

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİYODİZEL ÜRETİMİNE UYGUN MİKROALGLERİN
GELİŞİMİNE BAZI YETİŞTİRME PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN
BELİRLENMESİ**

Mustafa GEZİCİ

TARIM MAKİNALARI ANABİLİM DALI

**ANKARA
2012**

Her hakkı saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYODİZEL ÜRETİMİNE UYGUN MİKROALGLERİN GELİŞİMİNE BAZI YETİŞTİRME PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

Mustafa GEZİCİ

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makinaları Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Recai GÜRHAN

Geçmiş dönemde yapılan araştırmalar, dizel yakıtına göre sera etkisini %40 oranında azaltan, tarımda yeni fırsatlar sunduğundan dolayı hızla yayılan, bitkisel ve hayvansal yağ kökenli alkil esterleri ön plana çıkarması ve sağladığı avantajlar nedeniyle birçok ülkede yasal olarak vergiden muaf tutularak üretimi ve tüketimi artırılan Biyodizel, maalesef ülkemizde üretimindeki ÖTV artışları, üreticileri sadece dağıtım firmalarına satış yapabilir hale getirmiştir. Dağıtım şirketlerinin alım zorunluluğunun olmaması ayrıca genel anlamda tarım maliyetlerinin yüksekliği gibi faktörler eklenmesiyle de biyodizel cazibesini kaybetmiş ve üniversitelerin ilgili bölümlerinin yaptıkları araştırmalar ölçüsünde ilerleyebilmiştir.

Son dönemlerde yapılan araştırmalar ise, ekosistemde CO₂/O₂ dönüştürücüsü ve biyokütlenin birinci üreticileri konumunda olan, mavi, kırmızı, yeşil vb. renklerde alg kültür sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Alglar üzerinde yapılan araştırmalar ise, yetiştiricilik ve yakıt olarak kullanılabilirliği başlıkları altında sürdürülmektedir.

Bu çalışmada, *Palmellopsis muralis* ve *Dunaliella salina* türlerinin farklı dalga boylarına sahip renkli ışık kaynakları kullanarak 24 saat aydınlanma süresine tabi tutularak sabit ışık şiddeti altında yetiştirme parametreleri incelenmiştir. İkinci denemede beyaz ışık kullanılarak farklı aydınlanma sürelerinde yetiştirme parametreleri olan hücre sayısı, pH, tuzluluk ve iletkenlik değerleri ölçülmüş ve incelenmiştir. Üçüncü deneme olan sıcaklık denemesinde yine aynı şekilde beyaz ışık kullanarak ve sabit ışık şiddeti altında, sırasıyla 21 °C, 28 °C ve 35 °C'daki yetiştirme parametreleri incelenmiştir. Son olarak beyaz ışık kaynağı kullanılarak ve 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık periyotlar içerisinde, farklı ışık şiddeti uygulanarak, hücre sayıları, pH, tuzluluk ve iletkenlik değerleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Ocak 2012, 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, mikroalgler, biyodizel, alglar

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINE THE EFFECT OF SOME CULTIVATION PARAMETERS IN THE DEVELOPMENT OF MICROALGAE FOR BIODIESEL PRODUCTION

Mustafa GEZİCİ
Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Agricultural Machinery

Supervisor: Prof. Dr. Recai GÜRHAN

The research studies in the past focusing on finding new energy sources, were based on biodiesels which reduce the greenhouse effect by 41 % when compared with diesels. Due to this fact, many countries in the world have exempted biodiesel from taxes and encouraged their production and consumption. However, in Turkey, increase in production taxes, and because the producers can only sell their products to distribution firms, the attractiveness of biodiesel has decreased tremendously and could only be developed to the limits provided by the studies of related departments of the universities.

The recent research studies focused on alg cultures which are blue, red, green in color and are transforming CO₂ to O₂ in the ecosystem. The research studies on algs are implemented under two topics which are namely alg production and possibilities of using algs as fuel.

In this study, species of *Dunaliella salina* *Palmellopsis muralis* and colored light sources with different wavelengths using the 24-hour period of enlightenment, subjected to constant light intensity of cultivation under the analyzed parameters. The second experiment using white light illumination of different periods of growth parameters, cell number, pH, salinity and conductivity values were measured and analyzed. The third attempt, the temperature in the same way using white light and under constant light intensity, respectively, 21 ° C, 28 ° C and 35 ° C'daki growth parameters were investigated. Finally, using white light source and 12 hours light and dark periods within 12 hours, applying a different light intensity, cell numbers, pH, salinity and conductivity values were analyzed and compared.

January 2012, 79 pages

Key Words: Renewable energy sources, microalgae, biodiesel, algae

TEŞEKKÜR

Dünya’da çevre koruma bilincinin giderek ülkelerin birinci görevi haline geldiği şu günlerde, enerji kaynaklarının giderek azalması, fiyatlarındaki istikrarsızlıklar ve özellikle dış ülkelere bağımlılık, ülkelerin doğal kaynaklarına yönelerek, alternatif enerji kaynakları arayışlarının hızlanmasına neden olmuştur. Bu enerji kaynaklarından biri de çevre dostu olarak bilinen, biyolojik olarak kolay ayrışabilir toksit olmayan biyodizel’dir.

Bu denli önemli ve güncel bir konuda çalışma imkanı sağlayan ve araştırmanın her aşamasında destek ve ilgisini esirgemeyen, danışman hocam Sayın Prof.Dr.Recai GÜRHAN (Ankara Üniv. Tarım Makinaları ABD) hocama, ayrıca akademik hayatım süresince danışman hocam kadar beni hayata hazırlayan, fikirleriyle bana yol gösteren, çok değerli hocam Yrd.Doç.Dr.A.Konuralp ELİÇİN (Dicle Üniv. Tarım Makinaları ABD) hocama teşekkür ederim.

Yoğun geçen araştırma sürecinde, tecrübesiyle büyük desteklerini gördüğüm babam, Sayın Ali GEZİCİ’ye, annem Sayın Nurdan GEZİCİ’ye özellikle tüm denemeler boyunca desteğini hiç esirgemeyen kardeşim, Sayın Batuhan GÜRHAN’a çok teşekkür ederim.

Son olarak, araştırma içerisinde adı geçen, yayınladıkları makaleleriyle bana ışık tutan tüm araştırmacı hocalarıma saygılarımla şükranlarımı sunarım.

Mustafa GEZİCİ

Ankara, Ocak 2012

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Alglerin Üretim Sistemleri.....	3
1.1.1 Dış Mekân Üretim Sistemleri	4
1.1.2 İç Mekân Üretim Sistemleri	5
1.1.3 İç Mekân ve Dış Mekân Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	6
1.1.4 Geniş Torbalar ve Polyester Tanklarda Üretim.....	7
1.1.5 Fotobiyoreaktörlerde Üretim.....	7
1.1.5.1 Tübüler fotobiyoreaktörler.....	8
1.1.5.2 Levha şeklindeki fotobiyoreaktörler.....	9
1.1.5.3 Biocoil tip fotobiyoreaktörler.....	10
1.2 Dünyadaki Üretim Durumu.....	11
1.2.1 Ülkelere göre mikroalg üretimi.....	12
1.2.2 Dünyadaki mikroalg üretim tesislerinden örnekler.....	13
1.3 Türkiye’de Mikroalg Üretimi.....	16
1.4 Mikroalglerden Yağ Elde Edilmesi.....	18
1.5 Mikroalglerin Yakıt Özellikleri	19
1.6 Mikroalglerden Yakıt Üretme Yöntemleri.....	20
1.6.1 Piroлиз yöntemi.....	21
1.6.2 Gazifikasyon yöntemi.....	21
1.6.3 Transesterifikasyon yöntemi.....	22
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	33
3.1 Materyal	33
3.1.1 Mikroalgler.....	33
3.1.2 pH metre.....	34

3.1.3 İletkenlik ve Tuzluluk Ölçer.....	35
3.1.4 Lüksmetre.....	37
3.1.5 Termometre, kompresörler ve ısıtıcıların kullanımı.....	39
3.2 Yöntem.....	41
3.2.1 Denemede kullanılan mikroalglerin üretilmesi.....	42
3.2.2 Denemede kullanılan suyun demineralize edilmesi.....	43
3.2.3 Denemede kullanılan mikroalglerin sayımı.....	44
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	48
4.1 Renkli Led Etkisinin Araştırılması.....	48
4.1.1 Hücre sayıları sonuçları.....	49
4.1.2 Tuzluluk sonuçları.....	51
4.1.3 İletkenlik sonuçları.....	53
4.1.4 pH sonuçları	54
4.2 Işıklanma Süresi Etkisinin Araştırılması.....	56
4.2.1 Hücre sayıları sonuçları.....	56
4.2.2 Tuzluluk sonuçları.....	58
4.2.3 İletkenlik sonuçları.....	59
4.2.4 pH sonuçları.....	60
4.3 Sıcaklık Etkisinin Araştırılması.....	62
4.3.1 Hücre sayısı sonuçları.....	62
4.3.2 Tuzluluk sonuçları.....	63
4.3.3 İletkenlik sonuçları.....	64
4.3.4 pH sonuçları.....	66
4.4 Işık Şiddeti Etkisinin Araştırılması.....	67
4.4.1 Hücre sayısı sonuçları.....	67
4.4.2 Tuzluluk sonuçları.....	68
4.4.3 İletkenlik sonuçları.....	69
4.4.4 pH sonuçları.....	68
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	72
KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1	Alglerin ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılması.....	1
Şekil 1.2	Ökaryotik alg örneği.....	2
Şekil 1.3	Prokaryotik alg örneği.....	2
Şekil 1.4	Tanklarda mikroalg üretimi.....	3
Şekil 1.5	Havuzlarda mikroalg üretimi.....	3
Şekil 1.6	Dış mekan üretim havuzları.....	4
Şekil 1.7	Geniş dairesel üretim havuzları.....	5
Şekil 1.8	Doğal gölet yetiştirme sistemi.....	6
Şekil 1.9	Açık havuz yetiştirme sistemi.....	6
Şekil 1.10	Dış mekan üretim sisteminden örnek alınması.....	6
Şekil 1.11	Geniş torbalarda üretim.....	7
Şekil 1.12	Polyester tanklarda üretim.....	7
Şekil 1.13	Dış mekan fotobiyoreaktör örnekleri.....	8
Şekil 1.14	Tübüler tip fotobiyoreaktör.....	8
Şekil 1.15	Tübüler tip fotobiyoreaktörün çalışma prensibi.....	9
Şekil 1.16	Şeffaf plastik düz levha fotobiyoreaktör ve cam tip düz levha fotobiyoreaktör.....	10
Şekil 1.17	Biocoil tip fotobiyoreaktör örnekleri	11
Şekil 1.18	Amerika’da alg üretim şirketi Algeponics	12
Şekil 1.19	Ülkelere göre mikroalg üretim payı (2009).....	13
Şekil 1.20	GreenFuel Tech Aurora Biofuels Gmbh, Arizona, alg üretim tesisi.....	13
Şekil 1.21	Algepower Gmbh Manhattan ,ABD’de yeni kurulan bir fotobiyoreaktör.....	14

Şekil 1.22	İspanya’da Synthetic Genomics Gmbh ait bir mikroalg üretim tesisi.....	14
Şekil 1.23	İsrail’den; Algae Technologies Gmbh tesisi.....	14
Şekil 1.24	Almanya’dan Otto Pulz laboratuvarlarına ait kapalı sistem üretim tesisi.....	15
Şekil 1.25	Aquaflow isimli şirketin ürettiği biyoyakıt ve çalıştırdığı otomobil.....	15
Şekil 1.26	Ege Üniversitesi Biyomühendislik bölümü mikroalg üretim serası.....	16
Şekil 1.27	İzmir Bergama’da Ege Biyoteknoloji A.Ş’ ye ait mikroalg üretim tesisi.....	17
Şekil 1.28	Ege Biyoteknoloji A.Ş’nin 2012 yılında kurmayı planladıkları tesisin örneği.....	17
Şekil 1.29	Lab – 50 mikroalg hasat ünitesi işlem şeması.....	18
Şekil 1.30	Pul haline gelmiş mikroalgler.....	19
Şekil 1.31	Mikroalg yağ çıkarma makinası.....	19
Şekil 1.32	Mikroalg üretim aşamaları ve yağ elde edilme aşaması.....	19
Şekil 1.33	Proliz cihazı.....	21
Şekil 1.34	Gazifikasyon işlemi şeması.....	22
Şekil 1.35	Transesterifikasyon tesisleri.....	23
Şekil 1.36	Transesterifikasyon mekanizması.....	23
Şekil 1.37	Gaz kromatografisi cihazları.....	24
Şekil 3.1	<i>Dunaliella salina sp.</i> ait mikroskop görüntüsü	33
Şekil 3.2	<i>Palmellopsis muralis</i> ait mikroskop görüntüsü.....	34
Şekil 3.3	pH metre.....	35
Şekil 3.4	İletkenlik ve tuzluluk ölçer.....	37
Şekil 3.5	Lüksmetre.....	39

Şekil 3.6	Termometre.....	40
Şekil 3.7	Kompresör.....	40
Şekil 3.8	Isıtıcı.....	40
Şekil 3.9	Koruyucu kutular.....	41
Şekil 3.10	Deneme başlangıcında üretilen mikroalgler.....	42
Şekil 3.11	Deminerale su cihazı.....	44
Şekil 3.12	Mikroskop.....	44
Şekil 3.13	Thoma lamı.....	45
Şekil 3.14	Thoma lamının görünüşü ve ölçüleri.....	45
Şekil 3.15	Thoma lamının sayım yapılan kareleri.....	46
Şekil 4.1	Alglerin üretimi.....	48
Şekil 4.2	Renk denemeleri.....	49
Şekil 4.3	<i>Dunaliella salina</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler.....	50
Şekil 4.4	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler.....	51
Şekil 4.5	<i>Dunaliella salina</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	52
Şekil 4.6	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	53
Şekil 4.7	<i>Dunaliella salina</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	53
Şekil 4.8	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	54

Şekil 4.9	<i>Dunaliella salina</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler.....	55
Şekil 4.10	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler.....	56
Şekil 4.11	<i>Dunaliella salina</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişim.....	57
Şekil 4.12	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimler.....	57
Şekil 4.13	<i>Dunaliella salina</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak tuzluluk sayılarındaki değişim.....	58
Şekil 4.14	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak tuzluluk sayılarındaki değişim.....	59
Şekil 4.15	<i>Dunaliella salina</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak iletkenlik sayılarındaki değişimler.....	60
Şekil 4.16	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak iletkenlik sayılarındaki değişimler.....	60
Şekil 4.17	<i>Dunaliella salina</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak pH değerlerinde değişimler.....	61
Şekil 4.18	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak pH değerlerinde değişimler.....	61
Şekil 4.19	<i>Dunaliella salina</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimleri.....	63
Şekil 4.20	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimleri.....	63
Şekil 4.21	<i>Dunaliella salina</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	64
Şekil 4.22	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	64

Şekil 4.23	<i>Dunaliella salina</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	65
Şekil 4.24	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	65
Şekil 4.25	<i>Dunaliella salina</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler.....	66
Şekil 4.26	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün sıcaklığa bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler.....	66
Şekil 4.27	<i>Dunaliella salina</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak hücre sayısı değerlerindeki değişimler.....	67
Şekil 4.28	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak hücre sayısı değerlerindeki değişimler.....	68
Şekil 4.29	<i>Dunaliella salina</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	68
Şekil 4.30	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler.....	69
Şekil 4.31	<i>Dunaliella salina</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	69
Şekil 4.32	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler.....	70
Şekil 4.33	<i>Dunaliella salina</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler.....	70
Şekil 4.34	<i>Palmelopsis muralis</i> türünün ışık şiddetine bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1	Bazı mikroalg çeşitlerinin yağ içerikleri.....	4
Çizelge 1.2	Mikroalglerin ortalama üretim şartları.....	5
Çizelge 1.3	Mikroorganizmaların biyodizel üretimindebirinci derecede önemli olan yağ asit kompozisyonları.....	20
Çizelge 1.4	Bazı biyodizel kaynaklarının karşılaştırılması.....	20
Çizelge 3.1	Besin maddesi içeriği.....	42

1. GİRİŞ

Besin zincirinin ilk halkasını oluşturan alglerin değerli bir besin kaynağı olduğu bilinmektedir. Alglar, farklı kimyasal ve biyolojik bileşikleri üretme özelliği nedeniyle ticari önemi olan organizmalardır. Vitaminler, pigmentler, proteinler, mineraller, lipid ve polisakkaritler alglerden elde edilen başlıca ürünlerdir. Algların sadece balık yetiştiriciliğinde değil aynı zamanda gıda, ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılması onların kültür çalışmalarını hızlandırmıştır.

Alglar fotosentez yoluyla ışığı soğurup, inorganik maddeleri organik maddelere dönüştüren, oldukça basit yapıda, canlı, sucul organizmalardır. Küçük tek hücreli türlerden, karmaşık çok hücreli yapılara kadar çeşitlilik gösterirler. Tüm alglar siyanobakterilerden türemiş fotosentez mekanizmalarıdır ve siyanobakteri türevi olmayan fotosentetik bakterilerin tersine fotosentez yan ürünü olarak oksijen üretirler. Algların birçok türü aquatik ekolojide önemli rol oynamaktadır. Mikroskobik çeşitler su kolonunda süspanse halde (fitoplankton) bulunur ve birçok denizsel besin zincirinde temel besini oluşturmaktadır. Çok yüksek konsantrasyonlarda bu alglar, suyun rengini bozmakta ve diğer canlılar için toksik etkiye neden olabilmektedirler. Alglar, gezegenimizde biyolojik CO₂/O₂ dönüştürücü olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda, biyomasın en önemli birincil üreticileri olup, organizmalar içinde en değerli ekolojik gruplardan biridir. Özellikle, mikroalgler üzerinde yapılan son biyoteknolojik ve teknik incelemeler, gıda, ziraat, yem, çevre ve kozmetik gibi alanlarda kullanımlarını arttırmaya yöneliktir. Bu nedenle, yukarıda bahsedilen alanlara yapacağı katkılarından dolayı alg üretiminin biyoteknolojik bir temele dayandırılması önemli bir konudur. Şekil 1.1’de Alglar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

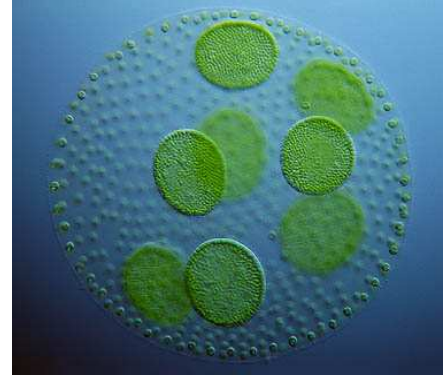


Şekil 1.1 Algların ilaç ve kozmetik sanayinde kullanılması

Algler, birçok farklı sınıflandırma yapılsa da genel olarak, prokaryotik ve ökaryotik olmak üzere iki ayrı sınıfa dahil edilebilirler. Şekil 1.2 ve 1.3'de ökaryotik ve prokaryotik hücre örnekleri verilmiştir.



Şekil 1.2 Ökaryotik alg örneği



Şekil 1.3 Prokaryotik alg örneği

Mikroalgler en eski yaşam formlarından biridir. Kök, gövde ve yaprakları yoktur. Fotosentetik pigment olarak klorofil a vardır. Mikroalg yapıları enerji korunumuna öncelik verir ve onların basit gelişimleri, hakim olan çevre koşullarına adaptasyonlarına ve uzun vade de gelişimlerine olanak sağlar. Mikroalgler renklerine göre,

- Cholophyceae (yeşil renkli algler),
- Rhodophyceae (kırmızı renkli algler),
- Cyanophyceae (mavi yeşil algler),
- Pheophyceae (kahverengi algler) olarak bilinmektedir.

Ürettikleri önemli pigmentler; Klorofil a ve b, Karoten, Astaksantin, Fitosiyanin, Ksanthofil, Fitoeritrosin'dir. Bu pigmentler gıdalarda, eczacılıkta, tekstilde ve kozmetik sanayinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Yaptığımız çalışma, yakıt üretimi için kullanılmaya başlanmış olan mikroalg türlerinden bazılarının yetiştirme parametrelerinin incelenmesine yöneliktir. Mikroalgler bitkiler gibi, yağ üretimi için güneş ışığı kullanmakta, buna karşılık, bu enerjiyi bitkilere oranla daha verimli harcamaktadırlar. Birçok mikroalg türünün yağ verimliliği, en iyi yağ bitkisinin verimliliğinden daha iyidir. Böylesine yağ verimliliği yüksek olan

mikroalglerin en önemli sorunu yetiştirilme dönemlerindeki üretim parametreleridir. Bu parametrelerin iyi belirlenmesi ve optimum koşulların sağlanması gerekmektedir. Çalışmada, mikroalglerden biyoyakıt elde edilmesinin ilk evresi olan yetiştirme dönemindeki bazı parametrelerin mikroalg gelişimine olan etkileri belirlenecektir. İncelenecek olan parametreler tuzluluk, iletkenlik, sıcaklık, pH ve ışık şiddetidir. Açık sistem ve kapalı sistem yetiştiricilikte de bu beş parametrenin önemi büyüktür.

1.1 Alglerin Üretim Sistemleri

Mikroalg yetiştiriciliğinde büyük çaplı yetiştiriciliğin amacı, az harcamayla verimli ürün geliştirilmesidir. Büyük ölçekli kültür sistemlerinde ışığın etkin kullanımı, sıcaklık, mikroalg kültüründe hidrodinamik dengeyi ve kültürün devamlılığını sağlama gibi ana hususların kıyaslanması gereklidir. Şekil 1.4 ve Şekil 1.5’de tanklarda ve havuzlarda mikroalg üretimi görülmektedir.



Şekil 1.4 Tanklarda mikroalg üretimi



Şekil 1.5 Havuzlarda mikroalg üretimi

Her mikroalg türünün ideal gelişimi, kendine özgü spesifik koşulların sağlandığı kültür ortamlarında gösterir. Buna göre *Spirulina* yüksek pH ve bikarbonat yoğunluğunda, *Chlorella* besince zengin ortamda, *Dunaliella salina* ise çok yüksek tuzlulukta en iyi büyümeyi göstermektedir. Günümüzde ticari mikro alg üretiminde, genellikle insan gıdası olarak değerlendirilen ve tıp-eczacılık alanında kullanılan *Spirulina* ve *Chlorella*

gibi mikroalgler tercih edilmektedir. Çizelge 1.1’de Bazı mikroalg çeşitlerinin yağ içerikleri verilmiştir

Çizelge 1.1 Bazı mikroalg çeşitlerinin yağ içerikleri (Tawfig et all, 2004)

Mikroalgler	Yağ içeriği (% Kuru Ağırlık)
<i>Botrycoccus braunii</i>	25 – 75
<i>Chlorella sp.</i>	28 – 32
<i>Cryptocodinium cohnii</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16 – 37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Dunaliella salina sp.</i>	28 – 42
<i>Isochrysis sp.</i>	25 – 33
<i>Monallanthus salina</i>	> 20
<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>Phaeodactylum tricorutum</i>	20 – 30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50 – 77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15 – 23

1.1.1 Dış mekân üretim sistemleri

Mikroalglerin hem iç hem de dış mekânda üretimleri yapılabilmektedir. Dış mekân üretim sistemleri olarak, doğal göletler, havuzlar ve her tür malzemedan imal edilen tanklar sayılabilmektedir. Şekil 1.6’da dış mekân üretim havuzları görülmektedir.



Şekil 1.6 Dış mekân üretim havuzları

1.1.2 İç mekân üretim sistemleri

İç mekân mikroalg üretim sistemleri ise, küçük ölçekli torbalar, tübüler ve düz-levha fotobiyoreaktörler olarak adlandırılırlar. Dış mekânlardaki mikroalg üretim sistemlerinin iç mekândaki üretim sistemlerine göre en belirgin farkı, mikroalg kültürlerinin doğrudan çevre etkilerine maruz bırakılmasıdır. Şekil 1.7’de geniş dairesel üretim havuzları görülmektedir.



Şekil 1.7 Geniş dairesel üretim havuzları.

Botryococcus braunii, *Chlorella* ve *Spirulina* hiçbir yapay karışım olmaksızın üstü açık, sığ ve geniş dairesel havuzlarda karışımı sağlanarak üretimi yapılabilmektedir. Çizelge 1.2’de mikroalglerin ortalama üretim şartları verilmiştir.

Çizelge 1.2 Mikroalglerin ortalama üretim şartları (Eliçin ve ark, 2009).

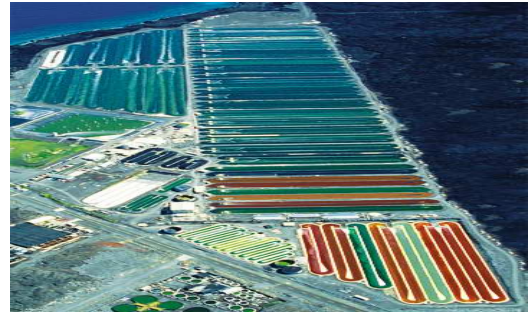
Parametreler	Sınır değerleri	Optimum şartlar
Sıcaklık (°C)	16 – 40	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Işık yoğunluğu (lux)	1000 – 10000	2500 – 5000
Işıklanma süresi (Gündüz:gece h)	-	16:8 minimum 24:0 maksimum
pH	7 – 9	8,2 – 8,7

1.1.3 İç mekân ve dış mekân üretim sistemlerinin karşılaştırılması

Açık havuz sistemleri büyük ölçüde çeşitlilik göstermektedir. Bunun temel nedeni ise, bu sistemlerin ekonomik olması ve iç mekân üretim sistemlerinin ise yüksek teknoloji gerektirmesiyle pahalı olmasıdır. Buna rağmen, çok az sayıda mikroalg kültürü dış mekânda yetiştirilebilmektedir. Şekil 1.7’de doğal, Şekil 1.8’de ise açık havuzlu yetiştirme sistemleri görülmektedir.



Şekil 1.8 Doğal gölet yetiştirme sistemi



Şekil 1.9 Açık havuz yetiştirme sistemi

Ayrıca dış ortamda, kültür kirletici etmenlerce bulaşık olması mümkün olmaktadır. Önemli oranda buharlaşmayla oluşan kayıplar, hem CO₂'nin atmosfere yayılımı hem de sürekli buharlaşma ve kirlenme tehlikesi açık havuz sistemlerinin diğer dezavantajlarıdır. Şekil 1.10’da dış mekân üretim sisteminden örnek alım çalışması görülmektedir.



Şekil 1.10 Dış mekân üretim sisteminden örnek alınması

1.1.4 Geniş torbalar ve polyester tanklarda üretim

Aquakültürde kullanılan diğer sistemler, geniş torbalar ve polyester tanklardır. Bu tanklarda doğal güneş ışığından faydalanılarak üretim yapılmaktadır. Bu sistemlerin dezavantajları ise, üretim performanslarının garanti altında olmayışı ve üretimin önceden belirlenememesidir. Plastik torbalarda mikroalg üretiminin dezavantajları ise, üretimin kesikli olması fazla bir işçilik gerektirirken, sistem hacmi göreceli olarak arttırılmaktadır. Büyük ölçekte yapılan üretimlerde ise ışıktan yararlanma azalabilmekte ve dolayısıyla üretim arzu edilen kalitede olmamaktadır. Şekil 1.11’de geniş torbalarda, Şekil 1.12’de ise polyester tanklarda üretim görölmektedir.



Şekil 1.11 Geniş torbalarda üretim



Şekil 1.12 Polyester tanklarda üretim

1.1.5 Fotobiyoreaktörlerde üretim

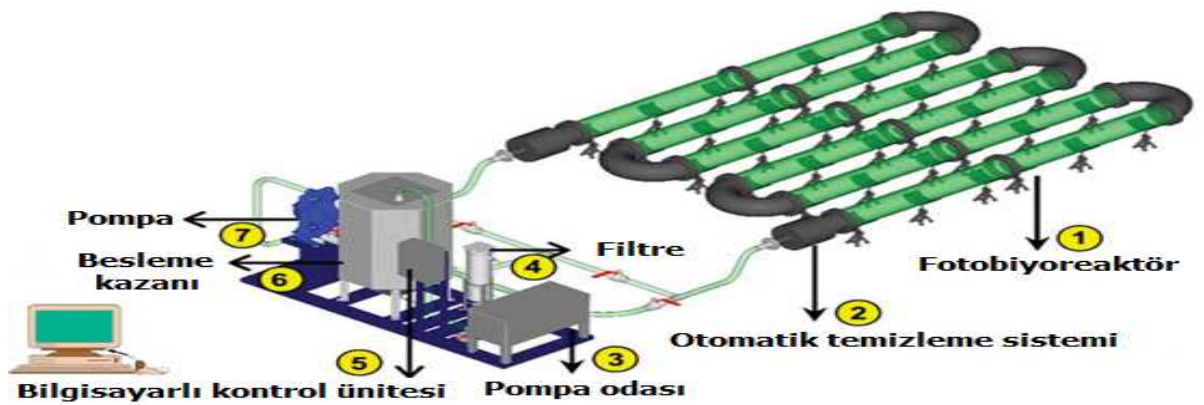
Mikroalg üretimi için kullanılan teknik tasarımlardan oluşan sistemler fotobiyoreaktörler olarak adlandırılmaktadır. Dış mekândaki fotobiyoreaktörler, mikroalg üretimi için tasarlanmış, güneş ışığının yeterli olduğu dış mekânlarda, saydam silindirik borular içerisinde algin bulunduğu, sürekli dolaşım sistemine dayanan modellerdir. Şekil 1.13’de dış mekan fotobiyoreaktör tipleri görölmektedir.



Şekil 1.13 Dış mekân fotobiyoreaktör örnekleri

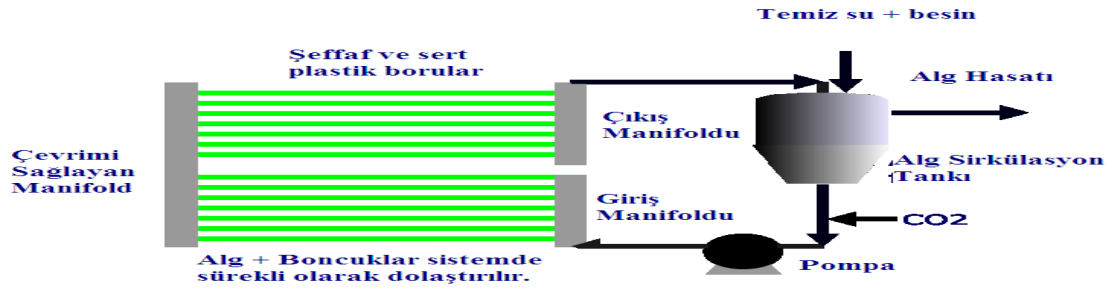
1.1.5.1 Tübüler fotobiyoreaktörler

Tübüler fotobiyoreaktörlerde şeffaf boru biçimindeki reaktörler büyük ölçekli olarak geliştirilebilmektedir. Biyo-Fence adı verilen ticari üretim sistemlerinde çok sert ya da esnek yapılı şeffaf plastik boru veya tüpler kullanılmaktadır. Sayıları ve çapları artırılarak üretimde artırılabilir. Mikroalglerin biyoreaktör içerisindeki dolaşimleri pompa yardımıyla olmaktadır. Tüpler, dikey ya da yatay bir şekilde düzenlenerek kapalı ya da açık alanlarda belirli açıyla inşa edilirler. Şekil 1.14’de tübüler tip fotobiyoreaktörün parçaları görülmektedir.



Şekil 1.14 Tübüler tip fotobiyoreaktör

Şeffaf ya da plastik tüplerin yüzeylerine biriken mikroalglerin temizlenmesinde özel boncuklar kullanılmaktadır. Bu boncuklar algler ile beraber dolaştırılarak sistemin temizliği sağlanmaktadır. Daha büyük ölçekli bir üretim düşünüldüğünde, tüplerin uzunluğu ve çapları artırılarak akışların rahatlatılması gerekmektedir. Bu durumda daha büyük bir pompaya gereksinim duyulmaktadır. Şekil 1.15’de tübüler tip fotobiyoreaktörün çalışma prensibi görülmektedir.



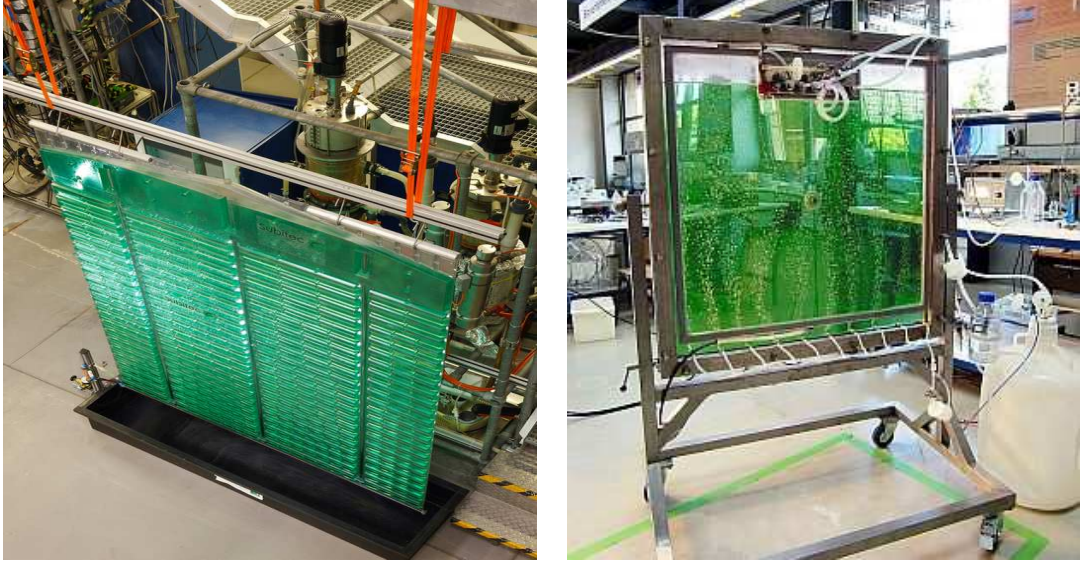
Şekil 1.15 Tübüler tip fotobiyoreaktörün çalışma prensibi

Sistemde boyut ve hacim artışına paralel olarak ışık, CO₂ tüketimi ve O₂'nin ortamda birikimi (satürasyon) söz konusu olmaktadır. Bu durum, tüplerin üst kısmında oksijen üretiminden dolayı köpüklenme ve hücrelerin fotooksidasyon nedeniyle ağarması şeklinde kendini belli etmektedir. Kapalı sistemleri sürdürmek ve yapılandırmak çok pahalıdır. Ancak bu sistemler kesin olarak tek bir tür için uygulanmalıdır. Kapalı reaktörlerin mikroalg üretiminde bulaşıklığı önlemek ve yüksek yoğunluktaki ışığın etkin kullanımı ile yüksek üretim sağlamak, ısı kontrolü ve dış mekânda tasarlanan kapalı biyoreaktörlerde güneş ışığını kullanılabilme özellikleri gibi birçok avantajları vardır. Kapalı fotobiyoreaktörlerde kültür ortamını kontrol etmek kolay olduğu gibi, ürün istenilen kalite ve verimlilikte olmaktadır.

1.1.5.2 Levha şeklindeki fotobiyoreaktörler

Fotobiyoreaktör çeşitlerinden bir diğeri ise levha şeklindeki fotobiyoreaktörlerdir. Levha şeklindeki fotobiyoreaktörlerin başlıca ilkesi veya ince çaplı boru fotobiyoreaktörlerin tasarlanmasındaki temel ilke, yüzey genişliğini arttırarak ışığın

etkin kullanımını sağlamaktır. Şekil 1.16’da şeffaf plastik düz levha ve cam tipi düz levha fotobiyoreaktörler görülmektedir. Borulu fotobiyoreaktörlerin içindeki çap önemli bir biçimde azaltılmış ve düz levha şeklindeki biçimler tercih edilmiştir. Bu tasarımların hepsi tamamen cam veya şeffaf plastikten meydana gelmektedir.



Şekil 1.16 Şeffaf plastik düz levha fotobiyoreaktör ve cam tip düz levha fotobiyoreaktör

1.1.5.3 Biocoil tip fotobiyoreaktörler

Bütün bunların dışında Biocoil denilen, kuleyi saran küçük çaplı şeffaf plastik borulardan meydana gelen helozoik tüplü fotobiyoreaktörler de bulunmaktadır. Biocoil tasarımları eşit karışım sağlamakta ve alglerin tüplerin içlerine yapışması en aza indirgenmektedir. Taşınması kolay oldukları için, iş gücü en aza indirgenerek üretim süreci otomatik hale getirilmektedir. Fakat bu sistem bütün mikroalg türleri için uygun değildir. Şekil 1.17’de biocoil tip fotobiyoreaktörlere örnekler verilmiştir.



Şekil 1.17 Biocoil tip fotobiyoreaktör örnekleri

1.2 Dünyadaki Üretim Durumu

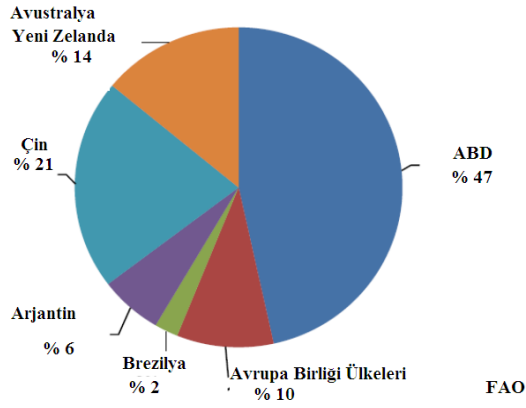
Mikroalglar genellikle ada ülkelerinde besin olarak kullanılmaya olanakları nedeniyle dikkati çekerek zamanımıza kadar artan bir ilgiyle gözlenmiştir. Bu nedenle çok uzun bir tarihsel geçmişleri bulunmaktadır. Mikroalglerin bilinen en eski kullanım sahası gübre olup en çok uzak doğuda kullanılmıştır. Avrupa’da 12. yüzyılda Fransa, İrlanda, İngiltere gibi kıyıları geniş ülkelerde bu tip değerlendirme çok olmuştur. Fransa mikroalglerden yararlanmaya genel olarak 17. yy. başlamıştır. İngiltere de 1720 yılından itibaren mikroalg toplanmaya başlanmış ve bu yüzyılın sonlarında İskoçya’da yıllık mikroalg üretiminin 20.000 ton kuru alg ağırlığına eriştiği söylenmektedir. Bu değer de yaklaşık olarak 400.000 ton yaş alg’e eşdeğer kabul edilmektedir. Günümüze gelindiğinde Avrupa ve Amerika’da endüstrinin birçok alanında bazı ürünlerin ham maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle mikroalgleri her yönleriyle incelemeye ve üzerinde durulmaya değer organizmalar olarak karşımıza çıkmaktadırlar. Hızla gelişen yenilenebilir enerji kaynakları piyasasında mikroalgler büyük bir öneme sahiptir. Son yıllardaki çalışmaları ile Amerika mikroalg üretiminde öncü olmuştur. Amerikan hükümetinin dikkatini çekmeyi başaran mikroalgler, 2010 yılının ortalarında, Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından, alg tabanlı biyoyakıtları ticarileştirmek için yollar arayan 3 araştırma grubuna 24 milyon dolar para vermeyi taahhüt etmiştir. Şekil 1.18’de Amerika’da kurulan alg üretim şirketi Algeponics’e ait bir görüntü.



Şekil 1.18 Amerika’da alg üretim şirketi Algeponics

1.2.1 Ülkelere göre mikroalg üretimi

Ülkelere göre 2009 yılında mikroalg üretim paylarına bakıldığında % 47 ile Amerika Birleşik Devletleri sektörde liderdir. Amerika Birleşik Devletleri üretimini yaptığı mikroalglerin büyük bir bölümünü ilaç ve kozmetik sanayinde kullanmaktadır. Biyoyakıt üretimine çok az bir pay ayırmaktadır. Yaptığı % 21’lik üretimle Çin ikinci sırada yer almaktadır. Çin üretimini yaptığı mikroalglerin tümünü gıda sektöründe kullanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri ve Çini yaptığı % 14 ile Avustralya ve Yeni Zelanda takip etmektedir. Başlı çeken iki ülkenin aksine biyoyakıt konusunda ürettiği mikroalgleri en verimli kullanan ülke Yeni Zelanda’dır. Bu beş ülkeyi yaptıkları üretimlerle % 10 ile Avrupa Birliği Ülkeleri, % 6 ile Arjantin, % 2 Brezilya takip etmektedir. Şekil 1.19’da 2009 yılında yapılan son araştırmaya göre ülkelerdeki mikroalg üretim payları gösterilmiştir.



Şekil 1.19 Ülkelere göre mikroalg üretim payı (Fao,2009)

1.2.2 Dünyadaki mikroalg üretim tesislerinden örnekler

GreenFuel Tech Aurora Biofuels GmbH, Arizona, ABD'nin naylon torba içinde mikroalg üretim denemesi yüksek maliyetlere ulaşmıştır. Çeşitli ülkelerde yer alan alg üretim tesisleri Şekil 1.20, 1.21, 1.22, 1.23 ve 1.24' de gösterilmiştir.



Şekil 1.20 GreenFuel Tech Aurora Biofuels GmbH, Arizona, alg üretim tesisi



Şekil 1.21 Algepower Gmbh Manhattan ,ABD’de yeni kurulan bir fotobiyoreaktör



Şekil 1.22 İspanya’da Synthetic Genomics Gmbh ait bir mikroalg üretim tesisi



Şekil 1.23 İsrail’den; Algae Technologies Gmbh tesisi



Şekil 1.24 Almanya'dan Otto Pulz laboratuvarlarına ait kapalı sistem üretim tesisi

Mikroalg tesislerini kuran tüm şirketlerin amacı biyoyakıt üretmektir. Fakat bu tesisler incelendiğinde henüz AR-GE evresinde olduğu görülmektedir. Kuramsal olarak alglerde yakıt üretmenin çok zor olmadığı ifade edilmektedir. Ne var ki, son 20 yıldır üzerinde çalışılan bu projeyi ticari boyuta çekmek düşünüldüğü kadar kolay değil. Dünyada pek çok şirket mikroalglerden biyoyakıt üretmeye çalışsada, yalnızca Yeni Zelanda'da Aquaflo adında bir şirket bir araba motorunu çalıştırabilecek miktarda üretim yapabilmıştır. Şekil 1.25'de Yeni Zelanda'da kurulan Aquaflo isimli firmanın ürettiği biyoyakıt ve mikroalg tabanlı biyoyakıtla çalıştırılan Toyota Prius marka otomobil görülmektedir.



Şekil 1.25 Aquaflo isimli şirketin ürettiği biyoyakıt ve çalıştırdığı otomobil

1.3 Türkiye’de Mikroalg Üretimi

Ülkemizde ÖTV (Özel Tüketim Vergisi) tartışmalarının bir türlü sonuca bağlanamadığı biyodizelde, kanola, soya ve pamuk gibi yağlı tohumlardan sonra şimdi de mikroalglerden üretim devri başlamaktadır. Bu konuda ülkemizde faaliyet gösteren az sayıda kuruluştan biri de Ege Biyoteknoloji şirkettir.

Gerekli çalışmalar için Tübitak’tan destek alan Ege Biyoteknoloji A.Ş, projenin %40’ını Tübitak’ın karşıladığını ve şu anda yağ verimi en yüksek olan mikroalgler üzerinde çalışmaktadır. Kuruluş bünyesinde bulunan mikroalg laboratuvarında geniş çaplı araştırmalar yapılmakta ve yaklaşık 30 türün yer aldığı bir kültür koleksiyonu mevcut bulunmaktadır. Şekil 1.26’da Ege Üniversitesi Biyomühendislik bölümü mikroalg üretim serası görülmektedir.



Şekil 1.26 Ege Üniversitesi Biyomühendislik bölümü mikroalg üretim serası

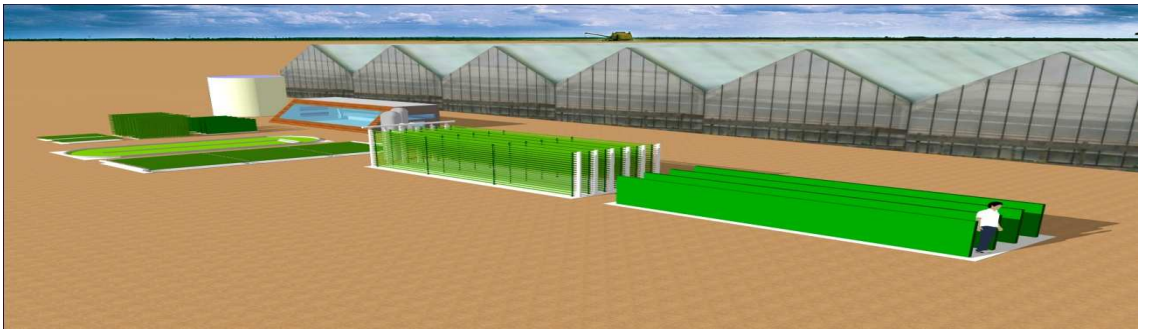
Projeyi destek verecek özel sektör kuruluşu olan EGE BİYOTEKNOLOJİ A.Ş. ise, Bergama’daki Üretim Tesisleri’nde biyoyakıt üretmekte; bunun yanı sıra, KOSGEB kredisiyle kurulan laboratuvarlarında üretilen biyoyakıtın standartlara uygunluğunu saptamak için gerekli olan analizleri yapma yetkinliğine sahip bulunmaktadır. Şekil

1.27’de İzmir Bergama’da Ege Biyoteknoloji A.Ş’ ye ait mikroalg üretim tesisi görülmektedir.



Şekil 1.27 İzmir Bergama’da Ege Biyoteknoloji A.Ş’ ye ait mikroalg üretim tesisi

Projeye destekleyen diğer kuruluşlardan Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Araştırma ve Uygulama Merkezi (ÇEVMER), mikroalg üretimi için kullanılacak arıtılmış atık suyun teminini sağlayacak ve mevcut laboratuarlarda, suyun ve mikroalg hasatları sonunda oluşan ortamın özelliklerini belirlemek için gereken kimyasal ve fiziksel analizleri gerçekleştirilecektir. Ayrıca yağ ekstrasyonu ve biyoyakıt üretimi süreçlerine de katkı sağlayacaktır. Şekil 1.28’de Ege Biyoteknoloji A.Ş’nin 2012 yılında kurmayı planladıkları tesisin örneği verilmiştir.



Şekil 1.28 Ege Biyoteknoloji A.Ş’nin 2012 yılında kurmayı planladıkları tesisin örneği

1.4 Mikroalglerden Yağ Elde Edilmesi

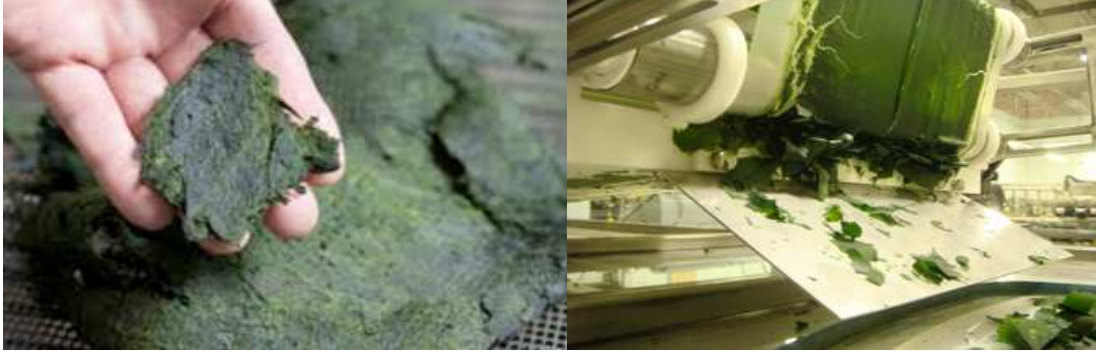
Mikroalglerden yağ eldesi için öncelikle kültür ortamında belirli bir olgunluğa gelen mikroalglerin hücre sayımı yapılmaktadır. Yeterli hücre sayısına erişen (türe göre değişen) mikroalgler ayrı bir tanka alınarak streslendirme uygulanır. Streslendirmeye maruz bırakmak için besin tankından yoğun miktarda katalizör verilir. Katalizör uygulanmaz ise, Çizelge 2.2' de verilen ortalama üretim şartlarından belirli parametreler değiştirilir. Streslendirme uygulaması mikroalglerin yağ çıkarma işleminden önce hızlı yağ bağlamasını sağlayacaktır. Streslendirme uygulandıktan sonra yağ çıkarma işlemine geçilir. Yağ çıkarma işleminin ilk aşaması Lab – 50 Mikroalg hasat ünitesinde mikroalglerin suyunun alınması işlemidir. Lab – 50 Mikroalg hasat ünitesi içerisinde serbest dolasan hava sayesinde ve sonsuz dönen bir bant yardımıyla mikroalglerin suyunun alınması sağlanır. Şekil 1.29'da Lab – 50 mikroalg hasat ünitesinin işlem şeması görülmektedir.



Şekil 1.29 Lab – 50 mikroalg hasat ünitesi işlem şeması

Lab – 50 mikroalg hasat ünitesinden çıkarılan mikroalglerin suyu tamamen alınmıştır. Suyu alınmış mikroalglere pul adı da verilir. Pul haline gelmiş mikroalgler yağının alınması için baskı makinalarına gönderilir. Ekonomik boyutta üretim yapan firmalarda mikroalgler için özel üretilmiş yağ çıkarma makinaları mevcuttur. Özel yağ çıkarma makinaları bulunmayan işletmelerde eski tip yağ çıkarma makinalarında

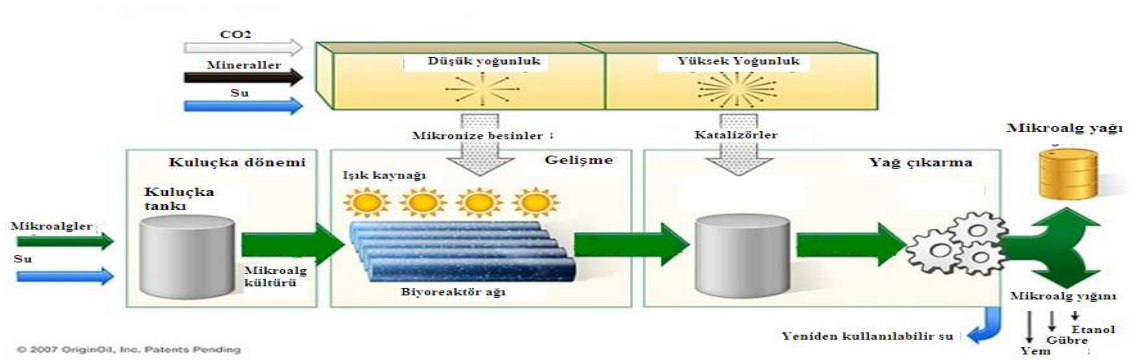
kullanılmaktadır. Şekil 1.30’da suyu alınmış ve pul haline getirilmiş mikroalgler, şekil 1.31’de ise mikroalg yağ çıkarma makinası görülmektedir.



Şekil 1.30 Pul haline gelmiş mikroalgler

Şekil 1.31 Mikroalg yağ çıkarma makinası

Yağı çıkarılan mikroalgler, makinanın alt kısmından alg yığını olarak geri verilir. Yağ ise kapalı bir hazneye alınır. Mikroalg yığınları etanol, gübre ve yem olarak değerlendirilebilir. Yığın özellikle Avrupa’da pelet yem olarak kullanılmaktadır. Şekil 1.32’de mikroalg üretim aşamaları ve yağ elde edilme şeması görülmektedir.



Şekil 1.32 Mikroalg üretim aşamaları ve yağ elde edilme aşaması

1.5 Mikroalglerin Yakıt Özellikleri

Mikroalgler, bünyesinde yaklaşık %80 den fazla oleik asit (C18:1) ve palmitoleik asit (C16:1) gibi yağ asitleri sayesinde yüksek enerji içerirler. Çizelge 1.3’de mikroorganizmaların biyodizel üretiminde birinci derece önemli olan yağ asit kompozisyonları görülmektedir.

Bu sebeple mikrolagleri yakıtı çevirmek oldukça elverişlidir. Çizelge 1.4'de bazı biyodizel kaynaklarının yağ verimlerinin karşılaştırılması görülmektedir.

Çizelge 1.3 Mikroorganizmaların biyodizel üretiminde birinci derecede önemli olan yağ asit kompozisyonları (Xu et all, 2006)

	16:0 Palmitik asit	16:1 Palmiteloik asit	18:0 Stearik asit	18:1 Oleik asit	18:2 Linoleik asit	18:3 Linolenik asit
Mikroalg	18 – 21	55 – 57	1 – 2	58 – 60	4 – 20	14 – 30
Maya	11 – 37	1 – 6	1 – 10	28 – 66	3 – 24	1 – 3
Mantar	7 – 23	1 – 6	2 – 6	19 – 81	8 – 40	4 – 42
Bakteri	8 – 10	10 – 11	11 – 12	25 – 28	14 – 17	-

Çizelge 1.4 Bazı biyodizel kaynaklarının karşılaştırılması (Xu et all, 2006).

ÜRÜN	YAĞ ÜRETİMİ (l/ha)
Mısır	172
Soya	446
Kanola	1190
Jatropha	1892
Hindistan cevizi	2689
Palmiye	5950
Mikroalg (% 70 yağ içerikli)	136900
Mikroalg (% 30 yağ içerikli)	58700

1.6 Mikroalglerden Yakıt Üretme Yöntemleri

Mikroalgleri biodizele çevirmede kullanılan yöntemlere piroliz, gazifikasyon ve transesterifikasyon yöntemleri örnek verilebilir.

1.6.1 Piroliz yöntemi

Piroliz; biyokütlenin hava olmadan ısıtılmasıyla sıvı bir kısma (bio-petrol), katı bir kısma (odun kömürü) ve gaz bir kısma dönüşümüdür. Piroliz, biyokütleyi daha faydalı bir yakıtta dönüştürmede kullanılan temel termokimyasal süreçtir. Piroliz, biyokütle dönüşümü için en etkili süreç olup, yenilenebilir olmayan fosil yakıt kaynaklarıyla başa çıkabilir ve sonunda onlarla yer değiştirebilir. Biyokütlenin ham petrole dönüşüm verimi, çok hızlı piroliz süreciyle %70' e ulaşmaktadır. Şekil 1.33'de piroliz cihazı görülmektedir.



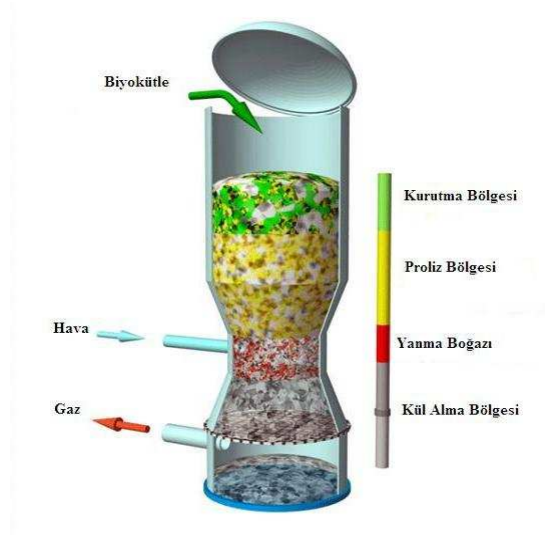
Şekil 1.33 Proliz cihazı

Biyokütle, pirolizinden elde edilen sıvı ürünlerin verimini maksimum yapmak amaçlanıyorsa; düşük bir sıcaklık, yüksek ısıtma hızı, kısa gaz bekleme zamanı sürecine ihtiyaç vardır. Yüksek yanıp kömürleşme üretimi için; düşük bir sıcaklık, düşük ısıtma hızı süreci seçilecektir. Pirolizden elde edilen yakıt gazının verimini maksimum yapmak amaçlanıyorsa, yüksek bir sıcaklık, düşük ısıtma hızı, uzun gaz bekleme zamanı sürecine ihtiyaç vardır.

1.6.2 Gazifikasyon yöntemi

Piroliz sırasında baskın olarak ikincil gaz yakıt elde edilme işlemine “gazifikasyon” adı verilmektedir. Gazifikasyon, biyokütleyi karbon monoksit, hidrojen ve metandan oluşan

yanabilir bir gaz karışımına dönüştürür. Elde edilen gaz, orijinal katı biyokütleden daha esnektir, süreç ısısı ve buhar üretmek için yakılabilir veya elektrik üretmek için gaz türbinlerinde kullanılabilir. Şekil 1.34’de gazifikasyon işlem şeması görülmektedir.



Şekil 1.34 Gazifikasyon işlemi şeması

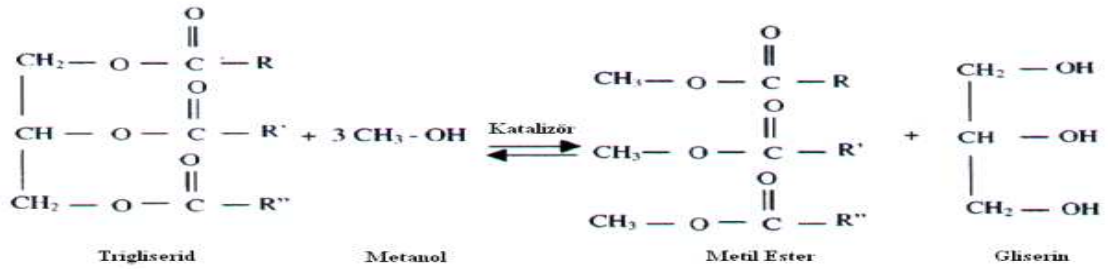
1.6.3 Transesterifikasyon yöntemi

Transesterifikasyon yöntemi ise; yağların, bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem viskoziteyi azaltmada en etkili yöntemdir. Örnek olarak hint yağında yapılan bir transesterifikasyon işleminde ham hint yağının viskozitesi 100 °F’da 1100 Redwood saniye iken, transesterifikasyon işleminden sonra aynı sıcaklıkta 74 Redwood saniyeye düşmüştür. Transesterifikasyon işlemi günümüzde yaygın olarak yapılmakta hatta bununla ilgili birçok ülkede tıpkı petrol rafinerileri gibi tesisler kurulmaktadır. Şekil 1.35’de transesterifikasyon tesislerinden örnekler görülmektedir.



Şekil 1.35 Transesterifikasyon tesisleri

Transesterifikasyon yöntemi dengeli bir reaksiyon olup, reaksiyon özellikle kullanılan katalizörün tam olarak karıştırılmasıyla meydana gelmektedir. Katalizörün varlığı reaksiyonun dengeye gelmesini hızlandırıcı bir etki etmektedir. Yine de, yüksek oranda ester elde etmek için fazla miktarda alkol kullanılması gerekmektedir. Transesterifikasyon işleminde bir trigiliserid ile alkol güçlü bir asit veya temel katalizörün eşliğinde reaksiyona sokularak, reaksiyon sonucunda asitçe doymuş alkil ester ve gliserin elde edilmektedir. Tüm işlem incelendiğinde ise reaksiyonun, zincirleme bir şekilde ard arda gelen ara ürün olarak di ve monogliseridlerin oluştuğu ve 3 kademeli çift yönlü bir reaksiyon olduğu görülmektedir. Şekil 1.36'da transesterifikasyon mekanizması görülmektedir.



Şekil 1.36 Transesterifikasyon mekanizması

Benzer şekilde mikroalglerden elde edilen yağ, bir alkolle (etanol, metanol), katalizör (asidik, bazik ve enzim) varlığında yağ asidi metil esterleri ve gliserine dönüşmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu sırasında mikroalg yağı verimini etkileyen değişkenler, alg yağının kalitesi, alkolün mikroalg yağına göre molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi, katalizör çeşidi ve miktarıdır. Reaksiyon sonucunda gerçekleşen

dönüşümün miktarı, üst fazın gaz kromatografisinde veya ince tabaka kromatografisinde analiz edilmesiyle bulunabilmektedir. Şekil 1.37’de gaz kromatografisi cihazlarına örnekler verilmiştir.



Şekil 1.37 Gaz kromatografisi cihazları

Belirli bir alandan elde edilen mikroalg tabanlı yağların, bitkisel ve hayvansal yağlara göre çok yüksek olduğundan dolayı, mikroalg biyodizeli çok daha ekonomik olmaktadır. Günümüzde yapılan çalışmalar ise, yetiştiricilik açısından mikroalg yetiştirme maliyetlerinin azaltılması, süreçlerin ekonomik hale getirilmesi, elde edilen biyodizelin motor performans ve emisyonları üzerinde yoğunlaşmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Goldman, alg üretiminin günümüzde artık sanayi kolu haline gelen atık su arıtımı ve güneş enerjisinin biyomasa dönüştürülmesi gibi alanlarda bilinen en etkili yol ve en ekonomik yol olduğunu belirlemiştir. Ayrıca su ürünleri yetiştiriciliğinde, larva üretimi yapılan tesislerde alg kültür üniteleri, sistemin en önemli basamağı olduğunu belirtmiştir.

Gökpınar, 1983 yılında yaptığı araştırmada mikroalg hücrelerinin gelişimini çeşitli faktörlerin etkilediğini belirtmiştir faktörlerin ışık, sıcaklık, havalandırma-karıştırma gibi fiziksel faktörler ile sterilizasyon, mineral tuzlar, karbon gazı, pH ve tuzluluk gibi kimyasal faktörlerin etkin olduğunu bildirmiştir. Tuzluluğun, mikroalg gelişimini, metabolizmasını ve dağılımını etkileyen en önemli ekolojik faktörlerden birisi olduğunu belirtmiştir. Tuzluluk artışına bağlı olarak hücrelerin fotosentez ve protein sentezi kapasitelerinin azaldığı ve tuzluluğun daha da artırılmasıyla büyüme hızının düştüğü, dolayısıyla üretimde belirgin bir kaybın görüldüğünü ifade etmiştir.

Gökpınar ve Cirik, 1991 yılında yaptıkları araştırmada Türkiye’de *Phaeodactylum tricorutum* türünde farklı besin ve %35, 70 ve 140 tuzluluk derişimlerdeki etkilerini araştırmışlar ve organizmanın koşullara farklı periyotlarda adapte olduğu ve farklı büyüme hızları gösterdiğini belirlemişlerdir. *Phaeodactylum tricorutum* türünün geniş ölçekli yığın kültürleri üzerine tuzluluğun etkisi %20 ve 35 tuzluluk derişimlerinde incelemişler ve büyüme hızı ve biyomas dağılımı açısından %20 tuzluluk derişimi daha iyi sonuçlar verdiğini saptamışlardır.

Fox, 1993 yılında yaptığı araştırmada, *Spirulina*’nın birçok uluslararası kuruluş tarafından araştırılmış ve üretiminin teşvik edilmiş olduğunu belirtmiştir. 1970’li yıllarda Amerikan Uzay ve Havacılık Dairesi (NASA) tarafından uzay çalışmalarında kullanılmak üzere *Spirulina* türü mikroalglerin besin yapıldığını bildirmiştir. Merkezi Fransa’da olan Beslenme Bozukluklarına Karşı Algokültür ile Mücadele Kurumu (Association Pour Combatre La Malnutrition Par Algoculture ACMA) beslenme bozukluklarına karşı Afrika ve Hindistan gibi açlık problemi olan ülkelerde halkı

Spirulina üretip, yemeye teşvik ederek kalıcı bir yardım sağlama amacını güttüğünü belirtmiştir.

Kozlenko ve ark., 1998 yılında yaptıkları çalışmada kuru ağırlığının %4-7 oranında lipid içeren *Spirulina*, linoleik asit (LA) ve γ -linoleik asit (GLA) gibi yağ asitlerini bünyesinde taşıdığını belirtmişlerdir. Yağ asidinin ise gama linoleik asit (GLA)'ce zengin tek gıda olduğunu belirtmişlerdir. GLA'nın bazı hayvanlarda büyümeyi uyararak cilt ve saçlarda parlaklık ve yumuşaklık sağladığını, gamalinoleik asidin ise bir anti-inflamator olarak işlev göstermekte olduğu ve bazı eklem rahatsızlıklarının semptomlarını azalttığını bildirmişlerdir.

Scragg ve ark., 2002 yılında yaptıkları çalışmada mikroalglerden biyodizel üretimi için tübüler fotobiyoreaktörde yetiştiricilik yaparak iki tür denemişlerdir. *Chlorella vulgaris* ve *C. Emersonii* çeşitlerini 230 l'lik bir biyoreaktörde yetiştirmişler ve yetiştirme parametrelerini incelemişlerdir. Yetiştirme sırasında biyoreaktöre kesikli olarak nitrojen uygulamışlardır. Araştırmalarının sonucunda düşük nitrojende yağ bağlama oranının yüksek, yüksek nitrojende ise yağ bağlama oranının düşük olduğunu bildirmişlerdir.

Abu-Rezq ve ark., 2004 yılında Kuveyt'in Bubiyan adasındaki durgun su birikintilerinde *Dunaliella salina* türünün doğal gelişimini gözlemlemişler ve Avusturalya'dan izole ettikleri saf bir *Dunaliella salina* çeşitiyle kendi izole ettikleri çeşidi iki deney seti kurarak gelişmelerine etkili optimum parametreleri incelemişlerdir. Kurdukları deney setlerinde ışık şiddeti, pH, tuzluluk gibi parametrelerin ölçümlerini gerçekleştirmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; *Dunaliella salina* çeşitinin yüksek tuzluluk (450 ppm), düşük sıcaklık (20 °C), yüksek ışık (18×10^3 lüks) ve yüksek pH derecesinde (9,18) veriminin en yüksek olduğunu ortaya koymuşlardır.

Gökşan ve ark. 2006 yılında yaptıkları çalışmada, sera içerisinde bulunan *Spirulina*'nın büyüme karakteristiklerini incelemişlerdir. Araştırmalarında, şeffaf bidonlar, polietilen torbalar ve raceaway tipi tüpler kullanmışlardır. Diğerlerine nazaran kültür sıcaklığının daha yüksek olması nedeniyle, bidon kültüründe daha yüksek hücre yoğunluğuna ulaşıldığını, kuru ağırlık miktarlarının ise bidon kültürleri için 0.99 g/l, diğerleri için ise

0.5 g/l olduğunu belirlemişlerdir. Spesifik büyüme hızlarını ise bidon, torba ve havuz kültürleri için sırasıyla %33.4, 54.5 ve 58.3 olarak belirlemişlerdir. Araştırmanın sonunda, küçük hacimli kültür sistemlerini kullanılmasının, özellikle kış aylarında büyümeyi engelleyen en önemli faktör olan sıcaklığı artıracaklarını, buna ek olarak, kültürlerde küçük hacim yanında kısa ışık yolu kullanımında daha yüksek üretim sağlayacaklarını bildirmişlerdir.

Yılmaz, 2006 yılında yaptığı bir çalışmada, ticari mikroalglerin üretiminde yeni türleri ve bu türlerin ticari üretimini temin edecek kapalı fotobiyoreaktörlerin farklı tasarımlarında ortaya konulan gelişmeleri incelemiştir. *Spirulina* ve *Dunaliella* gibi seçici bir büyüme ortamında kültür edilen mikroalg yığın kültürlerinde açık sistemlerin başarısına rağmen, *Haemetococcus* ve *Phaeodactylum* gibi ticari anlamda kullanılan fakat seçici ortam koşullarına sahip olmayan mikroalg türlerinin kapalı sistemlerde üretimi daha başarılı olduğunu belirlemiştir. Ancak bu sistemlerin yüksek üretim maliyetinin son zamanlara kadar ticari uygulamasını engellediğini bildirmiştir. Düz panel reaktör ve tübüler fotobiyoreaktör tasarımlarının temel ilkesini ise; kültüre edilen hücrelerin ışıktan daha fazla yararlanacağını, böylece zararlı gazların birikimini kültür sistemlerinden uzaklaştıran uygun bir karıştırma ve hücrelerin ışıktan daha verimli yararlanmasını sağlayarak daha yüksek biyomas yoğunluklarına ulaşmasının mümkün olacağını belirlemiştir. Araştırmanın sonucunda ise panel ve tübüler fotobiyoreaktörlerin sürekli üretime uygunluğunu bildirmiştir.

Miao ve Wu, 2006 yılında yaptıkları çalışmada mikroalg yağından biyodizel üretim metodlarını incelemişlerdir. Biyodizel üretimi için *Chlorella protothecoides* türünü seçmişlerdir ve bu türü seçmelerindeki nedeni yüksek yağ oranı olarak açıklamışlardır (%55). Yağ çıkarma işleminde hekzan yöntemini kullanmışlardır. Biyodizele çevrim işleminde ise asidik transesterifikasyon metodunu kullandıklarını bildirmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; mikroalglerden biyodizel üretiminin yeni bir süreç olduğu, biyomühendislikle kombine edildiği takdirde yüksek kaliteli biyodizel üretiminin mümkün olacağını bildirmişlerdir.

Chisti, 2007 yılında yaptığı çalışmada petrol kaynaklı yakıtların tükenmekte olduğunu ve karbondioksit salınımının yüksek olmasından dolayı kullanımının sürdürülemez olduğunu bildirmiştir. Biyodizel üretimi için, yemeklik atık yağ ve hayvansal yağın gereksinimi karşılayamayacağını vurgulamıştır. Mikroalglerin, sadece ulaşım yakıtları için küresel talebi karşılama yeteneğine sahip bir biyodizel kaynağı olduğunu bildirmiştir. Mikroalglerin, tıpkı bitkiler gibi güneş ışığını kullandıklarını ve bu güneş ışığını yağa çevirdiklerini belirtmiştir. İncelediği bazı mikroalg türlerinin yağ oranı bakımından bazı yağ bitkilerinden daha yüksek olduğunu araştırmasında ortaya koymuştur.

Demir ve ark., 2007 tarihinde yaptıkları çalışmada Sarısu Göletinde ki besin düzeyinin belirlenmesi amacı ile su kalite parametreleri, klorofil a, mikroalg kompozisyonu ve sayısını belirlediklerini bildirmişlerdir. Söz konusu olan parametreleri Türk Çevre Mevzuatına göre tartıştıklarını belirtmişlerdir. Araştırma süresince *Bacillariophyceae*, *Chlorophyceae*, *Chrysophyceae*, *Cryptophyceae*, *Cyanophyceae* ve *Dinophyceae* sınıflarından toplam 31 fitoplankton türü teshis etmişler ve fitoplankton sayısı 495000 hücre/l ile 12808000 hücre/l, klorofil a derisimi ise 1.12 ile 13.2 mg/m³ arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise, gölette hızlı bir ötrofikasyonu işaret etmişler ve bu nedenle besin maddesi artışının kontrol edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir.

İlgi ve Şebnem, 2007 yılında yaptıkları çalışmada atık sulardan azot giderimi amacıyla bir doğal arıtma sistemi olan alg-fotobiyorekatör sisteminde, *Chlorella vulgaris* alg kültürü kullanılarak, hidrolik alıkonma süresi ($\theta_H=1.7$ gün -5.4 gün) ve başlangıç NH₄-N ($10\pm(0.6)$ - $48(\pm1.8)$ mg/L) derişiminin etkisi gibi parametrelerinin sistem üzerine etkilerini incelemiştir. Deneysel çalışmaları, T=26±20 C sıcaklığında, pH=7’de ve 36 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ışık şiddetinde ve L/D= 20/4 saat aydınlık/karanlık periyodunda gerçekleştirmişlerdir. $\theta_H= 2.7$ gün sabit alıkonma süresinde, başlangıç NH₄-N derişimini 10 ± 0.6 mg/L’den 48 ± 1.8 mg/L’ye yükseltilmesi ile çıkış NH₄-N derişimini 2.1 ± 0.5 mg/L to 26 ± 1.2 mg/L düşürdüğünü belirtmişlerdir. En yüksek azot giderim verimi %79±4.5 ile 10 mg /L NH₄-N başlangıç derişiminde elde etmişlerdir. Hidrolik alıkonma süresindeki artış azot giderim veriminde de artış sağladıklarını bildirmişlerdir.

$\theta H=1.7$ gün alıkonma süresinde ve $NH_4-N=20$ mg/L başlangıç azot derişiminde verim $\%35\pm 2.4$ iken, 5.4 gün alıkonma süresinde $\%94\pm 0.2$ ' e yükseldiğini belirtmişlerdir.

Amin, 2008 yılında yaptığı bir çalışmada, mikroalglerin yenilenebilir enerji kaynakları için büyük bir potansiyel olduğunu bildirmiştir. Araştırmasında, mikroalglerin enerjiye dönüşümlerinin ana dönüşüm süreçlerini ele almıştır. Termokimyasal olarak petrol ve gaz üretiminin olabileceğinden, biyokimyasal süreçleri kullanarak etanol ve biyodizelin üretilebileceğini belirtmiştir. Mikroalglerin özelliklerinin bitkisel yağların benzeri olduğundan bu nedenle fosil yakıtların yerine kabul edilebileceğini ortaya koymuştur.

Basha ve ark, 2008 yılında yaptıkları çalışmada biyodizel üretim, yanma performansı ve emisyon değerleri üzerine 1980-2008 yılları arasındaki yaklaşık 130 bilim adamının yaptığı çalışmayı bir arada toplamışlardır. Her geçen gün tükenen fosil yakıtların yerine alternatif yakıtlar bulunması gerektiğini ifade etmişlerdir. Dünyada biyodizel enerji talebini karşılayacak mevcut kaynakların en iyilerinden birisi olduğunu belirtmişlerdir. 350 den fazla yağ içeren bitkinin dizel motorlar için yeni bir umut olduğunu vurgulamışlardır. Araştırma sonucunda ise, bilim adamlarının bitkisel yağların kısa vadeli motor testlerinde kullanımının çok uygun olduğunu fakat uzun vadeli testlerde yüksek karbon inşa ettiği için motorda kontaminasyon etkisi yarattığını bu yüzden dizel yakıtla karıştırılarak kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir

Demirbaş, 2010 yılında yaptığı çalışmada açık, kapalı ve hibrid alg üretim teknolojilerini, üretim maliyetlerini ve alg enerji dönüşümlerini incelemiştir. Sıvı biyoyakıtların fosil yakıt ithalatına bağımlılığı azaltmak için büyük bir potansiyele sahip olduğunu belirtmiştir. Biyoyakıt üretim maliyetlerinin hammadde, dönüşüm süreci, üretim ve bölge ölçeği gibi parametrelere göre büyük değişiklikler gösterdiğini belirlemiştir. Alglerin gelecekte en önemli biyoyakıt olacağını ve mikroalglerin bio-oil, biyoetanol, biyohidrojen ve termokimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle bimešana dönüştürülebileceğini bildirmiştir. Araştırmanın sonunda ise, mikroalglerin biyodizel için umut verici bir kaynak olduğunu belirlemiştir.

Johnson ve Wen, 2009 yılında yaptıkları araştırmada mikroalglerden elde edilen biyoyakıt üretiminin büyük ilgi gördüğünü ve *Schizochytrium limacinum* türünün toplam yağ asidi ve biyokütle bakımından yüksek düzeyde üretim kapasitesine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmanın amacını; *Schizochytrium limacinum* çeşiti kullanılarak biyoyakıt üretme potansiyelinin belirlenmesi olarak bildirmişlerdir. İki aşamalı bir transesterifikasyon metodu kullanmışlardır. Alge dayalı ham biyodizelde metil ester oranı %57 - 66.3 olarak bulmuşlardır. Tek aşamalı transesterifikasyon yönteminde ise ham biyodizel yüksek verime yol açmıştır. Biyodizel üretimi gerçekleştikten sonra ASTM standart testlerine tabi tutmuşlardır. Bu testlerin serbest gliserol, toplam gliserol, asit sayısı, sabun içeriği, bakır korozyon, parlama noktası, viskozite ve partikül madde standartlarını geçemediğini test sonuçlarında ortaya koymuşlardır. Araştırmanın sonucunda *Schizochytrium limacinum* türünün transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel hammadde üretimine uygun olmadığını saptamışlardır.

Naz ve Gökçek., 2006 yılında yaptıkları çalışmada, mikroalglerin biyoteknolojik üretimlerde olduğu gibi yem, gıda, kozmetik ve ilaç endüstrilerinde de kullanıldığını ve değerli hammaddelerin üretiminde büyük bir biyoteknolojik potansiyele sahip olduğunu belirlemişlerdir. Fotobiyoreaktörlerin teknik tasarımlarının, fototropik biyoteknoloji alanında ekonomik başarı için önemli bir konu olduğunu bildirmişlerdir. Gelecekteki uygulamalar açısından, büyük çaptaki üretimler için açık havuz sistemlerinin kapalı sistemlere oranla daha düşük bir yenilik potansiyeline sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmanın temelinde ise; açık havuz sistemleri ve kapalı sistemlerde olduğu gibi farklı algal üretim sistemlerinin fotobiyoreaktörler açısından avantaj ve dezavantajlarını ortaya koymuşlardır.

Vijayaraghavan ve Hemanathan, 2009 yılında yaptıkları çalışmada Anovel yaklaşımı ile alg biyokütlesi kullanarak biyodizel elde etmişlerdir. Alglerdeki lipit oranının ve kurutma işleminin biyokütle çıkarımına etkilerini incelemişlerdir. Alg yağı transesterifikasyonunu etanol kullanarak yapmışlardır ve katalizör olarak potasyum hidroksit kullandıklarını bildirmişlerdir. Ham biyodizel örneğindeki organik bileşikleri analiz etmek için gaz kromatografisi-kütle spektroskopisi (GC-MS) kromatogramı

kullandıklarını belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; alg biyo kütle lipid içeriğini %45, yoğunluğu 0.801 kg/l, kül içeriği %21, parlama noktası 98 °C, yakıt alt ısı değeri 40 MJ/kg ve su içeriğini %0.02 olarak bildirmişlerdir.

Kargbo'nun, 2010 yılında yaptığı çalışmada biyodizelin bitkisel ve hayvansal yağlardan türetilen ve monoalkil esterden oluşan bir yakıt olduğunu bildirmiştir. Son zamanlarda biyodizel ve biyoyakıtlarda ilgi ve talebin oldukça yüksek olduğunu belirtmiştir. Ancak saf bitkisel tohum yağlarının pahalı olmasından dolayı A.B.D de arıtma çamuru biyodizel konusunda oldukça cazibe kazandığını belirtmiştir. Bol ve önemli atık çamur oluşumlarından biyodizel yapımının mümkün olduğunu belirtmiş ancak zorlukları olduğunu da vurgulamıştır. En büyük zorluğun toplama şekli olduğunu bildirmiştir. Bu sorun aşıldığı takdirde çamurdan biyodizel üretiminin çok karlı olacağını belirtmiştir. Araştırmanın sonucunda ise; çamurdan biyodizel üretiminin uzun vadede karlı olacağını, şu anda üretim maliyetinin galon başına 3,11 dolar olduğunu rekabetçi olmak için şu anki petrol fiyatlarının altına düşürülmesi gerektiğini belirtmiştir.

Eliçin ve ark., 2010 yılında yaptıkları çalışmada dünyada enerjiye dayalı savaşların yaşandığını yenilerinin de olabileceği ihtimalinin yüksek olduğu petrol fiyatlarının arttığı bu dönemde alternatif yakıtların mutlaka araştırılması gerektiğini belirtmişlerdir. Bitkisel ve hayvansal kökenli biyodizelin sera gazı salınımının yüksek oluşu, dağıtım şirketlerinin alım zorunluluğunun olmaması gibi nedenlerden dolayı eski cazibesini kaybettiğini belirtmişlerdir. Araştırmalarının sonucunda ise; biyodizel'e rakip olarak mavi, kırmızı, yeşil alglerin yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Huang ve ark., 2010 yılında yaptıkları çalışmada biyodizelin son yıllarda çok fazla ilgi gördüğünü özellikle soya fasülyesi, ayçiçeği ve palmye gibi yağ bitkilerinin üzerine sayısız rapor ve makalenin olduğunu belirtmişlerdir. Biyodizel üretimi için mikroalglerin yeni gelişmekte olan bir alan olduğunu ve biyodizel için yüksek bir potansiyele sahip olduğunu bildirmişlerdir. Lipid içeriğinin yüksek olması ve genetik mühendisliğine bağlı bir şekilde türlerin yağ oranlarının artırılması doğrultusunda çalışılması ile de ileride biyoyakıt üretiminde son derece etkili bir rol oynayacaklarını

belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; biyoteknoloji kullanılarak mikroalglerden biyodizel üretimi potansiyelinin tartışılması gerektiğini bildirmişlerdir.

Ahmad ve ark., 2011 yılında yaptıkları çalışmada bitkisel ve hayvansal yağlar, atık yağlar gibi biyodizel materyalleri artık yerini mikroalglerden elde edilen biyodizel hammaddesine bırakacağını vurgulamışlardır. Sürdürülebilir bir gelecek için mikroalglerin tek kaynak olduğunu bildirmişlerdir. Mikroalg ve palmye yağını karşılaştırmışlar ve bu araştırmanın sonucunda mikroalglerin gıda güvenliği ve çevre açısından daha etkili olduğunu palmyenin ise verimsiz ve sürdürülemez bir enerji kaynağı olduğunu bildirmişlerdir.

Harun ve ark., 2011 yılında yaptıkları çalışmada fosil yakıt fiyatlarındaki artış ve çevresel kaygılarla birlikte alternatif yakıtların önem kazandığını belirtmişlerdir. Bu kaygılarla birlikte mikroalglerden biyodizel üretiminin son derece cazip hale geldiği ve geleneksel yakıtlara göre daha az maliyetli olduğunu belirtmişlerdir. Mikroalglerden biyodizel üretimi sırasında genel biyodizel aşamalarının kullanıldığını belirtmişlerdir. Ayrıca mikroalg yığınlarından metan gazı üretimi yapılarak biyogaz üretileceğini ve diğer biyogaz üretim hammaddelerine göre oldukça verimli bir materyal olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmanın sonucunda ise; biyogaz ve biyodizel üretimi için mikroalg yetiştiriciliğinde genel maliyeti düşürmenin mevcut yakıtlarla daha rekabetçi olacağını bildirmişlerdir.

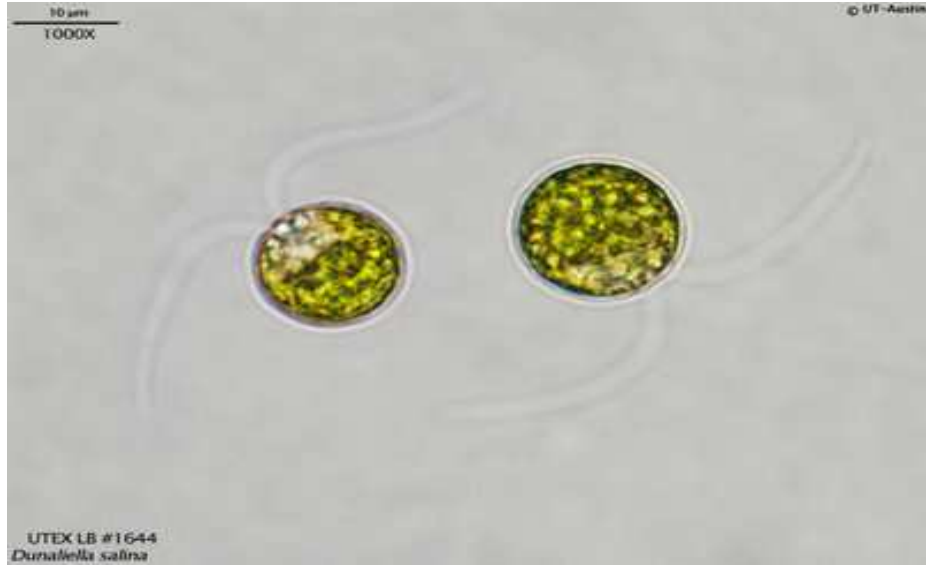
3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Materyal

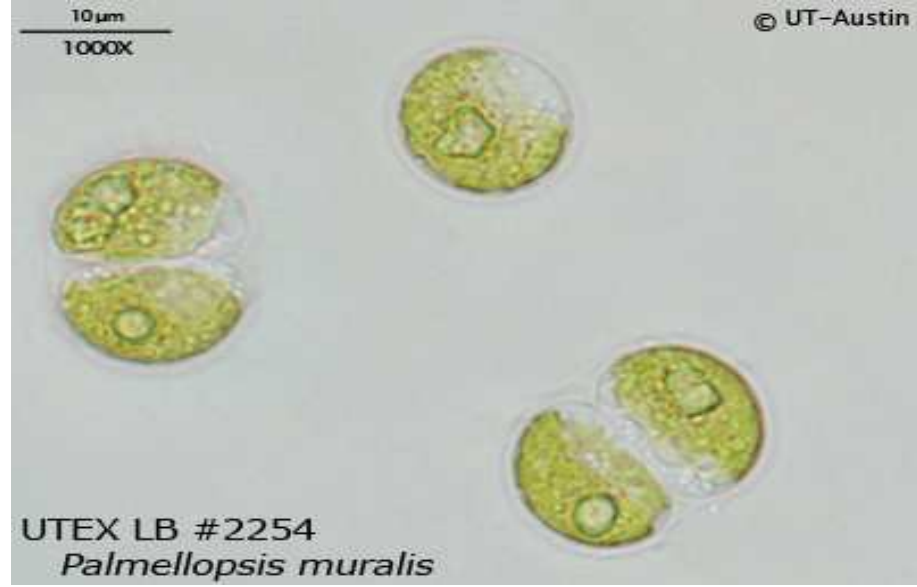
Bu çalışmada, deneme materyali olarak *Palmellopsis muralis* ve *Dunaliella salina* mikroalg türlerin incelenmiştir. Ele alınan bu mikroalg türlerinin demineralize su ortamındaki yetiştirme koşullarına ilişkin parametrelerin belirlenmesi amacıyla mikroskop, pH metre, iletkenlik ve tuzluluk ölçer, lüksmetre, termometre, kompresör ve ısıtıcılar kullanılmıştır.

3.1.1 Mikroalgler

Denemede yağ oranı miktarının fazla olması, kolay bulunabilirlik, kontaminasyona dayanıklılık ve soğukta ve sıcakta yaşam faktörleri göz önüne alındığında, diğer alg türlerine göre *Chlorophyceae* sınıfına ait *Palmellopsis muralis* ve yine *Chlorophyceae* sınıfına ait *Dunaliella salina sp.* türleri seçilmiştir. Şekil 3.1’de *Dunaliella salina sp.* türüne ait mikroskop görüntüleri ve Şekil 3.2’de ise *Palmellopsis muralis* türüne ait mikroskop görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.1 *Dunaliella salina sp.*ait mikroskop görüntüsü



Şekil 3.2 *Palmellopsis muralis* ait mikroskop görüntüsü

3.1.2 pH metre

Denemelerde, ölçüm hassasiyeti 0.01 pH, ölçüm toleransı ± 0.02 pH ve ölçüm aralığı 0.00 – 14.00 olan standart el tipi pH metre kullanılmıştır (Şeki 3.3). 0'dan 14'e kadar olan bir skalada ölçülür. pH teriminde p; eksi logaritmanın matematiksel sembolünden, H ise hidrojenin kimyasal formülünden türetilmişlerdir. pH tanımı, hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması olarak verilebilir.

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+]$$

pH hidrojen iyonun aktivitesi cinsinden bir asit veya bazın derecesini ifade etme yoluyla ihtiyaç duyulan niceliksel bilgiyi sağlamaktadır. Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu $[\text{H}^+]$ ile hidroksil iyonunun $[\text{OH}^-]$ derişimlerinin oranına direk bağlıdır. Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla ise maddemiz bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer OH^- ve H^+ iyonlarından eşit miktarlarda mevcutsa çözelti nötr dür.

Asit ve bazlar herbiri serbest hidrojen ve hidroksil iyonlarına sahiptirler. Belli koşullarda ve belli bir çözeltide hidrojen ve hidroksil iyonlarının ilişkileri sabit olduğu

için, birini tesbit etmek diğerini bilmek ile mümkündür. Bu anlamda, pH tanımsal açıdan hidrojen iyonu aktivitesinin seçici bir ölçümü olsa da, hem alkalinite hem de asitliğin bir ölçüsüdür. pH logaritmik bir fonksiyon olması açısından, pH değerindeki bir birimlik değişim hidrojen iyon derişimindeki on-katlık değişime karşılık gelmektedir.



Şekil 3.3 pH metre

3.1.3 İletkenlik ve Tuzluluk Ölçer

İletkenlik bir su numunesinin elektrik taşıyabilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Ayrıca sulu bir çözeltinin elektriği iletme kabiliyetinin sayısal bir ifadesidir. Platinlenmiş iki elektrod su içine daldırıldığı zaman iki elektrod arasında tatbik edilen bir elektromotor kuvvet altında, çözeltide mevcut iyonlar, elektrotlara doğru hareket ederek elektrik akımını iletirler. Bu da suyun kondüktivitesi veya rezistivitesi olarak tanımlanır.

Bünyesinde iyon bulunduran su da bir iletkenidir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağıl konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. İletkenlik, iyon miktarıyla doğru orantılı olmasına rağmen bazı iyonlar; klorür, sülfat, kalsiyum, magnezyum için bu orantı aynı değildir.

Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir. Böylece hiçbir analiz yapmadan iletkenlik değerinun 0.60-0.75 ile çarpımı suyun toplam tuzluluğu hakkında bir fikir verir. Aynı şekilde, bu ilişkidenden faydalanarak bulunan ampirik sonuca göre, normal sularda iletkenliğin 100'e bölünmesiyle, sudaki anyon (=katyon) toplamı Eq/l olarak hesaplanır. Bu sonuçların pratikteki faydası, iletkenliği farklı suların değişik kökenli ve farklı kalitede sular olduğu hakkında bir ön fikir edinme imkânı sağlamasıdır.

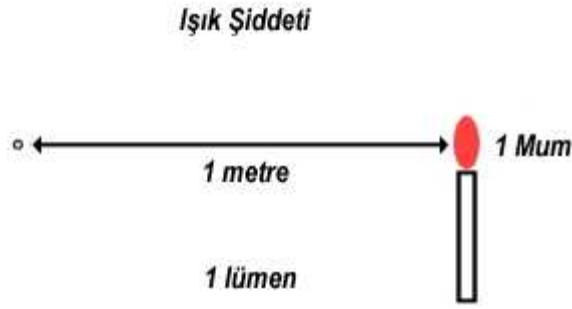
Çoğu inorganik asit, baz ve tuz çözeltileri iyi iletkenlerdir. Aksine organik bileşiklerin molekülleri, sulu çözeltileri iyonlaşmadıklarından çok zayıf iletkenlerdir. İnorganik bileşikler iyi iletkenlik gösterirlerken, organik bileşikler çok zayıf bir akım geçiricilik kabiliyetlerine sahiptirler. İletkenlik ölçümü genelde tersi olan direnç ile ohm veya mega ohm olarak ölçülür. Bir iletkenin direnci, iletken kesit alanı ile ters orantılı ve uzunluğu ile de doğru orantılıdır. Su numunesinin ölçülen direnç büyüklüğu de buna benzer şekilde iletkenlik kabı özelliklerine bağlıdır ve bu kaba ait özelliklerin hesaba katılması olmaksızın hiçbir sonuca varılamaz.

Böyle bir ölçümü yapacak kap ve elektrot sisteminin fabrikasyonu şu anda pek pratik görülmediğinden bugün için kapların sabitleri bulunup bundan yola çıkılmaktadır. "İletkenlik" terimi çoğunlukla $\mu\text{mho/cm}$ olarak birimlendirilir. Bazen de milisimens olarak ms/m şeklinde birimlendirilir. Burada, $1 \text{ ms/m} = 10 \mu\text{mho/cm}$ bağıntısı söz konusudur. Yeni distile edilmiş su, 0,5 ila 2 $\mu\text{mho/cm}$ özgül iletkenliğe sahiptir. Birkaç hafta beklemeden sonra bu değeri 2 ila 4 $\mu\text{mho/cm}$ olur. Bu artış ortam CO_2 'nin distile suda absorblanması ile meydana gelir. İçme suları genellikle 50 ila 1500 $\mu\text{mho/cm}$ aralığında özgül iletkenlik değeri alırlar. Evsel atıksularda nispeten bu aralığa veya biraz yukarısına çıkarlar. Fakat endüstriyel atıksularda bu değeri 10.000 $\mu\text{mho/cm}$ değerinun üzerinde gerçekleşir. İletkenlik ölçümlerinin, içme suyu temini yapılan borularda, kanallarda, akan akıntılarda ve göllerde yerleştirilen elektrotlarla ölçülmesi ölçümde süreklilik de sağlamaktadır. Şekil 3.4'de iletkenlik ve tuzluluk ölçeri görülmektedir.



Şekil 3.4 İletkenlik ve tuzluluk ölçer (µS)

3.1.4 Lüxmetre



Işık kaynağından yayılan ve tayfsal göz hassasiyeti ile değerlendirilen ışığıan güce ışık akısı denir. Bir mumdan (Candle) yayılan ışık 1 Kandela olarak kabul edilir. Bir mumun 1 metre ilerideki bir noktada ölçülen ışık akısı 1 lümen kabul edilir. Işık şiddeti bir ışık kaynağından birim katı açı içersinde yayılan ışık akısının bir ölçüsüdür. Işık akısı dendiği zaman, kaynaktan yayılan toplam akı, ışık şiddeti dendiği zaman ise bir steradyanlık katı açı içersindeki akı kastedilir. MKS sistemi içersinde ışık akısının birimi lumen ,ışık şiddetinin birimi ise candela'dır (lumen lm ile kandela cd ile gösterilir). Işının dalga boyu veya frekans ile tarif edilebilir. İkisi arasındaki ilişki;

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

Burada λ dalga boyu, f frekans ve c de ışık hızıdır. Işık hızı boşlukta 299 792 458 m/s dir. MKS sisteminde dalgaboyu birimi metre (m) , frekans birimi ise Hertz (Hz) dir.

Işınım yapan kaynaklar sıcaklığa bağlı olarak elektromanyetik spektrumun her noktasında ışınım yapabilirler. Işınım tek bir dalgaboyunda değil, çok geniş bir bant içersindedir. Fakat sıcaklığa bağlı olarak ışınımın maksimum olduğu bir dalgaboyu vardır. İdeal karacisim için bu dalga boyu Alman fizikçi Wilhelm Wien (1928-1964) tarafından hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{b}{T}$$

Burada λ ışınımın maksimum olduğu dalga boyu, T ise mutlak sıcaklıktır. b sabitinin değeri yaklaşık olarak $2.897769 \cdot 10^{-3}$ dür. İnsan gözü 380-740 nm (nanometre) arasındaki dalga boylarına duyarlıdır. Bu bandın üç noktalarında duyarlılık düşüktür. Maksimum duyarlılık (aydınlık ortamda) 555 nm dalga boyundaki (ya da frekans birimleri ile verilecek olursa 540 THz deki) yeşil renktir. Yani sadece bu frekansta ışınım yapacak (monokromatik) bir ışık kaynağının ışık verimi maksimumdur. Güneş ışığının spektral açılımı incelenecek olursa, Güneş ışığının da insan gözünün duyarlılığının yüksek olduğu bir bölgede yoğunlaştığı görülür. Işık akısı kaynağın ışınım gücüne ve göz duyarlılığına bağlıdır. Bu şekilde bulunan ışık akısının steradyan cinsinden bir katı açığa düşen miktarı ışık şiddetini gösterir.

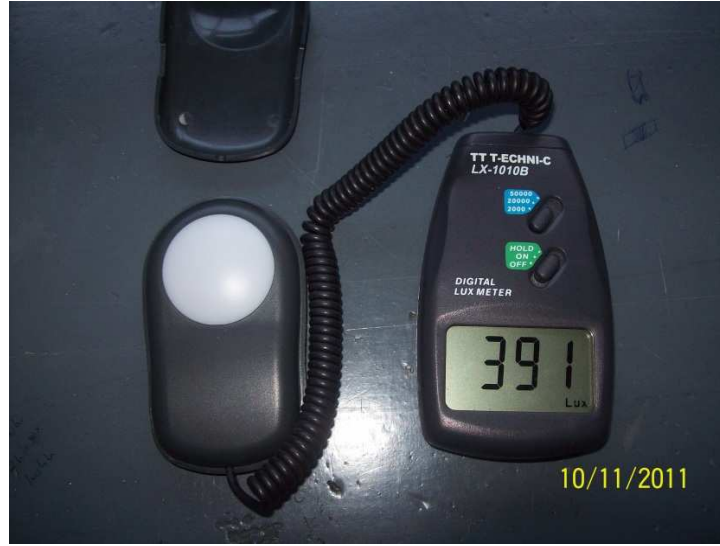
$$I = \frac{\Phi}{A}$$

Bu denklemde I ile ışık şiddeti, Φ ile toplam ışık akısı ve A ile de steradyan cinsinden alan gösterilmiştir. Şayet düzgün ışık dağılımı olan noktasal bir kaynak söz konusuysa, ışık akısı ışık şiddetinin 4 katıdır. Ancak yapay ışık kaynakları hemen hemen daima belli bir yönü diğer yönlerden daha çok aydınlattığı için (abajur, projektör vb.) bu iki büyüklük arasındaki ilişki için sistemin geometrisinden yararlanılır. Bir noktasal kaynağın oluşturduğu kürenin tam yarısı karartılırsa, toplam ışık akısı yarıya düşer. Fakat kapatılmayan bölgede ışık şiddeti değişmez. Bir başka deyişle, bu durumda, ışık akısı ışık şiddetinin 2 misli olur. Aynı şekilde karartılan bölge arttıkça ışık akısı ile ışık şiddeti arasındaki oran da düşer. Aydınlanma kaynakla değil, aydınlanan yüzeyle ilgili bir niceliktir ve birim alan üzerine dik olarak düşen ışık akısı anlamına gelmektedir.

Birimi lüks'tür. (lx kısaltmasıyla gösterilir.) Işık şiddeti ile aydınlanma şiddeti arasında şu ilişki vardır.

$$E = \frac{I}{r^2}$$

Burada E ile aydınlanma şiddeti, I ile de ışık şiddeti ve r ile de aradaki (metre cinsinden) mesafe gösterilmiştir. Şekil 3.5'de denemelerde kullanılan ışık şiddeti ölçer görülmektedir.



Şekil 3.5 Lüksmetre

3.1.5 Termometre, kompresörler ve ısıtıcıların kullanımı

Şekil 3.6 - 3.8'de denemede kullanılan termometre, balon jöjelere hava veren kompresörler ve ısıtıcılar görülmektedir. Kompresörler 4 kanallı olup, çıkış hava debisi ayarlanabilmektedir.



Şekil 3.6 Termometre



Şekil 3.7 Kompresör



Şekil 3.8 Isıtıcı

3.2 Yöntem

Denemeler iki farklı tür için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Alglerin yetiştirilmesinden sonra denemeler 4 farklı şekilde planlanmıştır. Işık şiddeti ve ışıklanma sürelerinin etkilerinin de incelenecek olmasından dolayı her bir balon jöjeye strafor malzemenen ışık geçirmez birer kutu yapılmıştır. Şekil 3.9’da algleri gün ışığından koruyan kutular görülmektedir.

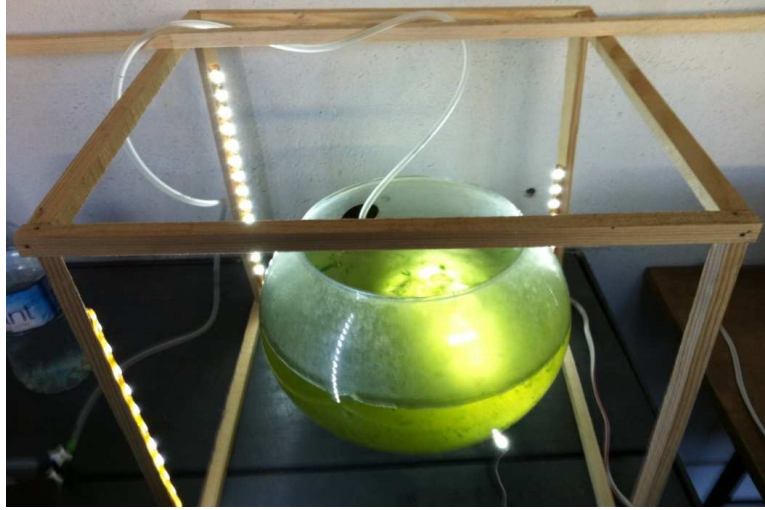


Şekil 3.9 Koruyucu kutular

İlk denemede farklı dalga boylarına sahip renkli ışık kaynakları kullanılarak 24 saat aydınlanma süresine tabi tutularak sabit ışık şiddeti altında hücre sayıları, pH, tuzluluk ve iletkenlik değerleri incelenmiştir. İlk denemede uygulanan 4 farklı renk ışık kaynağı içerisinde en yüksek ışık şiddetine sahip olan ve yetiştirme parametreleri üzerine olumlu etki yaratan beyaz ışık kaynağı seçilip diğer denemelerde beyaz ışık kaynağı kullanılmıştır. İkinci bölümde beyaz ışık kullanılarak yine sabit ışık şiddetine maruz bırakılan algler, 24 saat aydınlık, 18 saat aydınlık – 6 saat karanlık, 18 saat karanlık – 6 saat aydınlık ve 12 saat aydınlık – 12 saat karanlık, periyotları içerisinde yine aynı parametreler incelenmiştir. Üçüncü bölümde yine aynı şekilde beyaz ışık kullanımı ve sabit ışık şiddeti altında alglerin, sırasıyla 21 °C, 28 °C ve 35 °C’deki hücre sayılarındaki değişimleri ile pH, tuzluluk ve iletkenlik değişimleri araştırılmıştır. Denemenin son bölümünde ise, beyaz ışık kaynağı kullanılan ve 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık periyotlar içerisinde ışığa maruz bırakılan alglere, farklı ışık şiddeti uygulanmıştır. Sırasıyla 6V, 9V ve 12V’luk adaptörlerin 60 cm led ışık kaynağına sağladığı ışık şiddetlerinin aynı parametreler üzerindeki değişimleri belirlenmiştir.

3.2.1 Denemede kullanılan mikroalglerin üretilmesi

Deneme başlangıcında, büyük bir fanus içinde mikroalgler üretilmeye başlanmıştır. Daha sonra uygun hücre sayısına gelen mikroalgler seyreltilerek üretim artırılmıştır. Yeterli üretime ulaşıldığında balon jodelere mümkün olduğunca eşit bir şekilde dağıtım yapılmış ve o şartlarda üretimleri belirlenmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Deneme başlangıcında üretilen mikrolagler

Çizelge 3.1’de bu alglere verilen besin maddeleri ve karışım oranları görülmektedir. Bu stok çözelti, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü’nde hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1 Besin maddesi içeriği

İçerik	Miktar	Miktar
NaNO ₃	30 ml / l	10 g / 400ml
CaCl ₂ ·2H ₂ O	10 ml / l	1 g / 400ml
MgSO ₄ ·7H ₂ O	10 ml / l	3 g / 400ml
K ₂ HPO ₄	10 ml / l	3 g / 400ml
KH ₂ PO ₄	10 ml / l	7 g / 400ml
NaCl	10 ml / l	0.4 g / 400ml
P-IV Metal Solution	6 ml / l	0,1 g / 400ml
Soil water: GR+ Medium	40 ml / l	1,5 g / 400ml
Vitamin B ₁₂	1 ml / l	2 g / 400ml
Biotin Vitamin Solution	1 ml / l	0,9 g / 400ml
Thiamine Vitamin Solution	1 ml / l	0,1 g / 400ml

3.2.2 Denemede kullanılan suyun demineralize edilmesi

Denemelerde, deneme materyalini artırmak için sürekli distile su kullanılmıştır. Beslenerek hücre sayısı artırılan mikroalgler, üretim miktarını artırmak için distile su ile seyreltilmiştir. Denemede kullanılan su, bir çok filtreden geçirilerek distile hale getirilmiştir. Tüm sularda en belirgin kirlenme parametresi olan bulanıklık; suda askıda katı madde, organik madde, silis, tortu vb. olduğunu göstermektedir. Bu kirleticiler arasında belirgin bir çapa sahip olanlar fiziksel tortu, filtrasyon üniteleri ile artırılmıştır. Sularda bulunan birçok kirletici ise, doğrudan filtrasyon ile sudan uzaklaştırılmıştır. Bu kirleticiler genellikle okside edilerek, yada bazı kimyasallarla yumuşatılarak filtrelere alınır. Tanecik çapları büyüyen kirleticiler böylelikle daha kolay ve yüksek bir verimde arıtılmış olurlar.

İyon değişim prosesi veya benzer bir yöntemle, bütün mineralleri alınmış suya demineralize su denir. Demineralize ünitesi en az iki kolondan oluşmaktadır. Birinci kolonda katyonik reçine bulunmakta ve normal yumuşatma prosesinde olduğu gibi pozitif yüklü metal iyonlarını uzaklaştırır. Ancak yumuşatma prosesinden farklı olarak sistem rejenerasyonunu tuz yerine asitle yapmakta ve reçineyi sodyum yerine hidrojen iyonları ile yenilemektedir.. Yüklü iyonlar, değişim materyaline yapıştıklarında yükleri kadar hidrojen iyonu bırakılır. Hidrojen iyonlarının artması yüzünden çözeltideki asit miktarı artar. Bu noktada de iyonizasyon prosesinin yarısı tamamlanmıştır. Pozitif yüklü metal iyonları arıtmakla birlikte çözeltide, hidrojen iyonları ve anyonlar bulunmaktadır. İkinci kolonda ise anyonik reçine bulunmaktadır ve çözeltideki negatif iyonları absorbe etmektedir. Reçine doyduğunda ise (çıkış suyundaki iletkenlik değerinden hemen anlaşılabilir) rejenerasyon işlemi baz ile yapılmaktadır. Demineralizasyon bilindiği gibi suyun içinde bulunan tüm minerallerin alınması yani H₂O (saf su) haline getirilmesi işlemidir. Şekil 3.11'de demineralize su üreten cihaz görülmektedir.



Şekil 3.11 Demineralize su cihazı

3.2.3 Denemede kullanılan mikroalglerin sayımı

Hücre sayımları, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümü'nde bulunan mikroskop ile yapılmıştır. Ölçüm zamanı gelen mikroalgler bir pipet aracılığıyla Thoma lamına alınarak önce 10X, sonra 40X ve daha sonra 100X mercekleriyle büyütülerek hücre sayımları gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.12'de denemede kullanılan Leica marka mikroskop görülmektedir.



Şekil 3.12 Mikroskop

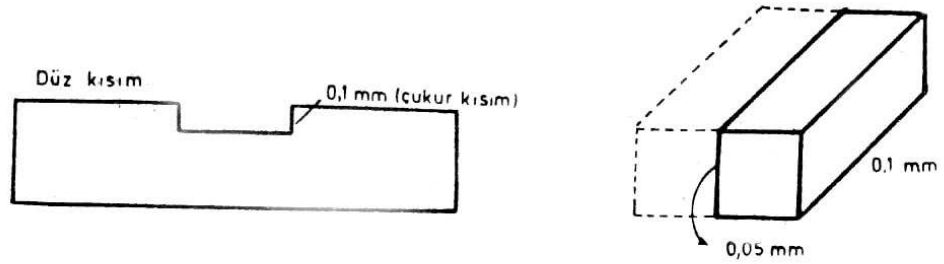
Mikrobiyolojide maya sayımında, tıpta sperm ve kan sayımında kullanılan ve Thoma lamı adı verilen özel bir lam ile yapılan, sayımdır. Thoma lamında bakteri sayılması oldukça güç

olup, önerilen bir yöntemdir. Thoma lamının esası, 0.1 mm^3 hacimde sayım yapılmasıdır. Thoma lamının görünüşü şekil 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.13 Thoma lamı

Şekilde görüldüğü gibi lamın çukur bir kısmı vardır. Kültür, bu kısım üzerine aktarılıp, lamel kapatıldığında bu çukurda 0.1 mm yüksekliğinde bir sıvı kalır. Sayım yapılacak alan cam yüzeyindeki çizgilerle belirlenmiştir. Lamel konduktan sonra üzerine bastırılarak lamın çukuru dışında kalan düz kısmı ile lamel arasında bir sıvı katmanının kalması önlenir. Böylece çukur alan içinde tam olarak 0.1 mm yüksekliğinde sıvı bulunması sağlanmış olur. Thoma lamında 16 büyük kare, her büyük karede 25 küçük kare olmak üzere toplam 400 küçük kare vardır. Sayım bu karelerde yapılır. Şekil 3.14’de bir küçük kare gösterilmiştir.



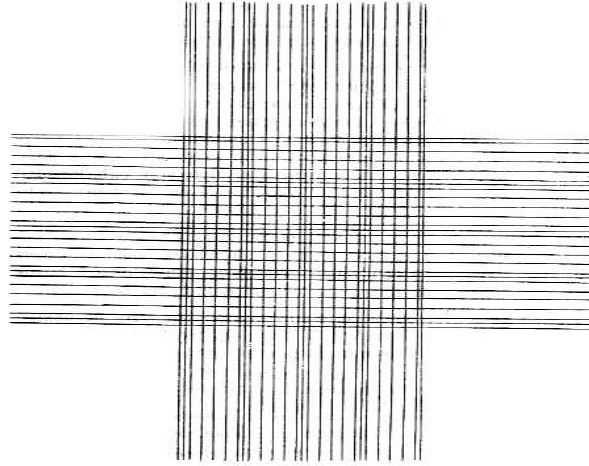
Şekil 3.14 Thoma lamının görünüşü ve ölçüleri

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, küçük kare olarak belirtilen gerçekte bir kare prizmadır. Derinlik boyutu, şekilde verilen çukurun derinliğini göstermekte olup, $1/10 = 0.1 \text{ mm}$ dir. Bir küçük kare olarak belirtilen kare prizmanın hacmi = $0,05 \text{ mm} \times 0,05 \text{ mm} \times 0,1 \text{ mm} =$

$0,00025 \text{ mm}^3 = 1/4.000 \text{ mm}^3$ 'dür. Bir sayım alanında $16 \times 25 = 400$ küçük kare olduğuna göre toplam sayım hacmi $= 0,00025 \text{ mm}^3 \times 400 = 0,1 \text{ mm}^3$ 'dür.

Thoma lamında sayım sonucu $A \times SF \times 10.000$ formülü ile hesaplanır. Burada $A = 16$ büyük karede sayılan hücre adedi, SF ise seyreltme faktörüdür. 10.000 ise $0,1 \text{ mm}^3$ 'deki sayım sonucunu 1 ml 'deki sayıya dönüştürmek ve standart sonuç elde etmek için kullanılan bir değişmezdir ($1 \text{ ml} = 1 \text{ cc} = 1 \text{ cm}^3 = 10.000 \times 0,1 \text{ mm}^3$). Alg sayımında seyreltme (dilüsyon) % 10'luk asetik asit ile yapılır. Bu konsantrasyondaki asetik asit alg hücrelerini birbirlerinden ayırarak kümeleşmeyi önlediği için, kolay bir sayım yapılmasına yardımcı olur. Thoma lamında bir görüş sahası içinde en az bir büyük kareyi sığdırmak amacıyla 10 ya da 20 büyütme güçlü objektif kullanılır. Sayım büyük kare esasından yapılır. Genellikle çaprazlama 8 büyük kare sayılıp sonuç 2 ile çarpılarak $0,1 \text{ mm}^3$ 'deki değer bulunur. Thoma lamındaki büyük karelerin sınırları ara çizgi ile belirtilmiştir. Çoğu kere karıştırıldığı gibi, ara çizgi büyük karelerin sınırı değil, büyük karenin sınırlarını belirleyen yardımcı çizgidir. Şekil 3.15'de Thoma lamının sayım yapılan kareleri verilmiştir.

Thoma lamında büyük karelerin sınırı üzerinde olan hücrelerin nasıl sayılacağı çoğu kez tartışılan bir durumdur. Bu gibi hallerde, hücrenin ne kadarının büyük kare içinde olduğuna dikkat edilir.



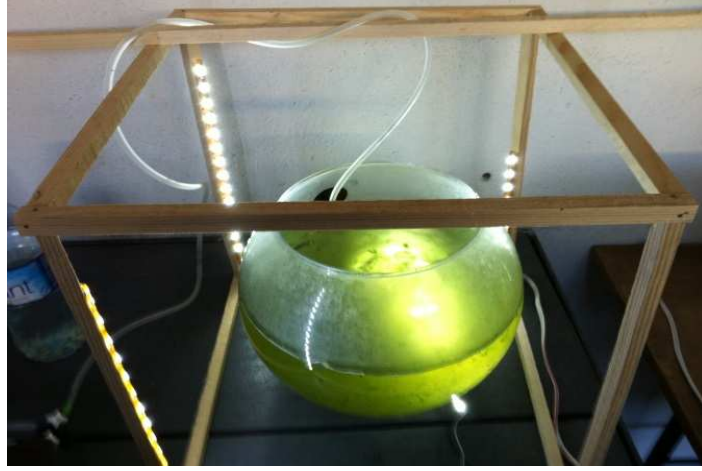
Şekil 3.15 Thoma lamının sayım yapılan kareleri

Direk mikroskopik sayım yöntemlerinde canlı ve ölü hücrelerin beraberce sayılmasının bir sakınca olduğu yukarıda belirtilmiştir. Bununla beraber bazı basit, ancak etkin yöntemlerle canlı ve ölü hücreler ayrılabilir. Bu konuda en iyi örnek, metilen mavisi boyası ile alg

hücrelerinin boyanması, daha sonra direk sayım lamalarına alınmasıdır. Bu amaçla alg hücrelerinin bulunduğu tüpe bir kaç damla metilen mavisi boyası damlatılır. Ölü hücreler metilen mavisi ile boyanır, ancak canlı olanlar boyanmaz. Bu şekilde, sadece maviye boyanmamış hücreleri sayarak canlı alg sayısı elde edilir. Basit ışık mikroskoplarında boyanmamış mikroorganizmaların görülmesi ve dolayısı ile bunların sayılması çoğu kere (özellikle deneyimsizler için) sorun çıkarabilmektedir. İyi bir ışık ayarı ile bu sorun önemli ölçüde giderilmekle beraber, yine bazı boyaların kullanılması ile sıvı kültürde mikroorganizma boyanması sağlanabilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Denemeler, iki ayrı tür için ayrı ayrı yapılmıştır. Denemeleri yapılacak tür, balon jojelere dağıtılmadan önce büyük bir fanus içerisinde üretilmiştir. Burada yeterli miktarda üretimi gerçekleştirildikten sonra balon jojelere aynı hacimde (300 ml) dağıtımı yapılmıştır. Şekil 4.1’de ana üretimin gerçekleştirildiği fanus görüntülenmektedir.



Şekil 4.1 Alglerin üretimi

4.1 Renkli Led Etkisinin Araştırılması

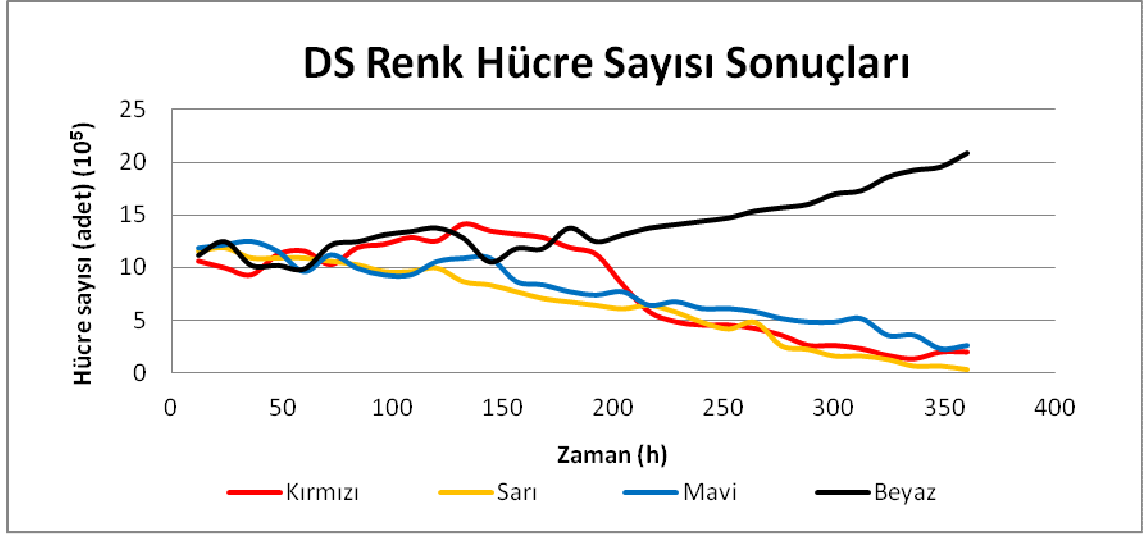
Denemelerin ilk bölümünde farklı renkteki ledlerin alg gelişimine etkileri incelenmiştir. Ledler koruyucu kutular içerisinde 24 saat sürekli ışık altında tutulmuşlardır. Ledler düşük, orta ve yüksek dalga boylu renklere göre seçilmiştir. Kutular içerisinde yapılan ışık şiddeti ölçümlerinde, sarı ışık 117 lüks, mavi ışık 194 lüks, kırmızı ışık 224 lüks ve beyaz ışık 265 lüks sonuçları elde edilmiştir. Literatürlere göre ise bazı türlerin düşük, bazı türlerin ise yüksek ışık şiddeti ihtiyaçları olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar, 12 V’luk adaptörlerle 60 cm ledlerin sağladığı ışık şiddeti olarak belirlenmiştir. Bu denemede, alglerin zamana bağlı olarak, hücre sayıları, pH, tuzluluk ve iletkenlik değişimleri gözlemlenmiştir. Şekil 4.2’de renk denemelerinin yapıldığı düzenek görülmektedir.



Şekil 4.2 Renk denemeleri

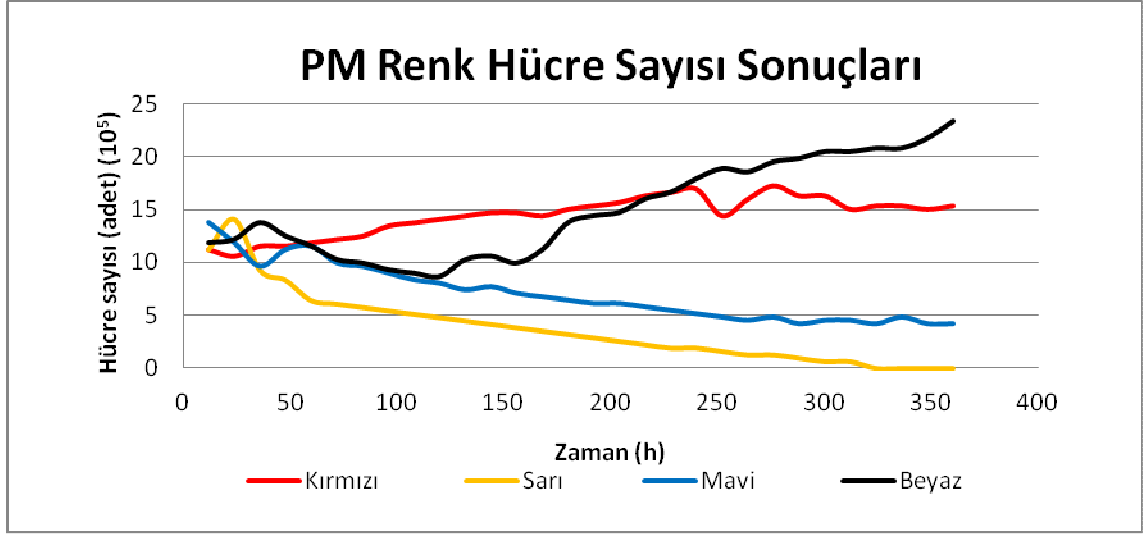
4.1.1 Hücre sayıları sonuçları

Denemelerin başlangıcında ortalama olarak her bir balon jolenin içine 1150000 adet/l hücre sayısı içeren tür yerleştirilmiştir. *Dunaliella salina* mikroalg türünde, kırmızı ışık altında yapılan denemelerde 6. günün sonuna kadar bir hücre artışı tespit edilmiş, yaklaşık olarak 1400000 adet/l hücre sayısına ulaşılmıştır. Fakat bu tarihten sonra denemelerin son gününe kadar bir azalış içerisine girmiş ve denemelerin sonlandırıldığı 15. günün sonunda 192000 adet/l hücre sayısına gerilemiştir. Sarı ışıkla gerçekleştirilen denemelerde ilk günden itibaren çok hızlı bir şekilde bir hücre sayılarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Denemelerin sonunda 32000 adet/l gibi çok düşük hücre sayıları tespit edilmiştir. Mavi ışık altında gerçekleştirilen denemelerde ise dalgalı bir seyir izlemesine rağmen, hücre sayıları gene 15. günün sonunda 256000 adet/l değerlerine gerilemiştir. Fakat beyaz ışık altında gerçekleştirilen denemelerde ise, ilk 2 günü bir miktar dalgalı geçirmesine rağmen izleyen günlerde sürekli bir artış içerisine girerek 15. günün sonunda 2080000 adet/l hücre sayısına ulaştığı tespit edilmiştir (Demirbaş 2010, Tapan 2006). Şekil 4.3’de *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.3 *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler

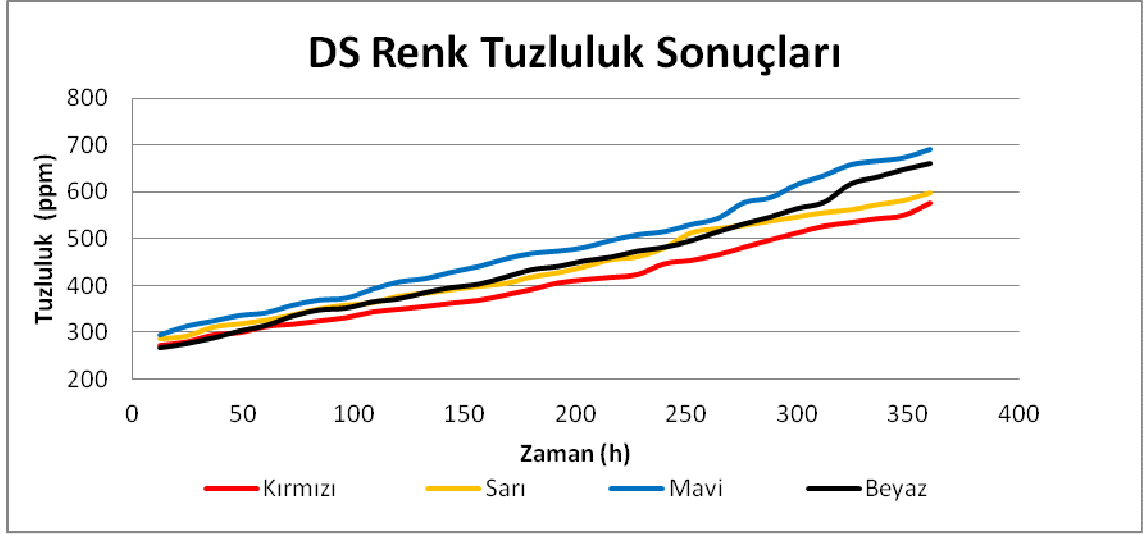
Palmelopsis muralis türünde ise aynı şekilde gerçekleştirilen denemelerde, kırmızı ışık kullanılarak yapılan denemelerde 11. güne kadar sürekli bir artış gözlemlenirken, daha sonra gelen 3 gün içerisinde ise bir miktar azalarak, 1536000 adet/l hücre sayısına ulaşmıştır. Sarı ışık kaynağı kullanılarak yapılan denemelerde ise ilk 2 gün içerisinde çok hızlı bir şekilde azalmayı müteakip 13. günün sonunda hiçbir canlı hücre tespit edilememiştir. Mavi ışık kaynağı kullanılarak yapılan denemelerde ise ilk 2 gün hücre sayılarında herhangi bir değişim gözlemlenmezken, 15. günün sonunda ise 416000 adet/l hücre sayısı tespit edilmiştir. Beyaz ışıkla yapılan denemelerde ise, ilk 5 gün içerisinde bir miktar azalmalar tespit edilse de, bu tarihten sonra 15. günün sonuna kadar artış trendine girmiş ve 2336000 adet/l gibi çok yüksek bir hücre sayısına ulaştığı belirlenmiştir (İlgaz 2003, Tapan 2006). Şekil 4.4'de *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak, zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.4 *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen hücre sayılarındaki değişimler

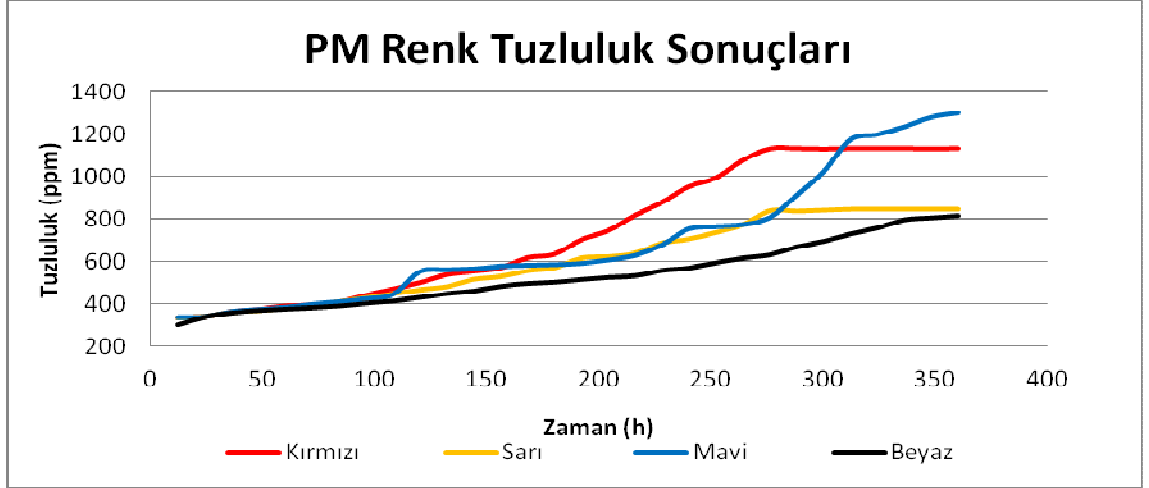
4.1.2. Tuzluluk sonuçları

Farklı ışık kaynaklarıyla gerçekleştirilen denemelerde *Dunaliella salina* türünde zamanla tuzluluğun sürekli arttığı gözlemlenmiştir. Kırmızı ışık kullanıldığında tuzluluğun, 270 ppm'den 575 ppm'e, sarı ışık kullanıldığında 287 ppm'den 598 ppm'e, mavi ışık kullanıldığında, 294 ppm'den 692 ppm'e ve son olarak beyaz ışık kullanıldığında 268 ppm'den 662 ppm'e kadar arttığı belirlenmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere tuzluluk en fazla mavi ışık kullanıldığında artmış daha sonra ise beyaz ışık en iyi sonucu vermiştir (İlgaz 2003, Tapan 2006, Eliçin vd. 2009). Şekil 4.5'de *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.5 *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler

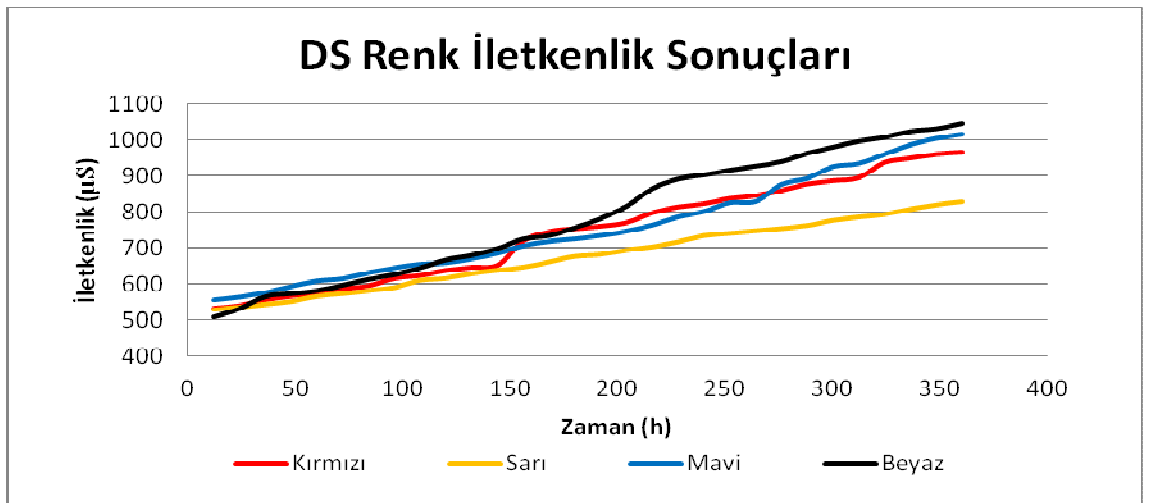
Palmelopsis muralis türünde de, tuzluluğun farklı renkli ışık kaynaklarının kullanımında arttığı gözlemlenmiştir. Kırmızı ışık kullanıldığında, 337 ppm'den 1131 ppm'e, sarı ışık kullanıldığında 339 ppm'den 847 ppm'e, mavi ışık kullanıldığında 335 ppm'den 1300 ppm'e ve son olarak beyaz ışıkta 301 ppm'den 818 ppm'e kadar yükseldikleri belirlenmiştir (Gökpınar ve Cirik 1991) . Sonuçlardan anlaşılacağı üzere, en yüksek tuzluluk değerlerine *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimlere mavi ve kırmızı ışıkta ulaşılmıştır. Şekil 4.6'da *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.6 *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen tuzluluk değerlerindeki değişimler

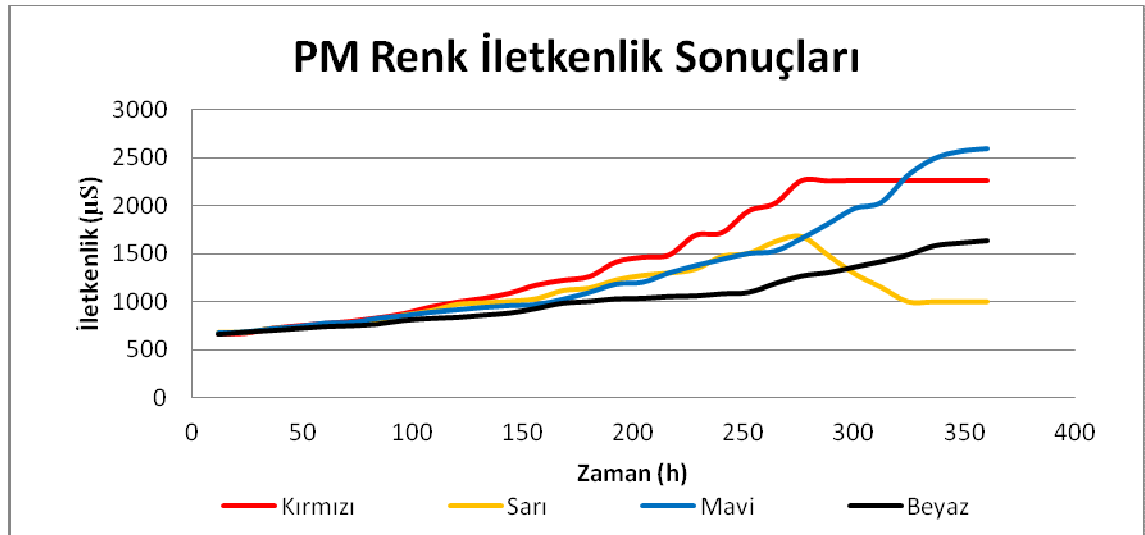
4.1.3 İletkenlik sonuçları

Her iki tür içinde, farklı renkli ışık kaynaklarının kullanıldığı zamana bağlı olarak gerçekleştirilen denemelerde, tuzluluk ile doğru orantılı olarak iletkenlik değerlerinde de artışlar gözlemlenmiştir. *Dunaliella salina* türünde en iyi iletkenlik değerine 1047 μS değeriyle beyaz ışıkta ulaşılırken, en düşük değere 830 μS değeriyle sarı ışıkta ulaşılmıştır (Demir vd. 2007).



Şekil 4.7 *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen iletkenlik değerlerindeki değişimler

Palmelopsis muralis türü ile gerçekleştirilen denemelerde ise, *Dunaliella salina* türüne oranla yaklaşık olarak 2 kat daha yüksek iletkenlik değerleri tespit edilmiştir. Bu türde, mavi ışıkla yapılan denemede iletkenlik 2600 μ S, kırmızı ışıkla yapılan denemede 2260, beyaz ışıkla yapılan denemede 1634 μ S ve son olarak sarı ışıkla yapılan denemede 298 μ S olarak tespit edilmiştir. Sarı ışıkta olan bu gerilemenin nedeninin 10. gün sonunda oluşan kontaminasyon olduğu tahmin edilmektedir (Demir vd. 2007). Şekil 4.8’de *Dunaliella salina* türünün, şekil 4.8’de ise *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen iletkenlik değerlerindeki değişimler görülmektedir.

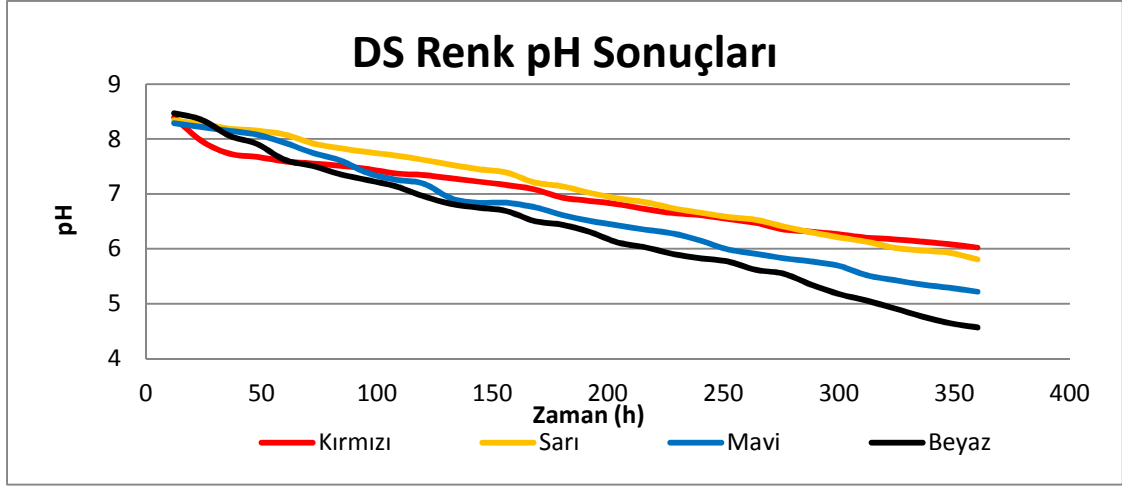


Şekil 4.8 *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen iletkenlik değerlerindeki değişimler

4.1.4. pH sonuçları

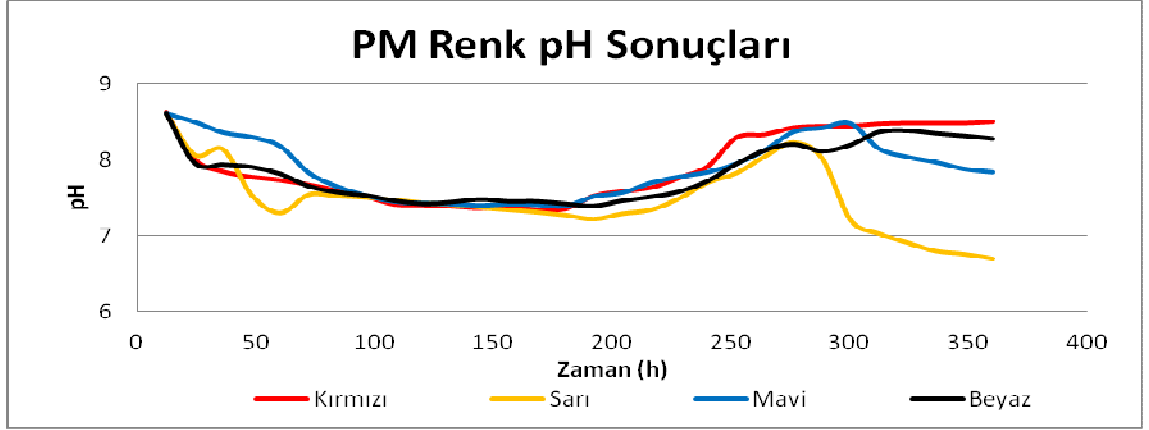
Farklı ışık kaynaklarıyla gerçekleştirilen denemelerde *Dunaliella salina* türünde zamanla pH değerlerini sürekli azaldığı gözlemlenmiştir. Deneme başlangıcında yetiştirme ortamlarında ortalama olarak 8,4 değerinde pH bulunurken, deneme sonunda en düşük pH değerlerine 4,57 değeriyle beyaz ışıkta ulaşılmıştır. Diğer sonuçlara bakılacak olursa, kırmızı ışıkta, 6.02, sarı ışıkta, 5.81, mavi ışıkta ise 5.22 değerleri tespit edilmiştir (Demir vd. 2007, Eliçin vd. 2009). Şekil 4.9’da *Dunaliella salina*

türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.9 *Dunaliella salina* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler

Farklı ışık kaynaklarıyla gerçekleştirilen denemelerde *Palmelopsis muralis* türünde zamanla pH değerlerinin ilk 7 gün içerisinde önce düştüğü, daha sonra ise tekrar artarak hemen hemen aynı başlangıç değerlerine yaklaştığı belirlenmiştir. En düşük pH değerine sarı ışıkta ulaşılmıştır. Sarı ışığın yine diğer renklerden farklı karakter göstermesi kontaminasyondan kaynaklanmaktadır (Vonshak 1997, Gökpınar ve Cirik 1991). Şekil 4.10'da *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler görülmektedir.



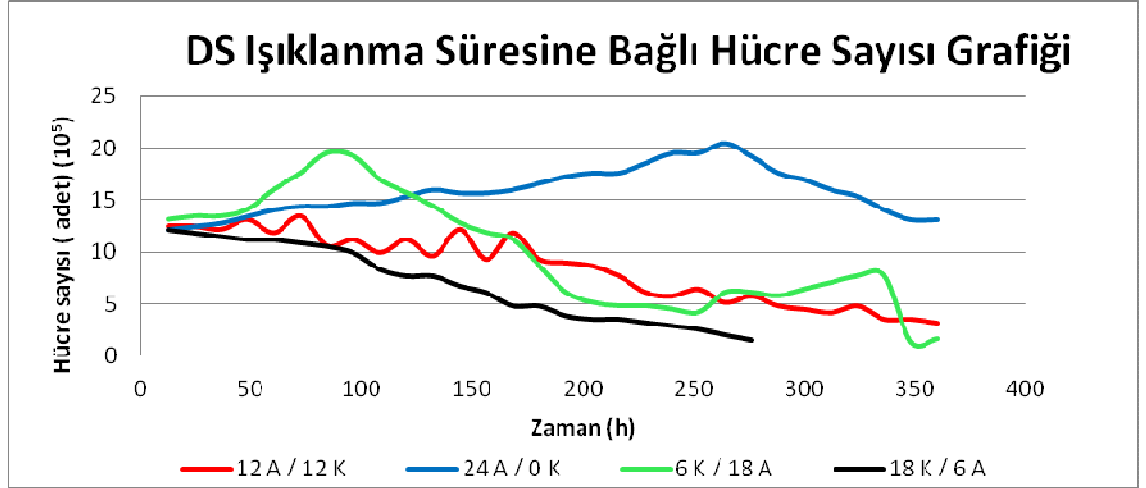
Şekil 4.10 *Palmelopsis muralis* türünün, farklı renkli ışık kaynakları kullanılarak zamana bağlı olarak gerçekleşen pH değerlerindeki değişimler

4.2 Işıklanma Süresi Etkisinin Araştırılması

Denemelerin ikinci bölümünde ışıklenme sürelerinin alglerin yetiştirilmesine etkileri incelenmiştir. Burada, önce 24 saat aydınlık, ikinci de 18 saat aydınlık 6 saat karanlık, üçüncüde 6 saat aydınlık 18 saat karanlık ve son olarak 12 saat aydınlık 12 saat karanlık durumları incelenmiştir. Sadece beyaz ışık veren led ışık kaynağı kullanılmıştır. Yine 12 V'luk adaptörler ve 60 cm led uzunluğundaki ışık kaynağından 265 lüks ışık şiddetinde denemeler yapılmış ve yine aynı parametreler incelenmiştir.

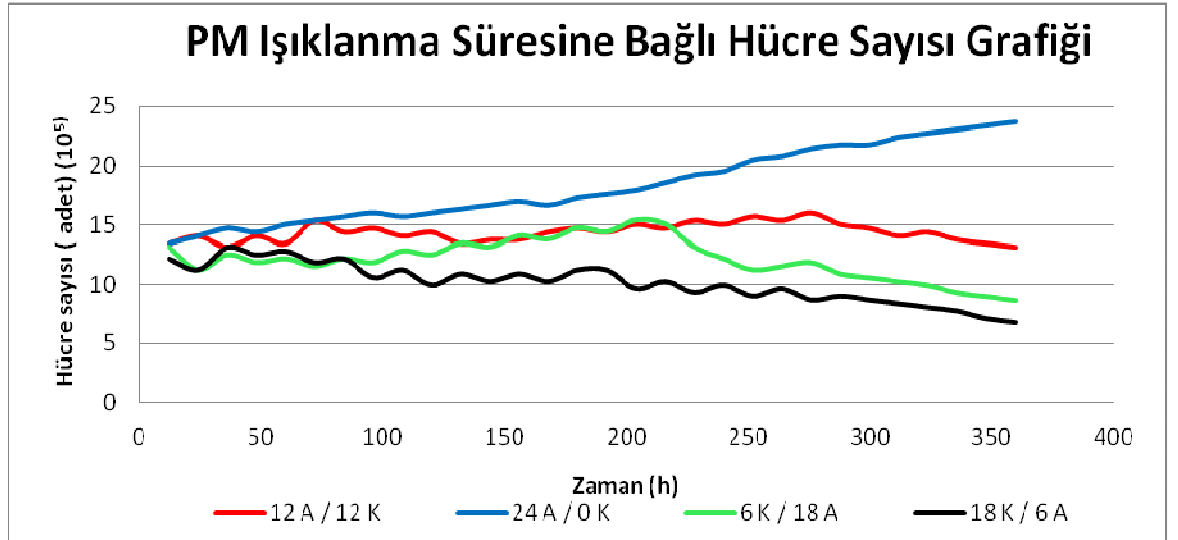
4.2.1 Hücre sayıları sonuçları

Işıklanma süresine bağlı olarak *Dunaliella salina* türüyle yapılan denemelerde en iyi sonucu 24 saat sürekli beyaz ışık verilen denemede belirlenmiştir. Bu denemede 1216000 adet/l hücre sayısından, 1312000 adet/l hücre sayısına ulaşılırken, diğer tüm deneme koşullarında hücre sayıları önemli oranda azalmıştır (Tawfig vd. 2004, Demir vd. 2007). 18 saat karanlık ve 6 saat aydınlık deneme koşulunda 11. günde canlı hücre tespit edilememiştir. Şekil 4.11'de *Dunaliella salina* türünün farklı ışıklenme sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişim görülmektedir.



Şekil 4.11 *Dunaliella salina* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişim

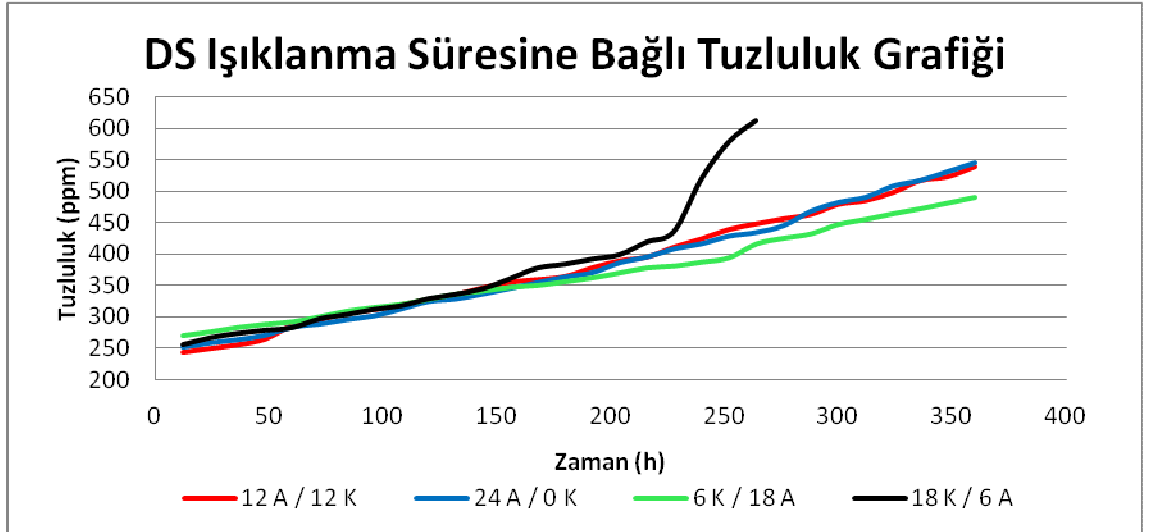
Işıklanma süresine bağlı olarak *Palmelopsis muralis* türüyle yapılan denemelerde de en iyi sonucu 24 saat sürekli beyaz ışık verilen denemede tespit edilmiştir. Bu süre içerisinde hücre sayıları 1344000 adet/l'den 2368000 adet/l'ye yükselmiştir. Diğer tüm ışıklandırma sürelerinde hücre sayılarında düşüşler görülmüştür (Tawfig vd. 2004, Ilgaz 2003). Bu tür için ışıklandırma süresinin çok önemli olduğu görülmüştür. Şekil 4.12'de *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimler görülmektedir.



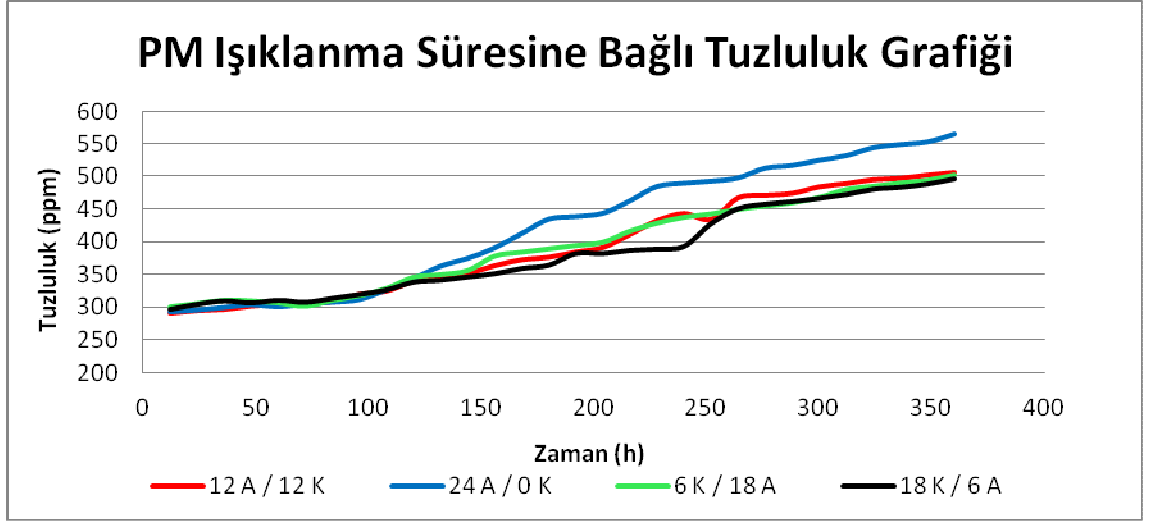
Şekil 4.12 *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimler

4.2.2 Tuzluluk sonuçları

Her iki türde de tuzluluk değerlerinde ortalama olarak aynı değerlerde artışlar gözlemlenmiştir. Ölçülen değerler içerisinde çok büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Fakat *Dunaliella salina* türünün 18 saat karanlık 6 saat aydınlık durumlarında tuzluluk artmıştır (İlgaz 2003 ve Tawfig vd. 2004). Bu durum 11. günde canlı hücre bulunmaması tuzluluğun arttığını göstermektedir. Şekil 4.13’de *Dunaliella salina* türünün ve Şekil 4.14’de ise *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak tuzluluk sayılarındaki değişimler görülmektedir.



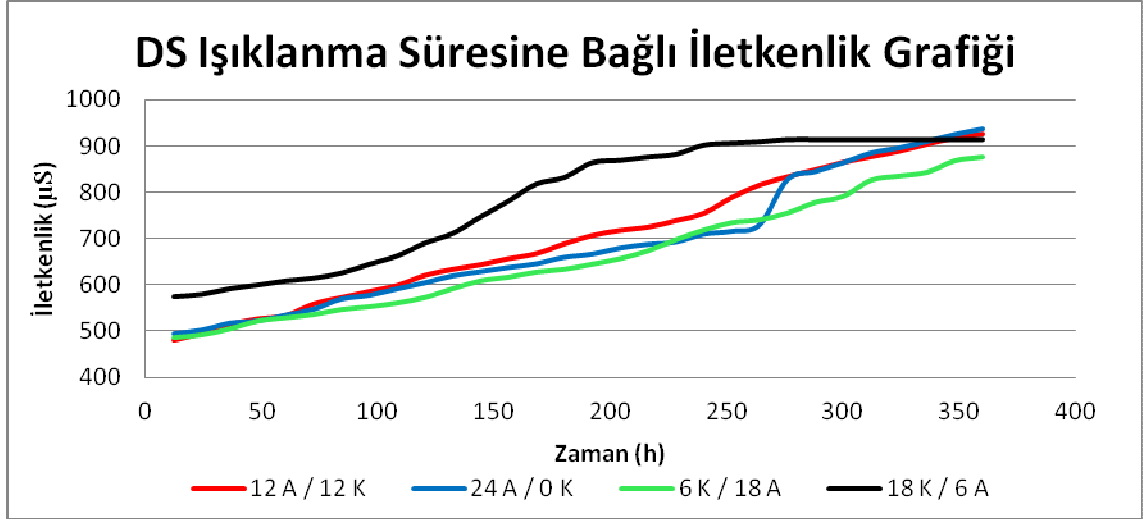
Şekil 4.13 *Dunaliella salina* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak tuzluluk sayılarındaki değişim



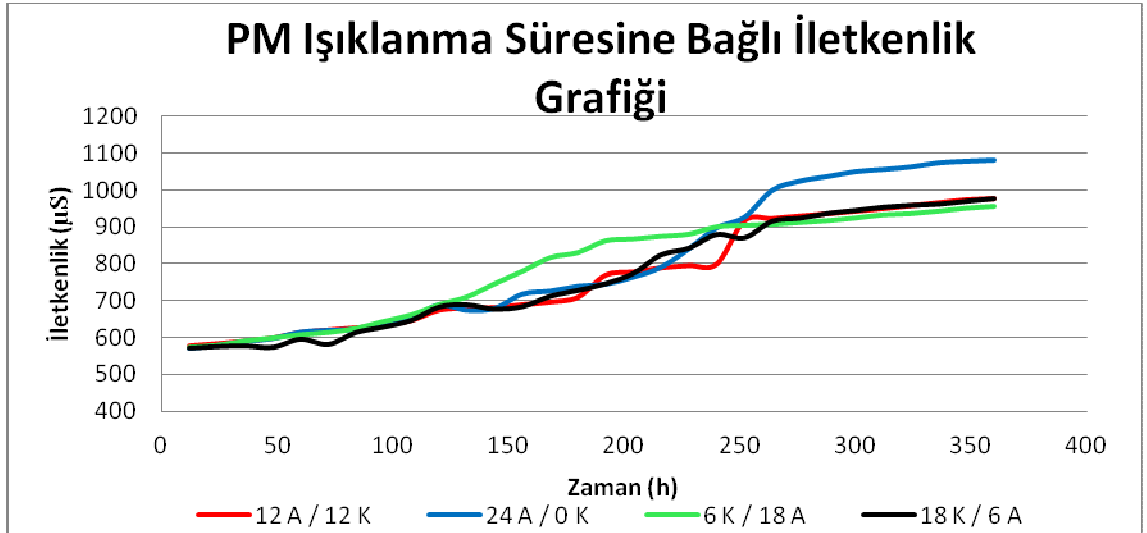
Şekil 4.14 *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak tuzluluk sayılarındaki değişim

4.2.3 İletkenlik sonuçları

Her iki türde de farklı ışıklandırma sürelerinde yapılan denemelerde iletkenlik parametrelerinde değişimler aynı gerçekleşmiştir. *Dunaliella salina* türünde 18 saat karanlık 6 saat aydınlık ışıklandırma durumunda iletkenlik miktarı diğer ışıklandırma sürelerine göre, daha yüksek iletkenlik değerleri belirlenmiştir (Demir vd. 2007). Fakat bu durumda bu türe has bir özellik olduğu ya da hücre sayısının artmamasından meydana gelen atlama yapan (başkalaşım yeni bir türe dönüşen) bir türün neden olduğu ifade edilebilir. Şekil 4.15’de *Dunaliella salina* türünün ve Şekil 4.16’da *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak iletkenlik sayılarındaki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.15 *Dunaliella salina* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak iletkenlik sayılarındaki değişimler

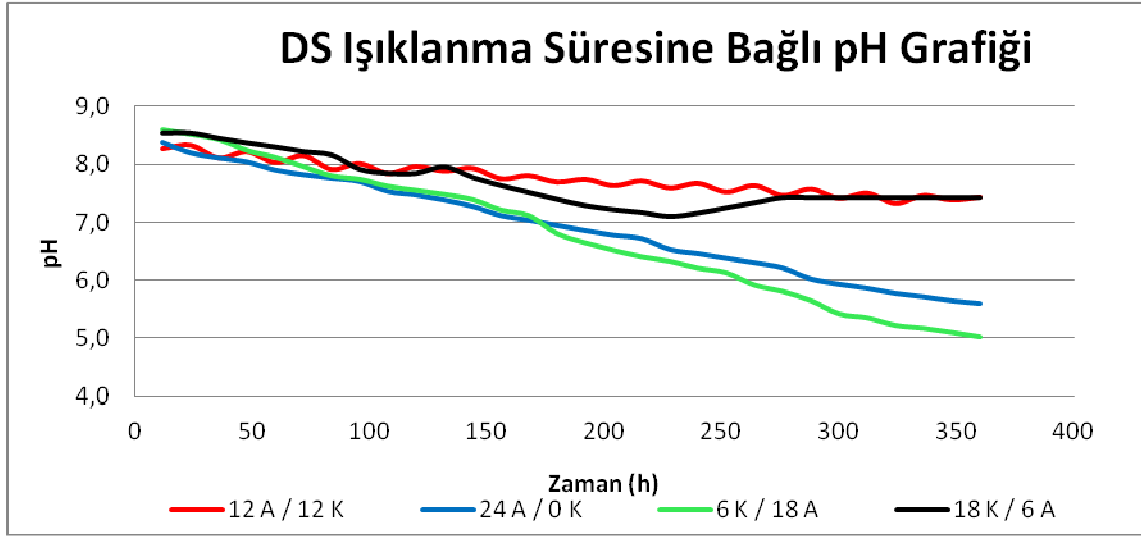


Şekil 4.16 *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak iletkenlik sayılarındaki değişimler

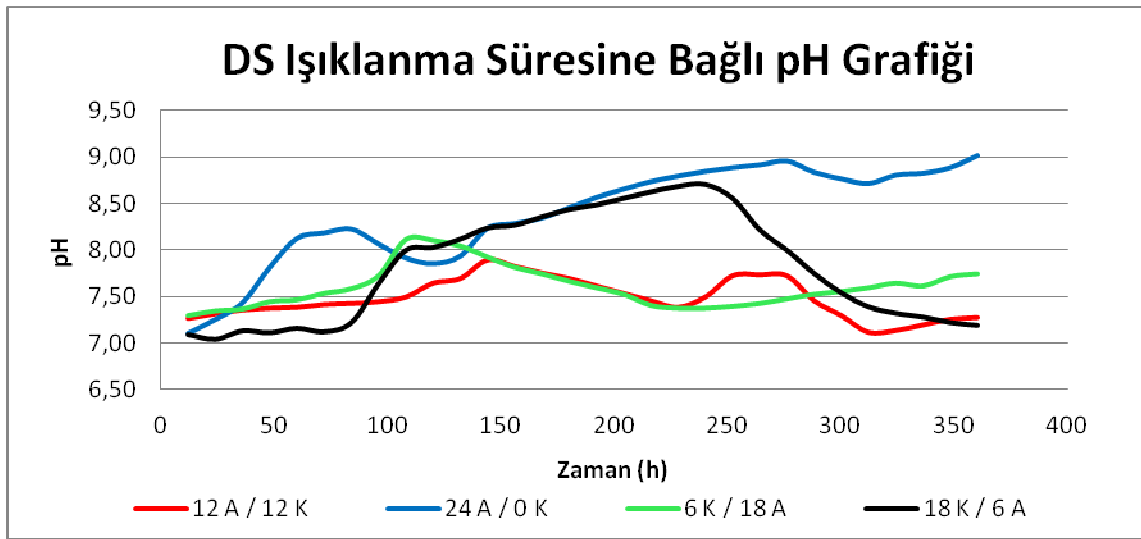
4.2.4 pH sonuçları

Işıklanma sürelerine bağlı olarak yapılan denemelerde *Dunaliella salina* türünün pH sonuçlarına baktığımızda pH değerleri zamana bağlı olarak azalış göstermektedir. Karanlık zamanların artışıyla, pH değerlerindeki düşüşler azalmakta, aydınlık zamanların artışıyla da pH değerlerindeki düşüşler artmaktadır. *Palmelopsis muralis*

türünde ise, pH değerlerinde artışlar tespit edilmiştir. 24 saat aydınlık ışıklandırma süresinde bağlı olarak pH değeri 7.11'den 8.94'e kadar yükselmiştir. Diğer ışıklandırma sürelerinde ise pH değerleri önce artmış sonra ise azalarak başlangıç değerlerine gerilemiştir (Scragg vd. 2002, Tawfig vd. 2004). Şekil 4.17'de *Dunaliella salina* türünün, Şekil 4.18'de ise *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak pH değerlerinde değişimler görülmektedir.



Şekil 4.17 *Dunaliella salina* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak pH değerlerinde değişimler



Şekil 4.18 *Palmelopsis muralis* türünün farklı ışıklandırma sürelerine bağlı olarak pH değerlerinde değişimler

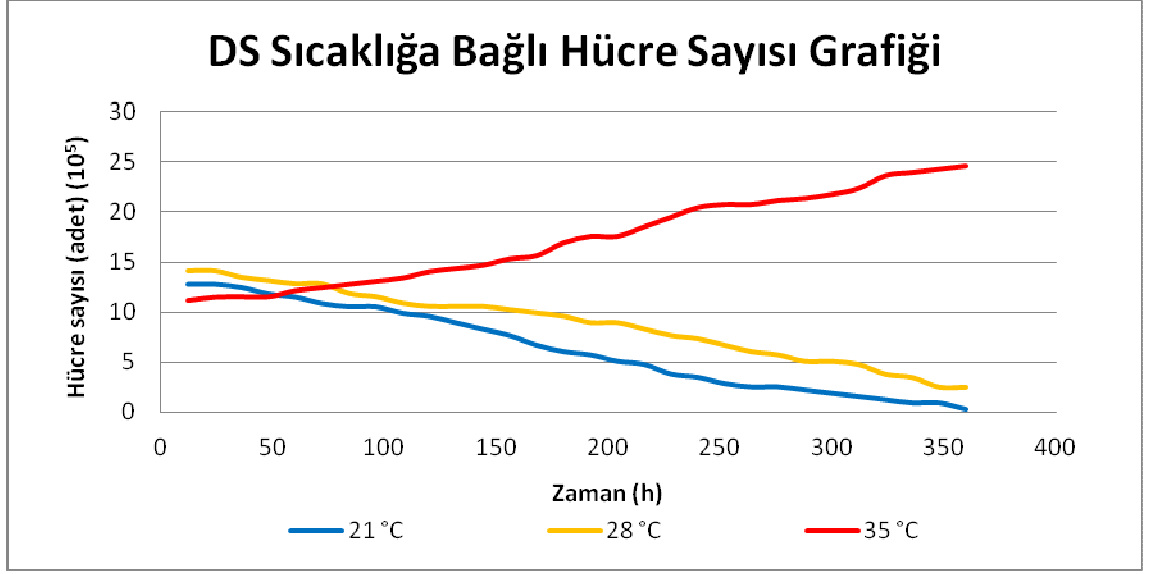
4.3 Sıcaklık Etkisinin Araştırılması

Denemelerin üçüncü bölümünde yine aynı şekilde beyaz ışık kullanılmıştır. 12 V'luk adaptörlerin sağladığı 268 lüks'lik ışık şiddeti altında alglerin, sırasıyla 21 °C, 28 °C ve 35 °C'daki hücre sayılarındaki değişimler, pH, tuzluluk ve iletkenlik değişimleri 12 saat aydınlık – 12 karanlık süreleri içinde 12 saate bir ölçüm alınarak aynı parametreler incelenmiştir.

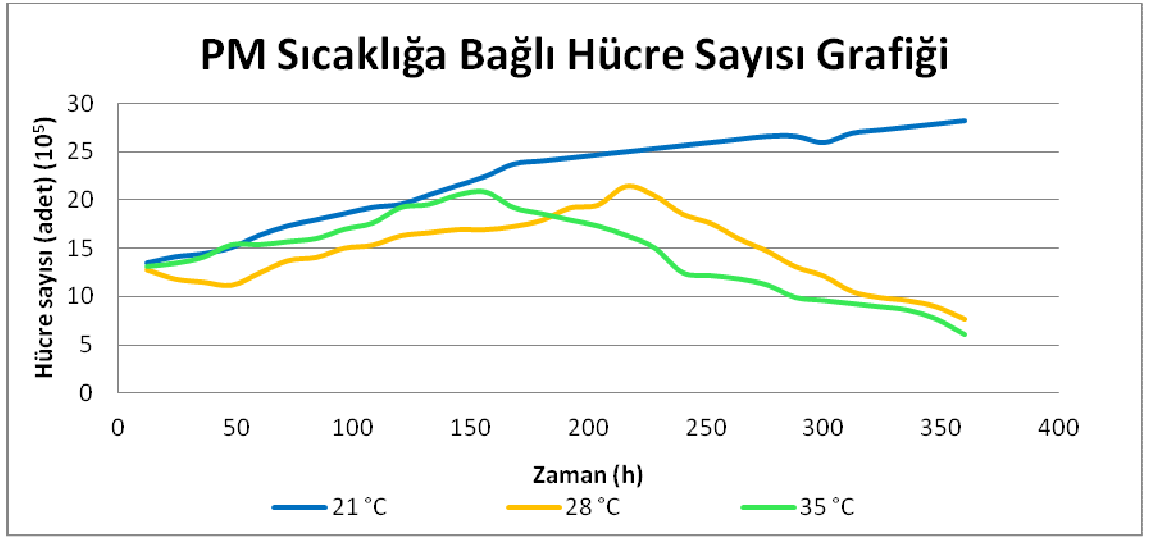
4.3.1 Hücre sayısı sonuçları

3 temel sıcaklık belirlenerek yapılan denemelerde, *Dunaliella salina* türünde sıcaklığın artmasıyla hücre sayılarında önemli oranda artışlar belirlenmiştir. 35 °C'da hücre sayıları 1120000 adet/l'den 3360000 adet/l'ye artarken, 28 °C ve 21 °C'daki denemelerde ise hücre sayıları sırasıyla 256000 adet/l ve 32000 adet/l'ye düşmüştür (Tawfig vd. 2004, Brown vd. 1989).

Palmelopsis muralis türünde ise aynı sıcaklıklarda yapılan denemelerde ise, 28 °C ve 35 °C'da önce hücre sayıları artmış, daha sonra ise zamana bağlı olarak hücre sayıları düşmüştür. Fakat 21 °C'da yapılan denemelerde ise hücre sayıları ise 1344000 adet/l'den, 2816000 adet/l'ye yükseldiği belirlenmiştir (Ilgaz 2003, Tawfig vd. 2004). Şekil 4.19'da *Dunaliella salina* türünün şekil 4.20'de ise *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak hücre sayılarındaki değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.19 *Dunaliella salina* türünün sıcaklığa bağlı olarak hücre sayılarındaki Değişimleri

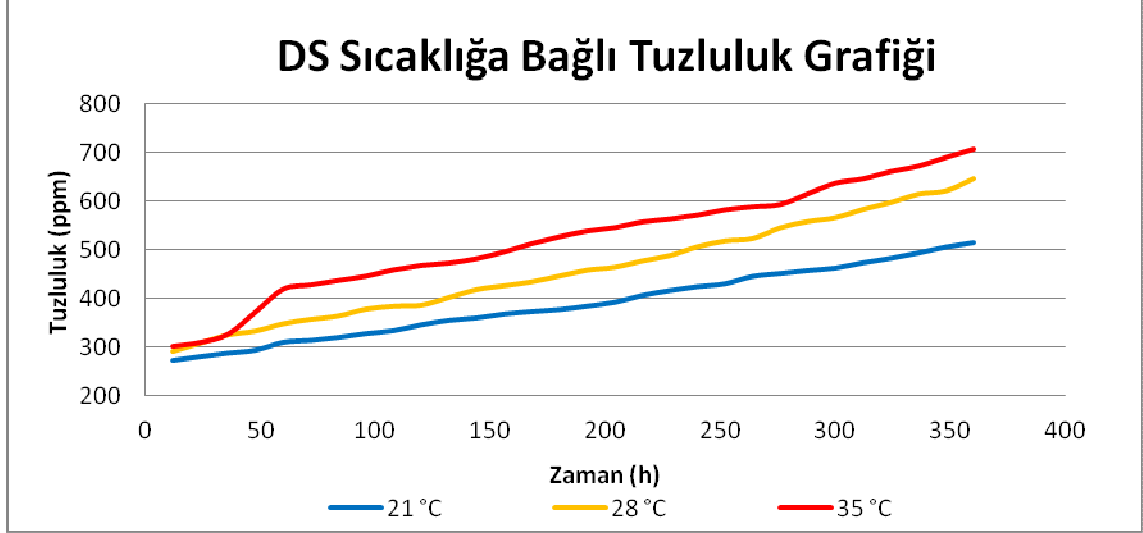


Şekil 4.20 *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak hücre sayılarındaki Değişimleri

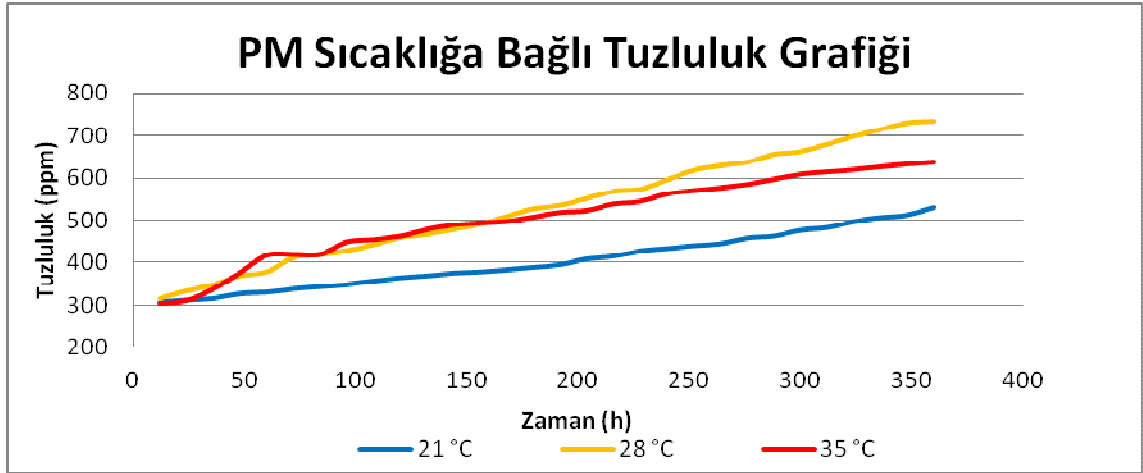
4.3.2 Tuzluluk sonuçları

Her iki türde de her üç sıcaklık değerlerinde yapılan denemelerde tuzluluk değerlerine bakıldığında, değerlerin sıcaklıkla yükseldiği belirlenmiştir. *Dunaliella salina* türünde sıcaklığın artışıyla tuzluluk değerlerinde artışların daha fazla olduğu görülmektedir. *Palmelopsis muralis* türünde ise bu sonuçlara benzer sonuçlara ulaşılmıştır (Yılmaz

2006). Şekil 4.21 ve 4.22’de türlere ait sıcaklıklara bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler görülmektedir.



Şekil 4.21 *Dunaliella salina* türünün sıcaklığa bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler

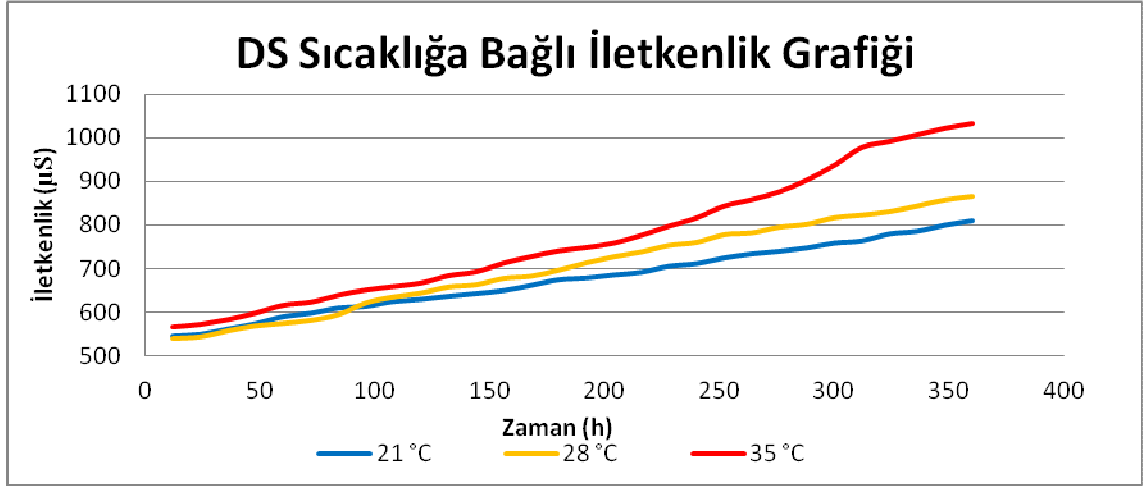


Şekil 4.22 *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler

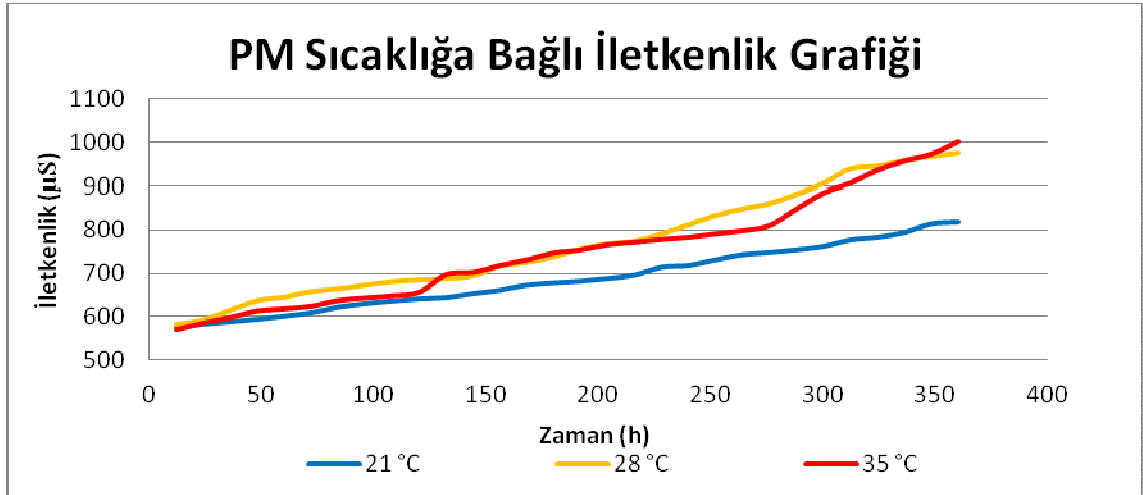
4.3.3 İletkenlik sonuçları

Her üç sıcaklık denemesinde ve her iki türde zamana bağlı olarak yapılan denemelerde aynı tuzluluk denemelerine benzer iletkenlik sonuçları görülmektedir. Tüm denemelerde

sıcaklık yükseldikçe iletkenlik değerleri daha yüksek seviyelerde artışlar görülmektedir. Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de türlere ait iletkenlik sonuçları görülmektedir.



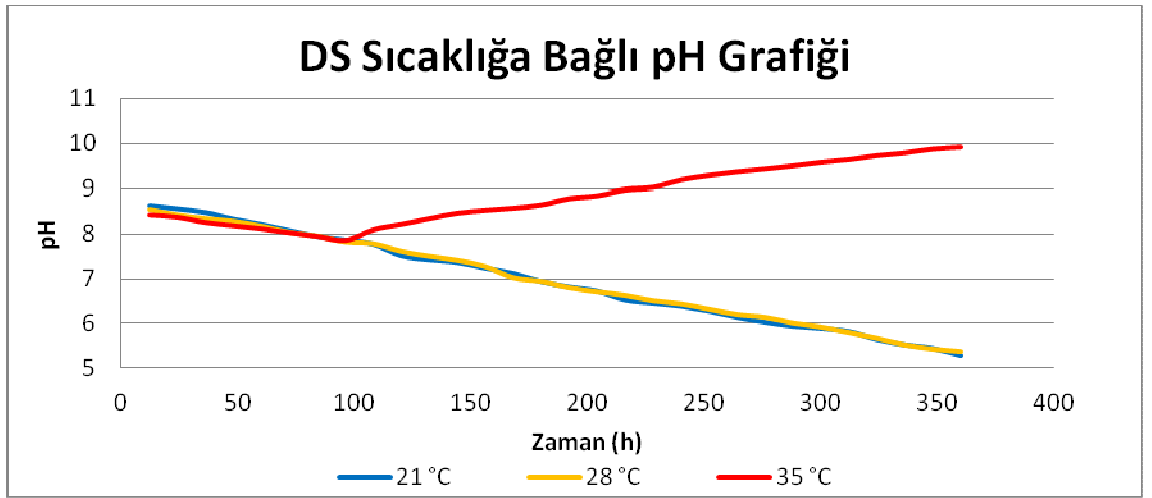
Şekil 4.23 *Dunaliella salina* türünün sıcaklığa bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki Değişimler



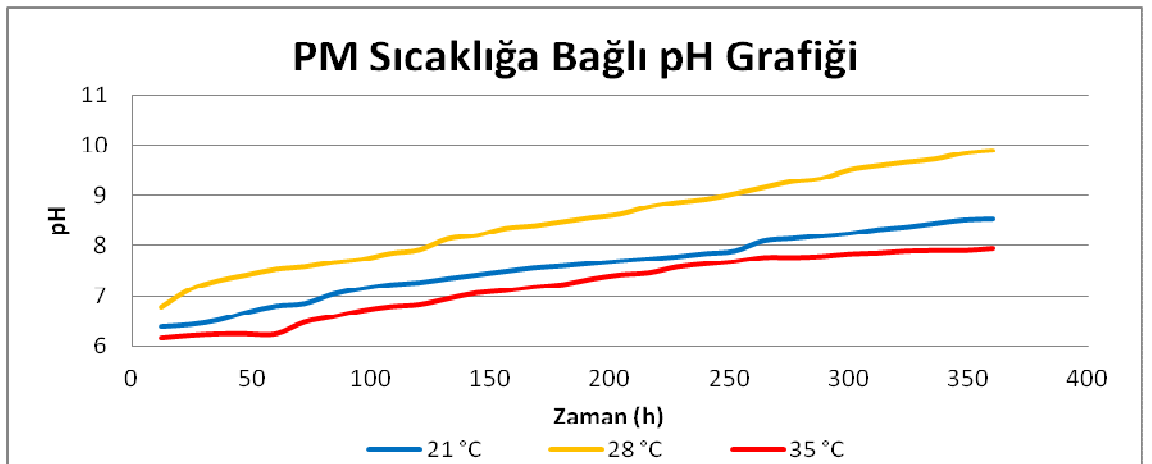
Şekil 4.24 *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki Değişimler

4.3.4 pH sonuçları

Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’da *Dunaliella salina* ve *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak pH değerlerinde belirlenen değişimler görülmektedir. *Dunaliella salina* sıcaklığın artmasıyla pH değerleri artmıştır. Bu tür literatürde sıcaklığı seven bir alg türü olarak anılmaktadır. *Palmelopsis muralis* türünde ise sıcaklığın artmasıyla pH değerleri düşmüştür (Demirbaş 2010, Demir vd. 2007, Eliçin vd. 2009).



Şekil 4.25 *Dunaliella salina* türünün sıcaklığa bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler



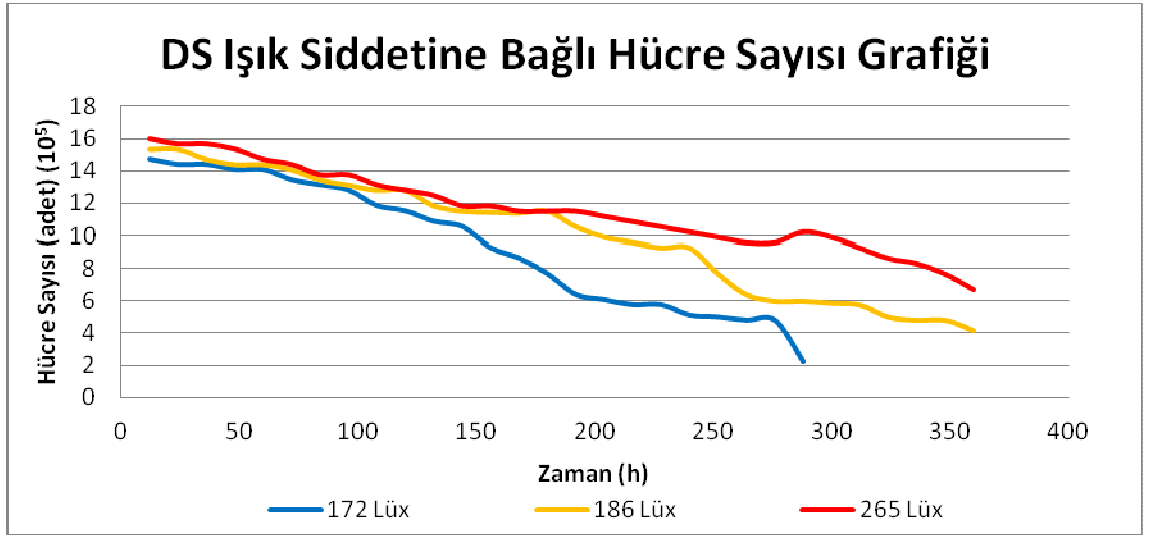
Şekil 4.26 *Palmelopsis muralis* türünün sıcaklığa bağlı olarak pH değerlerindeki Değişimler

4.4 Işık Şiddeti Etkisinin Araştırılması

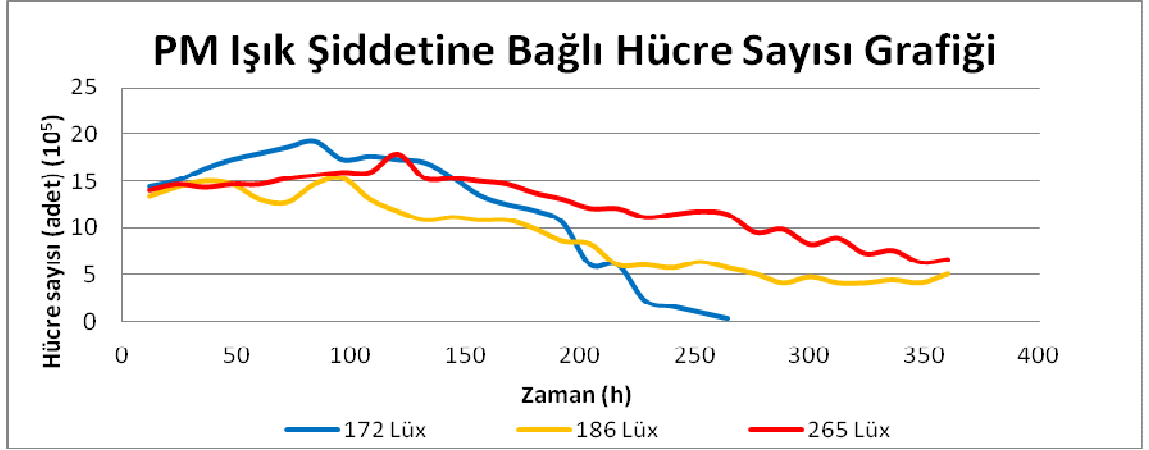
Beyaz ışık kaynağı kullanılan ve 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık periyotlar içerisinde ışığa maruz bırakılan alglere, farklı ışık şiddeti uygulanmıştır. Sırasıyla 6V, 9V ve 12V'luk adaptörlerin 60 cm led ışık kaynağına sağladığı ışık şiddetleri sırasıyla, 172 lüx, 186 lüx ve 265 lüx olarak belirlenmiştir. Bu şartlar altında hücre sayıları, pH, tuzluluk ve iletkenlik değişimleri belirlenmiştir.

4.4.1. Hücre sayısı sonuçları

Dunaliella salina ve *Palmelopsis muralis* türlerinin farklı ışık şiddetine bağlı olarak hücre sayısındaki değişimler şekil 4.27 ve şekil 4.28'de görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere ışık şiddetinin arttırılmasıyla hücre sayısındaki düşüşler daha da azalmıştır. Bu eğrilerde de ışık şiddetlerinin algler üzerindeki etkisi belirlenebilmektedir (Gökpınar 1983, Scragg vd. 2002). Burada hücre sayısındaki düşüşler ışıklandırma süresinin 12 saat karanlık 12 saat aydınlık şeklinde olmasından kaynaklanmaktadır.



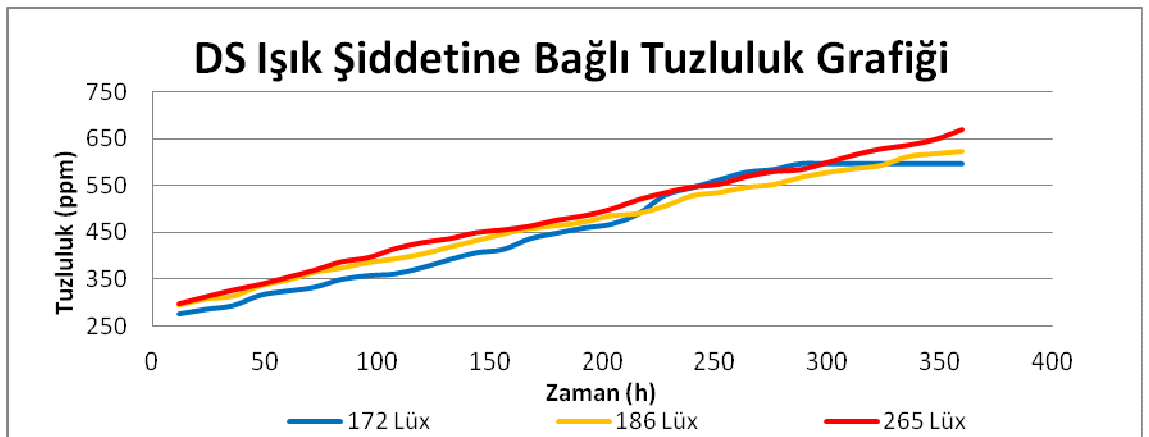
Şekil 4.27 *Dunaliella salina* türünün ışık şiddetine bağlı olarak hücre sayısı değerlerindeki değişimler



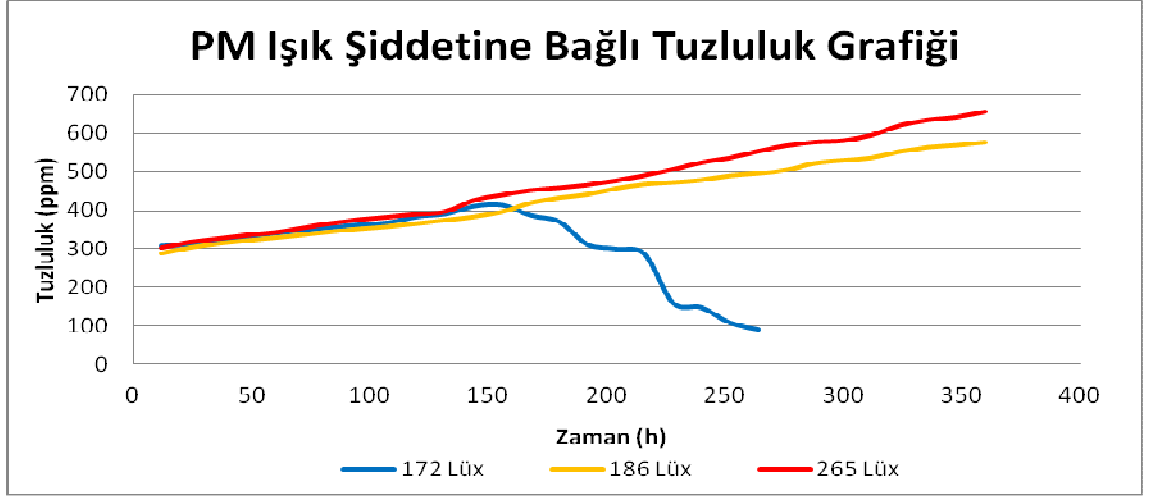
Şekil 4.28 *Palmelopsis muralis* türünün ışık şiddetine bağlı olarak hücre sayısı değerlerindeki değişimler

4.4.2. Tuzluluk sonuçları

Dunaliella salina ve *Palmelopsis muralis* türlerinin farklı ışık şiddetine bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler şekil 4.29 ve şekil 4.30'da görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere ışık şiddetinin artırılmasıyla tuzluluk değerlerinde artışlar görülmektedir. En yüksek tuzluluk değerlerine 265 lüx ışık şiddetine sahip denemelerde rastlanmıştır (Tapan 2006, Tawfig vd. 2004, Gökpınar ve Cirik, 1991) ve *Palmelopsis muralis* türünün 172 lüx değerlerindeki ani düşüş, bu deneme şartlarında kontaminasyona bağlı canlı hücrenin bulunmayışından kaynaklanmaktadır. (Demir vd. 2007, Eliçin vd. 2009)



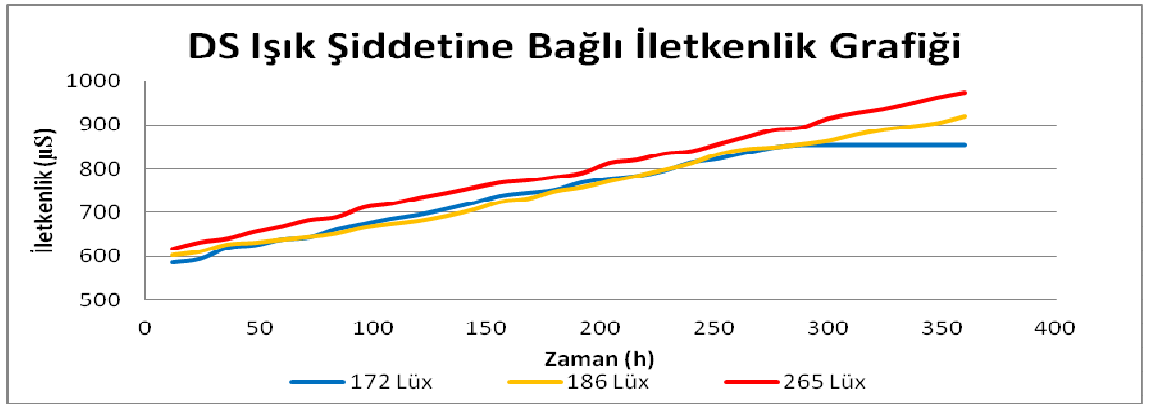
Şekil 4.29 *Dunaliella salina* türünün ışık şiddetine bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler



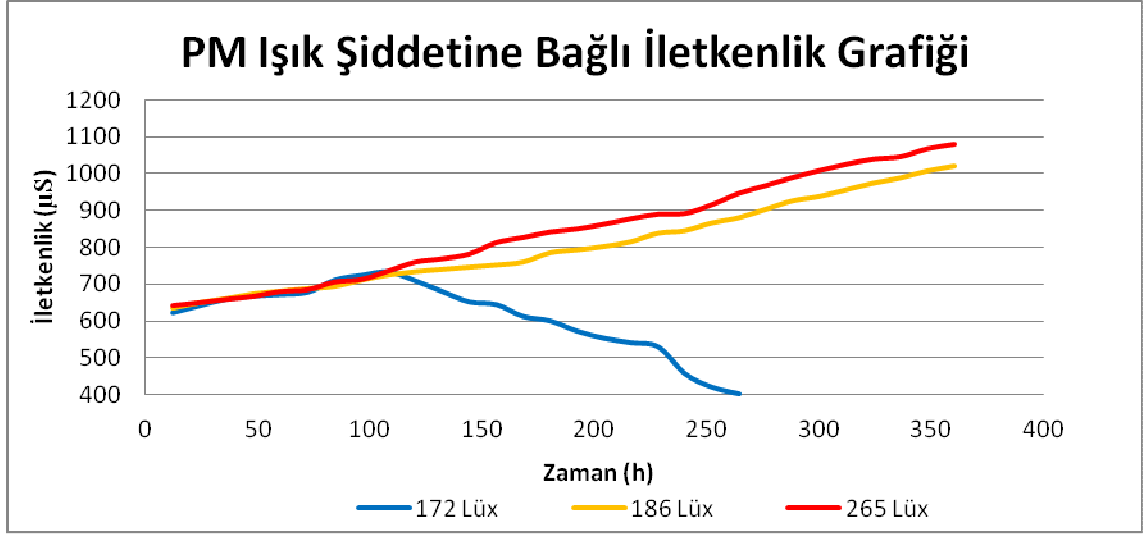
Şekil 4.30 *Palmelopsis muralis* türünün ışık şiddetine bağlı olarak tuzluluk değerlerindeki değişimler

4.4.3 İletkenlik sonuçları

Dunaliella salina ve *Palmelopsis muralis* türlerinin farklı ışık şiddetine bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler şekil 4.31 ve şekil 4.32’de görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere ışık şiddetinin artırılmasıyla iletkenlik değerleri tuzluluk değerleriyle paralellik göstermektedir. *Palmelopsis muralis* türünün 172 lüks değerlerindeki ani düşüş ise yine bu deneme şartlarında kontaminasyona bağlı canlı hücrenin bulunmayışından kaynaklanmaktadır (Johnson ve Wen 2009). Hücrelerin kontaminasyona bağlı olarak ölmesiyle denemelerin son gününe kadar beslenmeye devam edilmesi, bu iki değerın artışını hızlandırmaktadır.



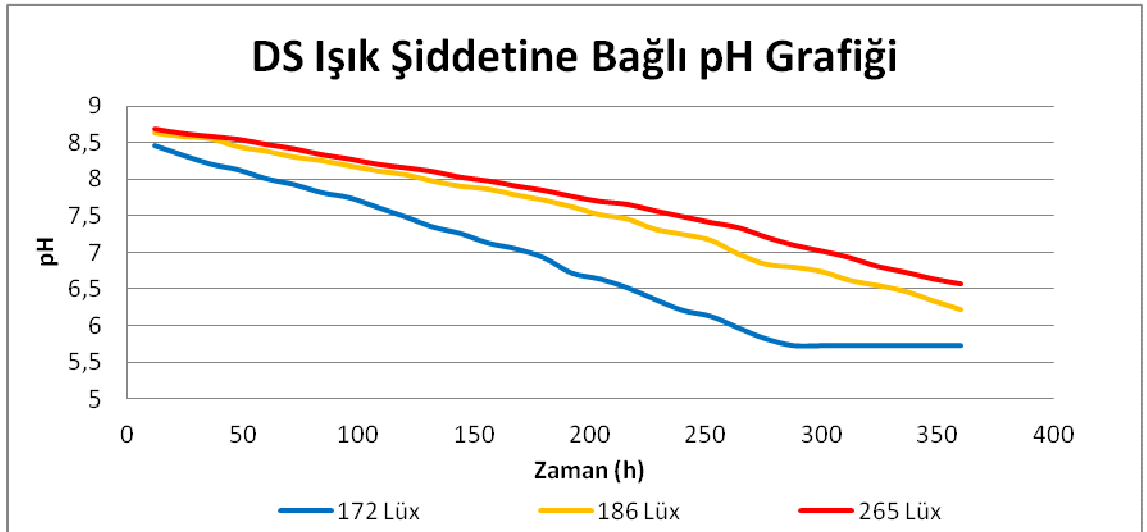
Şekil 4.31 *Dunaliella salina* türünün ışık şiddetine bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler



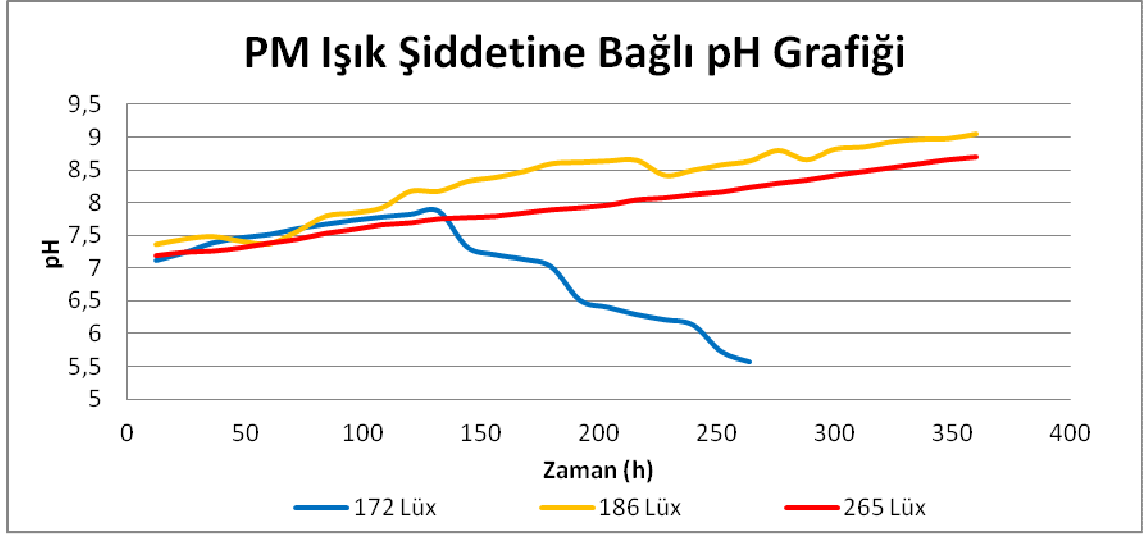
Şekil 4.32 *Palmelopsis muralis* türünün ışık şiddetine bağlı olarak iletkenlik değerlerindeki değişimler

4.4.4 pH sonuçları

Dunaliella salina türünün ışık şiddetine bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler şekil 4.33'de görülmektedir. Işık şiddetinin artmasıyla pH değerleri düşüşler azalmaktadır (İlgi ve Şebnem 2007, Xu vd. 2006). 172 lük ışık şiddetinde yapılan denemelerde 10. günde canlı hücre kalmamıştır.



Şekil 4.33 *Dunaliella salina* türünün ışık şiddetine bağlı olarak pH değerlerindeki değişimler



Şekil 4.34 *Palmelopsis muralis* türünün ışık şiddetine bağlı olarak pH değerlerindeki Değişimler

Palmelopsis muralis türünde ise pH değerlerindeki değişimler şekil 4.34’de görülmektedir. Bu türde çok anlamlı değişimler tespit edilememiştir. Bu türün düşük sıcaklıkta ve düşük ışık kaynağında daha fazla randıman verdiği literatürce bilinmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları Bölümünde, biyodizel üretimine uygun mikroalglerin gelişimine bazı yetiştirme parametrelerinin etkisinin belirlenmesi incelenmiştir.

Denemelerde, iki farklı mikroalg türü üzerine sıcaklık, tuzluluk, iletkenlik ve ışığın etkileri incelenmiştir, *Chlorophyceae* sınıfına ait *Palmellopsis muralis* ve yine *Chlorophyceae* sınıfına ait *Dunaliella salina sp.* türleri seçilmiştir. Mikroalg türleri yağ oranı miktarının fazla olması, kolay bulunabilirlik, kontaminasyona dayanıklılık ve soğukta ve sıcakta yaşam faktörleri göz önüne alınarak seçilmiştir.

Renkli led denemelerinde, *Dunaliella salina sp.* türü için en iyi büyüme hücre sayılarına bakıldığında beyaz ışık altında gözlemlenmiştir. En yüksek ışık şiddeti mavi, kırmızı, sarı ve beyaz renkli ledlerde 265 lüks ile beyaz led'e aittir. Tuzluluk verilerine bakıldığında ışık şiddetiyle doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. İletkenlik değerleride tuzlulukla aynı paralellikte ışık şiddetiyle doğru orantılı olarak artmıştır. pH değerlerinde ise tuzluluk ve iletkenliğin tam tersine ışık şiddeti arttıkça yani beyaz led kullanımında düşüş gözlemlenmiştir.

Palmellopsis muralis' e ait renk denemelerinde en iyi hücre artışına beyaz led'de ulaşılmıştır. En düşük hücre sayısını sarı led'de göstermiştir ve 13. gün sonunda canlı hücreye belirlenememiştir. Tuzluluk verilerine bakıldığında *Dunaliella salina sp.*'den farklı olarak mavi ve kırmızı ledlerde tuzluluk ölçümlerinde artış görülmüştür. İletkenlik değerlerinde ise mavi led'de *Dunaliella salina sp.*'nin 2 katı kadar arttığı belirlenmiştir. pH verileri değerlendirildiğinde ise ilk 7 gün içerisinde düşüş daha sonraki 8 günde ilk gün değerlerine yükselme görülmüştür.

Işıklanma süresi denemelerinde, *Dunaliella salina sp.* türü için 24 saat aydınlık ortamda en yüksek hücre sayısı belirlenmiştir. 18 saat karanlık/6 saat aydınlık ortamda ise en düşük hücre sayısı gözlenmiştir. Işıklanma süresiyle tuzluluğun ters orantılı olduğu saptanmıştır. 18 saat karanlık/6 saat aydınlık ortamda tuzluluk artmıştır. İletkenlikle tuzluluk paralellik göstermektedir. 18 saat karanlık/6 saat aydınlık ortamda iletkenliğinde

arttığı belirlenmiştir. pH değerlerine bakıldığında karanlık zamanların artmasıyla Ph değerlerindeki düşüş azalmıştır fakat genel anlamda pH değerlerinde bir azalma söz konusudur.

Palmellopsis muralis'e ait ışıklanma süresi verilerine bakıldığında, en yüksek hücre sayısını 24 saat aydınlıkta göstermiştir. En düşük hücre sayısını ise 18 saat karanlık/6saat aydınlık ortamda göstermiştir. Tuzluluk değerlerine bakıldığında ise *Dunaliella salina sp.*'nin tersine 24 saat aydınlıkta en yüksek tuzluluk değerine ulaşmıştır. İletkenlik değerlerinin ise tuzluluk değeriyle doğru orantılı olduğu saptanmıştır 24 saat aydınlıkta iletkenlik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. pH verileri değerlendirildiğinde ise tuzluluk ve iletkenlik gibi pH da 24 saat aydınlık ortamda attığı belirlenmiştir.

Sıcaklık denemelerinde, *Dunaliella salina sp.* türü en yüksek hücre sayısına 35°C ulaşarak sıcağı seven bir tür olduğunu göstermiştir. En düşük hücre sayısına 21°C'da ulaşılmıştır. Tuzluluğun ise sıcaklıkla doğru orantılı olduğu, sıcaklık arttıkça tuzluluğunda arttığı belirlenmiştir. İletkenlik verileri değerlendirildiğinde sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür. pH ise iletkenlik ve tuzluluk gibi sıcaklık arttıkça artmaktadır.

Palmellopsis muralis türüne ait sıcaklık denemelerinde ise; en yüksek hücre sayısına 21°C ulaşılmıştır. Yüksek sıcaklık olan 35°C ise hücre sayısında önemli bir düşüş görülmüştür. Tuzluluk değerlerinin ise sıcaklık yükseldikçe arttığı belirlenmiştir. Düşük sıcaklıklarda düşük tuzluluk değerine sahip bir tür olduğunu göstermiştir. İletkenlik değerlerine bakıldığında tuzluluk gibi sıcaklık arttıkça iletkenlik değerinin arttığı belirlenmiştir. pH verileri ise tuzluluk ve iletkenlikle ters orantılı olduğunu göstermiştir. Düşük sıcaklıklarda yüksek pH değerleri ölçülmüştür.

Işık şiddetine bağlı yapılan denemelerde, *Dunaliella salina sp.* türünde en yüksek hücre sayısına 12 V yani 265 lüx'de ulaşılmıştır. Şekil 4.28'de düşüş görülmesinin sebebi denemelerin 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyodunda yapılmasından kaynaklanmaktadır. Tuzluluk verileri değerlendirildiğinde ışık şiddetindeki artışın tuzluluk üzerine etkisinin olumlu olduğu ve arttığını göstermektedir. İletkenlik

değerlerinde ise, hücre sayısı ve tuzluluk gibi ışık şiddetinin artmasıyla iletkenlikte de bir artışın söz konusu olduğu belirlenmiştir. pH verilerinde ise genel anlamda bir düşüş söz konusudur. Fakat şekil 4.34 incelendiğinde ışık şiddetinin artmasıyla pH değerlerinde ki düşüşler azalmaktadır.

Palmellopsis muralis türüne ait ışık şiddeti değerleri incelendiğinde, en yüksek hücre sayısına 265 lüks de ulaştığı görülmüştür. Şekil 4.29 daki hücre sayısının giderek düşmesinin sebebi ise 12 saat aydınlık/12 saat karanlık periyodundan kaynaklanmaktadır. Tuzluluk verileri ise, ışık şiddetiyle tuzluluğun doğru orantılı olduğunu göstermektedir. En yüksek ışık şiddeti olan 265 lüks’de en yüksek tuzluluk değeri saptanmıştır. İletkenlik verileri incelendiğinde ışık şiddetinin, hücre sayısı ve tuzlulukta olduğu gibi iletkenlik üzerinde de etkisinin olduğu ve ışık şiddeti arttıkça iletkenliğinde arttığı görülmektedir. *Palmellopsis muralis* türüne ait ışık şiddeti denemesinde, ışık şiddetinin pH üzerine yaptığı etkide çok anlamlı değişimler tespit edilmemiştir.

Sonuç olarak, *Dunaliella salina sp.* türünün yüksek sıcaklık isteyen, tuzluluğu seven ve ortam koşullarından çok çabuk etkilenen ve çabuk kontamine olmasından ötürü dış ortamlardan ziyade kapalı ortamlarda yetiştirilmesi gerekmektedir. *Palmellopsis muralis* türü ise düşük sıcaklıkta en iyi büyümeyi göstermesi ve ortam koşullarından *Dunaliella salina sp.*’ye göre daha az etkilenmesi, kontamine riskinin az olması sebebiyle dış mekanlarda daha rahat yetiştirilebileceği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abu-Rezeq, T., Al-Musallam, L., Al-Shimmari, J. and Dias, P. 1999. Optimum production conditions for different high-quality marine algae. *Hydrobiologia*, pp. 97-107.
- Agra, I.B., Warnijati, S. and Wiratni, F. 1996. Two steps ethanolysis of castor oil using sulfuric acid as catalyst to producer motor oil. World Renewable Energy Congress, pp. 1025, June 15 – 21, Colorado.
- Ahmad, A.L., Yasin, N.H.M., Derek, J.K. and Lim, J.K., 2011. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 584-593.
- Amin, S. 2008 Review on biofuel oil and gas production processes from microalgae. *Journal of Energy and Management*, pp. 1834-1840.
- Basha, S.A. Gopal, K.R. and Jebaraj, S. 2008. A review on biodiesel production, combustion, emissions and performance. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1628-1634.
- Belay, A. 1997. Mass Culture of Spirulina Outdoors. The Earthrise Farms Experience. In: Vonshak, A.(eds.), *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, cell – biology and biotechnology*, London, pp. 131 – 158, London
- Brown, M.R. Jeffrey, S.W. Garland, C.D. 1989. Nutritional aspects of microalgae used in mariculture: a literature review, pp. 205, 44.
- Chisti, Y. 2007. Biodiesel From Microalgae. *Biotechnology Advances*, pp. 294 – 306.
- Demir, N., Kırkağaç, U.M., Topçu, A., Zencir, Ö., Pulatsü, S. ve Benli, K.Ç. 2007. Sarısu-Mamuca Göleti (Eskisehir) Su Kalitesi ve Besin Düzeyinin Belirlenmesi. *Ankara Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, s. 385-390.
- Demirbaş, A. 2010. Use of algae as biofuel sources. *Journal of Energy Conversion and Management*, pp. 2738-2749.
- Eliçin, A.K., Saçılık, K. ve Erdoğan, D. 2007. Haşhaş Yağı Esterlerinin Bir Diesel Motorda Kullanım Olanaklarının Belirlenmesi. *Tarımsal Mekanizasyon 24. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, 5-6 Eylül, Kahramanmaraş.
- Eliçin, A.K., Kılıçkan, A. ve Avcioglu, A.O. 2009. Mikroalglerden Biyodizel Üretimi. *25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı*, s. 273-278, Isparta.

- Fox, R.D. 1993. Health Benefist of Spirulina and Proposal for as Nutrition Test on Children Suffering from Kwashiorkor and Marasmus, *Algae of Life*, Bulletin de L'Institut Oceanographique, Monaco.
- Goldman, J.C. 1979. Outdoor Algal Mass Cultures. I. Applications. *Water Research*, pp. 1-19.
- Gökpınar, Ş. 1983. Observations on the culture of a marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bohlinin different nutrient and salinity concentration. *Ege Ü. Fac. of Science*, pp. 77-86.
- Gökpınar, Ş. ve Cirik, S. 1991. *Phaeodactylum tricornutum*'un geniş ölçekli yığın kültürleri üzerine tuzluluk faktörünün etkisi. *Ege Ü. Su Ürünleri F. Eğitiminin 10. Yılında Su Ürünleri Semp.*, s. 429-438, 12-14 Kasım, İzmir.
- Gökşan, T., Zekeriyaoğlu, A. and Ak., İ. 2006 The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems Under Greenhouse Condition. *Tübitak Journal of Biol.* Pp. 47-52.
- Xu, H., Miao, X. and Wu Q. 2006 High Quality Biodiesel Production From a Microalga *Chlorella protothecoides* by Heterotrophic Growth in Fermenters, pp. 499-507.
- Harun, R., Davidson, M., Doyle, M., Gopiraj, R., Danquah, M. and Forde, G. 2011 Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility. *Journal of Biomass and Energy*, pp. 741-747.
- Huang, G., Chen F., Wei D., Zhang X. and Chen G. 2010. Biodiesel production by microalgal biotechnology. *Journal of Applied Energy*, pp. 38-46.
- Ilgaz, S. 2003 Farklı Tuzluluk Derişimlerinin *Nannochloropsis oculata* ve *Isochrysis galbana* türlerinin büyüme hızlarına etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- İlgi, K.K. ve Şebnem, A. 2007. Sürekli İşletilen Alg-Fotobiyoreaktör Sisteminde Atık Sudan Azot Giderimi. 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Bildiri Kitabı, s. 267-273, İzmir.
- Johnson, M.B. and Wen, Z. 2009. Production of Biodiesel Fuel from the Microalga *Schizochytrium limacinum* by Direct Transesterification of Algal Biomass. *Journal of Energy Fuels*, pp. 79-83.
- Kargbo, D.M. 2010. Biodiesel Production from Municipal Sewage Sludges. *Journal of Energy Fuels*, pp. 91-94.

- Kozlenko,R.and Henson,H.R. 1998. Latest scientific research on Spirulina: Effect on the aids virus, cancer and the immune system.
- Meng, Xin, J. Yang, X. Xu, L. Zhang, Q. Nie and Xian, M. 2009. Biodiesel Production from Oleaginous Microorganisms. Renewable Energy, pp. 1-5.
- Naz, M. ve Gökçek, K. 2006. Fotobiyoreaktörler: Fototropik Mikroorganizmalar için Alternatif Üretim Sistemleri. Ulusal Su Günleri 2004, 6-8 Ekim 2004, İzmir.
- Scragg, A.H., Illman, A.M., Carden, A. and Shales, S.W. 2002. Growth of microalgae with increased calorific values in a tubular bioreactor. Journal of Biomass and Bioenergy, pp. 67-73.
- Sharif Hossain, A.B.M and Salleh, A. 2008. Biodiesel Fuel Production from Algae as Renewable Energy. American Journal of Biochemistry and Biotechnology, pp. 250 – 254.
- Tapan, D. 2006 Çevre Koşullarının Bazı Mikroalg Türlerinin Büyümesi Üzerine Etkisinin Araştırılması. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Tawfiq S. A., Suad A.H., and Jacob D.A. 2004 Optimum culture conditions required for the locally isolated Dunaliella salina. Journal of Algal Biomass Utilization, pp. 12-19
- Vijayaraghavan, K. and Hemanathan K. 2009. Biodiesel Production from Freshwater Algae. Journal of Energy and Fuels Article, pp. 5448-5453.
- Vonshak, A. 1997. Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell biology and Biotechnology. Taylor and Francis, pp. 213-226, London, Great Britain.
- Yılmaz, H.K. 2002. Mikroalg – Rotifer Kültür Sistemleri Tasarımı, Yardımcı Ders Kitabı, Su ürünleri Fakültesi Yayınları No:3; ISBN 975-6900-08-3, pp. 15 – 16.
- Yılmaz, H.K., 2006. Mikroalg Üretimi için Fotobiyoreaktör Tasarımları. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, pp. 327-332.
- ALGALBİYODİZEL, 2005 Biyodizel web sitesi.
(<http://www.algalbiyodizel.com/post/Alg-yagc4b1-ekstraksiyonu.aspx>)
Erişim tarihi: 17.01.2011
- ALG MAGAZİN, 2008 Alternatif yakıtlar web sitesi.
(<http://www.algaeindustrymagazine.com/department/a-i-m-interviews/>)
Erişim tarihi: 24.10.2011
- FAO, 2009 Alg üretim istatistikleri web sitesi. (<http://www.fao.org/corp/statistics/en/>)

Erişim tarihi: 16.09.2011

UTEX, 2007 Alg turleri kiltur koleksiyonu web sitesi.

(<http://www.sbs.utexas.edu/utex/search.aspx?txtSearch=dunaliella+salina>)

Erişim tarihi: 21.11.2011

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa GEZİCİ

Doğum Yeri : Kırşehir

Doğum Tarihi : 05.07.1985

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl):

Lise : Bahçelievler Deneme Lisesi / Ankara

Lisans : Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Bölümü

Yayınları (SCI ve diğer)

- Eliçin, A.K., **Gezici, M.** ve Erdoğan, D. 2011. Determination of using possibilities of some oil esters as a fuel in small internal Diesel engine. 11th International Congress on Mechanization and Energy in Agriculture Congress, pp. 601-613, 21-23 September 2011, İstanbul, TÜRKİYE
- Eliçin, A.K., **Gezici, M.** ve Uygun, S. 2010. Deniz Suyunun Tarımda Kullanımı ve Arıtma Olanakları. 26. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, s. 89 - 95, Hatay