

Farklı besin ortamının ve farklı ışık yolu uzunluğunun *Chlorella vulgaris* kültüründe etkisi

The effect of different growth medium and different light path length on the culture of *Chlorella vulgaris*

Yaşar Durmaz*  • Gülçin Temli 

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, 35100 Bornova, İzmir, Turkey

* Corresponding author: yasardurmaz@gmail.com

Received date: 01.02.2018

Accepted date: 29.03.2018

How to cite this paper:

Durmaz, Y. & Temli, G. (2018). The effect of different growth medium and different light path length on the culture of *Chlorella vulgaris*. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(2), 169-174. DOI:10.12714/egejfas.2018.35.2.09

Öz: Bu çalışmada *Chlorella vulgaris* kültürlerinde farklı ortamların ve farklı ışık yolu uzunluğuna sahip olan panel fotobiyoreaktörlerin etkileri incelenmiştir. Jaworski besin ortamında hızlı bir hücre artışı tespit edilmiştir ($60,8 \times 10^6$ hücre mL^{-1}). F/2 besin ortamında ise 11. günde hücre sayısı $1,37 \times 10^6$ hücre mL^{-1} olarak kayıt edilmiştir. Jaworski ve F/2 besin ortamlarında yetişen kültürlerin kuru ağırlık değeri 11. gün sonunda $0,46 \text{ gL}^{-1}$, $0,13 \text{ gL}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Cam panel biyoreaktör denemelerinde en yüksek hücre sayısına 31. günde 1 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörde ulaşılmıştır (230×10^6 hücre mL^{-1}). Fakat 3 cm ve 5 cm ışık yoluna sahip biyoreaktörlerde ise en yüksek hücre sayısı olduğu değer 90×10^6 hücre mL^{-1} olarak tespit edilmiştir. 1, 3 ve 5 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktörlerde maksimum kuru ağırlık değerleri ise sırasıyla $3,6 \text{ gL}^{-1}$, $2,8 \text{ gL}^{-1}$ ve $2,4 \text{ gL}^{-1}$ olarak tespit edilmiştir. Panellerde yapılan *Chlorella vulgaris* kültürlerin klorofil a değerleri zamanla düştüğü tespit edilmiştir. Aynı zamanda yapılan denemede büyüme oranları ile klorofil a değerlerinin ters orantılı olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Chlorella vulgaris*, mikroalg, ışık, ışık yolu uzunluğu, besin ortamı, pigment

Abstract: In this study, the effects of panel photobioreactors with different nutrient mediums and different light path lengths on *Chlorella vulgaris* cultures were investigated. Rapid cell growth was detected in the Jaworski nutrient medium (60.8×10^6 cells mL^{-1}). In the F / 2 nutrient medium, the cell number was recorded as 1.37×10^6 cells mL^{-1} on the 11th day. Dry weight of cultures grown in Jaworski and F / 2 nutrient media were measured as 0.46 gL^{-1} and 0.13 gL^{-1} at the end of 11 days, respectively. At the experiments in glass panel bioreactor, the highest cell number was found on the 31st day (230×10^6 cells mL^{-1}) in a bioreactor with 1 cm light path length. Whereas, the highest cell numbers was found as 90×10^6 cells mL^{-1} in glass panel bioreactors with 3 cm and 5 cm light path length. The maximum dry weights for bioreactors with 1, 3 and 5 cm light path lengths were determined as 3.6 gL^{-1} , 2.8 gL^{-1} and 2.4 gL^{-1} , respectively. It was also determined that chlorophyll a values of *Chlorella vulgaris* on the panels bioreactors decreased over time. Moreover, the inversely proportion between growth rates and the chlorophyll-a values was observed.

Keywords: *Chlorella vulgaris*, microalgae, light, light path length, nutrient medium, pigment

GİRİŞ

Mikroalgler, özellikle kabuklu su canlılarının ve bazı balık larvalarının ilk besinini oluştururlar. Bu nedenle balık beslemede kullanılan rotifer, cladocera ve copepod besini olarak akuakültürde büyük önem taşımaktadır. Tek hücreli mikroalglerin birçoğu gıda sektöründe değerlendirilir ve içerdikleri pigment maddeleri, antibiyotikler, vitaminler nedeniyle tıp, eczacılık alanlarında ve kozmetik ürünlerinde katkı maddesi olarak kullanılırlar. Aynı zamanda insan ve hayvan gıdası olarak değerlendirilirler. Bu nedenle mikroalgler yapılarındaki zengin protein, vitamin, yağ asitleri, mineraller, pigmentler ve değerli hücresel metabolitler nedeniyle ülkemizde ve dünyada yoğun olarak çalışılan organizmalardır.

Mikroalgler sucul sistemlerin ilk biyolojik karbondioksit-

oksijen dönüştürücüleridir. Mikroalgler biyoteknolojinin gelecekteki en önemli kaynağıdır. Bu özelliklerinden dolayı, mikroalg üretiminde güvenli, uygun bir üretim sisteminin seçilmesi gerekmektedir (Borowitzka, 1992; Pulz, 2001).

Algal biyoteknolojideki gelişmelere rağmen mikroalg türlerinin kültürlerinde çeşitli güçlüklerle karşılaşmaktadır. Mikroalg kültürlerinde biyomas artışı, biyomasın biyokimyasal kompozisyonu ve yağ asitleri değerleri, çevresel faktörler, besin ortamı, sıcaklık, tuzluluk, pH ve ışık gibi büyüme koşullarına bağlıdır (Sukeni, 1991; Cohen vd., 1988; Brown vd., 1989).

Fotobiyoreaktör tasarımları hem bilimsel hem de ekonomik açıdan önemlidir. Fotobiyoreaktör tasarımlarında amaç; yüksek seviyeli ışık kaynağının kullanılmasıyla kültür sistemlerinin

yapılandırılmasıdır (Richmond, 1986).

Bu çalışma kapsamında, farklı besin ortamlarının ve farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel fotobiyoreaktörlerin ticari değere sahip *Chlorella vulgaris*'in büyümesine etkisi incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Kültür Şartları

Araştırmada kullanılan *Chlorella vulgaris* Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'nden temin edilmiştir. *C. vulgaris* kültürlerinde, F/2 (Guillard, 1975) ve Jaworski (JM) (Tompkins vd., 1995) olmak üzere iki farklı besin ortamı kullanılmıştır.

Hazırlanan stok solüsyonlar, kültür ortamları, kullanılan malzemeler otoklavda (ALP CL-32S & L) 121°C' de buhar basıncı altında 15 dakika bekletilerek steril hale getirilmiştir.

Denemeye başlamadan önce stok kültür oluşturmak amacı ile *C. vulgaris* ilk olarak 500 mL'lik erlenlere tatlı suya ortam zenginleştirilmesi yapıp aşılanmıştır. Kültürler 20±3°C sıcaklıkta, havalandırma ile karıştırılmıştır. Sürekli aydınlatma olacak şekilde 2400 lüks ışık şiddeti sağlayacak şekilde floresan lamba (Osram L 36W/L765, Almanya) kullanılmıştır.

C. vulgaris'in farklı ışık yolu uzunluğuna sahip cam panel fotobiyoreaktör denemelerinde 24 cm genişlikte, 52 cm yükseklikte ve 1, 3, 5 cm eninde fotobiyoreaktörler kullanılmıştır. Panel fotobiyoreaktörlerin hacimleri sırasıyla; 1,05 L, 3,00 L ve 5,00 L'dir.

Deneme Planı

Denemeler E.Ü Su Ürünleri Fakültesi Urla Tesisleri Plankton Laboratuvarı'nda sürdürülmüştür. *C. vulgaris*'in kültüründe JM ve F/2 besin ortamları ile farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel fotobiyoreaktörlerde büyümesine olan etkilerin incelenmesi amacıyla yapılmış olan denemeler iki aşamada yürütülmüş olup, tüm denemeler 3 tekrarlı olacak şekilde tamamlanmıştır.

Araştırmanın ilk bölümünde *C. vulgaris*'in iki farklı ortamda büyümesi incelenmiştir. Optik yoğunluk değeri 0,202 olan *C. vulgaris* kültürü 6 adet 1 litre'lik erlene; 400 mL saf su ve 100 mL alg kültürü miktarında aşılanmıştır. 3 adet erlene F/2 ortamı diğer 3 adet erlene ise JM besin ortamı eklenmiştir.

Araştırmanın ikinci bölümünde *C. vulgaris* farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel fotobiyoreaktörlerde kültüre alınmıştır (Şekil 1). Optik yoğunluk değeri 0,033 olan *C. vulgaris* kültürü cam panel sistemlere aşılanmıştır. Denemede JM besin ortamı kullanılmıştır.

Analiz

Hücre sayımı Neubauer haemacytometer ile ışık mikroskobu (Nikon, Japonya) kullanılarak yapılmıştır.

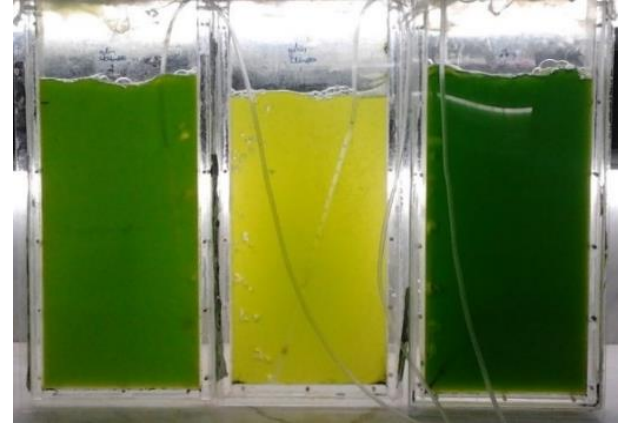
Spesifik büyüme hızı aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır. Formüllerdeki X_2 ve X_1 sırası ile t_2 ve t_1

zamanlarındaki biyomas kuru ağırlığını belirtir (Durmaz ve Bandarra, 2017).

$$\mu = \frac{\ln(X_2) - \ln(X_1)}{t_2 - t_1}$$

Kuru ağırlık için; filtre kağıtları 60 °C'de kurutuldu. Kurutulan 0,45 µ göz açıklığındaki Whatman GF/C filtre kağıtlarının 0,0001g duyarlı hassas terazi (Sartorius GC8035 – OCE) ile darası alındı. Kültürlerden alınan 1 mL örnek filtre kağıtları kullanılarak süzüldü. Örneklerin süzüldeği filtre kağıtları 105 °C'de 3-4 saat boyunca etüvde (MMM Medcenter Ecocell) kurutuldu. Daha sonra kurutulan filtre kağıtları hassas terazi ile ağırlık ölçümleri yapılarak litredeki kuru ağırlık değerleri gram cinsinden hesaplandı (Uslu vd., 2014)

Optik yoğunluk ölçümleri için 1 mL örnek alınıp, 1/10 oranında seyreltilmiştir. Cam küvetlerde 450 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Boeco, S-20) ölçümler okunmuştur (Durmaz, 2000).



Şekil 1. Farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel fotobiyoreaktörlerde *Chlorella vulgaris* kültürleri

Figure 1. The culture of *Chlorella vulgaris* in panel photobioreactors with different light path lengths

Klorofil a analizi için her kültürden 5 mL örnek alınarak 3500 rpm' de (Nüve CN-180) çöktürüldü. Üstündeki berrak kısımları atıldı ve örnekler cam tozu (600 mikron) eklendi. 1 dakika boyunca buzda bekletilen örnekler vortex (Heidolph Reax top vortex) ile 30 saniye boyunca karıştırıldı. Bu işlem 3 kere tekrarlandı. Örneklerin üzerine 5 mL metanol (Merck %100, Almanya) eklendi ve vortex ile 30 saniye karıştırıldı. Tekrar santrifüje konulan örnekler, santrifüjden alındıktan sonra üstlerindeki sıvı kısım ayrı tüplere alındı ve metanol ile kalibre edilen spektrofotometrede 666 nm'de ölçüldü. Aşağıda verilen formül ile klorofil a miktarları tespit edildi.

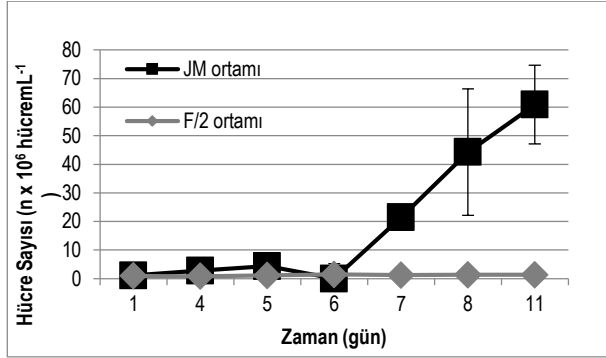
$$Chl_a = OD_{666} \times 13,9 \text{ (Sanchez vd., 2005)}$$

Veriler Kolmogorow-Smirnow testi ile normal dağılışa uygun olup olmadığı kontrol edildikten sonra parametrik testlerden Anova (tek yönlü varyans analizi) testi uygulandı. Gruplar arasında farklılık olup olmadığını ve farklılığın nerede olduğunu tespit edebilmek için Tukey testi uygulandı (Zar,

1999). İstatistik analizler için Graphpad Prism Software for Windows (ver 4.0) programları kullanıldı.

BULGULAR

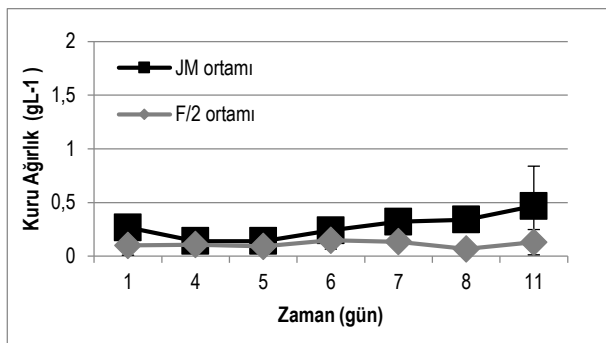
İlk denemede JM ve F/2 besin ortamlarının *C. vulgaris* kültüründe büyümeye etkisi araştırılmıştır. Bu denemeler 11 gün sürmüştür. JM besin ortamına ekilen kültür grubu hızlı bir büyüme grafiği gösterirken, F/2 besin ortamına ekilen kültür grubunda büyüme görülmemiştir. Hücre yoğunluğu JM besin ortamında kültüre alınan grupta 11. günde $60,8 \times 10^6$ hücre mL^{-1} 'e ulaşmıştır ($p < 0,05$). F/2 besin ortamında yetişen kültür grubu ise 11. günde $1,37 \times 10^6$ hücre mL^{-1} 'e ulaşmıştır (Şekil 2). JM besin ortamında yetişen kültürlerin hücre sayısındaki artış 6. günden itibaren 11. güne kadar devam ettiği tespit edilmiştir. F/2 besin ortamında yetişen kültürlerin hücre sayısı deneme süresi boyunca artmadığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. *Chlorella vulgaris*'in farklı besin ortamlardaki (JM ve F/2) hücre sayıları

Figure 2. The cell number of *Chlorella vulgaris* in different nutrient medium (JM and F/2)

JM besin ortamında yetişen kültürlerin kuru ağırlık değeri 11. gün sonunda $0,46 \text{ gL}^{-1}$ e ulaşmıştır ($p < 0,05$). F/2 besin ortamında yetiştirilen kültürler 1. günde $0,1 \text{ gL}^{-1}$ den 4. günde $0,14 \text{ gL}^{-1}$ e yükselmiş fakat 11. günde $0,13 \text{ gL}^{-1}$ e düştüğü tespit edilmiştir (Şekil 3).

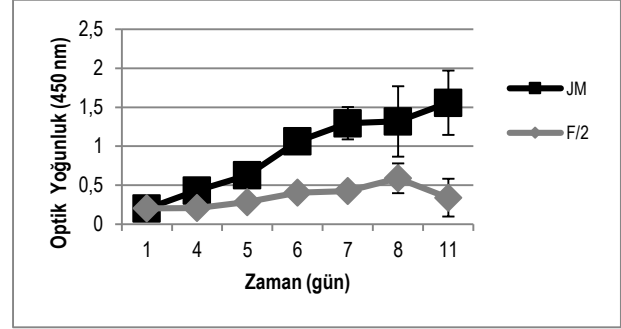


Şekil 3. *Chlorella vulgaris*'in farklı besin ortamlardaki kuru ağırlık değerleri

Figure 3. The dry weight values of *Chlorella vulgaris* in different nutrient medium

Optik yoğunluk değerlerine göre JM besin ortamında yetiştirilen kültürlerin artan bir büyüme eğrisine sahip olduğu

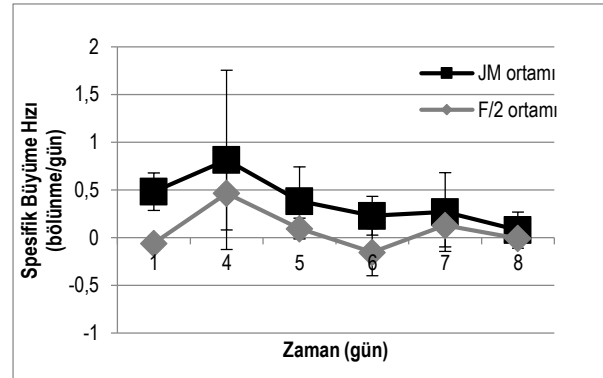
görülmektedir. F/2 besin ortamında yetiştirilen kültürlerde ise büyüme görülmemiştir ve optik yoğunluk değerleri değişmemiştir. JM ve F/2 besin ortamlarında yetiştirilen kültürlerin 11. günde en yüksek optik yoğunluk değerleri sırasıyla 1,55 ve 0,34 olduğu saptanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. *Chlorella vulgaris* in farklı besin ortamlardaki optik yoğunluk değerleri

Figure 4. The optical density of *Chlorella vulgaris* in different nutrient medium

Spesifik büyüme hızı (Şekil 5) JM besin ortamında yetiştirilen kültürlerde 4. günde 0,81 bölünme/gün elde edilmiştir.

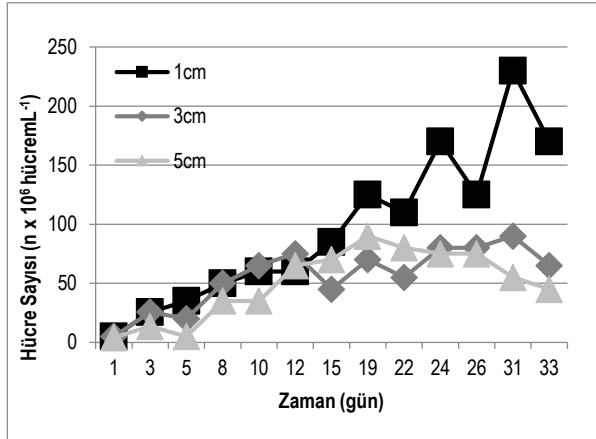


Şekil 5. *Chlorella vulgaris*'in farklı besin ortamlardaki spesifik büyüme hızı

Figure 5. The specific growth rate of *Chlorella vulgaris* in different nutrient medium

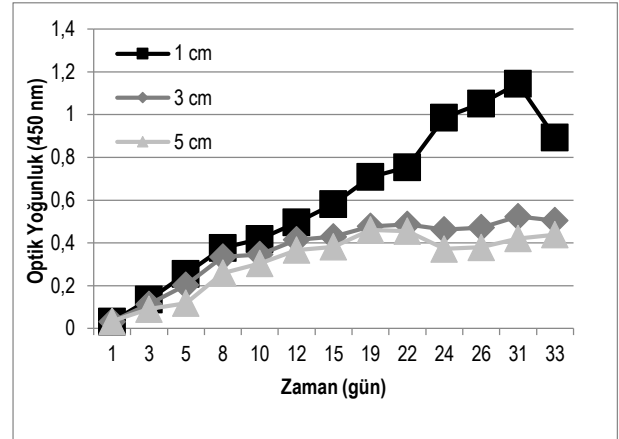
İkinci denemede 1, 3, 5 cm ışık yolu uzunluğuna sahip panel reaktörlerin *C. vulgaris* kültürlerinde büyümeye etkisi araştırılmıştır. Bu denemeler ise 33 gün sürmüştür. Aynı hücre yoğunluğuna ($4,67 \times 10^6$ hücre mL^{-1}) ve aynı optik yoğunluğa sahip (0,033) kültürlerin cam panel sistemlere ekimleri yapılmıştır.

En yüksek hücre sayısına 31. günde 1 cm'lik panelde ulaşılmıştır. Hücre sayısı 230×10^6 hücre mL^{-1} 'e çıkmıştır ($p < 0,05$). 3 cm'lik panelde ise hücre sayısı en yüksek olduğu değer 31. günde 90×10^6 hücre mL^{-1} 'e, 5 cm'lik panelde ise hücre sayısı en yüksek 19. günde 90×10^6 hücre mL^{-1} 'e ulaşmıştır (Şekil 6). 3 cm ve 5 cm ışık yoluna sahip biyoreaktörlerde hücre sayıları arasında istatistiki olarak fark olmadığı tespit edilmiştir ($p > 0,05$)



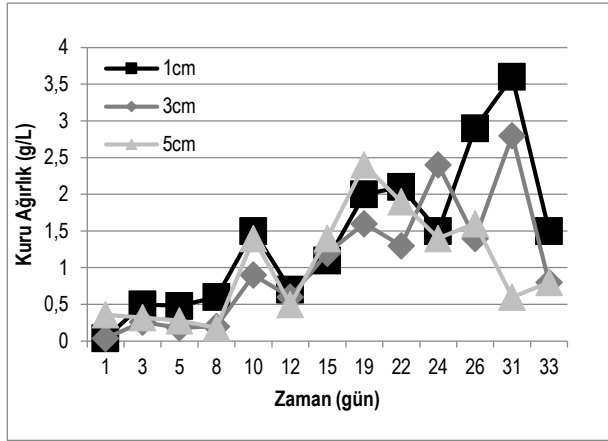
Şekil 6. *Chlorella vulgaris*' in farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel fotobiyoreaktörlerde hücre sayıları (1 cm, 3 cm ve 5 cm)

Figure 6. The cell number of *Chlorella vulgaris* in panel photobioreactors with different light path length (1 cm, 3 cm and 5 cm)



Şekil 8. *Chlorella vulgaris*'in farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel biyoreaktörlerde optik yoğunluk değerleri

Figure 8. Optical density values of *Chlorella vulgaris* in panel bioreactors with different light path lengths



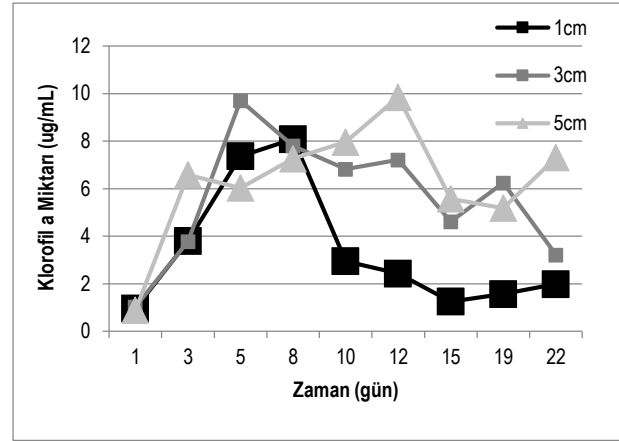
Şekil 7. *Chlorella vulgaris*'in farklı ışık yolu uzunluğuna sahip panel biyoreaktörlerde Kuru Ağırlık Değerleri

Figure 7. Dry weight of *Chlorella vulgaris* in panel bioreactors with different light lengths

Kuru ağırlık değerleri (Şekil 7) ise 1 cm'lik panelde büyümenin en yüksek olduğu 31. günde $3,6 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($p < 0,05$), 3 cm'lik panelde büyümenin en yüksek olduğu 31. günde $2,8 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($p > 0,05$) ve 5 cm'lik panelde büyümenin maksimum olduğu 19. günde $2,4 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ($p > 0,05$) olarak tespit edilmiştir.

Optik yoğunluk değerleri (Şekil 8) ilk 8 günde aynı oranda arttığı gözlenmiştir. 8. günden sonra 1 cm'lik cam panelde optik yoğunluk artışı gözlenmiştir. 3 cm'lik ve 5 cm'lik cam panellerde ise optik yoğunluk değerinin yaklaşık olarak aynı oranda arttığı saptanmıştır.

Panellerde yapılan kültürlerin klorofil a değerleri zamanla düştüğü tespit edilmiştir. Yapılan denemede büyüme oranları ile klorofil a değerlerinin ters orantılı olduğu gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. *Chlorella vulgaris*'in farklı ışık yolu uzunluğuna (1 cm, 3 cm ve 5 cm) sahip panel biyoreaktörlerde klorofil a değerleri

Figure 9. Chlorophyll a values of *Chlorella vulgaris* in panel bioreactors of different light path lengths (1 cm, 3 cm and 5 cm)

TARTIŞMA VE SONUÇ

Fototrofik kültür sistemlerinde kültüre alınan tür ile optimal büyüme hızı elde etmek için, kullanılan besin ortamı, kullanılan sistemin yüzey alanı ve materyali ve ışığın su kolonunda aldığı yol, nüfuz etme gücü biyoması etkiler.

Özellikle fototrof olarak üretilmek istenen mikroalg kültürlerinde ışık önemli bir parametredir. Bu yüzden fotobiyoreaktör tasarımlarında ışıktan verim çok önemlidir. Işıktan yeteri kadar verim alabilmek için kullanılan materyalin yüzey alanı, yani fotobiyoreaktörün ışığı aldığı açı önemlidir. Zijffers vd., (2008)'e göre reaktörün güneş ışığını veya herhangi bir ışık kaynağını en verimli şekilde alması önemlidir. Ayrıca biyoreaktör tasarımlarında, ışığın fotosentetik verimlilik açısından reaktörün yüzey alanı göz önünde bulundurulmasını gerektirir. Genelde iyi bir ışık enerjisi dağılımı için düz ve

dikdörtgen şekilli sistemler veya doğrusal ve silindirik şekilli sistemlerin kullanılmasını önermişlerdir. Doğrusal ve silindirik sistemler ışığı odaklaması bakımından verimli olabilmektedir (Richmond, 1986; Zou ve Richmond, 1999; Durmaz ve Erbil, 2017).

Durmaz, (2000) yaptığı çalışmada *Chlorella sp.*'nin farklı ışık yolu uzunluğu (10 cm, 15 cm ve 20 cm) olan reaktörlerde laboratuvar dışında doğal aydınlık/karanlık periyotlarda büyümesini araştırmıştır. Kullanılan reaktörler cam panel şeklindedir ve aydınlatmada güneş ışığı kullanılmıştır. Farklı ışık yolu uzunluğu olan reaktörlerde hücrelerin ışık adaptasyonu, 10 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörlerde 7 gün, 15 cm ve 20 cm ışık yolu uzunluğu olan biyoreaktörlerde ise 5 gün sürmüştür. Denemelerde kullanılan biyoreaktörler arasında daha kolay ısınan ve en düşük hacime sahip olan 10 cm ışık yolu uzunluğuna sahip biyoreaktördür. Kolay soğuması ise bu ışık yolu uzunluğu için dezavantajdır. Dışarıda üretim yapılabilmesi için reaktör hacmi sıcaklık açısından önemlidir. Güneş ışığı kullanılarak üretim yapılan reaktörlerde sabah ve akşam saatleri arasında ışık şiddeti (400 – 1400 ft cd) değişmektedir. Bu aydınlatma ile *Chlorella sp.* üretiminde 20 cm'lik fotobiyoreaktörlerde en yüksek $49,5 \times 10^6$ hücre mL⁻¹ yoğunluğuna ulaşmıştır. 15 cm'lik panelde en yüksek 49×10^6 hücre mL⁻¹ ve 10 cm'lik panelde ise $36,5 \times 10^6$ hücre mL⁻¹ hücre yoğunluğuna ulaşmıştır. Yapılan çalışmada ışık yolu uzunluğunun kültüre alınan türe göre ayarlanması gerektiği belirtilmiştir. 15 cm ve 20 cm'lik panellerde spesifik büyüme hızının yüksek olduğu belirtilmiştir. Işık yolu uzunlukları farklı olan cam panellerde yapılan mikroalg kültüründe güneş ışığı şiddeti ve süresi önemli olduğu vurgulanmış ve tür için uygun ışık yolu uzunluğunun tespiti, verimlilik açısından önemli olduğu belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmada ise, *C. vulgaris*, 1, 3, 5 cm'lik ışık yolu uzunluğuna sahip cam panellerde yetiştirilmiştir. Üretim 33 gün sürmüştür. İlk 8 günde aynı oranda büyüme gözlenmiştir. 1 cm'lik panelde en yüksek hücre sayısına 31. günde, 230×10^6 hücre mL⁻¹ ulaşmıştır. 3 cm'lik panelde en yüksek üretim 31. günde 90×10^6 hücre mL⁻¹'e ve 5 cm'lik panelde ise hücre sayısı en yüksek 19. günde 90×10^6 hücre mL⁻¹'e ulaşmıştır.

Degen vd., (2001) yaptığı çalışmada *Chlorella sp.*'nin panellerde büyümesini incelemiştir. Bu çalışmada ışığın etkisi araştırılmıştır. Kuru ağırlık değerleri 0,11 gL⁻¹ gün, maksimum üretim ise 1,95 gL⁻¹ bulunmuştur. Bu çalışmada ise 1 cm'lik ışık yolu uzunluğuna sahip panellerde *C. vulgaris*'in hücre yoğunluğu daha fazla olmasına rağmen, en yüksek spesifik büyüme hızı 3. günde (0,719 bölünme/gün) elde edilmiştir. Kuru

ağırlık değerleri 1 cm'lik panelde 31. günde 3,6 gL⁻¹, 3 cm'lik panelde 31. günde 2,8 gL⁻¹ ve 5 cm'lik panelde 19. günde 2,4 gL⁻¹'ye ulaşmıştır. Akuakültürde amaç birim alandan daha fazla algal biyomas elde edilmesidir. 3 cm'lik ve 5 cm'lik cam panellerde büyüme oranının değişmediği gözlenmiştir.

Zou vd., (1999) *Nannochloropsis sp.* türü ile laboratuvar şartlarında 1 cm ve 3 cm ışık yolu uzunluğunda ve laboratuvar dışında ise 1,3 cm'den başlayarak 17 cm ışık yolu uzunluğu olan cam panel reaktörler kullanarak denemeler yapmışlardır. İlk denemelerinde aydınlatma başlangıçta 150 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ışık şiddeti kullanmışlardır ve daha sonra ışık 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 maruz kalan hücrelerin klorofil içeriği keskin bir şekilde düştüğü gözlenmiştir. Fakat 7 gün sonra yüksek aydınlatmada (2000 ve 3000 $\mu\text{E m}^{-2}\text{s}^{-1}$) ışığa uyumun başlaması ile birlikte klorofil konsantrasyonunda da bir artış olmuştur. Düşük hücre yoğunluğunda, hücreler yüksek ışık şiddetine maruz bırakılınca 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.

Yapılan bu tezde ise 1, 3, 5 cm'lik ışık yolu uzunluğuna sahip ince panellerde yetiştirilen *C. vulgaris* kültürlerinde klorofil değerleri incelenmiştir. Deneme boyunca yüksek ışığa (2400 lüx) maruz kalan kültürlerde klorofil a oranları düştüğü gözlenmiştir. İlk 8 günde büyüme ile doğru orantılı olarak artan klorofil a değeri ışık stresi ile birlikte düşmüştür.

Bu çalışmada farklı fotobiyoreaktörlerin *C. vulgaris*'in büyümesine etkisi araştırılmıştır. *C. vulgaris*'in üretimi için JM besin ortamı, F/2 besin ortamına göre daha verimli bir üretim sağlamaktadır. Yetiştiricilik çalışmalarında JM besin ortamı kullanılması tavsiye edilmektedir. *C. vulgaris*'in üretimi için ışık çok önemlidir. Yüzey alanı bakımından ışıktan yüksek derecede verim alınabilen panel sistemlerde *C. vulgaris*'in yetiştiriciliğinin yapılması uygun görülmektedir. Yetiştirilmesi planlanan *C. vulgaris*'in yüksek ışık ile birlikte strese girdiği ve stresle birlikte bünyesinde biriktirdiği pigment miktarlarında değişim gözlenmiştir ve ileride yapılacak araştırmalarda pigment yapısında oluşabilecek değişimlerin izlenmesi önerilmektedir.

KAYNAKÇA

- Borowitzka, M.A. (1992). Algal biotechnology products and processes matching science and economics, *Journal of Applied Phycology* 4, 267-279. DOI: [10.1007/BF02161212](https://doi.org/10.1007/BF02161212)
- Brown, M.R., Jeffrey, S.W. & Garland, C.D. (1989). Nutritional aspects of microalgae used in mariculture: a literature review. *CSIRO Marine Laboratories press* 0725-4598, no: 205.

- Cohen, Z., Vonshak, A. & Richmond, A. (1988). Effect of environmental conditions on fatty acid composition of the red alga *Porphyridium cruentum*: correlation to growth rate. *Journal of Phycology*, 24(3), 328-332. DOI: [10.1111/j.1529-8817.1988.tb04474.x](https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1988.tb04474.x)
- Degen, J., Uebele, A., Retze, A., Schmidt-Staiger, U. & Trosch, W. (2001). A novel airlift photobioreactor with baffles for improved light utilization

- through the flashing light effect, *Journal of Biotechnology*, 92, 89–94. DOI: [10.1016/S0168-1656\(01\)00350-9](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(01)00350-9)
- Durmaz, Y. (2000). *Chlorella sp.*'nin ince cam panel biyoreaktörlerde üretiminde ışığın etkisi üzerine bir araştırma, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, Bornova İzmir.
- Durmaz, Y., & Bandarra, N. M. (2017). Fatty Acids And Pigments Content Of *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) Culture At Bag Systems Using Different Nitrogen Sources And Concentration In Medium. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(8), 5289-5294.
- Durmaz, Y & Erbil, G.Ç. (2017). Performance of industrial-scale tubular photobioreactor in marine hatchery. *Journal of Applied Phycology*. DOI: [10.1007/s10811-017-1202-7](https://doi.org/10.1007/s10811-017-1202-7)
- Guillard, R.R.L. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrate. In: Smith, W.L., Chanley, M.H. (Eds.), *Culture of Marine Invertebrates Animals*. Plenum, New York.
- Pulz, O. (2001). Photobioreaktors; Production Systems For Phototrophic Microorganisms. Igv Institute For Cereal Processing, *Arthur- Scheuenerd-Alle, Bergholz- Rehbrücke*, 40/41: Germany.
- Richmond, A. (1986). Handbook Of Microalgal Mass Culture, FL: *CRC Press*, Boca Raton.
- Sánchez, M. D., Mantell, C., Rodriguez, M., de La Ossa, E. M., Lubián, L. M., & Montero, O. (2005). Supercritical fluid extraction of carotenoids and chlorophyll a from *Nannochloropsis gaditana*, *Journal of Food Engineering*, 66(2), 245-251. DOI: [10.1016/j.foodeng.2004.03.021](https://doi.org/10.1016/j.foodeng.2004.03.021)
- Sukenik, A. (1991). Ecophysiological considerations in the optimization of eicosapentaenoic acid production by *Nannochloropsis sp.* (Eustigmatophyceae). *Bioresource Technology*, 35, 263–269. DOI: [10.1016/0960-8524\(91\)90123-2](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90123-2)
- Tompkins, J., Deville, M. M., Day, J. G. & Turner, M.F. (1995). The culture collection of algae and protozoa. Ambleside: Institute of Freshwater Ecology, *Culture collection of algae and protozoa*. Catalogue of strains; p. 204.
- Uslu, L., Ak, B., Işık, O & Durmaz, Y. (2014) Effect of light path length and nitrogen deficiency on the biochemical composition of *Phaeodactylum tricomutum*. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23(6), 1309-1313.
- Zar, J.H. (1999). *Biostatistical Analysis*. Upper Saddle River, Prentice Hall, New Jersey. 4th Edition. cap 12, USA. 231-272.
- Zijffers, JWF., Janssen, M., Tramper, J. & Wijffels, RH. (2008). Design process of an area-efficient photobioreactor. *Marine Biotechnology*, 10, 404–415. DOI: [10.1007/s10126-007-9077-2](https://doi.org/10.1007/s10126-007-9077-2)
- Zou, N. & Richmond, A. (1999). Effect of light- path length in outdoor flate plate reactors on output rate of cell mass and of EPA in *Nannochloropsis sp.*, *Journal of Biotechnology*, 70, 351-356. DOI: [10.1016/S0168-1656\(99\)00087-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1656(99)00087-5)