

İzmir Körfezi'nden izole edilen *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. Lewin, 1964 türünün büyümesi üzerine ışık, sıcaklık, nütrient ve tuzluluğun etkileri

Effects of light, temperature, nutrients and salinity on the growth of *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. Lewin, 1964 species isolated from Izmir Bay

Merve Betül Üstün^{1*} • Hasan Baha Büyükişik²

¹Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

<https://orcid.org/0000-0002-8077-406X>

²Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, 35100, İzmir, Türkiye

<https://orcid.org/0000-0002-5855-4300>

Corresponding author: mbustun@windowslive.com

Received date: 27.05.2019

Accepted date: 13.12.2019

How to cite this paper:

Üstün, M.B. & Büyükişik, H.B. (2020). Effects of light, temperature, nutrients and salinity on the growth of *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. Lewin, 1964 species isolated from Izmir Bay. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(2), 157-166. DOI: [10.12714/egejfas.37.2.06](https://doi.org/10.12714/egejfas.37.2.06)

Öz: *Cylindrotheca closterium* özellikle ilkbahar ve yaz mevsimlerinde İzmir Körfezi ve Ege Denizi'nde baskın olan diatom türlerinden biridir. Bu çalışmada *C. closterium* türünün farklı sıcaklık, ışık şiddeti, nütrient konsantrasyonları ve tuzluluklar altındaki büyüme kinetikleri üzerine çalışılmıştır. Öncelikle sıcaklık-ışık deneyleri yapılmış ve türün optimum sıcaklığı 18°C olarak belirlenmiştir. 18°C'de maksimum spesifik büyüme hızı $\mu_{max} = 1.97 \pm 0.17$ gün⁻¹ ve yarı doygunluk sabiti $K_i = 0.05 \pm 0.03$ olarak elde edilmiştir. Daha sonra, optimum sıcaklıkta 0,9, 0,88, 0,74, 0,46, 0,2 ve, 0,07 *100 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ olmak üzere altı farklı ışık şiddetinin, % 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 olmak üzere yedi farklı tuzluluğun *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme hızı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Optimum olarak belirlenen % 15 tuzlulukta spesifik büyüme hızı 2,012 gün⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Farklı amonyum (NH₄⁺), nitrat (NO₃⁻), reaktif fosfat (RP) ve reaktif silis (RSi) konsantrasyonlarından yarı kesikli kültür denemesiyle ölçülen Chl a değerlerinden bulunan üstel büyüme hızları ve tekabül eden nütrient konsantrasyonlarından elde edilen istatistiksel olarak (p<0,05) geçerli Monod denkleminin ($\mu = \mu_{max} * S / (K_s + S)$) parametrelerinden biri olan μ_{max} değerleri sırasıyla 2,48±0,61 gün⁻¹, 1,92 ±0,3 gün⁻¹, 2,1± 0,05 gün⁻¹ ve 1,97± 0,2 gün⁻¹'dir. Her bir nütrient için bulunan Monod denkleminin diğer parametreleri (K_s) sırasıyla 17,84±14,4 $\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$, 27,3± 19,04 $\mu\text{M NO}_3^-\text{-N}$, 0,25±0,04 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ ve 0,3±0,24 $\mu\text{M Si}$ 'dir. Küresel ısınmanın sonucu olarak 2100 yılında sıcaklıkların 6 °C artması beklenmektedir (Hallegraeff, 2010). Bu senaryo göz önünde bulundurularak İzmir Körfezi'nde *Cylindrotheca closterium*'un büyüme hızı üzerindeki etkileri hesaplanmıştır. Sunlu vd. (2007) tarafından yapılan bir çalışmada İzmir Körfezi'nde 52 hafta boyunca azotun büyümeyi sınırlayan tek bileşen olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, türün bu süre boyunca büyüme hızı 1,5 gün⁻¹'in altına düşmemiştir.

Anahtar kelimeler: Işık, sıcaklık, tuzluluk, nütrient, *Cylindrotheca closterium*, İzmir Körfezi

Abstract: *Cylindrotheca closterium* is one of the diatom species that is dominant particularly in spring and summer in Izmir Bay and Aegean Sea. In this study, growth kinetics of *Cylindrotheca closterium* have been studied under different temperature, light intensity, nutrient concentrations and salinity conditions. Initially, temperature-light experiments were carried out and optimum temperature is determined to be 18 °C for this species. Obtained results at 18 °C are $\mu_{max} = 1.97 \pm 0.167$ d⁻¹ for the maximum specific growth rate and $K_i = 0.048 \pm 0.028$ for the half saturation constant. Then, six light intensities (0.9, 0.88, 0.74, 0.46, 0.2, 0.07 *100 $\mu\text{mol photon/m}^2\text{s}$) and seven salinity concentrations (5, 10, 15, 20, 25, 30 and 35 ‰) were investigated on the growth rate of *Cylindrotheca closterium* under optimum temperature. The specific growth rate has been calculated to be 2.012 d⁻¹ at 15 ‰ salinity which is determined to be the optimum concentration. Exponential growth rates are obtained in semi-batch culture by measuring Chl a values and corresponded nutrient concentrations which are statistically valid (p<0,05) in regard to Monod equation ($\mu = \mu_{max} * S / (K_s + S)$) and μ_{max} values, a parameter of Monod equation, are calculated for different concentrations of ammonium, nitrate, reactive phosphate and reactive silica are 2.48±0.61 d⁻¹, 1.92 ±0.3 d⁻¹, 2.1± 0.05 d⁻¹ and 1.97± 0.20 d⁻¹, respectively. K_s values, which are another parameter of Monod equation, that are obtained for each nutrient are 17.84±14.4 $\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$, 27.3± 19.04 $\mu\text{M NO}_3^-\text{-N}$, 0.25±0.04 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ and 0.3±0.24 $\mu\text{M Si}$, respectively. As a result of global warming, temperature is expected to be risen 6 °C in 2100 (Hallegraeff, 2010). The impacts of this increase on the growth rate of *Cylindrotheca closterium* species in Izmir Bay is calculated, considering this scenario. Nitrogen is determined to be the only restricting compound that inhibits growth during 52 weeks by a study that is conducted by Sunlu vd., (2007). Consequently, the growth rate of the species didn't decline under 1.5 d⁻¹ during this period of time.

Keywords: Light, temperature, salinity, nutrient, *Cylindrotheca closterium*, Izmir Bay

GİRİŞ

Endüstriyel devrim sonrası atmosferdeki sera gazı miktarı artmaya başlamıştır ve halen artmaya devam etmektedir. Küresel ortalama sıcaklık son 30 yılda 0,55 °C artmıştır (IPCC, 2007; Erdoğan, 2016).

Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonu artışı küresel ısınmayı önemli ölçüde etkilemektedir. Dünya'nın ısınması bölgesel iklim değişikliklerine neden olmakta ve birçok fiziksel, biyolojik ve kimyasal süreci etkilemektedir (Walther vd., 2002,

Treydte vd., 2006). İklimdeki bu son hızlı değişimlerin tür kompozisyonları, dağılım ve biyojeokimyasal kompozisyonun değişmesi gibi büyük etkileri olabilir (Doney vd., 2012).

Diatomlar biyolojik çeşitlilik ve biyokütle söz konusu olduğunda denizel ve tatlı su ekosistemlerindeki başlıca mikroalgal bileşenlerdir. Küresel ölçüde bu ekosistemlerdeki birincil üretime katkıları oldukça önemlidir (Round vd., 1990; Ramirez vd., 2015). Diatom türleri habitattan su kalitesine kadar, bölgesel ve çevresel şartlar konusunda oldukça duyarlıdır. Her diatom türü sıcaklık, havalandırma, iletkenlik, pH, nütrient mevcudiyeti ve konsantrasyonu gibi çevresel değişkenler için spesifik tolerans aralıklarına sahiptir (Aydın ve Büyükişik, 2014). Çevresel koşullardaki değişikliklere karşı bu denli hassas olmaları nedeniyle, belirli bir zamanda belirli bir yerde bulunan bir diatom komünitesi, istatistiksel yöntemler yardımıyla su kalitesi hakkında bilgi de verebilmektedir (Kale ve Karthick, 2015).

Cylindrotheca closterium kozmopolit bir türdür ve hem tatlı sularda hem de denizel ekosistemlerde dağılım gösterir (Horner, 2002). Türün İzmir Körfezi'nde ve Ege Denizi'nde de sıklıkla rastlanan bir tür olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Koray vd., (1992) türün İzmir Körfezi'nde yüksek miktarda artış göstererek su kalitesini etkilediğini göstermiştir. Aydın, (1993) körfezde Mayıs ayında *Nitzschia pungens* ve *Nitzschia closterium* (*Cylindrotheca closterium*) türlerinin dominant olduğunu belirtmiştir. Çalışmada *N. closterium* için herhangi bir sınırlayıcı besin belirlenmemiştir. Tümer (2012) yaptığı çalışmada İzmir Körfezi'nde *C. closterium* türünün çoğunlukla ilkbahar-yaz mevsimleri arasında büyük artış gösterdiğini bildirmiştir. Ancak türün dört mevsimde birden gözlemlendiğini belirtmiştir. Sabancı ve Koray (2011) *C. closterium* türünün özellikle yaz mevsiminde aşırı ürediğini bildirmiştir. Ayrıca bazı çalışmalarda (Frigos ve Gotsis-Skretas, 1989; Tümer, 2012) söz konusu türe Ege Denizi'nin bilhassa ötrofik bölgelerinde rastlandığı da not edilen bilgiler arasındadır. Altı farklı pennat diatom türünün büyüme hızları ve yağ asidi profillerinin belirlenmesi amacıyla İzmir Körfezi'nden izole edildiği başka bir çalışmada (Demirel, 2016) *C. closterium* ve *Ochrosphaera* sp. türlerinin yağ içeriği diğer diatomlara kıyasla en yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur.

Bu çalışmanın amacı ise, İzmir Körfezi'nden izole edilen *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme kinetiklerinin incelenerek türe ait büyüme modelini çıkarmaktır. İkincil bir amaç ise küresel ısınmanın sonucu günümüzde 407 ppm iken 2100 yılında 750-1000 ppm'e kadar artması beklenen atmosferik CO₂' in yaratacağı 6 °C sıcaklık artışının (Hallegraeff, 2010) tür üzerinde oluşturabileceği etkileri öngörmeye çalışmaktır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Bölgesi

İzmir Körfezi Türkiye'nin batısında yer alır ve insan popülasyonunun yoğun olduğu bir bölgede yer almaktadır.

Körfez topografik ve hidrografik özellikleri açısından İç, Orta ve Dış Körfez olmak üzere üç bölgeye ayrılır (Sunlu vd., 2006).

Tür İzolasyonu

İzmir İç Körfezi'nde 38°24'27,18"K; 27°04'07,47"D koordinatlarından (İnciraltı İskelesinden) 10 Nisan 2016 tarihinde 18°C sıcaklıkta 39 psu tuzlulukta pH 8,6 ve Chla 15 µg/L konsantrasyonda alınan deniz suyu örneğinden laboratuvarında sonsuz seyrelme tekniği ile izole edilmiştir. Deniz suyu 0,2 +0,45 µm'lik kartuş filtre ile süzülmüş, Guillard (1975) 'ın f/2 ortamı ile zenginleştirilmiş ve mikroskopla en bol bulunan türler belirlenmiştir. Kültür örneği 3µm filtre kağıdından, çelik 3'lü milipor filtrasyon sistemi ile süzülerek bakteri ve virüslerden arındırılmıştır.

Nütrient Zenginleştirilmesi

Nütrient zenginleştirilmesinde kesikli kültür tekniği kullanılmıştır. Kültürler nütrient zenginleştirilmesi ve izolasyon işlemleri boyunca sabit sıcaklık (18±1 °C) ve 12 saat aydınlık/12 saat karanlık ışık periyodunda sabit sıcaklık odasında inkübe edilmiştir. Çalışmanın tamamında 40W daylight floresan lambalar kullanılmıştır. Çalışmada nütrient zenginleştirilmesi ile ışık şiddeti, sıcaklık ve tuzluluk denemelerinin yapıldığı aşamalarda azot kaynağı olarak NO₃-N kullanılmıştır. Her bir aşamada, deney tüplerinin her birine 10'ar ml (örneğin 1 ml; f/2 ortamı ile zenginleştirilmiş deniz suyundan 9 ml olacak şekilde) eklenilerek deneye başlanılmış ve eksponansiyel faza erişildiğinde birinci nesilden ikinci nesle geçilmiş, dördüncü nesle kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Dördüncü neslin ölüm fazına erişilince deney sonlandırılmıştır. Genel olarak 0-7 gün arası yapılmış olan deneyler, büyümenin 7. gün sonunda devam etmesi durumunda büyümede azalma gözleninceye kadar devam ettirilmiştir. Çalışmada büyüme hızındaki varyasyonu azaltmak için yarı kesikli kültür sistemi kullanılmıştır.

Spesifik büyüme hızının hesaplanmasında kullanılan denklemler

Her bir deney için başlangıç klorofil a miktarı 0,5 µg/L olarak belirlenmiştir. Her gün klorofil a değerleri flourometre ile ölçülerek deney sonucunda öncelikle spesifik büyüme hızları (µ) hesaplanmış ve üstel büyüme hızlarının ışık ya da nütrient konsantrasyonları ile bağlantıları Monod denklemine en küçük kareler yöntemi ile istatistiksel olarak anlamlı ise µ_{max} ve K_s parametreleri belirlenmiştir. Böylece en iyi gelişimin hangi ışık şiddeti, sıcaklık, tuzluluk veya besin konsantrasyonlarında gerçekleştiği saptanmıştır.

Deneyde 10, 18, 26 ve 30 °C olmak üzere dört farklı sıcaklığın *C. closterium* türünün büyüme hızı üzerine etkisini ifade eden ve bir optimuma sahip olan bir denklemle ifade edilmiştir. Nutrient ve ışık şiddetleri /büyüme hızı ilişkileri için Monod denklemi (Burmester, 1979), sıcaklık ve tuzluluk için ise $Y=(X/X_{opt})e^{(1-X/X_{opt})}$ denklemi (Büyükişik vd., 1995) kullanılmıştır.

Spesifik büyüme hızı değerleri $\mu = 3,322 \cdot (1/t_2 - t_1)^{-1} \cdot \ln(N_2/N_1)$ formülü ile hesaplanmıştır (Guillard, 1973).

μ = spesifik büyüme hızı

N_1 = Üssel büyüme fazının başlangıcında elde edilen klorofil a değeri ($\mu\text{g/L}$)

N_2 = Üssel büyüme fazının sonunda elde edilen klorofil a değeri ($\mu\text{g/L}$)

t_1 = N_1 değerinin tayin edildiği zaman dilimi

t_2 = N_2 değerinin tayin edildiği zaman dilimini ifade etmektedir.

Spesifik büyüme hızı değerleri kullanılarak STATISTICA programında non-linear tahmin ve en küçük kareler yönteminden yararlanılarak maksimum büyüme hızları ve yarı doygunluk katsayıları (K_s ve K_i değerleri) hesaplanmıştır. Daha sonra büyüme hızı ile ışık, sıcaklık, tuzluluk ve besin tuzları arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

Optimum sıcaklıkta 0,9, 0,88, 0,74, 0,46, 0,2, 0,07 *100 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ olmak üzere altı farklı ışık şiddetinin, % 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 olmak üzere yedi farklı tuzluluğun *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme hızı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Nutrient için ise hangi nutrientin spesifik büyüme hızı belirlenecek ise diğer tüm nutrientler f/2 final konsantrasyonunda ilave edilirken, denenecek olan nutrient yaklaşık f/2, f/2/4, f/2/10, f/2/20, f/2/40, f/2/100 ve f/2/1000 oranlarında ilave edilerek (Tablo 1) büyüme hızları ve büyüme hızı-nutrient ilişkisi Monod denklemi (Burmester, 1979) ile istatistiksel olarak belirlenmiştir.

Endirekt ölçümlerde, yani ölçülen değerlerden formül yardımıyla hesaplanan değerlerin üzerinde yapılan en yüksek mutlak hatayı elde etmek için $(\pm\Delta\mu = \mu \cdot ((\Delta\mu_{\max}/\mu_{\max}) + (\Delta I/I) + ((\Delta K_i + \Delta I)/(K_i + I)))$ denklemi (diferansiyel metotla) kullanılmıştır (Erdik, 1971).

Denklemden,

$\pm\Delta\mu$ = Büyüme hızında yapılan en büyük mutlak hatadır. Belirlenmesi gereken Monod denkleminden μ değerinin hesaplanmasında μ değeri üzerinde yapılan hatadır. $\pm\Delta I$ = Işık şiddetinde hata LiCor ışıkölçerinin en küçük birimi alınmıştır (1 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$). $\pm\Delta\mu_{\max}$: Monod denklemine uydurulan verilerle istatistiki olarak elde edilen %95 güven aralığıdır. $\pm\Delta K_i$ = Monod denklemine uydurulan verilerle istatistiki olarak elde edilen %95 güven aralığıdır.

Ayrıca büyüme hızının ışık şiddeti ile bağıntısı olan $\mu = \mu_{\max} S / (K_i + S)$ formülünden yararlanılarak istatistiki olarak K_i değerleri elde edilirken; büyüme hızının nutrient konsantrasyonu ile ilişkisi olan $\mu = \mu_{\max} S / (K_s + S)$ formülü kullanılarak istatistiki olarak K_s değerleri elde edilmiştir. Formülde, μ = spesifik büyüme hızı, μ_{\max} = maksimum spesifik büyüme hızı K_i ve K_s = yarı doygunluk sabitleri, S = substrat (nutrient) konsantrasyonunu temsil etmektedir. μ_{\max} , K_s ve K_i

değerlerinde \pm olarak verilen değerler %95 güven aralığını ifade etmektedir.

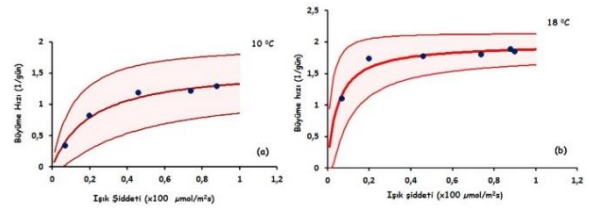
Table 1. Çalışmada kullanılan nutrient konsantrasyonları
Table 1. Nutrient concentrations that are used in the study

Nutrient	Amonyum ($\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$)	Nitrat ($\mu\text{M NO}_3\text{-N}$)	Reaktif Fosfat ($\mu\text{M RP}$)	Reaktif Silis ($\mu\text{M RSi}$)
Konsantrasyon	7,58	12,8	0,496	0,107
	9,58	56,95	0,64	0,535
	12,08	101,1	0,823	1,07
	19,58	233,55	1,367	2,675
	32,08	895,8	2,275	5,35
	57,08	-	4,09	10,7
	132,08	-	9,535	26,75
	507,08	-	36,76	107

BULGULAR

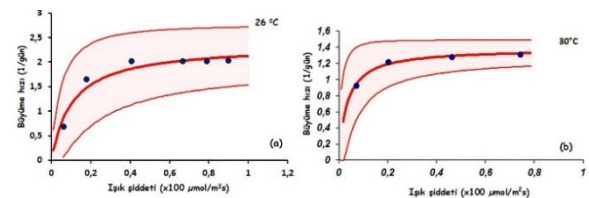
Işık Şiddeti ve Sıcaklığın Mikroalg Büyümesine Etkisi

10 °C'de elde edilen spesifik büyüme hızları yardımıyla hesaplanan istatistiksel analiz sonuçlarına göre $\mu_{\max} = 1,60 \pm 0,34 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_i = 0,21 \pm 0,14$ olarak bulunmuştur (Şekil 1). 18 °C'de elde edilen sonuçlar ise $\mu_{\max} = 1,97 \pm 0,17 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_i = 0,05 \pm 0,03$ 'tür (Şekil 1).



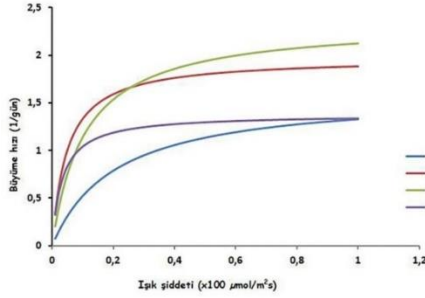
Şekil 1. *C. closterium* türünün 10 °C'de (a) ve 18 °C'de (b) farklı ışık şiddetleri altındaki spesifik büyüme hızı
Figure 1. Specific growth rates of *C. closterium* species at 10 °C (a) and 18 °C (b) under different light intensities

26 °C'de maksimum spesifik büyüme hızı $\mu_{\max} = 2,35 \pm 0,42 \text{ gün}^{-1}$ ve yarı doygunluk sabiti $K_i = 0,10 \pm 0,08$ olarak hesaplanmıştır. 30 °C'de hesaplanan değerler ise $\mu_{\max} = 1,38 \pm 0,10 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_i = 0,03 \pm 0,02$ 'dir (Şekil 2).



Şekil 2. *C. closterium* türünün 26 °C (a) ve 30 °C'de (b) farklı ışık şiddetleri altındaki spesifik büyüme hızı
Figure 2. Specific growth rates of *C. closterium* species at 26 °C (a) and 30 °C (b) under different light intensities

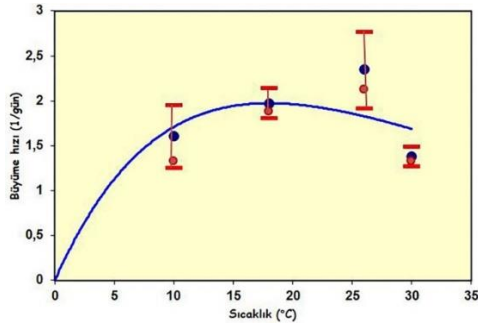
Cylindrotheca closterium türüne ait büyüme hızları bütün sıcaklıklarda genel olarak düşük ışık şiddetlerinden yüksek ışık şiddetlerine doğru artış göstermiştir (Şekil 3). 90 μmol foton/ m^2s ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı 18 °C'den 26 °C'ye kadar artış göstermiştir. 88, 74 ve 46 μmol foton/ m^2s ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı 10 °C'den 26 °C'ye kadar artmış ancak 30 °C'de azalmıştır. Spesifik büyüme hızı 7 ve 20 μmol foton/ m^2s ışık şiddetinde ise 10 °C'den 18 °C'ye kadar yükselmiştir. 26 °C'de ise bu iki ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı azalış göstermiştir.



Şekil 3. *C. closterium* türünün farklı ışık şiddetleri ve sıcaklıklar altında spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması

Figure 3. Comparison of specific growth rates of *C. closterium* under different light intensities and temperatures

Elde edilen verilere göre bu diatom türünün 10-25 °C sıcaklık aralıklarındaki gelişimi oldukça iyidir ve İzmir Körfezi'nde bu sıcaklık aralıklarında tür gelişebilir. (Şekil 4). Sıcaklık yükseldikçe μ_{max} değeri 10 °C'den 26 °C'ye kadar artış göstermiştir. En küçük kareler yöntemi sonucu elde edilen değerler dikkate alındığında 18 ve 26 °C arasında μ_{max} değerleri açısından istatistiksel olarak belirgin bir fark yoktur. 10 ve 26 °C'de μ_{max} değerlerinde varyasyonun arttığı; 18 ve 30 °C'de ise azaldığı gözlenmiştir. 18 ve 30 °C'de varyasyonun daha az olmasından dolayı bu iki sıcaklıkta büyüme daha kararlı görünmektedir.

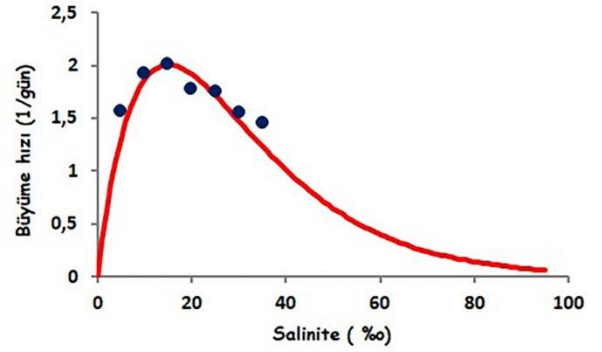


Şekil 4. *C. closterium* türünün sıcaklık ile spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması. •: çalışmada erişilen μ_{max} değerleri; •: istatistiksel hesaplamalar sonucu elde edilen μ_{max} değerleri ve I: Düz kırmızı çizgiler ise minimum ve maksimum mutlak hata aralığını göstermektedir.

Figure 4. Comparison of temperature vs specific growth rate for the species of *C. closterium*. •: represent achieved values of μ_{max} ; •: exhibit obtained values of μ_{max} with statistical calculations and I: minimum and maximum range of absolute error

Tuzluluğun Mikroalg Büyümesine Etkisi

Sıcaklık ve ışık şiddeti için optimum değerler elde edildikten sonra tuzluluk denemelerine geçilmiştir. Çalışmada spesifik büyüme hızları (μ); ‰ 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 tuzluluk için sırasıyla 1,56 gün^{-1} , 1,93 gün^{-1} , 2,01 gün^{-1} , 1,78 gün^{-1} , 1,75 gün^{-1} , 1,5 gün^{-1} ve 1,47 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Büyüme hızının, diğer tuzluluklarla karşılaştırıldığında doruğa eriştiği tuzluluk değeri ‰ 15'tir (Şekil 5).

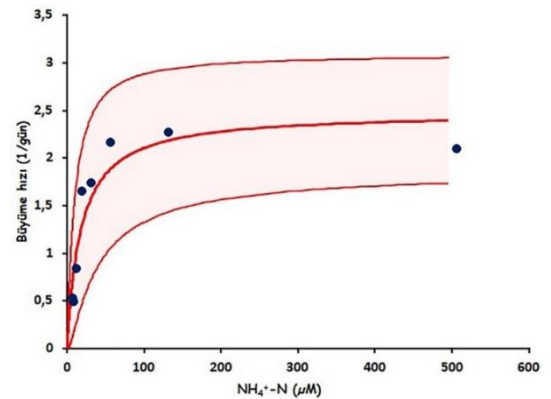


Şekil 5. Spesifik büyüme hızlarının farklı tuzluluklardaki değişimi
Figure 5. Variations of specific growth rate under various salinity levels

Büyüme hızının ‰15 tuzluktan sonra giderek azalmasının nedeni osmotik dengenin sağlanabilmesi için hücre içi bazı çözülmüş bileşenlerin dış ortama verilmesi olabilir (Egemen, 2011). Bu da hücre içi kayıplara neden olacak ve yüksek tuzlulukta spesifik büyüme hızının azalması ile sonuçlanacaktır.

Nütrientlerin Mikroalg Büyümesine Etkisi

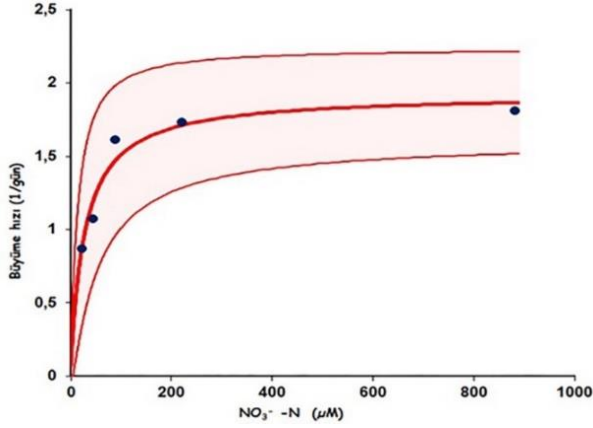
18 °C'de, 90 μmol foton/ m^2s ışık şiddetinde ve ‰15 tuzlulukta $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için elde edilen istatistiksel analiz sonuçları şu şekildedir: $\mu_{\text{max}}=2,48\pm0,61$ gün^{-1} ve $K_s=17,84\pm14,4$ μM $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 'dir (Şekil 6).



Şekil 6. Farklı $\text{NH}_4^+\text{-N}$ konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları

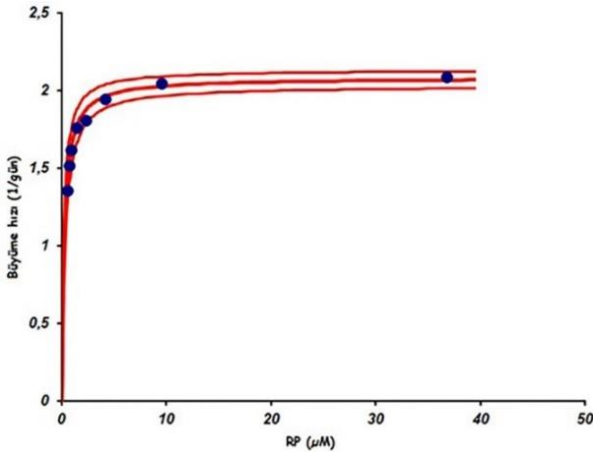
Figure 6. Growth rate of *C. closterium* under different $\text{NH}_4^+\text{-N}$ concentrations

NO₃-N için ise $\mu_{max}= 1,92 \pm 0,3 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_S= 27,3 \pm 19,04 \text{ }\mu\text{M}$ NO₃-N olarak hesaplanmıştır (Şekil 7).



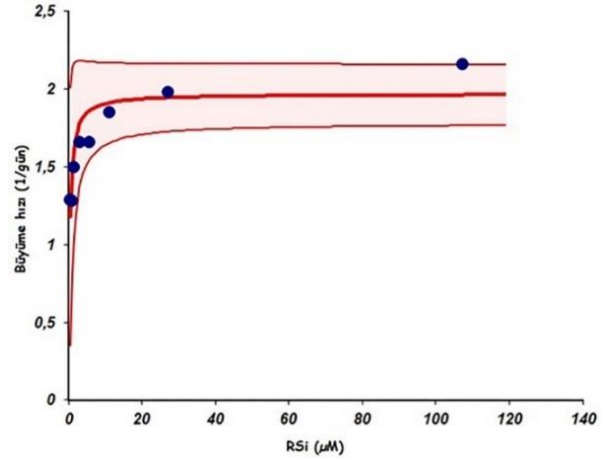
Şekil 7. Farklı NO₃-N konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları
Figure 7. Growth rate of *C. closterium* under different NO₃-N concentrations

İstatistiksel analizler sonucu reaktif fosfat için elde edilen maksimum spesifik büyüme hızı ve yarı doygunluk sabiti değerleri $\mu_{max}= 2,1 \pm 0,05 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_S= 0,25 \pm 0,04 \text{ }\mu\text{M}$ PO₄-P olarak bulunmuştur (Şekil 8). Spesifik büyüme hızının en yüksek değeri ($2,09 \text{ gün}^{-1}$) $36,76 \text{ }\mu\text{M}$ RP konsantrasyonunda elde edilmiştir.



Şekil 8. Farklı RP konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları
Figure 8. Growth rate of *C. closterium* under different RP concentrations

Reaktif silis için istatistiksel olarak hesaplanan değerler ise $\mu_{max}= 1,97 \pm 0,20 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_S= 0,3 \pm 0,24 \text{ }\mu\text{M}$ Si'dir (Şekil 9).



Şekil 9. Farklı RSi konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları
Figure 9. Growth rate of *C. closterium* under different RSi concentrations

TARTIŞMA

Tuzluluk, ışık yoğunluğu, sıcaklık (Ak vd., 2008), fotoperiyod ve kültür ortamındaki besin kompozisyonu gibi çevresel faktörlerin bileşiminin mikroalg büyüme hızlarını etkilediği bilinmektedir (Kitaya vd., 2008; Fakhri vd, 2015). Bu parametrelerin optimum değerleri ve mikroalglerde tolere edilebilen aralıklar türden türe değişir (Coutteau, 1996; Aydın vd, 2009; Şişman Aydın, 2012).

Tablo 2'de bu çalışmada elde edilen μ_{max} ve K_i değerleri yer almaktadır. $26 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de varyasyonun önemli ölçüde arttığı dikkate alınarak $18 \text{ }^\circ\text{C}$ büyüme için optimum olarak belirlenmiştir. Bu değer literatürdeki diğer araştırma sonuçları (Ohgai vd., 1986; Affan vd., 2009; Harford vd., 2011) ile uyumludur. *C. closterium*'a ait farklı bölgelerden alınan suşların termal niş farklılıklarının araştırıldığı bir çalışmada (Stock vd., 2019), birçok subtropik ve tropik suşun büyüme optiması $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerinde bulunmuştur. Buna karşın, kutuplardan alınan bütün suşlarda $10 \text{ }^\circ\text{C}$ civarında optimum büyüme gözlenmiştir. Çalışmada türün gelişimi için suşa özgü sıcaklık gereksinimleri olması, *C. closterium* tür kompleksinin çok sayıda genotip içermesi ve bunun da coğrafi olarak oldukça geniş habitatlarda dağılım gösteren bu türün ekolojik başarısını açıklayabileceği vurgulanmıştır.

Tablo 2. Farklı sıcaklık ve ışık şiddetlerinde elde edilen μ_{max} (gün⁻¹) ve K_1 değerleri**Table 2.** Obtained values of μ_{max} (d⁻¹) and K_1 under different light intensities and temperatures

Sıcaklık (°C)	μ_{max} (gün ⁻¹)	K_1
10	1,60±0,34	0,21±0,14
18	1,97±0,17	0,05± 0,03
26	2,35±0,42	0,10± 0,08
30	1,38±0,10	0,03±0,02

Cylindrotheca closterium türüne ait büyüme hızları bütün sıcaklıklarda genel olarak düşük ışık şiddetlerinden yüksek ışık şiddetlerine doğru artış göstermiştir. Bu da düşük ışık şiddetlerinin türün büyümesini sınırlandıracağına işaret etmektedir. Maddux ve Jones (1964) ve Stanbury (1931) de benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Ying Du vd., (2010) *Amphora coffeaeformis* ve *C. closterium* türlerinin ışık ve sediment tane büyüklüklerinin türlerin sudaki dikey göçleri üzerindeki etkiyi anlamaya çalışmışlardır. *C. closterium* maksimum yüzey göçünü ışık şiddeti 250 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ 'de iken göstermiştir.

Chaetoceros convulus türü ile yapılan bir çalışmada (Harrison vd., 1993) büyüme hızı 4 °C hariç bütün sıcaklıklarda ışıkla hiperbolik bir ilişki göstermiştir, en düşük ışık şiddetlerinde (10 $\mu\text{mol foton/ m}^2\text{s}$) bile hücreler μ_{max} 'a ulaşmıştır bu da bu türün düşük ışık şiddetlerinde yaşayan bir tür olduğunu göstermektedir. K_1 değeri sıcaklıkla takriben doğrusal bir şekilde artmıştır. *C. concavicornis* türünde de büyüme hızı bütün sıcaklıklarda ışıkla hiperbolik bir ilişki gözlenmiştir; ancak K_1 değeri sıcaklıkla artmamıştır (Harrison vd., 1993). Bu çalışmada ise K_1 değerleri artan sıcaklık ile artış göstermemiştir.

Tablo 3'te *C. closterium* ve başka türlerle farklı ortam koşullarında yapılmış çalışmalar ve elde edilen spesifik büyüme hızı değerleri bulunmaktadır. Görüldüğü üzere çalışmalarda elde edilen μ değerleri çalışmadan çalışmaya farklılık göstermektedir. *C. closterium* türü ile yapılan dört farklı çalışmada μ değerleri 0,82 (Affan vd., 2009), 0,171 (Ruivo vd., 2011), 0,209 (Demirel, 2016) ve 0,97 (Bergeijk vd., 2003) olarak bulunmuştur. Farklı türlerle yapılan bazı çalışmalarda ise μ değerleri *Thalassiosira allenii* (Aydın vd., 2009), *Spirulina*

platensis (Demirel vd., 2018), *Phaodactylum tricorutum* (Demirel vd., 2018), ve *Hantzchia amphioxys* (Kutlu ve Büyüksık, 2010) türleri için sırasıyla 1,29 g⁻¹, 0,2395±0,013 g⁻¹, 0,1996±0,003 g⁻¹ ve 1,711 çiftlenme/gün'dür.

Bu çalışmanın sonuçları *C. closterium* türünün örihalin bir tür olabileceğini göstermektedir, çünkü düşük tuzluluklardan yüksek tuzluluklara kadar büyüme hızı oldukça yüksek bulunmuştur. Bu sonuç, Affan vd. (2009) ve Williams (1964) 'in yaptıkları çalışma sonuçları ile de benzerdir. Bu çalışmada ise en yüksek spesifik büyüme hızı 2,01 gün⁻¹ olarak %0,15 tuzlulukta elde edilmiştir.

Çalışmada *C. closterium* türünün nitrat oranla amonyum ile daha iyi gelişim gösterdiği görülmektedir. *Chaetoceros simplex* türünün farklı nitrat, fosfat ve silikat konsantrasyonlarında gelişiminin incelendiği bir çalışmada, nitrat konsantrasyonlarının artışıyla spesifik büyüme hızında artış gözlenmiştir (Hemalatha vd., 2014). Bu çalışmada da nitrat, konsantrasyonlarının düşük konsantrasyonlarında düşük spesifik büyüme hızı değerleri gözlenmiştir. Sunlu vd. (2006), 200 μM 'dan daha düşük amonyum konsantrasyonlarında ve 5 μM 'dan daha düşük fosfat konsantrasyonlarında *C. closterium* türü için spesifik büyüme hızını yaklaşık 1 gün⁻¹ olarak elde etmişlerdir. Çalışmada analitik sonuçlar amonyum konsantrasyonlarının doğal deniz suyunda oldukça yüksek olduğunu (160,7 $\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$) göstermiştir. Bu nedenle türün büyüme eğrilerinde önemli ölçüde değişim olmadığı vurgulanmıştır (Sunlu vd., 2006). Bu çalışmada bulunan değerler Sunlu vd. (2006)'nin elde ettiği değerlerden yüksektir (Tablo 4).

Yarı doygunluk sabitinin sıcaklığın artması ile paralel olarak arttığı bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Eppley vd., 1969, Aydın vd., 2009). Ancak Aydın (1993) yaptığı çalışmada bazı türler için bu görüşe paralel olan sonuçlar elde etmiş olsa da *Nitzschia pungens* türünün yüksek sıcaklıklarda daha düşük konsantrasyonlarda silise ihtiyaç duyduğunu ve bunun K_s 'in sıcaklık artışı ile artması görüşü ile uygun düşmediğini belirtmiştir. Bu çalışmada elde edilen K_s değerleri $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için 17,84±14,4 $\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$; $\mu\text{M NO}_3^-\text{-N}$ için ise 27,32± 19,04'ten daha düşük konsantrasyonlarda sınırlayıcılığın arttığını göstermektedir.

Table 3. *Cylindrotheca closterium* ve diğer mikroalg türleriyle yapılan çalışmaların ortam şartları hakkında bilgi ve elde edilen spesifik büyüme hızları (μ)**Table 3.** Obtained spesific growth rates (μ) and information of media with species of *Cylindrotheca closterium* and other microalgal species

Tür	Ortam	Işık şiddeti ($\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$)	Aydınlık/karanlık süresi	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Tuzluluk (psu)	μ (g^{-1})	Referans
<i>Cylindrotheca closterium</i>	f/2	88	12:12	18 \pm 1	35	1,47	Bu çalışma
<i>Cylindrotheca closterium</i>	f	180	14:10	20	30	0,82	Affan vd., (2009)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	f/2	20	14:10	15 \pm 1	35	0,171	Ruivo vd., (2011)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	f/2	40	24:0	22 \pm 2	-	0,209	Demirel, (2016)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	Kester	35	24:0	25	22	0,97	Bergeijk vd., (2003)
<i>Thalassiosira allenii</i>	f/2	40	24:0	11	-	1,127	Aydın vd., (2009)
<i>Arthrospira (Spirulina) platensis</i>	Zarrouk ve f/2	50	24:0	22 \pm 2	-	0,2395 \pm 0,013	Demirel vd., (2018)
<i>Phaodactylum tricornutum</i>	Zarrouk ve f/2	50	24:0	22 \pm 2	-	0,1996 \pm 0,003	Demirel vd., (2018)
<i>Hantzchia amphioxys</i>	f/2	52	24:0	18	-	1,711 çiftlenme/gün	Kutlu ve Büyükişik, (2010)

Bu çalışmada reaktif fosfat için hesaplanan en yüksek μ_{max} değeri 2,1 \pm 0,05 gün⁻¹ ve K_s değeri 0,25 \pm 0,04 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ olarak bulunmuştur. 0,25 \pm 0,04 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ 'den daha düşük konsantrasyonlarda büyümenin sınırlanması söz konusudur. 36,76 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonuna kadar spesifik büyüme hızında artış gözlenmiştir. Kükreker vd., (2010) *Thalassiosira* sp. ile yaptıkları çalışmada 38,9 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ konsantrasyonuna kadar en yüksek hücre konsantrasyonunun gözlemlendiğini, daha yüksek konsantrasyonlarda ise büyümenin durduğunu bildirmişlerdir. Bu çalışmada tür için elde edilen μ değeri 1,73 gün⁻¹ olarak bulunurken, K_s değeri 2,018 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ olarak elde edilmiştir (Tablo 4).

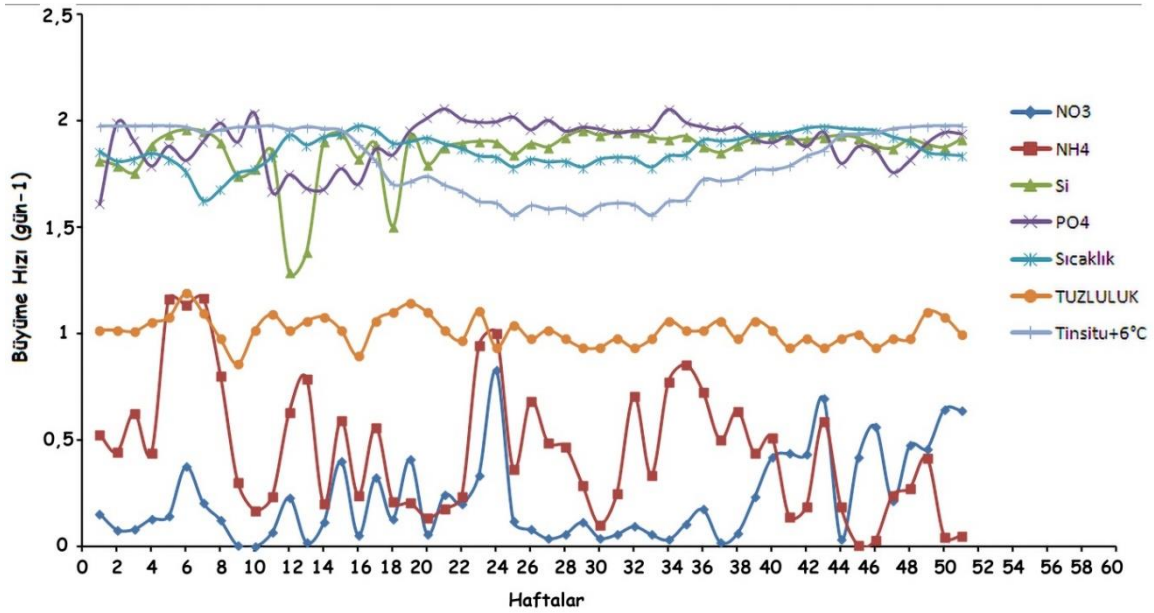
Başka bir çalışmada ise fosfat konsantrasyonlarının artışıyla *T. allenii* türünün spesifik büyüme hızında artış

gözlenmiştir (Şişman Aydın vd., 2014). *Chaetoceros simplex* türünün spesifik büyüme hızı 90,5 μM fosfat konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sonrasında azalmıştır (Hemalatha vd., 2014). Ancak Sunlu vd. (2006) *C. closterium* ile yaptıkları çalışmada fosfat konsantrasyonlarının artışı ile spesifik büyüme hızında azalış gözlemlenmiştir. İzmir İç Körfezi'nde fosfat konsantrasyonu 12,86 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ (Aydın Gençay ve Büyükişik, 2006) ve yıl boyunca 0,26-12 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ (Tümer, 2012) aralığında ölçülmüştür.

Bu çalışmada reaktif silis için elde edilen μ_{max} (gün⁻¹) ve K_s değerleri Tablo 4'teki gibidir. 0,3 \pm 0,24 $\mu\text{M Si}$ 'den daha düşük konsantrasyonlarda sınırlayıcılığın arttığı görülmektedir. *T. allenii* türü ile yapılan bir çalışmada (Şişman Aydın vd., 2014) silikat konsantrasyonu artışı, büyüme hızının azalmasıyla sonuçlanmıştır.

Tablo 4. *Cylindrotheca closterium* ve diğer diatom türleri için bazı nütrientler için elde edilen $\mu(g^{-1})$ ve K_s değerleri
Table 4. Values of $\mu(g^{-1})$ ve K_s of *Cylindrotheca closterium* and other diatom species for some nutrients

Besin Tür	NH ₄ ⁺ -N		NO ₃ -N		RP		RSi		Referans
	μ_{max} (g ⁻¹)	K _s (μM)	μ_{max} (g ⁻¹)	K _s (μM)	μ_{max} (g ⁻¹)	K _s (μM)	μ_{max} (g ⁻¹)	K _s (μM)	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	-	-	-	-	-	-	4,32	9,58	Sunlu vd., (2006)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	2,48±0,61	17,84±14,4	1,92±0,3	27,3± 19,04	2,1±0,05	0,25±0,04	1,97±0,20	0,3±0,24	Bu çalışma
<i>Thalassiosira allenii</i>	1,034 (1)	0,05 (1)	0,93 (1)	0 (1)	0,972 (2)	0,544 (2)	0,989 (2)	-0,615 (2)	Şişman Aydın vd., (2013) (1); Şişman Aydın vd., (2014) (2)
<i>Skeletonema costatum</i>	1,97 (μ)	-	2,34	6,9	1,70 (μ)	-	2,06 (μ)	-	Kükrer vd., (2010)
<i>Thalassiosira</i> sp.	1,25 (μ)	-	0,97 (μ)	-	1,73	2,018	1,49 (μ)	-	Kükrer vd., 2010



Şekil 10. Büyüme hızının haftalık periyotlarla yıl boyunca değişimleri (Sıcaklık, salinite, nütrient konsantrasyonları ((Sunlu vd., (2007)'den alınmıştır)) kullanılarak büyüme hızları bu çalışma için hesaplanmıştır.)

Figure 10. Changes in growth rate throughout the year at weekly intervals (Growth rates are calculated for this research by using temperature, salinity and nutrient concentrations of Sunlu et al., (2007))

Bu çalışmada ise 107 μM Si konsantrasyonuna kadar türün spesifik büyüme hızında artış gözlenmiştir. Benzer şekilde Sunlu vd. (2006)'nin yaptıkları çalışmada *C. closterium* türünün spesifik büyüme hızları artan silikat konsantrasyonları ile artış göstermiştir. İzmir Körfezi nütrient konsantrasyonlarının yıl boyunca ölçüldüğü bir diğer çalışmada silikat konsantrasyonları en az 0,96 μM, en yüksek olarak ise 35 μM olarak ölçülmüştür (Tümer, 2012).

Şekil 10'da besin konsantrasyonları (nitrat, amonyak, silis ve fosfor), sıcaklık ve tuzluluğun haftalık değişimleri ile *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme hızının değişimleri verilmiştir (sıcaklık, salinite ve nütrient konsantrasyonları (Sunlu vd., (2007)'den alınmıştır)) kullanılarak büyüme hızları bu çalışma için hesaplanmıştır. Yılın ilk 5 haftası ile 9, 10, 13, 16, 20, 26-28, 30-34, 37, 38, 44. haftalarında azalan nitrat ile

büyüme sınırlanıyorsa da amonyumun artışı (nitrifikasyonun sürecinin azalmasına karşın bozunma süreçleri ile amonyum temini) azot eksikliğini gidermektedir. Sadece 20 ve 30'uncu haftalarda türün büyüme hızı azalan azot temini nedeniyle aşırı düşmektedir. Bu çalışma sonuçları ortamdaki sınırlayıcı besinin azot olduğunu göstermektedir. **Kükrer vd. (2010)** İzmir Körfezi'nde *Skeletonema costatum* türü için nitratın sınırlayıcılığı; **Sunlu vd. (2006)** >10 µM NO₃-N ve >5 µM RP konsantrasyonlarının *C. closterium* için büyüme sınırlayıcı etki gösterdiğini; **Şişman Aydın vd. (2013)** ise amonyumun *T. allenii* türü üzerinde sınırlayıcı etkisi olduğunu bildirmiştir.

KAYNAKÇA

- Affan, A., Heo, S. J., Jeon, Y. J. & Lee, J. B. (2009). Optimal Growth Conditions and Antioxidative Activities of *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 45(6), 1405–1415. DOI: [10.1111/j.1529-8817.2009.00763.x](https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00763.x)
- Ak, I., Cirik, S. & Goksan, T. (2008). Effect of Light Intensity, Salinity and Temperature on Growth in Camalt Strain of *Dunaliella viridis* Teodoresco from Turkey. *Journal of Biological Sciences*, 8(8), 1356-1359. DOI: [10.3923/jbs.2008.1356.1359](https://doi.org/10.3923/jbs.2008.1356.1359)
- Aydın, H. (1993). İzmir Körfezi fitoplanktonunun gelişimi üzerine sınırlayıcı faktörler [Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi Ege Üniversitesi], 94 s.
- Aydın Gençay, H. & Büyüksık, B. (2006). Dem Limanında (Çandarlı Körfezi, Ege Denizi) Fitoplankton Populasyon Dinamiği Üzerine Araştırmalar. *Su Ürünleri Dergisi*, 23(1-2), 43-53.
- Aydın, G.Ş., Kocataş, A. & Büyüksık, B. (2009). Effects of light and temperature on the growth rate of potentially harmful marine diatom: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae). *African Journal of Biotechnology*, Vol.8 (19): 4983-4990
- Aydın, G.Ş. & Büyüksık, B. (2014). Effects on The Species Specific Variables Nutrient Pulses: *Thalassiosira allenii* (Takano). *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 11(3): 82-90.
- Bergeijk, S.A.V., der Zee, C.V. & Stal, L.J. (2003). Uptake and Excretion of Dimethylsulphoniopropionate is Driven by Salinity Changes in the Marine Benthic Diatom *Cylindrotheca closterium*. *European Journal of Phycology*. 38, 341–349. DOI: [10.1080/09670260310001612600](https://doi.org/10.1080/09670260310001612600)
- Burmester, D.E. (1979). The Unsteady Continuous Culture of Phosphate-limited *Monochrysis lutheri* Droop: Experimental and Theoretical Analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 39(2), 167-186. DOI: [10.1016/0022-0981\(79\)90012-1](https://doi.org/10.1016/0022-0981(79)90012-1)
- Büyüksık, B., Gökpinar, Ş. & Parlak, H. (1995). İzmir Körfezi Planktonunu Kontrol Eden Faktörler ve Ekolojik Modellemesi, TÜBİTAK Proje No: DEBAG 33, 97s, İzmir.
- Coutteau, P. (1996). Micro-algae. In P. Lavens, P. Sorgeloos (Eds.) *Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture* (pp. 7-47). Rome, Italy: FAO Fisheries Technical Paper No. 361
- Demirel, Z. (2016). Identification and Fatty Acid Composition of Coccolithophore and Diatom Species Isolated from Aegean Sea. *Romanian Biotechnological Letters*. 21(4), 11746- 11753.
- Demirel, Z., Tok, R., İltir, I., Akyıl, S., Erdoğan, A., Koç, M., Kaymak Ertekin, F. & Conk Dalay, M. (2018). Biyokütle için Mikroalg ve Siyanobakteri'nin Büyük Ölçekli Üretimi. *Aquatic Research*, 1(2), 64-76. DOI: [10.3153/AR18008](https://doi.org/10.3153/AR18008)
- Doney, S.C., Ruckelshaus, M., Duffy, J.E., Barry, J.P., Chan, F., English, C.A., Galindo, H.M., Grebmeier, J.M., Hollowed, A.B., Knowlton, N., Polovina, J., Rabalais, N.N., Sydeman, W.J. & Talley, L.D., (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Reviews of Marine Science*, 4, 11-37. DOI: [10.1146/annurev-marine-041911-111611](https://doi.org/10.1146/annurev-marine-041911-111611)
- Egemen, Ö. (2011). *Su kalitesi*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi. 153 s.
- Eppley, R.W., Rogers, J.N. & Maccarthy, J.J. (1969). Half-saturation Constants for Uptake of Nitrate and Ammonium by Marine Phytoplankton. *Limnology and Oceanography*, 14, 912-920. DOI: [10.4319/lo.1969.14.6.0912](https://doi.org/10.4319/lo.1969.14.6.0912)
- Erdik, E. (1971). Mekanik ve maddenin özellikleri problemleri. Ankara: Ankara Üniversitesi Basımevi. 337 s.
- Erdogan, Ş. (2016). Impacts of eutrophication and climate change on phytoplankton community structure, size diversity and phytoplankton based ecological status [Doctoral dissertation, Middle East Technical University] 176 pp. <http://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12620592/index.pdf>
- Fakhri, M., Arifin, N.B., Budianto, B., Yuniarti, A. & Hariati, A.M. (2015). Effect of Salinity and Photoperiod on Growth of Microalgae *Nannochloropsis* sp. and *Tetraselmis* sp.. *Nature Environment and Pollution Technology*, 14(3), 563-566.
- Firiligos, N. & Gotsis-Skretas, O. (1989). Eutrophication and Red Tide in Aegean Coastal Waters, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 24, 171–180. DOI: [10.1080/02772248909357487](https://doi.org/10.1080/02772248909357487)
- Guillard, R.R.L. (1973). Division rates. In J.R. Stein (Ed.), *Handbook of Phycological Methods* (pp. 289–311). New York: Cambridge University Press.
- Guillard, R.R.L. (1975). Culture of phytoplankton for feeding marine invertebrates. In W. L. Smith, M. H. Chanley (Ed.), *Culture of Marine Invertebrate Animals* (pp. 29–60). New York: Plenum Press. DOI: [10.1007/978-1-4615-8714-9_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-8714-9_3)
- Hallegraeff, G.M. (2010). Ocean Climate Change, Phytoplankton Community Responses, and Harmful Algal Blooms: A Formidable Predictive Challenge. *Journal of Phycology*, 46(2), 220–235. DOI: [10.1111/j.1529-8817.2010.00815.x](https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00815.x)
- Harford, A.J., Hogan, A. C., Tsang, J.J., Parry, D.L., Negri, A.P., Adams, M. S., Stauber, J. & van Dam, R.A. (2011). Effects of Alumina Refinery Wastewater and Signature Metal Constituents at the Upper Thermal Tolerance of: 1. The Tropical Diatom *Nitzschia closterium*. *Marine Pollution Bulletin*, 62(3), 466–473. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2011.01.013](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.01.013)
- Harrison, P.J., Thompson, P.A., Guo, M. & Taylor F.J.R., (1993). Effects of Light, Temperature and Salinity on the Growth Rate of Harmful Marine Diatoms, *Chaetoceros convolutus* and *C. concavicornis* that Kill Netpen Salmon, *Journal of Applied Phycology*, 5, 259-265. DOI: [10.1007/BF00004028](https://doi.org/10.1007/BF00004028)
- Hemalatha, A., Karthikeyan, P., Girija, K., Saranya, C., Anantharaman P. & Sampathkumar, P. (2014). Effect of Nutrients on the Growth and Biochemical Composition of the Marine Diatom, *Chaetoceros simplex* (Ostenfeld, 1901). *International Journal of Phytopharmacy Research*, 5(1), 30-35.
- Horner, R. A. (2002). A taxonomic guide to some common phytoplankton. Biopress Limited, The Orchard, Clanage Road, Bristol, BS3 2JX, England, 195 pp.

- IPCC, (2007). Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. In M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, (Eds.), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 976). Cambridge, United Kingdom: Intergovernmental Panel on Climate Change 2007. Kale, A. & Karthick, B. (2015). The Diatoms- Big Significance of Tiny Glass Houses, *Resonance*, 20(10), 919-930.
- Kale, A. & Karthick, B. (2015). The Diatoms: Big Significance of Tiny Glass Houses. *Resonance*, 20(10), 919-930. DOI: [10.1007/s12045-015-0256-6](https://doi.org/10.1007/s12045-015-0256-6)
- Kitaya Y., Xiao, L., Masuda, A., Ozawa, T., Tsuda, M. & Omasa, K. (2008). Effects of Temperature, Photosynthesis Photon Flux Density, Photoperiod and O₂ and CO₂ Concentrations on Growth Rates of the Symbiotic Dinoflagellate, *Amphidinium* sp. *Journal of Applied Phycology*, 20(5), 287-292. DOI: [10.1007/s10811-008-9331-7](https://doi.org/10.1007/s10811-008-9331-7)
- Koray, T. (1992). Noxious blooms in the Bay of Izmir, Aegean Sea. UNESCO, IOC Newsletter on Toxic Algae and Algal Blooms, Suppl. to ims Newsletter, No.63, 2, 1-2.
- Kutlu, B. & Büyükişik, H.B. (2010). İzmir Homa Dalyanı'ndan İzole Edilen *Hantzchia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow'un Gelişimi Üzerinde Sıcaklığın Etkisi. *Journal of Fisheries Sciences.com*, 4(4), 462-468. DOI: [10.3153/jfsc.com.2010050](https://doi.org/10.3153/jfsc.com.2010050)
- Kükrer, S., Sunlu, F. S., Buyukisik, B., Aydın, H. & Sunlu, U. (2010). Growth kinetics of two diatoms *Skeletonema costatum* and *Thalassiosira* sp. from Izmir Bay (Eastern Aegean Sea /Turkey). In: CIESM 39th Congress, Venice, Italy, May 2010, *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.* 39, 379. DOI: [10.13140/2.1.2370.5280](https://doi.org/10.13140/2.1.2370.5280)
- Maddux, W.S. & Jones, R.F. (1964). Some Interactions of Temperature, Light Intensity, and Nutrient Concentration During the Continuous Culture of *Nitzschia closterium* and *Tetraselmis* sp. *Limnology and Oceanography*, 9, 79-86. DOI: [10.4319/lo.1964.9.1.0079](https://doi.org/10.4319/lo.1964.9.1.0079)
- Ohgai, M., Iwano, H. & Hoshijima, M. (1986). The Effect of the Environmental Factors on the Growth of Diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin. *Nippon Suisan Gakkaishi*. DOI: [10.2331/suisan.52.1635](https://doi.org/10.2331/suisan.52.1635)
- Özkan, E.Y. & Büyükişik, B. (2012). Examination of Reactive Phosphate Fluxes in an Eutrophicated Coastal Area. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(6), 3443-3454. DOI: [10.1007/s10661-011-2198-0](https://doi.org/10.1007/s10661-011-2198-0)
- Ramirez, E.E., Gonzalez, M.A., Cifuentes, A.S., Inostroza, I. & Urrutia, R.E. (2015). Culture and Growth of Two Benthic Diatoms Species Isolated from the Salar del Huasco (North of Chile, 20° S) at Different Conditions of Temperature, Light and Nutrient. *Gayana Botanica*, 72(2), 165-176. DOI: [10.4067/S0717-66432015000200001](https://doi.org/10.4067/S0717-66432015000200001)
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The diatoms- Biology and morphology of the genera*. New York: Cambridge University Press.
- Ruivo, M., Amorim, A. & Cartaxana, P. (2011). Effects of Growth Phase and Irradiance on Phytoplankton Pigment Ratios: Implications for Chemotaxonomy in Coastal Waters. *Journal of Plankton Research*, 33(7), 1012-1022. DOI: [10.1093/plankt/fbr019](https://doi.org/10.1093/plankt/fbr019)
- Sabancı, F.Ç. & Koray, T. (2011). Annual Variation in the Diversity, Species Richness and Composition of the Phytoplankton Assemblages in the Izmir Bay (Eastern Aegean). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 11, 303-313. DOI: [10.4194/trjfas.2011.215](https://doi.org/10.4194/trjfas.2011.215)
- Sisman Aydın, G. (2012). Interval Nutrient Pulses Responses of Competitive Culture Experiment: *Chaetoceros* sp. *Thalassiosira allenii* (Takano), *Gomphosphaeria* sp. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 11: 799-802. DOI: [10.3923/javaa.2012.799.802](https://doi.org/10.3923/javaa.2012.799.802)
- Stanbury, F.A. (1931). The Effect of Light of Different Intensities, Reduced Selectively and Non-selectively, upon the Rate of Growth of *Nitzschia closterium*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 17, 633-653. DOI: [10.1017/S0025315400051900](https://doi.org/10.1017/S0025315400051900)
- Stock, W., Vanelslander, B., Rüdiger, F., Sabbe, K., Vyverman, W. & Karsten, U. (2019). Thermal Niche Differentiation in the Benthic Diatom *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae) Complex. *Frontiers in Microbiology*. 10, 1395. DOI: [10.3389/fmicb.2019.01395](https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.01395)
- Sunlu, F.S., Büyükişik, B., Koray, T. & Sunlu, U. (2006). Growth Kinetics of *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann and Lewin Isolated From Aegean Sea Coastal Water (İzmir Bay/Türkiye). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 9(1), 15-21. DOI: [10.3923/pjbs.2006.15.21](https://doi.org/10.3923/pjbs.2006.15.21)
- Sunlu, U., Büyükişik, H.B., Koray, T., Bröckel, K., Sunlu, F.S., Sever, T.M., Aydın, H.G., Aksu, M., Aydın, A. & Orçun, E. (2007). Büyük Kanal Projesinin Aktif Hale Geçirilmesinin İzmir Körfezi Sularında Alt Besinsel Seviyeler Üzerine Etkileri, TÜBİTAK Proje No: 102Y116, 253s, Ankara.
- Şişman Aydın, G., Büyükişik, B. & Kocataş, A. (2013). Farklı Azot Kaynağının (NO₃ ve NH₄) Zararlı Denizel Diyatomu *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae) Büyümesi Üzerine Etkisi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(3): 90-96.
- Şişman Aydın, G., Büyükişik, B. & Kocataş, A. (2014). Fosfat ve Silikatın Zararlı Denizel Diyatom Büyümesi Üzerine Etkisi: *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae). *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 11(1): 44-52.
- Treydte, K. S., Schleser, G. H., Helle, G., Frank, D. C., Winiger, M., Haug, G. H. & Esper, J. (2006). The Twentieth Century was the Wettest Period in Northern Pakistan over the Past Millennium. *Nature*, 440, 1179-1182. DOI: [10.1038/nature04743](https://doi.org/10.1038/nature04743)
- Tümer, T. (2012). Günlük fitoplankton değişimi İnciraltı, İzmir Körfezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 108.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. & Bairlein, F. (2002). Ecological Responses to Recent Climate Change. *Nature*, 416, 389-395. DOI: [10.1038/416389a](https://doi.org/10.1038/416389a)
- Williams, R.B. (1964). Division Rates of Salt Marsh Diatoms in Relation to Salinity and Cell Size. *Ecology*, 45, 877-880. DOI: [10.2307/1934940](https://doi.org/10.2307/1934940)
- Ying Du, G., Oak, H.J., Li, H. & Chung, I.K. (2010). Effect of Light and Sediment Grain Size on the Vertical Migration of Benthic Diatoms. *Algae*. 25(3), 133-140. DOI: [10.4490/algae.2010.25.3.133](https://doi.org/10.4490/algae.2010.25.3.133)