

151419

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

Leyla HIZARCI

***SPIRULINA PLATENSIS*'İN SERADA YAPILAN KÜLTÜRLERİNDE
ORTAM FAKTÖRLERİNİN ÜRÜN VERİMLİLİĞİ, PROTEİN MİKTARI
VE AMİNO ASİT BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

151419

ADANA, 2004

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***SPIRULINA PLATENSIS*’IN SERADA YAPILAN KÜLTÜRLERİNDE
ORTAM FAKTÖRLERİNİN ÜRÜN VERİMLİLİĞİ, PROTEİN MİKTARI
VE AMİNO ASİT BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

LEYLA HIZARCI

YÜKSEK LİSANS

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

Bu tez 06/08/2004 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu
İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....

Doç.Dr. Oya IŞIK

DANIŞMAN

İmza.....

Prof.Dr. Ercan SARIHAN

ÜYE

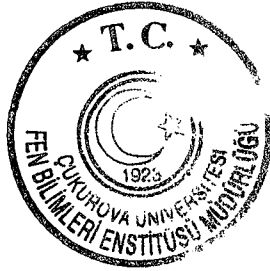
İmza.....

Prof.Dr. Şevket GÖKPINAR

ÜYE

Bu tez Enstitümüz Su Ürünleri Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 2380



Prof. Dr. Fikri AKDENİZ

Enstitü Müdürü

İmza ve Mühür

**Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından Desteklenmiştir.**

Proje No: FBE.2002.YL.212

• **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ
YÜKSEK LİSANS

***SPIRULINA PLATENSIS*'İN SERADA YAPILAN KÜLTÜRLERİNDE
ORTAM FAKTÖRLERİNİN ÜRÜN VERİMLİLİĞİ, PROTEİN MİKTARI
VE AMİNO ASİT BİLEŞİMİ ÜZERİNE ETKİLERİ**

LEYLA HIZARCI

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU ÜRÜNLERİ ANABİLİM DALI

Danışman : Doç.Dr. Oya IŞIK
Yıl 2004, Sayfa: 56
Jüri : Doç.Dr. Oya IŞIK
Prof.Dr. Ercan SARIHAN
Prof. Dr. Şevket GÖKPINAR

Çukurova bölgesinde, *Spirulina platensis* kültürlerinde, sıcaklık ve ışık gibi çevresel etmenlerin ürün verimliliği, protein içeriği ve amino asit kompozisyonuna etkilerini belirlemek üzere, dışarı koşullarında, sera içerisinde 1x5x0.20 m boyutlarındaki fiber-glass havuzlarda Ocak-Şubat ve Temmuz aylarında yapılan denemelerde kış dönemi için gece ve gündüz belirlenen en yüksek su sıcaklık değerleri sırasıyla 17.17 ± 0.07 ve 24.28 ± 0.1 °C, en düşük sıcaklık değerleri ise 10.42 ± 0.02 ve 11.67 ± 0.04 °C'dir. Yaz döneminde ise en yüksek su sıcaklığı 30.9 ± 0.07 °C olarak ölçülmüştür. Ocak-Şubat aylarında havuzlarda ölçülen en yüksek O₂ değeri 41.6 ± 0.9 mgL⁻¹ iken Temmuz ayında en yüksek O₂ yoğunluğu 35.77 ± 0.6 mgL⁻¹ olarak saptanmıştır. Yaz döneminde 1.375 ± 0.009 g kuru ağ.L⁻¹ elde edilirken, kış döneminde 0.36 ± 0.01 g kuru ağ.L⁻¹ elde edilmiştir. Kuru maddede saptanan protein oranları kış ve yaz koşullarında sırasıyla %27 ve %46 olmuştur. Işık, sıcaklık ve O₂ yoğunluğunun *Spirulina*'da ürün verimliliği, protein oranı ve amino asit bileşenlerini etkilediği belirlenmiştir. Yarı tropik iklimle sahip Çukurova bölgesinin, gece ve gündüz sıcaklık değerlerinin çok farklı olmaması, bulutluluğun az olması, kış dönemi en düşük ve yaz dönemi en yüksek sıcaklık değerlerinin *Spirulina* büyümesi için optimum değerlere yakın olması nedeniyle, *Spirulina* üretimi için uygun olduğu söylenebilir, ancak ürün verimliliğini ve besin kalitesini artırmak amacıyla önlemler alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: *Spirulina platensis*, dışarı kültür, sıcaklık, ışık

**ABSTRACT
MSc THESIS**

**EFFECTS OF THE ENVIRONMENTAL FACTORS ON THE
PRODUCTIVITY, PROTEIN AMOUNT AND AMINO ACID
COMPOSITION OF *SPIRULINA PLATENSIS* IN GREENHOUSE
CONDITIONS**

LEYLA HIZARCI

DEPARTMENT OF FISHERIES

INSTITUTE OF NATURAL APPLIED SCIENCE

UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Oya IŞIK
Year 2004, Page: 56
Jury : Asst. Prof. Dr. Oya IŞIK
Prof. Dr. Ercan SARIHAN
Prof. Dr. Şevket GÖKPINAR

Outdoor culture experiments has been done in January-February and July in Çukurova. It has been done in the fiber-glass ponds which size are 1x5x0.20 m and in the greenhouse to determine the factors of temperature and light on productivity, protein ratio and amino acid content of *Spirulina platensis*. The maximal water temperatures of night and day were 17.17 ± 0.07 and 24.28 ± 0.1 °C and the minimal values were 10.42 ± 0.02 and 11.67 ± 0.04 °C in winter. In the summer, the maximal water temperature was 30.9 ± 0.07 °C. In ponds maximum oxygen concentration was 41.6 ± 0.9 mgL⁻¹ in winter and 35.77 ± 0.6 mgL⁻¹ was recorded in summer. In the culture period of winter and summer, 0.36 ± 0.01 g (dry weight)/L and 1.375 ± 0.006 g (dry weight)/L *Spirulina* has been obtained. The protein contents of *Spirulina* cultivated in winter were found 27% and in summer 46% dry weight. It was determined that temperature, light and O₂ concentration affected the biomass, protein ratio and amino acid composition of *Spirulina*. In Çukurova where has a subtropic climate, the night and day temperatures are close to each other and cloudiness is unfavourable for culturing of *Spirulina*. In spite of this conditions, the productivity and bio-chemical quality of *Spirulina* can be increased by taking precautions.

Keywords: *Spirulina platensis*, outdoor culture, temperature, light

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimime başladığım ilk günden itibaren, her zaman sonsuz destek, ilgi ve sevgisini gördüğüm değerli danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Oya IŞIK'a, değerli bilgileri ve engin tecrübelerinden faydalandığım Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Ercan SARIHAN'a, tez çalışmalarımın planlanması, yürütülmesi ve değerlendirilmesindeki yardımları için Sayın Prof. Dr. Şevket GÖKPINAR'a, teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalışmam esnasında yardımlarını gördüğüm Dr. Selin SAYIN'a, tez çalışmam süresince yardımlarını ve desteğini esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım Doktora öğrencisi Mehmet USLU'ya ve Araştırma Görevlisi Zeynep ERÇEN'e, Su Ürünleri Mühendisleri Hande OĞUZ ve Seden YILDIRIM'a, lisans öğrencilerimiz Semih YENİÇERİ, Erdal YILMAZ ve İsmail EKE'ye de ayrıca teşekkürlerimi sunmayı gerekli görmekteyim.

Ayrıca, tez çalışmam esnasında maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok değer verdiğim annem, babam ve kardeşlerime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

<u>İÇİNDEKİLER</u>	<u>SAYFA</u>
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	6
3. MATERYAL VE METOD	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. <i>Spirulina platensis</i>	16
3.1.2. Denemede Kullanılan Havuzlar	17
3.1.3. Kültür Ortamı	18
3.1.4. <i>Spirulina platensis</i> Stok Kültürleri	19
3.1.5. Hasat Schpaları	20
3.2. Metod	21
3.2.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi.....	21
3.2.2. Deneme Süresince Yapılan Analizler	22
3.2.2.1. Klorofil Analizi	22
3.2.2.2. İplik Sayımı	22
3.2.2.3. Hasat	23
3.2.2.4. Kuru Madde ve Kül Analizleri	23
3.2.2.5. Büyüme Hızı	24
3.2.2.6. Protein Analizi	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	26
4.1. Kış Dönemi (Ocak-Şubat)	26
4.2. Yaz Dönemi (Temmuz)	34
4.3. Tartışma	44
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	51



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1. <i>Spirulina platensis</i> 'in Amino Asit İçeriği	14
Çizelge 2.2. <i>Spirulina platensis</i> 'in Amino Asit İçeriği.....	15
Çizelge3.1. Denemede Kullanılan <i>Spirulina</i> Ortamı	18
Çizelge 4.1. Kış Dönemi Aydınlik Şiddeti Değerleri	29
Çizelge 4.2. <i>Spirulina platensis</i> 'in Kış Döneminde Kültür Ortamlarına Ait Büyüme Hızı Değerleri	32
Çizelge 4.3. 23. Güne Ait Ürün Verileri	34
Çizelge 4.4. 37. Güne Ait Ürün Verileri	34
Çizelge 4.5. Yaz Dönemi Aydınlik Şiddeti Değerleri	37
Çizelge 4.6. <i>Spirulina platensis</i> 'in Yaz Döneminde Kültür Ortamına Ait Büyüme Hızı Değerleri	40
Çizelge 4.7. Deneme Sonunda Yapılan Analiz Sonuçları	41
Çizelge 4.8. Kış ve Yaz Dönemine Ait <i>Spirulina</i> Protein Değerleri	41
Çizelge 4.9. Kış ve Yaz Dönemine Ait Esansiyel Amino Asit İçerikleri ..	42
Çizelge 4.10. Kış ve Yaz Dönemine Ait Esansiyel Olmayan Amino Asit İçerikleri.....	43

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1. Denemede kullanılan <i>Spirulina platensis</i> M2	16
Şekil 3.2. Denemede Kullanılan Havuzlar	17
Şekil 3.3. Karışımı Sağlayan Pedal Sistemi.....	18
Şekil 3.4. Denemede Kullanılan <i>S.platensis</i> Stok Kùltürleri	20
Şekil 3.5. Hasat Sehpaları	20
Şekil 3.6. -20 °C'de Saklanan <i>Spirulina</i> Kavanozları	23
Şekil 4.1. Kış Dönemi Gece ve Gündüz Sıcaklık Değerleri	26
Şekil 4.2. Kış Dönemi Gece ve Gündüz Oksijen Değerleri	27
Şekil 4.3. Kış Dönemi Klorofil-a ve Oksijen Değerleri.....	28
Şekil 4.4. Kış Dönemi Klorofil-a ve Aydınlik Şiddeti Değerleri	30
Şekil 4.5. Kış Dönemi Tuzluluk Değerleri	30
Şekil 4.6. Kış Dönemi İplik Sayısı ve pH Gündüz Değerleri	31
Şekil 4.7. <i>Spirulina platensis</i> 'in Kış Döneminde Kùltür Ortamlarındaki Büyüme Hızı ve İplik Sayıları	33
Şekil 4.8. Yaz Dönemi Gece ve Gündüz Sıcaklık Değerleri.....	35
Şekil 4.9. Yaz Dönemi Gece ve Gündüz Oksijen Değerleri	35
Şekil 4.10. Yaz Dönemi Klorofil-a ve Oksijen Değerleri.....	36
Şekil 4.11. Yaz Dönemi Klorofil-a ve Aydınlik Şiddeti Değerleri	37
Şekil 4.12. Yaz Dönemi Tuzluluk Değerleri	38
Şekil 4.13. Yaz Dönemi İplik Sayısı ve pH Değerleri	39
Şekil 4.14. <i>Spirulina platensis</i> 'in Yaz Döneminde Kùltür Ortamına Ait Büyüme Hızı ve İplik Sayıları.....	40

1.GİRİŞ

İnsanların alternatif besin kaynakları arayışı, doğal ve katkısız besinlere eğilim gelişmiş ya da gelişmekte olan ülkelerde giderek artmaktadır. Bu nedenle II. Dünya savaşından bu yana Amerika, Japonya, İngiltere, Almanya ve Norveç gibi gelişmiş ülkelerde mikroalglerin besinsel zenginliklerinden yararlanılmaktadır (Becker, 1994). 1970'li yıllarda değişik enerji kaynakları arayışı ile birlikte güneş enerjisi dünyanın ilgisini üzerinde toplamıştır. Algler, güneş enerjisini en etkin kullanan canlı sistemlerdir ve bu nedenle açık sistem alg üretim teknolojisine ilgi giderek artmaktadır. Bu bağlamda, farklı mikroalg türlerinin besin bileşenleri incelenmekte ve yetiştiriciliği yapılabilecek yeni türlerin arayışı giderek daha da artmaktadır.

Deniz mikroalglerinin büyük miktarlarda üretiminde kaydedilen teknolojik gelişmeler, son yıllarda hız kazanmış algal üretimin yanında ekonomik önemi olan balık ve kabukluların üretiminde canlı yem elde etmek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar ile alglerin protein, lipid, polisakkaritler, pigmentler, karotenoidler, vitaminler, steroller, enzimler, antibiyotikler ve daha pek çok kimyasal madde açısından zengin oldukları belirlenmiş ve biyokimyasal içeriklerinden yararlanma amacıyla son 10-15 yıldan beri büyük miktarlarda alg kültürleri yapılmaya başlanmıştır (Becker, 1994).

Bugün yetiştiriciliği yapılan en önemli alg türlerinden biri *Spirulina*'dır. Mavi-yeşil alglerden *Spirulina*, spiral halka şeklinde ve mikroskopik hücrelere sahip bir algdir. Siyanobakter sınıfına ait olan *Spirulina* türlerinden özellikle *Spirulina platensis* ve *Spirulina maxima* ticari değere sahip ve üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı türlerdir(Richmond, 1986). *Spirulina* ilk kez 1827'de Turpin tarafından izole edilmiştir (Cifferi, 1983: Conk Dalay 1997'den).

Aztek Uygarlığında Meksikalılar tarafından ve Afrika'nın merkezindeki Çhad Gölü etrafındaki yerli halk tarafından besin olarak tüketilmektedir. Doğu Afrika'da yerli halkın geleneksel yemeği *Spirulina*'dır (Fox, 1996). Tayvan, Tayland, Kaliforniya, İsrail, Meksika ve Çin'de üretimi yapılmaktadır (Becker, 1994).

Öneminin anlaşılması ise 1962 yılında Fransız Petrol Araştırma Enstitüsü'nün mavi-yeşil algler grubundan *Spirulina*'nın çok zengin bir gıda deposu olduğunu açıklaması üzerine olmuştur. *Spirulina*, %65-70'lere varan ham protein oranı ile sonraları NASA tarafından besin tabletleri halinde üretilmiştir (Fox, 1996).

Bu sucul bitkinin, %60'ını bitkisel protein, temel vitaminler ve bir antioksidant olan beta-karoten ile nadir bulunan esansiyel yağ asidi olan gamalinoleik asit (GLA), sülfolipitler, glikolipitler ve polisakkaritler gibi bitkisel besleyiciler oluşturmaktadır. *Spirulina*'nın koyu yeşil rengi, karotenoid (turuncu), fikosiyanın (mavi) ve klorofil (yeşil) pigmentlerinden kaynaklanmaktadır. Hücreler genellikle mavi-yeşil görünümündedir. Bazen de kırmızı ya da yeşil görünürler. Yeşil renkli klorofil, yardımcı pigment olan mavi renkli fikosiyanın ve allofikosiyanın ve kırmızı renkli fikoeitrin tarafından maskelenmektedir. *Spirulina*, tüm temel amino asitleri içeren dengeli bir protein yapısına sahiptir ve proteini kolaylıkla sindirilir ve asimile edilir. Çünkü, *Spirulina*'nın hücre duvarı mukopolisakkaritlerden meydana gelmiştir. Birçok bitkide bulunan, sert ve selüloz içeren hücre duvarı mevcut olmayıp, %20 oranında karbonhidrat ve şeker bulunmaktadır. Dönüm başına soya fasulyesinden 20 kat, mısırdan 40 kat, sığır etinden 200 kat daha fazla protein ürettiği belirlenmiştir. *Spirulina* kültürü ile yarım dekar alandan 15.000 kg protein üretilirken, bu alandan ancak 750 kg soya proteini üretilmektedir. *Spirulina* yüksek düzeylerde Beta-karoten, Demir ve Çinko içermekle birlikte Selenyum, Mangan, Bakır, Krom, C ve E vitaminlerini içermektedir. Bu antioksidant mineraller ve vitaminlerin bağışıklık sistemini uyardıkları, özellikle kansere karşı korumada rol oynadıkları ve yaşlanmayı yavaşlattıkları belirlenmiştir (Henrikson, 1993).

Spirulina, enzimlerce zengindir ve iyi bir doğal enzim kaynağıdır. Enzimler sağlık için gerekli yaşamsal yapılardır. Vücudumuzu besleyen, DNA'yı yenileyen ve vücut sistemimizi güçlendiren besinlerden elde edilen önemli besleyici elementlerin serbest kalmasına yardımcı olur. Doğal enzimlerce zengin olan sebze, meyve, pişmemiş besinler, sebze ve meyve suları beslenmemiz açısından önemlidir. *Spirulina*'nın kurutulduktan sonra da bu doğal enzimleri içerdiği belirtilmektedir (Seshadri ve Jeeji Bai, 1992).

Klorofil, *Spirulina* içinde bol miktarda bulunan doğal bir pigmenttir.. Klorofil'in, hücreleri toksik maddelerden arındırma özelliği bilinmektedir. Klorofil, hemoglobin molekülüne benzemektedir. Kan, Demire sahiptir ve kana kırmızı rengini verir, klorofil ise Magnezyum taşımaktadır ve klorofilin yeşil görünmesini sağlar (Henrikson, 1993).

Fikosiyanin mavi renkli bir pigment olup sadece mavi-yeşil alglerde bulunur. Fikosiyanin insan ve hayvanlarda bağışıklık sistemini harekete geçirir. Çin bilim adamları, fikosiyaninin beyaz kan hücrelerini ve toksik maddelerden ya da radyasyondan zarar gören kemik iliği hücrelerini düzenlediklerini savunmaktadırlar (Zhang, 1994).

Bununla birlikte bilindiği gibi linoleik asit hayvanlar ve insanlar tarafından sentezlenemeyen bir yağ asitidir. Bunun bir şekli olan gamalinoleik asit (GLA), vücut işlevlerini denetleyen temel hormonlardan prostoglandin sentezinin uyarılması ile ilişkilidir. *Spirulina* önemli miktarda Demir, E vitamini, Beta-karoten ve en önemli doymamış yağ asitlerinden olan gamalinoleik asit (GLA) içermektedir (Fox, 1996). GLA'nın, kalp rahatsızlığında ve kadınların regl dönemlerindeki stresi azaltıcı özelliği vardır. Bilinen GLA içeren besinler, anne sütü, eşekotu yağı, siyah kuş üzümü ve hodon tohumudur. *Spirulina* eşekotu yağından 3 kat daha fazla GLA içermektedir. *Spirulina* GLA bakımından kuvvetli bir kaynaktır ve ağırlığının %1'i GLA'dır. Birçok kadın PMS (regl dönemi stresi)'ni azaltmak, sağlıklı ve güzel bir cilde sahip olabilmek için *Spirulina*'dan yararlanmaktadır (Richmond, 1986). GLA düşük kan kolesterolüne ve yüksek kan basıncının ayarlanmasına yardımcı olur (Henrikson, 1993).

Spirulina doğal olarak ılık ve yüksek alkaliniteye sahip sub-tropik alanlardaki göllerde özellikle Meksika'daki Texcaco Gölü ile Kenya'daki Rudolf ve Nakura Göllerinde bulunmaktadır (Henrikson, 1993). *Spirulina* üretimi için tarıma uygun olmayan alanlar kullanılabilir. Çevre kirliliğine neden olmaması ve üretiminden hasatına kadar herhangi bir katkı maddesinin kullanılmaması, yetiştiriciliğini çekici hale getirmektedir. Ağaçlar, atmosferik CO₂'in emilmesine yardım eden ve yılda hektar başına 1-4 ton karbon bağlayan en iyi kara bitkileridir.

Kaliforniya Çölü'nde *Spirulina* 'nın, hektar başına 6.3 ton karbon bağlarken, 16.8 ton oksijen ürettiği belirlenmiştir (Fox, 1996).

Spirulina diğer besinlere göre daha az su kullanır ve ayrıca hasattan sonra arta kalan su tekrar kullanılabilir. Kara bitkilerinin su gereksiniminin giderilmesi sırasında sızıntı ile su kaybı olmaktadır. *Spirulina* yetiştiriciliği ise havuzlarda ya da kapalı biyoreaktör sistemlerinde yapıldığı için su kaybı sadece buharlaşma ile olmaktadır. Yetiştiricilikte, 10 gram *Spirulina* için sadece 6 galon suya gereksinim duyulurken, 1 tane ekmek için 15, süt için 65, yumurta için 136, tavuk için 408 galon su kullanılmaktadır (Kay, 1991).

Spirulina türlerinin, açık ortamlardaki havuzlar ve tubuler biyoreaktörler gibi üretim sistemlerindeki biyokütle artışı çevresel etmenlerden önemli ölçüde etkilenir. Birim alandan elde edilen ürün miktarını artırmak amacıyla son 20 sene içinde çok sayıda ve farklı yapıda fotobiyoreaktörler sistemleri geliştirilmiştir. Fakat çoğu ticari işletmenin tercih ettiği üretim sistemi, işletim ve temizliğinin kolay, girdilerinin daha düşük olmasından dolayı açık havuzlardan ve tanklardan yana olmuştur (Vonshak ve ark., 1982).

Spirulina türlerinin büyük ölçekteki ticari üretimi genellikle kanallarda ve havuzlarda yürütülür ve buradaki karıştırma, düşük dönme hızına sahip (10-15 rpm), geniş çaplı pedallar (yaklaşık 2 m) olan bir çark sistemiyle sağlanır. Ticari havuzların ebatları 1000-5000 m² arasında değişir. Açık kanallarda karşılaşılan önemli engellerden biri sıcaklık denetiminin sınırlı olmasıdır. Tropik iklimde sahip bölgeler dışında, optimum sıcaklığa ulaşmak, gün ortasında sadece kısa bir süre için gerçekleşmektedir. Açık kanallarda karşılaşılan diğer bir sorun da havuzlardaki su kolonu yüksekliğinin, akış hızının ve karıştırmanın ciddi şekilde düşmesine neden olduğu için 15 cm'den daha aşağıya çekilememesidir. Aksi takdirde, akıntı hızında ve karıştırmada aşırı bir azalma söz konusudur. Bu da geniş bir alanda (120-150 L/m²) oldukça düşük bir populasyon yoğunluğuna neden olmaktadır (*Spirulina* için yaklaşık 500 mg kuru ağırlık/L). Bu tip bir düşük populasyon yoğunluğu hasat ve havuz bakım girdi tutarlarının önemli miktarda artmasına neden olur ve yabancı türler tarafından bulaşma sakıncasını artırmaktadır (Vonshak ve ark., 1982).

Fototrofik organizmaların üretimindeki temel amaç, kültürde en uygun hücre yoğunluğunu sürekli elde etmektir. Tüm mevsimlerde kültürü 12-15 cm derinlikte ve litrede yaklaşık 400-600 mg kuru ağırlıktaki yoğunlukta tutarak, ürün çıkış oranını yüksek tutmak önemlidir. Kış mevsiminde ise üretim büyük oranda azalmakta ve ürün çıkış hızı populasyon yoğunluğuna bağlı olarak düşmektedir. Bu düşüşün nedeni ışıktan çok sıcaklığa bağlı olup sıcaklık, üretimi sınırlayan en önemli etmen haline gelmektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere *Spirulina* türlerinin büyümesini etkileyen çevresel etmenlerin başında, diğer tüm türlerde olduğu gibi, ışık ve sıcaklık gelmektedir (Richmond, 1986).

Çukurova bölgesi yıllık sıcaklık ortalaması gündüz 24 °C, gece 15 °C olan ve yıl içerisindeki güneşli gün sayısı fazla olan ılıman bir iklime sahiptir. Ancak kış mevsiminde sıcaklık, *Spirulina* için gerekli olan büyüme sıcaklığının altına düşmektedir. Bu çalışma, bölgede *Spirulina* ürün verimliliğinin mevsim koşullarına bağlı olarak değişimini ve *Spirulina*'nın protein içeriği ve amino asit bileşiminin sıcaklık ve ışık etmenlerine bağlı olarak nasıl etkilendiğini ve değiştiğini belirlemek amacıyla yürütülmüştür.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Fototrofik organizmaların üretiminde verimlilik, en uygun hücre yoğunluğunun sürekliliği ile sağlanabilir. *Spirulina* için her mevsimde 12-15 cm üretim derinliğinde, litrede yaklaşık 400-500 mgL⁻¹ kuru ağırlıktaki yoğunluğu elde etmek amaçlanmıştır. Kışın ise, populasyon yoğunluğu azalmakta ve buna bağlı olarak ürün çıkışı düşmektedir. Bu düşüşün nedeni ışıktan çok sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Sıcaklık üretimi sınırlayan en önemli faktörlerden biridir. *Spirulina* türlerinin büyümesini etkileyen çevresel etmenlerin başında diğer tüm türlerde olduğu gibi ışık ve sıcaklık gelmektedir (Richmond, 1986).

Vonshak (1990)'ın, *Spirulina* işletmeleri ile yaptığı kişisel görüşmelerine göre, 1.5 hektar plastik kaplamalı açık havuzlardan elde edilen yıllık yaş ve kuru *Spirulina* ağırlıkları sırasıyla 90 ve 20 ton; 2 hektarlık toprak havuzlardan elde edilen yaş ve kuru miktarları ise sırasıyla 70 ve 40 ton olarak bildirilmiştir. Açık havuzlardan genellikle 400-600 mgL⁻¹ kuru ağırlık elde edilmektedir.

Akdeniz kıyısında, İspanya sınırları içinde, Malaga bölgesinde yapılan çalışmada, *Spirulina platensis* (Laporte M132-1 suşu) Zarrouk ortamında 1350, 13500 ve 135000 litrelik 30 cm derinliğinde açık sistem havuzlarda üretime alınmış ve pedal sistemi ile karışım sağlanmıştır. Günlük olarak pH, sıcaklık, oksijen değerleri ölçülmüştür. İspanyanın güneyinde sıcaklık 15 °C'nin üzerindedir. Temmuz ayında gün ortasında sıcaklık 28°C, Aralık ayında ise 9 °C olarak ölçülmüştür. Kış ayında oksijen 10 mgL⁻¹, yaz ayında ise 30 mgL⁻¹ olarak belirlenmiştir. Kış ayında denemenin ilk günü pH 9'un altında ölçülmüş ve deneme sonunda 10'un altında belirlenmiştir. Yaz mevsiminde ise 10.9 olarak ölçülmüştür. Yaz mevsiminde 140 g kuru ağırlık/m² ürün elde edilirken, kış ayında ise 100 g kuru ağırlık/ m²'nin altına düşmüştür (Jimenez ve ark., 2003).

S.platensis ve *S.maxima* ile yapılan bir çalışmada 4 litrelik kavanozlarda üretim yapılmıştır. *S.maxima* 30-35 °C'de, *S.platensis* ise 25-30 °C'de sürekli ışık koşullarında 2.4 gL⁻¹ ürün elde etmişlerdir. Her iki tür, düşük sıcaklıkta (15-20 °C) sürekli ışık altında en yüksek 1.5 gL⁻¹ ürün alınmıştır (Oliveira ve ark., 1999).

Kim (1990)'in Thuanhai bölgesinde yapmış olduğu *S. platensis* üretimi sırasında yıllık ortalama sıcaklık 26 °C olarak belirlenmiştir. Denemede 3000 m²'lik alan ve 60 adet oval beton havuz kullanılmıştır. Havuzların derinliği 10-12 cm arası tutulmuş ve karışımın sağlanması amacıyla pedal sistemi yerleştirilmiştir. Denemenin kurulmasından 50 gün sonra havuzlar hasat edilmiş ve yaklaşık 5 ton ağırlığında kuru *Spirulina* elde edilmiştir. Bu koşullar altında günlük kuru ağırlığın 10 g/m²'yi geçmediğini bildirmiştir.

S.platensis ile yapılan bir çalışmada 3 farklı havuz sistemi kullanılmış ve ürün miktarları karşılaştırılmıştır. Havuzlar ince uzun ark biçiminde (3.8 m²-300 L) , havuz-güney yönlü panel sistemi ve havuz-doğu yönlü panel sisteminin (1.2 m² – 18 L) 30° yatay açıyla yerleştirilmesi ile 3 farklı düzenleme yapılmıştır. pH 9.4 olacak şekilde sabit tutulmuş, sıcaklık 30-37 °C arası değişmiştir. Bu sistemlere eşit miktarda ve 4 gL⁻¹ olacak şekilde aşılama yapılmış ve havuzlardan toplam 3.4 gm²/gün, panel sistemlerden ise toplam 24.3 gm²/gün kuru ağırlık elde edilmiştir. En fazla ürün doğu yönünde kurulan panel sisteminden (11.6 gm²/gün)) alınmıştır (Pushparaj ve ark., 1997).

Richmond ve Grobbelaar (1986) yürüttükleri bir çalışmada farklı havuz derinliklerinde gerçekleştirilen *Spirulina* üretimlerinde üretim düzeyi belirlemiş ve bu derinliklerdeki en uygun hücre yoğunluklarını bulmaya çalışmışlardır. Havuz derinlikleri 75 mm ve 150 mm tutulmuş, hücre yoğunlukları sırasıyla 0.7 ve 0.5 optik yoğunluk olarak bulunmuştur.

Yapılan bir çalışmada, değişik ortamlardan elde edilmiş, Türkiye koşullarına uygun olabilecek *S.platensis*'in 3 farklı suşunun (*S.platensis* M2, *S.platensis* Parachas ve *S.platensis* Tulear) açık havada üretimleri yapılmış ve Türkiye koşulları için en uygun suşun saptanmasına çalışılmıştır. Suşlar Mayıs ayı sonuna kadar sera koşullarında tutulmuş, daha sonra açık havada bulunan 2*2*0.7 m boyutlarındaki tanklara alınmıştır. Üretimler belli bir yoğunluğa ulaştıktan sonra Haziran ayında günlük olarak hasat edilmeye başlanmıştır. Hasat edilmeye başlandığında günlük olarak ortam eklemesi yapılmıştır. En yüksek verim Temmuz ayında elde edilmiş ve M2 suşunda 2.45 kg/m², Parachas suşunda 2.27 kg/m² ve Tulear suşunda ise 1.25 kg/m² elde edilmiştir. Bu çalışmada pH 9-9,3 arasında, sıcaklık ise 23-28°C

arasında değişmiştir. Suşlara ait büyümeyi ifade eden k en yüksek değerleri, M2 suşu için k : 2.40, Parachas suşu için k : 2.05 ve Tulear suşunda ise k :1.46 olarak hesaplanmıştır (Conk Dalay ve ark., 2001).

Acıgöl'den izole edilen *Spirulina maxima* ile yapılan bir çalışmada farklı sıcaklık dereceleri denenmiştir. Sıcaklık 15 °C iken iplik sayısının 10938'den 60937 iplik/ml'ye, 20 °C iken 12527'den 72819 iplik/ml'ye, 25 °C iken 10852'den 27000 iplik/ml'ye ve 30 °C'de ise 13063'den 14703 iplik/ml'ye arttığı gözlenmiştir. Bu sayısal değerlere bakılarak 15 ve 20 °C'de gelişimin oldukça iyi olduğu sonucuna varılmıştır. Aynı tür, farklı tuzluluk yoğunluklarında üretime alınmış ve 10 günlük deney sonunda en yüksek hücre yoğunluğuna %072 tuzlulukta 85988 iplik/ml ile ulaşılmış ancak %036 ve %090 tuzluluklarda da %072 tuzluluktaki değerlere oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Aradaki farkın önemsizliğinden dolayı bu üç tuzlulukta da gelişimin aynı olduğu bildirilmektedir. Aynı çalışmada, *S. maxima* en uygun üretim koşullarında üretime alınmış ve deneme sonunda (10 gün) elde edilen ortalama k değeri 0.4247 olarak bulunmuştur. Aynı denemede üretim logaritmik fazda iken alınan örnekte 747 mg3L⁻¹ yaş ağırlık, 657 mg3L⁻¹ kuru ağırlık elde edilmiştir. Üretim logaritmik fazda iken klorofil-a 58.4 mgL⁻¹, bir iplikte ise ortalama klorofil-a miktarının 0.4x10⁻⁶ µg olduğu belirlenmiştir. Yaş *Spirulina* örneğinde %39.7, liyofilize edilmiş *Spirulina*'da %47.6 ve güneşte kurutulan örnekte ise %45.2 oranında protein bulunduğu saptanmıştır (Conk Dalay, 1997).

Torzillo ve Vonshak (2003)'ın bildirdiğine göre, Prakash ve ark. (1995), *S. platensis*'i 0.5, 1.0, 2.0 ve 5.0 cm derinliklerde üretime almışlar ve üretim derinliği ile ışık yoğunluğu arasındaki etkileşimi araştırmışlardır. Üretim derinliğinin ürün yoğunluğunu etkilemediğini fakat üretim derinliğinin artmasıyla ışık etkinliğinin azaldığını belirlediklerini bildirmişlerdir.

Torzillo ve Vonshak (2003), yaygın olarak açık havuz sistemlerin bulunduğu alanlarda yıllık üretimin 35-45 ton/ha/yıl veya 10-12 g/m²/gün'ü geçemediğini bildirmişlerdir.

Yapılan bir çalışmada *Spirulina* dört farklı koşulda dışarıda üretime alınmış ve ısıtılmalı havuzda 14.9 g/m²/gün, ısıtılmalı ve %25'i gölgelendirilmiş havuzda 11.1 g/m²/gün, ısıtmasız ve gölgelendirilmeyen havuzda 3.7 g/m²/gün ve sadece %25'i

gölgeleme yapılan havuzda ise 5.3 g/m²/gün ürün elde edildiği bildirilmiştir (Vonshak, 1997).

Chen ve Zhang (1997), 3.7 L'lik bir fermentör içinde 2.5 L Zarrouk ortamı kullanarak 30 °C sabit sıcaklıkta *S.platensis*'in mikсотrofik ve fototrofik gelişimini ve fikosiyanin üretimini incelemişlerdir. Deneme boyunca pH 9.5-10.5 arasında değişmiş, üretimler, 80 µE m⁻²s⁻¹ ışık yoğunluğu ile sürekli aydınlatılmıştır. Dokuz gün süren fototrofik yığın üretim denemesinde en yüksek ürün yoğunluğu 2 gL⁻¹ olarak elde edilmiştir.

Tredici (2004)'ün bildirdiğine göre, Lee (2001), geniş çaplı algal havuzlarda 40 g/m²/gün ürün alınırken, kanal şeklindeki havuzlarda kısa dönemli çalışmalarda 20-25 g/m²/gün, uzun dönemli çalışmalarda ise en yüksek 12-13 g/m²/gün verim alınabileceğini tanımlamıştır.

Yapılan bir çalışmada *Spirulina platensis* Mangueria Lagoon (Rio Grande do Sul, Brazil)'da tatlı su kullanılarak açık havuzlarda (0.7 m uzunluğunda, 0.18 m eninde ve 0.075 m derinliğinde) üretime alınmış ve besleyici element eklemesinin etkisi çalışılmıştır. Karbon kaynağı olarak sodyum bikarbonat, azot kaynağı olarak da üre kullanılmıştır. Diğer eklenmesi düşünülen elementler, fosfat, sülfat, demir, magnezyum ve potasyumdur. Denemede ilk olarak ortama sadece sodyum bikarbonat eklemesi yapılmış (2.88 gL⁻¹) ve başlangıçtaki kuru ağırlık 0.78±0.01 gL⁻¹ iken, 400 saat sonra üretim yoğunluğu 0.82±0.01 gL⁻¹'ye ulaşmıştır. Eklenen fosfat ve metal iyonları ile *S.platensis* ürün miktarı 750 saat sonra 1.23±0.04 den 1.34±0.03 gL⁻¹'ye ulaşmıştır (Costa ve ark., 2002).

Açık havuzlarda yapılan *Spirulina* üretiminde haftalarca bulaşma olmadan ürünün sağlığını koruyabilmek için sistemde 2 temel ilkeye uyulması gerektiği bildirilmiştir. Bunlardan birincisi; *Spirulina* türlerinin büyümesi için uygun sıcaklık değerleri 35-37 °C'ye gündüz saatlerinde ulaşabilmesidir. Diğeri ise; üretim derinliğinin 15 cm'nin altına düşmemesidir (Tredici, 1993; Yıldız, 2001'den).

Richmond (1988)'un bildirdiğine göre; *Spirulina*, bulanık durgun sular, akarsular, tatlı ve acı sular gibi çok çeşitli su ortamlarında yaşayabilen kozmopolit bir organizmadır. *Spirulina* üretimi için belirlenen en uygun su sıcaklığı 30-35 °C

olup, uyum gösterdiği en düşük sıcaklık 18 °C ve en yüksek sıcaklık ise 39 °C olarak saptanmıştır. Üretim için en uygun pH değerleri ise 8.3-10 arasındadır.

Yıldız (2001)'in bildirdiğine göre, Venkataraman ve Mahadeyaswamy (1992), *Spirulina*'nın açık hava havuzlarında üretim koşullarını belirlemişlerdir. *Spirulina* üretimi için en uygun havuz derinliklerinin 18-20 cm. arasında olduğu ve üretimde iyi bir karışımın sağlanması için güçlü pervaneler kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Esas besleyici elementlerden N, P ve K'un oranının 15:15:15 olmasının ve ortamın 4.5 g/L⁻¹ sodyumbikarbonat içermesinin uygun olduğu, üretimin pH düzeyinin yüksek olmasının, istenmeyen algal bulaşmayı önleyeceğini bildirmişlerdir.

Spirulina maxima'nın sürekli üretim sistemlerinde büyüme hızının kesikli üretime oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yüksek ışıkla aydınlatılan üretimde karbohidrat oranının, düşük ışıkla aydınlatılan üretimde ise protein oranının yüksek olduğunu bildirmişlerdir (Torzillo ve ark., 1991; Conk Dalay, 1997'den).

Conk Dalay (1997) bildirdiğine göre, Torzillo ve ark. (1991); *Spirulina platensis*'in güneş ışığı altında farklı azot kaynakları kullanılarak yoğun üretiminin yapılabileceğini göstermiştir. Işığın yüksek olduğu dönemlerde azot yükseltgenmesinin yavaşladığını, buna bağlı olarak da hücre yoğunluğunun 1.5 g/L'nin altına düştüğünü saptamıştır. Işıklı dönemin sonuna doğru tekrar azot yükseltgenmesi artmış, karbohidratlı ürünler oluşmuştur. Azot yükseltgenmesinin ışıklı dönemde yavaşlamasına besleyicilerin neden olmadığı, ışık şiddetinin etkisi olduğu belirlenmiştir.

Spirulina türlerinin gereksinim duyduğu en uygun sıcaklığın sağlanması, açık havuzlarda yürütülen üretim çalışmalarında bazen zor olabilmektedir. Tropikal iklim kuşağının dışında bulunan çoğu üretim bölgesinde, günlük en yüksek ve en düşük sıcaklık değerleri arasındaki fark 20 °C'nin üzerinde olabilmektedir. Bundan dolayı *Spirulina* için yaz aylarında bile en uygun değerlerin 10-15 °C altındaki sabah sıcaklıkları, sabah günün aydınlanmasından itibaren 4-6 saat süresince mikroalg hücrelerinin ışıktan tam olarak yararlanmasını engellemektedir. Açık kanallarda ürünün karşı karşıya kaldığı günlük sıcaklık değişimleri, günün önemli bir

bölümünde sıcaklık yönünden sınırlı büyüme ile sonuçlanmaktadır (Pirt, 1986: Gimzal, 2002'den).

Richmond ve ark. (1990)'nin bildirdiğine göre, bir *Spirulina* tankında sabah saatlerinde su sıcaklığını 10 °C artırmak, %20'lik bir ürün artışıyla sonuçlanmıştır. Kış aylarında ise tropik iklim kuşak dışında bulunan bölgelerdeki açık havuzlarda, *Spirulina* büyümesi gerçekleşmemekte ancak tropikal kuşakta bile elde edilen ürün oldukça düşük olmaktadır. Kış mevsiminde subtropikal bir bölgede *Spirulina* havuzları saydam bir örtü veya cam ile kaplandığında, yaşamını sürdürebilmekte fakat sıcaklık değerleri günün büyük bölümü veya tamamında optimalden çok uzak olduğundan ve ayrıca örtü, ışık akış yoğunluğunu önemli derecede etkilediğinden dolayı üretim düşmektedir. Bundan dolayı bazı *Spirulina* üretim bölgelerinde sıcaklıkta meydana gelen günlük değişimler, günün önemli bir bölümünde büyümenin sıcaklık bakımından sınırlı olmasıyla sonuçlanmaktadır.

Spirulina üretiminde 35-43 mg O₂ L⁻¹ gibi % 400-500 aşırı doygunluk değerlerini gösteren oksijen yoğunlukları, büyük (1000 m²) ve karıştırmanın yetersiz olduğu açık kanallarda sıkça görülmektedir. Siyanobakterilerin dışarı ortamdaki üretimlerinde yüksek çözülmüş oksijen yoğunluklarının oynadığı rol tam olarak anlaşılamamıştır. Fakat aşırı çözülmüş oksijen değerlerinin, üründe hücrelerin ölümüne neden olan fotooksidasyonu desteklediği bildirilmektedir (Abeliovich ve Shilo, 1972).

Yapılan bir çalışmada, açık havada 2.5 m²'lik havuzlarda su derinliğinin 10 cm olduğu ve karışımın pedal sistemi ile sağlandığı havuzlarda, *Spirulina*'nın iki farklı türünün farklı gölgeleme koşullarında 30 gün boyunca üretimi yapılmış ve türlere ait verimlilik sonuçları verilmiştir. SP-G suşuna ait en yüksek ürün gölgeleme yapılmayan havuzdan elde edilmiş ve bu havuz için 18.3±1.2 g/m²/kuru ağırlık belirlenirken, SP-RG suşuna ait en yüksek ürün ise %25-30 gölgeleme yapılan havuzda belirlenmiş 14.9±1.2 g/m²/ kuru ağırlık elde edilmiştir (Vonshak ve Guy, 1992).

Pelizer ve ark. (2003), *S.platensis*'in 3, 6 ve 10 günlük farklı yoğunluklardaki stoklarını, açık havada 5 L'lik tanklarda aşı olarak kullanarak elde edilen üründe protein değerlerini karşılaştırmışlardır. Üç günlük stoğun kullanıldığı aşı ile %63.2,

6 günlük stok ile %60.8 ve 10 günlük stok kullanıldığında ise %61.6 protein değerleri saptanmıştır. Yine aynı çalışmada 6 günlük *Spirulina* stokları 50 mgL⁻¹, 100 mgL⁻¹, 150 mgL⁻¹ ve 200 mgL⁻¹ olacak şekilde 5 L'lik tanklara aşılınmış ve deneme sonunda protein oranları aşılama miktarına göre sırasıyla %55, %61, %58 ve %55.2 olarak saptanmıştır.

Danesi ve ark. (2002) tarafından açık havuzlarda yapılan bir çalışmada 27, 30 ve 33 °C sıcaklık, pH 9.5±0.2 ve ışık 3.5 klux olarak ayarlanmıştır. Çalışmada üç farklı sıcaklıkta farklı saat aralıklarında (24 ve 48) sürekli üst sınıra yakın ve sabit miktarlarda üre kullanılmış ve *Spirulina*'nın büyümesi üzerine etkisi araştırılmıştır. Deneme sonunda ürenin büyüme üzerine olumlu etkisi olduğu ancak klorofil yoğunluğunu etkilemediği ve en iyi sonucu 30 °C'de sürekli üst sınıra yakın üre eklemeli grubun gösterdiğini bildirilmiştir.

Richmond ve ark. (1990), yıl boyunca kanal tipi havuzlarda *Spirulina platensis*'in ürün verimliliğini sınırlayan etkenlerin etkilerini çalışmışlardır. Gün içerisinde ürünün sıcaklığının üretimi etkileyen en önemli etken olduğu, sıcaklıktaki artışın, yaz aylarında bile verimliliği artırdığı belirlenmiştir. Fotoinhibasyonun, yazın, açık havalarda verimliliği belirleyen belirgin bir etmen olduğu ve gün ortasından sonra büyümenin hemen hemen durduğu saptanmıştır. Diğer mikroorganizmaların, özellikle *S.minor* ve *Chlorella sp.* bulaşmasının üretimi en azından %15-20 oranında azalttığı belirtilmiştir. Çalışmada gün içerisinde hasat saatinin elde edilen kuru madde miktarı üzerine etkisi de araştırılmıştır. Yazın yapılan hasat dışındaki zamanlarda bu faktörün etkili olmadığı ancak yaz aylarında akşam yapılan hasatın kuru madde çıkış oranını artırdığı, bu şekilde gece oluşacak kuru madde kaybı azaldığı belirtilmiştir.

Bulutluluğun az olduğu Akdeniz'de subtropik iklimde elde edilecek yıllık kuru madde miktarının 60-70 t ha⁻¹y⁻¹ olabileceğini belirtmişlerdir.

Tomaselli ve ark. (1988)'nin yürüttükleri bir çalışmada *S.platensis* M2'nin, yüksek sıcaklıklarda ve sınırlı ışık koşullarında sürekli üretimini yaparak iplik yapısı, büyüme oranı, makromoleküler bileşimi, lipid ve yağ asidi kompozisyonu ve fikobiliprotein=klorofil-a oranının nasıl etkilendiğini araştırmışlardır. Aynı çalışmada, *Spirulina paltensis* M2 suşu farklı sıcaklıklarda üretime alınmış ve

sıcaklık ile büyüme hızı arasındaki ilişki belirtilmiştir. Büyüme hızı 35 °C’de %3’ken 42 °C’de %1’in altına inmekte ve 44 °C’de ise büyüme tamamen durmaktadır. Aynı çalışmada *Spirulina platensis* M2 suşunun farklı sıcaklıklardaki besin içeriğini incelemişler, 30°C’de %58.6, 35°C’de %58, 38°C’de %57.7, 40°C’de %55.5 ve 42°C’de ise %45.5 protein/kuru ağırlık bulmuşlardır. 42 °C sıcaklıktaki üretimlerde 35 °C’dekilere oranla protein oranında %22 düşüş, lipit miktarında %43 artış ve karbohidrat oranında ise %30 artış olduğunu belirtmişlerdir.

Çalışmanın yürütüldüğü iklim koşullarında kapalı fotobiyoreaktörlerin kullanımının, açık havuzlara göre daha yüksek ürün alınmasını sağladığı belirlenmiş ve bunun nedeni tubuler fotobiyoreaktörlerin daha yüksek büyüme sıcaklığı sağlaması ile açıklanmış fakat zaman zaman da güneş kolektörleri gibi görev yaparak aşırı ısınmaya neden olduğu belirtilmiştir. Sıcaklık denetiminin mutlak gerekli olduğu ve yüksek sıcaklık derecelerine dayanıklı *Spirulina* hatlarının kullanılmasının uygun olacağı, bu sebeple M2 suşunun tercih edildiğini ifade etmişlerdir (Tomaselli ve ark., 1988).

Fox (1996) bildirdiğine göre, *Spirulina platensis*’in amino asit içeriği Çizelge 2.1.’deki gibi verilmiştir.

Çizelge 2.1. *Spirulina paltensis*'in Amino Asit İçeriği (Fox, 1996)

Amino asitler	(g/100 g protein)
İsolösin	3.5
Lösin	5.4
Lisin	2.9
Metionin	1.4
Fenilalalin	2.8
Trionin	3.2
Triptofan	0.9
Valin	4
Alanin	4.7
Arjinin	4.3
Aspartik asit	6.1
Sistin	0.6
Glutamik asit	9.1
Glisin	3.2
Histidin	1
Prolin	2.7
Serin	3.2
Tirosin	3

Becker (2004) bildirdiğine göre, *Spirulina platensis*'in amino asit içeriği Çizelge 2.2.'deki gibi verilmiştir.

Çizelge 2.2. *Spirulina paltensis*’in Amino Asit İçeriği (Becker, 1994)

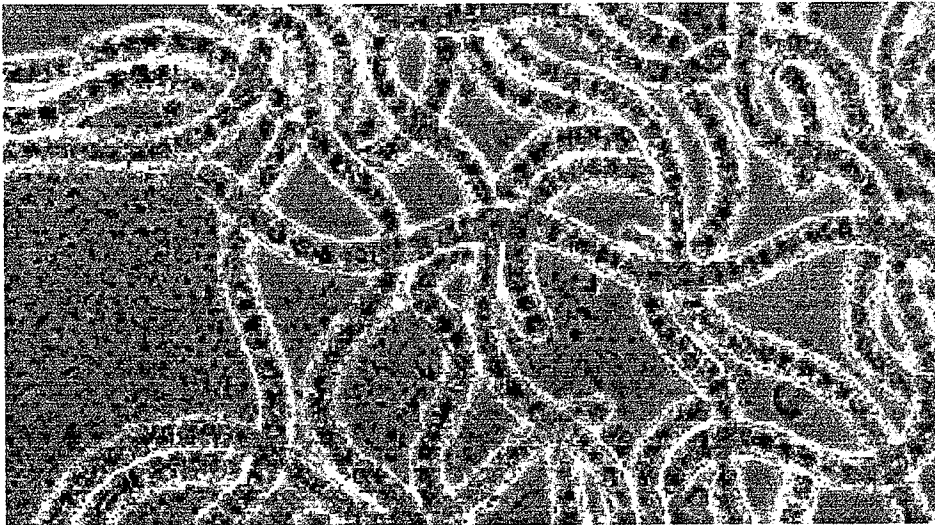
Amino asitler	(g/100 g protein)
İsolösin	6.7
Lösin	9.8
Lisin	4.8
Metionin	2.5
Fenilalalin	5.3
Triptofan	0.3
Valin	7.1
Alanin	9.5
Arjinin	7.3
Aspartik asit	11.8
Glutamik asit	10.3
Glisin	5.7
Histidin	2.2
Prolin	4.2
Serin	5.1
Tirosin	5.3

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

3.1.1. *Spirulina platensis*

Kış ve yaz mevsimlerinde *Spirulina platensis*'in Çukurova koşullarında sera içinde dışarı kültürü denenmiştir. Denemede mavi-yeşil bir siyanobakter olan *Spirulina platensis* türünün M2 suşu kullanılmıştır. *Spirulina*, çok hücreli, ipliksi, prokaryotik bir mikroalgdır. Mavi-yeşil algler olarak tanınan *Cyanophyta* filumuna ait *Spirulina*, mitokondri, çekirdek, golgi cisimciği, endoplazmik retikulum ve kofullarının olmaması nedeniyle prokaryotik olarak tanımlanmakta ve benzer hücre çeperine sahip olmaları nedeniyle bakterilere benzetilmektedir. *Spirulina platensis* ve *S. maxima* türlerinde granüler bir sitoplazma vardır ve gaz vakuolleri bulunmaktadır. Düz ve spiral haldeki iplikçikler dallanmamış, silindirik hücrelerden oluşmuştur. Hücre çapları türlere göre değişmektedir. Küçük boyutlu türlerde 1-3 mikrometre arasında, daha büyük türlerde hücre çapı 3-12 mikrometre arasında değişmektedir (Richmond, 1986), (Şekil 3.1).



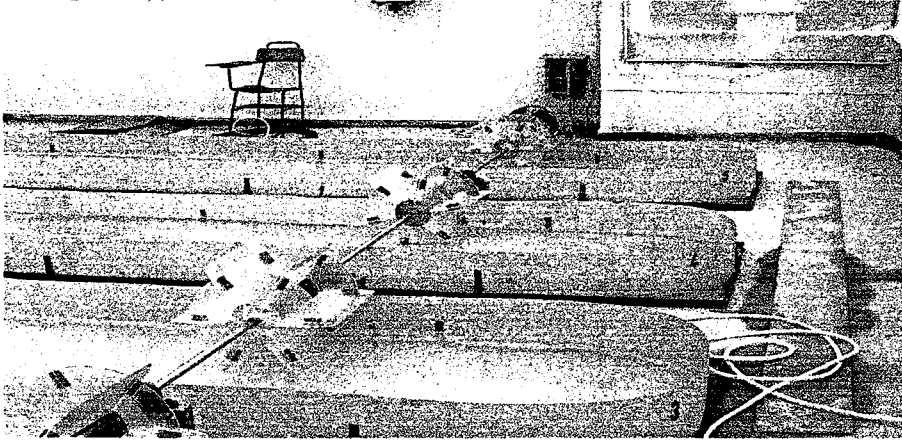
Şekil 3.1. Denemede Kullanılan *Spirulina platensis* M2

3.1.2. Denemede Kullanılan Havuzlar

Denemede 1x5x0.2 m boyutlarında, 1 m³ kapasiteli fiber-glassdan yapılmış 4 adet havuz kullanılmıştır (Şekil 3.2). Havuzlarda karışımı sağlayan pedal sistemi bulunmuştur (Şekil 3.3). Karıştırma hızı 20 cm s⁻¹ olacak şekilde ayarlanmıştır. Havuzlar Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakülte binası çatısında kurulan sera içerisinde yer almaktadır.



Şekil 3.2. Denemede Kullanılan Havuzlar



Şekil 3.3. Karışımı Sağlayan Pedal Sistemi

3.1.3. Kültür Ortamı

Denemede *S.platensis*'in üretiminde *Spirulina* ortamı kullanılmıştır. Kültür ortamının içeriği Çizelge 3.1'de verilmiştir.

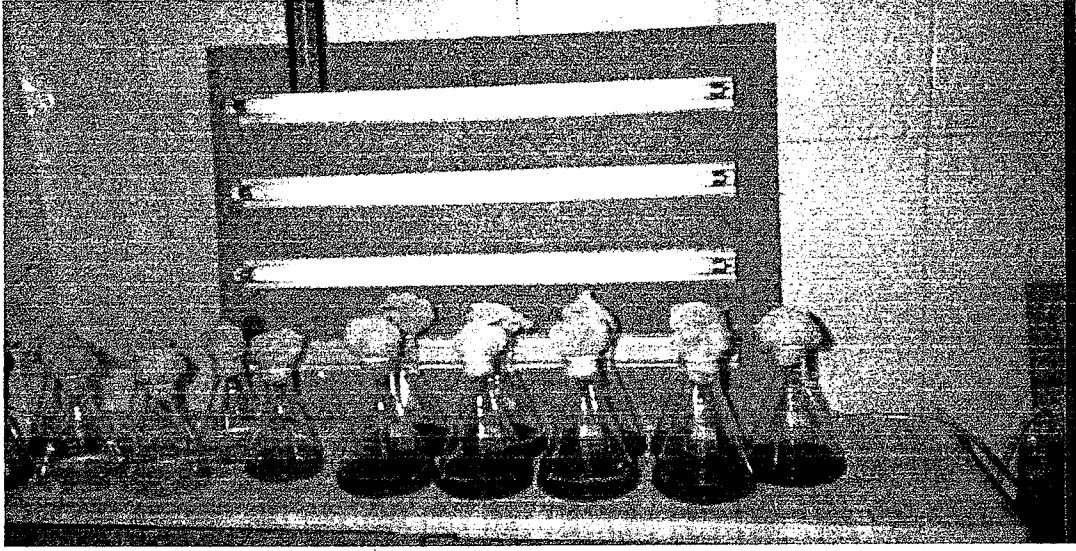
Çizelge 3.1. Denemede Kullanılan *Spirulina* Ortamı

Ortam-Solüsyon	Madde	Miktar
PART 1	NaHCO ₃	18.6g
	Na ₂ CO ₃	8.06
	K ₂ HPO ₄	1.00g
	Distile su	500.0ml
PART2	NaNO ₃	5.00g
	K ₂ SO ₄	2.00g
	NaCl	2.00g
	MgSO ₄ .7H ₂ O	0.40g
	CaCl ₂ .2H ₂ O	0.02g
	FeSO ₄ .7H ₂ O	0.02g
	EDTANa ₂	0.16g

	Mikro Element Solüsyonu	10.0ml
	Vitamin Solüsyonu	5.00ml
	Distile su	500.0ml
Mikro element Solüsyonu	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.001g
	MnSO ₄ .7H ₂ O	0.002g
	H ₃ BO ₃	0.01g
	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0.001g
	Co(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	0.001g
	CuSO ₄ .5H ₂ O	0.00005g
	FeSO ₄ .7H ₂ O	0.7g
	EDTANa ₂	0.8g
	Distile su	1.0L

3.1.4. *Spirulina platensis* Stok Kùltürleri

Denemede aş1 olarak kullanılmak üzere üretilen *S.platensis*, iklimlendirme cihazı kullanılarak 30±1 °C’de sabitlenmiş oda sıcaklığında ve 80 µmol m⁻² s⁻¹ ışık şiddetinde sürekli aydınlanmanın sağlandığı laboratuvar koşullarında tutulmuşlardır (Şekil 3.4). Stoklar 250ml’lik erlenlerde üretime alınmış ve laboratuvar koşullarında 500 ml, 2L, 5 L ve 10 litrelik kavanozların aşılmasında kullanılmışlardır. 10 L hacmindeki stoklar ise havuzların aşılmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Denemede Kullanılan *S.platensis* Stok Kùltürleri

3.1.5. Hasat Sehpaları

S.platensis kùltürlerinin hasatı, 1*0.5 cm boyutlarında 8 adet, ahşaptan yapılmış, 55-60µm göz açıklığına sahip bez geçirilmiş sehpalar ile yapılmıştır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Hasat Sehpaları

3.2 Metod

Yaz ve kış mevsimlerinde ürün verimliliğinin karşılaştırılması, protein miktarı ve amino asit bileşiminin belirlenmesi amacıyla yürütülen çalışmada 4 havuz kullanılmıştır. Dört tekrarlı planlanan çalışma kış mevsiminde Ocak ayında başlatılmış ve 38 gün sürmüştür. Denemenin 23. günü besi ortamı eklemesi yapılmıştır. Deneme kış mevsiminde sera içerisinde gerçekleştirilmiştir. Yaz mevsiminde Temmuz ayında yapılan üretim 9 gün sürmüştür. Yaz periyodunda naylon seranın yan duvarları açılmış ve güneş ışınlarının etkisini azaltmak amacıyla beyaz bir bez ile gölgelendirme yapılmıştır. Denemenin başladığı günden itibaren her gün sıcaklık, pH, aydınlık şiddeti, tuzluluk ve oksijen ölçümleri yapılmış ve günlük olarak klorofil-a miktarı belirlenmiştir. Sıcaklık ve oksijen gece ve gün ortasında olmak üzere günde iki kez ölçülmüştür. Denemenin bitiminden sonra ise yaş ağırlık, kuru madde ve kül analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Denemenin Kurulması ve Yürütülmesi

Laboratuvarda tutulan ve aşı olarak kullanılacak olan 10L hacmindeki stok kültürler aşılama işleminden 24 saat önce, dışarı ortam koşullarına uyum sağlaması için denemenin yürütüleceği sera ortamına taşınmıştır.

Kültürler için kullanılacak *Spirulina* ortamını oluşturan besleyici elementler distile su ile eritilerek havuzlara ilave edilmiş ve tüzeri çeşme suyu ile 500L'ye tamamlanarak havuzlardaki ortamın yüksekliğinin 10cm olması sağlanmıştır. Dört havuza da ortam eklemeleri yapıldıktan ve *Spirulina* ortamının içerdiği elementlerin çözünmesi sağlandıktan sonra her bir havuza başlangıç yoğunluğu 48500 iplik/ml olan 17.5 L olan *S. platensis* aşı kültürlerinden eklenerek deneme başlatılmıştır.

3.2.2. Deneme Süresince Yapılan Analizler

3.2.2.1.Klorofil Analizi

Deneme boyunca iplik sayısı ve klorofil miktarını belirlemek için her bir havuzdan 5'er ml'lik örnek alınmıştır. Klorofil analizi 2 tekrarlı olarak yapılmıştır. Klorofil analizi için alınan 5ml'lik örnek su trombu yardımı ile GF/6 filtre kağıdından süzölmüş, sonra filtre kağıtları oda sıcaklığında karanlıkta 2-4 saat kurumaya bırakılmıştır. Nispeten kuruyan filtre kağıtları, içinde 10 ml %90'lık aseton bulunan deney tüplerine konmuştur. Asiditenin artması ve pigmentin zarar görmesini önlemek amacıyla filtre sırasında 2 damla %1'lik $MgCO_3$ eklenmiştir. Ağzıları mantar tıpa ile kapatılan deney tüpleri çalkalandıktan sonra buzdolabında (+4 °C) 24 saat karanlıkta bırakılmış ve ekstraksiyon süresi sonunda üstteki berrak kısım alınarak visible spektrofotometrede 630, 645, 665 ve 750 nm.'de absorpsiyon değerleri ölçölmüştür. Ölçölen değerler 750 nm'daki absorbansın çıkarılmasıyla düzeltilerek aşağıdaki denkleme yerleştirilmiş ve klorofil-a miktarları hesaplanmıştır (Parsons ve Strickland , 1963).

$$Chl.a = 11.6 \times D_{665} - 0.14 \times D_{630} - 1.31 \times D_{645}$$

$$\mu g / L = \frac{Chl.a \times v}{l \times V}$$

$$l \times V$$

V= filtre edilen su örneği (L)

v= kullanılan asetonun hacmi (ml)

l= küvetten geçen ışık yolu (cm)

3.2.2.2. İplik Sayımı

Deneme süresince her gün sayım için alınan 5 ml hacmindeki örnekler, %4'lük formaldehit ile tespit edilmişlerdir. Sayımlar, Sedwig-rafter sayım kamarası ile 3 tekerrürlü olacak şekilde yapılmıştır.

3.2.2.3. Hasat

Denemenin sona erdirilmesinden hemen sonra kültürler 5L'lik polyetilen kaplar ile alınarak hasat sehparına dökülerek s z lm şt r. Süzme işlemi sonunda kavanozlara alınan *Spirulina* ya  materyali, protein analizi için $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de korunmuştur ( ekil 3.6).



Şekil 3.6. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de Saklanan *Spirulina* Kavanozları

3.2.2.4. Kuru Madde ve Kül Analizleri

Kuru madde miktarlarının saptanması için, $0.45\text{ }\mu$ göz a ıklı ındaki “ glass fibre” filtre kağıtları, süzme düzeneği ve bir su trombu kullanılarak oluşturulan vakum yardımıyla *Spirulina* iplikleri ortamdan ayrılarak yo unla tırılmı tır. Yo unla tırılmı  iplikler, önceden $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat tutulduktan ve desikatörde

soğutulduktan sonra, 0.001 g duyarlı terazide ağırlıkları alınmış alüminyum kaplar içerisinde belirli miktarlarda tartılarak, etüvde 103 °C'de 4 saat tutulmuştur. Bu süre sonunda alüminyum kaplar bir desikatöre konularak, oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmış ve daha sonra 0.001 g duyarlı terazide tartımları yapılmıştır. Örnekler yaş iken yapılan tartım sonucu elde edilen rakamdan, kurutulduktan sonraki tartım değeri çıkarılarak kuru madde miktarı hesaplanmış ve % değerler elde edilmiştir. Kül tayini için kurutulmuş olan örnekler, bu kez yakma fırınına yerleştirilmiş ve 550 °C'de 4 saat süreyle tutulmuşlardır (Vollenweider ve ark., 1974). Daha sonra tartımları yapılmıştır. Ancak geçen süre sonunda kül oluşumu gerçekleşmeyen örnekler birkaç damla distile su damlatılarak yakma işlemine devam edilmiştir. Buna rağmen kül elde edilemeyen örnekler %3'lük Hidrojen Peroksit damlatılarak yakma işlemi tamamlanmıştır (Matissek ve ark., 1989). Kuru madde ve kül analizleri her havuz için 2 kez yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır.

3.2.2.5. Büyüme Hızı

Denemenin başlangıcından itibaren elde edilen iplik sayımı değerleri aşağıdaki denklem kullanılarak deneme gruplarına ait büyüme hızları (μ =bölünme/gün) hesaplanmıştır.

$$\mu = \log (N_1/N_0) \times (3.322/t) \text{ (Guillard, 1973).}$$

N_0 : Başlangıç İplik sayısı (iplik/ml)

N_1 : t zamandaki iplik yoğunluğu

t : süre

3.2.2.6. Protein ve Amino Asit Analizi

Protein analizleri Kjeldahl (AOAC, 1995), amino asit analizleri ise Hidrolizat

(LC-3000) yöntemine göre TUBİTAK-MAM Gıda Bilimi ve Teknolojisi Araştırma Enstitüsü'nde yapılmıştır.

Araştırma verilerinin değerlendirilmesinde ve elde edilen sonuçlara bağlı olarak ortalamaların karşılaştırılması, t-testi SPSSX 10.0 paket programı kullanılarak yapılmıştır.

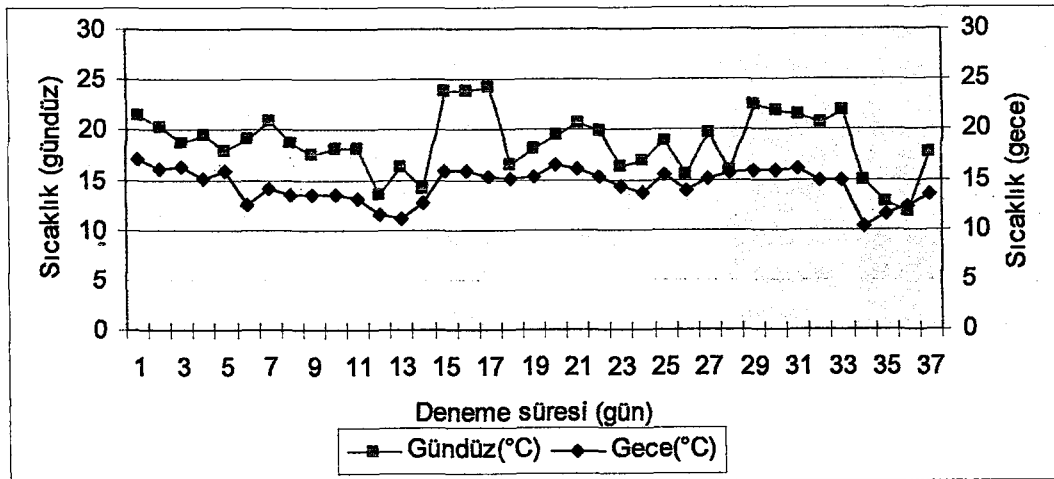


4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çukurova iklim koşullarında, yaz ve kış mevsimlerinde *Spirulina* kültürünün yapılabilirliği, ürün verimliliği, ışık ve sıcaklığın *Spirulina*'nın protein miktarı ve amino asit bileşimine etkilerini belirlemek amacıyla yürütülen çalışmada sıcaklık (°C), pH, tuzluluk (ppt), aydınlık şiddeti ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), oksijen ölçümleri yapılmış, iplik sayısı (iplik/ml), klorofil-a ($\mu\text{g L}^{-1}$), protein miktarı, amino asit içeriği, yaş ve kuru ağırlık ile kül miktarları belirlenmiştir. Oksijen ve sıcaklık ölçümleri gece ve gün ortasında olacak şekilde günde iki kez yapılmıştır. Denemeden elde edilen bulgular Kış ve Yaz dönemi olarak iki bölümde ele alınmıştır.

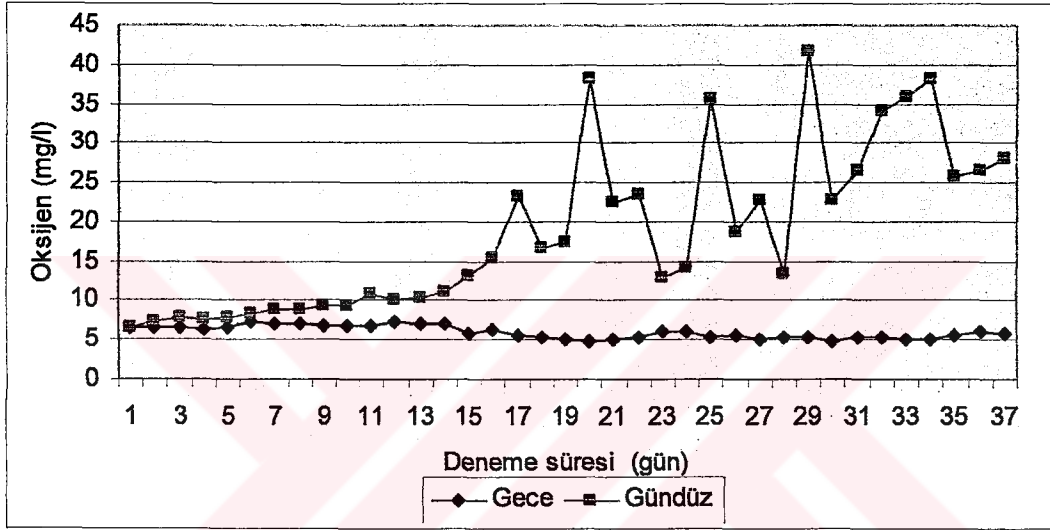
4.1. Kış Dönemi (Ocak-Şubat)

Kış dönemi süresince gece ve gündüz elde edilen en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla 17.17 ± 0.07 ve 24.28 ± 0.01 °C, en düşük sıcaklık değerleri ise 10.42 ± 0.02 ve 11.67 ± 0.04 °C olarak belirlenmiş, 38 gün süren kış dönemi üretimi sırasında gündüz sıcaklık ortalaması 18.62 ± 0.05 °C ve gece sıcaklık ortalaması 14.46 ± 0.02 °C olarak hesaplanmıştır. Üretim süresince gece ve gündüz ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.1.'de verilmektedir.



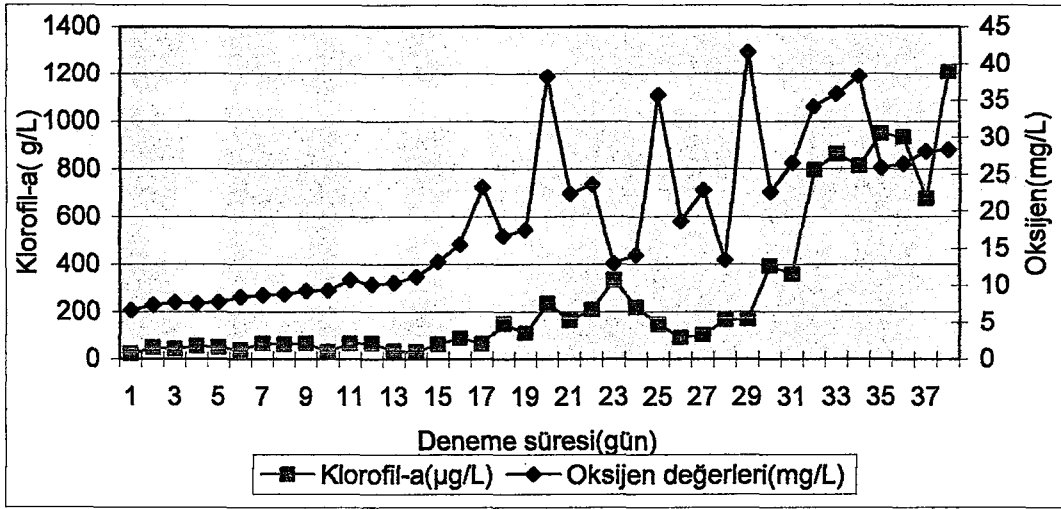
Şekil 4.1. Kış Dönemi Gece ve Gündüz Sıcaklık Değerleri

Havuzlardan ölçülen en yüksek ve en düşük gündüz oksijen değerleri sırasıyla 41.6 ± 0.9 ve 6.62 ± 0.04 mg L⁻¹, deneme boyunca gündüz oksijen ortalaması 18.7 ± 1.7 mg L⁻¹ olarak belirlenmiş, gece ölçümlerinden elde edilen en yüksek ve en düşük oksijen değerleri ise sırasıyla 7.4 ± 0.04 ve 4.8 ± 0.1 mg L⁻¹ olarak saptanmış, deneme boyunca gece oksijen ortalaması ise 5.9 ± 0.1 mg L⁻¹ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Kış Dönemi Gece ve Gündüz Oksijen Değerleri

Denemenin başlangıcında klorofil-a değeri 22.4 ± 0.4 µg L⁻¹ olarak belirlenirken en yüksek klorofil-a değeri 1209 ± 35 µg L⁻¹ olarak saptanmıştır. Deneme süresince elde edilen klorofil-a değerleri ile oksijen değerleri günlere bağlı olarak Şekil 4.3.'de verilmiştir.

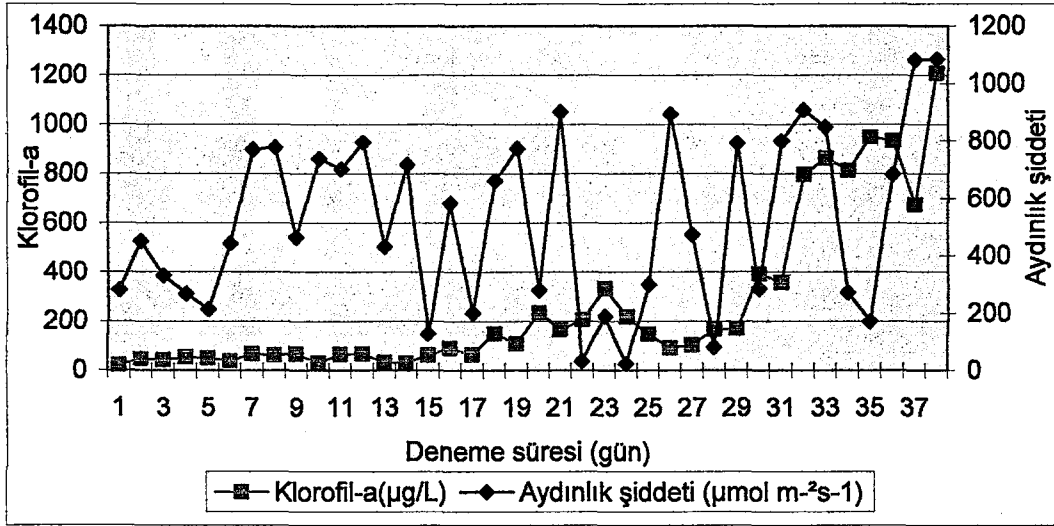


Şekil 4.3. Kış Dönemi Klorofil-a ve Oksijen Değerleri

Deneme süresince günlere bağlı olarak ölçülen aydınlık şiddeti değerleri Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Ölçülen en yüksek, en düşük ve ortalama aydınlık şiddeti değerleri sırasıyla 1084.72 ± 61 , 23.6 ± 04 ve $506.26 \pm 48 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

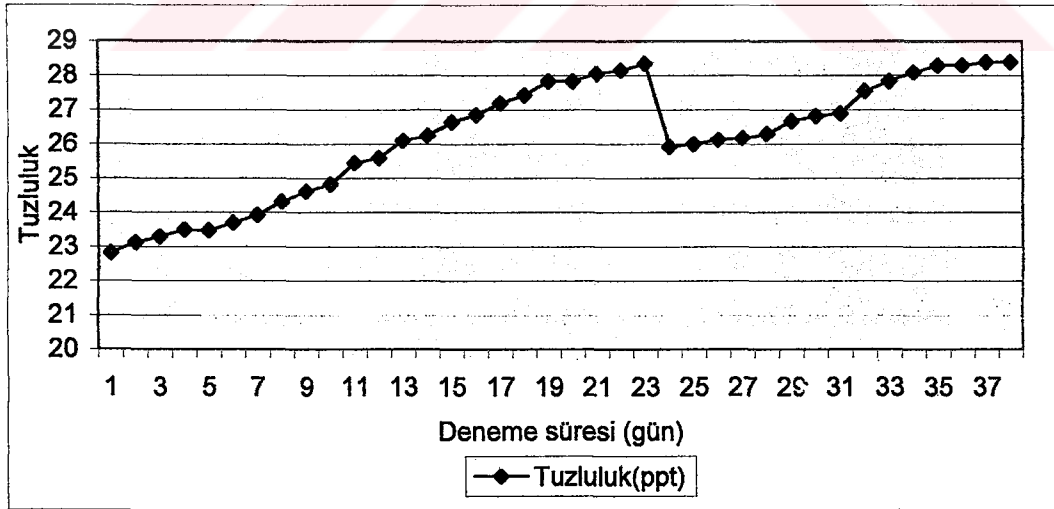
Çizelge 4.1. Kış Dönemi Aydınlik Şiddeti Değerleri

Günler	Aydınlik Şiddeti ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1	280.25
2	450.875
3	330.55
4	266.825
5	212.375
6	442.025
7	769.4
8	776.675
9	463.975
10	737.65
11	702.15
12	794.4
13	431.9
14	716.375
15	128.5525
16	582.75
17	200.8475
18	661.65
19	771.85
20	279.275
21	901.375
22	32.0925
23	188.065
24	23.605
25	298.91
26	892.525
27	473.025
28	80.605
29	791.1
30	284.8775
31	798.45
32	907.5
33	849.1
34	271.225
35	172.1
36	683.825
37	1082.925
38	1084.729
Ortalama	506.26±48



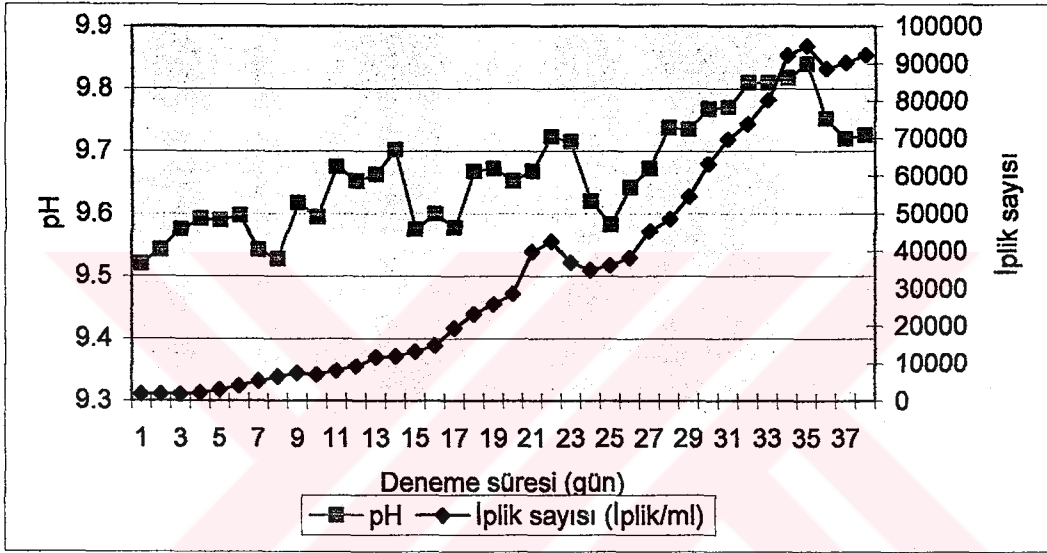
Şekil 4.4. Kış Dönemi Klorofil-a ve Aydınlik Şiddeti Değerleri

Denemenin başlangıcında 22.8 ± 0.2 ppt olarak ölçülmüş olan tuzluluk değerinin denemenin son günü ölçülen 28.4 ± 0.2 ppt değerine yükseldiği belirlenmiştir (Şekil 4.5.).



Şekil 4.5. Kış Dönemi Tuzluluk Değerleri

Denemenin başlangıcında havuzlara ait ortalama pH gündüz değeri 9.52 ± 0.004 olup kış döneminde en düşük ve en yüksek pH değerleri 9.52 ± 0.004 ve 9.84 ± 0.001 olarak belirlenmiştir. İplik sayısı başlangıçta ortalama 1782 ± 44 iplik/ml olarak belirlenmiş ve en yüksek iplik yoğunluğu olan 94708 ± 3534 iplik/ml'ye denemenin 35. günü ulaşılmıştır. Deneme süresince dört havuza ait kültür ortamlarında pH değerleri ve iplik yoğunluğu ile birlikte değişimi Şekil 4.6.'da verilmektedir.



Şekil 4.6. Kış Dönemi İplik Sayısı ve pH Gündüz Değerleri

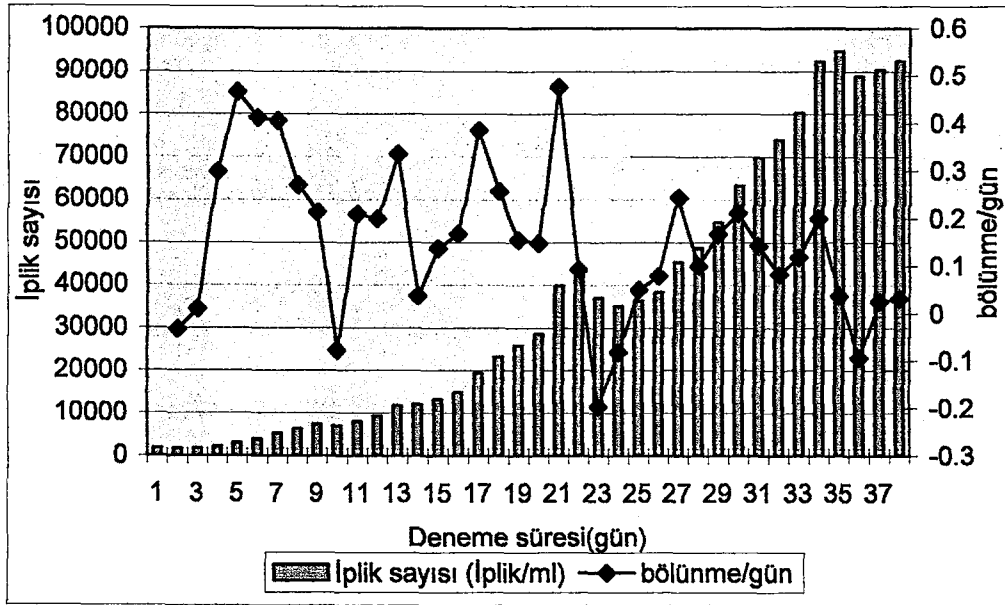
Kış döneminde elde edilen en yüksek klorofil-a değerinin, bu değere ait iplik sayısına oranından, bir ipliğe ait klorofil-a değeri hesaplanmış ve 13.09 pg/iplik değeri elde edilmiştir.

Kış döneminde ait olan denemede dört havuza ait iplik sayıları kullanılarak büyüme hızları hesaplanmış, en yüksek büyüme hızı $\mu=0.476$ ve ortalama büyüme hızı $\mu_{\text{ort}}=0.192$ bölünme/gün (Çizelge 4.2. ve Şekil 4.7.) olarak bulunmuştur (Guillard, 1973).

Çizelge 4.2. *Spirulina platensis* 'in Kış Döneminde Kültür Ortamlarına Ait Büyüme Hızı Değerleri

Gün	İplik/ml	N_t/N_0	$\text{Log}(N_t/N_0)$	$\mu=\text{bölünme/gün}$
1	1782	-	-	-
2	1741.667	0.977	-0.009942	-0.033
3	1754.167	1.007	0.003105	0.010
4	2158.333	1.230	0.090047	0.299
5	2981.25	1.381	0.140279	0.466
6	3966.667	1.330	0.124027	0.412
7	5258.333	1.325	0.122422	0.406
8	6345.833	1.206	0.081640	0.271
9	7362.5	1.160	0.064570	0.214
10	6975	0.947	-0.023481	-0.078
11	8066.667	1.156	0.063149	0.209
12	9266.667	1.148	0.060229	0.200
13	11704.17	1.263	0.101417	0.336
14	12008.33	1.025	0.011141	0.037
15	13208.33	1.099	0.041365	0.137
16	14841.67	1.123	0.050634	0.168
17	19400	1.307	0.116318	0.386
18	23200	1.195	0.077686	0.258
19	25833.33	1.113	0.046692	0.155
20	28633.33	1.108	0.044691	0.148
21	39833.33	1.391	0.143374	0.476
22	42500	1.066	0.028142	0.093
23	37050	0.871	-0.059600	-0.197
24	35000	0.944	-0.024720	-0.082
25	36250	1.035	0.015239	0.050
26	38300	1.056	0.023890	0.079
27	45366.67	1.184	0.073538	0.244
28	48633.33	1.072	0.030197	0.100
29	54625	1.123	0.050457	0.167
30	63233.33	1.157	0.063554	0.211
31	69791.67	1.103	0.042857	0.142
32	73916.67	1.059	0.024938	0.082
33	80291.67	1.086	0.035928	0.119
34	92250	1.148	0.060295	0.200
35	94708.33	1.026	0.011421	0.037
36	88750	0.937	-0.028219	-0.093
37	90333.33	1.017	0.007679	0.025
38	92333.33	1.022	0.009510	0.031

 $\mu_{\text{ort}}=0.192$



Şekil 4.7. *Spirulina platensis*'in Kış Döneminde Kültür Ortamlarına Ait Büyüme Hızı ve İplik Sayıları

Denemenin 23. gününde buharlaşma nedeniyle havuzlardaki kültür derinliğinin buharlaşma sonucu 7 cm'ye düşmesi nedeniyle taze ortam eklenerek üretime devam edilmiştir. Taze besi ortamı eklenmesinden önce ürün miktarı belirlenmiş, yaş ağırlık, kuru madde ve kül miktarları hesaplanmıştır. Besi ortamı eklenmesinden sonra 15 gün süreyle üretime devam edilmiştir. Bu sürecin sonunda ikinci kez ürün miktarı belirlenmiştir (Çizelge 4.3. ve 4.4.).

Çizelge 4.3. 23. Güne Ait Ürün Verileri

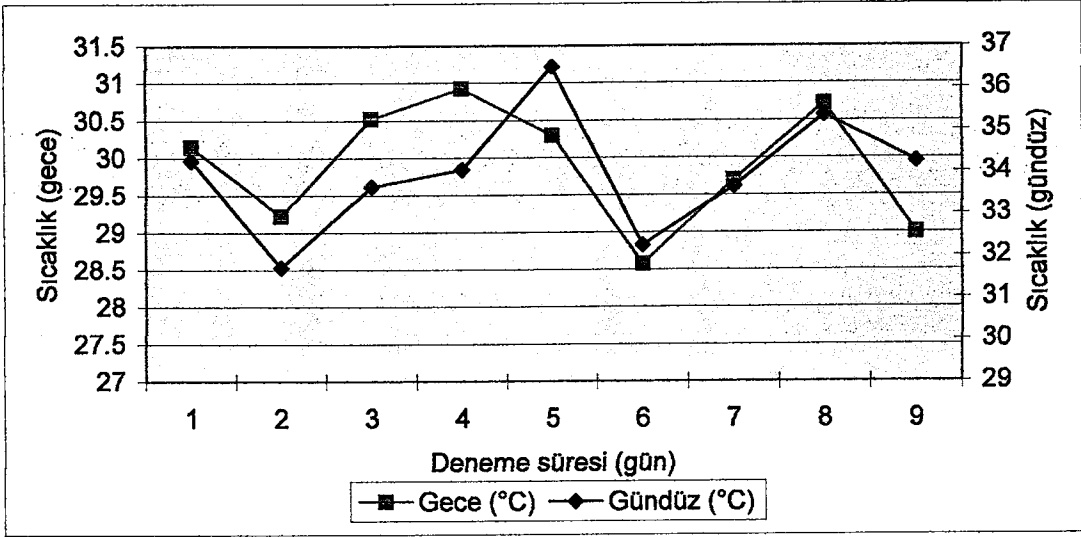
Havuzlar	Yaş Ağ. (g ^L ⁻¹)	Kuru Ağ. (g ^L ⁻¹)	Kuru Ağ. (%)	Kül Mik. (g ^L ⁻¹)	Kül Mik. (%)
A	2.176±0.2	0.397±0.02	18.2±0.02	0.085±0.008	21.3±0.008
B	1.862±0.2	0.238±0.03	12±0.03	0.051±0.02	21.6±0.02
C	1.673±0.1	0.289±0.01	17.2±0.01	0.073±0.01	25.2±0.01
D	1.748±0.03	0.285±0.002	16.3±0.002	0.073±0.002	25.4±0.002
Ortalama	1.86±0.1	0.302±0.01	16±0.01	0.07±0.01	23.1±0.01

Çizelge 4.4. 37. Güne Ait Ürün Verileri

Havuzlar	Yaş Ağ. (g ^L ⁻¹)	Kuru Ağ. (g ^L ⁻¹)	Kuru Ağ. (%)	Kül Mik. (g ^L ⁻¹)	Kül Mik. (%)
A	1.644±0.1	0.41±0.01	21.3±0.008	0.07±0.007	17.1±0.0007
B	1.275±0.1	0.326±0.01	21.6±0.02	0.055±0.001	17±0.001
C	1.323±0.1	0.345±0.02	25.2±0.01	0.055±0.008	15.9±0.008
D	1.484±0.02	0.359±0.004	25.4±0.002	0.058±0.0005	16.2±0.0005
Ortalama	1.43±0.08	0.36±0.01	23.1±0.01	0.06±0.003	16.6±0.003

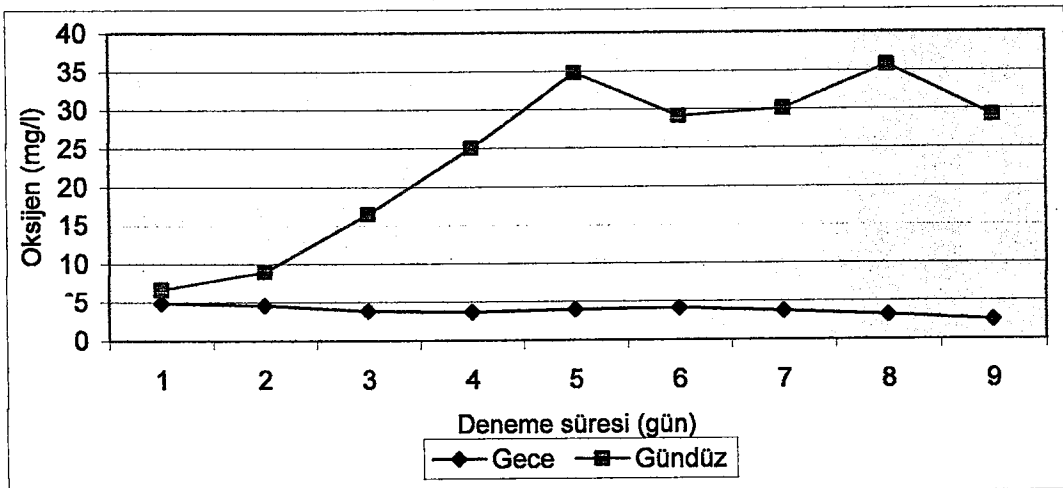
4.2. Yaz Dönemi (Temmuz)

Yaz dönemi üretiminde gece ve gündüz elde edilen en yüksek sıcaklık değerleri sırasıyla 30.9±0.07 ve 36.5±0.2 °C, en düşük sıcaklık değerleri ise 28.5±0.2 ve 31.70±0.4 °C, gündüz ortalama sıcaklık 33.9±0.4 °C ve gece ortalama sıcaklık 29.9±0.2 °C olarak belirlenmiştir. Üretim sırasında belirlenen gece ve gündüz ölçülen sıcaklık değerleri Şekil 4.8.'de verilmektedir.



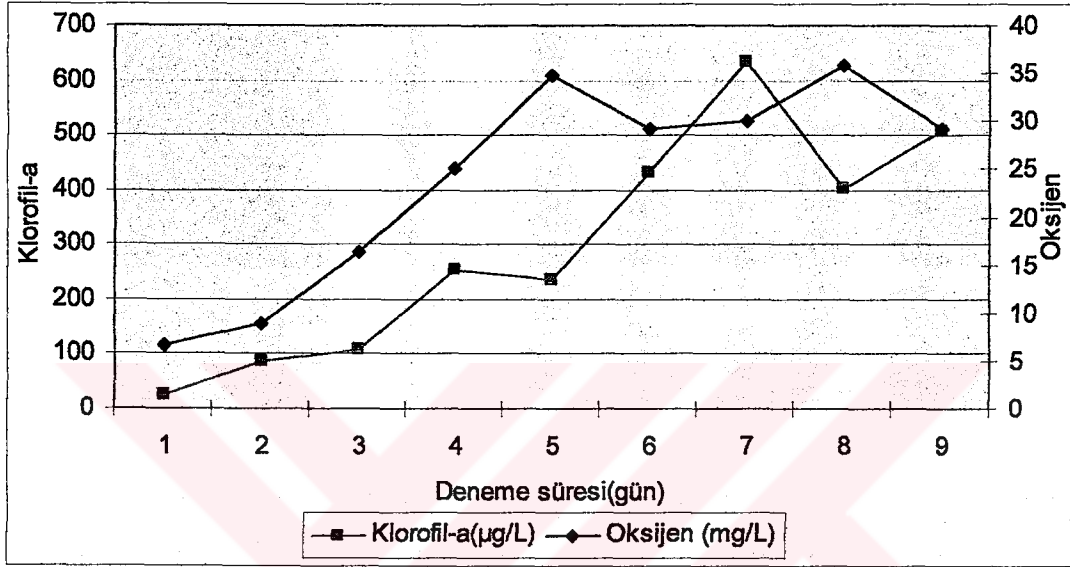
Şekil 4.8. Yaz Dönemi Gece ve Gündüz Sıcaklık Değerleri

Havuzlardan alınan en yüksek ve en düşük gündüz oksijen değerleri sırasıyla $35.77 \pm 0.06 \text{ mg L}^{-1}$ ve $6.65 \pm 0.06 \text{ mg L}^{-1}$, deneme boyunca gündüz oksijen ortalaması $24 \pm 3.5 \text{ mg L}^{-1}$, gece ölçümlerinden elde edilen en yüksek ve düşük oksijen değerleri sırasıyla 4.9 ± 0.1 ve $2.53 \pm 0.2 \text{ mg L}^{-1}$, gece oksijen ortalaması ise 3.8 ± 0.2 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Yaz Dönemi Gece ve Gündüz Oksijen Değerleri

Denemenin başlangıcında klorofil-a değeri $23.85 \pm 2.2 \mu\text{g/L}^{-1}$ olarak belirlenirken en yüksek klorofil-a değeri $633.71 \pm 29 \mu\text{g/L}^{-1}$ olarak saptanmıştır. Ölçülen klorofil-a değerleri ve oksijen değerleri günlere bağlı olarak Şekil 4.10.'da verilmektedir.

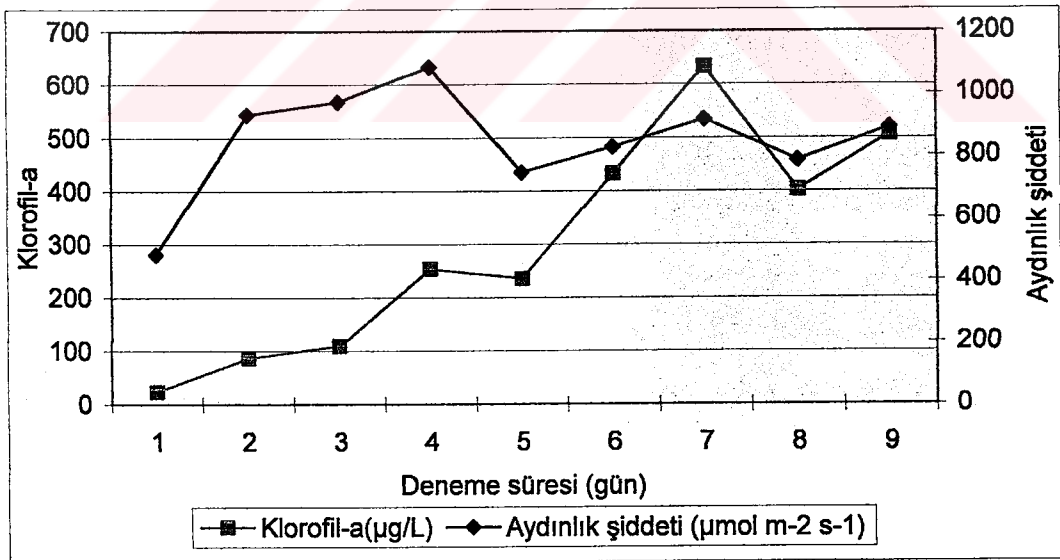


Şekil 4.10. Yaz Dönemi Klorofil-a ve Oksijen Değerleri

Deneme süresince günlere bağlı olarak ölçülen aydınlık şiddeti değerleri Çizelge 4.5.'de verilmektedir. En yüksek, en düşük ve ortalama aydınlık şiddeti değerleri sırasıyla 1085.25 ± 28 , 481.95 ± 44 ve $848.36 \pm 52 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak belirlenmiştir.

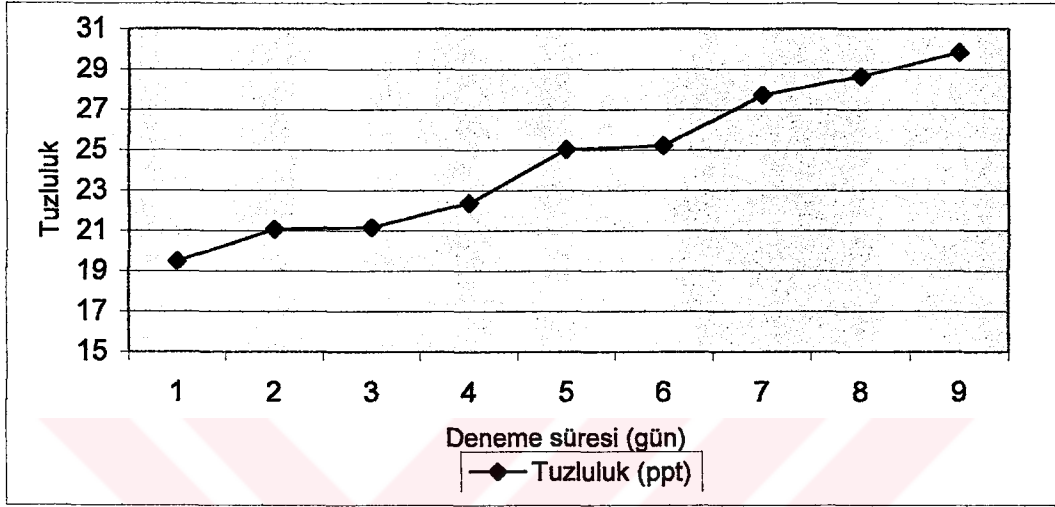
Çizelge 4.5. Yaz Dönemi Aydınlik Şiddeti Değerleri

Günler	Aydınlik Şiddeti ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
1	481.95
2	931.875
3	972.325
4	1085.25
5	745.775
6	827.35
7	915.85
8	784.525
9	890.625
Ortalama	848.36±52



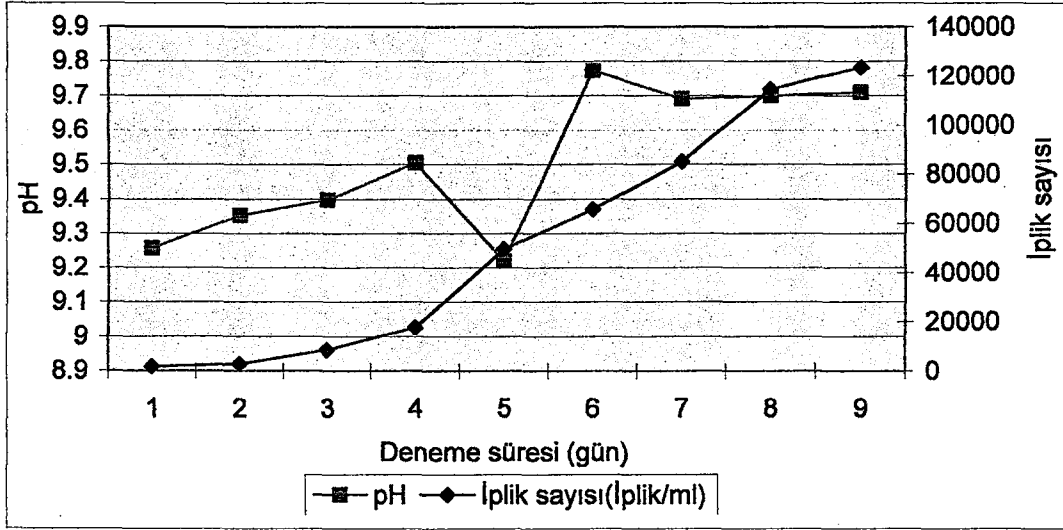
Şekil 4.11. Yaz Dönemi Klorofil-a ve Aydınlik Şiddeti Değerleri

Denemenin başlangıcında 19.5 ± 0.06 ppt olarak ölçülmüş olan tuzluluk değerinin denemenin sonunda ölçülen 29.85 ± 0.04 ppt ile en yüksek değere ulaştığı belirlenmiştir (Şekil 4.12.).



Şekil 4.12. Yaz Dönemi Tuzluluk Değerleri

Denemenin başlangıcında havuzlara ait ortalama pH değeri 9.25 ± 0.006 olup, en düşük ve en yüksek pH değerleri 9.22 ± 0.007 ve 9.77 ± 0.01 olarak belirlenmiştir. İplik sayısı başlangıçta ortalama 1625 ± 79 olarak belirlenmiş ve en yüksek iplik yoğunluğu olan 123458 ± 11011 iplik/ml'ye denemenin 9. günü ulaşılmıştır. Deneme süresince dört havuza ait üretim ortamlarındaki ortalama pH değerleri ve iplik yoğunluğuna bağlı olarak ortamın pH'ındaki değişim Şekil 4.13.'de verilmektedir.



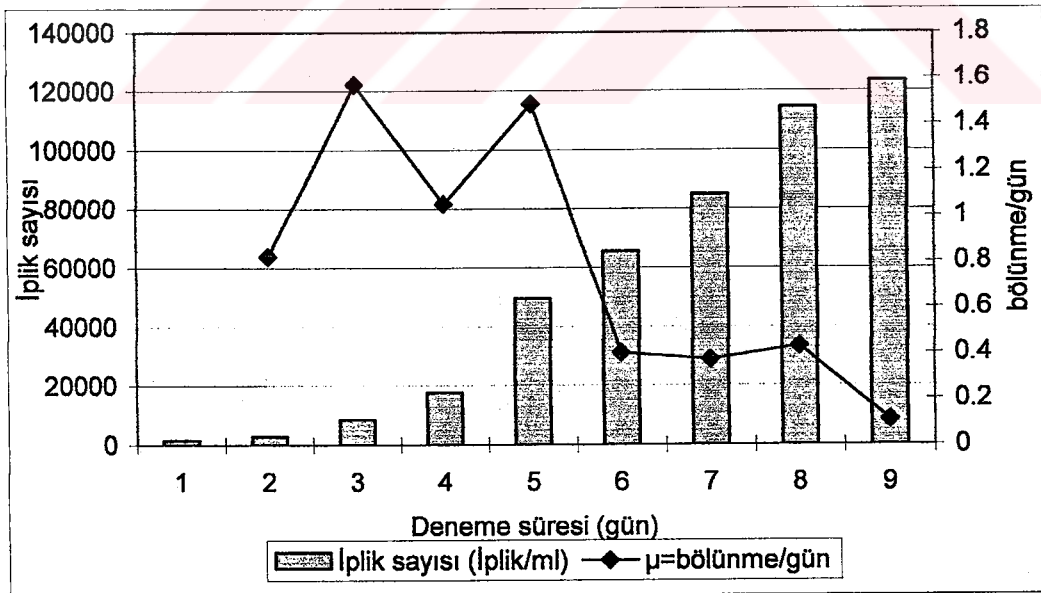
Şekil 4.13. Yaz Dönemi İplik Sayısı ve pH Gündüz Değerleri

Yaz döneminde elde edilen en yüksek klorofil-a değerinin bu değere ait iplik sayısı oranından, bir iplike ait klorofil-a değeri hesaplanmış ve 7.451 pg/iplik değeri elde edilmiştir.

Yaz döneminde dört havuza ait iplik sayıları kullanılarak büyüme hızları hesaplanmış ve 9 güne ait hesaplanan en yüksek büyüme hızı $\mu=1.570$ bölünme/gün olarak bulunmuştur (Çizelge 4.6 ve Şekil 4.14).

Çizelge 4.6. *Spirulina platensis* 'in Yaz Döneminde Kültür Ortamına Ait Büyüme Hızı Değerleri

Gün	İplik/ml	N_t/N_0	$\text{Log}(N_t/N_0)$	$\mu=\text{bölünme/gün}$
1	1625	-	-	-
2	2875	1.769	0.247784	0.823
3	8541.667	2.971	0.472904	1.570
4	17708.33	2.073	0.316634	1.051
5	49625	2.802	0.447522	1.486
6	65750	1.324	0.122195	0.405
7	85041.67	1.293	0.111736	0.371
8	114541.7	1.346	0.129331	0.429
9	123458.3	1.077	0.032556	0.108
				$\mu_{\text{ort}}=0.780$

Şekil 4.14. *Spirulina platensis* 'in Yaz Döneminde Kültür Ortamına Ait Büyüme Hızı ve İplik Sayıları

Yaz döneminde deneme sonunda analizleri yapılan yaş ağırlık, kuru madde ve kül miktarı sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Yaz Üretimine Ait Ürün Verileri

Havuzlar	Yaş Ağ. (g L ⁻¹)	Kuru Ağ. (g L ⁻¹)	Kuru Ağ. (%)	Kül Mik. (g L ⁻¹)	Kül Mik. (%)
A	7.367±0.005	1.66±0.004	22±0.004	0.26±0.0005	16±0.0005
B	5.945±0.09	1.214±0.006	20±0.006	0.203±0.004	17±0.004
C	6.883±0.02	1.327±0.01	19±0.01	0.214±0.02	16±0.02
D	6.878±0.08	1.301±0.006	20±0.006	0.24±0.002	18±0.002
Ortalama	6.76±0.2	1.375±0.009	20±0.009	0.23±0.01	16.7±0.01

Kış ve yaz dönemi sonunda elde edilen *Spirulina* ürününde saptanan protein değerleri ve amino asit içerikleri mevsimlere göre karşılaştırıldığında farklı bulunmuştur. Protein değerleri Çizelge 4.8. ve amino asit içeriği Çizelge 4.9. ve 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kış ve Yaz Dönemine Ait *Spirulina* Protein Değerleri

Havuzlar	Protein (% protein/kuru ağırlık)	
	Kış Dönemi	Yaz Dönemi
A	27.28±0.2	39.80±3.5
B	26.40±0.2	42.94±3.5
C	27.40±0.2	46.30±3.5
D	26.90±0.2	56.20±3.5
Ortalama	27.00±0.2	46.31±3.5

Çizelge 4.9. Kış ve Yaz Dönemine Ait Esansiyel Amino Asit İçerikleri

Havuzlar		Esansiyel Amino Asitler (mg/100 g)						
		Treon.	Val.	Mety.	Isol.	Lös.	Fenil.	Lis.
Kış	A	1137.6	1550.3	396.6	1341.9	1902.8	1069.6	1057.5
	B	815.1	1200.5	109.5	1008.9	1439.1	801.6	1032.4
	C	1136.3	1389.6	314.8	1324.3	1888.6	1055.6	886.8
	D	1336.9	1825.3	451.2	1572.8	2218.5	1245.8	1444.5
	Ort.	1106.5	1491.4	318	1311.9	1862.3	1043.2	1105.3
Yaz	A	1735.5	2170.4	514.9	2117.2	2951.6	1537.7	2134.9
	B	1851.1	2277.2	489.2	2218.4	3139	1625.9	2174.3
	C	2298.9	2449.4	467	2169.2	3264.1	1676.2	2309.3
	D	2153.4	2629.6	735.4	2539.6	3439.2	2026.5	2502.6
	Ort.	2009.7	2381.7	551.6	2261.1	3198.5	1716.6	2280.3

Çizelge 4.10. Kış ve Yaz Dönemine Ait Esansiyel Olmayan Amino Asit İçerikleri

Havuzlar		Esansiyel Olmayan Amino Asitler (mg/100 g)									
		Asp.	Ser.	Glut.	Glis.	Alan.	Tirs.	Hist.	Prol.	Sist.	Arjn.
Kış	A	1978.8	985.4	3669.4	1249.8	1710.5	941.4	504.7	116.1	80.1	1073.6
	B	1407.8	731.3	3754	938.5	1345.2	602.2	375.4	66.5	11.7	742
	C	1792.7	867.6	3512.5	1228.4	1911.7	829.2	414.5	813.7	149.7	1044
	D	2379.9	1047.2	4192.9	1423.9	2131.6	1113.4	591.8	864.4	227.6	1754.5
	Ort.	1889.8	907.9	3782.2	1210.2	1774.8	871.6	471.6	465.2	117.2	1153.5
Yaz	A	3457.6	1695.5	6040.8	1952.9	1930.8	1154	772.3			
	B	3614.1	1787.5	6439.8	2081.3	2115.6	1087.2	803.1			
	C	3871.3	1894.1	6964.2	2189.9	2200	996.4	793.9			
	D	4222.2	2100.5	7544.9	2428.6	2470.8	1248.6	904.7			
	Ort.	3791.3	1869.4	6747.4	2163.2	2179.3	1121.5	818.5			

Elde edilen veriler özetlenecek olursa yaz döneminde elde edilen iplik yoğunluğu 123458 ± 11011 , kış döneminde belirlenen 94708 ± 3534 iplik/ml yoğunluğundan yüksek bulunmuştur ($p < 0.05$). Kış ve yaz mevsimlerinde yapılan üretimde elde edilen yaş ve kuru *Spirulina* ağırlıkları farklı bulunmuştur ($p < 0.05$). Kış döneminde elde edilen kuru *Spirulina* ağırlığı $0.36 \pm 0.01 \text{ gL}^{-1}$ iken yaz döneminde $1.375 \pm 0.009 \text{ gL}^{-1}$ *Spirulina* elde edilmiştir. Kuru maddelerden elde edilen kül miktarları mevsimlere göre farklı bulunmuştur ($p < 0.05$).

Yaz ve kış mevsimlerinde elde edilen *Spirulina*'da, kuru maddede protein düzeyleri sırasıyla $\%46.31 \pm 3.5$ ve $\%27 \pm 02$ olarak saptanmış ve yaz dönemine ait protein oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir ($p < 0.05$).

Amino asit değerlerine bakıldığında esansiyel amino asitlerden Metionin ve esansiyel olmayan amino asitlerden Alanin ve Tirosin dışındaki amino asit

miktarlarının yaz dönemi üretilen *Spirulina* ürününde daha yüksek miktarlarda bulunduğu saptanmıştır ($p<0.05$). Prolin, Sistin ve Arjinin ise kış döneminde saptanmış ancak yazın elde edilen üründe belirlenememiştir.

4.3. Tartışma

Mikroalg *Spirulina platensis*'in üretim çalışması Kış mevsiminde Ocak ve Şubat aylarında, Yaz mevsiminde ise Temmuz ayında denenmiştir.

Kış mevsiminde gündüz sıcaklık ortalaması 18.62 ± 05 °C ve gece 14.46 ± 02 °C olarak belirlenmiştir. Ilıman iklim bölgelerinde Kış mevsiminde *Spirulina* populasyon yoğunluğunun düşük olması sebebiyle üretimin azaldığı bilinmektedir. Kış mevsimindeki düşük üretimin nedeni ışıktan çok sıcaklığın büyüme üzerindeki sınırlayıcı etkisine bağlanmaktadır. Temmuz ayında yapılan *Spirulina* üretim denemesinde gündüz sıcaklık ortalaması 33.9 ± 04 °C ve gece 29.9 ± 02 °C olarak saptanmıştır. Kaydedilen en yüksek sıcaklık 36.5 ± 02 °C'dir (Şekil 4.1 ve 4.8). Termofilik bir alg olan *Spirulina* büyümesi için en uygun sıcaklık aralığı 35-38 °C'dir. Bununla birlikte *Spirulina*, yaklaşık 18-20 °C'ler gibi nispeten düşük sıcaklıklarda da büyümesini sürdürebilmektedir. Dışarı ortamda en yüksek gündüz sıcaklığı 12 °C'nin altına düştüğünde kültürün zarar gördüğü belirlenmiştir. Gece ise gündüzün aksine, *Spirulina*, oldukça düşük sıcaklık değerlerine uyum sağlayabilmektedir. *Spirulina*'nın uyum sağlayabildiği en düşük gece sıcaklık değerinin 5°C olduğu saptanmıştır. Ancak düşük gece sıcaklığının olası bir tehlike olabileceği çünkü soğuk bir geceyi izleyen sabah su sıcaklığının, aydınlanma şiddeti nispeten yüksek olmasına rağmen hala 4-6 °C 'lerde olması fotoooksidasyona neden olabilmektedir (Richmond, 1986; Richmond, 2004). Bölgemizde gece ve gündüz sıcaklık değerleri arasında fazla fark bulunmamaktadır. Yürütülen denemede, kış döneminde en düşük gece ve gündüz sıcaklık değerleri 10.42 ± 0.02 ve 11.67 ± 0.04 °C olarak belirlenmiştir (Şekil 4.1). Gece sıcaklığının fazla düşük olmaması nedeniyle izleyen sabah saatlerinde sıcaklığın, aydınlanmanın ardından kısa sürede yükseldiği

gözlenmiştir. Havuzların sera içerisinde olması da sıcaklığın korunmasına yardımcı olmuştur.

Kış döneminde ölçülen en yüksek O_2 değeri $41.6 \pm 0.9 \text{ mgL}^{-1}$, yaz mevsiminde ise $35.77 \pm 0.6 \text{ mgL}^{-1}$ dir (Şekil 4.2 ve Şekil 4.9). Richmond (2004)'ün bildirdiğine göre, Torzillo ve ark. (1984), yüksek oksijen düzeylerinin kültürler üzerindeki engelleyici rolü belirlenmiştir. Yüksek oksijen yoğunluğu hücreleri olumsuz yönde etkilemektedir. Büyüme ortamındaki oksijenin % 400 doygunluğu ya da $35 \text{ mg } O_2 \text{ L}^{-1}$ 'in üzerindeki değerleri fotosentez ve büyümeyi engellemekte ve fotosentetik yapıların zarar görmesine neden olmaktadır. Yüksek O_2 yoğunluğu ve düşük sıcaklık, dışarı üretiminde mevsimin soğumaya başlamasıyla başlamaktadır. Bu durumda üretim sıcaklığı optimumun altına düşmekte ancak aydınlık yeterli olmaktadır. Bu koşullar çöl ikliminde yaygın olup, üretimde sabah sıcaklığı optimumun çok altında kalmakta fakat ışık yoğunluğu yeteri kadar yüksek olup bu koşullar fotoinhibasyonu teşvik etmektedir. Kültür ortamında oksijenin diğer olumsuz etkisi fotorespirasyonun uyarılmasıdır. Fotorespirasyon, fotosentez sırasındaki CO_2 kaybı olarak tanımlanmakta ve çoğunlukla "karanlık" solunumundan daha hızlı olmaktadır. Hücreden organik madde kaybına neden olan bu durumda, karışımın optimum olması çok önemlidir. Richmond, (2004)'ün bildirdiğine göre yürütülen bir denemede *Spirulina platensis* dışarı üretimi fotobiyoreaktörlerde yapılmıştır ve O_2 yoğunluğunun ve sıcaklığın, biyomas verimliliği ve klorofil sentezi üzerindeki etkileri araştırılmış ve buna göre aşağıdaki tablo ortaya çıkmıştır (Vonshak ve Torzillo, 2004).

Kültür Koşulları	O_2 Yoğunluğu mgL^{-1}	Sıcaklık $^{\circ}\text{C}$	kl-a $\text{mgL}^{-1} \text{d}^{-1}$	Biyomas Sentezi $\text{mgL}^{-1} \text{d}^{-1}$
Düşük O_2 - Optimum Sıcaklık	22 ± 2	35	6.02 ± 0.18	570 ± 28
Yüksek O_2 - Optimum Sıcaklık	60 ± 19	35	2.57 ± 0.05	380 ± 18
Yüksek O_2 - Düşük Sıcaklık	58 ± 16	25	0.22 ± 0.01	230 ± 10

Tablodaki verilere göre yüksek O₂ değeri ve uygun sıcaklık ortamında ürün ve klorofil-a miktarında düşüş gözlenmiştir. Yüksek O₂ yoğunluğu ve düşük sıcaklık ortamında ise azalmanın daha belirgin olduğu görülmektedir.

Bu çalışmada oksijen düzeyleri, klorofil miktarları ile birlikte nispeten uyumlu bir artış göstermiştir. Kış döneminde başlangıçtaki O₂ yoğunluğu olan 6.62±0.09 mgL⁻¹, deneme sürecinde 30-40 mgL⁻¹'ye kadar yükselmiştir (Şekil 4.3 ve 4.10).

Richmond (1986)'un bildirdiğine göre yaz aylarında çevre koşullarının *Spirulina* büyümesi için optimum olduğu bir dönemde yürütülen bir çalışmada kültür sıcaklığının *Spirulina* için optimum, aydınlanmanın en yüksek olduğu kaydedilmiştir. Bu koşullar altında *Spirulina*'nın fotosentetik etkinliği en yüksek noktada ve O₂ yoğunluğu %350 doygunluktadır. Havuzdaki karışımın ise yeterli olmadığı belirtilmektedir. Denemenin 3. gününden itibaren O₂ düzeyinde azalma gözlenmiş ve doygunluk %250'ye düşmüştür. O₂ yoğunluğundaki bu azalmanın olası hücrel zararın bir göstergesi olduğu ifade edilmekte ve O₂ düzeyindeki düşüşün fotosentetik etkinliğin azalmasından ya da artan fotorespirasyondan kaynaklanabileceği bildirilmektedir. Denemenin 8.günü havuzda hasat yapılmış ve biyomasın %50'si alınmıştır. Gecikme fazını izleyen dönemde 12.günde kl-a yoğunluğu 9.5 mgL⁻¹'ye ulaşmış ancak biyomastaki artış ile beraber çözünmüş O₂ düzeyi azalmaya devam etmiştir. Denemenin 17.günü çözünmüş O₂ düzeyindeki azalmanın hızlanması ile 19. gün klorofil yoğunluğunda ani bir azalma görülmüş ve kültür kaybedilmiştir. Oksijenin azalma eğiliminin altında fotooksidasyonun bir göstergesi olduğu bildirilmiştir.

Kış döneminde en yüksek iplik yoğunluğu olan 94708±3534 iplik/ml'ye ulaşılan 35. gün saptanan klorofil-a değeri 949.33±122 µg L⁻¹ olarak belirlenirken, yaz döneminde 123458±11011 iplik/ml değerine ulaşıldığı 9. gün klorofil-a yoğunluğu 506.54±55 µg L⁻¹ olarak ölçülmüştür. Yaz döneminde iplik yoğunluğu daha yüksek olmakla birlikte klorofil-a yoğunluğunun kış dönemine göre daha düşük olduğu gözlenmektedir. Söz konusu klorofil-a ve iplik yoğunluklarının belirlendiği kış döneminde aydınlanma şiddeti 172.1±66 µmol m⁻²s⁻¹ ve yaz döneminde ise 890.6±10 µmol m⁻²s⁻¹ olarak ölçülmüştür. Kış döneminde, düşük ışık yoğunluğunda

Spirulina ipliklerindeki hücrelerin pigment miktarlarını artırdıkları düşünülmektedir (Dubinsky ve ark., 1986), (Şekil 4.4 ve 4.11).

Kış ve yaz dönemlerinde sırasıyla 22.82 ± 0.02 ppt ve 19.5 ± 0.06 olan tuzluluk değerlerinde üretim sürecinde buharlaşma ile su kaybı nedeniyle artış gözlenmiş ve deneme süreçleri sonunda 28.40 ± 0.02 ppt ve 29.85 ± 0.04 ppt değerleri kaydedilmiştir (Şekil 4.5. ve 4.12.).

Ölçülen pH değerleri iplik sayısında gözlenen artışla beraber yükselme göstermiştir. İplik yoğunluğunun artmasıyla ortamda CO_2 azalmaktadır. Yapılan çalışmalar pH değerinin fitoplankton patlamaları sırasında arttığını göstermiştir (Boyd, 1979). Kış döneminde başlangıç ortalama 9.52 ± 0.004 olarak belirlenen pH için kaydedilen en yüksek değer 9.84 ± 0.001 olmuştur. Yaz döneminde başlangıç ortalama pH değeri 9.25 ± 0.006 olarak saptanmış ve en yüksek değer olarak 9.77 ± 0.01 kaydedilmiştir (Şekil 4.6. ve 4.13.). *Spirulina* nın büyümesi için alkali ortam gerekmektedir. Dışarı kültürlerinde 10.4'ün büyümeyi sınırlamadığı ancak 10.8'in sınırlayıcı olduğu kaydedilmiştir (Richmond, 1986).

Kış ve yaz üretim dönemlerine ait en yüksek iplik sayıları sırasıyla 94708 ± 3534 iplik/ml ve 123458 ± 11011 iplik/ml olarak saptanmıştır. Büyüme hızları her iki dönem için 0.192 ve 0.780 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.2., Şekil 4.7., Çizelge 4.6., Şekil 4.14.) Elde edilen *Spirulina* kuru ağırlık miktarları, kış dönemi için 0.36 ± 0.01 gL⁻¹, yaz dönemi için 1.375 ± 0.009 gL⁻¹ olarak belirlenmiştir (Çizelge 4.4 ve 4.8).

Costa ve ark. (2002)'nin yürüttükleri bir çalışmada $0.7 \times 0.18 \times 0.075$ m derinliğindeki açık havuzlarda, *Spirulina* üretiminde 750 saat sonunda 1.34 ± 0.03 gL⁻¹ kuru ağırlık elde etmişlerdir.

S. platensis, 4 litrelik kavanozlarda, 25-30 °C sıcaklık ve sürekli ışık koşullarında kültüre alınmış ve 2.4 gL⁻¹ ürün sağlanmıştır (Oliveira ve ark., 1999).

Spirulina üretiminde belirlenen kış ve yaz dönemine ait kül miktarları sırasıyla 0.06 ± 0.003 gL⁻¹ ve 0.23 ± 0.01 gL⁻¹ olarak belirlenmiştir. Yapılan bir çalışmada *Spirulina* için belirlenen kül miktarı ise %9'dur (Richmond, 1986).

Kış ve yaz mevsimlerinde elde edilen *Spirulina* biyomasında belirlenen protein oranlarına bakıldığında, kış dönemi için protein oranının kuru maddede

%27.00, yaz dönemi için %46.31 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8). Richmond (2004)'ün bildirdiğine göre, (Torzillo ve ark. 1984), yaz dönemi üretiminden elde edilen *Spirulina* ürününün içerdiği protein düzeyinin yüksek olması, mevsime bağlı sıcaklık ve ışık düzeylerindeki farklılıktan kaynaklanabilmektedir. Tomaselli ve ark. (1988), yürüttükleri bir çalışmada *Spirulina platensis* M2 suşunun farklı sıcaklıklardaki besin içeriğini incelemişler, 30°C'de %58.6, 35°C'de %58, 38°C'de %57.7, 40°C'de %55.5 ve 42°C'de ise %45.5 protein/kuru ağırlık bulmuşlardır.

Richmond (1988)'in bildirdiğine göre, *Spirulina*'nın hücresel bileşimi değişken bir yapıdadır. En fazla değişkenliğin protein oranında gözlendiği, kuru ağırlıktaki protein oranının %50-70 arasında değiştiği bildirilmektedir. Protein oranındaki bu değişimler büyüme koşullarından ve kül oranından etkilenmektedir. Filtre edilerek yoğunlaştırılan iplikler, emilen karbonatı uzaklaştırmak için asitli su ile yeterince yıkanmadığında, kül oranı %25'e çıkarken protein oranı ise %50 veya daha düşük seviyelerde olabilir. Asitle yıkanmış *Spirulina*'da protein içeriğinin %60-65, nadiren de %70'e ulaşabildiği bildirilmektedir. Bu çalışmada hasattan sonra yoğunlaştırılan yaş materyal herhangi bir yıkama işleminden geçmemiştir.

Richmond (1986)'un bildirdiğine göre, *Spirulina* ürününde gözlenen protein içeriğindeki değişim, çözünmüş O₂ yoğunluğu ile ilişkilidir. %45 oranında O₂ artışı *Spirulina* kültürlerinde, kuru maddede, protein oranının %48'den %22'ye düşmesine sebep olmaktadır (Torzillo ve ark., 1984). Bu çalışmada kış ve yaz dönemi ortalama O₂ yoğunlukları sırasıyla 18.7±1.7 mgL⁻¹ ve 24±3.5 mgL⁻¹ olarak belirlenmiş ancak iplik artışının gözlendiği logaritmik evrede çözünmüş O₂ değerlerinin 41.6±09 mgL⁻¹ ve 35.77±06 mgL⁻¹'ye ulaştığı belirlenmiştir.

Richmond (2004)'ün bildirdiğine göre, (Torzillo ve ark. 1984), yapılan çalışmalarda hücre klorofilinin ve protein düzeyinin, özellikle dışarı üretiminde çevre koşullarından fazlaca etkilendikleri saptanmıştır (Torzillo ve ark., 1984).

Kış ve yaz mevsimlerine bağlı çevre etmenlerinin, proteinin kalitesini tanımlayan amino asit içeriğine olan etkileri belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen amino asit miktarlarının, dört havuza ait ortalamalarının yaz döneminde kışa göre daha yüksek düzeylerde olduğu görülmektedir. Fox (1996) ve Becker (1994)'un

bildirdiği amino asit oranları bu çalışmada belirlenenlerden daha yüksek bulunmuştur (izelge 2.1 ve 2.2).



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çukurova iklim koşullarında kış ve yaz mevsimlerinde, çevre koşullarının *Spirulina* üretimi, ürün verimliliği, protein miktarı ve amino asit içeriğine etkilerini belirlemek üzere yürütülen bu çalışmada kış ve yaz üretim döneminde elde edilen ürün miktarları sırasıyla $0.36 \pm 0.01 \text{ gL}^{-1}$ ve $1.375 \pm 0.009 \text{ gL}^{-1}$ ve büyüme hızları 0.192 ve 0.780 bulunmuştur. Her iki dönemde de O_2 düzeylerinin yüksek olduğu görülmektedir. Üretim ortamlarında karıştırma hızının yetersiz olması nedeniyle, O_2 düzeyinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Özellikle kış mevsiminde aydınlanma şiddetinin yüksek ancak sıcaklığın uygun değerlerin altında olduğu dönem için tedbir alınmalıdır. Bu çalışmada sıcaklık ve ışık etkenlerinin ürün verimliliği, protein oranı ve amino asit içeriğini etkilediği belirlenmiştir. Havuzlarda karıştırma hızının en uygun ve kültür derinliğinin 15 cm'nin altında olmamasına özen gösterilmelidir.

Ilıman iklime sahip Çukurova bölgesinin, gece ve gündüz sıcaklık değerlerinin çok farklı olmaması, bulutluluğun az olması, kış dönemi en düşük ve yaz dönemi en yüksek sıcaklık değerlerinin *Spirulina* büyümesi için uygun değerlere yakın olması nedeniyle, *Spirulina* üretimi için uygun olduğu söylenebilir ancak ürün verimliliğini ve besinsel kaliteyi artırmak için gerekli önlemlerin alınmasının zorunlu olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- ABELIOVICH, A., SHILO, M., 1972. Photooxidative Death in Blue-Green Algae. J. Bacteriol, 111, 682.
- BECKER, W. E. 1994. Microalgae-Biotechnology and Microbiology. Cambridge Univ. Press. 293 p.
- BOYD, C.E., 1979. Water Quality in Warmwater Fish Ponds. Auburn University Agricultural Experiment Station.
- CHEN, F., ZHANG, Y., 1997. High Cell Density Mixotrophic Culture of *Spirulina platensis* on Glucose for Phycocyanin Production Using a Fed-Batch System. Elsevier Science Inc. Enzyme and Microbial Technology, 20:221-224.
- CONK DALAY, M., 1997. İzole Edilmiş *Spirulina sp.*'in Kùltür Ortamlarında Yetiştirilmesi Ve Besin Kalitesi Değişimleri Üzerine Bir Araştırma. Su Ürünleri Fakùltesi Yetiştiricilik Anabilim Dalı Doktora Tezi, İzmir/TÜRKİYE.
- CONK DALAY, M., CİRİK, S., KORU, E., 2001. Türkiye Ege Bölgesi İklim Koşullarında Açık Hava Kùltürleri İçin Uygun *Spirulina platensis* (Stiz.) Geitl, 1930 Suşunun Tespiti. E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, Cilt 18, Sayı (3- 4): 523-528. İzmir/TÜRKİYE.
- COSTA, J.A.V., COLLA, L.M., FILHO. P.D., 2002. *Spirulina platensis* Growth in Open Raceway Ponds Using Fresh Water Supplemented with Carbon, Nitrogen and Metal Ions. Z. Naturforsch, 58c, 76-80.
- DANESI, E.D.G., RANGEL-YAGUI, C.O., CARVALHO, J.C.M., SATO, S., 2003. Effect of Reducing the Light Intensity on the Growth and Production of Chlorophyll by *Spirulina platensis*. Av. Lineu Prestes., Sao Poula, 05508-900. SP. BRAZIL, 580-B.16.
- DUBINSKY, Z., FALKOWSKI, P.G., WYMAN, K., 1986. Light Harvesting and Utilization by Phytoplankton. Plant Cell Physiol., 27(7), 1335-1349.
- FOX, D., 1996. *Spirulina*: Production and Potential. Pub. By Editions Edisud, La Calade, R.N.7, 13090 Aix-en- Province, FRANCE, 232 p.

- GİMİZAL, A., 2002. *Spirulina platensis* (Gomont) Geitler'in Serada ve Dış Ortamda Yapılan Yoğun Kùltürlerinin Karşılaştırılması.Yüksek Lisans Tezi. Su Ürünleri Yetiştiricilik Anabilim Dalı Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İZMİR.
- GUILLARD, R.R.L., 1973. Division Rates in Handbook of Phycological Methods (J.R. Etein Editör). Culture Methods and Growth Measurements. Chambridge University Pres, Chambridge, pp. 289-311.
- HENRIKSON, R., 1993. Mikroalga *Spirulina*. Oikos Pharmaceuticals, C/San Pedro, 29640 Fuengirola, Malaga Costa del Sol, SPAIN.
- JIMENEZ, C., COSSIO, B.R., NIELL, F.X., 2003. Relationship Between Physicochemical Variables and Productivity in Open Ponds for the Production of *Spirulina*: A Predictive Model of Algal Yield. Aquaculture. 221, 331-345.
- KAY, A., 1991. Mikroalgae as Food and Supplement. In Critical Reviews in Food Science and Nutr. USA., 30(6): 555-573.
- KIM, D.D., 1990. Outdoor Mass Culture of *Spirulina platensis* in Vietnam. Kluwer Academic Publishers. Printed in Belgium, Journal of Applied Phycology, 2: 179-181.
- MATISSEK, R., SCHNEPEL, F.M., STEINER, G., 1989. Allgemeine Bestimmungen in Lebensmitteln. Lebensmittelanalytik, Springer-Verlag, Berlin. 11-17.
- OLIVEIRA, M.A.C.L. DE* , MONTEIRO, M.P.C., ROBBS, P.G. and LEITE, S.G.F., 1999. Growth and Chemical Composition of *Spirulina maxima* and *Spirulina platensis* Biomass at Different Temperatures. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, Aquaculture International, 7: 261-275.
- PARSONS, T.R. and STRICKLAND, J.D.H., 1963. Discussion of Spectrophotometric Determination of Marine Plant Pigments, with Revised Equations for Ascertaining Chlorophylls and Carotenoids. Journal of Marine Research, Vol: 21, No: 3, p.115-163.

- PELIZER, L.H., DANESI, E.D.G., RANGEL, C.O., SASSANA, C.E.N., CARVALHO, J.C.M., SATO, S., MORAES, I.O., 2002. Influence of Inoculum Age and Concentration in *Spirulina platensis* Cultivation. Journal of Food Engineering, 56, 371-375.
- PUSHPARAJ, B., PELOSI, E., TREDICI, M.R., PINZANI, E. & MATERASSI, R., 1997. An Integrated Culture System for Outdoor Production of Microalgae and Cyanobacteria. Journal of Applied Phycology, Kluwer Academic Publishers, Printed in Belgium, 9: 113-119.
- RICHMOND, A., 1986. Outdoor Mass Cultures of Microalgae. (A. Richmond Editör). Handbook of Microalgal Mass Cultures of Microalgae. CRC Press, INC. Boca Raton, Florida. 285-329.
- RICHMOND, A. And GROBBELAAR, J., 1986. Factors Affecting the Output Rate of *Spirulina platensis* With Reference to Mass Cultivation. Published by Elsevier Science Ltd. Biomass, Volume 10, Issue 4, pages 253-264.
- RICHMOND, A., 1988. *Spirulina*. (M.A. Borowitzka ve L.J. Borowitzka Editör). Micro-Algal Biotechnology. Cambridge University Pres, 85-121.
- RICHMOND, A., LICHTERBERG, E., STAHL, B. and VONSHAK, A., 1990. Quantative Assesment of the Major Limitations on Productivity of *Spirulina platensis* in Open Raceways. Journal of Applied Phycology, Kluwer Academic Publishers, 2, 195-206.
- RICHMOND, A., 2004. Biological Principles of Mass Cultivation. (A. Richmon editör). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Science Ltd. Oxford/UK, 125-177.
- SESHADRI, C.V., JEEJI BAI, N., 1992. *Spirulina* National Symposium. Shri Amm., Murugappa Chettiar Research Center (MDRC), Madras, INDIA.
- TOMASELLI, L., GIOVANNETI, L., SACCHI, A., BOCCI, F., 1988. Effect of Temperature on Growth and Biochemical Composition in *Spirulina platensis* Strain M2. (T. Stadler, J. Million, M.C. Verdus, Y. Karamanos, H. Morvan and D. Christian Editör). Algal Biotechnology. Elsevier, 521; 305-314.

- TORZILLO, G., VONSHAK, A., 2003. Biotechnology for Algal Mass Cultivation. International Workshop and Training Course on Photobioreactors. İzmir/TÜRKİYE.
- TREDICI, R.M., 2004. Mass Production of Microalgae: Photobioreactors. (A. Richmond Editör). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Science Ltd. Oxford/UK, pp.178-214.
- VOLLENWEIDER, A.R., 1974. A Manual on Methods for Measuring Primary Production in Aquatic Environments. Burges and Son Lmt., Oxford, 72.
- VONSHAK, A., ABELIOVICH, A., BOUSSIBA, S., RICHMOND, A., 1982. Production of *Spirulina* Biomass: Effects of Environmental Factors and Population Density. Biomass, 2, 175-186.
- VONSHAK, A., 1990. Recent Advances in Microalgal Biotechnonology. Printed in Great Britain, Biotech. Adv., Vol. 8, pp. 709-727.
- VONSHAK, A., GUY, R., 1992. Photoadaptation, Photoinhibition and Productivity in the Blue-Green Alga, *Spirulina platensis* Grown Outdoors. Plant, Cell and Environment. 15, 613-616.
- VONSHAK, A., 1997. Outdoor Mass Production of *Spirulina*: The Basic Concept. (A. Vonshak editör). *Spirulina platensis* (Arthrospira) Physiology, Cell-Biology and Biotechnology. Copyright© Taylor&Francis Ltd. Printed in Great Britain, pp.79-99.
- VONSHAK, A., TORZILLO, G., 2004. Environmental Stres Physiology. (A. Richmond Editör). Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology. Blackwell Science Ltd. Oxford/UK, 57-82.
- YILDIZ, G., 2001. *Spirulina* sp. (Cyanophyceae) Kültürü Üzerine Araştırmalar. Yüksek Lisans Tezi. Su Ürünleri. Anabilim Dalı. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İZMİR.
- ZHANG, C., 1994. Effects of Polysaccharide and Phycocyanin from *Spirulina* on Peripheral Blood and Hematopoietic System of Bone Marrow in Mice. Nanjing Univ. China. Pub . in Proc. Of Second Asia Pasific Conf. On Algal Biotech. Univ. of Malaysia, CHINA, p. 58.

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Aksaray’da doğdum. İlkokulu Kars’ta, orta ve lise öğrenimimi Adana’da tamamladım. 1996 yılında Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesinde lisans eğitimime başladım ve 2000 yılında Su Ürünleri Mühendisi olarak mezun oldum. Aynı yıl Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimime başladım. 2002 yılında yine Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Anabilim Dalında açılmış olan asistanlık sınavını kazandım ve halen görevime devam etmekteyim.

