

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**İZMİR KÖRFEZİ'NDEN ALINAN BAZI DİATOM TÜRLERİNİN
BÜYÜMESİ ÜZERİNE NÜTRİENT, IŞIK, SICAKLIK VE
TUZLULUĞUN ETKİLERİ**

Merve Betül ÜSTÜN

Tez Danışmanı: Hasan Baha BÜYÜKİŞİK

Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 30/11/2018

Bornova-İZMİR

2018

Merve Betül ÜSTÜN tarafından Yüksek Lisans tezi olarak sunulan “İzmir Körfezi'nden alınan bazı diatom türlerinin büyümesi üzerine nütrient, ışık, sıcaklık ve tuzluluğun etkileri” başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 30/11/2018 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. H. Bahar BİYMÜKİŞİK

Raportör Üye : Doç. Dr. Dilem ÇAKAL ARSLAN

Üye : Prof. Dr. ESN. SUZER

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “İzmir Körfezi’nden alınan bazı diatom türlerinin büyümesi üzerine nütrient, ışık, sıcaklık ve tuzluluğun etkileri” başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlanmasından yazıma kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

Tarih: 30/11/2018

İmza: 

Merve Betül ÜSTÜN

ÖZET**İZMİR KÖRFEZİ'NDEN ALINAN BAZI DİATOM TÜRLERİNİN
BÜYÜMESİ ÜZERİNE NÜTRİENT, IŞIK, SICAKLIK VE TUZLULUĞUN
ETKİLERİ**

ÜSTÜN, Merve Betül

Yüksek Lisans Tezi, Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hasan Baha BÜYÜKİŞİK

Kasım 2018, 85 sayfa

Cylindrotheca closterium İzmir Körfezi'nde özellikle ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde baskın olabilen diatom türlerinden biridir. Bu tezde *Cylindrotheca closterium* türünün farklı sıcaklık, ışık şiddeti, nütrient konsantrasyonları ve tuzluluklar altındaki büyüme kinetikleri üzerine çalışılmıştır. Ayrıca türün gelecekte İzmir Körfezi'ndeki durumu küresel iklim değişikliğinin olası etkileri göz önünde bulundurularak tahmin edilmiştir.

Işık ve sıcaklık deneyi eş zamanlı olarak yapılmıştır. 18 °C'de maksimum spesifik büyüme hızı $\mu_{max}= 1,974276 \pm 0,167668 \text{ gün}^{-1}$ ve yarı doyumluk sabiti $K_I=0,047799 \pm 0,027594$ olarak elde edilmiştir. Optimum olarak belirlenen %0,15 tuzlulukta spesifik büyüme hızı $2,012 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Farklı amonyum, nitrat, reaktif fosfat ve reaktif silis konsantrasyonlarında elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları sırasıyla $2,48144 \pm 0,612617 \text{ gün}^{-1}$, $1,92402 \pm 0,314997 \text{ gün}^{-1}$, $2,082751 \pm 0,051604 \text{ gün}^{-1}$ ve $1,970746 \pm 0,190054 \text{ gün}^{-1}$ 'dir. Bu nütrientler için bulunan yarı doyumluk sabitleri ise sırasıyla $17,83828 \pm 14,40044 \mu\text{g at-NH}_4^+-\text{N}$, $27,31992 \pm 19,040738 \mu\text{g at-NO}_3^--\text{N}$, $0,252677 \pm 0,038891 \mu\text{M PO}_4-\text{P}$ ve $0,332320 \pm 0,236107 \mu\text{M Si}$ 'dir.

Anahtar sözcükler: Büyüme kinetikleri, ışık, sıcaklık, tuzluluk, nütrient, *Cylindrotheca closterium*, küresel iklim değişikliği.



ABSTRACT**EFFECTS OF NUTRIENTS, TEMPERATURE, LIGHT AND SALINITY
ON THE GROWTH OF SOME DIATOM SPECIES FROM IZMIR BAY**

ÜSTÜN, Merve Betül

MSc in Marine-Inland Waters Sciences and Technology

Supervisor: Prof. Dr. Hasan Baha BÜYÜKİŞİK

Kasım 2018, 85 pages

Cylindrotheca closterium is one of the diatom species that can be dominant particularly in spring, summer or autumn in İzmir Bay. In this thesis, growth kinetics of *Cylindrotheca closterium* have been studied under different temperature, light intensity, nutrient concentrations and salinity conditions. The status of the species in the near future in İzmir Bay has also been estimated while considering possible effects of global warming.

Temperature and light experiments have been carried out simultaneously and the obtained results at 18 °C are $\mu_{\max} = 1.974276 \pm 0.167668 \text{ d}^{-1}$ for the maximum specific growth rate and $K_1 = 0.047799 \pm 0.027594$ for the half saturation constant. The specific growth rate has been calculated to be 2.012 d^{-1} at 15 ‰ salinity which is determined to be the optimum concentration. Maximum specific growth rates for different concentrations of ammonium, nitrate, reactive phosphate and reactive silica are $2.48144 \pm 0.612617 \text{ d}^{-1}$, $1.92402 \pm 0.314997 \text{ d}^{-1}$, $2.082751 \pm 0.051604 \text{ d}^{-1}$ and $1.970746 \pm 0.190054 \text{ d}^{-1}$, respectively. Half saturation constants that are obtained for these nutrients are $17,83828 \pm 14,40044 \text{ } \mu\text{g at-NH}_4^+\text{-N}$, $27,31992 \pm 19,040738 \text{ } \mu\text{g at-NO}_3^-\text{-N}$, $0,252677 \pm 0,038891 \text{ } \mu\text{M PO}_4\text{-P}$ and $0,332320 \pm 0,236107 \text{ } \mu\text{M Si}$, respectively.

Key words: Growth kinetics, light, temperature, salinity, nutrient, *Cylindrotheca closterium*, global climate change.



TEŐEKKÖR

Çalıőmam boyunca benden yardımlarını esirgemeyen aileme, baőta danıőmanım Prof. Dr. Hasan Baha Bőyőkıőık olmak űzere, çalıőtıėım tőrőn fotoğraflarını çekmemde bana yardımcı olan Fatma Çolak Sabancı'ya, tez sőreci boyunca bana moral ve destek veren Prof. Dr. Uėur Sunlu ve Prof. Dr. Tufan Koray'a ve arkadaşlarıma teőekkőrő bir borç bilirim.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xvi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xix
1. GİRİŞ	1
2. ALGAL BÜYÜMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER	4
2.1. Işık	4
2.2. Sıcaklık	5
2.3. Tuzluluk	5
2.4. Nütrientler	6
2.5. pH	9
3. ALGAL BÜYÜME EVRELERİ	10
3.1. Hücre Büyümesi İçin Monod Modeli	11
3.2. Yarı Doygunluk Sabiti	12
4. LİTERATÜR ÖZETİ	13
5. MATERYAL VE METOD	20

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1. Türün Sistematikteki Yeri	20
5.2. Tür İzolasyonu ve Nutrient Zenginleştirmesi	20
5.3. Parametrelerin (Işık, Sıcaklık, Tuzluluk ve Nutrientler) Belirlenmesi	24
5.4. İstatistiksel Analizler.....	26
6. BULGULAR	27
6.1. Farklı Işık Şiddetleri ve Sıcaklıkların Mikroalg Büyümesine Etkisi	28
6.1.1. 10 °C’de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi	28
6.1.2. 18 °C’de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi	30
6.1.3. 26 °C’de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi	31
6.1.4. 30 °C’de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi	32
6.2. Tuzluluğun Mikroalg Büyümesine Etkisi	34
6.3. Nutrientlerin Mikroalg Büyümesine Etkisi	35
6.3.1. Amonyum	35
6.3.2. Nitrat	36
6.3.3. Reaktif Fosfat.....	37
6.3.4. Reaktif Silis	38
7. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA	40
KAYNAKLAR DİZİNİ	48

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 66



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1. Algal büyüme eğrisi.	10
Şekil 3.2. Algal besin alımının Monod modeli ile gösterimi	11
Şekil 5.1. <i>Cylindrotheca closterium</i> türüne ait fotoğraf (orijinal).....	21
Şekil 5.2. Sabit sıcaklık odası.....	22
Şekil 5.3. Deney tüpleri.	24
Şekil 6.1. <i>C. closterium</i> türünün 10 °C’de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.	29
Şekil 6.2. <i>C. closterium</i> türünün 18 °C’de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.	31
Şekil 6.3. <i>C. closterium</i> türünün 26 °C’de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.	32
Şekil 6.4. <i>C. closterium</i> türünün 30 °C’de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.	33
Şekil 6.5. Spesifik büyüme hızlarının farklı tuzluluklardaki değişimi.	35
Şekil 6.6. Farklı NH ₄ ⁺ -N konsantrasyonlarında <i>C. closterium</i> türünün büyüme hızları.	36
Şekil 6.7. Farklı NO ₃ ⁻ -N konsantrasyonlarında <i>C. closterium</i> türünün büyüme hızları	37
Şekil 6.8. Farklı RP konsantrasyonlarında <i>C. closterium</i> türünün büyüme hızları.	38
Şekil 6.9. Farklı RSi konsantrasyonlarında <i>C. closterium</i> türünün büyüme hızları	39

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 7.1. <i>C. closterium</i> türünün farklı ışık şiddeti ve sıcaklıklarda spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması.....	41
Şekil 7.2. <i>C. closterium</i> türünün sıcaklık ile spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması.....	42
Şekil 7.3. Haftalık dağılım	48



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Mikroalg kültürleri için belirlenmiş optimum üretim koşulları.....	9
Çizelge 5.1. Guillard (1975) f/2 ortamında bulunan maddeler ve miktarları	23
Çizelge 5.2. Deney tüpü çeşitleri ve ışık şiddetleri.	25



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
CO ₂	Karbondioksit
NH ₄ ⁺ -N	Amonyak azotu
NO ₃ ⁻ -N	Nitrat azotu
RP	Reaktif fosfat
RSi	Reaktif silis
μ	Mikro
μM	Mikromolar
L	Litre

1. 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 ısınmaya önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Dünya'nın ısınması bölgesel iklim değişikliklerine neden olmakta ve birçok fiziksel, biyolojik ve kimyasal prosesi etkilemektedir (Walther et al. 2002, Treydte et al. 2006). Atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonunun artmasının, biyolojik olarak zararlı olan UV ışınımı (radyasyon) seviyelerinin artması ile sonuçlanan stratosferdeki ozonun azalmasında da büyük bir payı vardır. Dahası, CO₂ seviyelerinin artması deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır ve okyanus kimyasını önemli ölçüde etkilemektedir (Hallock, 2005; Sehnal et al., 2014).

Geçen 150 yıldan bu yana, fosil yakıt kullanımının dünya çapında ortalama deniz yüzeyi sıcaklıklarının yaklaşık 0,7 °C artmasında büyük bir payı vardır (Rayner et al., 2006). Gelecekte bu etkinin daha belirgin olacağına inanılmaktadır. 2100 yılına kadar, küresel deniz yüzeyi sıcaklığının şu anki ilaveten 1 ile 4 °C arası artması beklenmektedir (Bindoff et al., 2007).

İklimdeki bu son hızlı değişimlerin tür kompozisyonları, dağılım ve biyojeokimyasal kompozisyonun değişmesi gibi büyük etkileri olabilir (Doney et al., 2012). Değişken çevre koşullarındaki habitatlarda, organizmalar yeni koşullara adapte olma yöntemleri geliştirirler. Sıcaklık dalgalanmalarına karşı membran yağ asidi kompozisyonunu değiştirmek en sık görülenlerden biridir (Hazel and Williams, 1990). Sıcaklıkla beraber oksijen konsantrasyonu, tuzluluk, pH ve ışık organizmanın adaptasyonu için yetersiz olduğu takdirde strese yol açabilecek bazı çevresel etkenlerdir (Somero, 2012; Andersson, 2015).

Denizel mikrobiyal komüniteler oldukça çeşitlidir; birbirine bağlanan siyanobakteri gruplarından, heterotrofik bakterilerden, Archaea'dan, virüslerden, ökaryotik fitoplankton ve protistadan oluşur. Fitoplankton içinde, büyüklükleri birkaç mikrometre ile birkaç milimetre arasında değişiklik gösterebilen, hücrelerin

tek başına olabildiği veya birbirlerine bağlanan zincirler halinde de yaşayabilen, en çok çeşit bulunan grup diatomlardır (Wiebe et al., 2007).

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 et al., 1990; Ramirez et al., 2015). Ayrıca birincil (ototrofik) ve ikincil (heterotrofik) üretim arasında asli bir bağlantı oluştururlar. Birçok organizma diatomlarla beslenir ve bu yolla sucul besin ağına entegre olurlar (Taylor et al., 2007).

Silikadan oluşan bir hücre duvarına sahip olmalarıyla diatomlar mikroskobik algler arasında eşsiz bir yere sahiptirler. Oldukça belirgin geometrik şekillere sahiplerdir. Tek hücreli, eukaryotik ve fotosentetik organizmalardır. Hücre boyutları 5µm ile 0,5 mm arasında değişir. Doğada ya planktonik (serbest yüzen) ya da bentik (substrata bağlı olarak yaşayan) olarak yaşarlar. Bireyler genellikle soliterdir, ancak bazen koloni oluşturdukları da gözlenmiştir (Kale and Karthick, 2015). Tek başlarına yaklaşık %20-25'lik küresel oksijen üretiminden sorumludurlar. Bu oran, bütün yağmur ormanlarının tamamının birincil üretiminden daha fazladır. Aynı zamanda silis döngüsünde oldukça önemli bir role sahiptirler ve özellikle karbon döngüsünde karbon fiksasyonunda, CO₂'yi büyük oranlarda biyokütleye dönüştürerek, diğer biyojeolojik döngülere de katkıda bulunmaktadır (Smol and Stoermer, 2010).

Diatomlar deniz, tatlı su ve bazı karasal habitatlar da dahil olmak üzere çok çeşitli habitatlarda gelişebilmektedirler. Birçok diatom türü global bir dağılım gösterir ve bu türler genellikle kirliliğe karşı dayanıklı olan türlerdir. Ilıman ve tropik ülkelerde su kalitesinin değerlendirilmesinde de başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. 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. 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 and Karthick, 2015).

Bu çalışmanın amacı, İzmir Körfezi'nden izole edilen *Cylindrotheca closterium*'un büyüme kinetiklerinin incelenerek türe ait büyüme modellenmesi yapmaktır. İkincil bir amaç ise küresel iklim değişikliğinin tür üzerinde oluşturabileceği etkileri öngörmeye çalışmaktır.



2. ALGAL BÜYÜMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Sıcaklık, ışık, pH ve besin gibi çevresel faktörler sadece fotosentezi ve alg büyüme hızını etkilemekle kalmaz; aynı zamanda hücresel metabolizma ve kompozisyonunu da etkiler. Algler fotosentez süresince sadece ışık ve besinleri kullanarak lipid, protein ve karbonhidrat üretirler. Bu metabolik ürünlerin nispi miktarları güneş ışığı şiddetinin miktarı, CO₂ seviyeleri, pH, sıcaklık, mevcut besinler ve diğer organizmaların ortamda bulunup bulunmaması gibi çevresel koşullar ile sıkı sıkıya bağlantılıdır. Karbon, hidrojen ve oksijen algal büyüme için gerekli ve madensel olmayan besinlerdir. Makronütrientler azot, fosfor, sülfür, potasyum, magnezyum vb. içerir. Esas iz elementlerden olan kobalt, bakır, bor, çinko ve molibdenyum gibi diğer elementler ile (4.5- 2.5 ppm) demir ve manganez gibi mikronütrientler de az miktarlarda (30-2.5 ppm) gereklidir. (Walker, 1954). Topluca çevresel koşullar (özellikle ışık ve sıcaklık) ile madensel olmayan besinlerin, makronütrientlerin ve mikronütrientlerin ortamdaki mevcudiyeti, mikroalglerin biyokimyasal kompozisyonunu büyük ölçüde etkiler (Morris et al., 1974; Nakamura and Miyachi, 1982; Gordillo et al., 1998; Fabregas et al., 2004). Diğer faktörlerden pH ve ortamda bulunan toksik metaller de algal büyümeyi ve metabolizmasını etkileyen önemli etkenlerdendir. Genel olarak bütün bu faktörler fotosentezi etkiler, böylece karbon fiksasyonunu ve karbonun farklı şekillerde makromoleküllere ayrıştırılmasını da etkiler (Juneja et al., 2013).

2.1. Işık

Mikroalgler foto-ototrofturlar, yani ışıktan enerji elde ederler. Ancak, bazı algler basit organik bileşikleri enerji ve karbon kaynağı olarak kullanırlar ve böylece karanlıkta da büyüyebilirler. Fotosentezde ışık enerjisi kimyasal enerjiye dönüştürülür ama bu enerjinin büyük bir çoğunluğu ısı olarak kaybolur (Rathod, 2014).

Işığın durumu (süre ve yoğunluk) doğrudan mikroalglerin fotosentez yapmasını ve büyümesini etkiler. Mikroalgler daha üretken bir fotosentez için aydınlık ve karanlık döngüsüne ihtiyaç duyarlar. Işığa fotokimyasal fazda adenozin trifosfat (ATP) ve nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADPH)

üretmek için; karanlığa ise biyokimyasal fazda gelişiminde gereken molekülleri sentezlemek için gerek duyar (Cheirsilp and Torpee, 2012).

Yapılan bazı çalışmalar, yeşil alglerin mavi ve kırmızı ışıkta daha iyi büyüdüklarini göstermiştir. Işık şiddeti, karanlık-aydınlık döngüsü ve aynı zamanda çevresel faktörler algal büyümede, biyokütle akümülyasyonunda ve biyodizel üretiminde oldukça önemli bir role sahiptir (Singh and Singh, 2015).

2.2. Sıcaklık

Işık sınırlayıcı olmadığında sıcaklık algal büyüme hızını, hücre büyüklüğünü, biyokimyasal kompozisyonu ve besin gereksinimini etkileyen en önemli çevresel faktörlerden biridir. Işık sınırlanmadığında, sıcaklıktaki artış fotosentez hızını ve dolayısıyla büyüme hızını artırabilir (Kendrick, 2011). Ancak, mikroalg büyümesini en çok ışığın sınırlamasına rağmen, çok fazla ışık fotosentetik etkinliğin azalmasına neden olur. Sıcaklık artışı algal büyümeyi optimum sıcaklığa erişilinceye kadar artırır. Daha fazla sıcaklık artışı algal büyüme hızında hızlı bir düşüşe neden olur (Larsdotter, 2006). Sıcaklık artışı belirli bir aralığa kadar alg gelişimi için iyidir, kritik sıcaklık eşiği aşıldıktan sonra ise büyüme durur (Ras et al., 2013). Kültürü yapılan birçok mikroalg türünün genellikle 16-27 °C arası sıcaklıklara toleransı yüksektir (Barsanti and Gualtier, 2006).

2.3. Tuzluluk

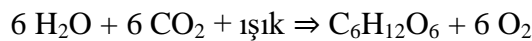
Çevresel koşulların olabilecek en iyi değerlere ayarlanması mikroalg büyüme hızlarını optimize etmek için oldukça etkili bir yöntemdir (Mata et al., 2010). Tuzluluk, ışık yoğunluğu, sıcaklık (Ak et al., 2008), fotoperiyod ve kültür ortamındaki besin kompozisyonu gibi çevresel faktörlerin bileşiminin mikroalg büyüme hızlarını etkilediği bilinmektedir (Kitaya et al., 2008; Fakhri et al., 2015). Tuzluluktaki değişiklikler denizel organizmalar için oldukça önemli olan lipid üretimi ve büyüme gibi çeşitli biyokimyasal ve fizyolojik mekanizmaları etkiler (Fava and Martini, 1988; Adenan et al., 2013). Mikroalglerin ortamdaki tuzluluk ve osmotik stres artışı karşısında verdiği cevap osmoregülasyon için küçük

moleküller akümüle etmeleridir (Richmond, 2004). Lipid, hücre membranının ve depo ürünlerinin yapısal içeriği gibi hücresel işlevlerde hayati önem taşımaktadır. Mikroalg lipid içeriği ve kompozisyonunun ışık, sıcaklık ve tuzluluk gibi çevresel değişkenlere cevaben değiştiği yapılan bazı çalışmalarda gösterilmiştir (Asulabh et al., 2012; Suyono et al., 2015). Hu (2004) ile Rao et al.,(2007) yaptıkları çalışmalar sonucunda, tuzluluk artışının alglerin lipid içeriğinde küçük bir miktar artışa yol açtığını; ancak aşırı tuzluluğun mikroalglerin tuzluluk stresine bağlı olarak büyüme fazında koloni oluşturma eğiliminde olmaları, fotosentezin inhibe edilmesi ve büyüme hızının düşmesi nedeniyle, büyüme üzerinde olumsuz etkisi olduğunu bildirmişlerdir.

Denizel fitoplanktonun tuzluluk değişimine olan toleransı oldukça yüksektir. Pek çok tür için en iyi algal büyüme, doğal ortamdaki tuzluluğa göre biraz daha düşük tuzlulukta gözlemlenmektedir (Barsanti and Gualtier, 2006).

2.4. Nütrientler

Mikroalgler fotosentezde karbonu asimile eder. Güneş enerjisi yan ürün olarak oksijen ile birlikte kimyasal enerjiye dönüştürülür. İkinci basamakta ise kimyasal enerji karbon dioksidi asimile etmek ve şekere dönüştürmek için kullanılır (Larsdotter, 2006). Fotosentezin stokiyometrik formülü şu şekildedir:



Mikroalgler CO₂ fiksasyonu konusunda karasal bitkilere göre fotosentetik olarak daha etkin kabul edilirler. Fiksasyon işleminde su, daha sonra çeşitli kompleks şeker formlarına (karbonhidrat, nişasta gibi) dönüşecek olan glukozun üretimi için elektron verici gibi davranırken, mikroalgler CO₂'yi inorganik karbon kaynağı olarak kullanırlar. Birçok mikroalg türü Na₂CO₃ ve NaHCO₃ gibi karbonatları hücre gelişimi için faydalı hale getirerek kullanabilmektedir (Wang et al., 2010). Mikroalgler karbon tüketirken, hücre bölünmesi meydana gelir ve ortamdaki hücre dışı pH artar (Sager and Granick, 1953; Azov, 1982; Guckert and Cooksey, 1990).

Azot karbonun dışında mikroalgler için ikinci sıradaki en önemli besindir (Larsdotter, 2006) ve mikroalgal biyomasta ikinci en bol bulunan elementtir. Kuru ağırlığın içeriği %1 ile %14 arasındadır (tipik olarak yaklaşık %5-10) (Grobbelaar, 2004). Azot nükleik asitlerin (DNA, RNA), aminoasitlerin (proteinler) ve pigmentler (klorofil ve fikosiyanın vb.) gibi ana biyokütle biyokimyasal bileşiklerin yapısına katılır. NO_3^- , NO_2^- , NO , NH_4^+ gibi inorganik formlarda ve bazı durumlarda N_2 olarak, aynı zamanda üre veya aminoasit gibi organik formlarda da alınabilir (Flores and Herrero, 2005; Perez-Garcia et al., 2011). Mikroalgler karasal bitkilerle kıyaslandığında oldukça yüksek protein içeriğine sahip oldukları için (%30-60) (Becker, 1994) azot ihtiyacı fazladır (Markou et al., 2014).

Nitrat (NO_3^-) sentetik ortamda mikroalg ve siyanobakteri yetiştiriciliği için en yaygın olarak kullanılan mineral azot formudur. En sık kullanılan nitrat tuzu NaNO_3 ve daha az sıklıkla kullanılanı ise KNO_3 'tür (Grobbelaar, 2004). Nitrat aktif mekanizmalarla alındığı için enerji tüketir (Graham and Wilcox, 2000). Nitrat hücreler için toksik etkiler göstermez ve mikroalgler 100 μM konsantrasyona kadar nitrat alımına tolerans gösterebilirler. Ancak nitrat konsantrasyonu arttığında büyümeye olumsuz etkisinin olduğu bazı araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Jeanfils et al., 1993). Muhtemelen, nitrat konsantrasyonu yüksek olduğu zaman nitrat redüktaz aktivitesi artmakta ve bu durum hücre içinde yüksek nitrit ve amonyak (her ikisi de hücreler için toksiktir) konsantrasyonu oluşması ile sonuçlanmaktadır (Chen et al., 2009; Jeanfils et al., 1993; Kim et al., 2013; Markou et al., 2014).

Azot oldukça uzun bir süredir üretimi sınırlayan esas bitki besini olarak bilinmektedir. Liebig (1840) bitkisel büyümenin toprakta en az miktarda yeterli olarak bulunan bir elementten ya da bileşikten dolayı sınırlandığını belirten “minimum yasası” ile ortaya koymuştur. Genellikle sınırlayıcı faktör sudur ancak toprak devamlı biçildiğinde verimliliği düşer ve ana bitkisel besinlerden bir tanesi büyümeyi sınırlar. Çoğu durumda azot yetersiz hale gelen ilk besindir. Minimum yasasına göre, bu durum meydana geldikten sonra azotun ortama eklenmesi başka bir ana besin yetersiz hale gelinceye kadar üretimi iyileştirecektir. Fosfor genellikle büyümeyi sınırlayan ikinci besindir (Lal and Stewart, 2018) Algal besin

kinetiklerinin önemli bir kuralı da algal türlerin gelişimini aynı anda sadece bir nütrientin sınırlayabileceğidir. Bu nedenle, iki veya daha fazla besin büyüme sınırlayıcı konsantrasyonda olsa bile, yalnızca bir tanesi büyüme sınırlayacaktır (Sigeo, 2004).

Bir diğer makro-nütrient olan ve inorganik ortofosfat olarak alınan fosfor mikroalgal büyümede en önemli besinlerden bir tanesidir (Larsdotter, 2006). Biyokütle içeriği %0.05 ile %3.3 arasında değişir (Grobbelaar, 2004). Fosfor nükleik asitler (DNA ve RNA), membran fosfolipidleri ve ATP gibi metabolizmada asli görevleri olan çeşitli organik moleküllerin bileşenidir (Geider and La Roche, 2002). Özellikle doğal ortamlarda mikroalgler için limitleyici besin genellikle fosfordur (Oliver and Ganf, 2000). Fosfor yenilenebilir olmayan ve rezervlerinin gelecekte tükeneceği düşünülmekte olan fosil fosfat kayalarından (kalsiyum fosfat) gelmektedir, yani karbon ve azot gibi yenilenebilir değildir (Elser, 2012). Doğal ortamlarda ve atık sularda fosfor ortofosfat, polifosfat, metafosfat, pirofosfat ve bunların organik formları gibi çeşitli formlarda bulunmaktadır (Cembella et al., 1982; Yeoman et al., 1988). Fosforun hücreler tarafından ortofosfat formunda alındığı bilinmektedir, ancak diğer inorganik ve organik fosfor formları (başlıca çözünmüş organik fosfor ve aynı zamanda çözünmeyen fosfor bileşikleri) da mikroalgler tarafından kullanılabilir (Huang and Hong; 1999; Whitton, 1991 Markou et al., 2014).

Azotun ortamda yetersiz olması, fotosentez ve hücre bölünmesi gibi birçok hücre fonksiyonunun gerçekleşmesi için gerekli olan protein sentezini sınırlar. Hücreler yağ asidi sentezi vb., inorganik karbon fiksasyonu için, alternatif metabolik yollar kullanarak bunu telafi eder (Msanne et al., 2012). Hücre büyümesi ve bölünmesi besin eksikliği yüzünden engellendiğinde, fotosentez için başlıca elektron alıcı tedariki $NADP^+$ kullanılabilir. Genellikle fosfor ortamda yeterli miktarda bulunmadığında karbonhidrat depo ürünleri artarken; protein, klorofil a, RNA ve DNA azalma eğilimi gösterir (Kaplan et al., 1986; Byrd and Burkholder, 2017).

Silikat, hücre duvarının bileşeni olarak ve metabolik düzenleyici olarak elzemdir. Yokluğunda proteinler, DNA, klorofil ve karotenoid sentezi yavaşlar,

fotosentez ve glikoz azalır, lipid sentezi de silikatların ortamda bulunup bulunmamasına göre artabilir ve değişebilir (Werner 1978, Taguchi et al. 1987, Roessler 1988, Round et al. 1990).

2.5. pH

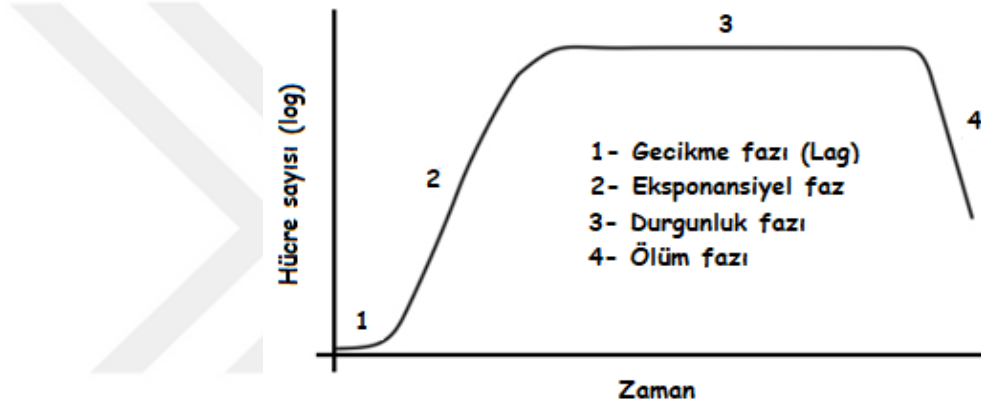
Suyun pH'ı mikroalg gelişimi ile yakından ilgilidir. Fotosentez süresince pH değişir. Büyüme için ortam koşulları bazik iken, mikroalgin atmosferden CO₂ yakalaması daha kolay olacaktır ve böylece daha fazla biyokütle üretilebilecektir (Zang et al., 2011; Melack, 1981). pH'ın artması ile birlikte, CO₂ suya esas olarak karbonun zayıf bazik bir formu olan HCO₃⁻ olarak transfer edilecektir. Mikroalgler esas olarak bu formu kullanabilirler. Ancak Liu et al. (2005)'in yaptığı bir çalışmaya göre mikroalgin klorofil içeriği pH değeri 8.5'den 9.5'e çıktığında azalacaktır (Ren, 2014). Birçok alg kültürü için pH aralığı 7 ile 9 arasındadır, optimum olarak ise 8.2-8.7 aralığındadır (Gezici vd., 2012). Çizelge 1'de bazı araştırmalar sonucu elde edilmiş olan mikroalg kültürleri için belirlenmiş optimum üretim koşulları yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Mikroalg kültürleri için belirlenmiş optimum üretim koşulları (Gezici vd., 2012).

Parametreler	Alt-Üst Sınır	Optimum değerler
Sıcaklık (°C)	16 – 27	18 – 24
Tuzluluk (g/l)	12 – 40	20 – 24
Isık şiddeti (lux)	1,000 – 10,000	2,500 – 5,000
Fotoperiyod (Gündüz:gece saat)	-	16:8 minimum 24:0 maksimum
pH	7 – 9	8,2 – 8,7

3. ALGAL BÜYÜME EVRELERİ

Alglerin yaşamı 4 ana aşamadan oluşur. Bunlar gecikme fazı (lag), eksponansiyel faz (logaritmik veya üstel faz da denilmektedir), durgunluk fazı ve ölüm fazıdır. Gecikme fazında hücre yoğunluğunda az bir artış görülür. Bunu takip eden eksponansiyel fazda hücre yoğunluğu zamanın bir fonksiyonu olarak (logaritmik fonksiyona uygun olarak) artmaya başlar. Bir sonraki aşama olan durgunluk fazında sınırlayıcı faktörler ve büyüme hızı dengede olduğu için ne artış ne de azalış gözlenir. Ölüm fazında ise hücre yoğunluğu hızlıca azalır ve sonuç olarak kültür çöker (Umdu, 2012).



Şekil 3.1. Algal büyüme eğrisi.

Ketchum ve Redfield (1949) yaptıkları bir çalışmada algal biyokütlenin C:N:P için sabit bir atomik oran içerdiğini ve bu oranın 106:16:1 (ağırlık olarak oran yaklaşık olarak 42:7:1'dir) olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu, Redfield oranı olarak adlandırılır. Belirli sınırlamalar içinde Redfield oranı fitoplankton ve zooplankton için tatlı su ve denizde sabittir (Falkowski, 2000; Sigeo, 2004). Alglerde bu elementlerin oranlarındaki değişkenlikler genellikle besin durumunun veya besin sınırlamasının göstergesidir. Örneğin; "N:P=16 büyüme iyi düzeyde, P sınırlaması yok; N:P>30 hücrede yeterli miktarda P yok; P sınırlayıcı olabilir" anlamını taşımaktadır.

3.1. Hücre Büyümesi İçin Monod Modeli

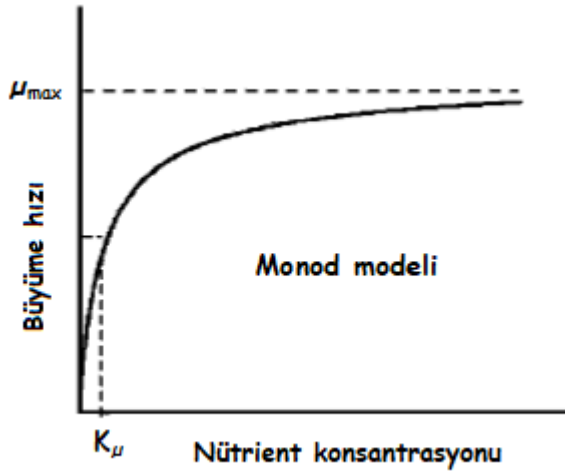
Monod, mikrobiyal büyüme kinetikleri ile ilgili modelini büyümeyi sınırlayan substrat kavramını ortaya koyarak, bunu $\mu = \mu_{\max} \frac{S}{K_{\mu} + S}$ modeli ile ifade etmiştir. Birçok araştırmacı Monod denkleminin algal büyümenin modellenmesinde daha uygun olduğunu ileri sürmüştür. Bu denklem, bakteriyel büyüme ile ilgili olarak geliştirilmiş ve Michaelis-Menten denklemine benzerdir (Sigeo, 2004). Bu modelde,

μ = spesifik büyüme hızı (zaman⁻¹)

μ_{\max} = maksimum büyüme hızı

S = substrat konsantrasyonu ($\mu\text{mol L}^{-1}$)

K_{μ} = büyümeyi sınırlayan besin için yarı doygunluk sabitini ifade eder.



Şekil 3.2. Algal besin alımının Monod modeli ile gösterimi

Monod modelinde (Şekil 3.2) büyüme hızı, μ_{\max} ve K_{μ} parametreleri aracılığıyla yalnızca bir adet büyümeyi sınırlayan substrat konsantrasyonu ile ilişkilidir (Okpokwasili and Nweke, 2005). Bazı kısıtlamalara rağmen, Monod modeli kısa süreli yığıl kültür deneylerinden elde edilen verilere başarılı bir

şekilde uygulanmıştır ve algler arasındaki rekabet ilişkilerini öngörmek için de oldukça kullanışlıdır (Sigeo, 2004).

3.2. Yarı Doymuluk Sabiti

Yarı doymuluk sabiti (K_s) maksimum alım hızının yarısının ulaştığı zamandaki besin konsantrasyonu anlamını taşımaktadır. Düşük K_s değerleri, kaynakları hızlı bir şekilde düşük konsantrasyonlarda elde eden bitkilerde gözlemlenirken; yüksek değerlerin çevresel konsantrasyonlara daha az duyarlı organizmalar için geçerli olduğu yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Örneğin, fitoplanktonca absorbe edilen nütrientler için K_s değerleri, aynı türler için bile ötrofik nehir ağızlarından oligotrofik okyanuslara doğru gittikçe artan bir eğim gösterir (Carpenter and Guillard, 1971). Bu durum, organizmaların oluşumlarının ve adaptasyonlarının buldukları ortamdaki kaynakların seviyelerini (dolayısıyla sitokiyometrik niteliği) yarı doymuluk sabiti K_s değerleri ile yansıttıklarını ortaya koymaktadır (Mulder and Hendriks, 2013).

4. LİTERATÜR ÖZETİ

Mikroalg büyüme kinetikleri ile ilgili yapılan çok sayıda çalışma vardır. Bu bölümde *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme kinetikleri ile ilgili yapılan çalışmaların yanı sıra diğer diatom türlerinin büyüme kinetikleri ilgili yapılan çalışma sonuçlarına da yer verilmiştir.

Doğu tropik Pasifik Okyanusu'nda 10 m derinlikte yapılan bir çalışmada μ değerleri ölçülmüştür (Thomas, 1970; Thomas and Owen, 1971). *In situ* ölçümler sonucu μ yaklaşık olarak 0,2 çiftlenme/gün olarak hesaplanmış ve buna ortamdaki düşük azot konsantrasyonunun neden olduğu düşünülmüştür. Gemideki kültürler nitrat ve amonyak ile zenginleştirilmiş ve azot konsantrasyonlarının değiştirilmesi ile μ değerinin değiştiği saptanmıştır (μ_{max} 1,1-1,5 çiftlenme/gün bulunmuştur) (Thomas, 1970; Eppley, 1972). Birçok durumda nütrient sınırlaması (üst tabakadaki yüzey sularında) veya ışık sınırlamasının (derin sularda ve dikey karışımın fitoplanktonun maruz kaldığı etkin ışık seviyesini azaltabileceği tabakalaşmamış sularda) μ değerlerini düşürüyor olabileceğini söylemişlerdir.

Admiraal (1977), nehir ağzındaki bentik diatom türleri olan *Amphiprora cf. paludosa*, *Nitzschia cf. dissipata*, *Navicula arenaria* ve *Nitzschia sigma* ile yaptığı çalışmada farklı sıcaklıklarda *N. arenaria* için en yüksek büyüme hızını 16-20 °C elde ederken; diğer üç tür için en yüksek büyüme hızı 25 °C ve üstündeki değerlerde elde etmiştir.

Belcher ve Swale (1982), laboratuvar ölçeğinde alg yetiştiriciliği için bir kitapçık hazırlamışlardır. Ortamın hazırlanmasının ve diğer yetiştirme unsurlarının yanında ışıklandırma da göz önünde bulundurulmuştur. Kültürlerin yetiştirildiği kapların kuzey yönündeki pencere yanına konulması ve kapların doğrudan güneş ışığına maruz kalmaması önerilmiştir.

Fawley (1984) tarafından yapılan bir çalışmada 23-25 °C arası sıcaklıklardaki *Phaeodactylum tricornutum* türüne ait hücre büyüklüklerinin daha düşük sıcaklıklardakilere nazaran daha büyük olduğunu bildirmişlerdir. Aynı

zamanda büyüme sıcaklığı artışının diatomların karbon fiksasyonunu arttırması ile sonuçlandığı da belirtilmiştir.

Denizel mikroalglerin ışık yoğunluğu ve kalitesindeki değişikliklere vereceği cevabı gözlemek amacıyla Güney Hudson Limanındaki belirli koşulları yaklaşık bir yıl boyunca incelendiği bir çalışmada, algal büyüme mavi ışık altında inkübe edildiğinde beyaz ışık altındaki büyüme göre iki kat daha fazla gelişim olduğu kaydedilmiştir. Buzda yaşayan bu algler mavi yeşil ışığın mevcudiyetine göre çevreye adapte olmaya yönelik bir tepki verirler ve yüksek konsantrasyonda klorofil üretirler (Rochet et al., 1986).

Çeşitli sıcaklık ve ışık yoğunluklarının büyüme etkisinin incelendiği bir çalışmada yedi farklı Anktartik diatom türü (*Nitzschia cylindrus*, *Nitzschia kerguelensis*, *Corethron criophilum*, *Stellarima microtrias*, *Nitzschia turgiduloides*, *Chaetoceros deflandrei* ve *Synedra sp.*) üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmada kullanılan psikrofil pennat diatomlarda büyüme ve fotosentez için optimum sıcaklık değeri 3-5 °C olarak bulunmuştur. Sıcaklığa olan toleransın biraz daha iyi olduğu *Chaetoceros deflandrei* türü hariç diğer türlerin 6 ile 9 °C daha yüksek sıcaklıklarda yaşayamadıkları belirtilmiştir (Fiala and Oriol, 1990).

Domoik asit sentezleyen pennat diatom *Nitzschia pungens f. multiseriata* 80 ve 180 $\mu\text{E m}^{-2}$ PFD'de 5,10, 15,20 ve 25 °C'de kültürü yapılmıştır. Büyüme hızı (μ) 5°C'de 0,25 gün⁻¹ ile başlayıp 20 °C'de 0,65 gün⁻¹ ile maksimuma ulaştıktan sonra 25 °C'de 0,60 gün⁻¹'e inmiştir. Farklı ışık şiddeti ve sıcaklıklarda gelişen kültürlerde μ değerleri belirgin bir farklılık göstermemiştir. μ için Q₁₀ 5-15 °C arası sıcaklıklarda 1,76 ve 10-20 °C arası sıcaklıklarda 2,06 olarak bulunmuştur (Lewis et al., 1993).

İzmir Körfezi'nde yapılan bir çalışmada bir yıl boyunca denizden alınan su örnekleri ve yapılan çeşitli (nitrit, nitrat, amonyum, silikat ve fosfat) analizlerle fitoplankton büyümesini etkileyen faktörler ve popülasyon dinamikleri incelenerek, popülasyonların yarı doygunluk sabitleri ve büyüme hızları belirlenmiştir. Mayıs ayında *Nitzschia pungens* ve *Nitzschia closterium* türlerinin

dominant olduğu belirtilmiştir. Çalışmada *N. closterium* için herhangi bir sınırlayıcı besin belirlenememiştir (Aydın, 1993).

Sabancı ve Koray (2001) İzmir Körfezi mikrop planktonunu inceledikleri çalışmalarında (1998-1999) tür çeşitliliği ve hücre yoğunluğu açısından *Dinophyceae* ve *Bacillariophyceae* sınıflarının baskın olduğunu bulmuşlardır. Mevsimsel olarak yapılmış olan çalışmada maksimum sıcaklık değeri Eylül ayında 25.97 °C; minimum sıcaklık değeri ise Ocak ayında 12.18 °C olarak bulunmuştur. Koray (1985) yaptığı başka bir çalışmada bu iki sınıfa ait türlerin hücre yoğunluklarının sıcaklıkla arttığını bildirmiştir.

Yapılan başka bir çalışmada farklı mikroalg türlerinin farklı pH seviyelerinde gelişimleri incelenmiştir ve çalışmada kullanılan türler arasında *C. closterium*'un pH 9,5 iken bile yüksek büyüme hızı elde edilebilen tek diatom türü olduğunu bildirilmiştir (Pedersen and Hansen, 2003).

Başka bir çalışmada üç farklı bentik alg türü (*Nitzschia thermalis*, *Nitzschia laevis*, *Navicula incerta*) beyaz ve mavi monokromatik ışığın etkilerini saptamak için kullanılmıştır. Türler 250 ml'lik Erlenmeyer şişelerde 150 µmol m⁻²s⁻¹ sabit ışık şiddetinde, 22±1 °C'de, 34±1 PSU tuzlulukta ve f ortamında yetiştirilmiştir. Mavi ışığın büyüme hızını önemli ölçüde etkilemediği gözlemlenmiştir. Büyüme hızları *N. thermalis* için 0,35 gün⁻¹ ve *N. incerta* için 0,11 gün⁻¹ olarak bulunmuştur (Mercado et al., 2004).

Jeju Adası, Kore'nin kıyı sularındaki çevresel faktörler ile fitoplanktonun mevsimsel dinamiklerinin izlendiği bir çalışmada, suyun 16 °C ve tuzluluğun 34 psu olarak ölçüldüğü, besin konsantrasyonlarının oldukça yüksek miktarda bulunduğu (özellikle NH₄-N, NO₂-N ve PO₄-P'nin toplam konsantrasyonlarının 6 µg-at/ L olduğu zaman) kışın son zamanlarında *C. closterium*'un toplam fitoplanktonun %10'undan fazlasını içerdiğini tespit edilmiştir (Affan and Lee, 2004).

Nitzschia perminuta türünün büyümesini üç farklı sıcaklıkta (7, 15 ve 25 °C) incelenmiş ve en yüksek maksimum büyüme hızı 25 °C'de elde edilmiştir. 25,

15 ve 7 °C için en yüksek maksimum büyüme hızı sırasıyla 0.65 ± 0.14 çiftlenme/gün, $0,30 \pm 0,10$ çiftlenme/gün, $0,26 \pm 0,03$ çiftlenme/gün olarak bulunmuştur (Van der Grinten et al., 2005).

Mikroalglerin hücresel çoğalması üzerinde CO_2/O_2 konsantrasyonları, ışık yoğunluğu ve sıcaklığın etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, mikroalglerin 25-33 °C arası beş farklı sıcaklıkta; %10-30 arası CO_2 konsantrasyonlarında ve 20-200 $\mu mol m^{-2}s^{-1}$ arasında altı farklı ışık şiddetinde gelişimleri sağlanmıştır. En yüksek mikroalg çoğalma hızının 27-31 °C sıcaklıkta, %4 CO_2 konsantrasyonunda, %20 O_2 konsantrasyonunda ve yaklaşık 100 $\mu mol m^{-2}s^{-1}$ ışık şiddetinde elde edildiği bildirilmiştir (Kitaya et al., 2005).

Sunlu vd., (2006) tarafından yapılan bir çalışmada İzmir Körfezi'nden izole edilen *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme kinetikleri incelenmiştir. Sabit sıcaklık odasında (18 °C) 1300 ft Cd beyaz floresan ışıkların kullanıldığı çalışmada bazı besin tuzlarının (NH_4^+-N , $PO_4^{3-}-P$ ve Si) büyümeye etkisi araştırılmıştır. 161,7 μM , 170,7 μM ve 260,7 μM NH_4^+-N için bulunan spesifik büyüme hızları sırasıyla 0,82, 0,8 ve 2,11 $gün^{-1}$ 'dür. 4,20, 4,23 ve 4,50 μM $PO_4^{3-}-P$ için spesifik büyüme hızı 1 $gün^{-1}$ iken 6,01 ve 7,89 μM $PO_4^{3-}-P$ için 0,79 $gün^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. 7,39 μM , 8,39 μM , 17,39 μM , 34,12 μM ve 60,82 μM silikat için elde edilen spesifik büyüme hızları sırasıyla 2,27, 2,34, 2,66, 2,82 ve 3,99 $gün^{-1}$ 'dür. K_s değeri 9,58 μM ve μ_{max} 4,32 $gün^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmada silikatın sınırlayıcı nütrient olduğu sonucuna varılmıştır.

Gençay Aydın ve Büyüksık (2006) yaptıkları bir çalışmada Dem Limanı'ndaki (Ege Denizi) fitoplankton tür topluluklarının bir sene boyunca (Aralık 1994-1995) değişimlerini incelemiştir. Bölgede bulunan balık çiftliklerinden bölgeye bırakılan atık suların bölgeye ne denli etkisi olduğu ve su kalitesi de araştırılmıştır. Böylece bu çiftliklerin giriş-çıkış sularından deniz suyu örnekleri alınmıştır. Çalışma sonucunda suda diatomlardan aralarında *Nitzschia* sp., *Nitzschia longissima* ve *Cylindrotheca closterium* 'un da bulunduğu 17 tür saptanmıştır.

15, 20 ve 30 °C sıcaklıkta, 25, 30 ve 35 psu tuzlulukta ve f (%200), f/2 (%100) ve f/4 (%50) olmak üzere üç farklı besin konsantrasyonunda *Cylindrotheca closterium* türü için μ_{max} = 0,63 gün⁻¹ ile 0,97 gün⁻¹ arasında değiştiği elde edilen sonuçlar arasındadır. Ayrıca *C. closterium* türünün ticari olarak maksimum üretiminin ortalama sıcaklık (20 °C), ortalama tuzluluk ve yüksek nütrient konsantrasyonları ile elde edilebileceği bildirilmiştir (Affan et al., 2009).

Kingston (2009), tarafından yapılan bir çalışmada *C. closterium* türünün hareketliliği (motilite) ve gelişimi incelenmiştir. 27 °C'de, 31 psu tuzlulukta, 240 $\mu\text{mol foton/ m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ve sürekli ışık altında, (24:0 gündüz-gece) f/2 ortamı kullanılarak türün gelişimi sağlanmıştır. Deney tüpleri günde bir defa karıştırılan ve hiç karıştırılmayan olarak ayrılmıştır. 2. gün, karıştırılmamış tüplerde ortalama bölünme hızı 2.34 gün⁻¹ iken; karıştırılanlarda 2.51 gün⁻¹ olarak bulunmuştur Kingston (2009) yaptığı çalışma ve Williams (1964) 'ın deney sonuçlarını temel alarak, *C. closterium* türünün hızlı bir şekilde geliştiği için ticari olarak kullanılabilirliğini de eklemiştir.

Mikroalglerin ışık gereksinimleri üzerine yapılan bir çalışmada, fotobiyoreaktörlerde yetiştirilen alglerin gelişimleri için uygun ışık yoğunluğu, dalga boyu ve sürenin sağlanması gerektiğini belirtilmiştir. Yetersiz ışık büyümeyi sınırlayıcı veya fotooksidasyon ve inhibisyona neden olabilmektedir (Carvalho et al., 2011).

Başka bir çalışmada üç alg türü farklı ışık koşullarına (fotoperiyod ve yoğunluk) maruz bırakılmıştır. Alg kültürü 62,5 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ve 16:8 aydınlık/karanlık fotoperiyoda maruz bırakıldığında maksimum biyokütle 0,1 ile 2,05 g arasında kaydedilerek büyüme konsantrasyonları arasında büyük bir fark bulunmuştur (Khoeyi et al., 2011).

Planktonik diatomların mevsimsel dağılımlarının Neretva Nehri (Adriatik) ağzında bir ay aralarla bir yıl boyunca (Nisan 1999- 2000) incelendiği bir çalışmada 96 diatom taksonuna rastlanmıştır. En bol bulunan (10^5 hücre/l'yi aşan) diatomlar *Nitzschia longissima*, *Leptocylindrus minimus*, *Skeletonema marinoi* ve *Thalassiosira sp.* olmuştur. *N. longissima* (maksimum 7.9×10^6 hücre/L) ile

zirveye ulaşarak baskın olmuştur. Toplam diatom ve fitoplankton bolluğu sırasıyla %98.08 ve %29.26 olarak bulunmuştur (Jasprica et al., 2012).

İzmir Körfezi'nde yapılan başka bir çalışmada $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin *Thalassiosira allenii* türü üzerindeki etkileri araştırılmıştır. $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$ 'nin altı farklı konsantrasyonun kullanıldığı çalışmada K_s ve μ_{\max} değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir: NO_3 için $K_s \approx 0 \mu\text{g at-N l}^{-1}$ ve $\mu_{\max} = 0.93 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunurken; NH_4 için $K_s = 0.05 \mu\text{g at-N/L}$ ve $\mu_{\max} = 1.034 \text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlara göre *T. allenii* türünün NH_4^+ azotunu tercih ettiği ortaya konulmuştur (Şişman Aydın vd., 2013).

Bir başka çalışmada *Phaeodactylum tricornutum* türünün optimum ve stres oluşturacak sıcaklıklarda büyüme kinetikleri yığın kültürlerde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanılarak yapılan analizler kültürün iki aşamalı büyüme gerçekleştiğini göstermiştir. Işık yoğunluğu ile klorofil a- klorofil c ve protein konsantrasyonu arasında önemli bir pozitif ilişki gözlenmiştir (Bojko et al., 2013).

Karachi, Pakistan kıyılarında yapılan bir çalışmada Şubat 2006- Mayıs 2007 arasında sürdürülen ve iki istasyonda yapılan örneklemelemlerle 24 saatlik *in situ* inkübasyon tekniği ile diatomların büyüme hızlarını analiz edilmiştir. 35 diatom türünün gözlemlendiği çalışmada komünitede baskın olan türler *Nitzschia closterium*, *Nitzschia longissima*, *Pleurosigma sp.* ve *Thalassiosira sp.* olarak bulunmuştur. *Nitzschia longissima* ve *Nitzschia closterium* (*Cylindrotheca closterium*) türleri için başlangıçta bulunan (T_0) ortalama hücre yoğunluğu sırasıyla; 300 hücre yoğunluğu/L, 727 hücre yoğunluğu/L; 24 saat sonra bulunan ortalama hücre yoğunluğu (T_{24}) sırasıyla 460 hücre yoğunluğu/L ve 1147 hücre yoğunluğu/L; büyüme hızı ise sırasıyla $0,43 \text{ gün}^{-1}$ ve $0,46 \text{ gün}^{-1}$ 'dir (Naz et al., 2014).

Salar del Huasco (Şili, 20^0 S)'da yapılan bir çalışmada *Nitzschia sp.* ve *Nitzschia epithemioides* türleri farklı sıcaklık (10, 15 ve 20^0 C), ışık şiddeti (40, 80 ve $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), silis konsantrasyonu ($1,06 \cdot 10^{-4} \text{ M Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ve $2,12 \cdot 10^{-4} \text{ M Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ve selenyum konsantrasyonunda ($10^{-8} \text{ M H}_2\text{SeO}_3$) f/2 ortamında 18:6 aydınlık/karanlık ışık döngüsünde yetiştirilerek büyüme

özellikleri saptanmıştır. Her iki türün de çalışmadaki en yüksek sıcaklık olan 20 °C'de yüksek maksimum hücre yoğunluğu gösterdikleri tespit edilmiştir. *Nitzschia epithemioides* ve *Nitzschia sp.* türleri için bu değerler sırasıyla 692800 ± 107704 ve 649600 ± 68942 hücre ml^{-1} ve eksponansiyel büyüme hızları için sırasıyla $1,80 \pm 0,56$ ve $0,97 \pm 0,32$ çiflenme/gün olarak bulunmuştur (Ramirez et al., 2015).



5. MATERYAL VE METOD

5.1.Türün Sistematikteki Yeri

İzmir Körfezi'nden izole edilen *Cylindrotheca closterium* türünün sistematikteki yeri aşağıda belirtildiği gibidir:

Empire: Eukaryota

Kingdom: Chromista

Phylum: Bacillariophyta

Subphylum: Bacillariophytina

Classis: Bacillariophyceae

Subclassis: Bacillariophycidae

Ordo: Bacillariales

Family: Bacillariaceae

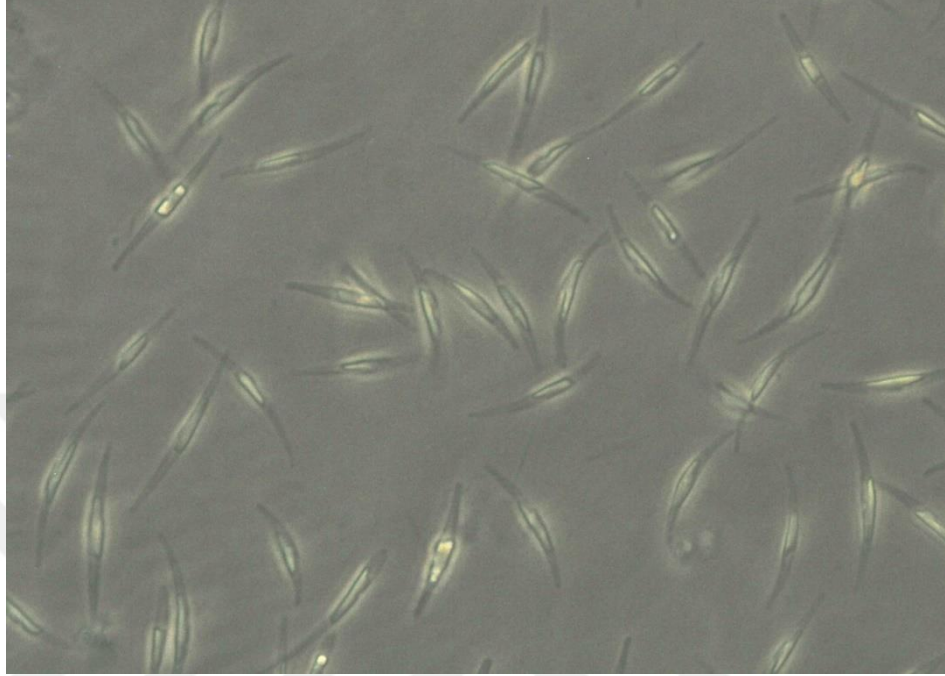
Genus: Cylindrotheca

Species: *Cylindrotheca closterium* ((Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, 1964). Şekil 5.1'de türün orijinal olarak çekilmiş fotoğrafı yer almaktadır.

5.2. Tür İzolasyonu ve Nütrient Zenginleştirilmesi

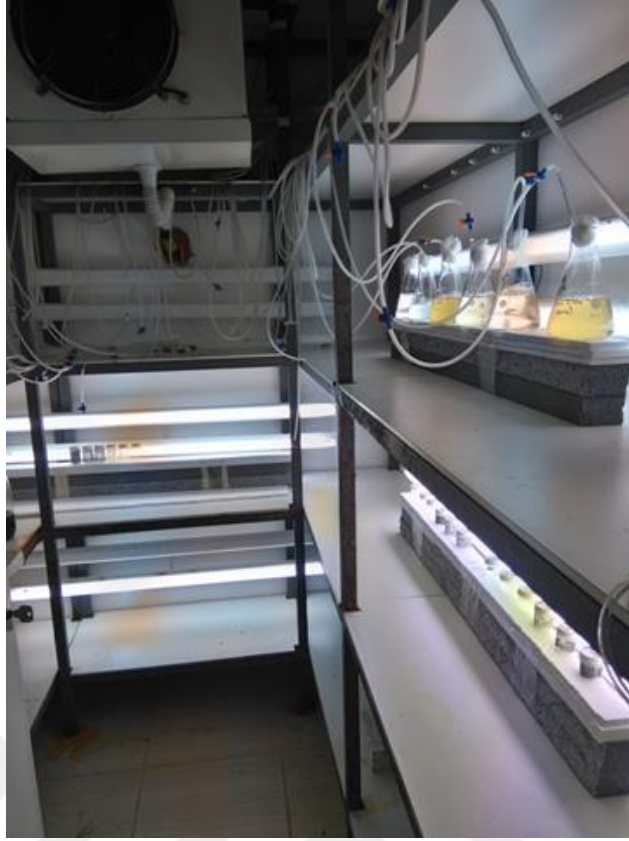
İzmir İç Körfezi'nden alınan deniz suyu 0.2 +0,45 µm'lik kartuş filtre ile süzölmüş, Guillard (1975) 'ın f/2 ortamı ile zenginleştirilmiş ve mikroskopla en bol bulunan türler belirlenmiştir. Ardından sonsuz seyreltme tekniği uygulanarak *Cylindrotheca closterium* türü izole edilmiştir. Kültür örneği 3µm filtre kağıdından, çelik 3'lü milipor filtrasyon sistemi ile süzölerek bakteri ve virüslerden arındırılmıştır. Nütrient zenginleştirilmesinde kesikli kültür tekniği

kullanılmıştır. Kùltürler bu süre boyunca sabit sıcaklık (18 ± 1 °C) ve 12 saat aydınlık/12 saat karanlık ışık periyodunda sabit sıcaklık odasında (Şekil 5.2) inkübe edilmiştir. Çalışmada azot kaynağı olarak $\text{NO}_3^- - \text{N}$ kullanılmıştır.



Şekil 5.1. *Cylindrotheca closterium* türüne ait fotoğraf (orijinal).

Her bir aşamada, deney tüplerinin her birine 10'ar ml (örnekten 1 ml; f/2 ortamı ile zenginleştirilmiş deniz suyundan 9 ml olacak şekilde) eklenilerek deneye başlanılmış ve eksponansiyel faza erişildiğinde birincil 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. Her gün klorofil a değerleri Turner Designs marka 8000-010 model *in vivo* flourometre ile ölçülerek deney sonucunda öncelikle spesifik büyüme hızları (μ) hesaplanmış ve üstel büyüme hızlarının ışık ya da nutrient konsantrasyonları ile bağıntıları Monod denklemine en küçük kareler yöntemi ile istatistiksel olarak anlamlı ise μ_{\max} ve K_s parametreleri belirlenmiştir. Sıcaklık ve salinite ile büyüme hızı arasındaki bağıntılar ise $\mu = \mu_{\text{opt}} * (T/T_{\text{opt}})^{2,718} * (1 - T/T_{\text{opt}})$ ve $\mu = \mu_{\text{opt}} * (S/S_{\text{opt}})^{2,718} * (1 - S/S_{\text{opt}})$ 'dir. Böylece en iyi gelişimin hangi ışık şiddeti, sıcaklık, tuzluluk veya besin konsantrasyonlarında gerçekleştiği saptanmıştır.



Şekil 5.2. Sabit sıcaklık odası.

Deneyde *C. closterium* türünün ışık şiddeti, sıcaklık, tuzluluk ve besin olmak üzere dört parametrenin büyüme hızına olan etkisi araştırılmıştır. Her bir deney 12 saat aydınlık 12 saat karanlık periyodunda ve sabit sıcaklık odası (18 ± 1 °C) kullanılarak yapılmıştır. Deneyde Guillard (1975) f/2 ortamı Çizelge 5.1’de belirtilen oranlarda kullanılmıştır.

f/2 iz metal solüsyonunun hazırlanması amacıyla bütün metal çalışma çözeltilerinin her biri tabloda belirtilen oranlarda 100’er ml’lik şişelere konulmuş ve 100 ml’ye tamamlanacak şekilde üzerlerine saf su eklenmiştir. Ardından bu hazırlanan şişelerin her birinden 1’er ml alınarak 900 ml Fe+Na₂EDTA içeren suya ilave edilip saf su ile 1L’ye tamamlanarak f/2 iz metal solüsyonu oluşturulmuştur.

Çizelge 5.1. Guillard (1975) f/2 ortamında bulunan maddeler ve miktarları.

Ortam	Madde	Stok çözeltisi	Miktar
f/2 ortamı	NaNO_3	75 gr/L	1 ml
	$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	5 g/L	1 ml
	$\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	30 gr/L	1 ml
	NH_4Cl	26,5 g/L	1 ml
	f/2 iz metal solüsyonu		1 ml
	Süzülmüş deniz suyu		1 L
f/2 iz metal solüsyonu	$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$		3.15 gr
	$\text{Na}_2\text{EDTA} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		4.36 gr
	ZnCl_2	1,05 g/100 cc	1 ml
	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,63 g/100 cc	1 ml
	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0,98 g/100cc	1 ml
	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1 g/100 cc	1 ml
	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	18 g /100 cc	1 ml

5.3. Parametrelerin (Işık, Sıcaklık, Tuzluluk ve Nütrientler) Belirlenmesi

Işık şiddeti ve sıcaklık denemeleri eş zamanlı yapılmıştır. *C. closterium* türü için optimum ışık şiddetinin ve sıcaklığın araştırıldığı deneyin ilk kısmında tuzluluk değeri ‰ 38 (yaklaşık olarak İzmir Körfezi'nin tuzluluk değeri)'dir. Deneyin gerçekleştirileceği altı adet deney tüpünün her biri, farklı ışık geçirgenliğine sahip çelik veya naylon örgülü kumaşlar kullanılarak çevrelenmiştir (Şekil 5.3) . Ardından deneye başlanılmadan önce LI-COR 1400 marka ışıkölçer ile Li-190SA Quantum sensörü kullanılarak bu tüplere karşılık gelen ışık şiddetleri ölçülmüştür. Bu değerler Çizelge 5.2'deki gibidir. Deneyde 10, 18, 26 ve 30 °C olmak üzere dört farklı sıcaklığın ve 0,9, 0,88, 0,74, 0,46, 0,2, 0,07 *100 µmol foton/m²s olmak üzere altı farklı ışık şiddetinin *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme hızı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.



Şekil 5.3. Deney tüpleri.

Sıcaklık ve ışık şiddeti için optimum değerler elde edildikten sonra tuzluluk deneyine geçilmiştir. ‰ 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 olmak üzere yedi farklı tuzluluğun büyüme hızına etkisi araştırılmıştır. Deneyde bir önceki çalışma ile belirlenen optimum ışık şiddeti ve sıcaklık kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. Deney tüpü çeşitleri ve ışık şiddetleri.

Deney tüpü çeşitleri	Işık şiddeti (*100 μmol foton / m^2s)
Akrilik tüp	0,9
Kaba naylonla çevrelenmiş tüp	0,88
İnce naylonla çevrelenmiş tüp	0,74
Kaba çelik ızgara ile çevrelenmiş tüp	0,46
İnce çelik ızgara ile çevrelenmiş tüp	0,2
İki kat ince çelik ızgara ile çevrelenmiş tüp	0,07

Tuzluluk için de optimum değer elde edildikten sonra nütrient deneyine başlanılmıştır. Deneyin son kısmında, daha önceden belirlenmiş optimum ışık şiddeti, sıcaklık ve tuzluluk değerleri kullanılmıştır. Hangi nütrient için büyüme hızı belirlenecek ise diğer tüm nütrientler f/2 final konsantrasyonunda ilave edilirken, denenecek olan nütrient 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 büyüme hızları ve büyüme hızı-nütrient ilişkisi (Monod denklemi) istatistiksel olarak belirlenmiştir.

$\text{NH}_4\text{-N}$ konsantrasyonlarının büyüme hızına etkisinin araştırılması amacıyla deneyde kullanılan konsantrasyonlar 7,58, 9,58, 12,08, 19,58, 32,08, 57,08, 132,08 ve 507,08 μM $\text{NH}_4\text{-N}$ 'dir. Nitrat azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$) konsantrasyonlarının büyüme hızına etkisinin araştırıldığı deneyde kullanılan $\text{NO}_3\text{-N}$ konsantrasyonları şu şekildedir: 12,8, 56,95, 101,1, 233,55 ve 895,8 μM $\text{NO}_3\text{-N}$ 'dir.

Besin tuzlarının büyüme hızına etkisini belirlemek için yapılan deneyde RP için denenen konsantrasyonlar 0,4963, 0,6415, 0,823, 1,3675, 2,275, 4,09,

9,535 ve 36,76 μM RP'dir. Deneyde kullanılan RSi konsantrasyonları ise 0,107, 0,535, 1,07, 2,675, 5,35, 10,7, 26,75 ve 107 μM RSi'dir.

5.4. İstatistiksel Analizler

Körfez'den alınan deniz suyundaki nütrient konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla analizler yapılmıştır ve bu nütrientlerin konsantrasyonları ölçülerek final konsantrasyonları belirlenmiştir. Söz konusu analizler amonyak azotu ve RP analizi için Strickland ve Parsons (1972)'un kullandığı yöntemler ile; nitrat azotu analizi için ise Wood (1975)'un belirttiği yöntemler ile yapılmıştır. Bulunan değerler $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ve RP için sırasıyla 7,08, 12,8 ve 0,46 μM 'dir. Bu sonuçlar deneyde kullanılan besin konsantrasyonlarına eklenerek verilmiştir.

6. BULGULAR

Deneyde μ değerleri $\mu = 3,322 \cdot (1/t_2 - t_1) \cdot \log(N_2/N_1)$ formülü ile hesaplanmıştır (Guillard, 1973). Formülde belirtilen simgelerin anlamları aşağıdaki gibidir:

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 dilimi.

Dört neslin her biri için ayrı ayrı formülden elde edilmiş olan spesifik büyüme hızı değerlerinin son iki nesil için ortalamaları alınmıştır. Bu spesifik büyüme hızı değerleri kullanılarak STATISTICA programında en küçük kareler yönteminden yararlanılarak maksimum büyüme hızları (μ_{max}) ve yarı doygunluk katsayıları (K_s) hesaplanmıştır. Daha sonra büyüme hızı ile ışık, sıcaklık, tuzluluk ve besin tuzları arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler çizilmiştir. *C. closterium* türüne ait büyüme kinetiklerinin araştırıldığı çalışmada Monod modeli kullanılmıştır.

Endirekt ölçümlerde yani ölçülen değerlerden formül yardımıyla hesaplanan değerlerin üzerinde yapılan en yüksek mutlak hatayı elde etmek için $(\pm \Delta\mu = \mu \cdot ((\Delta\mu_{\text{max}}/\mu_{\text{max}}) + (\Delta I/I) + ((\Delta K_1 + \Delta I)/(K_1 + I)))$ denklemi kullanılmıştır. Diferansiyel metotla hatanın belirlenmesi için denklemin her iki tarafının Ln 'i alınıp (dx/x 'in integrali) oluşan yeni denklemde her Ln'li ifade türevi olarak yazıldığında ($\Delta\mu/\mu$ gibi) bağlıl hata denklemi elde edilmiştir. Elde edilen denklemde değişkenlerin ölçülen değerleri ve parametrelerin hataları en küçük karelerle belirlendiği için geriye bilinmeyen sadece $\Delta\mu$ olup hesaplanabilir (Erdik, 1971). Paydadaki değerlerin Ln'i alınınca "-" olur, fakat hatalar çıkarma işleminde azalmaz bu nedenle "-" işaretleri "+" yapılmıştır.

Denkleimde,

$\pm\Delta\mu$ = Büyüme hızında yapılan en büyük mutlak hatadır. Belirlenmesi gereken Monod denkleminde μ değerinin hesaplanmasında μ değeri üzerinde yapılan hatadır (bağımsız değişkenin hatasıdır).

$\pm\Delta I$ = Işık şiddetinde hata LiCor ışıkölçerin en küçük birimi alınmıştır (1 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$).

$\pm\Delta\mu_{\text{max}}$: Monod denkleminde uydurulan verilerle istatistiki olarak elde edilen %95 güven aralığıdır.

$\pm\Delta K_I$ = Monod denkleminde uydurulan verilerle istatistiki olarak elde edilen %95 güven aralığıdır.

Ayrıca $\mu = \mu_{\text{max}} S / (K_I + S)$ formülünden yararlanılarak K_I değerleri elde edilirken; $\mu = \mu_{\text{max}} S / (K_S + S)$ formülü kullanılarak K_S değerleri elde edilmiştir.

Formülde,

μ = spesifik büyüme hızı

μ_{max} = maksimum spesifik büyüme hızı

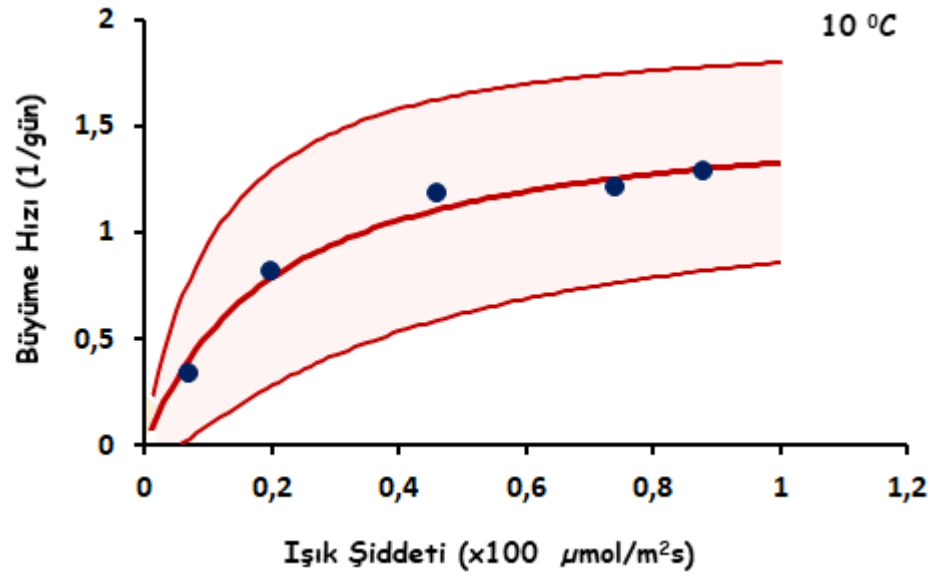
S = substrat konsantrasyonunu temsil etmektedir.

6.1. Farklı Işık Şiddetleri ve Sıcaklıkların Mikroalg Büyümesine Etkisi

6.1.1. 10 °C'de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi

10 °C sıcaklıkta 88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,284 gün^{-1} , 74 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,2072 gün^{-1} , 46 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,18 gün^{-1} , 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 0,815 gün^{-1} , 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ise μ_{exp} değeri 0,34 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Buna göre *C. closterium* türü için 10 °C sıcaklıkta elde edilen en yüksek büyüme hızı 88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde 1,284 gün^{-1} 'dir.

88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında türün ilk iki nesil için yaklaşık olarak 8-9. güne kadar süren eksponansiyel fazın ardından durgunluk fazına geçildiği gözlenmiştir. 74 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında eksponansiyel faz yaklaşık 8-10 gün arası devam etmiştir. 46 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında eksponansiyel faz 8-12 gün arasına kadar sürmüştür. 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde eksponansiyel faz 7-12 gün arası devam etmiştir. 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde eksponansiyel faz yaklaşık olarak 7-8 gün arası devam ettiği gözlenmiştir. Bu sıcaklıkta elde edilen en yüksek ortalama maksimum klorofil a değeri 110,15 $\mu\text{g/L}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 6.1. *C. closterium* türünün 10 °C'de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.

10 °C'de elde edilen spesifik büyüme hızları yardımıyla hesaplanan istatistiksel analiz sonuçlarına göre $\mu_{\text{max}} = 1,603523 \pm 0,3456 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_I = 0,206676 \pm 0,1437$ olarak bulunmuştur. Sonuçlar %95 güven aralığındadır. 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinden daha düşük ışık şiddetlerinde ışığın sınırlayıcılığı artmaktadır.

10 °C sıcaklıkta büyüme hızının ışık şiddeti artışıyla paralel olduğu görülmektedir. Yani türün bu sıcaklıkta büyüme için daha yüksek ışık şiddetlerine ihtiyaç duyduğu söylenilebilir. 88 ve 74 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetlerinde türün 1. gün sonunda lag fazından eksponansiyel faza girdiği gözlenmiştir. Ancak 46, 20

ve 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ m^2s ışık şiddeti altında lag fazı gözlenmemiştir. 18 $^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri için ölçülen μ değerleri Şekil 6.1'deki gibidir.

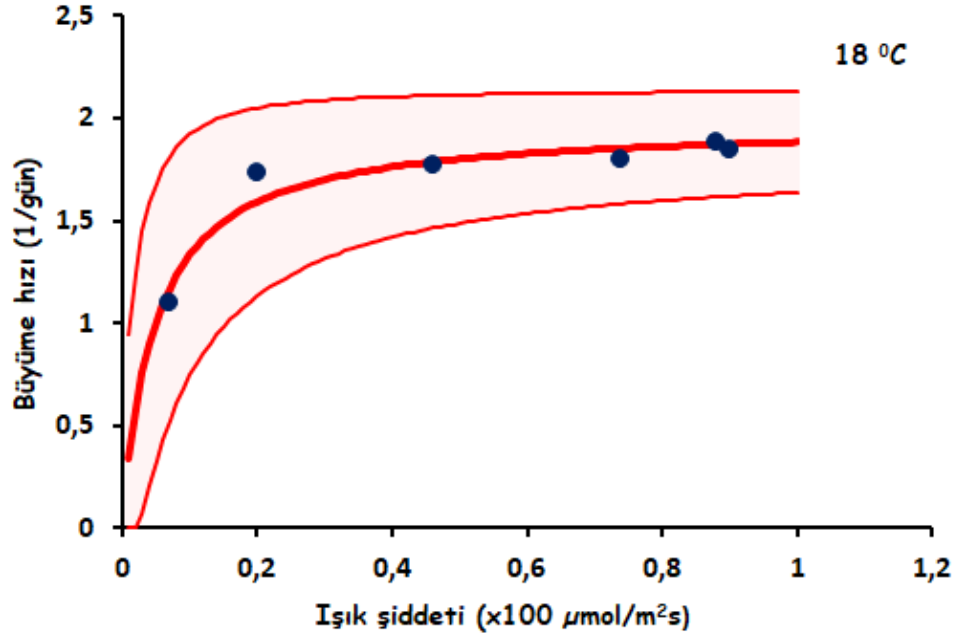
6.1.2. 18 $^{\circ}\text{C}$ 'de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi

90 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,85 gün^{-1} , 88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,886 gün^{-1} , 74 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,802 gün^{-1} , 46 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,77 gün^{-1} , 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,737 gün^{-1} , 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ise μ_{exp} değeri 1,1 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Buna göre *Cylindrotheca closterium* türü için 18 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta elde edilen en yüksek büyüme hızı 88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde 1,886 gün^{-1} 'dir.

90 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti için türün dört nesilde de yaklaşık 3-7 gün sonunda eksponansiyel fazdan durgunluk fazına geçiş yapıldığı gözlenmiştir. 88 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında türün yaklaşık olarak 3-7 gün süren eksponansiyel fazın ardından durgunluk fazına geçildiği gözlenmiştir. 74 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ m^2s ışık şiddetinde eksponansiyel faz yaklaşık 5-7 gün arası devam etmiştir. 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ise dört nesil için ortalama olarak eksponansiyel faz 6-12 gün arası sürmüştür. 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde eksponansiyel fazın yaklaşık olarak 7-10 gün arasında sürdüğü görülmüştür.

18 $^{\circ}\text{C}$ 'de türün bütün ışık şiddetlerinde yalnızca 1. nesillerde lag fazı gözlemlenmiş olup 2,3 ve 4. nesillerde lag fazı gözlenmemiştir. Genel olarak tür 1. gün sonunda eksponansiyel faza geçmiştir. Bu durum, 1. nesilde türün ortama adapte olmaya çalıştığını ve ardından diğer nesillerde lag fazına ihtiyaç duymadan doğrudan büyümeye başladığını gösteriyor olabilir. 18 $^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilen en yüksek ortalama maksimum klorofil a değeri ise 341,05 $\mu\text{g/L}$ 'dir. Bu değer diğer ışık şiddetleri ile kıyaslandığında gözlenen en yüksek klorofil a değeridir. 18 $^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri için ölçülen μ değerleri Şekil 6.2'deki gibidir.

18 $^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilen sonuçlar ise $\mu_{\text{max}} = 1,974276 \pm 0,167668 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_I = 0,047799 \pm 0,027594$ 'dir. Sonuçlar %95 güven aralığındadır. 4 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinden daha düşük ışık şiddetlerinde ışığın sınırlayıcılığı artmaktadır.



Şekil 6.2. *C. closterium* türünün 18 °C'de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.

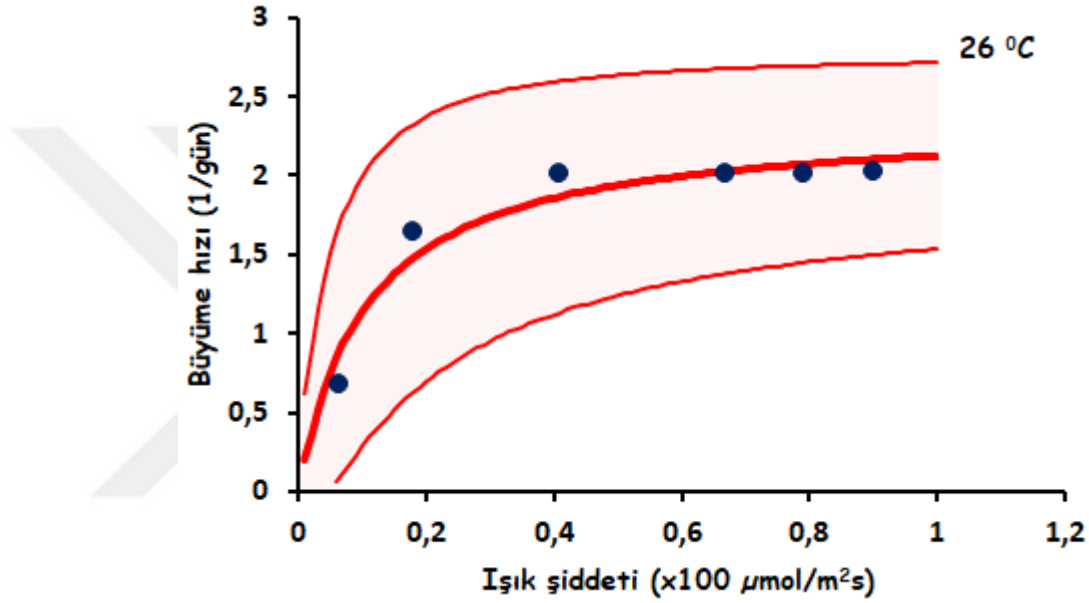
6.1.3. 26 °C'de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi

26 °C sıcaklıkta 90 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 2,02 gün^{-1} , 88 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 2,01 gün^{-1} , 74 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 2,01 gün^{-1} , 46 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 2,01 gün^{-1} , 20 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri 1,649 gün^{-1} , 7 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ise μ_{exp} değeri 0,68 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Buna göre bu tür için bu sıcaklıkta elde edilen en yüksek büyüme hızı 90 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde 2,02 gün^{-1} 'dir.

90 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddeti için türün dört nesilde de yaklaşık 3-5 gün sonunda eksponansiyel fazdan durgunluk fazına geçiş yapıldığı gözlenmiştir. 88 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında yaklaşık olarak 5 günün sonunda eksponansiyel faz sona ermiştir. 74 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında eksponansiyel faz yaklaşık 4 gün devam etmiştir. 20 $\mu\text{mol foton}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde 4. günün sonunda eksponansiyel fazdan durgunluk fazına geçilmiştir. Bu sıcaklıkta lag fazı hiçbir ışık şiddetinde gözlenmemiştir, tür doğrudan eksponansiyel faza geçmiştir. Ortalama maksimum klorofil a değeri ise 120,636

$\mu\text{g/L}$ olarak bulunmuştur. $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri için ölçülen μ değerleri şekil 6.3'deki gibidir.

$26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de maksimum spesifik büyüme hızı $\mu_{\text{max}}=2,350204 \pm 0,423757\text{ gün}^{-1}$ ve yarı doygunluk sabiti $K_I=0,105870 \pm 0,086696$ olarak hesaplanmıştır. Sonuçlar %95 güven aralığındadır. Lag fazı bu sıcaklıkta hiçbir ışık şiddetinde gözlenmemiştir. Bu sıcaklık için $10\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinden daha düşük ışık şiddetlerinde ışığın sınırlayıcılığı artar.



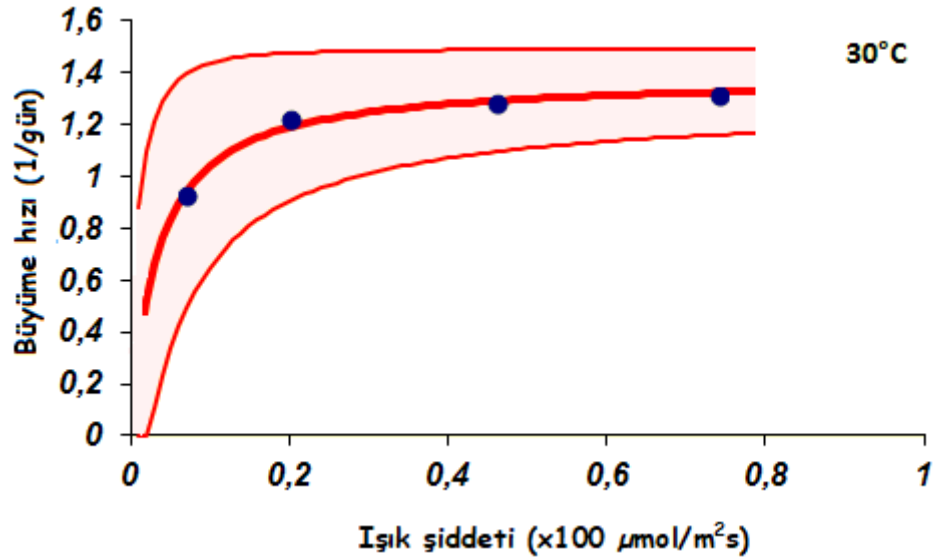
Şekil 6.3. *C. closterium* türünün $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.

6.1.4. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de Işık Şiddetlerinin Büyüme Hızına Etkisi

74, 46, 20 ve $7\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetlerinde elde edilen spesifik büyüme hızları sırasıyla $1,31\text{ gün}^{-1}$, $1,282\text{ gün}^{-1}$, $1,219\text{ gün}^{-1}$ ve $0,929\text{ gün}^{-1}$ 'dir. $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta en yüksek büyüme hızı $74\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde μ_{exp} değeri $1,31\text{ gün}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

$90\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde bütün nesiller için eksponansiyel faz ortalama 6-7 gün sürmüştür. $88\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında eksponansiyel faz yaklaşık 4 günün sonunda sona ermiştir. $74\text{ }\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde dört nesil için de eksponansiyel faz yaklaşık 4-7 gün sürerek,

sonrasında kültür durgunluk fazına geçmiştir. 46 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddeti altında eksponansiyel faz 4-8 gün arası sürmüştür ve ardından kültürler (dört nesilde de) durgunluk fazına girmiştir. 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde eksponansiyel faz 6-9 günün sonunda sona ermiştir. 7 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde eksponansiyel faz yaklaşık olarak 5-10 gün arası sürerek, kültür durgunluk fazına girmiştir. Bu sıcaklıkta bütün ışık şiddetlerinde sadece birinci nesilde lag fazı gözlenmiş, diğer nesillerde lag fazına rastlanmamıştır. Bu sıcaklıkta elde edilen ortalama maksimum klorofil a değeri 265,66 $\mu\text{g/L}$ 'dir. 30 $^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri için ölçülen μ değerleri şekil 6.4'deki gibidir.



Şekil 6.4. *C. closterium* türünün 30 $^{\circ}\text{C}$ 'de farklı ışık şiddetleri altındaki büyüme hızı grafiği.

30 $^{\circ}\text{C}$ 'de hesaplanan değerler ise $\mu_{\text{max}} = 1,381018 \pm 0,105334 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_I = 0,032566 \pm 0,01662$ 'dir. Sonuçlar %95 güven aralığındadır. 30 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta 3 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinden daha küçük ışık şiddetinde ışığın sınırlayıcılığı artmaktadır. Daha yüksek ışık şiddetlerinde ise doygunluğa erişmektedir.

90 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı 18 $^{\circ}\text{C}$ 'den 26 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artış göstermiştir. 88, 74 ve 46 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı 10 $^{\circ}\text{C}$ 'den 26 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artmış ancak 30 $^{\circ}\text{C}$ 'de azalmıştır. Spesifik büyüme hızı 7 ve 20 $\mu\text{mol foton/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ise 10 $^{\circ}\text{C}$ 'den 18 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselmiştir. Elde edilen verilere göre bu diatom türünün 10-25 $^{\circ}\text{C}$

sıcaklık aralıklarındaki gelişimi oldukça iyidir ve İzmir Körfezi'nde bu sıcaklık aralıklarında tür gelişebilir.

6.2. Tuzluluğun Mikroalg Büyümesine Etkisi

%₀ 5 tuzlulukta birinci nesilde eksponansiyel faz 10. günün sonunda sonlanmıştır. Diğer üç nesil için lag fazı gözlenmemiş olup, bu üç nesil için eksponansiyel faz yaklaşık 5-7 gün sonunda sona ermiştir. %₀ 10, %₀ 15, %₀ 20, %₀ 25, %₀ 30 ve %₀ 35 tuzluluk için eksponansiyel faz dört nesil için sırasıyla ortalama olarak 5-7 gün, 5-8 gün, 5-8 gün, 6-8 gün, 5-9 gün ve 7-11 gün sonunda sona ermiştir.

Lag fazı yalnızca birinci nesilde %₀ 5 tuzlulukta 3 gün; %₀ 10 tuzlulukta 2 gün %₀ 15 ve 20 tuzlulukta 1 gün sürerken, %₀ 25, 30 ve 35 tuzlulukta gözlenmemiştir. Birincil nesiller dışında diğer üç nesilde lag fazına rastlanmamıştır, kültürler doğrudan eksponansiyel fazda büyümeye başlamışlardır.

Çalışmada spesifik büyüme hızları (μ) Şekil 6.5'de gösterildiği gibi %₀ 5, 10, 15, 20, 25, 30 ve 35 tuzluluk için sırasıyla 1,563 gün⁻¹, 1,931 gün⁻¹, 2,012 gün⁻¹, 1,782 gün⁻¹, 1,752 gün⁻¹, 1,55 gün⁻¹ ve 1,461 gün⁻¹ olarak bulunmuştur.

Büyüme hızının, diğer tuzluluklarla karşılaştırıldığında doruğa eriştiği tuzluluk değeri %₀ 15'tir. %₀15 tuzluluktaki spesifik büyüme hızı 2,012 gün⁻¹ olarak bulunmuştur. En düşük büyüme hızı ise 1,461 gün⁻¹ değeri ile %₀35 tuzlulukta gerçekleşmiştir. Çalışmada μ değerlerinin hesaplanması için kullanılan formül: $\mu = \mu_{opt} * (S/S_{opt}) * 2,718^{(1-S/S_{opt})}$ 'dir. Formülde,

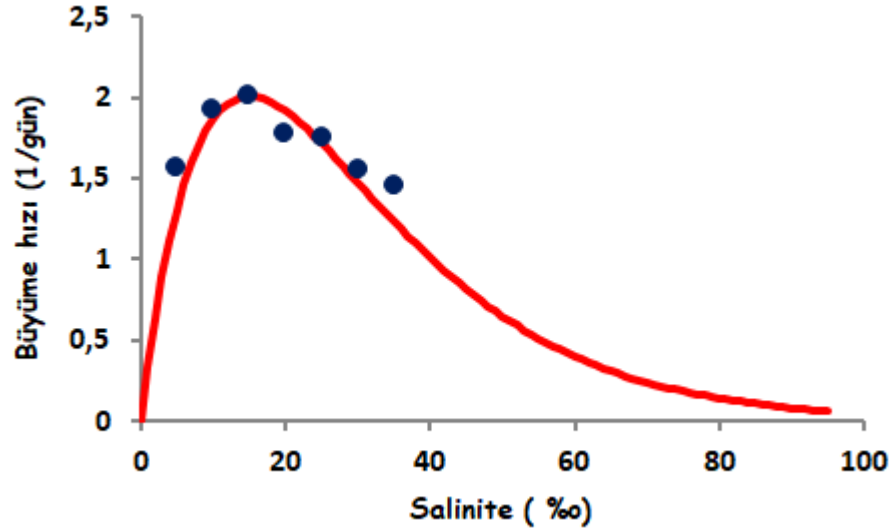
μ = Spesifik büyüme hızı

μ_{opt} = Optimum spesifik büyüme hızı

S = Substrat konsantrasyonu

S_{opt} = Optimum şartlardaki substrat konsantrasyonunu ifade etmektedir.

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



Şekil 6.5. Spesifik büyüme hızlarının farklı tuzluluklardaki değişimi.

6.3. Nutrientlerin Mikroalg Büyümesine Etkisi

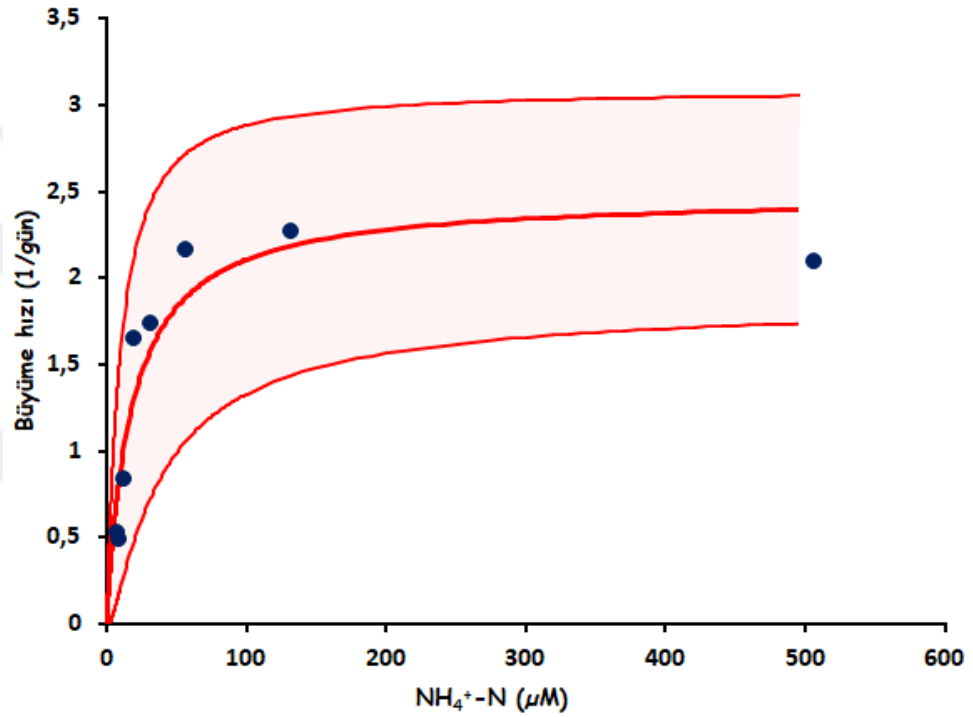
6.3.1. Amonyum

18 °C'de, 90 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ve ‰ 15 tuzlulukta 7,58, 9,58, 12,08, 19,58, 32,08, 57,08, 132,08 ve 507,08 μM $\text{NH}_4^+\text{-N}$ konsantrasyonlarından elde edilen spesifik büyüme hızları sırasıyla 0,53 gün^{-1} , 0,49 gün^{-1} , 0,84 gün^{-1} , 1,65 gün^{-1} , 1,74 gün^{-1} , 2,16 gün^{-1} , 2,27 gün^{-1} ve 2,09 gün^{-1} olarak bulunmuştur. Buna göre en iyi gelişimin gözlemlendiği $\text{NH}_4^+\text{-N}$ konsantrasyonu 132,08 μM $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 'dir. Bu da yaklaşık olarak f/2/4'e tekabül etmektedir.

En yüksek klorofil a değeri 507,08 μM $\text{NH}_4^+\text{-N}$ konsantrasyonunda elde edilmiştir. Lag fazı diğer besinlerde gözlemlenenlerden farklı olarak en yüksek konsantrasyonlarda (57,08, 132,08 ve 507,08 μM $\text{NH}_4^+\text{-N}$) 4 gün sürerken, diğer düşük konsantrasyonlarda yaklaşık 2 gün sürmüştür. Ekspansiyonel fazdan durgunluk faza geçiş süreleri ise yüksek konsantrasyonlardan düşük

konsantrasyonlara doğru azalmıştır. NH_4^+ -N için istatistiksel analizler sonucu elde edilen spesifik büyüme hızı değerleri Şekil 6.6'daki gibidir.

NH_4^+ -N için belirli koşullar altında spesifik büyüme hızlarının bulunması yardımıyla elde edilen istatistiksel analiz sonuçları şu şekildedir: $\mu_{\max}=2,48144\pm0,612617$ gün⁻¹ ve $K_s=17,83828\pm14,40044$ µg at-N/L'dir. $17,83828\pm14,40044$ µg at-N/L'dan daha düşük konsantrasyonlarda NH_4^+ -N'nin sınırlayıcılığı artmaktadır.



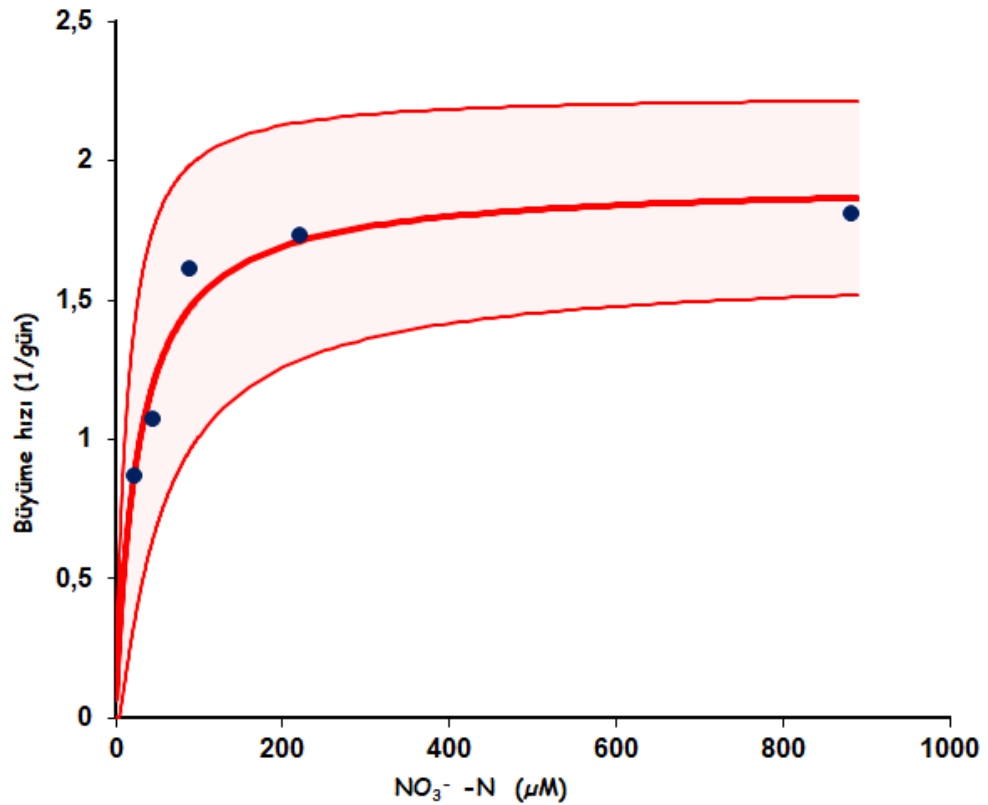
Şekil 6.6. Farklı NH_4^+ -N konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları.

6.3.2. Nitrat

18 °C'de, 90 µmol/m²s ışık şiddetinde ve ‰ 15 tuzlulukta 12,8, 56,95, 101,1, 233,55 ve 895,8 µM NO_3^- -N konsantrasyonlarında hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla 0,87 gün⁻¹, 1,07 gün⁻¹, 1,61 gün⁻¹, 1,73 gün⁻¹ ve 1,81 gün⁻¹'dir. Buna göre spesifik büyüme hızının en yüksek bulunduğu NO_3^- -N konsantrasyonu 895,8 µM NO_3^- -N'dir. NO_3^- -N için istatistiksel analizler sonucu elde edilen spesifik büyüme hızı değerleri Şekil 6.7'deki gibidir. NO_3^- -N için $\mu_{\max}=1,92402\pm0,314997$ gün⁻¹ ve $K_s=27,31992\pm19,040738$ µg at-N/L olarak

hesaplanmıştır. $27,31992 \pm 19,040738$ $\mu\text{g at-N/L}$ 'dan daha düşük konsantrasyonlarda NO_3^- -N'nin sınırlayıcılığı artmaktadır.

En yüksek klorofil a değeri $895,8$ $\mu\text{M NO}_3^-$ -N konsantrasyonunda elde edilmiştir. $895,8$ $\mu\text{M NO}_3^-$ -N konsantrasyonunda lag fazı 1 gün sürerken; $12,8$, $56,95$, $101,1$ ve $233,55$ $\mu\text{M NO}_3^-$ -N'de lag fazı yaklaşık 3 gün sürmüştür. Ekspansiyel fazdan durgunluk fazına geçiş süreleri ise en yüksek konsantrasyondan en düşük konsantrasyona doğru düşmüştür.



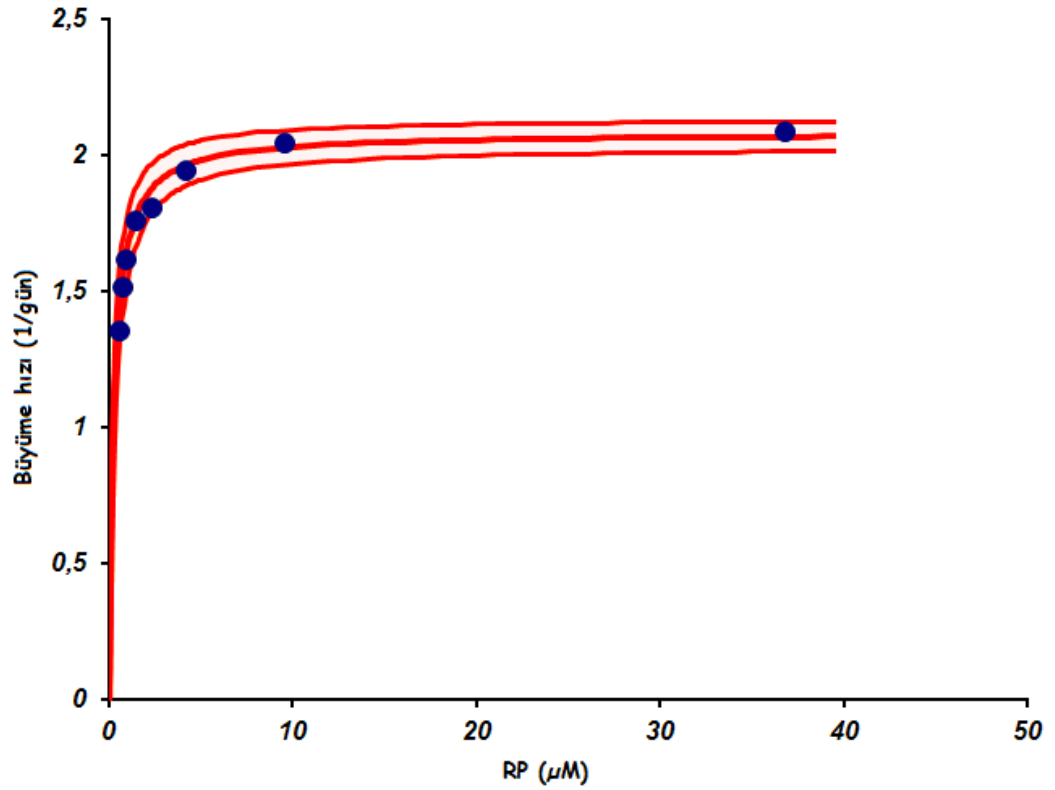
Şekil 6.7. Farklı NO_3^- -N konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları.

6.3.3. Reaktif Fosfat

18 $^{\circ}\text{C}$ 'de, 90 $\mu\text{mol/m}^2\text{s}$ ışık şiddetinde ve %0 15 tuzlulukta $0,496$, $0,64$, $0,823$, $1,367$, $2,275$, $4,09$, $9,535$ ve $36,76$ μM RP konsantrasyonları için elde edilen spesifik büyüme hızları sırasıyla $1,36$ gün^{-1} , $1,52$ gün^{-1} , $1,62$ gün^{-1} , $1,76$ gün^{-1} , $1,81$ gün^{-1} , $1,95$ gün^{-1} , $2,05$ gün^{-1} ve $2,09$ gün^{-1} 'dir. Bu değerler baz alındığında spesifik büyüme hızının en yüksek değeri $36,76$ μM RP

konsantrasyonunda elde edilmiştir. Reaktif fosfat için istatistiksel analizler sonucu elde edilen spesifik büyüme hızı değerleri Şekil 6.8'deki gibidir.

En yüksek klorofil a değeri 36,76 μM RP'de bulunmuştur. Klorofil a değerleri RP konsantrasyonları azaldıkça azalmıştır. 0,496 ve 0,64 μM RP konsantrasyonlarında lag faz 1 gün sürmüştür. Diğer konsantrasyonlarda ise 2 gün sürmüştür. Konsantrasyonlar azaldıkça kültürlerin eksponansiyel fazdan durgunluk fazına geçiş süreleri tedricen kısalmıştır. İstatistiksel analizler sonucu reaktif fosfat için elde edilen maksimum spesifik büyüme hızı ve yarı doygunluk sabiti değerleri $\mu_{\text{max}}=2,082751 \pm 0,051604 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_s= 0,252677 \pm 0,038891 \text{ } \mu\text{M}$ $\text{PO}_4\text{-P}$ olarak bulunmuştur.



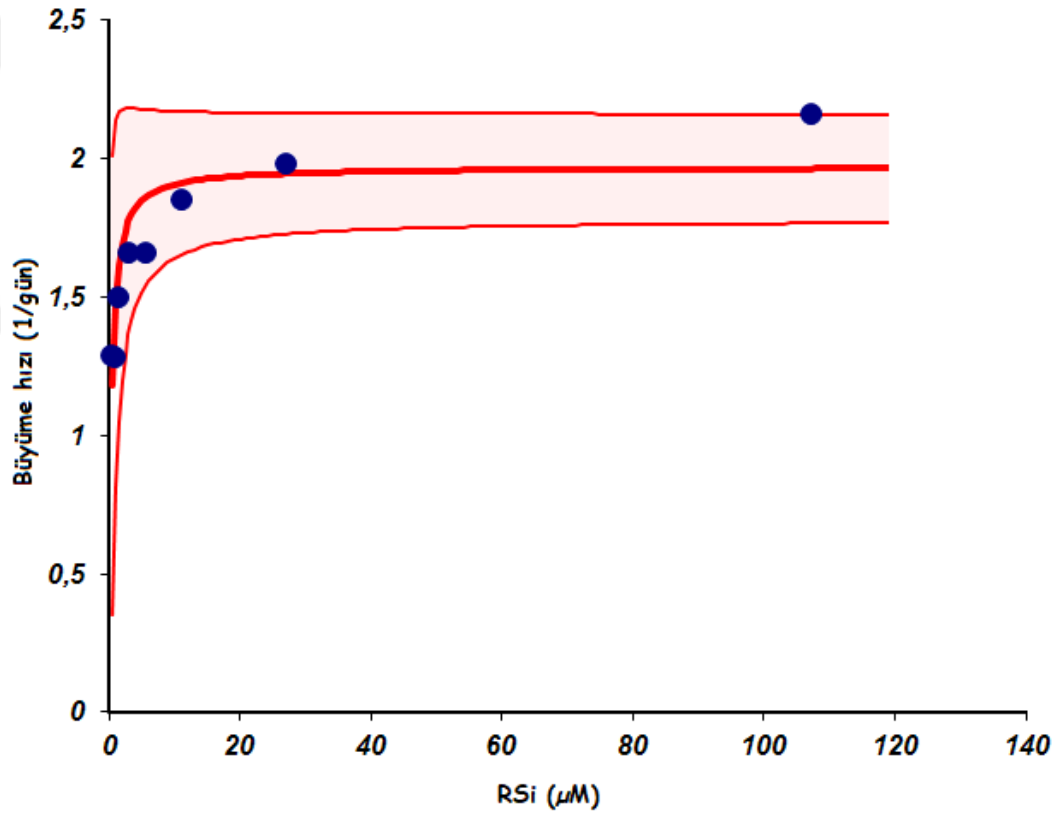
Şekil 6.8. Farklı RP konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları.

6.3.4. Reaktif Silis

Çalışmada elde edilen optimum ortam koşullarında 0,107, 0,535, 1,07, 2,675, 5,35, 10,7, 26,75 ve 107 μM RSi konsantrasyonlarından elde edilen spesifik büyüme hızları sırasıyla $1,3 \text{ gün}^{-1}$, $1,29 \text{ gün}^{-1}$, $1,51 \text{ gün}^{-1}$, $1,67 \text{ gün}^{-1}$, $1,75$

gün^{-1} , $1,86 \text{ gün}^{-1}$, $1,99 \text{ gün}^{-1}$ ve $2,17 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda *C. closterium* türüne ait en yüksek spesifik büyüme hızına $107 \mu\text{M}$ RSi konsantrasyonunda rastlanmıştır.

$0,107$, $0,535$, $1,07$ ve $2,675 \mu\text{M}$ RSi konsantrasyonlarında RSi için lag fazı 3 gün sürerek üçüncü günün sonunda kültür eksponansiyel faza girmiştir. Diğer konsantrasyonlar için ise gecikme fazı 2 gün sürmüştür. Konsantrasyonlar düştükçe eksponansiyel fazdan durgunluk fazına geçiş süreleri kısalmıştır. En yüksek klorofil a değeri $0,107 \mu\text{M}$ RSi konsantrasyonunda elde edilmiştir. Reaktif silis için istatistiksel olarak hesaplanan değerler ise $\mu_{\text{max}} = 1,970746 \pm 0,190054 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_s = 0,332320 \pm 0,236107 \mu\text{M Si}$ 'dir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Farklı RSi konsantrasyonlarında *C. closterium* türünün büyüme hızları.

7. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

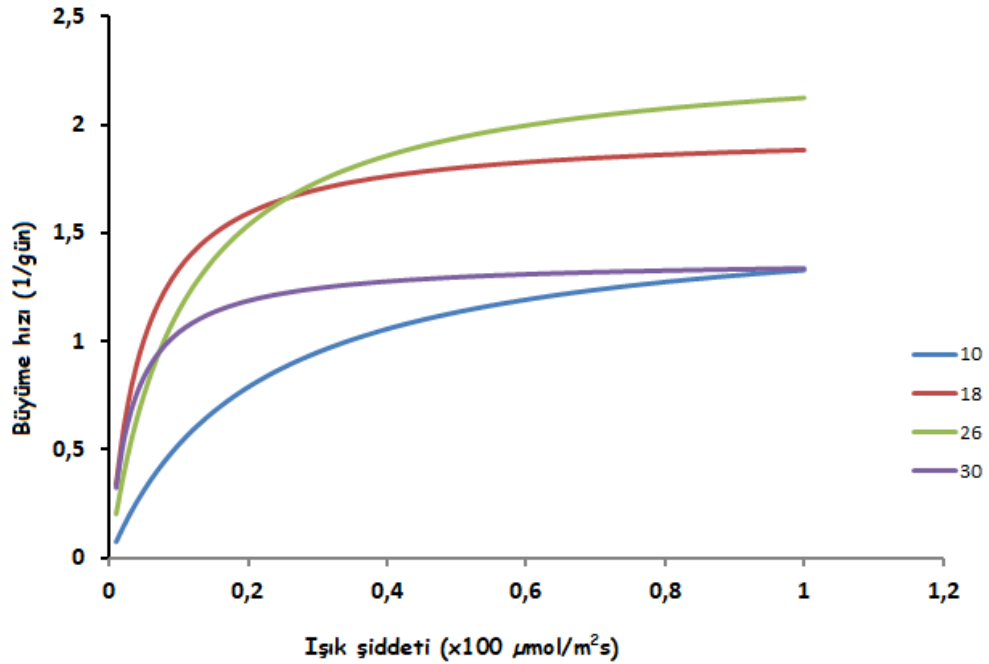
Fitoplanktona ait spesifik büyüme hızı, türlerin dağılımını değerlendirirken ve sucul ekosistemlerdeki organik maddelerin devir hızının hesaplanmasında oldukça önemli bir parametredir (Malone, 1982; Spies, 1987). Büyüme hızının hesaplanması mikrobiyal popülasyon aktivitesi ile ilgili önemli bilgiler içerir. Büyüme özelliklerinin kontrollü ve ölçülebilir koşullar altında saptanması mikroalglerle yüksek hücre yoğunluğuna sahip büyük kültür sistemleri oluşturmak için kullanılabilir. Bu çalışmada, *Cylindrotheca closterium* türü için farklı sıcaklık, ışık şiddeti, tuzluluk ve besin konsantrasyonları kullanılarak tür için optimum parametreler belirlenmiştir.

Mikroalgal büyümeyi etkileyen en önemli faktörler ışık şiddeti, sıcaklık, pH, salinite, nütrient ve karıştırıcıdır. Bu parametrelerin optimum değerleri ve mikroalglerce tolere edilebilen aralıklar türden türe farklılık gösterebilmektedir. Faktörlerin birçoğu birbiri ile ilişkilidir ve birbirini etkileyebilir. Bir çalışmada optimum olan bir parametre bir diğer çalışmada optimum olmayabilir (Coutteau, 1996; Durmaz, 2014).

Bu çalışmadaki veriler göz önünde bulundurulduğunda, büyüme hızı 26 °C'de daha yüksek değerlerde elde edilmiş olmasına rağmen hata aralığı çok yüksek ve 18 °C'de elde edilen değerler arasında istatistiksel olarak fark olmadığından dolayı, optimum sıcaklık değeri 18 °C olarak kabul edilmiş ve optimum ışık şiddeti 90 µmol foton/m²s olarak belirlenmiştir. Ohgai et al., (1986), *C. closterium* türü için optimum büyüme koşullarının 10- 25 °C arasında olduğunu belirtmişlerdir. Aynı zamanda Affan et al., (2009) *C. closterium* türünün ticari olarak maksimum üretiminin ortalama sıcaklık (20 °C), ortalama tuzluluk ve yüksek nütrient konsantrasyonları ile elde edilebileceğini belirtmiştir. Harford et al., (2011) ise bu tür için kritik sıcaklık değerinin 32,7 °C olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada bulunan optimum sıcaklık değeri de (18 °C) literatürdeki diğer çalışmalarla uyumludur.

Cylindrotheca closterium türüne ait büyüme hızları bütün sıcaklıklarda genel olarak düşük ışık şiddetlerinden yüksek ışık şiddetlerine doğru artış

göstermiştir (Şekil 7.1). 90, 88, 74 ve 46 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetlerinde spesifik büyüme hızları 26 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artmıştır. Ancak 20 ve 7 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ışık şiddetlerinde ancak 18 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar yükselbilmiştir, 26 $^{\circ}\text{C}$ 'de ise bu iki ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı azalış göstermiştir. Türün en düşük ışık şiddetinde bile doğrudan ölüm fazına girmediği fark edilmiştir. Dört farklı sıcaklık ve altı farklı ışık şiddeti altında erişilen maksimum klorofil a değerleri karşılaştırıldığında ise 18 $^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilen klorofil a değeri en yüksek değerdedir. *Euglena gracilis* türü ile yapılan bir çalışmada optimum ışık şiddeti 100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ olarak bulunmuştur (Kitaya et al., 2005). Madenci (2012), yaptığı çalışmada *Dunaliella tertiolecta* ve *Phaeodactylum tricornutum* türlerinin optimal ışık şiddetlerinin belirlenemediğini ancak bu iki tür için ışık saturasyonlarının sırasıyla 1250 lux ve 1000 lux olduğunu belirtmiştir.

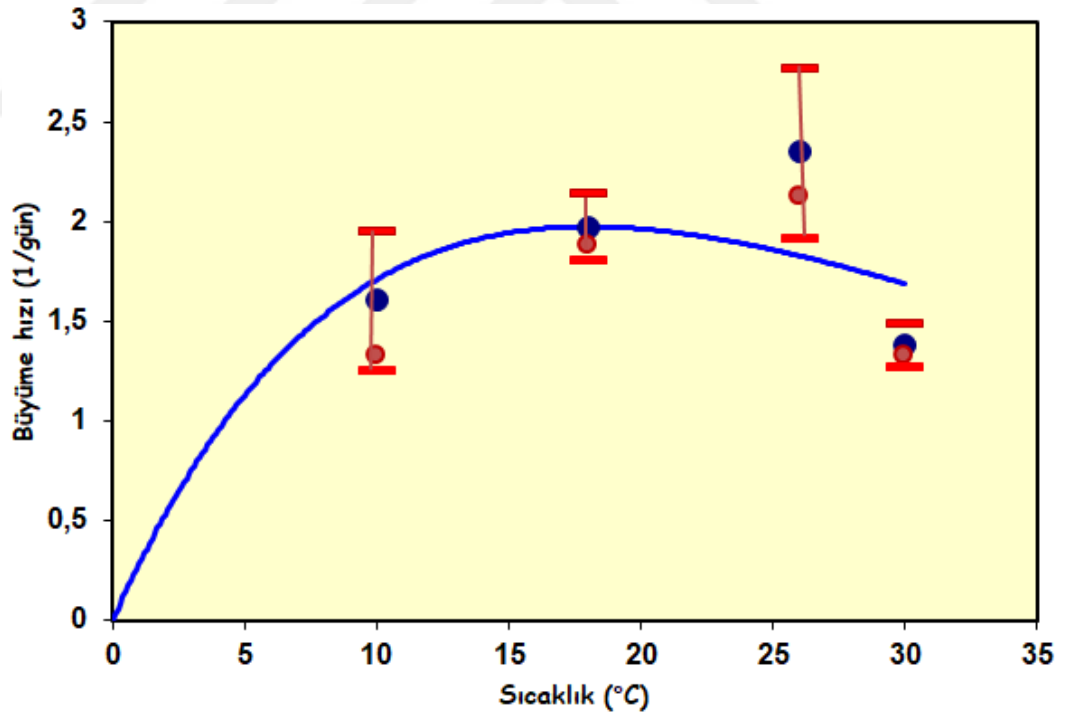


Şekil 7.1. *C. closterium* türünün farklı ışık şiddeti ve sıcaklıklarda spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması.

Sıcaklık yükseldikçe μ_{max} değerinin 10 $^{\circ}\text{C}$ 'den 26 $^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artış gösterdiği görülmektedir (Şekil 7.2). En küçük kareler yöntemi sonucu elde edilen değerler dikkate alındığında 18 ve 26 $^{\circ}\text{C}$ arasında μ_{max} değerleri açısından istatistiksel olarak belirgin bir fark yoktur. 10 ve 26 $^{\circ}\text{C}$ 'de μ_{max} değerlerinde varyasyonun arttığı; 18 ve 30 $^{\circ}\text{C}$ 'de ise azaldığı gözlenmiştir. 18 ve 30 $^{\circ}\text{C}$ 'de

varyasyonun daha az olmasından dolayı bu iki sıcaklıkta büyüme daha kararlı görünmektedir.

Literatürdeki diğer çalışmalar ile kıyaslandığında büyüme hızı bu çalışmada daha yüksek bulunmuştur. Kültürlerin EDTA eklenmeden f/2 ortamında gelişiminin sağlandığı bir çalışmada *C. closterium* türünün eksponansiyel fazdaki gelişimi 1,23 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur (Moreno-Garrido et al. 2003). Tanaka (1984) tarafından sürekli kültürde, 10:14 ışık periyodunda, 19 °C'de türle ilgili yapılan başka bir çalışmada maksimum hücre bölünme hızı 1,6 çiftlenme/gün olarak ölçülmüştür. *C. closterium* türü ile yapılan başka bir çalışmada ise yığın kültürde, 30-31 psu tuzluluk altında bölünme hızı 2,0 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır (Williams, 1964). Ancak, daha düşük tuzlulukta (18 psu) 3,2 çiftlenme/gün ile daha yüksek büyüme hızı elde edilmiştir. Kingston (2009) ise çalışmasında ortalama bölünme hızlarını 2.34 gün⁻¹ ile 2.51 çiftlenme/gün olarak bulmuştur.



Şekil 7.2. *C. closterium* türünün sıcaklık ile spesifik büyüme hızlarının karşılaştırılması. Kırmızı noktalar çalışmada erişilen μ_{max} değerlerini; mavi noktalar ise istatistiksel hesaplamalar sonucu elde edilen μ_{max} değerlerini ifade etmektedir. Düz kırmızı çizgiler ise minimum ve maksimum mutlak hata aralığını göstermektedir.

Bu çalışmada K_I değerleri artan sıcaklık ile artış göstermemiştir. *Chaetoceros convulus* türünün büyüme hızı 4 °C hariç bütün sıcaklıklarda ışıkla hiperbolik bir ilişki göstermiştir, en düşük ışık şiddetlerinde (10 $\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{s}^{-1}$) bile hücreler μ_{max} 'a ulaşmıştır bu da bu türün düşük ışık şiddetlerinde yaşayan bir tür olduğunu göstermektedir. K_I değeri sıcaklıkla takriben doğrusal bir şekilde artmıştır. *Chaetoceros concavicornis* türünde de büyüme hızı bütün sıcaklıklarda ışıkla hiperbolik bir ilişki gözlenmiştir. Ancak K_I değeri sıcaklıkla artmamıştır (Harrison et al., 1993). Yarı doyumluk sabitinin sıcaklığın artması ile paralel olarak arttığı bazı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir (Eppley et al., 1969). 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 çalışmanın sonuçları *Cylindrotheca closterium* türünün örihalin bir tür olabileceğini göstermektedir, çünkü düşük tuzluluklardan yüksek tuzluluklara kadar büyüme hızı oldukça yüksek bulunmuştur (%₀ 35 tuzlulukta 1,460962 gün^{-1} ve %₀ 15 tuzlulukta 2,012805 gün^{-1}). Bu sonuç, Affan et al., (2009) 'nin yaptıkları çalışma sonuçları ile de benzerdir. Aynı zamanda Williams (1964) da çalışmasında bu diatom türünün maruz kaldığı tuzluluk azaltıldığı zaman daha yüksek değerlerde büyüme hızı değerlerine ulaşmıştır. Bu çalışmada elde edilen optimum tuzluluk değeri %₀ 15'tir.

Amonyum için bu çalışmada elde edilen en yüksek spesifik büyüme hızı 132,08 $\mu\text{M NH}_4^+\text{-N}$ konsantrasyonunda 2,27 gün^{-1} olarak bulunmuştur. 507,08 ve 132,08 μM amonyum konsantrasyonlarında klorofil a değerleri ve türün genel olarak gelişim süreleri diğer konsantrasyonlardakilere nazaran daha yüksek bulunmuştur. $\text{NH}_4^+\text{-N}$ için belirli koşullar altında elde edilen istatistiksel analiz sonuçları şu şekildedir: $\mu_{\text{max}}=2,48144\pm0,612617 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_s= 17,83828\pm14,40044 \mu\text{g at-N/L}$ 'dir.

Spesifik büyüme hızının (1,81 gün^{-1}) en yüksek bulunduğu nitrat konsantrasyonu ise 895,8 $\mu\text{M NO}_3^-\text{-N}$ 'dir. 895,8 ve 233,55 μM nitrat konsantrasyonlarında türün gelişimi oldukça iyidir ve yüksek klorofil a

değerlerine ulaşılmıştır. Ancak 101,1, 56,95 ve 12,8 μM nitrat konsantrasyonlarında klorofil a değerleri oldukça düşüktür ve kültürler lag fazı yüksek konsantrasyonlardakilere göre daha uzun sürmüştür. Aynı zamanda eksponansiyel faza erişmeleri ve durgunluk fazına girme süreleri de daha kısadır. $\text{NO}_3^- \text{-N}$ için $\mu_{\text{max}} = 1,92402 \pm 0,314997 \text{ gün}^{-1}$ ve $K_s = 27,31992 \pm 19,040738 \mu\text{g at-N/L}$ olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada *C. closterium* türünün nitrata oranla amonyum ile daha iyi gelişim gösterdiği görülmektedir. *Chaetoceros simplex* türünün farklı nitrat, fosfat ve silikat konsantrasyonlarında gelişiminin incelendiği bir çalışmada, nitrat (441, 882 (F/2 ortamı), 1323, 1764, 2205 ve 2646 μM) ve silikat (53, 106 (F/2 ortamı), 159, 212, 265 and 318 μM) konsantrasyonlarının artışıyla spesifik büyüme hızında artış gözlenmiştir. Ancak spesifik büyüme hızı 90,5 μM fosfat konsantrasyonuna kadar artış göstermiş ve sonrasında azalmıştır (Hemalatha et al., 2014). Bu çalışmada da nitrat, fosfat, amonyak ve silis konsantrasyonlarının düşük konsantrasyonlarında düşük spesifik büyüme hızı değerleri gözlenmiştir. Genel olarak besin konsantrasyonları arttıkça, spesifik büyüme hızları da artmıştır. Ancak 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. Bu çalışmada bulunan değerler Sunlu vd., (2006)'nin elde ettiği değerlerden yüksektir.

Bu çalışmada reaktif fosfat için hesaplanan en yüksek spesifik büyüme hızı 2,09 gün^{-1} 'dir ve bu değer 36,76 μM RP konsantrasyonunda elde edilmiştir. Aydın, (1993) daha önce yaptığı bir çalışmada İzmir İç Körfezi'nde fosfat konsantrasyonunu 12,86 $\mu\text{g at PO}_4\text{-P L}^{-1}$ olarak saptamıştır (Aydın Gençay ve Büyükkışık, 2006). Büyükkışık (1986) RP konsantrasyonlarının 1,7 $\mu\text{g at P/L}$ değerinde veya üzerinde olmasının İzmir Körfezi'nde oksijensizliğe neden olacağını ve 3 $\mu\text{M PO}_4\text{-P}$ 'den daha yüksek konsantrasyonların İzmir Körfezi için ötrofikasyona işaret ettiğini bildirmiştir.

Bu çalışmada reaktif silis için elde edilen en yüksek spesifik büyüme hızı değeri 2,17 gün^{-1} 'dir. Aydın Gençay ve Büyükkışık (2006) Dem Limanı (Ege

Denizi)'ndaki bir kuluçkahanenin giriş ve çıkışındaki istasyonlarda yaptıkları bir çalışmada karasal kaynaklı olduğunu tahmin ettikleri oldukça yüksek silikat konsantrasyonlarına (maksimum 123,48 $\mu\text{g at Si/L}$) rastlamışlardır. Bu istasyonlardan yıl boyunca alınan sularda en sık karşılaşılan tür *C. closterium*'dur. Aydın (1993) yaptığı çalışmada İzmir Körfezi'nden izole ettiği türlerden biri olan *Chaetoceros affine* türünün K_s ve μ_{max} değerlerini hesaplayarak, bu türün hızlı bir şekilde gelişebilmesi için ortamda yüksek silis konsantrasyonlarına ihtiyaç duyduğunu belirtmiştir.

Leibig'in (1840) Minimum Kuralı besin konsantrasyonunun düşük olması halinde büyüme hızının da düşük olacağını belirtir. Çalışmada yer alan sonuçlara göre de nitrat, fosfat, amonyak ve silis konsantrasyonlarının düşük konsantrasyonlarında düşük spesifik büyüme hızı değerleri gözlenmiştir. Genel olarak besin konsantrasyonları arttıkça spesifik büyüme hızları da artmıştır.

Cylindrotheca closterium türü yüksek pH toleransı ile bilinmektedir. Maksimum büyümeyi 9,2 pH'a kadar sürdürebildiği daha önce yapılan laboratuvar çalışmaları ile de kanıtlanmıştır (Barker, 1935, Grant et al., 1967, Humphrey and Subba Rao, 1967). Türün büyüme hızı 9,5 pH'da daha düşük pH seviyelerine kıyasla ya eşit ya da daha yüksek değerlerde bulunmuştur (Pedersen and Hansen, 2003).

Affan ve Lee (2004) su sıcaklığının 16 $^{\circ}\text{C}$ ve tuzluluğun 34 psu olarak ölçüldüğü, besin konsantrasyonlarının oldukça yüksek miktarda bulunduğu (özellikle $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ 'nin toplam konsantrasyonlarının 6 $\mu\text{g-at/L}$ olduğu zaman) kışın son zamanlarında *C. closterium*'un toplam fitoplanktonun %10'undan fazlasını içerdiğini tespit etmişlerdir. İzmir Körfezi'nde yapılan bir çalışmada *C. closterium* türüne Nisan ve Ağustos arasındaki aylarda ve Şubat ayı süresince sıklıkla rastlanmıştır, türün pik yaptığı zaman ise Temmuz ayı olarak bildirilmiştir. Aynı çalışmada bu türe dört mevsim rastlanıldığı ve Bostanlı'da Temmuz 2010'da gözlenen bir red-tide olayında bu türün aşırı derecede çoğalarak balık ölümlerine sebep olduğu da rapor edilmiştir (Tümer, 2012). Ayrıca bazı çalışmalarda çoğunlukla Ege Denizi'nin ötrofik bölgelerinde bu diatom türü ile karşılaşıldığı da not edilmiştir (Frigos and Gotsis-Skretas, 1989; Tümer, 2012).

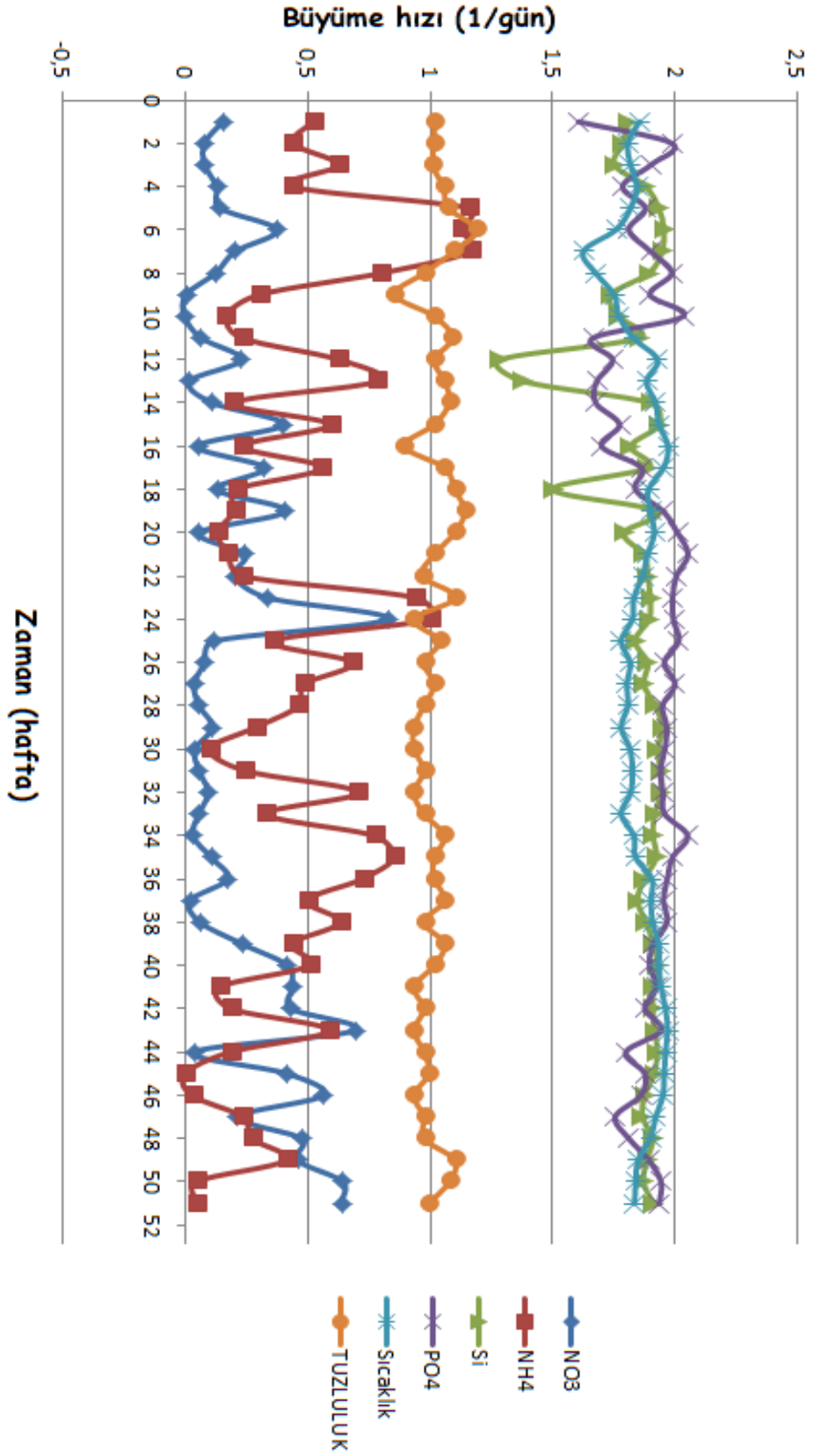
İzmir Körfezi'nden (Karşıyaka Yat Limanı istasyonundan) alınan su örneklerinden elde edilen bazı besin konsantrasyonları en düşük ve en yüksek değerler olmak üzere şu şekildedir: 0,06 – 40,72 $\mu\text{g-at NH}_4^+\text{-N}$; 0,191 -24,86 $\mu\text{g-at NO}_3^-\text{-N L}^{-1}$, 0,87 -17,58 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P/L}$, silikat 0.78 -48.6 $\mu\text{g-at Si L}^{-1}$ 'dir. Aynı zamanda deniz suyu sıcaklığı 8,8 $^{\circ}\text{C}$ - 27,6 $^{\circ}\text{C}$ ve tuzluluk ‰ 35.97- ‰42.85 arasında ölçülmüştür. Dinoflagellat ve diatomların tür ve birey sayısı bakımından dominant oldukları rapor edilmiştir. Çalışmada diatomlar hücre sayısı açısından daha bol bulunmuştur. Özellikle Mart ayından yaz aylarının ortalarına kadar bu iki sınıfın hücre sayılarındaki hızlı artış göze çarpmaktadır. Haziran sonunda gözlenen diatom artışında *C. closterium*'un hakim olduğu da belirtilmiştir (Kükrer ve Aydın, 2006).

Literatürdeki bilgiler ve bu çalışmada elde edilen sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, bu türün yaklaşık 10-25 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında, geniş tuzluluk seviyelerinde, yüksek ışık şiddetlerinde, yüksek besin konsantrasyonlarında ve yüksek pH değerlerinde dahi oldukça iyi gelişim göstereceği yorumu yapılabilir. Ayrıca türün özellikle yağışlı mevsimlerde nehir ağızlarında çoğalması da beklenebilir. Daha önceki çalışmalarda da *C. closterium* türünün İzmir Körfezi'de özellikle ilkbahar, sonbahar ve yaz aylarında baskın olarak görüldüğü belirtilmiştir. Aynı zamanda bu türe Kızılırmak Nehir ağızı gibi tuzluluğun daha az olduğu bölgelerde de rastlamak da mümkündür (Soylu, 2006; Baytut, 2010).

Şekil 7.3'te besin konsantrasyonları (nitrat, amonyak, silis ve fosfor), sıcaklık ve tuzluluğun haftalık değişimleri ile *Cylindrotheca closterium* türünün büyüme hızının değişimleri verilmiştir (sıcaklık, salinite, nütrient konsantrasyonları (Sunlu vd., 2007 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. Küresel ısınmanın *Cylindrotheca closterium* türü için yakın gelecekte önemli bir etkiye sahip olmadığı, silikat ve fosfatın ise nehirlerden sonra muhtemelen ikinci bir

kaynak olarak sedimentten akışların (flux) su kolonuna bu iki nutrienti temini nedeniyle büyüme hızında küçük değişimlere neden olduğu çıkarımı yapılabilir. İzmir Körfezi'nin yüksek tuzluluğu söz konusu türün büyüme hızını %50 oranında azaltmaktadır ve yıl boyunca küçük değişimler göstermektedir.





Şekil 7.3. Haftalık dağılım (Sıcaklık, salinite, nütrient konsantrasyonları (Sunlu vd., 2007 alınmıştır) kullanılarak büyüme hızları bu çalışma için hesaplanmıştır.)

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Adenan, N.S., Yusoff, F.M. and Shariff, M.,** 2013, Effect of salinity and temperature on the growth of diatoms and green algae, *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 8(2): 397-404p.
- Admiraal, W.,** 1977, Influence of light and temperature on the growth rate of estuarine benthic diatoms in culture, *Marine Biology*, 39: 1-9p.
- Affan, A., Heo, S.J., Jeon, Y.J. and Lee, J.B.,** 2009, Optimal growth conditions and antioxidative activities of *Cylindrotheca closterium* (Bacillariophyceae), *Journal of Phycology*, 45: 1405-1415p.
- Affan, A. and Lee, J. B.,** 2004, Seasonal characteristics of phytoplankton dynamics and environmental factors in the coast of Mara-do and U-do, Jeju Island, Korea, *Algae*, 9: 235–245p.
- Ak, I., Cirik, S. and 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): 1356-1359p.
- Andersson, J.,** 2015, Influence of Temperature and Salinity on Sea Ice Diatoms - *Nitzschia lecointei*, *Nitzschia sp.* & *Navicula perminuta*, MSc Thesis, University of Gothenburg, 52p (unpublished).
- Asulabh, K.S., Supriya, G. and Ramachandra, T.V.,** 2012, Effect of salinity concentrations on growth rate and lipid concentration in *Microcystis sp.*, *Chlorococcum sp.* and *Chaetoceros sp.*, Lake 2012: National Conference on Conservation and Management of Wetland Ecosystems, Bangalore, 7p.
- Aydın, H.,** 1993, İzmir Körfezi Fitoplanktonunun Gelişimi Üzerine Sınırlayıcı Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 94s (yayımlanmamış).
- Azov, Y.,** 1982, Effect of pH on inorganic carbon uptake in algal cultures, *Applied and Environmental Microbiology*, 43: 1300–1306p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Barker, H.A.**, 1935, Photosynthesis in diatoms, *Archiv für Mikrobiologie*, 6:141-156p.
- Barsanti, L. and Gualtier, P.**, 2006, Algae Anatomy, Biochemistry, and Biotechnology, Taylor and Francis Publication, 320p.
- Baytut, Ö.**, 2010, Kızılırmak Nehir Ağzı Fitoplanktonu ve Nutrientlerle Etkileşimleri, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 127s (yayımlanmamış).
- Becker, E.W.**, 1994, Microalgae: Biotechnology and Microbiology, Cambridge University Press, Cambridge, 294p.
- Belcher H. and Swale E.**, 1982, Culturing algae- a guide for schools and colleges, Institute of Terrestrial Ecology, Cambridge, 25p.
- Ben-Amotz, A. and Avron, M.**, 1983, On the factors which determine massive β -carotene accumulation in the halotolerant alga *Dunaliella bardawil*, *Plant Physiology*, 72: 593-597p.
- Bindoff, N.L., Willebrand, J., Artale, V., Cazenave A., Gregory, J., Gulev, S., Hanawa, K., Le Quéré, C., Levitus, S., Nojiri, Y., Shum, C.K., Talley, L.D. and Unnikrishnan, A.**, 2007, Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level, 385-432, Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. and Miller, H.L. (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, p.
- Bojko, M., Brzostowska, K., Kuczynska, P., Latowski, D., Olchawa-Pajor, M., Krzeszowiec, W., Waloszek, A. and Strzalka, K.**, 2013, Temperature effect on growth, and selected parameters of *Phaeodactylum tricorutum* in batch cultures, *Acta biochimica Polonica*, 60(4): 861-864p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Borowitzka, M.A., 1992, Algal biotechnology products and processes - matching science and economics, *Journal of Applied Phycology*, 4(3): 267-279p.

Büyükişık, B., 1986, İzmir İç Körfezi ve Gülbahçe Körfezi'nde karşılaştırmalı olarak nütrient dinamikleri üzerine araştırmalar, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 191s (yayımlanmamış).

Byrd, S. and Burkholder, J., 2017, Environmental stressors and lipid production in *Dunaliella spp.* II. Nutrients, pH, and light under optimal or low salinity, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 487: 33-44p.

Carvalho A. P., Silva, S.O., Baptista, J.M. and Malcata, F.X., 2011, Light requirements in microalgal photobioreactors an overview of biophotonic aspects, *Applied microbiology and biotechnology*, 89(5): 1275- 1288p.

Carpenter, E. J. and Guillard, R. R. L., 1971, Intraspecific differences in nitrate half saturation constants for three species of marine phytoplankton, *Ecology*, 52: 183-185p.

Cembella, A.D., Antia, N.J., and Harrison, P.J., 1982, The utilization of inorganic and organic phosphorous compounds as nutrients by eukaryotic microalgae: a multidisciplinary perspective: part I, *Critical Reviews in Microbiology*, 10(4): 317-391p.

Cheirsilp, B. and Torpee, S., 2012, Enhanced growth and lipid production of microalgae under mixotrophic culture condition: effect of light intensity, glucose concentration and fed-batch cultivation, *Bioresouce technology*, 110: 510-516p.

Chen, W., Zhang, Q. and Dai, S., 2009, Effects of nitrate on intracellular nitrite and growth of *Microcystis aeruginosa*, *Journal of Applied Phycology*, 21(6): 701-706p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Coutteau, P., 1996, Micro-algae, 7-47, Manual on the Production and Use of Live Food for Aquaculture, Lavens, P. and Sorgeloos P. (Eds.), FAO Fisheries Technical Paper No. 361, Rome, 295p.

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. and Talley, L.D., 2012, Climate change impacts on marine ecosystems, *Annual Reviews of Marine Science*, 4: 11-37p.

Durmaz, Y., 2014, Atıksularda Mikroalg Üretimi, E.Ü. Bilimsel Araştırma Proje Kesin Raporu, İzmir, 42s (yayımlanmamış).

Erdik, E., 1971, Mekanik ve Maddenin Özellikleri Problemleri, Ankara Üniversitesi Basımevi, Ankara, 330s.

Elser, J.J., 2012, Phosphorus: a limiting nutrient for humanity?, *Current Opinion in Biotechnology*, 23(6): 833-838p.

Eppley, R.W., Rogers, J.N., and Mccarthy, J.J., 1969, Half-saturation constants for uptake of nitrate and ammonium by marine phytoplankton, *Limnology and Oceanography*, 14: 912-920p.

Eppley, R.W., 1972, Temperature and phytoplankton growth in the sea, *Fishery Bulletin*, 70(4): 1063-1085p.

Erdoğan, Ş., 2016, Impacts of Eutrophication and Climate Change on Phytoplankton Community Structure, Size Diversity and Phytoplankton Based Ecological Status, PhD Thesis, Middle East Technical University, 176s (unpublished).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Fábregas, J., Maseda, A., Domínguez, A. and Otero, A., 2004, The cell composition of *Nannochloropsis sp.* changes under different irradiances in semicontinuous culture, *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 20: 31-35p.

Fakhri, M., Arifin, N.B., Budianto, B., Yuniarti, A. and 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): 563-566p.

Falkowski, P. G., 2000, Rationalizing elemental ratios in unicellular algae, *Journal of Phycology*, 36: 3–6p.

Fava, G. and Martini, E., 1988, Effect of inbreeding and salinity on quantitative characters and asymmetry of *Tisbe holothuriae* (Humes), *Hydrobiologia*, 167: 463-467p.

Fawley, M.W., 1984, Effects of light intensity and temperature interaction on growth characteristic of *Phaeodactylum tricornutum* (Bacillariophyceae), *Journal of Phycology*, 20: 67–72p.

Fiala, M. and Oriol, L., 1990, Light-temperature interactions on the growth of Antarctic diatoms, *Polar Biology*, 10: 629-636p.

Flores, E. and Herrero, A., 2005, Nitrogen assimilation and nitrogen control in cyanobacteria, *Biochemical Society Transactions*, 33(1): 164-167p.

Friligos, N., and Gotsis-Skretas O., 1989, Eutrophication and red tide in Aegean coastal waters, *Toxicological and Environmental Chemistry*, 24: 171– 180p.

Geider, R.J. and La Roche, J., 2002, Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis, *European Journal of Phycology*, 37(1): 1-17p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gençay Aydın, H. ve Büyükkışık, B.**, 2006, Dem limanında (Çandarlı Körfezi, Ege Denizi) fitoplankton populasyon dinamiği üzerine araştırmalar, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23 (1-2): 43-53s.
- Gezici, M., Eliçin, K. ve Gürhan, R.**, 2012, Biyoyakıt amaçlı mikroalg üretimi için bazı yetiştirme parametrelerinin belirlenmesi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 8(2): 223-231s.
- Gordillo, F.J.L., Goutx, M., Figueroa, F.L., and Niell, F.X.**, 1998, Effects of light intensity, CO₂ and nitrogen supply on lipid class composition of *Dunaliella viridis*, *Journal of Applied Phycology*, 10: 135–144p.
- Graham, L.E. and Wilcox, L.W.**, 2000, *Algae*, Prentice Hall, New Jersey, 700p.
- Grant, B.R., Madgwick, J., and Dal Pont, G.**, 1967, Growth of *Cylindrotheca closterium* var. *californica* (Mereschk.) Reimann & Lewin on nitrate, ammonia and urea, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 18(2): 129-136p.
- Grobbelaar, J.U.**, 2004, Algal Nutrition, 97-115, *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*, Richmond, A. (Eds.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 566p.
- Guckert, J.B. and Cooksey, K.E.**, 1990, Triglyceride accumulation and fatty acid profile changes in *Chlorella* (Chlorophyta) during high pH-induced cell cycle inhibition, *Journal of Phycology*, 26: 72–79p.
- Guillard, R.R.L.**, 1975, Culture of Phytoplankton For Feeding Marine Invertebrates, 29-60, *Culture of Marine Invertebrate Animals*, Smith, W.L. and M.H. Chanley (Eds.), Plenum Press, New York, 338p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hallock, P., 2005, Global change and modern coral reefs: new opportunities to understand shallow-water carbonate depositional processes, *Sedimentary Geology*, 175: 19-33p.

Harford, A. J., Hogan, A. C., Tsang, J. J., Parry, D. L., Negri, A. P., Adams, M. S., Stauber, J. L. and 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): 466-473p.

Harrison, P.J., Thompson, P.A., Guo, M. and 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: 259-265p.

Hazel J.R. and Williams E.E., 1990, The role of alterations in membrane lipid composition in enabling physiological adaption of organisms to their physical environment, *Progress in Lipid Research*, 29(3): 167-277p.

Hemalatha, A., Karthikeyan, P., Girija, K., Saranya, C., Anantharaman P. and Sampathkumar, P., 2014, Effect of nutrients on the growth and biochemical composition of the marine diatom, *Chaetoceros simplex* (Ostenfeld, 1901), *Internation Journal of Phytopharmacy Research*, 5(1): 30-35p.

Hu, Q., 2004, Environmental Effects on Cell Composition, 83-95, Handbook of Microalgae Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Richmond, A. (Eds.), Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 566p.

Huang, B. and Hong, H., 1999, Alkaline phosphatase activity and utilization of dissolved organic phosphorus by algae in subtropical coastal waters, *Marine Pollution Bulletin*, 39: 205-211p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Humphrey, G.F. and Subba Rao, D.V., 1967, Photosynthetic rate of the marine diatom *Cylindrotheca closterium*, *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 18: 123–127p.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2007, Climate Change 2007- Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 976p.

Jasprica, N., Carić, M., Kršinić, F., Kapetanović, T., Batistić, M. and Njire, J., 2012, Planktonic diatoms and their environment in the lower Neretva River estuary (Eastern Adriatic Sea, NE Mediterranean), *Nova Hedwigia, Beiheft*, 141: 405–430p.

Jeanfils, J., Canisius, M., and Burlion, N., 1993, Effect of high nitrate concentrations on growth and nitrate uptake by free-living and immobilized *Chlorella vulgaris* cells, *Journal of Applied Phycology*, 5 (3): 369-374p.

Juneja, A., Ceballos, R.M. and Murthy, G.S., 2013, Effects of environmental factors and nutrient availability on the biochemical composition of algae for biofuels production: a review, *Energies*, 6: 4607-4638p.

Kale, A. and Karthick, B., 2015, The diatoms- big significance of tiny glass houses, *Resonance*, 20(10): 919-930p.

Kaplan, D., Richmond, A.E., Dubinsky, Z., and Aaronson, S., 1986, Algal Nutrition, 147–198, Handbook of Microalgal Mass Culture, Richmond, A. (Ed.), CRC Press, Boca Raton, 536p.

Kendrick, M., 2011, Algal Bioreactors for Nutrient Removal and Biomass Production During the Tertiary Treatment of Domestic Sewage, PhD Thesis, Loughborough University, 273p (unpublished).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Ketchum, B. and Redfield, A., 1949, Some physical and chemical characteristics of algae growth in mass cultures, *Journal of Cellular and Comparative Physiology*, 13: 373–381p.

Khoevi, Z.A., Seyfabadi, J. and Ramezanpour, Z., 2011, Effect of light intensity and photoperiod on biomass and fatty acid composition of the microalgae, *Aquaculture International*, 20(1): 41-49p.

Kim, S., Lee, Y., and Hwang, S.J., 2013, Removal of nitrogen and phosphorus by *Chlorella sorokiniana* cultured heterotrophically in ammonia and nitrate, *International Biodeterioration and Biodegradation*, 85: 511-516p.

Kingston, M.B., 2009, Growth and motility of the diatom *Cylindrotheca closterium*: implications for commercial applications, *Journal of the North Carolina Academy of Science*, 125(4): 138-142p.

Kitaya, Y., Azuma, H. and Kiyota, M., 2005, Effects of temperature, CO₂/O₂ concentrations and light intensity on cellular multiplication of microalgae, *Euglena gracilis*, *Advances in Space Research*, 35(9): 1584-1588p.

Kitaya Y., Xiao, L., Masuda, A., Ozawa, T., Tsuda, M. and 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): 287-292p.

Koray, T., 1985, İzmir Körfezi'nin Mikroplanktonunda Görülen Değişimlerde Ortam Faktörlerinin Rolü, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, 152s(yayımlanmamış).

Kükreer, S. ve Aydın, H., 2006, Karşıyaka yat limanı (İzmir İç Körfezi) fitoplanktonunda görülen zamana bağlı değişimlerin araştırılması, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 23: 139-144s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Lal, R. and Stewart, B.A., 2018, Soil Nitrogen Uses and Environmental Impacts, CRC Press, London and New York, 380p.

Larsdotter, K., 2006, Wastewater treatment with microalgae – a literature review, *Vatten*, 62:31–38p.

Lewis, N.I., Bates, S.S., McLachlan, J.L. and Smith, J.C., 1993, Temperature Effects on Growth, Domoic Acid Production, and Morphology of the Diatom *Nitzschia pungens f. multiseriata*, 601-606, Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, Smayda, T.J. and Shimizu, Y. (Eds.), Elsevier Science Publishers, 952p.

Liebig, J., 1840, Organic Chemistry in its Applications to Agriculture and Physiology, Taylor and Walton, London, 387p.

Liu, C., Jin, X., Sun, L., et al., 2005, Effects of pH oil growth and species changes of algae in freshwater, *Journal of Agro-Environment Science*, 24(2): 294-298p.

Madenci, P., 2012, Farklı Işık Şiddetlerinin *Phaodactylum tricorutum* (Bohlin, 1897) ve *Dunaliella tertiolecta* (Butcher, 1959) Türlerinin Büyümesi Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, 49s (yayımlanmamış).

Malone, T C., 1982, Phytoplankton photosynthesis and carbon- specific growth: light-saturated rates in a nutrient rich environment, *Limnology and Oceanography*, 27: 226-235p.

Markou, G., Vandamme, D. and Muylaert, K., 2014, Microalgal and cyanobacterial cultivation: The supply of nutrients, *Water Research, Elsevier*, 65: 186-202p.

Mata, M.T., Martins, A.A. and Caetano, N. S., 2010, Microalgae for biodiesel production and other applications: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14: 217-232p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Melack, M. J., 1981, Photosynthetic activity of phytoplankton in tropical African soda lakes, *Hydrobiology*, 81: 71-85p.

Mercado, J. M., Sanchez-Saavedra M., Correa-Reyes, G., Lubian L., Montero O. and Figueroa, F.L., 2004, Blue light effect on growth, light absorption characteristics and photosynthesis of five benthic diatom strains, *Aquatic Botany, Elsevier*, 78(3): 265–277p.

Monod, J., 1942, Recherches sur la croissance des cultures bactériennes, Hermann et Cie, Paris, 210p.

Moreno-Garrido, I., Hampel, M., Lubian, L. M. and Blasco, J., 2003, Sediment toxicity tests using benthic marine microalgae *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Lewin and Reimann (Bacillariophyceae), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 54(3): 290–295p.

Morris, I., Glover, H. and Yentsch, C., 1974, Products of photosynthesis by marine phytoplankton: the effect of environmental factors on the relative rates of protein synthesis, *Marine Biology*, 27(1): 1–9p.

Msanne, J., Xu, D., Konda, A.R., Casas-Mollano, J.A., Awada, T., Cahoon, E.B. and Cerutti, H., 2012, Metabolic and gene expression changes triggered by nitrogen deprivation in the photoautotrophically grown microalgae *Chlamydomonas reinhardtii* and *Coccomyxa sp. C-169*, *Phytochemistry*, 75: 50–59p.

Mulder, C. and Hendriks, A.J., 2014, Half-saturation constants in functional responses, *Global Ecology and Conservation, Elsevier*, 2: 161-169p.

Nakamura, Y. and Miyachi, S., 1982, Effect of temperature on starch degradation in *Chlorella vulgaris* 11 h cells, *Plant and Cell Physiology*, 23: 333–341p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Naz, T., Burhan, Z.U.N., Munir, S. and Siddiqui, P.J.A., 2014, Growth rate of diatoms in natural environment from the coastal waters of Pakistan, *Pakistan Journal of Botany*, 46(3): 1129-1136p.

Ohgai, M., Iwano, H. and Hoshijima, M., 1986, The effect of the environmental factors on the growth of diatom *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann et Lewin, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 52(9): 1635-1640p.

Okpokwasili, G.C. and Nweke, C.O., 2005, Microbial growth and substrate utilization kinetics, *African Journal of Biotechnology*, 5(4): 305-317p.

Oliver, R.L. and Ganf, G.G., 2000, Freshwater Blooms, 149-194, The Ecology of Cyanobacteria: Their Diversity in Time and Space, Whitton, B.A. and Potts, M. (Eds.), Kluwer Academic Publishers, New York, 669p.

Pedersen, M.F. and Hansen, P.J., 2003, Effects of high pH on a natural marine planktonic community, *Marine Ecology Progress Series*, 260: 19-31p.

Perez-Garcia, O., Escalante, F.M.E., de-Bashan, L.E. and Bashan, Y., 2011, Heterotrophic cultures of microalgae: metabolism and potential products, *Water Research*, 45(1): 11-36p.

Ramirez, E.E., Gonzalez, M.A., Cifuentes, A.S., Inostroza, I. and 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 Bot.*, 72(2): 165-176p.

Rao, A. R., Dayananda, C., Sarada, R., Shamala, T. R., and Ravishankar, G. A., 2007, Effect of salinity on growth of green Alga *Botryococcus braunii* and its constituents, *Bioresource Technology*, 98: 560-564p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Ras, M., Steyer, J.P. and Bernard, O.**, 2013, Temperature effect on microalgae: a crucial factor for outdoor production, *Reviews in Environmental Science and Biotechnology, Springer*, 12(2): 153-164p.
- Rathod, H.**, 2014, Algae Based Wastewater Treatment, MSc Thesis, Indian Institute of Technology, 16p (unpublished).
- Rayner N.A., Brohan P., Parker D.E, Folland, C.K., Kennedy, J.J., Vanicek, M., Ansell, T.J. and Tett, F.B.**, 2006, Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 dataset, *Journal of climate*, 19: 446-469p.
- Ren, T.**, 2014, Primary Factors Affecting Growth of Microalgae Optimal Light Exposure Duration and Frequency, MSc Thesis, Iowa State University, 49p (unpublished).
- Richmond, A.**, 2004, Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Publishing Ltd., Oxford, 566p.
- Rochet, M., Legendre, L. and Demers, S.**, 1986, Photosynthetic and pigment responses of sea-ice microalgae to changes in light intensity and quality, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 101(3): 211-226p.
- Roessler, P.G.**, 1988, Effects of silicon deficiency on lipid composition and metabolism in the diatom *Cyclotella cryptica*, *Journal of Phycology*, 24: 394-400p.
- Round, F.E., Crawford, R.M. and Mann, D.G.**, 1990, The diatoms- Biology and morphology of the genera, Cambridge University Press, New York, 747 pp.
- Sabancı, F.Ç. ve Koray, T.**, 2001, İzmir Körfezi (Ege Denizi) mikrop planktonunun vertikal ve horizontal dağılımına kirliliğin etkisi, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 18(1-2): 187-202s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sager, R. and Granick, S., 1953, Nutritional studies with *Chlamydomonas reinhardtii*, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 56: 831–838p.

Sehnal, L., Váczi, P., and Barták, M., 2014, Effect of temperature and increased concentration of CO₂ on growth and photosynthetic activity of polar alga *Trebouxia sp.*, *Czech Polar Reports*, 4(1): 47-56p.

Sigee, D.C., 2004, *Freshwater Microbiology, Biodiversity and Dynamic Interactions of Microorganisms in the Aquatic Environment*, John Wiley and Sons Ltd., Manchester, 524p.

Singh, S.P. and Singh, P., 2015, Effect of temperature and light on the growth of algae species: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 431-444p.

Smol, J.P. and Stoermer, E.F., 2010, *The Diatoms: Applications for Environmental and Earth Sciences*, Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, 686p.

Somero G.N., 2012, The physiology of global change: linking patterns to mechanisms, *Annual Review of Marine Science*, 4: 39-61p.

Soylu, E.N., 2006, Liman Gölü (Samsun-Türkiye) Fitoplanktonu ve Mevsimsel Değişimi Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, On Dokuz Mayıs Üniversitesi, 85s (yayımlanmamış).

Spies, A., 1987, Growth rates of Antarctic marine phytoplankton in the Weddell Sea, *Marine Ecology Progress Series*, 41: 267-274p.

Strickland, J.D.H. and Parsons, T.R., 1972, *A Practical Handbook of Seawater Analysis*, Alger Press Ltd., Canada, 310p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Sunlu, F.S., Büyükişik, B., Koray, T. ve 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): 15-21p.

Sunlu, U., Büyükişik, H.B., Koray, T., Bröckel, K., Sunlu, F.S., Sever, T.M., Aydın, H.G., Aksu, M., Aydın, A. Ve Orçun, E., 2007, Büyük Kanal Projesinin Aktif Hale Geçirilmesinin İzmir Körfezi Sularında Alt Besinsel Seviyeler Üzerine Etkileri, Proje, 253s(yayımlanmamış).

Suyono, E., Zusron, M., Nuhamunada, M. and Van Nugroho, A., 2015, The effect of salinity on growth, dry weight and lipid content of the mixed microalgae culture isolated from Glagah as biodiesel substrate, *Journal of Life Sciences*, 9: 229-233p.

Şişman Aydın, G., Büyükişik, B. ve Kocataş, A., 2013, Farklı azot kaynağının ($\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{NH}_4\text{-N}$) zararlı denizel diyatomu *Thalassiosira allenii* Takano (Bacillariophyceae) büyümesi üzerine etkisi, *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 10(3): 90-96s.

Taguchi, S., Hirata, J.A. and Laws, E.A., 1987. Silicate deficiency and lipid synthesis of marine diatoms, *Journal of Phycology*, 23: 260-267p.

Tanaka, N., 1984, The cell division rates of 10 species of attaching diatoms in natural sea water, *Nippon Suisan Gakkaishi*, 50(6): 969–972p.

Taylor, J.C., Harding, W.R. and Archibald, C.G.M., 2007, A Methods Manual for the Collection, Preparation and Analysis of Diatom Samples, Report to the Water Research Commission, Nort-West University, Republic of South Africa, 49p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Thomas, W.H.**, 1970, Effect of ammonium and nitrate concentration on chlorophyll increases in natural tropical Pacific phytoplankton populations, *Limnology and Oceanography*, 15(3): 386-394p.
- Thomas, W. H. and Owen, R.W.**, 1971, Estimating phytoplankton production from ammonium and chlorophyll concentrations in nutrient-poor water of the eastern tropical Pacific Ocean, *Fishery Bulletin*, 69(1): 87-92p.
- Treydte, K. S., Schleser, G. H., Helle, G., Frank, D. C., Winiger, M., Haug, G. H. and Esper, J.**, 2006, The twentieth century was the wettest period in northern Pakistan over the past millennium, *Nature*, 440: 1179-1182p.
- Tümer, T.**, 2012, Günlük Fitoplankton Değişimi İnciraltı, İzmir Körfezi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 108s (yayımlanmamış).
- Umdu, S.**, 2012, Effect of CO₂ Concentration and Temperature on Growth Rate and Lipid Content of *Isochrysis galbana*, MSc Thesis, Izmir Institute of Technology, 77p (unpublished).
- Van Der Grinten, E., Janssen, A.P.H.M., Mutsert, K., Barranguet, C., and Admiraal, W.**, 2005, Temperature and light-dependent performance of the cyanobacterium *Leptolyngbya foveolarum* and the diatom *Nitzschia perminuta* in mixed biofilms, *Hydrobiologia*, 548(1): 267-278p.
- Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T. J., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O. and Bairlein, F.**, 2002, Ecological responses to recent climate change, *Nature*, 416: 389-395p.
- Walker, J.B.**, 1954, Inorganic micronutrient requirements of *Chlorella*. II. quantitative requirements for iron, manganese and zinc, *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 53(1): 1-8p.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wang, L., Li, Y.C., Chen, P., Min, M., Chen, Y.F., Zhu, J. and Ruan, R.R., 2010, Anaerobic digested dairy manure as a nutrient supplement for cultivation of oil-rich green microalgae *Chlorella sp.*, *Bioresource Technology*, 101(8): 2623–2628p.

Werner, D., 1978, Regulation of Metabolism by Silicate in Diatoms, 149-179, *Biochemistry of Silicon and Related Problems*, Bendez, G., Lindqvist, I. and Reio, V.R. (Eds.), Plenum Press, New York, 591p.

Whitton, B., 1991, Use of Phosphatase Assays with Algae to Assess Phosphorus Status of Aquatic Environments, 295-310, *Bioindicators and Environmental Management*, Jeffrey, D.W. and Madden, B. (Eds.), Academic Press, London, 432p.

Wiebe, H.C.F., Kooistra, W. H. C. F., Gersonde, R., Medlin, L. K. and Mann, D. G., 2007, The Origin and Evolution of the Diatoms: Their Adaptation to a Planktonic Existence, 207–249, *Evolution of Primary Producers in the Sea*, Falkowski, P.G. and Knoll, A. H. (Eds.), Academic Press, New Jersey and Massachusetts, 456p.

Williams, R. B. 1964, Division rates of salt marsh diatoms in relation to salinity and cell size, *Ecology*, 45(4): 877–880p.

Wood, R.D., 1975, *Hydrobotanical methods*, University Park Press, Baltimor, 173p.

Yeoman, S., Stephenson, T., Lester, J.N., and Perry, R., 1988, The removal of phosphorus during wastewater treatment: a review, *Environmental Pollution*, 49(3): 183-233p.

Zang, C., Huang, S., Wu, M., et al., 2011, Comparison of relationships between pH, dissolved oxygen and chlorophyll a for aquaculture and nonaquaculture waters, *Water Air and Soil Pollution*, 219(1-4): 157-174p.

ÖZGEÇMİŞ

Merve Betül ÜSTÜN, 10 Nisan 1990 yılında İstanbul'da dünyaya geldi. İlköğretimini Vakıflar İlk Öğretim Okulu ve Ankara Batıkent Haydar Aliyev İlköğretim Okulu'nda okudu. Ortaöğretimini Batıkent Kaya Bayazıtöğlü Lisesi'nde tamamlayarak 2008 yılında mezun oldu. Aynı yıl Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ni kazandı. 2013 yılında Ege Üniversitesi Su Ürünleri Mühendisliği bölümünden mezun oldu.

