

149740

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(DOKTORA TEZİ)

İZMİR KÖRFEZİNDE BULUNAN  
*Thalassiosira allenii* Takano (Coscinodiscophyceae)  
ÜZERİNE KİNETİK ÇALIŞMALAR  
H. Gökür ŞİŞMAN AYDIN

Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu : 504.02.01

Sunuş Tarihi : 08.09.2004

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ahmet KOCATAŞ

Bornova-İZMİR

149740

**Hacer Gökür ŞİŞMAN AYDIN** tarafından Doktora Tezi olarak sunulan “**İzmir Körfezinde Bulunan *Thalassiosira allenii* Takano (Coscinodiscophyceae) Üzerine Kinetik Çalışmalar**” başlıklı bu çalışma, E.Ü. Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 08/09/2004 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuştur.

**Jüri Üyeleri**

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Ahmet KOCATAŞ

**İmza**

Raportör Üye : Prof. Dr. Hatice PARLAK

Üye

: Prof. Dr. Baha BÜYÜKLÜKÇÜ

Üye

: Prof. Dr. Filiz KÜÇÜKDEZGİN

Üye

: Prof. Dr. SÜKRANÇIRIK

## ÖZET

## İZMİR KÖRFEZİNDE BULUNAN

*Thalassiosira allenii* Takano (Coscinodiscophyceae)

## ÜZERİNE KİNETİK ÇALIŞMALAR

ŞİŞMAN AYDIN, H. Gökür

Doktora Tezi, Su Ürünleri Temel Bilimler Anabilim Dalı

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Ahmet KOCATAŞ

Ağustos, 2004, 114 sayfa

Bu çalışmanın amacı; zararlı denizel diyatome *Thalassiosira allenii* Takano 'nin büyüme kinetiği parametrelerinin ( $\mu_{max}$ ,  $K_s$ ,  $I_K$ ,  $T_K$ ) belirlenmesidir. Bu çalışmada *Thalassiosira allenii* türünün büyümesi üzerine sürekli-aydınlık periyotta ve kesikli kültür sisteminde; ışık, sıcaklık ve nütrientlerin etkileri incelenmiştir. Buna göre optimum sıcaklık 11 °C ve optimum ışık şiddeti 300 fCd olarak bulunmuştur.

Her bir nütrient için hesaplanan  $K_s$  ve  $\mu_{max}$  değerleri sırasıyla: nitrat için ~ 0  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  ve 0.93 çiflenme/gün, amonyum için 0.05  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  ve 1.034 çiflenme/gün, fosfat için 0.55  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$  ve 0.847 çiflenme/gün ve silikat için ~ 0  $\mu\text{mol Si/lit}$  ve 0.991 çiflenme/gün olarak elde edilmiştir.

**Anahtar sözcükler:** *Thalassiosira allenii*, büyüme hızı, yarı doygunluk sabiti, ışık, sıcaklık, nütrient.

## ABSTRACT

KINETICS STUDIES ON *Thalassiosira allenii* Takano

## (Coscinodiscophyceae) IN İZMİR BAY

ŞİŞMAN AYDIN, H. Gökür

Ph.D. in Department of Hydrobiology

Supervisor Prof. Dr. Ahmet KOCATAŞ

Agust, 2004, 114 pages.

The aim of this study was to determine the parameters of growth kinetics ( $\mu_{\max}$ ,  $K_s$ ,  $I_K$ ,  $T_K$ ) of the harmful marine diatom *Thalassiosira allenii* Takano. In this research, the impacts of light, temperature, and nutrients on the growth of *Thalassiosira allenii* were investigated under continuous-light period and batch culture conditions. As a results, the optimum temperature and light intensities were found as 11°C and 300 ftCd, respectively.

$K_s$  and  $\mu_{\max}$  values estimated for each nutrients were obtained as follows:  $\sim 0 \mu\text{mol NO}_3\text{-N/L}$  and 0.93 doubling/day for nitrate, 0.05  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/L}$  and 1.034 doubling/day for ammonium, 0.55  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/L}$  and 0.847 doubling/day for phosphate, and  $\sim 0 \mu\text{mol Si/L}$  and 0.991 doubling/day for silicate.

**Keywords:** *Thalassiosira allenii*, growth rate, half saturation constant, light, temperature, nutrient..

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması sırasında desteğini esirgemeyen tez danışmanım ve değerli hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet KOCATAŞ' a varlığı ve danışmanlığı için minnettarım. Çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hatice PARLAK ve Sayın Prof .Dr. Zeki ERGEN' e teşekkür ederim. Fotoğraf çekimleri ve tür tayininde yardımlarını gördüğüm Sayın Tufan KORAY' a ayrıca teşekkür ederim. Bu çalışma konusunu bana öneren sayın Prof. Dr. Baha BÜYÜKİŞİK'a teşekkür ederim. Zor anlarımda yanımda olan aileme, arkadaşlarıma ve laboratuvar çalışmalarım sırasında geceleri benimle birlikte fakültede kalan sevgili arkadaşım Sayın Araş.Gör.Yeşim AK' a ve Sayın Ali AK' a teşekkür ederim. Tez çalışmalarım sırasında her türlü destekleri için eşim sayın Dr. Okhan AYDIN'a ve Yük. Nükleer Fizik.Cem Gökhan ŞİŞMAN'a teşekkür ederim.

Ve kızım Begüm Su Aydın' a ihtiyacı olan zaman ve ilgiden fedakarlık ettiği ve varlığıyla çalışma azmi verdiği için teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLOLAR DİZİNİ.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ.....	5
3. MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Araştırma Materyali: <i>T.allenii</i> türünün sistematigi..	24
3.2. Nürtient Zenginleştirme Denemeleri.....	25
3.3. <i>T. allenii</i> Türünün İzolasyonu Ve Kültür Çalışmaları....	26
3.4. Optimum Şartların Belirlenmes.....	30
3.4.1. Optimum sıcaklığın belirlenmesi.....	31
3.4.2. Işık şiddeti-büyüme hızının incelenmesi.....	33
3.4.3. Nürtient-büyüme hızı ilişkisinin incelenmes	34
3.4.3.1. Nitrat.....	36
3.4.3.2. Amonyum.....	38
3.4.3.3. Fosfat.....	39
3.4.3.4. Silikat.....	40
4. BULGULAR.....	41
4.1. Optimum Işık ve Sıcaklık.....	41
4.2. Nutrientler.....	58
4.2.1. Nitrat.....	58
4.2.2. Amonyum.....	62
4.2.3. Fosfat.....	66
4.2.4. Silikat.....	70

**İÇİNDEKİLER (devam)**

	<u>Sayfa</u>
5. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	74
5.1 Işık ve Sıcaklık.....	74
5.2. Nütrientler.....	82
5.2.1. Nitrat.....	84
5.2.2. Amonyum.....	87
5.2.3. Fosfat.....	90
5.2.4. Silikat.....	95
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	102
7. ÖZGEÇMİŞ.....	114



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİLLER</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.3.1. <i>Thalassiosira allenii</i> türünün hücre yapısını gösteren fotoğraf.....	24
Şekil.3.2. İzolasyon çalışmalarının yapıldığı Dikey Soğutucuda <i>T. allenii</i> türünün kültürleri.....	28
Şekil.3.3 İzmir Körfezi'nden izole edilen <i>T.alleni</i> türünün hücre yapısını gösteren faz contrast mikroskopla çekilen fotoğrafları.....	29
Şekil.3.4. (a) Substrat derişimlerine (S) karşılık gelen eksponensiyel fazdaki spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) (b).:Substrat derişimlerine karşılık gelen ( $\mu/S$ ) değerlerinin lineer dönüşümü.....	35
Şekil.3.5. <i>T.allenii</i> türünün sıcaklık ve ışıkşiddeti denemelerinin yapıldığı NÜVE soğutuculu inkübatör.....	37
Şekil.3.6. Nütrient denemelerinin yapıldığı dikey soğutucuda kurulan düzenek.....	39
Şekil.4.1. <i>T. allenii</i> türünün 4 °C sıcaklıkta çeşitli ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.....	42
Şekil.4.2. <i>T. allenii</i> türünün 11 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200 ve 1500 ftCd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.....	47
Şekil.4.3. <i>T. allenii</i> türünün 16 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200, ve 1500 ftCd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.....	50

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>ŞEKİLLER</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.4.4. <i>T. allenii</i> türünün 20 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200, 1500 ftCd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.....	52
Şekil.4.5. <i>T. allenii</i> türünün sabit ışık şiddetinde farklı sıcaklıkta elde edilen büyüme eğrileri.....	55
Şekil.4.6. <i>T. allenii</i> türünün sabit ışık şiddetinde farklı sıcaklıkta elde edilen büyüme eğrileri.....	57
Şekil.4.7. <i>T. allenii</i> türünün 11 °C sıcaklıkta 884.11, 89.41, 9.94, 5.53, 1.983 ve 1.1 µmol NO <sub>3</sub> -N/lit konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.....	59
Şekil.4.8. <i>T. allenii</i> türünün 11 °C sıcaklıkta 101.07, 51.07, 11.07, 6.07, 2.07, 1.07 µmol NH <sub>4</sub> -N/lit konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.....	65
Şekil.4.9. <i>T. allenii</i> türünün 11 °C sıcaklıkta 37.26, 4.59, 1.686, 1.323, 0.9963, 0.96 µmol PO <sub>4</sub> -P/lit konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.....	68
Şekil.4.10. <i>T. allenii</i> türünün 11 °C sıcaklıkta 115.36, 51.16, 29.76, 19.06, 13.71, 10.05 ve 8.36 µmol Si /lit konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.....	72
Şekil.5.1. <i>T. allenii</i> türünün sıcaklık ve spesifik büyüme hızları arasındaki çeşitli ışık şiddetlerindeki ilişki.....	77

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>ŞEKİLLER</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil.5.2. <i>T. allenii</i> türünün çeşitli sıcaklıklarda ışık şiddetleri ile spesifik büyüme hızları arasındaki ilişki.....	82
Şekil.5.3. Çeşitli nitrat azotu konsantrasyonlarına maruz bırakılan <i>T. allenii</i> türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.....	86
Şekil.5.4. Çeşitli nitrat azotu konsantrasyonları ile spesifik büyüme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.....	88
Şekil.5.5. Çeşitli amonyum konsantrasyonlarına maruz bırakılan <i>T. allenii</i> türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.....	89
Şekil.5.6. Çeşitli amonyum azotu konsantrasyonlarına karşılık gelen eksponensiyel spesifik büyüme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.....	90
Şekil.5.7. Çeşitli fosfat konsantrasyonlarına maruz bırakılan <i>T. allenii</i> türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.....	91
Şekil.5.8. Çeşitli fosfat konsantrasyonları karşılık gelen eksponensiyel spesifik büyüme hızı arasındaki ilişki.....	94
Şekil.5.9. Çeşitli silikat konsantrasyonları ile spesifik büyüme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.....	97
Şekil.5.10. Çeşitli silikat konsantrasyonlarına maruz bırakılan <i>T. allenii</i> türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.....	98

## TABLOLAR DİZİNİ

<u>TABLO</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo.3.1. f/2 Ortamı besleyici tuzlar.....	27
Tablo.3.2. f/2 Vitamin Solüsyonu.....	30
Tablo.3.3. f/2 İz Metal Solüsyonu.....	33
Tablo.5.1. <i>T allenii</i> türünün farklı sıcaklık ve ışık şiddetlerinde elde edilen spesifik büyüme hızları.....	75
Tablo.5.2. <i>T allenii</i> türünün farklı sıcaklıklarda elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ve yarı doygunluk katsayıları .....	76
Tablo.5.3. <i>T allenii</i> türünün farklı ışık şiddetlerinde elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ve yarı doygunluk katsayıları.....	79
Tablo.5.4. Çeşitli ışık şiddetlerinde (24:0 L:D)gün uzunluğu rejimleri fitoplankton türlerinin spesifik büyüme hızları.....	80
Tablo.5.5. <i>T allenii</i> türünün 11 °C, 300 ftCd ışık şiddetinde nütrient denemelerinden edilen maksimum spesifik büyüme hızları ve yarı doygunluk katsayıları.....	83

**TABLULAR DİZİNİ (devam)****TABLO****Sayfa**

Tablo.5.6. Sınırsız şartlar altında çeşitli denizel fitoplankton türleri için başlangıç maksimum nütrient alım hızları.....85

Tablo.5.7. Çeşitli denizel fitoplankton türlerinin fosfat alım hızları için hesaplanmış yarı doygunluk katsayıları.....91

Tablo.5.8. Denizel diatomlarda silikat alım ve silikat sınırlı şartlar altındaki yarı-doygunluk katsayıları.....97



## 1. GİRİŞ

Hayatın başlangıcı ve devamı tüm canlılar için “rekabet” anlamına gelir. Besin kaynağı ve çevresel faktörler, rekabetin önemli iki unsurudur. Tüm canlı ve cansız sistemler, kendi içlerinde karmaşık ancak düzenli bir yapıya sahiptirler. Doğa, basit bir sistemden karmaşık bir yapıya geçişi (çevresel faktörlere bağlı olarak), birbirine bağlı zincirler oluşturmak suretiyle düzenler. Benzer şekilde denizel ortamlarda da, besin ve çevresel faktörler, gelişim ve sürekliliği etkileyen en önemli etkenlerdir. Denizel ortamda besin zincirinin ilk halkasını oluşturan en önemli unsur ise kuşkusuz fitoplanktonik organizmalardır.

Fitoplankton türlerinin etkilendiği faktörlerin belirlenmesi, besin zincirinin diğer halkaları ile de ilişkilidir. Son yıllarda yapılan matematiksel senaryo tahminlerinin ekolojik boyutunda fitoplanktonik organizmaların önemli bir yeri vardır. Ekolojik modellerin bir kompartımanı olan ve besin zincirinde ilk halkayı oluşturan bu önemli organizmalar hakkında yapılan çalışmalar, denizel araştırmaların geniş bir alanını kapsamaktadır.

Diatomlar ise, birçok sucul ekosistemler için fitoplanktonik organizmaların ana bileşenidir. Gordon & Drum (1994), yeryüzünde 60.000 diatom türünün tanımlanmış olduğunu ifade etmişlerdir. Diatomlar, besin zinciri, dağılım tahminleri, biomass ve büyüme hızları bakımından denizel çalışmaların tartışmasız ana konusunu oluştururlar (Montagnes & Franklin, 2001).

Planktonik deniz diatomları arasında en büyük ve en geniş alana yayılan genuser *Chaetoceros*, *Thalassiosira* ve *Coscinodiscus* genuserıdır.

Sentrik diatomlar olan *Chaetoceros*, *Thalassiosira* ve *Coscinodiscus* genuserlarının Kyoto Kuzey Pasifik Okyanusunda (Haziran 1998-Haziran 1999) yılın her döneminde baskın olduğu ve bu diatom cinslerinin zamanla birbirinin yerini aldığı, pennat diatomların ise ancak bahar fitoplankton patlamasında artış gösterdikleri rapor edilmiştir (Mochizuki et. al., 2002).

Birçok bilimadamı tarafından *Thalassiosira* türlerinin fitoplanktonik organizmalar içinde önemli bir yeri olduğu ve çoğunun bahar aylarında, ılıman iklimli kıyısız ekosistemlerde, dominant hale geçtiği belirtilmiştir (Haris, 1995; Muylaert & Sabbe, 1996). Ayrıca *Thalassiosira* genuserunun, dünya çapında dağılıma sahip 100 den fazla türü bilinen, denizel fitoplanktonik genuser olduğu ifade edilmektedir (Hasle & Fryxell, 1995).

Fitotoplankton gelişimi ve kimyasal kompozisyon üzerine ışık, sıcaklık ve besin durumunun tek tek etkileri literatürlerle açık bir şekilde verilmektedir. Bununla birlikte ışık, nütrient, ve sıcaklığın birlikte etkileri üzerine yapılan araştırmalar da yer almaktadır. Fitoplankton içindeki fizyolojik adaptasyonun teorik modeli; fitoplankton gelişimi ve kompozisyonu üzerine ışık, besin sınırlaması ve sıcaklığın tek tek ve beraber etkilerini görebilmek için tahminlere izin vermektedir (Shuter, 1979).

Diatomların pelajik ve bentik organizmalar için ana besin kaynağı olmalarının yanı sıra bazı türleri aşırı üreyerek doğada ekolojik problemlere neden olmaktadır (Officer & Ryther, 1990). Ekolojik problemler dünyada olduğu gibi ülkemizde de araştırmaların bu yönde geliştirilmesi, paralelinde kirlilik parametrelerinin tespiti ve bu türlerin kontrol altında tutulabilmesi çalışmalarına doğru yoğunlaşmaya yönlendirmektedir.

Çoğu kıyısal alanda olduğu gibi İzmir Körfezi'nde de çoğalarak problemlere neden olan alglerin büyüme kinetiklerinin incelenmesi, büyüme parametrelerinin saptanması; söz konusu alg türlerinin kontrol altında tutulabilmesi ve matematik modellerle dağılımları üzerine senaryo tahminleri yapma olanağı vermektedir. Bu nedenle zararlı alg türlerinin büyüme hızları, nütrient sınırlayıcı büyümenin kinetik parametrelerinin ( $K_s$ ; yarı doygunluk katsayısı,  $\mu_{max}$ ; maksimum spesifik büyüme hızı vb.) ve fiziksel parametrelerin (optimum sıcaklık, optimum ışık şiddeti) belirlenmesi çalışmaları gelecek için önemli bir ekolojik yatırım olacaktır.

İzmir Körfezi'nde sanayileşmenin ve evsel nitelikli atık suların getirdiği kirlilik yükünün doğal deniz suyuna ve beraberinde fitoplankton kompozisyonuna etkileri uzun zamandır incelenen bir konudur. İzmir Körfezi'nde fitoplanktonik organizmaları konu alan araştırmalar 1955 (Numann, 1955) yılından bu yana devam etmektedir. Fitoplankton büyümesi üzerine yapılan kinetik çalışmalar ancak 1990'lı yıllarda (Aydın, 1993) başlamıştır.

İzmir, içinde bulunduğu körfezle birlikte, eski tarihlerden günümüze kadar uzanan bir liman şehri olma özelliğini

sürdürmektedir. Sanayileşmenin getirdiği istihdam ve ekonomik güç, sosyal boyutta gelişmeyi sağlarken denizel ortam için olumlu yönde gelişmemiştir. İzmir Körfezi'nde bugüne kadar yapılmış olan çalışmalarda, kayıtlara geçen toksik veya zararlı olan alg türleri mevcuttur. Bu çalışmanın yapıldığı diatom olan *Thalassiosira allenii* zararlı alg türü olup, İzmir Körfezi iç bölgesinden izole edilmiştir.

*T. allenii* türünün dahil olduğu *Thalassiosira* genusuyla çok sayıda kinetik çalışma olmasına karşın, çalışmanın konusunu oluşturan *T. allenii* türü ile ilgili çalışma yok denecek kadar azdır. *T. allenii* türünün izolasyonu, kesikli mono kültürü üzerinde büyüme kinetik parametrelerinin saptanmasıyla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu türle ilgili mevcut çok az çalışmanın yapılmış olması, çalışma konusunun önemini ortaya koymaktadır.

Bu çalışma denizel diatom *T. allenii* türünün gelişmesinin karakteristikleri üzerine nütrient sınırlı kesikli sistemde, farklı sıcaklık ve ışık şiddetlerinin, optimum sıcaklık ve ışık şiddetindeki nütrientlerin (N-P-Si) etkilerinin araştırılması çerçevesinde yapılmıştır. Araştırma sonucunda *T. allenii* türünün besin sınırlı gelişmesi üzerine ışık ve sıcaklığın birlikte etkilerinin kavranmasını sağlamış ve her parametre için (ışık, sıcaklık ve nütrient) maksimum spesifik büyüme hızı ve yarı doygunluk katsayısı hesaplanmıştır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla model tahminleri, grup kültür çalışmaları ve sürekli-deney sonuçlarıyla karşılaştırılabilme imkanı ve modellerle daha fazla test etmek mümkün olabilecektir.

## 2. LİTERATÜR BİLDİRİŞLERİ

Diatom ve dinoflagellat gibi 3400-4100 fitoplankton türü arasında, yaklaşık 300 türün red-tide organizması olduğu ifade edilmektedir (Smayda, 1997). *Cheateoceros*, *Thalassiosira* ve *Coscinodiscus* genusları planktonik deniz diatomları arasında en büyük ve en geniş alana yayılan genuslar olarak aralarında ride-tide organizmaları olan türler mevcuttur ve bu genuslara ait türler kinetik çalışmaların başlıca konusunu oluşturmaktadırlar.

Bu bölümde, başta *Thalassiosira* genusuyla yapılmış çalışmalar olmak üzere diğer fitoplankton türlerinin gelişimi ve/veya kimyasal kompozisyon üzerine, ışık, sıcaklık ve besin durumunun tek tek ve beraber etkilerinin incelendiği araştırmalar yer almaktadır:

*Thalassiosira* türlerinin çoğunun bahar aylarında, ılıman iklimli kıyusal ekosistemlerde, dominant hale geçtiği ve fitoplanktonik organizmalar içinde önemli bir yeri olduğu bilinmektedir.

Pasifik okyanusunda bulunan San Juan Adaları'nda (Washington-Amerika) yapılan araştırmada, 1996 Mayıs-Haziran ayları arasında diatom patlamasının %80 ninden fazlasının *Thalassiosira spp.*'den kaynaklandığı rapor edilmiştir (Alldredge et. al., 2002).

Verity (1981), zincir formunda ve dünya çapında tüm ılıman iklimli kıyısal sularda bahar fitoplankton patlamasında önemli bir bileşen olan denizel diatom türü *Leptocylindrus danicus* üzerinde araştırma yapmıştır. Bu çalışmada aksenik kesikli kültürde sıcaklık, ışık şiddeti ve gün uzunluğunun 49 kombinasyonunda (DOC) boşaltım oranlarını incelemiştir. Araştırmada boşaltım hızının  $^{14}\text{C}$  alım hızı ile pozitif ve klorofil *a* miktarıyla negatif bir ilişkisi olduğu ve fotoperiyodun karanlık evresinin uzamasıyla DOC boşaltımının baskılandığı bulunmuştur.

Riegman et. al. (1990), Kuzey Denizi'nde nütrient sınırlı şartlar altındaki büyümeyi nütrient alım kinetiğiyle araştırmışlardır. 1989 bahar ayları boyunca diatom patlaması olan Marsdlep'de silikatın sınırlayıcı olduğu ve ancak bazı istasyonlarda ise birden fazla nütrientin limitleyici olduğunu vurgulamışlardır.

Visser et. al. (2003), iki büyük Antarktik diatom türü olan *Actinocyclus sp.* ve *Thalassiosira sp.* büyümesi üzerinde demir aerosollerinin etkisini incelemiştir. Mauritania ve Namibia aerosol tozlarıyla yapılan çalışma sonucunda, *Actinocyclus sp.*'nin maksimum spesifik büyüme hızı  $0.33 \text{ gün}^{-1}$  ve *Thalassiosira sp.*'nin ise  $0.54 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulunduğu rapor edilmiştir. *Thalassiosira sp.* için düşük konsantrasyonlardaki çözülmüş demir için hızlı büyüme kaydedilmiş, ancak aerosol demir eklenmesinin büyüme üzerinde etkisinin olmadığı gözlenmiştir. *Actinocyclus sp.* için ise başlangıçta düşük büyüme hızına sahip olan diatomun aerosol ilavesiyle büyüme hızının arttığı ifade edilmiştir.

Strzeppek & Price (2000) yaptıkları araştırmada, *Thalassiosira weissflogii* türünün düşük ışık şiddetlerinde ve farklı sıcaklıklarda yüksek

demir konsantrasyonlarında büyümesini araştırmışlardır.  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  ve yüksek Fe içerikli deniz suyu büyüme ortamında, geniş sıcaklık ve ışık şiddeti aralığında aşırı büyüebildiği rapor edilmiştir. Türün maksimum büyüme hızı üzerinde N sınırlandırıcılığının olmadığı ancak,  $\text{NH}_4$  ortamındaki hücrelerin ışık şiddeti-büyüme eğrilerinin, ilk eğimlerinin anlamlı ölçüde büyük olduğu rapor edilmiştir. Işık sınırlı fitoplanktonun, ışığa doymuş ortamlardan 4 kez daha fazla Fe içerdiği ve orta ışık şiddetinde en yüksek klorofil *a* konsantrasyonuna ulaştığı görülmüştür. Araştırma sonucunda fitoplankton'un Fe doymuşluğunun çevresel ışık şiddetiyle doğrudan ilgili olduğu ve bir başka değişle doğal populasyonların farklı ışık ortamına adapte olabilmesi için Fe kullanma zorunluluğunun olduğu rapor edilmiştir.

*T. allenii* türünün üzerinde sıcaklık ve ışığın etkisini inceleyen sürekli kültür çalışması Redalje & Laws (1983), tarafından mono kültür çalışması olarak yapılmıştır. Aydın (1993), *T. allenii* türünün rekabet denemeleri üzerine yapılmış çalışmada yer almaktadır.

Laws & Wong (1978), *T. allenii* türüyle karbon ve azot metabolizmaları hakkında araştırma yapmışlar ve algal (karanlık) solunum hızını  $0.05-0.59 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulmuşlardır.

Maldonado & Price (2001), *Thalassiosira oceanica* türünün ana demir kaynağı olarak organik demir (desferroksiaminB (DFB)) içeriğinde deniz suyunda büyümesi üzerine kinetik çalışma yapmışlardır. Kısa-dönem FeDFB alım hızının inorganik Fe ( $\text{Fe(III)}$  ve  $\text{Fe(II)}$ ) alım hızından  $10^9$  kat daha hızlı gerçekleştiği bulunmuştur. Demir indirgenme (FeDFB) yarı doymuşluk sabiti  $0.68 \mu\text{M}$  ve karanlık periyotta spesifik büyüme hızı  $1.47$  çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.

Li (1984), kadmiyum-kloridin farklı konsantrasyonlarında denizel diatom *Thalassiosira weissflogii* ve dinoflagellat *Amphidinium carteri* türlerinin mono- ve uni-algal kültürlerinde etkilerini incelemiştir. Kadmiyum oranı arttıkça diatom mono kültürünün spesifik büyüme hızı azalmış, dinoflagellat mono kültür grubu etkilenmemiştir. Uni-algal deneme gruplarında; farklı kadmiyum konsantrasyonlarında diatom baskınlığı olan grubun büyüme hızı için önemli bir etkilenme kaydedilmemiş, uni-algal kültür gruplarının tümünde ise dinoflagellat büyüme hızının yarı yarıya düştüğü rapor edilmiştir. Diatom uni-algal denemelerinden elde edilen spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) değerinin, mono-algal denemelerinden elde edilen spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) değerinden biraz düşük olduğu ifade edilmiştir.

Peeters & Peperzak (1990), Kuzey Denizi'nde nütrient limitasyonu ile ilgili yaptıkları araştırmada, çeşitli nütrient zenginleştirme denemelerinde sentrik diatom *Skeletonema costatum* türünü kullanmışlar ve araştırma sonucunda fitoplanktonun kıtasal Hollanda kıyı sularında (1988) fosfor ve silikatla sınırlandığını rapor etmişlerdir.

Diatomların nütrient alımında sıcaklığın rolü uzun süredir incelenen bir konudur ve yapılan araştırmalar sıcaklığın azot alımında önemli bir rolü olduğunu göstermiştir.

Berges et. al. (2002), yaptıkları araştırmada *Thalassiosira pseudonana* türünün büyümesinde sıcaklığın nitrat alımını sınırlamasını araştırmışlardır. Özellikle denizel diatom türlerinde 16 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nitrat alım yeteneğinin sınırlanmakta olduğu ifade edilmiştir. Bu araştırmada *Thalassiosira pseudonana*

diatom türünün 8, 17 ve 25 °C sıcaklıklarda kültürleri yapılmış, nitrat alımı üzerine hücre kompozisyonları ve büyüme hızları incelenmiştir. 8-17 °C sıcaklık aralığında spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 3.09 çiftlenme/gün, 17-25 °C sıcaklık aralığında 1.19 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Harrison et. al. (1993), iki zehirli deniz diatomu olan *Cheatoceros convolutus* ve *Cheatoceros convavicornis* büyüme hızları üzerine ışık, sıcaklık ve tuzluluğun etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın yapıldığı sıcaklık 4-18 °C, uygulanan ışık şiddeti 10-175  $\mu\text{mol foton m}^{-2}\text{s}^{-1}$  ve maruz bırakılan tuzluluk oranları ‰ 10-31 aralığında değişmiştir. *C. convolutus* türü için sıcaklık artışıyla beraber, maksimum büyüme hızı için gerekli ışık şiddeti miktarının paralel olarak arttığı rapor edilmiştir.

Cochlan & Harrison (1991), pikoflegellat *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae) türünün azot kinetiği üzerinde kesikli kültür sisteminde çalışmış; maksimum spesifik alım hızını amonyum için 0.13 saat<sup>-1</sup>, nirtat ve üre için yaklaşık 0.05 saat<sup>-1</sup> olarak bulmuşlardır. Her üç azot formu için yarı doyumluk sabiti değerlerini 0.41  $\mu\text{g-at N/L}$  sınırına çok yakın olarak hesaplamış ve bu sonucun küçük ozeanik diatom türleriyle benzer olduğunu ifade etmişlerdir.

Raimbault & Gentilhomme (1990), denizel diatom *Phaeodactylum tricornutum* üzerinde kısa ve uzun dönem çalışmalarında nannomolar seviyede eklenen nitrat pulslarındaki büyüme hızlarını incelemişlerdir. Nitrat ortamda doyum olduğu zaman, nitrat alım hızı ve substrat miktarı eğrisi Micheal-Menten kinetiğinden doğrusal yada kısalmış bir forma dönüştüğü

belirtilmiştir. Yüksek nitrat eklenmesiyle birlikte gözlemlenen doygun alımın  $0.15 \text{ saat}^{-1}$  hızında olduğu, bununla beraber artan nitrat pulslarında hücre yoğunluğunda düşüş gözlemlendiği belirtilmiştir

Collos et. al. (1992), *Skeletonema costatum* ve *Thalassiosira weissflogii* türlerinin nitrat alım kinetikleri üzerinde yaptıkları çalışmada, nitrat kaynağı olarak  $1-500 \mu\text{M}$  konsantrasyon düzeylerinde radyoaktif izotop  $^{13}\text{N}$  kullanmışlardır. Klasikleşmiş doygun kinetik çalışmalarında  $1-40 \mu\text{M}$  konsantrasyon düzeyi kullanılmaktadır. Ancak daha ileri nitrat alımının  $60 \mu\text{M}$  üzerindeki konsantrasyon düzeylerinde gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu çalışmada *T. weissflogii* türünün substrat konsantrasyonu arttıkça, düşük büyüme hızından büyüğe doğru ( $0.28 \text{ g}^{-1}-0.89 \text{ g}^{-1}$ ) önemli artışlar olduğu ve paralelinde nitrat alım hızında düzenli ve kayda değer artışlar ( $0.26 \text{ g}^{-1}- 8.1 \text{ g}^{-1}$ ) gözlemlenmiştir.

Diğer taraftan modellemeler, bir sistemin karmaşık yapısının bileşenlerinin matematiksel ifadesi olarak, fitoplankton türlerinin davranışlarının incelenmesinde ve plankton dağılımlarında senaryo tahminlerinin yapılmasında kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. Ekolojik modelleme ve plankton türlerinin spesifik simülasyonları çalışmaları 1960'lı yılların sonunda başlatılmıştır. Fitoplankton türlerinin kinetik parametrelerinin simülatif belirlenmesi çalışmalarının ilk örneklerinden biri, Takahashi et. al. (1973)'a aittir. 1970'li yıllardan günümüze doğru gelindikçe, fitoplankton büyümesinin çeşitli nütrient sınırlayıcılığı üzerine (Davidson & Gurney, 1999; Flynn, 2003; Zonneveld, 1998; Davidson et. al., 1999; Edwards et. al., 2003; Bayraktaroğlu vd., 2003), ışık ve sıcaklık gibi fiziksel parametrelerin belirlenmesi üzerine (Sterner et. al., 1998; Zonneveld, 1998) ve populasyon dinamiği üzerine

(Miguez et. al., 2001; Saito et. al., 2001) ekolojik modeller geliştirilmektedir.

Shuter (1979), kültür çalışmalarının sonuçlarıyla model tahminleri yapılabileceğini, grup kültür çalışmaları ve sürekli-deney sonuçlarıyla karşılaştırılabileceğini ve bu tür araştırmaların modellerle daha fazla test etmenin mümkün olabileceğini bir modelle açıklamış ve Redalje & Laws (1983), tarafından uygulanabilirliğinin mümkün olduğu gösterilmiştir.

Yerkabuğu kütesinin yaklaşık %58'i ( $\text{SiO}_2$ ) silikattır. Si, denizel organizmalar ve özellikle diatomlar için en önemli bileşendir. Ayrıca, diatomların diğer fitoplanktonik organizmalar içinde dominant olabilmesinde silikat avantaj sağlar (Pilson, 1999).

Silikat diatomlar için temel nütrient olarak kıyasal deniz sularında ve açık denizde diatom patlaması süresinde tüketilirler (Brzezinski & Nelson, 1989). Ancak, diatomlardaki silikon metabolizması azot (N) metabolizmasından çok farklıdır (Flynn & Jézéquel, 2000).

Diatomlardaki hücre büyümesi ve bölünmesinin düzenlenmesi silikat metabolizması ile kaçınılmaz bir bağlantı içindedir ve yeni oluşan hücrelerin hücre duvarlarının oluşumunda önemlidir (Flynn & Jézéquel, 2000).

Raven (1983), fitoplanktonik organizmalardaki silikon fonksiyonu ve iletimi ile ilgili çalışmasında, silifikasyon prosesi için çok enerji gerekmediğini ve fotosentezin şart olmadığını ifade etmiştir.

Biojenik silikat (BSi) konsantrasyonu diatom biomasıyla doğrudan ilişki içindedir. Van Bennekom tarafından diatom patlaması olduğu zaman diliminde nütrientçe zengin, Dutch Wadden Denizi'ndeki BSi konsantrasyonu  $40-110 \text{ mmol m}^{-3}$  olarak bulunmuştur (Kristiansen & Hoell, 2002).

Kristiansen & Hoell (2002), Oslo Körfezi (Güney Norveç)'nde 1996 yılında yaptıkları araştırmada, Şubat Mart ayları arasında bahar patlaması olduğu dönemde, yüzey suyundaki biyojenik silikat konsantrasyonlarını incelemişler ve bu dönemde fitoplankton patlamasına *Thalassiosira nordenskioldii* ve *Chaetoceros socialis* diatom türlerinin neden olduğunu ifade etmişlerdir. *T. nordenskioldii* türünün çalışma yapılan alanda en önemli diatom türü olduğu ve biyojenik silikatın %72'nin üzerinde bulunduğu rapor edilmiştir. Daha küçük bir hücre olan *C. socialis* türü için %11 BSi'den daha düşük olduğu rapor edilmiştir. Bu çalışmada Oslo Körfezi'den izole edilen *T. nordenskioldii* türünün silikat için yarı doygunluk katsayısı  $2.8 \text{ mmol Si m}^{-3}$  olarak hesaplanmıştır.

Diatom kültürleriyle çalışan Paasche (1980), aynı çalışma alanında birim alanda hücre başına düşen silikat miktarının diatom silifikasyonu için yeterli miktarda olduğunu ifade etmiştir.

Paasche (1975), çok yaygın dağılıma sahip bahar diatom türü olan *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve türünün silikat sınırlı şartlar altında eksponensiyel büyüme fazında kinetiğini kesikli kültür sisteminde çalışmıştır. Oslo Körfezi'den izole edilen türün,  $3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta yarı doygunluk katsayısı  $0.09 \text{ } \mu\text{g at Si/lt}$  ve spesifik büyüme hızı  $1.26 \text{ çiftlenme/gün}$ ,  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta yarı doygunluk

katsayısı 0.02  $\mu\text{g}$  at Si/lt ve spesifik büyüme hızı 0.89 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Flynn & Jézéquel (2000), diatomların silikat ve azot sınırlı büyümesi üzerine modelleme yapmışlardır. Bu modelde, *Thalassiosira pseudonana* türü kullanılmış ve kesikli kültür sisteminde iki farklı sistem (basit ve karmaşık olmak üzere iki model) simülasyonla karşılaştırılmıştır. İki modelin performansları incelendiğinde, farklı şartlar altında yapılan denemelerde literatürlerle uyum içerisinde olduğu bulunmuştur.

Biyolojik aktivitedeki rolünden dolayı fosfor denizel çalışmalarda en çok çalışılan konuların başında yer almıştır. Fosfor, tüm organizmaların hem genetik materyali (DNA, RNA) için temel bileşen hem de enerji iletim mekanizmasında (ATP) başlıca katılımcıdır (Pilson, 1999).

Vamamoto & Tarutani (1999), Seto Inland Denizi-Hiroshima Körfezi'nde toksik dinoflagellat olan *Alexandrium tamarense* türünün fosfat alımı ve büyüme kinetiği üzerinde araştırma yapmışlardır. Bu çalışmada *Alexandrium tamarense* türünün yarı doygunluk katsayısı fosfat alımı için, 2.6  $\mu\text{mol P/lt}$ , maksimum spesifik büyüme hızı 0.54 çiftlenme/gün ve hücre başına düşen minimum fosfat miktarı 0.56  $\mu\text{mol P/hücre}$  olarak hesaplanmıştır.

Burmaster & Chisholm (1979), *Monochrysis lutheri* türünün fosfat alım kinetiği üzerinde, fosfat sınırlı şartlar altında sürekli kültür sisteminde yaptıkları çalışma sonucunda, bu tür için yarı doygunluk katsayısını 0.38-0.63  $\mu\text{mol P/lt}$  olarak hesaplamışlardır.

Son yıllarda red-tide fitoplanktonik organizmalarının kontrolünde kimyasalların kullanılması laboratuvar çalışmalarıyla geliştirilmektedir. Piyatiratitivorakul et. al. (2002), Tayvan için ekonomik öneme sahip *Penaeus monodon* yetiştiriciliğindeki problemlerin ortadan kaldırılması amacıyla Raphidophyceae sınıfına giren *Chattonella marina* ve *Heterosigma akasiwo* ride-tide organizmalarının kimyasal kontrolünün mümkünlüğünü araştırmışlardır. Bu türlerin kontrol altına alınmasının yüksek orandaki hidrojen peroksitle sağlandığı ancak su kalitesinde küçük değişim olduğu rapor edilmiştir. Çalışmanın bir diğer boyutunda, 2000 lüx, 28 °C sıcaklıkta %30 tuzlulukta, *C. marina* ve *H. akasiwo* türlerinin spesifik büyüme hızları 0.792 ve 0.872 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Son 30 yıldan buyana kemostatlar, nütrient sınırlı fitoplankton büyümesi çalışmalarında başlıca materyal olmuşlardır. Ölçümler (ortamdaki nütrient konsantrasyonları ile hücre kompozisyonları gibi değerler) kararlı halde ölçülebilmekte ve karalı büyüme hızı fonksiyon şeklinde gösterilebilmektedir. Nütrient sınırlı kültürlerin incelenmesinde iki tip yaklaşım vardır: Birincisi; hücre dışı kontrol modeli olan Monod; diğeri ise, hücre içi kontrol modeli olan Droop modelidir (Parsow et. al., 1985).

Denizel diatomlarda hücre içi karbon oranlarının belirlenmesi, kinetik çalışmaların bir başka boyutu olarak son 20 yılda araştırmacıların üzerine eğildikleri konu haline gelmiştir.

Smith & Gedier (1985), denizel diatom türü olan *Thalassiosira pseudonana* türünün hücre içi karbon oranlarının kinetiği üzerinde çalışmışlardır. Bu araştırma sonucunda kararlı

büyümede protein/karbon oranlarının azot sınırlı büyüme hızında direk arttığını ama aşırı ışık limitasyonu altında maksimum büyüme hızına ulaştığı rapor edilmiştir. Solunum, boşaltım ve polimer sentezinin metabolik prosesi içindeki karbon akışı, tüm kararlı büyüme şartları altında substrat döngüsünde küçük ve hızlı bir arabulucu olarak orataya çıktığı rapor edilmiştir.

Parsow et. al. (1985), aynı türle yaptıkları araştırmada, *T. pseudonana* türünün amonyum alım kinetiklerinin hızlı değişimlerini yorumlamışlardır. Belirli zaman aralığında gözlemlenen hız ve substrat, Michaels-Menten kinetiğinden doğrusal ve kısalan forma doğru hareket ettiği gözlenmiştir.

Brown & Miller (1992), *T. pseudonana* (Hustedt, clone 3H) Hasle ve Heimdal türü dahil olmak üzere 11 mikroalg türünde askorbik asit miktarlarını ölçmüşler ve bu türlerin askorbik asit miktarı bakımından zengin bir kaynak olduğunu belirtmişlerdir. Durgun büyüme fazı boyunca askorbik asit/hücre oranları *T. pseudonana*, *Cheatoceros grasilis*, *Chroomonassalina* ve *Nannochloropsis oculata* türlerinde düştüğü, *Skelotenema costatum* ve *Dunaliella tertiolecta* türlerinde arttığı rapor edilmiştir. Bu çalışma ile mikroalgdeki askorbik asit miktarının türden türe farklılık gösterdiği ortaya çıkmıştır.

Kıyasal ekosistemlerde fitoplankton büyümesinde, ışık, sıcaklık ve nütrientleri içeren faktörlerin limitleyici olduğu birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir (Downing, 1997, Lara et. al.,1990, Mallin et. al, 1999, Wu & Chou, 2003). Bununla birlikte nütrient sınırlayıcılığın bölgeden bölgeye farklılık gösterdiği bilinmektedir (Wu & Chou, 2003). Diğer taraftan araştırmacılar

uzun zamandır bu parametrelerle birlikte fitoplanktonik organizmaların üretim aktivitelerini de incelemektedirler.

Varum & Myklestad (1984), izole edilmiş denizel diatom *Skeletonema costatum* türüyle yaptıkları çalışmada ışık, tuzluluk ve nütrient-sınırlandırılmasının,  $\beta$ -1, 3-D-glukan ve  $\beta$ -1, 3-D-glukanaz aktivitesi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırma sonucunda, düşük ışık yoğunluğundan yükseğe doğru gidildikçe büyümenin inhibe olduğu, glukan ve gulukanaz aktivitesinin azaldığı gözlemlenmiş, en yüksek glukan yüzdesi düşük ışık şiddeti ve ağır nütrient limitasyonu altında kaydedilmiş ve tuzluluğun büyüme hızı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve türün karanlıkta inkübe edildiğinde, büyük miktarda  $\beta$ -1, 3-D-glukan içeren hücrelerin nitrati asimile ettiği ve bu asimilasyonun hücrelerdeki glukan içeriğinde tersine bir azalmaya neden olduğu rapor etmişlerdir.

Fitoplankton büyümesinde bir diğer etken kuşkusuz ışık şiddetinin yoğunluğudur. Ancak araştırmalarda kullanılan ışık şiddeti uzunluğu (gün ışığı periyodu) da önemli bir etkidir ve fitoplanktonik organizmaların aydınlık-karanlık periyotlarda nütrient alımları farklılıklar göstermektedir.

Laws & Wong (1978), karanlık periyot boyunca nütrient alımının azalmasının fitoplanktonlarda yaygın gözlemlendiğini ve karanlık evrede nütrient alımının kısmen ya da tamamen durabileceğini ifade etmişlerdir.

Gilstad & Sakshaug (1990), Barent Denizi'nde bulunan on diatom türünün büyüme hızı üzerinde farklı gün uzunluğu ve farklı

aydınlatma şartlarının etkilerini araştırmışlardır. *T. antarctica* ve *T. bulbosa* türleri için maksimum büyüme hızı  $0.61 \text{ gün}^{-1}$  *Amphiphora* sp. türü için ise  $0.41 \text{ gün}^{-1}$  olarak bulunmuştur.

Caron et. al. (1988), *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve ve *Phaeodactylum tricornutum* Bolhin fotosentetik karakteristiği üzerinde fotoperiyodun etkilerini incelemişlerdir. 12:12 fotoperiyodunda *S. costatum* için spesifik büyüme hızı 1.2 çiftlenme/gün, *P. tricornutum* için 1.1 çiftlenme/gün, 2:2 fotoperiyodunda ise her iki tür için 1.2 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. 12:12 fotoperiyotta karanlık evrede bulunan hücre başına düşen klorofil *a* miktarı, aydınlık evrede bulunan değer yarısı olarak bulunmuştur. Fotoperiyot 2:2 olan denemelerde *S. costatum* bu fotoperiyoda adapte olurken, *P. tricornutum* türü için hücredeki klorofil *a* miktarı, 12:12 fotoperiyodun karanlık evresinde elde edilen değere indiği belirtilmiştir.

Yin et. al. (1998), denizel diatom *T. pseudonana* türünün farklı düşük ışık şartları altında ve amonyum eksikliğinde (amonyumun inhibasyonu olmadan) nitrat alım hızlarını araştırmışlardır. Nitrat alımının (amonyumsuz denemelerde), ışık şiddetinin artmasıyla orantılı olarak arttığı, nitratsız ortamda amonyum alım hızı ise, ışık şiddetine ve amonyum konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu çalışmada amonyum-nitrat eklenerek yapılan denemelerde; nitrat alımının ışık şiddeti ne olursa olsun büyük ölçüde yavaşladığı görülmüştür.

Terry et. al. (1983), pennat diatom *Phaeodactylum tricornutum* türü ile yaptıkları çalışmada, karanlık evrede fosfat

alımının neredeyse olmadığı, aydınlık evrede mevcut fosfatın %60 oranında alındığı ve karanlık fosfat alım hızının, karanlık amonyum alım hızından daha yavaş olduğunu rapor etmişlerdir. Ayrıca karanlık evredeki klorofil sentezinin denemesi yapılan tüm ışık şiddetleriyle pozitif bir ilişki içinde olduğu görülmüştür. Ancak, Terry (1983), aynı türle yaptığı çalışmada, kısa dönem denemelerde, karanlık periyodun fosfat alımında kayda değer bir azalmaya neden olmadığı sonucunu belirtmiştir.

Terry et. al. (1985), karanlık periyottaki fosfor alımının, aydınlık periyotla kıyaslandığında azda olsa yavaş olduğunu ifade etmişlerdir. Nütrient alım aralıkları, nütrient sınırlı şartlardan çok, ışık sınırlı şartlara bağlıdır. Nütrient iyonlarının hücre membranlarından aktif iletimi, enerji gerektiren bir süreçtir. Bu durum ışık sınırlı hücreler için şaşırtıcı değildir. Enerji sınırlı hücreler, enerji kaynağı ortamdaki uzaklaştığı zaman nütrient alımı durur. Amonyum alımının ışık limitasyonu altında belirli aralıklarla kuvvetle sürdürüldüğü incelemelerle desteklenen bir düşüncedir. Fosfor alımı ise amonyum alımı gibi gerçekleşmez.

Terry et. al. (1985), *Phaeodactylum tricornutum* Bolhin (TFX-1) türünün ışık-, azot- ve fosfor-sınırlı şartlar altında büyümesini ve kimyasal kompozisyonunu, protein içindeki hücresel organik karbon ayrılmasını, yağ, polisakkarit, metabolik aktivitesinde belirli aralıklarda oluşan sentez ürünlerini araştırmışlardır. Nütrient alımı ağır bir ışık limitasyonunda yapılmış ve sonucunda, azot limitasyonu altında protein sentezinin arttığı, fosfor limitasyonu altında lipid sentezleme sıklığının arttığı ve polisakkaritin ise aydınlık periyot boyunca yüksek oranda

sentezlenip tüm limitasyonlarda karanlık periyotta tüketildiğini rapor etmişlerdir.

Levasseur et. al. (1993), *T. pseudonana* Hasle & Heimdal, *Chaetoceros gracilis* Schütt, *Dunaliella tertiolect* Butcher, *Gymnodinium sanguineum* Hirasaka türlerinin farklı azot kaynaklarında  $170 \mu\text{mol.photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ve  $7 \mu\text{mol.photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ışık şiddetlerine maruz bırakarak, türlerin biyokimyasal ve fizyolojik durumlarını incelemişlerdir. Bu çalışma sonucunda,  $7 \mu\text{mol.photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  ışık şiddetlerinde  $\text{NO}_3^{-1}\text{-N}$ 'a maruz bırakılan hücrelerin büyüme hızlarının,  $\text{NH}_4^{-1}\text{-N}$ 'a maruz bırakılan hücrelerin büyüme hızlarıyla benzer karbon ve azot kotalarına sahip olduğu ifade edilmiştir. Doygun ışık şiddetinde ( $170 \mu\text{mol.photons.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ )  $\text{NO}_3^{-1}\text{-N}$ 'a maruz bırakılan hücrelerin büyüme hızlarının  $\text{NH}_4^{-1}\text{-N}$ 'a maruz bırakılan hücrelerin büyüme hızlarından daha düşük olduğu ve enzimatik limitasyonun varlığı belirtilmiştir.

Redalje & Laws (1981), büyüme hızlarının hesaplanması ve karbon biomassı için yeni bir metot (klorofil sınıflandırma tekniği) geliştirmişlerdir. Bu teknikte ilk kez klorofil *a*, HPLC ile ölçülmeye başlanmıştır.

Hein & Riemann (1995), fitoplankton biomassı ve büyüme hızının nütrient limitasyonunu klorofil *a*,  $^{14}\text{C}$ , ve protein içeriği metotlarını baz alarak klorofil sınıflandırma tekniği ile karşılaştırmışlardır. Azot ve fosforca zenginleştirme denemeleri yapılan çalışma sonucunda, karbon biomassında gözlemlenen artış dikkate alınmadan komünitenin spesifik büyüme hızı gösterilmiş ve metotların üçünün de performanslarının birbirinden farklı olmadığı belirtilmiştir.

İzmir Körfezi'nde fitoplanktonik organizmaları konu alan araştırmalar ilk olarak NUMANN (1955) ile başlamış ve ilk kez bu araştırmada İzmir Körfezi'ndeki fitoplankton patlamasından söz edilmiştir (Aydın (1993). Geldiay ve Uysal (1978), İzmir Körfezi'nde primer produktivite ölçümleri yapmışlardır. İzmir Körfezi'nde de çoğalarak problemlere neden olan alglerin büyüme kinetiklerinin incelenmesi, 1990'lı yıllarda başlamıştır.

İzmir Körfezi'nde sanayileşmenin ve evsel nitelikli atık suların getirdiği kirlilik yükünün doğal deniz suyuna ve beraberinde fitoplankton kompozisyonuna etkileri uzun zamandır incelenen bir konudur. Koray (1984), balık kırılmasına neden olan organizmaları; Koray (1985), İzmir Körfezi mikrop planktonu üzerinde ortam faktörlerinin etkisini araştırmıştır. Koray vd. (1992), Cirik vd. (1991), İzmir Körfezi'nde gözlemlenen aşırı üreme olayları ve buna neden olan organizmalar üzerine çalışmışlardır.

Büyükışık (1983, 1983-1984), İzmir İç Körfez Bölgesinde nütrientleri ve horizontal dağılımları ile Büyükışık (1986), İzmir Körfezi ve Gülbahçe Körfezi'nde karşılaştırmalı olarak nütrient dinamikleri üzerinde araştırma yapmıştır.

Büyükışık ve Koray (1984), İzmir Körfezi'nde oksijen seviyeleri ile biyolojik aktivite ilişkilerini incelemişlerdir (Aydın, 1998).

Gökınar (1991), *Chlamydomonas uvmaris*, *Dunaliella tetriolecta*, *Nannochloris sp.* ve *Tetraselmis churi* türleri ile 15 °C ve 26 °C sıcaklıklarda inorganik azot alımları üzerine yaptığı çalışmada, nitrat alımında en düşük yarı doygunluk sabitini *T. churi*

ve *C. uva-maris* türlerinde, nitrit alımında *Chlorella sp.* ve amonyum alımında *T. churi* ve *C. uva-maris* türlerinde tespit etmiştir. *T. chui* türünün artan sıcaklıklarda azalan büyüme hızına sahip olduğu, diğer türlerde ise sıcaklık artışı ile paralel olarak büyüme hızlarının arttığı rapor edilmiştir.

Aydın (1993), İzmir Körfezi fitoplanktonunun gelişimi üzerine sınırlayıcı faktörleri incelemiştir. Bu çalışma İzmir Körfezi fitoplankton büyüme kinetiği üzerine yapılmış ilk çalışmadır.

İzmir Körfezi'nde fitoplankton büyüme hızları ve Monod Kinetiği parametreleri çalışmaları ve nehirlerin nütrient yükleri araştırmalarıyla devam etmiştir (İzgören 1993; Aydın ve Büyükişik, 1994; Büyükişik vd., 1994; İzgören ve Büyükişik, 1994).

İzmir Körfezi'nden izole edilen *Chaetoceros gracilis* türüyle yapılan çalışmada, bu türün nitrat, amonyum, fosfat ve silikat için  $K_s$  değerleri sırasıyla, 0.496, 0.862, 1.045, ve 0.558  $\mu\text{mol/L}$  olarak bulunduğu rapor edilmiştir (İzgören 1993).

İzmir Körfezi *Chaetoceros didymum* ve *T. gravida* türlerinin büyüme kinetikleri üzerinde yapılan çalışmada, nitrat, silikat ve fosfatın altı farklı konsantrasyonu ele alınmıştır. Sınırlı fosfat konsantrasyonlarındaki büyümelerde 0.-2. günlerde gözle görülür bir duraklama meydana geldiği ifade edilmektedir. Yüksek silikat konsantrasyonlarında lag fazda ölümlerin arttığı; silikat konsantrasyonunun 148  $\mu\text{g-at Si/lit}$  olduğu noktada kültürün yaşlanma sürecinin kısaldığı ve lag fazın ortadan kalktığı sonucu belirtilmiştir (Büyükişik vd., 1994).

Büyükışık, İzmir Körfezi'nde *T. gravida* Cleve türü üzerine nütrient sınırlayıcılığı ve büyüme kinetiği çalıştığı araştırmasında bu tür için yarı doygunluk sabitini 9.305  $\mu\text{g-at Si/lit}$  ve maksimum spesifik büyüme hızını ( $\mu_{\text{max}}$ ) 1.754 çiftlenme/gün, *Nitzschia pungens* türü için ise 5.69  $\mu\text{g-at Si/lit}$  ve 0.87 çiftlenme/gün olarak bulmuştur (İzgören, 1993).

Gökınar (1994), *Nannochloris sp.* (Chlorophyceae) türünün iki ayrı ışık şiddetinde 15 °C ve 26 °C sıcaklıkta sınırlı inorganik azot (nitrat, nitrit, amonyum) kaynağındaki büyüme hızlarını ve yarı doygunluk katsayıları eksponensiyel büyüme fazı takip ederek tespit etmiştir. 26 °C sıcaklıkta üç azot kaynağında elde ettiği büyüme hızlarının daha yüksek olduğunu belirtmiş ve bu sıcaklıklarda elde edilen büyüme hızları arasında önemli bir fark olduğunu ANOVA testi ile ortaya koymuştur.

Tüfekçi vd. (1994), kesikli sistemlerde azotun *Asterionelle japonica* türünün büyümesi üzerine etkisini incelemişlerdir. Alglerin bünyelerine besin elementleri depoladıkları ve ortamda tükense dahi sınırlayıcı nütriente karşın, alg artışının devam etmesinin; bu ifadeyi doğrulayan en belirgin sonuç olduğu belirtilmiştir.

Erduran (1994), Bodrum Körfezi'nde fitoplankton büyümesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Fosfat, silis, ve demirin fitoplankton büyümesi üzerine etkilerini incelemiş ve *Chaetoceros sp.* için  $K_s$  değerini 3.9  $\mu\text{g-at Si/lit}$  ve maksimum spesifik büyüme hızını ( $\mu_{\text{max}}$ ) 1.8 çiftlenme/gün olarak bulmuştur.

Tüfekçi ve Tüfekçi (1996), *Skeletonema costatum*'un, kesikli kültür sisteminde, büyümesini sınırlayan besin elementlerinin saptanması konusunu araştırmışlardır.

Aydın (1998), Dem Limanı populasyon dinamiği üzerine yaptığı araştırma sonucunda azot formlarında amonyumun nitrata göre dominant olduğunu ve bunun sonucunda büyük türlere göre nonnoplanktonunun baskınlığı sonucunu rapor etmiştir.



### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Araştırma Materyali: *Thalassiosira allenii* türünün sistematiki:

Class Coscinodiscophyceae

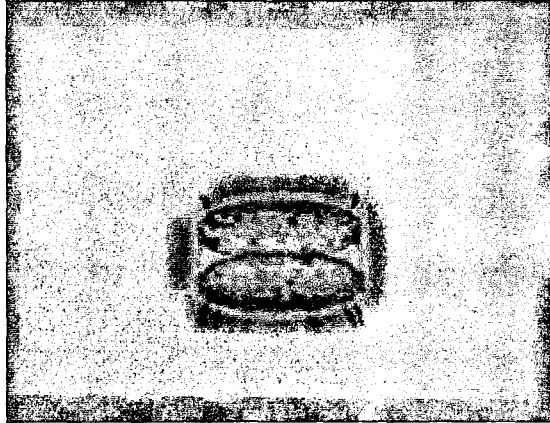
Subclass Thalassiosirophyceae

Order Thalassiosirales

Family Thalassiosiraceae

Genus *Thalassiosira* Cleve, 1873

*T. allenii* türü hücre çapı 5-15 µ arasında değişen sentrik küçük bir diatom türüdür. Nonnoplankton olarak sınıflandırılan tür “işgalci” olarak adlandırılan türlerdendir (Koray kişisel görüşme). *T. allenii* türünün hücre içi yapısını gösteren fotoğraf Şekil.3.1. de yer almaktadır.



Şekil.3.1. *T. allenii* türünün hücre yapısını gösteren fotoğraf.

### 3.2. Nütrient Zenginleştirme Denemeleri

Nütrient zenginleştirme denemeleri kesikli kültür tekniği kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmalar, İzmir Körfezi'nden fitoplankton tür izolasyonuna yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. İzole edilecek türün kontamine olmasını engellemek amacıyla ve mevcut laboratuvar imkanları göz önüne alınarak, kesikli kültür tekniğinde kullanılan havalandırma sistemi kullanılmamıştır. Zenginleştirme denemeleri aydınlık periyotta (L:D=24:0) gerçekleştirilmiştir.

Nütrient zenginleştirme çalışmalarında, İzmir Körfezi iç körfez bölgesinden (38° 26' 36" kuzey , 27° 06' 24" doğu koordinatları), alınan yüzey deniz suyu laboratuvara getirilmiştir. Zenginleştirme denemeleri için,  $\pm 0.5$  °C duyarlılıklı Dikey-Soğutucu kullanılmıştır. Deneme sıcaklığı İzmir Körfezi iç körfez bölgesi'den aynı koordinatlardan, Aralık-2003 Mart-2004 tarihleri arasında, aylık alınan deniz suyu sıcaklığı ve Kasım-Mart dönemi İzmir Körfezi sıcaklıkları göz önüne alınarak 11 °C ( $\pm 0.5$ )'ye ayarlanmış ve zenginleştirme çalışmaları boyunca sabit tutulmuştur.

Dikey-Soğutucu'nun aydınlatılması 40 watt'lık day-light flouresanslarla yapılmıştır. Hazırlanan kültür ortamları, 300-1500 ftCd aralığında ışık şiddetlerinde aydınlık periyotta inkübe edilerek, exponensiyel faz takip edilmiştir. Işık şiddeti Quantum Instruments Photometer 1 ile ölçülmüş ve denemeler süresince ışık şiddeti sabit tutulmuştur.

Denemelerde kullanılan deniz suyu, yukarıda belirtilen koordinatlardan (0-0.5 m) derinlikte yüzey suyundan alınmış ve

laboratuarda 0.2  $\mu$ 'luk kartuş filtreden süzölmüştür. Süzölmüş deniz suyu, çalışma amacına uygun 1 lt'lik cam kaplara konulmadan önce, cam kaplar 121 °C sıcaklıkta 1.5 atm basınç altında otoklav edilmek suretiyle sterilizasyonları yapılarak çalışmaya hazır hale getirilmiştir (Guillard, 1975).

Zenginleştirme çalışmaları sırasında f/2, f/2/5, f/2/10, f/2/20 oranlarındaki farklı konsantrasyonlarda zenginleştirme denemeleri yapılmıştır. Bu denemeler f/2'nin çeşitli seyrelme oranları ile f/2-Si, f/2+NH<sub>4</sub>, (f/2-Si)+NH<sub>4</sub> ve h/2'nin çeşitli seyrelme oranları ile gerçekleştirilmiştir.

### 3.3. *T. allenii* Türünün İzolasyonu Ve Kültür Çalışmaları

*T. allenii* türünün izolasyon çalışması için, İzmir Körfezi iç körfez bölgesi'den (38° 26' 36" kuzey, 27° 06' 24" doğu koordinatları), alınan deniz suyu, laboratuvar koşullarında 0.2  $\mu$ 'luk filtre kartuştan süzölerek 1 lt'lik cam kaplara konmuş, bu kaplar otoklavda 121 °C de 1.5 atmosfer basınç altında 20 dakika otoklav (Guillard, 1975) edilerek sterilize edilmiştir. Steril doğal deniz suyuna f/2-Si zenginleştirme ortamı ilave edilmiş ve tüm çalışmalar sırasında sabit sıcaklıkta muhafaza edilerek denemeler için hazır hale getirilmiştir. İzolasyon, inkübasyon ve türün kültürünün gerçekleştirilmesi çalışmalarının tümünde aynı işlemler yapılmıştır.

Tablo.3.1. f/2 Ortamı(\*) besleyici tuzlar.

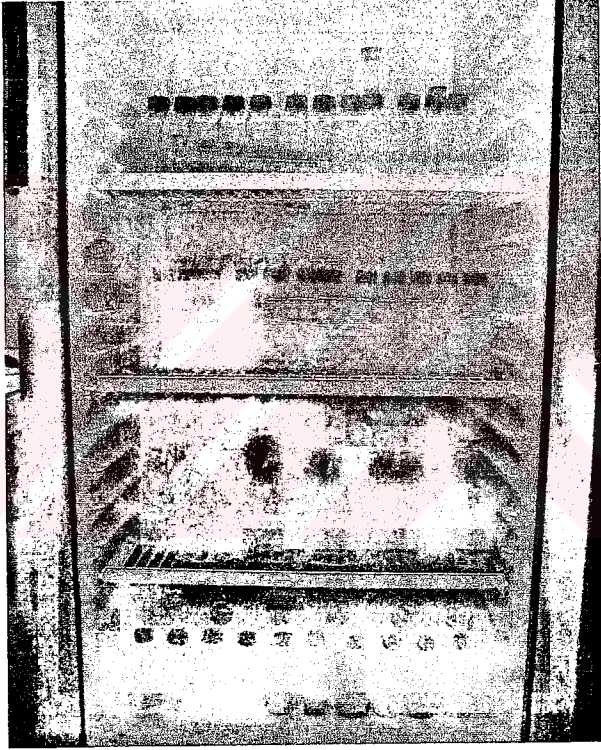
Miktar	Kimyasal Madde	Stok Çözelti	Molar Konsantrasyon (Final Ortamı)
1 mlt	NaNO <sub>3</sub>	75 g/lt dH <sub>2</sub> O	8.83 x 10 <sup>-4</sup> M
1 mlt	NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	5 g/lt dH <sub>2</sub> O	3.63 x 10 <sup>-5</sup> M
1 mlt	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O*	30 g/lt dH <sub>2</sub> O*	1.07 x 10 <sup>-4</sup> M*
1 mlt	f/2 iz metal solüsyonu		-
0.5 mlt	f/2 vitamin solüsyonu		-

\* (Guillard & Ryther 1962, Guillard 1975), 950 mlt filtrelenmiş ve otoklav edilmiş deniz suyuna eklenip, 1 litreye tamamlanır.

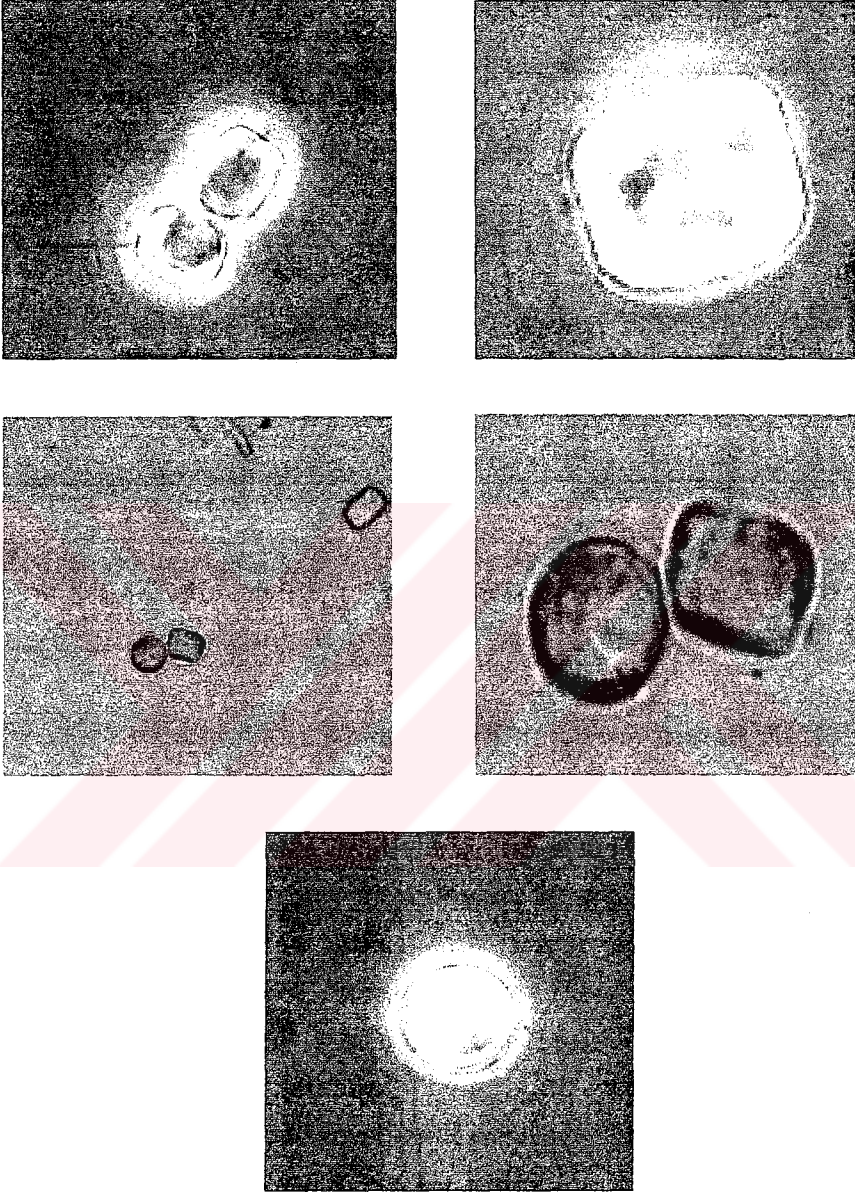
*T. allenii* türünün izolasyon ve kültür çalışmalarında steril deniz suyuna ilave edilen zenginleştirme ortamı, Guillard tarafından diatomlar için önerilen ve en çok tercih edilen zenginleştirme ortamıdır (Guillard, 1975). f/2 ortamına eklenen ana besleyici tuzların, iz metallerin ve vitaminlerin konsantrasyonları Tablo.3.1., Tablo.3.2. ve Tablo.3.3.'de verilmiştir.

*T. allenii* türünün izolasyonu çalışması sonsuz seyrelme (dilution) tekniği kullanılarak yapılmıştır (EBİLTEM, 2004). Aşılama işlemi yapılan steril tüplerde üreme gözlemleninceye kadar (sabit ışık ve sıcaklıkta) bekletilmiştir. Üreme gözlemlenmeye başladığında sırasıyla

100, 250 mlt'lik erlenlere geçilmiş ve daha sonra tüm denemelerde kullanılmak üzere 1 lt'lik cam kaplarda daha büyük hacimlerde kültür gerçekleştirilmiştir. *T. allenii* türünün hücre yapısı Şekil.3.1.'de ve bu çalışmada izole edilen *T. allenii* türünün fotoğrafları Şekil.3.2.'de gösterilmektedir.



Şekil.3.2. İzolasyon çalışmalarının yapıldığı dikey soğutucuda *T. allenii* türünün kültürleri.



**Şekil.3.3.** İzmirKörfezi'nden izole edilen *T. allenii* türünün hücre yapısını gösteren faz contrast mikroskopta çekilen fotoğrafları (fotoğ.: Tufan Koray.).

Tablo.3.2. f/2 Vitamin Solüsyonu. (\*)

Miktar	Kimyasal Madde	Stok Solüsyon	Molar Konsantrasyon (Final Ortamı)
1 mlt	Vitamin B <sub>12</sub> (cyanocobalamin)	1.0 g/lt dH <sub>2</sub> O	1 x 10 <sup>-10</sup> M
10 mlt	Biotin	0.1 g/lt dH <sub>2</sub> O	2 x 10 <sup>-9</sup> M
200 mg	Thiamine HCl		3 x 10 <sup>-7</sup> M

\*Guillard & Ryther (1962), Guillard (1975), 950 mlt dH<sub>2</sub>O'ya eklenir, dH<sub>2</sub>O ile 1 lt'ye tamamlanır ve otoklav edilir.

### 3.4. Optimum Şartların Belirlenmesi

Bu çalışmada ışık şiddeti, sıcaklık ve nütrientlerin birlikte etkilerinin incelenmesi ve optimum şartların belirlenmesi amacıyla her bir parametre için (ışık, sıcaklık ve nütrient) yarı doyumluk katsayıları ( $K_s$ ,  $I_k$ ,  $T_k$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) değerleri Statistica (advanced nonlinear-least square-Gauss-Newton estimation method) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kültürün maruz bırakıldığı besleyici tuzların konsantrasyonları (substrat derişimi, S), ışık şiddetleri (I) ve deneme sıcaklıkları (T) sonucu gözlemlenen Chl *a* miktarları ile maruz bırakıldıkları zaman dilimlerinden elde edilen büyüme eğrisi grafikleri Excel (Windows) programı kullanılarak çizilmiştir.

Tablo.3.3. f/2 İz Metal Solüsyonu. (\*)

Miktar	Kimyasal Madde	Stok Çözelti	Molar Konsantrasyon (Final Ortamı)
3.15 g	FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	-	1 x 10 <sup>-5</sup> M
4.36 g	Na <sub>2</sub> EDTA · 2H <sub>2</sub> O	-	1 x 10 <sup>-5</sup> M
1 mlt	CuSO <sub>4</sub> · 5H <sub>2</sub> O	9.8 g/lt dH <sub>2</sub> O	4 x 10 <sup>-8</sup> M
1 mlt	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	6.3 g/lt dH <sub>2</sub> O	3 x 10 <sup>-8</sup> M
1 mlt	ZnSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	22.0 g/lt dH <sub>2</sub> O	8 x 10 <sup>-8</sup> M
1 mlt	CoCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	10.0 g/lt dH <sub>2</sub> O	5 x 10 <sup>-8</sup> M
1 mlt	MnCl <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	180.0 g/lt dH <sub>2</sub> O	9 x 10 <sup>-7</sup> M

\* Guillard & Ryther (1962), Guillard (1975), 950 mlt dH<sub>2</sub>O' ya eklenir, dH<sub>2</sub>O ile 1 lt'ye tamamlanır ve otoklav edilir.

### 3.4.1. Optimum sıcaklığın belirlenmesi

Araştırmada kullanılan *T. allenii* türünün optimum sıcaklığının belirlenmesi amacıyla, 7 deneme sıcaklığında çalışılmıştır (28 °C, 24 °C, 22 °C, 20 °C, 16 °C, 11 °C, 4 °C). Araştırma deneme sıcaklıkları, İzmir Körfezi'nin mevsimsel özellikleri göz önüne alınarak seçilmiştir. Optimum sıcaklığın

belirlenmesi ve optimum ışığın belirlenmesi çalışmaları eş zamanlı olarak yapılmıştır. Ölçümler Turner 10-AU Flourometre ile her sıcaklık için günde bir defa olarak yapılmış ve her bir sıcaklık Eşitlik 1 (Guillard, 1973) kullanılarak spesifik büyüme hızları hesaplanmıştır.

$$\mu = 1 / ( t_2 - t_1 ) * \log_2 ( N_2 / N_1 ) \quad (1)$$

Denklemden,

$\mu$ : Spesifik büyüme hızı

$N_1$ : Üssel büyüme fazının başlangıcındaki Chl *a* değeri,  $\mu\text{g/l}$

$N_2$ : Üssel büyüme fazının sonundaki Chl *a* değeri,  $\mu\text{g/l}$

$t_1$ :  $N_1$  değerinin tayin edildiği zaman dilimi

$t_2$ :  $N_2$  değerinin tayin edildiği zaman dilimi olarak ifade edilmiştir.

Elde edilen spesifik büyüme hızları ile sıcaklıklar en küçük kareler yöntemi ile istatistiksel analiz yapılarak maksimum büyüme hızları ve yarı doygunluk katsayıları (Eşitlik 2) bulunmuştur.

$$\mu = \mu_{\max} * (T / (T_K + T)) \quad (2)$$

Eşitlikte,

$\mu$ : Eşitlik 1 den elde edilen spesifik büyüme hızı

$\mu_{\max}$ : Maksimum spesifik büyüme hızı

T: Sıcaklık

$T_K$ : Yarı doyumluk katsayısı

olarak sembolize edilmiştir.

### 3.4.2. Işık şiddeti–büyüme hızı ilişkisinin incelenmesi

*T. allenii* türünün optimum ışık şiddetinin belirlenmesi amacıyla, 6 farklı deneme ışık şiddetinde çalışılmıştır (50, 300, 600, 900, 1200, ve 1500 ftCd). Çalışmalarda belirlenen ışık şiddeti ölçümleri Quantum Instruments Digital Fotometre kullanılarak ftCd (footcandle) olarak ölçülmüş ve hesaplamalar sırasında birim dönüşümleri yapılmıştır. Denemesi yapılacak ışık şiddetlerinin ayarlanması ışık kaynağı-örnek arasında mesafe ayarlanması yapılarak sağlanmıştır. Her bir ışık şiddeti için Monod denklemi (Eşitlik 1) kullanılarak spesifik büyüme hızları hesaplanmış, elde edilen spesifik büyüme hızları ile sıcaklıklar en küçük kareler yöntemi ile istatistiksel olarak optimum ışık şiddeti için maksimum büyüme hızları ve yarı doyumluk katsayıları (Eşitlik 3) hesaplanmıştır.

$$\mu = \mu_{\max} * ( I / ( I_K + I ) ) \quad (3)$$

Eşitlikte,

$\mu$ : Eşitlik 1 den elde edilen spesifik büyüme hızı

$\mu_{\max}$ : Maksimum spesifik büyüme hızı

I: Işık Şiddeti

$I_K$ : Yarı doyumluk katsayısı

olarak sembolize edilmiştir.

### 3.4.3. Nütrient – büyüme hızı ilişkisinin incelenmesi

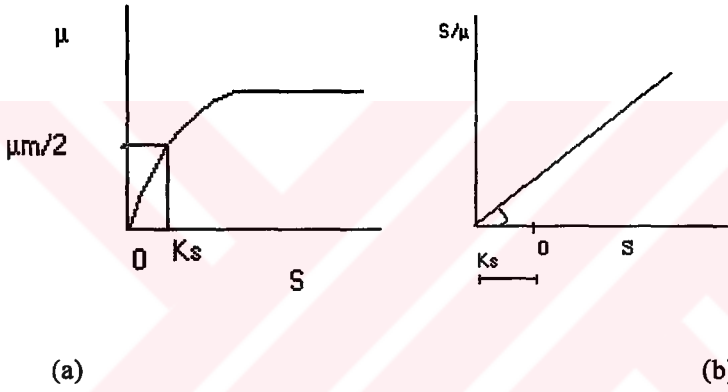
İzmir Körfezi İç Körfez Bölgesinden, (38° 26' 36" kuzey, 27° 06' 24" doğu koordinatları) alınan deniz suyundan izole edilen ve kültürü yapılan *T. allenii* türünün aynı sıcaklık ve aynı substrat kaynağında, farklı substrat derişimlerdeki spesifik büyüme hızları Eşitlik 4'den hesaplanmıştır. ( $K_s$ ) Yarı-doygunluk katsayılarının belirlenmesinde hücre dışı nütrient kontrol modeli (Monod Denklemi) kullanılmıştır (Burmester, 1979).

$$\mu = \mu_{\max} * ( S / ( K_s + S ) ) \quad (4)$$

Burada; S: Substrat derişimi,  $K_s$ : Yarı doygunluk katsayısı veya maksimum spesifik büyüme hızının yarısına tekabül eden hızına erişmek için gerekli nütrient konsantrasyonu olarak ifade edilmiştir.

Kültürün besleyici tuzlara maruz bırakılan konsantrasyonları (substrat derişimi, S) sonucu gözlemlenen Chl *a* miktarları Y koordinat eksenine; substrat konsantrasyonlarına maruz bırakılma sürelerine karşılık grafiğe geçirilerek büyüme eğrileri elde edilmiştir. Aynı substrat derişiminde gözlenen Chl *a* değerlerinden, logaritmik fazdaki büyüme eğrisi takip edilmek suretiyle, Eşitlik 1'den spesifik büyüme hızı değerleri ( $\mu$ ) hesaplanmıştır. Şekil.3.4.(a).’deki grafikte deneysel değerlerden çıkarılan temsili Monod eğrisi gösterilmektedir. Kültürün maruz bırakıldığı substrat

konsantrasyonları ve bir önceki adımda hesaplanan spesifik büyüme hızları Monod denklemini en küçük kareler metodu kullanılarak maksimum büyüme hızları ve yarı doyumluk sabitleri hesaplanmıştır.



Şekil.3.4. (a) Substrat derişimlerine (S) karşılık gelen eksponensiyel fazdaki spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ); (b). Substrat derişimlerine karşılık gelen ( $\mu/S$ ) değerlerinin lineer dönüşümü.

Yapılan işlemin temeli, kültürün maruz bırakıldığı besleyici tuzların konsantrasyonlarının (S) X koordinat eksenine; eğrinin parametreleri ile substrat derişimlerine karşılık gelen ( $S/\mu$ ) değerleri Y koordinat ekseninde işaretlenerek, fonksiyonun lineer dönüşümünden faydalanmak suretiyle elde edilen doğrunun apsisi kestiği noktadan Yarı-doygunluk katsayısının ( $K_s$ ) hesaplaması teorisine dayanır (Guillard, 1973). Substrat derişimlerine karşılık

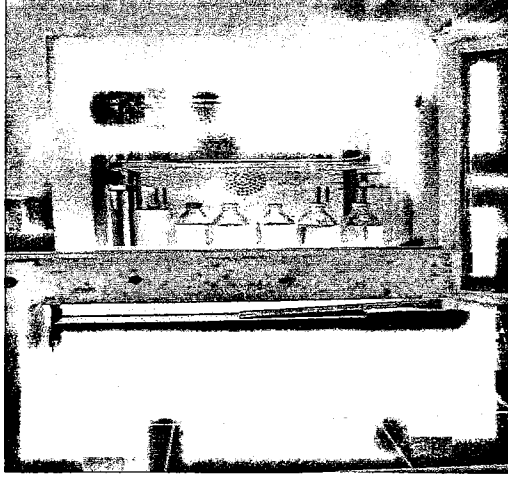
gelen ( $S/\mu$ ) değerlerinin lineer dönüşümünü gösteren temsili grafik Şekil.3.4.(b).’de gösterilmiştir. Bu alıŐmada  $K_s$  ve  $\mu_{max}$  değerlerinin hesaplanması Statistica (advanced nonlinear-least square Gauss-Newton estimation method) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Kültürün besleyici tuzlara maruz bırakılan konsantrasyonları (substrat derişimi, S) sonucu gözlemlenen Chl *a* miktarları ile maruz bırakılma srelerinden elde edilen büyüme eğrisi grafikleri Excel (Windows) programı kullanılarak çizilmiştir.

Bu çalışmada temel olarak iki ana çalışma düzeneği kullanılmıştır. Optimum ışık Şiddetinin ve optimum sıcaklığın belirlenmesi çalışmaları;  $\pm 0.2$  °C duyarlıklılı NÜVE termal inkübatörde yapılmıştır. Besleyici tuz konsantrasyonlarının belirlenmesi amacıyla, çeşitli deriŐimlerde sınırlayıcı besin elementleri ile yapılan alıŐmalar, *T. allenii* türünün kültürünün oluŐturulması ve izolasyon çalışmaları,  $\pm 0.5$  °C duyarlıklılı Dikey-Soğutucu’da yapılmıştır.

*T. allenii* türü üzerinde besleyici tuzların etkilerinin araştırılması amacıyla kurulan düzenekler Şekil.3.5.’de ve sıcaklık-ışık etkilerinin araştırılması amacıyla kurulan düzenek Şekil.3.6’da gösterilmiştir.

### 3.4.3.1. Nitrat

*T. allenii* türü için, 1 adet kontrol olmak üzere 6 farklı konsantrasyonda NO<sub>3</sub> içeren zenginleştirme ortamı hazırlanmıştır.



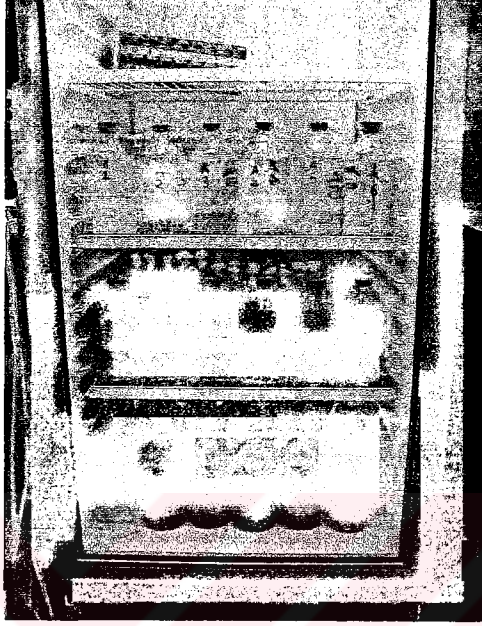
**Şekil.3.5.** *T. allenii* türünün sıcaklık ve ışıkşiddeti denemelerinin yapıldığı NÜVE soğutuculu inkübatör.

Bu konsantrasyonlar sırasıyla 883, 88.3, 8.83, 4.42, 0.883 ve 0  $\mu\text{mol NO}_3^- \text{-N/lit}$  olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemede kullanılan her bir cam kap içerisine  $\text{Chl } a=0.5 \mu\text{g/lit}$  olacak şekilde *T. allenii* kültüründen ilave edilmiş ve flourometrede ölçümleri yapılmıştır.

Ayrıca her bir konsantrasyondan nütrient analizi için 50 ml örnek alınmış, laboratuarda Cd-Kolon yöntemiyle nitrat tayini yapılmıştır. Ölçümlerde Bosch\_Lomb Spectronic 21 UVD model spektrofotometre kullanılmıştır. Bulunan doğal deniz suyu nitrat konsantrasyonları her bir deneme grubuna eklenerek, nitrat denemelerinin başlangıç konsantrasyonları belirlenmiştir.

#### 3.4.3.2. Amonyum

*T. allenii* türünün büyümesi üzerinde amonyumun etkisini incelemek amacıyla diğer azot formu olan amonyumun 6 farklı (100, 50, 10, 5, 1 ve 0  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$ ) konsantrasyonu hazırlanmıştır. Amonyum denemelerinde her bir denemenin başlangıçtaki final konsantrasyonlarının belirlenmesi için doğal deniz suyu  $\text{NH}_4\text{-N/lit}$ 'si analizi (Strickland & Parsons, 1972; Wood, 1975) spektrofotometrik yöntemle yapılarak, seçilen konsantrasyonlara eklenmiş, her deneme grubunun final konsantrasyonları tespit edilmiştir. Denemede kullanılan her bir cam kap içerisine  $\text{Chl } a=0.5 \mu\text{g/lit}$  olacak şekilde *T. allenii* kültüründen ilave edilmiş ve flourometrede günlük olarak ölçümleri yapılmıştır. *T. allenii* türünün 101.07, 51.07, 11.07, 6.07, 2.07 ve 1.07  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  düzeyindeki amonyum konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri çizilmiş ve Eşitlik 1'den spesifik büyüme hızları ve Eşitlik 4'den amonyum için maksimum spesifik büyüme hızı ve yarı doyumluk sabiti, en küçük kareler yöntemi kullanılarak istatistiksel olarak hesaplanmıştır.



Şekil.3.6. Nütrient denemelerinin yapıldığı dikey soğutucuda kurulan düzenek.

### 3.4.3.3. Fosfat

*T. allenii* türü için deneme yapılan cam kaplar içerisine sırasıyla 36.3, 3.63, 0.726, 0.363, 0.0363, 0  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$  düzeyindeki konsantrasyonlarda fosfat ilave edilmiştir. Doğal deniz suyu fosfat analizi için 50'şer ml alınarak analizleri (Strickland and Parsons, 1972; Wood, 1975) spektrofotometrik yöntemle yapılarak elde edilen doğal deniz suyu fosfat konsantrasyonu, ilave edilen konsantrasyona eklenerek, denemelerin başlangıç konsantrasyonları tespit edilmiştir. Her bir cam kap içerisine Chl  $a=0.5 \mu\text{g/lit}$  olacak şekilde *T. allenii* kültüründen ilave edilmiştir. Chl  $a$  ölçümleri Turner 10-AU Fluorometre ile günlük olarak yapılmıştır.

#### 3.4.3.4. Silikat

*T. allenii* türü için deneme yapılan cam kaplara sırasıyla 107, 42.8, 21.4, 10.7, 5.35, 1.07 ve 0  $\mu\text{mol Si/l}$ t olmak üzere ilave edilmiştir. Her bir konsantrasyon için kullanılan doğal deniz suyu Si analizi (Strickland & Parsons, 1972; Wood, 1975) yapılmış elde edilen silikat konsantrasyonları, ortamda bulunan silikat konsantrasyonlarına eklenerek, denemelerin başlangıç silikat konsantrasyonları belirlenmiştir. Her bir cam kap içerisine Chl  $a=0,5 \mu\text{g/l}$ t olacak şekilde *T. allenii* kültüründen ilave edilmiştir. Chl  $a$  ölçümleri Turner 10-Au Fluorometre ile günlük olarak yapılmıştır.

## 4. BULGULAR

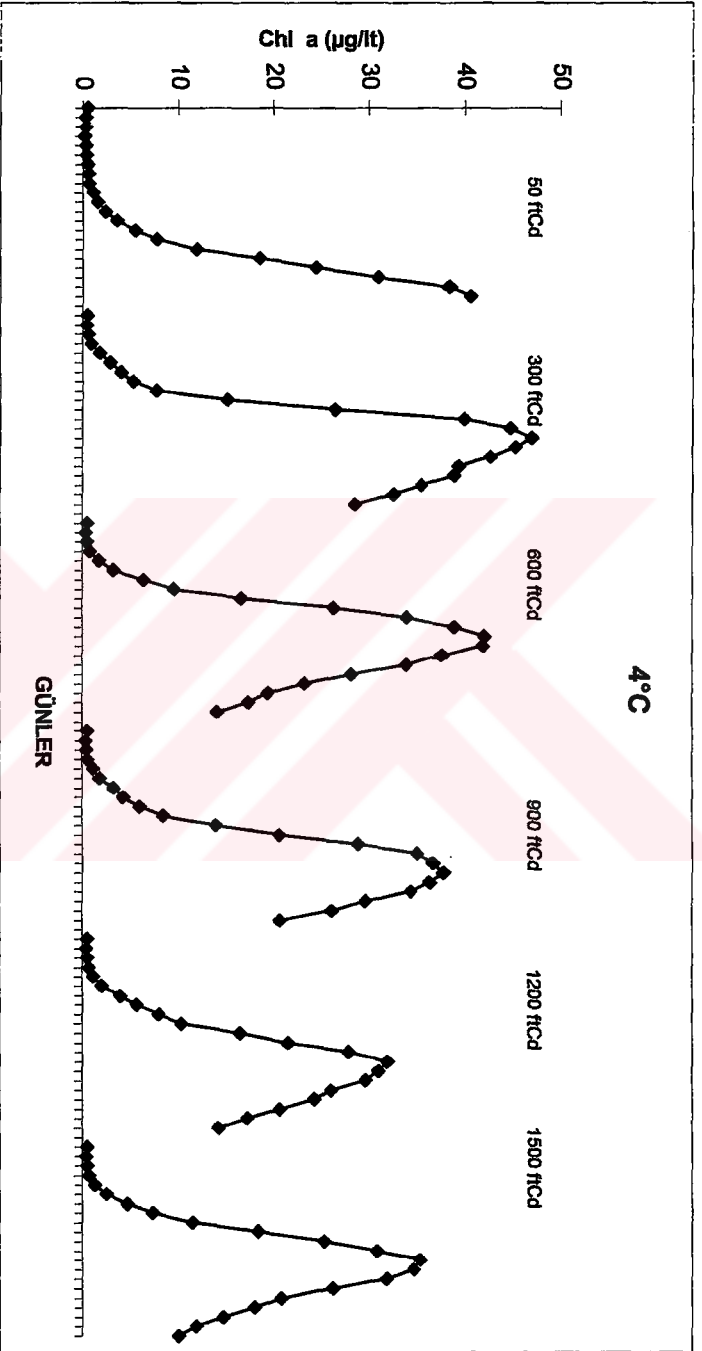
Bu çalışmada *T. allenii* türünün ışık şiddeti, sıcaklık ve nütrient miktarına göre hücre dışı nütrient kontrol modeli (MONOD) kullanılarak büyüme kinetikleri araştırılmıştır. Deneme sıcaklık aralığı 4-28 °C, ve ışık şiddeti aralığı 50-1500 ftCd'dır. Nütrientler NO<sub>3</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, Si arasında değişmiş ve büyüme Chl *a* değeri olarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

### 4.1. Optimal Işık ve Sıcaklık

**Işık:** *T. allenii* türünün kesikli kültür sisteminde 4 °C sıcaklıkta 6 ayrı ışık şiddetinde büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. 4 °C sıcaklık için tüm ışık şiddetlerinde lag fazın beklenenden daha fazla geciktiği görülmüştür. Bununla beraber her ışık şiddetinde türün yaşlanma süreci oldukça uzamıştır.

50 ftCd ışık şiddetinin büyüme eğrisi incelendiğinde, lag fazın 9. güne kadar uzadığı ve türün çoğalma eğiliminin oldukça yavaş olduğu gözlenmiştir (Şekil.4.1.). Bu ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0,583 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Işık şiddeti 300 ftCd'la çıkarıldığında spesifik büyüme hızı 0.674 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. Burada açıkça görülen bir



Şekil.4.1. *T. alteni* türünün 4 °C sıcaklıkta çeşitli ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.

fark mevcuttur. Işık şiddeti artmasıyla beraber lag faz 50 ftCd'a göre kısalmış, tür büyüme fazına geçmiş ve yaşlanma süreci kısalmıştır.

300 ftCd ışık şiddetinde Chl *a*'nın eksponensiyel fazda ölçülen maksimum değeri 40 µg/l'tir. Ancak 50 ftCd için en yüksek değer 24.5 µg/l olarak ölçülmüştür.

*T. allenii* türünün 4 °C sıcaklık 600 ve 900 ftCd ışık şiddetlerinde gösterdiği büyüme eğilimleri Şekil.4.1. gösterilmektedir. Bu grafiklerde, 600 ftCd ve 900 ftCd ışık şiddetinde eksponensiyel fazda ölçülen en yüksek Chl *a* değerleri 42.1 µg/l ve 35.2 µg/l dir.

Hücreler, 600 ftCd için, büyüme fazına 3. günden sonra geçtiği görülmüştür. Bu ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.8340 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. 900 ftCd için hesaplanan spesifik büyüme hızı ise ( $\mu$ ) 0.6293 çiftlenme/gün bulunmuş, eksponensiyel faza geçtiği gün 4.5 gün olarak gözlemlenmiştir.

4 °C sıcaklık için denemesi yapılan bir diğer ışık şiddeti 1200 ftCd'dır. Bu ışık şiddetinde türün üssel büyüme fazında gözlenen en yüksek Chl *a* değeri 32 µg/l olarak ölçülmüştür. Bu noktada 900 ftCd ve 1200 ftCd ışık şiddetlerinin büyüme eğrilerinin benzerlik gösterdiği görülmektedir. Her iki ışık şiddetinde durgun fazın çok kısa sürdüğü ve ölüm fazına geçtiği gözlenmiştir. 1200 ftCd ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.5933 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Bu sıcaklık için denenen en yüksek ışık şiddeti olan 1500 ftCd'da hesaplanan ( $\mu$ ) 0.7385 çiftlenme/gün ve türün ekspanensiyel fazda ulaştığı maksimum Chl *a* değeri 35.5  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak bulunmuştur.

Türün bu sıcaklıkta 6 ayri ışık şiddetine verdiği cevaplar birbirine yakın bulunmuş ve lag fazın, denemeleri yapılan diğer sıcaklıklara göre, hepsinde uzadığı gözlemlenmiştir. En düşük ışık şiddeti olan 50 ftCd'da lag fazın 9 güne kadar uzadığı, diğer ışık şiddetlerinde 3-4.5'uncu günde üssel büyüme fazına geçtikleri görülmektedir. Büyüme grafiklerinden gözlemlenen bir diğer sonuç 50 ftCd hariç, diğer ışık şiddetlerinin büyüme eğrilerinin birbirlerine çok yakın olmasıdır.

En küçük kareler metoduyla yapılan istatistiksel analiz sonucunda bu sıcaklıkta yapılan ışık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 0.7028 çiftlenme/gün ( $p < 0.0005$ ) olarak bulunmuştur. 4 °C sıcaklık için yarı doyunluk katsayısı ( $I_K$ ) 2.0232  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır ( $P > 0.05$ ).

*T. alleni* türünün 11 °C de yapılan denemelerinden elde edilen büyüme eğrilerini gösteren sonuçlar Şekil.4.2. de gösterilmektedir.

Türün bu sıcaklıkta 50 ftCd ışık şiddetinde lag fazın 3. günün sonuna kadar uzadığı görülmektedir (Şekil.4.2.). Ekspanensiyel fazda ölçülen en yüksek Chl *a* değeri 20.2  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak görülmüştür. Bu ışık şiddetinde hesaplanan spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 0.82445 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

300 ftCd için elde edilen büyüme eğrisinde lag fazın 3. günde sonlandığı, eksponensiyel fazın 7. günün sonuna kadar uzadığı ve 50 ftCd ışık şiddetine göre yaşlanma sürecinin uzadığı görülmüştür (Şekil.4.2.). Bu ışık şiddetinde hücrelerin çoğalma sürecinde ölçülen maksimum Chl *a* değeri 27.5 µg/l olarak gözlemlenmiştir. 300 ftCd ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.1266 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

11 °C sıcaklıkta 600 ftCd ışık şiddetinde lag fazın 2. günde bittiği ve üssel büyüme fazının 300 ftCd'da olduğu gibi 7. günün sonuna kadar devam ettiği görülmüştür. Bu ışık şiddetinde hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.0445 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Türün bu ışık şiddetinde üssel büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* değeri 24.6 µg/l olarak gözlemlenmiştir.

Aynı sıcaklıkta 900 ftCd ışık şiddetinde, türün eksponensiyel faza geçişi 2. günün sonunda başlamış ve 7. günün sonunda eksponensiyel faz sonlanmıştır. Bu ışık şiddeti için büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* değeri 25 µg/l dir. 900 ftCd için hesaplanan spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 1.0786 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

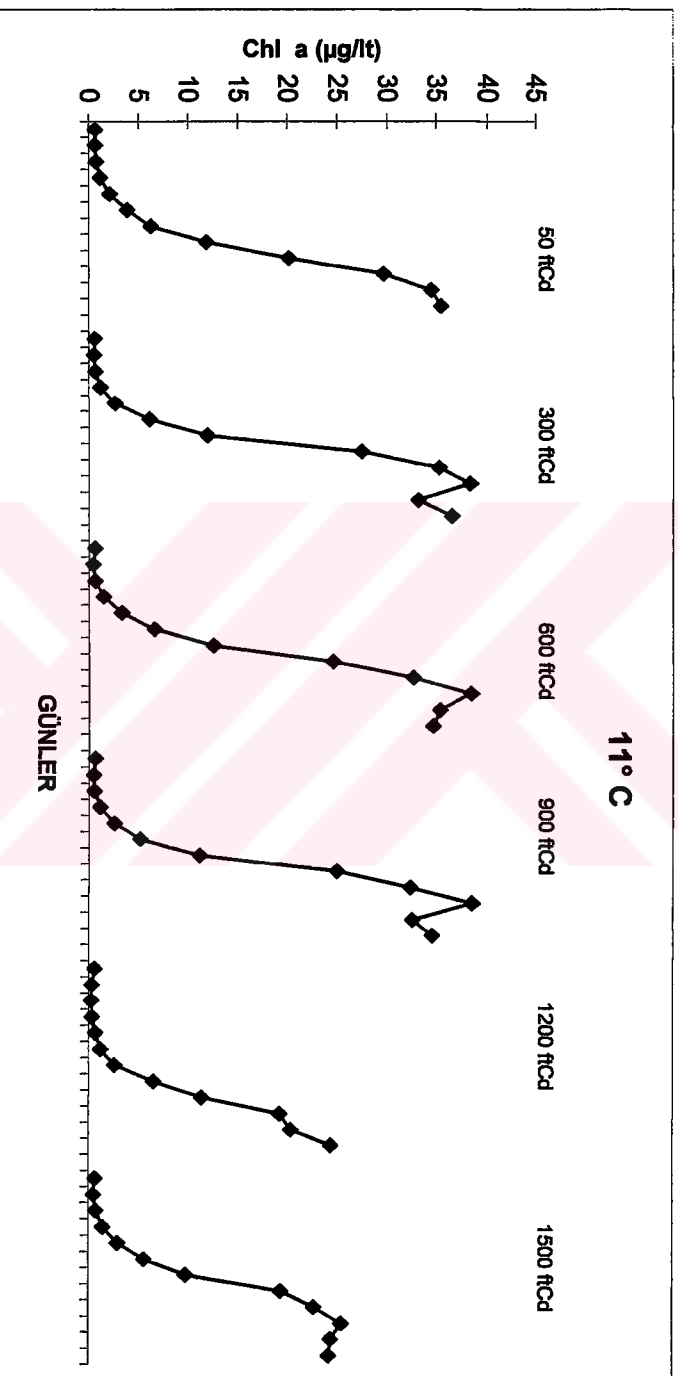
Bu sıcaklıkta bir diğer ışık şiddeti olan 1200 ftCd için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.0775 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinin büyüme eğrisi incelendiğinde, lag fazın 3. güne uzadığı ve eksponensiyel fazın 7. günün sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Türün çoğalma periyodu süresince maksimum Chl *a* değeri 19.3 µg/l olarak ölçülmüştür.

11 °C sıcaklıkta deneme yapılan en yüksek ışık şiddeti olan 1500 ftCd'da, türün eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* değeri 19.4 µg/l olarak gözlemlenmiştir. 1500 ftCd ışık şiddetinde hücrelerin logaritmik faza geçişlerinin 2. günde başladığı ve üssel büyüme fazının 7. günün sonunda bittiği açıktır. Bu ışık şiddetinde hesaplanan spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 0.9737 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. 1200 ftCd ışık şiddetinde hesaplanan ( $\mu$ ) değerine bakıldığında bir düşüş olduğu görülmektedir.

11 °C sıcaklıkta 6 ışık şiddetinde yapılan denemeler sonucunda hesaplanan spesifik büyüme hızları arasında çok büyük farklılıklar olmadığı ancak, 50 ftCd ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızının diğer ışık şiddetlerinden oldukça farklı olduğu gözlemlenmiştir. 50 ftCd ışık şiddetinin büyüme eğrisi incelendiğinde, 9. günün sonuna kadar uzayan eksponensiyel faz görülmektedir. Diğer ışık şiddetlerinde ise 7. günün sonunda eksponensiyel faz sonlanmıştır.

Bu sıcaklıkta denemeleri yapılan ışık şiddetleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.0783 çiftlenme/gün ( $p < 0.000005$ ) olarak bulunmuştur. 11 °C sıcaklıkta için yarı doygunluk katsayısı ( $I_K$ )  $2.8923 \mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$  olarak hesaplanmıştır ( $P > 0.05$ ).

Sıcaklık 16 °C ye çıkarıldığında *T. allenii* türünün 6 farklı ışık şiddetinde verdiği cevaplar Şekil.4.3. de görülmektedir. 16 °C sıcaklıkta türün büyüme fazına geçişi tüm ışık şiddetleri için 1. günün sonunda başlamıştır.



Şekil.4.2. *T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200 ve1500 fCd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.

Bu sıcaklıkta, denemesi yapılan en düşük ışık şiddeti olan 50 ftCd'da ekponensiyel fazın 5. günün sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. 50 ftCd ışık şiddeti için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.5303 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Hücrelerin üssel büyüme fazında ölçülen en yüksek Chl *a* değeri 3.15 µg/lt'dir.

16 °C sıcaklık 300 ftCd ışık şiddetinde yapılan deneme sonucunda spesifik büyüme hızı 0.9444 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde lag faz, 50 ftCd denemesinde gözlemlenenle aynı günde sonlanmış ve üssel büyüme 4. günün sonunda tamamlanmıştır. 300 ftCd ışık şiddetinden itibaren tüm ışık şiddetlerinde üssel büyüme fazı 4. günün sonunda tamamlanmıştır. Bu ışık şiddeti için ekponensiyel fazdaki maksimum Chl *a* değeri 6.1 µg/lt olarak ölçülmüştür (Şekil.4.3.).

*T. allenii* türünün 600 ftCd ışık şiddetindeki büyüme eğrisine bakıldığında 300 ftCd ışık şiddetiyle aynı özellikler taşıdığı görülmektedir. Bu ışık şiddeti için spesifik büyüme hızı 0.9716 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. Türün ekponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* değeri 6.07 µg/lt olarak gözlemlenmiştir. Her iki ışık şiddeti için hesaplanan büyüme hızlarına bakıldığında bariz bir farkın olmadığı görülmektedir.

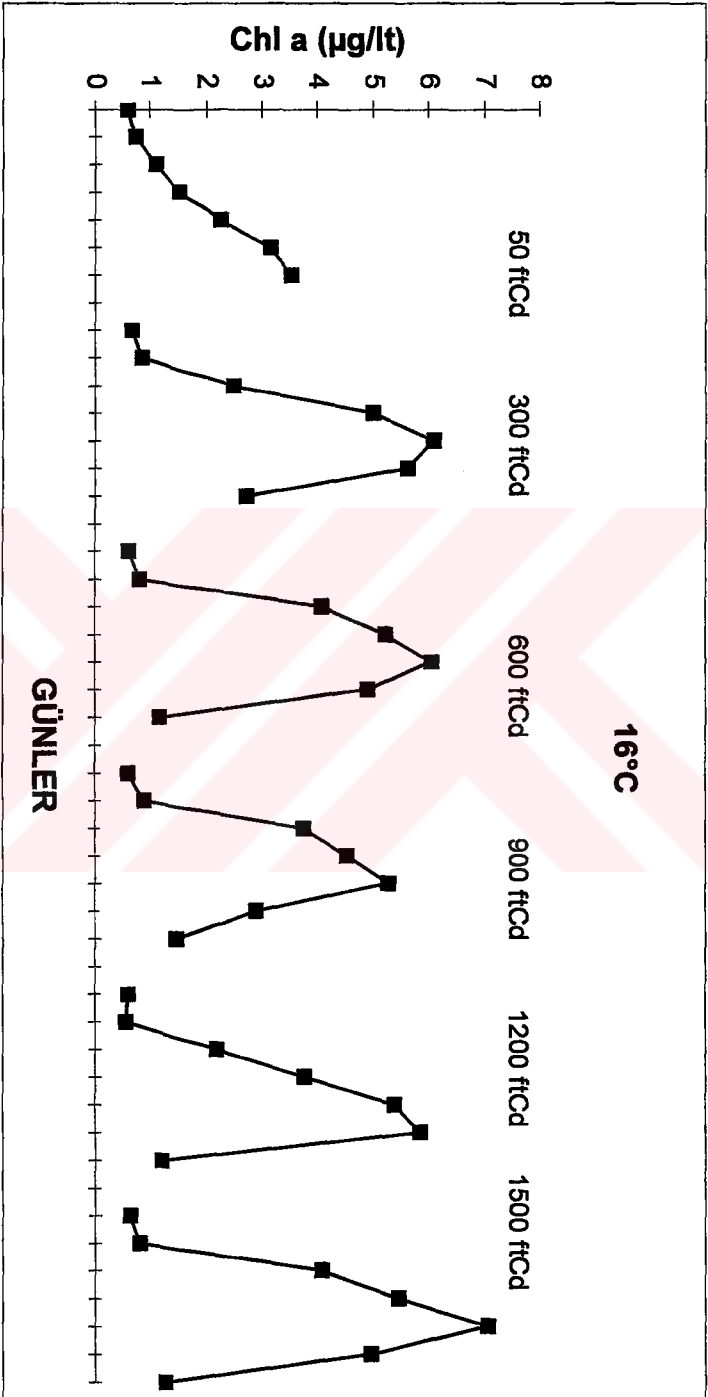
16 °C 900 ftCd ışık şiddetinde yapılan denemenin sonucunda hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.9716 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere 600 ve 900 ftCd ışık şiddetlerinde ( $\mu$ ) değerleri aynı bulunmuştur. Ancak bu ışık şiddetinde üssel büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* değeri 5.28 µg/lt olarak gözlemlenmiştir. Her iki büyüme eğrisi incelendiğinde bu farkın çok küçük olduğunu söylemek mümkündür.

1200 ftCd ışık şiddetinde hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.0976 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddeti için bulunan ( $\mu$ ) değerinin diğer ışık şiddetlerinden çok farklı olmadığı söylemek mümkündür. Türün eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* değeri 5.86  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak gözlemlenmiştir.

1500 ftCd ışık şiddetinde ise, gerek spesifik büyüme hızları gerekse Chl *a* miktarları açısından diğer ışık şiddetleriyle benzer olduğu, ancak Chl *a* miktarında küçük sayılabilecek bir artış olduğu görülmektedir. Bu ışık şiddeti için eksponensiyel fazda ölçülen en yüksek Chl *a* miktarı 7.06  $\mu\text{g}/\text{lt}$ 'dir. 1500 ftCd ışık şiddetinde ( $\mu$ ) değeri 1.0418 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.

Bu sıcaklık için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 1.0813 çiftlenme/gün ( $p < 0.000005$ ) olarak bulunmuştur. 16 °C sıcaklık için yarı doygunluk katsayısı ( $I_K$ ) 10.7596  $\mu\text{E} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır ( $P < 0.005$ ).

Kesikli kültür sisteminde nütrient sınırlı şartlar altında *T. allenii* türünün en yüksek sıcaklık olan 20 °C sıcaklıkta 6 ayrı ışık şiddetinde büyümesi üzerine etkileri Şekil.4.4. gösterilmiştir. Bu sıcaklıkta 50 ftCd ışık şiddetinde, eksponensiyel faza (üssel büyüme faz) geçtiği ancak büyümenin son derece kısıtlı olduğu gözlenmiştir (Şekil.4.4.). 20 °C sıcaklık. 50 ftCd için spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 0.3076 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.



Şekil.4.3. *T. allenii* türünün 16 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200, ve 1500 fCcd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.

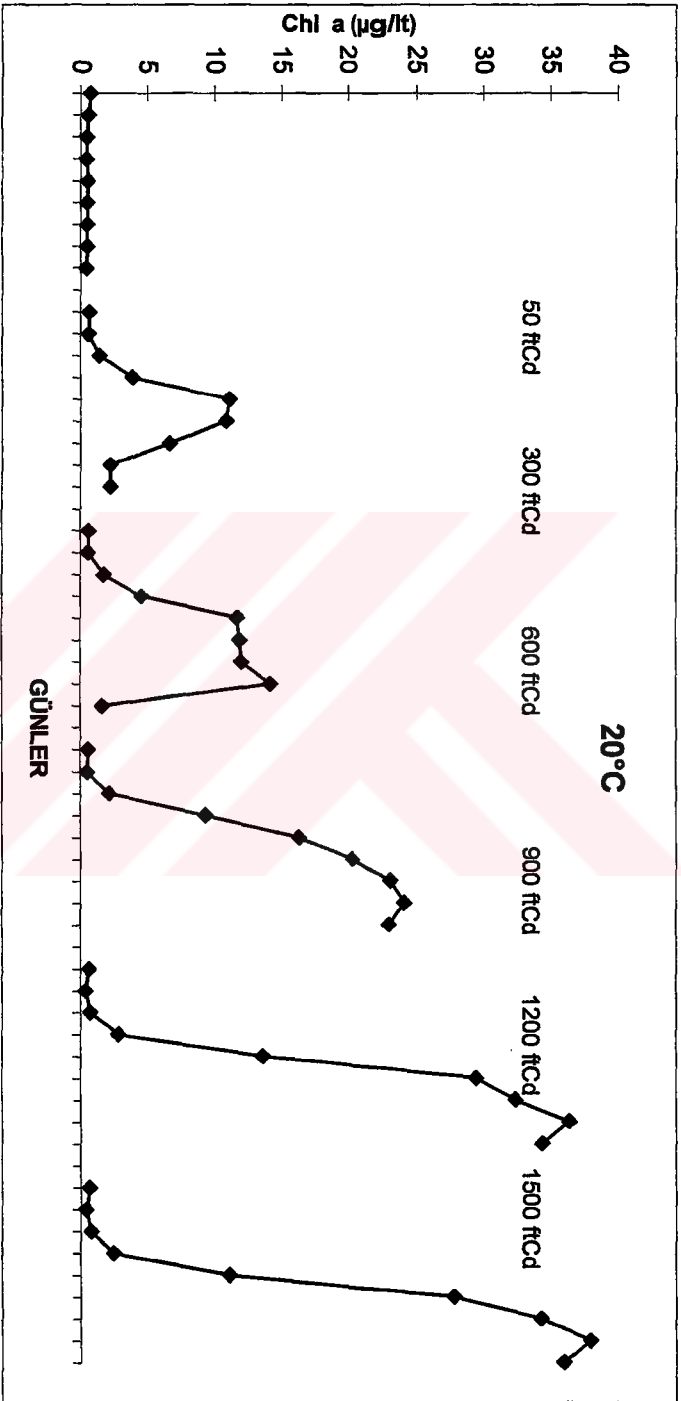
20 °C sıcaklık 300 ftCd ışık şiddetinde, birinci günün sonunda lag fazın bittiği ve üssel büyüme fazının başladığı gözlenmiştir. Bu ışık şiddeti için spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 1.0224 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. 300 ftCd ışık şiddeti için eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarının 11.1  $\mu\text{g}/\text{lt}$ 'yi geçmediği görülmüştür.

Türün 20 °C sıcaklıkta 600 ftCd ışık şiddetinde çoğalma periyodu süresince Chl *a* düzeyinin maksimum değeri 20.4  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak ölçülmüş olup, 300 ftCd ışık şiddetinde gözlenenden çok farklı bir çoğalma olmamıştır. Bu ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) 1.0985 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddeti için eksponensiyel fazda ilerleyen büyüme 4. günde duraklamış, 6 günün sonunda tekrar bir yükselme olmuştur.

900 ftCd ışık şiddetinde spesifik büyüme hızı 1.1043 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. Bu ışık şiddetinde türün eksponensiyel fazdaki en yüksek Chl *a* değeri 23.1  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak ölçülmüştür.

1200 ve 1500 ftCd ışık şiddetlerinde lag fazın 2. güne kadar uzadığı görülmüştür. 1200 ve 1500 ftCd için eksponensiyel büyüme fazı 7. güne kadar devam etmiş, diğer ışık şiddetlerinde 4.–5. günler arasında kalmıştır. Bu durum, ışık şiddetlerinin artması ile türün yaşlanma sürecinin uzadığını göstermektedir.

1200 ftCd için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.0857 çiftlenme/gün ve türün eksponensiyel fazdaki en yüksek Chl *a* değeri 36.4  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak ölçülmüştür (Şekil.4.4.).



**Şekil 4.4. T. allenii türünün 20 °C sıcaklıkta 50, 300, 600, 900, 1200, 1500 fCd ışık şiddetindeki büyüme eğrileri.**

Denemelerde kullanılan en yüksek ışık şiddeti olan 1500 ftCd'da hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.0793 çiftlenme/gün olarak bulunmuş ve bu ışık şiddetinde gözlenen en yüksek Chl *a* miktarı 38.0 µg/l olarak ölçülmüştür.

1500 ve 1200 ftCd ışık şiddetlerinde yapılan denemenin büyüme eğrilerine bakıldığında birbirine benzer olduğu ve ölçülen Chl *a* değerlerinin paralellik gösterdiği görülmüştür. Bu durum, hesaplanan spesifik büyüme hızı değerlerinin bir birlerine yakın oluşu sonucundan yola çıkılarak, 1200 ve 1500 ftCd ışık şiddetlerindeki fotosentetik aktivitelerin benzer olduğu ve bu sebepten dolayı büyüme eğrilerinin benzerlik gösterdiği şeklinde de açıklanabilir.

20 °C için 6 farklı ışık şiddetinde yapılan denemelerde 600 ftCd'dan daha büyük ışık şiddetlerinde, ölçülen Chl *a* değerlerinin arttığı ve eksponensiyel fazın uzadığı görülmektedir. Ancak, 900, 1200, 1500 ftCd ışık şiddetlerindeki büyüme eğrileri ve eksponensiyel fazda ölçülen en yüksek Chl *a* değerleri diğer ışık şiddetlerinden daha benzer özellikler göstermektedir.

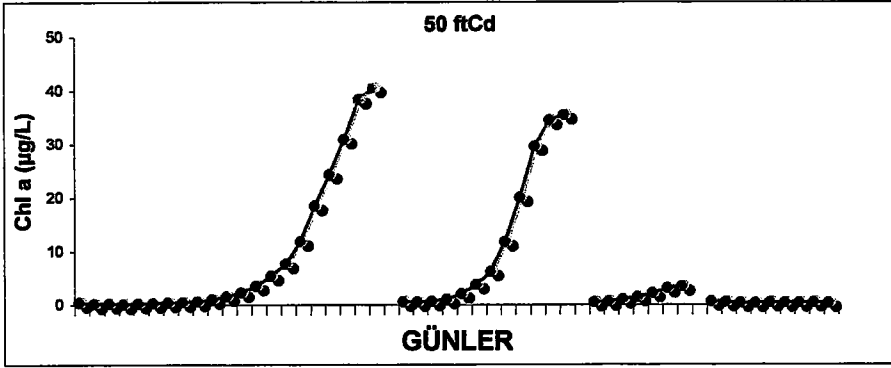
En küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda bu sıcaklık için ( $\mu_{max}$ ) 1.2214 çiftlenme/gün ( $p < 0.00005$ ) olarak bulunmuştur. 20 °C sıcaklıkta hesaplanan yarı doygunluk katsayısı ( $I_K$ ) 21.1617 olarak hesaplanmıştır ( $P < 0.05$ ).

Bu sonuç 20 °C sıcaklıkta ışığın büyüme üzerine olan etkisinin ışık şiddetinin artmasıyla doğrudan ilgili olduğunu ve spesifik büyüme hızlarıyla ışık şiddetleri arasındaki ilişkinin önemli

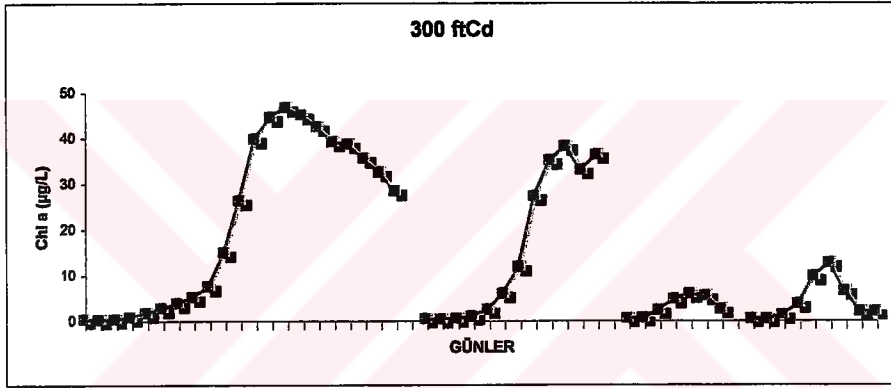
olduğunu göstermektedir. Başka bir değişle, 20 °C de ışık şiddetleri arttıkça spesifik büyüme hızlarında da belirgin artışlar gözlenmiş, bu sıcaklık derecesinde ışık şiddetleri azaldıkça, ışığın fotosentetik aktiviteyi inhibe edici etkisi gözlenmiştir. En belirgin fark ise 50 ftCd ışık şiddetinde hesaplanan spesifik büyüme hızınının diğer ışık şiddetlerine göre çok düşük olmasıdır.

**Sıcaklık:** Kesikli kültür sisteminde nütrient sınırlı şartlar altında *T. allenii* türünün 50 ftCd ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıkta elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.5.(a) da gösterilmiştir. 50 ftCd ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda, deneme sıcaklıkları için hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla 0.042, 0.127, 0.886 ve 0 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. En küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 0.106 çiftlenme/gün ( $p>0.05$ ) olarak bulunmuştur. 4 °C sıcaklık için yarı doğunluk katsayısı ( $T_K$ ), -1.2 olarak hesaplanmıştır ( $P>0.05$ ).

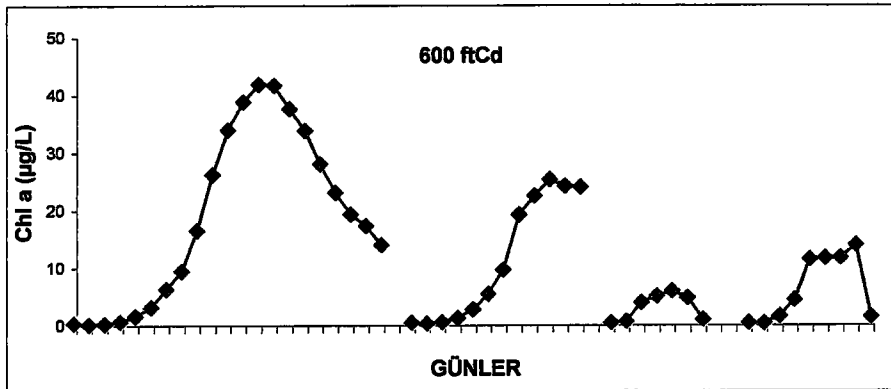
300 ftCd ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda, deneme sıcaklıkları için hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla, 0.635, 1.127, 0.944 ve 1.098 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde denemesi yapılan sıcaklıklardan elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.5.(b) de gösterilmiştir. Bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.29 çiftlenme/gün ( $p<0.05$ ) olarak bulunmuştur. 11 °C sıcaklık için yarı doğunluk katsayısı ( $T_K$ ) 3.5 olarak hesaplanmıştır ( $P>0.05$ ).



(a) 50 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C



(b) 300 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C



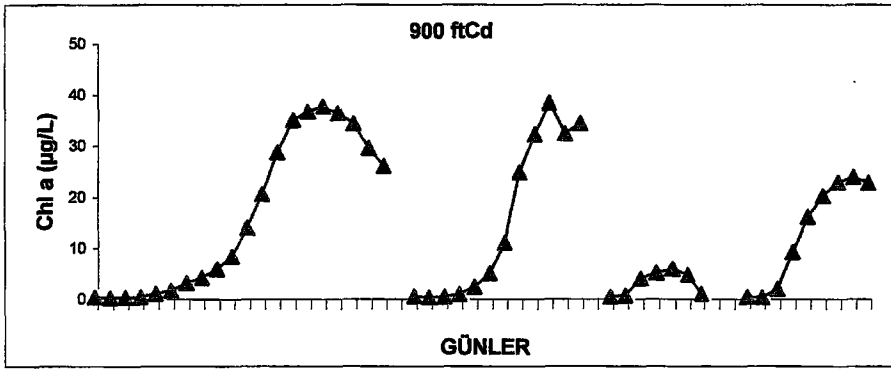
(c) 600 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C

Şekil.4.5. *T. allenii* türünün sabit ışık şiddetinde farklı sıcaklıkta elde edilen büyüme eğrileri.

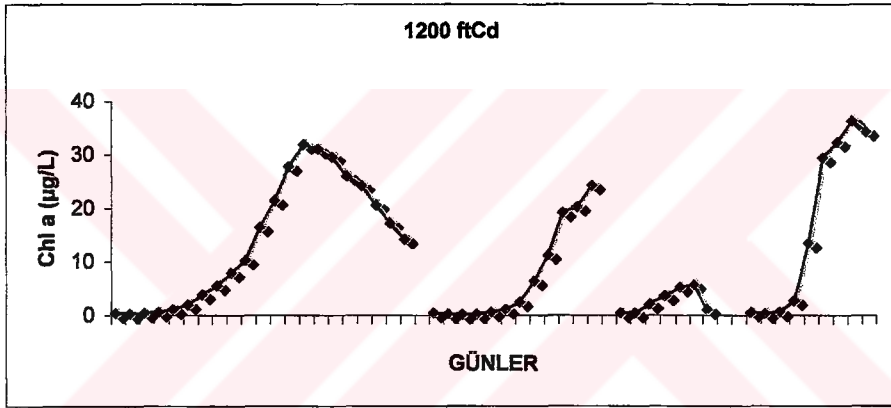
Denemesi yapılan bir diğer ışık şiddeti olan 600 ftCd'da 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklar için elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.5.(c) de gösterilmiştir. Bu ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklar için hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla, 0.778, 0.942, 0.972, 0.982 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.024 çiftlenme/gün ( $p<0.005$ ) olarak bulunmuştur. 16 °C sıcaklık için yarı doygunluk katsayısı ( $T_K$ ) 1.024 olarak hesaplanmıştır ( $P<0.00005$ ).

Işık şiddeti 900 ftCd olan deneme gruplarında 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklar için hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla, 0.547, 0.961, 0.729, ve 0.920 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklar için elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.6.(d) de gösterilmiştir. En küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.032 çiftlenme/gün ( $p>0.05$ ) olarak bulunmuştur. 16 °C sıcaklık için yarı doygunluk katsayısı ( $T_K$ ) 3.034 olarak hesaplanmıştır ( $P<0.05$ ).

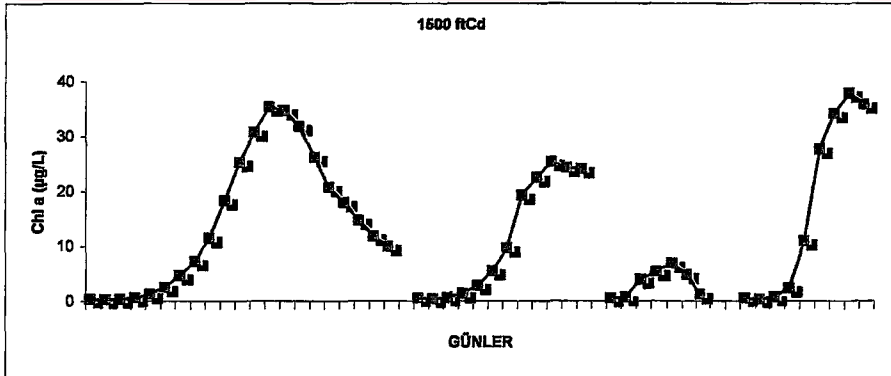
*T. allenii* türünün 1200 ftCd ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda, spesifik büyüme hızları sırasıyla, 0.593, 0.957, 0.823, ve 0.931 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde, 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklar için elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.6.(e) de gösterilmiştir. Bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.063 çiftlenme/gün ( $p>0.05$ ) olarak bulunmuştur. 16 °C sıcaklık için yarı doygunluk katsayısı ( $T_K$ ) 2.815 olarak hesaplanmıştır ( $P<0.05$ ).



(d) 900 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C



(e) 1200 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C



(f) 1500 ftCd ve 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C

Şekil.4.6. *T. allenii* türünün sabit ışık şiddetinde farklı sıcaklıkta elde edilen büyüme eğrileri.

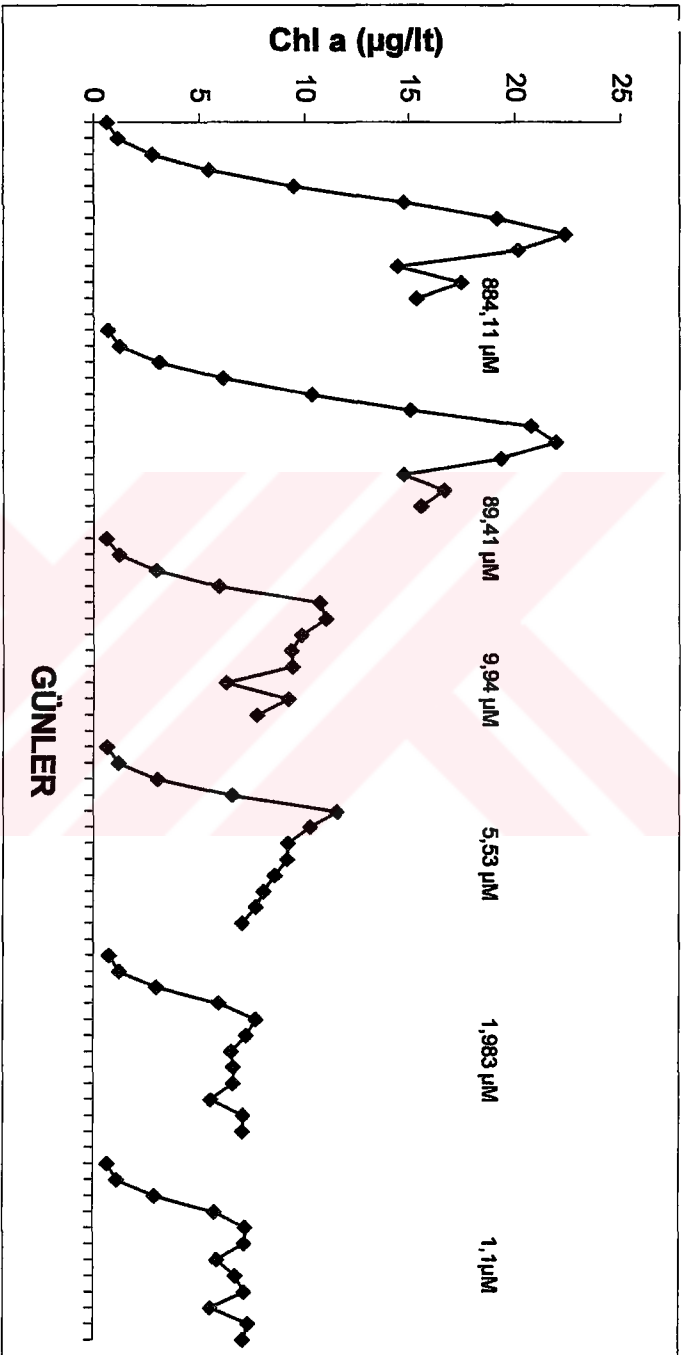
1500 ftCd ışık şiddetinde 4 °C, 11 °C, 16 °C, 20 °C sıcaklıklarda yapılan denemeler sonucunda, deneme sıcaklıkları için hesaplanan spesifik büyüme hızları sırasıyla, 0.608, 0.942, 0.781 ve 1.114 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu ışık şiddetinde denemesi yapılan sıcaklıklardan elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.6.(f) de gösterilmiştir. Bu ışık şiddetinde yapılan sıcaklık denemeleri için maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 1.190 çiftlenme/gün ( $p < 0.05$ ) olarak bulunmuştur. 16 °C sıcaklık için yarı doygunluk katsayısı ( $T_K$ ) 3.85 olarak hesaplanmıştır ( $P > 0.05$ ).

## 4.2. Nütrientler

Algal büyüme üzerine etki eden bir diğer parametre kuşkusuz nütrientlerdir. *T. allenii* türünün büyümesi üzerine sınırlayıcı etkiye sahip nütrientlerin belirlenmesi amacıyla, f/2 ortamı esas alınmak suretiyle,  $NH_4-N$ ,  $NO_3-N$ ,  $PO_4-P$  ve Si'in çeşitli konsantrasyonlarına maruz bırakılarak çalışılmıştır. Doğal deniz suyu ortamının nütrient analizleri yapılmış ve her nütrient ve her deneme grubu için final konsantrasyonları bulunmuştur. Yapılan denemelerden elde edilen sonuçlar tablo ve grafikler halinde verilmiştir.

### 4.2.1. Nitrat

*T. allenii* türü için f/2 ortamındaki nitrat azotunun miktarlarında değişiklikler yapılarak 6 ayrı konsantrasyon hazırlanmıştır. Nitrat denemelerinde her bir denemenin final konsantrasyonlarının belirlenmesi için doğal deniz suyu  $NO_3-N$ 'u analizi Cd-kolon yöntemiyle bulunmuştur. Bu çalışma için seçilen



Şekil 4.7. *T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 884.11, 89.41, 9.94, 5.53, 1.983 ve 1.1 µmol  $\text{NO}_3\text{-N/l}$  konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.

deneme grubunun final konsantrasyonları 884.11, 89.41, 9.94, 5.53, 1.983 ve 1.1  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  olarak tespit edilmiştir.

Bu konsantrasyonlarda spesifik büyüme hızları sırasıyla 0.8435, 0.9171, 0.9620, 0.9355, 0.9574 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. 884.11  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N}$  konsantrasyonunda *T. allenii* türünün büyüme eğrisi incelendiğinde lag fazın ortadan kalktığı ve hücrelerin büyüme fazından sapmaları 8. günden sonra başlamıştır (Şekil.4.7.). Bu konsantrasyonda hücrelerin büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 19.3  $\mu\text{g/lit}$  olarak gözlemlenmiş, burdan yola çıkılarak spesifik büyüme hızı 0.8435 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.

89.41  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  konsantrasyonunda hücrelerin, büyüme fazına hemen geçtikleri ve ekponensiyel fazın 6. günün sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir (Şekil.4.7.). Bu konsantrasyon için büyüme eğrisi incelendiğinde 884.11  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$ 'de gözlemlenen büyüme eğrisine son derece benzediği görülmektedir. Nitekim, bu benzerlik ekponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 20.9  $\mu\text{g/lit}$  olarak da görülmektedir. Aynı şekilde, bu konsantrasyonda 0.9171 çiftlenme/gün olarak hesaplanan spesifik büyüme hızı ile her iki konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızları arasında belirgin fark olmadığını göstermektedir.

f/2 ortamının yaklaşık 1/10'u olan bu nitrat konsantrasyonunda *T. allenii* türünün büyüme eğrisinin f/2 ortamındaki nitrat konsantrasyonundan elde edilen sonuçlarla yakın oluşu önemli bir bulgu olarak değerlendirilmelidir.

Denemesi yapılan bir diğere konsantrasyon olan 9.94  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  düzeyindeki nitrat için, hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.9620 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyonda da lag fazın olmadığı, hücrelerin büyüme fazına hemen geçtikleri gözlemlenmiştir. Ancak, üssel büyüme fazının kısaltıldığı ve 4. günün bitiminde sonlandığı görülmektedir (Şekil.4.7.).

Düşük konsantrasyonlara gelindikçe üssel büyüme fazının kısaltıldığı gözlemlenmiştir. Bu durum, 5.52  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  düzeyindeki nitrat konsantrasyonundan itibaren açıkça görülmektedir. Bu konsantrasyonda eksponensiyel fazda maksimum Chl *a* değeri 11.7  $\mu\text{g/lit}$  olarak ölçülmüştür. Bu konsantrasyonda lag fazın olmadığı ve üssel büyüme fazının 4. günün sonuna kadar devam ettiği Şekil.4.7. de görülmektedir. 5.52  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.9665 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Nitrat konsantrasyonu yaklaşık 100 kat azaltıldığında (1.983  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$ ), türün üssel büyüme eğrisinden sapmasının 3. günün sonunda başladığı görülmüştür (Şekil.4.7.). Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.9355 çiftlenme/gün ve eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 6.1  $\mu\text{g/lit}$  olarak bulunmuştur.

Denemesi yapılan en düşük nitrat konsantrasyonu olan 1.1  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  da, deneme kabına dışarıdan herhangi bir nitrat ilavesi yapılmamış, doğal deniz suyunda bulunan nitrat konsantrasyonu ile çalışılmıştır. Bu konsantrasyonda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 5.93  $\mu\text{g/lit}$  olarak gözlemlenmiştir. 1.1  $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/lit}$  için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.9574

çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Hücrelerin tüm nitrat konsantrasyonlarında olduğu gibi bu konsantrasyonda da lag fazının olmadığı ve eksponensiyel fazının 3. günün sonunda tamamlandığı gözlemlenmiştir.

Çeşitli  $\text{NO}_3$  konsantrasyonları için yapılan denemeler sonucunda elde edilen spesifik büyüme hızları ve nütrient konsantrasyonları ile en küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda, yarı doygunluk sabiti  $K_s \approx 0 \mu\text{g at-N/l}$  ( $P > 0.05$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ )  $0.93$  çiftlenme/gün ( $P = 0.00$ ) olarak bulunmuştur.

#### 4.2.2. Amonyum

Denemelerin bu bölümünde *T. allenii* türü bir diğer azot formu olan amonyumun 6 farklı konsantrasyonuna maruz bırakılmıştır. Amonyum denemelerinde her bir denemenin başlangıçtaki final konsantrasyonlarının belirlenmesi için doğal deniz suyu  $\text{NH}_4\text{-N}$ 'u analizi spektrofotometrik yöntemle yapılarak bulunmuştur. Bu çalışma için seçilen konsantrasyonlara eklenerek, deneme grubunun başlangıçtaki final konsantrasyonları  $101.07$ ,  $51.07$ ,  $11.07$ ,  $6.07$ ,  $2.07$ , ve  $1.07 \mu\text{mol NH}_4\text{-N/l}$  olarak tespit edilmiştir. *T. allenii* türünün  $11^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $101.07$ ,  $51.07$ ,  $11.07$ ,  $6.07$ ,  $2.07$  ve  $1.07 \mu\text{mol NH}_4\text{-N/l}$  düzeyindeki amonyum konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri Şekil.4.8. de gösterilmektedir.

Bu çalışmada büyüme ortamına eklenebilecek maksimum amonyum konsantrasyonu olan 501.62  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  düzeyi kullanılmamış, maksimum amonyum düzeyi olarak 101.07  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  konsantrasyonuyla başlanmıştır. Bu konsantrasyon için büyüme eğrisi incelendiğinde, lag fazın olmadığı ve hücrelerin üssel büyüme fazına hemen geçtikleri ve üssel büyüme fazının oldukça uzadığı görülmektedir (6. günün sonu) Hücrelerin üssel büyüme fazında ulaştıkları maksimum Clh  $\alpha$  değeri 25.3 $\mu\text{g/lit}$  olarak gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.06 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Amonyum konsantrasyonu 51.07  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  düzeyine indirildiğinde lag fazın, 101  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  düzeyinde olduğu gibi, ortadan kalktığı ancak, farklı olarak üssel büyüme fazının 5. günün sonunda tamamlandığı görülmüştür. İki konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızları arasında büyük sayılabilecek bir farkın olmadığını söylemek mümkündür. Nitekim, büyüme eğrileri incelendiğinde her iki konsantrasyonun benzer eğilimler gösterdiği ancak ekspanensiyel fazda ölçülen maksimum Chl  $\alpha$  bakımından farklı olduğu grafikte açıkça görülmektedir. Bu konsantrasyonda ekspanensiyel fazda ölçülen maksimum Chl  $\alpha$  miktarı 17.6  $\mu\text{g/lit}$ 'dir. Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.065 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

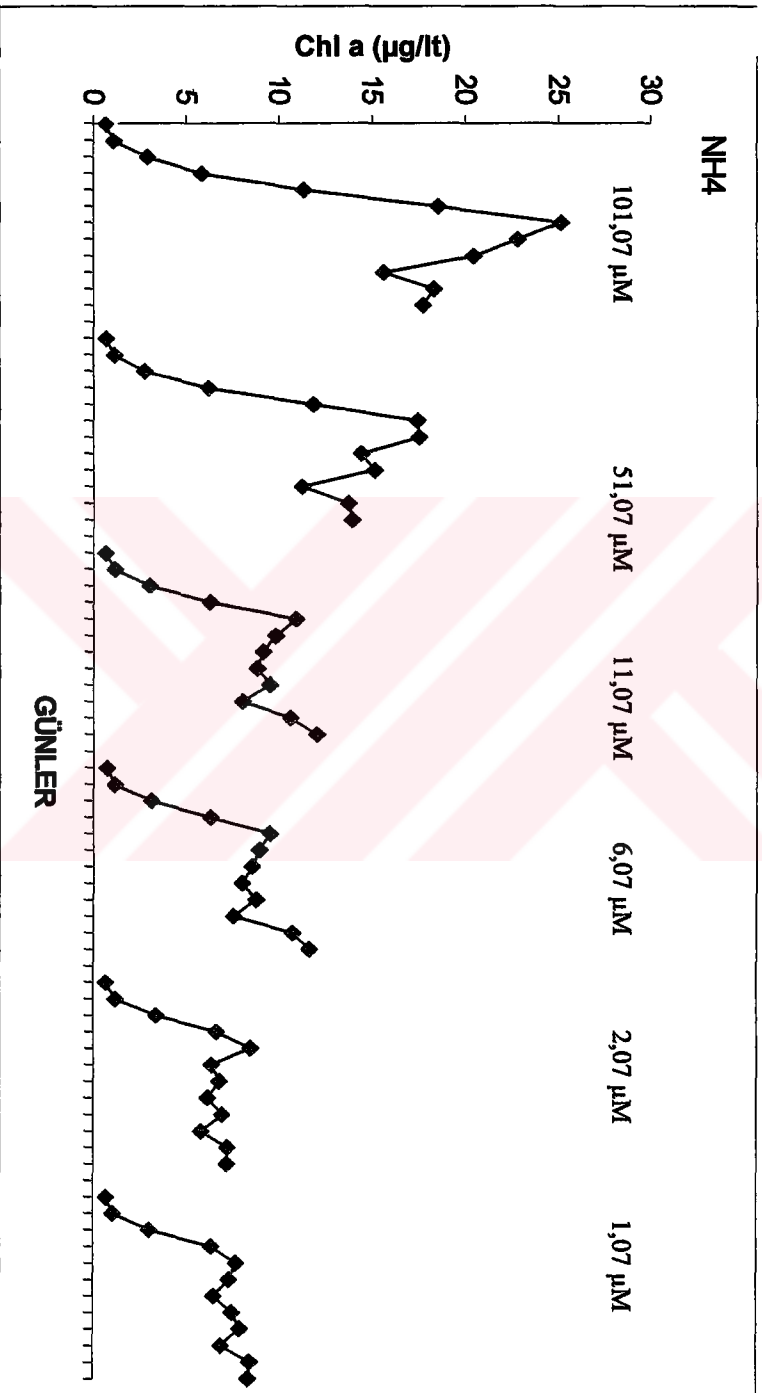
*T. allenii* türü 11.07  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  düzeyindeki amonyum konsantrasyonuna maruz bırakıldığında, diğer konsantrasyonlarda olduğu gibi, lag fazın olmadığı ancak üssel büyüme fazının 4. günün sonunda tamamlandığı gözlemlenmiştir. 11.07  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/lit}$  için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.017 çiftlenme/gün olarak

bulunmuştur. Bu konsantrasyon için eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* değeri 11.1 µg/lt olarak gözlemlenmiştir.

Amonyum denemelerinde çalışılan bir başka konsantrasyon 6.07 µmol NH<sub>4</sub>-N/lt'dir. Bu konsantrasyon için hesaplanana spesifik büyüme hızı 0.952 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Elde edilen büyüme eğrileri incelendiğinde, lag fazın bu konsantrasyonda da olmadığı ve 11.07 µmol NH<sub>4</sub>-N/lt düzeyindeki amonyum denemesinde olduğu gibi, hücrelerin üssel büyüme fazından 3. günün sonunda uzaklaşmaya başladıkları görülmektedir. Üssel büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 9.69 µg/lt olarak gözlemlenmiştir.

2.07 µmol NH<sub>4</sub>-N/lt düzeyinde amonyum konsantrasyonunda yapılan denemede elde edilen sonuçlardan hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.004 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyonda türün büyüme eğrisi incelendiğinde hücrelerin hemen üssel büyüme fazına geçtikleri ve 3. günün sonuna kadar büyüme fazının devam ettiği gözlemlenmiştir. Eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 6.82 µg/lt olarak ölçülmüştür.

Amonyum denemeleri için kullanılan en düşük konsantrasyon 1.07 µmol NH<sub>4</sub>-N/lt'dir. Bu konsantrasyon doğal deniz suyunun laboratuvar da spektrofotometrik yöntemle ölçülen miktarıdır. *T. allenii* türünün bu konsantrasyon düzeyinde de hemen üssel büyüme fazına geçtiği ve 3. günün sonunda büyüme fazının tamamlandığı gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyon için eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 6.55 µg/lt olup, spesifik büyüme hızı 0.976 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.



**Şekil.4.8. *T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 101.07, 51.07, 11.07, 6.07, 2.07, 1.07 µmol NH<sub>4</sub>-N/l konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.**

En küçük kareler metoduyla yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucu, amonyum için ( $K_s$ )  $0.05 \mu\text{g at-N/lit}$  ( $P>0.05$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ )  $1.034$  çiflenme/gün ( $P=0.00$ ) olarak bulunmuştur.

#### 4.2.3. Fosfat

*T. allenii* türü için f/2 ortamındaki fosfatın miktarlarında değişiklikler yapılarak 6 ayrı konsantrasyon hazırlanmıştır. Fosfat denemelerinde, doğal deniz suyu  $\text{PO}_4\text{-P}'1$  analizi spektrofotometrik yöntemle bulunmuş ve her bir denemenin final konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu çalışma için seçilen deneme grubunun final konsantrasyonları  $37.26, 4.59, 1.686, 1.323, 0.9963, 0.96 \mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$  olarak tespit edilmiştir. Denemelerde maruz bırakılan fosfat konsantrasyonları düşürüldükçe üssel büyüme fazının kısaldığı ve hücrelerin büyüme fazında maksimum ulaşabildikleri Chl *a* miktarlarında gözle görülür bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyonlarda yapılan denemelerden elde edilen büyüme eğrileri Şekil.4.9.'de gösterilmektedir.

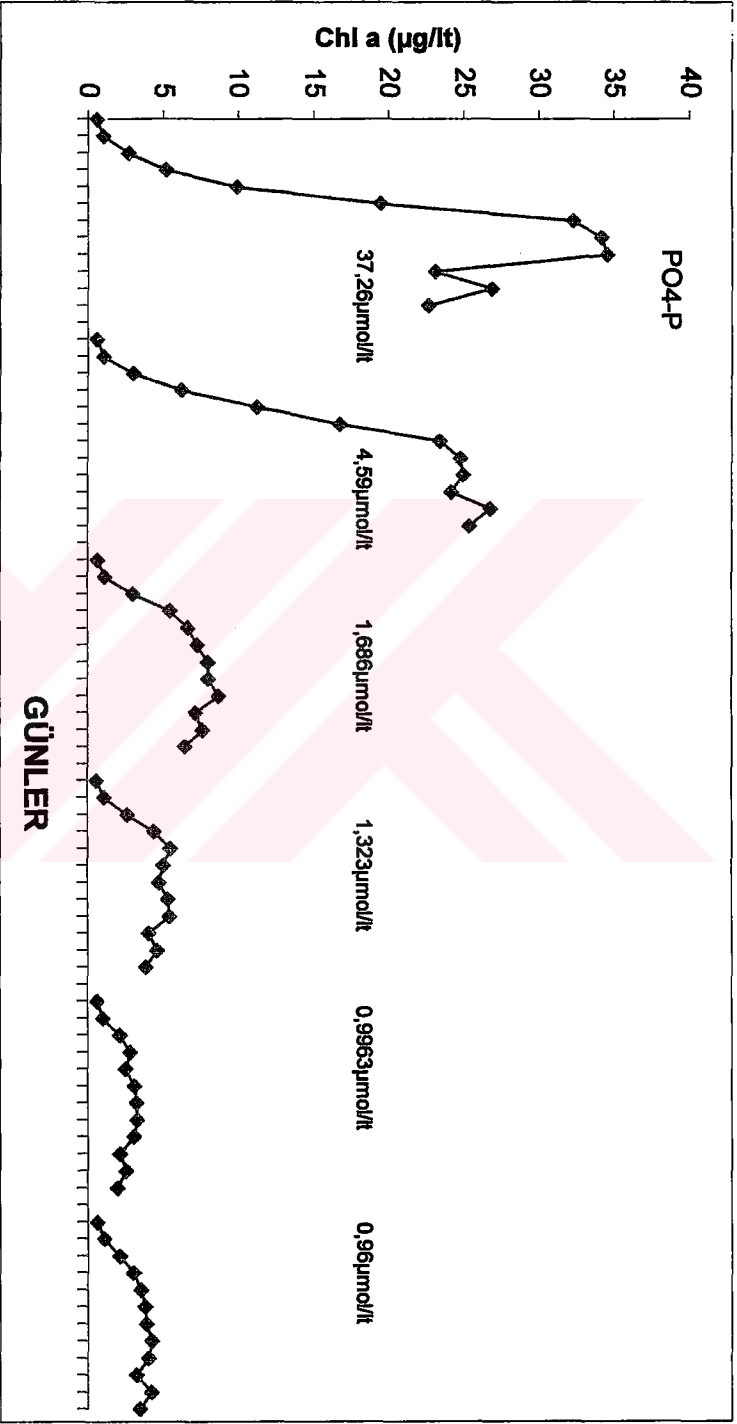
*T. allenii* türünün f/2 zenginleştirme ortamının en yüksek fosfat konsantrasyonuyla başlanmış ( $36.3 \mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$ ) deneme başlangıç konsantrasyonu  $37.26 \mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$  olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyona maruz bırakılan türün, lag fazının olmadığı, hücrelerin hemen büyüme eğilimine girdikleri ve eksponensiyel fazın 6. günün sonuna kadar devam ettiğini görmek mümkündür. Hücrelerin üssel büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* miktarının  $32.5 \mu\text{g/lit}$  olduğu gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyon için

hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.992 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Fosfat konsantrasyonu yaklaşık 10 kat azaltıldığında (4.59  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$ ) lag fazın yine olmadığı, hücrelerin hemen büyüme eğilimine girdikleri ve üssel büyüme fazının 6. günün sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Bu iki konsantrasyon birbirinden oldukça farklı olmasına karşın hücrelerin büyüme eğilimlerinin aynı olması düşündürücüdür. Ancak bu konsantrasyonda 6. günden sonra bir salınım olduğu açıkça görülmektedir. Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.809 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bu iki konsantrasyon için hesaplanan  $\mu$  değerlerinin birbirinden çok farklı olmadığını söylemek gerekir.

Fosfat konsantrasyonu 1.686  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$  düzeyinde olan denemenin büyüme eğrisine bakıldığında farklılıkların olduğu, lag fazın olmadığı ancak üssel büyüme fazının kısaldığı, bir başka deyişle yaşlanma sürecinin daha erken başladığı ve 3. günün sonunda büyüme fazından sapmanın başladığı gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyonda eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 5.67  $\mu\text{g/l}$  ile kısıtlı kaldığı görülmektedir. 1.686  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$  düzeyinde fosfat konsantrasyonu için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.753 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

1.323  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$  düzeyinde fosfat konsantrasyonuna maruz bırakıldığında diğer konsantrasyonlarda olduğu gibi lag fazın olmadığı, 3. günün sonuna kadar devam eden üssel büyüme fazının olduğu gözlemlenmiştir. Bu konsantrasyona maruz bırakılan hücrelerin üssel büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* miktarı



**Şekil 4.9.** *T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 37.26, 4.59, 1.686, 1.323, 0.9963, 0.96  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/lit}$  konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.

4.61  $\mu\text{g}/\text{lt}$  ile sınırlı kamıştır. Bu Konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.694 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Daha düşük konsantrasyonlara gelindikçe lag fazın yine olmadığı ve eksponensiyel fazın 3. günün sonuna kadar devam ettiği görülmüştür. 0.996  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P}/\text{lt}$  düzeyinde fosfat konsantrasyonuna maruz bırakılan denemede, eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 3.05  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak gözlemlenmiş, aynı konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.613 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır.

Doğal deniz suyu fosfat konsantrasyonunda yapılan denemede lag fazın ve üssel büyüme fazının diğerleriyle aynı kalmış ancak eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 3.25  $\mu\text{g}/\text{lt}$  olarak ölçülmüştür. Bu küçük artış, bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızında 0.638 çiftlenme/gün olarak kendisini göstermiştir. Ancak başlangıç konsantrasyonları dikkate alınırsa, aralarında belirgin fark olmadığını görülmektedir.

Çeşitli  $\text{PO}_4$  konsantrasyonları için yapılan denemeler sonucunda elde edilen spesifik büyüme hızları ve nütrient konsantrasyonları kullanılarak en küçük kareler metoduyla yapılan istatistiksel analiz sonucunda, yarı doygunluk sabiti ( $K_s$ ) 0.55  $\mu\text{g at-P}/\text{lt}$  ( $P>0.05$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 0.847 çiftlenme/gün ( $P<0.0005$ ) olarak bulunmuştur.

#### 4.2.4. Silikat

Denemelerin bu bölümünde *T. allenii* türü silikatın 7 farklı konsantrasyonuna maruz bırakılmıştır. Silikat denemelerinde her bir denemenin başlangıçtaki final konsantrasyonlarının belirlenmesi için doğal deniz suyu Si analizi spektrofotometrik yöntemle yapılarak bulunmuştur. Bu çalışma için seçilen konsantrasyonlara eklenerek, deneme grubunun başlangıçtaki konsantrasyonları 115.36, 51.16, 29.76, 19.06, 13.71, 10.05 ve 8.36  $\mu\text{mol Si/lt}$  olarak tespit edilmiştir. *T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 115.36, 51.16, 29.76, 19.06, 13.71, 10.05 ve 8.36  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki amonyum konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri Şekil.4.10. gösterilmektedir.

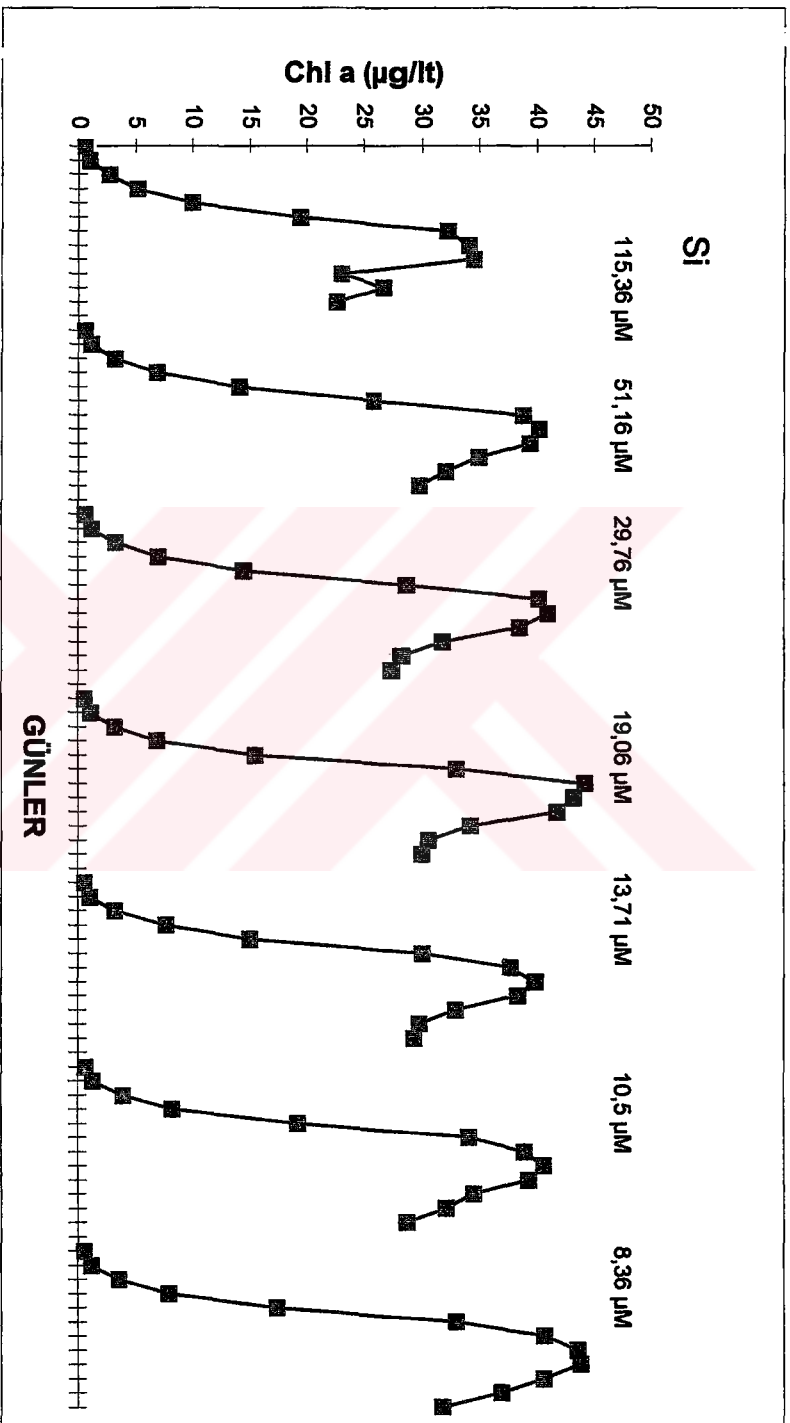
*T. allenii* türünün f/2 zenginleştirme ortamının en yüksek silikat konsantrasyonu ile başlanmış (107  $\mu\text{mol Si/lt}$ ) deneme başlangıç konsantrasyonu 115.36  $\mu\text{mol Si/lt}$  olarak bulunmuştur. Bu konsantrasyon için büyüme eğrisi incelendiğinde, lag fazının olmadığı, hücrelerin hemen büyüme eğilimine girdikleri ve üssel büyüme fazının 6. günün sonuna kadar devam ettiği görülmektedir. Bu konsantrasyonda eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 32.5  $\mu\text{g/lt}$  olarak gözlemlenmiştir. 115.36  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyinde silikat konsantrasyonuna maruz bırakıldığında hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.992 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur.

Silikat konsantrasyonu yaklaşık olarak yarıya indirilerek, 51.16  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki silikat konsantrasyonuna maruz bırakılan hücrelerin ilk konsantrasyonda olduğu gibi hemen büyüme eğilimine girdikleri ve üssel büyüme fazının yine 6. günün sonuna

kadar devam ettiği görülmektedir. Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 0.984 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer ilk konsantrasyondan elde edilen  $\mu$  değerinden çok farklı olmadığı görülmektedir. 51.16  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki silikat konsantrasyonu denemesinde hücrelerin üsle büyüme fazında ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 26.2  $\mu\text{lt}$  olarak gözlemlenmiştir.

29.76  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki silikat konsantrasyonuna maruz bırakılan *T. allenii* türünün büyüme eğrisinin benzer olduğu ve hesaplanan  $\mu$  değerinin de yaklaşık olduğu görülmüştür. Bu konsantrasyon için hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.005 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Hücrelerin bu konsantrasyona hemen adapte oldukları ve üssel büyüme fazının 6. günün sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir.

Maruz bırakılan silikat konsantrasyonu 19.06  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyinde olduğunda, lag fazın olmadığı ve üssel büyüme fazının yine 6. günün sonuna kadar devam ettiği görülmektedir (Şekil.4.10.). Bu silikat düzeyindeki silikat konsantrasyonunda hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.055 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı ise 33.3  $\mu\text{g/lt}$  olarak gözlemlenmiştir.



**Şekil.4.10.** *T. alteni* türünün 11 °C sıcaklıkta 115.36, 51.16, 29.76, 19.06, 13.71, 10.05 ve 8.36 µmol Si /lt konsantrasyonlarına maruz bırakıldıklarında gösterdikleri büyüme eğrileri.

Denemesi yapılan bir diğer konsantrasyon olan 13.71  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki silikat konsantrasyonunda da lag fazın olmadığı ve üssel büyüme fazının da 6. günün sonuna kadar devam ettiği görülmektedir. Bu konsantrasyonun büyüme eğrisi verilerinden hesaplanan spesifik büyüme hızı 1.045 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur. Türün eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 31.2  $\mu\text{g/lt}$  olarak bulunmuştur.

10.51  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyinde silikat konsantrasyonuna maruz bırakılan denemede spesifik büyüme hızı 1.053 çiftlenme/gün olarak hesaplanmıştır. Bu konsantrasyon denemesinden elde edilen büyüme eğrisinin yine diğerleriyle benzer olduğu görülmektedir. Hücrelerin önceki konsantrasyonlarda olduğu gibi hemen büyüme eğilimine girdikleri, üssel büyüme fazının 6. günün sonuna kadar devam ettiği ve eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 34.4  $\mu\text{g/lt}$  olarak gözlemlenmiştir.

Silikat deneme grubunun son konsantrasyon denemesi 8.36  $\mu\text{mol Si/lt}$  düzeyindeki silikat konsantrasyonunda yapılmıştır. Bu deneme sonucunda elde edilen büyüme eğrisi hepsinde olduğu gibi benzerlikler göstermektedir. Türün eksponensiyel fazda ölçülen maksimum Chl *a* miktarı 33.3  $\mu\text{g/lt}$  olarak gözlemlenmiştir.

En küçük kareler yöntemiyle yapılan istatistiksel hesaplamalar sonucu, silikat için  $K_s \approx 0 \mu\text{g at-Si/lt}$  ( $P < 0.05$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 0.991 çiftlenme/gün ( $P = 0.000$ ) olarak bulunmuştur.

## 5. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Fitoplankton büyümesini sınırlayan üç temel etken, genel olarak ışık, sıcaklık ve nütrientler olarak kabul edilir (Michael & Edward, 1990). Denizel fitoplanktonun gelişimini sınırlayıcı bu faktörlerin araştırılması genellikle izole edilen türlerin kültürleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu tür çalışmalar uzun zaman alsa da türün karakteristiği hakkında daha çok veri sağlar ve rekabet denemeleriyle karşılaştırma olanağı verir.

Zararlı algler söz konusu olduğunda; matematiksel modellerle senaryo tahminleri yapılması, bu alg türlerinin doğal ortamlarındaki davranışlarının ortaya konması ve kontrol altında tutulabilmesi için mono kültür çalışmalarının yapılması büyük önem taşımaktadır. Diğer taraftan rekabet denemeleri ile aynı anda birçok tür hakkında bilgi toplamak, doğala yakın sonuçlar elde etmek ve daha kısa sürede çalışmaları sonlandırmak mümkündür. Ancak, tek tür için karakteristik özelliklerin tespit edilebilmesinde yeterli bir çalışma olmamaktadır. Ayrıca, doğal ortamda (uygun şartlar sağlandığında) baskın olan türler için, mono kültürlerle yapılan çalışmalar ile doğala yakın sonuçlar elde etmek mümkün olmaktadır.

### 5.1. Işık ve Sıcaklık

Bu çalışmada, kesikli kültür sisteminde sürekli aydınlık rejimi, 6 ayrı ışık şiddeti (50, 300, 600, 900, 1200, 1500 ftCd) ve 7 farklı sıcaklığın (4, 8, 11, 16, 20, 22, 24, 28 °C) *T. allenii* türünün büyümesi üzerine etkileri ve türün optimumu olarak tespit edilen 11

°C sıcaklıkta, 300 ftCd ışık şiddetinde nütrientlerin (N-P-Si) türün büyümesi üzerinde etkileri araştırılmıştır. *T. allenii* türünün maruz bırakıldığı ışık şiddetlerinde elde edilen spesifik büyüme hızları Tablo.5.1.' da özetlenmiştir.

**Tablo.5.1.** *T. allenii* türünün farklı sıcaklık ve ışık şiddetlerinde elde edilen spesifik büyüme hızları ( $\mu$ , çiftlenme/gün).

IŞIK	SICAKLIK			
	4°C	11°C	16°C	20°C
50 ftCd	0.83	0.825	0.530	0.307
300 ftCd	0.674	<u>1.127</u>	0.940	1.022
600 ftCd	0.834	1.045	0.972	1.098
900 ftCd	0.630	1.079	0.972	1.104
1200 ftCd	0.593	1.078	1.098	1.086
1500 ftCd	0.738	0.974	1.042	1.079

Tüm organizmalar gibi, diatomlarda çevresel sıcaklıklarda etkilenirler (Montagnes & Franklin, 2001). Optimum büyüme hızı türlere göre farklılık göstermesine rağmen, genel bir eğilim olarak sıcaklığın azalmasıyla beraber düşer. Burada kast edilen, yüksek optimum sıcaklıkta tür maksimum büyüme hızına sahip olacaktır. Başka bir deyişle optimum sıcaklık arttıkça, maksimum büyüme hızının daha büyük olmasının genel bir eğilim olarak belirtilmiştir (Eppley, 1972; Aydın, 1993).

Ancak *T. allenii* türü, (Tablo.5.1.) sıcaklık artışıyla spesifik büyüme hızlarında bariz bir fark olmamasıyla birlikte yüksek büyüme hızı 11 °C sıcaklık ile türün optimum sıcaklığı olarak bulunmuştur. Bu sıcaklık türün izolasyonunun yapıldığı sıcaklıkla aynı olmasının etkisinin olabileceği literatürle desteklenmektedir. En küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda sıcaklık için elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ( $\mu_{max}$ ) ve yarı doygunluk sabitleri ( $T_K$ ) Tablo5.2. de özetlenmiştir.

**Tablo.5.2.** *T. allenii* türünün farklı sıcaklıklarda elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ( $\mu$ , çiftlenme/gün) ve yarı doygunluk katsayıları ( $K_s$ ).

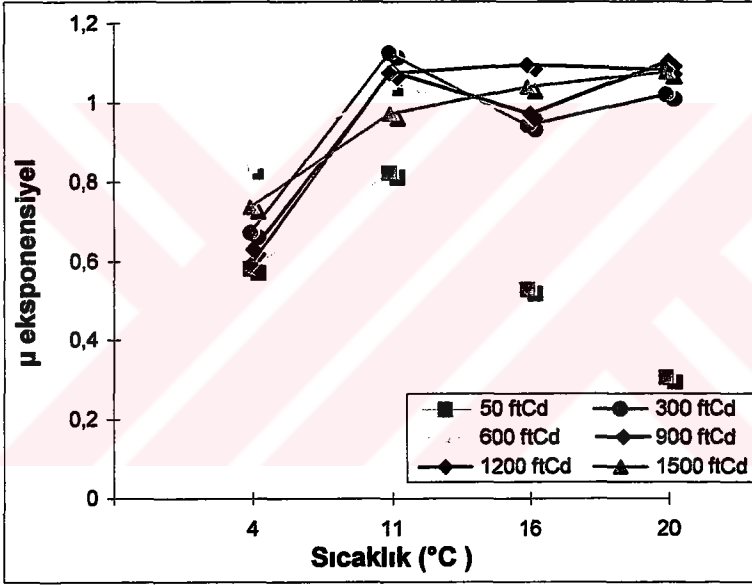
SICAKLIK (°C)	IŞIK ŞİDDETİ					
	50 ftCd	300 ftCd	600 ftCd	900 ftCd	1200 ftCd	1500 ftCd
$\mu_{max}$	0.106	1.29*	1.024**	1.032*	1.063*	1.190*
$T_K$	-1.22	3.5	1.057***	3.034	2.815	3.85

\* P < 0.05, \*\* P < 0.005., \*\*\* P < 0.00005

Diğer taraftan Darley (1982), kültür çalışmalarından elde edilen optimum sıcaklığın, kültürün büyüdüğü doğal ortamındaki maksimum sıcaklıktan daha yüksek olduğunu ifade etmektedir (İzğören, 1993). Sıcaklık artışıyla beraber yarı doygunluk katsayısının yükselmesi diğer araştırmacılar tarafından desteklenmektedir.

Bu tez çalışmasında ise 20 °C üzerindeki sıcaklıklarda (22, 24 ve 28 °C) hiçbir ışık şiddetinde türün üssel büyüme fazına geçemediği göz önüne alınırsa, bu sonucun türün spesifik

özelliğinden kaynaklandığını ifade etmek gerekir. Deneysel sonuçlardan elde edilen veriler, *T. allenii* türünün tüm ışık şiddetleri için 11 °C sıcaklıkta eksponensiyel büyüme fazındaki spesifik büyüme hızının yüksek olduğunu göstermiştir (Şekil.5.1.). 300 ftCd ışık şiddeti (11 °C) eksponensiyel büyüme fazındaki spesifik büyüme hızı, tespit edilen en yüksek hız olarak, türün optimum ışık şiddetindedir.



Şekil.5.1. *T. allenii* türünün sıcaklık ve spesifik büyüme hızları arasındaki çeşitli ışık şiddetlerindeki ilişki.

Bununla birlikte, limitler dahilinde olmak kaydıyla alglerin optimum sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklara adapte olabildiği bilinmektedir. Optimum sıcaklıkların fitoplankton türleri için

farklılıklar göstermesi, aynı türün değişik bölgelerden izole edilen farklı klonları için de geçerli olabildiği genel bir prensip olarak kabul edilmektedir.

*T. allenii* türünün geniş sıcaklık ranjında olduğu (10-20 °C) belirtilmiştir (Aydın, 1993). Ancak Creswell (1993)'e göre, 5-20 °C arasındaki sıcaklıklar düşük-orta sıcaklıklar olarak belirtilmektedir. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar Creswell (1993)'le paralellik göstermektedir. Tablo.5.4 de çeşitli sıcaklıklar ve ışık şiddetleri için hesaplanmış yarı doygunluk katsayıları karşılaştırılmıştır.

Fitoplanktonik organizmalar farklı ışık şiddetlerine adapte (fotoadaptasyon) olabilirler. Bu adaptasyon sürecinde fitoplankton hücresinde fotosentetik ve fotoprotektif pigment miktarlarında, fotosentetik parametrelerde, kloroplastların morfolojisinde, fotosentez ve solunumu içine alan enzimatik aktivitelerde, hücre hacminde, solunum hızında ve kimyasal kompozisyonunda bazı morfolojik ve biyokimyasal değişimler ortaya çıkar.

Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlara (Tablo.5.1.) göre, tüm sıcaklıklar için (4 °C hariç), 300 ftCd ışık şiddetinde eksponensiyel büyüme fazındaki spesifik büyüme hızı, tespit edilen en yüksek hız olarak, türün optimum ışık şiddetidir (Şekil.5.2..). En küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda ışık şiddetleri için elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ( $\mu_{max}$ ) ve yarı doygunluk sabitleri ( $I_K$ ) Tablo.5.3. da özetlenmiştir.

**Tablo.5.3.** *T. allenii* türünün farklı ışık şiddetlerinde elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ( $\mu$ , çiftlenme/gün) ve yarı doygunluk katsayıları ( $I_K$ ).

SICAKLIK (°C)	IŞIK ŞİDDETİ	
	$\mu_{max}$	$I_K$ ( $\mu E \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )
4	0.703***	2.023
11	1.078*****	2.89
16	1.08*****	10.76**
20	1.02*****	21.16*

\* P < 0.05, \*\* P < 0.005, \*\*\* P < 0.0005, \*\*\*\* P < 0.00005, \*\*\*\*\* P < 0.000005

Fitoplanktonik organizmalar için ışık şiddetinin ve gün uzunluğunun büyüme üzerinde kuşkusuz etkisi olduğu literatürde açık şekilde yer almaktadır. Bununla beraber uygulanan aynı gün uzunluğu ve ışık şiddetinin yoğunluğunun fitoplankton büyümesi üzerinde türden türe farklı eğilimler gösterdiğini söylemek gerekir (Tablo.5.4.). Gün uzunluğu değiştikçe kimi türler için büyüme yavaşlayabilir hatta durabilir. Sürekli aydınlık periyot uygulamasında, büyümesini devam ettirebilen türler olduğu gibi aydınlık-karanlık periyot içeren gün uzunluklarından daha yavaş büyüme sergileyebilirler. Bu açıdan, İzmir Körfezi'nden izole edilen *T. allenii* türüyle yapılan bu çalışmada, gün uzunluğunun sürekli aydınlık periyotta çalışılmış olması aydınlık-karanlık periyotta elde edilebilecek sonuçlar açısından farklılıklar göstermesi olasıdır. Çeşitli gün uzunluğu rejimleri ve ışık şiddetlerinde fitoplankton türlerinin spesifik büyüme hızları Tablo.5.4. de karşılaştırılmıştır.

**Tablo.5.4.** Çeşitli ışık şiddetlerinde (24:0 L:D) gün uzunluğu rejimleri fitoplankton türlerinin spesifik büyüme hızları \*

IŞIK (lux)	Düşük Sıcaklık (°C)				Yüksek Sıcaklık (°C)			
	5		10		25		30	
	5000	2500	5000	2500	5000	2500	5000	2500
<i>Chaetoceros gracilis</i>	-0.01	-0.05	0.16	0.07	0.52	0.39	0.62	0.73
<i>Chaetoceros simplex</i>	-0.06	-0.01	0.27	0.55	0.47	0.52	0.54	0.63
<i>Nitzschia sp.</i>	-0.10	0.12	0.20	0.23	0.23	0.29	0.46	0.40
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	0.37	0.39	0.71	0.63	0.85	0.84	-0.53	-0.53
<i>Phaeodactylum tricorutum</i>	0.22	0.26	0.66	0.51	-0.03	-0.43	-0.45	-0.46
<i>Skeletonema costatum</i>	0.29	0.34	0.66	0.61	0.60	0.67	0.48	0.43
<i>Thalassiosira fluviatilis</i>	0.03	0.06	0.10	0.11	-0.03	0.10	0.28	0.23
<i>Thalassiosira sp.</i>	-0.29	-0.17	-0.04	-0.12	0.13	0.15	0.40	0.41

\* Creswell, 1993.

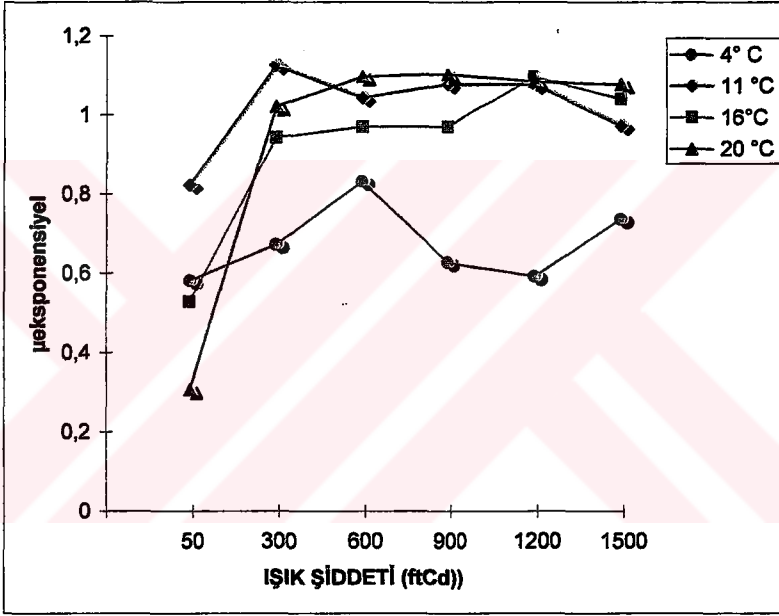
Brand & Guillard (1981), bu düşüncüyü destekleyen çalışmalarında, izolasyonu yapılmış diatom, dinoflagellat, coccolithophare ve bakteri içeren toplam 22 türle çalışmışlardır. Araştırma sonucunda, farklı ışık şiddetlerindeki 14L:10D ve 24L:0D periyotta; 14L:10D için tüm ışık şiddetlerinde eksponensiyel faza geçen 3 türün 24L:0D'da tüm ışık şiddetlerinde hiç büyümediğini, 1 türün en düşük iki ışık şiddetinde 14L:10D rejimine adapte olduğunu ancak tüm sürekli aydınlık ışık şiddetlerinde öldüğünü, 7 türün ise sürekli aydınlık rejiminde daha yavaş ürediğini, 4 türün hem her iki rejimde de aynı oranda ürediğini ve 5 türün sürekli aydınlık rejiminde daha hızlı ürediğini gözlemlemişlerdir.

*T. allenii* türü ise sürekli aydınlık rejimde 50-1500 ftCd arasındaki tüm ışık şiddetlerinde eksponensiyel büyüme fazına geçebilmiştir. Brand & Guillard (1981), kıyasal türlerin genellikle sürekli aydınlık rejimine kıyasla, 14L:10D rejiminde daha hızlı ürediklerini ifade etmişlerdir. Mevcut literatürde *T. allenii* türünün aydınlık-karanlık rejimde davranışıyla karşılaştırma yapılabilecek bir kayıt bulunamamasıyla birlikte, *T. allenii* türünün gemilerin balast tanklarında yaşam alanı bulduğu ve bu şekilde uzun gemi yollarıyla taşındığı İskoçya'da kayıtlara geçmiştir. Yaşam evresi tanımlanamamış ancak balast su örneğinde tayin edilmiştir. Ayrıca raporda, diğer Avrupa ülkelerinde kayıta rastlanmadığı söylenmektedir. Balast tankları karanlık üniteler olup, türün bir süre için bile olsa sürekli karanlık içinde üreyebilmesi ışık ve gün uzunluğu için geniş bir ranjı olduğu sonucunu dolaylı olarak göstermektedir. İzmir Körfezi'nden izole edilen *T. allenii* türüyle yapılan bu çalışmada, en düşük ışık şiddeti-sürekli aydınlık rejiminde, türün 4-20 °C aralığındaki tüm sıcaklıklarda, 4 °C sıcaklık için çok uzun bir lag faz gözlemlenmesi dışında, eksponensiyel faza hemen geçmiş olması bu ifadeyi doğrulamaktadır. Buna rağmen bir genelleme yapmak için tüm gün uzunluğu rejimlerinin incelenerek karşılaştırma yapılması uygun olacaktır.

Laws & Wong (1978), *T. alleni* türünün sürekli sistemde aydınlık-karanlık periyot (12L:12D) sürecinde azot sınırlı şartlar altında yaptığı çalışma sonucunda, karanlık periyot boyunca ortalama maksimum azot alım hızının, aydınlık periyot boyunca ortalama maksimum azot alım hızından daha büyük olduğunu bulmuşlardır.

Türün büyümesi için gün uzunluğunun ve ışık şiddetinin uygun şartlar sağlandığı takdirde (nütrient, sıcaklık gibi) geniş bir

ranjının olmasıyla birlikte; farklı gün uzunluğu ve ışık şiddeti, nütrient sınırlı kültürlerde nütrient alım hızlarında farklı sonuçlar vermiştir. Ancak, kesikli kültür sistemleriyle sürekli kültür sistemlerinden elde edilen sonuçların birbirinden farklı olduğu göz önüne alınırsa, bunun kullanılan kültür sisteminden kaynaklanıyor olması muhtemeldir.



Şekil.5.2. *T. allenii* türünün çeşitli sıcaklıklarda ışık şiddetleri ile spesifik büyüme hızları arasındaki ilişki.

## 5.2. Nütrientler

*T.allenii* türünün büyümesi üzerine sınırlayıcı etkiye sahip nütrientlerin belirlenmesi amacıyla,  $\text{NH}_4\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4\text{-P}$  ve Si'in

çeşitli konsantrasyonlarına maruz bırakılarak yapılan çalışmaların sonucunda elde edilen maksimum spesifik büyüme hızları ve yarı doygunluk sabitleri Tablo 5.5. da özetlenmiştir. Tablo.5.6. da çeşitli denizel plankton türlerinin sınırsız şartlar altında başlangıç nütrient alım hızları karşılaştırılmıştır.

*Scenedesmus sp.* türüyle çalışan Rhe (1978), azot sınırlı şartlar altında değişen hücre içi N/P oranlarına göre yarı doygunluk katsayılarının da değiştiğini bulmuş, azot sınırlı kültürlerde hücresel N/P oranlarının en yüksek olduğu anda yarı doygunluk sabiti düştüğünü ifade etmiştir. Fosfor ve azot sınırlı kültürlerde, nitrat azotu için maksimum alım hızının hücresel azot veya N/P oranının artmasıyla ters orantılı olarak düşüş gösterdiğini rapor etmiştir (İzgören, 1993).

**Tablo.5.5.** *T. allenii* türünün 11 °C ve 300 ftCd ışık şiddetinde nütrient denemelerinden edilen maksimum spesifik büyüme hızları ( $\mu$ , çiftlenme/gün) ve yarı doygunluk katsayıları ( $K_s$ ,  $\mu\text{g at/lit}$ ).

11 °C 300 ftCd	NÜTRİENTLER			
	NO <sub>3</sub> -N	NH <sub>4</sub> -N	PO <sub>4</sub> -P	Si
$\mu_{\text{max}}$	0.93*	1.034*	0.847**	0.991*
$K_s$	~0	0.05	0.55	~0***

\* P = 0.00, \*\* P < 0.0005., \*\*\* P < 0.05.

### 5.2.1. Nitrat

Fitoplanktonik organizmalarca alımı en kompleks azot formu, nitrattır. Nitrat alımın mekanizması; nitratın aktif taşınımı ve redüktaz enzimi ile nitrite indirgenmesinde enerjiye (NADH) ihtiyaç vardır(Mc Carty, 1980).

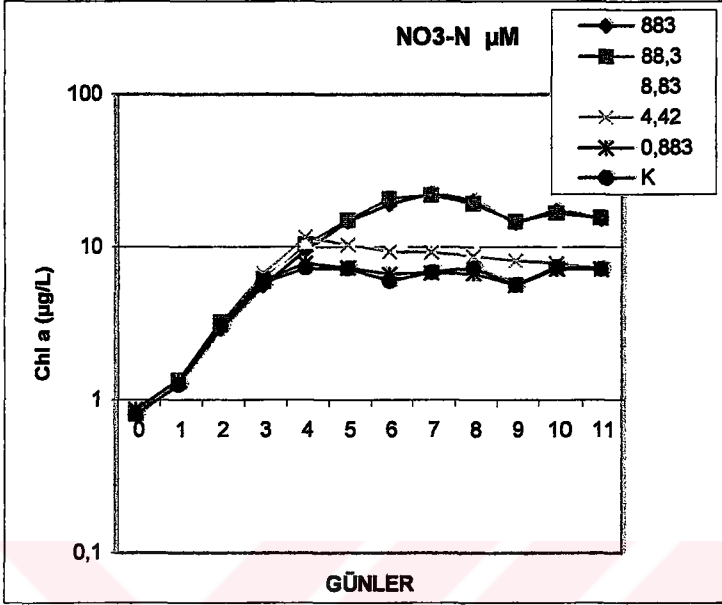
Nitrat nütrienti, ancak amonyum ve ürenin doygunluk konsantrasyon sınırının altında olduğu durumlarda fitoplankton tarafından tercihen kullanıldığı literatürde yer almaktadır.

11 °C sıcaklıkta 300 ftCd ışık şiddetinde yapılan denemelerde çeşitli nitrat azotu konsantrasyonları çalışılmış ve sonucunda yarı doygunluk sabiti ( $K_s$ ), ~0 µg at-N/l (P>0.05) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{max}$ ) 0.93 çifflenme/gün (P=0) olarak bulunmuştur.

Çeşitli nitrat azotu konsantrasyonlarına karşılık gelen eksponensiyel spesifik büyüme hızı arasındaki ilişki grafiksel olarak Şekil.5.3. de gösterilmiştir. Sınırlı nitrat azotu konsantrasyonlarına maruz bırakılan denemelerden elde edilen sonuçlara göre, *T. allenii* türü nitrata bağımlı gelişme göstermemiştir. Bu ifadeyi *T. allenii* türünün, azot formları içinde nitrattan ziyade amonyumu tercih ettiği şeklinde açıklamak mümkün olup, literatürle desteklenmektedir (Levasseur et. al.,1993).

**Tablo.5.6.** Sınırsız şartlar altında çeşitli denizel fitoplankton türleri için başlangıç maksimum nütrient alım hızları (Riegman et. al., 1990).

TÜR	Nütrient	$V_m$ Sınırsız şartlar (nm/ $\mu\text{g chl-a.h}^{-1}$ )	Kaynak
<i>Dytilum brightwellii</i>	N	33	Rijstenbil,1989
<i>Skeletomnema costatum</i>	N	40	Rijstenbil & Sinke,1989
<i>S.costatum</i>	N	42	Conway & Harrison, 1977
<i>Pavlova (Novachrysis) luthel</i>	N	32	Caperon & Mayer, 1972
<i>Chaetoceros debilis</i>	N	27	Conway & Harrison, 1977
<i>Thalassiosira gravida</i>	N	27	Conway & Harrison, 1977
<i>T. pseudonana</i>	N	17	Perry, 1976
<i>Dunaliella tertiolecta</i>	N	17	Caperon & Mayer, 1972
<i>Cyclotella nana</i>	N	65	Caperon & Mayer, 1972
<i>Chaetoceros debilis</i>	P	2,3	Conway & Harrison, 1977
<i>S.costatum</i>	P	5,1	Conway & Harrison, 1977
<i>T.gravida</i>	P	3,3	Conway & Harrison, 1977
<i>T. pseudonana</i>	P	1,6	Perry, 1976
<i>C. debilis</i>	Si	12,5	
<i>S.costatum</i>	Si	25	Conway & Harrison, 1977
<i>T. gravida</i>	Si	13,7	Conway & Harrison, 1977



Şekil.5.3. Çeşitli nitrat konsantrasyonlarına maruz bırakılan *T. allenii* türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.

Ayrıca, yapılan denemeler sonucunda, ortamdaki nitrat konsantrasyonu artıkça türün spesifik büyüme hızlarında düşüş olduğu görülmektedir. Bir başka deyişle, nitrat konsantrasyonları ile spesifik büyüme hızları negatif yönde bir ilişki içindedir. Yine, nitrat konsantrasyonu artıkça türün büyüme eğrilerinde, nitrat konsantrasyonunun *Chl a* üzerinde büyük etkisi olmadığı görülmektedir (Şekil.5.4.).

Son zamanlarda yapılan araştırmalarda azot alınımında sıcaklığın önemli bir rolü olduğu kayıtlara geçmiştir. Özellikle denizel diatom türlerinde 16 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda nitrat alım yeteneği

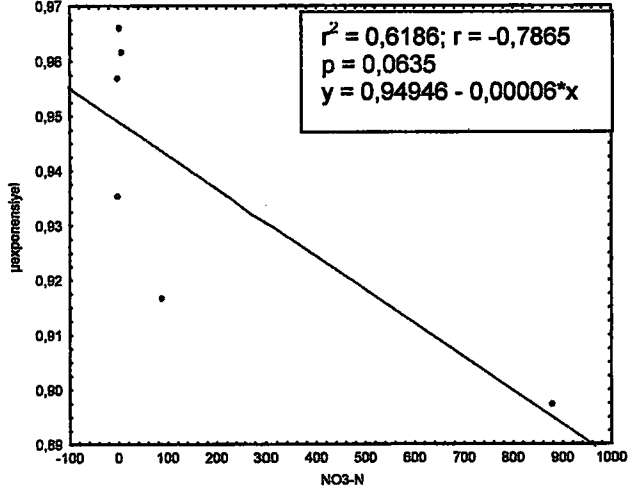
sınırlanmaktadır. Bu düşünce (Berges et. al., 2002) yapılan araştırmada *Thalassiosira pseudonana* diatom türünün sıcaklık artışıyla beraber büyüme hızlarının düştüğü sonucuyla desteklenmektedir.

Sonuç olarak, çeşitli nitrat konsantrasyonları için yapılan deneysel gözlem verileri ile, bu hesaplanan spesifik büyüme hızlarına göre *T. allenii* türü nitrata bağlı gelişim göstermemiş ve nitrat konsantrasyonunun artmasıyla birlikte spesifik büyüme hızları düşmüştür.

### 5.2.2. Amonyum

Amonyumun, azot formları içinde fitoplanktonik organizmalar tarafından en çok tercih edilen form olduğu bilinmektedir. Bunun nedeni, diğer azot formları gibi (nitrit ve nitrat) hücre zarından aktif bir mekanizmayla geçtiği halde bu mekanizma için ayrıca bir enzime ihtiyaç olmayışı ve doğrudan aminoasit sentezinde kullanıldığından dolayı enerji ihtiyacının olmayışıdır.

Bu tez çalışmasında, en küçük kareler metoduyla yapılan istatistik hesaplamalar sonucu, amonyum için ( $K_s$ ) 0,05  $\mu\text{g at-N/l}$  ( $P>0,05$ ) ve maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 1,034 çiftlenme/gün ( $P=0.00$ ) olarak bulunmuştur. Kısaca açıklanacak olursa, amonyum sınırlı şartların *T. allenii* türünün büyümesi üzerinde önemli bir sınırlayıcı faktördür ve bu sonuç literatürle tam bir uyum içerisindedir (Mc Carty, 1980).



Şekil.5.4. Çeşitli nitrat azotu konsantrasyonları ile spesifik büyüme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.

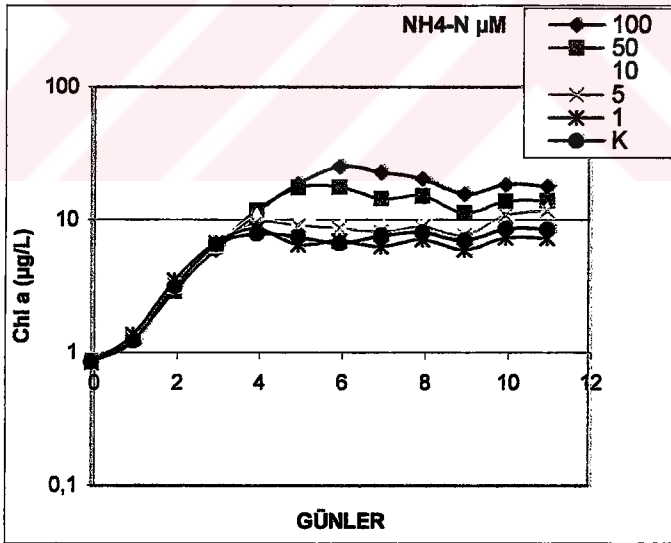
Başka bir değişle, *T. allenii* türü amonyum sınırlı gelişme gösteren bir türdür. Bu sonuç, Redalje & Laws (1983) ve Wong & Laws (1978) tarafından desteklenmektedir.

*T. weissflogii* türünün  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$  ve yüksek Fe içerikli deniz suyunda geniş sıcaklık ve ışık şiddeti aralığında büyüebildiği rapor edilmiştir. Türün maksimum büyüme hızı üzerinde N sınırlandırıcılığının olmadığı ancak,  $\text{NH}_4$  ortamındaki hücrelerin ışık şiddeti-büyüme eğrilerinin ilk eğimlerinin anlamlı ölçüde büyük olduğu rapor edilmiştir (Strzepke & Price 2000).

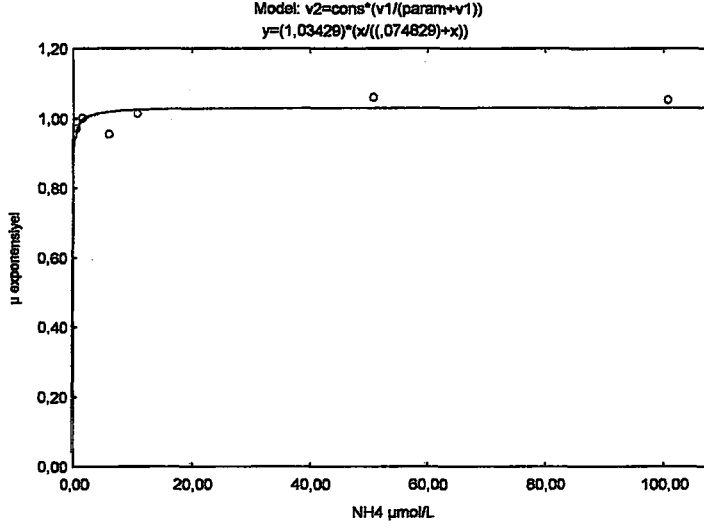
Bu tez çalışmasında ise; Şekil.5.5. de gösterilen grafikte, amonyum-spesifik büyüme hızları ilişkisi incelendiğinde, ortamdaki

amonyum konsantrasyonu arttıkça, türün spesifik büyüme hızlarında paralel olarak artışlar olduğu görülmektedir. Ayrıca, çeşitli amonyum konsantrasyonlarında türün büyüme eğrilerinde, amonyum konsantrasyonunun Chl *a* üzerindeki etkisi bariz bir şekilde görülmektedir (Şekil.5.6.). Bu sonuç Strzepek & Price ile uyum içerisindedir.

Sonuç olarak, çeşitli amonyum konsantrasyonları için yapılan deneysel gözlem verileri ile bu hesaplanan spesifik büyüme hızlarına göre *T. allenii* türü amonyum bağımlı gelişim göstermiş, amonyum konsantrasyonları arttıkça spesifik büyüme hızları paralel olarak artmıştır. Bulunan bu sonuç ise literatürle (Mc Carty, 1980) tam bir uyum içerisindedir.



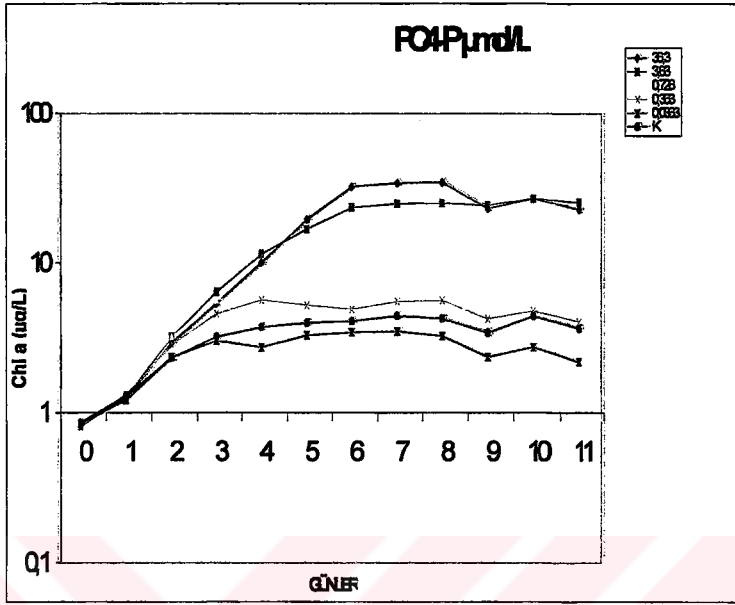
Şekil.5.5. Çeşitli amonyum konsantrasyonlarına maruz bırakılan *T.allenii* türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.



**Şekil.5.6.** Çeşitli amonyum azotu konsantrasyonlarına karşılık gelen eksponansiyel spesifik büyüme hızı arasındaki ilişki(Monod eğrisi).

### 5.2.3. Fosfat

Fosfatın fitoplankton artışını sınırlayan birincil faktör olabileceği (Peeters & Peperzak, 1990) gibi fosfor alımının, kısa süre denemelerinde, karanlık periyottan etkilenmeyebileceği (Terry, 1983), araştırmacılar tarafından desteklenmektedir. 1970'li yıllarda ise deniz biyologları tarafından azot-fosfor karşılaştırılmasında azotun deniz suyundaki fitoplankton büyümesi üzerinde ana limitleyici olduğu kabul edilmekteydi. Ancak, günümüzde deniz sistemleri için sadece azotun limitleyici olmadığı ve fosforun ana limitleyici olabileceği bilinmektedir. Tablo.5.7. de çeşitli denizel fitoplankton



Şekil.5.7. Çeşitli fosfat konsantrasyonlarına maruz bırakılan *T. allenii* türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.

türlerinin fosfat alım hızları için hesaplanmış yarı doygunluk katsayıları ( $K_s$ ) karşılaştırılmıştır.

İzmir Körfezi'nde aşırı kirlenmenin olduğu kanalizasyon çıkışlarındaki fitoplankton türlerinden bazılarının kirliliğe adapte olduğu saptanmıştır (Yurga, 1992). Kanalizasyon suları yüksek oranda fosfor içeren sular olduğu göz önüne alınırsa, su kolonunda değişimlere neden olması şaşırtıcı değildir. Laws & Redalje (1982), subtropikal haliç olan Kaneohe Körfezi'nde yaptıkları araştırmada, azotun tüm zenginleştirme demelerinde ana limitleyici faktör olduğunu ifade etmişler ancak; N/P oranının, hemen hemen tüm fitoplankton türleri için gerekli besin tuzları ihtiyacı açısından, şaşırtıcı boyutta düşük olduğunu rapor etmişlerdir. Bu araştırma, fosforun fitoplankton büyümesinde ne denli sınırlayıcı olabileceğini

göstermiş ve yüksek fosfor konsantrasyon düzeyinin hakim olduğu ortamlarda fitoplanktonik türlerin adapte olabildiğini ve aşırı üreyebileceğini desteklemiştir.

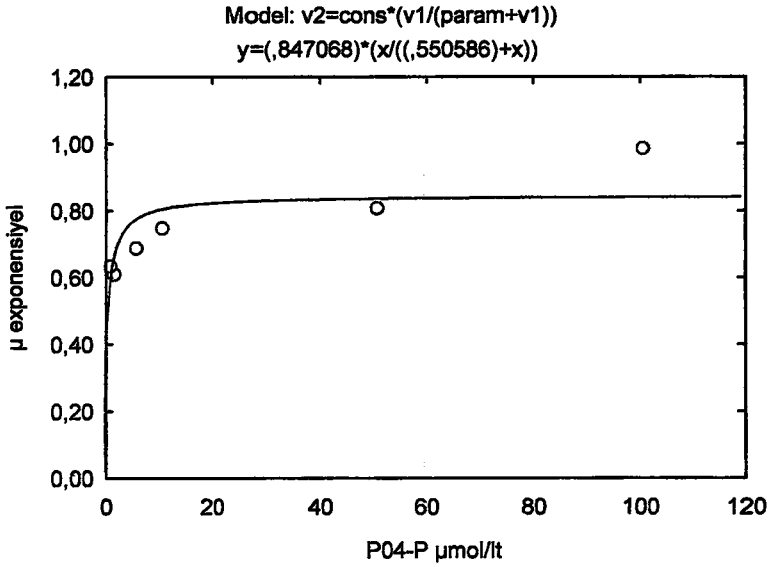
*T. allenii* türü için, 11 °C sıcaklıkta 300 ftCd ışık şiddetinde yapılan denemelerden elde edilen verilerle, spesifik büyüme hızları ve PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonları kullanılarak en küçük kareler metoduyla yapılan istatistik analiz sonucunda, spesifik büyüme hızları ve PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonları arasındaki ilişkinin önemli olduğu sonucu bulunmuştur ( $\mu_{max}$ ) 0.847 çiftlenme/gün (P<0.0005) ve ( $K_s$ ) 0.55 µg at-P/lit (P>0.05)).

Fosfat konsantrasyonu *T. allenii* türü için maksimum PO<sub>4</sub>-P konsantrasyonuna yaklaştıkça, hücrelerin fotosentetik aktivitelerinde artışlar gözlemlenmiştir. Çeşitli fosfat konsantrasyonlarına maruz bırakılan *T. allenii* türünün büyüme eğrileri Şekil.5.7. de gösterilmiştir. Leibig minimum kuralında, düşük besin düzeylerinde düşük büyüme hızlarına sebep olacağı ifade edilmektedir.

Bu çalışmada, fosfat konsantrasyonu azaldıkça üssel büyüme fazının kısaldığı ve spesifik büyüme hızlarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca, fosfat konsantrasyon düzeyi azaldıkça, hücrelerin ulaştıkları maksimum Chl *a* miktarlarında gözle görülür bir düşüş vardır (Şekil.5.7.). Yine bu denemeler sonucunda bulunan fosfat-büyüme hızı arasındaki ilişki Liebig'in minimum kuralıyla tam bir uyum içerisinde bulunmaktadır. Bir başka değişle yapılan denemelerle *T. allenii* türünün büyümesi üzerinde fosfatın limitleyici etkisi olduğu sonucu bulunmuştur.

**Tablo.5.7.** Çeşitli denizel fitoplankton türlerinin fosfat alım hızları için hesaplanmış yarı doygunluk katsayıları ( $K_s$ ) (Vamamoto ve Tarutani, 1999).

Tür	$K_s$ ( $\mu\text{mol/L}$ )	Kaynak
<b><u>Bacillariophyceae</u></b>		
<i>Skeletonema costatum</i>	0.68	Tarutani ve Yamamoto(1994)
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	0.58	Fuhs (1972)
	0.7	Perry (1976)
<i>Thalassiosira weissflogii</i>	1.72	Fuhs (1972)
<b><u>Dinophyceae</u></b>		
<i>Alexandrium tamarense</i>	2.6	Vamamoto ve Tarutani (1999)
	1.85	Yamamoto ve Tarutani (1996)
<i>Amphidinium carterse</i>	0.01	Deane and O'Brien (1981)
<i>Prorocentrum minimum</i>	1.96	Cembella (1984)
<i>Pyrocystis notiluca</i>	1.90	Rivkin ve Swift (1982)
<b><u>Euglenophyceae</u></b>		
<i>Fuglena gracilis</i>	0.7-2.8	Chisholm ve Stross (1976)
	1.4	Chisholm ve Stross (1976)
<b><u>Haptophyceae</u></b>		
<i>Pavlova lutheri</i>	0.38-0.63	Burmaster ve Chisholm (1979)
<b><u>Raphidophyceae</u></b>		
<i>Chaitoncila antiqua</i>	1.76-2.04	Makumura (1983)
<i>Olisthodiscus luteus</i>	1.00-1.98	Tomas (1979)



Şekil.5.8. Çeşitli fosfat konsantrasyonları karşılık gelen eksponensiyel spesifik büyüme hızı arasondaki ilişki (Monod eğrisi).

Aydın (1993), yaptığı rekabet denemesinde bu tür için fosfat sınırlayıcılığının tespit edilemediğini ifade etmektedir. İki çalışmadan elde edilen sonuçların farklı olduğu ortadadır. Bu farkın, kullanılan araştırma yöntemi farklılığından kaynaklanıyor olması yüksek ihtimaldir. Araştırmacı ayrıca, veri yetersizliğinin olduğu ve bu nedenden dolayı karşılaştırma yapmaktan kaçınıldığını ifade etmiştir.

Şekil.5.8. de görüleceği gibi uygulanan fosfat konsantrasyonları ile türün spesifik büyüme hızları arasında, pozitif yönde olan ilişki oldukça önemlidir ( $r=0.96$  ve  $p=0.002$ ). Sonuç olarak, çeşitli fosfat konsantrasyonları için yapılan deneysel gözlem verileri ile, bu verilerle elde edilen spesifik büyüme hızlarına göre; *T. allenii* türü fosfat sınırlı gelişim göstermiş, fosfat konsantrasyonu arttıkça büyüme hızları da paralel olarak artmıştır.

#### 5.2.4. Silikat

*T. allenii* türünün 11 °C sıcaklıkta 300 ftCd ışık şiddetinde yapılan denemelerde çeşitli silikat konsantrasyonları için  $K_s \approx 0$   $\mu\text{g at-Si/lt}$  ( $P < 0.05$ ) olarak bulunmuştur. Bulunan  $K_s$  değeri Monod denkleminde yerine konduğunda  $\mu = \mu_{\text{max}}$  sonucu çıkmaktadır. Yarı doygunluk katsayısının yaklaşık 0 bulunmasını iki şekilde açıklamak mümkündür. Birincisi; *T. allenii* türünün silikatsız ve silikatlı ortamların tümünde izole edilmiş olması, silikattan bağımsız gelişimini sürdürebilecek adaptasyonu sağladığını göstermiştir. Diğer taraftan, çalışmanın yapıldığı en düşük konsantrasyon olan (doğal deniz suyu) silikat konsantrasyonunun 8.36  $\mu\text{g at-Si/lt}$  düzeyinde silikat içermesi (bu konsantrasyonun düşük sayılabilecek bir konsantrasyon olmadığı düşünülürse) bu konsantrasyondan daha düşük silikat konsantrasyonlarında sınırlayıcılığı var olması mümkündür. Bir başka deyişle, çalışmada kullanılan silikat konsantrasyonları ( $\mu = \mu_{\text{max}}$  olduğu silikat konsantrasyonlar) *T. allenii* türü için silikatın sınırlayıcı konsantrasyonu olmayabilir.

Spesifik büyüme hızının maksimum spesifik büyüme hıza eşit olduğu andaki ( $\mu = \mu_{\text{max}}$ ) maksimum spesifik büyüme hızı ( $\mu_{\text{max}}$ ) 0.991 çiftlenme/gün ( $P = 0.000$ ) olarak bulunmuştur. Bulunan bu değer istatistiksel olarak oldukça önemli olduğu görülmektedir. İzmir Körfezi'nde aynı türle yapılan bir diğer araştırmada rekabet denemeleri yapılmış ve çeşitli silikat konsantrasyonlarda zenginleştirme çalışmaları sonucunda 10 °C sıcaklıkta  $K_s$  değeri 45.14  $\mu\text{g at Si/lt}$  ve  $\mu_{\text{max}}$  1.28 çiftlenme/gün olarak bulunmuştur (Aydın, 1993).

Rekabet denemeleriyle kesikli kültür sisteminde yapılan denemelerde elde edilen sonuçların birbirinden farklılıklar göstermesi mümkündür. Ancak, *T. allenii* türü ile yapılan bu iki deneme sonucunda bulunun  $K_s$  değerlerinin birbirinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Araştırmacı, *T. allenii* gibi küçük bir tür için  $K_s$  değerinin büyük bulunmasının düşündürücü olduğu söylenmiş, yüksek  $K_s$  değerini veri yetersizliğine bağlamıştır (Aydın, 1993).

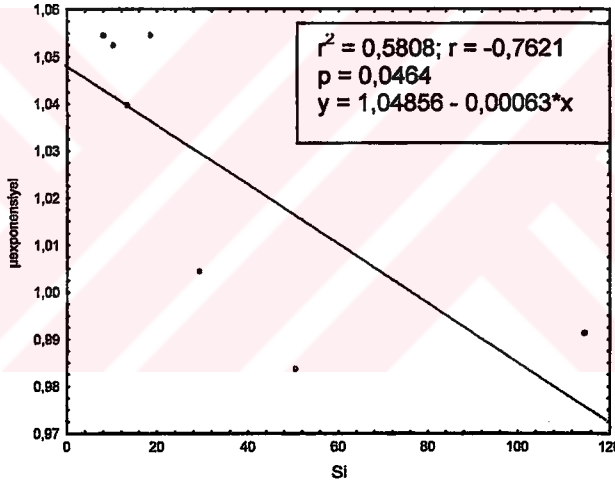
Söz konusu denemenin yapıldığı Şubat ayı *Chaetoceros* ve *T. allenii* için elde edilen  $K_s$  ve  $\mu_{max}$  değerlerine şüpheyle yaklaşmış, karşılaştırma yapmaktan kaçınılmış ve yine verilerin yetersizliğinden kaynaklanmış olabileceğini söylemiştir (Aydın, 1993).

Bu tez çalışmasındada *T. allenii* türünün mono kültürünün-kesikli kültür sisteminde yapılan denemelerinden elde edilen spesifik büyüme hızları, yüksek silikat konsantrasyon düzeylerinde düşük iken, silikat konsantrasyonu düştükçe nispeten yükselmeler görülmüştür. *T. allenii* türünün maruz bırakıldığı silikat konsantrasyonlarına (S) karşılık spesifik büyüme hızı ( $\mu$ ) değerleri grafiğe geçirildiğinde, silikat konsantrasyonuyla, büyüme hızlarının negatif ilişkisi olduğu görülmektedir (Şekil.5.9.). Nitekim, çeşitli silikat konsantrasyon düzeylerine maruz bırakılan *T. allenii* türünün yapılan denemelerden elde edilen büyüme eğrileri incelendiğinde büyüme eğrilerinin birebir benzerliği görülmektedir (Şekil.5.10.).

Planktonik alglerde nütrient alım kinetiklerinde hücre büyüklükleri arttıkça yarı doygunluk katsayıları da artma eğiliminde olduğu bilinmektedir (Paacshe, 1975). Bu ifade *T. allenii* gibi küçük

bir tür için düşük bir yarı doygunluk katsayısı bulunabilmesi mümkün olduğunu desteklemektedir. Literatürde de küçük türlerin yarı doygunluk katsayılarının da küçük olduğu söylenmektedir. Denizel diatomlarda silikat alım ve silikat sınırlı şartlar altındaki yarı-doygunluk katsayıları ( $K_s$ ) Tablo 5.8 de karşılaştırılmıştır.

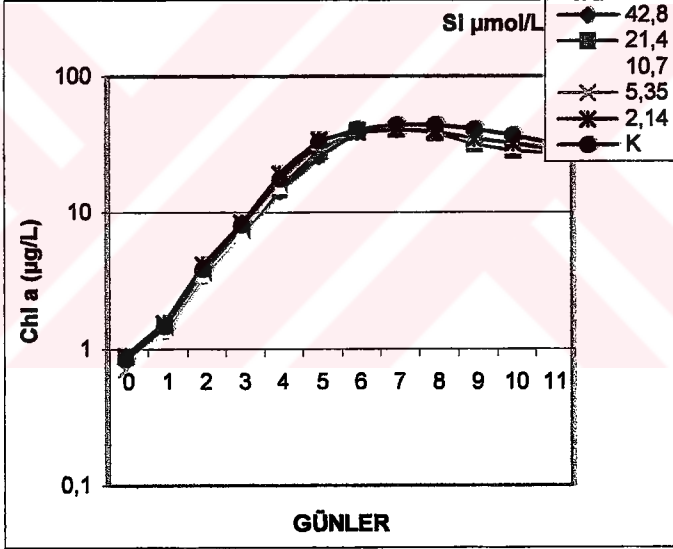
Paasche (1980), diatom kesikli kültüründe  $\text{Si}(\text{OH})_4$  eksikliği oluştuğunda, son gelişen hücre valvelerinde kötü bir silifikasyon gözleneceğini ifade etmiştir (İzğören, 1993).



Şekil.5.9. Çeşitli silikat konsantrasyonları ile spesifik büyüme hızı arasındaki ilişkiyi gösteren grafik.

Literatürde, Si sınırlı hücelere kıyasla, silisyumsuz hücrelerde hücre başına düşen Si miktarında artış olduğu ve bunun kesikli kültür sisteminde üretilmelerinden kaynaklandığı belirtilmiş; silikat doygunu bir kültürün ani olarak silisyumsuz durgunluk fazına girdiği takdirde, daha ince fristül oluşumunun adaptasyonu için yeterli zamanın olmayacağı ifade edilmektedir. Bu nedenle

başlangıçta silisyum kaynağı olmadan (deniz suyundaki silisyum hariç) kesikli kültür sisteminde gelişen hücrelerin bu adaptasyonu sağlayabilmeleri olasıdır. Bununla beraber, deniz suyundaki silikat konsantrasyon düzeyinin yeterli olmaması ihtimalinde dahi; ilave silikat zenginleştirilmesi olmadan türün kültürünün yapılabildiği göz önüne alınırsa, silifikasyon işleminin gerçekleştiği söylenebilir. Diğer taraftan, hücre valvelerinin silikat durumu ve hücre başına düşen silikat miktarı kesinlik göstermesi bakımından ileride incelenmelidir.



Şekil.5.10. Çeşitli silikat konsantrasyonlarına maruz bırakılan *T. allenii* türünün büyüme eğrilerinin logaritmik olarak gösterimi.

**Tablo.5.8.** Denizel diatomlarda silikat alım ve silikat sınırlı şartlar altındaki yarı-doğrunluk katsayıları ( $K_s$ ) (Paasche, 1975).

Tür	Deneme Tipi	$K_s$ , $\mu\text{g at.Si/L}$	Kaynak
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Clone3H	Kemostat büyüme	0.48-1.36	Pasche (1973)
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Clone3H	Kesikli kültür büyüme	0.98	Guillard, Kilham, Jackson (1973)
<i>Thalassiosira pseudonana</i> Clone13-1	Kesikli kültür büyüme	0.19	Guillard, Kilham, Jackson (1973)
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	Kesikli kültür büyüme	0.02-0.09	Paasche (1975)
5 diatom türü	Uptake	0.8-3.37	Pasche (1973)
<i>Nitzschia alba</i>	Uptake	4.5	Azam, Hemmingsen, Volcani (1974)
Doğal ortam fitoplankton	Uptake	2.93	Goering, Nelson, Carter (1973)

Eğer kesikli kültürü sisteminde kültürü yapılan *T. allenii* türünün silisyum eksikliği söz konusu ise, kültürün oluşumu aşamasında hücre duvarının yapısında çeşitli morfolojik değişimlerin (valvelerin normalden ince olması gibi) meydana gelmesi gerekir.

Diğer taraftan, silikat eksikliğinde kesikli bir sistemde adapte olmuş hücrelerin, ortama yüksek silikat konsantrasyon düzeyinin

ilavesiyle türün büyümesi negatif yönde etkilenmiş olması mümkündür. Denemelerden elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, yüksek silikat konsantrasyon düzeylerine maruz bırakılan hücrelerin büyüme grafiklerinde, daha düşük silikat konsantrasyon düzeylerinde gözlemlenen değerlerden farklı bir durum gözlenmemesine rağmen, büyüme hızlarında kayda değer düşüşler olmuştur. Yüksek silikat konsantrasyon düzeylerinin diatom büyümesi üzerinde negatif bir etki gösterdiği ve lag fazda ölümlerin arttığı literatürde geçmektedir (Bkz.; Büyüksık vd. 1994).

Benzer şekilde bu araştırmada 16 °C sıcaklığın üzerindeki tüm deneme sıcaklıklarında, (20 °C, 24 °C, 28 °C, ve 30 °C) mevcut olan silikat konsantrasyon düzeyinde, tür adapte olmamış, üssel büyüme fazına geçememiş, bir başka deyişle lag fazda ölümler artmıştır. Çeşitli silikat konsantrasyonları karşılık gelen eksponensiyel spesifik büyüme hızı arasındaki ilişki Şekil.5.9. da gösterilmiştir. Paasche, *Thalassiosira nordenskiöldii* Cleve türünün silikat sınırlı şartlar altında 3 °C sıcaklıkta yarı doyumluk katsayısını 0.09 µgat Si/lit ve spesifik büyüme hızı 1.26 çiftlenme/gün, 10 °C sıcaklıkta 0.02 µgat Si/lit ve spesifik büyüme hızı 0.89 çiftlenme/gün olarak bulmuştur (Paasche, 1975). Yine bu literatürde sıcaklık artışı ile birlikte spesifik büyüme hızlarında düşüş olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak, *T. allenii* türü için demeleri yapılan silikat konsantrasyon düzeylerinde silikat sınırlayıcılığı tespit edilememiş, silikat konsantrasyonu ile spesifik büyüme hızlarının negatif bir ilişki içerisinde olduğu ve tüm konsantrasyonlarda türün büyüme eğrilerinin benzer olduğu görülmüştür.

Bu çalışmanın sonucunda kesikli kültür sisteminde sürekli aydınlık rejimi, 6 ayrı ışık şiddeti (50, 300, 600, 900, 1200, 1500 ftCd) ve 7 farklı sıcaklığın (4, 8, 11, 16, 20, 22, 24, 28 °C) *T. allenii* Takano türünün büyümesi üzerine etkileri ve türün optimumu olarak tespit edilen 11 °C sıcaklıkta, 300 ftCd ışık şiddetinde nütrientlerin (N-P-Si) türün büyümesi üzerinde etkileri araştırılmıştır. *T. allenii* türünün (optimum ışık şiddeti ve sıcaklıkta) her bir nütrient için hesaplanan  $K_s$  ve  $\mu_{max}$  değerleri sırasıyla: nitrat için  $\sim 0$   $\mu\text{mol NO}_3\text{-N/l}$  ve 0.93 çiftlenme/gün, amonyum için 0.05  $\mu\text{mol NH}_4\text{-N/l}$  ve 1.034 çiftlenme/gün, fosfat için 0.55  $\mu\text{mol PO}_4\text{-P/l}$  ve 0.847 çiftlenme/gün ve silikat için  $\sim 0$   $\mu\text{mol Si/l}$  ve 0.991 çiftlenme/gün olarak elde edilmiştir.

## 6. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Allredge, A.L., Cowles, T., MacIntyre, S., Rines, J.E.B., Donaghay, P.L., Greenlaw, C. F., Holliday, D.V., Deksheniaks, M. M., Sullivan, J. M., Zaneveld, J.R.V., 2002.** Occurrence and mechanisms of formation of a dramatic thin layer of marine snow in the a shallow Pacific fjord. *Marine Ecology Progress Series*. Vol. 233. pp. 1-12.
- Aydın, H. ve Büyükişik, B.,1994.** İzmir Körfezi'nde fitoplankton büyümesi üzerine nütrient sınırlaması. *E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi* Seri B., Ek 16/1, 1141-1149 s:
- Aydın, H., 1993.** İzmir Körfezi fitoplanktonunun gelişimi üzerine sınırlayıcı faktörler. *E.Ü. Fen Bilimleri E. Y.Lisans Tezi*. İzmir, 94 s.
- Aydın, H., 1998.** Dem Limanı'nda (Çandarlı Körfezi) fitoplankton populasyon dinamiği üzerine araştırmalar. *E.Ü. Fen Bilimleri E. Doktora Tezi*. İzmir 77 s.
- Berges, J. A., Varela, D. E., Harrison, P. J., 2002.** Effects of temperature on growth rate, cell composition and nitrogen metabolism in the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae). *Marine Ecology Progress Series* Vol. 235, pp. 139-146.
- Brand, L.E. & Guillard, R. R.L., 1981.** The effects of continuous light and light intensity on the reproduction rates of twenty-two spesies of marine phytoplankton. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 50. pp. 119-132.

- Brown, M.R. & Miller, K.A., 1992.** The ascorbic acid content of eleven species of microalgae used in mariculture. *Journal of Applied Phycology*. 6, pp. 61-65.
- Brzezinski, M.A., Nelson, D.M., 1989.** Seasonal changes in the silicon cycle within a Gulf Stream warm-core ring. *Deep Sea Research*. 36, pp. 1009-1030.
- Burmester, D.E. & Chisholm, S.W., 1979.** A comparison of two methods for measuring phosphate uptake by *Monochrysis lutheri* Droop Grown in continuous culture. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 39, pp. 187-202.
- Burmester, D.F., 1979.** The unsteady continuous culture of phosphate-limited *Monochrysis lutheri* Droop: experimental and theoretical analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 39. pp. 167-186.
- Büyükişık, B., 1983.** İzmir Körfezi'nde nütrientler ve dağılımlarının incelenmesi. *E.Ü. Fen Fakültesi Y. Lisans Tezi*. İzmir, 59 s.
- Büyükişık, B., 1983-1984.** The surface distribution of Alimmanla in İzmir Bay. *E.U. Faculty of Science Journal, Series B*, Vol. VII, pp.1-9.
- Büyükişık, B., 1986.** İzmir Körfezi ve Gülbahçe Körfezi'nde karşılaştırmalı olarak nütrient dinamikleri üzerine araştırmalar. *E.Ü. Fen Fakültesi, Doktora Tezi*, İzmir, 191 s
- Büyükişık, B., Gökpinar, Ş., Parlak, H., 1994.** *Chaetoceros didymum* ve *Tahalassiosira gravida* Türlerinin Büyüme Kinetikleri Üzerine Araştırma. *E.Ü.Fen Fakültesi Dergisi*, Seri B, Ek 16(1): 1151-1159 )

- Caron, A., Mortain-Bertrand, A., Jupin, H., 1988.** Effect of photoperiod on photosynthesis characteristics of two marine diatoms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 123. pp. 211-226.
- Cirik, S., Gökpinar, Ş., 1993.** Plankton Bilgisi ve Kültürü. *E.Ü. Su Ürünleri Yayınları*, No: 47., 274 s. İzmir.
- Cirik, S., Gökpinar, Ş., Önen, M., Yaramaz, Ö., 1991.** Urla İskelesinde ve açıklarda deniz kirliliğinin neden olduğu bazı biyolojik olaylar. *Eğitimin 10. Yılında Su Ürünleri Sempozyumu*, İzmir, 391-396.
- Cochlan, W.P. & Harrison, P.J., 1991.** Kinetics of nitrogen (nitrate, ammonium and urea) uptake by the picoflagellate *Micromonas pusilla* (Prasinophyceae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 153. pp. 129-141.
- Collos, Y., Siddiqi, M. Y., Wang, M. Y., Glass, A.D.M. and Harrison, P.J., 1992.** Nitrate uptake kinetics by two marine diatoms using the radioactive tracer  $^{13}\text{N}$ . *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 163. pp. 251-260.
- Creswell, R.L., 1993.** Aquaculture Desk Reference. Harbor Branch Oceanographic Ins. Inc. Publ. Nostrand Reinhold, New York., 206 pages.
- Davidson, K. & Gurney, W.S.C., 1999.** An investigation of non-steady-state algal growth II. Mathematical modelling of co-nutrient-limited algal growth. *Journal of Plankton Research*. Vol. 21. No: 5. pp. 839-858.
- Davidson, K., Wood, G., John, E.H. & Flynn, K.J., 1999.** An investigation of non-steady-state algal growth. I. An

experimental model ecosystem. *Journal of Plankton Research*. Vol. 21. No: 5. pp. 811-837.

**Downing, J.A.**, 1997. Marine nitrogen: phosphorus stoichiometry and global N:P cycle. *Biogeochemistry*. Vol. 37. pp. 237-252.

**Edwards, V.R., Tett, P., Jones, K.J.**, 2003. Changes in the yield of chlorophyll a from dissolved available inorganic nitrogen after an enrichment event applications for predicting eutrophication in coastal waters. *Continental Shelf Research*. Vol. 23. pp. 1771-1785.

**Erduran, E.**, 1994. Bodrum Körfezi'nde Fitoplankton Büyümesi Üzerinde Nütrientlerin Sınırlayıcı Etkileri. *D.E.Ü.Fen Bilimleri Ens. Y. Lisans Tezi İzmir*, 73 s.

**Flynn, K.J.**, 2003. Do we need complex mesocosmic photoacclimation models for phytoplankton? *Ecology Research*. Vol. 48063. pp. 2243-2249.

**Geldiay, R. ve Uysal, H.**, 1978. A report on the primary productivity in the bay of İzmir. *Journal of the Faculty of Science, Series B* 2(1): 3-24.

**Gilstad, M. & Sakshaug, E.**, 1990. Growth rates of ten diatom species from the Barent Sea at different irradiance and day lengths. *Marine Ecology and Progress Series*. Vol. 64. pp. 169-173.

**Gordon, R & Drum, R.W.** 1994. The chemical basis of diatom morphogenesis. *Int. Rev. Cytol.* 150: 243-372.

**Gökpınar, Ş.**, 1991. Akuakültürde önemli beş deniz flagellatının inorganik azot alımları üzerine sıcaklık değişimlerinin etkisi. *D.E.Ü.Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Ens. Doktora Tezi.*, İzmir, 88 s.

- Gökpınar, Ş.**, 1994. *Nannochloris sp.* (Chlorophyceae) inorganik azot kaynaklarını kullanımı üzerine sıcaklık değişimlerinin etkileri. *E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi* Seri B., Ek 16/1: 1169-1176 s.
- Haris, A.S.D., Medlin, L.K., Lewis, J. and Jones, K.J.** 1995. *Thalassiosira* species (Bacillariophyceae) from a Scottish sea-loch. *Eur. J. Phycology*. Vol. 30. pp. 117-131.
- Harrison, P. J., Thompson, P. A., Guo, M., Taylor, F. J. R.**, 1993. Effects of light, temperature and salinity on the growth rate of harmful marine diatoms, *Cheatoceros convolutus* and *Cheatoceros convavicornis* that kill nepten salmon. *Journal of Applied Phycology*. Vol. 5. pp. 259-265.
- Hasle, G.R. & Fryxell, G.A.**, 1995. Taxonomy of Diatoms, Intergovernment Oceanographic Commission, UNESCO. pp 339-348.
- Hecky, R.E.& Kilham, P.**, 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. *Limnology and Oceanography*. Vol. 33. pp. 796-822.
- Hein, M. & Riemann, B.**, 1995. Nutrient limitation of phytoplankton biomass or growth rate: an experimental approach using marine enclosures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 188. pp. 167-180.
- İzğören, S. ve Büyükkışık, B.**, 1994. Melez Çayı'nda bir yıllık anyonik deterjan ve nütrient konsantrasyonları. *E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi* Seri B., Ek 16/1.
- İzğören, S.**, 1993. Genus *Chaetoseros* (Bacillariophyceae) üzerine kinetik çalışmalar. *E.Ü. Fen Bilimleri E. Doktora Tezi.*, İzmir, 157 s.

**Kevin J. Flynn, Veronique Martin-Jézéquel., 2000.** Modelling Si-N limited growth of diatoms. *Journal of Plankton Research* Vol. 22. No: 3. pp. 447-472.

**Koray, T., 1984,** The occurrence of red-tides and causative organisms in İzmir Bay. *E.U. Faculty of Science Journal, Series B1(7):* pp.75-83.

**Koray, T., Büyükuşık, B., Parlak, H., Gökpinar, Ş., 1992,** İzmir Körfezi'nde deniz suyu kalitesini etkileyen tek hücreli organizmalar: Red-tide ve diğer aşırı üreme olaylar., *Doğa-Tr. J. Of Biology*, 16: 135-157 s.

**Koray, T., 1985.** İzmir Körfezi'nin mikroplanktonunda meydana gelen değişimlerde ortam faktörlerinin rolü. Ege Üni., Doktora Tezi, İzmir, 152 s.

**Kristiansen, S.& Hoell, E.E., 2002.** The importance of silicon for marine production. *Hydrobiologia* 484: pp. 21-31.

**Lara Lara, J.R., Frey, B.E., & Small, L.F., 1990.** Primary production in the Colombia River Estuary: I. spatial and temporal variability of properties. *Pasific Science*. Vol.44. pp. 17-37.

**Laws, E.A. & Redalje, D.G., 1982.** Sewage diversion effects on the water column of a subtropical estuary. *Marine Environmental Research*. Vol. 6. pp. 265-279.

**Laws, E.A. & Wong, D.C.L., 1978.** Studies of carbon and nitrogen metabolism by the three marine phytoplankton species in nitrate-limited continuous culture. *Journal of Phycology*, Vol.14. pp. 406-416.

**Levasseur, M., Thompson, P.A., Harrison, P.J., 1993.** Physiological accumulation of marine phytoplankton to

different nitrogen sources. *Journal of Phycology*. Vol. 29. pp.587-595.

**Li, W. K. W.**, 1984. A modified logistic growth equation: effects of cadmium chloride on the diatom, *Thalassiosira weissflogii* and the dinoflagellate, *Amphidinium carteri* in unialgal and bialgal batch cultures. *Aquatic Toxicology*. Vol. 5. pp. 307-313.

**Maldonado, M.A., Price, N.M.** (2001). Reduction and transport organically bound iron *Thalassiosira oceanica* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycol.*37. pp. 298-300.

**Mallin, M.A., Cahoon, L.B., Melver, M.R., Parsons, D.C., & Shank, G.C.**, 1998. Alternation of factors limiting phytoplankton production in the Fear River Estuary. *Estuaries*. Vol. 22. pp. 825-836.

**Mc Carthy, J.J.**, 1980. Nitrogen in Physiological Ecology of Phytoplankton (Ed.I.Morris) *Blackwell Scientific Publications*. 621p.

**Michael & Edward**, 1990. A test of the assumption and predictions of recent microalgal growth models with the marine phytoplankter *Pavlova lutheri*. *Limnology and Oceanography*. Vol. 35. (3), pp.583-596.

**Miguez, B.M., Farina-Busto, L., Figueiras, F.G. & Perez, F.F.**, 2001. Succession of phytoplankton assemblages in relation to estuarine hydrodynamics in the Ria de Vigo: a box model approach. *Scientia Marina*. Vol. 65. pp. 65-76.

**Mochizuki, M., Shiga, N., Saito, M., Imai, K., Nojiri, N.**, 2002. Seasonal changes in nutrients, chlorophyll *a* and the phytoplankton assemblage of the western subarctic gyre in the Pacific Ocean. *Deep Sea Research II*. Vol. 49. pp. 5421-5439.

- Montagnes, D.J.S. & Franklin, D.J., 2001.** Effects of temperature on diatom volum, growth rate, and coarbon and nitrogen content: Reconsidering some paradigms. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 46(8). pp. 2008-2018.
- Muylaert, K. & Sabbe, K.,1996.** The diatom genus *Thalassiosira* (Bacillariophyta) in the estuaries of the Schelde (Belgium/ The Netherlands) and the Elbe (Germany). *Bot. Mar.* Vol. 39. pp. 103-115.
- Officer, C.B. & Ryhter, J.H.,1980.** The possible importance of silicon in marine cutrophication. *Marine Ecology Progress Serie.* Vol. 3. pp. 83-91.
- Paasche, 1975.** Growth of the plankton diatom *Thalassiosira nordenskioldii* Cleve at low silicate concentrations. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* Vol.18. pp. 173-183.
- Paasche, E., 1980.** Silicon content of five marine plankton diatom spesies measured with a rapid filter method. *Limnology and Oceanography.* Vol. 25. pp. 474-480.
- Parsow, J.S., Harrison, P.J., Thompson, P.A., 1985.** Interpreting changes in uptake kinetics in the marine diatom *Thalassiosira pseudonana* (Husedt). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* Vol. 91. pp. 53-64.
- Peeters, J.C.H. & Peperzak, L., 1990.** Nutrient limitation in the North Sea: a bioassay approach. *Netherlands Journal of sea Reaserch.* Vol. 26(1). pp.61-73.
- Pilson, M.E.Q., 1999.** An introduction to the chemistry of the sea. *Uni.of Rhode Island.* 430 pages.

- Piyatiratitivorakul, P., Lirdwitayaprasit, T., Thooithaisong, J.,** 2002. Laboratory studies on chemical control of ride tide phytoplankton (*Chattonella marina* and *Heterosigma akasiwo*) for Black Tiger Shrimp (*Penaeus monodon*) culture. *Science Asia*. Vol. 28. pp. 217-220.
- Raimbault, P. & Gentilhomme, V.,** 1990. short- and lond-term responses of the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* to skipe additions of nitrate at nonnomolar levels. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol.135. pp. 161-176.
- Raven ,J.A.,** 1983. The transport and function of silicon in plants. *Biol. Rev.* Vol. 58. pp. 179-207.
- Redalje, D.G. & Laws, E.A.,** 1981. A new method for estimating phytoplankton growth rates and carbon biomass.
- Redalje, D.G. & Laws, E.A.,** 1983. The effects of environmental faktors on growth and the chemical and biochemical composition of marine diatoms. I. Light and temperature effects. *Journal of Marine Biology and Ecology*. Vol. 68. pp. 59-79.
- Riegman, R., Colijn, F., Malscchaert, J. F. P., Kloosterhuis, H. T.,** 1990. Assesment of growth rate limiting nutrient in the North Sea by the use of nutrient-uptake kinetics. *Netherlands Journal of Sea research*. Vol. 26 (1). pp. 53-60.
- Saito, H., Tsuda, A., Kasai, H.,** 2001. Nutrient and plankton dynamics in the oyashio region of the western subarectic Pasific Ocean. *Deep-Sea Research*. Vol. 2. No: 49. pp. 5463-5486.
- Shuter, B. J.,** 1979. A model of physicological adaptation in unicelluler algae. *Journal of Theor. Biol.* Vol. 78. pp. 519-552.

- Smayda, T.J.**, 1997. Harmfull algal blooms: Their ecophysiology and general revelance to phytoplankton blooms in the sea. *Limnol. Oceanogr.* Vol. 42(5. part 2). pp. 1137-1153.
- Smith, R.E.H., & Gedier, R.J.**, 1985. Kineticsof intracelluler carbon allocation in a marine diatom. *Journal of Marine Biology and Ecology.* Vol. 93. pp. 191-210.
- Sterner, R.W. & Grover, J.P.**, 1998. Algal growth in warm temperate reservoirs: kinetic examination of nitrogen, temperature, light and other nutrients. *Water Research.* Vol. 32. No: 12. pp. 3539-3548.
- Strzepek & Price**, 2000. Influence of irrirdiance and temperature on the iron content of the marine diatom *Thalassiosira weissflogii* (Bacillariophyceae). *Marine Ecology Progress Series.* Vol. 206. pp.107-117.
- Takahashi, M., Fujii, K., Persons, T.R.**, 1973. Simulation study of phytoplankton photosynthesis and growth in the fraser river estuary. *Marine Biology.* Vol. 19. pp. 102-116.
- Terry, K.L.**, 1983. Temperature dependence of ammonium and phosphate uptake, and their interactions in the marine diatom *Phaeodactylum tricornutum* Bolhin. *Marine Biology Lett.* Vol. 66. pp. 805-808.
- Terry, K.L., Hirata, J., Laws, E.A.**, 1983. Ligth-limited growth two strains of the marine diatom *Phaeodactylum tricornuttum* Bohlin: chemical composition, carbon partitioning and the diel periodicity of physiological processes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* Vol. 68. pp. 209-227.
- Terry, K.L., Hirata, J., Laws, E.A.**, 1985. Ligth-, nitrogen-and phosporus-limited growth of *Phaeodactylum tricornutum* Bolhin (TFX-1): chemical composition, carbon partitioning,

and the diel periodicity of physiological process. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 86. pp. 85-100.

**Turpin, D.H., & Harrison, P.J., 1979.** Limiting patchiness and its role in phytoplankton ecology. *Journal of Marine Biology and Ecology*. Vol. 39. pp. 151-166.

**Tüfekçi, V., Okay, O., Morkoç, E. 1994.** Kesikli Sistemlerde Azotun *Asterionella Japonica* 'nın Büyümesi Üzerine Etkisi. *E.Ü. Fen Fakültesi Dergisi*, Seri B, Ek 16(1).

**Tüfekçi, V., Tüfekçi, H., 1996.** Determination of growth limiting nutrient for (*Skeletonema costatum*) in batch-culture experiments. *II. International Symposium on Aquatic Products*. September 21-23, İstanbul, Turkey.

**Vamamoto, T., & Tarutani, K., 1999.** Growth and phosphate uptake kinetics of the toxic dinoflagellate *Alexandrium tamarense* from Hiroshima Bay in the Seto Inland Sea, Japan. *Phycological Research*. 47: pp. 27-32.

**Varum, K.M. & Mykkestad, S., 1984.** Effect of salinity and nutrient limitation on the production of  $\beta$ -1,3-D- glukan and exo-D-glucanase activity in *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 83. pp. 13-25.

**Verity, P.G., 1981.** Effects of temperature, irradiance, and daylength on the marine diatom *Leptocylindrus danicus* Cleve. II. Excretion. *Journal of Marine Biology and Ecology*. Vol. 55. pp. 159-169.

**Visser, F., Gerringa, L.J.A., Van der Gaast, S.J., W.de Baar, H.J. and Timmermans, K.S., 2003.** The role of the reactivity and

content of aerosol dust on growth rates two Antarctic diatom species. *Journal of Phycology*. Vol. 39. pp. 1085-1094.

**Wang, W.-X., Dei, R.C.H., 2001.** Effects of major nutrient additions on metal uptake in phytoplankton. *Environmental Pollution*. Vol. 111. pp. 233-240.

**Wu, J.T. & Chou, T.L., 2003.** Silicate as the limiting nutrient for phytoplankton in a subtropical eutropic estuary of Twain. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. Vol. 58. pp. 155-162.

**Yin, K., Harrison, P.J., Dortch, Q., 1998.** Lack of ammonium inhibition of nitrate uptake for a diatom grown under low light conditions. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. Vol. 228. pp. 151-165.

**Yurga, L., 1992.** İzmir Körfezi'nde bazı kanalizasyon çevresindeki mikroplankton toplulukları üzerine ekolojik araştırmalar. *E.Ü. Fen Bilimleri E. Yüksek Lisans Tezi*. İzmir. 40 s.

**Zonneveld, C., 1998.** Light-limited microalgal growth: a comparison of modelling approaches. *Ecological Modelling*. Vol. 113. pp. 41-54.

**Zonneveld, C., 1998.** A cell-based model for the chlorophyll a to carbon ratio in phytoplankton. *Ecological Modelling*. Vol. 113. pp. 55-70.



## 7. ÖZGEÇMİŞ

1971 yılında Erzurum’da doğan H. Gökür ŞİŞMAN AYDIN, ilk orta lise tahsilini aynı ilde tamamladıktan sonra, yüksek öğrenimini 1990-1994 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde yapmıştır.

1994 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Çevre Teknolojisi Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamış ve 1998 yılında “Simulation of Water Treatment Plant” konulu Yüksek Lisans Tezini tamamlamıştır.

1998-2000 tarihleri arasında Alfa Çukurova Deri Sanayi ve Tic. A.Ş.’de Teknik Müdürlük ve Arıtma Tesisi Sorumluluğu görevlerini üstlenmiştir.

13 Kasım 2000 tarihinde Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Temel Bilimler Bölümü Deniz Biyolojisi Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak atanmış ve halen aynı göreve devam etmektedir.