

**EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**96609**

**CAM PANEL BİYOREAKTÖRLERDE *Chlorella* sp.  
ÜRETİMİNDE IŞIK ŞİDDETİ ve IŞIK YOLU UZUNLUĞUNUN  
ETKİSİ**

**Yaşar DURMAZ**

**Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Anabilim Dalı**

**Bilim Dalı Kodu: 504.04.01**

**Sunuş Tarihi: Eylül - 2000**

**Tez Danışmanı: Prof.Dr. Şevket GÖKPINAR**




**Bornova - İZMİR**

### III


#### KABUL VE ONAY SAYFASI

Sayın Yaşar DURMAZ tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan “Cam Panel Biyoreaktörlerde *Chlorella* sp. Üretiminde Işık Şiddeti ve Işık Yolu Uzunluğunun Etkisi”adlı bu çalışma, “Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği” nin 12inci maddesi (c) ve (d) bentleri ve Enstitü yönergesinin ilgili hükümleri dikkate alınarak tarafımızdan değerlendirilmiş olup yapılan sözlü savunma sınavında aday oy ~~beraber~~...ile başarılı bulunmuştur. Bu nedenle Yaşar DURMAZ’ın sunduğu metnin yüksek lisans tezi olarak kabulüne oy ~~beraber~~.. ile karar verilmiştir.

...../...../2000

|              |                            |      |   |
|--------------|----------------------------|------|---|
| Jüri Başkanı | ; Prof.Dr. Şevket GÖKPINAR | imza |   |
| Raportör     | ;                          | imza |  |
| Üye          | ; Prof.Dr. Tufan KORAY     | imza |  |
| Üye(*)       | : Prof.Dr. Belgi HOŞSU     | imza |  |
| Üye (*)      | ;                          | imza |   |

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun ~~27/11/2000~~ gün ve ~~48/150~~..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

  
Dr. Süleyman BORUZANLI  
Enstitü Sekreteri

  
Prof.Dr.Alaettin TAYSUN  
Enstitü Müdürü

IV  
ÖZET

**CAM PANEL BİYOREAKTÖRLERDE *Chlorella* sp.  
ÜRETİMİNDE IŞIK ŞİDDETİ ve IŞIK YOLU UZUNLUĞUNUN  
ETKİSİ**

DURMAZ, Yaşar

Yüksek Lisans Tezi, Su Ürünleri Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof.Dr.Şevket GÖKPINAR

Eylül 2000, 52 sayfa

Ticari değere sahip *Chlorella* sp. laboratuvar dışında doğal aydınlık/karanlık periyotlarında kültürlenerek algal biyomas eldesi hedeflenmiştir. Bu amaçla *Chlorella* sp.'nin hücreleri laboratuvar dışında kurulan ince cam panel biyoreaktörlerde kültürü yapılmıştır. Güneş ışığı şiddetinin algal büyümeye ve biyomas üretimi üzerine etkisini ölçmek için reaktörler farklı ışık yolu uzunluklarında (10 cm, 15 cm, 20 cm) tasarlanmıştır.

Yapılan çalışmada farklı ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörde (10 cm, 15 cm, 20 cm) sırasıyla alansal çıkış hızı  $6,68 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ,  $13,12 \text{ gr.m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  ve  $6,44 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ , hacimsel çıkış hızları sırasıyla  $0,084 \text{ gr lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ ,  $0,164 \text{ gr.lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$  ve  $0,76 \text{ gr lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ , maksimum hücre sayıları  $36,5 \times 10^6$  hücre  $\text{ml}^{-1}$ ,  $49 \times 10^6$  hücre  $\text{ml}^{-1}$ ,  $49,5 \times 10^6$  hücre  $\text{ml}^{-1}$ , maksimum spesifik büyüme hızları  $2,63 \text{ b g}^{-1}$ ,

## ÖZET (Devamı)

3,06 b g<sup>-1</sup> ,ve 3,59 b g<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Biyoreaktörlerde elde edilen Ortalama kuru ağırlığı sırasıyla 1,69 gr m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>, 1,81 gr m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>, 1,84 gr m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup> 'dir.

*Chlorella* sp. hücreleri üretiminde optimal hücre yoğunluğu ve optimal biyomas eldesi 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde elde edilmiştir (13,12 gr m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>).

**Anahtar Kelimeler:** *Chlorella*, Işık yolu uzunluğu, Biyoreaktör

## ABSTRACT

**THE EFFECT OF LIGHT INTENSITY AND LIGHT PATH IN  
THE CULTURE OF *Chlorella sp.* GLASS-PLATE  
BIOREACTORS****DURMAZ, Yaşar**

Msc in Fisheries Faculty, Aquaculture Department

September 2000, 52 pages

Supervisor: Prof.Dr. Şevket GÖKPINAR

This study has aimed to obtain algal biomass of *Chlorella sp.*, which have commercial importance outside the laboratory conditions with in natural dark/light periods. With this aim, *Chlorella sp.* cells have been cultivated in thin plate glass bioreactor outside the laboratory. Reactors have been designed in three light path length (10 cm, 15 cm, 20 cm) to measure the effect of light intensity on growth and biomass reproduction

It has been determined in the reactors with the light paths at 10, 15, 20 cm areal output rates were 6,68 gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, 13,12 gr.m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> 6,44 gr m<sup>-2</sup> d; volumetric output rates were 0,084 gr lt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> ; 0,164 gr.lt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> 0,76 gr lt<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup> ; maximum cell numbers were 36,5 x 10<sup>6</sup> cell ml<sup>-1</sup>, 49 x 10<sup>6</sup> x cell ml<sup>-1</sup>, 49,5 x 10<sup>6</sup> cell ml<sup>-1</sup>, maximum specific growth rates were 2,63 b g<sup>-1</sup> , 3,06 b g<sup>-1</sup> , 3,59 b g<sup>-1</sup> and average dry weights 1,69 gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, 1,81 gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, 1,84 gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup> .

## **ABSTRACT (Devamı)**

As a result optimal cell growth and optimal biomass in *Chlorella* *sp.*, cultures were obtained in bioreactor with a light path of 15 cm ( $13,12 \text{ gr m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ).

**Key Words:** *Chlorella*, Light path, Bioreactor



## VI

### TEŞEKKÜR

Bu çalışma konusunu bana öneren, çalışmalarımı yakından izleyerek gerek literatür katkıları gerekse, tezimin oluşumunun her aşamasında yardımını benden esirgemeyen danışmanım değerli hocam, Sayın Prof.Dr.Şevket GÖKPINAR'a en derin teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin hazırlanmasında katkılarını esirgemeyen sayın hocalarım Prof.Dr. Belgin HOŞSU ve Yrd. Doç. Ali Yıldırım KORKUT'a teşekkürleri bir borç bilirim.

Sistemin kurulumu esnasında ve ölçümlerin yapılmasına kadar çalışmanın her aşamasında ve tez yazımında yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör. Ulviye KARACALAR, Araş. Gör. Özgür ALTAN Araş.Gör. Mete YILMAZ ve Necla ÇORAL'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatımda bana destek olan ve her türlü maddi olanağı bana sunan değerli aileme ve tezimin her aşamasında hep yanımda olan değerli arkadaşlarıma teşekkür ederim.

## VII İÇİNDEKİLER

|   |    |
|---|----|
| 1. GİRİŞ:.....  | 1  |
| 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....                             | 4  |
| 2.1. <i>Chlorella sp</i> .....                        | 4  |
| 2.1.1. <i>Chlorella sp</i> 'nin sistematığı.....      | 4  |
| 2.1.2. <i>Chlorella sp</i> . biyolojisi.....          | 4  |
| 2.1.3. <i>Chlorella</i> 'nin tarihçesi.....           | 5  |
| 2.2. Algal Büyüme Üzerine Işığın Etkileri.....        | 7  |
| 2.3. Fotobiyorektör Tasarımı.....                     | 11 |
| 2.4. İnce Cam Panel Reaktör.....                      | 14 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM.....                            | 19 |
| 3.1. <i>Chlorella sp</i> ......                       | 19 |
| 3.2. İnce Cam Panel Reaktör.....                      | 20 |
| 3.3. Kültür Koşulları.....                            | 21 |
| 3.4. Büyüme Ölçümleri.....                            | 22 |
| 4. BULGULAR.....                                      | 24 |
| 4.1. <i>Chlorella sp</i> . 'nin Gelişimi.....         | 24 |
| 4.1.1. Büyüme Hızları.....                            | 24 |
| 4.1.2. Kuru Ağırlık Ölçümleri.....                    | 28 |
| 4.1.3. Optik Yoğunluk.....                            | 30 |
| 4.2. Su Koşulları ile İlgili Bulgular.....            | 32 |
| 4.2.1. Su Sıcaklık Değişimleri ve pH değişimleri..... | 32 |
| 5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....                             | 37 |
| 6. ÖNERİLER.....                                      | 41 |



## İÇİNDEKİLER(Devamı)

7. KAYNAKLAR DİZİNİ ..... 43

ÖZGEÇMİŞ..... 52



## VIII

### ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>Sekil</u>   | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 3.1.1 Laboratuarda 500 ml şişelerde <i>Chlorella sp</i> 'nin üretimi.....                                  | 19           |
| 3.2.2. 10 cm, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip ince cam panel biyoreaktörler .....                | 21           |
| 4.1.1.a. 10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre <i>Chlorella sp.</i> büyümesi                               | 25           |
| 4.1.1.b. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre <i>Chlorella sp.</i> büyümesi .....                         | 25           |
| 4.1.1.c. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre <i>Chlorella sp.</i> büyümesi .....                         | 26           |
| 4.1.1 d. 10cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> 'nin spesifik büyüme hızı .....  | 27           |
| 4.1.1.e. 15cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> 'nin spesifik büyüme hızı .....  | 27           |
| 4.1.1..f. 20cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> 'nin spesifik büyüme hızı ..... | 28           |
| 4.1.2.a. Farklı Işık Yolu Uzunluğu Olan Reaktörlerde Alansal Çıkış Oranı.....                              | 29           |
| 4.1.2.b. Farklı Işık Yolu Uzunluğu Olan Biyoreaktörlerde Hacimsel Çıkış Oranı.....                         | 30           |
| 4.1.3.a. 10cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> üretiminde optik yoğunluk .....  | 31           |
| 4.1.3.b. 15cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> üretiminde optik yoğunluk .....  | 31           |
| 4.1.3.c. 20cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde <i>Chlorella sp.</i> üretiminde optik yoğunluk .....  | 32           |
| 4.2.1.a. 10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri .....                                  | 33           |
| 4.2.1.b. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri.....                                   | 33           |
| 4.2.1.c. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri.....                                   | 34           |
| 4.2.1.d. 10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri .....  | 35           |
| 4.2.1.e. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri .....  | 35           |
| 4.2.1..f. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri .....                                       | 36           |

## **XVII**

### **KISALTMALAR**

**EPA**      **Eicosapentaenoik asit**

**ALM**      **Air Lift Mode**

**ABM**      **Air Bubble Mode**



## -1. GİRİŞ:

Mikro-algler fotosentez ile kara bitkilerinde olduğu gibi organik maddeleri sentezler. Mikro-alglerin sentezlendiği bu organik biyomoleküllerin bağlarındaki kimyasal enerji besin zincirinin başlangıcını oluşturur. Mikro-algleri çeşitli kaynaklardan gelen nutrientleri absorblar ve güneş ışığı ile birlikte canlılığını sürdürebilmesi için gerekli olan daha büyük ve karmaşık moleküller halinde birleştirilir. Böylece hem akuatik ortamlardaki biyomas üretimine büyük katkıda bulunurlar hem de nutrient döngüsünde rol oynarlar. Akuatik ortamda besin zincirinin daha üst halkalarında bulunan, canlılar tarafından tüketilen besinleri bu hücreler sağlar ve yüzey sularındaki organik üretim, bu türlerinin yaptığı fotosentez ile başlatılır.

Akuatik ortamlarda yüksek bir diversite ile temsil edilen ve çoğunlukla kozmopolit dağılıma sahip mikro-alglerin akuakültürden su arıtımına, çeşitli metabolitlerin ve farmasötiklerin eldesinden insan besini ve hayvan yemi olarak kullanımına kadar geniş bir alanda değerlendirebilme olanakları vardır (Gökpınar, 1990). Nitekim ilk olarak 1950'li yılların sonlarında *Chlorella* tabletleri satılmaya başlamış ve ticari amaçlar için mikro-alg üretimi son on yılda dünyanın çeşitli bölgelerinde hızla yaygınlaşarak sağlıklı gıda kaynağı, çeşitli gıda katkıları, hayvan yemi, biyofertilizerler, doğal karışımların üretimi alanında yeni ve özel bir endüstri dalı doğmasını sağlamıştır (Richmond 1986a, 1986c; Borowitzka ve Borowitzka, 1988).

Algal biyoteknolojinin kapsamı temelde geleneksel tarımla benzerdir; gerek besin ve kimyasal maddelerin üretiminde gerekse algal biyomastan enerji eldesinde fototrofik hücreler kullanılır. Ancak mikro-alg kültürlerinden algal biyomas eldesinin geleneksel tarıma göre önemli üstünlükleri vardır:

–Mikro-algler, fotosentez ile organik bileşiklerin üretimi için güneş enerjisini kullanan en verimli biyolojik sistemlerdir.

–Mikro-algler iletim demeti olmayan bitkilerdir, genellikle kompleks üreme organları yoktur ve tüm biyomas hasat edilmeye ve kullanıma uygundur. Bu özellik yüksek verimlilikte biyomas eldesini mümkün kılar.

–Bazı mikro-alg türleri proteinler, karbohidratlar, lipidler ve pigmentler gibi ticari yönden değerli bileşiklere sahiptirler.

–Mikro-algler basit hücre bölünmesine uğrar ve çoğu zaman seksüel üreme safhasına sahip değildirler, hücre devirlerini bir kaç saat içinde tamamlarlar.

–Dünyanın pek çok coğrafik bölgesinde çorak topraklar ve tatlı su kıtlığı nedeniyle tarımsal üretim çok düşük hatta hiç yoktur. Mikro-alg çiftlikleri böyle çorak arazilerde üretimi arttırabilecek ve protein kaynağı sağlayabilecek tek yoldur.

–Mikro-algal biyomas üretim sistemlerinde farklı düzeylerde işletme ve teknolojik tekniklerin kullanılması mümkündür; yoğun işçiliğin olduğu üretim ünitelerinden daha yüksek yatırım gerektiren

tam otomatik sistemlere kadar çiftliklerde algal biyomas üretimi yapılabilir.

Bu çalışma kapsamında ticari değere sahip *Chlorella* sp. den laboratuvar dışında, kültürlenerek algal biyomas eldesi hedeflenmiştir. Bu amaçla *Chlorella* sp. hücreleri laboratuvar dışında kurulan ince cam panel biyoreaktörlere ekimi yapılmıştır. Günışığı şiddetinin algal büyüme ve biyomas üretimi üzerine etkisini ölçmek için bu reaktörler farklı ışık yolu uzunluklarında (10 cm, 15 cm, 20 cm) tasarlanmıştır. Bu şekilde optimal algal büyüme ve biyomas eldesinin hangi ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde gerçekleşeceği araştırılmıştır.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. *Chlorella* sp

#### 2.1.1. *Chlorella* sp'nin sistematığı

Chlorococcales ordosu tek hücreli, bazen koloni halinde bulunan yeşil alglerdir. İki familyaya dahil türler ticari öneme sahiptir; Chlorellaceae, serbest hücreler halinde, Scenedesmaceae ise koloniler halinde bulunurlar. *Chlorella*, Chlorellaceae familyasına dahildir (Vashishta, 1991).

|          |                                  |
|----------|----------------------------------|
| Division | : Chlorophyta (Chlorophycophyta) |
| Class    | : Chlorophyceae                  |
| Ordo     | : Chlorococcales                 |
| Familia  | : Chlorellaceae                  |
| Genus    | : <i>Chlorella</i>               |
| Species  | : <i>Chlorella</i> sp.           |

#### 2.1.2. *Chlorella* sp. biyolojisi

*Chlorella*, tek hücreli (2-12 $\mu$ ), küre veya elips şeklinde, yüksek klorofil içeriğine sahip bir Chlorophyceae üyesidir. Yüksek büyüme hızı ve nispeten düşük üretim maliyeti ile *Chlorella* üzerinde yoğun araştırmaların yapıldığı bir klorofit türüdür. *Chlorella*'nın yapısında suda ve yağda çözünen vitaminler, biotin, folik asit, inositol, pantetonik asit, doğal renk maddeleri ( $\beta$ -karoten, provitamin A, ksantofiller ve diğer karotenoidler), mineral maddeler (alüminyum, çinko, demir, fosfor, kalsiyum, magnezyum, mangan, nikel,

selenyum), çeşitli enzimler, yüksek miktarda bitkisel protein, nükleik asitler (RNA, DNA) ve lipid bileşenleri bulunmaktadır *Chlorella* hücreleri üretim yöntemlerine bağlı olarak % 50-70 oranında protein içermektedir. Nükleik asitler, klorofil, protein ve  $\beta$ -karotenler insanlarda bağışıklık sistemini destekleyen ve arttıran faktörlerdir. Çeşitli sağlık problemlerinin çözümünde veya önlenmesinde *Chlorella*'nın etkili olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Ötleş, 1999). Ayrıca yapısındaki yüksek RNA ve DNA içeriği, hücrelerin yenilenmesini hızlandırmaktadır.

### 2.1.3. *Chlorella* sp araştırmaları

Fotosentez araştırmalarında uygun bir deney materyali olarak *Chlorella*'nın yoğun süspansiyonlarını kullanma 1900'lü yılların en başlarında ortaya atılmıştır. Daha sonraları çeşitli mikro-alg kültürlerinde, biyomasın günde birkaç kat artabildiği ve % 50'den fazla ham protein içerebildiği gösterilmiştir. Alglerin yığın üretim fikri ilk olarak Almanya'da azot bakımından sınırlı ortamlarda diyatomlardan lipidlerin üretimi amacıyla denenmiştir. Ayrıca yüksek yoğunluktaki kültürler için yapılan girişimler sonucu sürekli kültür teknikleri bulunmuştur. Bu alandaki araştırmalara gösterilen ilgi 1950'lerin ilk dönemlerinde başlamış ve sürekli bir şekilde artmıştır. Alglerin yığın kültüründe potansiyel ticari uygulamaları geliştirmek için yapılan ilk girişimlerde Cook (Carneige Enstitüsü) en büyük rolü oynamış ve aynı enstitüde çalışan diğer araştırmacılar Spoehr ve Milner'de *Chlorella*'nın kimyasal yapısının ve özellikle protein ve yağ içeriğini farklı büyüme koşulları yaratarak değiştirilebileceğini göstermiştir (Sasson,1997). Tokudawa



Enstitüsünde (Tokyo) Tamiya ve arkadaşlarının uluslararası bir alg kültürü projesinin bir parçası olarak yaptığı *Chlorella* sp.'nin dışarıdaki yığın kültür çalışmaları da aynı zamanda Carneige Enstitüsü tarafından desteklenmiştir (Richmond, 1986). Japonya *Chlorella* sp.'yi veya *Chlorella* sp. büyüme faktörü adı verilen suda çözünebilir ekstraktı üreten ve satan ilk ülke olmuştur (Sasson,1997, Richmond, 1986;1999).

Gummert ve arkadaşları Essen enstitüsünde (Almanya), *Scenedesmus* sp. yığın kültür potansiyelini araştırmışlardır. Rhone endüstri zonunda üretilen atık CO<sub>2</sub>'yi *Chlorella* sp. ve *Scenedesmus acutus* (Meyen) büyümesinde kullanmak amacıyla bu çalışma Dortmund'a transfer edilmiş ve Soeder'in lideri olduğu bir grup araştırmacı alg kültürleri ile ilgili pek çok önemli buluş geliştirmişlerdir(Richmond, 1986a). Bugün hala alglerin yoğun kültürlerinde kullanılan, sonsuz akışlı kanallar (raceway), çarklar (paddle-wheel) gibi düzenekler ile algal ortamın karıştırılması bu ekibin buluşlarıdır. Diğer taraftan Trebon'daki (Çekoslavakya) hidrobotanik enstitüsünde alg üretimi çalışmaları başlamış ve şelale tipi kültür apareyleri geliştirilmiştir. Bu enstitü de 1960'da *Scenedesmus* sp. üretimi başlatılmıştır. Geliştirilen kültür araçları daha sonra Rupite (Bulgaristan) araştırma istasyonunda *Chlorella* sp.'nin yığın üretimi için kullanılmıştır (Richmond, 1986a).

Ülkemizde Mikro-alglerin kültürü ile ilgili ilk çalışmalar Ege Üniversitesi Deniz biyolojisi laboratuvarında akuakültür amaçları için *Tetraselmis suesica*,(Kylin Butcher), *Dunaliella tertiolecta*, (Butcher) *Phaeodactylum tricornutum*,(Bohlin) *Pavlova*

(=*Monochrysis*) *lutheri*, (*Droop; Green*) *Isochrysis galbana*, (*Parke*) *Chlorella* sp. ve diğ er bazı türlerin üretimi şeklinde başlamıştır. Mikro-algal fizyoloji konusunda ilk çalışma Gökpınar (1983) tarafından yapılmış ve pennat bir diatom türü *Phaeodactylum tricorutum*'un kültürleri üzerine tuzluluğ un etkileri araştırılmıştır. Ç eşitli türlerin yığ ın kültür denemeleri yapılmış (Gökpınar ve Carle.,1987), lokal türlerin izolasyon ve kültür koleksiyonu oluşturma çalışmaları başlatılmış ve halen sürdürölmektedir. Mikro-algal biyokimya ve büyüme kinetikleri konusunda, bazı fitoflagellat türlerinin yarı-doygunluk sabitleri ve büyüme kinetikleri üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir (Gökpınar 1991; Gökpınar 1994; Büyükkışık, ve diğ erleri 1994). Tüm bu araştırmalar sürekli, yarı-sürekli yada kesikli kültür teknikleri kullanarak fototrofik beslenme modunda yapılmıştır.

## 2.2. Algal Büyüme Üzerine Işığın Etkileri

Alg kültür ortamlarında hücrelerin besin gereksinimleri karşılanıp sıcaklık optimum seviyelerde seyrettiğ i zaman yüksek verimlilikte kültürler elde edilebilir. Bu durumda güneş ışığı verimliliğ i etkileyen tek etken haline gelir. Fotoototrofik türlerin kültürleri sadece ışığın etkisi ile sınırlandırılabilir. Diğ er değ işimler ise bilimsel, ekonomik ve mikro-algal biyoteknolojinin metodlara bağıldır. Bu neden ile en iyi sonuçlar yüksek düzeyde güneş ışığı kullanıldığında elde edilmektedir.

Işığın hücreler üzerindeki etkisi pek çok değ işkene bağıldır. Bunlardan biri ışık enerjisinin kültür kolonundan geçişidir.

Kültürdeki yüksek hücre yoğunluğuna karşılık düşük ışık nüfuzu iki zonun oluşmasına neden olur. Bu zonlardan ilki fotosentezin yapıldığı ışıklı bölüm (fotik zon), diğeri de net fotosentetik üretimin olmadığı karanlık bölümdür. Bu nedenle biyoreaktör tasarımında daha yüksek populasyon yoğunluğu, daha uzun ışık yolu uzunluğu, ışığın hücreler tarafından kullanımı ve bütün hücreleri aydınlatabilmesi gibi konular daha kompleks bir durum ortaya çıkarmaktadır (Richmond, 1999, 1986c, 1986b).

Kültür büyümesi doğrudan ışık ile sınırlanmakla birlikte, spesifik büyüme hızında artış tamamen ışık rejimine bağlıdır. Ancak büyüme üzerine etkili olan ışık sınırlaması, sadece reaktör yüzeyindeki ışık akışı ile tarif edilmez, çünkü bir hücrenin ışıktan faydalanma oranının tespiti çok zordur. Işığın farklı dalga boyları ve hücre yoğunluğu gibi kriterler ışınların kültür içinde nüfuz edebileceği derinliği belirler ve bu kültür verimliliğini etkiler.

Mikro-alg biyoteknolojisinde fotobiyoreaktör tasarımı hem bilimsel hem de ekonomik açıdan önem arz eder. Fotobiyoreaktör tasarımında amaç güneş enerjisi gibi yüksek seviyeli ışık kaynağının optimal kullanımı için yeni kültür sistemlerinin yapılmasıdır (Richmond, 1982).

Mikro-algal üretimde ışık yolu uzunluğu, optimal hücre yoğunluğu ve aydınlık/karanlık döngüsü doğrudan etkilidir (Hu *et al.*, 1998a). Fotobiyoreaktör tasarımında, ışık rejiminin yanı sıra reaktörün ışık yolu uzunluğu alansal çıkış hızında çok önemlidir. Bu nedenle her tür için biyoreaktörlerde optimal olan farklı ışık yolu

uzunlukları olan *Porphyridium* sp. 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde yüksek verimlilik elde edilirken (Sing *et al.*, 2000) *Spirulina* sp. kısa ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörlerde yüksek verimlilikte elde edilmektedir (Hu *et al.*, 1996a).

Hu *et al.*, (1998a) yaptıkları bir çalışmada ışık yoğunluğuna göre *Spirulina platensis* 'in (Nordst, Geitler) 7,5 mm den başlayan ve en yüksek olarak ta 200 mm ışık yolu uzunluğu olan (Hu *et al.*, 1996b) biyoreaktörlerde gelişimini ölçmüşlerdir. Bu denemelerinde optimum hücre yoğunluğunda reaktörlere  $8000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  aydınlatma verildiğinde hücre yoğunluğunda bir artış olmamış, fakat bu yüksek ışık karşısında hücre içi fizyolojisinde değişiklikler olmuştur.  $2000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  aydınlatmada alansal çıkış hızı ve hücre yoğunluğunda bir artış olmamış, ancak  $2500 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  da ise hücre yoğunluğunda bir azalma olduğunu bildirmişlerdir. Hu *et al.*, (1996a) bu azalma noktasının alansal çıkış hızı ile aydınlatma arasında linear bir ilişki sonucu olduğunu belirtmişlerdir. Aynı çalışmalarında reaktörün bir yüzeyine  $900 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddeti uygulayarak ışık yolu uzunluğu ile verimlilik arasındaki kantitatif ilişkiyi belirlemeye çalışmışlardır. Sonuç olarak ışık yolu uzunluğu azaltılırsa birim hacimdeki çıkış hızının arttığı bildirilmektedir. Zorunlu fototrofik sistemler yüksek ışık şiddetine maruz bırakıldıklarında, ışık yolu uzunluğu pratikte verimli olacak kadar azaltılırsa, daha yüksek miktarda ürün alınabilir.

Zou *et al.*, (2000) *Nannochloropsis* sp. türü ile laboratuvar şartlarında 1 cm ve 3 cm ışık yolu uzunluğunda ve laboratuvar

dışında ise 1,3 cm den başlayan ve 17 cm ışık yolu uzunluğu olan ince panel reaktörler kullanarak denemeler yapmışlardır. İlk denemelerinde aydınlatmada başlangıçta  $150 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ışık şiddeti kullanmışlar ve daha sonra şiddetini  $1000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  ile  $3000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  arasında değiştirmişlerdir. İkinci olarak düşük hücre yoğunluğunda, farklı ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörlerde yüksek ışığa maruz bırakmışlar. Son olarak da yüksek hücre yoğunluğundaki kültürleri yüksek ışık şiddetine maruz bırakmışlardır. Buna göre düşük ışıktan yüksek ışığa transferden sonra hücre klorofil içeriğinin keskin bir şekilde düştüğü gözlenmiştir. Fakat yedi gün sonra yüksek aydınlatmada ( $2000$  ve  $3000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) ışığa uyumun başlamasıyla birlikte hücre klorofil konsantrasyonunda da bir artış olmuştur. Düşük hücre yoğunluğunda, hücreler yüksek ışık şiddetine maruz bırakılınca ( $2000$  ve  $3000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) strese girmekte ve hücre klorofil konsantrasyonu ile birlikte hücre yoğunluğu da düşmektedir. Yüksek hücre yoğunluğunda, yüksek ışık şiddeti kullanılması durumunda ise, hücre konsantrasyonu ve ışık yolu uzunluğu kriter olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle türe uygun en yüksek alansal çıkış hızını sağlayacak ışık yolu uzunluğu araştırılmaktadır. Yine yüksek hücre yoğunluğunda ışık şiddetinin  $2000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  den  $3000 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e çıkartılması sonucunda sadece hücreler strese girmekte ve sonuçta da alansal çıkış hızı ve klorofil konsantrasyonu üzerinde değişiklik olmamaktadır.

Yapılan bir araştırmada ise 1,3 cm den başlayan ve 17 cm ile en yüksek ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörlerde *Nannochloropsis*

sp. 'de eicosapentaenoik asit (EPA) konsantrasyonları incelenmiştir. 10,4 cm ve 17 cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörlerde aydınlatma yüzeyi fazla olduğundan EPA oranı da yükselmektedir. Işık yolu uzunluğunun 17 cm den 1,3 cm'e düşürülmesi sonucunda EPA konsantrasyonunda da düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca *Nannochloropsis* sp. üretiminde EPA konsantrasyonları yaz ve kış periyotlarına göre değişmektedir. Işık yolu uzunluğunu 1,3 cm'den 17 cm'e çıkartıldığında EPA verimliliğini kış koşullarında  $66,7 \text{ mg m}^{-2}$ 'den  $278,2 \text{ mg m}^{-2}$ 'e kadar artmıştır. Yaz koşullarında ise EPA verimliliğini  $232,1 \text{ mg m}^{-2}$ 'den  $515,7 \text{ mg m}^{-2}$ .gün arasında değişen değerlerde olmuştur. Ayrıca *Nannochloropsis* sp. için günlük alansal çıkış hızının da (gr kuru ağırlık  $\text{m}^{-2}$ .gün) ışık yolu uzunluğu ile birlikte yükseldiği, fakat *Spirulina* sp. için ise bunun tam tersi olduğunu belirlenmiştir. Bunların sebeplerinin ışık rejimi ile ilgili olduğu bildirilmiştir (Zou *et al.*, 1999).

### 2.3. Fotobiyorektör Tasarımı

Günümüzde mikro-algal biyoteknolojinin ilgi odağı, algal biyomastan kıymetli metabolitleri ticari olarak elde etmek için prodüktif alg kültür teknolojileri üzerine yönelmiştir. Araştırmalar, kurulum ve işletim maliyetleri bakımından daha üretken ve daha düşük maliyetli kültür sistemleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Fotosentetik hücrelerin ticari üretiminde yapay aydınlatma kullanmak algal biyomas maliyetlerini yükseltir. Bu nedenle ticari üretimde güneş enerjisinden yararlanmak için genellikle açık havuzlarda üretim tercih edilir ve halen dünyanın çeşitli coğrafik

bölgelerinde faaliyet gösteren ticari kuruluşlarda algal biyomas üretimi açık havuzlarda yapılmaktadır. Bu tip *fototrofik* sistemlerde elektrik enerjisinden önemli tasarruf sağlanır, ancak sistemdeki algal üretim büyük ölçüde çevresel faktörlere bağlı olduğundan istenen yüksek hücre yoğunluğuna ulaşamaz. Açık havuzlarda karşılaşılan problemlere tubular fotobioreaktörler gibi kapalı bioreaktörler (Pirt *et al.*, 1983; Miyamoto *et al.*, 1988; Torzillo *et al.*, 1993 ), düz paneller (Anderson & Eakin, 1985), alveolar paneller (Tredici, Matevassi, 1992 ; Tredici *et al.*, 1991) gibi sistemler ile kısmen çözüm getirmiştir. Ancak böyle sistemlerin kurulum maliyetleri ve işletimi pahalıdır. Bu nedenle ticari kültürler için halen geniş alanlarda kurulan açık havuzlar kullanılmaktadır.

Diğer taraftan ototrofik/heterotrofik değişken beslenme modlarında sürekli aydınlık yada aydınlık/karanlık döngülerde büyütülen alg kültürlerinde yüksek hücre yoğunluklarına ulaşabilmekte ve elde edilen prodüktif kültürlerde yüksek algal biyomas elde edilebilmektedir. Prodüktif alg kültürler sistemlerinin kurulabilmesi ve yürütebilmesi için üretilecek türün beslenme modunun yada modlarının iyi bilinmesi, besin ihtiyaçlarının karşılanmasında ve biyoreaktör tasarımında türe özgü özelliklerin gözönüne alınması gerekmektedir (Richmond & Hu, 1997, 1999).

Böyle değişken beslenme modlu kültürler fototrofik üretime bir alternatif olarak düşünülmeyle birlikte bu tip kültürlerin idaresi önemli ölçüde uzmanlık gerektirmektedir, çünkü büyümenin heterofik fazında ilave edilen organik substratın fototrofik faz başlangıcına kadar hücreler tarafından tamamen tüketilmesi

gerekmektedir. Aksi takdirde fototrofik faz başlangıcında tüketilmeyen substrat ortamda bakteriyal kirlenmeye neden olabilir.

Mikro-alglerin fototrofik, heterotrofik ve miksotrofik büyüme yeteneklerinden yararlanarak çeşitli tipte bioreaktörler tasarlanmıştır. İçten aydınlatmalı sürekli karıştırılan tank tipleri geliştirmek için fotosentetik hücrelerin büyüme kinetikleri araştırılmıştır (Ogbonna *et al.*, 1995 b). Bu bioreaktörler içinde ışık koşullarının kantitatif değerlendirilmesi için bir indeks geliştirilerek (Ogbonna *et al.*, 1995c), fotobioreaktörün içi güneş ışığından yararlanacak fiber optik kablolar yoluyla aydınlatılmış (Ogbonna *et al.*, 1996; Ogbonna, Tanaka, 1997) ve bu tip aydınlatmada ışık çakması etkisi (flash effect) ile fotobioreaktörlerde ışık dağılımının etkileri araştırılmıştır (Laws *et al.*, 1986; Ogbonna *et al.*, 1995a). *Chlorella pyrenoidosa* (*Chlorella vulgaris*, *Beyerinck*) kültürlerinde gece/gündüz döngüsünün üretimi ve biokimyasal kompozisyonu değiştirdiği, (Ogbonna, *et al.*, 1996a), büyüme fazına bağlı olarak da gece/gündüz periyodunda ışık yoğunluğundaki ve sıcaklıktaki değişimlerin total biomas konsantrasyonunu, gece karanlık periyotta % 17 düzeyinde azalttığı bildirilmiştir (Ogbonna, *et al.*, 1996b). Diğer araştırmacılar da bunu destekler şekilde (Tozillo *et al.*, 1991a,b; Grobelaar, Soeder, 1985) gece algal solunum nedeni ile biomas kaybının % 35 kadar olabileceğini rapor etmişler, bu nedenle gece biomas kaybını önlemek için değişik çalışmalar yapmışlardır. Ancak bu kayıplar, sıcaklık azaltılması ve gece kontrollü karıştırma gibi yöntemlerle minimize edilmişse de tamamen engellenememiştir (Ogbonna, *et al.*, 1996b). Çünkü çoğu fotosentetik hücreler karanlıkta bir organik



karbon kaynağını metabolize edebilme yeteneğine sahiptir, yani başka bir deyişle pek çok fotosentetik mikro-alg türü karanlıkta heterotrofik büyüme gösterebilir.

Günümüzde mikro-algal biyoteknolojisinin odağı, alg kültür teknolojisi üzerine yoğunlaşmıştır. Bunun için araştırmacılar yeni biyoreaktör tasarım çalışmaları devam etmektedirler. Mikro-alglerin yetiştiriciliğinde kullanılan sistemler olarak; açık havuzlar, tubular fotobioreaktörler gibi kapalı bioreaktörler (Pirt *et al.*, 1983; Miyamoto *et al.*, 1988; Torzillo *et al.*, 1993 ), düz paneller (Anderson, Eakin, 1985), alveolar paneller (Tredici, Matevassi, 1992 ; Tredici *et al.*, 1991) kullanılmaktadır .

Geniş ölçekli fotobioreaktörlerin çalışmalarında bir çok faktör verimliliği etkilemektedir. Bunlardan biri de aydınlatma olup fotobioreaktörlerde güneş ışığına ihtiyaç duyulmaktadır . Güneş ışığı maliyeti düşürmesine rağmen iklim şartlarının uygunluğu da verimliliği etkilemektedir (Vonshak *et al*, 1982, 1996). Bu nedenle kültür sistemi kurulurken verimliliği etkileyecek koşullar göz önüne alınıp optimal verimliliğe ulaşılması amaçlanmalıdır (Borowitzka, 1999).

#### **2.4. İnce Cam Panel Reaktör**

İnce panel reaktör tasarımı 50 yıl öncesine dayanmaktadır (Burlew,1953). Samon ve Leduy (1985) ince dik yarı saydam ve her iki taraftan aydınlatmalı ve havalandırmalı tasarımı yapmışlardır. Tredici ve Materrassi bu tasarımları geliştirmişlerdir. Tredici *et al*

(1991) ve Tredici ve Materrassi (1992)'de fotobiyoreaktörleri sabit bir sistem haline getirdiler ve yere açılı yapacak şekilde tasarımı yaptılar. Hu *et al.*, (1996 a,b,c,1997, 1998 a,b) ve Hu & Richmond (1996) bu reaktör tasarımına cam malzemeyi getirdiler. Ayrıca bu reaktörleri birleştirerek büyük sistemler haline getirmişlerdir.

Pulz *et al.*, (1995)'de yatay ince reaktör tasarlamıştır. Bu reaktörde sirkülasyon pompalar vasıtasıyla yapılmıştır. Bu reaktörleri birleştirerek 6 m<sup>2</sup>'lik kültür ortamı 100 m<sup>2</sup>'ye çıkartılmıştır. Fakat bu sistem aydınlatma ve sıcaklık bakımından uygun olmamıştır.

Hu *et al.*, (1996b) da yaptıkları çalışmalarında; açık havuzlara göre bu sistemde aydınlatmanın kolay olması ve yüksek aydınlatma ile alansal ve hacimsel çıkış hızında bir artışın olacağını bildirmişlerdir. Ayrıca sıcaklık kontrolünün yapılabilmesi ve kolaylıkla optimal sıcaklıkta tutulması, havalandırma yardımıyla istenilen turbulansın sağlanması optimum hücre yoğunluğunda ve biyomas çıkış hızında da bir artış olduğunu gözlemişlerdir.

Hu *et al.*, (1998a) açık havuzlarla ince panel reaktörleri kıyaslamasında biyomas hızının açık havuzlara göre 100 kat ve birim alanda elde edilen başarı 2-3 kat daha fazla olduğunu bildirmişleridir. Buradan hareketle, kısa ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörlerde fototrof saf kültür üretiminin avantajlı olduğunu ileri sürmüşlerdir.

*Nannochloropsis* sp. laboratuvar dışında 10 cm ışık yolu uzunluğu ve 300 lt hacmi olan biyoreaktörde kültüre alınmış,

optimum hücre yoğunluğu olarak  $5 \times 10^8$  hücre  $\text{ml}^{-1}$  elde ettikten sonra günlük olarak % 10 hasat uygulamışlar ve hasat sonrası taze ortam ilavesi yapılmış ve  $12 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  kuru ağırlık elde edilmiştir. Ayrıca dış ortamdan herhangi bir kontaminasyonun, zooplankton ve diğer alg türlerin bulaşmadığını açıklamışlardır. Bu sistemin diğer sistemlerden farklı olarak güneş ışığını tam olarak kullanması ve iklim koşullarına göre değişen şartlara adaptasyonun kolay olduğunu bildirmişlerdir (Chang-Wu *et al.*, 2000).

Hu *et al.*, (1996b) ince panel reaktörlere (2,6 cm ve 5,2 cm ışık yolu uzunluğuna sahip) zemin ile açı vererek güneş ışığı oranını değiştirme yoluna gitmişlerdir. Reaktörler  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  ve  $90^\circ$  lik eğimle yerleştirilmiştir. Bu açılara göre biyomas hızını ölçmüşler ve  $30^\circ$  lik reaktörde biyomas çıkış hızının ( $\text{g lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$ ) daha fazla olduğunu bulmuşlardır. En düşük çıkış hızını elde ettikleri  $90^\circ$  açı verdikleri reaktör olmuştur. Bunun sebebi olarak da aydınlık/karanlık döngüsünün fotosenteze etkisi olarak yorumlamışlardır. Aynı çalışmada havalandırma sistemini iki ayrı şekilde düzenlemişlerdir. Birinci olarak Airlift (ALM), şeffaf borular vasıtasıyla reaktörün alt kısmından alınan kültürün hava ile taşınması (airlift) sayesinde reaktörün üst kısmından tekrar reaktöre boşaltılması ile karışım sağlanmıştır. İkinci olarak da Air Bubble (ABM) sistemi ile, reaktörün alt kısmından ve orta kısmından hava taşları yardımıyla havalandırma yapılmıştır. Buradaki hava kabarcıkları ile karışım sağlanmıştır. Bu iki sistemi karşılaştırılmasını yaptıklarında hem 2,6 cm hem de 5,2 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörlerde denenmiş

ve ışık yolu uzunluğu sonucu değiştirmemiştir. Fakat havalandırma sistemlerinden ABM'de biyomas çıkış hızı daha fazla bulunmuştur.

Richmond & Zou, (1999) 1,3 cm ışık yolu uzunluğundan başlayan ve 17cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörde *Nannochloropsis* sp. çalışmışlardır. Küçük reaktörde alansal çıkış hızı düşük olmakla birlikte daha yüksek hacimsel çıkış hızı elde etmişlerdir. *Nannochloropsis* sp. için en uygun 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktör olarak belirlemişlerdir. 10 cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörde hücre yoğunluğu  $5-6 \times 10^8$  hücre  $ml^{-1}$  spesifik büyüme hızı ( $\mu$ )  $0,23 \text{ b g}^{-1}$  kuru ağırlık  $2,0$  ile  $2,3 \text{ g lt}^{-1}.$ gün elde etmişler. Bütün bu sonuçlardan sonra *Nannochloropsis* sp. nin en iyi alansal çıkış hızını 10 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörü belirlemişlerdir.

Pastorelli *et al.*, (1999) ince panel reaktörde *Nannochloropsis* sp. üretmişler ve  $1,4 \text{ g lt}^{-1}$  kuru ağırlık eldesi ile yüksek bir çıkış hızını bu tip reaktörlerde elde etmenin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Ayrıca Richmond *et al.*, (2000) çalışmalarında ince panel cam reaktörlerin avantajlarını şöyle sıralamışlardır:

- Işık girişinin kolay olması ve yüzeylerin tamamen aydınlatılabilmesi kolaydır. Ayrıca yüksek kültür yoğunluklarında da gölgelemenin düzenli bir şekilde oluşturulabilmesi fotosentez için çok etkilidir.

- İnce panel reaktörler diğer kapalı sistemlere göre daha kolay temizlenip sterilizasyonu kolaydır.

- Havalandırma işlemi kolay olup havalandırma yardımıyla karışım sağlanabilmektedir.
- Etkenlerden (kontaminasyon) az etkilenirler.
- Maliyetleri diğer kapalı sitemlere göre daha düşüktür.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. *Chlorella* sp.

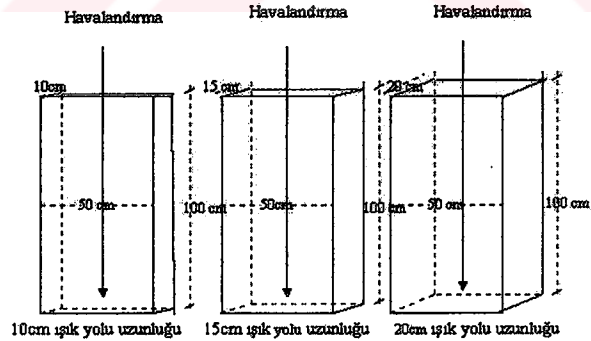
*Chlorella* sp. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi alg kültür koleksiyonundan alındı. *Chlorella* sp. 500 ml'lik kaplarda kültüre alındı. Flouresan lambalar ile aydınlatma, havalandırma ve ortamın zenginleştirilmesi yapıldıktan sonra kültüre başlandı (Şekil 3.1.1). Hücre sayımları her gün yapıldı. Hücre sayısı  $55-60 \times 10^6$  hücre ml<sup>-1</sup>'ye ulaştıktan sonra laboratuvar dışına kurulan ince cam panel reaktörlere ekim yapılmak üzere alındı.



Şekil 3.1.1 Laboratuarda 500 ml şişelerde *Chlorella* sp'nin üretimi

### 3.2. İnce Cam Panel Reaktör

Çalışma başlangıcında ince panel reaktörler Hu *et al.*, (1996a) göre tasarlanmıştır. Bu denemeler için yapılan reaktörler 100 cm yüksekliğinde, 50cm genişliğinde ve 10 cm , 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğu olmak üzere üç adet biyoreaktör hazırlanmıştır. (Şekil 3.2.1). 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörün hacmi 40 lt, 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörün hacmi 60 lt ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörün hacmi 85 lt'dir. Biyoreaktörlerin yapımında 5 mm şeffaf cam plakalar kullanılmıştır. Cam plakaların birleştirilmesinde antibakteriyel silikon kullanılmıştır. (Şekil 3.2.2)



Şekil 3.2.1 10 cm, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip ince cam panel biyoreaktörler.



Şekil 3.2.2. 10 cm, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip ince cam panel biyoreaktörler

### 3.3. Kültür Koşulları

Denemelerde ‰ 36-37 tuzluluktaki deniz suyu ‰30'a düşürülerek kullanılmıştır. Tuzluluk ölçümleri MOHR-KNUDSEN yöntemi ile yapılmış, ‰ 36-37 arasında değişen deniz suyu tuzluluğu ‰ 30'a düşürülmüştür. Sıcaklık ölçümleri cıvalı termometre ile yapılmıştır. Ölçümleri sabah, öğlen ve akşam saatlerinde olmak üzere günde 3 kez her reaktör için ayrı ayrı yapılmıştır. Reaktörler günün her saatinde güneş ışığından faydalanacak şekilde zemine yerleştirilmiş, ayrıca bir aydınlatma yapılmamıştır. Havalandırma her



tanka eşit olarak Dwyer LPM AIR flowmetre yardımıyla 1,25 L L<sup>-1</sup> dak<sup>-1</sup> verilmiştir. Havalandırma taşları tankların ortasına yerleştirilerek biyoreaktörde etkili bir karıştırma ile hücrelerin homojen dağılması sağlanmıştır. pH ölçümleri dijital pH metre ile yapılmıştır.

Kültür ortamlarının zenginleştirilmesinde, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,1 gr/l), Üre (0,001 gr/l), PO<sub>4</sub> (0,007gr/l), EDTA (0,015 gr/l) derişimleri kullanılmıştır.

Kültür denemeleri süresince ışık şiddeti Lux-metre ile biyoreaktörlerin üst ve yan taraflarında olmak üzere biyoreaktörün aldığı ışık miktarı olarak ölçülmüştür ve sabah 300-400 ft cd öğlen 1000-1200 ft cd ve akşam 300-400 ft cd değerleri arasında değişmiştir.

### 3.4. Büyüme Ölçümleri

Hücre sayımları her gün reaktörlerden alınan kültür örneklerinin Naubaer (0,1 mm) hemositometresi ile en az 5 kez sayılmasıyla yapılmıştır.

Optik yoğunluk ölçümleri Perkin-Elmer 35 Model Spektrofotometrede 678 nm (NIR) dalga boyunda belli bir saatte yapılmıştır.

x; hücre sayısı, t; zaman ve  $\mu$  (bölünme/ gün)spesifik büyüme hızı olarak ifade edilmiştir. (Hu *et al.*, 1998a )

Büyüme hızı (bölünme/gün);

$$\mu = (\ln X_2 - \ln X_1) / (t_2 - t_1)$$

Kuru ağırlık ölçümleri için 5 ml kültür örnekleri GF-52 filtre kağıdından süzöldü ve daha sonra kağıtlar etüvde 105 C°'de kurutularak yapılmıştır. Filtre kağıdının başlangıçtaki ve süzöldükten sonraki ağırlıkları ölçölerek kuru ağırlık saptandı.

Alansal ve hacimsel çıkış hızları günlük %5 hasat edilerek aşagıdaki formöle göre hesaplanmıştır.

$$A \text{ (gr m}^{-2} \cdot \text{gün}^{-1}) = \frac{\text{Kuru Ağırlık ( g/lt ) x Hasat edilen hacim (lt)}}{\text{Toplam alan (m}^2\text{)}}$$

$$H \text{ (gr lt}^{-1} \cdot \text{gün}^{-1}) = \frac{\text{Kuru Ağırlık ( g/lt ) x Hasat edilen hacim (lt)}}{\text{Toplam hacim (lt)}}$$

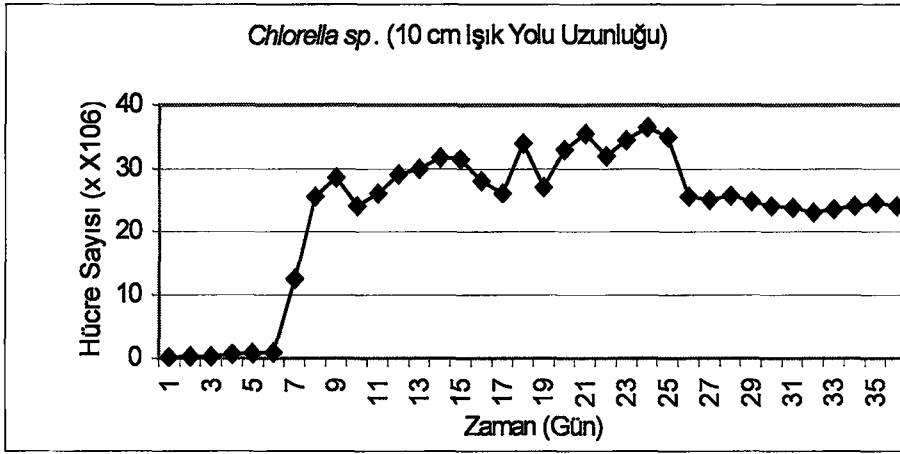
## 4. BULGULAR

### 4.1. *Chlorella* sp.'nin Gelişimi

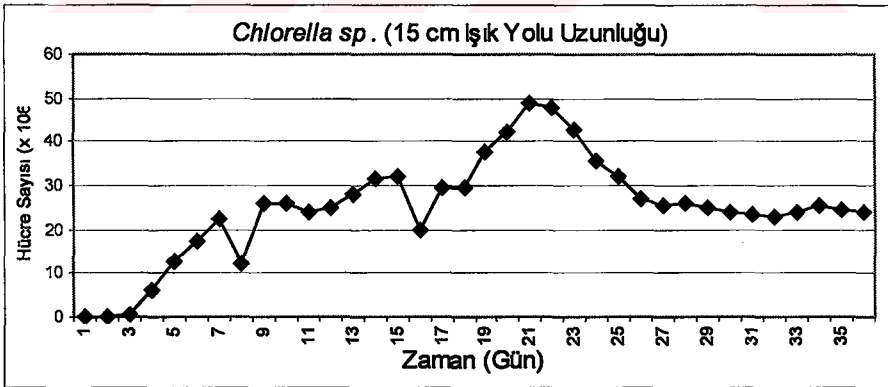
10cm, 15cm ve 20cm ışık yolu uzunluğuna sahip ince cam panel biyoreaktörlerde laboratuvar dışında yapılan *Chlorella* kültürleri 35 gün sürdürülmüştür. Her bir kültür ünitesinde günlük hücre sayımları, optik yoğunluk ölçümleri ve kuru ağırlık tayinleri yapılmıştır.

#### 4.1.1. Büyüme Hızları

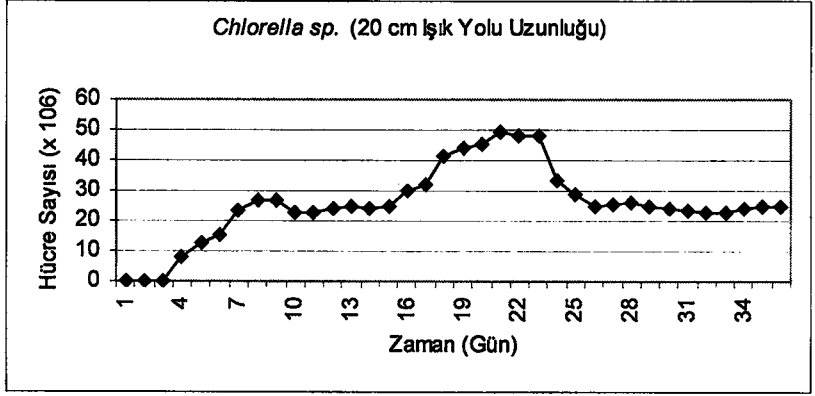
10, 15 ve 20 cm ışık yolu uzunluklarına sahip biyoreaktörlerde başlangıçtaki hücre yoğunlukları sırasıyla ( $0,1 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ ,  $0,07 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ ,  $0,12 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ )'dir. 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde 6. günde hücre yoğunluğu  $12,5 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$  yükselmiştir (Şekil 4.1.1. A noktası). 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörlerde ise hücre yoğunluğu 4. günde  $12,5 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ 'ye ulaşmıştır (Şekil 4.1.1.a, A oku). Her üç reaktörde 9. ve 10. günlerde havanın bulutlu olması ve sıcaklığın düşmesi nedeniyle hücre sayısında düşüş gözlenmiş (Şekil 4.1.1.a,b,c; B noktası) ve 16.güne kadar benzer şekilde büyümede düzensiz değişimler devam etmiştir. Biyoreaktörlerde maksimum hücre sayısına 20.-22.günlerde ulaşılmış ve hücre yoğunlukları 10 cm, 15 cm, 20 cm ışık yolu uzunluklarına sahip biyoreaktörlerde sırasıyla ( $36,5 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ ,  $49 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ ,  $49,5 \times 10^6$  hücre  $ml^{-1}$ ) olmuştur (Şekil 4.1.1.a,b,c; C noktası).



Şekil 4 .1.1.a.10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre *Chlorella sp.* büyümesi

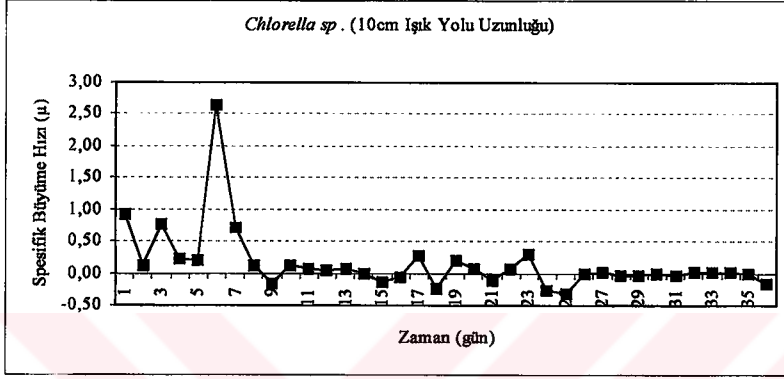


Şekil 4.1.1.b. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre *Chlorella sp.* büyümesi

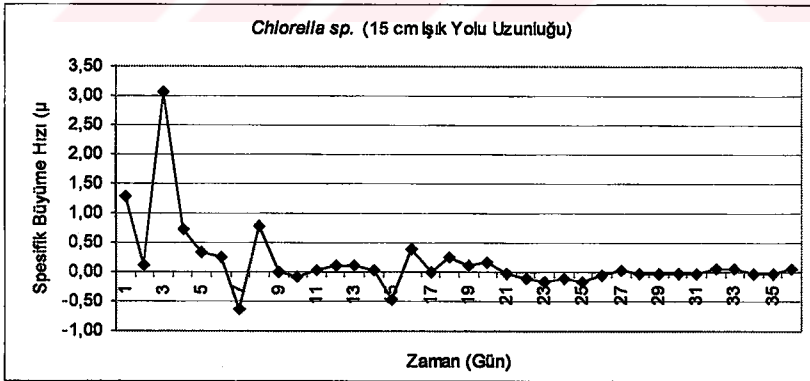


Şekil 4.1.1.c. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre *Chlorella sp.* büyümesi

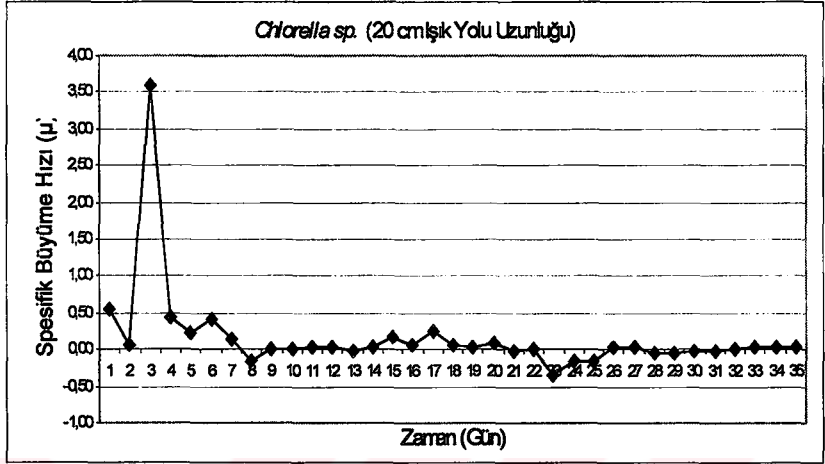
Spesifik büyüme hızları 10 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörde 6. günde en yüksek büyüme hızı ( $2,63 \text{ bölünme gün}^{-1}$ ) elde edilmiştir (Şekil 4.1.1.d; A oku). Diğer biyoreaktörlerde ise 3. günde maksimum büyüme elde edilmiştir. 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörde  $3,06 \text{ b g}^{-1}$  iken en yüksek bölünme  $3,59 \text{ b g}^{-1}$  ile 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde görüldü (Şekil 4.1.1.e,f; A oku). 20 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörde diğer biyoreaktörlere göre spesifik büyüme hızında daha fazla bir artış görülmektedir.



Şekil 4.1.1 d. 10cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella sp.*'nin spesifik büyüme hızı



Şekil 4.1.1.e. 15cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella sp.*'nin spesifik büyüme hızı



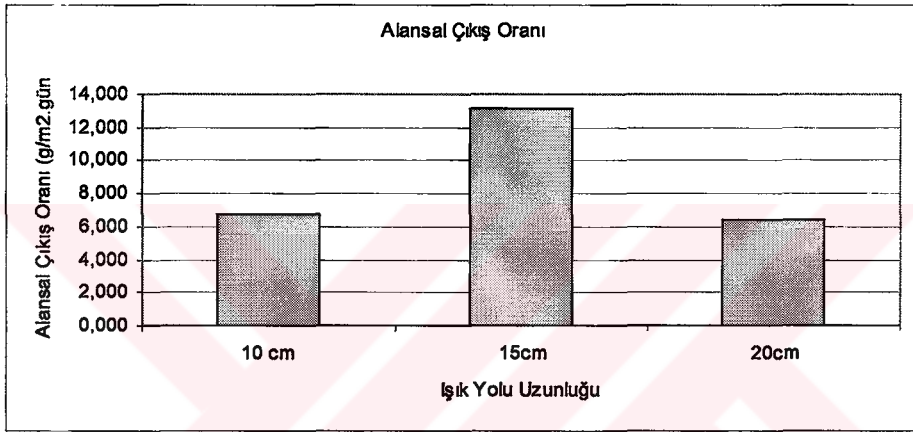
Şekil 4.1.1..f. 20cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella* sp.'nin spesifik büyüme hızı

#### 4.1.2. Kuru Ağırlık Ölçümleri

10 cm, 15 cm, 20 cm ışık yolu uzunluklarında olan ince cam panel biyoreaktörde elde edilen algal biyomasın ortalama kuru ağırlığı sırasıyla  $1,69 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ,  $1,81 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ,  $1,84 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  olarak saptanmıştır.

Her üç reaktör için hesaplanan alansal çıkış hızları sırasıyla  $6,68 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ ,  $13,12 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  ve  $6,44 \text{ gr m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$  hesaplanmıştır.

En düşük alansal çıkış hızı 10 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyorektörde görüldü.(Şekil 4.1.2.a.)

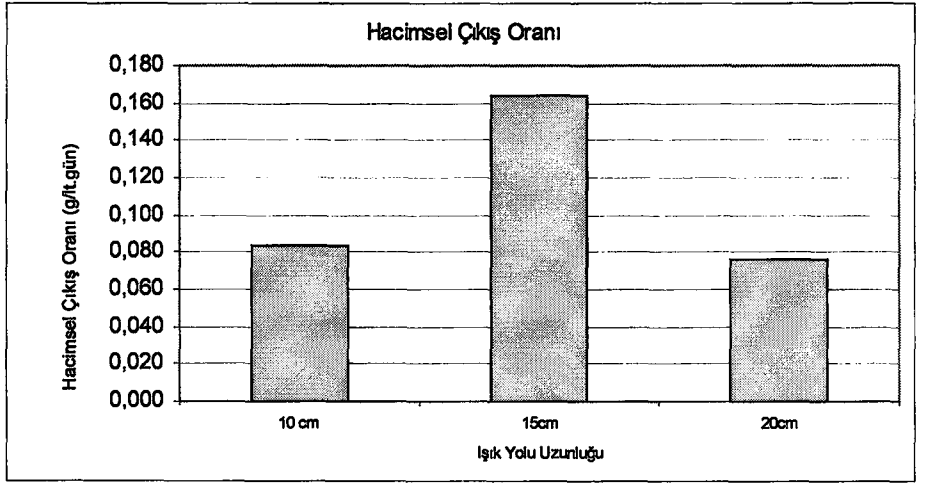


Şekil 4.1.2.a. Farklı Işık Yolu Uzunluğu Olan Reaktörlerde Alansal Çıkış Oranı

Her üç reaktör için hesaplanan hacimsel çıkış hızları sırasıyla  $0,084 \text{ gr lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$  ,  $0,164 \text{ gr.lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$  ve  $0,76 \text{ gr lt}^{-1} \text{ gün}^{-1}$  hesaplanmıştır.

En düşük hacimsel çıkış hızı 20 cm ışık yolu uzunluğu ve çevre şartlarından en çok etkilenen 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde görüldü.(Şekil 4.1.2.b)

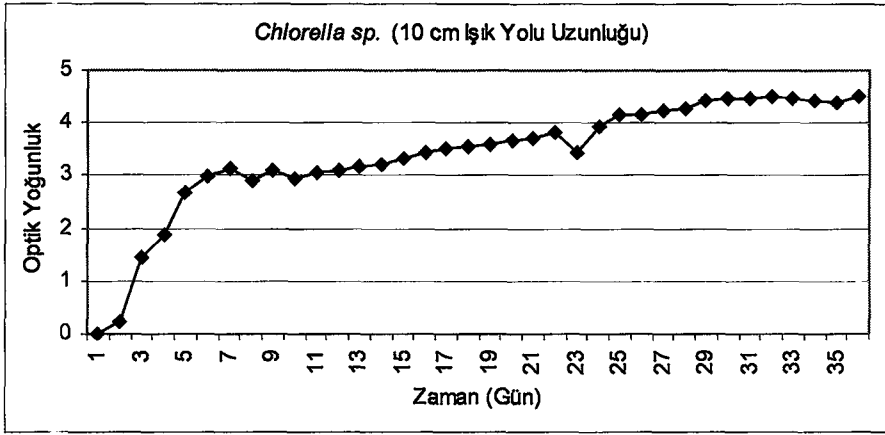




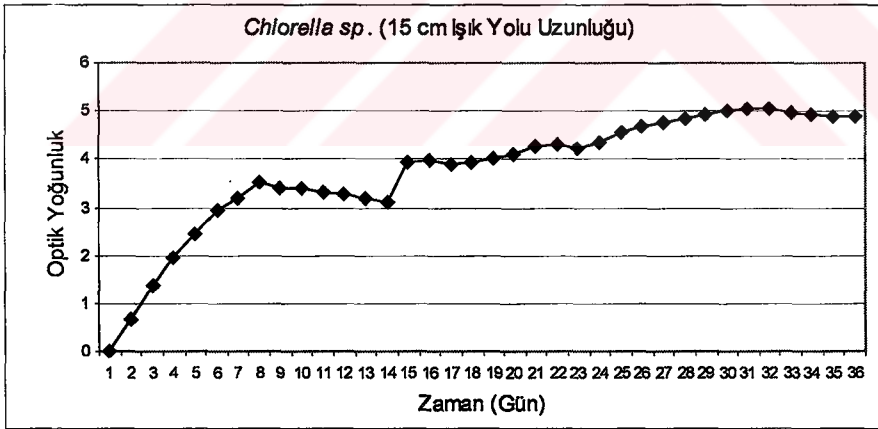
Şekil 4.1.2.b. Farklı Işık Yolu Uzunluğu Olan Biyoreaktörlerde Hacimsel Çıkış Oranı

### 4.1.3. Optik Yoğunluk

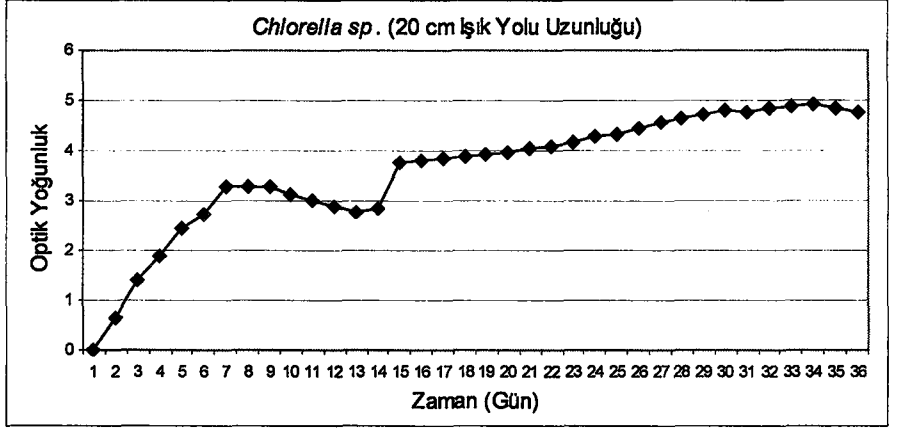
10 cm, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluklarındaki biyoreaktörlerde 8. güne kadar yüksek bir optik yoğunluk artışı görüldü ve sırasıyla (3,095, 3,378 ve 3,295 ) değerleri bulundu.(Şekil 4.1.3.a,b,c; A noktası) Daha sonraki günlerde çevre şartlarının olumsuz gitmesinden dolayı her üç biyoreaktördede optik yoğunlukta bir düşme görüldü. 16-18 günlerden sonra tekrar bir atış oldu (Şekil 4.1.3. a,b,c; B noktası)



Şekil 4.1.3.a. 10cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella sp.* üretiminde optik yoğunluk



Şekil 4.1.3.b. 15cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella sp.* üretiminde optik yoğunluk

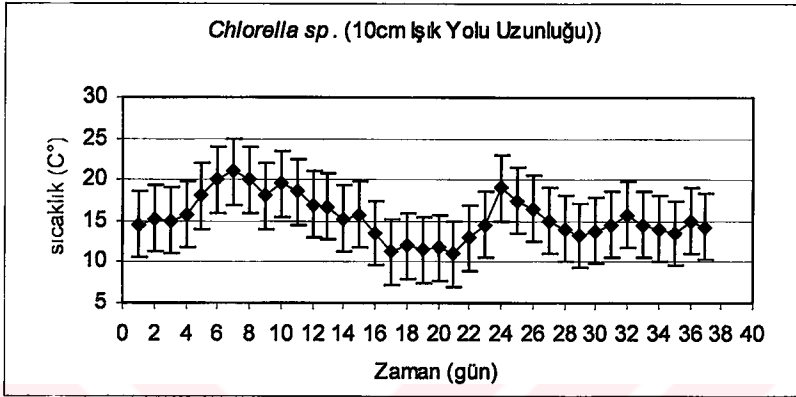


Şekil 4.1.3.c. 20cm ışık yolu uzunluğu sahip biyoreaktörde *Chlorella* sp. üretiminde optik yoğunluk

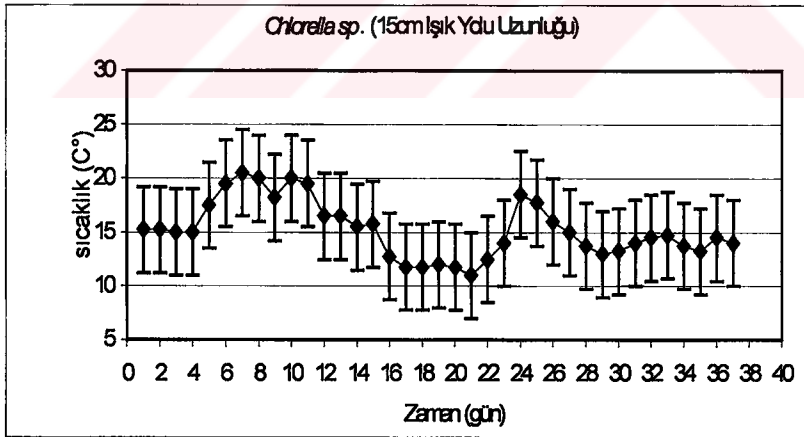
## 4.2. Su Koşulları ile İlgili Bulgular

### 4.2.1. Su Sıcaklık Değişimleri ve pH Değişimleri

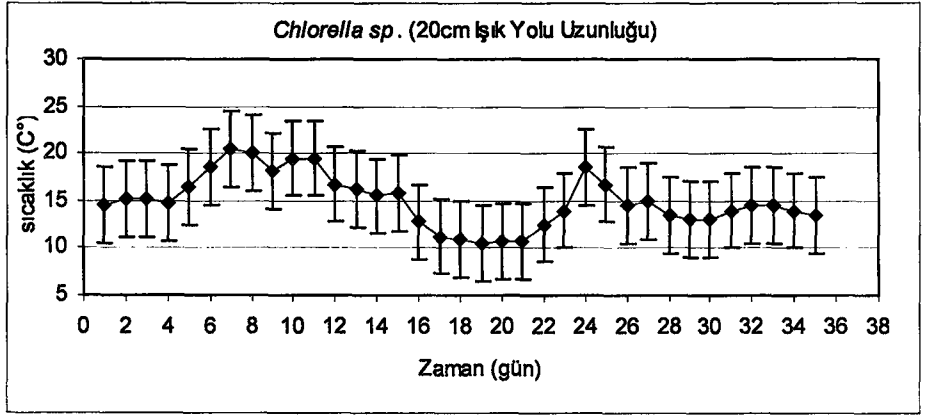
10cm, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde sıcaklık minimum 11C°, maksimum 21C° ölçülmüştür. Çevresel şartların olumsuz olmasından 14,5 C° sıcaklık ile başlanmış, 55 günden sonra hava şartlarının iyileşmesi ile sıcaklıkta artış başlamıştır. Fakat 12-13 günden sonra yağmur sebebiyle bir düşüş olmuştur. Yağışların birkaç gün sonra bitmesiyle tekrar biyoreaktörler ısınmaya başlamıştır. Biyoreaktörler arasında hacim farkından dolayı  $\pm 2$  C° sıcaklık farkı olmaktadır (Şekil 4.2.1.a,b,c).



Şekil 4.2.1.a. 10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri

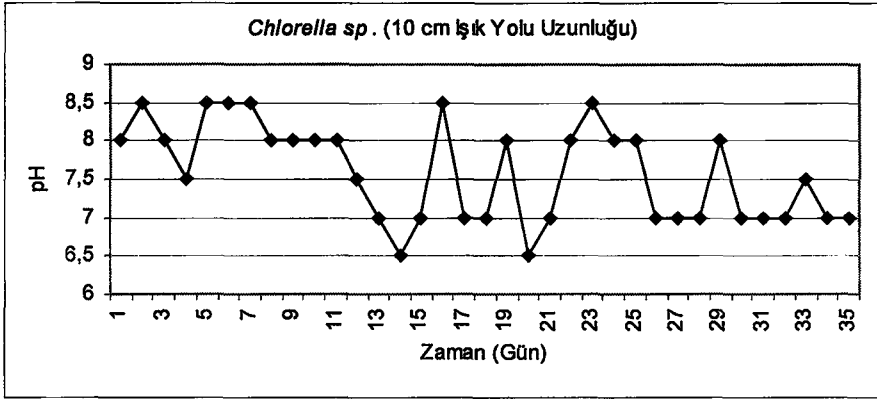


Şekil 4.2.1.b. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri

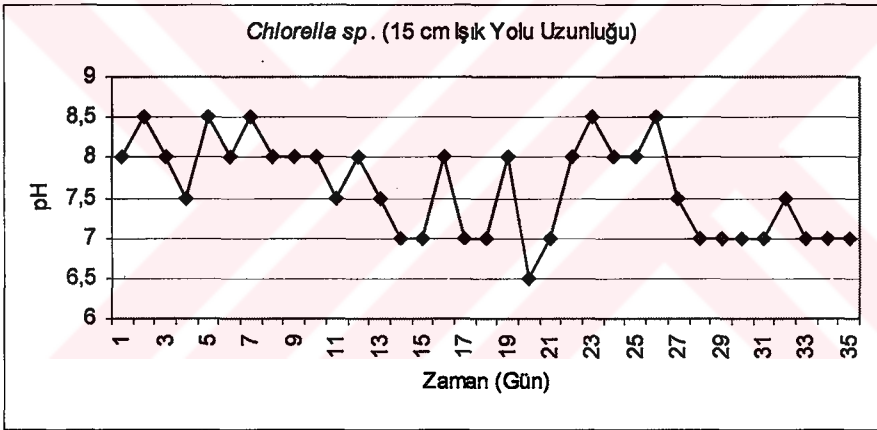


Şekil 4.2.1.c. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre sıcaklık değişimleri

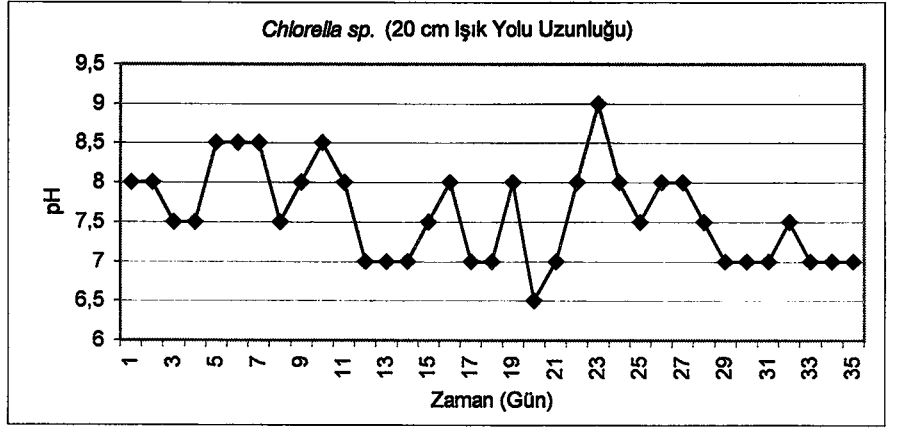
pH ölçümlerinde 10 cm ve 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörlerde minimum 6,5, maksimum 8,5 ölçülmüştür. (Şekil 4.2.1.d,e) 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde minimum 6,5 iken maksimum 9 değeri ölçülmüştür.(Şekil 4.2.1.f) pH değerinin artması yada düşmesi hücre büyümesinin yavaşlamasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.2.1.d. 10cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri



Şekil 4.2.1.e. 15cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri



Şekil 4.2.1..f. 20cm ışık yolu uzunluğu olan reaktöre pH değişimleri

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Zorunlu fototrofik kültür sistemlerinde kültüre alınan tür ile optimal büyüme hızı elde etmek için kullanılan farklı tasarımlara sahip biyoreaktörlerin ortak özelliği, ışığın su kolonunda aldığı yol ve nüfuz etme gücü, çevre koşulları ile birlikte biyomas üretimini etkiler.

Farklı ışık yolu uzunluğu olan reaktörlerde hücrelerin ışık adaptasyonu, 10 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörde 7 gün , 15 ve 20 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörlerde ise 5 gün sürmüştür. Bu farklılık, ışık yolu kısa reaktörde su kolonunun kısa olması nedeniyle oluşan ışığın sınırlayıcı etkisinden kaynaklanmaktadır. Kültür büyümesi doğrudan ışık ile sınırlanmasına rağmen, spesifik büyüme hızının artırılması tamamen ışık rejimine bağlıdır (Richmond, 1986c). Bu nedenle en iyi sonuçlar yüksek güneş ışığı şiddeti ile elde edilmektedir (Richmond, 1996).

Denemelerde kullanılan biyoreaktörler (10 cm, 15 cm, 20 cm) arasında daha kolay ısınan ve en düşük hacme sahip 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktördür. Fakat kolay soğuması bu ışık yolu uzunluğu için bir dezavantajdır. Daha yüksek hacme sahip olmalarından dolayı 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörler daha zor ısı kaybederler. Özellikle Urla bölgesindeki iklim koşulları nedeniyle kışın dışarıda üretim yapabilmek için daha yüksek hacme sahip 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğundaki bioreaktörler sıcaklık bakımından daha uygundur.



Her üç biyoreaktörde 100 cm lik su kolonları oluştu ve ABM (Air Bubble Mode) sisteminde olduğu gibi reaktörlerin ortasından havalandırma verildi. Bu sistem su kolonunda bulunan kültürü kuvvetli bir şekilde havalandırarak hücrelerin homojen olarak dağılması ve karışması sağlanmıştır. Bu tip reaktörlerde türbülansı sağlamak için yapılan havalandırma tiplerinden ABM sisteminin, 2,6 cm ve 5,2 cm ışık yolu uzunluğu olan bioreaktörlerde biomas çıkış hızını arttırdığı bildirilmiştir (Hu *et al.*, 1996b)

Güneş ışığı şiddeti ölçümlerinde sabah ve akşam saatleri arasında 400 ft cd ile 1400 ft cd arasında değişmektedir. Bu aydınlatma ile *Chlorella* sp. üretiminde maksimum  $49,5 \times 10^6$  h ml<sup>-1</sup> yoğunluğu 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde, 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde ise  $49 \times 10^6$  h ml<sup>-1</sup> hücre sayısı elde edilmesi ile dışardaki güneş ışığının yeterli olduğu anlaşılmıştır. Çünkü elde edilen bu hücre yoğunluklarının ticari amaçla yapılan üretimlerde (büyük naylon balonlar, toprak havuzlar, büyük tanklar vs.) elde edilenlerden daha yüksek düzeyde olduğu gözlenmiştir.

Hu *et al.*, (1998b) yaptıkları çalışmada ışık şiddetini  $2000 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'den  $3000 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 'ye çıkartılması ile hücrelerin strese gireceğini, fotoinhibisyonun başlaması nedeniyle klorofil ve biomas çıkış hızında bir azalma olduğunu bildirmişlerdi.  $2500 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  aydınlatmada ise hücre yoğunluğunda düşüş olduğunu tespit ettiler. Ortalama olarak  $900 \mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$  aydınlatmanın alasal ve hacimsel çıkış oranında yüksek verimlilik elde etmişlerdir.

Alansal üretim ve ışık yolu uzunluğu arasındaki ilişki kültüre alınan türün özelliklerine bağlı olarak değişiklikler gösterir. Bu ilişki *Spirulina platensis*'de ters iken (ışık yolu uzunluğu azaldıkça alansal çıkış artar), *Nannochloropsis* sp. ile direkt (ışık yolu uzunluğu arttıkça alansal çıkışta artar) ilişkilidir. Çünkü *Nannochloropsis* sp.'te ışık yolu uzunluğu ve alansal hacim ( $L m^{-2}$ ) artarsa alansal çıkış hızı ( $g dw m^{-2} h^{-1}$ ) da artar (Richmond & Zou, 1999).

Bu araştırmada elde edilen sonuçlar da ışık yolu uzunluğunun kültüre alınan türe göre dikkatli bir şekilde ayarlanması gerektiğini göstermiştir. Farklı ışık yolu uzunluklarına sahip bioreaktörlerde (10 cm, 15 cm ve 20 cm) kültüre alınan *Chlorella* sp. ile yapılan bu araştırmalarda, alansal çıkış hızının ışık yolu uzunluğu ile doğrudan bir ilişkili olmadığı görülmüştür. Çünkü 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörde  $6,68 gr.m^{-2}.gün^{-1}$ , 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörde  $13,12 gr.m^{-2}.gün^{-1}$  iken, 20 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörde  $6,44 gr.m^{-2}.gün^{-1}$  elde edilmiştir. Buna göre *Chlorella* sp. için maksimum alansal çıkış hızı 15 cm ışık yolu uzunluğuna sahip bioreaktörden alınmıştır. 20 cm ve 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip reaktörlerde alansal çıkış hızları birbirlerine yakın değerlerdedir.

15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğu olan bioreaktörlerde spesifik büyüme hızının yüksek olduğu görüldü. Alansal çıkış oranında ise 20 cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörde en yüksek değere ulaştı. 15 cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörde  $13,12 gr.m^{-2}.gün^{-1}$  kuru ağırlık elde edildi. Chang-Wu *et al.*, (2000)

*Nannochloropsis* sp. ile ince panel reaktörde yaptıkları çalışmada 12 gr.m<sup>-2</sup>. gün<sup>-1</sup> kuru ağırlık elde ettiklerini bildirmişleridir.

Hacimsel çıkış oranında ise 15 cm ışık yolu uzunluğu olan reaktörde en yüksek kuru ağırlık elde edildi. Bu reaktörde 0,164 gr.lt.gün<sup>-1</sup> kuru ağırlık elde edildi. Pastorelli *et al.*, (1999) *Nannochloropsis* sp. ile yaptığı çalışmada 1,4 g.lt.gün<sup>-1</sup> kuru ağırlık elde ettiğini bildirmişlerdi.

Işık yolu uzunlukları farklı olan ince cam panel reaktörlerde yürütülen mikro-alg kültürlerinde en önemli kriter güneş ışığı şiddeti ve süresi olarak göze çarpmaktadır. Kısa yada uzun ışık yolu uzunluğu olan ince cam panel reaktörlerde büyüme hızlarında artış görülmemektedir. Fakat tür için uygun ışık yolu uzunluğu olan ince cam panel reaktör tespiti, verimliliğin artması açısından önemlidir.

Deneylerin yürütüldüğü coğrafik bölge Urla İskelesinde (İzmir), her zaman güneş olması ince panel bioreaktörlerde mikro-alg üretimi için bir avantajdır. 15 cm ışık yolu uzunluğunun optimal hücre yoğunluğunu elde etmek ve yüksek verimlilikte *Chlorella* sp. kültürleri için uygun olduğun saptanmıştır. Bu sistemin ülkemizin uygun coğrafik bölgelerinde yaygınlaşması ile ekonomik bakımdan verimli işletmelerin kurulabileceği düşünülmektedir.

## 6. ÖNERİLER

*Chlorella* sp. üretiminde ince cam panel reaktörlerin kullanımındaki faydaları şöyle sıralayabiliriz;

Çok kısa ışık yolu uzunluğu olan reaktörlerde yüksek aydınlatma ile oluşan fotoinhibisyon sonucunda verimlik düşmektedir. Fakat *Chlorella* sp için uygun ışık yolu uzunluğu 15 cm ile 20 cm arasında değişmektedir. Bu özellik yüksek hacvımlı *Chlorella* sp. kültürlerini kurmak için bize bir avantaj sağlar.

Ülkemiz akuakültür açısından gelişmiş bir ülkedir. Her akuakültür ünitesinde Rotifer için ilk besin olarak *Chlorella* sp. kullanılmaktadır. Bu yüzden yüksek verimlilikte ve düşük maliyetli üretim ince cam panel reaktörlerde yapılabilir. Kültür başlangıcında ortamın hipoklorit ile sterilizasyonundan sonra bu tip reaktörlerde kontaminasyon riskinin olmamasının yanında sterilizasyonun kolayca yapılabilmesi ayrıca bir avantaj yaratır.

Bu reaktörlerin yapımında cam malzemenin kullanılması yüksek kalitede ışık girişine ve reaktör yüzeyinin kolayca aydınlanmasını sağlar. Böylece yüksek yoğunluklu kültürlerde hücrelerin birbirini düzenli bir şekilde gölgelemeleri sağlanır ve yüksek yoğunluklu kültürlerde önemli bir fotosentez limitasyon nedeni olan gölgeleme etkisi en aza indirilir ve daha yüksek fotosentez hızı elde edilir. Ayrıca bu tip reaktörlerde havalandırmanın kolayca idare edilmesi ve kuvvetli bir havalandırma ile kültür ortamında etkili bir karışım sağlanabilir.

Bu tip biyoreaktörler, yapımının basit, malzemesinin (cam) ucuz ve ışık geçirgenliği bakımından yüksek kaliteye sahip olması nedeniyle diğer pahalı fototrofik sistemlere göre tercih edilebilir niteliklere sahiptir.



## 7. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Anderson, D. B. & Eakin, D. E., 1985,** A process for the production of polysaccharides from microalgae. *Biotechnol. Bioeng. Symp.*, 15: 533-547.
- Borowitzka, M.A., & Borowitzka, L.J., 1988,** *Dunaliella*. In: Borowitzka, M.A., Borowitzka, L.J. (eds), *Microalgal Biotechnology*. pp: 27-58 Cambridge University Press, Cambridge,.
- Borowitzka, M.A., 1999,** Commercial production of Microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. *J. of Biotechnology* 70: 313-321.
- Burlew, J.S.Ed., 1953,** *Algal culture from laboratory to pilot plant*. Washington, D.C: Carnegie Institution.
- Büyükışık B., Gökpınar Ş., Parlak H., 1994,** *Chaetoceros affine* ve *Thalassiosira gravida* türlerinin büyüme kinetikleri üzerine araştırmalar. E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi, Seri B, Ek.16/1, 1151-1159, Bornova-İZMİR.
- Cheng-Wu, Z., Zmora, O., Kopel, R. and Richmond, A. 2000,** An Industrial-size flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. (Basımda)
- Gökpınar Ş. 1983,** Observations on the culture of a marine diatom *Phaeodactylum tricorutum* in different nutrient and salinity concentrations. E.Ü.F.F. Dergisi, B6-1:77-86, Bornova-İZMİR

- Gökpınar Ş. 1990**, Mikroalg Kùltürleri: I-Uygulama ve Kullanım Alanları. Ege Univ.,Su Ürünleri Dergisi,7,25-28:46-56, Bornova-İZMİR
- Gökpınar Ş., 1994**, *Nannochloris* sp. BUTCHER (Chlorophyceae)'de İnorganik Azot Kaynaklarını Kullanımı Üzerine Sıcaklık Değişimlerinin Etkisi. E.Ü. Fen Fakùltesi Dergisi, Seri B,Ek.16/1, 1169-1178, Bornova-İZMİR.
- Gökpınar Ş., Carle S. 1987**, Unité de Culture d'Algues Unicellulaires et Techniques de Production.Ege Univ., Fac.of Sci.,Jour., B9.2:41-52.
- Gökpınar, Ş. & Büyükkışık, B., 1994**, Mikroalg Kùltürleri: II. Kùltür Yöntemleri. Su Ürünleri Dergisi Cilt No:11, Sayı:42-43., s:95-105.
- Grobelaar, J. U. & Soeder, C. J., 1985**, Respiration losses in green alga cultivated in raceway ponds. J. Plancton Res., 7: 497-506.
- Hu Q, Richmond, A., 1996**, Productivity and photosynthetic efficiency of *Spirulina platensis* as affected by light intensity, algal density and rate of mixing in a flat plate photobioreactor. J. appl. Phycol. 8: 139-145.
- Hu Q. Zaimi Y., Richmond A., 1998a**, Combined effects of light intensity, light-path and culture density on output rate of *Spirulina platensis* (Cyanobacteria). Eur. J. Phycol. 33: 165-171.

- Hu Q., Faiman, D., Richmond, A., 1998b**, Optimal tilt angles of enclosed reactors for growing photoautotrophic microorganisms outdoors. *J. Ferment. And Bioeng.* 85: 230-236.
- Hu, Q, Guterman, H., Richmond, A., 1996a**, Physiological characteristics of *Spirulina platensis* (Cyanobacteris) cultured at ultrahigh cell densities. *J. Phycol.* 32: 1066-1073.
- Hu, Q., Guteiman, H., Richmond, A., 1996b**, A flat inclined modular photobioreactor for outdoor mass cultiuation of photoautotrophs. *Biotech. & Bioeng.* 51:51-60.
- Hu, Q., Guterman, H., Richmond, A., 1996c**, Physiological Characteristics of *Spirulina platensis* (Cyanobacteria) cultured at ultrahigh cell densities. *J. Phycol.* 32: 1066-1073.
- Hu, Q., Hu Zheng Yu, Cohen, Z., Richmond., 1997**, Enhancement of eicosapentaeoic acid (APA) and &-linolenic acid (GLA) production by maniputating algal density of outdoor cultures of *Monodus subterraneus* (Eustig motophyta) and *Spirulina platensis* (Cyanobacteria). *Eur. J. Phycol.* 32: 81-86.
- Laws, E. A., Taguchi, S., Hirata, J. & Pang, L., 1986**, High algal production rates achieved in a shallow outdoor fume. *Biotechnol. Bioeng.*, 23: 191-197.
- Miyamoto, K., Wable, O. & Benemann, J. R., 1988**, Vertical tubular reactor for microalgae cultivation. *Biotechnol. Lett.*, 10: 703-708.



- Ogbonna, J. C. & Tanaka, H., 1997,** Industrial-size photobioreactors. *CHEMTECH*, 27: 43-49.
- Ogbonna, J. C., Yada, H. & Tanaka, H., 1995a,** Effect of cell movement by random mixing between the surface and bottom of photobioreactors on algal productivity. *J. Ferment. Bioeng.*, 79:152-157.
- Ogbonna, J. C., Yada, H. & Tanaka, H., 1995b,** Kinetic study on light-limited batch cultivation of fotosynthetic cells. *J. Ferment. Bioeng.*, 80: 259-264.
- Ogbonna, J. C., Yada, H. & Tanaka, H., 1995c,** Light supply coefficient – a new engineering parameter for photobioreactor design. *J. Ferment. Bioeng.*, 80: 369-376.
- Ogbonna, J. C., Yada, H. & Tanaka, H., 1996a,** Night biomass loss and changes in biochemical composition of cells during light/dark cyclic culture of *Chlorella pyrenoidosa*. *J. Ferment. Bioeng.*, 82: 558-564
- Ogbonna, J. C., Yada, H., Masui, H. & Tanaka, H., 1996b,** A novel internally illuminated stirred tank photobioreactor for large-scale cultivation of photosynthetic cells. *J. Ferment. Bioeng.*, 82: 61-67.
- Ötleş,S., 1999,** *Chlorella*. Geleceğin Besleyici ve Sağlıklı Gıdası., sayfa 69 Uzer Basım yayın LTD., Ankara.

- Pastorelli R., Cimino S., Fauilli F., Chini Zittelli G., Tredici M.R., 1999**, Cultivation of *Nannochloropsis* sp. In a modular flat panel system: effect of different parameters on productivity and biochemical composition. Abstract of 8<sup>th</sup> International Conference on App.
- Pirt, S. J., Lcc, Y. K., Walach, M. R., Pirt, M. W., Balyuzi, H. M. & Bazin, M. J., 1983**, A tubular bioreactor for photosynthetic production of biomass from carbon dioxide: design and performance. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, 33B: 35-38.
- Pulz, O., Gerbsch, N., Bacholz, R., 1995**, Light energy supply in plate type and light diffusing optical fiber bioreactors. *J. appl. Phycol.* 7: 145-149.
- Richmond, A. & Cheng-Wu, Z., 2000**, Optimization of a flat plate glass reactor for mass production of *Nannochloropsis* sp. outdoors. (Basımda ).
- Richmond, A. & Zou, N., 1999**, Efficient utilisation of high photon irradiance for mass production of photoautotrophic micro-organisms. *Journal of Applied Phycology* 11: 123-127.
- Richmond, A. 1999**, Physiological Principles and Modes of Cultivation in Mass Production of Photoautotrophic Mikroalgae. (Basımda)

- Richmond, A., & Hu, Q., 1997**, Principles for Efficient Utilization of Light for Mass Production of Photoautotrophic Microorganisms. *Appl. Biochemistry and Biotechnology* 65-67: 649-658
- Richmond, A., & Zou, N., 1999**, Efficient utilisation of high photon irradiance for mass production of photoautotrophic micro-organism. *J. of Appl. Phycol* 11: 123-127.
- Richmond, A., (eds) 1986**, Microalgaculture. In: *CRC Critical Reviews in Biotechnology*, 4: 4, 349-438. Boca Roton, Florida, CRC press.
- Richmond, A., 1986**, Handbook of Mikroalgal Mass Culture, pp:528, Boca Raton, FL: CRC Press.
- Richmond, A., 1986a**, Microalgae of Economic Potential. In: Richmond, A., (ed), *Handbook of Microalgal Mass Culture*. pp: 199-244. Boca Roton, Florida, CRC . press.
- Richmond, A., 1986b**, Cell Response to Environmental Factors. In: Richmond, A., (ed), *Handbook of Microalgal Mass Culture*. pp: 69-100. Boca Roton, Florida, CRC . press.
- Richmond, A., 1986c**, Outdoor Mass Cultures of Microalgae In: Richmond, A., (ed), *Handbook of Microalgal Mass Culture*. pp: 285-330. Boca Roton, Florida, CRC . press.
- Richmond, A., 1992**, Open systems for the mass production of photoautotrophic microalgae outdoors: Physiological principles. *Journal of Applied Phycol*. 4: 281-286.

- Richmond, A., 1996**, Efficient utilisation of high irradiance for production of photoautotrophic cell mass: a survey. *J. Appl. Phycol.* 8: 381-387.
- Samon, R., & Leduy, A., 1985**, Multistage continuous cultivation of blue-green alga *Spirulina maxima* in the flat tank photobioreactors with recycle. *Can J. Chem. Eng.* 63, 105-112.
- Sasson, A., 1997**, Microalgal Biotechnologies: Recent Developments and Prospects for Developing Countries. Biotec Publication 1:2542
- Sing, S., Aiad, S., Richmond, A., 2000**, Extracellular polysaccharide production in outdoor mass cultures of *Porphyridium* sp. In flat plate glass reactors. *J. appl. Phycol.* (Basimda)
- Torzillo, G., Carlozzi, P., Pushparaj, B., Montaini, E., & Materassi, R., 1993**, A two-plane tubular photobioreactor for outdoor culture of *Spirulina*. *Biotechnol. Bioeng.*, 42, 891-898.
- Torzillo, G., Sacchi, A. & Materassi, R. & Richmond, A., 1991**, Effect of temperature on yield and night biomass loss in *Spirulina platensis* grown outdoors in tubular photobioreactors. *J. Appl. Phycol.*, 3, 103-109.
- Torzillo, G., Sacchi, A. & Materassi, R., 1991**, Temperature as an important factor affecting productivity and night biomass loss in *Spirulina platensis* grown outdoors in tubular photobioreactors. *Biores. Technol.*, 38, 95-100.

- Tredici, M. R. & Materassi, R., 1992**, From open ponds to vertical alveolar panels: the Italian experience in the development of reactors for mass cultivation of photosynthetic microorganisms. *J. Appl. Phycol.*, 4, 221-231.
- Tredici, M. R., Carlozzi, P., Chini Zitelli, G. & Materassi, R., 1991**, A vertical alveolar panel (VAP) for outdoor mass cultivation of microalgae and cyanobacteria. *Biores. Technol.*, 38, 153-159.
- Vashishta, B.R., 1991**, Botany for degree student. Ram Nagar, New Delhi.
- Vonshak, A., Abeliovich, A.; Boussiba, S.; Arad, S.; Richmond, A. 1982**, Production of *Spirulina* biomass: effects of environmental factors and population density. *Biomass*, 2:175-185.
- Vonshak, A., Chanawongse, L, Bunnag, B, 8, Tanticharoen. N., 1996**, Light acclimation and photoinhibition in three *Spirulina platensis* (Cyanobacteria) isolates. *J. appl. Phycol* 8: 35-40
- Zou, N. & Richmond, A., 1999**, Effect of light-path length in outdoor flat plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis* sp. *Journal of Biotechnology*. 70 : 351-356

**Zou, N., & Richmond, A., 2000, Light-path length and population density in photoacclimation of *Nannochloropsis* sp. (Eustigmatophyceae). (Basimda)**



## ÖZGEÇMİŞ

08.03.1974 yılında Konya'nın Cihanbeyli ilçesinde doğan Yaşar DURMAZ T.C. vatandaşıdır. İlk, orta ve lise öğrenimini Cihanbeyli'de bitirdikten sonra üniversite sınavında Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesini kazandı. 1996 yılında bu fakülteden mezun olduktan sonra aynı yıl Yüksek Lisans eğitimine başladı. 1996-1997 öğretim yılında Ege Üniversitesi Yabancı Diller Bölüm'ünde Hazırlık Eğitimi aldı. 1997 yılının sonunda Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yetiştiricilik Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak girdi halen Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

