	Toksik kimyasallar
Biyotik faktörler	Patojenler
	Zooplankton varlığı
	Türler arası rekabet
Sistemsel faktörler	Karıştırma
	Seyreltme oranı
	Derinlik
	Tüp çapı, uzunluğu
	Bikarbonat ilavesi
	Hasat sıklığı

### 1.2.1. Işık

Işık insan yaşamında, tarımda ve hayvancılıkta ne kadar önemli ise mikroalg yetiştiriciliğinde de bir o kadar önemlidir. İnsan ve hayvanların görme gibi yaşamsal faaliyetini etkileyen aydınlatma, bitkiler ve mikroalgler için direk yaşam kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Bitkiler ve mikroalgler fotosentez yapabilen canlılar oldukları için ışığa ihtiyaç duymaktadırlar. Gerekli olan ışık, güneş ışığından sağlanabileceği gibi yapay ışıkla da sağlanabilir. Gün ışığının gece ve gündüz döngülerinin olması, hava koşullarındaki değişimler ve mevsim değişimleri gibi dezavantajları vardır. Işınımdaki bu dalgalanmaları engellemek için yapay aydınlatma kullanımına yönelme olmuştur. Mikroalg yetiştiriciliğinde ışık kesinlikle kontrol altında olması gereken bir parametredir. Mikroalgler genellikle fotosentez yapabilmeleri için gerekli olan dalga boyu 400-700 nm olan ışığı kullanırlar (Blair vd., 2014; Kim vd., 2013). Mikroalgler türüne göre absorbe edilen dalga boyu değişebilmektedir. Yeşil mikroalgler fotosentez sırasında klorofil pigmentlerini ve en iyi 450-475 ile 630-675 nm aralığındaki ışık enerjisini absorbe etmektedir (Kim vd., 2013; Teo vd., 2014).

Siyanobakteriler ve kırmızı algler (*Rhodophyta*) bünyelerinde yalnızca klorofil-a bulundururken, yeşil algler (*Chlorophyta*) ve öglena (*Euglenophyta*) klorofil-a yanında klorofil-b içerirler. Diğer deniz algleri ve tatlı su diyatomları ise klorofil-a ve b'nin yanında klorofil-c, klorofil-d ve klorofil-e pigmentlerine de sahiptirler (Kurhan, 2012). Işık yoğunluğunun azalması hücrelerdeki klorofil-a ve ışığı tutan diğer pigmentlerin (klorofil-b, klorofil-c, fitobiliproteinler ve birincil karotenoidler) artmasında rol oynamaktadır. Düşük ışık mikroalglerde büyümeyi sınırlandıran etken olarak değerlendirilebilmektedir. Diğer yandan yüksek ışık yoğunluğunda klorofil-a ve diğer pigmentler azaldığından fotosentez miktarının azalmasına neden olur. Karotenoidlerin birikmesi türlerin yapısına göre değişmektedir (Richmond, 2004). Aşırı ışık, mikroalglerin büyümesini azaltabilecek zararlı reaktif oksijen türlerinin ve oksidatif stresin oluşmasına yol açabilir (Okumura vd., 2015). Singh ve Singh (2018) *Chlorella* suşları klorofil-a ve klorofil-b ihtiva ettikleri için yeşil algler olarak bilinirler. Su ortamında ışığın, CO<sub>2</sub> ve besinlerin varlığında *Chlorella* hücreleri daha hızlı bölünerek çoğalmaktadır. Bu sebeple sıcaklık ve ışık parametreleri büyümede ki en önemli faktörlerdir. Ayrıca fotoperiyod, biyoyakıt ve mikroalgal biyokütle üretiminde önemli bir rol oynamaktadır.

### 1.2.2. Sıcaklık

Sıcaklık mikroalg gelişimi için en önemli unsurlardan biridir. Sıcaklığın optimum koşullarda olması kesinlikle çok önemlidir. Çünkü düşük sıcaklık mikroalgal büyümeyi engellemektedir. Bununla birlikte ortam sıcaklığının gereğinden fazla azalması mikroalglerdeki doymamış lipitlerin derecesini ve hücrelerin akışkanlığını arttırmaktadır (Richmond, 2004). Yüksek sıcaklık ise metabolizma hızını arttırmaktadır. Sıcaklığın artması buharlaşmaya neden olacağından hacim kaybı sorunu ortaya çıkarmaktadır. Mikroalglerin genellikle gelişebildikleri sıcaklık aralığı 5-35°C'dir (Rashid vd., 2014). Fakat birçok mikroalg türünün optimum büyüme sıcaklığı 20-30°C'dir (Chisti 2007; Wang vd., 2008). İç ortam koşullarında *Chlorella vulgaris*' in optimum sıcaklık aralığı 25°C-30°C arasında tespit edilmiştir (Chinnasamy vd., 2009). Dış ortam koşullarında ise 30°C-35°C sıcaklıkta bu türün büyüebildiği gözlemlenmiştir.

38°C'nin üstünde, sıcaklık stresi ile oleik asit, tekli doymamış yağ asidi olan omega-9 yağ asidinin üretimi artmaktadır (Converti vd., 2009). Sıcaklık aynı zamanda mikroalg hücreleri için bir stres faktörü olarak değerlendirilebilir. Hücrelerin lipit kompozisyonu, besin maddesi alımı, karbon fiksasyonu ve büyüme hızı sıcaklıktan etkilenmektedir (Venkata Subhash vd., 2014). Ortamdaki sıcaklık değişimlerine mikroalgler çok çabuk tepki göstermektedir. Bunun için kullanılan mikroalg türüne göre en uygun ortam sıcaklığı ayarlanmalı ve üretim bitene kadar süreklilik sağlanmalıdır. Knutson vd., (2018) karanlık evredeyken düşük sıcaklıkta (4-8°C) ve aydınlık evredeyken optimum sıcaklıkta (24°C) daha yüksek mikroalgal biyokütle elde edileceğini bildirmişlerdir. Elcik ve Çakmakçı (2017), yaptıkları çalışmada mikroalglerin büyüme sıcaklıklarını Çizelge 1.2'de tanımlamaktadır.

Çizelge 1.2. Bazı mikroalglerin büyüme sıcaklıkları (Elcik ve Çakmakçı, 2017)

Mikroalg	Yetiştirme sıcaklığı (°C)
<i>Chlorella sp.</i>	30±2
<i>Spirulina platensis</i>	25±1
<i>Botryococcus braunii</i>	26±1
<i>Desmodesmus sp.</i>	24±1
<i>Desmodesmus communis</i>	18-25
<i>Chlorella zofingiensis</i>	25±1
<i>Coccomyxa actinabiotis</i>	24±2
<i>Platymonas subcordiformis</i>	25
<i>Chlorella vulgaris</i>	22±2
<i>Anabaena sp.</i>	30
<i>Chodatella sp.</i>	25
<i>Scenedesmus obliquus</i>	30±3
<i>Chaetoceros sp.</i>	35
<i>Monoraphidium sp.</i>	25-35

### 1.2.3. Tuzluluk

Suda erimiş toplam tuz miktarı olarak ifade edilen tuzluluk, NaCl'den kaynaklanmaktadır. Cl, Na<sup>+</sup> veya K<sup>+</sup> iyonlarının ortamdaki yoğunlukları dolaylı olarak; osmotik basınç, pH, tek ve çift değerli iyon dengeleri üzerinde etkili olmaları nedeniyle mikroalg türlerinin gelişiminde önemli bir faktördür. Tatlı su mikroalgleri düşük tuzluluk yoğunluklarında canlılıklarını sürdürebilirlerken,



tuzlu su mikroalgleri tuzluluk yoğunluklarının fazla olduğu ortamlarda canlı kalabilirler. Ayrıca, bazı mikroalg türlerinin tuzluluk değerlerine karşı toleransının yüksek olduğu bilinmektedir. Nitrit, fosfat ve kalsiyum yönünden zengin ortamlarda daha çok Chlorophyceae ve Cyanophyceae sınıfına ait türler gözlemlenmektedir (Cirik ve Gökpınar, 2008).

Fathi ve Asem (2013) tarafından yapılan bir çalışmada, *Chlorella sp.* mikroalg türünün büyümesi, beta-karoten ve klorofil-a üretimi üzerinde tuzluluğun etkisi araştırılmıştır. Üç farklı tuzluluk oranlarında (10, 30 ve 50 g L<sup>-1</sup>) 15. günde en yüksek hücre yoğunluklarını gözlemlenmiştir. En yüksek beta-karoten ve klorofil-a oranları, 50 g L<sup>-1</sup>lik tuzluluk düzeylerinde bulunmuştur.

#### **1.2.4. Besin konsantrasyonu**

Mikroalglerin yetiştirilmesinde gerekli olan başlıca besin maddeleri karbon, azot ve fosfordur. Bu besin maddelerinin yanında silika, kalsiyum, magnezyum, potasyum, demir, mangan, sülfür, çinko, bakır, kobalt gibi mikro besin maddelerine de ihtiyaç duyulmaktadır (Christenson ve Sims, 2011). Mikroalg biyokütlelerinin kuru ağırlık olarak % 50'si karbon içermektedir (Converti vd., 2009; Sanchez vd., 2003). pH değerinin dengede kalabilmesi için bir karbon kaynağı olan CO<sub>2</sub>'nin istenilen seviyede tutulması gerekmektedir. Mikroalglerin büyüme ve çoğalması için gerekli olan besin maddesi azottur. Bir azot kaynağı olan amonyumun mikroalgler tarafından kullanılması ortamın pH değerini azaltır. Diğer bir azot kaynağı olan nitratın mikroalgler tarafından kullanılması ortamın pH değerini arttırmaktadır. Amonyum ve nitratın besin maddesi olarak kullanımı mikroalg türüne ve isteğine göre değişmektedir. Fosfor, mikroalg gelişiminde önemli bir yere sahip olduğu gibi fotosentez, enerji transferi gibi hücrel metabolik olaylarda rol oynamaktadır (Chu vd., 2014; Sharma vd., 2012; Xin vd., 2010). Ayrıca fosfor, mikroalglerin lipit üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Hoh vd. (2016) ışık, karbon kaynağı, azot ve fosfor gibi makro besin maddeleri ve az miktarda metallerin varlığında mikroalglerin yetiştirilebileceğini bildirmişlerdir. Dış ortam yetiştiriciliğinde, güneşten ışık ve havadaki CO<sub>2</sub>'den karbon gelmiş olsada, azot, fosfor ve mikrobeyin elementleri

besi ortamı ile temin edilebilir. Bu amaç için, sentetik besi ortamının kullanılması, ekonomik ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir yaklaşım olmamaktadır (Clarens vd., 2010; Lardon vd., 2009). Hoh vd. (2016) mikroalgler, makrobesinler içerisinde yer alan azotu enerji transferi, fotosentez ve nükleik asitlerin oluşumu için kullanırken, fosforu aminoasit, protein ve klorofil üretiminde kullandığını ortaya koymuşlardır.

### 1.2.5. pH

Mikroalglerin yetiştirilmesinde besin içeriği pH değişiminde doğrudan etkilidir. Besin ortamından CO<sub>2</sub> ve nitrat alımı, pH değerini yükseltirken, amonyak alımında pH değerini düşürür (Rashid vd., 2014). Mikroalglerin çoğalabilmesi için 7-9 pH aralığı uygun görülmektedir. pH için optimum aralık ise 8.2-8.7'dir. Mikroalglerin üretimi sırasında bu aralığın altına düşmesi veya üzerine çıkması mikroalg ölümüne neden olmaktadır. Örneğin; çok yoğun mikroalg kültürlerinde zamanla pH artışı olur ve bu durumda önlem alınmazsa (CO<sub>2</sub> ilavesi gibi) kültürün ölümüne sebep olmaktadır. pH değeri azaldıkça, hidrojen (H<sup>+</sup>) iyon konsantrasyonu artarken, buna karşılık hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyon konsantrasyonu azalmaktadır. Mikroalglerin fotosentez yapması ortamdaki CO<sub>2</sub>'nin azalmasına neden olmaktadır. CO<sub>2</sub>'nin azalması ise ortamın alkalinitesini arttırır. Bu sorunların yaşanmaması için mikroalg üretimi sırasında havalandırma, ortama CO<sub>2</sub> ilavesi, asit veya baz ilaveleri ile ortamın pH'sı istenilen düzeyde tutulabilir. Ayrıca büyümeyi ve çoğalmayı olumsuz etkileyen pH değişimini dengede tutabilmek için besin ortamına potasyum fosfat (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) eklenebilir. Bunun nedeni, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>'ta bulunan hidrojen (H<sup>+</sup>) ve hidroksil (OH<sup>-</sup>) iyonlarının serbest kalmasının önüne geçer ve onlarla birleşikler oluşturur. Bu nedenle de ortamın pH'sı hemen asit veya alkali olmaz bir süre optimal limitler arasında kalır. Tampon özelliğinden dolayı pH dengede kalır. Ayrıca K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> tuzu fosfor olarak da kullanılır (Richmond, 2004). Mayo (1997), yaptığı çalışmada *Chlorella vulgaris*'in 3.0-11.5 pH aralığında büyümesini araştırmıştır. En yüksek büyüme oranına (0.50 hücre bölünmesi gün<sup>-1</sup>) pH 6.31-6.84 arasında ulaşmıştır. Ayrıca, *Chlorella vulgaris*'in pH 3 gibi asitli ortamlarda bile büyüebileceği gözlenmiştir. Iasimone vd. (2018) mikroalglerin büyüme

eğrisindeki, alıştırma fazında, ortamdaki pH değerinin neredeyse sabit kaldığını; üstel büyüme fazında, ortamdaki pH değerinin önemli ölçüde arttığını; durağan ve ölüm fazlarında ise pH değerlerinin sabit kaldığı ve bir miktar azaldığını bildirmişlerdir. Mostafa vd. (2012) mikroalg kültür ortamındaki pH değerinin, hücre metabolizmasını ve mikroalg biyokütlesinin büyümesini etkilemesinden dolayı, kültür ortamının pH değerini mikroalg yetiştirilmesinde önemli faktörlerden biri olarak bildirmişlerdir. Goldman vd. (1982), sürekli yetiştiricilikte *Chlorella* gibi yeşil mikroalg suşlarının biyokütle üretimlerinin kültür ortamındaki pH'dan önemli ölçüde etkilendiğini bildirmişlerdir.

### 1.2.6. O<sub>2</sub> ve CO<sub>2</sub>

Fotosentez işleminin % 50'si yeryüzünde algler yoluyla gerçekleşmektedir (Goldman vd., 1972). Mikroalgler 1.83 g CO<sub>2</sub> kullanarak 1 g biyokütle üretebilmektedirler. *Chlorella* türleri klorofil-a ve klorofil-b içeren, tatlı suda yaşayan ve CO<sub>2</sub>'yi O<sub>2</sub>'ye dönüştürmede yüksek fotosentetik verime sahip tek hücreli organizmalardır (Singh ve Singh, 2014).

*Chlorella vulgaris*'in büyümesi üzerine farklı CO<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (%0.036 ile % 20 oranları arasındaki) ve sıcaklıklardaki (30, 40 ve 50 °C) etkileri araştırılmıştır. Biyokütle ve klorofil içeriğine bağlı olarak spesifik büyüme oranı ( $\mu_{\text{biyokütle}}=0.222 \text{ gün}^{-1}$ ) en yüksek, % 6 CO<sub>2</sub> ile 30°C'de elde edilmiştir. Bunu sırasıyla, % 6 CO<sub>2</sub> ile 40°C'deki spesifik büyüme oranı ( $\mu_{\text{biyokütle}}=0.136 \text{ gün}^{-1}$ ) ve % 0.036 CO<sub>2</sub> ile 50 °C'deki spesifik büyüme oranları ( $\mu_{\text{biyokütle}}=0.128 \text{ gün}^{-1}$ ) takip etmiştir (Chinnasamy vd., 2009). Ugwu vd., (2007) yaptıkları çalışmada, çözünmüş oksijen ve sıcaklık değerlerinin yükseldiğinde büyümenin (biyokütle verimi) ve klorofilin azaldığını bildirmişlerdir.

### 1.3. Mikroalg Üretim Sistemleri

Mikroalg üretim sistemleri açık sistemler ve kapalı sistemler olmak üzere iki ana katagori de sınıflandırılmaktadır. Bu sistemlerin tercihinde mikroalg suşu, besin kaynağı ve yatırım maliyeti gibi faktörler esas alınmaktadır (Chew, 2018).

Açık sistemlerde kontaminasyon riski söz konusu olsa da bu sistemler daha düşük başlangıç yatırımı ve işletme maliyetleri nedeniyle mikroalg ekimi için tercih edilmektedir (Uysal vd., 2016). Açık ve kapalı sistemlerin avantaj ve dezavantajları Çizelge 1.3.'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Açık ve kapalı mikroalg üretim sistemlerinin avantaj ve dezavantajları (Pulz, 2001)

Parametre	Kanal tipi havuz (RW)	Fotobiyoreaktör (T-FBR)
Kontaminasyon riski	Oldukça yüksek	Düşük
Gerekli alan	Yüksek	Düşük
Buharlaşma	Oldukça yüksek	Neredeyse yok
CO <sub>2</sub> kaybı	Yüksek	Neredeyse yok
Biyokütle kalitesi	Duyarlı değil	Duyarlı
Yetiştirilebilir türlere göre değişkenlik	Verilmez, ekim olanakları birkaç alg çeşidi ile sınırlıdır	Yüksek, neredeyse tüm mikroalg suşları yetiştirilebilir
Üretim esnekliği	Olası çeşitler arasında üretim değişikliği neredeyse imkansız	Herhangi bir problem olmadan üretim değişikliği
Üretim parametrelerinin tekrarlanabilirliği	Verilmez, dış koşullara bağlı	Belirli toleranslar dahilinde
Süreç kontrolü	Verilmez	Verilir
Standardizasyon	Mümkün değil	Mümkün
Hava bağımlılığı	Mutlak, yağmur sırasında üretim imkansız	Önemsiz, çünkü kapalı konfigürasyonlar kötü havalarda da üretime izin verir
Başlangıç veya kesintilerden sonra net üretime ulaşana kadar geçen süre	Uzun, yaklaşık 6-8 hafta	Nispeten kısa, yaklaşık 2-4 hafta
Üretim sırasında biyokütle konsantrasyonu	Düşük, yaklaşık 0.1-0.2 g L <sup>-1</sup>	Yüksek, yaklaşık 2-8 g L <sup>-1</sup>
Arıtma süreçlerinin etkinliği	Düşük konsantrasyonlar nedeniyle düşük, zaman alıcı, büyük hacimli akışlar	Yüksek, kısa zaman, nispeten küçük hacimli akışlar

Açık sistemler arasında RW sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Şekil 1.1). Bu sistemlerin kapladığı alan 300 m<sup>2</sup> ila 4000 m<sup>2</sup> arasında değişirken, ortalama derinliği ise 20-30 cm arasındadır (Ben-Amotz, 2008). Literatürde, RW sistemlerinde günde metrekareye düşen kuru mikroalg biyokütlesi 5-35 g

arasındadır (Chisti, 2007; Borowitzka, 1999; Borowitzka, 1992; Norsker vd., 2011).



Şekil 1.1. RW sistemi

RW sistemlerinde tercih edilen mikroalg türlerinin biyokütle verimleri Çizelge 1.4'te verilmektedir. Yetiştirilme periyodundaki çevre koşullarının değişimlerine bağlı olarak bazı mikroalglerin biyokütle verimleri yaklaşık 145 kat arttığı gözlemlenmiştir (Huo vd., 2011).

Çizelge 1.4. RW sistemlerinde bazı mikroalg türlerinin biyokütle üretimi

Tür	Verim ( $\text{g L}^{-1} \text{gün}^{-1}$ )	Verim ( $\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ )
<i>Chlorella vulgaris</i>	0.18	-
<i>Chlorella sp.</i>	0.02-2.9	1.61-25.0
<i>Dunaliella salina</i>	0.22-0.34	1.6-37.7
<i>Haematococcus pluvialis</i>	-	15.1-70.4
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	0.0028-0.16	2.4-11.3
<i>Spirulina platensis</i>	0.06-0.18	15-51

Kapalı sistemler arasında yatay yönde dizilerek birbirlerine seri bağlanan şeffaf borulardan oluşan yatay T-FBR, ilk kapalı devre modellerdir. Ayrıca, çözülmüş oksijen değeri açısından yatay tübüler fotobiyoreaktörler düşey tübüler fotobiyoreaktörlere göre daha iyi olduğu bilinmektedir. Çünkü dikey tübüler fotobiyoreaktörün düşey yüksekliğindeki artış ile tank basıncını artmakta ve daha fazla oksijenin ortama verilmesini gerektirmektedir (Chew, 2018; Yen ve Chiang, 2012).



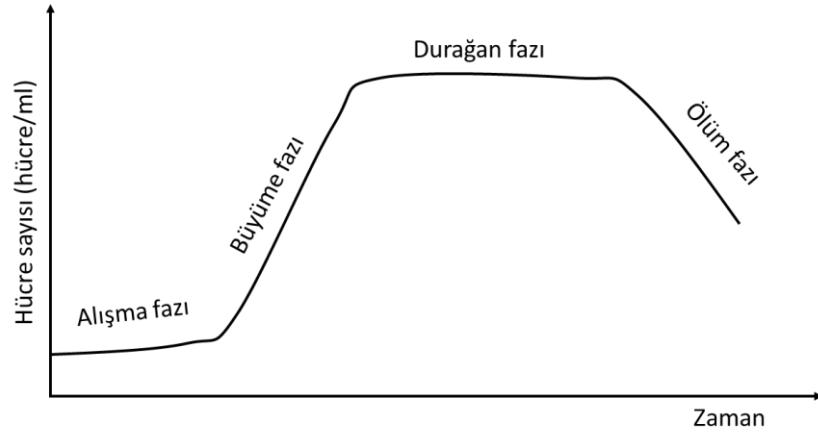
Şekil 1.2. T-FBR sistemi (Anonim, 2018a)

Mikroalg kültür yöntemleri aşağıdaki gibidir.

- 1) Kesikli kültür
- 2) Yarı-sürekli kültür
- 3) Sürekli kültür

Kesikli kültürde mikroalgler için mikroalg büyüme eğrisi Şekil 1.3'teki gibidir. Kültür ortamına aşılana hücreler öncelikle ortama adapte olmaya çalıştıkları için alışma fazı (lag phase) gözlemlenir. Ortama adapte olan hücrelerin sayıları logaritmik olarak artmaya başlar. Bu artış ortamdaki besin bitinceye kadar devam eder ve sonunda hücreler durağan faza geçer. Burada ise canlı mikroalgler ile ölen mikroalglerin hücre sayıları birbirine eşittir. Son safhada ise artık ortam koşulları mikroalg hücreleri için uygun olmadığı için ölen hücrelerin sayısı giderek artmaktadır.

Yarı-sürekli ve sürekli kültürlerde ise dışarıdan besin takviyesi ile hücre sayısı büyüme fazında tutulmaya çalışılmaktadır. Bu iki sistem arasındaki temel fark ise sürekli sistemde kültürden hasat edilen hacim kadar kültür ortamına besin ve su ilave edilerek, kültürün büyüme fazında kalmasının sağlanmasıdır.



Şekil 1.3. Büyüme eğrisi

#### 1.4. Mikroalgal Yağ

Mikroalglerin yağ içeriği türe, yetiştirme koşullarına, fiziksel ve kimyasal etkilere göre değişim gösterdiği yapılan çalışmaların bir sonucudur. Bazı türler toplam kuru ağırlığının % 1-40'ı kadar yağ depolayabildiği gibi bazen bu oran % 40'tan daha yüksek değerlere (%70-80) kadar artmaktadır. Mikroalgler yetiştirilirken kontrollü koşullar ve türüne göre yeterli besinler sağlandığında yağ verimi yüksek oranda artmaktadır. Mikroalglerin yağ miktarı, yağ verimleri ve yağ asidi özellikleri biyodizel üretim aşamasını doğrudan etkilemektedir. Çizelge 1.5'te bazı mikroalglerin yağ içerikleri verilmiştir (Tawfig vd., 2004).

Çizelge 1.5. Bazı mikroalg türlerinin yağ içerikleri (Tawfig vd., 2004)

Mikroalgler	Yağ içeriği (% kuru ağırlık)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina sp.</i>	28-42
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia sp.</i>	54-47
<i>Palmellopsis muralis</i>	42-58
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Hannon vd. (2010), mikroalglerin, hızlı büyümeleri, yüksek yağ içerikleri, tarıma uygun olmayan arazilerde yetiştirilebilmeleri ve sera gazı emisyonunu azaltabilmeleri gibi avantajları nedeniyle mikroalgal biyoyakıtın sürdürülebilir bir yaklaşım olduğunu öngörmüşlerdir. Ancak, Van Beilen (2010), mikroalglerin yetiştiricilik, hasat ve işleme evrelerinde maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle mikroalgal biyoyakıt üretiminin ekonomik olmadığını öne sürmüştür. Clarens vd. (2010), alg kaynaklı biyoyakıt üretiminin ekonomik ve sürdürülebilir hale getirilebilmesi için mikroalg yetiştiriciliğinde atıksu kullanılmasının alternatif bir yaklaşım olduğunu bildirmiştir. Sheehan vd. (1998) 1978-1996 yılları arasında, ABD Enerji Bakanlığı'nın Yakıt Dairesi Geliştirme Ofisi tarafından, alglerden yenilenebilir taşımacılık yakıtları geliştirmek için bir araştırma programını rapor etmişlerdir. Bu raporda, 1978-1992 yılları arasında alglerden hidrojen üretimi üzerine çalışmalar yürütüldüğü, 1980'lerin başından 1996 yılına kadar alglerden biyodizel üretimi üzerine çalışmalar ortaya konulmuştur.

### **1.5. Atıksu Uygulamalarında Mikroalgler**

Sanayileşme ve kentleşmenin gelişmesi atıksu miktarında artışa neden olmaktadır. Bu atıksular nehir ve göllere boşaltılarak ekosistemi olumsuz olarak etkilemektedir. Bunun sonucunda çevresel ve ekolojik sorunlar ortaya çıkmıştır (Hu vd., 2017). Oswald ve Golueke (1960) atıksuyun arıtılmasında alglerin kullanılması sonucu algal biyokütle ve yağ maliyetlerinin azalabileceğini ve bu metodun ilk kez 1960'ların başında önerildiğini bildirmişlerdir. 1950'lerden beri atık stabilizasyon havuzlarında algler kullanılmaktadır (Oswald, 1963; Oswald ve Gotaas, 1957). Atıksudan besinlerin uzaklaştırılması için mikroalglerin büyük bir potansiyele sahip olduğunu gösteren birçok çalışma bulunmaktadır (Lee ve Lee, 2001; Liang vd., 2013; Renuka vd., 2013; Wang vd., 2014; Santos vd., 2018). Genel olarak, atıksularda mikroalg yetiştirilmesinin iki amacı vardır: (1) katma değeri yüksek mikroalgal biyokütle üretmek, (2) atıksuda bulunan organik ve azot ve fosfor gibi inorganik besin yüklerini azaltarak biyolojik arıtma yapmaktır (Markou vd., 2012).



Christenson ve Sims (2011), alg yetiştiriciliği için besin maddeleri içeriğinde karbon, azot ve fosfor miktarlarının önemli olduğunu bildirmişlerdir. Mikroalgler atıksudaki azot ve fosforu biyokütle ve potansiyel olarak yağa dönüştürebilir. Su kaynağında bu besin maddeleri mevcut olmadığında, ticari gübrelerin eklenmesi sonucu alglerden kaynaklanan yakıt fiyatının artacağı rapor edilmiştir (ABD DOE, 2010). Bu nedenle, atıksuların, mikroalg üretimi için cazip bir kaynak olduğu vurgulanmıştır. Christenson ve Sims (2011), *Scenedesmus* ve *Chlorella* gibi tek hücreli mikroalgler, atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılırken, besin yükleri ve lipit verimi büyük ölçüde türe bağlı olduğunu bildirmiştir.

Bazı atıksular, nispeten yüksek inorganik besin düzeylerine sahiptirler. Mikroalgler kullanılarak bu atıksulardan azot ve fosforun uzaklaştırılması sayesinde hem atıksuların arıtımı biyolojik olarak gerçekleştirilebilir hem de katma değeri yüksek biyokütle üretilir (Huo vd., 2011). Daha önce yapılmış çalışmalara göre, farklı atıksular için kullanılan mikroalg suşları Çizelge 1.6'da verilmiştir.

Çizelge 1.6. Atıksuda yetiştirilen bazı mikroalg suşları (Huo vd., 2011)

Tür	Kanalizasyon Tipi	Proses
<i>Chlorella vulgaris</i>	Evsel/Sentetik/Çelik Yapan Fabrika/İçki Üreten Fabrika	Hareketsizleştirilmiş/Fotobiyo reaktör/Kesikli/Mikroalg Havuzu
<i>Chlorella sp.</i>	Ahır Gübresi	Birleştirilmiş
<i>Botryococcus braunii</i>	Çiftlik Atıksuyu	Kesikli
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	Birincil Kanalizasyon ve Deniz Suyu	Su Kanalları
<i>Spirulina sp.</i>	Domuz Çiftliğindeki Atıksu ve Anaerobik Atıklar	Dış Ortamdaki Su Kanalları

Atıksuların siyanobakteri üremesine yönelik besin kaynağı olarak alternatif kullanımı, besin maddeleri ve su girdisiyle ilişkili üretim maliyetlerini azaltmak için en umut verici, uygun maliyetli ve çevre dostu stratejiyi temsil etmektedir (Samantaray vd., 2011; Zhou vd., 2012). Ancak, Tang vd. (1997), bu tür değişken bir ortamda siyanobakteriler ile diğer mikroorganizmalar arasında atıksudaki,

sıcaklık, besin ve pH gibi abiyotik faktörlerle ilgili rekabet olduğunu bildirmişlerdir.

Geleneksel atıksu arıtma uygulamalarında, azot ve fosfor uzaklaştırma işlemi iki farklı ayırma işlemiyle gerçekleşmektedir. Çoğunlukla, fosfor metal tuzlarıyla ayrılırken azot ise nitrifikasyon-denitrifikasyon işlemi ile azot gazına dönüşmektedir. Buna karşın, mikroalgler tek bir işlem ile atıksudaki azot ve fosforu uzaklaştırabilmektedir. Mikroalg atıksudaki azot ve fosforu absorbe ederek, biyokütle üretiminde bu besin elementlerini kullanabilmektedir. Mikroalgler yeni biyokütle üretimi için hem azot hem de fosfora ihtiyaç duyarlar, çünkü bir besinin ayrılması, diğerinin mevcudiyetine bağlıdır. Kısacası, mikroalgler fosfor olmadan azotu kullanamaz ya da tam tersi azot olmadan fosforu kullanamaz, çünkü büyüebilmeleri için her iki besin elementi de gereklidir. Atıksudaki azot ve fosfor konsantrasyonları oldukça değişkendir (Abdelaziz vd., 2013; Cai vd., 2013; Christenson ve Sims, 2011).

Wang vd. (2010) mikroalg suşları arasında *Chlorella* suşunun, atıksu arıtımı için yaygın bir şekilde uygulandığını bildirmişlerdir. Bu suşun, bakteriyel veya bakterisiz olarak, 10 saatten 42 güne kadar farklı yetiştirme sürelerinde azot, fosfor ve KÖİ giderebildiklerini ortaya koymuşlardır.

Redfield (1958), tuzlu su mikroalglerinde Redfield oranı olarak bilinen 106: 16: 1 C: N: P (molar oran) oranını bulmuştur. Rhee (1978), bu oranın tatlı su suşlarında değişken olabileceğini bildirmiştir. Karbon, azot ve fosfor, biyokütle büyümesi için üç temel besin maddesidir ve mikroalgin ampirik formülü  $C_{106}H_{263}O_{110}N_{16}P$  olarak ifade edilebilir (Cai vd., 2013). Azot/Fosfor oranı tatlı su için 250, çoğu atıksu için 4-5 olabilir. Daha düşük azot konsantrasyonu mikroalgal büyüme oranını ve biyokütleyi azaltabilir (Nur, 2014; Vairappan ve Yen, 2008). Reynolds (2006), mikroalgal biyokütledeki fosfor içeriğinin % 0.03 ile % 3 arasında önemli bir değişkenlik gösterdiğini bildirirken, azot içeriğinde ise % 3 ile % 12 arasında değişiklik gösterdiğini bildirmiştir. Ortamdaki besin maddeleri düşük olduğunda mikroalg biyokütlesindeki besin konsantrasyonu da düşük olurken, ortamdaki besin maddeleri yüksek olduğunda ise mikroalg

biyokütlesindeki besin konsantrasyonu da yüksek olmaktadır (Geider ve La Roche, 2002; Rhee, 1978; Sterner ve Elser, 2002).

Wang vd. (2010) atıksu arıtımında, azot, fosfor ve KOİ değerinin yüksek olması *Chlorella sp.* suşunun büyümesini önemli ölçüde arttırdığı, ancak fosforun bu suş için büyüme sınırlayıcı bir faktör olduğunu bildirmişlerdir.

Wang vd. (2010) evsel atıksuda *Chlorella sp.* suşunu yetiştirmeleri sonrasında, nitrit artarken, nitratta bir azalma tespit etmişlerdir. Bitki tarafından nitrat asimilasyonu, kloroplastta amonyum üretmek için iki taşıma ve iki indirgeme adımını içermektedir (Fischer, 1988; Crawford, 1995). Burhenne ve Tischner (2000) nitritteki bu artışı, nitritin, amonyuma indirgenmiş nitrat işleminde üretildiğine ve üretilen nitritin bir kısmının ortama atılmasının mümkün olabileceğine bağlamışlardır.

Wang vd. (2010) atıksudaki azot/fosfor oranının, *Chlorella sp.* suşu ile azot ve fosfor gideriminde önemli olmadığını ancak her iki besin maddesinin ortamda bulunması gerektiğini ortaya koymuşlardır.

Hodaifa vd. (2012) araştırmalarında *Scenedesmus obliquus* mikroalg suşunu farklı karışım oranlarındaki zeytinyağı karasu (ZK) ortamlarında yetiştirmişlerdir. Maksimum spesifik büyüme oranına ve biyokütle verimlilik değerine % 5-15 (v/v) ZK karışımlarında elde etmişlerdir. Bunun nedeni olarak ZK ortamındaki bazı besin maddelerinin eksik olmasına ve ZK'nın bileşiminin yüksek oranda yağ içermesi ve renkli olması *S. obliquus* suşunun büyümesi için sınırlayıcı faktörler olmasına bağlamışlardır. Ayrıca, en fazla biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ<sub>5</sub>) gideriminin ise % 20 ZK'lı (5.7 g O<sub>2</sub> dm<sup>-3</sup>) ortamda elde edildiğini bildirmişlerdir.

## 1.6. Gül İşleme Atıksuları

Türkiye'de uçucu yağ üretiminin büyük kısmını "Rosa damascena" yağlık gülünden elde edilen gül yağı oluşturmaktadır. Dünya gül yağı talebinin yarısı

Türkiye'den karşılanmaktadır (Kart vd., 2012). Göller yöresinde başta Isparta olmak üzere, Burdur, Afyon ve Denizli'de üretilen "Rosa damascena" isimli gül bitkisinin çiçeklerinden elde edilen gül yağı dünya piyasalarında "Türk gül yağı" olarak bilinmektedir (Bektaşoğlu, 2008). Anonim (2018) 2017 yılında, Türkiye'de yaklaşık 3000 ha alanda gül çiçeği yetiştiriciliği yapılmakta olup, toplam rekoltenin yaklaşık 8500 ton olduğu rapor edilmiştir. 2016 yılı rekoltesi ile karşılaştırıldığında yaklaşık % 20'lik bir artış gözlenmiştir.

Gül işlemeden kaynaklanan atıksular, sadece gül mevsiminde (45 gün yıl<sup>-1</sup>) ortaya çıkmaktadır. Bu esnada Isparta'da ortalama 21100 m<sup>3</sup> işleme atıksuyu çevreye bırakılmaktadır. Bu işlemde kaynaklanan atıksuyun KOİ değeri 9500 mg L<sup>-1</sup> ve BOİ değeri 4950 mg L<sup>-1</sup>, TKN değeri 100 mg L<sup>-1</sup> ve toplam fosforu 5 mg L<sup>-1</sup> civarında bulunmuştur (Avşar vd., 2005). Gül yağı fabrikalarında oluşan atıksular, çoğu işletmede arıtma işlemi uygulanmadan doğrudan kanalizasyona, dereye veya göle boşaltılmakta, bazı işletmelerde ise biriktirme çukurlarında toplanarak sızma ve buharlaştırma yoluyla uzaklaştırılmaktadır. Tesislerdeki bu biriktirme çukurlarında çevreyi rahatsız edici kokular oluşmaktadır (Tosun vd., 2002; Tosun vd., 2003). Gül yağı fabrikalarından çıkan atıksuyun kimyasal metotla arıtılması sonucu çıkış suyu KOİ değeri 2230 mg L<sup>-1</sup> ve giderim oranı % 76.5 olarak bulunmuştur. Bu durumun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre deşarj limitlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Ancak kimyasal arıtma sonrasında biyolojik arıtma uygulaması yapılarak iki kademeli bir arıtma sonucunda kanala deşarj edilebilir limitlere çekilmesi olası bir alternatif olarak önerilmiştir (Avşar vd., 2005).

Şekil 1.4'te gül işleme tesisinden çıkan atıkların biriktirildiği havuzlar ve gül yağı üretim kazanları görülmektedir.



Şekil 1.4. Gül işleme tesisinde (a) gül posalı atıksu bekletme havuzu; (b) gül posasız ızgaralı bekletme havuzu; (c) gül yağı kazanı; (d) gül atığı posası ve atıksuyu

Çizelge 1.7'de Isparta ilinde yer alan bazı gül yağı fabrikalarına ait atıksuların  $BOI_5$ ,  $KOI$ , Askıda Kuru Madde (AKM) yağ ve gres ve pH değerleri verilmiştir.

Çizelge 1.7. Isparta ilinde bazı gül yağı fabrikalarına ait atıksu numunelerinin analiz sonuçları (Tosun vd., 2002)

Fabrika adı	$BOI_5$ ( $mg L^{-1}$ )	$KOI$ ( $mg L^{-1}$ )	AKM ( $mg L^{-1}$ )	Yağ ve gres ( $mg L^{-1}$ )	pH
Erçetin Gül yağı Fabrikası	1475	2580	25	175	7.2
Gülbirlik Gül yağı Fabrikası	4400	5000	1060	195	5.9
Gülbirlik Gül yağı Fabrikası	4040	6720	950	240	8.5
Gürkan Halı ve Gül yağı San. A.Ş	6030	10550	1670	680	5.6
Gürkan Gül yağı San. Tic. A.Ş	580	2560	79	98	5.4
Robertet Gül yağı ve İtiryat San. Ltd.Şti.	12000	18400	400	100	5.0

Ülkemizde, gül sanayi atıksuların mikroalg ile arıtılmasına yönelik araştırmalar mevcut değildir. Bu çalışmada, gül işleme atıksularının sezonluk olması, atıksuların yüksek konsantrasyonlarda askıda katı madde içermesi ve prosesin kesikli işletilebilmesi gibi hususlar dikkate alınarak atıksuların arıtımı için biyolojik arıtma alternatifi araştırılacaktır.

Bu alışmada, Gller Bölgesine zg Rosa damascena yağlık gül çeşidinin işlenmesi sonucu ortaya çıkan işleme atıksuyunun *Chlorella sp.* mikroalg suşunda besin maddesi olarak kullanımı ile; (1) laboratuvar koşullarında en uygun atıksu dozajı tespit edilmesi; (2) belirlenen atıksu dozajının dış ortam koşullarında açık ve kapalı sistemlerin performanslarının değerlendirilmesi; (3) nihai atıksu giderim parametreleri; (4) mikroalgal biyokütle potansiyeli;(5) tarımsal sulama suyu potansiyeli ve (6) mikroalgal gübre (biyogübre) potansiyeli araştırılması amaçlanmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kamyab vd., (2015) *Chlamydomonas incerta* saf mikroalg suşunu kullanarak hurma işleme atıksuyunun (POME) arıtılmasını çalışmışlardır. Öncelikli olarak *Chlamydomonas incerta* saf mikroalg suşunu 28 gün oda sıcaklığında 15 ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ışık yoğunluğu altında yetiştiriciliği yapılmış ve sonrasında farklı substrat konsantrasyonlarında kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimi ölçülmüştür. Denemenin ikinci gününde C:TN oranlarının 100:7, 100:13 ve 100:31 olduğu uygulamalarda, *C. incerta* tarafından organik karbon giderimi sırasıyla % 56.2, % 54.7 ve % 49.8 tespit edilmiştir. Yine denemenin ikinci gününde organik ve inorganik substrat ortamında mikroalglerin hızlı gelişimi gözlenmiştir. 0 mg L<sup>-1</sup>, 250 mg L<sup>-1</sup>, 500 mg L<sup>-1</sup> ve 1000 mg L<sup>-1</sup> POME oranlarında *C. incerta* mikroalg suşunun yetiştirilmesi sonucunda sırasıyla % 68.24, % 67.35, % 43.20 ve % 34.12 KOİ giderimi sağlanmıştır. Sonuç olarak *C. incerta* mikroalg suşunun hurma atıksuyu ile beslenmesindeki optimum başarı, 28 gün sonunda yaklaşık % 67.35 KOİ giderimi ile 250 mg L<sup>-1</sup> POME konsantrasyonunda elde edilmiştir.

Mezzomo vd., (2010) domuz çiftliği atıksularında *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) suşunun adaptasyonu ve KOİ, amonyak ve fosforun uzaklaştırılması ve azami biyokütle üretimi için atıksuyun en iyi seyreltilme oranını belirlemişlerdir. *Spirulina platensis* suşunu kullanarak, maksimum hücresel konsantrasyon ve maksimum spesifik büyüme hızını 5.0 ile % 8.5 atıksu konsantrasyonunda elde edilmiştir. En yüksek KOİ giderimi ortamdaki % 26.5 ve % 30.0 atıksu ile gerçekleşmiştir. Toplam fosforun (% 41.6) maksimum giderimi, % 8.5 oranında atıksu ile olmuştur. Domuz çiftliği atıksu içindeki *Spirulina* kültürünün sonuçları, bu mikroalg'in KOİ ve fosfor giderimi ve biyokütle üretimi için kullanma olasılığını göstermiştir.

Hernández vd. (2013) işlenmiş domuz gübresi (TE) ve patates işleme atıksuyunun (PP) *Chlorella sorokiniana* mikroalg suşunun beslenmesinde kullandıkları çalışmada öncelikli olarak 2 farklı atığın karakterizasyonunu belirlemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada T0 kontrol, T1, T2, T3 ve T4 işlenmiş

domuz gbresindeki uygulamaları, T5, T6, T7 ve T8 ise patates atıksuyundaki uygulamaları temsil etmektedir. İşlenmiş domuz gübresi atığının KOİ değeri 616 mg L<sup>-1</sup>, BOİ değeri 63 mg L<sup>-1</sup>, NO<sub>3</sub>-N değeri 53.8 mg L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>-N değeri ise 12.3 mg L<sup>-1</sup> olarak tespit etmişlerdir. Patates işleme atıksuyunun KOİ değeri 1536 mg L<sup>-1</sup>, BOD<sub>5</sub> değeri 917 mg L<sup>-1</sup>, NH<sub>4</sub>-N değeri 12.1 mg L<sup>-1</sup> bulunurken, NO<sub>3</sub>-N ve NO<sub>2</sub>-N değeri ise tespit edilmemiştir. En yüksek KOİ giderimini % 84.8 ile PP uygulamasından sağlamışlardır. BOİ<sub>5</sub>/KOİ oranına bakıldığında PP uygulamasında 0.59 bulunurken TE uygulamasında 0.10 bulmuşlardır.

Lee ve Lee (2001) *Chlorella kessleri* suşunun iki farklı aydınlatma uygulaması yaptıkları çalışmada fotoperiyod uygulamasının atıksuda ki azotun uzaklaştırılmasına yönelik etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmaya göre fotoperiyodsuz (sürekli aydınlatma) uygulamada başlangıçtaki 168.1 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> değeri 3. günün sonunda 136.5 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> değerine düşürülmüştür. Fotoperiyod uygulamasında ise 168.1 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> değerinden 154.1 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> değerine düşürülerek 14 mg NO<sub>3</sub>-N L<sup>-1</sup> giderim sağlamışlardır. Sonuçlar sürekli aydınlatma uygulamasının daha fazla azot giderimi sağladığını gösterirken, biyokütle ve enerji parametreleri bakımından değerlendirdiklerinde fotoperiyod uygulamasını daha başarılı bulunmuştur. Yine aynı çalışmada sürekli aydınlatma uygulamasında % 86.5 KOİ giderimi sağlanırken fotoperiyod uygulamasında ise % 83.3 KOİ giderimi sağlamışlardır.

Lu vd. (2016) süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları ile mezbahadan çıkan et işleme atıksuyu karışım ortamlarında mikroalg büyümesini ve atıksu arıtım parametrelerini incelemişlerdir. Araştırmalarında güçlü bir mikroalg suşu olması ile birlikte yem ve gıda kaynağı potansiyeline sahip olması nedeniyle *Chlorella'yı* tercih etmişlerdir. Süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksu ortamlarında yetiştirilen suşun protein içerikleri % 43.16 ile % 49.14 arasında bulunurken, mezbahadan çıkan et işleme atıksuyu karışım ortamlarında % 55.98 ile % 66.91 bulunmuştur. Mikroalgal yağ oranlarında ise tam tersi olarak, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksu ortamlarında yağ içerikleri % 23.95 ile % 34.4 bulunurken, mezbahadan çıkan et işleme atıksuyu karışım ortamlarında % 19.10 ile % 20.81 bulunmuştur. Mezbahadan çıkan et işleme atıksuyu karışım ortamlarında



protein içeriğinin daha yüksek çıkmasını mikroalg hücrelerinde protein sentezi için gerekli olan  $\text{NH}_3\text{-N}$  içermesine bağlamışlardır. Araştırmacılar, ortamda  $\text{NH}_3\text{-N}$  arttıkça mikroalglerin daha fazla protein sentezlemeye eğilimli olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmanın sonucu olarak, süt ve süt ürünleri endüstrisi atıksuları ile mezbahadan çıkan et işleme atıksuyu karışım ortamlarında yetiştirilen *Chlorella* suşunun hayvan yemi için kullanımına daha uygun olduğunu rapor etmişlerdir.

Koley vd (2019) *Scenedesmus accuminatus* suşunun serada ve dış ortam koşullarında açık havuz sisteminde yetiştirdikleri çalışma boyunca pH değerini 6.5-10.6, sıcaklık değerini ise 26-39°C olarak kaydetmişlerdir. Kullandıkları açık havuzun derinliğini 30 cm ve çarkların karıştırma hızını 65 devir/dakika olarak bildirmişlerdir. Çalışmanın sonunda dış ortam koşullarında 1.2 g L<sup>-1</sup>, sera koşullarında 1.11 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde etmişlerdir. Yazın, yağmurlu ve kışın biyokütle değerlerini ise 10.15, 7.83 ve 10.38 g m<sup>2</sup> gün<sup>-1</sup> olarak tahmin etmişlerdir. Bununla beraber yağ verimlerini ise 1.05, 0.75, 1.18 g m<sup>2</sup> gün<sup>-1</sup> olabileceği sonucunu varmışlardır. Çalışmanın sonucunda kullandıkları *Scenedesmus accuminatus* suşunun biyodizel üretimi için potansiyelinin yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Higgins vd. (2018) şarap atığında *Auxenochlorella protothecoides* ve *Chlorella sorokiniana* suşlarının 3 farklı fazda (öğütme öncesi, öğütülmüş, öğütme sonrası) yetiştirdikleri çalışmada KOİ, amonyum, nitrit, nitrat, TN, pH gibi parametreleri incelemişlerdir. Öğütme öncesi fazının başlangıç KOİ değeri 157 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken *A. protothecoides* suşunun yetiştirildiği uygulamada 219 mg L<sup>-1</sup> ölçülmüş ve artışın gözlendiğini ifade etmişlerdir. Buna karşılık *C. sorokiniana* suşunun yetiştirildiği uygulamada ise 124 mg L<sup>-1</sup> ölçülerek bir azalmanın yani giderimin olduğunu ifade etmişlerdir. Yine aynı fazda *A. protothecoides* suşunda TN, amonyum, nitrit ve nitrat değerlerinde başlangıç değerine göre giderim meydana gelirken *C. sorokiniana* suşunda bu parametreler tespit edilememiştir. Öğütülmüş fazda başlangıç KOİ değeri 298 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken *A. protothecoides* ve *C. sorokiniana* yetiştirildiği uygulamada sırasıyla 178 mg L<sup>-1</sup> ve 136 mg L<sup>-1</sup> ölçülerek giderim tespit edilmiştir. Yine aynı fazda *A. protothecoides* suşunda

TN, amonyum, nitrit ve nitrat değerlerinde başlangıç değerine göre giderim meydana gelirken *C. sorokiniana* suşunda bu parametreler tespit edilememiştir. Öğütme sonrası fazında ise başlangıç KOİ değeri 154 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken *A. protothecoides* suşunun yetiştirildiği uygulamada 229 mg L<sup>-1</sup> ölçülmüş ve artış saptanmıştır. *C. sorokiniana* suşunun yetiştirildiği uygulamada ise 138 mg L<sup>-1</sup> ölçülerek giderim sağlamışlardır. Her 3 fazın başlangıç pH değeri 8.5-8.8 arasında ölçülürken *A. protothecoides* ve *C. sorokiniana* suşunun yetiştirildiği pH değerlerinde standartlık yakalanarak 7.5 olarak kaydetmişlerdir.

Tarlan vd. (2002) *Chlorella* gibi yeşil alglerden, birkaç diatomdan, bazı mavi yeşil alglerden ve *Euglena*'dan oluşan bir karışım oluşturarak bu kompozisyonun kağıt endüstrisi atıksularında KOİ, emilebilir organik ksenobiyotikler (AOX) ve boya giderimi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışma sonunda KOİ giderimi açısından en yüksek % 58 giderim sağlamışlardır. Boya giderimi açısından bakıldığında % 84 oranında bir giderim sağlanırken AOX'ta ise % 80 oranında bir giderim elde etmişlerdir. Sonuçları karşılaştırdıklarında yaptıkları mikroalg kültür karışımının kağıt endüstrisi atıksuyunda başarılı olduğu ve bu yöntemin uluslararası standartlara göre gereksinimleri karşıladığı söylenmektedir.

He vd. (2013) evsel atıksu ortamında *C. vulgaris* yetiştirdikleri çalışmada atıksu içerisindeki toplam azot (TN) konsantrasyonlarına göre uygulama yapmışlardır. TN konsantrasyonlarının 29, 56, 72, 86, 99, 174 ve 246 mg L<sup>-1</sup> olduğu uygulamaları RN30, RN55, RN70, RN85, RN100, RN175 ve RN245 olarak adlandırmışlardır. Deneme sonundaki değerlere göre RN245 uygulamasında en yüksek NO<sub>3</sub>-N, KOİ ve BOİ<sub>5</sub> parametrelerinde giderim elde etmişlerdir. RN245 uygulamasında BOİ<sub>5</sub> değerini TN ile pozitif ilişkisi olduğunu ve % 99 oranında (29 mg L<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup>) giderimin sağladığını ifade etmişlerdir. NH<sub>4</sub>-N parametresini incelediklerinde RN30, RN55, RN70 uygulamalarında tespit edilmediği, RN85 ve RN100 uygulamasında ise 1 mg L<sup>-1</sup> bulmuşlardır.

Uysal vd. (2016) kendi besi ortamında yetişen *Chlorella sp.*, *Botryococcus braunii* ve *Neochloris conjuncta* mikroalgleri ile üç farklı kompost

uygulamalarında elde ettikleri biyokütlelerin kimyasal içeriklerini incelemişlerdir. *Chlorella sp.* suşunun N içeriği (% 5.45) diğer mikroalglerdeki değerler ile birbirine yakın bulunmasına rağmen kompost uygulamalarından yaklaşık 5 kat daha fazla N değeri elde edilmiştir. Çalışmada kullandıkları mikroalglerden en yüksek organik madde miktarının *Chlorella sp.* suşunda (% 67.24) olduğunu bildirmişlerdir. Yapılan bu çalışmada makro elementlerden P değerini % 1.10, K değerini ise % 1.34 olarak bulmuşlardır. Mikro kaynaklardan önemli olan Fe elementi değerini % 0.13 bulurlarken Ca değerini ise % 6.90 olarak ifade etmişlerdir.

De-Bashan vd. (2008) *Chlorella* suşu için sentetik atıksu ortamında günlük 5 saat süre ile 40-42°C de ve 2500 FAR'da normal koşullar altında yapılan çalışma ile düşük sıcaklık koşullarda yapılan çalışma sonuçlarını karşılaştırmışlar ve yüksek sıcaklıkta yapılan çalışma ile daha yüksek amonyum giderimi sağlandığını tespit etmişlerdir.

Massa vd. (2017) *Arthrospira maxima*, *Scenedesmus obliquus* ve *Phaeodactylum tricornutum* ve *Botryococcus braunii* suşlarında besin olarak hayvansal atıksu, sebze atıksuyu, evsel atıksu ve kontrol grubunu temsil eden standart ortam kullanmışlardır. Deneme süresince optik yoğunluk (OD) değerlerine ilişkin büyüme eğrilerini görsel olarak ifade etmişlerdir. Buna göre *Spirulina platensis*, *Scenedesmus obliquus*, *Phaeodactylum tricornutum* suşlarında artış eğilimi olduğu bildirilmektedir.

Iasimone vd. (2018) kentsel atıksuda bulunan siyanobakteri ve yeşil alglerden oluşan karışımı, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre besini düşük (L), orta (M) ve yüksek (H) olarak sınıflandırdıkları uygulamalarda yürütmüşlerdir. Besinin yanı sıra FAR değerlerini de sınıflandırdıkları (20), (50) ve (100) deneme sonunda yüksek besin ortamında 20 FAR yoğunluğunda yani H-20 uygulamasında en yüksek NH<sub>4</sub>-N giderim oranını % 5.42 ± 0.27 mg L<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup> olarak elde etmişlerdir. En yüksek NH<sub>4</sub>-N giderimini de yine 27.1± 1.14 mg L<sup>-1</sup> ile H-20 uygulamasında sağlamışlardır.

### 3. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Algal Biyokütle ve çalışma kapsamında kurulan Biyokütle Laboratuvarı serasında yürütülmüştür.

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. Gül işleme atıksuyu

Isparta ili Gönen İlçesi Güneykent Beldesi sınırlarında yer alan Gülbirlik Gül yağı fabrikasından, atıksu kanalına gül kazanlarından boşaltılan kaynama noktası sıcaklığındaki gül posalı atıksu örnekleri alınmıştır (Şekil 3.1). Gül işleme atıksuyuna ait kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Alınan örnekler filtre edilerek atıksu ile posaları ayrılmıştır. İç ortam denemesinde kullanılan karakterizasyonunu belirlemek için KOİ değeri  $1200 \text{ mg L}^{-1}$  ölçülmüştür. Dış ortamda ise KOİ değeri  $2087 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Atıksudaki KOİ değerleri arasında oluşan bu farkın, örneklerin aynı tesisten ancak farklı zamanlarda alınmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 3.1. Gül işleme atıksuyunun kimyasal özellikleri

Parametre	İç Ortam	Dış Ortam
KOİ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1200	2087
pH	6.08	6.14
Elektriksel iletkenlik (EC)( $\text{mS cm}^{-1}$ )	1.12	1.12
Çözünmüş oksijen ( $\text{DO}_2$ )( $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ )	1.90	1.50
Oksijen doygunluğu ( $\text{O}_2\text{-SAT}$ ) (%)	25.2	20.7
$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	59.9
$\text{NO}_2$ ( $\text{mg L}^{-1}$ )	-	1.01



Şekil 3.1. Gül işleme atıksuyuna ait resimler: (a) gül işleme tesisi, (b) atıksu örnek temini, (c) gül işleme atıksuyu deşarj kanalı

### 3.1.2. Denemede kullanılan mikroalg suşu: *Chlorella sp.*

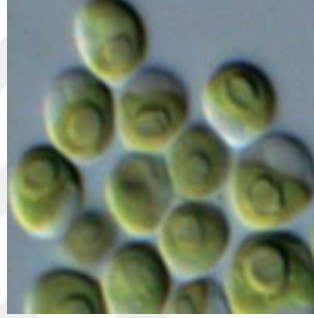
Çalışmada *Chlorella sp.* (SAG 242.80) mikroalg suşu kullanılmıştır. *Chlorella sp.* suşunun sistematığı Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. *Chlorella sp.* sistematığı

Alem	Plantae
Bölüm	Chlorophyta
Sınıf	Trebouxiophyceae
Cins	Chlorella
Tür	Chlorella sp. (Eustigmatophyte*)

\*Denemede kullanılan *Chlorella sp.* mikroalg türü 2018 Kasım ayı itibarıyla türün yeni adı *Eustigmatophyte*

*Chlorella*, tek hücreli olmakla birlikte bünyesinde vitamin, protein, mineral, aminoasitler, nükleik asitler (RNA ve DNA), temel yağ asitleri, enzimler ve karotenoidleri içermektedir. Bu besinleri saf, katkısız ve doğal denge içerisinde barındırmakta ve tek başına bir besin niteliği taşımaktadır. Kuru mikroalgal biyokütle % 50-60 oranında proteinden oluşmakta olup klorofilin doğada bilinen en yüksek oranlı kaynağıdır. Ayrıca demir, iyot, çinko, magnezyum, fosfor ve kalsiyum da içermektedir. *Chlorella*, sığır karaciğerinin içermekte olduğu B12 vitamininden daha fazla B12 vitamini içermektedir (Jensen, 1987; Singh vd., 1998). Çalışmada kullanılan *Chlorella sp.* mikroalg suşunun mikroskopik görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. *Chlorella sp.* mikroalg suşunun mikroskopik görüntüsü (Pröschold vd., 2011)

### 3.1.3. Besi ortamı

Stok kültür ortamında hacim büyütme işlemlerinde kullanılmak üzere besin ortamları olarak Bold Basal Medium (BBM) seçilmiştir (SAG, 2019). BBM solüsyonunun hazırlanması için gerek duyulan kimyasal makro besin elementleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Basal ortam solüsyonunun hazırlanması için gerek duyulan mikro besin elementleri Çizelge 3.4'te verilmiştir. Hazırlanan solüsyonlar 2 litrelik erlenmayerlere konularak otoklavda 121°C de 20 dakika steril edilmiştir.

Çizelge 3.3. Basal solüsyonunun hazırlanışı

	Stok solüsyon (g 100 ml <sup>-1</sup> )	Besin solüsyonu (ml)
KNO <sub>3</sub>	1	20
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0.1	20
MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.1	20
Toprak ekstraktı		30
Mikro element solüsyonu		5
Saf su		905
Toplam		1000

Çizelge 3.4. Mikroelement solüsyonunun hazırlanışı

	Stok solüsyon (g 100 ml <sup>-1</sup> )	Uygulanan solüsyon
ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0.1	1 ml
MnSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O	0.1	2 ml
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0.2	5 ml
Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	0.02	5 ml
Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	0.02	5 ml
CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	0.0005	1 ml
Saf su		981 ml
FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O		0.7 g
EDTA (Titriplex III, Merck)		0.8 g

### 3.1.4. Laboratuvar (iç ortam-stok kültür kabini) denemeleri

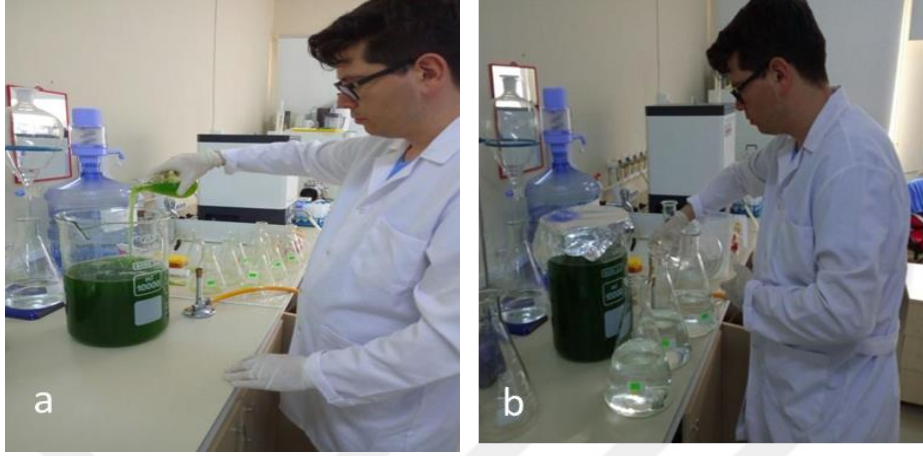
Sera (dış ortam) koşullarında denemelerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle laboratuvarında bulunan stok kültür kabiniinde hacim büyütme işlemleri gerçekleştirilmiş ve optimum atıksu dozajı tespit edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. İç ortam (stok kültür kabini)



İç ortam denemesinin kurulmasında mikroalg, besin ve atıksu ortamlarının aşılama işlemleri Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. İç ortam başlangıç *Chlorella sp.* mikroalg suşu aşılması; (a) mikroalg aşılması, (b) atıksu ortamlarına aşılama

### 3.1.5. Sera (dış ortam) denemeleri

Tarımsal Araştırma ve Uygulama Merkezi (TARUM) çiftliğinde toplam alanı 80 m<sup>2</sup> (8x10m) olan polikarbon sera inşaatı bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş olup dış ortam denemeleri burada yürütülmüştür. Sera içerisinde mikroalg yetiştiriciliği için açık ve kapalı sistemleri temsil eden RW ve T-FBR yerleştirilmiştir. İç ortam koşullarında gül işleme atıksuyu için belirlenen optimum dozaj dış ortamda bulunan RW ve T-FBR sistemlerinde uygulanmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Polikarbon sera



### 3.1.6. Mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan açık sistem

Bu çalışmada açık sistem olarak RW kullanılmıştır (Şekil 3.6). RW sisteminin tasarımı ve yapımı bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. RW sistemi, demir profil üzerine sunta monte edilerek oluşturulmuştur. Bu sistem PVC 110 ile kaplanarak su sızdırmazlığı sağlanmıştır. Havuzun tam ortasından başlayarak köşelerin yarıçaplarına kadar uzanan bir duvar gibi ayıraç bulunmaktadır. RW sistemi; (1) elektrik motoru (1 adet), (2) çark (4 adet kanatçıktan oluşmaktadır), (3) havuz ortasına konulan ayıraç duvardan (köşelerde birleşmediği için su akış döngüsünü sürekli kılmaktadır) oluşmaktadır. RW sisteminin toplam kapasitesi 100 litre olup bu çalışma kapsamında 50 litresi kullanılmıştır.



Şekil 3.6. Çalışmada kullanılan RW sistemi

### 3.1.7. Mikroalg yetiştiriciliğinde kullanılan kapalı sistem

Bu çalışmada kapalı sistem olarak T-FBR kullanılmıştır. T-FBR sisteminin tasarımı ve yapımı bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. T-FBR sistemi; mobil, 6 adet şeffaf akrilik boru (75x69 mm), 11 adet 90° dirsek (Ø75), 1 adet su devir daim pompası, 1 adet karanlık evre için kullanılan taban yarıçapı 10.5 cm ve yüksekliği 23 cm olan silindir şeklindeki akrilik depo ve 1 adet suyun sıcaklığını dengeleyebilmek için kullanılan su ceketinden meydana gelmektedir (Şekil 3.7). Aynı zamanda bu reaktörün aydınlık evresinin gerçekleştiği şeffaf

akrilik boruların hacmi toplam 42 litredir. Bunun yanında karanlık evrenin gerçekleştiği akrilik deponun hacmi 8 litredir. Toplam T-FBR sisteminin hacmi 50 litredir.

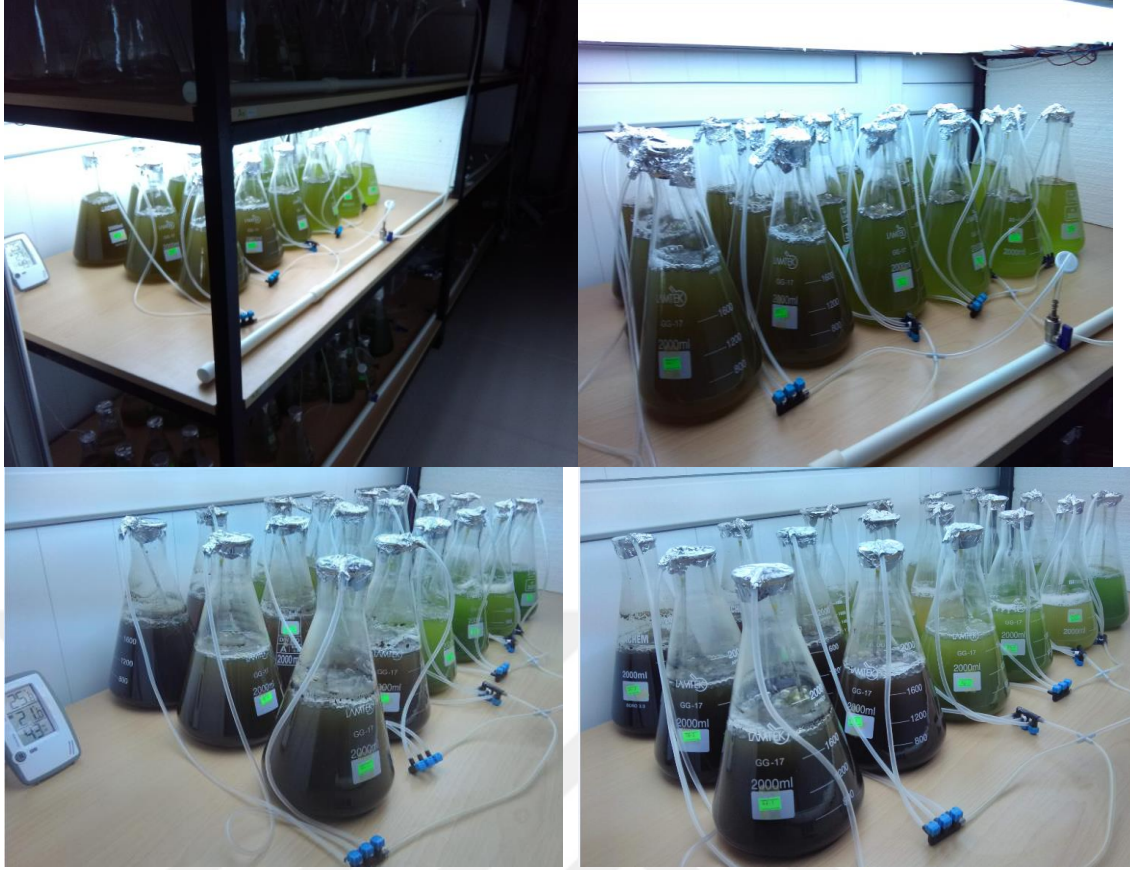


Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan T-FBR sistemi

## 3.2. Metot

### 3.2.1. İç ortam denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Çalışmada kullanılan *Chlorella sp.* mikroalg suşu SAG (Sammlung von Algenkulturen) kültür koleksiyonundan sağlanmıştır. Dış ortam koşullarında açık ve kapalı sistemde denemelerin gerçekleştirilebilmesi için öncelikle laboratuvarında bulunan stok kültür kabininde (kontrollü koşullar altında) gül işleme atıksuyu dozaj çalışmaları yürütülmüş ve hacim büyütme işlemleri gerçekleştirilmiştir. İç ortam denemelerinde gül işleme atıksuyu dozajlarından G1, kontrol grubunu temsil etmek üzere 5 farklı atıksu dozu ile toplamda 6 uygulama yürütülmüştür. Toplamda 6 doz 3 tekerrürlü olmak üzere 18 uygulama 2 litrelik erlenmayerlerde çalışılmıştır. Aşı miktarı olarak standart her uygulamada toplam hacimin % 20'sini mikroalg oluşturmaktadır. Deneme desenine ilişkin bilgiler Çizelge 3.5'te verilmiştir. Kontrollü koşullar altında mikroalglerin üretim prosesi Şekil 3.8'de verilmiştir. Yeterli hacime ulaşıldığında açık ve kapalı sistemlerde denemelere başlanmıştır.



Şekil 3.8. İç ortam dozaj denemeleri

Çizelge 3.5. Laboratuvar denemesinde kullanılan atıksu dozajları

Uygulamalar	Mikroalg Hacmi (ml)	Atıksu Hacmi (ml)	Bold Basal Ortamı Hacmi (ml)	Atıksu Dozu (%)
G1	400	0	1600	0
G2	400	200	1400	12.5
G3	400	400	1200	25
G4	400	800	800	50
G5	400	1200	400	75
G6	400	1600	0	100

### 3.2.2. Dış ortam denemesinin kurulması ve yürütülmesi

Açık ve kapalı sistemi temsil eden RW ve T-FBR için toplamda 50 litre kapasite ile denemeler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9). Toplam hacimin % 20'sini yine aşı oluşturmaktadır. İç ortam koşullarında gül işleme atıksuyu için belirlenen optimum dozaj olan G4 için; her iki sistemde toplam ihtiyaç duyulan besin

miktarının % 50'si oranında BBM, % 50'si oranında gül işleme atıksuyu ve yeterli yoğunluğa ulaşmış yetiştirme havuzundan 10 litre aşılama yapılmıştır.



Şekil 3.9. Dış ortam denemelerinin kurulması; (a) T-FBR, (b) RW

### 3.2.3. Deneme süresince yapılan analizler

#### 3.2.3.1. Optik yoğunluk

İç ortam ve dış ortam denemeleri boyunca, optik yoğunluk ( $OD_{680}$ ) ölçümleri steril pipetler yardımıyla her uygulamadan 3 ml örnek alınarak ve quartz küvetlerde 680 nm dalga boyunda (Daneshvar vd., 2018) spektrofotometrede (Mecacys optizen pop uv/visible spektrofotometre) ölçümler okunmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Denemede kullanılan spektrofotometre (Mecacys optizen pop uv/visible)



### 3.2.3.2. Biyokütle kuru ağırlığı

Bu analizin amacı birim hacimdeki biyokütlenin kuru ağırlığının saptanmasıdır. Filtre kağıtları 60°C'de kurutulmuştur. Kurutulan 0.45 µm por çapındaki Whatman GF/C filtre kağıtlarının 0.0001 g duyarlı hassas terazi ile darası alınmıştır. Kültürlerden alınan 1ml, örnek filtre kağıtları kullanılarak süzölmüştür. Örneklerin süzöleceği filtre kağıtları 105°C'de 3-4 saat boyunca etövde (Memmert marka) kurutulmuştur (Şekil 3.11). Daha sonra kurutulan filtre kağıtları hassas terazi ile ağırlık ölçömleri yapıldıktan sonra litredeki kuru ağırlık değerleri gram (g) cinsinden hesaplanmıştır.



Şekil 3.11. Biyokütlenin kuru ağırlığının belirlenmesi için kullanılan etöv

### 3.2.3.3. pH

Mikroalg hücrelerinin canlı kalabilmeleri için gerek duyulan pH değerlerinin 7-9 arasında tutulması gerekmektedir. Çalışmalar esnasında sürekli olarak pH kontrolü yapılmıştır. pH kontrolü ve ölçümü için Delta Ohm KP 20 pH elektrodu kullanılmıştır (Şekil 3.12).

### 3.2.3.4. EC

Seçilen mikroalg suşu tatlı su mikroalgi olduğu için tuzluluğa karşı dirençleri düşüktür. ‰ 20-24 tuzluluk değerleri arasında hemen hemen bütün türlerin yetişmesi uygun olduğu gerekçesi ile *Chlorella sp.* suşu tercih edilmiştir. Ortamın EC, NaCl ve TDS değerleri SP 06TS sensörü ile belirlenmiştir (Şekil 3.12).

### 3.2.3.5. Çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu

Fotosentez işlemi sonucunda mikroalg hücreleri tarafından üretilen oksijenin reaktörlerden uzaklaştırılması gerekmektedir. Eğer, reaktör içerisindeki oksijen miktarı mikroalg hücrelerinin tolere edebileceği sınırların dışına çıkarsa toksik etki oluşması ile mikroalgal biyokütle veriminin düşmesi hatta mikroalg hücrelerinin ölümü ile karşılaşılacaktır. RW açık sistem olduğu için toksik etkiye neden olacak fazla oksijen doğrudan atmosfere atılacaktır. Diğer taraftan kapalı sistemlerde ise oksijenin uzaklaştırılması için deşarj bölümü oluşturulmalıdır. Bu sebeple çalışmalar esnasında DO<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub>-SAT tayini için DO 9709 SS sensörü kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. HD98569 DELTA OHM kayıt cihazına bağlı pH, EC ve O<sub>2</sub> sensörleri

### 3.2.3.6. KOİ

Örneklerin KOİ ölçümleri için ISO 6060-1989, DIN 38409-H41-H44 standart metotlarına göre, LCK514 küveti ile HACH LANGE marka DR 3900 model spektrofotometre kullanılmıştır (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. KOİ ölçümünde kullanılan ısıtma bloklu kuru termoreaktör (LT 200), kitler (LCK514) ve spektrofotometre (HACH LANGE, DR 3900)

### 3.2.3.7. BOİ<sub>5</sub>

BOİ<sub>5</sub> ölçümleri için RW ve T-FBR sistemleri için deneme başında ve sonunda olmak üzere her iki sistemden de 43.5 ml örnek alınmıştır. Bu örnekler Oxitop şişesine dökülerek üzerine 1 damla solüsyon ve iki adet sodyum hidroksit (NaOH) eklenmiştir. Oxitop şişeleri 20°C'de 5 gün dolapta tutulduktan sonra WTW marka BOİ metre ile BOİ<sub>5</sub> ölçümleri gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. BOİ<sub>5</sub> belirlemede kullanılan WTW marka BOİ metre

### 3.2.3.8. Ortofosfat analizi

Örneklerin ortofosfat ( $PO_4^{-3}$ ) ölçümleri TS EN ISO 103041 standart metoduna göre yapılmıştır.

### 3.2.3.9. Nitrat ve nitrat azotu analizi

Örneklerin nitrat ( $NO_3$ ) ve nitrat azotu ( $NO_3-N$ ) ölçümleri için ISO 7890-1-2-1986, DIN 38405 D9-2 standart metotlarına göre, LCK339 küveti ile spektrofotometre (HACH LANGE, DR3900) kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Spektrofotometre (HACH LANGE, DR 3900)

### 3.2.3.10. Amonyum azotu analizi

Örneklerin amonyum azotu ( $NH_4-N$ ) ölçümleri için NESSLER metodu uygulanarak hizmet alımı yoluyla yaptırılmıştır.

### 3.2.3.11. Sulama suyu analizleri

Deneme sonunda mikroalgal biyokütlenin santrifüj ile uzaklaştırılması sonrasında arta kalan suyun sulama suyu olarak kullanılabilirliğini tespit etmek için ölçülen parametreler Çizelge 3.6'da verilmiştir.



Çizelge 3.6. Sulama suyu parametreleri ve analiz metodları

Parametreler	Metod
pH	TS EN ISO 10523
EC	TS 9748 EN 27888
Sodyum	TS EN ISO 14911
Potasyum	TS EN ISO 14911
Kalsiyum	TS EN ISO 14911
Magnezyum	TS EN ISO 14911
Karbonat	TS 3790 EN ISO 9963 1
Bikarbonat	TS 3790 EN ISO 9963 1
Klorür	TS EN ISO 10304 1
Sülfat	TS EN ISO 10304 1
Na (%)	TS 7739
Sodyum absorpsiyon oranı (SAR)	TS 7739
Suyun sınıfı	TS 8108
Toplam çözünmüş katılar	Hesaplama

### 3.2.3.12. Fotosentetik aktif radyasyon ölçümleri

Uysal ve Ekinci (2017) fotosentetik aktif radyasyonu (FAR)  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , bitki yetiştiriciliğinde doğrudan fotosentezi etkileyen 400–700 nm dalgaboyları arasındaki ışınım olarak tanımlamaktadır. 400–700 nm dalga boyları arasında kalan ve 1 saniyede  $1 \text{ m}^2$ 'ye düşen foton sayısı olarak bilinen FAR ölçümleri için DELTA OHM DO9847 veri kaydedici ile LP471 PAR sensörü kullanılarak (Şekil 3.16 ve Şekil 3.17), gün sonu ortalama FAR değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.16. DELTA OHM 9847K veri kaydedici



Şekil 3.17. FAR ölçümü için kullanılan LP471 PAR sensörü

### 3.2.3.13. Mikroalg üretim sistemlerinde enerji ölçümleri

Kapalı ve açık sistemlerin mikroalg üretim enerji giderleri elektronik elektrik sayaçları (VİKO VEM-M) kullanarak belirlenmiştir. Deneme süresince toplam aktif enerjileri, anlık güç tüketimleri, sayaç üzerinden geçen akımlar, sayacın bağlı olduğu şebeke frekansları ve şebeke  $\cos \varphi$  değerleri ölçülmüştür (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. T-FBR ve RW sistemlerinde kullanılan elektronik elektrik sayaç (VİKO, VEM-M)

### 3.2.3.14. Mikroalg biyokütlesinin toplam karbon (C) ve azot (N) içeriğinin belirlenmesi

Mikroalg biyokütlesinin C ve N içeriği Elementar Vario MAX CN analizörünü kullanarak yapılmıştır. Bu analizörde yüksek sıcaklıkta (960°C) yakma ile elementlerin gazlaştırılması sağlanmaktadır. Gaz, ayrıştırıcıdan geçtikten sonra içerisindeki konsantrasyon "kantitatif analiz metodu"na göre termal iletkenlik dedektörü ile belirlenmiştir. Cihazda numune başına en fazla 150 mg C, 100 mg

N tespit edilebilmektedir. Örneklerin karbon ve azot miktarlarını belirlemek için örnekler 65°C'de ağırlık değişimi sabitlenene kadar etüvde kurutulmuş ve nem analizleri yapılmıştır. Daha sonra örnekler öğütülerek karbon ve azot tayini için hazır duruma getirilmiştir (Şekil 3.19). Toplam karbon (TC) ve azot (TN) analizleri dış ortamda RW ve T-FBR sistemlerinde deneme sonunda alınan biyokütleden yapılmıştır.



Şekil 3.19. TC ve TN tayininin gerçekleştirildiği analiz cihazı

### 3.2.3.15. Mikroalg biyokütlesinin mikro ve makro element analizleri

Dış ortam deneme sonunda RW ve T-FBR sistemlerinde elde edilen mikroalg biyokütlenin mikro ve makro besinsel içerikleri ICP-OES ile analiz edilmiştir.

### 3.2.3.16. KOİ, BOİ<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N giderimi

Dış ortam denemesinde deneme başlangıcı ve sonunda ölçülen KOİ, BOİ<sub>5</sub>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N, PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ve NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N giderim yüzdeleri Eşitlik 3.1'deki bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$\text{Giderim (\%)} = \frac{(D_B - D_S)}{D_B} \times 100 \quad (3.1)$$

Yukarıda verilen parametrelerin her biri için ayrı olmak üzere Eşitlik 3.1'de D<sub>B</sub> deneme başlangıcındaki değeri, D<sub>S</sub> ise deneme sonundaki değeri ifade etmektedir.

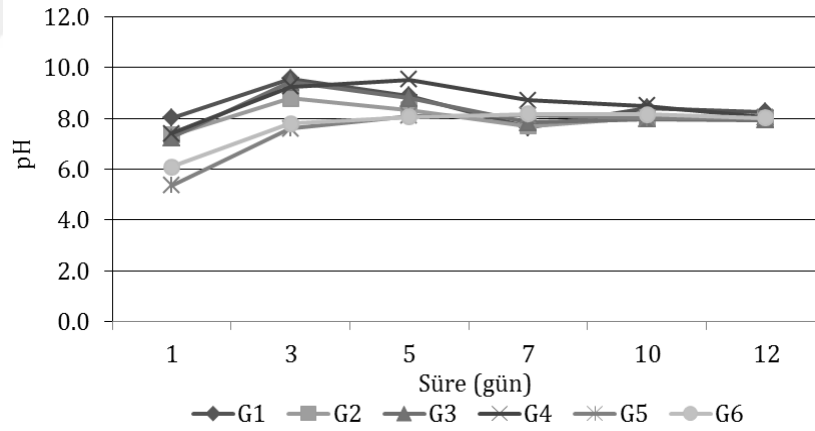
## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. İç Ortam Denemelerine Ait Parametrelerin Değişimi

İç ortam denemeleri laboratuvar koşullarında yapılmış olup 12 gün sürmüştür.

#### 4.1.1. pH Değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen pH değerleri Şekil 4.1’de görülmektedir. Deneme başlangıcında kontrol grubu olan G1 için pH değeri 8 ölçülürken en yüksek miktarda atıksu uygulanan G6 uygulamasında ise pH 6 olarak ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonucunda ise bütün uygulamalarda pH 8’de sabitlenmiştir.



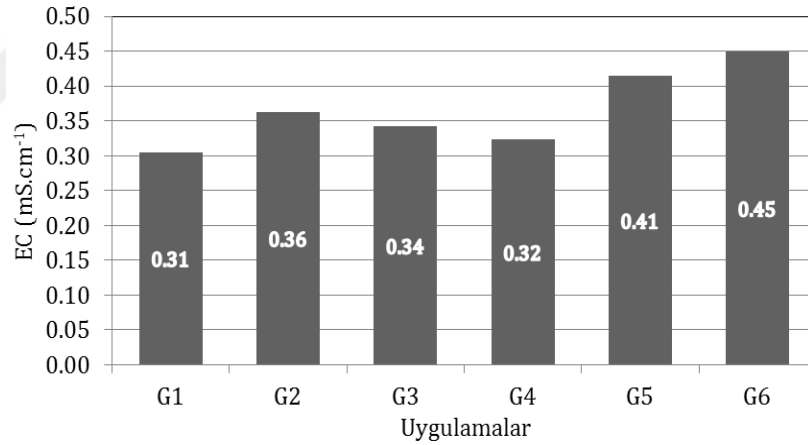
Şekil 4.1. İç ortam denemesine ilişkin pH değerleri

Asidik ve bazik ortamlara toleranslı olmalarına rağmen en yaygın yetiştirilen mikroalg türlerinin büyümesi için 7-9 pH değerleri gerekli olurken, tavsiye edilen optimum değerler ise 8.2-8.7 pH olarak belirtilmiştir (Blinová vd., 2015; Venkata Mohan vd., 2015). Hernández vd. (2013) kontrol ve 2 farklı tarımsal atıksuyun besin olarak *Chlorella sorokiniana* suşuna verdikleri ortamların başlangıç pH değerlerini 7-8 aralığında tespit ederken yine aynı uygulamalarda

deneme sonundaki pH değerlerini de 7-8 aralığında ölçmüşlerdir. Bu çalışmada ise başlangıçta 4-8 aralığında ölçülen pH değerleri deneme sonunda 8'de sabitlenmiştir. Deneme süresince ve sonunda ölçülen pH değerleri kabul edilen sınırların arasında olduğu için herhangi bir müdahale yapılmamıştır.

#### 4.1.2. EC değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen EC değerleri Şekil 4.2'de görülmektedir. Deneme başlangıcında atıksuyun EC değeri  $1.12 \text{ mS cm}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonundan en yüksek EC değeri G6 uygulamasında  $0.45 \text{ mS cm}^{-1}$  olarak ölçülürken en düşük EC değeri ise kontrol uygulamasından sonra G4 uygulamasında  $0.32 \text{ mS cm}^{-1}$  olarak ölçülmüştür.

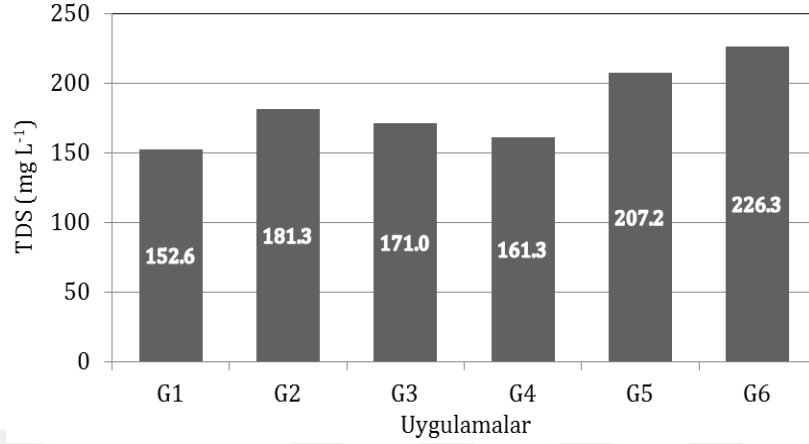


Şekil 4.2. İç ortam denemesine ilişkin EC değerleri

#### 4.1.3. TDS değişimi

*Chlorella sp.* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen TDS değerleri Şekil 4.3'te görülmektedir. Deneme başlangıcında atıksuyun TDS değeri  $563 \text{ mg L}^{-1}$  ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonunda en yüksek TDS değeri G6

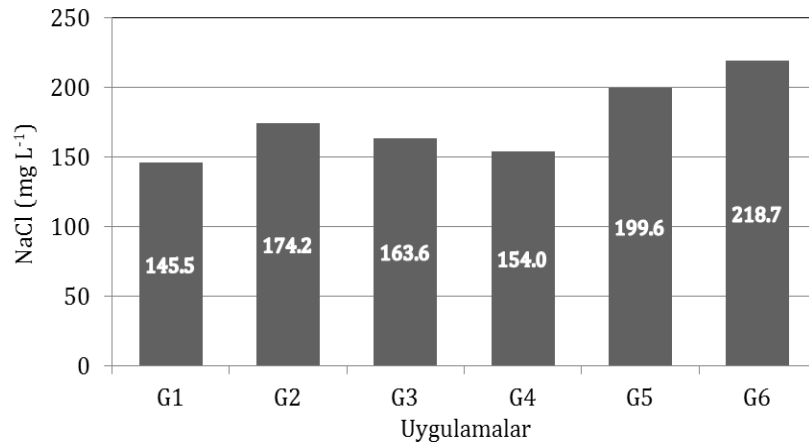
uygulamasında 226.3 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülürken en düşük TDS değeri ise kontrol uygulamasından sonra G4 uygulamasında 161.3 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.3. İç ortam denemesine ilişkin TDS değerleri

#### 4.1.4. NaCl değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen NaCl değerleri Şekil 4.4'te görülmektedir. Deneme başlangıcında atıksuyun NaCl değeri 595 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonunda en yüksek NaCl değeri G6 uygulamasında 218.7 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken en düşük NaCl değeri kontrol uygulamasından sonra G4 uygulamasında 154.0 mg L<sup>-1</sup> ölçülmüştür.

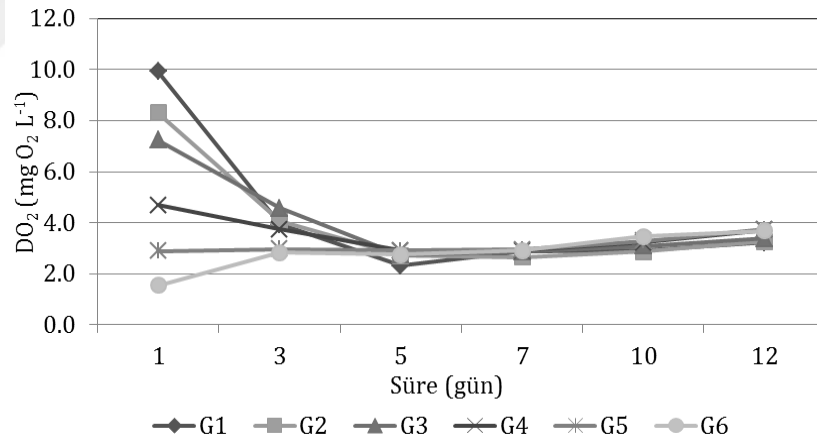


Şekil 4.4. İç ortam denemesine ilişkin NaCl değerleri

İç ortam deneme sonundaki EC, TDS ve NaCl değerleri, başlangıç değerleri ile kıyaslandığında her üç parametrenin değerlerindeki azalmalar birbirleri ile benzerlik göstermektedir.

#### 4.1.5. DO<sub>2</sub> değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen DO<sub>2</sub> değerleri Şekil 4.5'de görülmektedir. Deneme başlangıcında en yüksek DO<sub>2</sub> değeri G1 uygulamasında 9.92 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> ölçülürken en düşük G6 uygulamasında 1.54 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonucunda ise en yüksek DO<sub>2</sub> değeri G5 uygulamasında 3.74 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> ölçülürken en düşük G1 uygulamasında 3.24 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür.

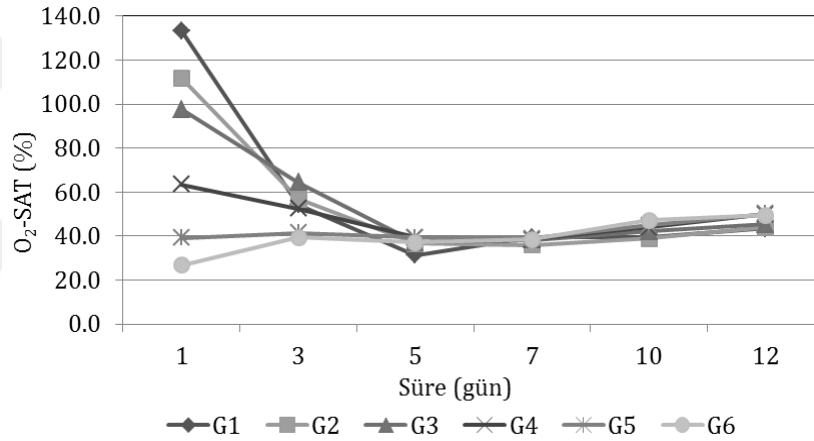


Şekil 4.5. İç ortam denemesine ilişkin DO<sub>2</sub> değerleri

Hernández vd. (2013) kontrol ve 2 farklı tarımsal atıksuyun besin olarak *Chlorella sorokiniana* suşuna verdikleri ortamların DO<sub>2</sub> değerlerini deneme boyunca 0-14 mg L<sup>-1</sup> aralığında ölçmüşler ve değerlerde dalgalanmaların olduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise DO<sub>2</sub> değerleri 1.5-10 mg L<sup>-1</sup> aralığında ölçülmüştür. Deneme süresince ve sonunda ölçülen DO<sub>2</sub> değerleri literatür ile benzerlik göstermektedir

#### 4.1.6. O<sub>2</sub>-SAT değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen O<sub>2</sub>-SAT (%) değerleri Şekil 4.6'da görülmektedir. Deneme başlangıcında en yüksek O<sub>2</sub>-SAT değeri G1 uygulamasında % 133.3 llrken en düşük G6 uygulamasında % 26.7 llmştr. 12 gün süren deneme sonucunda ise en yüksek O<sub>2</sub>-SAT değeri G5 uygulamasında % 50.0 llrken en düşük G1 uygulamasında % 43.4 olarak llmştr. Deneme süresince llen O<sub>2</sub>-SAT değerleri yine iç ortamda llen DO<sub>2</sub> değerleri ile benzerlik göstermektedir.

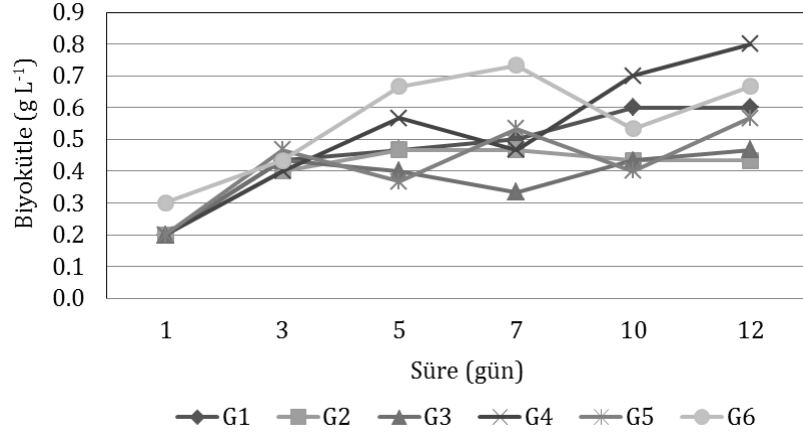


Şekil 4.6. İç ortam denemesine ilişkin O<sub>2</sub>-SAT değerleri

#### 4.1.7. Mikroalg biyokütlesi değişimi

*Chlorella sp* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen biyokütle değerleri Şekil 4.7'de görülmektedir. Deneme başlangıcında en yüksek biyokütle değeri G6 uygulamasında 0.300 g L<sup>-1</sup> llrken G1, G2, G3, G4 ve G5 uygulamalarında 0.200 g L<sup>-1</sup> llmştr. 12 gün süren deneme sonucunda ise en yüksek biyokütle G4 uygulamasında 0.800 g L<sup>-1</sup> llrken en düşük G2 uygulamasında 0.433 g L<sup>-1</sup> olarak llmştr.

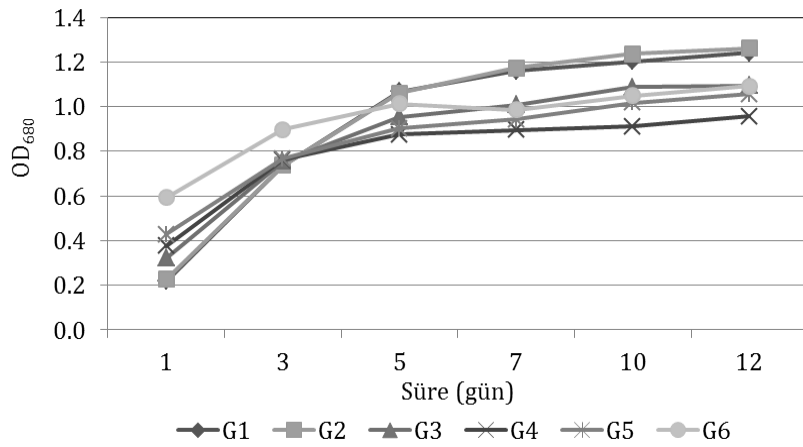




Şekil 4.7. İç ortam denemesine ilişkin biyokütle verilerinin ortalama değerleri

#### 4.1.8. OD<sub>680</sub> değişimi

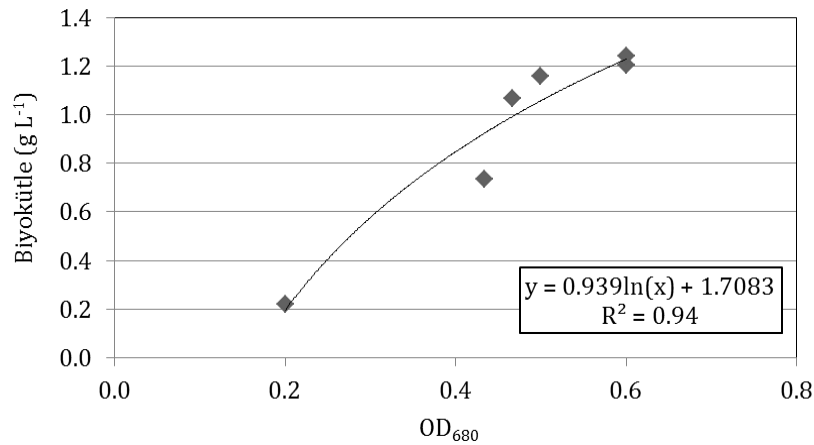
En uygun dozaj tespitinin yapıldığı bu deneme sonucunda uygulamalara ait 680 nm dalga boyunda ölçülen OD<sub>680</sub> değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 4.8'de görülmektedir. Deneme, aynı biyokütle yoğunluğu ile başlanmasına rağmen, atıksudan kaynaklı olarak uygulama dozajlarının başlangıç değerine bakıldığında en yüksek OD<sub>680</sub> G6 uygulamasında 0.593 ölçülürken, en düşük OD<sub>680</sub> kontrol grubu olan G1 uygulamasında 0.218 ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonunda en yüksek OD<sub>680</sub> değeri 1.262 ile G2 uygulaması ölçülürken, en düşük OD<sub>680</sub> değeri ise 0.956 ile G4 uygulamasında ölçülmüştür. Tüm uygulamaların OD<sub>680</sub> değerleri logaritmik artış göstermiştir.



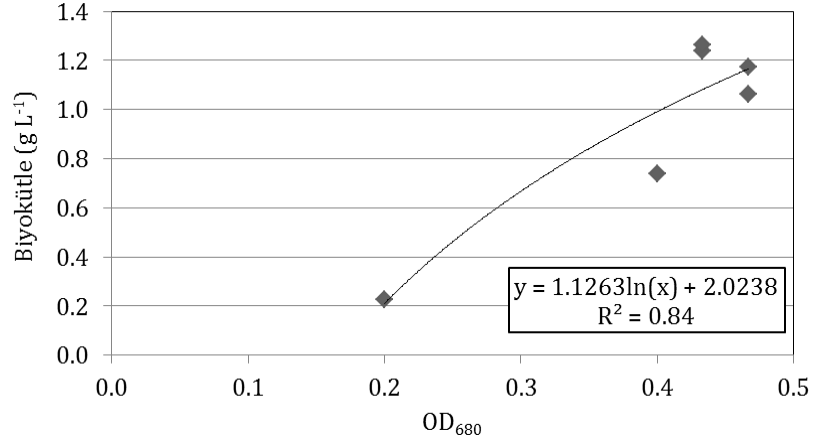
Şekil 4.8. İç ortam denemesine ilişkin OD<sub>680</sub> değerleri

Massa vd. (2017) yaptıkları çalışmada OD değerlerindeki değişimleri incelemişler ve elde edilen değerlere göre *Arthrospira maxima*, *Scenedesmus obliquus* ve *Phaeodactylum tricornutum* suşlarının standart ortam, hayvansal atık-biyogaz çamuru (ZWLD) ve sebze atığı-biyogaz çamuru (VWLD) atıksularında yetiştirildiği ortamlarda büyüme eğrilerinin artış eğiliminde olduğunu tespit etmişlerdir. *Spirulina platensis* suşu VWLD ortamında yetiştirilmiş olup OD<sub>560</sub> değeri başlangıçta 1.35 olarak ölçülmüştür, deneme süresince logaritmik olarak artış göstermiş ve deneme sonunda 2.08 olarak ölçülmüştür. Bu çalışmada özellikle G4 uygulamasında OD<sub>680</sub> değeri başlangıçta 0.376 ölçülmüş, logaritmik artış göstermiş ve deneme sonunda 0.956 olarak belirlenmiştir.

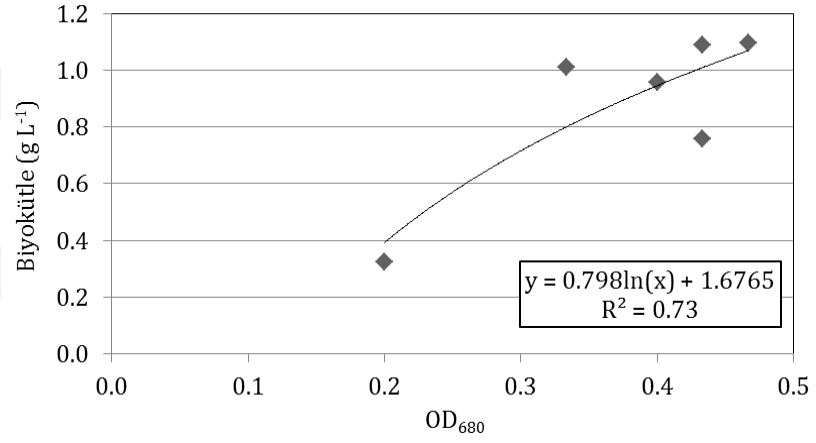
Bu çalışmada farklı uygulamalarda (G1-G6) biyokütle değerleri OD<sub>680</sub>'nin fonksiyonu olarak regresyon analizi yapılmıştır (Şekil 4.9 –Şekil 4.14). Elde edilen bağıntılar şekiller üzerinde verilmiştir. En yüksek korelasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) 0.93 ile G1 uygulamasında sağlanmıştır. En düşük R<sup>2</sup> ise 0.73 ile G3 uygulamasında tespit edilmiştir.



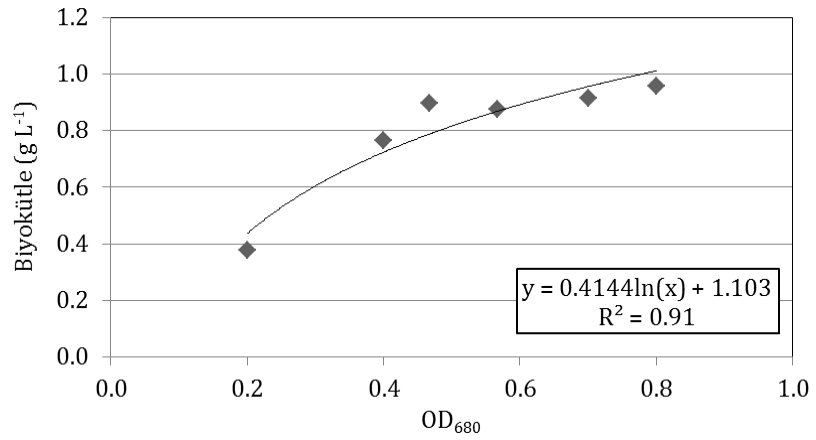
Şekil 4.9. G1 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon



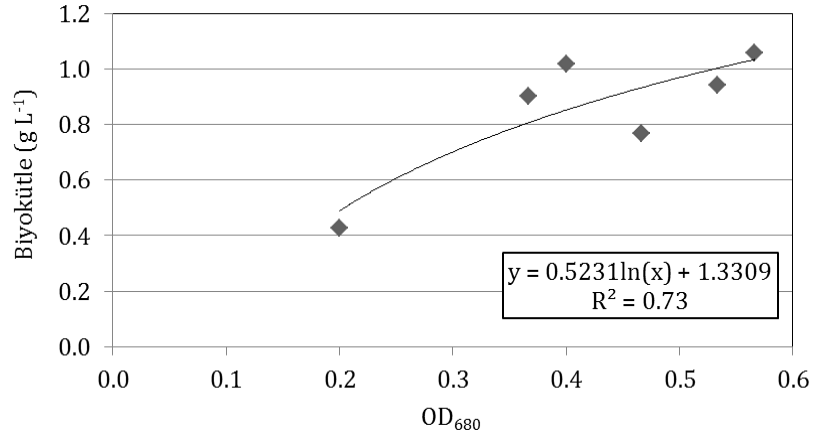
Şekil 4.10. G2 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon



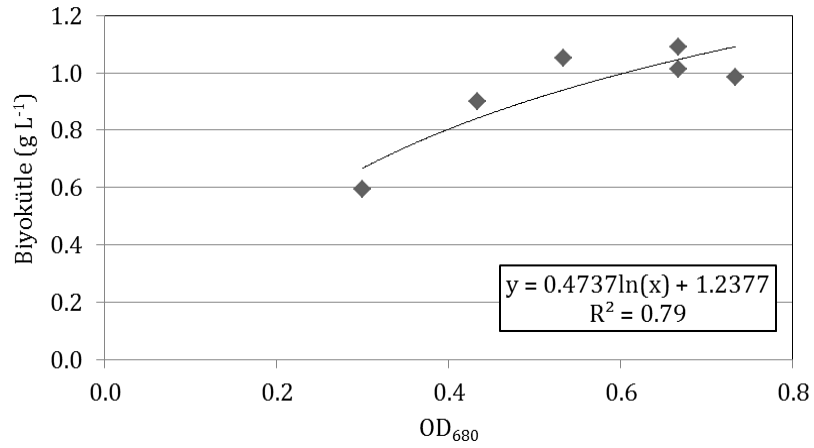
Şekil 4.11. G3 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon



Şekil 4.12. G4 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon



Şekil 4.13. G5 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon

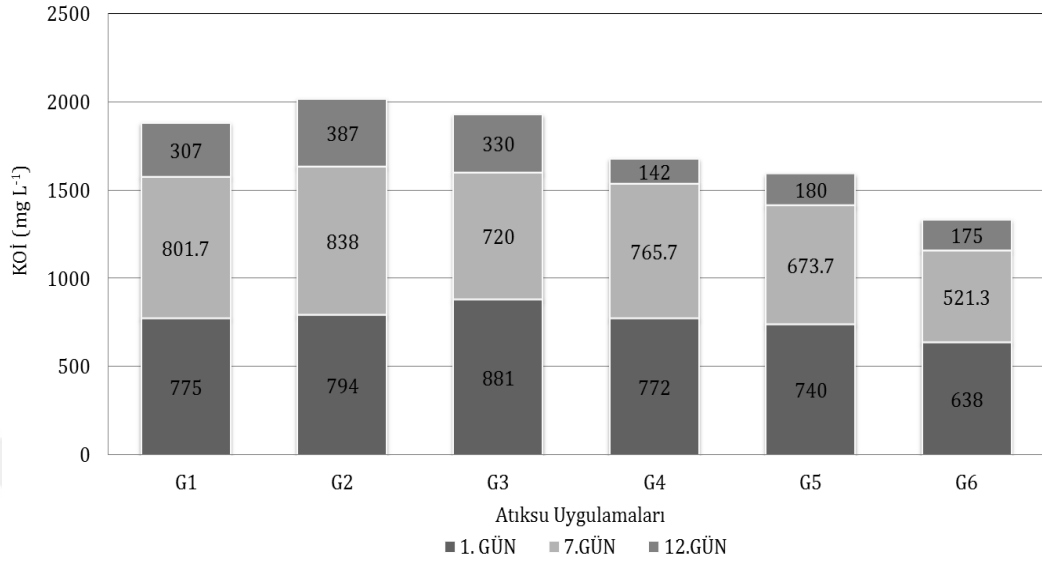


Şekil 4.14. G6 uygulaması için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon

#### 4.1.9. KOİ değişimi

*Chlorella sp.* mikroalg suşunun iç ortam koşullarında dozaj tespiti amacıyla yapılan çalışmada G1, G2, G3, G4, G5 ve G6 farklı atıksu miktarlarındaki uygulamalarının zamana bağlı olarak değişen KOİ değerleri Şekil 4.15'de görülmektedir. Gül işleme atıksuyunun KOİ değeri 1200 mg L<sup>-1</sup> ölçülmüştür. Dozaj uygulamalarında kullanılmak üzere karışımlar hazırlandıktan sonra deneme başlangıcında en yüksek KOİ değeri G3 uygulamasında 881 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken en düşük G6 uygulamasında 638 mg L<sup>-1</sup> ölçülmüştür. 12 gün süren deneme sonucunda ise en yüksek KOİ değeri G2 uygulamasında 387 mg L<sup>-1</sup> ölçülürken en düşük G4 uygulamasında 142 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Deneme

sonunda en yüksek KOİ giderimi % 81.61 ile G4 uygulamasında sağlanmıştır. En düşük KOİ giderimi ise % 51.26 ile G2 uygulamasında tespit edilmiştir.



Şekil 4.15. İç ortam denemesine ilişkin KOİ değerleri

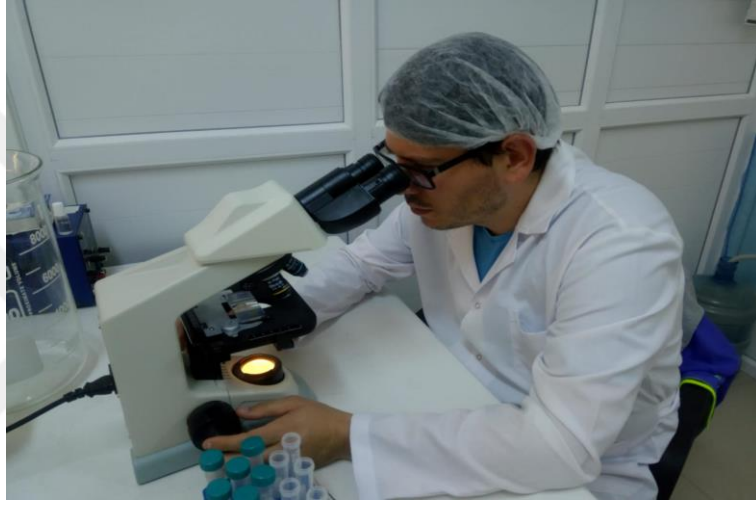
Mezzomo vd. (2010) domuz çiftliği atıksuyunda *Spirulina platensis* yetiştirdikleri uygulamalarda en yüksek KOİ giderimini % 26.5 atıksu konsantrasyonunda % 88.5 ve % 84.3 elde edilirken, % 30.0 atıksu konsantrasyonunda % 79.3 bulmuşlardır. Aynı zamanda Tarlan vd. (2002) yaptıkları çalışmada ise en yüksek KOİ giderimini % 58 olarak elde etmişlerdir. Bu çalışmada ise iç ortam denemesi sonunda en düşük KOİ giderimi G2 uygulamasında % 51.3 bulunurken en yüksek KOİ giderimi G4 uygulamasında % 81.6 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalarla benzerlik göstermektedir. Sonuç olarak mikroalgal biyokütle değişimi ve KOİ giderimi dikkate alındığında G4 uygulamasının dış ortam denemeleri için en uygun karışım olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, dış ortam denemelerinde (F-TBR ve RW sistemlerinde) G4 karışımı uygulanmıştır.

#### 4.2. Dış Ortam Denemelerine Ait Parametrelerin Değişimi

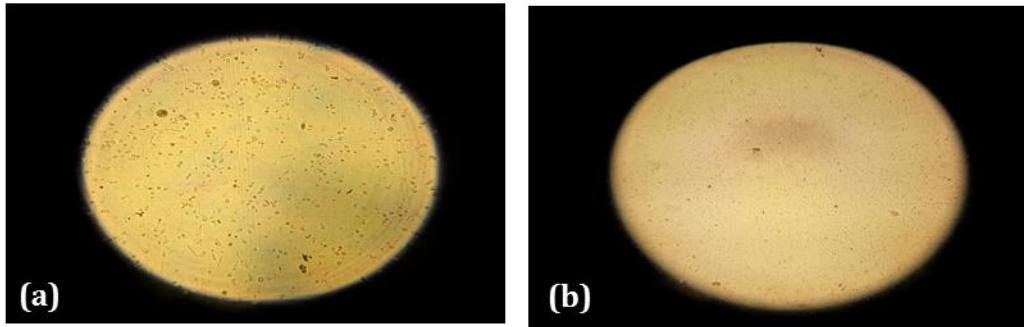
Dış ortam denemeleri sera içerisine kurulu T-FBR ve RW sistemlerinde yapılmış olup 8 gün sürmüştür.

#### 4.2.1. Mikroalg hücre kontrolü

Dış ortam denemesinin başlangıcında *Chlorella sp.* suşunun mikroskop ile hücre sayımı yapılmış ve yapılan değerlendirme sonucunda hücre sayısının  $2 \times 10^7$  olduğu tespit edilmiştir. Bu suş her iki sisteme (T-FBR ve RW) aşılanmıştır. 8 gün süren deneme sonunda kontaminasyon testi gerçekleştirilmiş ve bulaşma tespit edilmemiştir. Kontaminasyon kontrolü Şekil 4.16'da, mikroskobik görüntüleri ise Şekil 4.17'de verilmiştir.



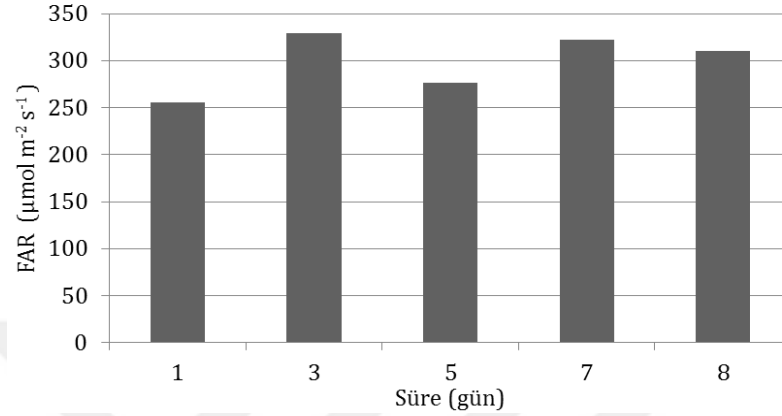
Şekil 4.16. Dış ortam denemesi sonucu kontaminasyon kontrolü



Şekil 4.17. RW (a) ve T-FBR (b) sistemlerinde deneme sonunda bulaşmanın olmadığı mikroalg hücrelerinin mikroskobik görüntüsü

#### 4.2.2. FAR değişimi

Dış ortam denemelerinde ölçüm günlerinde FAR değerleri (gün sonu ortalamaları) Şekil 4.18'de verilmiştir.

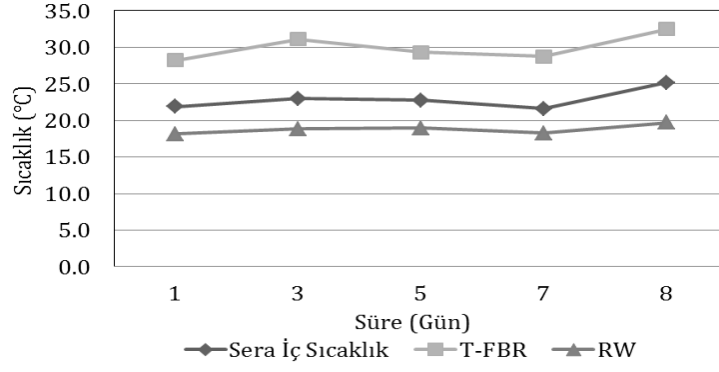


Şekil 4.18. Dış ortam denemesi süresince ölçüm günlerinde kaydedilen ortalama FAR değişimleri

Deneme boyunca en yüksek FAR değeri 3. günde 325 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> tespit edilmiştir. Denemenin başladığı gün ve 5. gün, havanın bulutlu olmasından dolayı FAR değerleri diğer ölçüm günlerine göre düşük tespit edilmiştir. Fung Pak Hang (2010), 0.5 g L<sup>-1</sup> azot konsantrasyonunda en yüksek spesifik büyüme oranını 300 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> FAR yoğunluğunda elde etmiştir. Bu çalışmada deneme boyunca ölçülen FAR değerleri 250-325 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> aralığında tespit edilmiştir.

#### 4.2.3. Sıcaklık değişimi

Deneme süresince sera içi ve sistemlerdeki (T-FBR ve RW) sıcaklık değerleri sabah, öğle ve akşam olmak üzere ölçülmüş ve gün içerisindeki ortalama sıcaklık değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir.

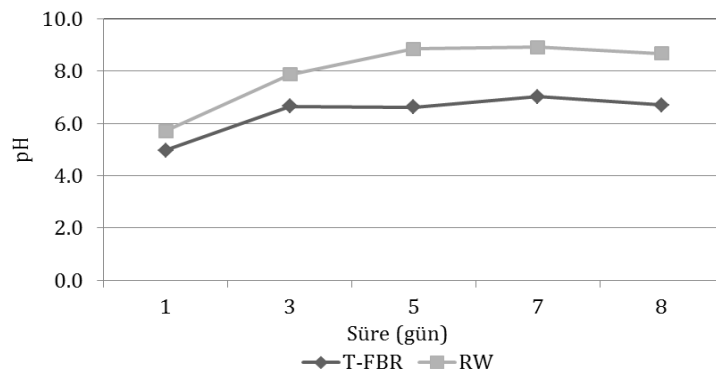


Şekil 4.19. Dış ortam sıcaklık değişimleri

Şekil 4.19 incelendiğinde, T-FBR sisteminin sıcaklık değerlerinin deneme süresince iç ortam sıcaklık değerlerinden daha yüksek olduğu belirlenirken, RW sisteminin sıcaklık değerleri ise iç ortam sıcaklık değerlerinden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. T-FBR sisteminde yüksek sıcaklığın (32 °C) ölçülme sebebi olarak sistemin güneş ışınımına RW sistemine göre daha fazla maruz kalmasıdır.

#### 4.2.4. pH değişimi

Dış ortam denemelerinde RW ve T-FBR sistemlerine ait ortam pH değerlerinin zamana bağlı olarak değişimleri Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Deneme başlangıcında RW için pH değeri 5.71 ölçülürken T-FBR için 4.97 ölçülmüştür. 8 gün süren deneme sonunda ise RW için pH değeri 8.68 bulunurken T-FBR için bu değer 6.71 olarak ölçülmüştür.



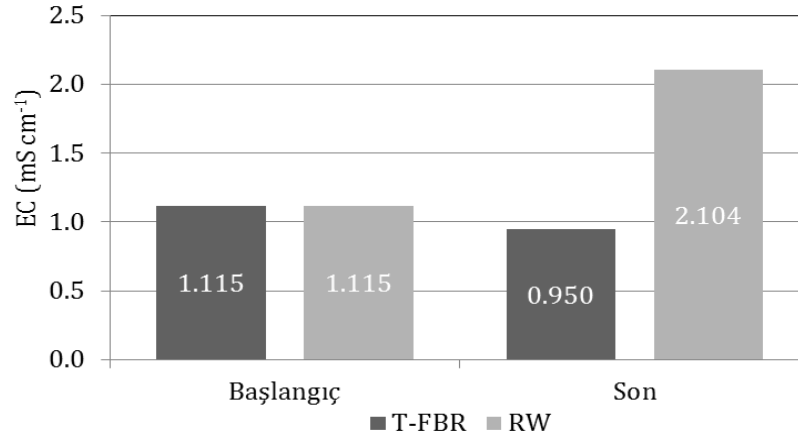
Şekil 4.20. Dış ortam denemesine ilişkin pH değerleri



Koley vd. (2019) yaptıkları çalışma boyunca pH değerini 6.5-10.6 arasında ölçmüşlerdir. Bu çalışmada atıksudan kaynaklı başlangıçta pH değeri düşük ölçülürken mikroalgin kültüre adapte olması ile deneme sonuna doğru pH değeri normal değerler arasında ölçülmüştür. İç ortam deneme sonuçları ile benzerlik gösterdiğinden yine uygulamalara herhangi bir müdahale yapılmamıştır.

#### 4.2.5. EC değişimi

RW ve T-FBR sistemlerindeki EC değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.21’de verilmiştir. Buna göre başlangıçtaki atıksuyun EC değeri  $1.115 \text{ mS cm}^{-1}$  ölçülmüştür. 8 gün süren deneme sonunda T-FBR için EC değeri  $0.950 \text{ mS cm}^{-1}$  ölçülürken RW sisteminde bu değer  $2.104 \text{ mS cm}^{-1}$  ölçülerek artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi, RW sisteminde deneme sonunda buharlaşmadan kaynaklı su eksikliğinin tuzluluk konsantrasyonunu arttırması ile ilişkili olduğu söylenebilir.

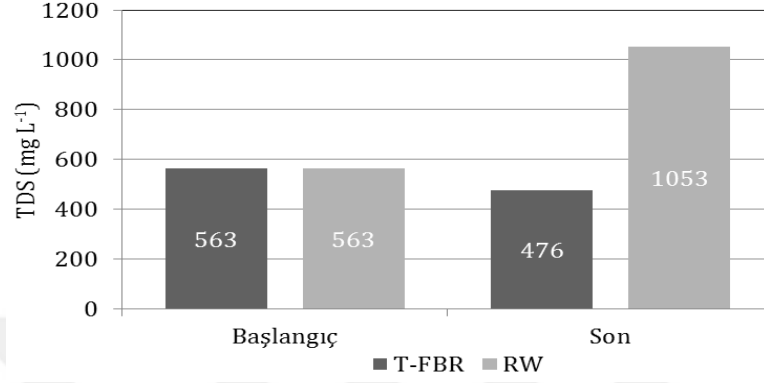


Şekil 4.21. Dış ortam denemesine ilişkin EC değerleri

#### 4.2.6. TDS değişimi

RW ve T-FBR sistemlerindeki TDS değerlerinin zamana bağlı olarak gösterdiği değişim Şekil 4.22’de verilmiştir. Buna göre başlangıçtaki atıksuyun TDS değeri  $563 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. 8 gün süren deneme sonunda T-FBR sisteminde

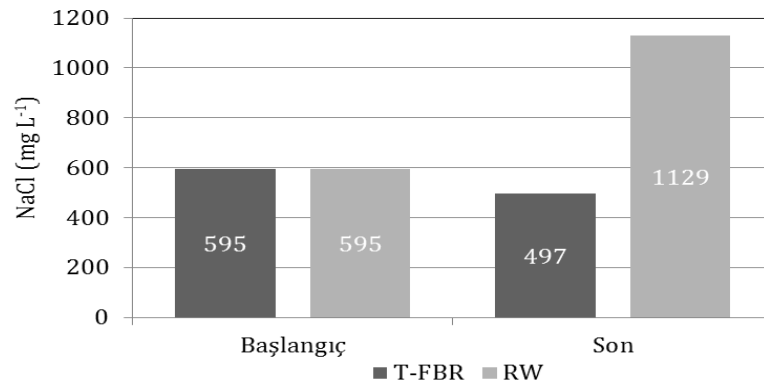
TDS değeri  $476 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülürken RW sisteminde bu değer  $1053 \text{ mg L}^{-1}$  ölçülmüş ve artış tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi RW sisteminde deneme sonunda buharlaşmadan kaynaklı su eksikliğinin tuzluluk konsantrasyonunu artırması ile ilişkili olduğu söylenebilir.



Şekil 4.22. Dış ortam denemesine ilişkin TDS değerleri

#### 4.2.7. NaCl değişimi

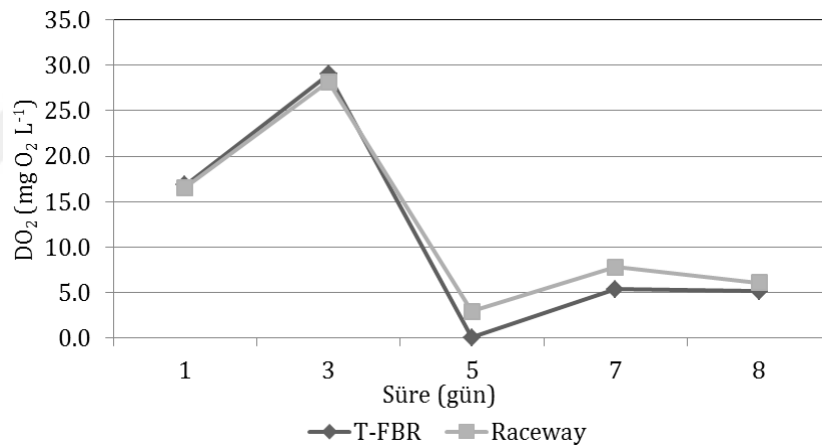
RW ve T-FBR sistemlerindeki NaCl değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.23'te verilmiştir. Buna göre başlangıçtaki atıksuyun NaCl değeri  $595 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. 8 gün süren deneme sonunda T-FBR sisteminde NaCl değeri  $497 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülürken RW sisteminde  $1129 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüş ve artış tespit edilmiştir. Bu artışın sebebi ise yine RW sisteminde deneme sonunda buharlaşmadan kaynaklı su eksikliğinin tuzluluk konsantrasyonunu artırması ile ilişkili olduğu söylenebilir.



Şekil 4.23. Dış ortam denemesine ilişkin NaCl değerleri

#### 4.2.8. DO<sub>2</sub> değişimi

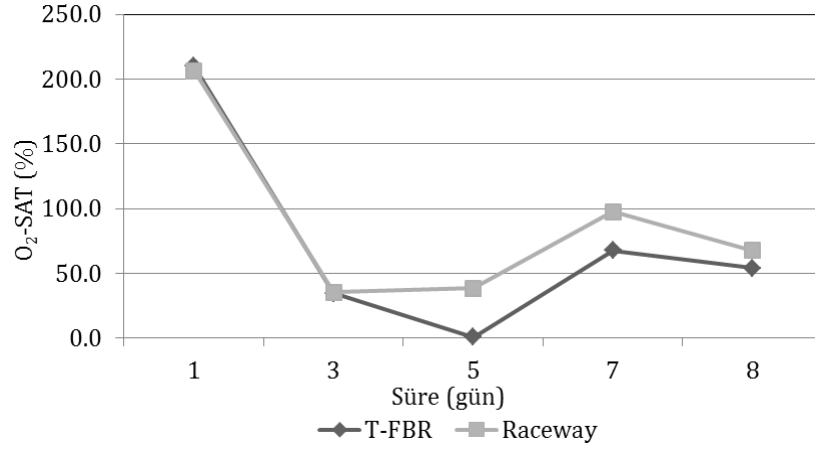
RW ve T-FBR sistemlerindeki DO<sub>2</sub> değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.24'te verilmiştir. Buna göre başlangıçtaki DO<sub>2</sub> değeri RW için 16.57 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> llrken T-FBR için 16.81 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> llmştr. 8 gün sonunda RW için bu değer 6.08 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> llrken T-FBR de 5.13 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Jimnez vd. (2003) ve Kumar vd. (2015) solunum ve foto-oksidadasyon yoluyla fotosentezi inhibe ederek DO<sub>2</sub> değerinin 25 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> zerinde olduğu durumda algal biyoktle veriminin olumsuz etkilendiğini ve yapılan bu çalışmada 3. gün DO<sub>2</sub> değerleri RW için 28.2 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, T-FBR için ise 29 mg O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> llmştr. Bu durumda deneme boyunca sadece 3. gün DO<sub>2</sub> değerine bağlı olarak mikroalgal biyoktle veriminin olumsuz etkilendiği söylenebilir.



Şekil 4.24. Dış ortam denemesine ilişkin DO<sub>2</sub> değerleri

#### 4.2.9. O<sub>2</sub>-SAT değişimi

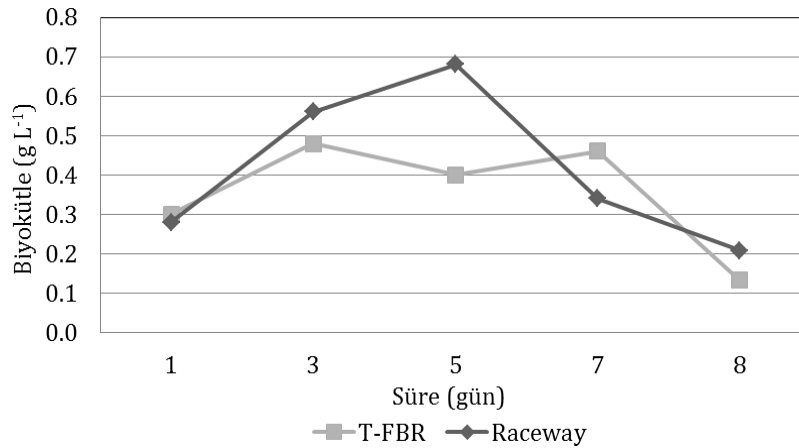
RW ve T-FBR sistemlerindeki O<sub>2</sub>-SAT değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi Şekil 4.25'te verilmiştir. Buna göre başlangıçtaki O<sub>2</sub>-SAT değeri RW için % 206.7 ölçülürken T-FBR için % 209.9 ölçülmüştür. 8 gün sonunda RW için bu değer % 67.9 ölçülürken T-FBR de % 54.3 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.25. Dış ortam denemesine ilişkin O<sub>2</sub>-SAT değerleri

#### 4.2.10. Mikroalg biyokütlesi değişimi

*Chlorella sp.* mikroalg suşunun RW ve T-FBR sistemlerindeki biyokütle değerlerinin zamana bağlı değişimi Şekil 4.26'da verilmiştir. Buna göre RW'de biyokütle değeri 8 gün süren deneme sonunda 0.208 g L<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. T-FBR için bu değer 0.133 g L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. En yüksek biyokütle değeri RW için 5. günde elde edilmiştir (0.68 g L<sup>-1</sup>). T-FBR için en yüksek biyokütle değeri 3. günde elde edilmiştir (0.48 g L<sup>-1</sup>).



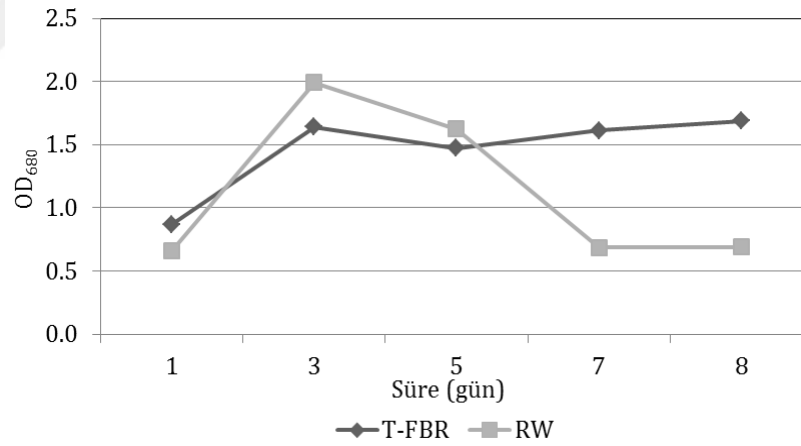
Şekil 4.26. RW ve T-FBR sistemlerinden elde edilen biyokütle değerlerinin zamana bağlı değişimi

Koley vd. (2019) yaptıkları çalışmada sera dışı koşullarda 1.20 g L<sup>-1</sup>, sera içi koşullarında 1.11 g L<sup>-1</sup> biyokütle elde etmişlerdir. Yazın, yağmurlu ve kışın

biyokütle değerlerini ise sırasıyla 10.15, 7.83 ve 10.38 g m<sup>-2</sup>gün<sup>-1</sup> olarak tahmin etmişlerdir. Bu tez çalışmasında en yüksek biyokütle değerleri RW sisteminde 5. gün sonunda 0.68 g L<sup>-1</sup> bulunurken T-FBR sisteminde 3. gün sonunda 0.48 g L<sup>-1</sup> bulunmuştur. Bunun sebebi kendi besin ortamının yanı sıra kültür ortamında atıksuyun bulunması ile açıklanabilir.

#### 4.2.11. OD<sub>680</sub> değişimi

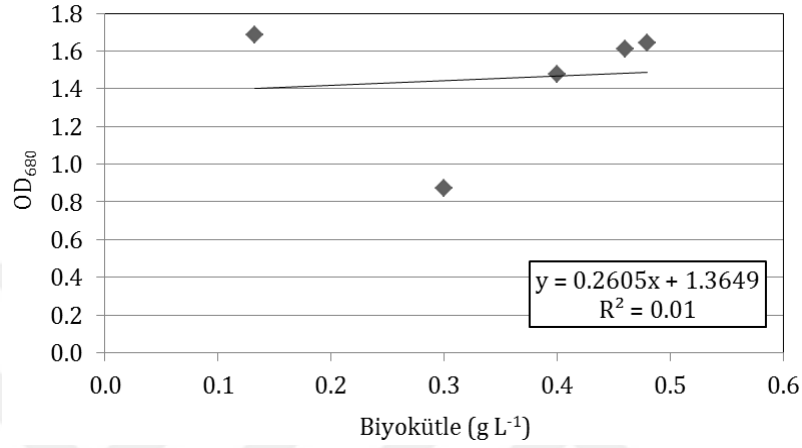
RW ve T-FBR sistemlerinde 8 gün süren deneme boyunca OD<sub>680</sub> değerleri ölçülmüştür. Elde edilen değerler Şekil 4.27'de verilmiştir. Deneme başlangıcındaki OD<sub>680</sub> değerlerinin benzer ölçüldüğü, ancak RW sisteminde denemenin 5. gününde OD<sub>680</sub> değerinin düşüş eğiliminin sonunda durağan ve ölüm fazı görülürken, T-FBR sisteminde ise 3. günden sonra RW sistemindeki gibi bir düşüş eğiliminin olmadığı ve durağan fazın devam ettiği tespit edilmiştir.



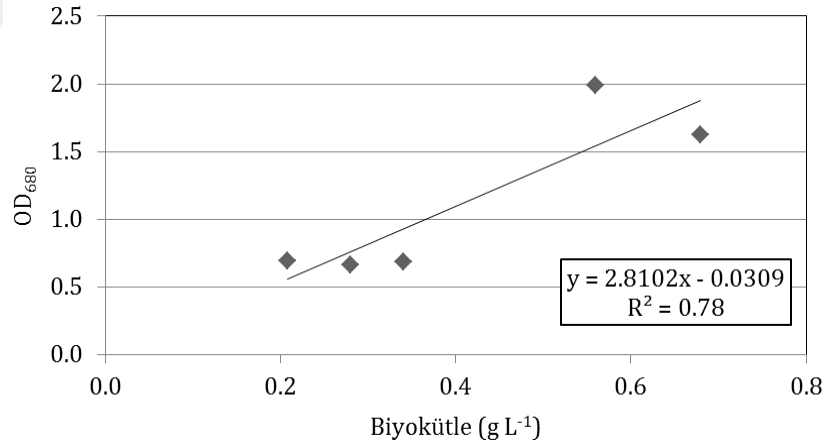
Şekil 4.27. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin OD<sub>680</sub> ortalama değerleri

Biyokütle ile OD<sub>680</sub> değerleri arasındaki bağıntılar T-FBR için Şekil 4.28'de ve RW için Şekil 4.29'da verilmiştir. En yüksek R<sup>2</sup> değeri 0.7807 ile RW sistemi için elde edilmiştir. En düşük R<sup>2</sup> değeri ise 0.0121 ile T-FBR sisteminde tespit edilmiştir. Burada RW da ölçülen OD değerindeki düşüşün sebebi sistemin yapısal özelliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. T-FBR sisteminde sürekli olarak pompa ile sirkülasyon sağlandığından dolayı RW sistemine göre daha

homojen ve etkin bir karışım yapılmıştır. Bu nedenle T-FBR sisteminde OD<sub>680</sub> değerinde logaritmik bir değişim tespit edilmiştir. Fakat RW sisteminde özellikle 3. günden sonra mikroalgal biyokütle karıştırma yapılan alanların dışındaki bölgelerde yer yer çökelmeler gözlenmiş olup homojenliğin T-FBR sistemine göre daha az olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.28. T-FBR sistemi için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon

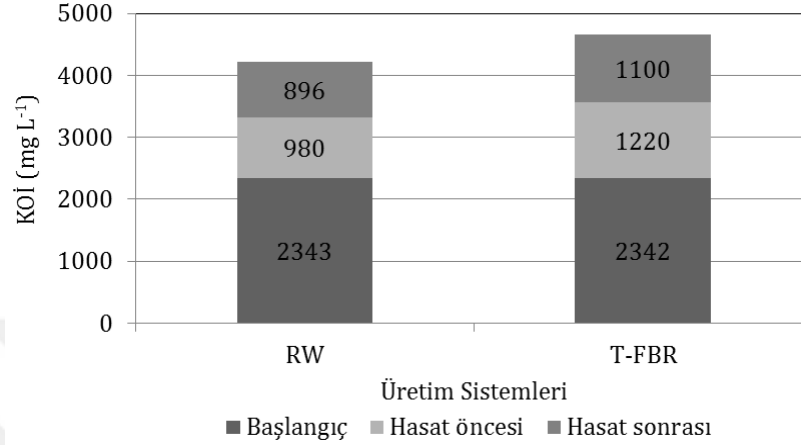


Şekil 4.29. RW sistemi için OD<sub>680</sub> ile biyokütle arasındaki korelasyon

#### 4.2.12. KOİ değişimi

Dış ortam denemelerinin başında kullanılan gül işleme atıksuyunun KOİ değeri 2087 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Denemeye başlarken hazırlanan karışımlarda ki KOİ değeri ise RW için 2343 mg L<sup>-1</sup>, T-FBR için 2342 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Denemenin sonunda hasat öncesi ve hasat sonrası olmak üzere her

iki sistemden alınan örneklerin KOİ değerlerine bakıldığında RW için sırasıyla 980 mg L<sup>-1</sup> ve 896 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. T-FBR için bu KOİ değerleri sırasıyla 1220 mg L<sup>-1</sup> ve 1100 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Dış ortam KOİ değerlerine ilişkin grafik Şekil 4.30'da verilmiştir.

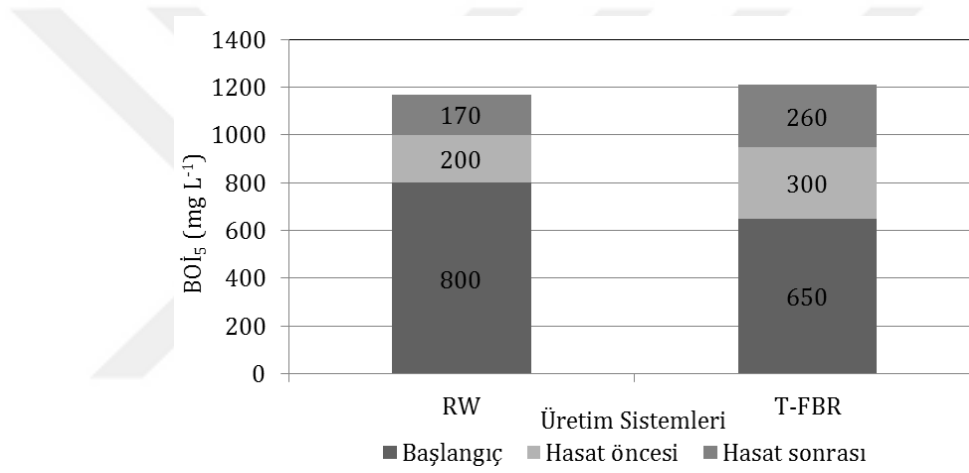


Şekil 4.30. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin KOİ değerlerinin değişimi

Kamyab vd. (2015) yaptıkları çalışmada en yüksek KOİ giderimini POME konsantrasyonun 250 mg L<sup>-1</sup> olarak seçildiği uygulamada tespit edilmiştir. Hernández vd. (2013) % 84.8 ile en yüksek KOİ giderimini patates atıksuyu uygulamalarından sağlamışlardır. Lee ve Lee (2001) en yüksek KOİ giderimini % 86.5 ile fotoperiyod uygulamasına göre çok az bir fark ile sürekli aydınlatma uygulamasında tespit etmişlerdir. Higgins vd. (2018) yaptıkları çalışmada ise 3 farklı fazda KOİ miktarlarını ölçmüşlerdir. Öğütülmüş (crushed) materyalde yetiştirilen her iki mikroalgın (*A. protothecoides* ve *C. sorokiniana* suşları) KOİ giderimi, başlangıç KOİ değeri (298 mg L<sup>-1</sup>) ve deneme sonunda ölçülen KOİ değerleri (sırasıyla, 178 mg L<sup>-1</sup> ve 136 mg L<sup>-1</sup>) baz alınarak hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında ise her iki sisteme ait sonuçlar karşılaştırıldığında RW için % 61.76, T-FBR sistemi için % 53.03 oranında bir giderim sağlanarak literatürdeki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

#### 4.2.13. BO<sub>5</sub> değişimi

Denemeye başlarken hazırlanan karışımlardaki BO<sub>5</sub> değerleri RW için 800 mg L<sup>-1</sup>, T-FBR için 650 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. Denemenin sonunda hasat öncesi ve hasat sonrası (mikroalgal biyokütle alındıktan sonra) olmak üzere her iki sistemden alınan örneklerin BO<sub>5</sub> değerlerine bakılmıştır. Hasat ncesi BO<sub>5</sub> değerine bakıldığında RW için 200 mg L<sup>-1</sup>, hasat sonrası bu değer 170 mg L<sup>-1</sup> llmştr. Hasat ncesi BO<sub>5</sub> değerine bakıldığında T-FBR için 300 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülürken, hasat sonrası bu değer 260 mg L<sup>-1</sup> olarak ölçülmüştür. T-FBR ve RW sistemlerinin BO<sub>5</sub> değerlerine ilişkin veriler Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31. T-FBR ve RW sistemlerine ilişkin BO<sub>5</sub> değerlerinin değişimi

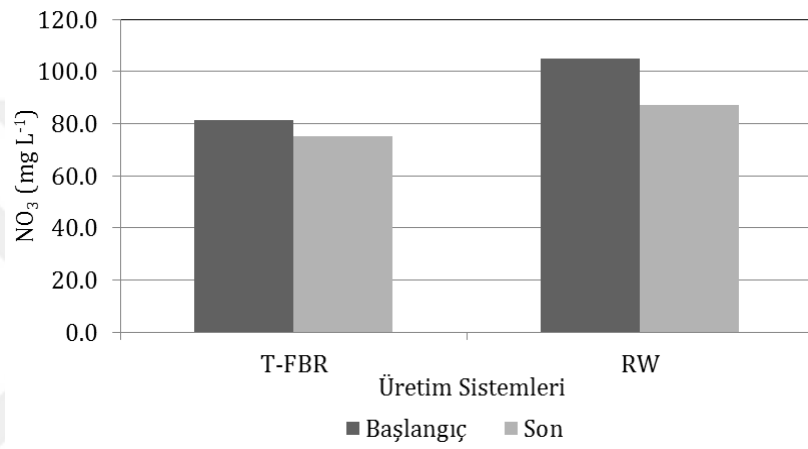
He vd. (2013) yaptıkları çalışmada RN245 uygulamasında BO<sub>5</sub> değerinin TN ile ilişkili olduğunu ve giderimin % 99 oranında olduğunu bildirmişlerdir. Bu tez çalışmasında RW için % 78.75, T-FBR sisteminde ise % 60.0 oranında BO<sub>5</sub> giderimi tespit edilmiştir. Kullanılan atıksuların farklı olması göz önüne alındığında çıkan sonuçlar birbirleri ile benzerlik göstermektedir.

#### 4.2.14. NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N değişimi

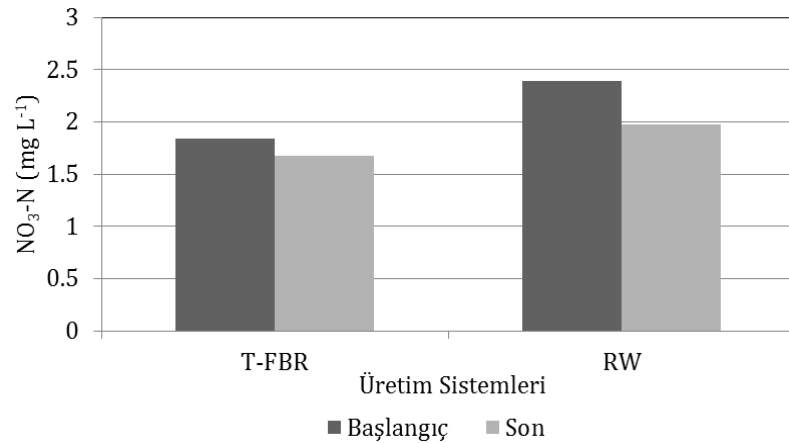
RW ve T-FBR sistemlerinin NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N değerleri deneme başlangıcı ve sonunda olmak üzere ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4.32 ve Şekil 4.33). Buna göre başlangıç değerlerine bakıldığında RW için NO<sub>3</sub><sup>-</sup> değeri 105 mg L<sup>-1</sup> olarak



ölçülürken,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  değeri  $2.39 \text{ mg L}^{-1}$  ölçülmüştür. T-FBR için  $\text{NO}_3^-$  değeri  $81.53 \text{ mg L}^{-1}$ , ölçülürken  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  değeri  $1.84 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. 8 gün süren deneme sonunda alınan ölçümler RW için  $\text{NO}_3^-$  değeri  $87.33 \text{ mg L}^{-1}$  bulunurken  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  ise  $1.98 \text{ mg L}^{-1}$  olarak bulunmuştur. T-FBR için  $\text{NO}_3^-$  değeri  $75.16 \text{ mg L}^{-1}$  olarak bulunurken  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  değeri ise  $1.68 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Deneme başlangıcı ve sonundaki değerler kıyaslandığında RW için % 16.8'lik, T-FBR için % 7.8 oranında  $\text{NO}_3^-$  giderimi sağlanmıştır.  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  için RW'de % 17.1'lik giderim sağlanırken T-FBR için % 8.7'lik giderim sağlanmıştır.



Şekil 4.32. T-FBR ve RW sistemlerinin  $\text{NO}_3^-$  değişimleri



Şekil 4. 33. T-FBR ve RW sistemlerinin  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  değişimleri

Lee ve Lee (2001) yapay atıksu ortamında yaptıkları çalışmada sürekli aydınlatma uygulamasında % 18.8 oranında yüksek giderim sağlarken fotoperiyod uygulamasında % 8.3 oranında giderim elde etmişlerdir. Bu tez

çalışmasında  $\text{NO}_3^- - \text{N}$  için RW'de % 17.1'lik giderim sağlanırken T-FBR için % 8.7'lik giderim sağlanmıştır. Elde edilen değerler literatür ile benzerlik göstermektedir.

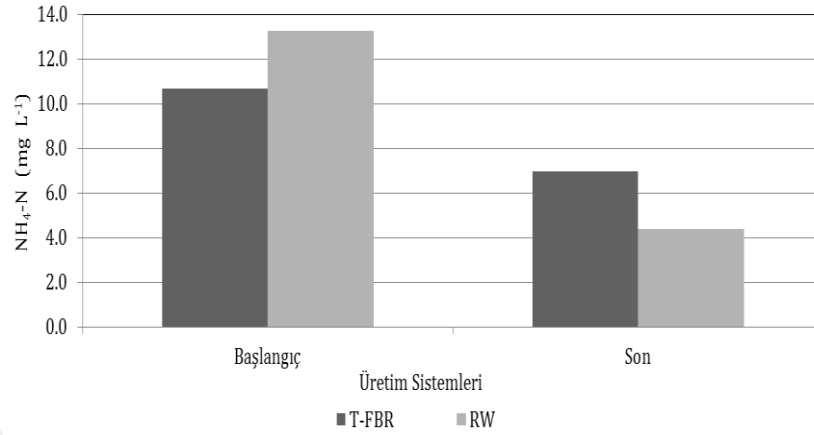
#### 4.2.15. $\text{PO}_4^{3-}$ değişimi

Mikroalg büyümesi için gerekli bir diğer makro besin elementi olan fosfor (P), algler tarafından inorganik bileşen olan  $\text{PO}_4^{3-}$  olarak alınmaktadır. Mikroalglerin, ışık ve sıcaklıktaki değişikliklere verdiği ani tepkiyi P konsantrasyonunda ki değişikliklere karşı veremeyeceği bildirilmiştir (Fogg, 1975; Oliver ve Ganf, 2000). RW ve T-FBR sistemlerinin her ikisinde de deneme başlangıcında ve sonunda ortofosfat  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  değerlerine bakılmıştır. Her iki sistemin de başlangıç değeri  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$  değerinden küçük yani izin verilen üst sınır değerinin altında tespit edilmiştir. 8 gün süren deneme sonucunda ise T-FBR için bu değer yine izin verilen üst sınırın yani  $0.05 \text{ mg L}^{-1}$  nin altında bulunurken RW'de  $0.129 \text{ mg L}^{-1}$  bulunmuştur. Fakat Massa vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, *Pheadactylum tricornutum* suşunun VWLD atıksuyunda deneme başlangıcı ve sonunda  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  konsantrasyonunu sırasıyla  $0.5 \text{ mg L}^{-1}$  ve  $0.004 \text{ mg L}^{-1}$  olduğu tespit edilmiştir.  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  giderimi % 99.2 olarak hesaplanmıştır. Mevcut çalışmada  $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$  konsantrasyonun artmış olduğu tespit edilmiştir. Bu artışın ölçülen konsantrasyon değerlerinin küçük olmasından ve ölçüm cihazlarının ölçüm hassasiyetinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

#### 4.2.16. $\text{NH}_4^+$ – N değişimi

Oliver ve Ganf (2000) azotun, birçok formda bulunduğunu ve mikroalgler tarafından asimile edilen en yaygın azot bileşenlerinin amonyum ve nitrat olduğunu bildirmişlerdir. Borowitzka (1998)  $20 \text{ mg L}^{-1}$ 'den fazla amonyum olması durumunda amonyak toksisitesi oluştuğunu bildirmiştir. Buna ek olarak mikroalgler azotu, üre ve nitritten karşılayabilir. T-FBR ve RW sistemlerinde başlangıç ve sonda olmak üzere amonyum azotu  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  ölçümü ve elde edilen veriler Şekil 4.34'te verilmiştir. Buna göre T-FBR sistemindeki  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

giderimi % 34.9 bulunurken, en yüksek giderim RW sisteminde % 67 olarak tespit edilmiştir.

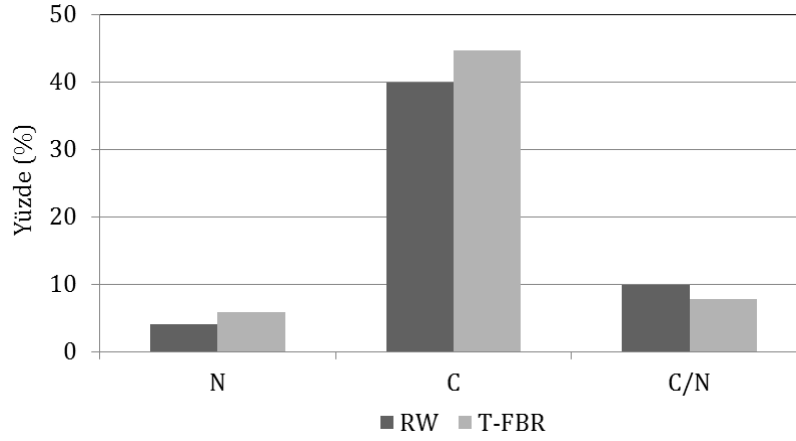


Şekil 4.34 T-FBR ve RW sistemlerinin  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  değerlerinin değişimi

Iasimone vd. (2018) yaptıkları çalışma sonunda yüksek besin ortamında 20 FAR yoğunluğunda yani H-20 uygulamasında en yüksek  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  giderim oranını %  $5.42 \pm 0.27 \text{ mg L}^{-1} \text{ gün}^{-1}$  olarak elde etmişlerdir. Massa vd. (2017) *Arthrospira maxima* suşunun ZWLD atıksuyunda deneme başlangıcı ve sonunda  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  konsantrasyonunu sırasıyla  $410 \text{ mg L}^{-1}$  ve  $6.75 \text{ mg L}^{-1}$  olduğu tespit edilmiştir.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  giderimi % 98.5 olarak hesaplanmıştır. Yine aynı çalışmada *Phaeodactylum tricornutum* suşunun VWLD atıksuyunda deneme başlangıcı ve sonunda  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  konsantrasyonunu sırasıyla  $25 \text{ mg L}^{-1}$  ve  $5.25 \text{ mg L}^{-1}$  olduğu tespit edilmiştir.  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  giderimi % 79 olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.17. Mikroalg biyokütlesinin toplam karbon (C) ve azot (N) değişimi

Becker (1994) karbonun yanı sıra, biyokütlenin % 10'undan fazlasını içerebildiğinden, mikroalg yetiştiriciliği için ikinci en önemli besin maddesinin azot olduğunu bildirmiştir. RW ve T-FBR sistemlerinin deneme sonunda elde edilen biyokütlelerinde C, N ve C/N oranları Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35. T-FBR ve RW sistemlerinden elde edilen mikroalg biyokütlesindeki N, C ve C/N değişimleri

Azot değerine bakıldığında T-FBR’de % 5.77 olarak ölçülmüştür. Karbon için bakıldığında en yüksek değer yine T-FBR de % 44.64 olarak ölçülmüştür. C/N oranına bakıldığında ise en yüksek değer RW’den sağlanmıştır.

#### 4.2.18. Sulama suyu kalitesi açısından değişim

Tarım, Türkiye ekonomisinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Henüz ciddi su sıkıntıları yaşanmadığından, atıksuların arıtılarak yeniden kullanımı üzerine araştırmalar yok denecek kadar azdır. Ancak dünya genelinde hem ekonomi hem de tarımsal sürdürülebilirlik açısından atıksu kullanımının önemli ölçüde yüksek yararları gözlenmektedir. Tarımsal sulama amaçlı tüketilen suyun miktarı toplam su tüketiminde en yüksek paya sahip olurken aynı zamanda su kaynakları projelerinde de en yüksek fona sahiptir. Bu sebeple yapılan bu çalışmada göller yöresine ekonomik olarak en önemli girdi sağlayan tarım ürünü olan gül işleme endüstrisinin atıksuları *Chlorella sp.* mikroalg suşuna besin olarak verilmiş ve 8 gün süren deneme sonunda biyokütleleri alınarak kalan suyun tarımsal sulama amaçlı özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. Deneme sonunda T-FBR ve RW sistemlerinden mikroalgal biyokütle hasadı sonrası atıksuyun sulama suyu parametreleri

Parametreler	Birim	T-FBR	RW
pH	-	7.21	8.44
EC	dS m <sup>-1</sup>	0.84	1.78
TDS	mg L <sup>-1</sup>	54.93	115.70
Sodyum	me L <sup>-1</sup>	1.07	2.13
Potasyum	me L <sup>-1</sup>	4.41	9.41
Kalsiyum	me L <sup>-1</sup>	3.31	9.09
Magnezyum	me L <sup>-1</sup>	1.21	2.45
Karbonat	me L <sup>-1</sup>	0.00	1.94
Bikarbonat	me L <sup>-1</sup>	5.84	8.38
Klorür	me L <sup>-1</sup>	0.22	0.32
Sülfat	me L <sup>-1</sup>	0.92	1.94
Na	%	10.69	9.22
SAR	-	0.71	0.89
Bor	mg L <sup>-1</sup>	4.74	4.66
Suyun sınıfı	-	C3 S2	C3 S1
RSC	me L <sup>-1</sup>	1.32	-1.22

Diğer taraftan DSİ genel sulama suyu kalitesi değerleri Çizelge 4.2' de verilmiştir. Bu çalışmada tuzluluk değeri T-FBR ve RW için sırasıyla 0.84 ve 1.78 dS m<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Benzer bir şekilde TDS değeri T-FBR ve RW için sırasıyla 54.93 ve 115.70 mg L<sup>-1</sup> olarak tespit edilmiştir. Bu sonuçlar DSİ genel sulama suyu kalitesi açısından kıyaslandığında EC parametresine göre her iki sistemden elde edilen suyun az orta seviyede kullanım kısıtlamasının olduğu, TDS parametresine göre ise her iki sistemden elde edilen suların kullanımında herhangi bir kısıtlamanın olmadığı görülmektedir.

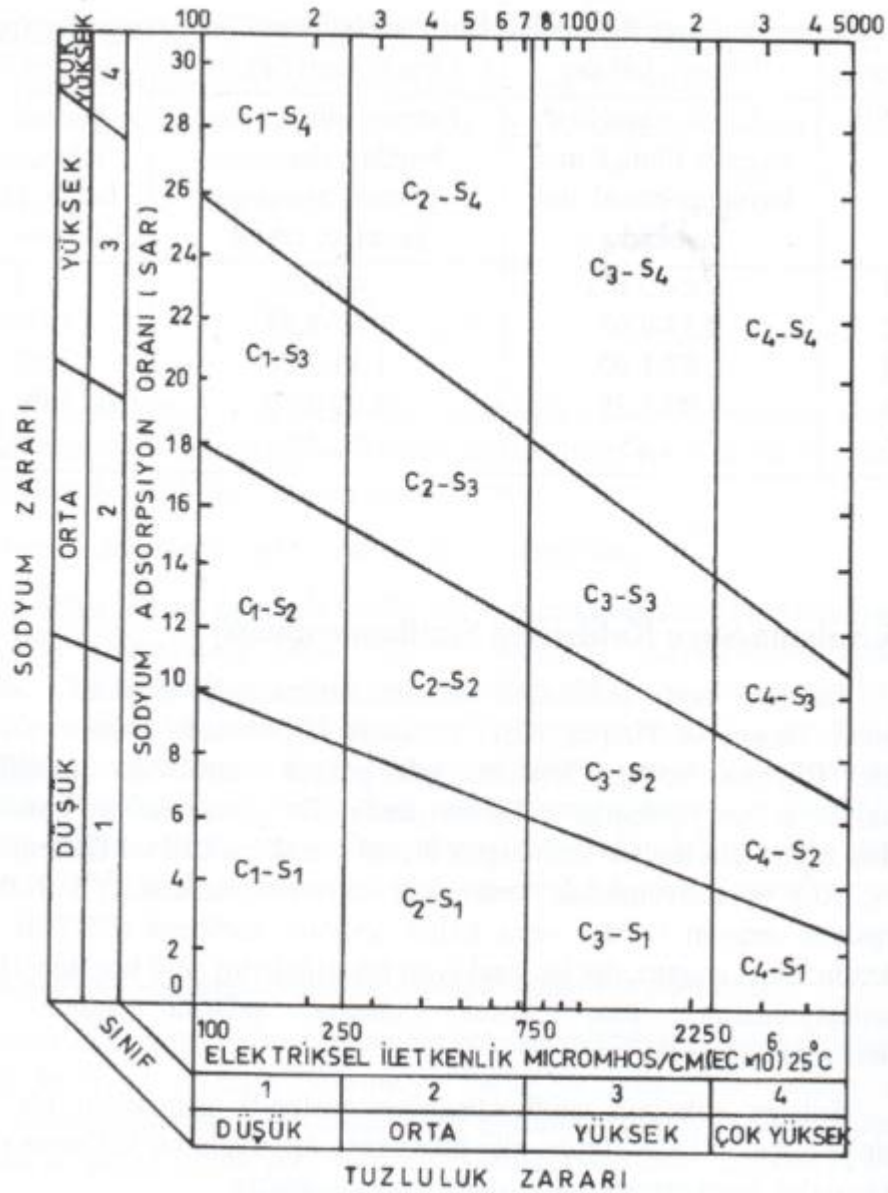
SAR değerleri hem T-FBR hem de RW sisteminde sırasıyla 0.71 ve 0.89 olarak ölçülmüş ve kullanım kısıtlaması olmadığı tespit edilmiştir. Özellikle hassas bitkilerin sulamasında önemli olan sodyum ve klorür parametreleri incelendiğinde sodyum için RW sisteminde 1.07 me L<sup>-1</sup>, T-FBR sisteminde 2.13 me L<sup>-1</sup> ölçülmüştür. Klorür için RW sisteminde 0.32 me L<sup>-1</sup> değeri ölçülürken T-FBR sisteminde ise 0.22 me L<sup>-1</sup> ölçülmüştür. Bu durumda her iki sisteme ait suyun sulama amaçlı kullanımında herhangi bir kısıtlamanın olmadığı görülmektedir. NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N değeri açısından incelediğimizde her iki sistemden çıkan suyun sulama suyu kalitesi amacıyla yapılan analiz sonucuna göre

$\text{NO}_3^- - \text{N}$  değeri T-FBR için  $1.7 \text{ mg L}^{-1}$  ölçülürken RW sisteminde ise  $2.01 \text{ mg L}^{-1}$  olarak ölçülmüştür. Elde edilen her iki sonuç  $5 \text{ mg L}^{-1}$  in altında olduğu için kullanımlarında herhangi bir kısıtlamanın olmadığı görülmektedir. Sulama suyunun pH değeri 6.5–8.4 aralığında normal kabul edilmektedir. RW ve T-FBR sistemlerinden çıkan suyun pH değerlerine bakıldığında RW için 8.44, T-FBR için 7.21 olarak ölçülmüştür. Her ikisinin de pH değeri normal aralıktadır. RSC değeri incelendiğinde RW sistemi için hesaplanan RSC değeri negatif bir değer vermesinden dolayı kullanımında bir kısıtlamanın olmadığı, T-FBR sistemi için hesaplanan RSC değeri ise  $1.32 \text{ me L}^{-1}$  bulunmuş ve sınır değerinin altında olduğundan su kısıtlamasının olmadığı tespit edilmiştir. Genel olarak RW ve T-FBR sistemlerinden elde edilen suyun sulama suyu kalitesi açısından değerlendirdiğimizde sadece tuzluluk parametresi az ve orta seviyede kullanım kısıtlamasının olduğu, diğer parametrelere bakıldığında ise kullanımlarında kısıtlamanın olmadığı görülmekte ve sulama amaçlı toprağa verilebilir sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuç ise gül işleme atıksuyunun *Chlorella sp.* mikroalg suşuna besin olarak verilmesi ve 8 gün boyunca sistemlerin çalıştırılması sonucu arıtımı yapılmış ve elde edilen biyokütle alınarak kalan su sulama suyu amaçlı kullanılabilir niteliğe dönüştürülmüştür.

Çizelge 4.2. DSİ genel sulama suyu kriterleri

Kalite kriterleri	Birim	Kullanım kısıtlaması yok	Az-orta kullanım kısıtlaması	Yüksek kullanım kısıtlaması
EC	$\text{ds m}^{-1}$	<0.7	0.7-3.0	>3.0
TDS	$\text{mg L}^{-1}$	<450	450-2000	>2000
SAR		>0.7	0.7-0.2	<0.2
		>1.2	1.2-0.3	<0.3
		>1.9	1.9-0.5	<0.5
		>2.9	2.9-1.3	<1.3
		>5.0	5.0-2.9	<2.9
Sodyum	Yüzey sulama (SAR)	<3	3-9	>9
	Püskürtme sulama ( $\text{me L}^{-1}$ )	<3	>3	
Klorür	Yüzey sulama ( $\text{me L}^{-1}$ )	<4	4-10	>10
	Püskürtme sulama ( $\text{me L}^{-1}$ )	<3	>3	
Nitrat azotu	$\text{mg L}^{-1}$	<5	5-30	>30
Bikarbonat	$\text{me L}^{-1}$	<1.5	1.5-8.5	>8.5
pH	Normal aralık 6.5-8.4			

Amerika Birleşik Devletleri Tuzluluk laboratuvarı tarafından geliştirilen sisteme (Şekil 4.36) göre T-FBR sistemi için EC ve Na değerlerine göre sulama suyu sınıfı C3-S2 olarak belirlenirken, RW sistemi için C3-S1 olarak belirlenmiştir. Bu durum; her iki sisteme de giren gül işleme atıksuyunun *Chlorella sp.* mikroalg suşu için besin olarak kullanımı sonucu 8 gün süren deneme sonunda çıkan suyun sulama suyu olarak kullanılabilir olduğu sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yapılan bu çalışma tarımsal endüstriyel atıkların sulama suyunda kullanılabilirliği üzerine literatüre katkı sağlayarak bundan sonraki çalışmalara yön vermesi planlanmaktadır.



Şekil 4.36. Sulama suyu sınıflandırma grafiği (Güngör vd, 2010)

#### 4.2.19. Mikroalg biyokütlesinin mikro ve makro besin içerikleri

RW ve T-FBR sistemlerinde 8 gün boyunca süren denemeler sonunda atıksulu ortamda yetişen mikroalg suşları hasat edilerek elde edilen biyokütlelerin mikro ve makro besin içerikleri incelenmiştir (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Deneme sonunda T-FBR ve RW sistemlerinden hasat edilen mikroalg biyokütlesinin makro ve mikro besin içerikleri

Nutrient	Birim	T-FBR	RW
Cu	%	0.04	0.01
Mn	%	0.02	0.09
Fe	%	0.38	0.23
Zn	%	0.04	0.05
K	%	1.22	0.87
Mg	%	0.29	0.58
Ca	%	2.14	7.34
P	%	4.99	3.49
N	%	5.77	4.04
Organik Madde	%	76.96	68.83

Çizelge 4.3 incelendiğinde en yüksek N değeri T-FBR sisteminden % 5.77 elde edilirken, RW sisteminde bu değer % 4.04 olarak bulunmuştur. P değeri açısından karşılaştırıldığında en yüksek değer % 4.99 ile yine T-FBR sisteminde elde edilirken RW sisteminde bu değer % 3.49 olarak bulunmuştur. En yüksek Ca içeriği ise RW sisteminde % 7.34 olarak ölçülmüştür. K içeriği incelendiğinde T-FBR sisteminde % 1.22 bulunurken RW sisteminde bu değer % 0.87 olarak elde edilmiştir. Bahsedilen değerler Uysal vd. (2016) yaptıkları çalışmada belirledikleri mikro ve makro besin değerleri ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçlar birbirleri ile benzerlik gösterirken bu çalışmada özellikle P elementinde daha yüksek bir değer elde edilmiştir. Mikrobiyal gübrelemede en önemli makro kaynakların N, P ve K olmasından dolayı bu çalışmada her iki sistemden elde edilen mikroalg biyokütlenin biyogübre olarak zengin olduğu söylenebilir. BACTOGEN firmasına ait organomineral sınıftan BACTOLIFE HIGH ORGANO 5-5-0 gübresinin N ve P değeri % 5 olarak ifade edilmekte ve diğer mikro elementler ise % 0.2 olarak belirtilmektedir. Bu durumda T-FBR sisteminden elde edilen biyokütle makro elementler açısından ele alındığında



piyasadaki ürünle bağdaştığı hatta bu çalışmada N değeri % 5.8 olarak daha yüksek olduğu ve azotça zengin bir materyal elde edildiği söylenebilir. Her iki sistemden elde edilen biyokütlelerin mikro ve makro içerikleri bir bütün olarak incelendiğinde T-FBR sisteminden elde edilen biyokütlenin biyogübre olarak değerlendirilebilir olduğu ortaya çıkmaktadır.

#### 4.2.20. Mikroalg sistemlerinin enerji tüketimleri

T-FBR ve RW sistemlerinin 8 gün süren deneme boyunca ölçüm günlerinde anlık ve toplam enerji ölçümleri yapılmıştır. Akdeniz Elektrik Dağıtım A.Ş. firmasından 2018 Kasım ayına ilişkin güncel mesken birim fiyatlarının (TL kWh<sup>-1</sup>) enerji ölçümlerine yansıtılmasıyla elde edilen enerji tüketim değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. T-FBR ve RW sistemlerinin enerji değişimleri

	T-FBR	RW
Gündüz* (kWh)	7.05	5.33
Puant** (kWh)	5.60	3.78
Gece*** (kWh)	10.01	6.13
Tüketim bedeli T1-(TL)	2.47	1.86
Tüketim bedeli T2-(TL)	3.19	2.15
Tüketim bedeli T3-(TL)	1.70	1.04
Tüketim bedeli-T4 (TL)	13.37	8.99
Toplam Aktif Enerji-T (TL)	22.66	15.23
Sayaç üzerinden geçen ortalama güç (kW)	0.12	0.10
Isıtıcı devredeyken sayaç üzerinden geçen en yüksek güç (kW)	0.35	0.11
Isıtıcı devre dışındayken sayaç üzerinden geçen en yüksek güç (kW)	0.05	0.06
Toplam biyokütle (g)	17.73	20.68
Birim biyokütle için enerji tüketimi (kWh g <sup>-1</sup> )	1.28	0.74

\*Elektrik kullanımında 06:00-17:00 saatleri arasındaki tüketim

\*\*Elektrik kullanımında 17:00-22:00 saatleri arasındaki tüketim

\*\*\*Elektrik kullanımında 22:00-06:00 saatleri arasındaki tüketim

Çizelge 4.4' ten anlaşılacağı üzere, bir yetiştirme periyodu için enerji tüketim bedelleri T-FBR için 22,66 TL hesaplanırken, RW için bu değer 15,23 TL olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemlerin donanımsal farklılıklarından dolayı birim biyokütle başına enerji tüketimleri açısından T-FBR sistemi için 1.28 kWh g<sup>-1</sup>

hesaplanırken RW sisteminde 0.74 kWh g<sup>-1</sup> hesaplanmıştır. Yapılan bu ölçüm sonuçlarına göre sistemler arasında en ekonomik yetiştiricilik RW sisteminden sağlanmıştır.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında gül işleme atıksuyu ortamında *Chlorella sp.* mikroalg suşu yetiştirilerek, çıkan nihai biyokütlenin biyogübre, suyun ise sulama suyu olarak kullanılabilirliği bununla beraber yetiştirme sistemlerinden açık ve kapalı sistemlerin performansları değerlendirilmiştir. Denemeler iç ortam (laboratuvar) ve dış ortam (sera) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. İç ortam denemeleri 6 farklı atıksu dozunda (G1, G2, G3, G4, G5 ve G6) 12 gün boyunca devam ettirilmiştir. İç ortam denemeleri 2 litrelik erlenmayerlerde mikroalg aşısı sabit kalacak şekilde gül işleme atıksu dozaj oranlarına karşılık BBM oranları ile birlikte kültür ortamları oluşturulmuştur. 12 gün süren iç ortam denemesinde pH, EC, TDS, NaCl, DO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>-SAT, OD, biyokütle ve KOİ değerleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, en uygun atıksu dozunun G4 (% 50 atıksu) uygulamasının olduğuna karar verilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda dış ortam denemesinde RW ve T-FBR sistemlerinde toplam hacim 50 litre olacak şekilde G4 dozuna göre kültür ortamları oluşturulmuştur. 8 gün süren deneme süresince pH, EC, TDS, NaCl, DO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>-SAT, OD, biyokütle, FAR ve sistemlerin üretim enerjileri ölçülmüştür. Başlangıç ve sonda olmak üzere KOİ, BOİ<sub>5</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N ve PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ölçümleri yapılmıştır. Deneme sonunda ise kültür hasat edilerek elde edilen biyokütlenin biyogübre açısından değerlendirilebilirliğinin kontrolü için mikro ve makro besin içerikleri analiz edilmiştir. Hasat edilerek elde edilen biyokütleden arta kalan suyun sulama amaçlı su kalite parametreleri incelenmiştir.

1. İç ortam ve dış ortam denemelerinde pH ve DO<sub>2</sub> değerlerinin deneme süresince istenilen düzeyde olduğu ve literatür ile uyumlu olduğu söylenebilir.
2. İç ortam denemesi OD<sub>680</sub> değerleri ile biyokütle değerleri arasındaki bağıntıların iyi olduğu bu da aynı koşullara maruz bırakıldığından kaynaklandığı söylenebilir.
3. İç ortam denemesinde G4 uygulamasında % 80 oranında KOİ giderimi ve biyokütle eldesi bakımından en yüksek biyokütle elde edildiğinden

uygun dozun G4 dozu olduğu belirlenmiştir. Dış ortam denemelerinde G4 dozu açık ve kapalı sistemlerde kullanılmıştır.

4. Dış ortam denemelerinde RW sisteminde KOİ giderimi % 61.76 olarak tespit edilirken, T-FBR sistemi için % 53.03 olarak ölçülmüştür.
5. RW ve T-FBR sistemi kıyaslandığında en yüksek BOİ<sub>5</sub> giderimi % 78.75 ile RW sisteminde elde edilmiştir.
6. NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – N giderimlerine bakıldığında en yüksek giderim RW sisteminde tespit edilmiştir.
7. Dış ortam denemelerinde en yüksek biyokütle değeri RW sisteminden elde edilmiştir.
8. Dış ortam denemelerinde sistemlerden elde edilen mikroalgal biyokütlenin C/N içeriğine bakıldığında en yüksek C/N oranı 9.95 ile RW sisteminden elde edilmiştir.
9. Dış ortam denemeleri sonunda elde edilen biyokütlenin biyogübre olarak değerlendirilmesine ilişkin yapılan analizlerde biyogübre potansiyeli açısından RW sistemine kıyasla T-FBR sisteminin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.
10. Hasat edilen biyokütle alındıktan sonra kalan suyun sulama suyu olarak değerlendirildiği çalışma sonunda RW sistemi için C3-S1, T-FBR sistemi için C3-S2 sulama sınıfı belirlenmiş, ancak RW sisteminin sulama suyu kalitesinin daha iyi olduğu tespit edilmiştir.
11. Deneme boyunca enerji tüketimlerine ilişkin kaydedilen veriler doğrultusunda bir yetiştirme periyodu boyunca tüketilen enerji ve elde edilen biyokütle değeri ve organik madde giderimleri bakımından RW sisteminin daha ekonomik olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak iç ortamda optimum dozajın G4 olarak verdiği deneme sonunda dış ortamda her iki sisteme de (RW ve T-FBR) entegre edilen gül işleme atıksuyunun *Chlorella sp.* suşuna besin kaynağı olarak kullanılmasının, atıksu arıtımı, biyokütle (biyogübre amaçlı), sulama suyu açısından değerlendirilebilir olduğu sonucuna varılmıştır. Denemeler sonucunda elde edilen veriler genel olarak incelendiğinde daha ekonomik, sürdürülebilir ve çevre dostu bir yaklaşımla yetiştiricilik yapmaya elverişli

olduğundan RW sisteminin en iyi sonucu verdiğini ve bu sonuçların bundan sonraki çalışmalar için literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- ABD. DOE. National algal biofuels technology roadmap. Report no.: DOE/EE-0332. U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Biomass Program; 2010. May.
- Abdelaziz, A.E.M., Leite, G.B., Hallenbeck, P.C., 2013. Addressing the challenges for sustainable production of algal biofuels: I. Algal strains and nutrient supply. *Environ. Technol.*, 34, 1783-1805.
- Anonim, 2018a. Erişim Tarihi: 10.12.2018. <http://www.chempuretech.com/renewable-energy-algae-photo-bioreactors.html>
- Anonim, 2018b. 2017 YILI GÜL ÇİÇEĞİ RAPORU. T.C. Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Kooperatifçilik Genel Müdürlüğü, 13s, Ankara.
- Aslan, S., Kapdan, I.K.; 2006. Batch kinetics of nitrogen and phosphorus removal from synthetic wastewater by algae. *Ecol. Eng.*, 28, 64–70.
- Avşar, Y., Kurt, U., Tosun, İ., Günay, A., 2005, "Isparta Yöresinden Kaynaklanan Gül yağı Atıksularının Kimyasal Olarak Arıtılabilirliği", Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül, Antalya.
- Becker, E.W., 1988. Micro-algae for human and animal consumption, in *Microalgal biotechnology*, M.A. Borowitzka and L.J. Borowitzka, Editors. Cambridge University press, (222–256), Cambridge.
- Becker, E.W., 1994. *Microalgae, Biotechnology and Microbiology*. 293p. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bektaşoğlu, S. 2008. Uçucu Yağlar. T.C. Ekonomi Bakanlığı İhracat Bilgi Platformu. 11s, Ankara. Erişim Tarihi: 04.09.2018, <http://eb.ticaret.gov.tr>.
- Ben-Amotz, A., 2008. Presentation: large scale open algae ponds. NREL-AFOSR workshop algae workshop. Arlington, Virginia.
- Benemann, J., 2013. Microalgae for biofuels and animal feeds. *Energies*, 6(11), 5869–5886.
- Bhatnagar, A., Chinnasamy, S., Singh, M., Das, K., 2011. Renewable biomass production by mixotrophic algae in the presence of various carbon sources and wastewaters. *Appl Energy.*, 88, 3425–3431.
- Blair, M.F., Kokabian, B., Gude, V.G., 2014. Light and growth medium effect on *Chlorella vulgaris* biomass production. *J Environ Chem Eng.*, 2, 665–74.

- Blinová, L., Bartosova, A., Gerulová, K., 2015. Cultivation Of Microalgae Equation (*Chlorella vulgaris*) For Biodiesel Production. Research Papers Faculty of Materials Science and Technology in Trnavaslovak University of Technology in Bratislava., 23 (36), 87-95.
- Borowitzka, M.A., 1992. Algal biotechnology products and processes – matching science and economics. *Journal of Applied Phycology*, 4 (3), 267–279.
- Borowitzka, M.A., 1998. Limits to growth, in *Wastewater treatment with algae*, Y.-S. Wong and N.F.Y. Tam, Editors. Springer Verlag. (203–226).
- Borowitzka, M.A., 1999. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *J Biotechnol.*, 70, 313–21.
- Burhenne, N., Tischner, R., 2000. Isolation and characterization of nitrite-reductase-deficient mutants of *Chlorella sorokiniana* (strain 211-8k). *Planta*, 211, 440–445.
- Cai, T., Park, S.Y., Li, Y., 2013. Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: status and prospects. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 19, 360-369.
- Cheah, W.Y., Ling, T.C., Show, P.L., Juan, J.C., Chang, J.S., Lee, D.J., 2016. Cultivation in wastewaters for energy: A microalgae platform. *Applied Energy*, 179, 609-625.
- Chew, K.W., Chia, S.R., Pau, L.S., Yap, Y.J., Ling, T.C., Chang, J., 2018. Effects of water culture medium, cultivation systems and growth modes for microalgae cultivation: A review. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 91, 332-344.
- Chinnasamy, S., Ramakrishan, R., Bhatnagar, A. and Das, K.C., 2009, Biomass Production Potential of a Wastewater Alga *Chlorella vulgaris* ARC1 Under Elevated Levels of CO<sub>2</sub> and Temperature, *Int. J. Mol. Sci*, 10: 518-532.
- Chisti, Y., 2007. Biodiesel from microalgae, *Biotechnol. Adv.*, 25 (3), 294–306.
- Christenson, L., Sims, R., 2011. Production and harvesting of microalgae for wastewater treatment, biofuels, and bioproducts. *Biotechnology Advances*, 29; 686-702.
- Chu, F.F., Chu, P.N., Shen, X.F., Lam, P.K., Zeng, R.J., 2014. Effect of phosphorus on biodiesel production from *Scenedesmus obliquus* under nitrogen-deficiency stress. *Bioresour. Technol.*, 152, 241–246.
- Cirik, S., Gökpınar, Ş., 2008. Plankton Bilgisi ve Kültürü. Ege Üniversitesi Yayınları, Su Ürünleri Fakültesi, Yayın No: 47, Ders Kitabı Dizini No: 17, 269 sayfa.

- Clarens, A.F., Resurreccion, E.P., White, M.A., Colosi, L.M., 2010. Environmental life cycle comparison of algae to other bioenergy feedstocks. *Environ. Sci. Technol.*, 44 (5), 1813–1819.
- Converti, A., Casazza, A.A., Ortiz, E.Y., Perego, P., Del Borghi, M., 2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. *Chemical Engineering and Processing*, 48, 1146-1151.
- Crawford, N.M., 1995. Nitrate: Nutrient and signal for plant growth. *Plant Cell*, 7, 859–868.
- Daneshvar, E., Antikainen, L., Koutra, E., Kornaros, M., Bhatnagar, A., 2018. Investigation on the feasibility of *Chlorella vulgaris* cultivation in a mixture of pulp and aquaculture effluents: treatment of wastewater and lipid extraction. *Bioresour. Technol.*, 255, 104–110.
- de-Bashan, L.E., Trejo, A., Huss, V.A.R., Hernandez, J.P., Bashan, Y., 2008. *Chlorella sorokiniana* UTEX 2805, a heat and intense, sunlight-tolerant microalga with potential for removing ammonium from wastewater. *Bioresour Technol.*, 99, 4980–4989.
- Elcik, H., Çakmakçı, M., 2017. Mikroalg üretimi ve mikroalglerden biyoyakıt eldesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (3), 795-820.
- Faheed, F.A., Abd-El Fattah, Z., 2008. Effect of *Chlorella vulgaris* as bio- fertilizer on growth parameters and metabolic aspects of lettuce plant. *J. Agric Social Sci.*, 4, 165–169.
- Fathi, M., Asem, A., 2013. Aquaculture, Aquarium, Conservation & Legislation *International Journal of the Bioflux Society.*, 6 (3), 241-245.
- Fischer, P., Klein, U., 1988. Localization of nitrogen-assimilating enzymes in the chloroplast of *Chlamydomonas reinhardtii*. *Plant Physiology.*, 88, 947–952.
- Fogg, G.E., 1975. *Algal cultures and phytoplankton ecology*. Second edition 1975 ed., The university of Wisconsin press, 175p, Wisconsin.
- Fung Pak Hang, M., 2010. Optimization of Photobioreactor for Astaxanthin Production in *Chlorella Zofingiensis*, National University of Singapore, YL Tezi, 104 s., Singapur.
- Gamal, A.A., 2010. Biological importance of marine algae. *Saud Pharm J.*, 18, 1–25.
- Geider, R.J., La Roche, J., 2002. Redfield revisited: variability of C: N: P in marine microalgae and its biochemical basis. *Eur. J. Phycol.*, 37, 1-17.



- Goldman, J.C., Porcella, B.P., Middlebrooks, E.J., Toerien, D.F., 1972. The effect of carbon on algal growth- its relationship to eutrophication. *Water Res.*, 6 (6), 637-679.
- Goldman, J.C., Azov, Y., Riley, C.B., Dennett, M.R., 1982. The effect of pH in intensive microalgal cultures. I. Biomass regulation, *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 57, 1-13.
- Gonçalves, A.L., Pires, J.C.M., Simões, M., 2017. A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment. *Algal Res.*, 24, 403-415.
- Gong, Y., Jiang, M., 2011. Biodiesel production with microalgae as feedstock: from strains to biodiesel. *Biotechnol Lett.*, 33, 1269–1284.
- Güngör, Y., Erözel, Z., Yıldırım, O., 2010. Ankara Üniversitesi Basımevi, 291s, Ankara.
- Hannon, M., Gimpel, J., Tran, M., Rasala, B., Mayfield, S., 2010. Biofuels from algae: challenges and potential. *Biofuels*, 1 (5), 763–784.
- He, P.J., Mao, B., Lu, F., Shao, L.M., Lee, D.J., Chang, J.S., 2013. The combined effect of bacteria and *Chlorella vulgaris* on the treatment of municipal wastewaters. *Bioresour. Technol.*, 146, 562–568.
- Hernández, D., Riaño, B., Coca, M., García-González, M. C., 2013. Treatment of agro-industrial wastewater using microalgae–bacteria consortium combined with anaerobic digestion of the produced biomass. *Bioresource Technology*, 135, 598-603.
- Higgins, B.T., Gennity, I., Fitzgerald, P.S., Ceballos, S.J., Fiehn, O., VanderGheynst, J.S., 2018. Algal–bacterial synergy in treatment of winery wastewater. *npj Clean Water*, 1 (6), 1-10.
- Hodaifa, G., Martínez, M.E., Órpez, R., Sánchez, S., 2012. Inhibitory effects of industrial olive-oil mill wastewater on biomass production of *Scenedesmus obliquus*. *Ecological Engineering*, 42, 30–34.
- Hoh, D., Watson, S., Kan, E., 2016. Algal biofilm reactors for integrated wastewater treatment and biofuel production: a review, *Chem. Eng. J.*, 287, 466–473.
- Huo, S., Dong, R., Wang, Z., Pang, C., Yuan, Z., Zhu, S., Chen, L., 2011. Available Resources for Algal Biofuel Development in China. *Energies*, 4, 1321-1335.
- Jensen, B., 1987. *Chlorella: Gem of the Orient*. Bernard Jensen Publisher, 248s, Escondido.

- Kamyab, H., Din, M.F.M., Keyvanfar, A., Majid, M.A., Talaiekhosani A., Shafaghat, A., Ismail, H.H., 2015. Efficiency of microalgae *Chlamydomonas* on the removal of pollutants from palm oil mill effluent (POME), *Energy Procedia*, 75, 2400-2408.
- Kim, J., Yoo, G., Lee, H., Lim, J., Kim, K., Kim, C.W., 2013. Methods of downstream processing for the production of biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv.*, 31, 862–76.
- Koley, S., Mathimani, T., Kumar Bagchi, S., Sonkar, S., Mallick, N., 2019. Microalgal biodiesel production at outdoor open and polyhouse racewaypond cultivations: A case study with *Scenedesmus accuminatus* using low-cost farm fertilizer medium. *Biomass and Bioenergy*, 120, 156-165.
- Knutson, C.M., McLaughlin, E.M., Barney, B.M., 2018. Effect of temperature control on green algae grown under continuous culture. *Algal Research*, 35, 301–308.
- Kumar, K., Mishra, S.K., Shrivastav, A., Park, M.S., Yang, J.W., 2015. Recent trends in the mass cultivation of algae in raceway ponds, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 51, 875–885.
- Kurhan, Ş., 2012. Fulvik Ve Humik Asidin *Chlorella vulgaris* ve *Spirulina platensis* Gelişimine Etkisinin Değerlendirilmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Ankara.
- Lardon, L., Hélias, A., Sialve, B., Steyer, J.-P., Bernard, O., 2009. Life-cycle assessment of biodiesel production from microalgae, *Environ. Sci. Technol.*, 43, 6475–6481.
- Lee, K., Lee, C.G., 2001. Effect of light/dark cycles on wastewater treatments by microalgae. *Biotechnol. Bioproc. Eng.*, 6, 194-199.
- Liang, Z.J., Liu, Y., Ge, F., Xu, Y., Tao, N.G., Peng, F., Wong, M.H., 2013. Efficiency assessment and pH effect in removing nitrogen and phosphorus by algaebacteria combined system of *Chlorella vulgaris* and *Bacillus licheniformis*. *Chemosphere*, 92, 1383-1389.
- Lu, Q., Zhou, W., Min, M., Ma, X., Ma, Y., Chen, P., Zheng, H., Doan, Y.T.T., Liu, H., Chen, C., Urriola, P.E., Shurson, G.C., Ruan, R., 2016. Mitigating ammonia nitrogen deficiency in dairy wastewaters for algae cultivation. *Bioresource Technology*, 201, 33–40.
- Iasimone, F., Panico, A., Felice, V. D., Fantasma, F., Iorizzi, M., Pirozzi, F., 2018. Effect of light intensity and nutrients supply on microalgae cultivated in urban wastewater: Biomass production, lipids accumulation and settleability characteristics. *Journal of Environmental Management*, 223, 1078–1085.

- Jiménez, C., Cossi, B.R., Niell, F.X., 2003. Relationship between physicochemical variables' and productivity in open ponds for the production of *Spirulina*: a predictive model of algal yield, *Aquaculture*, 221, 331–345.
- Markou, G., Chatzipavlidis I., Georgakakis, D., 2012. Cultivation of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* in olive-oil mill wastewater treated with sodium hypochlorite. *Bioresource Technology*, 112, 234–241.
- Massa, M., Buono, S., Langellotti, A.L., Castaldo, L., Martello, A., Paduano, A., Sacchi, R., Fogliano, V., 2017. Evaluation of anaerobic digestates from different feedstocks as growth media for *Tetrademus obliquus*, *Botryococcus braunii*, *Phaeodactylum tricornutum* and *Arthrospira maxima*. *New Biotechnol.*, 36, 8–16.
- Mayo, A.W., 1997, Effects of temperature and pH on the kinetic growth of unialga *Chlorella vulgaris* cultures containing bacteria, *Water Environ. Res.*, 69, 64-72.
- McGinn, P.J., Dickinson, K.E., Bhatti, S., Frigon, J.C., Guiot, S.R., O'Leary, S.J., 2011. Integration of microalgae cultivation with industrial waste remediation for biofuel and bioenergy production: opportunities and limitations. *Photosynth Res.*, 109, 231–47.
- Mezzomo, N., Saggiorato, A.G., Siebert, R., Tatsch, P.O., Lago, M.C., Hemkemeier, M., Costa, J.A.V., Bertolin, T.E., Colla, L.M., 2010. Cultivation of microalgae *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) from biological treatment of swine wastewater. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 30, 173-178.
- Mostafa, S.S., Shalaby, E.A., Mahmoud, G.I., 2012. Cultivating microalgae in domestic wastewater for biodiesel production, *Not. Sci. Biol.*, 4, 56-65.
- Nascimento, I.A., Marques, S.S.I., Cabanelas, I.T.D., Pereira, S.A., Druzian, J.I., de Souza, C.O., 2012. Screening microalgae strains for biodiesel production: lipid productivity and estimation of fuel quality based on fatty acids profiles as selective criteria. *Bioenergy Res.*, 6, 1–13.
- Norsker, N.H., Barbosa, M.J., Vermue, M.H., Wijffels, R.H., 2011. Microalgal production – a close look at economics. *Biotechnol Adv.*, 29, 24–27.
- Nur, M., 2014. Lipid extraction of microalga *Chlorella sp.* cultivated in palm oil mill effluent (POME) medium. *World Appl Sci J.*, 31, 959–967.
- Okumura, C., Saffreena, N., Rahman, M.A., Hasegawa, H., Miki, O., Takimoto, A., 2015. Economic efficiency of different light wavelengths and intensities using LEDs for the cultivation of green microalga *Botryococcus braunii* (NIES-836) for biofuel production. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 34 (1), 269–275.

- Oliver, R.L., Ganf, G.G., 2000. Freshwater blooms, in the ecology of cyanobacteria: their diversity in time and space, B.A. Whitton and M. Potts, Editors. Kluwer: Dordrecht., 149–194.
- Oswald, W.J., Gotaas, H.B., 1957. Photosynthesis in sewage treatment. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 122 (1), 73-97.
- Oswald, W.J., Golueke, C.G., 1960. Biological transformation of solar energy. In: Umbreit, W.W. (Ed.), *Advances in applied microbiology*, Academic, NewYork, 2, 223–262.
- Oswald, W., 1963. The high-rate pond in waste disposal. *Dev. Ind Microbiol.*, 4, 112-125.
- Örmeci Kart, M.Ç., İkiz, M., Demircan, V., 2012. Türkiye’de Yağ Gülü (*Rosa damascena*) Üretimi ve Ticaretinin Gelişimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 124-134, ISSN 1304-9984, Derleme.
- Patil, V., Tran, K.Q., Giselrød, H.R., 2008. Towards sustainable production of biofuels from microalgae. *Int J Mol Sci.*, 9, 1188–1195.
- Pittman, J.K., Dean, A.P., Osundeko, O., 2011. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. *Bioresour Technol.*, 102, 17–25.
- Pröschold, T., Darienko, T., Silva, P.C., Reisser, W., Krienitz, L., 2011. The systematics of *Zoochlorella* revisited employing an integrative approach. *Environmental Microbiology*, 13(2), 350–364.
- Pulz, O., 2001. Photobioreactors: production systems for phototrophic microorganisms. *Appl Microbiol Biotechnol.*, 57, 287–293.
- Radmer, R.J., Parker, B.C., 1994. Commercial applications of algae: opportunities and constraints. *J Appl Phycol.*, 6, 93–8.
- Rashid, N., Rehman, M.S.U.; Sadiq, M., Mahmood, T., Han, J.-I., 2014. Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production, *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 40, 760–778.
- Rawat, I., Kumar, R.R., Mutanda, T., Bux, F., 2011. Dual role of microalgae: phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Appl. Energy*, 88, 3411–3424.
- Rawat, I., Kumar, R.R., Mutanda, T., Bux, F., 2013. Biodiesel from microalgae: a critical evaluation from laboratory to large scale production. *Appl. Energy* 103, 444–467.

- Redfield, A.C., 1958. The biological control of chemical factors in the environment. *American Scientist*, 46, 205–221.
- Renuka, N., Sood, A., Ratha, S.K., Prasanna, R., Ahluwalia, A.S., 2013. Evaluation of microalgal consortia for treatment of primary treated sewage effluent and biomass production. *J. Appl. Phycol.*, 25, 1529–1537.
- Renuka, N., Sood, A., Ratha, S.K., Prasanna, R., Ahluwalia, A.S., 2013. Nutrient sequestration, biomass production by microalgae and phytoremediation of sewage water. *Int. J. Phytoremediat*, 15, 789-800.
- Reynolds, C., 2006. In: *Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, 550.
- Rhee, G.Y., 1978. Effects of N:P atomic ratios and nitrate limitation on algal growth, cell composition, and nitrate uptake. *Limnol. Oceanogr.*, 23, 10-25.
- Richmond, A. 2004. *Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology*. Blackwell Science Ltd., Oxford, 588.
- Rogers, J.N., Rosenberg, J.N., Guzman, B.J., Oh, V.H., Mimbela, L.E., Ghassemi, A., 2011. A critical analysis of paddlewheel-driven raceway ponds for algal biofuel environmental protection. *Biotechnol Adv.*, 29, 124–141.
- Ruiz, J., Arbib, Z., Álvarez-Díaz, P., Garrido-Pérez, C., Barragán, J., Perales, J., 2013. Photobiotreatment model (PhBT): a kinetic model for microalgae biomass growth and nutrient removal in wastewater. *Environ. Technol.*, 34, 979–991.
- SAG Culture Media (Basal Medium), 2018. Erişim Tarihi: 10.12.2018. <http://sagdb.uni-goettingen.de/>
- Samantaray, S., Nayak, J.K., Mallick, N., 2011. Wastewater utilization for poly- $\beta$ hydroxybutyrate production by the cyanobacterium *Aulosira fertilissima* in a recirculatory aquaculture system. *Appl. Environ. Microbiol.*, 77, 8735–8743.
- Sanchez, M.A., Ceron Garcia, M-C., Contreras Gomez, A., Garcia Camacho, F., Molina Grima, E., Chisti, Y., 2003. Shear stress tolerance and biochemical characterization of *Phaeodactylum tricornutum* in quasi steady-state continuous culture in out- door photobioreactors. *Biochem Eng J.*, 16, 287–97.
- Santos, F.M., Pires, J.C.M., 2018. Nutrient recovery from wastewaters by microalgae and its potential application as bio-char. *Bioresource Technology*, 267, 725-731.

- Sharma, K.K., Schuhmann, H., Schenk, P.M., 2012. High lipid induction in microalgae for biodiesel production. *Energies*, 5, 1532–1553.
- Shen, Y, Yuan, W, Pei, ZJ, Wu, Q, Mao, E., 2009. Microalgae mass production methods. *Trans ASABE*, 52, 1275-1287.
- Sheehan, J., Dunahay, T., Benemann, J., Roessler, P., 1998. A Look Back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: Biodiesel from Algae; Close-Out Report. NREL/TP-580-24190, 328s.
- Singh, A., Singh, S.P., Bamazai, R., 1998. Perinatal influence of *Chlorella vulgaris* on hepatic drug metabolizing enzyme and lipid peroxidation. *Anticancer Res.*, 18, 1509–1514.
- Singh, S.P., Singh, P., 2014. Effect of CO<sub>2</sub> concentration on algal growth: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 38, 172–179.
- Singh, S.P., Singh, P., 2018. Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews.*, 50, 431–444.
- Sonune, A., Ghatge, R., 2004. Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 167, 55–63.
- Sterner, R., Elser, J., 2002. *Ecological Stoichiometry: the Biology of Elements from Molecules to the Biosphere*. Princeton University Press, 464s, ABD.
- Subhash, G.V., Rohit, M.V., Devi, P.M., Swamy, Y.V., Venkata Mohan, S., 2014. Temperature induced stress influence on biodiesel productivity during mixotrophic microalgae cultivation with wastewater. *Bioresour. Technol.*, 169, 789–793.
- Tang, E.P.Y., Vincent, W.F., Proulx, D., Lessard, P., De la Noüe, J., 1997. Polar cyanobacteria versus green algae for tertiary waste-water treatment in cool climates. *J. Appl. Phycol.*, 9, 371–381.
- Ugwu, C.U., Aoyagi, H., Uchiyama, H., 2007. Influence of irradiance, dissolved oxygen concentration, and temperature on the growth of *Chlorella sorokiniana*. *Photosynthetica*, 45(2), 309–11.
- Uysal, O., Uysal, F.O., Ekinci, K., 2016. Determination Fertilizing Characteristics of Three Different Microalgae Cultivated in Raceways In Greenhouse Conditions. *Agronomy Series of Scientific Research/Lucrari Stiintifice Seria Agronomie*, 59(1), 15-18.
- Tarlan, E., Dilek, F.B., Yetis, U., 2002. Effectiveness of algae in the treatment of a wood-based pulp and paper industry wastewater. *Bioresour Technol.*, 84, 1–5.

- Teo, C.L., Jamaluddin, H., Zain, N., Idris, A., 2014. Biodiesel production via lipase catalysed transesterification of microalgae lipids from *Tetraselmis sp.* *Renew Energy*, 68, 1–5.
- Tosun, İ., Gönüllü, M.T., Arslankaya, E., 2002, Gül yağı Sanayi Proses Atıkları Özelliklerinin Belirlenmesi, 1.Ulusal Çevre Sorunları Sempozyumu, Atatürk Üniversitesi, Çevre Sorunları Araştırma Merkezi Müdürlüğü, Erzurum, 1, 864-873.
- Tosun, İ., 2003. Compostability of rose processing wastes with organic fractions of municipal solid wastes (in Turkish). Ph.D. Thesis, Yıldız Technical University.
- Unnithan, V.V., Unc, A., Smith, G.B., 2014. Mini-review: a priori considerations for bacteria–algae interactions in algal biofuel systems receiving municipal wastewaters. *Algal Res.*, 4, 35–40.
- Yan, C., Fan, J., and Xu, C., 2013. Analysis of Oil Droplets in Microalgae. *Methods in Cell Biology*, 116, 71-82.
- Yen, H.W., Chiang, W.C., 2012. Effects of mutual shading, pressurization and oxygen partial pressure on the autotrophical cultivation of *Scenedesmus obliquus*. *J Taiwan Inst Chem Eng.*, 43(6), 820–824 .
- Xin, L., Hu, H.Y., Ke, G., Sun, Y.X., 2010. Effects of different nitrogen and phosphorus concentrations on the growth, nutrient uptake, and lipid accumulation of a freshwater microalga *Scenedesmus sp.*. *Bioresour. Technol.*, 101, 5494–5500.
- Van Beilen, J.B., 2010. Why microalgal biofuels won't save the internal combustion machine. *Biofuels Bioprod. Bioref.*, 4 (1), 41–52.
- Vairappan, C.S., Yen, A.M., 2008. Palm oil mill effluent (POME) cultured marine microalgae as supplementary diet for rotifer culture. *J. Appl Phycol.*, 20, 603–608.
- Venkata Mohan, S., Rohit, M.V., Chiranjeevi, P., Chandra, R., Navaneeth, B., 2015. Heterotrophic microalgae cultivation to synergize biodiesel production with waste remediation: progress and perspectives, *Bioresour. Technol.*, 184, 169–178.
- Wang, B., Li, Y., Wu, N., Lan, C.Q., 2008. CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 79, 707–718.
- Wang, B., Lan, C.Q., Horsman, M., 2012. Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses, *Biotechnol. Adv.*, 30 (4), 904–912.

- Wang, L., Min, M., Li, Y., Chen, P., Chen, Y., 2010. Cultivation of green algae *Chlorella* sp. in different wastewaters from municipal wastewater treatment plant, *Appl. Biochem.*, 1174–1186.
- Wang, M., Kuo-Dahab, W.C., Dolan, S., Park, C., 2014. Kinetics of nutrient removal and expression of extracellular polymeric substances of the microalgae, *Chlorella* sp. and *Micractinium* sp., in wastewater treatment. *Bioresour. Technol.*, 154, 131-137.
- Zhou, W., Chen, P., Min, M., Ma, X., Wang, J., Griffith, R., 2014. Environment enhancing algal biofuel production using wastewaters. *Renew Sustain Energy Rev.*, 36, 256–69.
- Zhou, W., Li, Y., Min, M., Hu, B., Zhang, H., Ma, X., Li, L., Cheng, Y., Chen, P., Ruan, R., 2012. Growing wastewater-born microalga *Auxenochlorella protothecoides* UMN280 on concentrated municipal wastewater for simultaneous nutrient removal and energy feedstock production. *Appl. Energy*, 98, 433–440.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Önder UYSAL

Doğum Yeri ve Yılı : BOLU, 1984

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : onderuysal@isparta.edu.tr



## Eğitim Durumu

Lise : Yıldırım Beyazıt Anadolu Lisesi, 2002

Lisans : AÜ, Ziraat Fakültesi, Tarım Makinaları Bölümü

Yüksek Lisans : SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı

## Mesleki Deneyim

İSUBU Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi

(Araştırma Görevlisi)

2018-..... (halen)

SDÜ Ziraat Fakültesi (Araştırma Görevlisi)

2009-2018

GPA Mühendislik Ltd. Şti (Kurucu ortak-ArGe Müdürü) 2014-2018

## Projeler

1. "Tam Otomatik Fonksiyonel Fotobiyoreaktör Tasarımı" Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı – Teknogirişim Sermaye Desteği (2015 - 2016) (Yürütücü)
2. "Arazi Tanımlamalı Optimum Sulama Sistemi Tasarımı " Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı – Teknogirişim Sermaye Desteği (2014 - 2015) (Araştırmacı)
3. Mikrobiyal gübre olarak mikroalglerin değerlendirilmesi ve farklı bitki materyallerinde vejetatif gelişme parametrelerine etkisi. Göller Bölgesi Teknokent (2015-2017) (Araştırmacı)

## Yayınlar

1. K. Ekinci, İ. Erdal, **Ö. Uysal**, F. Ö. Uysal, H. Tunce, A. Doğan. 2018. Anaerobic Digestion of Three Microalgae Biomasses and Assessment of

Digestates as Biofertilizer for Plant Growth: Utilization of microalgae biomasses for biogas. Environmental Progress & Sustainable Energy.

**2. Önder UYSAL** and Kamil EKİNCİ, 2017. Comparison of Photosynthetic Active Radiation and Power Consumption Values of Different Wavelengths of LED Lamps for Vegetable Production. ISBN 978-81-934174-7-8. 116-119.

**3. S. Karaaslan, O. Uysal, F. O. Uysal, K. Ekinci, B. S. Kumbul.** Mathematical Modelling of Drying of *Chlorella* sp., *Neochloris conjuncta* and *Botryococcus braunii* at Different Drying Conditions. European Journal of Sustainable Development (2016), 5, 4, 421-430.

**4. Onder UYSAL, F. Ozge UYSAL, Kamil EKİNCİ,** 2016. Determination of Fertilizing Characteristics of Three Different Microalgae Cultivated in Raceways in Greenhouse Conditions . LUCRARI ŞTIINTIFICE. Vol 59, No 1.

**5. O. Uysal, F.O. Uysal and K. Ekinci.** Evaluation of Microalgae as Microbial Fertilizer. European Journal of Sustainable Development (2015), 4, 2, 77-82.

**6. Onder UYSAL, Kamil EKİNCİ,** 2016. The effects of nitrogen deficiency on the production of polyhydroxybutyrate (PHB) using *Spirulina platensis*. Lucrari Ştiintifice. VOL. 59, NR. 1

**7. Uysal Ö.,** 2013. Tarımda Doğru Aydınlatmanın Önemi. Tarım Türk Dergisi, Sayı: 5, S. 17-20.

## **Ulusal ve uluslararası toplantılarda Posterler, Sözlü bildiriler ve sunular**

**1. Ö. Uysal, F. Ö. Uysal, N.B. Bitrak, B.S. Kumbul and K. Ekinci,** 2018. Purification of Biogas Using *Chlorella* sp. ICRST (2018) VIIIth International Conference on Researches in Science & Technology, 10-11 June, Rome, Italy.

**2. Ö. Uysal and K. Ekinci,** 2018. Design of Mobile and Functional Photobioreactor. ICRST (2018) VIIIth International Conference on Researches in Science & Technology, 10-11 June, Rome, Italy.

**3. Tunhan Demirci, Önder Uysal, Kamil Ekinci, Nilgün Göktürk Baydar.** The Effects of Leds with Different Colours on the Growth, Nicotine And Phenolic Production In In Vitro Plants Of *Nicotiana Tabacum* L. MESMAP-4 ABSTRACT BOOK.

**4. F. O. Uysal** and O. Uysal. The Effects of Irrigation Methods on Water Conservation, 2015. The European Journal of Sustainable Development Rome/Italy

**5. O. Uysal, F.O. Uysal** and K. Ekinci. Evaluation of Microalgae as Microbial Fertilizer, 2015. European Journal of Sustainable Development Rome/Italy.

**6. O. Uysal** and K. Ekinci. The Effect of Different Wavelengths on the Lipid Ratio of *Chlorella vulgaris*, 2015. 23rd European Biomass Conference and Exhibition, Wien/Austria

**7. Uysal, O., Savas, S. and Ekinci, K., 2012.** The effects of different wavelengths on the growth rate of *Chlorella vulgaris*. The 20th European Biomass Conference and Exhibition, Italy - Milano.

### **Kurslar ve Sertifikalar**

1. Canvas İş Modeli Eğitimi
2. AutoCAD (SEM-SDU)
3. SolidWorks (SEM-SDU)
4. Laboratuvar çalışmaları (Universita 'Degli Studi di Napoli Federico II, Centro Interdepartimentale di Ricerche per la gestione delle risorse idrobiologiche e per l'Acquacoltura CRIAcq, Italy), 01.03.2013 - 31.05.2013