

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

***SPIRULINA PLATENSIS*'İN ÇANAKKALE**
KOŞULLARINDA HAVUZLARDA ÜRETİMİ VE
BİYOKİMYASAL YAPISINDA MEYDANA GELEN
DEĞİŞİMLER

Cenker KILIÇ

Danışman:
Doç. Dr. Tolga GÖKSAN

Aralık, 2008
Çanakkale

***SPIRULINA PLATENSIS*'İN ÇANAKKALE
KOŞULLARINDA HAVUZLARDA ÜRETİMİ VE
BİYOKİMYASAL YAPISINDA MEYDANA GELEN
DEĞİŞİMLER**

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Su Ürünleri Anabilim Dalı

Cenker KILIÇ

Danışman:

Doç. Dr. Tolga GÖKSAN

Aralık, 2008

Çanakkale

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

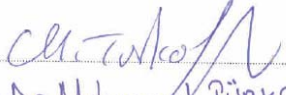
CENKER KILIÇ tarafından DOÇ.DR. Tolga GÖKSAN yönetiminde hazırlanan “*SPIRULINA PLATENSIS*’İN ÇANAKKALE KOŞULLARINDA HAVUZLARDA ÜRETİMİ VE BİYOKİMYASAL YAPISINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Tolga GÖKSAN

Yönetici


Prof. Dr. Semra CİRİK

Jüri Üyesi


Yrd. Doç. Dr. Muhammet TÜRKÖĞLÜ

Jüri Üyesi

Sıra No: 408

Tez Savunma Tarihi: 25/12/2008

Prof. Dr. Neşet AYDIN

Fen Bilimleri Enstitüsü

Müdürü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmam boyunca bana yol gösteren, maddi manevi desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç.Dr. Tolga GÖKSAN'a, çalışmalarım boyunca seradaki yardımlarından dolayı Yüksek Lisans eğitim dönemimden arkadaşım Bircan ÖZBAŐ'a, tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Cenker KILIÇ

SİMGELER ve KISALTMALAR

μ	Mikro
cm	Santimetre
m	Metre
sn	Saniye
dk	Dakika
mL	Mililitre
L	Litre
Abs	Absorbans
mg	Miligram
g	Gram
nm	Nanometre
Rpm	Dakikada devir hızı
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
DW	Kuru ağırlık

***SPIRULINA PLATENSIS*'İN ÇANAKKALE KOŞULLARINDA HAVUZLARDA ÜRETİMİ VE BİYOKİMYASAL YAPISINDA MEYDANA GELEN DEĞİŞİMLER**

ÖZET

Bu çalışmada Çanakkale iklim koşullarında *Spirulina platensis* Geitler'in kuru ağırlık, klorofil *a*, absorbans, % geçirgenlik, filament uzunluğu gibi büyüme özellikleri ve fikosiyanın, yağ asidi, protein miktarı gibi biyokimyasal özelliklerindeki değişimler üzerine çalışıldı. 1,5 g L⁻¹ kuru ağırlık miktarı ile başlanan denemede en yüksek yoğunluk Temmuz ayında ulaşılmış ve 2,65 g L⁻¹ bulunmuştur. En düşük değer ise Ocak ayında 0,86 g L⁻¹ olarak tespit edilmiştir.

Protein oranı Ağustos ve Eylül aylarında değişmemiş ve % 63,9 olarak bulunmuştur. Şubat ayından itibaren protein oranında bir artma gözlemlenmiş ve Temmuz ayında % 64,7 ile maksimum seviyeye ulaşmıştır. Fikosiyanın oranı Ağustos – Ekim ayları arasında belirgin bir değişiklik göstermemiş ve sırasıyla 0,264; 0,278; 0,254 mg mL⁻¹ olarak ölçülmüştür. Ocak ve Şubat aylarında ise minimum seviyede bulunmuş ve sırasıyla 0,05–0,06 mg mL⁻¹ olarak ölçülmüştür. % yağ asitleri değişiminde, sıcaklığın en yüksek seviyeye ulaştığı Temmuz ve Ağustos aylarında palmitik, linoleik ve γ -linolenik asit oranlarında artış meydana gelmiştir. Palmitoleik asit oranında ise aksine bir azalmanın meydana geldiği yaşandı.

Sonuç olarak, *S. platensis*'in Çanakkale iklim koşullarında tüm yıl boyunca kültürü aralıksız olarak başarıyla yapılmıştır ve Nisan-Ekim ayları arasında 15 g m⁻² gün⁻¹ üzerinde bir üretim sağlanmıştır. Bu çalışma, *S. platensis* kültürlerinin ilk defa bu kadar uç koşullarda kültür edilmesi bakımından da önem taşımaktadır. Ayrıca kullanılan sera sisteminin özellikle kış döneminde kültür için önemli bir avantaj sağladığı görüldü.

Anahtar Sözcükler: *Spirulina platensis*, sera, büyüme, yağ asitleri, protein

Bu Tez çalışması Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir (Proje no: 2007/21).

THE CULTURE OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN OPEN PONDS AND THE CHANGES IN BIOCHEMICAL COMPOSITION UNDER ÇANAKKALE CONDITIONS

ABSTRACT

In this study, the changes in growth parameters such as dry weight, chlorophyll *a*, absorbance, % transmittance, and biochemical parameters such as phycocyanin, fatty acids, protein amount were examined in *Spirulina platensis* Geitler under Çanakkale conditions. In the experiment started with a dry weight of 1,5 g L⁻¹, the highest density was found to be 2,65 g L⁻¹ in July whereas the lowest amount was 0,86 g L⁻¹ in January.

The protein amount was the same in August and September, and found to be 63,9%. Starting from February, protein amount increased and reached to the maximum level of 64,7% in July. Phycocyanin amount did not change between August – October, and found to be 0,264; 0,278 and 0,254 mg mL⁻¹ respectively. As for January and February, it was minimum and found to be 0,05 and 0,06 mg mL⁻¹ respectively. In July and August in which the temperature was the highest, ratios of palmitic, linoleic and γ -linolenic acids increased. In contrast, palmitoleic acid ratio in the biomass decreased.

Consequently, the year-round cultivation of *S. platensis* under Çanakkale conditions was successfully carried out and a productivity of more than 15 g m⁻² day⁻¹ was achieved between April-October. This study is of importance with respect to the cultivation of *S. platensis* under such extreme conditions for the first time. In addition, it was seen that the culture, especially in winter period, took the advantage of the greenhouse used in the experiment.

Keywords: *Spirulina platensis*, greenhouse, growth, fatty acids, protein

The Thesis was supported by Çanakkale Onsekiz Mart University Scientific Research Projects Commission (Project no: 2007/21).

İÇERİK	Sayfa
TEZ SINAVI SONUÇ BELGESİ.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
BÖLÜM 1 – GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2 – KAYNAK ÖZETLERİ.....	4
2.1. <i>Spirulina</i> spp.’nin Morfolojisi ve Biyokimyasal Özellikleri	4
2.1.1. <i>Spirulina</i> spp.’nin Morfolojisi ve Genel Özellikleri.....	4
2.1.2. <i>Spirulina</i> spp.’nin Biyokimyasal Özellikleri.....	5
2.2. <i>Spirulina</i> spp. Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar.....	6
BÖLÜM 3 – MATERYAL VE METOD.....	14
3.1. Organizma ve Kültür Koşulları.....	14
3.2. Analitik Ölçümler.....	16
BÖLÜM 4 – BULGULAR.....	19
4.1. Aylık Ortalama Sıcaklığı Değerleri.....	19
4.2. Aylık Ortalama Işık Şiddeti Değerleri.....	21
4.3. Büyüme Parametrelerinde Meydana Gelen Değişimler.....	23
4.4. Protein, Fikosiyanin ve Yağ İçeriğinde Meydana Gelen Değişimler....	26
4.5. Yağ Asitlerinde Meydana Gelen Değişimler.....	29
4.6. Üretim Miktarı.....	33
BÖLÜM 5 – SONUÇ VE TARTIŞMA.....	35
KAYNAKLAR.....	42
Tablolar.....	I
Şekiller.....	II
Yaşam Öyküsü.....	III

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Mikroalgler, ekonomik anlamda değerli olan pek çok metaboliti hücre içerisinde spesifik olarak biriktirebilme özelliğinden dolayı son yıllarda üzerinde sıklıkla çalışılan organizmalardan biri haline gelmiştir. Bu metabolitler genel olarak protein, pigmentler (Borowitzka, 1988), polisakkaritler (Gudin, 1988), antibiyotik ve vitaminler (Cohen, 1986), hidrokarbonlar (Bachofen, 1982) ve yağ asitleri (Cohen, 1986) şeklinde sıralanabilir. Dolayısıyla, bu canlıların insanlar için besin desteği (Henrickson, 1989), akuakültür ve hayvan besleme (Becker, 1986a), enerji üretimi (Ginzburg, 1993), tarlalarda azotlu gübre olarak (Watanabe ve diğ., 1987) ve atık suların arıtımı (Henze ve diğ., 2002) gibi çok farklı alanlarda kullanımı bulunmaktadır.

Mikroalgal biyoteknoloji alanında gerçekleştirilen çalışmalarda *Spirulina* spp., hem biyokimyasal içerik hem üretim avantajları hem de kullanılabilirlik açısından dünyada üretimi en çok yapılan mikroalg türüdür. *Spirulina* spp.'nin dünyada ticari anlamda üretimi özellikle 1980'lerin başından itibaren önem ve hız kazanmıştır. Ülkemizde ise *Spirulina* türünün üretim potansiyeli ve besin madde içeriğine ilk defa Cirik (1989) tarafından dikkat çekilmiştir. Özellikle çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA)'nden γ -linolenik asit (GLA), mavi renkli pigment maddesi fikosiyanin ve yüksek protein içeriği (% 50-70) nedeniyle insanlar için bir besin desteği olarak kullanımının yanında, hayvan yemi olarak akuakültürde ve kanatlı hayvan endüstrisinde kullanımı da mevcuttur (Belay ve diğ., 1996; Wikdors ve Ohno, 2001). Bu özellikleri yanında kültür koşullarının sağladığı avantajlar da göz ardı edilemez. *Spirulina*'nın açık havuzlarda veya bir sera içerisinde tüm yıl boyunca üretilebilirliği alkalofilik bir tür olması nedeniyle mümkündür. Optimum büyüme sıcaklığının 35-37 °C ve pH aralığının 8,5-11,0 gibi yüksek değerlerde olması, ticari anlamda büyük ölçeklerde üretim için büyük avantaj sağlamaktadır (Cohen, 1997). Bu nedenle kültürün bakteriyel veya algal kontaminasyona uğrama riski oldukça düşüktür.

Spirulina spp., doğada ender olarak bulunan PUFA'ndan γ -linolenik asit (18:3n-6, GLA)'i yüksek miktarlarda hücre içinde biriktirebilmektedir. Bu yağ asidi bazı hastalıkların tedavisinde kullanıldığı için ticari olarak yüksek talep görmektedir (Ishikawa ve diğ., 1989; Pascaud, 1993). *Spirulina* spp.'nin diğer bir önemli özelliği de pigment madde içeriği açısından ticari olarak büyük öneme sahip olmasıdır. *Spirulina* spp.'de göze çarpan en önemli pigment maddesi fikosiyanın'dır. Bu pigment maddesinin *Spirulina* spp.'de C-fikosiyanın ve Allofikosiyanın olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. Fikosiyanın pigmenti, toplam protein içeriğinin % 20'ye kadar olan kısmını oluşturabilmektedir (Cohen, 1997). Ayrıca, içeriğinde bulunan diğer karotenoid pigmentler nedeniyle süs balıklarının pigmentlenmesinde yemlerde katkı maddesi olarak kullanılmakta, özellikle altın sazan ve kırmızı sazanların yetiştiriciliğinde olumlu sonuçlar vermektedir (Miki ve diğ., 1986).

Fikosiyanın, Uzakdoğu ülkelerinde, özellikle de Japonya'da doğal pigment maddesi olarak yiyeceklerde, içeceklerde, ilaçlarda ve kozmetik endüstrisinde sentetik renklendirici ürünlerin yerine kullanılmaktadır. Mavi renkli bu pigment kozmetikte far, göz kalemi ve rujlarda kullanılmaktadır. Gıda boyası olarak ise sakızlar, süt ürünleri, jöle vb. gıdalarda kullanılmaktadır. Ticari olarak *Spirulina* spp.'den Dainippon Ink.&Chemicals Inc. tarafından ayda 600 kg "Lina Blue" ticari ismi ile üretilmektedir (Dainippon Ink.&Chemicals Inc., 1980). Bu pigment çeşitli hastalıklarda insanlar ve hayvanlar için koruma sağlayıcı ve bağışıklık sistemini kuvvetlendirici güçlü bir etkiye sahiptir (Liu ve diğ., 2000). Aynı zamanda, kanser ve virüs hücrelerinin üreme özelliğini kısıtlayıcı ve antioksidan etkilerinin bulunduğu bildirilmiştir (Mathew ve diğ., 1995; Romay ve diğ., 1998; Gonzalez ve diğ., 1999; Hirata ve diğ., 2000).

Bu tez çalışmasında, mikroalgal biyoteknolojide ticari anlamda en çok üretime alınan türlerden biri olan *Spirulina platensis* Geitler 1925'in Marmara Bölgesini temsil edebilecek Çanakkale iklim koşullarında büyüme özelliklerinin ortaya konması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, her ay yağ asidi, pigment, protein gibi biyokimyasal parametrelerde meydana gelen değişimler incelenmiş ve büyüme özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca, *Spirulina platensis*'in genel olarak üretim yapılan

bölgelere göre daha serin bir iklimde kültüre alınması ve büyüme koşullarının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. *Spirulina* spp.'nin Morfolojisi ve Biyokimyasal Özellikleri

2.1.1. *Spirulina* spp.'nin Morfolojisi ve Genel Özellikleri

Spirulina spp. çok hücreli ve filament yapıda bir mavi-yeşil alg türüdür. Spiral formların çapı 1-12 µm, trikom denen sarmal yapının uzunluğu ise 100–110 µm civarındadır (Rich, 1931). Filamentler eksenleri boyunca kayarak hareket eder ve heterosistlere sahip değildir. Amerika ve Afrika'nın tuzlu alkali göllerinde bol rastlanan bir alg türüdür. *Spirulina* spp. sığ acı göllerde, özellikle de sıcak havalarda yüksek filament yoğunluğuna ulaşır.



Şekil 1. Denemede kullanılan *Spirulina platensis* M2 suşu.

Mavi-yeşil alglerden olan *Spirulina platensis*'in sistematikteki yeri aşağıda belirtilmiştir;

Divisio: Cyanophyta

Classis: Cyanophyceae

Ordo: Nostocales

Familia: Oscillatoriaceae

Genus: *Spirulina*

Species: *Spirulina platensis* Geitler, 1925

Siyanobakteriler olarak da adlandırılan Cyanophyta üyeleri, çok farklı ortamlarda yaşayabilmektedir. Bu grup üyeleri bakteriler ile fotosentetik algler arasında bir geçiş formudur. Genellikle tek hücreli olup, içlerinde koloni oluşturan ve ipliksi yapıda olanlar da vardır. Hücrenin en dışında bir müsilaj tabaka vardır. Bu tabakanın altında pektinden oluşmuş bir hücre çeperi bulunur. Bu tabaka bakterilerde bulunmaz. DNA ve kloroplast materyali ise fotosentetik alglerdekinin aksine sitoplâzma içinde dağınık bir halde bulunur.

2.1.2. *Spirulina* spp.'nin Biyokimyasal Özellikleri

Spirulina spp., sindirimi güçleştirici selüloz yapıda hücre duvarının olmaması ve yüksek besin madde içeriği nedeniyle insanlarda besin desteği olarak en sık kullanılan mikroalgal türdür. Kuru ağırlığının % 70'ine kadar varan yüksek oranlarda protein içermektedir (Cohen, 1997). Tüm tarımsal ürünlerden daha yüksek bir protein içeriğine sahiptir ve et veya süt ürünlerinden elde edilen proteinlerin aksine düşük yağlı, düşük kalorili ve kolesterolsüz bir protein kaynağıdır (Henrickson, 1989).

Siyanobakteriler yağ asitleri bakımından ise tipik olarak fakir bir gruptur. *Spirulina* spp. genel olarak kuru ağırlığının % 6-13'ü arasında toplam yağ içeriğine sahiptir (Cohen, 1997). Özellikle γ -linolenik asit (18:3n-6, GLA) bakımından zengin bir tür olup, toplam yağ miktarının % 8-32'si oranında GLA biriktirebilmektedir (Cohen ve diğ., 1987). Bu bakımdan doğadaki en zengin GLA kaynağıdır. Karbonhidrat miktarı ise kuru ağırlığın % 15-20'si civarında bulunmaktadır (Ciferri, 1983).

Spirulina spp. siyanobakteriler için tipik bir pigment profiline sahiptir. Klorofil moleküllerinden sadece klorofil *a* pigmenti içermektedir ve kuru ağırlığının % 0,8-1,5'ini oluşturmaktadır (Paoletti ve diğ., 1980). Bu sayede diğer ökaryotik alglerde olduğu gibi fotosentez yapabilir. *Spirulina* spp.'de bulunan diğer başlıca karotenoidler miksoksantofil (% 37), beta karoten (% 28) ve zeaksantin (% 17)'dir (Paoletti ve diğ., 1971).

Siyanobakterilerdeki başlıca ışık hasat pigmentleri klorofil *a* ve fikobiliproteinlerdir. Klorofil *a* molekülleri, sitoplazmanın dış kısmında serbest halde dolaşırlar. Siyanobakterilerde C-fikosiyanin, Allofikosiyanin, C-fikoeritrin ve fikoeritrosiyanin şeklinde dört çeşit fikobiliprotein mevcuttur. Bunların ışığı absorbladığı dalga boyları ise sırasıyla 620, 650, 565 ve 568 nm'dir. Sadece C-fikosiyanin ve Allofikosiyanin tüm siyanobakterilerde bulunurken, C-fikoeritrin ve fikoeritrosiyanin sınırlı sayıda türlerde mevcuttur. Fikobiliproteinlerin siyanobakterilerde bulunma konsantrasyonu büyüme şartlarına ve ışık şiddetine göre farklılık göstermektedir (Lee, 1999).

Cyanophyta üyelerinde yüksek miktarda bulunan ekonomik anlamda en önemli fikobiliprotein pigment maddesi mavi renkli fikosiyanin'dir. Fikosiyanin protoplazma içinde kuru ağırlığın % 20'sine kadar varabilen yüksek oranlarda bulunabilir (Ciferri, 1983). Hücre içerisinde yeşil renkli klorofil *a* ile mavi renkli fikosiyanin pigmentinin baskınlığı nedeni ile hücreler karakteristik mavi-yeşil renkte görülmektedir (Bourrely, 1970).

2.2. *Spirulina* spp. Üzerine Gerçekleştirilen Çalışmalar

Spirulina spp. üretiminin gelişmekte olan ve yoksul ülkelerde gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla özellikle Fox (1987, 1993b)'un çalışmaları göze çarpmaktadır. *Spirulina* tüketiminin kazandırılmasıyla yetişkin bir bireyin günlük A vitamini, B12 vitamini ve demir ihtiyacının karşılanabildiğini, bağırsak enfeksiyonlarına karşı ve bağışıklık sisteminin arttırılmasında etkili olduğunu, ayrıca son zamanlarda gıda boyası olarak ve kozmetik alanlarında kullanımının arttığını bildirmiştir (Fox, 1993a). Başta Hindistan ve Afrika'nın yoksul kasabaları olmak üzere *Spirulina* spp. üretiminin çiftçiler tarafından kırsal kesimlerde gerçekleştirilmesinin, seminer ve konferanslar yardımıyla desteklenmesinin gerekliliğini belirtmiştir (Fox, 1987).

Spirulina spp.'den elde edilen metabolitler ve bunların sağlık üzerindeki etkileri üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. *Spirulina* spp.'nin zayıflama

amacıyla kullanılabilceğini göstermek amacıyla, obez hastalara günde 3 kez 1 ay süresince 2,8 gr *Spirulina* spp. verilmiş ve sonuç olarak kilo kaybı meydana geldiği ifade edilmiştir (Becker, 1986b). Fedkovic (1993), *Spirulina* spp.'nin içeriğinde bulunan β -karoten pigmentinin kanser riskini azalttığını, *Spirulina* spp. ile beslenen farelerde karaciğer tümöründeki gelişimin durduğunu, hatta bazı deneme gruplarında gerileme gözleendiğini bildirmiştir. Kapoor ve Mehta (1992) ise *Spirulina* spp.'nin içerisinde bulunan demir ve B12 vitamini sayesinde kansızlık tedavisinde kullanılabilceğini bildirmiştir. Loseva ve Dardynskaya (1993) *Spirulina* spp.'nin zehirlenmelere karşı iyi geldiğini ve radyasyon düzeyini düşürücü etkiye sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Çernobil kazasından sonra yüksek dozda radyasyona maruz kalmış çocuklar üzerinde yapılan çalışmalarda *Spirulina* spp.'nin radyasyonu vücuttan uzaklaştırma özelliği görülmüş ve denek çocuklardaki radyasyon düzeyinde azalmalar meydana gelmiştir (Loseva ve Dardynskaya, 1993).

Spirulina platensis'in hücre çeperinden elde edilen γ -linolenik asidin (GLA) ilaç yapımında kullanılan ve yeryüzünde sınırlı sayıda kaynaktan elde edilebilen değerli bir hammadde olduğu bildirilmiştir (Cohen ve diğ., 1991). Benzer şekilde Pascaud (1993) da *Spirulina platensis* 'nin γ -linolenik asit bakımından zengin bir besin olduğunu, insanlarda linolenik asit eksikliklerinin büyüme bozukluğuna, deri rahatsızlıklarına ve enfeksiyonlara karşı duyarlılığa neden olduğu belirtmiştir. Bu nedenle diyetlerde *S.platensis* kullanımının insan sağlığı açısından olumlu sonuçlar verebileceği bildirilmiştir.

S. platensis'in balık, büyükbaş ve küçükbaş hayvancılık ile kanatlı hayvan endüstrinde de başarıyla kullanıldığına dair çalışmalar bulunmaktadır. Tavukların yumurtlama performansı ve yumurta kalitesi üzerine yapılan bir çalışmada *S. platensis*'in olumlu etkilerinin olduğu gözlenmiştir. *S. platensis* ilaveli yem ile beslenen grupta, yumurta sarılarının β -karoten içeriğinden dolayı daha koyu renkte olduğunu ve cazibesinin arttığını bildirmişlerdir (Becker ve Venkataraman, 1982). *S. platensis* ile beslenen dişi farelerde süt verimi üzerine gerçekleştirilen bir başka denemede ise sütteki protein miktarının belirgin bir şekilde arttığı bildirilmiştir (Kapoor ve Mehta, 1993).

Özellikle Avrupa ülkelerinde üretimi yaygın olarak yapılan sazan balığının beslenmesi üzerine gerçekleştirilen denemede, *S. platensis*'in balık unu yerine ikamesi çalışılmıştır. Buna göre balık unununun % 25, % 50 ve % 100'ü oranlarında *S. platensis* içeren yemler ile gerçekleştirilen denemede, % 100 *Spirulina platensis* kullanılan grupta dahi balıkların son ağırlık, spesifik büyüme oranı, yem dönüşüm oranı ve protein etki oranında olumsuz bir etki görülmemiştir (Nandeasha ve diğ., 1998).

Geleneksel balık yemi üretiminde karma yem formülasyonları kullanılmaktadır. Ako ve Tamaru (1999) çalışmalarında, doğal stereoisomerlerin sentetik türevlerinin kullanılması durumunda, β -karoten, zeaxanthin, lutein, canthaxanthin ve astaxanthin gibi karotenoidlerin emiliminde azalma olduğunu, buna bağlı olarak da balığın lezzetinin azaldığını bildirmişlerdir. *Spirulina*'nın içerisindeki doğal pigment maddeleri olan fikosiyanın, β -karoten ve zeaksantin'in balık ve karides yemlerine katılması durumunda pigmentlenme ve lezzetin arttığı görülmüştür (Mori ve diğ., 1987; Tanticharoen ve diğ., 1993).

Çeşitli algal türler su ortamında bulunan ağır metalleri hücre içinde seçici bir şekilde biriktirebilir (Oswald, 1990; Bedell ve Darnall, 1990). Bu mikroalgelere örnek olarak *Chlorella vulgaris* Beijerinck, *Scenedesmus* spp., *Chlamydomonas* spp., *Spirulina* spp. ve *Oscillatoria* spp. verilebilir. Sonuç olarak, üretilen bu değerli algal biyokütle, biyo-gaz, gübre, hayvan yemi gibi farklı amaçlar için tekrar kullanılabilir. Evsel atık suların iyileştirilmesini gösteren ilk çalışma 1974'te Kosaric ve diğ. (1974) tarafından yapılmıştır. Saxena ve diğ. (1983)'nin yaptığı çalışmada ise Hindistan'da kümes hayvanlarının beslenmesi için evsel işlenmemiş atık suda *Spirulina* sp. yetiştirilmiş ve atık su ortamına 10 g L⁻¹ sodyum bikarbonat ve 1 g L⁻¹ sodyum nitrat ilavesi ile 12 gün içinde 9 g m⁻² gün⁻¹ ürün almıştır. Elde edilen ürün tavuk yemine katılarak tavuklarda patojenik olmadığı gözlemlenmiş ve yumurta sarısında da gözle görülür bir iyileşme olduğu belirtilmiştir (Saxena ve diğ., 1982, 1983).

Spirulina spp.'nin büyümesi ve biyokimyasal özellikleri üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir. *Spirulina* spp.'nin besin içeriği ve yağ asidi kompozisyonunun, kullanılan türe ve kültür şartlarına göre değişim gösterdiği belirtilmiştir (Pascaud, 1993). Tomaselli (1993), farklı habitatlardaki *Spirulina* spp. türleri üzerinde sıcaklık, ışık ve tuzluluğun oluşturduğu fizyolojik ve biyokimyasal değişimleri incelemiştir. Yüksek sıcaklık ve tuzluluk değerlerinin doymuş yağ asitleri içeriğini arttırdığı tespit edilmiştir. Piorreck ve diğ. (1984) *Spirulina* spp. kültürlerinde azot artışı ile toplam yağ miktarının arttığını, Tanticharoen ve diğ. (1994) ise dış ortamda yapılan kültürlerin laboratuvar ortamında gerçekleştirilen kültürlere nazaran daha fazla yağ biriktirdiğini bildirmiştir. Sarada ve diğ. (1999)'nin yapmış oldukları fikosiyenin ekstraksiyon çalışmalarında *Spirulina* spp. sprey kurutma yöntemi ve fırında kurutuldu. Buna göre, kurutulmuş *Spirulina* spp.'nin yaklaşık % 50 oranında fikosiyenin kaybına uğradığı, bu yüzden fikosiyenin ekstraksiyonu amacıyla taze biyokütle kullanımının daha uygun olduğu bildirilmiştir.

Kılıç ve diğ. (2006)'nin çalışmasında iki farklı *S. platensis* suşunun büyüme özellikleri karşılaştırılmış, klorofil ve kuru ağırlık ölçümlerinde pratiklik sağlayacak spektrofotometrik ölçümler üzerine çalışılmıştır. Denemede hücre sayıları hariç diğer büyüme parametrelerinin büyük farklılıklar göstermediği rapor edilmiştir. Sonuç olarak, her iki *S. platensis* suşunun büyüme parametreleri arasında önemli bir fark görülmesi de spiral formun hasadında yaşanan problemlerden dolayı düz formun kullanımının daha uygun olacağını bildirmişlerdir.

Tomaselli ve diğ. (1988), *S. platensis* M2 suşunun farklı kültür sıcaklıklarında besin içeriğinde meydana gelen değişimleri incelemiştir. 30,0 °C'de % 58,6, 35 °C'de % 58,0, 38 °C'de % 57,7, 40 °C'de % 55,5 ve 42,0 °C'de ise % 45,5 protein değerlerini bulmuşlardır. 42,0 °C sıcaklıktaki üretimlerde 35,0 °C'dekilere oranla protein oranında % 22 düşüş olduğunu bulmuşlardır. Diğer bir üretim çalışmasında ise *S. platensis*'in laboratuvar koşullarında 2000 lux ışık şiddetinde ve 28,0-45,0 °C arasında büyüme ve metabolizma üzerinde meydana gelen değişimler araştırılmıştır. Kültür sıcaklığının 43,0 °C'ye çıkması, protein içeriğinin % 20 gibi önemli bir oranda azalmasına neden olmuştur. Sonuç olarak, *S. platensis*'te biyokimyasal yapı

ve büyüme için en uygun sıcaklığın 35 °C olduğu bulunmuştur (Koru ve Cirik, 2003). Yapılan bir başka çalışmada, benzer şekilde sıcaklığın 40 °C ve üzerindeki bir değere ulaşması ile *Spirulina* sp.'nin protein değerinin azaldığı, yağ ve karbonhidrat değerlerinin arttığı belirlenmiş ve buna göre *Spirulina* sp. hücrelerinin makromoleküler yapısı ile sıcaklık arasında da ilişki var olduğu tespit edilmiştir (Cohen, 1997).

Chen ve diğ. (1996) yaptıkları bir çalışmada organik karbon kaynakları olan glikoz ve asetatın *S. platensis*'in büyümesi ve fikosiyanın birikimi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Glikoz uygulaması sonucunda en yüksek büyüme oranı, fikosiyanın miktarı ve hücre yoğunluğunu sırasıyla 0,62 d⁻¹, 2,66 g L⁻¹ ve 322 mg L⁻¹, asetat uygulamasında ise 0,52 d⁻¹, 1,81 g L⁻¹ ve 246 mg L⁻¹ bulmuşlardır. Spesifik büyüme hızının 2 klux ışık şiddetinde ve 2,5 g glikoz L⁻¹'de önemli derecede arttığı, 4 klux ışık şiddetinde yaşanan artışın ise önemli olmadığı görülmüştür. 4 klux'ten daha yüksek ışık şiddetlerinde ise fotoinhibisyon meydana geldiği gözlemlenmiştir. En yüksek fikosiyanın oranı 4 klux ışık şiddetinde biriktirilmiştir. Buna göre, fikosiyanın üretiminde en uygun ışık değerinin 2 klux'den düşük, optimal glikoz konsantrasyonunun ise 2,5-5,0 g L⁻¹ arasında olması gerektiği rapor edilmiştir.

De ve diğ. (1999), yaptıkları çalışmada farklı azot kaynaklarının (NaNO₃, (NH₄)₂HPO₄, NH₄NO₃ ve NH₄Cl) *S. platensis*'in yağ içeriği, GLA (γ-linolenik asit) konsantrasyonu ve büyümesi üzerine etkilerini araştırmışlardır. Denemeler 0,041 ve 0,082 g N/L içeren iki farklı dozda gerçekleştirilmiş ve ilk deneme grubu 14 ikinci deneme grubu ise 12 gün sürdürülmüştür. 0,041 g N/L dozda en yüksek GLA miktarı 14. günde (NH₄)₂HPO₄ grubunda % 35,3±0,13 w/w bulunmuştur. NaNO₃, NH₄NO₃ ve NH₄Cl içeren gruplarda ise en yüksek değer % 31,2±0,23 bulunmuştur. Kurutulmuş biyokütledeki toplam yağ içeriği ise GLA oranı ile ters ilişkilidi ve (NH₄)₂HPO₄ grubunda % 12,2±0,03 ile en düşük, NaNO₃ grubunda ise % 14,1±0,12 ile en yüksek oranlarda bulunmuştur. 0,082 g N/L dozda ise benzer şekilde GLA miktarı 10. günde en yüksek (NH₄)₂HPO₄ grubunda % 30,8±0,28 oranında, toplam yağ değeri ise % 16,7±0,16 ile en düşük oranda bulunmuştur. NaNO₃, NH₄NO₃ ve NH₄Cl guruplarında ise en düşük GLA % 30,6±0,23 ile NaNO₃'ta bulunmuştur.

Kurutulmuş biyokütlerde en düşük yağ içeriği % 18,0±0,17 ile NaNO₃'ta, en yüksek değer ise % 18,9±0,03 ile NH₄NO₃'ta bulunmuştur. Bu çalışmaya göre *S. platensis*'te daha düşük azot miktarıyla GLA artışı bakımından en uygun azot kaynağının (NH₄)₂HPO₄ olduğunu tespit etmişlerdir.

Oliveira ve diğ. (1999)'nin çalışmasında ise *S. platensis* ve *S. maxima* Geitler (1932)'nin farklı sıcaklıklardaki büyüme ve kimyasal kompozisyonundaki değişimler incelenmiştir. Sıcaklığın artmasına bağlı olarak karbonhidrat sentezi uyarılmış ve protein içeriğinde belirgin bir artışın yaşanmış iken 15,0-20,0 °C gibi daha düşük sıcaklıklarda ise kültürün strese girdiği ve biyomas miktarının azaldığı bildirilmiştir. GLA oranını ise optimum büyüme sıcaklığında *S. maxima* için % 11-16, *S. platensis* için % 12-14 olarak bulmuşlardır.

Tokuşoğlu ve Ünal (2003), yapmış oldukları çalışmada *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* ve *Isochrysis galbana* Parke türlerinin besin kompozisyonunu belirlemişlerdir. Yağ asit kompozisyonu, mineral maddeler ve bu alglerdeki toplam (çoklu doymamış yağ asitleri) PUFA, (doymuş yağ asitleri) SFA, n-3/n-6, EPA (eikosapentaenoik asit), DHA (docosaheksaenoik asit) miktarlarını araştırmışlardır. *S. platensis*'in zengin bir GLA kaynağı olduğu *C. vulgaris*'in ise önemli bir PUFA kaynağı olduğu ifade edilmiştir. *I. galbana*'nın ise diğer mikroalglerden daha yüksek oranda Ca ve Mg içerdiğini tespit etmişlerdir.

Göksan ve diğ (2007) yaptıkları bir denemede, şeffaf bidonlar, polietilen torbalar ve kanal tipi havuzlar olmak üzere üç tip kültür düzeneğinde sera içinde üretilen *S. platensis*'in büyüme özelliklerini araştırmışlardır. Kültür sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, bidon kültürlerinde daha yüksek hücre yoğunluğuna ulaşılmış. Deneme sonunda ölçülen protein miktarları ise bidon, torba ve havuz kültürleri için sırasıyla % 33,4, % 54,5 ve % 58,3 olarak bulunmuştur. Bidon kültürlerindeki protein miktarının diğer kültür düzeneklerindeki göre düşük oranda bulunma nedeninin, büyümenin hızlı olması nedeniyle ortamdaki azotun erken tüketilmesi olduğu ifade edilmiştir.

S. platensis'in yığın kültürlerinde en önemli parametrelerden biri de pH değeridir. pH değerinin 10,5'in üzerinde olması kültürün büyümesinde düşüslere neden olmaktadır. Maksimal pH değeri ise kültür yoğunluğuna ve mevsime göre değışkenlik gösterebilir (Richmond, 1986). *S. platensis* maksimal büyüme için diğere algal türlere nazaran çok daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyduğı için, yaz mevsiminde sabahın erken saatleri ve özellikle kış aylarında sıcaklığın optimalden çok uzaklaşması sonucu büyüme ciddi şekilde sınırlanır (Vonshak ve diğ.,1982).

Sıcaklık, ışık ve pH gibi çevresel faktörlerin *S. platensis* ve *S. fusiformis*'in biyokimyasal özellikleri ve büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır (Rafiqul ve diğ., 2005). *S. platensis* için sıcaklık 32,0 °C, ışık 2500 lüks ve pH 9'a ayarlanırken, *S. fusiformis* için sıcaklık 37,0 °C, ışık 2500 lüks ve pH 10'a ayarlanmıştır. Çalışmanın sonucunda protein içeriğı *S. fusiformis* için % 61,2 ve *S. platensis* için % 58,6 bulunmuştur. Bu sonuçlara göre *Spirulina* spp. kültürlerinde çevresel faktörlerin yüksek biyokütle ve protein üretimi üzerinde etkili olabileceğı belirtilmiştir (Rafiqul ve diğ., 2005).

Colla ve diğ. (2007) yaptıkları çalışmada 35,0 °C sıcaklık değerinin protein, lipid ve fenoliklerin üretiminde olumlu, biyomas üretiminde ise olumsuz yönde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Bhattacharya ve Shivaprakash (2005) yapmış oldukları çalışmada aynı ortam koşulları altında *S. platensis*, *Spirulina laxissima* G.S. West ve *S. lonar*'ın biyokimyasal ve büyüme özelliklerine bakmışlardır. Türler arasında *S. platensis*'te en yüksek büyüme oranı ve en kısa yarılanma süresi elde edilmiş, fenolik madde bakımından ise düşük bir miktar üretilmiştir. Biyokütle ve pigment miktarı bakımından ise en yüksek değerler alınmıştır. Buna bağılı olarak da büyük ölçekli kültürlerde en iyi sonucun *S. platensis*'te alınabileceğı sonucuna varılmıştır.

Abd El Baky ve Hanaa (2003) yaptıkları çalışmada iki farklı *Spirulina* sp. suşunu *S. platensis* ve *S. maxima*'yı farklı miktarlarda azot ve tuz içeren kültür ortamında büyütmişlerdir. Her iki türün de protein ve fikosiyenin içeriklerinin kültür

ortamındaki NaCl miktarlarından önemli derecede etkilendiği, NaCl ilavesi ve ortamdan azotun çekilmesi sonucu oluşturulan stres altında fikosiyanın miktarının yükseldiği bildirilmiştir.

Torzillo ve diğ. (1991) ise *S. maxima*'nın sürekli kùltür sistemlerinde büyüme hızının kesikli kùltürlere oranla daha yüksek olduğunu göstermiştir. Deneme süresince kùltürler çeşitli ışık şiddetlerine maruz bırakılmış, yüksek ışık şiddetlerinde hücrelerdeki karbonhidrat miktarının düşük ışıkta ise protein miktarının yüksek olduğu bildirilmiştir.

Spirulina spp.'nin kùltürü üzerine çeşitli ÷lkelerde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Gallegos (1993), Meksika'da alg tüketiminin büyük ölçüde *Spirulina* spp. 'ya bağımlı olduğunu, ithalatın Japonya, Amerika, Avrupa ve Kanada'ya yapıldığını, ürünlerin daha çok ilaç yapımında kullanıldığını, ilaç şirketlerinin ileride pigment ekstraksiyonu ile yeşil, sarı ve özellikle mavi pigmentleri üretmeyi amaçladığını bildirmiştir. Torzillo ve diğ. (1986), İtalya'da *S. maxima* ve *S. platensis*'in tüp fotobiyoreaktörlerdeki kùltürlerinden İtalya iklim koşullarında ortalama yıllık olarak hektarda 33 ton kuru ağırlık elde ettiklerini bildirmişlerdir. Unique (1993) ise Güney İspanya'da ortam sıcaklığının 34,0-38,0 °C olduğu Mart-Kasım ayları arasında 5000 m² yüzey alanına sahip havuzlarda *Spirulina* spp. üretimi yapıldığını belirtmektedir. Yüzey alanı büyük havuzlarda gerçekleştirilen üretimin daha fazla olduğunu, ayrıca ürünün tadı ve renginin daha iyi olduğunu bildirmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOD

3.1. Organizma ve Kültür Koşulları

Çalışmada kullanılan *Spirulina platensis* M2 suşu, Centro Studio dei Microrganismi Autotrofi del CNR, İtalya'da Giuseppe TORZILLO'dan elde edilmiştir. Stok kültürler Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ndeki Plankton Laboratuvarında 1 L'lik erlenlerde muhafaza edilmiştir. Havuz kültürlerine başlamak amacıyla ilk olarak 20 L'lik şeffaf plastik bidonlara ekim yapılmış, daha sonra kültürlerin denemenin gerçekleştirileceği ortama adapte olmasını sağlamak için Üniversite'nin Dardanos Yerleşkesi'nde bulunan alg üretim serasına taşınmıştır (40° 04' 29" N – 26° 21' 39" E). Hacimce 300 L'ye kadar şeffaf bidonlarda büyütülen kültürler her biri 8,5 m × 1,6 m ebatlarında ve aydınlanan yüzey alanı 12 m² olan iki üretim havuzuna alınmıştır (Şekil 2). Çalışma 01.08.2007-31.07.2008 tarihleri arasında 12 ay süreyle devam etmiştir.



Şekil 2. *S.platensis* üretim havuzları.

Denemede büyüme ortamı olarak Zarrouk (1966) ortamı kullanılmış olup içeriği Tablo 1’de verilmiştir:

Tablo 1. Zarrouk ortamında bulunan besin tuzları

Besin Tuzu	Miktar(g/L)	İz element solüsyonu	Miktar(g/L)
NaHCO ₃	16,80	H ₃ BO ₃	2,86
K ₂ HPO ₄	0,50	MnCl ₂ .4H ₂ O	1,81
NaNO ₃	2,50	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,22
K ₂ SO ₄	1,00	NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,39
NaCl	1,00	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,079
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,20	Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0,049
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,04		
FeSO ₄ .5H ₂ O	0,01		
Na ₂ EDTA. 2H ₂ O	0,08		
İz elem. sol.	1 mL L ⁻¹		

Havuzlardaki kültür yüksekliği 10 cm olacak şekilde ayarlanmıştır. Kültürlerin karışımı bir çark yardımıyla 30 cm sn⁻¹ civarı hızda gerçekleştirildi. Kültür yoğunluğu ve iklim şartlarına göre büyüme performansı göz önünde bulundurularak kültür ayda iki ila dört kez hasat edilmiştir. Kültür ortamına her hasat sonrasında NaHCO₃, NaNO₃ ve K₂HPO₄, her ay ise FeSO₄, Na₂EDTA ve iz element ilavesi yapılmıştır. Kültür ortamı 3 ayda bir ise tamamen değiştirilmiştir. Hücreler, filament büyüklüğüne göre 60 ve 100 µm’lik plankton bezi kullanılarak hasat edilmiş ve hasat edilen biyokütledeki fazla su bir ısıtıcı fan yardımıyla buharlaştırılmıştır. Koyu bir kıvama gelen biyokütle spagetti şeklinde 88 x 54 cm ebatlarındaki tel tepsilere konularak içinde fan bulunan bir fırında 35 °C’de kurutulmuştur. Kurutulan biyokütle analizler için bir öğütücü yardımıyla toz haline getirilmiştir. Büyümede yaşanan değişiklikleri izlemek amacıyla, düzenli olarak ayda 4 defa olmak üzere 12 ay boyunca biyokütlenin klorofil *a* ve kuru ağırlık (DW), % Geçirgenlik, 680 nm absorbans değeri, toplam protein miktarı, yağ asitleri ve fikosiyanın değerlerine bakılmıştır.

Gün içinde ışık şiddetinde meydana gelen değişimler LI-250 ışık-metre (LiCor) yardımıyla $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$ cinsinden ölçüldü. Dış ortam sıcaklığının belirlenmesinde Çanakkale Meteoroloji Müdürlüğü'nden alınan verilerden yararlanıldı. Sera içi ve kültür sıcaklıkları ise düzenli olarak haftada iki defa ölçüldü. Kültür sıcaklığı, tuzluluğu, çözünmüş oksijen miktarı ve pH değeri YSI 556 MPS multi-probe cihazı ile ölçüldü. Tüm bu ölçümler gün içinde 09:00-17:00 saatleri arasında gerçekleştirildi.

3.2. Analitik Ölçümler

Klorofil *a* tayini için kültürden 1 mL örnek santrifüj tüplerine konularak, 5000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiştir. Pastör pipetiyle üstte kalan kısım (süpernatant) dikkatlice tahliye edildikten sonra biyokütle üzerine 5 mL metanol ilave edilmiş, daha sonra bu tüpler ağızları kapatılarak 70 °C suda 10 dakika tutulmuştur. Klorofil *a* metanole geçtikten sonra örnek tekrar 5000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilmiş ve süpernatant'lar Jasco U.V. model 530 marka bir spektrofotometre ile Bennet ve Bogorad (1973)'a göre analiz edilmiştir.

Kuru ağırlık tayini için kültürden 20 mL örnek alınarak, bu örnek önceden kurutulmuş ve darası alınmış GF/C Whatman filtre kâğıtlarından süzölmüştür. Filtre kağıdı 105 °C'de ısıtılmış etüvde 2 saat kurutulduktan sonra örnekteki biyokütle yoğunluğu hassas terazide ölçölerek tespit edilmiştir. Kültürdeki fikosiyanın miktarı ise Bennett ve Bogorad (1973)'a göre tespit edilmiştir. Hazırlanan % 2 lik MgCO_3 çözeltisi filtre kağıdından vakumlu pompa yardımıyla süzölmüştür. Süzölen filtre kâğıdının üzerinde MgCO_3 tabakası oluştuktan sonra 10 mL *S.platensis* kültürü yavaşça süzölmüş ve daha sonra filtre kağıdı buzdolabının buzluk kısmında 5 dk bekletilmiştir. Filtre kâğıdının üzerindeki biyokütle bir havana alınarak deniz kumu yardımıyla ezilmiştir. Bu işlem esnasında pH değeri 7 olan fosfat tamponu çözeltisi kullanılmıştır. Daha sonra süzölen kısım 25 mL'lik balon joje içine alınarak (Şekil 3) spektrofotometrede 615, 652 ve 750 nm dalga boylarında okunmuştur (Bennet ve Bogorad, 1971). Fikosiyanın miktarı aşağıdaki formölde yerine konarak sonuç mg mL^{-1} cinsinden bulunmuştur:

$$\text{PC (mg mL}^{-1}\text{)} = \frac{[\text{O.D.}_{.615} - 0,474(\text{O.D.}_{.652})]}{5,34}$$



Şekil 3. *S.platensis*'den ekstre elde edilen fikosiyanın.

Protein tayini Kjeldahl metoduna göre yapılmıştır. Her ay için 0,5 gr kurutulmuş *S.platensis* örneği kullanılmıştır. Kjeldahl tüplerine, kör örnek hariç 0,5 gr kurutulmuş toz *S.platensis* ve 1 adet Kjeldahl tableti konmuştur. Kör örnek de dahil olmak üzere üzerine 15 mL'lik saf sülfürik asit ilave edilmiştir. Örnekler yakma ünitesinde renkleri açık yeşil olana kadar yaklaşık 2 saat bekletilmiş daha sonra 25 dk soğutulmaya bırakılmış ve soğuyan örneklerin üstüne 20 mL saf su ilave edilmiştir. 250 mL'lik erlenlere 25 mL doymuş borik asit çözeltisi konmuş ve Kjeldahl cihazına yerleştirilmiştir. Cihazda seyrelen borik asit çözeltisi 0,1 N HCl çözeltisi ile rengi pembe olana kadar titre edilmiş ve bu süre içinde harcanan HCl miktarı sarfiyat olarak not edilmiştir (AOAC, 2000). Elde edilen değer aşağıdaki formüle konarak % protein miktarı hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Protein} = \frac{(\text{Örnekte Harcanan HCl} - \text{Kör Örnekte Harcanan HCl}) \times 0,0014 \times 6,25}{\text{Örnek ağırlığı} \times 100}$$

Örneklerdeki % cinsinden toplam yağ miktarı Folch metoduna göre bulunmuştur (Folch ve diğ., 1957). Yağ asitleri analizi için Folch metoduyla elde edilen ham yağ, IUPAC (1987) metoduyla esterleştirilerek gaz kromatografisinde analiz edilmiştir. Kurutulmuş örnekten 2 g tartılarak 100 mL'lik balon jøjeye kondu. Balon jöje üzerine 40 mL metanol-kloroform karışımı (1:2, v/v) ilave edildikten sonra örnek bir gece karanlıkta oda sıcaklığında bekletilmiştir. Ertesi gün balon jöjedeki örnek süzülerek, önceden darası alınmış 250 ml'lik balon jøjeye konmuştur. Örnekteki metanol-kloroform karışımı buharlaşmaya kadar 60 °C'de (80 rpm) evaporatörde tutulmuştur. Evaporatörden çıkarılan örnek 50 °C etüvde ağırlığında herhangi bir değişim meydana gelmeyinceye kadar tutulmuştur. Desikatörde soğutulan örnek hassas terazide tartılarak % Yağ aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

$$\% \text{ Yağ} = (\text{Balon jöje ağırlığı} - \text{Balon jöje darası}) \times 100 / \text{Örnek ağırlığı}$$

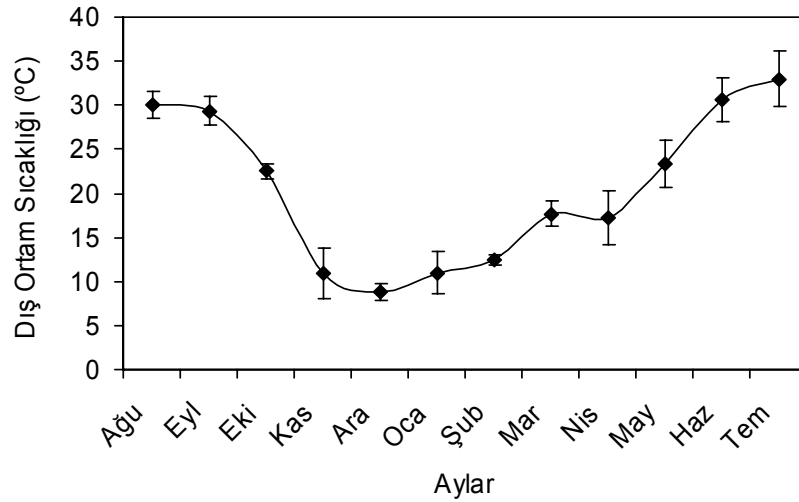
Örneklerin % Yağ oranı hesaplandıktan sonra 250 mL'lik balon jöjelerdeki örnekler esterleştirme işlemine tabi tutulmuştur. 5 mL metanolik 0,5 N NaOH ilave edilerek, esterleştirme işleminde örneğin taşmaması amacıyla içine kaynama taşı atılmış ve soğutucuya bağlanmıştır. Örnekler su banyosunda 15 dakika kaynatıldıktan sonra soğutucunun üzerinden 5 mL BF₃ reaktifi eklenmiş, 5 dk daha kaynatılmış ve 2 mL heptan ilave edilerek 1 dk daha kaynatılmıştır. Örnek soğutucudan çıkarıldıktan sonra 25 mL'lik balon jøjeye aktarılmış ve üzerine doymuş tuz çözeltisi ilave edilmiştir. Üstteki heptan fazından mikropipetle 1-2 mL alınarak vialerle aktarılmıştır (IUPAC, 1987). Yağ asidi analizleri Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda GC-MS cihazında yapılmış ve *S. platensis*'te en çok bulunan γ -linolenik asit (18:3n-6), linoleik asit (18:2n-6), palmitoleik asit (16:1n-7) ve palmitik asit (C16:0) miktarlarına bakılmıştır.

Elde edilen % Geçirgenlik, Abs 680nm, Klorofil-a, Kuru ağırlık, Fikosiyanin, % Protein, % Toplam yağ, Filament uzunluğu ve Sıcaklık değerleri arasındaki istatistiksel ilişkiler SPSS 11.5 for Windows istatistiksel analiz programında karşılaştırılmıştır (Tablo 5).

BÖLÜM 4 BULGULAR

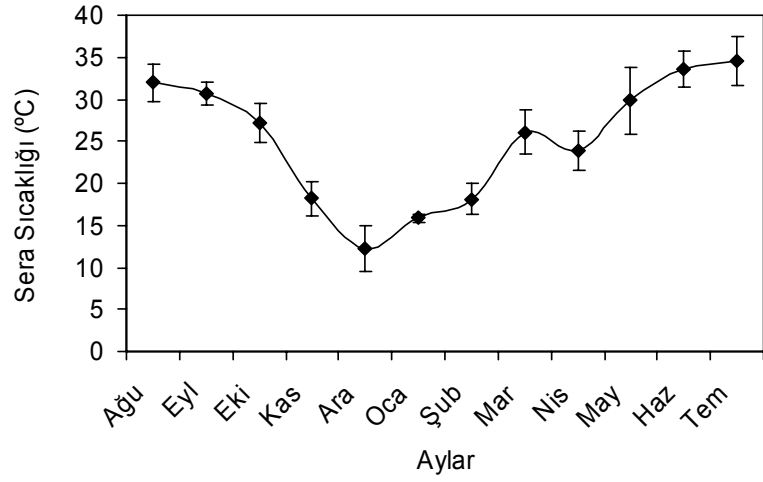
4.1. Aylık Ortalama Sıcaklık Değerleri

Spirulina platensis'in Çanakkale iklim koşulları altında büyüme özelliklerinin ortaya konduğu bu çalışmada, protein, kuru ağırlık (DW), klorofil *a*, fikosiyanin, % Geçirgenlik, 680 nm absorbans değeri (Abs_{680}), filament uzunluğu, % yağ ve yağ asidi gibi parametrelerde meydana gelen aylık değişimler incelenmiştir. 01.08.2007'de başlanan deneme 31.07.2008'e kadar 12 ay boyunca sürdürülmüştür. Dış ortam, sera ve kültür sıcaklıklarının aylık ortalama değerleri sırasıyla Şekil 4-6'da verilmiştir.



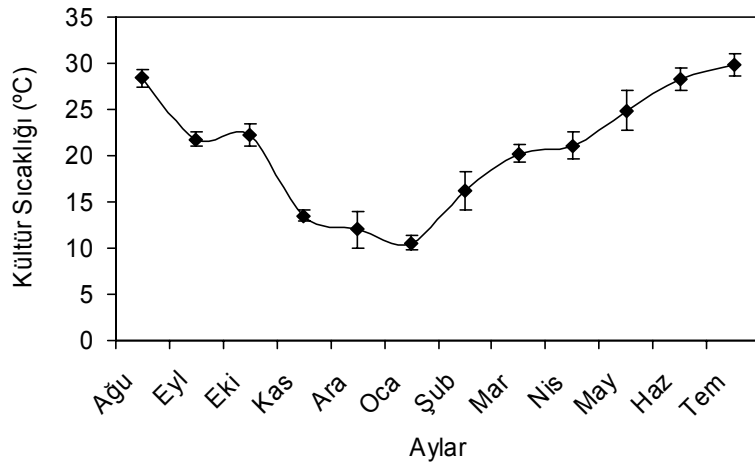
Şekil 4. Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları.

Dış ortam sıcaklığının aylık ortalama değerleri eğrisi, sera sıcaklığı aylık ortalama değerleri eğrisi ile benzerlik göstermektedir (Şekil 4). Arasındaki istatistiksel ilişki ise Tablo 5 'te verilmiştir. En yüksek aylık ortalama dış ortam sıcaklık değeri Ağustos ayında ölçülmüş ve özellikle Ekim ayından itibaren hızla düşmeye başlamıştır. Deneme süresince en düşük aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla 10,9; 8,8; 11,0 ve 12,5 °C olarak ölçülmüştür. Mart ayından itibaren artmaya başlayan dış ortam sıcaklığı Temmuz ayında 33,0 °C ile maksimum değere ulaşmıştır.



Şekil 5. Sera sıcaklığında meydana gelen aylık ortalama değişimler.

En yüksek sera içi aylık ortalama sıcaklık değeri ise Temmuz ayında 34,6 °C ölçülmüştür. 15 Haziran'da sera perdelerinin açılması ile Temmuz ve Ağustos aylarında sıcaklık değerlerinin *S. platensis* için tehlikeli düzeylere yükselmesi önlendi. Eylül ayı sonunda ise sera perdeleri kapatılmıştır. Dış ortam sıcaklığı ile benzer şekilde ortalama sıcaklık değerleri Ekim ayı itibariyle düşmeye başlamıştır. En düşük ortalama sera içi sıcaklık değerleri Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla 18,2; 12,2; 15,8 ve 18,1 °C bulunmuştur. Mart ayından itibaren sera içinde sıcaklık hızla yükselmiş ve Haziran ayı içinde 34,6 °C gibi yüksek seviyelere ulaşmıştır (Şekil 5).



Şekil 6. Kültür sıcaklığında meydana gelen aylık ortalama değişimler.

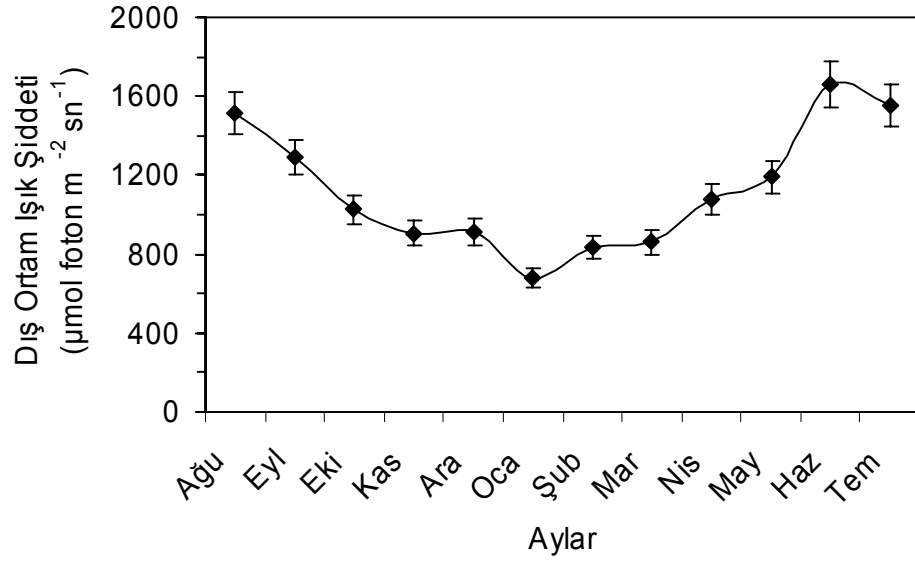
Kültür sıcaklığı Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında 28,3; 29,8 ve 28,4 °C ile en yüksek değerlerde ölçülmüştür. Eylül ayından itibaren ise düşüşe geçmiştir. En düşük sıcaklıklar ise Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat ayları için 13,5; 12,0; 10,6 ve 16,2 °C ölçülmüştür. Mart ayından itibaren sera sıcaklığına bağlı olarak hızla yükselmiş ve Temmuz ayında maksimum 29,8 °C'ye ulaşmıştır (Şekil 6).

Tablo 2. Aylık minimum ve maksimum sıcaklık değerleri

AYLAR	SICAKLIK °C					
	Sera Dışı		Sera İçi		Kültür	
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	Min.	Maks.
Ağustos	24,5	36,0	27,0	40,0	21,0	33,5
Eylül	23,5	33,5	27,5	36,5	20,0	27,5
Ekim	15,0	28,0	17,5	40,0	16,0	29,5
Kasım	8,0	14,0	10,0	26,0	11,0	18,0
Aralık	5,0	15,5	8,0	22,0	7,5	16,0
Ocak	6,5	14,5	9,0	19,0	6,5	12,0
Şubat	5,0	20,0	8,0	28,0	7,0	19,5
Mart	15,0	21,0	18,0	34,0	16,5	26,0
Nisan	13,5	23,0	17,0	35,0	15,0	30,0
Mayıs	13,0	32,0	16,0	43,0	18,0	32,0
Haziran	22,0	37,0	23,0	41,0	19,0	34,0
Temmuz	28,0	37,5	29,0	41,5	23,5	34,5

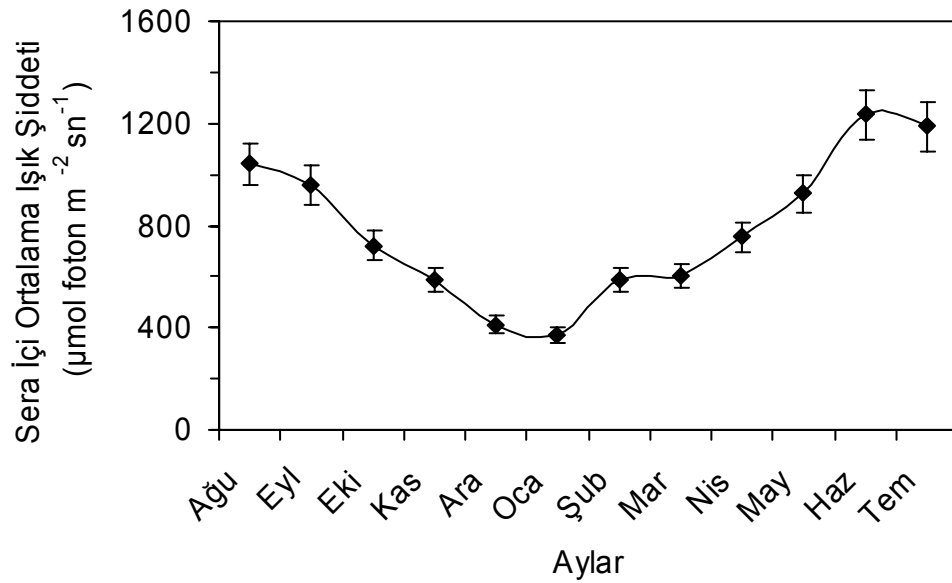
4.2. Aylık Ortalama Işık Şiddeti Değerleri

Sera dışında gerçekleştirilen ışık şiddeti ölçümlerinde Ağustos ayı ortalaması 1513 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ olarak ölçülmüş ve takip eden aylarda tedrici olarak düşmüştür (Şekil 7). En düşük aylık ortalama ışık şiddeti ise 683 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ ile Ocak ayında tespit edilmiştir. Şubat ayından itibaren artmaya başlayan ışık şiddeti Haziran ayında ortalama 1660 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ ile en yüksek düzeyine ulaşmış ve tekrar düşmeye başlamıştır. Haziran ayında ölçülen en yüksek ışık şiddeti 11 Haziran'da saat 14:00'da 1998 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ bulunmuştur.



Şekil 7. Dış ortam ışık şiddetinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.

Sera içi aylık ortalama ışık değerleri de Haziran ayında en yüksek takip eden aylarda tedrici olarak düşmeye başlamıştır (Şekil 8). Sera içinde minimum aylık ortalama ışık şiddeti 370 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ ile Ocak ayında ölçülmüş ve Şubat ayından itibaren artmaya başlamıştır. Haziran ayında ortalama 1233 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ ile en yüksek düzeyine ulaşmıştır.



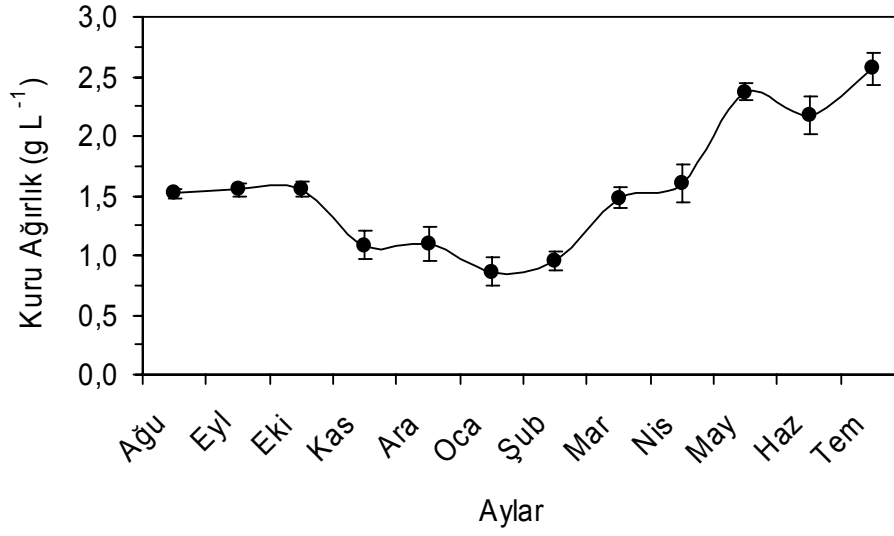
Şekil 8. Sera içi ışık şiddetinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.

Tablo 3. Aylık sera içi ve sera dışı maksimum ışık değerleri

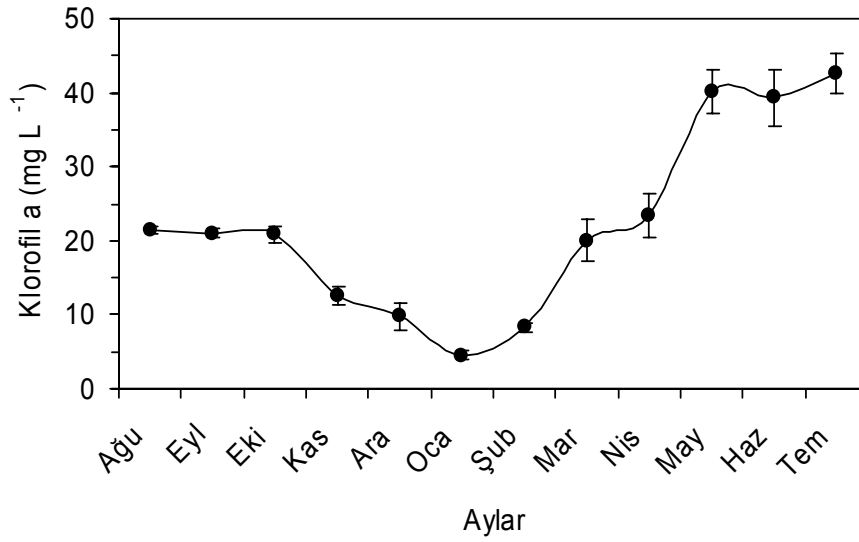
AYLAR	IŞIK ($\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ sn}^{-1}$)	
	Sera Dışı Maks.	Sera İçi Maks.
Ağustos	1873	1487
Eylöl	1565	1371
Ekim	1504	1187
Kasım	1388	1110
Aralık	570	467
Ocak	1252	1034
Şubat	1393	1115
Mart	1610	1210
Nisan	1824	1326
Mayıs	1928	1370
Haziran	1998	1515
Temmuz	1953	1400

4.3. Bőyüme Parametrelerinde Meydana Gelen Değişimler

1,5 g L⁻¹ kuru ağırlık miktarı ile başlanan denemede Eylül ve Ekim aylarında belirgin bir değişiklik tespit edilmemiŐtir. Kasım ayından itibaren düşmeye başlayan kőltür yoğunluğu Ocak ayında 0,87 g L⁻¹ ile en düşük seviyeye ulaşmıştır. Mart ayında tekrar artmaya başlamış ve Temmuz ayında 2,57 g L⁻¹ ile maksimum aylık ortalama değere ulaşmıştır (Şekil 9).

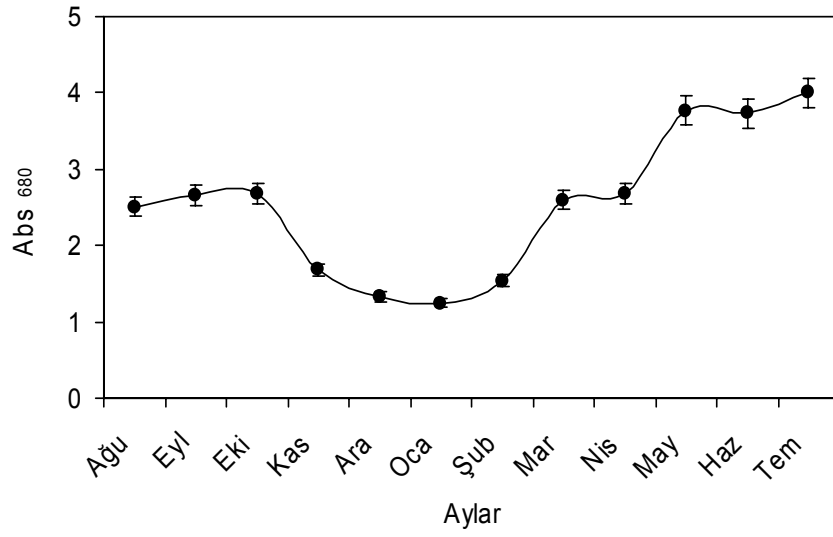


Şekil 9. Kuru ağırlık miktarında meydana gelen aylık ortalama değişimler.



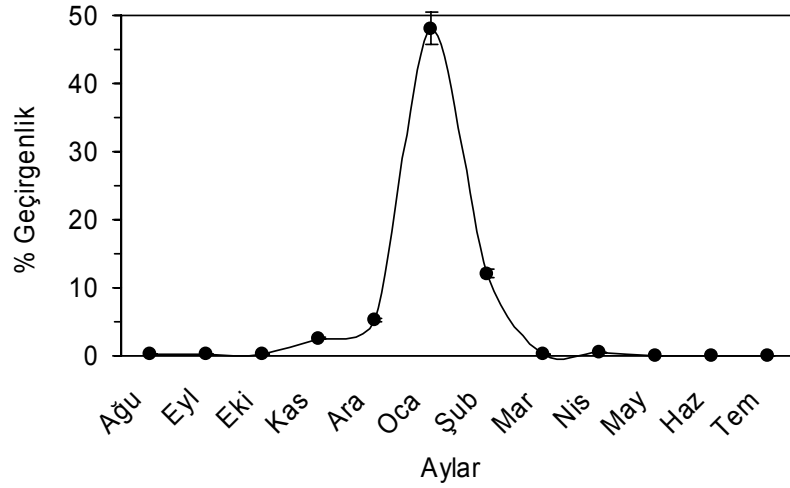
Şekil 10. Klorofil miktarında meydana gelen aylık ortalama değişimler.

Kuru ağırlık miktarına benzer şekilde klorofil *a* miktarında da Ağustos-Ekim aylarında değişim yaşanmamıştır. Kuru ağırlık ile klorofil *a* arasında önemli bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 5). Ocak ayında 4,48 mg L⁻¹'lik minimum değere ulaşmıştır. Şubat ayından itibaren klorofil *a* miktarında artış başlamış ve Temmuz ayında 42,64 mg L⁻¹ ile maksimum seviyeye ulaşmıştır.

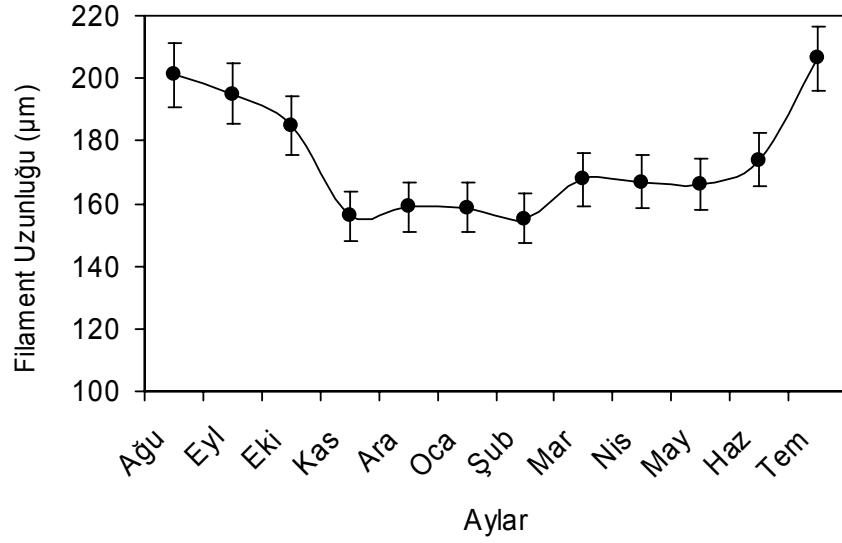


Şekil 11. Absorbans değerinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.

Kültürün 680 nm dalga boyunda absorbans (Abs_{680}) ve % Geçirgenlik değerlerinde meydana gelen değişimler Şekil 11 ve Şekil 12’de verilmiştir. Abs_{680} değerindeki değişimler kültür yoğunluğu ile aynı eğriyi vermiştir.



Şekil 12. % Geçirgenlik değerinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.

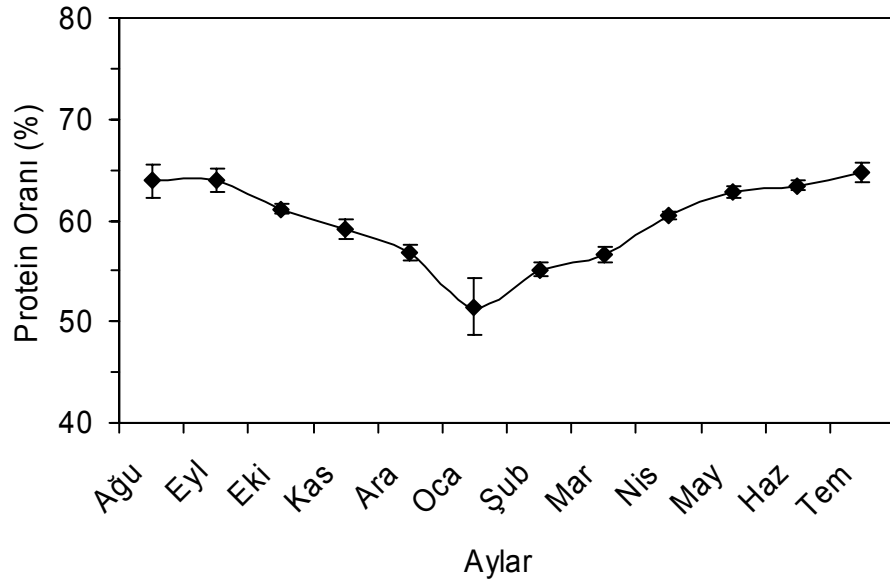


Şekil 13. Filament uzunluğunda meydana gelen aylık ortalama değışimler.

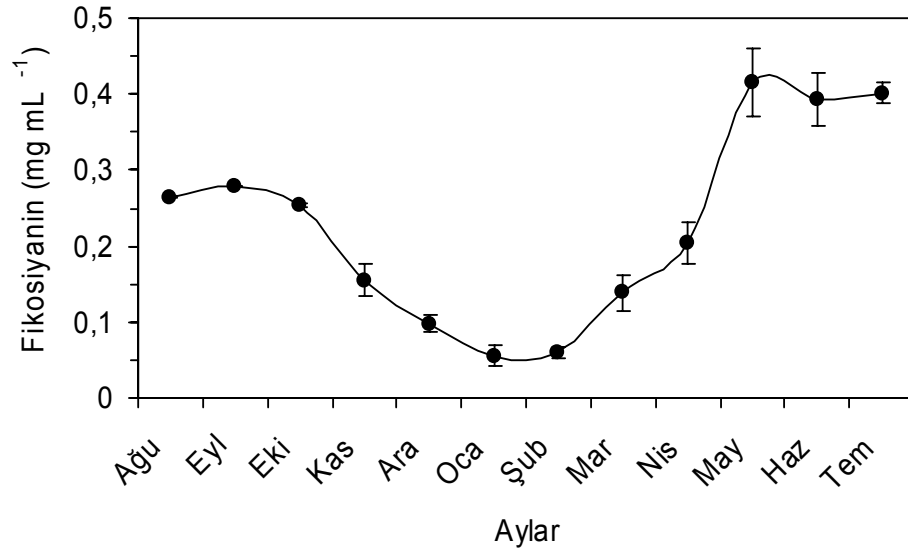
Ağustos ayında 201,08 µm bulunan filament uzunluğu, Kasım-Şubat aylarında havalarm soğuması ile birlikte 154,87-159,16 µm aralığında kalmıştır. Mart ayından itibaren artmaya başlayan filament uzunluğu Temmuz ayında 206,25 µm ile maksimum uzunluğa ulaşmıştır (Şekil 13).

4.4. Protein, Fikosiyanin ve Yağ İçeriğinde Meydana Gelen Değişimler

Kültürün protein oranında meydana gelen değışimler Şekil 14'te verilmiştir. Ağustos ve Eylül aylarında protein oranı değışmemiş ve % 63,9 olarak bulunmuştur. Ekim ayından itibaren protein oranında düşme meydana gelmiş ve Ocak ayında % 51,5 ile minimum seviyeye düşmüştür. Şubat ayından itibaren artışa geçen protein oranı Temmuz ayında % 64,7 ile maksimum seviyeye ulaşmıştır.



Şekil14. Protein oranında meydana gelen aylık ortalama değışimler.

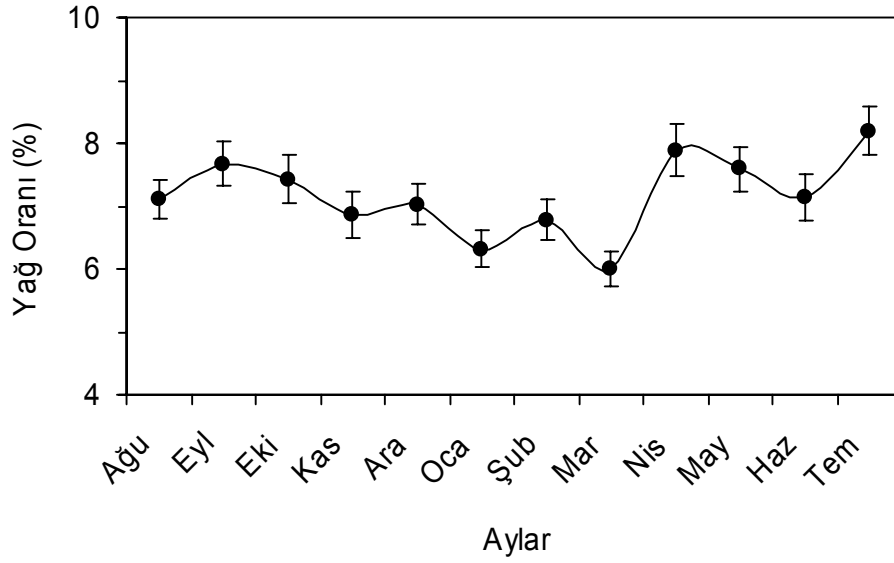


Şekil 15. Fikosiyanin miktarında meydana gelen aylık ortalama değışimler.

Kültürün fikosiyenin miktarı da kültür yoğunluğuna benzer bir eğri göstermiştir (Şekil 15). Ekim ayından itibaren düşmeye başlayan fikosiyenin miktarı Ocak ve Şubat aylarında minimum seviyeye ulaşmış ve sırasıyla 0,05-0,06 mg mL⁻¹ olarak bulunmuştur. Mayıs-Temmuz ayları arasında 0,40 mg mL⁻¹ seviyesine yükselmiş ve en yüksek miktara ulaşmıştır. En yüksek fikosiyenin oranına ise sıcaklığın yüksek olduğu Mayıs-Ekim ayları arasında ulaşılmıştır. Buna göre fikosiyenin pigmenti kurutulmuş biyokütlenin % 17'si civarında bulunmuştur. Sıcaklıkların düşmesi ile birlikte fikosiyenin oranının da düştüğü görülmüştür. Ocak ve Şubat aylarında % 6,4 ile en düşük fikosiyenin oranına ulaşılmıştır. Bu durum kültürün renginden de açıkça belli olmaktadır (Şekil 16). Havuzdan alınan kültür laboratuvara alındığında rengi ilk 3 gün içerisinde tekrar karakteristik mavi-yeşili rengi almıştır.



Şekil 16. Sağlıklı bir kültür (solda) ve Şubat ayında havuzdan alınan kültür (sağda).



Şekil 17. Toplam % Yağ oranında meydana gelen aylık ortalama değişimler.

Kültürde aylık ortalama % Yağ oranları incelendiğinde ise sıcaklıkla ilişkili olduğu görüldü (Tablo 5). Ekim-Mart arasında yağ oranının tedrici olarak düştüğü ve Mart ayında % 6,0 seviyesine kadar düştüğü görülmüştür. En yüksek oran ise Ağustos ayında % 8,2 olarak tespit edilmiştir.

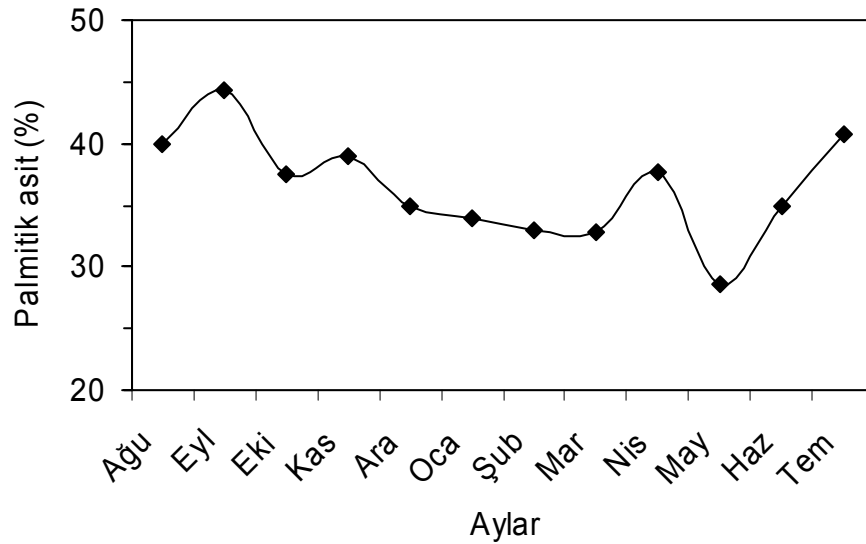
4.5. Yağ Asitlerinde Meydana Gelen Değişimler

Hasat edilen *S. platensis*'in aylık olarak yağ asidi içeriğinde meydana gelen değişimler Tablo 4'te verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre en önemli yağ asitlerinden palmitik asit, palmitoleik asit, stearik asit, linoleik asit ve γ -linolenik asit'in toplam yağdaki % cinsinden oranları Şekil 17-21'de verilmiştir.

Tablo 4. Yağ asidi içeriğinde meydana gelen aylık değişimler

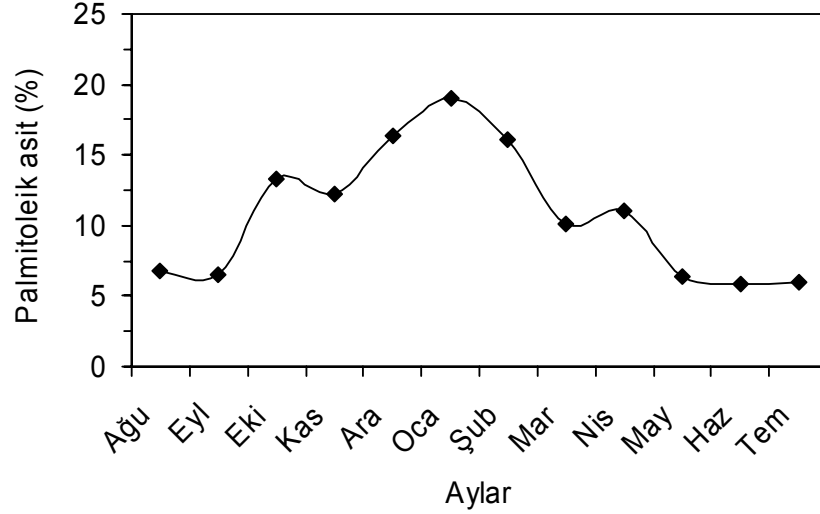
		(%) YAĞ ASİTLERİ				
	AYLAR	Palmitik asit 16:0	Palmitoleik asit 16:1	Stearik asit 18:0	Linoleik asit 18:2	γ -linolenik asit 18:3
2007	Ağustos	40,00	6,77	-	27,96	22,93
	Eylül	44,30	6,50	-	20,90	19,70
	Ekim	37,45	13,34	1,30	16,01	18,42
	Kasım	39,02	12,20	1,36	17,08	19,34
	Aralık	34,99	16,29	1,26	15,99	19,50
2008	Ocak	33,94	19,06	0,78	18,21	21,62
	Şubat	32,92	16,09	-	20,99	20,65
	Mart	32,82	10,04	0,71	21,46	22,40
	Nisan	37,67	11,07	1,31	18,60	21,74
	Mayıs	28,59	6,42	1,45	18,85	21,69
	Haziran	35,06	-	-	18,39	22,09
	Temmuz	40,80	6,05	-	22,06	24,03

Palmitik asit oranının genel olarak sıcaklık ile doğru orantılı arttığı görülmüştür. Temmuz-Eylül ayları arasında en yüksek değerlere ulaşmış ve % 40,80; 40,00 ve 44,30 oranlarında bulunmuştur. Ekim ayından Mart ayına kadar hafif bir düşme görülmüş ve Mayıs ayından itibaren tekrar artmaya başlamıştır (Şekil 18).



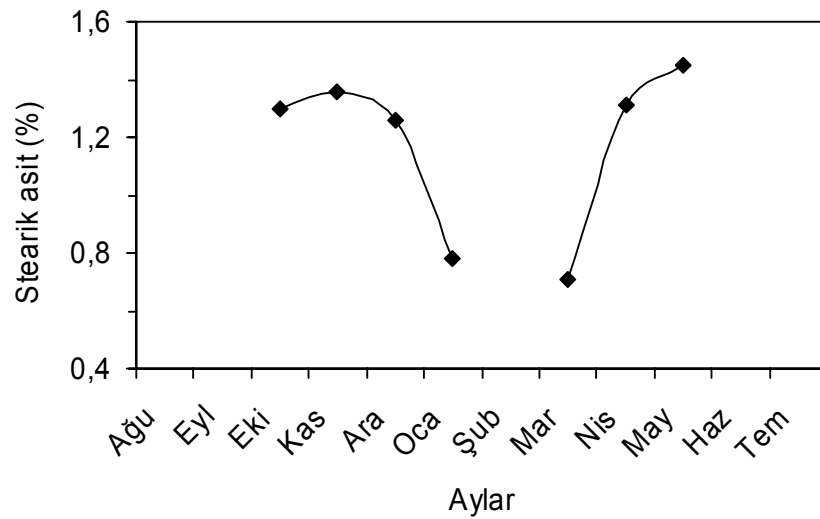
Şekil 18. Palmitik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.

Sıcaklık artışı ile ters orantılı olan palmitoleik asit oranı Ocak ayında maksimum % 19,06 değerinde tespit edilmiş, Ağustos ve Temmuz aylarında ise % 6,77 ve 6,05 değerleri ile minimum seviyede kalmıştır (Şekil 19).



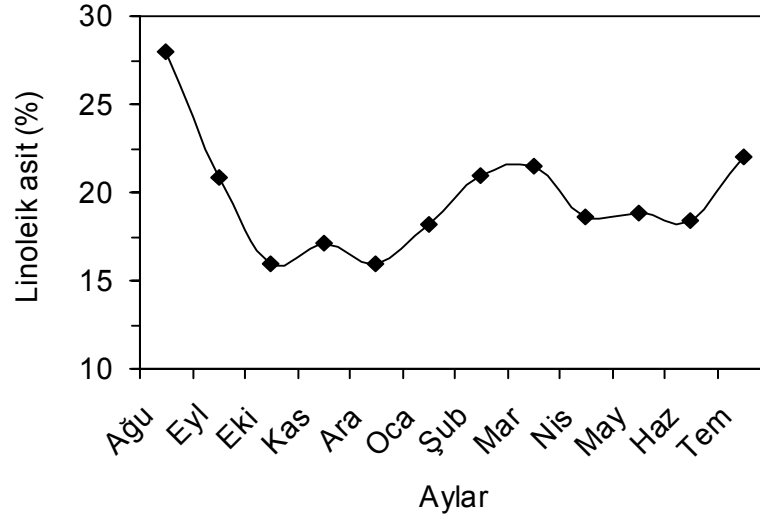
Şekil 19. Palmitoleik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.

Stearik asit oranında Ekim–Aralık aylarında belirgin bir değişiklik görülmemektedir. Ocak ve Mart ayları ise stearik asit miktarının en düşük tespit edildiği aylar olup sırasıyla % 0,78 ve 0,71 olarak bulunmuştur. Sıcaklığın yüksek olduğu Haziran-Eylül ayları arasında ve Şubat ayında tespit edilememiştir. Mayıs ayında ise maksimum düzeyde tespit edilerek % 1,45 olarak bulunmuştur (Şekil 20).



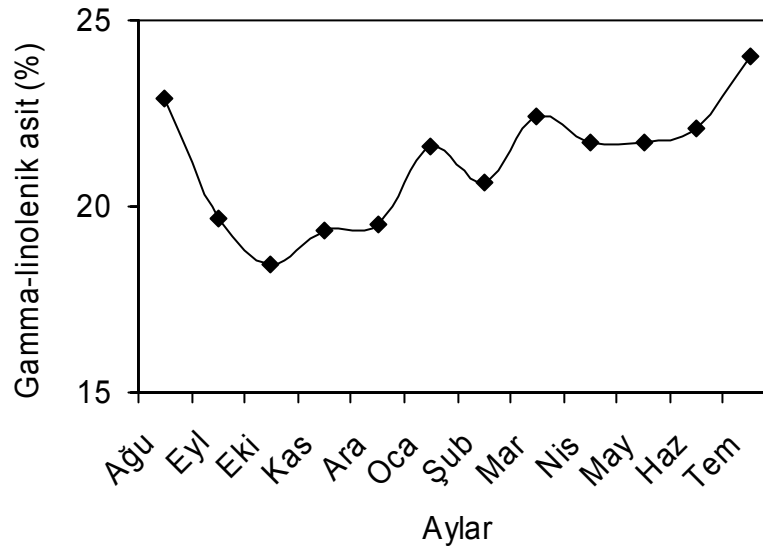
Şekil 20. Stearik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.

Linoleik asit miktarının da sıcaklığa bağı olarak yükseldiği görülmüştür. Ağustos ayında maksimum % 27,96 oranına Temmuz ayında ise % 22,06 oranına ulaşılmıştır. Ayrıca sıcaklığın en düşük olduğu Ocak-Mart aylarında da artma eğiliminde olduğu gözlenmiştir (Şekil 21).



Şekil 21. Linoleik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.

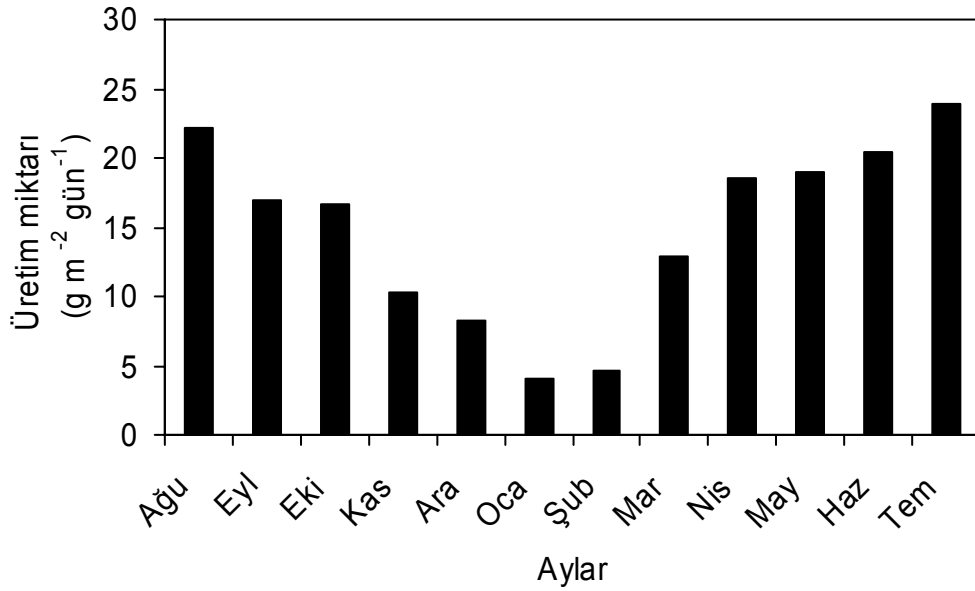
Gamma-linolenik asit miktarı Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek seviyede tespit edilmiş ve sırasıyla % 24,03 ve 22,93 oranlarında bulunmuştur. Eylül-Haziran ayları arasında ise önemli bir değişim gözlenmemiştir (Şekil 22).



Şekil 22. Gamma-linolenik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.

4.6. Üretim Miktarı

Bir ay içerisinde hasat edilen kurutulmuş *S. platensis* biyokütlesinin havuz alanına bölünmesi ile elde edilen günlük üretim miktarı ($\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$) Şekil 22'de verilmiştir. Buna göre en yüksek üretimin sıcaklığın en yüksek olduğu Temmuz ve Ağustos aylarında sırasıyla 23,9 ve 22,2 $\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ gibi oldukça yüksek miktarlarda gerçekleştiği görülmektedir. Eylül, Ekim, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında da üretimin 15 $\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ 'den daha yüksek olduğu görülmüştür. En düşük üretim ise Ocak ve Şubat aylarında sırasıyla 4,1 ve 4,6 $\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ miktarlarında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak, 7 ay süresince üretimin 15 $\text{g m}^{-2} \text{gün}^{-1}$ değerinin üzerinde gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 23. Ay bazında ortalama üretim miktarları.

Tablo 5. Çeşitli veri grupları arasındaki pearson korelasyon değişimleri (N: 12; **: korelasyon 0.01 düzeyinde önemli; *: korelasyon 0.05 düzeyinde önemli)

	Kuru ağırlık	Klorofil a	Fikosiyanin	Protein (%)	Yağ (%)	Abs (680nm)	Geçirgenlik (%)	Filament Uzunluğu	Sera Sıcaklığı	Dış Sıcaklık	Kültür Sıcaklığı
Kuru ağırlık	1	,992(**)	,949(**)	,788(**)	,655(*)	,980(**)	-,536	,567	,836(**)	,794(**)	,859(**)
	.	,000	,000	,002	,021	,000	,073	,054	,001	,002	,000
Klorofil a	,992(**)	1	,956(**)	,801(**)	,626(*)	,986(**)	-,565	,529	,849(**)	,796(**)	,872(**)
	,000	.	,000	,002	,030	,000	,056	,077	,000	,002	,000
Fikosiyanin	,949(**)	,956(**)	1	,887(**)	,681(*)	,945(**)	-,555	,615(*)	,873(**)	,853(**)	,865(**)
	,000	,000	.	,000	,015	,000	,061	,033	,000	,000	,000
Protein (%)	,788(**)	,801(**)	,887(**)	1	,756(**)	,805(**)	-,760(**)	,758(**)	,854(**)	,869(**)	,867(**)
	,002	,002	,000	.	,004	,002	,004	,004	,000	,000	,000
Yağ (%)	,655(*)	,626(*)	,681(*)	,756(**)	1	,608(*)	-,486	,566	,516	,570	,570
	,021	,030	,015	,004	.	,036	,110	,055	,086	,053	,053
Abs (680nm)	,980(**)	,986(**)	,945(**)	,805(**)	,608(*)	1	-,568	,585(*)	,903(**)	,839(**)	,902(**)
	,000	,000	,000	,002	,036	.	,054	,046	,000	,001	,000
T (%)	-,536	-,565	-,555	-,760(**)	-,486	-,568	1	-,397	-,543	-,483	-,609(*)
	,073	,056	,061	,004	,110	,054	.	,202	,068	,112	,036
Filament Uzunluğu	,567	,529	,615(*)	,758(**)	,566	,585(*)	-,397	1	,793(**)	,876(**)	,771(**)
	,054	,077	,033	,004	,055	,046	,202	.	,002	,000	,003
Sera Sıcaklığı	,836(**)	,849(**)	,873(**)	,854(**)	,516	,903(**)	-,543	,793(**)	1	,969(**)	,962(**)
	,001	,000	,000	,000	,086	,000	,068	,002	.	,000	,000
Dış Sıcaklık	,794(**)	,796(**)	,853(**)	,869(**)	,570	,839(**)	-,483	,876(**)	,969(**)	1	,940(**)
	,002	,002	,000	,000	,053	,001	,112	,000	,000	.	,000
Kült Sıcaklığı	,859(**)	,872(**)	,865(**)	,867(**)	,570	,902(**)	-,609(*)	,771(**)	,962(**)	,940(**)	1
	,000	,000	,000	,000	,053	,000	,036	,003	,000	,000	.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE TARTIŞMA

Spirulina platensis M2 suşunun Çanakkale iklim koşullarında ve sera içinde büyütülmesini ele alan bu tez çalışmasında, büyüme parametreleri ve biyokimyasal yapıda meydana gelen değişimlerin aylık bazda ortaya konması amaçlanmıştır. Buna göre, hiçbir harici ısıtıcı ve ışık kaynağının kullanılmadığı denemede kültürler doğal ortam koşullarına maruz bırakılmıştır. *Spirulina platensis* için kontrollü koşullar altında optimum kültür sıcaklığının 35-37 °C aralığında olduğu belirtilmektedir (Richmond, 1987). Kültür sıcaklıklarına bakıldığında en hızlı büyümenin, sıcaklığın en yüksek olduğu Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 22). Bu aylardaki ortalama kültür sıcaklıkları da sırasıyla 28,3; 29,8 ve 28,4 °C ölçülmüştür. Haziran-Eylül ayları arasında sera perdelerinin açıldığı göz önünde bulundurulduğunda, perdelerin kapatılması suretiyle daha yüksek ortalama sıcaklıklara ulaşılabileceği düşünülebilir. Fakat perdelerin kapalı tutulduğu Mayıs ayında bile kültür sıcaklığı 32,0 °C'ye ulaşmıştır. İlerleyen dönemlerde ise sıcaklığın çok daha hızlı yükseleceği ve zararlı seviyelere ulaşacağı ön görülmüştür. Bu nedenle de Haziran ayında itibaren sera perdeleri sürekli açık tutulmuştur. Bu kararın alınmasında denemelerin gerçekleştirildiği üretim serasının sürekli kontrol altında tutulamaması ve haftanın ancak iki günü gidilebilmesi de etkili olmuştur.

En düşük büyüme ise ortalama kültür sıcaklığının 15,0 °C'nin altına indiği Kasım-Ocak ayları ve 16,2 °C olan Şubat ayında gerçekleşmiştir. Şubat ayında diğer aylara göre daha yüksek sıcaklıklara ulaşılmasına rağmen üretimin daha düşük olmasının sebebi havanın genelde yağışlı ve kapalı olmasına bağlandı. Bu nedenle hava sıcaklığı yüksek olmasına rağmen gerçekleşen düşük üretimin sebeplerinden biri de havanın güneşli olmamasıdır.

Vonshak ve diğ. (1982), optimal büyüme için diğer türlere nazaran daha yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyan bir tür olduğu için *S. platensis*'in yaz mevsiminde sabahın erken saatleri ve özellikle kış aylarında sıcaklığın optimalden çok uzaklaşmasından dolayı büyümesinde bir azalma olduğunu belirtmiştir. Benzer

şekilde sera kullanımının özellikle kültürün sabahları daha çabuk optimum değere ulaşmasında etkili olabileceği de belirtilmektedir (Vonshak, 1997). Tez çalışmasında kültürlerin sera içinde üretilmesi özellikle serin bir iklime sahip Çanakkale koşullarında olumlu etkilerini göstermiştir. Vonshak ve diğ. (1982)'nin çalışmasında *S. platensis* kültüründe yaz döneminde $20 \text{ g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ üzerinde, bahar aylarında $15 \text{ g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ civarında, kış döneminde ise $10 \text{ g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ civarında bir maksimum üretim, tez çalışmasında ise dönemler için sırasıyla 22,1, 15,7 ve 5,7 $\text{g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ üretim miktarları elde edilmiştir. Buna göre, Kış dönemi hariç Çanakkale'de sera koşulları altında gerçekleştirilen üretimin, İsrail'de dış ortamda elde edilen maksimum üretim miktarlarına benzerlik gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, Çanakkale'de gerçekleştirilen üretimde net üretim miktarı yani işlemden geçirilerek elde edilmiş son ürün miktarı dikkate alınmıştır. *S. platensis*'in hasadı, sıkılarak fazla suyundan arındırılması ve kurutulması sırasında kayıplar kaçınılmazdır. Vonshak ve diğ. (1982)'nin çalışmasında ise kültürün kuru ağırlık değerinde meydana gelen artış hesaplanmış, hasat ve kurutma işlemi sırasında meydana kayıplar nazara alınmamıştır. Bu da Çanakkale'de gerçekleştirilen üretimin aslında çok daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Richmond ve diğ. (1990)'nin çalışmasında da *S. platensis* açık havuzlarda İsrail'de kültüre alınmış ve havuzlar kış ayında naylon ile örtülmüştür. Isıtıcı bulunmayan havuzlarda ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış ayının ilk ve son dönemleri için elde edilen üretim miktarları sırasıyla 16, 16, 13, 7 ve 2 $\text{g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ düzeylerinde bulunmuştur. Çanakkale'de yapılan üretimde elde edilen miktarların yaz dönemi hariç ($22,1 \text{ g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) diğer dönemlerde benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Torzillo ve diğ. (1986)'nin çalışmasında ise *S. platensis* İtalya'da açık havuzlarda Mayıs-Ekim ayları arasında üretilmiş ve aylık üretim miktarları tüp fotobiyoreaktör ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, Mayıs-Ekim ayları arasında elde edilen maksimum üretim miktarları sırasıyla 10, 12, 16, 15, 10 ve 7 $\text{g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ dolaylarında bulunmuştur. Bu değerler Çanakkale'de üretilen 19,0, 20,5, 23,9, 22,2, 16,9 ve 16,7 $\text{g m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ 'lük değerler ile karşılaştırıldığında oldukça düşük kalmaktadır.

Jimenez ve diğ. (2003) tarafından İspanya’da *S. platensis* Laporte M132-1 suşu ile açık havuzlarda gerçekleştirilen denemede ise Ekim-Temmuz ayları arasında gerçekleştirilen üretim çalışmasında elde edilen üretim miktarları sırasıyla 10, 7, 3, 2, 2, 8, 9, 11, 12 ve 15 g m⁻² gün⁻¹ dolaylarında bulunmuştur. Çanakkale’de gerçekleştirilen denemede ise üretim miktarları sırasıyla 16,7, 10,3, 8,2, 4,1, 4,6, 12,9, 18,5, 19,0, 20,5 ve 23,9 g m⁻² gün⁻¹ bulunmuştur. Görüldüğü üzere Çanakkale’de yapılan üretim tüm dönem boyunca Jimenez ve diğ. (2003)’nin yapmış olduğu çalışmadaki üretime göre çok daha yüksektir.

Biyokütle üretimi üzerinde kültür yoğunluğu da önemli bir rol oynamaktadır. Torzillo ve diğ. (1986)’nin çalışmasında 0,6 ve 1,2 g L⁻¹ yoğunluklar karşılaştırılmış ve 0,6 g L⁻¹ yoğunlukta daha yüksek bir üretim gerçekleştiği görülmüştür. Benzer şekilde Vonshak ve diğ. (1982)’nin çalışmasında da biyokütle yoğunlukları 560 nm absorbans değerinde ölçülmüş ve 0,1-1,0 aralığındaki yoğunluklar denenmiştir. Sonuç olarak, 0,3-0,4 aralığındaki yoğunlukta daha yüksek üretim gerçekleştiği görülmüştür. Çanakkale’de gerçekleştirilen denemede ise kültür yoğunluğu kış döneminde dahi 1 g L⁻¹’nin altına inmemiştir. Yaz döneminde ise 2,5 g L⁻¹’ye kadar ulaşmıştır. Bu nedenle, kültür yoğunluğunun daha sık hasat edilmesi ile 1 g L⁻¹’nin altına indirilebilmesi durumunda daha yüksek bir üretim gerçekleştirilebileceği düşünülmektedir.

Oliveira ve diğ. (1999)’nin *S. platensis* ve *S. maxima*’nın farklı sıcaklıklardaki büyüme ve kimyasal kompozisyonunu inceledikleri araştırmada, 15-20 °C gibi düşük sıcaklık değerlerinde kültürün strese girdiği ve biyokütle miktarının azaldığını bildirmişlerdir. Bu çalışma da bulgularımızı destekler niteliktedir. Özellikle Ocak ve Şubat aylarında Şekil 16’da görüldüğü gibi kültürün renginde belirgin bir farklılık görülmektedir. Havuzdan alınan kültür 25,3±0,6 °C’de 100 µmol foton m⁻² sn⁻¹ ışık şiddetinde büyütüldüğünde, kültürün 2-3 gün gibi kısa bir sürede kuru ağırlık, klorofil ve absorbans değerlerinde artma görülmüş, bu da renk değişiminin düşük sıcaklık değerlerinden kaynaklandığını göstermiştir.

Kültürün protein miktarı incelendiğinde, kış mevsiminde Ocak ayında bir düşme meydana gelmiştir. Bu durumun, kültür için optimum büyüme şartlarının sıcaklık ve ışık gibi sağlanamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Mart ayından itibaren hava sıcaklığının ve ışık şiddetinin artmasıyla beraber kültürün yoğunluğu da artmakta buna bağlı olarak protein oranında da yükselme görülmektedir. Sıcaklığın yüksek olduğu Haziran-Eylül ayları arasında maksimum protein değerlerine ulaşılmıştır (Şekil 14). Tomaselli ve diğ. (1993)'nin yapmış olduğu bir çalışmada, optimal kabul edilen 35 °C'de ve 25 °C de *S. platensis*'in dış ortam kültürlerinin verimliliğine, protein miktarına ve karbonhidrat miktarına bakılmıştır. Protein miktarının ve üretimin 35 °C'de daha yüksek olduğu görülmüştür. Benzer şekilde Torzillo ve diğ. (1991)'nin çalışmasında da denememizde kullanılan *S. platensis* M2 suşunun 25 ve 35 °C'de protein içeriğinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Sonuç olarak, Mayıs-Eylül ayları için 25 °C'de sırasıyla % 59, 57, 60, 61 ve 62 bulunan protein oranları 35 °C'de % 66, 65, 64, 66 ve 67'ye yükselmiştir. Bu da bize sıcaklık arttıkça protein miktarında artma olduğunu göstermekte ve çalışmamızı desteklemektedir. Oliveira ve diğ. (1999) ise çalışmalarında sıcaklığın 20 °C'den 40 °C'ye çıkmasının protein oranını % 71,53'dan 59,41'e azalttığını göstermişlerdir. Fakat 40 °C'nin *S.platensis* için optimum üzeri bir değer olmasından dolayı bu düşüşün meydana geldiği düşünülmektedir.

Jimenez ve diğ. (2003) tarafından İspanya'da *S. platensis* Laporte M132-1 suşu ile açık havuzlarda gerçekleştirilen denemede protein oranının % 47,4 olduğu bulunmuştur. Denememizde ise en düşük sıcaklığın ulaşıldığı Ocak ayında dahi protein oranı % 51,5 bulunmuştur. Sıcaklığın artması ile birlikte protein oranı da artmış ve Temmuz ayında % 64,7 protein oranına ulaşılmıştır.

Gün içinde hasat etme vaktinin de ürününün protein içeriği üzerinde etkili olduğu belirtilmektedir. Torzillo ve diğ. (1991) gün doğumunda yapılan hasatta protein içeriğinin daha yüksek olduğunu göstermiştir. Gün doğumunda yapılan hasatta protein oranı %71,0 iken, gün batımında yapılan hasatta bu oran % 57,1'e düşmüştür. Bu durumun ise gece periyodunda karbonhidratların protein yapımında kullanılmasından kaynaklandığı ifade edilmektedir. Denememizde ise hasat genelde

sabah 09:00-11:00 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Dolayısıyla hasat zamanının daha öne çekilmesi suretiyle daha yüksek protein içeriğine sahip ürün elde edilmesi de mümkün olabilecektir.

Kültürün fikosiyenin miktarı incelendiğinde fikosiyenin miktarının Aralık, Ocak ve Şubat aylarında kuru ağırlıklarının sırasıyla % 8,9; 6,4 ve 6,3'üne kadar gerilediği görülmektedir. Şekil 16'da görüldüğü gibi uygun olmayan şartlarda kültürün rengi kahverengiye dönmüştür. Laboratuvar koşullarında optimum büyüme koşullarının sağlanması ile birlikte hücrelerin fikosiyenin ve klorofil *a* miktarı artmaya başlamıştır. Kültür sıcaklığının artması ile birlikte fikosiyenin miktarı da artmış ve Haziran ayında kuru ağırlığın % 18,1'ine kadar yükselmiştir. Torzillo ve diğ. (1986), fikosiyenin oranı üzerinde kültür yoğunluğunun etkili olduğunu belirtmiştir. Ağustos ayında tüp fotobiyoreaktörlerde gerçekleştirilen denemede 1,2 g L⁻¹'lik kültür yoğunluğunda fikosiyenin miktarının 0,6 g L⁻¹'den % 25 daha fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle de denememizde ulaşılan ve % 18'e varan fikosiyenin miktarının yüksek kültür yoğunluğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Sarada ve diğ. (1999) ise fikosiyenin miktarının kurutma işlemi sonrasında önemli miktarda düştüğünü göstermiştir. 60 °C fırında kurutulan *S.platensis*'in yaş biyokütleyle göre % 46 oranında fikosiyenin kaybına uğradığı görülmüştür. Denememizde ise fikosiyenin miktarının tespiti kurutulmuş biyokütlede yapılmasına rağmen, uygulanan sıcaklığın 35,0 °C olması nedeniyle pigmentin zarar görmediği anlaşılmıştır.

Filament uzunluğunun da sonbahar sonlarında ve kış mevsiminde azaldığı görülmektedir. Hasada ve karıştırmaya bağlı mekanik etkilerden kaynaklanan filament kırılmaları ve düşük büyüme sıcaklığından dolayı hücrelerin filament boyunu artıramaması bu durumun en önemli sebepleridir. Filamentler özellikle kış mevsiminde ortam sıcaklığının ve ışık miktarının düşüklüğünden dolayı hızlı büyüyememiştir. Belay (1993)'ın yaptığı çalışmada mekanik zararlardan dolayı *S.platensis*'de hem fotosentez hemde filamentlerin büyüme hızında ciddi bir azalma meydana geldiği belirtilmiştir.

Yağ içeriklerine bakıldığında, kuru ağırlığın % 6,0-8,2'si arasında değiştiği görülmüştür. Genel olarak hava sıcaklığının düşmesi ile birlikte yağ içeriğinde de azalma yaşanmıştır (Şekil 17). Torzillo ve diğ. (1991)'nin *S. platensis* M2 suşu ile yaptıkları çalışmada toplam yağ miktarının % 9 olduğu tespit edilmiştir. Oliveira ve diğ. (1999)'nin çalışmasında ise % 7 civarında bulunmuş ve sıcaklık artışı ile toplam yağ içeriğinin de arttığı görülmektedir. Bu bakımdan denememizdeki değerler yukarıdaki çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

Yağ asitleri bakımından ise farklı araştırmacılar tarafından farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Denememizde toplam yağ içindeki palmitik asit (16:0) ve stearik asit (18:0) oranları sıcaklık artışı ile artarken, linoleik asit (18:2) oranı en düşük sıcaklığın görüldüğü Şubat ve en yüksek sıcaklığın görüldüğü Ağustos aylarında yükselmiştir. Palmitoleik asit (16:1) oranı ise sıcaklık artışı ile azalma göstermiştir. Gamma-linolenik asit oranının ise özellikle Temmuz ve Ağustos aylarında en yüksek düzeye ulaştığı görülmüştür. Palmitik asit (16:0), Palmitoleik asit (16:1), Stearik asit (18:0), Linoleik asit (18:2) ve Gamma-linolenik asit (18:3) için toplam yağda bulunma oranları sırasıyla % 28,32-44,30, 6,05-19,06, 0,00-1,45, 15,99-27,96 ve 18,42-24,03 aralıklarında değişmiştir (Tablo 3). Oliveira ve diğ. (1999)'nin *S. platensis* ile gerçekleştirdikleri çalışmada ise benzer şekilde 16:0 ve 18:0 oranlarının sıcaklık ile doğru orantılı arttığı, 16:1 oranının azaldığı görülmüştür. 18:2 ise benzer şekilde en düşük ve en yüksek sıcaklıklarda (20 ve 40 °C) artmıştır. Fakat denememizin aksine 18:3 oranı sıcaklık artışı ile azalmıştır. Hem Oliveira ve diğ. (1999) hem de Mühling ve diğ. (2005)'nin yapmış oldukları çalışmalarda 18:0 içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir. Denememizde ise Haziran-Eylül ayları arasında bulunamamıştır. Her iki denemede de 10-180 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ gibi düşük ışık şiddetlerinin kullanılmış olması nedeniyle, ışık şiddetinin bu durum üzerinde etkili olabileceği düşünülmektedir. Çünkü denememizde bu dönemdeki ortalama sera içi ışık şiddeti 1000 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{sn}^{-1}$ 'nin altına inmemiştir.

Çanakkale iklim koşullarında 12 ay boyunca sürdürülen bu çalışmada *S. platensis*'in büyümesi üzerinde özellikle kış aylarında sıcaklığın çok düşmesi büyümenin bu dönemde temel olarak sıcaklık tarafından sınırlandırıldığını

göstermektedir. Buna göre, özellikle kış aylarında havuzların sera içinde tutulması büyüme üzerinde büyük öneme sahiptir. Sera içinde bulunan kültürlere ilave ısıtma sistemleri konularak sıcaklık faktörünün olumsuz etkileri ortadan kaldırılabılır ve alınan ürün miktarı artırılabilir. Çalışmada kullanılan sera ultraviyole ışınlarla dayanıklı polietilen naylon örtüler ile kaplanmıştır. Fakat bu örtünün zaman içerisinde güneş ışınlarıyla yıpranması ve seranın dış yüzüne toz yapışması sonucu sera içine giren ışık şiddetinin % 30 civarında düştüğü görülmüştür. Bu nedenle örtülerin yaklaşık 2 senede bir değişmesi gerekmektedir. Aksi takdirde üretim olumsuz yönde etkilenebilmektedir. İlk yatırım maliyeti yüksek olsa da seranın ısı yalıtımlı PVC veya cam malzemeden kurulması ısı ve ışık kayıplarını en aza indireceğinden sonraki dönemlerde ekonomik anlamda avantaj sağlayacaktır. Sonuç olarak, Çanakkale koşullarında sera içinde gerçekleştirilen *S. platensis* üretiminde, sıcaklık bakımından avantajlı diğer bölgelerdeki üretimler göz önünde bulundurulduğunda başarılı olduğu sonucuna varılabilir.

KAYNAKLAR

- Abd El-Baky ve Hanaa. H., 2003. Over Production of Phycocyanin Pigment in Blue-Green Alga *Spirulina* sp. and its Inhibitory Effect on Growth of Ehrlich Ascites Carcinoma Cells. *J.Med. Sci.* 3(4): 314-324.
- Ako, H. ve Tamara, C.S., 1999. Are Feeds for Food Fish Practical for Aquarium Fish? *International Aquafeed* 2: 30-36.
- AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis. 17 th Edition Vol II.* Assoc. Off. Anal. Chem., Wash. D.C., USA. Method Number: 991.20
- Bachofen, R., 1982. The Production of Hydrocarbons by *Botryococcus braunii*. *Experientia* 38: 47-49
- Becker, E.W., 1986a. Nutritional Properties of Microalgae: Potential and Constrains. In: Richmond, A., Ed., *Handbook of Microalgal Mass Culture*, CRC Press, Boca Raton, FL. pp: 339-420.
- Becker E.W., 1986b. Clinical and Biochemical Evaluations of The Alga *Spirulina* with Regard to its Application in The Treatment of Obesity. A Double-Blind Cross-Over Study, *Nutrition Reports International* 33: 565-574.
- Becker, E.W. ve Venkataraman L.V., 1982. Biotechnology and Exploitation of Algae *The Indian Approach*. German Agency for Technical Cooperation, Eschborn, Germany, pp: 96-176.
- Bedell, GW. ve Darnall., D.W., 1990. Immobilization of Non-Viable, Biosorbent, Algal Biomass for The Recovery of Metal İons. In Volesky, B., Eds. *Biosorbents and Biosorption Recovery of Heavy Metal İons*., CRC pres, Boca Raton, FL: 313 p.
- Belay, A. 1993. Harvest-İnduced Mechanical and Physiological Damage and Recovery in *Spirulina*. In: Masojidek, J., Setlik, I., Eds. *Book of Abstract of The 6th International Conference on Applied Algology*, Czech Republic, p. 48.
- Belay, A., Kato, T. ve Ota, Y., 1996. *Spirulina (Arthrospira)*: Potential Application as an Animal Feed Supplement. *Journal Applied Phycology*. 8: 303-311.
- Bennet, A. ve Bogorad, L., 1971. Properties of Subunits and Aggregates of Blue-Green Algal Biliproteins. *Biochemistry* 10: 3625–3634

- Bennett, A. ve Bogorad, L., 1973. Complementary Chromatic Adaptation in a Filamentous Blue-Green Alga. *J. Cell Biol.* 58: 419–435.
- Bhattacharya, S. ve Shivaprakash, M.K., 2005. Evaluation of Three *Spirulina* Species Grown under Similar Conditions for Their Growth and Biochemicals. *J. Sci. Food Agric* 85: 333-336.
- Borowitzka, M.A., 1988. Vitamin and Fine Chemicals From Microalgae. In: *Microalgal Biotechnology, Cambridge University Press, Cambridge*, pp: 153-196.
- Bourrely, R., 1970. Les Algues D'eau Douce. Tome 3, 1970, Algues Bleues et Rouges: 1–552 Edit Boubeé Paris.
- Chen, F., Zang, Y. ve Guo, S., 1996. Growth and Phycocyanin Formation of *Spirulina platensis* in Photoheterotrophic Culture. *Biotechnology Letters* 18: 603-608.
- Ciferri, O., 1983. *Spirulina*, Edible Microorganisms, *Microbiol. Rev.* 47: 551-578.
- Cirik, S., 1989. Zengin Bir Bitkisel Gıda *Spirulina*. *Tübitak Bilim ve Teknik Dergisi* (22) 257: 19-20.
- Cohen, Z., 1986. Products From Microalgae. In: *Handbook of Microalgal Mass Culture*, Richmond, A., Eds. CRC Press, Boca Raton, FL., pp : 421.
- Cohen, Z., 1997. The Chemicals From *Spirulina*. In: *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell Biology, and Biotechnology*, Vonshak, A., Ed., Taylor and Francis, London, pp: 175-204.
- Cohen, Z., Didi, S. ve Heimer, M.Y., 1991. Overproduction of γ -Linoleic and Eicosapentaenoic Acids by Algae. *Plant Physiol.*, pp: 569–572.
- Cohen, Z., Vonshak, A. ve Richmond, A., 1987. Fatty Acid Composition in Different *Spirulina* Strains under Various Environmental Conditions. *Phytochemistry* 26: 22-55.
- Colla, L.M., Reinehr, C.O., Reichert, C., Costa ve J.A.V., 2007. Production of Biomass and Nutraceutical Compounds by *Spirulina platensis* Under Different Temperature and Nitrogen Regimes. *Bioresource Technology* 98: 1489–1493.
- Dainippon Ink & Chemicals Inc., 1980. Production of Highly Purified Alcoholophilic Phycocyanin, *Japanese Patent* 80-77:890 p.

- De, B., Chaudhury, S., Bhattacharyya, ve D.K., 1999. Effect of Nitrogen Sources on γ -Linolenic Acid Accumulation in *Spirulina platensis*, *JAOCS* 76: 153–156.
- Fedkovic, Y., Astre, C., Pinguet, F., Gerber, M., Ychou ve M., Pujol, H., 1993. *Spiruline* and Cancer, *Algae of Life, Bulletin de L'Insitut Oceanographique* 12: 117-120.
- Folch, J., Lees, M. ve Sloane-Stanley, G.H., 1957. A Simple Method for The Isolation and Purification of Total Lipids from Animal Tissues. *J. Biol. Chem.* 226: 497-509.
- Fox, R., 1987. *Spirulina*, Real Aid to Development, *Hydrobiologia* 151: 95-97.
- Fox, D., 1993a. Health Benefits of *Spirulina* and Proposal for a Nutrition Test on Children Suffering from Kwashiorkor and Marasmus, *Bulletin de L'Insitut Oceanographique* 12: 179-186.
- Fox, R., 1993b. Construction of Village-Scale System Integrating *Spirulina* Production, *Bulletin de L'Insitut Oceanographique* 12: 195-201.
- Gallegos, A.J., 1993. The Past, Present and Future of Algae in Mexico, *Bulletin de L'Institut Oceanographique* 12: 133-139.
- Ginzburg, B.Z., 1993. Liquid Fuel Oil from Halophilic Algae: A Renewable Source of Non-Polluting Energy. *Renew Energy* 3: 249–252.
- Gonzalez R., Rodriguez, S., Romay, C., Ancheta, O., Gonzalez, A. ve Armesto, J., 1999. Anti-Inflammatory Activity of Phycocyanin Extract in Acetic Acid-Induced Colitis in Rats. *Pharmacol. Res.* 39: 55-59.
- Göksan T., Zekeriyaoğlu A. ve Ak İ., 2007. The Growth of *Spirulina platensis* in Different Culture Systems under Greenhouse Condition. *Turkish Journal of Biology* 31 (1): 47-52.
- Gudin, C., 1988. Why Bother with Microalgae? In: *Algal Biotechnology*, Stadler, T., Mollion, J., Verdus, M.C., Karamanos, Y., Morvan, H., Christiansen, D., Eds. *Elsevier Applied Science Publications*, pp:33-40.
- Henrickson, R., 1989. *Earth Food Spirulina. Ronore Enterprises Inc.*, Laguna Beach, CA. *J Sci Food Agri* 47: 85–93
- Henze, M., Harremoës, P., Jansen, J.L.C. ve Arvin, E., 2002. *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.*

- Hirata, T., Tanaka, M., Ooike, M., Tsunomura, T., ve Sakaguchi, M., 2000. Antioxidant Activities of Phycocyanin Prepared from *Spirulina platensis*. *Journal Applied Phycology*. 12: 435-439.
- Ishikawa T., Fujiyama, Y., Igarashi, C., Morino. M., Fada, N., Kagami, A., Sakamoto, T., Nagano, M. ve Nakamura, H., 1989. Effects of Gammalinolenic Acid on Plasma Lipoproteins and Apolipoproteins. *Atherosclerosis*, 75: 95-104.
- IUPAC, 1987. Standart Methods for Analysis of Oils, Fats and Derivatives. In: International Union of Pure and Applied Chemistry, 7th. Edition, *Blackwell Scientific Publications*, IUPAC Method 2:301-302.
- Jimenez, C., Cossio, B.R., Labella, D., Niell ve F.X., 2003. The Feasibility of Industrial Production of *Spirulina (Arthrospira)* in Southern Spain. *Aquaculture* 217: 179-190.
- Kapoor, R. ve Mehta, U., 1992. Development and Sensory Evaluation of *Spirulina* Supplemented Recipes. Seshadri, C.V. ve Jeeji Bai, N., Eds. *Spirulina National Symposium, Madras, India*, pp. 134-139.
- Kapoor, R. ve Mehta, U., 1993. Effect of Supplementation of Blue Green Alga (*Spirulina*) on Outcome of Pregnancy in Rats. *Plant Foods for Human Nutrition* 43: 29-35.
- Kılıç, C., Göksan, T., Ak, İ. ve Gökpınar, Ş., 2006. İki Farklı *Spirulina platensis* Suşunun Büyüme Özelliklerinin Karşılaştırılması. *E.U. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 23 (1-2): 189–192.
- Koru, E. ve Cirik, S., 2003. *Spirulina platensis* (Cyanophyceae) Mikroalginin Büyümesine ve Bazı Biyokimyasal Özelliklerine Sıcaklığın Etkisi. *E.U. Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* (3-4): 419-422.
- Kosaric, N., Nguyen, H.T. ve Bergougnou, M.A., 1974. Growth of *Spirulina maxima* in Effluents from Secondary Waste-Water Treatment Plants. *Biotechnol. Bioeng.* 16: 881–896.
- Lee, E.R., 1999. *Phycology*, Cambridge University Press, Third Edition, pp. 73-74.
- Liu, Y., Lizhi, X., Cheng, N., Lin, L. ve Zhang, C., 2000. Inhibitory Effect of Phycocyanin from *Spirulina platensis* on The Growth of Human Leukemia K562 Cells. *Journal Applied Phycology*., 12: 125-130.

- Loseva, L.P. ve Dardynskaya, I.V., 1993. *Spirulina*- Natural Sorbent of Radionucleides. Research Institute of Radiation Medicine, Minsk, Belarus. *6th Int'l Congress of Applied Algology*, Czech Republic. Belarus.
- Mathew B., Sankaranaryanan R. ve Padmanabhan, P., 1995. Evaluation of Chemoprevention of Oral Cancer with *Spirulina fusiformis*. *Nutr. Cancer*, 24: 197–202.
- Miki, W., Yamaguchi, S. ve Konosu, S., 1986. Carotenoid Composition of *Spirulina maxima*. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.* 7: 1225-1227.
- Mori, T., Muranaka, T., Miki, W., Yamaguchi, K., Konosu, S. ve Watanabe, T., 1987. Pigmentation of Cultured Sweet Smelt Fed Diets Supplemented with a Blue Green Alga *Spirulina maxima*, *Nippon Suisan Gakkaishi* 53: 433-438.
- Mühling M., Belay, A. ve Whitton A.B., 2005. Variation in Fatty Acid Composition of *Arthrospira (Spirulina)* Strains. *Journal Applied Phycology*. 17: 137–146.
- Nandeesha, M.C., Gangadhar, B., Varghese, T.J. ve Keshavanath, P., 1998. Effect of Feeding *Spirulina platensis* on The Growth, Proximate Composition and Organoleptic Quality of Common Carp, *Cyprinus carpio* L., *Aquaculture Res.* 29: 305-312.
- Oliveira, M.A.C.L. de, Monteiro, M.P.C., Robbs, P.G. ve Leite, S.G.F., 1999. Growth and Chemical Composition of *Spirulina maxima* and *Spirulina platensis* Biomass at Different Temperatures. *Aquaculture International* 7: 261-275.
- Oswald W.J., 1990. Microalgae and Waste-Water Treatment. :In *Microalgal Biotechnology*, Borowitzka, A., Borowitzka, J., Eds. Cambridge University Press. pp:305-328.
- Paoletti, C., Materassi, C. ve Pelosi, E., 1971. Lipid Composition Variation of Some Mutant Strains of *Spirulina platensis*. *Ann. Microbiol. Enzymol.* 21: 65
- Paoletti, C., Vincenzini, M., Bocci, F. ve Materassi, R., 1980. Composizione Biochimica Generale Delle Biomasse di *Spirulina platensis* e *S. maxima*. In: Materassi, R. (Ed.), *Prospettive della Coltura di Spirulina in Italia*, Rome: *Consiglio Nazionale delle Ricerche*, pp. 111-125.
- Pascaud, M., 1993. The Essential Polyunsaturated Fatty Acids of *Spirulina* and Our Immune Response. *Bulletin de L'Institut Oceanographique* 12: 49–57.

- Piorreck, M., Baasch, K-H. ve Pohl, P., 1984. Biomass Production, Total Protein, Chlorophylls, Lipids and Fatty Acids of Fresh Water Green and Blue-Green Algae under Different Nitrogen Regimes. *Phytochemistry* 23: 207-216.
- Rafiqul, I.M., Jalal, K.C.A. ve Alam, M.Z., 2005. Environmental Factors for Optimisation of *Spirulina* Biomass in Laboratory Culture, *Biotechnology* 4(1): 19-22.
- Rich, F., 1931. Notes on *Arthrospira platensis*. *Revue Agologique* 6: 75-79.
- Richmond, A., 1986. Outdoor Mass Cultures of Microalgae. In: *Handbook of Microalgal Mass Cultures of Microalgae*, Richmond, A. (Ed.), CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida. 285-329.
- Richmond, A., 1987. *Spirulina*. In: *Microalgal Biotechnology*, Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J., Eds. Cambridge University Press, 85-121.
- Richmond, A., Lichtenberg, E., Stahl, B. ve Vonshak, A., 1990. Quantative Assessment of The Major Limitations on Productivity of *Spirulina platensis* in Open Raceways. *Journal Applied Phycology*. 2: 195-206.
- Romay, C., Ledon, N. ve Gonzalez, R., 1998. Further studies on Anti-Inflammatory Activity of Phycocyanin in Some Animal Models of Inflammation. *Inflamm Res.* 47: 334-338.
- Sarada, R., Pillai, M.G. ve Ravishankar, G.A., 1999. Phycocyanin from *Spirulina* sp: Influence of Processing of Biomass on Phycocyanin Yield, Analysis of Efficacy of Extraction Methods and Stability Studies on Phycocyanin. *Process Biochemistry* 34: 795-801.
- Saxena, P.N., Ahmad, M.R., Shyam, R. ve Amla, D.V., 1983. Cultivation of *Spirulina* in Sewage for Poultry Feed. *Experiantia* 39: 1077.
- Saxena, P.N., Ahmad, M.R., Shyam, R., Srivastava, H.K., Doval, P. ve Sinha, D., 1982. Effect of Feeding Sewage-Grown *Spirulina* on Yolk Pigmentation of White Leghorn Eggs, *Avian Research* 66: 41-46.
- Tanticharoen, M., Boonag, B. ve Vonshak, A., 1993. Cultivation of *Spirulina* Using Secondary Treated Starch Wastewater. *Australian Biotechnology* 3: 223-226.
- Tanticharoen, M., Reungjitchachawali, M., Boonag, B., Vonktaveesuk, P., Vonshak A. ve Cohen, Z., 1994. Optimization of γ -Linolenic Acid (GLA) Production in *Spirulina platensis*. *Journal Applied Phycology*. 6: 295-300.

- Tokuşoğlu, Ö. ve Ünal, M.K., 2003. Biomass Nutrient Profiles of Three Microalgae: *Spirulina platensis*, *Chlorella vulgaris* Beijerinck and *Isochrysis galbana*. *Journal of Food Science* 68: 1144-1148.
- Tomaselli, L., Giovannetti, L., Sacchi, A. ve Bocci, F., 1988. Effects of Temperature on Growth and Biochemical Composition in *Spirulina platensis* Strain M2. In: *Algal Biotechnology*, T. Stadler, J. Mellion, M.C. Verduş, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christiaen Eds., *Elsevier Applied Science*, London, pp: 303–314.
- Tomaselli, L., Giovannetti L.ve Torzillo, G., 1993. Physiology of Stress Response in *Spirulina spp.* *Bulletin de L’Institut Oceanographique* 12: 65–75.
- Torzillo, G., Sacchi, A.ve Materassi, R., 1991. Temperature as an Important Factor Affecting Productivity and Night Biomass Loss in *Spirulina platensis* Grown Outdoors in Tubular Photobioreactors, *Bioresourcess Technology* 38: 95-100.
- Torzillo, G., Pushparaj, B., Bocci, F., Balloni, W., Materassi, R. ve Florenzano, G., 1986. Production of *Spirulina* Biomass in Closed Photobioreactors, *Biomass* 11: 61-74.
- Unique, S., 1993. *Spirulina* Production in Spain, *Bulletin de L’Institut Oceanographique* 12: 169-193.
- Vonshak, A., 1997. Outdoor Mass Production of *Spirulina*: The Basic Concept. In: *Spirulina platensis (Arthrospira): Physiology, Cell-Biology and Biotechnology*, Vonshak, A. (Ed.), Taylor and Francis Ltd., London, UK, 87 p.
- Vonshak, A., Abeliovich, A., Boussiba, S. ve Richmond, A., 1982. Production of *Spirulina* Biomass: Effects of Environmental Factors and Population Density, *Biomass* 2: 175-185.
- Watanabe, I., De Data, S.K. ve Roger, P.A., 1987. Nitrogen Cycling in Wetland Rice soils. In: *Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems*. Wilson, J.R., Eds., pp: 239-256. Proc. Symposium on Advances in Nitrogen Cycling in Agricultural Ecosystems, Brisbane, Australia, C.A.B. International, UK.
- Wikdors, G.H. ve Ohno, M., 2001. Impact of Algal Research in Aquaculture. *J. Phycol.* 37: 968-974.
- Zarrouk, C., 1966. Contribution á l’étude d’une Cyanophycée. Influence de Divers Facteurs Physiques et Chimiques sur la Croissance et la Photosynthèse de

Spirulina maxima (Setch. et gardner) Geitler. Ph.D. Dissertation (Doktora tezi),
University of Paris, France.

TABLO DİZİNİ

Sayfa

Tablo 1. Zarrouk ortamında bulunan besin tuzları.....	15
Tablo 2. Aylık minimum ve maksimum sıcaklık değerleri.....	21
Tablo 3. Aylık sera içi ve sera dışı maksimum ışık değerleri.....	23
Tablo 4. Yağ asidi içeriğinde meydana gelen aylık değişimler.....	30
Tablo 5. Çeşitli veri grupları arasındaki pearson korelasyon değişimleri.....	34

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1. Denemede kullanılan <i>Spirulina platensis</i> M2 suşu.....	4
Şekil 2. <i>S. platensis</i> Üretim Havuzları.....	14
Şekil 3. <i>S. platensis</i> 'ten ekstre elde edilen fikosiyanın.....	17
Şekil 4. Aylık ortalama dış ortam sıcaklıkları.....	19
Şekil 5. Sera sıcaklığında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	20
Şekil 6. Kültür sıcaklığında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	20
Şekil 7. Dış ortam ışık şiddetinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	22
Şekil 8. Sera içi ışık şiddetinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	22
Şekil 9. Kuru ağırlık miktarında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	24
Şekil 10. Klorofil miktarında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	24
Şekil 11. Absorbans değerinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	25
Şekil 12. % Geçirgenlik değerinde meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	25
Şekil 13. Filament uzunluğunda meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	26
Şekil 14. Protein oranında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	27
Şekil 15. Fikosiyanın miktarında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	27
Şekil 16. Sağlıklı bir kültür ve Şubat ayında havuzdan alınan kültür.....	28
Şekil 17. Toplam % Yağ oranında meydana gelen aylık ortalama değişimler.....	29
Şekil 18. Palmitik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.....	30
Şekil 19. Palmitoleik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.....	31
Şekil 20. Stearik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.....	31
Şekil 21. Linolenik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.....	32
Şekil 22. Gamma-linolenik asit oranında meydana gelen aylık değişimler.....	32
Şekil 23. Ay bazında ortalama üretim miktarları.....	33

YAŞAM ÖYKÜŐÜ

1981 yılında Ankara'da doğdum. İlkokul, Ortaokul ve Lise yi Çanakkale'de okudum. 2001 yılında Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Su Ürünleri Mühendisliğini kazandım ve 2005 yılında mezun olduktan sonra tekrar Çanakkale 18 Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans'a başladım ve 25.12.2008 tarihinde mezun oldum.