

24670

T.C.
DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

**KİRLENME ETKİSİ ALTINDAKİ DENİZ
ORTAMLARINDA ALG BÜYÜMESİNİ
ETKİLEYEN MEKANİZMALAR**

AYŞEGÜL PALA

TEZ DANIŞMANI
Prof.Dr.ORHAN USLU

1992

TEŞEKKÜR

Çalışma konusunun seçiminde ve yürütülmesinde, değerli görüşlerinden ve yardımlarından yararlandığım tez yöneticim Sayın Prof.Dr.Orhan USLU'ya,

Tezin çeşitli aşamalarında yardımlarını esirgemeyen Sayın Prof.Dr.Sol ÇELEBİ, Sayın Prof.Dr.Fikret KARGI ve Sayın Doç.Dr.Adem ÖZER'e,

Çalışmanın başından itibaren daima teşvik ve desteğini aldığım Sayın Dr.Delya SPONZA'ya,

Tezin yazımını titizlikle gerçekleştiren Sayın Sevil HEPAKGÜN ve çizimlerini yapan Sayın Bayram DİKMEN TEPE'ye,

Bana daima destek ve yardımcı olan tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

İZMİR-1992

Ayşegül PALA

İÇİNDEKİLER

Şekiller Listesi	11
Tablolar Listesi	v
Özet	viii
Summary	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	1
1.2. Kapsam	2
2. ALG BÜYÜMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER	
2.1. Deniz Suyunun Kimyasal Bileşimi	3
2.2. Alglerin Tanımlanması	4
2.3. Ototrofik ve Heterotrofik Olaylar	4
2.4. Algal Büyümeye Sıcaklığın Etkisi	5
2.5. Algal Büyümeye Işığın Etkisi	7
2.6. Algal Büyümeye Besin Maddelerinin Etkisi	10
2.6.1. Besin Maddesi Alım Kinetiği	12
2.6.2. Besin Maddesi Zenginleştirme Deneyleri	15
2.6.3. Azot Bileşiklerinin Algler Tarafından Kullanılması	16
2.6.4. Fosfor Bileşiklerinin Algler Tarafından Kullanılması	19
2.6.5. Azot-Fosfor Oranı	19
2.6.6. Alg Büyümesinde Rol Oynayan İz Elementler	20
2.6.7. Alg Büyümesine Tuzluluğun Etkisi	20
3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	22
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	34
4.1. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması	34
4.2. Deniz Suyu Örneklerinin Alınması ve Örneklerin Alındığı Noktalar	34
4.3. Evsel Atıksu Örneklerinin Alınması	34
4.4. Deneylerde Kullanılan İnorganik Kimyasal Besin Maddeleri	34
4.5. Deneylerde Ölçülen Parametreler, Ölçüm Yöntemleri, Kullanılan Aletler	34
4.6. Ağustos-Eylül Döneminde Yapılan Deneysel Çalışmaların Planlanması ve Uygulanması	39
4.7. Ocak-Şubat Döneminde Yapılan Deneysel Çalışmaların Planlanması ve Uygulanması	62
5. GELECEĞE YÖNELİK TAHMİNLER	
5.1. Arıtma Tesisinin Yapılması Durumunda 2000 Yılında Beklenen Konsant.	93
5.2. Yaz ve Kış Dönemi Algal Büyüme Hızlarının Karşılaştırılması	99
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	114
KAYNAKLAR	117
EK	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	<u>Skeletonema costatum</u> 'un büyümesine sıcaklık ve ışığın etkisi	6
Şekil 2.2.	Sıcaklık ve besin maddesi limitlemesi durumu arasındaki ilişkiler	8
Şekil 2.3.	Kompenzasyon ve kritik derinlik ile ışık şiddeti arasındaki ilişki	9
Şekil 2.4.	Fotosentez-ışık şiddeti eğrisi	11
Şekil 2.5.	Nitrat konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak <u>Asterionella Japonica</u> 'nın spesifik büyüme hızı	15
Şekil 2.6.	Kesikli kültürlerde yarı logaritmik hücre büyüme eğrisi	17
Şekil 2.7.	Azotun limitleyici olduğu kesikli bir kültürde nitrat konsantrasyonu ve hücre konsantrasyonu arasındaki ilişki	17
Şekil 2.8.	Kültür ortamında NO_3^- ve NH_4^+ 'un algler tarafından alınması	18
Şekil 2.9.	Ortamdaki NH_4^+ konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak aynı zamanlı NO_3^- ve NH_4^+ alım hızı	18
Şekil 2.10.	Sürekli ve kararlı kültür ortamında $\mu = 1.55 \text{ gün}^{-1}$ için NH_4^+ alım hızı	19
Şekil 2.11.	Kemostat kültürlerde, belli bir seyrelme hızında sabit fosfor konsantrasyonu ve değişen azot konsantrasyonlarında <u>Scenedesmus sp.</u> nin tepkisi	21
Şekil 3.1.	Woods Hole kıyı sularında, ikincil arıtılmış evsel atıksu ile deniz suyu karışımları ve fitoplankton büyüme havuzu çıkış suyu	23
Şekil 3.2.	Azot ve fosfor ilavelerinin partikül azot oluşumuna etkisi	25
Şekil 3.3.	Algal büyüme hızları (μ) ve çevresel parametreler arasındaki ilişkiler	26
Şekil 3.4.	A, B, C artan limitleyici madde konsantrasyonlarını ifade etmek üzere büyüme tipleri	28
Şekil 3.5.	Farklı besin maddesi konsantrasyonlarında gözlenen değişik tipteki büyüme eğrileri	28
Şekil 4.1.	Ağustos-Eylül dönemi çalışmalarından bir görünüş	38
Şekil 4.2.	Örneklerin alındığı noktalar	38
Şekil 4.3.	Ağustos-Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	48
Şekil 4.4.	Ağustos-Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	49

Şekil 4.5.	Ağustos-Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyüme eğrisinin zamanla değ.	50
Şekil 4.6.	Ağustos-Eylül 1990 döneminde oluşan büyüme ve tüketilen çözülmüş NH_4^+ -N'nun zamanla değişimi	51
Şekil 4.7.	Ağustos-Eylül 1990 döneminde oluşan büyüme ve buna bağlı olarak tüketilen, çözülmüş NH_4^+ -N'nun zamanla değişimi	52
Şekil 4.8.	UAKM - Klorofil-a'nın doğrusal değişimi	53
Şekil 4.9.	Başlangıç konsantrasyonlarına karşı başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi	58
Şekil 4.10.	Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	70
Şekil 4.11.	Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	71
Şekil 4.12.	Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyüme eğrisinin zamanla değişimi	72
Şekil 4.13.	Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen çözülmüş toplam fosforun zamanla değişimi	73
Şekil 4.14.	Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen çözülmüş top. P'in zamanla değişimi	74
Şekil 4.15.	UAKM-Klorofil-a'nın doğrusal değişimi (Ocak-Şubat 1991 dönemi)	75
Şekil 4.16.	Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarında yapılan deneylerde, KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	81
Şekil 4.17.	Ocak-Şubat 1991 döneminde, laboratuvarında yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi	82
Şekil 4.18.	Ocak-Şubat 1991 döneminde, laboratuvarında yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyüme eğrisinin zamanla değ.	83
Şekil 4.19.	Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarında yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen fosforun zamanla değişimi	84
Şekil 4.20.	Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarında yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen fosforun zamanla değişimi	85
Şekil 4.21.	Açık havada yapılan deney verileriyle başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi	86
Şekil 4.22.	Laboratuvarında yapılan deney verileriyle başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi	88
Şekil 4.23.	μ_{max} 'ın ışık ve sıcaklık ile değişimi	91

Şekil 5.1.	Yaz döneminde sabit fosfor ve değişen azot konsantrasyonları için algal büyüme hızı ($\mu=\text{gün}^{-1}$)	101
Şekil 5.2.	Kış döneminde sabit fosfor ve değişen azot konsantrasyonları için algal büyüme hızı ($\mu=\text{gün}^{-1}$)	102
Şekil 5.3.	Yaz döneminde birincil üretim	103-107
Şekil 5.4.	Kış döneminde birincil üretim	108-112

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Ortalama deniz suyunda bulunan iyonik türler	3
Tablo 2.2.	Bitki dokusunda gerekli elementlerin bağıl miktarları ile nehir suyunda bulunan miktarlar	13
Tablo 2.3.	Bitki dokusunda gerekli elementlerin bağıl miktarları ile ortalama deniz suyunda bulunan miktarlar	14
Tablo 3.1.	Algal biyotestlerde besin maddeleri ve büyüme parametreleri arasındaki ilişkiler	24
Tablo 3.2.	Bazı denizlerde ölçülmüş ortalama fitoplankton üretimi değ.	30
Tablo 3.3.	Boğaz-Marmara ara kesidinde ölçülen aylık birincil üretim değ.	31
Tablo 3.4.	Türlerde saptanan yarı doygunluk sabitleri (K_s) ve maksimum hücre bölünme hızlarının (μ_m) karşılaştırılması	32
Tablo 3.5.	İç ve Dış Körfez'deki istasyonlarda ölçülen birincil üretim hızları	33
Tablo 4.1.	Evsel atıksuların tipik kompozisyonu	
Tablo 4.2.	Aritılmamış evsel atıksuyun toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları ile N/P oranları	40
Tablo 4.3.	1/100 seyrelme oranına göre aritılmamış evsel atıksuyun toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları	40
Tablo 4.4.	Evsel atıksu örneğinde, ölçülen parametreler	
Tablo 4.5.	Deniz suyu örneklerinin inorganik azot konsantrasyonu	41
Tablo 4.6.	Deniz suyu örneklerinin toplam fosfat fosforu konsantrasyonu	41
Tablo 4.7.	Deniz suyu örneklerinde hesaplanan N/P oranları	42
Tablo 4.8.	Alınan deniz suyunda mevcut besin maddesi konsantrasyonlarına ilave edilen azot ve fosfor konsantrasyonları	42
Tablo 4.9.	Deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen bazı parametreler	43
Tablo 4.10.	Ortalama günlük su sıcaklığı ve ışık şiddeti değerleri	44
Tablo 4.11.	%45 azaltılmış Bornova Meteoroloji istasyonu ışık şiddeti değerleri ile lüksmetre ölçümlerinin karşılaştırılması	44
Tablo 4.12.	Deney No:2 (14.29 $\mu\text{mol N/l}$ azot ilavesi)	45
Tablo 4.13.	Deney No:3 (28.57 $\mu\text{mol N/l}$ azot ilavesi)	45
Tablo 4.14.	Deney No:4 (60.70 $\mu\text{mol N/l}$ azot ilavesi)	45
Tablo 4.15.	Deney No:8 (14.29 $\mu\text{mol N/l}$ + 1.29 $\mu\text{mol P/l}$ ilavesi)	46
Tablo 4.16.	Deney No:9 (28.57 $\mu\text{mol N/l}$ + 2.58 $\mu\text{mol P/l}$ ilavesi)	46
Tablo 4.17.	Deney No:10 (60.70 $\mu\text{mol N/l}$ + 4.84 $\mu\text{mol P/l}$ ilavesi)	46
Tablo 4.18.	Evsel atıksu ilavesi (23.57 $\mu\text{mol N/l}$ + 1.87 $\mu\text{mol P/l}$)	47
Tablo 4.19.	μ_{max} ve t_d değerleri	55
Tablo 4.20.	Deney No:2 (14.29 $\mu\text{mol N/l}$ ilavesi) zamanla büyüme ve büyüme hızı değişimi	55

Tablo 4.21. Deney No:3 (28.57 μmol N/1 ilavesi) zamanla büyüme ve büyüme hızı değişimi	56
Tablo 4.22. Deney No:4 (60.7 μmol N/1 ilavesi) zamanla büyüme ve büyüme hızı değişimi	56
Tablo 4.23. 8,9,10 No'lu deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d değerleri	57
Tablo 4.24. Ölçülen ve eşitlik (4.12) ile hesaplanan başlangıç büyüme hızları	59
Tablo 4.25(a) Birim çözülmüş azot alımına karşı biyokütlede oluşan partikül azot oranı (y_N)	60
Tablo 4.25(b) Birim çözülmüş fosfor alımına karşı biyokütlede oluşan partikül fosfor oranı (Y_P)	61
Tablo 4.26. Deniz suyu örneklerinin inorganik azot konsantrasyonları	62
Tablo 4.27. Deniz suyu örneklerinin toplam fosfat fosforu konsantrasyonları	63
Tablo 4.28. Alınan örneklerde azot/fosfor (N/P) oranları	63
Tablo 4.29. Deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen bazı parametreler	64
Tablo 4.30(a) Açık hava koşullarında yapılan deneylere ait sıcaklık ve ışık şiddeti değerleri	64
Tablo 4.30(b) Lüxmetre ile deney süresince kaplarda ölçülen ışık şiddeti	65
Tablo 4.31. Deney No:5 (1.29 μmol P/1 ilavesi, açık hava)	65
Tablo 4.32. Deney No:6 (2.58 μmol P/1 fosfor ilavesi, açık hava)	66
Tablo 4.33. Deney No:7 μmol P/1 fosfor ilavesi, açık hava)	66
Tablo 4.34. Deney No:8 (14.29 μmol N/1 + 1.29 μmol P/1 azot ve fosfor ilavesi, açık hava)	67
Tablo 4.35. Deney No:9 (28.57 μmol N/1 + 2.58 μmol P/1 azot ve fosfor ilavesi, açık hava)	67
Tablo 4.36. Deney No:10 (60.70 μmol N/1 + 4.84 μmol P/1 azot ve fosfor ilavesi, açık hava)	68
Tablo 4.37. Deney No:11 (evsel atıksu ilavesi, 32 μmol N/1 + 1.93 μmol P/1, açık hava)	68
Tablo 4.38. Deney No:5 (1.29 μmol P/1 fosfor ilavesi, laboratuvar)	76
Tablo 4.39. Deney No:6 (2.58 μmol P/1) fosfor ilavesi, laboratuvar)	76
Tablo 4.40. Deney No:7 (4.84 μmol P/1 fosfor ilavesi, laboratuvar)	77
Tablo 4.41. Deney No:8 (14.29 μmol N/1 azot + 1.29 μmol P/1 fosfor ilavesi, laboratuvar)	77
Tablo 4.42. Deney No:9 (28.57 μmol N/1 azot + 2.58 μmol P/1 fosfor ilavesi, laboratuvar)	78
Tablo 4.43. Deney No:10 (60.70 μmol N/1 azot 4.48 μmol P/1 fosfor ilavesi, laboratuvar)	78

Tablo 4.44. Deney No:11 (evsel atıksu ilavesi, 32 μmol N/1 azot + 1.93 μmol P/1 fosfor ilavesi)	79
Tablo 4.45. Açık havada yapılan deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d	80
Tablo 4.46. Laboratuvarında yapılan deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d	87
Tablo 4.47 (a) Birim çözünmüş fosfor alımına karşı biyokütlede oluşan partikül fosfor oranı (Y_p)	89
Tablo 4.47 (b) Birim çözünmüş azot alımına karşı biyokütlede oluşan partikül azot oranı (Y_N)	89
Tablo 4.48. Tüm deneysel çalışmalardan elde edilen matematiksel bağıntılar, su sıcaklığı ve ışık koşulları	90
Tablo 4.49. Ağustos-Eylül dönemi verileri ve hesaplanan birincil üretim değerleri	91
Tablo 4.50. Ocak-Şubat dönemi verileri ve hesaplanan birincil üretim değerleri	91
Tablo 5.1. İkinci seyrelme ile azot ve fosfor konsantrasyonları	94
Tablo 5.2.(a) Birinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonu	95
Tablo 5.2.(b) İkinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonları	95
Tablo 5.3. İkinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonları ve teorik alg formülünden hesaplanan azot ve fosfor konsantrasyonları	96
Tablo 5.4. Ağustos-Eylül döneminde ortamda oluşacak azot, fosfor konsantrasyonları, N/P oranları ve alg konsantrasyonu	97
Tablo 5.5. Ocak-Şubat döneminde ortamda oluşacak azot, fosfor konsantrasyonları, N/P oranları ve alg konsantrasyonları	98
Tablo 5.6. Ağustos-Eylül döneminde N^* , P^* , x^* , μ ve $\Delta x/\Delta t$ değerleri	98
Tablo 5.7. Ocak-Şubat döneminde N^* , P^* , x^* , μ ve $\Delta x/\Delta t$ değerleri	99
Tablo 5.8. Yaz dönemi için sabit fosfor ve uçucu askıda katı madde ile değişen azot konsantrasyonlarında birincil üretim	113
Tablo 5.9. Kış dönemi için sabit fosfor ve uçucu askıda katı madde ile değişen azot konsantrasyonlarında birincil üretim	114

ÖZET

Bu çalışmada deniz ortamına antropojenik besin maddesi girdilerinin, ışık ve sıcaklık gibi çevresel etkiler ile birlikte oluşturacağı mikroalg (fitoplanton) büyümesi (birincil üretim) incelenmiştir.

Yaz döneminde açık havada, kış döneminde açık hava ve laboratuvar koşullarında 1/100 seyrelme oranında deniz suyuna azot, fosfor, azot+fosfor ve evsel atıksu ilavelerinin meydana getirdiği mikroalg büyüme miktarı özgül büyüme hızı, ikilenme süresi saptanmış ışık ve su sıcaklığı ile ilişkilendirilmiştir.

Tekil ve ikili besin maddeleri ilavesinde, büyüme hızı ve büyüme miktarı artışlarının başlangıç besin maddesi konsantrasyonlarına ve başlangıç azot/fosfor oranına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle Monod denkleminin başlangıç besin maddesi konsantrasyonuna bağlı olan ifadesi kullanılmış, amprik matematiksel bağıntılar ve bunlardan yararlanılarak kinetik katsayılar çıkarılmıştır.

Deneysel olarak elde edilen bulgular ve ışığın derinlikle eksponensiyal azalması olgusundan yararlanılarak birincil üretim değerleri hesaplanmıştır. Birincil üretim ortalama olarak yaz dönemi için $181 \text{ mgC/m}^2/\text{saat}$, kış dönemi için ise $7.5 \text{ mgC/m}^2/\text{saat}$ olarak bulunmuştur.

İzmir şehri atıksularının anaerobik, fakültatif ve olgunlaştırma kademelerinden oluşan atıksu arıtma sistemiyle arıtılması planlanmaktadır. Arıtılmış suyun derin deniz deşarjı ile denize verilmesi durumunda 2000 yılı atıksu debisi dikkate alınarak geleceğe yönelik azot, fosfor, alg konsantrasyonları ve birincil üretim değerleri, mikroalglerin denizde yaşamlarını sürdürmesi ve sürdürmemesi hipotezleri için incelenmiştir. Yaz ve kış dönemlerinde değişen azot ve sabit fosfor konsantrasyonlarında büyüme hızı grafikleri çizilmiştir. Ayrıca değişen azot, sabit fosfor ve sabit uçucu askıda katı madde konsantrasyonlarında birincil üretim değerleri grafikler yardımıyla gösterilmiştir.

Hesaplanan birincil üretim değerlerinin bazı kıyılarda ölçülen değerlere göre yüksek olduğu görülmüştür. Arıtma tesisi çıkış sularının körfeze deşarjının özellikle yaz aylarında sorun yaratacağı saptanmıştır.

SUMMARY

In this study, the effects of anthropogenic nutrients inputs into the sea together with environmental parameters such as light and temperature on the formation of microalgae growth (primary production) have been studied.

The amount of microalgae growth, specific growth rate and doubling day have been determined and related to light and water temperature in addition of nitrogenous, phosphorus and nitrogenous + phosphorous compounds. The study was conducted in August-September 1990 (outdoor) and January - February 1991 (both outdoor and laboratory conditions).

It was seen that the increases in the amount of growth and growth rate depend on initial nutrient concentrations and initial nitrogen/phosphorus ratio when single and double nutrients are added. For this reason, the Monod equation which depends on initial nutrient concentration was used. Amprical mathematical equations and kinetic coefficients for addition of single and double nutrients were determined.

Primary production rates have been calculated using the experimental results and the relationship between light intensity and depth. Avarage primary production values were found to be 181 mgC/m²/hour for August-September 1990 and 7.5 mgC/m²/hour for January-February 1991.

It is planned that the wastewater treatment plant in İzmir will consist of anaerobic, facultative and maturation ponds. Therefore, nitrogen, phosphorus algae concentrations and primary production were calculated taking into account the discharge flowrate in the year 2000. Thus, future nitrogen, phosphorus and algae concentrations were calculated for hypotheses in which microalge continue their life in the sea and for those where the microalgae do not continue their life in the sea. For the summer and winter periods graphs were plotted for using variable nitrogen, constant phosphorus concentrations against growth rate. Additional graphs which show primary production were obtained by using variable nitrogen, constant phosphorus and constant volatile suspended matter.

It was seen that the primary production are very high when compared to measured values in some coastal areas. Therefore, it is concluded that the treated wastewater discharge into the sea, may cause problems especially in the summer periods.

1. GİRİŞ

Atık su etkisi altındaki körfezlerde, su ortamının organik maddeyle yüklenmesinin yanı sıra fotosentezle üreyen alg biyokütlesiyle yüklenmesi önemli boyutlardadır. Bu olgu, atıksuların içerdiği azot ve fosfor gibi besin maddeleri tarafından hızlandırılmaktadır. Atıksuların içerdiği organik maddelerin tümü arıtılsa bile, bunların içerdiği azot ve fosfor yükleri, su ortamının ekolojik dengesini olumsuz yönde etkileyebilir. Artan besin maddesi girdisi, su sütunundaki besin maddelerinin ve alg büyümesinin artışına yol açar. Bu artış su sütununun berraklığını etkilediği gibi, partikül organik madde miktarını da arttırır. Partikül organik maddelerin çökmesi ve ayrışmasıyla da dip sularda oksijen seviyesi azalır. Bunun sonucu olarak dipte yaşayan canlılar olumsuz yönde etkilenir.

1.1. Amaç

Antropojenik azot, fosfor gibi besin maddeleri girdisinin, fotosentez yapan canlıların, özellikle mikroalg veya fitoplankton olarak isimlendirilen tek hücreli canlıların üretimi üzerine etkisi, birçok körfez ve kıyı ekosisteminde (canlı kısımdan oluşan biyotik grup ile su, gaz ve mineraller gibi cansız kısımdan oluşan abiyotik gruptan oluşan sistem) önemli bir konu olmuştur. Tatlı sularda fosforun limitleyici olduğu, deniz sularında ise azotun limitleyici olduğu şeklinde bir dogma mevcuttur. Körfezlerde ise büyük bir belirsizlik söz konusudur. Doğal sularda fitoplankton büyümesini etkileyen besin maddelerini tespit etmek için kullanılan çeşitli yaklaşımlar mevcuttur. Bunlardan ilki "fizyolojik" açıdan olayı incelemek ve metabolik özellikleri değerlendirmek yoluyla büyümeyi limitleyici besin maddesini ortaya koymaktır. İkinci bir yaklaşım "matematiksel" yaklaşım olup, olay istatistiksel (VOLLENWEIDER, 1976) veya dinamik (O'CONNOR v.d., 1977) nümerik modellerle, besin maddesi yüküne göre incelenir. Üçüncü bir yaklaşım tarzı "stokiyometrik" açıdan inorganik besin maddelerini bağıl olarak kıyaslamaktır. (JAWORSKI v.d., 1972, JAWORSKI 1981) Dördüncü bir yaklaşım tarzı da "büyüme biyotesti" adı verilen ve kapalı bir doğal fitoplankton sistemine (SCHELSKE, 1984) veya tüm ekosisteme veya fitoplankton kültürlerine (RYTHER ve DUNSTAN 1971) besin maddesi ilave edilmek suretiyle ölçülen büyümenin değerlendirilmesi olmaktadır.

Yapılan tez çalışmasında, yaz sonu ve kış döneminde, İzmir Dış körfezinden alınan deniz suyu örneklerinde büyümeyi limitleyici besin maddesinin azot mu fosfor mu olduğu dördüncü yaklaşıma benzer bir yaklaşımla kesikli, dinamik, biyolojik bir modelle incelenmiş; besin maddesi ile arıtılmamış evsel atık su ilavesinin sıcaklık ve ışık gibi çevresel parametrelerin, doğal olarak deniz suyunda bulunan fitoplanktonların büyümesi üzerine etkisinin araştırılması ve deneysel bulgulardan yararlanarak İzmir'de yapılması planlanan atıksu arıtma tesisi çıkış sularının derin deniz deşarjı sistemiyle denize verilmesi durumunda deniz ortamında oluşabilecek azot, fosfor alg konsantrasyonları ile birincil üretimin tahmin edilmesi amaçlanmıştır.

1.2. Kapsam

Çalışmanın 2. bölümünde, alg büyümesine etki eden faktörler; ışık, sıcaklık ve besin maddesi etkisi anlatılmış, büyüme kinetiği ve azot-fosfor oranlarının etkileri incelenmiştir.

3.bölümde, konu ile ilgili bazı literatür araştırmaları verilmiştir.

4.bölümde yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen deneysel bulgulardan hesaplanan matematiksel ifadeler ile birincil üretim değerleri anlatılmıştır.

5.bölümde 2000 yılı için arıtma tesisi çıkış sularının denize deşarj edilmesi ile deniz ortamında oluşabilecek azot, fosfor ve alg konsantrasyonlarının tahmini değerleri ile birincil üretim değerleri verilmiştir. Yaz ve kış döneminde olması muhtemel azot konsantrasyonlarına karşı sabit fosfor konsantrasyonlarında algal büyüme hızı (gün^{-1}) ile yine sabit fosfor ve başlangıç alg konsantrasyonlarında algal oluşum hızı (mgUAKM/L/gün) olarak şekillerle ifade edilmiştir. Dış körfezde ölçülmüş değerlerden yararlanılarak ortalama 20 m Secchi derinliğinde birincil üretim ($\text{mgC/m}^2/\text{gün}$) değerleri tablolar halinde gösterilmiştir.

6.bölümde sonuçlar ve tartışma sunulmuştur.

2.ALG BÜYÜMESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

2.1. Deniz Suyunun Kimyasal Bileşimi

Deniz suyu, tuzlu su olarak isimlendirilir ve deniz suyunun tuzluluğu;

- 1) Tüm karbonatlar oksitlere dönüştüğünde,
- 2) Brom ve iyot, klor ile yer değiştirdiğinde,
- 3) Tüm organik maddeler oksitlendiğinde,

1 kg deniz suyunda çözünmüş toplam katı maddelerin gram cinsinden ağırlığı şeklinde tanımlanmaktadır (USLU, O., TÜRKMAN, A., 1987).

Dünya denizlerinin tuzluluğu %33 - %37 arasındadır. Ortalama değer %35'dir. Deniz suyunda mevcut elementlerin sayısı bir hayli fazladır. Ancak bunların çoğu çok düşük konsantrasyonlardadır. Tablo 2.1'de ortalama deniz suyunda yüksek konsantrasyonlarda bulunan bazı iyonik türler verilmiştir.

Tablo 2.1: Ortalama deniz suyunda bulunan iyonik türler (MARTIN, 1972)

İyonik tür	Konsantrasyon	
	($\mu\text{mol/L}$)	(mg/L)
Klorür (Cl^-)	$0.55 \cdot 10^6$	19350
Sodyum (Na^+)	$0.47 \cdot 10^6$	10760
Sülfat (SO_4^{2-})	$0.28 \cdot 10^5$	2710
Mağnezyum (Mg^{+2})	$0.54 \cdot 10^5$	1290
Kalsiyum (Ca^{+2})	$0.10 \cdot 10^5$	412
Potasyum (K^+)	$0.10 \cdot 10^5$	400
Karbondiyoksit (HCO_3^- ve CO_3^{2-})	$0.23 \cdot 10^4$	106
Bromür (Br^-)	$0.83 \cdot 10^3$	67
Stronsiyum (Sr^{+2})	$0.91 \cdot 10^2$	7.9
Borikasit (H_3BO_3)	$4.30 \cdot 10^2$	27
Florür (F^-)	$0.70 \cdot 10^2$	1

Azot, lityum, fosfor, demir, çinko gibi elementler ise Tablo 2.1'de verilen konsantrasyonlardan daha düşük konsantrasyonlarda bulunur. Deniz suyunun pH değeri 7.5 ile 8.5 arasında olup, pH'daki değişimler, deniz organizmalarının fotosentez ve solunumundan kaynaklanır. Açık denizlerde çözünmüş organik madde

konsantrasyonu 0.4-2 mgC/L arasında değişir. Partikül organik madde ise plankton (deniz veya tatlı sularda, askıda halde bulunan ve fitoplankton ile zooplanktonlardan oluşan pasif yüzücü canlılar) ve detritusları (askıda halde bulunan ve üreyemeyen canlı grupları) içerir ve yüzeysel sularda 100-500 µgC/L, derin sularda ise 10 µgC/L arasında bulunur (MARTIN, 1972).

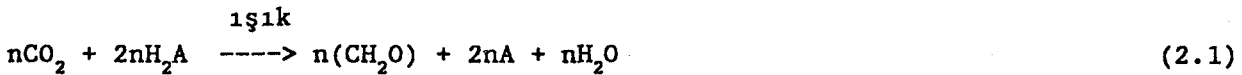
2.2. Alglerin Tanımlanması

Algler, 1 µm'den küçük tek hücreli yapılardan 50 m'den büyük deniz yosunlarına kadar değişim gösteren ve pek çoğu foto - ototrafik olan canlılardır. "Fitoplankton" olarak da adlandırılan mikroalgler su sütununda askıda olarak bulunurlar. Fitoplanktonlar; mikroskobik, tek hücreli veya koloniyel halde yaşayan canlılardır. Tatlı sular ve denizlerde yaşayan fitoplankton türleri olan diatomlar ve dinoflagellatlar, delik büyüklüğü 50 µm olan standart plankton ağlarıyla toplanabilirler. Temiz plankton ağından geçen yani 50 µm'den daha küçük boyuta sahip olan canlılar "nanoplankton" olarak adlandırılmaktadır. Küçük diatomlar ve dinoflagellatlar da "nanoplankton" olarak isimlendirilir. 5 µm'dan daha da küçük olan, bakteri ve çok küçük flagellatlardan oluşan canlı topluluğu ise "ultraplankton" olarak adlandırılır.

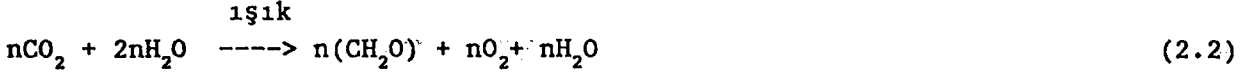
Besin maddesi gereksinimi açısından incelenecek olursa, algler normal büyüme ve üremeleri için inorganik besin maddelerini kullandıklarından ototrofik canlılardır. 2.3. bölümünde ototrofik olaylar anlatılmıştır. Toplam fitoplankton sayısı 10 hücre/ml olan sular "oligotrofik" yani besin maddesi açısından fakir sulardır. İlkbahar aylarındaki patlamalarda 10000 hücre/ml, red-tide (körfezlerde dinoflagellatların ve/veya siliatların aşırı üremesi sonucu oluşan alg patlaması) olayında ise 50000 hücre/ml'lik fitoplankton sayısına rastlanmıştır. Kültür çalışmalarında ise, tipik hücre konsantrasyonu, 10^4 - 10^7 hücre/ml arasındadır.

2.3. Ototrofik ve Heterotrofik Olaylar

Algler ve bazı bakteri türleri, su ve karbondioksit gibi düşük enerjili inorganik bileşiklerden, yüksek enerji içeren organik bileşikleri sentezlerler. Bu organizmalar için enerji kaynağı, ışık veya inorganik bileşiklerin oksidasyonu ile oluşan kimyasal enerjidir. Enerji kaynağı olarak organik maddeleri kullanmayan canlılara "ototrofik canlılar" denir ve bu canlılar aynı zamanda organik madde üreten birincil üreticilerdir. Birincil üreticiler tarafından üretilen organik maddeye "birincil üretim" denir. Organik madde sentezlenmesinde ışık enerjisini kullanan algler fotosentez yaparlar. Fotosentez işlemi eşitlik 2.1'de verilmiştir.



Eşitlik 2.1'de, H_2A , içinde hidrojen verici olarak bazı organik bileşikler ile H_2O , H_2 , H_2S , $H_2S_2O_3$ gibi indirgenmiş bileşik leri ifade etmektedir. Ancak fotosentetik algler, hidrojen verici olarak H_2O kullanırlar ve oluşan karbonhidratın molü başına 120 kcal enerji gerekir. Bu durumda eşitlik 2.1, eşitlik 2.2'ye dönüşür.



Fotosentetik işlemler üç aşamadan oluşur:

- (1) Işık enerjisinin alınarak, kimyasal formlara transfer edilmesi,
- (2) Biyokimyasal reaksiyonlar için uygun kimyasal formların (ATP=adenozin trifosfat, NADPH=nikotinamid adenin dinükleotid fosfatın indirgenmiş şekli) oluşturulması,
- (3) ATP ve NADPH'ın kullanılmasıyla CO_2 'in fiksasyonu.

Fotosentetik pigmentler ışığı görünür bölgede, 400-720 nm dalga boyunda absorblarlar. Her fotosentetik pigment kendi moleküler yapısına bağlı olan ayrı bir ışık absorbsiyon karakteristiğine sahiptir. Organizmaların her bir grubu klorofil-a ve muhtelif aksesuar pigmentlerini içerir. Klorofil-a'nın 680nm ve 670nm dalga boyunda ışık absorbsiyonuna dayanan iki ayrı fotokimyasal reaksiyonlarından taşınan enerji, NADP'nin indirgenmesi ve ADP'nin(adenozin difosfat) fotofosforilasyonu ile ATP oluşturulması için kullanılır.

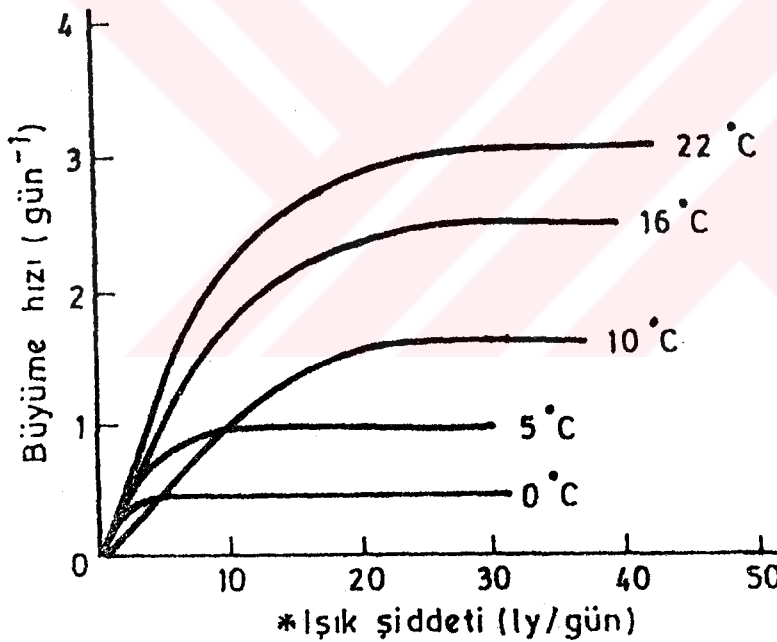
Heterotrofik organizmalar ise, büyümeleri için gerekli enerjiyi, organik karbon kaynaklarından sağlarlar. Açık denizlerde heterotrofik organizmalarca kullanılan organik karbon deniz biyotasından (biyolojik çevre) kaynaklanır. Karadan gelen organik maddenin katkısı sadece kıyısız bölgelerle sınırlanmıştır. Organik maddenin heterotroflarca bozunması sonucu ortamda oksijen tüketilir ve karbondioksitle beraber inorganik besin maddeleri açığa çıkar.

2.4. Algal Büyümeye Sıcaklığın Etkisi

Deniz suyunun sıcaklığı, su yoğunluğuna ve su sütununun stabilitesine etki eden bir faktör olup, karışım proseslerindeki rolü büyüktür. Ilıman denizlerde ve göllerde kış aylarında yüzey ile daha dip sular arasındaki sıcaklık farklılıkları (dolayısı ile yoğunluk farklılıkları), rüzgar karışımını etkileyecek derecede önemli değildir. Ancak ilkbahar ve yaz başlarında yüzey suları ısındığı için yoğunlukları daha az olur ve dibe doğru bir tabakalaşma meydana gelir. Bu durumda karışım olayı tamamen engellenir ve sadece rüzgarın etkisinde kalan "epilimnion" diye adlandırılan bölgede karışım olur. "Hipolimnion" olarak adlandırılan dip kısım ile epilimnion arasında "termoklin" adı verilen bölge yer alır ve bu tabaka besin maddesi açısından zengin olan dip sularını yüzeysel sulardan ayırır. Bu

durumda alg büyümesi için gerekli olan iki unsur ışık ve besin maddesi farklı tabakalarda yer alır. Sonbaharda yüzey suları soğumaya başladığında tabakalaşma ortadan kalkar ve rüzgarın etkisi hissedilir. Bazı göllerde buzlanma nedeniyle kış aylarında da tabakalaşma olabilir.

Fitoplanktonların optimum sıcaklığa kadar büyüme hızı ve biyolojik aktivitesi artar daha sonra sifıra kadar düşer. Birçok deniz ve tatlı su fitoplanktonları için optimum sıcaklık 18-25 °C'dir. Kültür çalışmalarında optimum sıcaklık, organizmanın bulunduğu ortamdaki maksimum sıcaklıktan genellikle daha yüksektir. Ancak bu sıcaklığın doğal ortamda büyüme limitleyici etkisi olduğu anlamına gelmez, asıl limitleyici olan faktörler ışık ve besin maddesi eksikliğidir. Bu nedenle, ışık ve besin maddelerinin büyüme limitlediği durumlar için sıcaklık etkisini incelemek gerekir. Şekil 2.1'de bir diatome türü için (*Skeletonema costatum*) çeşitli sıcaklıklarda, ışık şiddeti ile büyüme hızı arasındaki ilişki niteliksel olarak gösterilmiştir. Sıcaklığın azalmasıyla, daha düşük ışık şiddetlerinde, ışık doygunluğu oluşur (YODER, 1979).



Şekil 2.1: *Skeletonema costatum*'un büyümesine sıcaklık ve ışığın etkisi. Tüm deneyler 12:12 saat karanlık-aydınlık ışık periyodunda yapılmıştır (YODER, 1979). (1y = langley) * 1y/gün = $\text{cal/cm}^2/\text{gün}$

Sıcaklık ve besin maddesinin büyüme limitlemesi arasındaki ilişkiler Şekil 2.2'de ifade edilmiştir. Şekil 2.2 (a)'da dolu çizgi ile gösterilen eğri besin maddesi ve ışığa doygun alg hücrelerinin büyüme hızı ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi göstermekte olup, kesikli kültür ile yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. T_0 büyüme için gerekli optimum sıcaklıktır. Yatay kesikli çizgi ise kemostat kültürle yapılan çalışmalardan elde edilmiş olup, farklı sıcaklıklarda besin maddesinin büyüme limitlediği durumda büyüme hızlarının sabit olduğunu göstermektedir. Şekil 2.2 (b) Kemostat-kültür ile yapılan çalışmalardan elde edilmiş olup, besin maddesinin büyüme limitlediği kesimde sabit hızla büyüyen X ve Y gibi iki farklı alg türünün sıcaklığa karşı tepkileri ifade edilmektedir. X türü sıcaklıktan etkilenen bir tür olup, optimum sıcaklık dışındaki sıcaklıklarda Y türü ile aynı büyüme hızında yeni bir hücre oluşturmak için daha fazla besin maddesi almaktadır. Y türü ise değişen sıcaklıklara daha kolay uyum sağlamaktadır (GOLDMAN & MANN, 1980).

2.5. Algal Büyümeye Işığın Etkisi

Işık; şiddeti, dalga boyu ve aydınlanma süresi açısından algler için büyük önem taşımaktadır. Fotosentez için büyük önem taşıyan ışık, derinlik ve enlemle uzaysal bir değişim gösterdiği gibi zamanla da (günlük ve mevsimsel) değişim göstermektedir. Işık fitoplankton büyümesinde en limitleyici faktörlerden biridir. Işık şiddeti su sütununda derinlikle eksponansiyel olarak azalmaktadır (Bkz. Şekil 2.3). Mavi-yeşil ışık (480 nm), berrak sularda en derin noktalara kadar nüfuz edebilmektedir. Fotik bölgede yer alan klorofil, karotenoid, biliprotein gibi pigmentler, ışık enerjisini absorblamaktadır. Şekil 2.3'de derinlikle ışık şiddeti arasındaki ilişki gösterilmiştir (SVERDRUP, 1953).

Bir bitki hücresinin fotosentez hızının, solunum hızına eşit veya daha büyük olduğu derinlik "kompenzasyon derinliği" olarak isimlendirilir (D_c). Bu derinlikteki ışık şiddetine de "kompenzasyon ışık şiddeti" denir (I_c). Su sütununun ortalama ışık şiddetinin, kompenzasyon ışık şiddetine eşit olduğu derinlik "kritik derinlik" olarak isimlendirilir (D_{cr}). Kritik derinlikte su sütununun fotosentezi (P_w), su sütununun solunumuna (R_w) eşittir. Kritik derinlik kavramını açıklayan bir matematiksel model SVERDRUP (1953) tarafından geliştirilmiştir. Bu modelde deniz yüzeyine gelen ışık şiddeti (I_0), 0.5 gibi bir faktörle azaltılmıştır. Böylece fotosentez olayına yaramayan "ultraviyole radyasyonu" ile "infrared radyasyonunun" su yüzeyinin ilk birkaç santimetresinde absorblanacağı kabulü yapılmıştır. Şekil 2.3'de gösterilen, kompenzasyon ışık şiddeti aşağıdaki bağıntıdan hesaplanabilir:

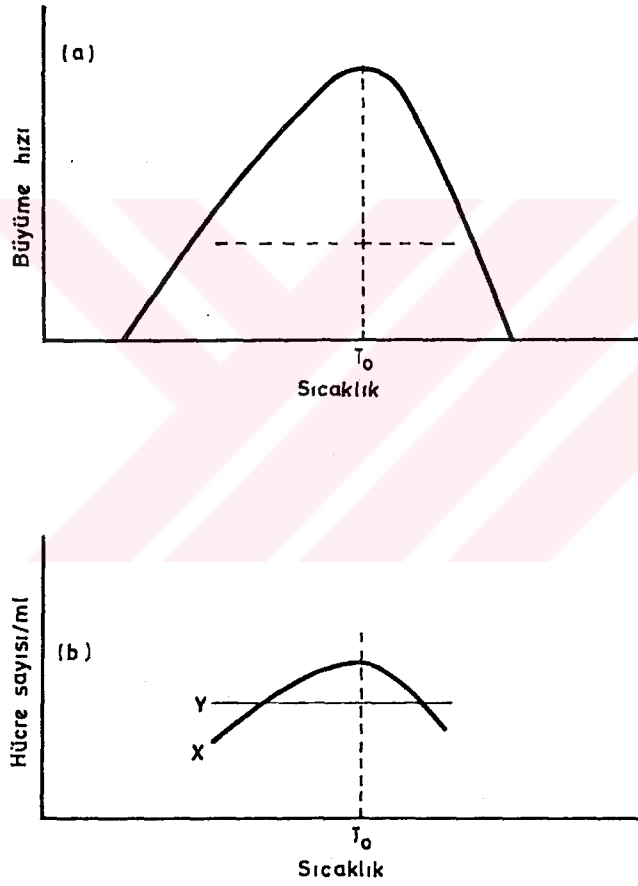
$$I_c = 0.5 * I_0 * e^{-kD_c} \quad (2.3)$$

Kompenzasyon derinliğinde, bir hücrenin fotosentezi (P_c), solunumuna (R_c) eşittir. Bu derinliğin üzerinde $P_c > R_c$, altında ise $P_c < R_c$ dir. Ancak, düşey karışımli denizel ortamlarda kompenzasyon derinliğinin altındaki ve üstündeki fitoplankton hücreleri karıştığı için tüm fitoplanktonlar ortalama ışık şiddetine

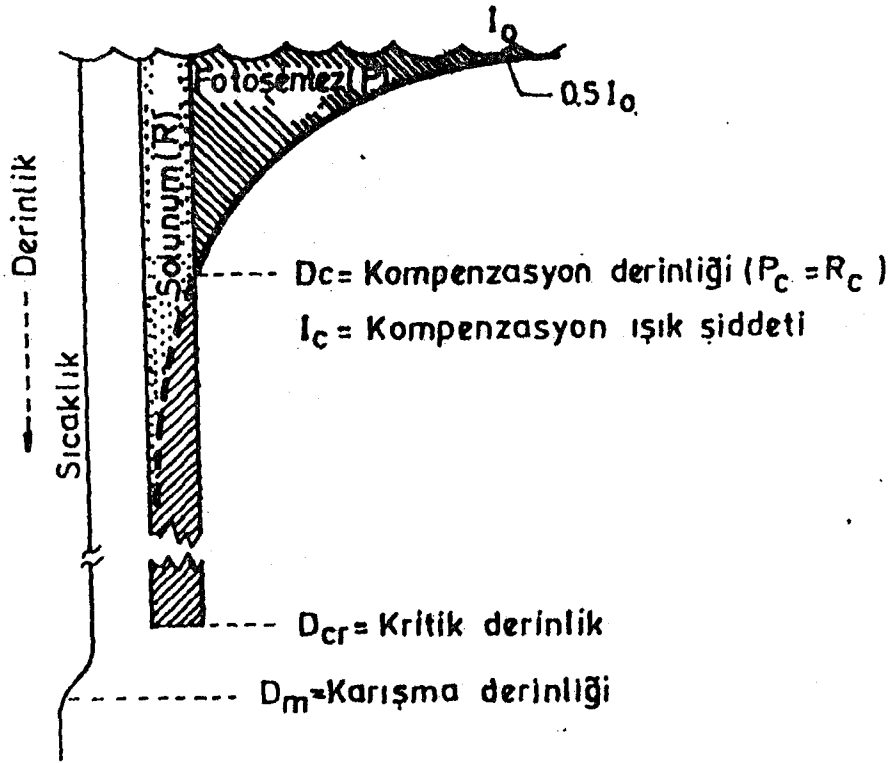
maruz kalırlar. Kritik derinlik ile kompenzasyon ışık şiddeti arasındaki ilişki eşitlik 2.3'ün integre edilmesi ve su sütununun ortalama ışık şiddetini (kompenzasyon) bulmak için kritik derinliğe bölünmesi ile elde edilir (eşitlik 2.4).

$$I_c = 0.5 * I_o \int_0^{D^{cr}} (e^{-kD} * dD) / (D_{cr})$$

$$= [(0.5 * I_o) / (k * D_{cr})] * (1 - e^{-kD_{cr}}) \quad (2.4)$$



Şekil 2.2: Sıcaklık ve besin maddesi limitlemesi durumu arasındaki ilişkiler (GOLDMAN & MANN 1980).



Şekil 2.3: Kompensasyon ve kritik derinlik ile ışık şiddeti arasındaki ilişki (SVERDRUP, 1953).

Eşitlik 2.4 yardımıyla, ışığın sönmülenme katsayısı (k), su yüzeyine gelen ışık şiddeti (I_0) biliniyorsa ve kompensasyon ışık şiddeti için bir değer kabulü ile (örneğin ışık şiddetinin % 1'e düştüğü değer) herhangi bir su sütunu için kritik derinliği saptamak mümkündür. Eğer kritik derinlik büyük ise eşitlik 2.4, eşitlik 2.5 ile ifade edilebilir.

$$D_{cr} = (0.5 * I_0) / (k * I_c) \quad (2.5)$$

Kritik derinlik karışım derinliğinden daha az ise $P_w < R_w$ olduğu için net bir üretim olmaz. Eğer kritik derinlik karışım derinliğinden daha büyük ise su kolonunda $P_w > R_w$ olacağı için net bir pozitif üretim olur. Kompensasyon derinliğinin tahmin edilmesinde, Secchi diski derinliği (D_s) ölçümlerinden ve sönmülenme katsayısından (k) yararlanılır (POOLE & ATKINS, 1980).

Kompensasyon derinliği Secchi diski derinliği ile sönmülenme katsayısına bağlı olarak ifade edilir. Sönmülenme katsayısı eşitlik 2.6 ile hesaplanır.

$$k = 1.7 / D_s \quad (2.6)$$

Kompensasyon derinliğini hesaplamak için,

$$0.01 * I_0 = I_0 * e^{-kD_c}$$

yazılırsa,

$$D_c = (4.6/1.7) * D_s = 2.7 D_s \quad (2.7)$$

eşitlik 2.7 elde edilir.

Işık şiddeti (I) ile fotosentez hızı (P) arasındaki ilişki Şekil 2.4'de gösterilmiştir. Fotosentez hızı doygunluk ışık şiddetine ulaşınca kadar ışık şiddetiyle doğrusal olarak artar. Çok yüksek ışık şiddeti genellikle büyüme olayını inhibe eder. Düşük ışık şiddetinde ise fotosentez hızı ışık reaksiyonları tarafından limitlenir. Şekil 2.4'de görülen eğrinin başlangıçtaki eğimi sıcaklık ve hücre metabolizmasından bağımsızdır. Doygun ışık şiddetinde, fotosentez kapasitesi olarak da adlandırılan, maksimum fotosentez hızı (P_{max}), fotosentezin ışıksız safhadaki reaksiyonlarının bir fonksiyonudur. Bu reaksiyonlar enzimatik olduğu için sıcaklık ve hücre metabolizmasını etkileyen diğer faktörler (besin miktarı) P_{max} 'ı etkiler. Başlangıçtaki eğim ile P_{max} 'ın kesim noktasındaki ışık şiddeti (I_k) eğri üzerinde bir referans noktası teşkil eder ve doygunluk ışık şiddeti olarak isimlendirilir.

2.6. Algal Büyümeye Besin Maddelerinin Etkileri

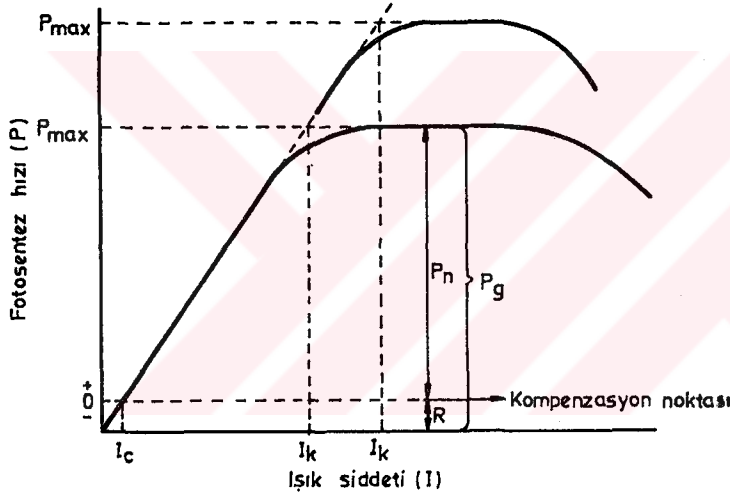
Doğal sularda birincil üretim ışığa, sıcaklığa ve bir dizi elementin varlığına dayanır. C, H ve O sudan HCO_3/CO_2 sistemi ile sağlanır. N, S, P ve Fe toprak ve kayaların erozyonundan ve antropojenik yollarla temin edilir. Liebig'in minimum yasasına göre (1840), bir bitkinin büyümesi ortamda mevcut minimum miktardaki besin maddesine bağlıdır (DARLEY, 1982).

Birincil üretim ile besin maddeleri arasındaki ilişki ortalama alglerin elemental bileşiminden türetilir. "Redfield" tarafından ilk kez verilmiş olan ortalama algal kimyasal bileşim ampirik olarak $C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P_1$ 'dir. Vallentyne (1974), nehir sularında yaptığı bir araştırmada N ve P'ye duyulan ihtiyacın, diğer elementlere kıyasla mevcut olandan çok daha fazla olduğunu göstermiştir (Bkz. Tablo 2.2). Çoğu su ortamlarında, karbon ve oksijen elementleri atmosferdeki karbondioksitten kolaylıkla sağlanabilir. Ayrıca, hidrojen ve oksijen elementleri de suyun kendisinden temin edilebilir. Büyüme ve üreme için gerekli olan diğer elementler ise, sedimentlerden veya suda çözünmüş bulunan tuzlardan sağlanır. Tablo 2.2'ye benzer olarak deniz suyunda bulunan elementler ile bitkilerin ihtiyaç duyduğu miktarlar arasındaki ilişki Tablo 2.3'de verilmiştir. Tablo 2.2'de bitki büyümesi için gereken elementlerin bağıl miktarları ve nehir suyunda bulunduğu miktarlar, ağırlık yüzdeleri olarak verilmiştir.

Bu tablodan anlaşılacağı gibi azot ve fosfor diğer elementlere kıyasla daha az miktarlarda bulunmaktadır ve fosfor elementi de azota göre daha azdır. Tablo 2.3'de ise bitki büyümesi için gereken elementlerin bağıl miktarları ile bu elementlerin deniz suyundaki miktarları karşılaştırılmıştır. Bu tabloda da, Tablo 2.2'de olduğu gibi, oksijen ve hidrojenin kaynağı su, karbonun kaynağı ise suda

çözünmüş olarak bulunan karbondioksit kabul edilmiştir. Bitkiler için gereken element yüzdelerinin, suda bulunan element yüzdelerine oranları nehir suyu ile deniz suyu için karşılaştırıldığında aşağıdaki hususlar dikkati çekmektedir:

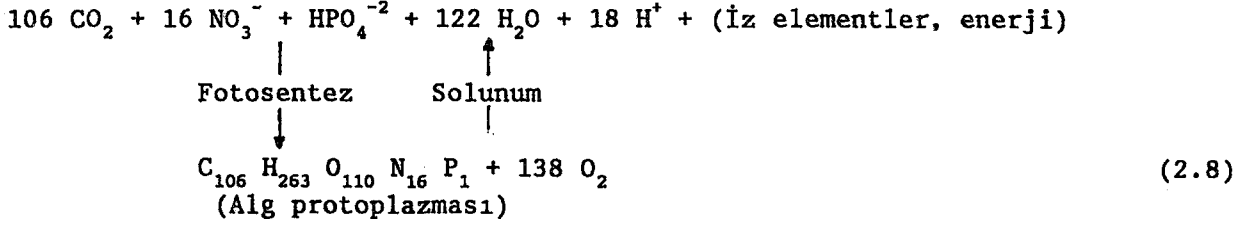
- Nehir suyunda en az bulunan elementler sırasıyla (fosfor < azot < karbon < silikat < potasyum) iken deniz suyunda, en az bulunan elementler sırasıyla (azot < fosfor < silikat < karbon < demir < manganez) olmaktadır.
- Nehir suyunda algal büyümeyi limitleyen element fosfor olmakta deniz suyunda ise azot algal büyümeyi limitlemektedir. Ancak fosfor da ortamda azota çok yakın bir oranda bulunmakta ve büyümeyi limitleyebilecek bir element olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 2.4: Fotosentez-ışık şiddeti eğrisi (üstteki eğri, daha yüksek sıcaklıklardaki fotosentezi ifade etmektedir).

- P_{max} = Maksimum fotosentez hızı
- I_c = Kompenzasyon ışık şiddeti
- I_k = Doygunluk ışık şiddeti
- R = Solunum
- P_n = Net fotosentez
- P_g = Gross fotosentez

Bu nedenle fazla kirlenmemiş sularda, fitoplankton büyümesini kontrol eden iki elementin N ve P olduğu kabul edilmektedir. Bu iki besin maddesinin konsantrasyonlarının artışı, fitoplankton büyümesini arttırır. Denge halindeki bir ekosistemde, organik maddenin üretim ve bozunması ile oksijen üretim ve tüketimi arasında (2.8)'de verilen ampirik eşitlik geçerlidir.



Alg protoplazmasının atomik kompozisyonu, mol oranlarından C:N:P=106:16:1 şeklindedir. Fotosentetik bölgede, fosfat, nitrat ve karbon sudan alınarak algal büyüme için 106:16:1 oranında kullanılır. Daha dip sularda ise çökelen algler mineralize olurken fosfat, nitrat ve karbon aynı oranda suya geçer.

2.6.1. Besin Maddesi Alım Kinetiği

Fitoplanktonlar tarafından besin maddesi alım kinetiği "Michaelis-Menten" enzim kinetiği ile izah edilebilir (eşitlik 2.9).

$$V = \frac{V_m \cdot S}{K_s + S} \quad (2.9)$$

V = Besin maddesi alım hızı (zaman⁻¹)

V_m = Maksimum besin maddesi alım hızı (zaman⁻¹)

K_s = ($V = V_m/2$) olduğunda besin maddesi konsantrasyonu

S = Besin maddesi konsantrasyonu

S/V değeri S'e karşılık grafiğe geçirilirse, elde edilen doğrunun absisi kestiği nokta K_s değerini verir. Sabit K_s değeri, besin maddesi konsantrasyonuna olan duyarlılığı yansıtır. Düşük K_s değerleri, besin maddesine olan duyarlılığın yüksek olduğunu, yüksek K_s değerleri ise besin maddesine olan duyarlılığın az olduğunu gösterir.

Tablo 2.1: Bitki dokusunda gerekli elementlerin bağıl miktarları ile nehir suyunda bulunan miktarlar (VALLENTYNE, 1974)

Element	Bitkilerin ihtiyacı olan	Nehir suyunda bulunan	Bitkilerin ihtiyacı/ suda olan
	%	%	
Oksijen	80.5	89	1
Hidrojen	9.7	11	1
Karbon	6.5	0.0012	5000
Silikat	1.3	0.0006	2000
Azot	0.7	0.000023	30000
Kalsiyum	0.4	0.0015	<1000
Potasyum	0.3	0.00023	1300
Fosfor	0.08	0.000001	80000
Magnezyum	0.07	0.0004	<1000
Sülfür	0.06	0.0004	<1000
Klorür	0.06	0.0008	<1000
Sodyum	0.04	0.0006	<1000
Demir	0.02	0.00007	<1000
Manganez	0.0007	0.0000015	<1000
Bor	0.001	0.00001	<1000
Çinko	0.0003	0.000001	<1000
Bakır	0.0001	0.000001	<1000
Molibden	0.00005	0.0000003	<1000
Kobalt	0.000002	0.000000005	<1000

Fitoplankton büyüme hızı ile büyümeyi limitleyen besin maddesi arasındaki ilişki "Monod denklemi" ile bir hiperbolik fonksiyon olarak ifade edilebilir (eşitlik 2.10).

$$\mu = \frac{\mu_m * S}{K_s + S} \quad (2.10)$$

μ = Özgül büyüme hızı (zaman⁻¹)

μ_m = Maksimum özgül büyüme hızı (zaman⁻¹)

K_s = ($\mu = \mu_m/2$) olduğunda besin maddesi konsantrasyonu

S = Besin maddesi konsantrasyonu

Tablo 2.2: Bitki dokusunda gerekli elementlerin bağıl miktarları ile ortalama deniz suyunda bulunan miktarlar

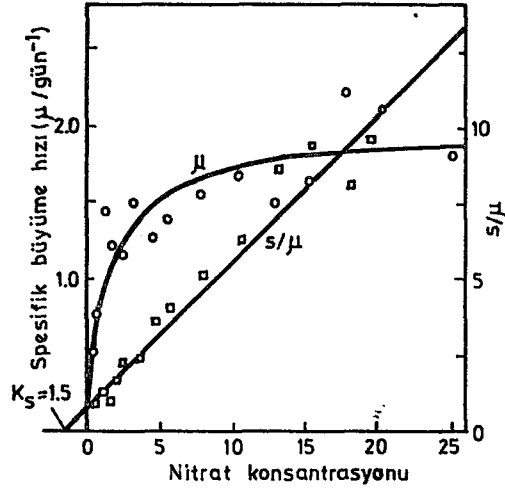
Element	Bitkilerin ihtiyacı olan %	Deniz suyunda bulunan %	Bitkilerin ihtiyacı/ suda olan	
Oksijen	80.5	89	1	<1000
Hidrojen	9.7	11	1	<1000
Karbon	6.5	$2.89 \cdot 10^{-3}$	2249	
Silikat	1.3	$3.51 \cdot 10^{-4}$	3704	
Azot	0.7	$4.88 \cdot 10^{-5}$	14340	
Kalsiyum	0.4	$4.03 \cdot 10^{-2}$	10	<1000
Potasyum	0.3	$3.78 \cdot 10^{-2}$	8	<1000
Fosfor	0.08	$6.83 \cdot 10^{-6}$	11713	
Magnezyum	0.07	$1.263 \cdot 10^{-4}$	554	<1000
Sülfür	0.06	$8.82 \cdot 10^{-2}$	0.7	<1000
Klorür	0.06	$1.89 \cdot 10^{-3}$	32	<1000
Sodyum	0.04	$1.05 \cdot 10^{-3}$	38	<1000
Demir	0.02	$7.41 \cdot 10^{-6}$	2699	
Manganez	0.0007	$3.95 \cdot 10^{-7}$	1772	
Bor	0.001	$4.49 \cdot 10^{-6}$	223	<1000
Çinko	0.0003	$5.61 \cdot 10^{-7}$	535	<1000
Bakır	0.0001	$1.95 \cdot 10^{-7}$	513	<1000
Molibden	0.00005	$7.81 \cdot 10^{-7}$	64	<1000
Kobalt	0.000002	Eser miktarda		<1000

Deniz suyu yoğunluğu 20 °C için $d = 1.0243$ g/ml alınmıştır (ARCEIVALA, S.J., 1978; SNOEYINX, V., JENKINS, D., 1980).

Eşitlik (2.9) ve eşitlik (2.10) besin maddelerinden birinin büyümeyi limitleyici olması durumunda geçerlidir. Doğal olarak doymuş besin maddesi konsantrasyonlarına sahip sularda yani besin maddesi eksikliği olmayan sularda K_s değeri ölçmek mümkün değildir (PARSONS, TAKAHASHI, WARGRAVE, 1977).

Deniz ortamındaki fitoplankton türlerinin K_s değerinin besin maddesi alım hızından mı yoksa fitoplankton büyüme hızından mı tespit edilmesi gerektiği sorusuna, EPPLEY & THOMAS (1969) iki farklı tür için buldukları K_s değerlerinin her iki yöntemde çok benzer olduğunu tespit ederek açıklık getirmişlerdir.

Şekil 2.5'de örnek olarak *Asterionella Japonica*'nın özgül büyüme hızının, nitrat konsantrasyonları ile değişimi ve K_s değerinin bulunuşu gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Nitrat konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak Asterionella Japonica'nın özgül büyüme hızı (EPPLEY & THOMAS, 1969)

2.6.2. Besin Maddesi Zenginleştirme Deneyleri

Besin maddesi zenginleştirme deneyleri, büyüme limitleyici besin maddesini ortaya koymak için en çok kullanılan metottur. Kesikli kültürler (alg hücreleri, besin maddelerini içeren bir kaba aşılır ve havalandırılmak suretiyle hücreler askıda tutulur.) ile yapılan çalışmalar en yaygın olan çalışmalardır. Doğal fitoplankton örnekleri ile yapılan kesikli çalışmalarda besin maddesi ilave edilir ve artan hücre sayısı ölçülür. Örneğin azotun limitleyici olduğu durumda, örnekler NH_4^+ veya NO_3^- bunların karışımını içeren besinlerle zenginleştirilir ve zenginleştirilmemiş örneklerde gözlenen büyüme ile karşılaştırılır. $^{14}\text{C}-\text{HCO}_3$ ile yapılan üretim ölçümleri zenginleştirmeden kısa bir süre sonra yapılırsa, metabolik enerji (ATP) için gereken CO_2 fiksasyonu ile besin maddesi alımı ve asimilasyonu rekabete gireceğinden yanlış yorumlara neden olabilir. Deney süresince su kimyasında ve tür kompozisyonunda değişimler olur. Bu değişimler ve oluşacak problemleri minimize etmek amacıyla "big bag" adı verilen büyük ölçekli yarı şeffaf plastik sistemler kullanılmaktadır. Laboratuvar şartlarında doğal koşulları sağlamak, düşük hücre konsantrasyonları ve besin konsantrasyonları nedeniyle güçtür. Bu yüzden büyük ölçekli kaplar kullanılarak deneyler gerçekleştirilir ve kimyasal kompozisyon ile fitoplankton aktivitesi çevresel parametreler ile birlikte incelenir. Cıdarların etkisi, büyük hacimler kullanılmak suretiyle minimize edilir.

Besin maddesi zenginleştirme deneylerinde diğer bir yaklaşım, filtre edilmiş suyun test edilecek alg kültürüyle aşılınmasıdır. Ancak tekil test türlerini incelemek, doğal yaklaşımı yansıtmayabilir.

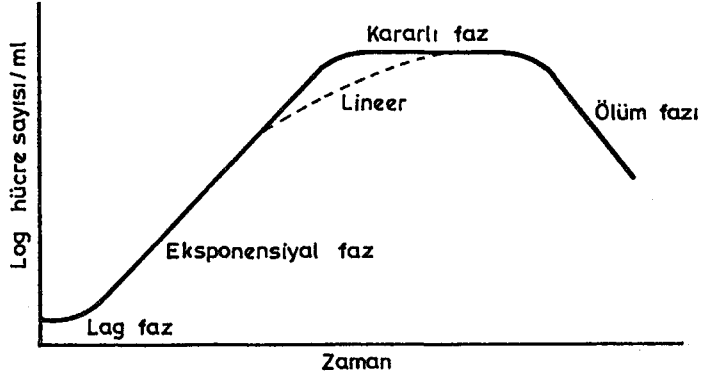
Sürekli kültür çalışmaları, doğal koşulları simüle etmek için diğer bir yaklaşım tarzıdır. Bu yöntemde kemostat (sürekli kültür sistemi) kullanılmak suretiyle sabit bir taze kültür ilave edilirken, eşit hacimde kültür uzaklaştırılır. Seyrelme oranı (debi/kültür hacmi) uygun bir şekilde ayarlanır. Bu koşullarda, kültürün büyüme hızı kararlı durumda seyrelme oranına eşit olur. Yani kemostatdaki kültür konsantrasyonu değişmez. Örneğin debi 500 ml/gün ise içine 1000 ml kültür ilave edildiğinde seyrelme oranı 0.5 gün^{-1} olur ve özgül büyüme hızı μ , kültür kararlı duruma ulaştığında 0.5 gün^{-1} değerini alır. Özgül büyüme hızı, ikilenme süresi (t_d) veya hücrenin oluşum süresi (d) olarak $t_d = \ln 2 / \mu = 1.39 \text{ gün}$ günlük bölünme veya $d = \mu / \ln 2 = 0.72 \text{ gün}^{-1}$ şeklinde ifade edilir.

Kararlı hal koşullarında kemostatda hücrelerin büyüme hızı, büyümeyi limitleyen besin maddesinin gelen debi içindeki konsantrasyonu ve seyrelme oranının bir fonksiyonudur. Örneğin seyrelme oranı sabit iken, büyümeyi limitleyen besin maddesi konsantrasyonu arttırılırsa hücrelerin büyüme hızı ve dolayısıyla kemostat içindeki hücre konsantrasyonu artar (DARLEY, 1982).

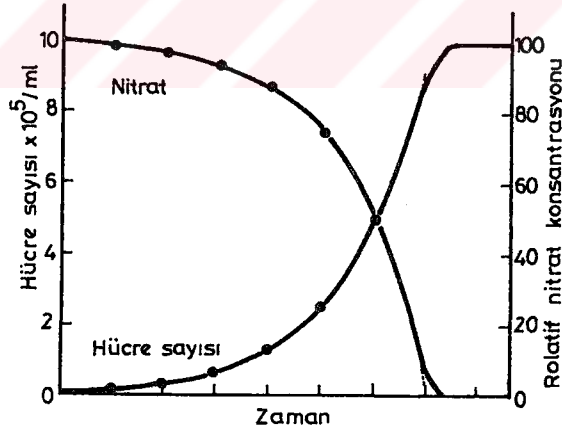
Kesikli kültürde gözlenen büyüme eğrisi yarı logaritmik olarak Şekil 2.6'da verilmiştir. Şekil 2.7'de ise büyümesi azotla limitlenmiş kültürler için ortamdaki nitrat konsantrasyonu ile hücre sayısı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

2.6.3. Azot Bileşiklerinin Algler Tarafından Kullanılması

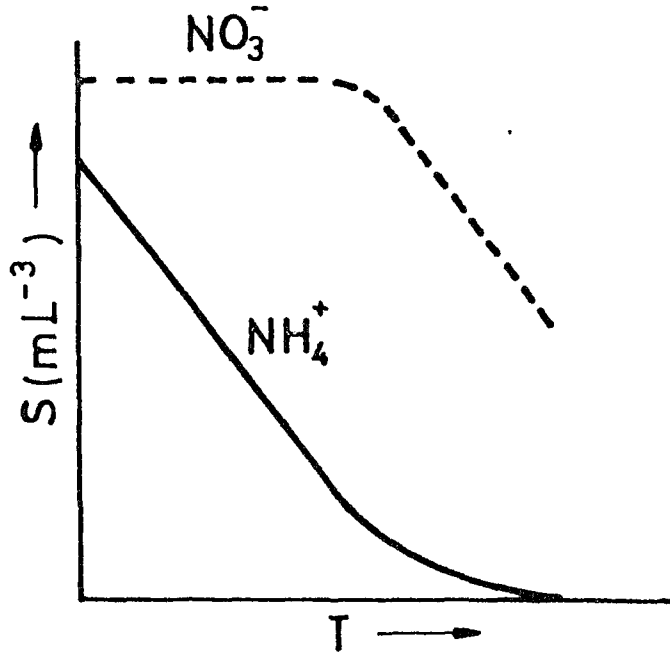
Alglerin çoğu azot kaynağı olarak NO_3^- NO_2^- veya NH_4^+ kullanırlar. Ancak doğal sularda çok fazla bulunmayan nitrit kültür ortamlarında toksik etki yapabilir. Algler organik azot olarak, özellikle üreyi kullanırlar. Amonyum algler tarafından NO_3^- 'a tercih edilir (Bkz. Şekil 2.8, 2.9) ve özellikle NH_4^+ konsantrasyonları $0.5\text{--}1.0 \mu\text{mol/L}$ 'den yüksek ise NO_3^- alınması inhibe olur. Algler NH_4^+ kullanmak suretiyle enerji depolarlar. NO_3^- 'ı ise hücre yoluyla NH_4^+ 'a indirmek suretiyle kullanırlar. Şekil 2.10'da bir deniz fitoplankton türü olan Thalassiosira pseudonana için NH_4^+ konsantrasyonun (S) bir fonksiyonu olan NH_4^+ alım hızı (v), $\mu = 1.55 \text{ gün}^{-1}$ 'lik büyüme hızında, sürekli ve kararlı halde çalışan kültür ortamı için verilmiştir (MCCARTHY, 1981).



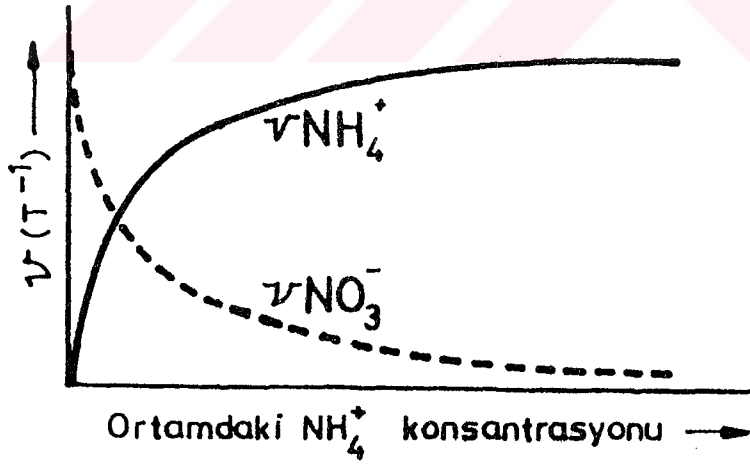
Şekil 2.6: Kesikli kültürlerde yarı logaritmik hücre büyüme eğrisi (FOGG, 1965).



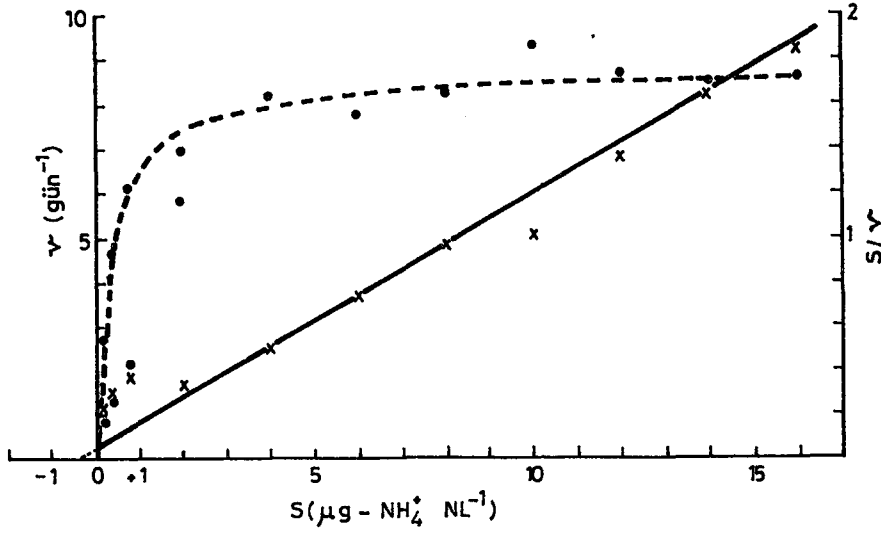
Şekil 2.7: Azotun limitleyici olduğu kesikli bir kültürde nitrat konsantrasyonu ve hücre konsantrasyonu arasındaki ilişki (O'BRIEN, 1972)



Şekil 2.8: Kültür ortamında NO_3^- ve NH_4^+ 'un algler tarafından alınması (MCCARTHY, 1981)



Şekil 2.9: Ortamdaki NH_4^+ konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak aynı zamanlı NO_3^- ve NH_4^+ alım hızı (MCCARTHY, 1981).



Şekil 2.10: Sürekli ve kararlı kültür ortamında $\mu = 1.55 \text{ gün}^{-1}$ için NH_4^+ alım hızı (●). S/μ 'ye karşılık S 'nin Woolf lineer noktalanması (x) (MCCARTHY, 1981).

2.6.4. Fosfor Bileşiklerinin Algler Tarafından Kullanılması

Algler için en önemli inorganik fosfat kaynağı ortofosfatlar yani PO_4^{-3} 'dür. Alglerin çoğu fazla PO_4^{-3} 'ü, 30-500 nm çapındaki stoplazmik granüller içinde polifosfatlar olarak depolar (DARLEY, 1982).

2.6.5. Azot-Fosfor Oranı

Doğal sularda yapılan çalışmalarda üzerinde en çok durulan konu büyüme limitleyen besin maddeleri ve özellikle de azot ile fosfor olmuştur. Redfield (1958), Rhee (1974, 1978), Goldman v.d. (1979) ve Terry (1980), bu iki besin maddesinin arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Redfield (1958), fitoplanktonlar için elemental N:P kompozisyonunun atom olarak yaklaşık 16:1 olduğunu bu oranın derin okyanuslarda çözünmüş haldeki iyonlarında da aynı olduğunu ortaya koymuş ve fitoplankton üretimini inceleyen modellerde bu oran geniş bir uygulama bulmuştur.

Goldman v.d.(1979), N:P oranının $\leq 15:1$ olduğu büyüme ortamlarında, fitoplanktonların N:P kompozisyonlarının ortamdaki bu oranı yansıttığını gözlemiştir.

Terry (1980), ise N:P oranının > 50 olduğu büyüme ortamlarında, ortam ve hücre sel element kompozisyonu arasındaki ilişkinin zayıfladığını belirtmiştir.

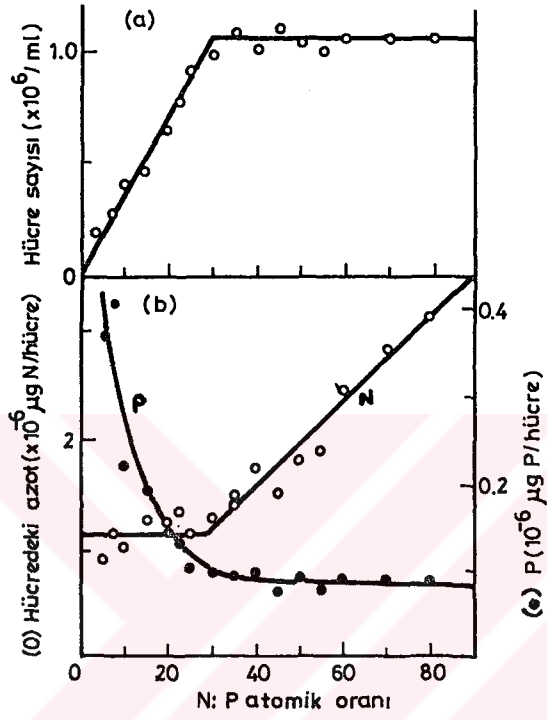
Rhee (1978), Scenedesmus sp. fitoplankton türü için azotun limitleyici olduğu büyüme ile fosforun büyümeyi limitlediğı geçiş fazını araştırmıştır. Deney sabit bir seyrelme oranında ve dolayısıyla sabit bir büyüme hızında kemostat kültürde, yapılmıştır. Girişte ortamın azot konsantrasyonu kademe kademe arttırılmış, fosfor konsantrasyonu ise sabit tutulmuştur. Şekil 2.11'de gösterildiğı gibi, N:P oranı 30 oluncaya kadar azot limitleyici bu oranın üzerinde ise muhtemelen fosfor limitleyici olmuştur.

2.6.6 Alg Büyümesinde Rol Oynayan İz Elementler

Azot, fosfor ve silikat gibi büyümeyi limitleyen elementler dışında bazı inorganik elementler, gerek ortamda az bulundukları için, gerekse toksik etki yaratabilecek konsantrasyonlarda oldukları için büyümeyi limitleyebilirler. Büyüme deneyleri Fe, Mn, Mo, Co ve Zn ilavesiyle bazı sucul sistemlerde, büyümenin arttığını göstermiştir. Alglerin büyümesi için gerekli bazı vitaminler ise B₁₂, thiamin ve biotin olmaktadır (DARLEY, 1982).

2.6.7. Alg Büyümesine Tuzluluğun Etkisi

Deniz suyunda bulunan çözünmüş inorganik tuzlar, alglerin elemental kompozisyonu ve ozmotik aktivitelerini etkileyebilir. Ana katyon ve anyonlar Na⁺, K⁺, Mg⁺⁺, Ca⁺⁺, HCO₃⁻, CO₃⁻², Cl⁻, SO₄⁻² olmaktadır. Denizlerde yaşayan algler, %35 ve daha yüksek tuzluluğa karşı dayanıklıdır. Deniz algleri 0.5M NaCl'ye eşdeğer ozmotik potansiyele sahiptirler (DARLEY, 1982).



Şekil 2.11: Kemostat kültürlerde, belli bir seyrelme hızında sabit fosfor konsantrasyonu ve değişen azot konsantrasyonlarında Scenedesmus sp.'nin büyümesi. Deneyde bütün N/P oranlarında ortamda kalıntı azot ve fosfor kalmamıştır. (RHEE 1978).

3. DAHA ÖNCE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

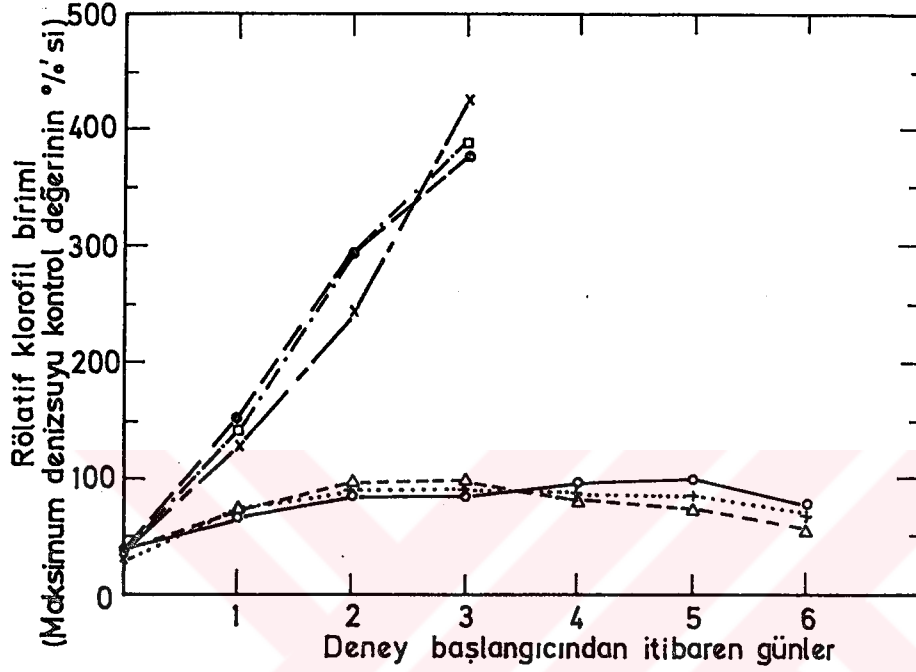
Mikroalglerin büyümesi ile besin maddesi ve çevresel etkilerin ilişkisi çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiş ve bunlardan bazıları bu bölümde anlatılmıştır.

Goldman v.d. (1973), yaptıkları çalışmada fitoplankton büyütme havuzlarının, algal asimilasyon ile azot gideriminde etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Fitoplankton büyütme havuzu giriş ve çıkış sularından alınan örnekler ile sadece ikincil arıtmadan geçmiş atıksu örnekleri, değişik oranlarda deniz suyu ile karıştırılarak ve kontrol olarak kullanılan ve deniz suyu içeren örneklerle karşılaştırılarak algal büyüme incelenmiştir. Algal büyüme klorofil-fluoresan olarak ölçülmüş ve maksimum deniz suyu kontrol değerinin (5 günlük büyüme için % 100) rölatif yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Bkz. Şekil 3.1).

Çalışmada; a) deniz suyu(kontrol olarak), b) 1/100 seyrelme oranlı fitoplankton büyütme havuzu çıkış suyu, c) 1/20 seyrelme oranlı fitoplankton büyütme havuzu çıkış suyu, d) 1/50 seyrelme oranlı ikincil arıtma çıkış suyu, e) 1/100 seyrelme oranlı ve 12.5 $\mu\text{g-atom/L}$ NH_4^+-N ilaveli fitoplankton büyütme havuzu çıkış suyu, f) 1/20 seyrelme oranlı ve 72.8 $\mu\text{g-atom/L}$ NH_4^+-N ilaveli fitoplankton büyütme havuzu çıkış suyu incelenmiş ve algal büyüme ölçülmüştür. d,e,f' de ölçülen algal büyüme a,b,c' de ölçülen algal büyümeden 4 kat daha fazla olmuş ve azotun büyümeyi limitleyen anahtar bir element olduğu vurgulanmıştır (GOLDMAN,J.C., TENORE,R., KENNETH, STANLEY, H.I.,1973).

Goldman (1975) tarafından, sürekli çalışan bir sistemde arıtılmış ve arıtılmamış atıksu örnekleri ile deniz suyu karışımlarına algal biyotestler uygulanmıştır. Sürekli sisteme giren toplam inorganik azot konsantrasyonu ($\Sigma\text{N} = \text{NH}_4^+-\text{N}+\text{NO}_2^--\text{N}+\text{NO}_3^--\text{N}$) ile algal biyoması ifade eden partikül azot (PN) arasında $\Sigma\text{N} \leq 10 \text{ mg/L}$ için, doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır (Bkz. Tablo 3.1). Fosfor ilavelerinin algal büyüme üzerinde etkili olmadığı ve fosfor içeren deterjan atıklarının arıtılmasının kıyı sularında ötrofikasyon kontrolünde çok az etkili olacağı belirtilmiştir.

Şekil 3.2'de azot ve fosfor ile yapılan zenginleştirme deneyleri özetlenmiştir. Yapılan ilk biyotestlerde, başlangıçta 1.3mg/L ΣN ve 0.5mg/L $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ (N:P=5.8) içeren deniz suyu+ikincil arıtma çıkış suyu karışımına 0.7, 1.4 ve 2.3 mg/L'lik artan konsantrasyonlarda azot ilave edilerek N:P oranı 16.9'a yükseltilmiş azot zenginleştirilmesi ile PN'nin lineer arttığı ortaya konmuştur. Daha sonraki deneylerde hem atıksu miktarı hem de ilave edilen azot miktarı arttırılmış, ($\Sigma\text{N} = 2.2$ ile 6.8 mg/L arasında) aynı zamanda bazı kültürlerle fosfor ilavesi yapılmıştır. (P = 0.8-3.8 mg/L arasında) N:P oranı 3.9 ile 20 arasında değiştirilmiş, fosfor ilavesinin önemsiz olduğu ve PN ile ΣN 'nin yine doğrusal değiştiği ortaya konmuştur (GOLDMAN, J.C, 1976).



Şekil 3.1: Woods Hole kıyı sularında, ikincil arıtılmış evsel atıksu ile deniz suyu karışımları ve fitoplankton büyütme havuzu çıkış suyu ile deniz suyu karışımlarında klorofil olarak ölçülmüş fitoplankton büyümesinin karşılaştırılması.

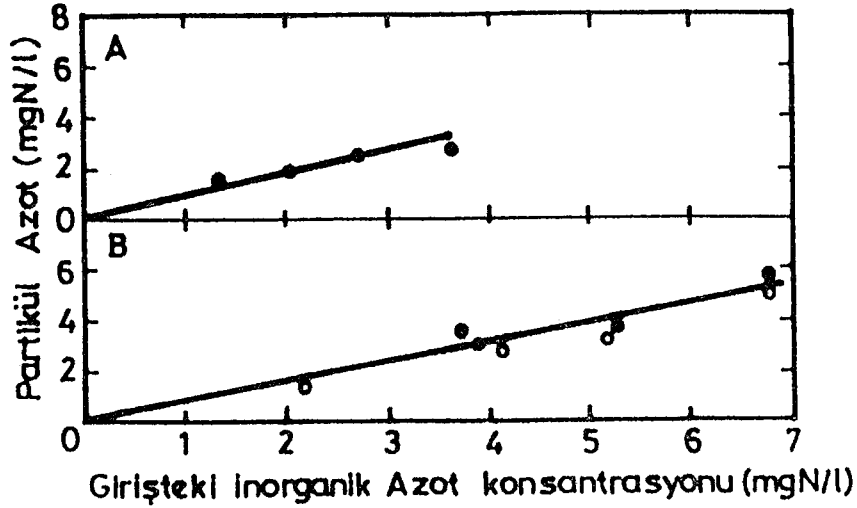
- o. Deniz suyu
- Δ. 1:100 seyreltmeli fitoplankton büyütme havuzu çıkışı
- + 1:20 seyreltmeli fitoplankton büyütme havuzu çıkışı
- 1:50 seyreltmeli ikincil arıtma çıkışı
- x. 1:100 seyreltme ve 12.5 $\mu\text{g-atom/L NH}_4^+\text{-N}$ ilaveli fitoplankton büyütme havuzu çıkışı
- o. 1:20 seyreltme ve 72.8 $\mu\text{g/atom/L NH}_4^+\text{-N}$ ilaveli fitoplankton büyütme havuzu çıkışı

Goldman & Ryther (1975) tarafından yapılan bir araştırmada, ötrofikasyonun kontrolü için alglerle besin maddelerinin asimilasyonu üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada klasik biyolojik arıtmadan geçmiş, BOD ve askıda katı maddelerden arındırılmış atıksu, deniz alglerinin üretilmesi için deniz suyu ile seyreltilmiştir. Atıksu - denizsuyu karışımının seyrelme oranı 0.5 gün^{-1} 'de sabit tutulduğunda, %20-%80 çözünmüş inorganik azot ($\Sigma N = \text{NH}_4^+ - \text{N} + \text{NO}_2^- - \text{N} + \text{NO}_3^- - \text{N}$) ve %50 ortofosfat ($\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$) algal asimilasyon ile giderilmiştir. Aynı anda oluşan alglerin %85'i, filtrelenerek uzaklaştırılmıştır (GOLDMAN, RYTHUR, 1975).

Tablo 3.1: Algal biyotestlerde besin maddeleri ve büyüme parametreleri arasındaki ilişkiler (GOLDMAN, J.C., 1975)

Parametreler	Biyotest sayısı	Regresyon denklemi		
		Eğim	Sabit	Korel.K
İlk Biyotest deneyleri	17			
PN - ΣN		0.71	1.01	0.86
PN - $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$		0.97	3.04	0.57
İkinci Biyotest deneyleri	25			
PN - ΣN		0.81	0.22	0.91
PN - $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$		0.86	1.84	0.81
PP - $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$		0.36	0.16	0.80
PP - ΣN		0.27	0.33	0.74
UAKM - PN		11.59	0.48	0.92
UAKM - PP		20.33	29.41	0.64
Birleştirilmiş veriler	42			
PN - ΣN		0.81	0.33	0.92
PN - $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$		1.06	2.15	0.76

Plumb(1975) tarafından yapılan bir çalışmada, deniz dibinden kazınarak çıkarılan malzeme, biyotest seyrelme tekniğiyle incelenmiştir. Arazi çalışmalarından elde edilmiş difüzyon verilerine göre, biyotest deneyleri yapılmıştır. Toplanan sediment, bertaraf yerindeki deniz suyu ile yıkanarak, çökmeye bırakılmış ve üstteki sıvı kısım santrüfleme ve filtrasyon işlemlerinden geçirilerek, Dunaliella Tertiolecta ve Selenastrum Capricornutum ile aşılanmıştır. Difüzyon verilerinden elde edilen oranlarda seyrelme uygulanarak bertaraf alanındaki durum oluşturulmuştur. Seyrelme oranları dikkate alındığında, inhibisyon ve alg büyümesini teşvik eden unsurların, algler üzerinde etkili olmadığı anlaşılmıştır (PLUMB, R., 1975).



Şekil 3.2: Azot ve fosfor ilavelerinin partikül azot (PN) oluşumuna etkisi

a)-İlk seri biyotest deneyleri

b)-İkinci seri biyotest deneyleri

• atıksu + deniz suyu karışımına azot ilavesi

o atıksu + deniz suyu karışımına fosfor ilavesi

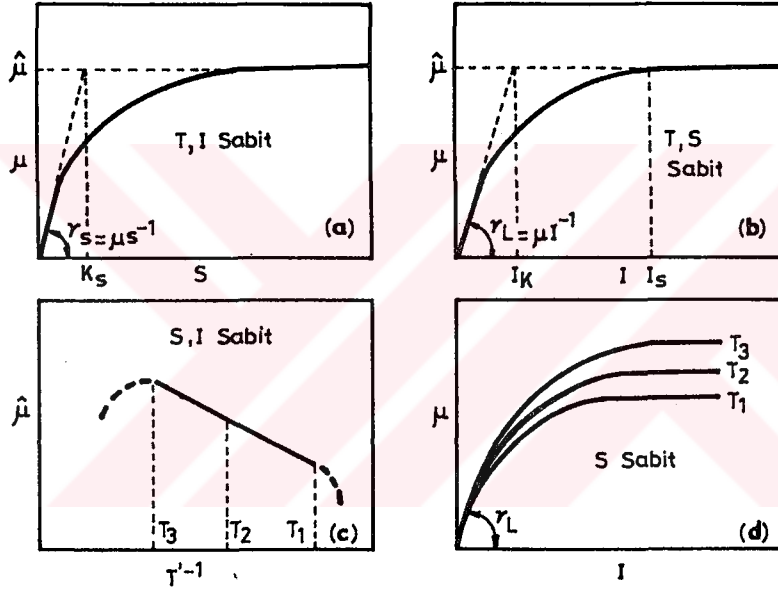
Harvey, W., Caperon, J. (1976), ötrofik bir ortamda, doğal deniz fitoplankton popülasyonlarının, üre, amonyum ve nitratı kullanım hızları konusunda çalışmışlardır. Ortalama alım hızı, ($\mu\text{g-at/L}$ birim popülasyon azotu başına $\mu\text{g-at/L/saat}$) üre için 0.035/saat, nitrat için 0.013/saat ve amonyum için 0.040/saat olarak saptanmıştır. Karanlık fazdaki alım hızları ise, aydınlık zamanda ölçülen hızların üre için %30, nitrat için %0, amonyum için ise %50'si oranında gerçekleşmiştir. İnorganik azotun, denizlerde fitoplankton üremesinin kontrolünde önemli olduğu bilinmekte ancak çözünmüş organik azotun (DON) rolü pek fazla bilinmemektedir. Bu çalışmayla nitrat ve amonyuma ilaveten ürenin de fitoplankton üremesinde büyük rolü olduğu anlaşılmıştır (HARVEY, W., CAPERON, J., 1976).

Goldman (1979), tarafından güneş ışığı enerjisinin, fotosentetik dönüşümle algal biyokütleye çevrimini incelemek amacıyla açık havada büyük ölçekli kültürler ile araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada algal büyüme hızına etki eden üç önemli parametre; sıcaklık, ışık şiddeti ve limitleyici besin maddesi arasındaki ilişkiler incelenmiş ve bu ilişkiler Şekil 3.3'de verilmiştir.

Şekil 3.3(a)'da gösterildiği gibi sıcaklık (T) ve ışık şiddeti (I) sabit tutulduğunda, $\mu = f(S)$ tir. S büyümeyi limitleyen besin maddesi

konsantrasyonudur. Eğri, düzgün bir hiperbolik fonksiyonla ifade edilmiş olup, pek çok büyümeyi limitleyici besin maddesi için geçerlidir. Düşük besin maddeleri konsantrasyonlarında $\mu = \frac{\mu_{\max}}{K_s} S$ olup birinci mertebededir. Yüksek besin maddeleri konsantrasyonlarında ise $\mu = \hat{\mu}$ 'dur. $\hat{\mu}$, maksimum büyüme hızını göstermektedir. $\mu = 0.5\hat{\mu}$ olduğunda, $S = K_s$ olmaktadır.

Şekil 3.3(b)'de gösterilen durumda, ışık şiddeti değişken olup, sıcaklık ve besin maddesi konsantrasyonları sabittir. Bu durumda $\mu = f(I)$ 'dir. I_k , K_s ile aynı fiziksel anlamı taşımaktadır. I_s ise $\mu = \hat{\mu}$ olduğunda, meydana gelen doygunluk ışık şiddetidir. I_s doygunluk ışık şiddeti $\mu = 0.95\hat{\mu}$ değerinde oluşur ve $I_s/I_k = 19$ 'dur.



Şekil 3.3: Algal büyüme hızları (μ) ve çevresel parametreler arasındaki ilişkiler

- a) Limitleyici besin maddesi (S)
- b) Işık şiddeti (I)
- c) Sıcaklık (T)
- d) Değişen Sıcaklıklarda Işık şiddeti(I)

Şekil 3.3(c)'de gösterilen durumda, ışık şiddeti ve besin maddesi konsantrasyonları sabit olup, sıcaklık değişkendir. $T, ^\circ\text{C}$ olarak sıcaklığı, T' ise $^\circ\text{K}$ olarak sıcaklığı ifade etmekte ve $\ln \hat{\mu}$ ile $1/T'$ arasındaki ilişki gösterilmektedir.

Şekil 3.3(d)'de ise, algal büyüme için gerekli tüm besin maddeleri sağlandığında, hem sıcaklık hem de ışık şiddetinin büyüme hızına etkisi gösterilmiştir (GOLDMAN, J. C., 1979).

Eppley (1972), tarafından sıcaklığın algal büyüme hızına etkisi, ışık şiddetinin algal büyüme için optimum olduğu ve algal büyüme için gerekli besin maddelerinin ortamda bol miktarda bulunduğu durumda incelenmiş şu bağıntı elde edilmiştir:

$$\mu(T) = \mu_{\max} (1.066)^{T-20}$$

$\mu_{\max}$ = 20°C sıcaklık ve optimal ışık ve besin maddesi koşullarında fitoplanktonun maksimum büyüme hızı

$\mu_{\max}$ deniz fitoplankton türleri için 1.5 ile 2.5 gün^{-1} arasında değişim göstermekte, ortalama bir değer olarak 1.8 gün^{-1} kabul edilmektedir (EPPLEY, 1972).

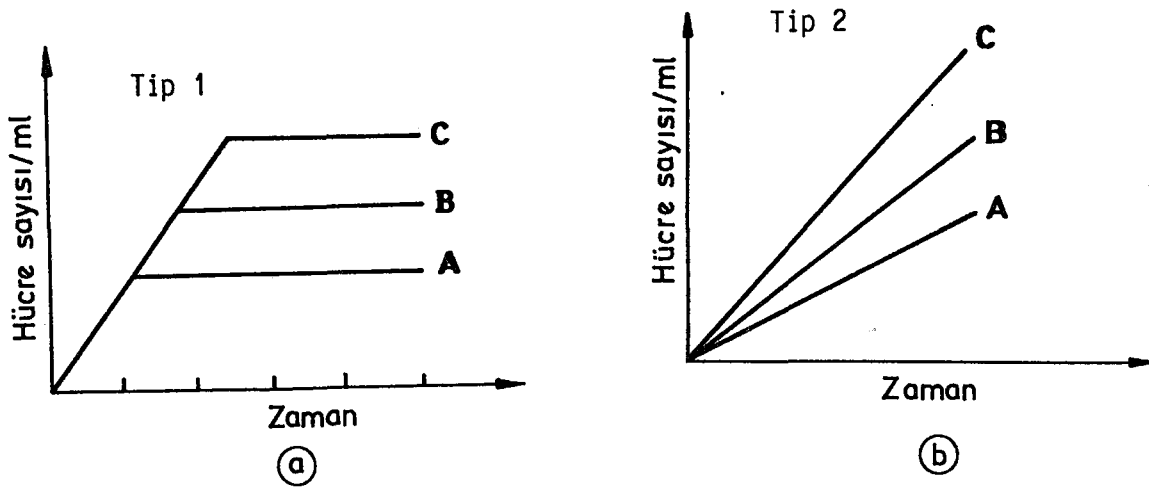
O'Brien (1972), fitoplanktonların büyümesini limitleyen faktörler konusunda yaptığı bir araştırmada, fitoplanktonların iki tip büyüme gösterdiklerini ortaya koymuştur (Bkz. Şekil 3.4a ve b).

Tip 1 ile ifade edilen, birinci tip büyüme, Liebig'in minimum yasasına uygun gelişen bir büyümedir. Bu tip büyümede, büyüme hızı değişmez ancak limitleyici besin maddesi konsantrasyonunun artmasıyla ulaşılan büyüme miktarı artar. Tip 2 ile ifade edilen ikinci tip büyüme de ise artan limitleyici besin maddesi konsantrasyonu ile hem büyüme hızı hem de ulaşılan büyüme miktarı artar.

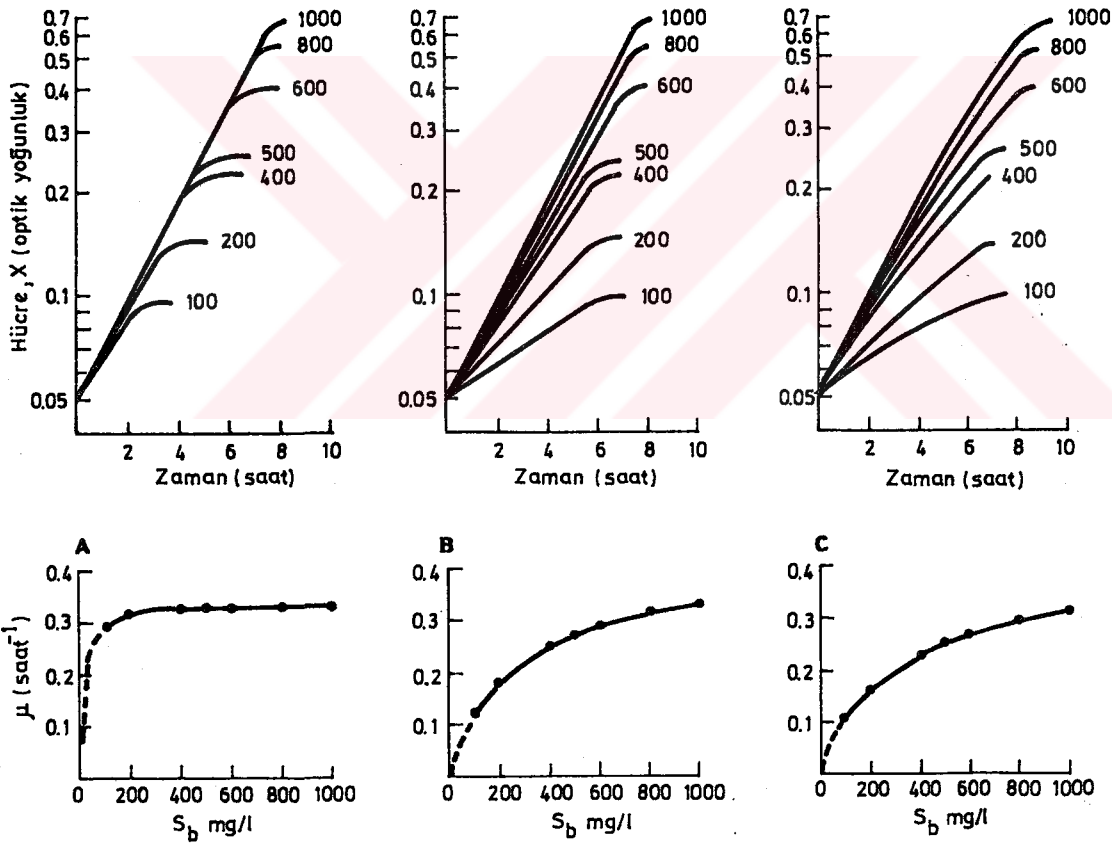
Gaudy, A ve Gaudy, E. (1989) ise kesikli sistemlerde gözlenen büyüme eğrilerinin üç değişik tipte olabileceğini ifade etmişlerdir (Bkz. Şekil 3.5).

Şekil 3.5. A, kültür çalışmalarından elde edilen bir eğridir. Başlangıç besin maddesi konsantrasyonlarının (S_p) 400 ile 1000 mg/L olduğu aralıkta, eksponensiyel fazın eğimi aynıdır. 400 mg/L 'den düşük konsantrasyonlarda eksponensiyel fazın eğimi hafifçe azalmaktadır. Özgül büyüme hızı μ , sadece düşük konsantrasyonlarda, besin maddesine bağlıdır.

Şekil 3.5 B, heterogen mikrobiyal toplulukların büyümesinde gözlenmiş bir eğridir. Her başlangıç besin maddesi konsantrasyonu için ayrı bir eksponensiyel faz bulunmakta ancak eğriler yaygın biçimde oluşmaktadır. μ , S_p ile doğrusal değişim göstermemektedir.



Şekil 3.4: A, B, C artan limitleyici madde konsantrasyonlarını ifade etmek üzere (a. Tip 1 büyümesi; b. Tip 2 büyümesi (O'BRIEN, 1972))



Şekil 3.5: Farklı besin maddesi konsantrasyonlarında gözlenen değişik tipteki büyüme eğrileri. Şekil 3.5 B'deki büyüme, genellikle heterojen mikrobiyal topluluklarda gözlenmiştir. (GAUDY, A., GAUDY, E., 1989)

Şekil 3.5 C'de ise sadece yüksek besin maddesi konsantrasyonlarında, eksponensiyel büyüme fazı oluşmaktadır. Eksponensiyel faz oluşmamasına rağmen, özgül büyüme hızı, besin maddesi konsantrasyonuna bağlıdır. Besin maddesi konsantrasyonu arttıkça, özgül büyüme hızı düşmektedir.

Şekil 3.4 A için klasik Monod eşitliği geçerlidir ve hiperbolik eşitlik aşağıdaki denklemle ifade edilmiştir..

$$\mu = \frac{\mu_m * S}{K_s + S} \quad (3.1)$$

Şekil 3.4 B ve C için ise özgül büyüme hızı için hiperbolik eşitlik şu denklemle ifade edilmiştir.

$$\mu = \frac{\mu_m * S_b}{K_s + S_b} \quad (3.2)$$

S_b = Başlangıç besin maddesi konsantrasyonu

Bu ifade, kesikli kültür sistemlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesinde geniş uygulama alanı bulmuştur (GAUDY, A., GAUDY, E., 1989).

Markoç, E., Tuğrul, S. (1989) tarafından İzmit Körfezinde fitoplanktonların birincil üretimi ve birincil üretimi etkileyen faktörler araştırılmış ve biyotestler yapılmıştır. Çalışmada, körfezin iç kısmına doğru algal üretimi arttıran organik ve besin maddesi kirlenmeleri olduğunu açıkça göstermiştir. Körfezin nispeten daha az kirlenmiş bölgesi olan batı bölümünde birincil üretim yaklaşık 185 gC/m²/yıl iken körfezin daha iç kısmında 330 gC/m²/yıl'dır. Birincil üretim Mart ayında 3810 mgC/m²/gün ile en yüksek, Temmuz ayında 120 mgC/m²/gün ile en düşük değerde ölçülmüştür. Klorofil-a ve üretim ölçümlerinden, ilkbahar ve Sonbahar algal patlamalarının Mart-Nisan ve Ekim-Kasım aylarında olduğu saptanmıştır. Biyotest ölçümlerinden, fitoplankton büyümesini limitleyen besin maddesinin o-fosfat ve reaktif silikat olduğu, nitratın etkisinin ihmal edilebileceği anlaşılmıştır. Arazi çalışmalarından N:P oranının 7'den küçük olduğu (kütle olarak) ve nitratın büyümeyi limitleyen element olabileceği belirlenmişse de, biyotestlerde elde edilen sonuçlar o-fosfatın algal üretimi indirgemek için en önemli besin maddesi olduğunu ortaya koymuştur (MARKOÇ, E., TUĞRUL, S, 1989).

Çalışmada dünyanın farklı kesimlerinde yer alan bazı körfezlerde ölçülen birincil üretim değerleri kıyaslama açısından verilmiştir (Bkz. Tablo 3.2)

Baştürk, A. (1988) tarafından Marmara Denizinde yapılan bir başka araştırmadan elde edilen birincil üretim değerleri ise Tablo 3.3'de verilmiştir (BAŞTÜRK, A. v.d. 1988)

Tablo 3.2: Bazı denizlerde ölçülmüş ortalama fitoplankton üretimi değerleri (mgC/m²/gün)

Alan	Gözlem Sayısı	Üretim
Sargasso Denizi	4	173
Loch Ewe	11	295
Panama Kanalı	23	454
Baltık Denizi	1	600
Karadeniz	2	750
İzmit Körfezi	9	655
İzmit Körfezi	9	726
İzmit Körfezi	9	1030
İzmit Körfezi	9	1222

Gökpınar, Ş.(1991) tarafından, yapılan bir araştırmada, fitoplanktonların Chlorophyceae sınıfına ait 4, Prasinophyceae sınıfına ait 1 tür, doğada bulunan üç formdaki azot kaynaklarının sınırlı konsantrasyonlarında, farklı iki sıcaklıkta daimi aydınlatma koşullarında inkübe edilmişlerdir. Böylece su kültürü çalışmalarında en çok kullanılan flagellat türleri üzerine, sınırlı azot konsantrasyonlarının maksimum büyüme hızlarına (μ_m) ve sıcaklık değişimlerinin azot alınımıyla ilişkili yarı doygunluk (K_s) sabitlerine etkileri açıklamak amaçlanmıştır (GÖKPINAR, Ş.1991).

Bu çalışmada türlerde saptanan yarı doygunluk sabitleri ve maksimum büyüme hızları karşılaştırılmıştır (Bkz. Tablo 3.4).

Geldiay, R., Uysal, H. (1978), İzmir Körfezi'nin birincil üretimi konusunda çalışmışlardır. Bu çalışmada, İzmir Körfezi'nde tespit edilen iki istasyonda (İstasyonlardan biri İç Körfezi diğeri Dış Körfezi temsil etmektedir.) Ağustos 1972'den, Ağustos 1973'e kadar her ay birim hacimdeki deniz suyunda mikroalgler tarafından meydana getirilen birincil üretim ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler E. Stemann NIELSEN'nin C¹⁴ metodu ile yapılmıştır. İç Körfez'i temsil eden 1. istasyonda yıllık birincil üretim, 19.94 ile 366.06 mgC/m²/saat arasında değişim göstermiştir. Dış Körfez'i temsil eden 2. istasyonda yıllık birincil üretim, 3.77 ile 60.55 mgC/m²/saat arasında değişmiştir. Maksimum üretim, her iki istasyonda da Sonbahar ve İlkbahar döneminde olmuş, minimum üretim ise kış döneminde meydana gelmiştir. Tablo 3.5'de aylara göre her iki istasyonda ölçülen birincil üretim sonuçları verilmiştir.

Tablo 3.3: Boğaz-Marmara arakesidinde ölçülen aylık birincil üretim değerleri (BAŞTÜRK, A. v.d. 1988)

Aylar	Birincil üretim (gC/m ² /ay)
Ocak, 86	4.17
Şubat, 86	10.77
Mart, 86	11.34
Nisan, 86	8.07
Mayıs, 86	12.24
Temmuz, 86	8.37
Ağustos, 86	9.81
Eylül, 86	4.80
Kasım, 86	7.20
Ocak, 88	3.79
Şubat, 87	7.71
Mayıs, 87	16.26
Ortalama	8.71

İzmir Körfezi'nde D.E.Ü., Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından son yıllarda sürekli azot ve fosfor ölçümleri yapılmıştır. 1988-1989 döneminde ölçülen toplam inorganik azot konsantrasyonları 1-20 $\mu\text{mol/L}$ arasında, toplam fosfor konsantrasyonları ise 0-7.5 $\mu\text{mol/L}$ arasındadır. Yapılan incelemelerden, azot:fosfor oranının atom olarak 5 ile 10 arasında olduğu saptanmıştır. İç ve Orta Körfez'de Secchi Diski derinliği 1.00-3.20 m arasında, Dış Körfez'de ise 4.50-19.80 m arasında değişim göstermiştir.

Büyükişık, B. (1988) tarafından 1984 ve 1985 yıllarında, Gülbahçe Körfezi ile İzmir İç Körfezi klorofil-a konsantrasyonları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Gülbahçe Körfezi'nde klorofil-a konsantrasyonu 0.02 ile 3.18 $\mu\text{g/L}$ arasında, İç Körfez'de ise 0.50 ile 61.87 $\mu\text{g/L}$ arasında değiştiği saptanmıştır (BÜYÜKİŞİK, B., 1988).

Tablo 3.4: Türlerde saptanan yarı-doygunluk sabitleri (K_s) ve maksimum hücre bölünme hızlarının (μ_m) karşılaştırılması (GÖKPINAR, Ş. 1991)

TÜRLER	N-Kaynağı	Sıcaklık (°C)	K_s (μM)	μ_m (b/g)
<u>C.uvamaris</u>	Nitrat	15	0.37	0.30
		26	1.47	0.96
	Nitrit	15	0.40	0.36
		26	1.41	0.63
	Amonyum	15	0.42	0.43
		26	0.66	0.46
<u>D.tertiolecta</u>	Nitrat	15	0.69	0.29
		26	0.96	0.65
	Nitrit	15	0.64	0.36
		26	0.80	0.88
	Amonyum	15	0.76	0.41
		26	0.82	0.95
<u>Nannochloris sp.</u>	Nitrat	15	0.95	0.43
		26	1.32	0.76
	Nitrit	15	0.63	0.44
		26	0.96	0.62
	Amonyum	15	1.38	0.53
		26	1.82	0.83
<u>Chlorella sp.</u>	Nitrat	15	1.10	0.42
		26	1.21	0.51
	Nitrit	15	0.15	0.34
		26	0.85	0.87
	Amonyum	15	0.72	0.45
		26	0.20	0.73
<u>T.Chui</u>	Nitrat	15	0.44	0.69
		26	1.10	0.52
	Nitrit	15	0.53	0.69
		26	1.91	0.57
	Amonyum	15	0.53	0.57
		26	1.90	0.45

Tablo 3.5: İç ve Dış Körfez'deki istasyonlarda ölçülen birincil üretim hızları (mgC/m²/saat).

Ölçüm Tarihi	İç Körfez	Dış Körfez
Ağustos 1972	93.60	21.48
Eylül 1972	133.00	13.69
Ekim 1972	19.90	60.55
Kasım 1972	120.90	41.77
Aralık 1972	107.80	21.56
Ocak 1973	-	7.52
Şubat 1973	43.30	-
Nisan 1973	183.06	16.68
Mayıs 1973	215.94	28.44
Haziran 1973	302.81	-
Temmuz 1973	366.06	-

İzmir Körfezi'nde belirli dönemlerde red-tide olayı gözlenmektedir. Koray, T., Büyüksık, B. 1984 tarafından 28 Nisan 1983'de gözlenen red-tide olayında, Alexandrium minutum adlı bir mikroalg türünün, olayda en etkili dinoflagellat türü olduğu, hücre sayısı, sıcaklık, pH, oksijen, nitrat, fosfor ve amonyum'un su kolonunda derinlikle azaldığı, nitrit ve tuzluluğun ise derinlikle arttığı gözlenmiştir. CİRİK, Ş., YARAMAZ, Ö., ÖNEN, M. (1990) tarafından 18 Ocak 1990 da gözlenen bir başka red-tide olayında, suların kırmızılaşmasına neden olan ve suda çok fazla konsantrasyonda bulunan organizmanın, dinoflagellatlardan Noctiluca Scintillans olduğu belirtilmiştir. (CİRİK, Ş.; YARAMAZ, Ö.; ÖNEN, M. 1990). Koray, T. (1992), Mart ayından Mayıs ayına kadar İzmir Körfezinde, suya turuncu ve pembe renk veren Noctiluca Scintillans'ın yer yer görüldüğünü, Nisan ayı başında aşırı üreyen ve zehirli olan Prorocentrum Micans'ların ortaya çıktığını ve suya kırmızı kahverengi renk verdiğini belirtmiştir. Nisan ayı ortalarından itibaren ise Alexandrium Minutum denilen orta şiddette zehirli mikroalgin, suya kırmızı kahverengi renk verdiğini, Mayıs ayı ortalarından başlamak üzere Haziran ayına kadar süren yeşil renge ise Eutreptiella Gymnastica'nin neden olduğunu, Haziran ayı başından itibaren deniz suyunun cam göbeği mavi-kireçli su görüntüsü almasına neden olan Emiliana Huxlei'nin görüldüğünü ifade etmiştir.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması

Deney düzenekleri olarak boyutları 15 x 33 x 25 cm olan, cam akvaryumlar kullanılmıştır. Laboratuvarında yapılan deneylerde fotosentez için gerekli ışık enerjisini sağlamak için akvaryumların üzerine florasan lambalar konulmuştur. Düzeneklerin yanında pH değişimlerini incelemek için bir pH metre sürekli hazır bulundurulmuş. Sıcaklık ölçümü için de her akvaryuma suyun içine batırılmış termometreler konulmuştur. Cidarlara olan yapışmaları önlemek için belirli aralıklarla bağıtle karıştırma yapılmıştır. Deney düzeneklerine ait bir görüntü deneyler esnasında alınmış ve Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

4.2. Deniz Suyu Örneklerinin Alınması ve Örneklerin Alındığı Noktalar

Deniz suyu örnekleri, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'ne ait K.Piri Reis Gemisi tarafından, 0-10 m derinlikten, Dış Körfez'de Şekil 4.2'de gösterilen noktalardan alınmıştır.

4.3. Evsel Atıksu Örneklerinin Alınması

Deneylerde kullanılan, evsel atıksu örnekleri, üniversite kampüsü içinde yer alan açık bir atıksu kanalından alınmıştır.

4.4. Deneylerde Kullanılan İnorganik Kimyasal Besin Maddeleri

Deneylerde besin maddesi olarak inorganik azot kaynağı amonyum sülfat $((NH_4)_2SO_4)$, inorganik fosfor kaynağı olarak potasyum dihidrojen fosfat (KH_2PO_4) kullanılmıştır.

4.5. Deneylerde Ölçülen Parametreler, Ölçüm Yöntemleri, Kullanılan Aletler

a) pH Ölçümü:

pH ölçümü, digital pH-Meter E-520 ile yapılmıştır.

b) Tuzluluk Ölçümü:

Tuzluluk, YSI Salinimetre ile ‰ olarak ölçülmüştür.

c) Sıcaklık Ölçümü:

Sıcaklık, termometre ile °C olarak ölçülmüştür.

d) Işık Şiddeti Ölçümü:

0 ile 100 klük arasında ölçüm yapan Guro marka lükmetre ile ölçüm yapılmıştır.

e) Uçucu Askıda Katı Madde Ölçümü (UAKM):

Alınan su numunesi iyice çalkalanır. 105±5°C'de 3 saat kurutulmuş ve tartılmış 0.45 µm gözenek genişlikli membran filtreden vakum pompası yardımıyla süzülür. Daha sonra 100 ml destile su filtreden geçirilir. Filtre kağıdı 105±5°C'de kurutulur, tartım yapılır. Bu tartımlar yardımıyla askıda katı madde hesaplanır. Kurutulan filtre kağıdı 1 saat 550±50°C'de yakılır, tekrar tartım alınır. UAKM aşağıdaki formülden hesaplanır (TÜBİTAK, 1989).

$$UAKM = [(A-B) \times 1000] / V_{\text{örnek}}$$

A = Yakma işleminden önce kap+kuru filtre ağırlığı (mg)

B = Yakma işleminden sonra kap+kalıntı ağırlığı (mg)

$V_{\text{örnek}}$ = Süzülen örnek miktarı (ml)

f) Klorofil-a Ölçümü:

Deniz suyundaki fitoplankton miktarını saptamak için en kullanışlı metod klorofil miktarının özellikle klorofil-a'nın saptanmasıdır. Bu değer bir faktör kullanılmak suretiyle toplam biyomasa dönüştürülebileceği gibi, fotosentetik ölçümlerle de ilişkilendirilebilir. Deniz suyunda algal pigmentler için ilk spektrofotometrik metod Richards ve Thompson tarafından ortaya konulmuştur. (J.MAR.RES., 11:156,1952). Parsons ve Strickland tarafından bu metod geliştirilmiştir (J.MAR. RES., 21: 155, 1963). En yeni teknik ise Jeffrey ve Humphrey tarafından ortaya konmuştur. (BIOCHEM. PHYSIOL. PFLANZEN., 167:191, 1975) kullanılan yöntem, yukarıda adı sayılan referanslardan hareket edilerek hazırlanmıştır.

Yöntemde 0.5 ile 2 l arasında değişen miktarlardaki deniz suyu ve 100 ml destile su 0.45 µm membran filtreden vakumla süzülür. Süzme işleminden önce, 1 gr. toz MgCO₃'ün, 100 ml destile suya ilave edilmesiyle hazırlanmış çözeltiden 3-5 damla ilave edilir. Filtre kağıdı 15 ml'lik santrüfuj tüpüne yerleştirilip, 10 ml % 90'luk aseton ilave edilir ve özütlenerek 10 dak. santrüfujlenir. Daha sonra

663, 645, 630 nm dalga boylarında absorbans ölçülür. Her dalga boyunda %90'luk aseton ile "cell to cell" blank yapılır.

Klorofil-a aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$\text{Chl-a}(\text{mg/m}^3) = 11.64 A_{663} + 0.1 A_{645} + 0.1 A_{630} [V_{\text{aseton}} / V_{\text{örnek}}]$$

$V_{\text{örnek}}$ = filtre edilen deniz suyu hacmi (ml)

V_{aseton} = Ekstraksiyon için kullanılan aseton hacmi (ml)

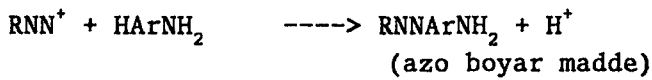
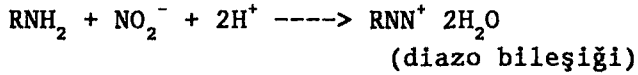
g) Amonyum Azotu ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+ - \text{N}$) Ölçümü:

Fenol- Hipoklorit yöntemi indofenol reaksiyonlarının pek çok modifikasyonlarından biridir. Yüksek pH değerlerinde amonyak, fenol ve hipoklorit iyonu ile mavi renkli indofenölü vermek üzere tepkimeye girer. Kullanılan yöntem hızlı ve basit olup, destilasyon ve ekstraksiyon gibi basamakları ortadan kaldırmaktadır. Aminoasitlerin mevcudiyetinde girişim gözlenmemiştir.

Alınan 50 ml su örneğine 2 ml fenol çözeltisi, 2 ml sodyum nitrosoprusseyat çözeltisi, 5 ml oksitleme çözeltisi ilave edilir. Her ilaveden sonra hızlıca çalkalanır oda sıcaklığında ($24 \pm 3^\circ\text{C}$) bir saat rengin oluşması beklenir. 640 nm dalga boyunda spektrofotometrede optik yoğunluk ölçülür. Kalibrasyon grafiğinden amonyum azotu konsantrasyonu bulunur. $0.1 \mu\text{mol/L}$ 'ye kadar olan ölçümlerde hassas netice verir (MARTIN, 1972).

h) Nitrit Azotu Ölçümü:

Doğal sularda nitritin tayini diazolandırma işlemi ile yapılmaktadır. Asidik şartlarda, nitrit iyonu aromatik amin ile diazo bileşiğini vermek üzere tepkimeye girer. Bu diazo bileşiği diğer aromatik amin ile azo boyar maddesini vermek üzere birleşir. Sonuçta oluşan renk şiddeti direkt olarak mevcut nitrit miktarı ile orantılı olacaktır.



Alınan 46 ml su örneğine, 2 ml sülfanilik asit reaktifi ilave edilerek çalkalanır, en az 5 dak. beklendikten sonra (10 dak'ı geçmemelidir) 1 ml 1-Naftil amin reaktifi ilave edilir. Karıştırılıp derhal 1 ml asetat tamponu ilave edilir ve 15 dak. içinde 543 nm dalga boyunda optik yoğunluk ölçülür. Kalibrasyon

grafiğinden nitrit azotu konsantrasyonu bulunur. 0.05 $\mu\text{mol/L}$ 'ye kadar olan ölçümlerde hassas netice verir (MARTIN, 1972).

i) Nitrat Azotu Ölçümü:

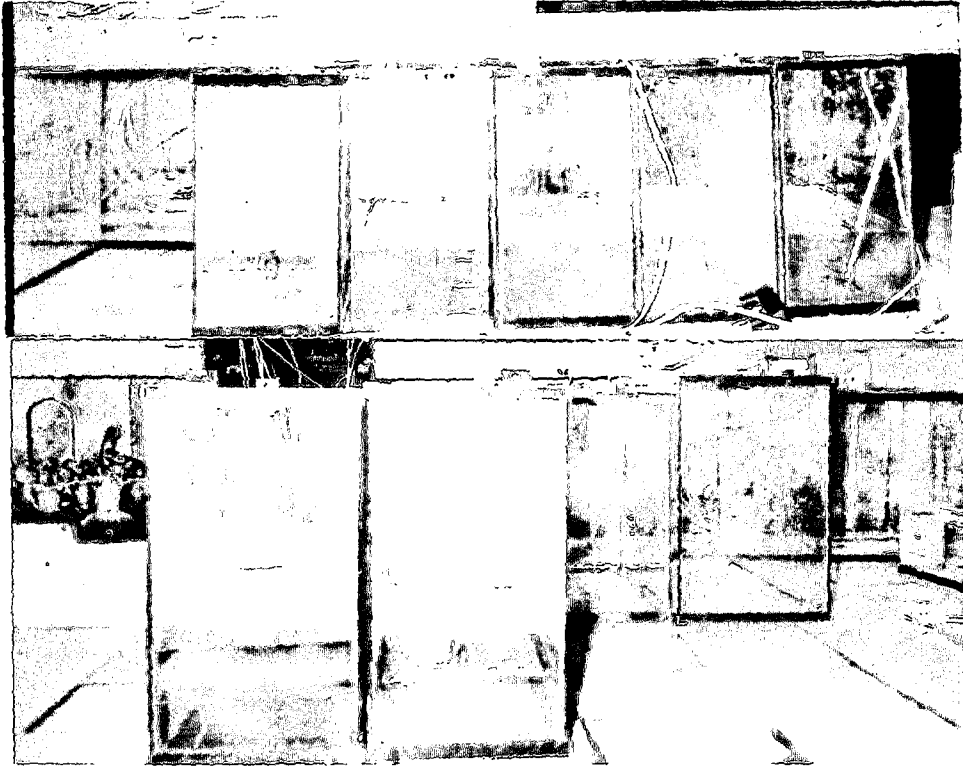
Nitrat iyonunun, nitrite hidrozin kullanılarak indirgenmesini takiben, renk şiddeti düşürülerek, nitrit ölçümü ile tayin edilmektedir. Net nitrat konsantrasyonunu hesaplamak için, ölçülen değerden, nitrit konsantrasyonu çıkarılmalıdır.

Alınan 41 ml'lik örneklerle, 2 ml fenol-sodyum fenat tamponu karıştırılarak ilave edilir. 1 ml hidrazin-bakır indirgeme reaktifi ilave edilir. Şişeler minimum 20 saat, maksimum 24 saat nitratın nitrite indirgenmesi için karanlıkta ve sabit sıcaklıkta (18-25°C arası) bekletilir. Bu sürenin sonunda 2 ml % 90'lık aseton ilave edilip, 2 dakika beklenir. Daha sonra nitrit tayininde uygulanan işlemler kullanılarak, 543 nm'de ölçülen optik yoğunluklardan kalibrasyon grafiği kullanılarak nitrat konsantrasyonu bulunur. Yöntem 0.3 $\mu\text{mol/L}$ 'ye kadar hassas netice verir (STRICKLAND & PARSONS, 1960).

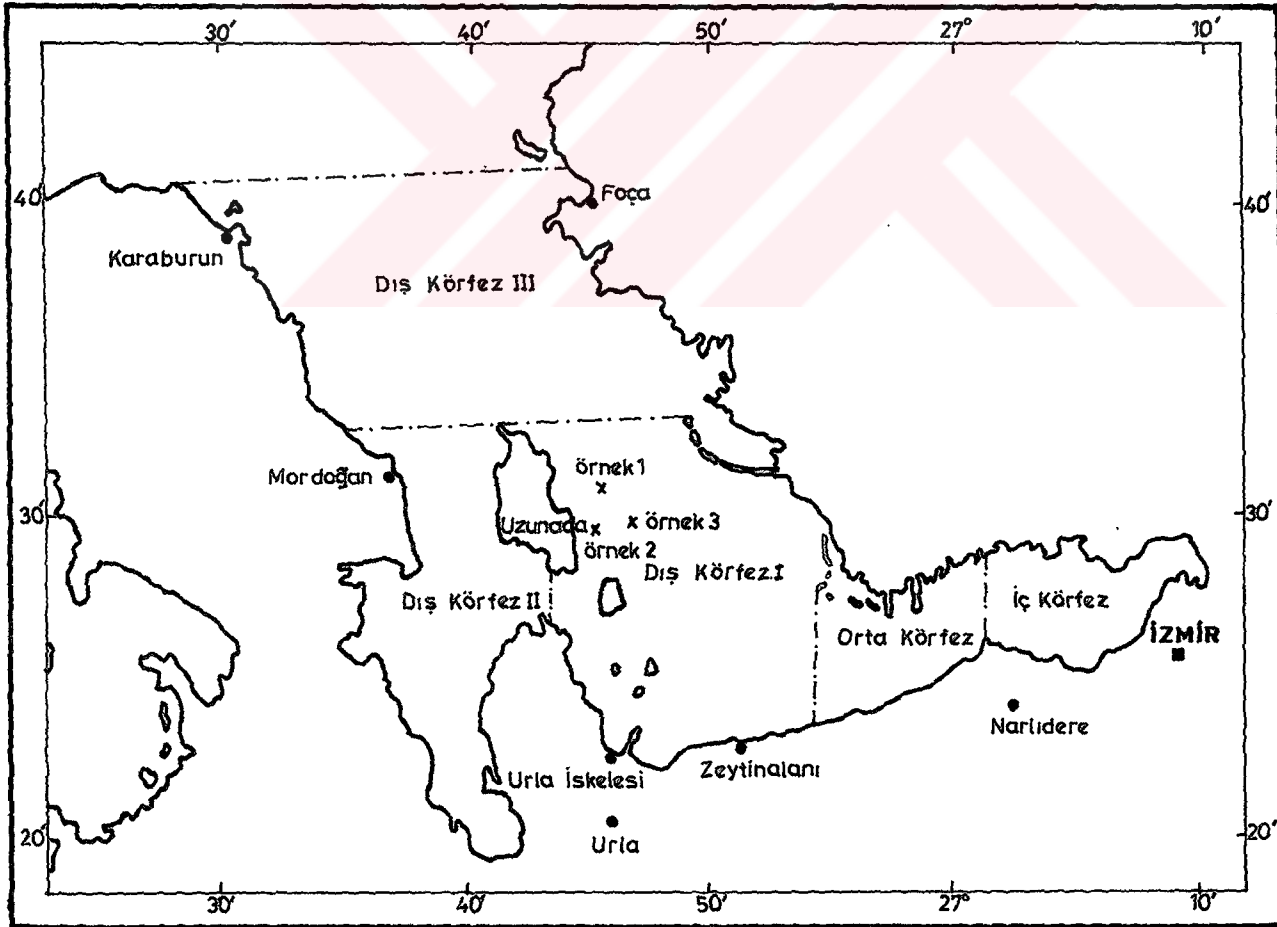
j) Toplam Fosfat Fosforu Ölçümü:

Toplam fosfat çözünmüş ve partikül halinde organik ve inorganik tüm orta fosfatları ve kondanse (meta, piro, poli) fosfatları içerir. Parçalama ile C-P ve C-O-P bağları parçalanır ve süspanse madde fosforu çözünen orta fosfat halinde açığa çıkarmak üzere çözünür hale getirilir.

Alınan 50 ml örneğe, 1 damla fenol ftalein ilave edilir, pembe renk görünürse renk giderilinceye kadar sülfirik asit ilave edilir. Önceden ısıtılmış hot-plate'de son hacim 10 ml kalıncaya kadar kaynatılır. Soğutulur, 30 ml'ye destile su ile seyreltilir. Bir damla fenol ftalein damlatılarak 1 N sodyum hidroksit ile hafif pembe renge kadar nötrale edilir ve 40 ml'ye destile su ile tamamlanır. Daha sonra orto fosfat tayini yapılır. Orto fosfat tayini için 8 ml karışım çözeltisi ilave edilir ve 50 ml'ye seyreltilir. 10 dakika sonra 690 nm'de optik yoğunluk ölçülür. Kalibrasyon grafiğinden konsantrasyonlar bulunur. 0.03 $\mu\text{mol/L}$ 'ye kadar hassas netice verir (MARTIN, 1972).



Şekil 4.1: Ağustos-Eylül dönemi çalışmalarından bir görünüş



Şekil 4.2: Örneklerin alındığı noktalar

4.6. Ağustos - Eylül Döneminde Yapılan Deneysel Çalışmaların Planlanması ve Uygulanması

Deneysel çalışmalarda aritılmamış evsel atık suyun içerdiği toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları ile çalışılmıştır. Aritılmamış evsel atıksuyun tipik kompozisyonu Tablo 4.1'de verilmiştir. (METCALF, A., EDDY, F., 1983)

Tablo 4.1'den alınan toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları, denize deşarj edilen evsel atık suyun ilk seyrelmesinin 1/100 olacağı varsayılarak, bu seyrelme oranına uyarlanmıştır. Seyrelme öncesi ve seyrelme sonrası azot ve fosfor konsantrasyonları ile azot/fosfor (N/P) oranları Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Evsel atıksuların tipik kompozisyonu (METCALF, A., EDDY, F., 1983)

	Konsantrasyon (mg/L)		
	Maksimum	Ortalama	Minumum
Toplam Katı Madde	1200	720	350
Çözünmüş madde	850	500	250
Sabit	525	300	145
Uçucu	325	200	105
Toplam As.Katı M.	350	220	100
Sabit	75	55	20
Uçucu	275	165	80
Çökebilen K. (mL/L)	20	10	5
Biyokimyasal Oksijen	400	220	110
İhtiyacı (BOI_5 , 20°C)			
Toplam Or.Karbon (TOK)	290	160	80
Kimyasal Ok.İh. (KOI)	1000	500	250
Toplam Azot (N)	85	40	20
Organik Azot	35	15	8
Serbest Amonyum (NH_4^+)	50	25	12
Nitratlar	0	0	0
Nitritler	0	0	0
Toplam fosfat fosforu	15	8	4
Organik fosfat	5	3	1
İnorganik fosfor	10	5	3
Klorürler	100	50	30
Alkalinite ($CaCO_3$)	200	100	50
Yağ	150	100	50

Tablo 4.2: Aritılmamış evsel atıksuyun toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları ile N/P oranları

Parametre	Konsantrasyon					
	Maksimum		Ortalama		Minumum	
	mg/L	μmol/L	mg/L	μmol/L	mg/L	μmol/L
Toplam Azot (N)	85	6071	40	2860	20	1420
Toplam fosfor (P)	15	480	8	258	4	129
N/P	6/1	13/1	5/1	11/1	5/1	11/1

Tablo 4.3: 1/100 seyrelme oranına göre aritılmamış evsel atık suyun toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonları

Parametre	Konsantrasyon					
	Maksimum		Ortalama		Minumum	
	mg/L	μmol/L	mg/L	μmol/L	mg/L	μmol/L
Toplam Azot (N)	0.85	60.71	0.40	28.60	0.20	14.20
Toplam Fosfor (P)	0.15	4.80	0.08	2.58	0.04	1.29
N/P	6/1	13/1	5/1	11/1	5/1	11/1

Bornova Üniversite Kampüsü içinde yer alan bir atıksu kanalından alınan aritılmamış evsel atıksu örneğinde ölçülen parametreler ile N/P oranı Tablo 4.4'te verilmiştir.

Tablo 4.4: Evsel atıksu örneğinde, ölçülen parametreler

Parametre	Ölçülen Konsantrasyonlar	
	mg/L	μmol/L
Toplam Azot (N)	33	2357
Toplam Fosfor (P)	5.8	187
Askıda Katı Madde (AKM)	200	-
Uçucu Askıda Katı Madde (UAKM)	120	-
N/P	6/1	13/1

K.Piri Reis Gemisi tarafından Ağustos 1990 sonunda Şekil 4.2'de gösterilen 3 noktadan alınan deniz suyu örneklerinde ölçülen inorganik azot ve inorganik fosfor konsantrasyonları Tablo 4.5 ve Tablo 4.6 da verilmiştir.

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'daki ölçülmüş konsantrasyonlardan hesaplanan N/P oranları Tablo 4.7'de gösterilmiştir.

Literatürde verilen arıtılmamış evsel atık suyun toplam azot ve toplam fosfor konsantrasyonlarının oranı atom olarak maksimum, ortalama ve minimum konsantrasyonlara göre sırasıyla 13/1, 11/1 ve 11/1 olarak hesaplanmıştır. Bornova Üniversite kampüsü içindeki atıksu kanalından alınan örnekte ise bu oran atom olarak 13/1'dir.

Tablo 4.5: Deniz suyu örneklerinin inorganik azot konsantrasyonları

Konsantrasyonlar ($\mu\text{mol/L}$)	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş + partikül azot			
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	10.00	7.85	4.00
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	0.05	0.091	0.045
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	1.00	0.96	0.85
Toplam	11.05	8.90	4.90
Çözünmüş azot			
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	4.00	2.90	2.00
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	0.04	0.075	0.03
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.75	0.80	0.75
Toplam	4.79	3.78	2.78
Partikül azot	6.26	5.13	2.12

Tablo 4.6: Deniz suyu örneklerinin toplam fosfat fosforu konsantrasyonu

Konsantrasyonlar ($\mu\text{mol/L}$)	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş + partikül toplam fosfor	1.20	1.00	0.50
Çözünmüş fosfor	0.75	0.50	0.40
Partikül fosfor	0.45	0.50	0.10

Tablo 4.7: Deniz suyu örneklerinde hesaplanan N/P oranları

Konsantrasyonlar ($\mu\text{mol/L}$)	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş + partiküle göre	9/1	9/1	10/1
Çözünmüşe göre	6/1	8/1	7/1
Partiküle göre	14/1	10/1	21/1

K.Piri Reis gemisi tarafından üç ayrı noktadan alınan örneklerde ise, çözünmüş + partikül azot ve fosfora göre N/P oranı sırasıyla 9/1, 9/1 ve 10/1'dir. Çözünmüş azot ve fosfora göre bu oran 6/1, 8/1 ve 7/1, partikül azot ve fosfora göre ise 14/1, 10/1 ve 21/1 olarak hesaplanmıştır.

Deniz suyunda yaşayan mikroalgler, fotosentetik üretim için alg bünyesinde bulunan ve $\text{C}_{106} \text{H}_{263} \text{O}_{110} \text{N}_{16} \text{P}_1$ formülüyle kimyasal olarak ifade edilen (REDFIELD, 1958) organik azot ve fosfora ihtiyaç duyarlar. Bu besin maddelerinin su ortamında bu orandan (N/P = 16/1) farklı değerlerde bulunması durumunda besin maddelerinden biri büyümeyi sınırlayıcı etki yapar. Çözünmüş azot ve fosfora göre, N/P oranları 16/1 oranından düşüktür. Bu nedenle deniz suyunda azot eksikliği olduğu söylenebilir.

Deneylerde, deniz suyunun mevcut azot ve fosfor konsantrasyonuna, ilave edilen azot ve fosfor konsantrasyonları Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8: Alınan deniz suyunda mevcut besin konsantrasyonlarına ilave edilen azot ve fosfor konsantrasyonları

Deney No	İlave edilen azot ve fosfor ($\mu\text{mol/L}$)		
	N	P	Toplam
1 (Kontrol) (Deniz suyu)	-	-	-
2	14.29 N	-	14.29 N
3	28.57 N	-	28.57 N
4	60.70 N	-	60.70 N
5	-	1.29 P	1.29 P
6	-	2.58 P	2.58 P
7	-	4.84 P	4.84 P
8	14.29 N	1.29 P	14.29 N+1.29 P
9	28.57 N	2.58 P	28.57 N+2.58 P
10	60.70 N	4.84 P	60.70 N+4.84 P
11 (Evsel atıksu)	23.57 N	1.87 P	23.57 N+1.87 P

Alınan deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen ve suda bulunan mikroalg konsantrasyonunun bir ölçüsü olan uçucu askıda katı madde (UAKM), klorofil-a miktarları ile deniz suyunun pH, tuzluluk değerleri Tablo 4.9'da verilmiştir.

Tablo 4.9: Deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen bazı parametreler

Parametreler	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
UAKM (mg/L)	0.85	1.75	1.00
Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	0.60	0.80	0.63
pH	8.12	7.90	8.00
Tuzluluk (%)	38.50	38.92	38.81

Örnek 2 içinde bulunan alg miktarı diğer iki örnek içinde bulunandan fazla olduğu için deneysel çalışmalarda 2 no.lu örnek kullanılmıştır. 2 no.lu örnekten 11 adet cam kaplara 10'ar litre doldurulmuş ve Tablo 4.8'deki konsantrasyonlar bu kap içinde oluşacak şekilde, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, KH_2PO_4 , evsel atıksu ilavesi yapılmıştır.

Alg büyümesini etkileyen diğer iki faktör ışık ve sıcaklıktır. Deneyler, aynı şartlar altında açık havada yapılmıştır. Su sıcaklığı gün boyunca her saat başı ölçülmüştür. Işık şiddeti için deneylerin yapıldığı günlere ait, ışık radyasyon ölçüm değerleri ($\text{cal/cm}^2.\text{gün}$) olarak Bornova Meteoroloji istasyonundan temin edilmiştir. Deney süresince ölçülen ortalama günlük sıcaklık ve Bornova Meteoroloji istasyonundan alınan günlük ışık şiddeti değerleri Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10'da verilen ışık şiddeti verileri, ROBITSCH PYRANOGRAPH marka, 0.3-3 μm dalga boyu arasında elde edilmiştir. UV+Visibel+IR'yi kapsamaktadır. Ancak mikroalglerin fotosentez yapabilmesi için gerekli ışık şiddeti 0.4-0.7 μm dalga boyunda visibel bölgededir. Bu nedenle bu verilerin %45'i alınarak kullanılmıştır (MONTEITH, 1965).

Literatürde verilen %45'lik ışık şiddeti azaltmasının doğruluğu, yalnız visibel bölgede ölçüm yapan Guro marka lüksmetre ile ölçüm yapılarak kontrol edilmiştir. Tablo 4.11'de kıyaslama yapabilmek amacıyla her iki ölçüm sonuçları verilmiştir.

Deneylerin gerçekleştirildiği akvaryumlarda derinliğin çok az olması nedeniyle, doğal ortamdaki yüzeysel ışık şiddetlerinin, akvaryumlarda ölçülen ışık şiddetleri ile uyum içinde olduğu görülmüştür.

Tablo 4.10: Ortalama günlük sıcaklık ve ışık şiddeti değerleri

Zaman (gün)	Tarih	Ortalama Su Sıcaklığı (°C)	Işık Şiddeti (cal/cm ² .gün)
1	5.9.1990	26.8	454.20
2	6.9.1990	26.4	445.50
3	7.9.1990	27.7	423.90
4	8.9.1990	30.0	420.60
5	9.9.1990	28.7	417.60
6	10.9.1990	29.2	421.20
7	11.9.1990	29.3	429.00
8	12.9.1990	28.8	487.90
9	13.9.1990	28.5	447.80
10	14.9.1990	29.0	404.40

Tablo 4.11: %45 azaltılmış Bornova Meteoroloji İstasyonu ışık şiddeti değerleri ile lüksmetre ölçümlerinin karşılaştırılması

Zaman (gün)	Tarih	%45 azaltılmış Bornova Meteoroloji İstasyonu ışık şiddeti değerleri (cal/cm ² .gün)	Lüksmetre ile ölçülen ışık şiddeti (cal/cm ² .gün)
1	5.9.1990	204	216
2	6.9.1990	200	216
3	7.9.1990	191	180
4	8.9.1990	190	188
5	9.9.1990	188	180
6	10.9.1990	190	180
7	11.9.1990	193	190
8	12.9.1990	220	228
9	13.9.1990	202	216
10	14.9.1990	182	188

Deneysel çalışmalarda ölçülen parametreler ve zamanla değişimleri Tablo 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 ve 4.18'de verilmiştir. Nitrit konsantrasyonu ölçülemeyecek kadar düşük olduğu için nitrat konsantrasyonuna dahil edilmiştir.

Tablo 4.12: Deney No: 2 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.75	0.80	2.90	14.32	0.5	34/1
1	2.00	1.18	2.80	12.92	0.0	
2	5.50	3.03	0.00	0.50	0.0	
4	5.60	3.15	0.00	0.25	0.0	
8	5.70	3.27	0.00	0.05	0.0	
10	5.70	3.27	0.00	0.00	0.0	

Tablo 4.13: Deney No: 3 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.75	0.80	2.90	28.57	0.5	63/1
1	2.50	1.33	2.80	25.77	0.0	
2	7.30	4.29	2.00	0.47	0.0	
4	7.65	4.64	0.63	0.24	0.0	
8	8.00	4.91	0.00	0.02	0.0	
10	8.00	4.91	0.00	0.00	0.0	

Tablo 4.14: Deney No: 4 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.75	0.80	2.99	60.73	0.5	127/1
1	4.50	2.35	2.80	48.83	0.0	
2	14.00	8.75	2.75	0.88	0.0	
4	14.75	8.94	0.23	0.15	0.0	
8	15.50	9.00	0.00	0.00	0.0	
10	15.50	9.00	0.00	0.00	0.0	

Tablo 4.15: Deney No: 8 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ + 1.29 $\mu\text{molP/L}$ ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözülmüş			$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$ -
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	
0	1.75	0.80	2.90	14.32	1.79	10/1
1	2.00	1.24	2.80	14.00	1.75	10/1
2	5.75	3.33	0.40	0.00	0.40	1/1
4	5.85	3.55	0.00	0.00	0.25	
8	5.95	3.61	0.00	0.00	0.00	
10	5.95	3.61	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.16: Deney No: 9 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ + 2.58 $\mu\text{molP/L}$ ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözülmüş			$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$ -
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	
0	1.75	0.80	2.90	28.57	3.00	10/1
1	2.50	1.32	2.70	25.27	2.88	10/1
2	7.65	4.58	1.47	0.50	1.00	2/1
4	7.75	4.70	0.47	0.00	0.25	
8	8.20	4.82	0.00	0.00	0.00	
10	8.20	4.82	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.17: Deney No: 10 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ + 4.84 $\mu\text{mol P/L}$ ilavesi)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözülmüş			$\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$ -
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam-P ($\mu\text{mol/L}$)	
0	1.75	0.80	2.90	60.73	5.34	12/1
1	4.50	2.56	2.70	47.93	4.24	12/1
2	14.50	8.53	2.00	1.63	0.75	5/1
4	14.80	8.97	0.00	0.00	0.30	
8	15.65	9.20	0.00	0.00	0.05	
10	15.65	9.20	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.18: Evsel atıksu ilavesi (23.57 μ mol N/L+1.87 μ mol P/L)

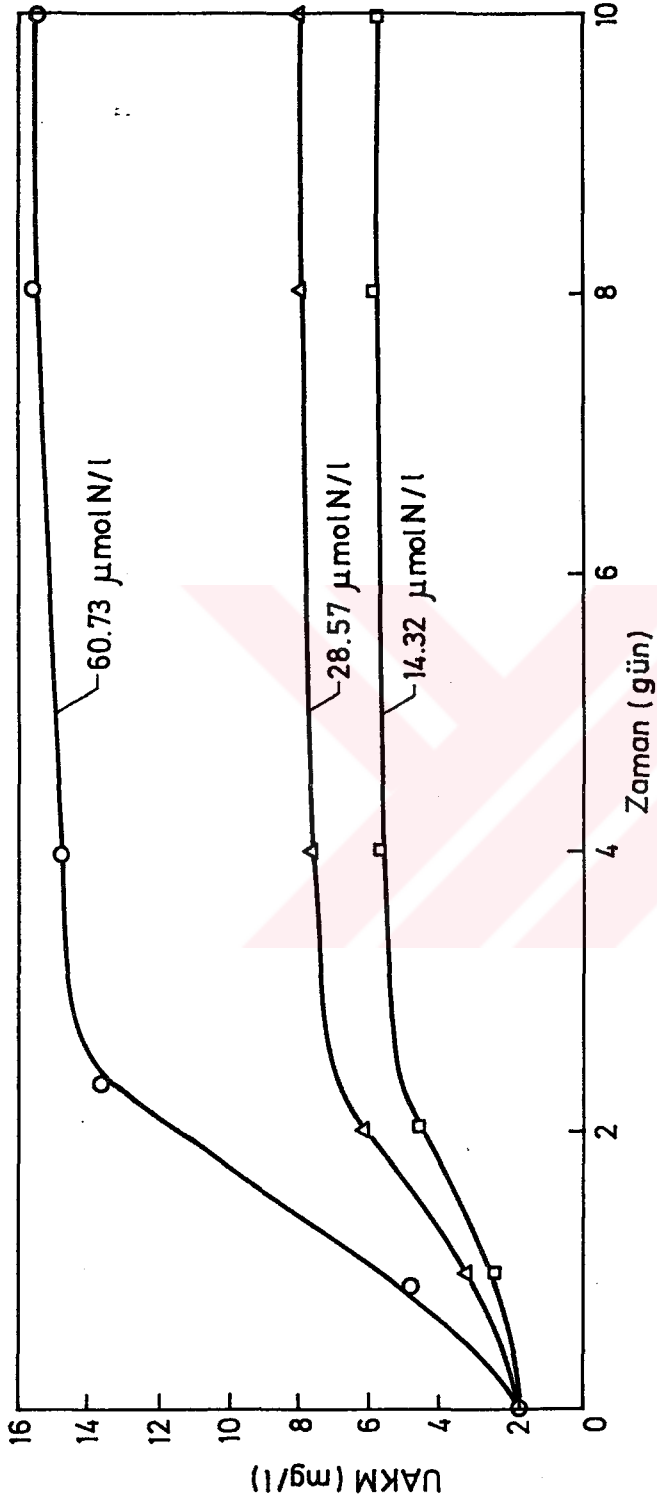
Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a (μ g/L)	NO ₃ -N (μ mol/L)	Çözünmüş		Σ N/ Σ P
				NH ₄ -N (μ mol/L)	Toplam-P (μ mol/L)	
0	1.75	0.80	2.90	23.57	1.87	14/1
1	2.50	1.47	2.90	22.00	1.47	16/1
2	7.50	4.24	2.00	0.10	0.01	
4	7.65	4.30	1.80	0.00	0.00	
8	7.80	4.31	1.55	0.00	0.00	
10	7.80	4.31	1.00	0.00	0.00	

Deney süresince hiçbir besin maddesi ilavesi edilmeyen deniz suyu ile doldurulmuş 1 no'lu deney kabında ve 1.29 μ molP/L, 2.58 μ molP/L ve 4.84 μ molP/L ilave konsantrasyonlar ile çalışılan 5,6 ve 7 no.lu kaplarda ölçülebilecek miktarlarda UAKM ve klorofil-a artışı meydana gelmemiştir. Bu sonuçlardan da anlaşılabileceği gibi deniz suyunda fosfor eksikliği yoktur ve yalnız fosfor ilavesinde algal büyümede önemli bir artış oluşmamaktadır.

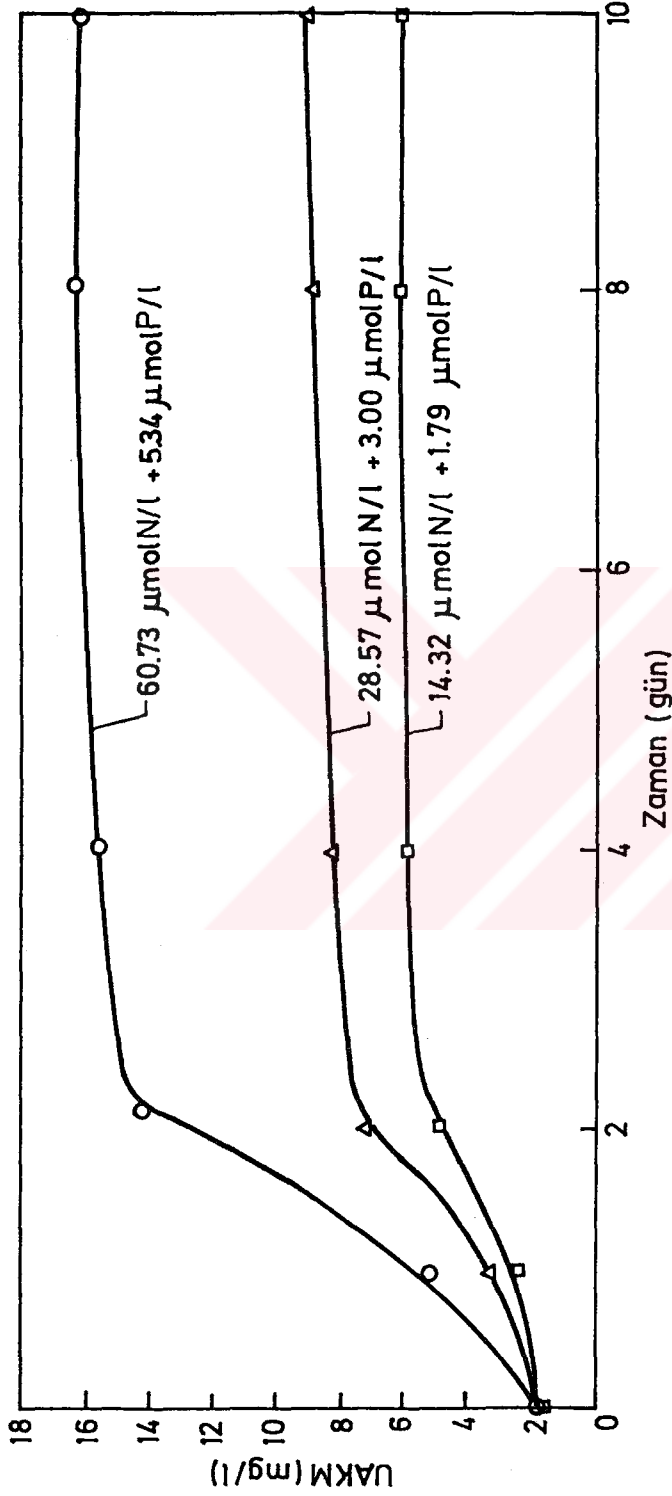
Deneylere ait Şekiller, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7'de verilmiştir. UAKM ile klorofil-a ölçümleri doğrusal bir ilişki göstermiş ve Şekil 4.8'de verilmiştir.

Şekil 4.3'de, Deney No: 2 (14.29 μ molN/L azot ilavesi), Deney No: 3 (28.57 μ molN/L azot ilavesi), Deney No:4 (60.70 μ molN/L azot ilavesi) için ölçülen UAKM'lerin zamanla değişimi gösterilmiştir. Üç değişik başlangıç azot konsantrasyonlarında, hem büyüme hızı hem de ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları artmıştır. 1 ve 2. günlerde eksponensiyel büyüme oluşmuş ve maksimum büyüme hızı meydana gelmiştir. İzleyen günlerde büyüme hızı zamanla azalmış ve nihai UAKM konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Bu konsantrasyonlar; 2, 3 ve 4 No'lu deneyler için sırasıyla 5.70 mgUAKM/L, 8.00 mgAKM/L ve 15.50 mgUAKM/L'dir.

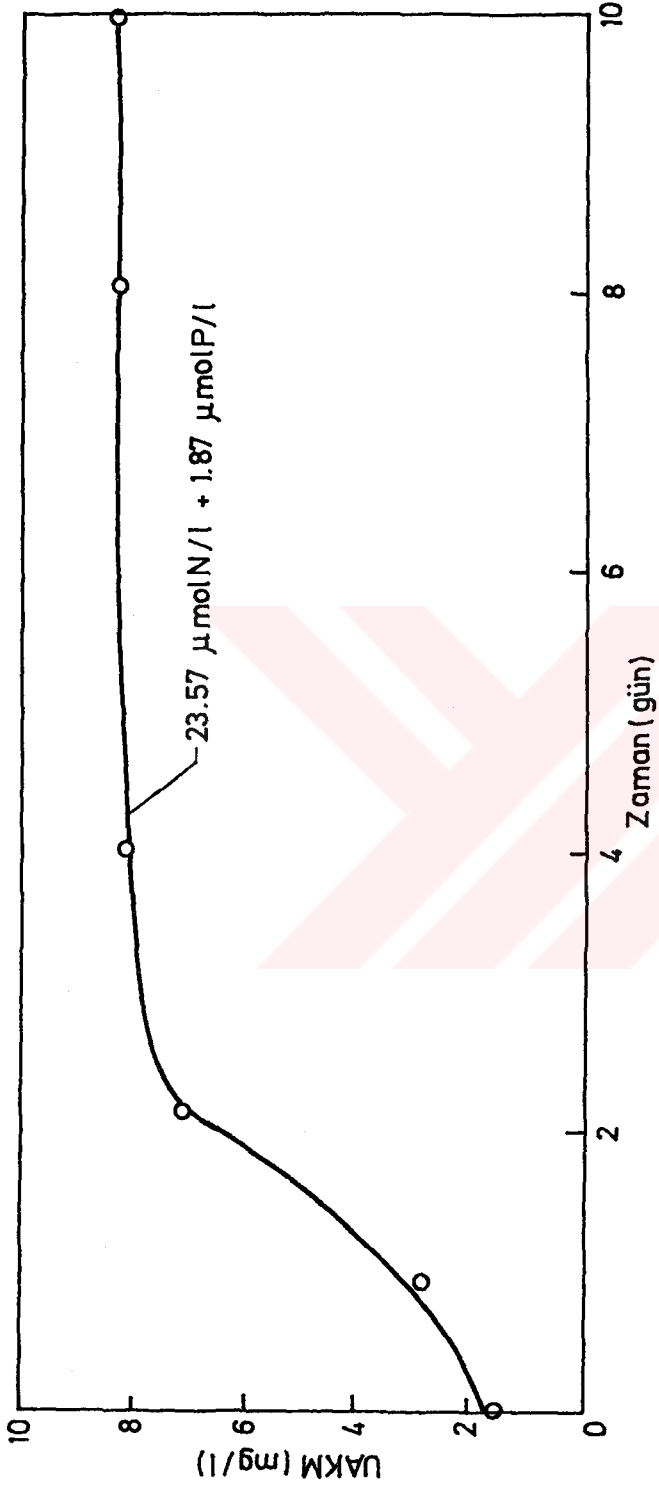
Şekil 4.4'de, Deney No: 8 (14.29 μ molN/L + 1.29 μ molP/L ilavesi, Deney No: 9 (28.57 μ molN/L + 2.58 μ molP/L ilavesi), Deney No: 10 (60.70 μ molN/L + 4.84 μ molP/L ilavesi) için ölçülen UAKM'lerin zamanla değişimi gösterilmiştir. Üç değişik başlangıç azot ve fosfor konsantrasyonlarında hem büyüme hızı hem de ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları artmıştır. 1 ve 2. günlerde eksponensiyel büyüme oluşmuş ve maksimum büyüme hızı meydana gelmiştir. İzleyen günlerde büyüme hızı zamanla azalmış ve nihai UAKM konsantrasyonlarına ulaşılmıştır. Bu konsantrasyonlar 8, 9, 10'lu deneyler için sırasıyla 5.95 mgUAKM/L, 8.20 mgUAKM/L ve 15.65 mgUAKM/L'dir.



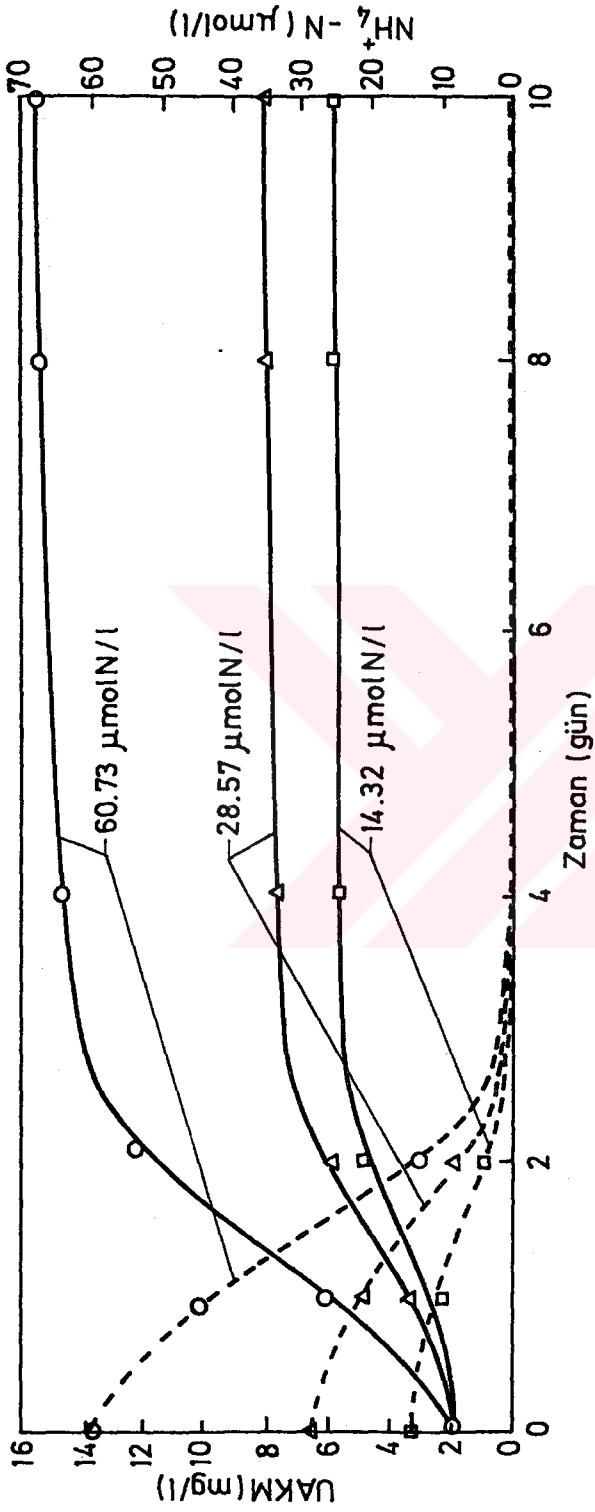
Şekil 4.3. Ağustos - Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş NH_4^+-N konsantrasyonları



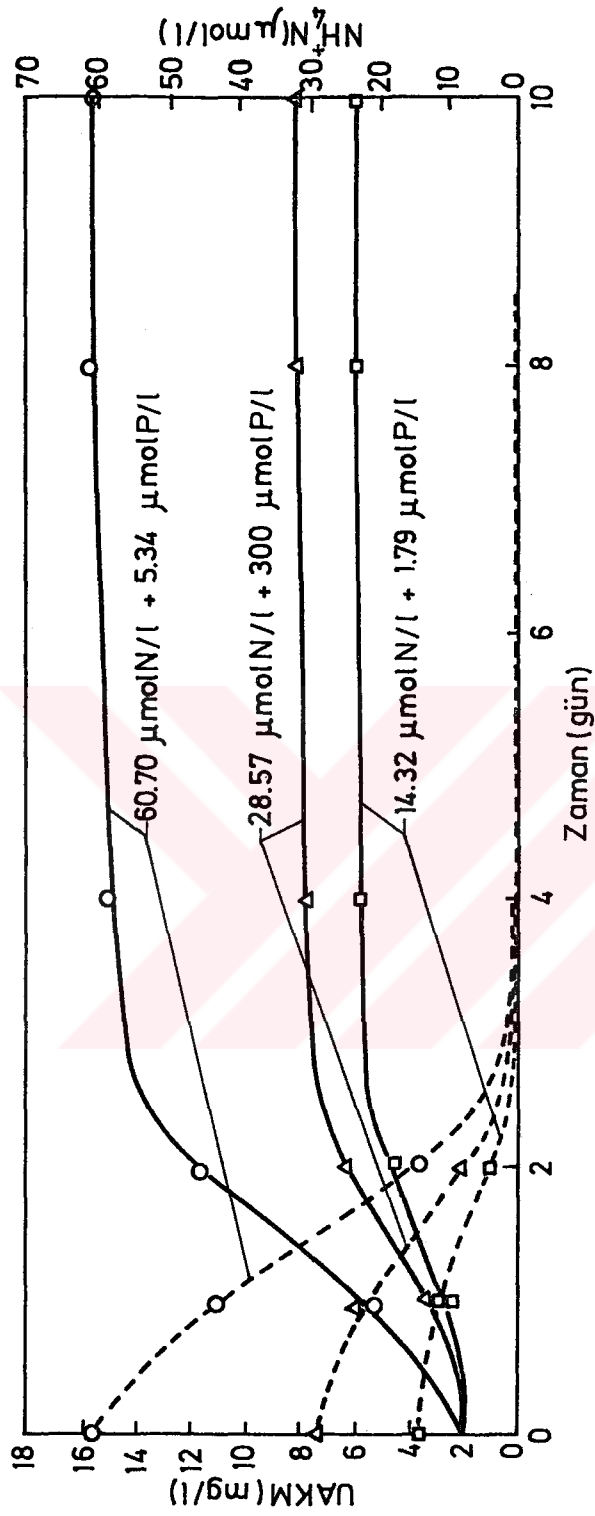
Şekil 4.4. Ağustos-Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş $\text{NH}_4\text{-N}$ ve toplam fosfor konsantrasyonları



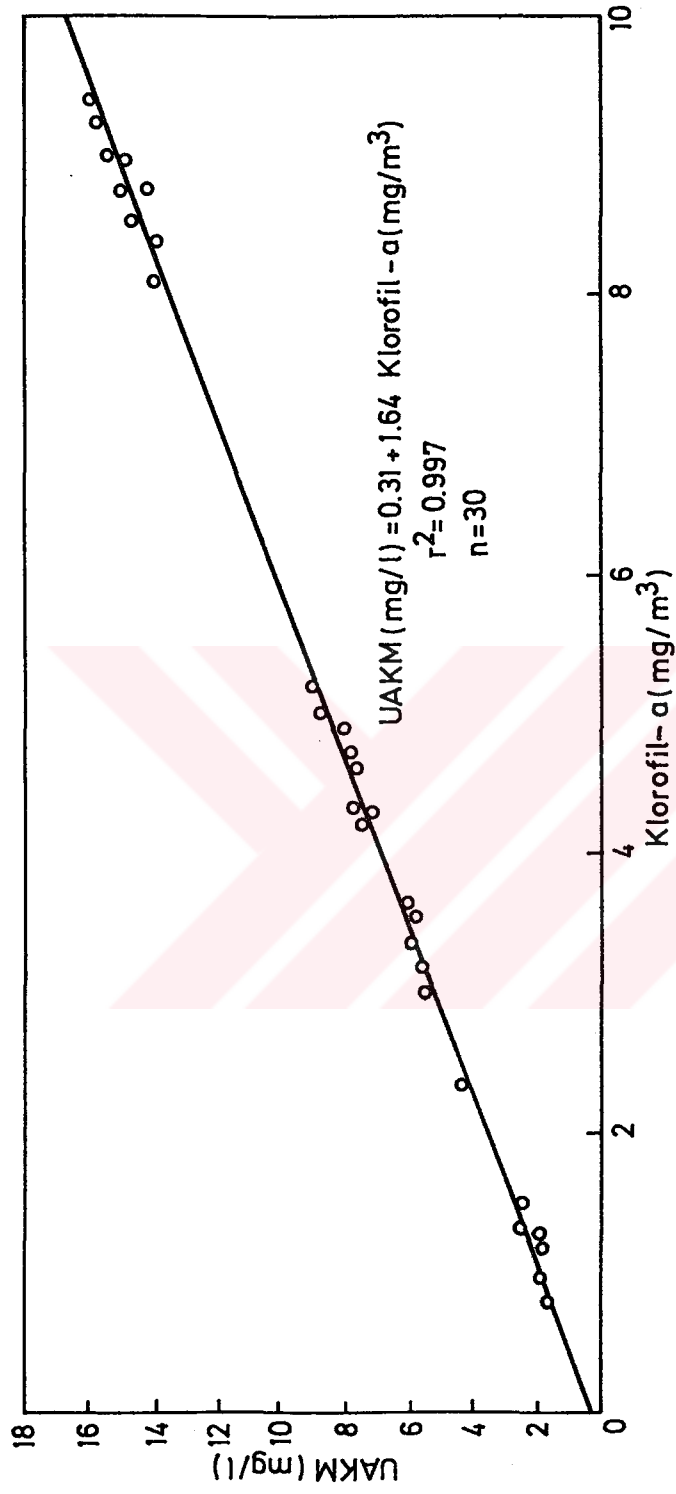
Şekil 4.5. Ağustos-Eylül 1990 döneminde açık havada yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyüme eğrisinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş NH_4^+ -N ve toplam fosfor konsantrasyonları.



Şekil 4.6. Ağustos-Eylül 1990 döneminde oluşan büyüme ve tüketilen, çözülmüş $\text{NH}_4^+\text{-N}$ nun zamanla değişimi



Şekil 4.7. Ağustos-Eylül 1990 döneminde oluşan büyüme ve buna bağlı olarak tüketilen, çözünmüş NH_4^+ -N'nun zamanla değişimi



Şekil 4.8. UAKM - Klorofil-a'nın doğrusal değişimi (Ağustos-Eylül 1990 Dönemi)

Şekil 4.5'de Deney No: 11 ($23.57 \mu\text{molN/L} + 1.87 \mu\text{molN/L}$ içeren evsel atık su ilavesi) için ölçülen UAKM'lerin zamanla değişimi gösterilmiştir. 1 ve 2. günler arasında eksponensiyel büyüme oluşmuş ve 7.80 mgUAKM/L 'lik nihai UAKM konsantrasyonuna ulaşılmıştır.

Şekil 4.3 ve Şekil 4.4 ile 4.5'den görülebileceği gibi yalnız azot ilavesi yapılan Deney No: 2, 3 ve 4 no'lu kaplarda ölçülen nihai UAKM konsantrasyonları ile azot + fosfor ilavesi yapılan Deney No: 8, 9 ve 10 no'lu kaplarda ve evsel atıksu ilavesinin yapıldığı 11 no'lu kapta ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları birbirine çok yakın konsantrasyonlardadır. Bu nedenle fosfor ilavesinin ulaşılan nihai UAKM miktarlarını etkilemediği sonucu çıkarılabilir.

Şekil 4.6'da, Deney No: 2, 3 ve 4 için ölçülen UAKM ve amonyum azotu (NH_4^+-N) konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 1 ve 2. günlerde maksimum UAKM artışı oluşmuş, NH_4^+-N 'de tamamına yakını kullanılmıştır. Özellikle 4 no'lu deney kabında ölçülen UAKM artışı ve kullanılan azot miktarı 2 ve 3 no'lu deney kaplarında ölçülen UAKM artışı ve kullanılan azot miktarından çok daha fazla olmuştur.

Şekil 4.7'de, Deney No: 8, 9 ve 10 için ölçülen UAKM ve NH_4^+-N konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi 1 ve 2. günlerde maksimum UAKM artışı oluşmuş, NH_4^+-N 'de tamamına yakını kullanılmıştır. Şekil 4.6'ya benzer şekilde, özellikle 10 no'lu deney kabında ölçülen UAKM artışı ve kullanılan azot miktarı, 8 ve 9 no.lu kaplarda ölçülen UAKM artışı ve kullanılan azot miktarından çok daha fazla olmuştur.

Fosfor kullanımı açısından büyümeyi inceleyecek olursak, fosfor ilavesi yapılmayan kaplardaki mikroalglerin, stoplazmik granülleri içinde polifosfatlar olarak depoladıkları PO_4^{3-} 'ü kullandıkları (DARLEY 1982), fosfor ilavesi yapılan kaplarda ise ortamdaki çözünmüş fosforu tercih ettikleri sonucu çıkarılmıştır.

Şekil 4.8'de Ağustos-Eylül döneminde ölçülen UAKM (mg/L) ve yaşayan canlı mikroalg kütlelerinin göstergesi olan klorofil-a (mg/m^3) arasındaki doğrusal ilişki 30 analiz için ifade edilmiştir. $r^2 = 0.997$ için doğrusal bağıntı $\text{UAKM (mg/L)} = 0.31 + 1.64 \text{ Klorofil-a (mg/m}^3\text{)}$ olarak çıkarılmıştır.

2, 3, 4, 8, 9, 10 ve 11 No.lu deney kaplarında oluşan maksimum büyüme hızı, 1 ile 2. gün sonundaki bir günlük biyomas artışından yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

$$\mu_{\max} = (\ln X_2 / X_1) / t \quad (4.5)$$

X_2 = 2. gündeki UAKM konsantrasyonu (mg/L)

X_1 = 1. gündeki UAKM konsantrasyonu (mg/L)

$\mu_{\max}$ = Eksponansiyel fazdaki maksimum büyüme hızı (gün^{-1})

ikilenme süresi (t_d) değerleri ise Eşitlik 4.6 yardımıyla hesaplanmıştır.

$$t_d = 0.693 / \mu_{\max} \quad (4.6)$$

Hesaplanan $\mu_{\max}$ ve t_d değerleri Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19: $\mu_{\max}$ ve t_d değerleri

Deney No	İlave edilen besin maddesi	$\mu_{\max}$ (gün ⁻¹)	t_d (gün)
2	14.32 $\mu\text{mol/L}$ N ilavesi	1.01	0.69
3	28.57 $\mu\text{mol/L}$ N ilavesi	1.07	0.65
4	60.73 $\mu\text{mol/L}$ N ilavesi	1.13	0.61

Ekspansiyonel büyüme fazından sonra büyüme hızının 2, 3 ve 4 no'lu kaplarda azaldığı ve kararlı duruma ulaştığı gözlenmiştir. Ekspansiyonel fazdan sonraki büyüme hızları eşitlik (4.7) yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\Delta X / \Delta t = \mu X_{\text{ort}} \quad (4.7)$$

$$\Delta X = \text{UAKM farkı (mg/L)}$$

$$\Delta t = \text{zaman farkı (gün)}$$

$$X_{\text{ort}} = t \text{ ve } t + \Delta t \text{ zamanlarındaki ortalama UAKM (mg/L) konsantrasyonu}$$

Üç farklı başlangıç konsantrasyonu için hesaplanan büyüme hızları Tablo 4.20, 4.21 ve 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.20: Deney No: 2 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi) zamanla, büyüme ve büyüme hızı değişimi

Zaman (gün)	Zaman farkı (gün)	UAKM (mg/L)	μ (gün ⁻¹)
0	-	1.75	
1	1	2.00	0.13
2	1	5.50	1.01
4	2	5.60	0.009
8	4	5.70	0.004
10	2	5.70	0

Tablo 4.21: Deney No: 3 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi) zamanla büyüme ve büyüme hızı değişimi

Zaman (gün)	Zaman farkı (gün)	UAKM (mg/L)	μ (gün ⁻¹)
0	-	1.75	
1	1	2.50	0.35
2	1	7.30	1.07
4	2	7.65	0.023
8	4	8.00	0.011
10	2	8.00	0

Tablo 4.22: Deney No: 4 (60.7 $\mu\text{molN/L}$ azot ilavesi) zamanla büyüme ve büyüme hızı değişimi

Zaman (gün)	Zaman farkı (gün)	UAKM (mg/L)	μ (gün ⁻¹)
0		1.75	
1	1	4.50	
2	1	14.00	1.13
4	2	14.75	0.026
8	4	15.50	0.012
10	2	15.50	0

Tablo 4.20, 4.21 ve 4.22'den görüldüğü gibi, ilk iki günde maksimum büyüme hızı oluşmaktadır. Geriye kalan 8 gün içinde büyüme hızı azalmaktadır. Kesikli büyüme eğrilerinde besin maddesi konsantrasyonunun limitlediği kesim çok kısa bir zaman aralığı olduğundan ve büyüme hızını etkilemediğinden, bu aralıktaki veriler dikkate alınmamıştır. Verilerin bu şekilde kullanımı, enzimatik tepkimeler için kullanılan Michealis-Menten eşitliğinin çıkarılmasında kullanılan deney sistemine benzemektedir. Michealis-Menten eşitliği başlangıç tepkime hızlarının, başlangıç substrat konsantrasyonlarına karşı çizilmesiyle elde edilmiştir. Monod eşitliği de matematiksel olarak Michealis-Menten eşitliğine benzerlik gösterdiğinden kesikli deney verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Şekil 4.3'ten görülebileceği gibi ilave edilen besin maddesi hem büyüme miktarını hem de büyüme hızını limitlemektedir. Bu şekilde bir büyüme artış hızı ve miktarı için Monod tarafından verilen ve düzgün bir hiperbolik fonksiyon olan eşitlik 4.8 yerine eşitlik 4.9 kullanılabilir (Bkz. Şekil 3.4.B).

$$\mu = \frac{\mu_{\max} * S}{K_s + S} \quad (4.8)$$

$$\mu_b = \frac{\mu_{\max} * S_b}{K_s + S_b} \quad (4.9)$$

S_b = Başlangıç besin maddesi konsantrasyonu

$\mu_{\max}$ = Ekspansiyonel büyüme hızı (gün^{-1})

$\mu_{\max}$ ile S_b ve $S_b/\mu_{\max}$ 'ın grafik olarak gösterimi Şekil 4.9'da verilmiştir. Doğrusal hale getirilen eşitlik 4.9 yardımıyla amonyum azotu ilavesi için kinetik katsayılar μ_{ba} (amonyum azotu ilavesi için ölçülen başlangıç büyüme hızlarından hesaplanan maksimum büyüme hızı) ve K_A (amonyum azotu ilavesi için hesaplanan doygunluk konsantrasyonu) ve t_d (ikileme süresi) hesaplanmıştır.

$$\mu_{ba} = 1.20 \text{ gün}^{-1}$$

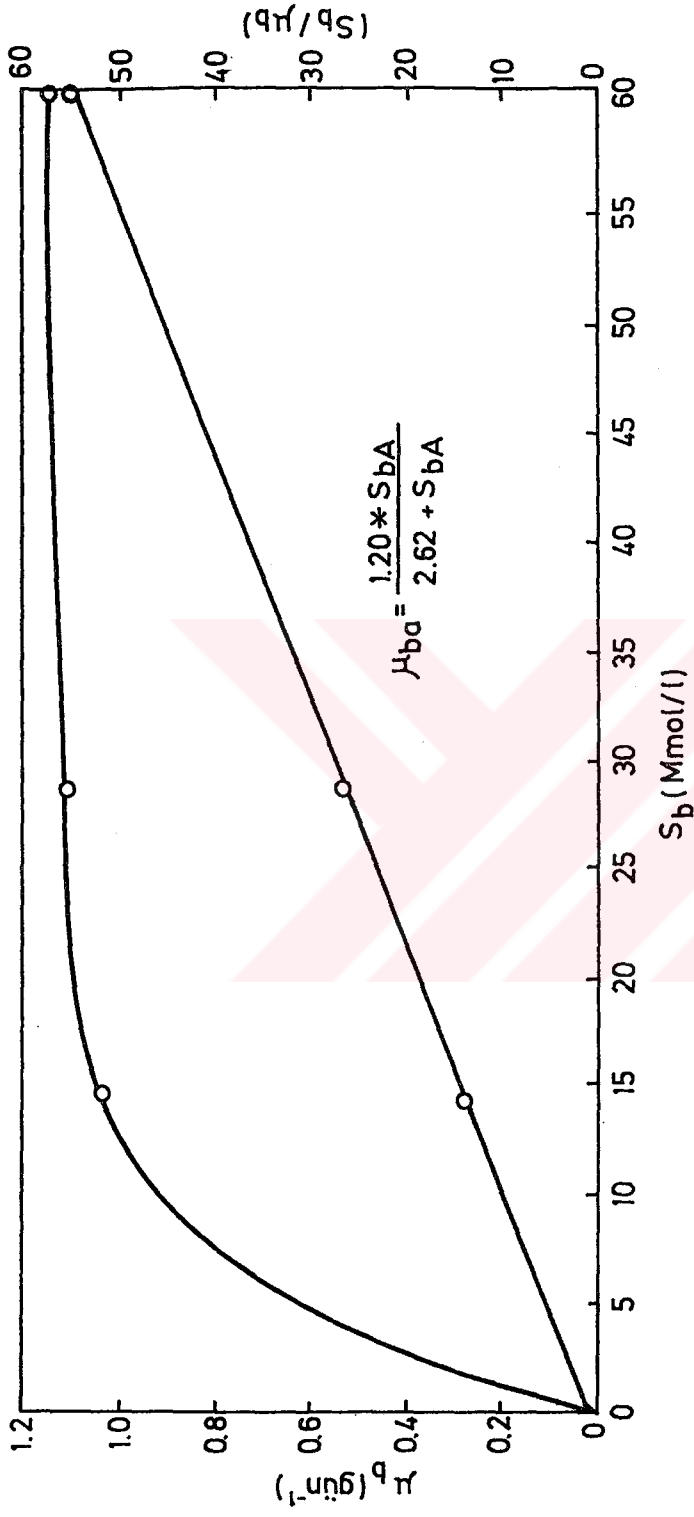
$$K_A = 2.62 \text{ } \mu\text{mol/L}$$

$$t_d = 0.693/1.20 = 0.59 \text{ gün}$$

Büyüme artışı ve büyüme hızına fosforun etkisini belirlemek için azot ve fosforun birlikte ilave edildiği deneylerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Hesaplanan $\mu_{\max}$ ve t_d değerleri Tablo 4.23'de verilmiştir.

Tablo 4.23: 8, 9, 10 No'lu deneylerden hesaplanan $\mu_{\max}$ ve t_d değerleri

Deney No	İlave edilen besin maddesi	$\mu_{\max}$ (gün^{-1})	t_d (gün)
8	14.32 $\mu\text{molN/L}$ + 1.79 $\mu\text{molP/L}$	1.06	0.65
9	28.57 $\mu\text{molN/L}$ + 3.00 $\mu\text{molP/L}$	1.12	0.62
10	60.73 $\mu\text{molN/L}$ + 5.34 $\mu\text{molP/L}$	1.17	0.59



Şekil 4.9. Başlangıç konsantrasyonlarına karşı başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi

Büyüme hızına fosforun etkisini matematiksel olarak ifade etmek için, aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$\mu_b = \mu_{bA} * \mu_{bp} \quad (4.10)$$

$$\mu_b = \frac{\mu_{bA} * S_{bA}}{K_A + S_{bA}} * \frac{\mu_{bp} * S_{bp}}{K_p + S_{bp}} \quad (4.11)$$

$$\frac{\mu_{bA}}{\mu_b} = \frac{K_p}{\mu_{bp}} * \frac{1}{S_{bp}} + \frac{1}{\mu_{bp}} \quad (4.12)$$

μ_b = Mikroalglerin amonyum azotu ve fosfor ilavesinde ölçülen maksimum başlangıç büyüme hızı (gün⁻¹)

μ_{bA} = Amonyum konsantrasyonuna bağlı başlangıç büyüme hızı (gün⁻¹)

μ_{bp} = Fosfor konsantrasyonuna bağlı başlangıç büyüme hızı (gün⁻¹)

S_{bA} = Başlangıçtaki çözünmüş amonyum konsantrasyonu (μmol/L)

S_{bp} = Başlangıçtaki çözünmüş toplam fosfor konsantrasyonu (μmol/L)

Tablo 4.24'de, eşitlik 4.12 ile hesaplanan ve ölçülen değerler verilmiştir.

Tablo 4.24: Ölçülen ve eşitlik (4.12) ile hesaplanan başlangıç büyüme hızları

S_p (μmol/L)	μ_{bA}/μ_b	μ_b ölçülen	μ_b hesaplanan
1.79	1.13	1.06	0.87
3.00	1.07	1.12	0.93
5.34	1.03	1.17	1.01

Eşitlik 4.12 ile hesaplanan fosfora ait kinetik katsayılar

$$\mu_{bp} = 1.00 \text{ gün}^{-1}$$

$$K_p = 0.20 \text{ μmol/L}$$

olarak bulunmuştur. Mikroalglerin büyüme hızı amonyum ve fosfora bağlı olarak yaz döneminde eşitlik (4.13) ile ifade edilmiştir.

$$\mu_b = \frac{1.2 \cdot S_{ba}}{2.62 + S_{ba}} * \frac{1.00 \cdot S_{bp}}{0.20 + S_{bp}} \quad (4.13)$$

Evsel atık su ile yapılan deneylere ait veriler ile ifadenin geçerliliği kontrol edilmiştir.

$$\mu_b = \frac{1.2 \cdot 23.57}{2.62 + 23.57} * \frac{1.00 \cdot 1.87}{0.20 + 1.87}$$

Bu ifade ile $\mu_b = 0.89 \text{ gün}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Deneysel olarak ölçülen evsel $\mu_b = 1.10 \text{ gün}^{-1}$ 'dir. Birim besin maddesi alımına karşı, biyomasta oluşan partikül besin maddesi oranı (Y), maksimum büyümenin olduğu aralıkta hesaplanarak azot için Tablo 4.25 a'da fosfor için ise 4.25 b'de verilmiştir.

$$Y = \frac{S_{p2} - S_{p1}}{S_{\varphi2} - S_{\varphi1}} \quad (4.14)$$

S_{p2} = t=2.gün sonunda ölçülen UAKM ve teorik alg formülünden hesaplanan partikül azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

S_{p1} = t=1.gün sonunda ölçülen UAKM'den ve teorik alg formülünden hesaplanan partikül azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

$S_{\varphi2}$ = t=2.gün sonunda ölçülen zamanında çözünmüş azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

$S_{\varphi1}$ = t=1.gün sonunda ölçülen çözünmüş azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

Tablo 4.25 (a): Birim çözünmüş azot alımına karşı biyokütlede oluşan partikül azot oranı (Y_N)

Deney No	İlave edilen besin maddesi	Y_N
2	14.29 N	0.96
3	28.57 N	0.80
4	60.70 N	0.85
8	14.29 N+1.29 P	0.99
9	28.57 N+2.58 P	0.85
10	60.70 N+4.84 P	0.91
11	Evsel atıksu (23.57 N+1.87 P)	0.95

Tablo 4.25 (a) ve 4.25 (b)'de verilmiş olan ve ortamdaki çözünmüş besin maddelerinin, (azot ve fosfor) biyokütledeki partikül azot ve partikül fosfora dönüşüm oranını gösteren Y_N ve Y_P değerleri oldukça yüksektir. Bu oranların yüksekliği ortamda bulunan alglerin çözünmüş azot ve fosforu yüksek hızlarda kullanarak biyokütleye dönüştürdüğünün göstergesidir. Deneyin 2. gününde ortamdaki çözünmüş azot ve fosforun tamamına yakını tükenmiştir.

Tablo 4.25 (b): Birim çözünmüş fosfor alımına karşı biyokütlede oluşan partikül fosfor oranı (Y_P)

Deney No	İlave edilen besin maddesi	Y_P
2	14.29 N	1.gün sonunda ortamda ortamda çözünmüş fosfor kalmamıştır
3	28.57 N	"
4	60.70 N	"
8	14.29N + 1.29P	0.90
9	28.57N + 2.58P	0.88
10	60.70N + 4.84P	0.93
11	Evsel atık su (23.57N + 1.87P)	0.90

4.7. Ocak - Şubat Döneminde Yapılan Deneysel Çalışmaların Planlanması ve Uygulanması

Ocak-Şubat döneminde Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü K.Piri Reis Gemisi ile Ağustos-Eylül Döneminde örnek alınan dış körfezdeki üç noktadan tekrar deniz suyu numunesi alınmıştır. Bu örneklerde ölçülen inorganik azot ve inorganik fosfor konsantrasyonları Tablo 4.26 ve Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.26: Deniz suyu örneklerinin inorganik azot konsantrasyonları

Konsantrasyonlar ($\mu\text{mol/L}$)	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş + partikül azot			
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	3.00	2.25	5.00
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	0.05	0.02	0.02
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.75	0.80	1.00
Toplam	3.80	3.07	6.02
Çözünmüş azot			
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	2.00	1.40	4.00
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	0.05	0.01	0.01
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	0.50	0.60	0.90
Toplam	2.55	2.01	4.91
Partikül azot	1.25	1.06	1.11

Tablo 4.26 ve Tablo 4.27'deki verilerle azot/fosfor (N/P) oranları hesaplanmış ve Tablo 4.28'de gösterilmiştir.

Yapılan ölçüm sonuçları göstermiştir ki, alınan örneklerin N/P oranları, Redfield tarafından verilen 16/1 oranından yüksektir. Stokiyometrik açıdan incelendiğinde, büyümeyi limitleyen besin maddesinin fosfor olduğu söylenebilir. Olayın hem kinetik açıdan incelenmesi hem de büyüme olayının analiz edilebilmesi için 1 No'lu örneklerle büyüme deneyleri yapılmıştır.

Tablo 4.27: Deniz suyu örneklerinin toplam fosfor konsantrasyonları

Konsantrasyonlar ($\mu\text{mol/L}$)	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş + partikül toplam fosfor	0.15	0.10	0.16
Çözünmüş fosfor	0.06	0.05	0.09
Partikül fosfor	0.09	0.05	0.07

Tablo 4.28: Alınan örneklerde azot/fosfor (N/P) oranları

Konsantrasyonlar	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
Çözünmüş+Partiküle göre	25/1	31/1	38/1
Çözünmüşe göre	43/1	40/1	55/1
Partiküle göre	14/1	21/1	16/1

Bu dönemde deneyler hem laboratuvar şartlarında, sabit ışık ve sıcaklıkta; hem de açık havada gerçekleştirilmiştir. Deniz suyunun içindeki mevcut konsantrasyonlara ilave olarak Tablo 4.8'deki konsantrasyonlarda besin maddesi ilave edilmiştir. Ancak bu dönemde Bornova üniversite kampüsü içinde bulunan atıksu kanalından alınan evsel atıksu örneğinin azot konsantrasyonu $32 \mu\text{molNH}_4^+-\text{N/L}$, fosfor konsantrasyonu ise $1.93 \mu\text{molP/L}$ ölçülmüştür.

Alınan deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen bazı parametreler Tablo 4.29'da verilmiştir.

Örnek 1 içinde bulunan alg miktarı diğer iki örnek içinde bulunandan daha fazla olduğu için deneysel çalışmalarda 1 no'lu örnek kullanılmıştır. 1 no'lu örnekten alınan deniz suyu örnekleri, hem laboratuvar koşullarında hem de açık hava koşullarında besin maddesi ilavesiyle karşılaştırmalı olarak denenmiştir. Deney süresince su sıcaklığı ve ışık şiddeti ölçülmüş, Bornova Meteoroloji istasyonundan alınan ışık şiddeti değerleri ile kıyaslama yapılmıştır. Tablo 4.30'da açık hava koşullarında yapılan deneylere ait sıcaklık ve ışık şiddeti değerleri verilmiştir.

Tablo 4.29: Deniz suyu örneklerinde başlangıçta ölçülen bazı parametreler

Parametreler	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
UAKM (mg/L)	1.00	0.65	0.55
Klorofil-a(μ g/L)	0.35	0.25	0.20
pH	8.00	7.90	8.14
Tuzluluk (%)	38.00	38.50	37.90
Secchi disk d.(m)	18	18	18

Laboratuvarda yapılan deneylerde su sıcaklığı ortalama olarak 16 °C civarında, ışık şiddeti ise ortalama olarak 5 klux (120 cal/cm².gün) ölçülmüş ve deney süresi boyunca değiştirilmemiştir. Gerek laboratuvarda, gerekse açık havada yapılan deneylerde, hiçbir besin maddesinin ilave edilmediği ve yalnız azot ilave edilen kaplarda ölçülebilir bir UAKM artışı olmamıştır. Açık hava koşullarında yapılan deneylere ait ölçülen değerler Tablo 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35, 4.36 ve 4.37'de verilmiştir.

Tablo 4.30 (a):Açık hava koşullarında yapılan deneylere ait sıcaklık ve ışık şiddeti değerleri

Zaman (gün)	Tarih	Ortalama su sıcaklığı (°C)	Işık Şiddeti (cal/cm ² .gün)	Işık Şiddeti (%45 azaltılmış Bornova Meteoroloji istasyonu ışık şiddeti değerleri) (cal/cm ² .gün)
1	10.1.1991	8.2	166.00	75
2	11.1.1991	11.8	211.60	95
3	12.1.1991	9.2	199.80	90
4	13.1.1991	7.9	221.10	100
5	14.1.1991	9.6	201.00	90
6	15.1.1991	12.7	176.10	34
7	16.1.1991	12.1	99.80	45
8	17.1.1991	12.4	210.70	95
9	18.1.1991	13.4	210.20	96
10	19.1.1991	12.3	234.40	105
11	20.1.1991	10.3	108.75	49
12	21.1.1991	10.4	137.20	62
13	22.1.1991	9.4	230.90	104

4.30 (b): Lüxmetre ile deney süresince kaplarda ölçülen ışık şiddeti

Zaman (gün)	Tarih	Işık Şiddeti (cal/cm ² .gün)
1	10.1.1991	80
2	11.1.1991	80
3	12.1.1991	80
4	13.1.1991	80
5	14.1.1991	80
6	15.1.1991	80
7	16.1.1991	50
8	17.1.1991	55
9	18.1.1991	120
10	19.1.1991	110
11	20.1.1991	130
12	21.1.1991	70
13	22.1.1991	125

Tablo 4.31: Deney No:5 (1.29 µmolP/L fosfor ilavesi,açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a (µg/L)	NO ₃ -N (µmol/L)	NH ₄ -N (µmol/L)	Çözünmüş	
					Toplam P (µmol/L)	Toplam azot/ Toplam fosfor (ΣN/ΣP)
0	1.00	0.35	2.00	0.50	1.35	2/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50	1.30	2/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50	1.25	2/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50	1.20	2/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50	1.00	3/1
7	1.70	0.61	0.00	0.00	0.00	
9	1.71	0.63	0.00	0.00	0.00	
11	1.72	0.65	0.00	0.00	0.00	
13	1.72	0.66	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.32: Deney No:6 (2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	Çözülmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
				$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)			
0	1.00	0.35	2.00	0.50		2.64	1/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50		2.60	1/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50		2.55	1/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50		2.00	1/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50		1.85	1/1
7	1.88	0.70	0.00	0.00		0.00	
9	1.90	0.71	0.00	0.00		0.00	
11	1.94	0.72	0.00	0.00		0.00	
13	1.94	0.72	0.00	0.00		0.00	

Tablo 4.33: Deney No:7 (4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	Çözülmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
				$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)			
0	1.00	0.35	2.00	0.50		4.90	0.5/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50		4.75	0.5/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50		4.50	0.6/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50		4.25	0.6/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50		3.35	0.8/1
7	2.00	0.74	0.00	0.00		0.00	
9	2.10	0.75	0.00	0.00		0.00	
11	2.20	0.79	0.00	0.00		0.00	
13	2.20	0.79	0.00	0.00		0.00	

Tablo 4.34: Deney No: 8 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ +1.29 $\mu\text{molP/L}$ azot ve fosfor ilavesi, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a (µg/L)	NO ₃ -N (µmol/L)	Çözünmüş	Toplam P (µmol/L)	Toplam azot/ Toplam fosfor (ΣN/ΣP)
				NH ₄ -N (µmol/L)		
0	1.00	0.35	2.00	14.79	1.35	12/1
1	1.00	0.35	2.00	14.70	1.30	13/1
3	1.00	0.35	1.98	13.50	1.20	13/1
4	1.30	0.46	1.90	10.70	1.00	13/1
5	3.00	1.10	1.88	3.00	0.30	16/1
7	3.10	1.12	1.83	2.50	0.00	
9	3.20	1.14	1.80	2.00	0.00	
11	3.20	1.14				
13	3.20	1.14				

Tablo 4.35: Deney No: 9 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ +2.58 $\mu\text{molP/L}$ azot ve fosfor ilavesi, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a (µg/L)	NO ₃ -N (µmol/L)	Çözünmüş		Toplam P (µmol/L)	Toplam azot/ Toplam fosfor (ΣN/ΣP)
				NH ₄ -N (µmol/L)			
0	1.00	0.35	2.00	29.07	2.64		12/1
1	1.00	0.35	2.00	29.00	2.60		12/1
3	1.00	0.35	2.00	25.80	2.30		12/1
4	1.50	0.54	1.98	23.00	2.10		12/1
5	4.70	1.68	1.97	7.00	0.50		18/1
7	4.95	1.70	1.85	5.00	0.00		
9	5.00	1.72	1.80	4.50	0.00		
11	5.10	1.79	1.78	4.00	0.00		
13	5.10	1.79					

Tablo 4.36: Deney No: 10 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ +4.84 $\mu\text{molP/L}$ azot ve fosfor ilavesi, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözülmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	61.20	4.90	13/1
1	1.00	0.35	2.00	60.90	4.75	13/1
3	1.00	0.35	1.95	53.00	4.40	13/1
4	2.50	0.90	1.90	48.00	3.95	13/1
5	8.30	3.07	1.85	14.00	0.80	20/1
7	8.50	3.21	1.84	10.00	0.00	
9	9.00	3.60	1.60	8.00	0.00	
11	9.00	3.60				
13	9.00	3.60				

Tablo 4.37: Deney No: 11 (Evsel atıksu ilavesi, 32 $\mu\text{molN/L}$ + 1.93 $\mu\text{mol P/L}$, açık hava)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözülmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	32.50	1.99	17/1
1	1.00	0.35	2.00	32.00	1.95	17/1
3	1.00	0.35	1.95	27.00	1.55	19/1
4	1.75	0.63	1.90	20.00	1.45	15/1
5	5.50	1.96	1.00	4.00	0.10	
7	5.60	1.98	0.80	3.00	0.00	
9	5.65	2.00	0.50	2.00	0.00	
11	5.65	2.00				
13	5.65	2.00				

Açık havada yapılan deneylere ait şekiller 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15'de verilmiştir. Laboratuvarında yapılan deneylere ait ölçüm sonuçları ise Tablo 4.38, 4.39, 4.40, 4.41, 4.42, 4.43, 4.44'de ifade edilmiştir.

Şekil 4.10'da Deney No: 5 (1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 6 (2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) Deney No: 7 (4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) için ölçülen UAKM'lerin zamanla değişimi gösterilmiştir. Deney başlangıcından, 6. günün sonuna kadar UAKM artışı olmamış, 6. ile 7. gün arasında eksponensiyel büyüme fazı oluşmuştur. İlave edilen fosfor konsantrasyonunun artmasıyla, büyüme hızı ve ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonu artmıştır. Ancak bu artışlar Ağustos-Eylül 1990 döneminde azot ilavesi durumunda gözlenen artışlar kadar fazla olmamıştır.

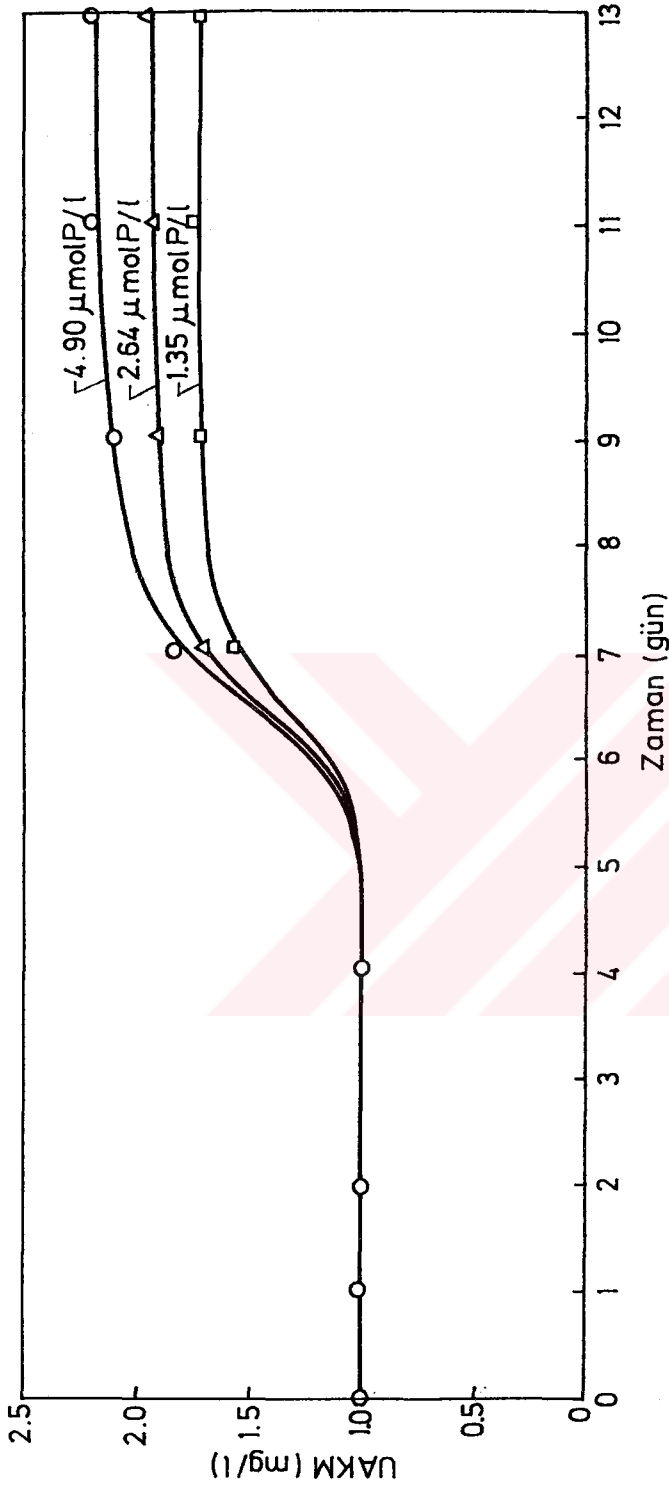
Şekil 4.11'de Deney No: 8 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ azot + 1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 9 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ azot + 2.58 $\mu\text{molN/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 10 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ azot + 4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) için ölçülen UAKM'lerin zamanla değişimi gösterilmiştir. Fosforla birlikte azotun ilavesi büyümeyi hızlandırmış ve azot büyümeyi hızlandırıcı bir "aktivatör" besin maddesi ödevini görmüştür. 4. ile 5. günler arasında eksponensiyel büyüme fazı oluşmuştur. İlave edilen azot ve fosfor konsantrasyonunun artmasıyla, büyüme hızı ve ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları artmıştır. Ancak bu artışlar Ağustos-Eylül 1990 döneminde azot ve fosfor ilavesi durumunda gözlenen artışlar kadar olmamıştır. Bir diğer faktör de ilave edilen azot ve fosfor ile deney ortamında oluşan N/P oranıdır. Sadece fosfor ilavesi yapılan Deney No: 5, Deney No: 6 ve Deney No: 7'de ortamdaki çözünmüş azot/çözünmüş fosfor oranı 2/1, 1/1 ve 0.5/1 iken, azot + fosfor ilavesi yapılan Deney No: 8, Deney No: 9 ve Deney No: 10'da ortamdaki azot/çözünmüş fosfor oranı 12/1, 12/1, 13/1 olmuştur. Redfield (1958) tarafından verilen 16/1 oranına yakın azot/fosfor içeren ortamda büyüme daha hızlı olmuştur.

Şekil 4.12'de Deney No: 11 (evsel atıksu ilavesi, 32 $\mu\text{molN/L}$ + 1.93 $\mu\text{molP/L}$) için gözlenen UAKM artışının zamanla değişimi verilmiştir. 4. ile 5. günler arasında eksponensiyel büyüme fazı oluşmuştur. Şekil 4.11'de gösterilen ikili besin maddesi ilavesinde gözlenen eğrilere benzer bir büyüme eğrisi oluşmuştur.

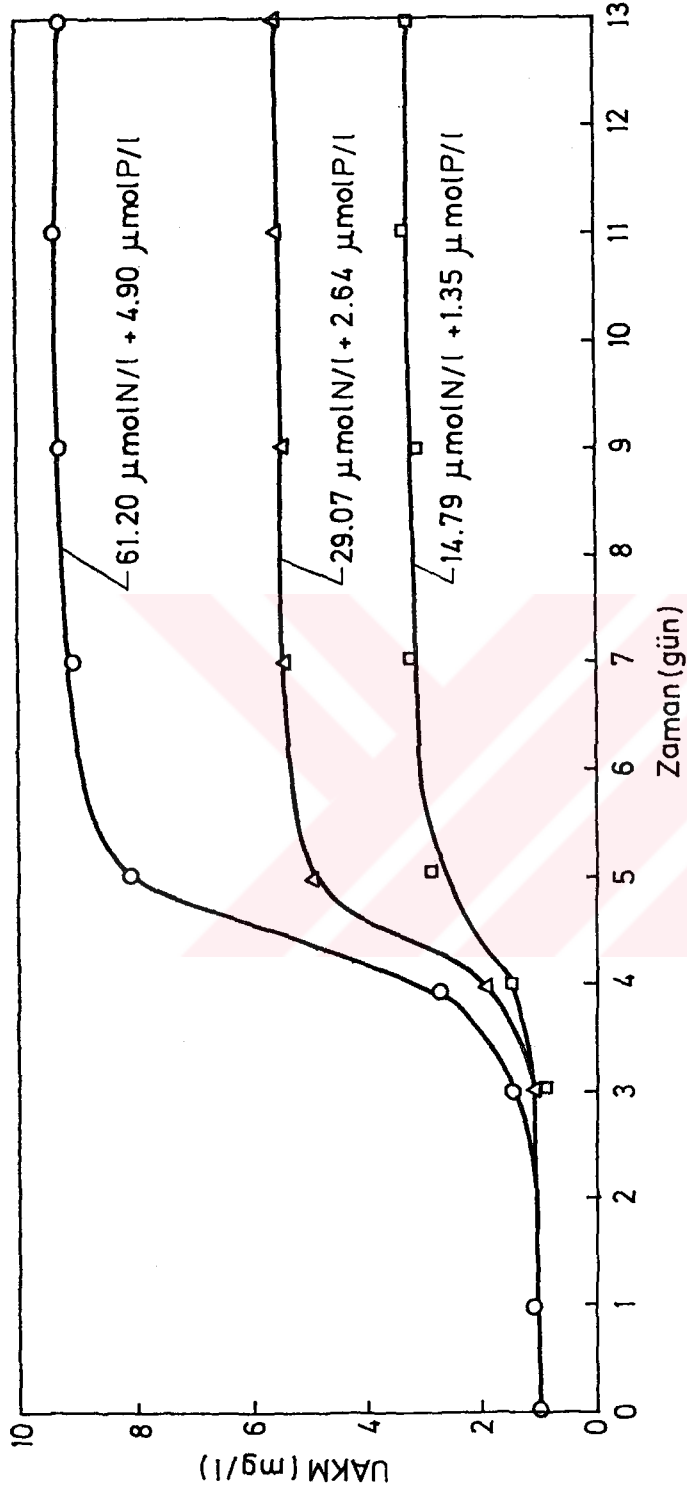
Şekil 4.13'de Deney No: 5, 6, 7 için UAKM ortamdaki çözünmüş fosforun zamanla değişimi verilmiştir. UAKM artışına paralel olarak 6. ve 7. günler arasında fosfor en çok tüketilmiş ve deney sonunda ortamda çözünmüş fosfor kalmamıştır.

Şekil 4.14'de Deney No: 8, 9, 10 için UAKM ortamdaki çözünmüş fosforun zamanla değişimi verilmiştir. UAKM artışına paralel 4. ve 5. günler arasında fosfor tüketimi en fazla olmuş ve deney sonunda ortamda çözünmüş fosfor kalmamıştır.

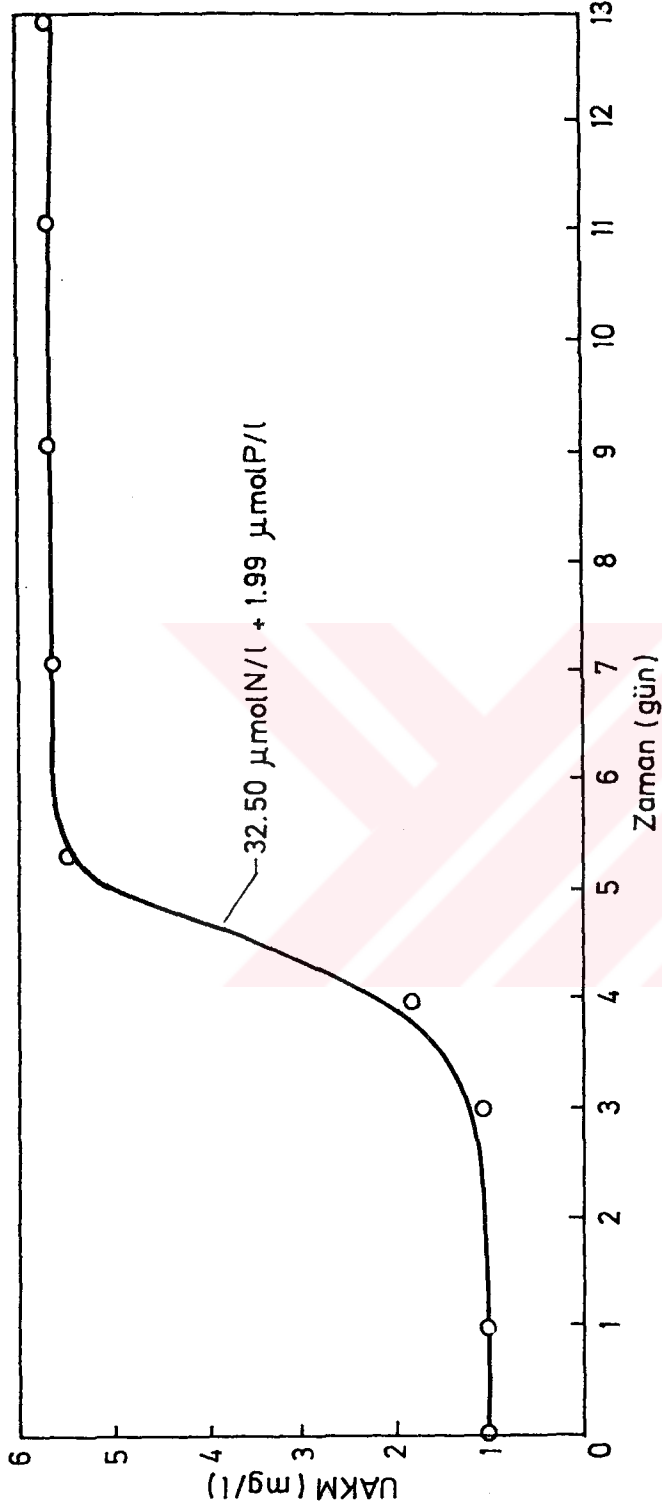
Şekil 4.15'de, Ocak-Şubat 1991 döneminde ait ölçülen UAKM'ler ile ölçülen klorofil-a konsantrasyonları arasındaki doğrusal ilişki gösterilmiştir. 34 analiz için $r^2=0.993$ olmak üzere, $\text{UAKM}(\text{mg/L})=0.15+2.62 \text{ klorofil-a } (\text{mg/m}^3)$ doğrusal bağıntısı çıkarılmıştır.



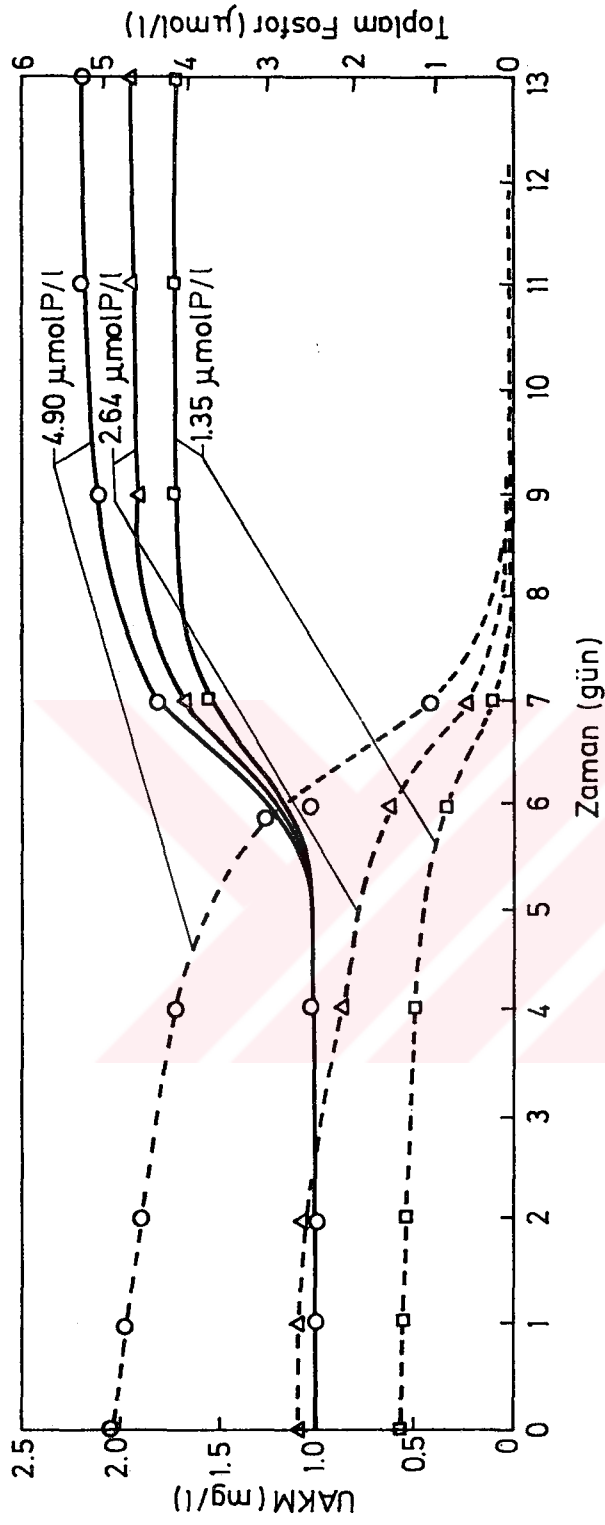
Şekil 4.10. Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş toplam fosfor konsantrasyonları



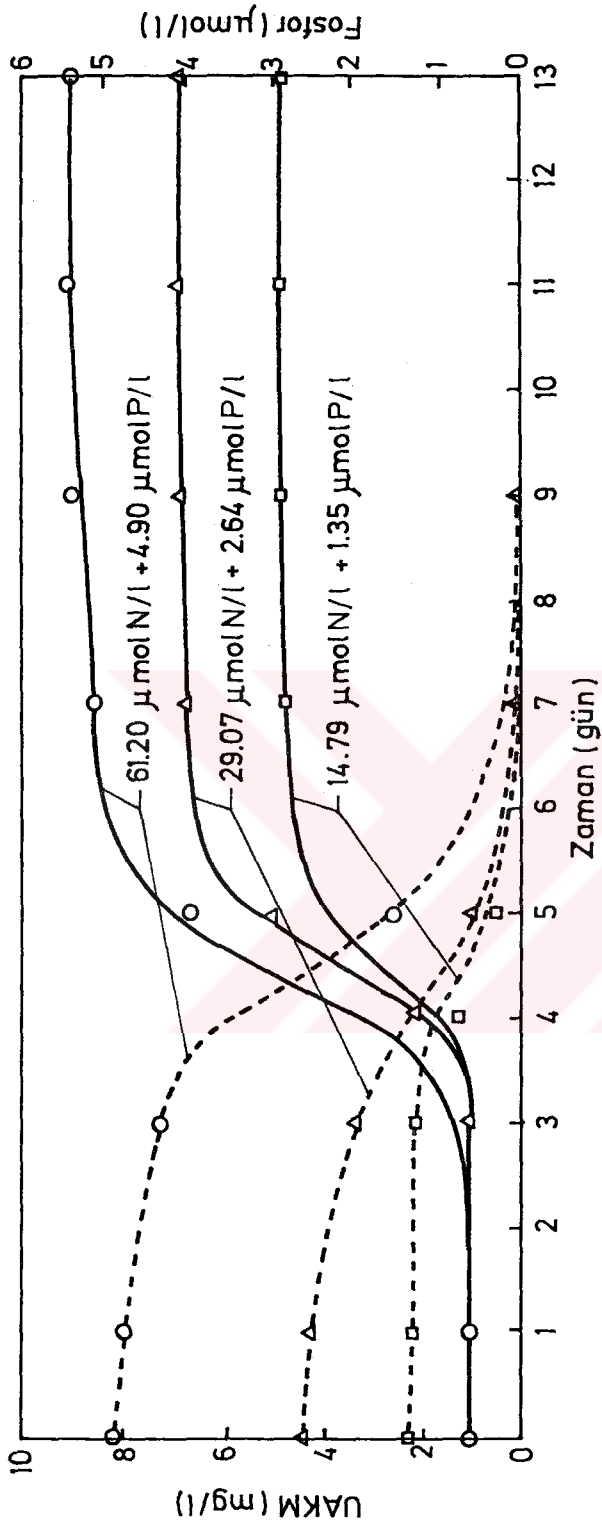
Şekil 4.11. Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş NH_4^+-N ve toplam fosfor konsantrasyonları



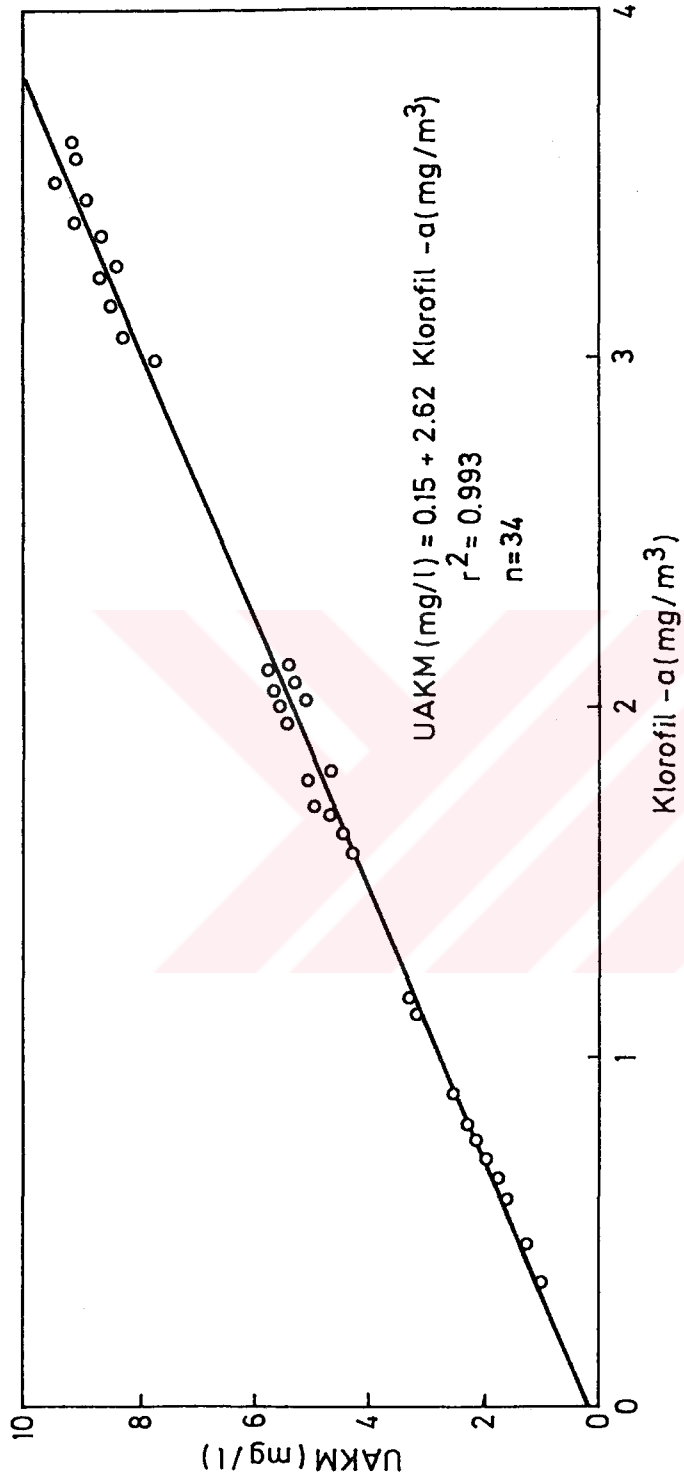
Şekil 4.12. Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyümeye eğrisinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ve toplam fosfor konsantrasyonları



Şekil 4.13. Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen, fosforun çözünmüş toplam fosforun zamanla değişimi



Şekil 4.14. Ocak-Şubat 1991 döneminde açık havada yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen çözünmüş toplam fosforun zamanla değişimi



Şekil 4.15. UAKM - Klorofil-a'nın doğrusal değişimi (Ocak-Şubat 1991 Dönemi)

Tablo 4.38: Deney No: 5 (1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	0.50	1.35	2/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50	1.28	2/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50	1.20	2/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50	1.15	2/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50	0.90	3/1
7	1.90	0.68	0.00	0.00	0.00	
9	1.92	0.68	0.00	0.00	0.00	
11	1.94	0.69	0.00	0.00	0.00	
13	1.94	0.69	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.39: Deney No: 6 (2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	0.50	2.64	1/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50	2.55	1/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50	2.50	1/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50	2.40	1/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50	2.30	1/1
7	2.10	0.81	0.00	0.00	0.00	
9	2.15	0.81	0.00	0.00	0.00	
11	2.17	0.82	0.00	0.00	0.00	
13	2.20	0.83	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.40: Deney No: 7 (4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\geq\text{N}/\leq\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	0.50	4.90	0.5/1
1	1.00	0.35	2.00	0.50	4.65	0.5/1
2	1.00	0.35	2.00	0.50	4.10	0.6/1
4	1.00	0.35	2.00	0.50	3.30	0.8/1
6	1.00	0.35	2.00	0.50	3.00	0.8/1
7	2.24	0.80	0.00	0.00	0.00	
9	2.25	0.80	0.00	0.00	0.00	
11	2.30	0.82	0.00	0.00	0.00	
13	2.30	0.82	0.00	0.00	0.00	

Tablo 4.41: Deney No: 8 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ azot + 1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\geq\text{N}/\leq\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	14.79	1.35	12/1
1	1.00	0.35	1.98	14.72	1.30	13/1
3	1.00	0.35	1.95	14.70	1.25	13/1
4	1.00	0.51	1.92	14.50	1.20	14/1
5	4.70	1.61	0.42	0.00	0.00	
7	4.70	1.70	0.00	0.00	0.00	
9	4.80	1.75				
11	4.80	1.75				
13	4.80	1.75				

Tablo 4.42: Deney No: 9 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ azot + 2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	29.07	2.64	12/1
1	1.00	0.35	1.98	28.95	2.60	12/1
3	1.00	0.35	1.94	24.95	2.55	11/1
4	1.00	0.71	1.90	24.00	2.50	10/1
5	6.65	2.30	1.80	0.00	0.00	
7	6.70	2.52	1.75	0.00	0.00	
9	6.80	2.55	1.70	0.00	0.00	
11	6.80	2.55				
13	6.80	2.55				

Tablo 4.43: Deney No: 10 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ azot + 4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam Azot/ Toplam fosfor ($\Sigma\text{N}/\Sigma\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	61.20	4.90	13/1
1	1.00	0.35	2.00	60.00	4.80	13/1
3	1.00	0.35	1.97	51.00	4.10	13/1
4	1.00	0.35	1.95	45.00	3.60	13/1
5	9.50	3.40	1.85	5.00	0.75	9/1
7	9.60	3.45	1.80	4.00	0.00	
9	9.70	3.47	1.75	3.00	0.00	
11	9.70	3.47				
13	9.70	3.47				

Tablo 4.44: Deney No: 11 (evsel atıksu ilavesi, 32 $\mu\text{molN/L}$ azot + 1.93 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi, laboratuvar)

Zaman (gün)	UAKM (mg/L)	Klorofil-a ($\mu\text{g/L}$)	Çözünmüş		Toplam P ($\mu\text{mol/L}$)	Toplam azot/ Toplam fosfor ($\approx\text{N}/\approx\text{P}$)
			$\text{NO}_3\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)	$\text{NH}_4\text{-N}$ ($\mu\text{mol/L}$)		
0	1.00	0.35	2.00	32.50	1.99	17/1
1	1.00	0.35	2.00	32.00	1.99	17/1
3	1.00	0.35	1.97	27.50	1.99	15/1
4	1.25	0.45	1.90	27.00	1.99	15/1
5	7.60	2.71	1.00	0.00	0.00	
9	7.65	2.78	0.80	0.00	0.00	
11	8.00	2.86	0.60	0.00	0.00	
13	8.00	2.86				

Laboratuvarda yapılan deneylere ilişkin Şekiller 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20'de verilmiştir.

Şekil 4.16'da Deney No: 5 (1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 6 (2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 7 (4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) için laboratuvarda, sabit sıcaklık ve ışık şiddetinde yapılan deneylerde ölçülen UAKM'nin zamanla değişimi gösterilmiştir. 6 güne kadar UAKM artışı olmamış 6. ve 7. günler arasında eksponensiyel büyüme fazı oluşmuştur. Ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları, Ağustos-Eylül 1990 döneminde yapılan tekil azot ilavelerinde ölçülen UAKM konsantrasyonlarından çok daha düşük olmuştur.

Şekil 4.17'de Deney No: 8 (14.29 $\mu\text{molN/L}$ azot + 1.29 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 9 (28.57 $\mu\text{molN/L}$ azot + 2.58 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi), Deney No: 10 (60.70 $\mu\text{molN/L}$ azot + 4.84 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) için laboratuvarda, sabit sıcaklık ve ışık şiddetinde yapılan deneylerde ölçülen UAKM'nin zamanla değişimi verilmiştir. 4. ile 5. günler arasında eksponensiyel büyüme fazı oluşmuş ve ulaşılan nihai UAKM konsantrasyonları artmıştır. Ancak bu artış, Ağustos-Eylül 1990 döneminde, azot+fosforun ilave edildiği durumda ölçülen nihai UAKM konsantrasyonu kadar olmamıştır.

Şekil 4.18'de Deney No: 11 (evsel atıksu 32 $\mu\text{molN/L}$ azot + 1.93 $\mu\text{molP/L}$ fosfor ilavesi) için laboratuvarda sabit sıcaklık ve ışık şiddetinde yapılan deneylerde ölçülen UAKM'nin zamanla değişimi verilmiştir.

Şekil 4.19'da Deney No: 5, 6, 7 için ölçülen UAKM ve fosfor konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Maksimum UAKM artışı eksponensiyel fazda

oluşmuş, buna paralel olarak da maksimum fosfor tüketimi oluşmuş ve deney sonunda ortamda çözünmüş fosfor kalmamıştır.

Şekil 4.20'de Deney No: 8, 9, 10 için ölçülen UAKM ve fosfor konsantrasyonlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Maksimum UAKM artışı eksponensiyel fazda 4. ile 5. gün arasında oluşmuş, bu artışa paralel olarak 4. ve 5. günlerde maksimum fosfor tüketimi oluşmuş ve deney sonunda ortamda çözünmüş fosfor kalmamıştır.

Açık havada yapılan deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d değerleri Tablo 4.45'de verilmiştir.

Eşitlik 4.9 kullanılmak suretiyle μ_{bp} ve K_p ile t_d değerleri hesaplanmıştır.

$$\mu_{bp} = 0.78 \text{ gün}^{-1}$$

$$K_p = 0.60 \text{ } \mu\text{mol/L}$$

$$t_d = 0.89 \text{ gün}$$

Monod denklemi ile hesaplanan bu değerler Şekil 4.21'de gösterilmiştir.

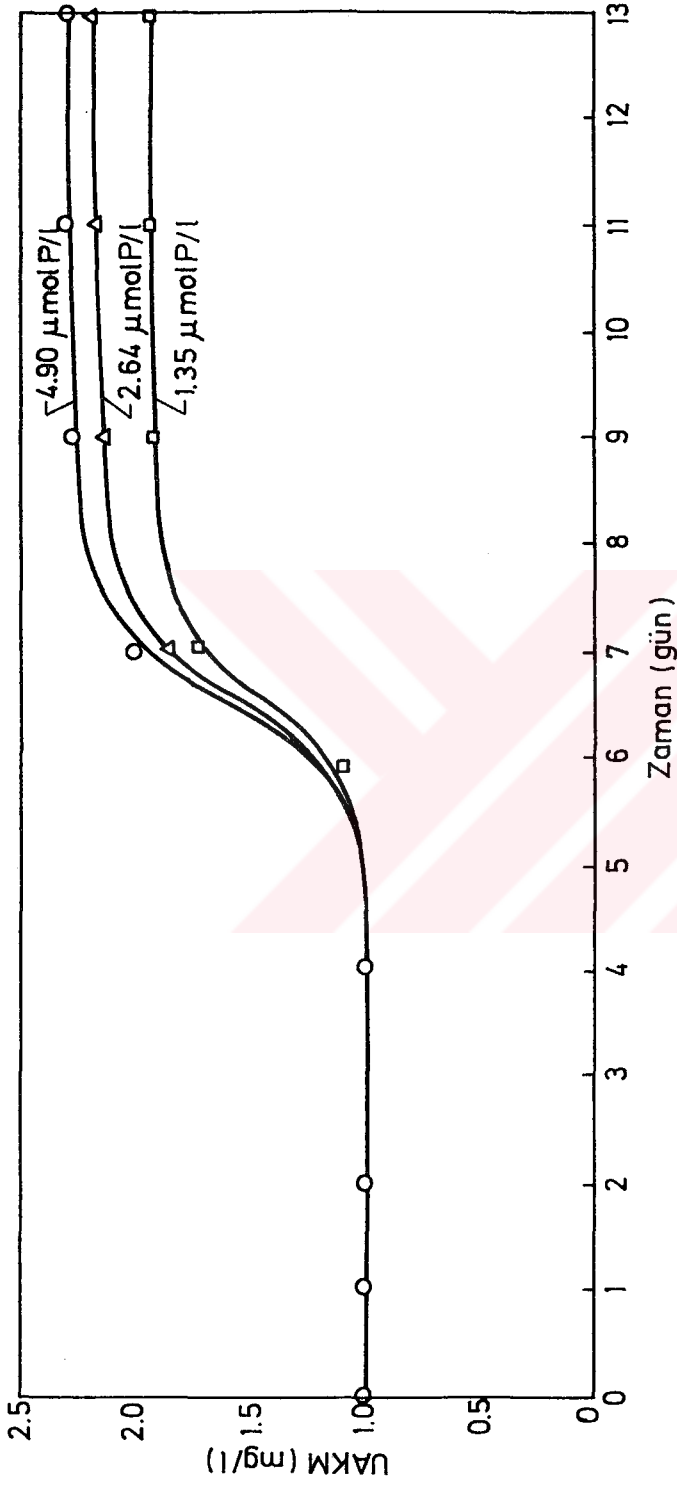
Tablo 4.45: Açık havada yapılan deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d değerleri

İlave besin maddesi	μ_{max} (gün ⁻¹)	t_d (gün)
1.29 $\mu\text{mol P/L}$	0.53	1.31
2.58 $\mu\text{mol P/L}$	0.63	1.10
4.84 $\mu\text{mol P/L}$	0.69	1.00
14.29 $\mu\text{molN/L} + 1.29 \mu\text{molP/L}$	0.84	0.83
28.57 $\mu\text{molN/L} + 2.58 \mu\text{molP/L}$	1.14	0.61
60.70 $\mu\text{molN/L} + 4.84 \mu\text{molP/L}$	1.20	0.58
Evsel atıksu (32 $\mu\text{molN/L} + 1.93 \mu\text{molP/L}$)	1.15	0.65

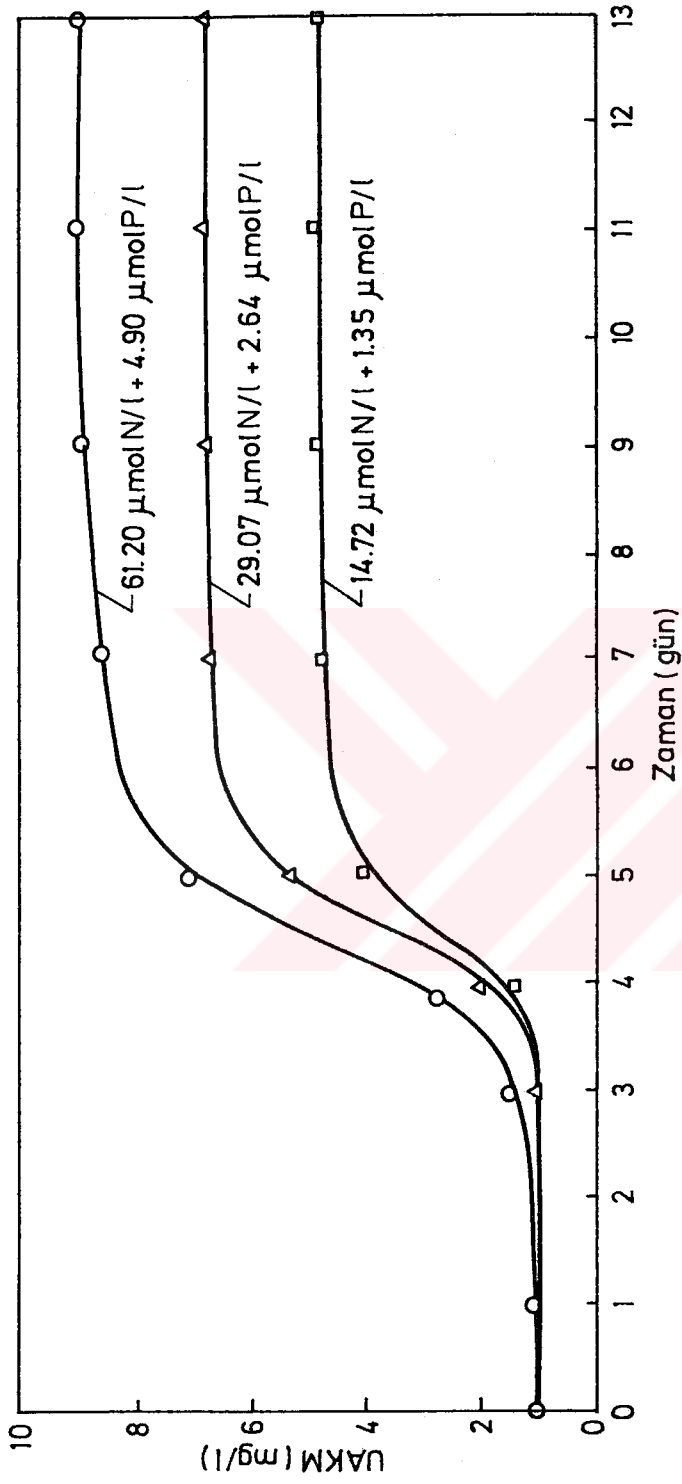
Eşitlik 4.10 ve 4.11 kullanılarak, ikili besin maddesinin ilave edildiği deney verilerinden μ_{bA} , K_A hesaplanmıştır.

$$\mu_{bA} = 1.99 \text{ gün}^{-1}$$

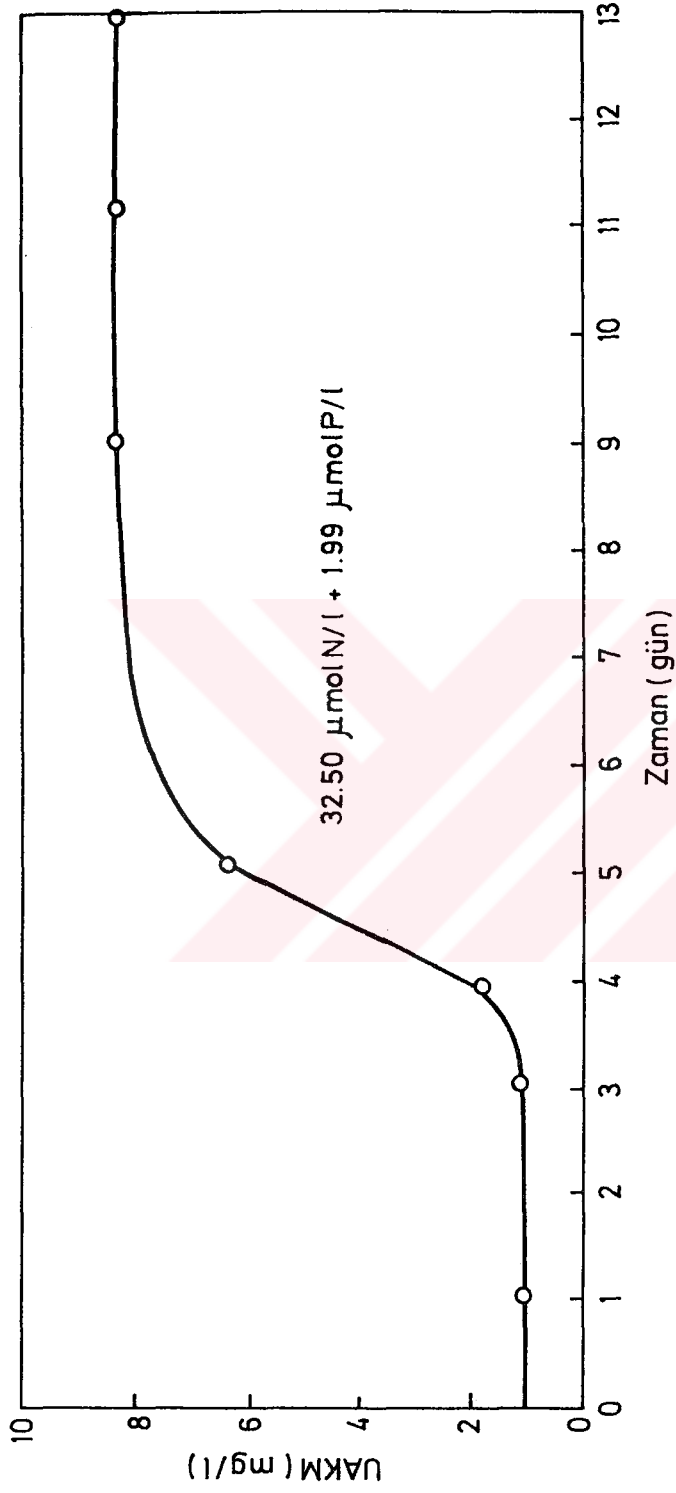
$$K_A = 11.60 \text{ } \mu\text{mol/L}$$



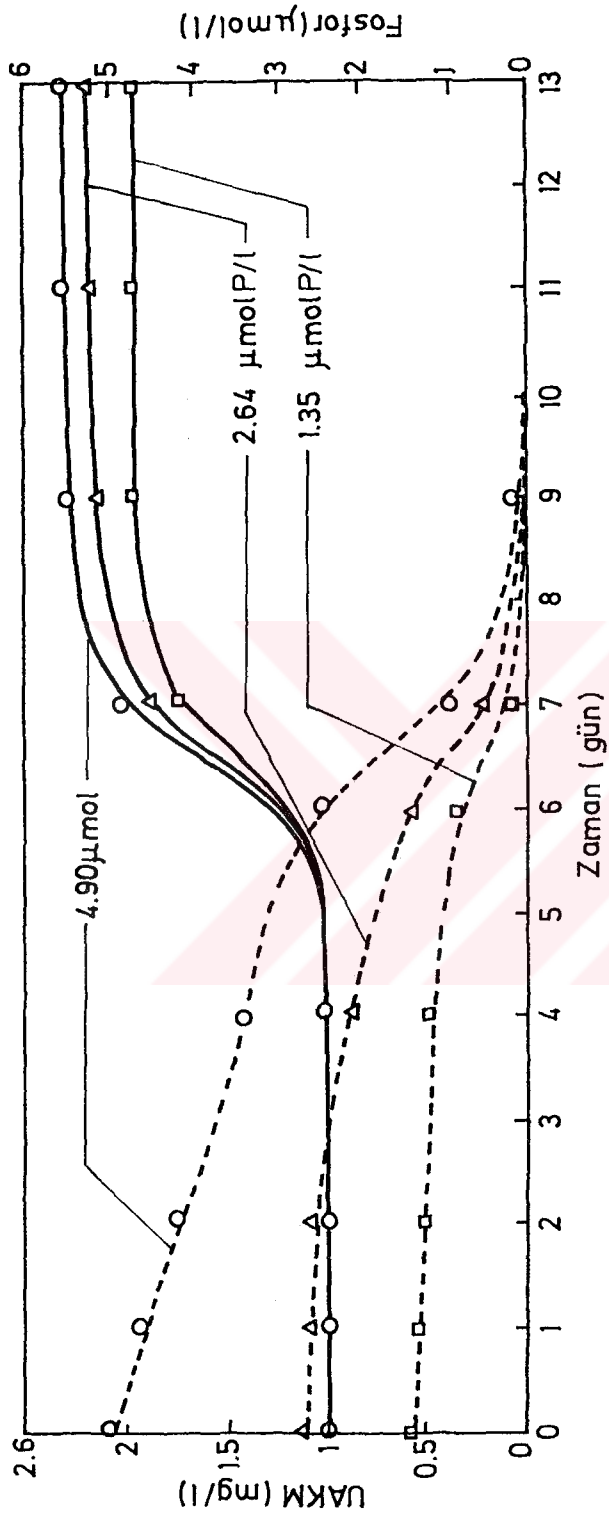
Şekil 4.16. Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarda yapılan deneylerde, KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş toplam fosfor konsantrasyonları



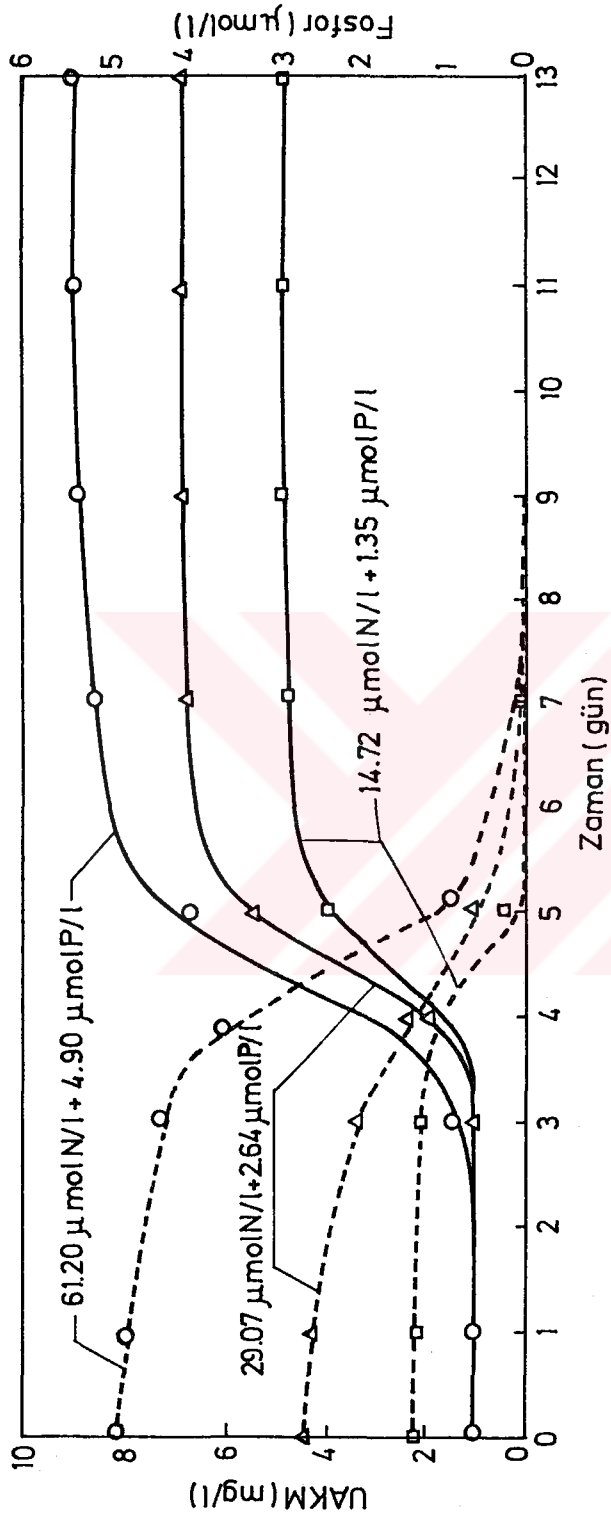
Şekil 4.17. Ocak-Şubat 1991 döneminde, laboratuvarında yapılan deneylerde $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ve KH_2PO_4 ilavesinde oluşan büyüme eğrilerinin zamanla değişimi, başlangıç çözümü NH_4^+-N ve toplam fosfor konsantrasyonları



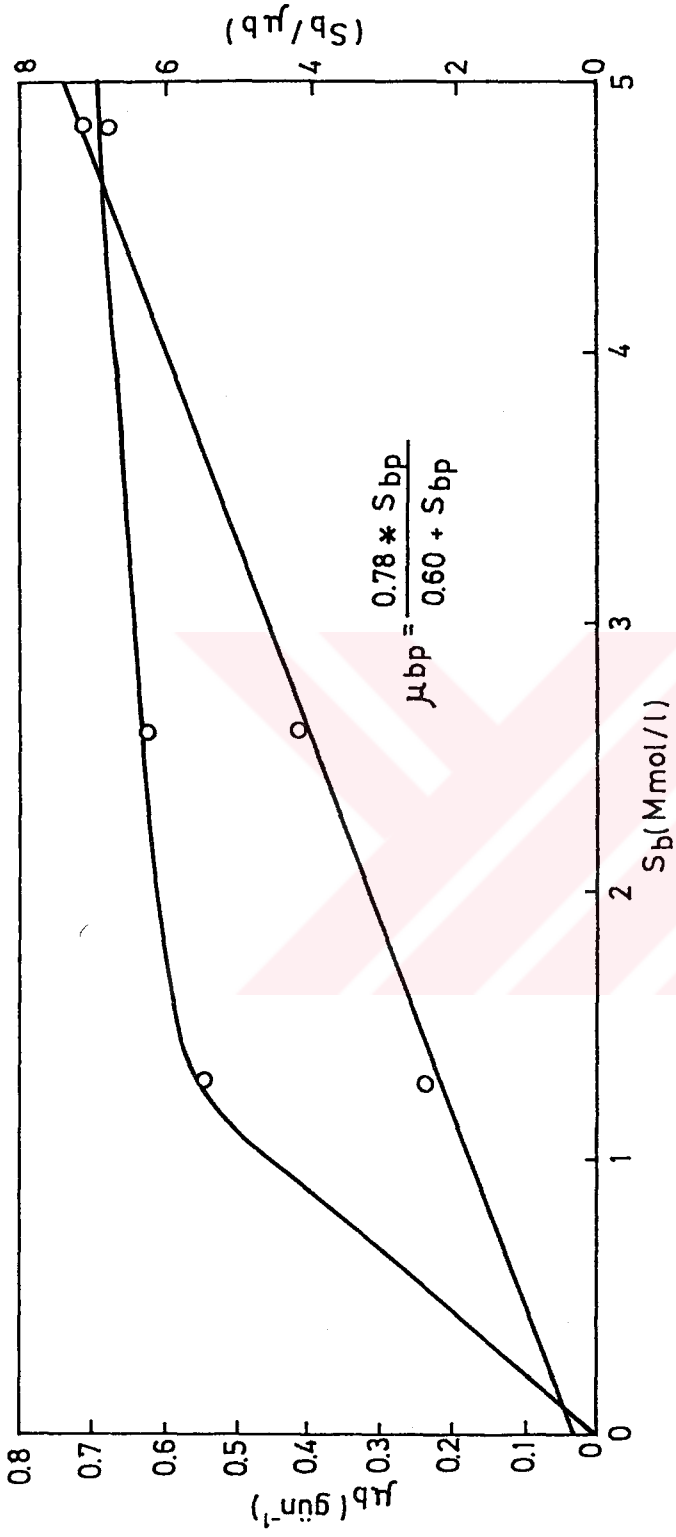
Şekil 4.18. Ocak-Şubat 1991 döneminde, laboratuvarda yapılan deneylerde evsel atıksu ilavesinde oluşan büyüme eğrisinin zamanla değişimi, başlangıç çözünmüş NH_4^+ - N ve toplam fosfat fosforu konsantrasyonları



Şekil 4.19. Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarda yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen fosforun zamanla değişimi



Şekil 4.20. Ocak-Şubat 1991 döneminde laboratuvarda yapılan deneylerde oluşan büyüme ve tüketilen fosforun zamanla değişimi



Şekil 4.21. Açık havada yapılan deney verileriyle başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi:

Hesaplanan tüm değerler yerine konulduğunda, eşitlik 4.14 elde edilmektedir.

$$\mu_b = \frac{1.99 \cdot S_{bA}}{11.60 + S_{bA}} * \frac{0.78 \cdot S_{bP}}{0.60 + S_{bP}} \quad (4.14)$$

Evsel atıksu için ölçülen değer $\mu_{evsel} = 1.15 \text{ gün}^{-1}$, eşitlik 4.14 ile hesaplanan $\mu_{evsel} = 0.87 \text{ gün}^{-1}$ 'dir.

Laboratuvar da gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilerle de aynı yöntemle μ_{max} ve t_d değerleri hesaplanmış ve Tablo 4.46'da verilmiştir.

Tablo 4.46: Laboratuvar da yapılan deneylerden hesaplanan μ_{max} ve t_d değerleri

İlave besin maddesi	$\mu_{max} (\text{gün}^{-1})$	$t_d (\text{gün})$
1.29 $\mu\text{molP/L}$	0.64	1.08
2.58 $\mu\text{molP/L}$	0.74	0.94
4.84 $\mu\text{molP/L}$	0.81	0.86
14.29 $\mu\text{molN/L} + 1.29 \mu\text{molP/L}$	1.55	0.45
28.57 $\mu\text{molN/L} + 2.58 \mu\text{molP/L}$	1.87	0.37
60.70 $\mu\text{molN/L} + 4.84 \mu\text{molP/L}$	2.25	0.31
Evsel atık su (32 $\mu\text{molN/L} + 1.93 \mu\text{molP/L}$)	1.81	0.38

Eşitlik 4.9 kullanılmak suretiyle μ_{bp} ve K_p ile t_d değerleri (Bkz. Şekil 4.22),

$$\mu_{bp} = 0.90 \text{ gün}^{-1}$$

$$K_p = 0.52 \mu\text{mol/L}$$

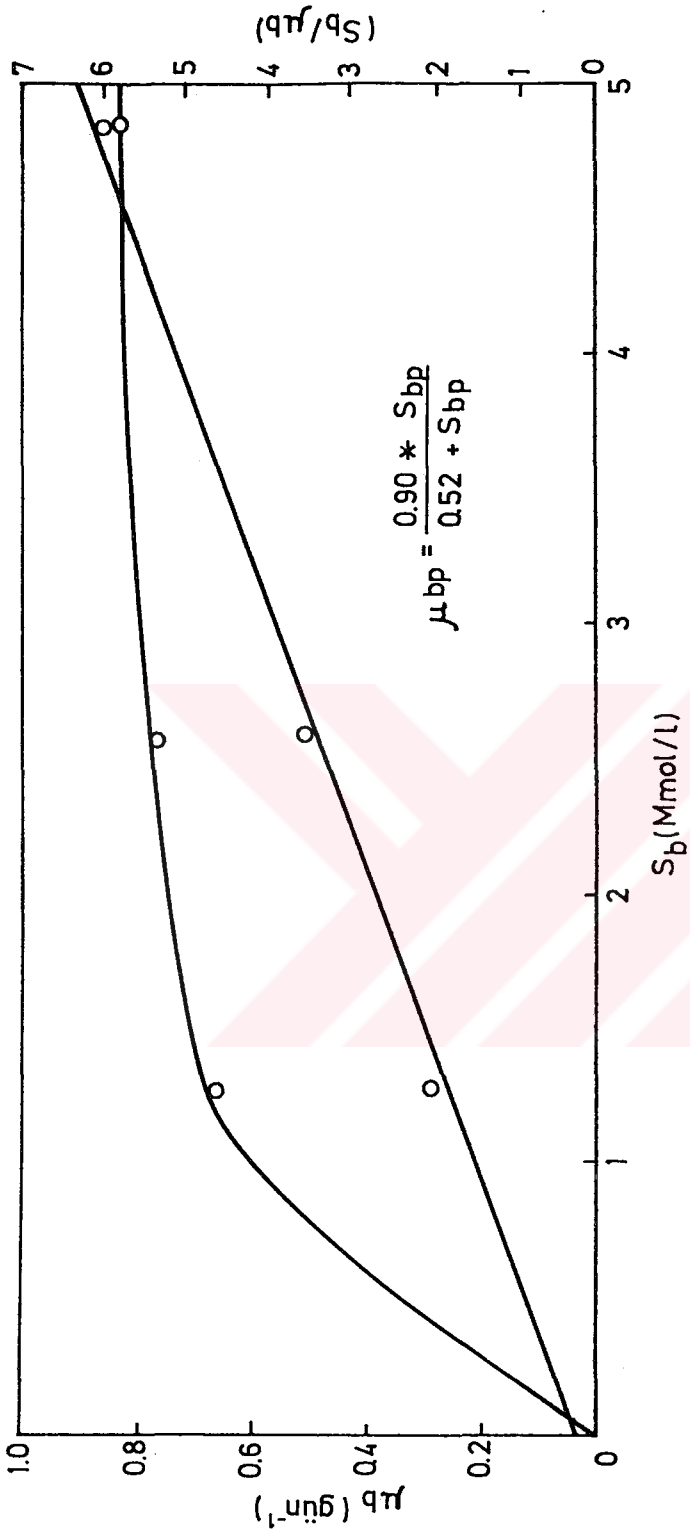
$$t_d = 0.77 \text{ gün}$$

İkili besin maddesinin ilave edildiği deney sonuçları kullanılarak, μ_{bA} , K_A değerleri hesaplanmıştır.

$$\mu_{bA} = 3.02 \text{ gün}^{-1}$$

$$K_A = 10.81 \mu\text{mol/L}$$

hesaplanan tüm değerler yerine konulduğunda, eşitlik (4.15) elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Laboratuvarda yapılan deney verileriyle başlangıç büyüme hızları ve doğrusal hale getirilmesi

$$\mu_b = \frac{3.02 \cdot S_{bA}}{10.81 + S_{bA}} * \frac{0.90 \cdot S_{bP}}{0.52 + S_{bP}} \quad (4.15)$$

Evsel atıksu için μ_b hesaplanırsa, $\mu_{bevsel} = 1.32 \text{ gün}^{-1}$ bulunmaktadır. Ölçülen $\mu_{bevsel} = 1.81 \text{ gün}^{-1}$ 'dir. Açık hava ve laboratuvarda yapılan deneylerde eşitlik 4.14'e göre hesaplanan verim değerleri (Y), Tablo 4.47 a ve b'de verilmiştir.

Tablo 4.47 (a) ve 4.47 (b)'de verilmiş olan ve ortamdaki çözünmüş azot ve fosforun, biyokütlerdeki partikül azot ve partikül fosfora dönüşüm oranını gösteren Y_N ve Y_P değerleri 5, 6 ve 7 no'lu kaplarda fosfor için düşük olmuş ortamda zaten yetersiz miktarda bulunan azot için ise yüksek olmuştur. İkili besin maddesi ilave edilen kaplarda dönüşüm oranı oldukça yüksektir. Laboratuvar koşullarında gerçekleştirilen deneylerde bu oranın % 100'e yakın bir oranda olduğu saptanmıştır.

Tablo 4.47 (a): Birim çözünmüş fosfor alımına karşı biyokütlerde oluşan partikül fosfor oranı (Y_P)

Deney No	İlave edilen besin maddesi	Açık hava Y_P	Laboratuvar Y_P
5	1.29 $\mu\text{molP/L}$	0.24	0.39
6	2.59 $\mu\text{molP/L}$	0.18	0.20
7	4.84 $\mu\text{molP/L}$	0.11	0.16
8	14.29 $\mu\text{molN/L} + 1.29 \mu\text{molP/L}$	0.79	0.99
9	28.57 $\mu\text{molN/L} + 2.58 \mu\text{molP/L}$	0.65	0.83
10	60.70 $\mu\text{molN/L} + 4.84 \mu\text{molP/L}$	0.60	0.96
11 (evsel atıksu)	32.00 $\mu\text{molN/L} + 1.93 \mu\text{molP/L}$	0.90	1.00

Tablo 4.47 (b): Birim çözünmüş azot alımına karşı biyokütlerde oluşan partikül azot oranı (Y_N)

Deney No	İlave edilen besin maddesi	Açık hava Y_N	Laboratuvar Y_N
5	1.29 $\mu\text{molP/L}$	1	1
6	2.58 $\mu\text{molP/L}$	1	1
7	4.84 $\mu\text{molP/L}$	1	1
8	14.29 $\mu\text{molN/L} + 1.29 \mu\text{molP/L}$	0.95	0.99
9	28.57 $\mu\text{molN/L} + 2.58 \mu\text{molP/L}$	0.86	1.00
10	60.70 $\mu\text{molN/L} + 4.84 \mu\text{molP/L}$	0.73	0.91
11 (evsel atıksu)	32.00 $\mu\text{molN/L} + 1.93 \mu\text{molP/L}$	0.95	0.98

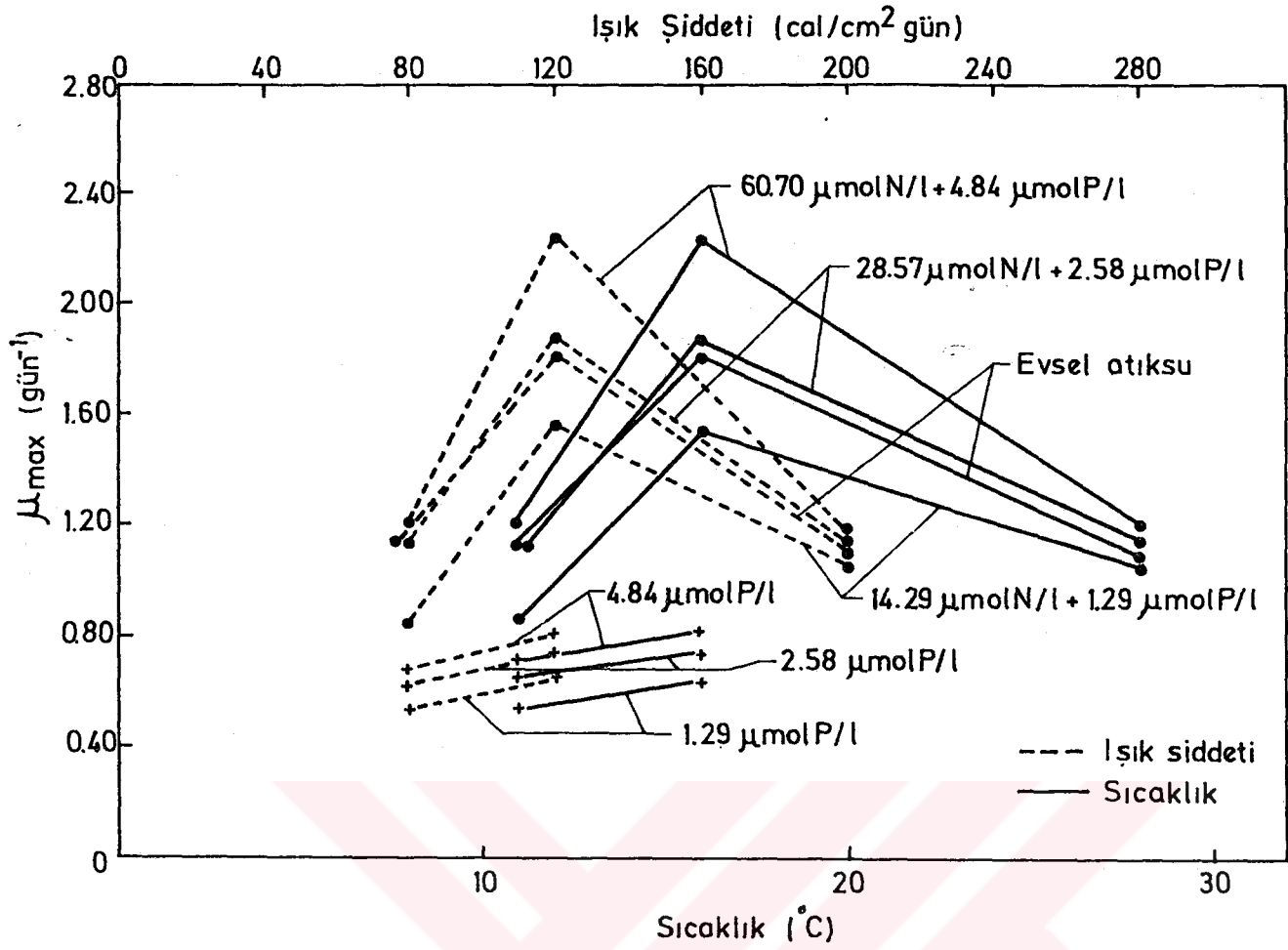
Ağustos - Eylül dönemi ve Ocak-Şubat döneminde yapılan deneysel çalışmalardan çıkarılan matematiksel bağıntılar, ortalama su sıcaklığı, ortalama ışık şiddeti ve aydınlanma süresi ile birlikte Tablo 4.48'de verilmiştir.

Tablo 4.48: Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen matematiksel bağıntılar, su sıcaklığı ve ışık koşulları

Zaman (ay)	Başlangıç büyüme hızı (gün ⁻¹)	Ort.su sıc. (°C)	Işık şiddeti, Aydınlanma s. (Cal/cm ² .gün)
Ağustos-Eylül (açık hava)	$\mu_b = \frac{1.20 \cdot S_{bA}}{2.62 + S_{bA}} * \frac{1.00 \cdot S_{bp}}{0.20 + S_{bp}}$	28	196 (14 saat)
Ocak-Şubat (açık hava)	$\mu_b = \frac{1.99 \cdot S_{bA}}{11.60 + S_{bA}} * \frac{0.78 \cdot S_{bp}}{0.60 + S_{bp}}$	11	80 (10 saat)
Ocak-Şubat (laboratuvar)	$\mu_b = \frac{3.02 \cdot S_{bA}}{10.81 + S_{bA}} * \frac{0.90 \cdot S_{bp}}{0.52 + S_{bp}}$	16	120 (10 saat)

Şekil 4.23'de, yapılan tüm deneylerde ölçülen μ_{max} değerlerinin ışık ve su sıcaklığı gibi parametreler ile değişimi gösterilmiştir. Mikroalglerin büyümesinde sıcaklık 11 °C ile 16 °C arasında büyümeyi hızlandırmış, 16 °C ile 28 °C arasında ise büyümeyi inhibe etmiştir. Işık şiddeti ise 80 Cal/cm².gün'den 120 Cal/cm².gün'e kadar büyümeyi hızlandırmış, 120 Cal/cm².gün ile 196 Cal/cm².gün arasında ise büyümeyi inhibe etmiştir. Deneysel sonuçlardan mikroalg büyümesi için optimum su sıcaklığının 16 °C, optimum ışık şiddetinin ise 120 Cal/cm².gün olduğu sonucu çıkarılmıştır.

Ryther (1956), üç farklı toksonomik grubu içeren (yeşil algler, diatomlar ve dinotlagellatlar) 14 deniz fitoplankton türü için ışık şiddeti eğrileri oluşturmuş ve elde ettiği verilere dayanarak 20 - 25 °C sıcaklıklar için doygunluk ışık şiddeti (I_g) değerinin deniz algleri için 0.125 Cal/cm².dak = 180 Cal/cm².gün olduğunu ifade etmiş ve daha yüksek ışık şiddeti değerlerinin alg büyümesini inhibe ettiğini belirtmiştir (GOLDMAN, J.C., 1978).



Şekil 4.23. μ_{max} 'ın ışık ve sıcaklık ile değişimi

4.8: Birincil Üretim Değerlerinin Hesaplanması

Işık şiddeti derinlikle eksponensiyel olarak azalmakta ve su sütunu derinliği boyunca algal büyümeyi limitleyen bir faktör olmaktadır (Bkz. Şekil 2.1).

Z derinliğinde, birim hacimde algal üretim hızı, ışığın derinlikle, eksponensiyel azalması ile ifade edilebilir.

$$(dX/dt)_z = (dX/dt)_0 * e^{-kz} \quad (4.16)$$

Kompensasyon derinliği için 4.16 eşitliği integre edilirse 4.17 eşitliği elde edilir.

$$\int_0^d (dx/dt)_z dz = \int_0^d (dx/dt)_0 e^{-kz} dz = \int_0^d (\mu x)_0 e^{-kz} dz \quad (4.17)$$

Ağustos - Eylül dönemi yapılan deneysel çalışmalardan tespit edilen matematiksel bağıntıdan hesaplanan μ değeri ve aşağıdaki veriler ile bu dönemde Dış körfezde beklenebilecek birincil üretim değerleri, UAKM'nin teorik alg formülüne eşit ve karbon oranının % 35 olduğu kabulü ile hesaplanmıştır. (Bkz. Tablo 4.49)

Tablo 4.49: Ağustos - Eylül dönemi verileri ve hesaplanan birincil üretim değerleri (mgC/m²/saat)

Parametre	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3
UAKM (mg/L)	0.85	1.75	1.00
Toplam azot ($\mu\text{mol/L}$)	4.79	3.78	2.78
$\Sigma\text{PO}_4^{-3}\text{-P}$ ($\mu\text{mol/L}$)	0.75	0.50	0.40
μ (gün^{-1})	0.61	0.51	0.41
Aydınlanma süresi (saat)	14	14	14
Secchi Diski Derinliği (m)	20	20	20
Kompenzasyon derinliği (m)	50	50	50
k (m^{-1})	0.085	0.085	0.085
Birincil üretim (mgC/m ² /saat)	156	264	123

Ocak-Şubat döneminde yapılan deneysel çalışmalardan tespit edilen matematiksel bağıntı yardımıyla, Dış körfezde bu aylarda beklenebilecek birincil üretim değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 4.50).

Tablo 4.50: Ocak-Şubat dönemi verileri ve hesaplanan birincil üretim değerleri (mgC/m²/saat)

Parametre	Örnek 1	Örnek 2	Örnek3
UAKM (mg/L)	1.00	0.65	0.55
Toplam azot ($\mu\text{mol/L}$)	2.55	1.40	4.00
$\Sigma\text{PO}_4^{-3}\text{-P}$ ($\mu\text{mol/L}$)	0.06	0.05	0.09
μ (gün^{-1})	0.025	0.013	0.051
Aydınlanma süresi (saat)	10	10	10
Secchi disk derinliği (m)	18	18	18
Kompenzasyon derinliği(m)	49	49	49
k(m^{-1})	0.094	0.094	0.094
Birincil üretim (mgC/m ² /saat)	9.5	3	10

5. GELECEĞE YÖNELİK TAHMİNLER

5.1. Arıtma Tesisı Yapılması Durumunda 2000 Yılında Beklenen Konsantrasyonlar

İzmir Atıksu Arıtma tesisleri Fizibilite Etüdü'nde (1985), öngörülen ve İzmir şehri atıksularının arıtılması için seçilen sistem üç kademededen oluşmaktadır.

- Anaerobik havuz
- Fakültatif havuz
- Olgunlaştırma havuzu

Fizibilite etüdünde, anaerobik havuzlarda çökelme ile azotun ve fosforun %20 oranında giderileceği, fakültatif stabilizasyon havuzunda azot giderme veriminin, havuzdaki alglerin %60 oranında tutulacağı kabulü ile %45, olgunlaştırma havuzunda azot giderme veriminin %20 olacağı belirtilmiştir. Fakültatif havuzlar ile olgunlaştırma havuzlarında fosfor giderme veriminin %40-60 civarında olacağı tahmin edilmiştir.

2000 yılı için arıtma tesisinde oluşacak azot, fosfor ve alg konsantrasyonları hesaplanmıştır. Atıksu debisi $Q_{2000} = 656762 \text{ m}^3/\text{gün}$ alınmıştır, anaerobik havuz girişinde azot konsantrasyonu 25 mg/L, fosfor konsantrasyonu ise 6.7 mg/L'dir. %20 çökelme ile azot ve fosfor uzaklaştırılırsa, fakültatif havuz girişinde azot konsantrasyonu 20 mg/L, fosfor konsantrasyonu ise 5.36 mg/L'dir. Ağustos-Eylül döneminde fakültatif olgunlaştırma havuzunda toplam alg üretimi ışık radyasyonu ve %6 alg üreme verimi dikkate alınarak ortalama olarak 366345 kgalg/gün, Ocak-Şubat döneminde ise 163475 kgalg/gün'dür (İZMİR ATIKSU ARITMA TESİSLERİ FİZİBİLİTE ETÜDÜ, 1985).

Fakültatif + olgunlaştırma havuzu çıkışında toplam %56 arıtma verimiyle azot konsantrasyonu 8.8 mgN/L, azot yükü ise 5780 kgN/gün, fosfor konsantrasyonu toplam %60 arıtma verimiyle 2.68 mg/L, fosfor yükü 1760 kgP/gün olmaktadır. Tüm azotun algler tarafından tutulduğu kabulüyle, alglerdeki azot miktarı 7355 kgN/gün, fosfor miktarı ise 1760 kgP/gün'dür. Azota göre oluşacak toplam alg miktarı yaklaşık 120000 kgalg/gün olmaktadır. Alglerin %60 oranında tutulduğu kabulüyle, arıtma tesisi çıkışında oluşacak alg miktarı 60000 kgalg/gün'dür (3786 kgN/gün + 523 kgP/gün). Arıtılmış suyun azot konsantrasyonu 8.8 mgN/L, fosfor konsantrasyonu 2.68 mgP/L, alg konsantrasyonu 90 mgalg/L'dir.

Atıksu deşarj sistemiyle denize verilecektir. İlk seyrelmenin 1/100 olması durumunda oluşacak azot ve fosfor konsantrasyonları 0.088 mgN/L (6.29 $\mu\text{molN/L}$), 0.0268 mgP/L (0.86 $\mu\text{molP/L}$), azot/fosfor oranı ise mol olarak 7.3 olacaktır. İlk seyrelmeden sonra, difüzör ekseninden geçen düşey bir kesit üzerinde, atıksu ile deniz suyu arasında üniform bir karışım oluşur. Atıksu yüzeye çıktıktan ve tarla şeklinde yayıldıktan sonra hakim akıntıya uyarak hareket eder. Brooks,

klasik kısmi diferansiyel denklemleri uygulayarak bir atıksu tarlasının dispersiyonu incelemiştir. E'nin difüzör uzunluğunun fonksiyonu olması hali için çıkardığı denklem şu şekildedir.

$$D_2 = \frac{C_0}{C_t} = \frac{1}{\operatorname{erf} \sqrt{\frac{3/2}{[1+2/3 \beta (x/b)]^3 - 1}}} \quad (5.1)$$

D_2 = Çalkantı difüzyonu nedeniyle ilk seyrelmeden sonraki seyrelme

C_t = t anındaki maksimum kirletici konsantrasyonu

C_0 = İlk seyrelmeden sonraki kirletici konsantrasyonu

$\operatorname{erf}(x)$ = x değişkeninin hata fonksiyonu

$\beta = 12E/V_x b$, boyutsuz bir sayı

$E = (4.53) (10^{-4}) (b)^{4/3} \text{ (m}^2/\text{s)}$

V_x = Akıntı hızı (m/s)

x = Difüzör kesitine olan uzaklık (m)

b = Etkili difüzör uzunluğu (m)

Etkili difüzör uzunluğu, 1000 m³/gün atıksu debisi için 1 m alınarak, 0.7 km bulunmuştur. Kıyıya doğru olan kritik akıntı hızı 3 m/dak alınırsa, çeşitli x uzaklıklarında oluşacak ikinci seyrelme ve buna bağlı olarak oluşacak azot ve fosfor konsantrasyonları hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 5.1).

Tablo 5.1: İkinci seyrelme ile azot ve fosfor konsantrasyonları

Difüzörden uzaklık (m)	İkinci seyrelme	Azot (μmol/L)	Fosfor (μmol/L)
1000	1.67	3.77	0.51
2000	3.23	1.95	0.27
3000	5.00	1.26	0.17
4000	6.67	0.94	0.13
5000	9.12	0.69	0.09
6000	11.11	0.57	0.08
7000	13.33	0.47	0.07
8000	15.38	0.41	0.06
9000	18.87	0.33	0.05
10000	22.22	0.28	0.04

Deşarj ile denize verilecek 90 mg/L'lik alg konsantrasyonunun birinci ve ikinci seyrelme ile ulaşacağı konsantrasyonlar Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2.a: Birinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonu

Seyrelme öncesi alg konsantrasyonu (mg/L)	Seyrelme oranı	Seyrelme sonrası alg konsantrasyonu (mg/L)
90	1/100	0.90

İkinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonları ve teorik alg formülünden ($C_{106} H_{263} O_{110} N_{16} P_1$) hesaplanan azot ve fosfor konsantrasyonları Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.2.b. İkinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonları

Difüzörden uzaklık (m)	İkinci seyrelme -	Alg K. (mg/L)
1000	1.67	0.54
2000	3.23	0.28
3000	5.00	0.18
4000	6.67	0.13
5000	9.12	0.09
6000	11.11	0.08
7000	13.33	0.07
8000	15.38	0.06
9000	18.87	0.05
10000	22.22	0.04

Tablo 5.3: İkinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonları ve teorik alg formülünden hesaplanan azot ve fosfor konsantrasyonları

Difüzörden uzaklık (m)	Azot K. ($\mu\text{mol/L}$)	Fosfor K. ($\mu\text{mol/L}$)
1000	1.90	0.15
2000	1.00	0.07
3000	0.60	0.05
4000	0.50	0.04
5000	0.30	0.03
6000	0.30	0.02
7000	0.26	0.02
8000	0.21	0.02
9000	0.17	0.01
10000	0.13	0.01

Arıtma tesisinde tutulamayan ve derin deniz deşarjı ile deniz ortamına verilecek alg konsantrasyonu 90 mg/L'dir. Tatlı su alglerinin deniz ortamındaki tuzluluğa ozmotik basınç nedeniyle dayanamayıp ölecekleri kabulüyle, deniz ortamında oluşacak azot ve fosfor konsantrasyonları 5.2 eşitliği ile ifade edilmiştir.

$$N^* = N_d + N_a + N_0$$

$$P^* = P_d + P_a + P_0 \quad (5.2)$$

Burada:

N_d = Birinci ve ikinci seyrelme sonrası azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

P_d = Birinci ve ikinci seyrelme sonrası fosfor konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

N_a = Birinci ve ikinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonu ve teorik alg formülünden hesaplanan azot konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

P_a = Birinci ve ikinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonu ve teorik alg formülünden hesaplanan fosfor konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

N_0, P_0 = Deniz ortamında mevcut azot ve fosfor konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$)

Ağustos-Eylül döneminde deneylerde kullanılan deniz suyu örneğinde ölçülen toplam çözünmüş inorganik azot konsantrasyonu 3.78 $\mu\text{molN/L}$, toplam çözünmüş inorganik fosfor konsantrasyonu ise 0.50 $\mu\text{molP/L}$ 'dir.

Ocak-Şubat döneminde deneylerde kullanılan deniz suyunda örneğinde ölçülen toplam çözünmüş inorganik azot konsantrasyonu 2.55 $\mu\text{molN/L}$, toplam çözünmüş inorganik fosfor konsantrasyonu ise 0.06 $\mu\text{molP/L}$ 'dir.

Deniz suyunda mevcut konsantrasyonlar olarak bu değerler kullanılarak 5.2 eşitliği ile azot ve fosfor konsantrasyonları, N/P oranları ve Liebig'in minimum yasasından ortamda oluşacak alg konsantrasyonları hesaplanmış ve Tablo 5.4 ile Tablo 5.5'de verilmiştir.

Arıtma tesisinde tutulamayan ve değarj ile deniz ortamına verilecek olan alglerin denizde yaşamlarını sũrdũrecekleri kabulũyle ise deniz ortamındaki azot ve fosfor konsantrasyonları aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir:

$$N^* = N_d + N_0$$

$$P^* = P_d + P_0 \quad (5.3)$$

İkinci kabũle gũre, N^* ve P^* konsantrasyonlarından Ağustos-Eylũl ve Ocak-şubat dũnemi için açık havada yapılan deneylerden tespit edilen μ_b değerleri hesaplanarak,

$$(\Delta x / \Delta t) = \mu_b \cdot x^* \quad (5.4)$$

x^* = Birinci ve ikinci seyrelme sonrası alg konsantrasyonu ($\mu\text{mol/L}$) 5.4 eşitliğinden $(\Delta x / \Delta t)$ 'ler bulunmuştur. Tablo 5.6'da, Ağustos-Eylũl dũnemi için N^*, P^*, x^*, μ ve $\Delta x / \Delta t$ değerleri, Tablo 5.7'de, Ocak-şubat dũnemi için N^*, P^*, x^*, μ_b ve $\Delta x / \Delta t$ değerleri verilmiştir.

Tablo 5.4: Ağustos-Eylũl dũneminde ortamda oluşacak azot, fosfor konsantrasyonları, N/P oranları ve alg konsantrasyonu

Difũzũrden uzaklık (m)	N^* ($\mu\text{mol/L}$)	P^* ($\mu\text{mol/L}$)	N^*/P^* -	Alg K. (g/m^3)
1000	9.45	1.16	8/1 Azot limitleyici	2.21
2000	6.73	0.84	8/1 " "	1.57
3000	5.64	0.72	8/1 " "	1.32
4000	5.22	0.67	8/1 " "	1.22
5000	4.77	0.62	8/1 " "	1.11
6000	4.65	0.60	8/1 " "	1.09
7000	4.51	0.59	8/1 " "	1.05
8000	4.28	0.58	8/1 " "	0.99
9000	4.28	0.56	8/1 " "	0.99
10000	4.19	0.55	8/1 " "	0.98

Tablo 5.5: Ocak-Şubat döneminde ortamda oluşacak azot, fosfor konsantrasyonları, N/P oranları ve alg konsantrasyonu

Difüzörden uzaklık (m)	N* ($\mu\text{mol/L}$)	P* ($\mu\text{mol/L}$)	N*/P* -		Alg K. (g/m^3)
1000	8.22	0.72	11/1	Azot limitleyici	1.92
2000	5.50	0.40	14/1	"	1.28
3000	4.41	0.28	16/1	"	1.03
4000	3.99	0.23	17/1	Fosfor limitleyici	0.71
5000	3.54	0.18	20/1	"	0.56
6000	3.42	0.16	21/1	"	0.50
7000	3.28	0.15	22/1	"	0.47
8000	3.17	0.14	23/1	"	0.43
9000	3.05	0.12	25/1	"	0.37
10000	2.96	0.10	30/1	"	0.31

Tablo 5.6. Ağustos-Eylül döneminde N*, P*, x^*+x_{deniz} , μ_b , $\Delta x/\Delta t$, birincil üretim değerleri

Dif.'den uzaklık(m)	N* ($\mu\text{mol/L}$)	P* ($\mu\text{mol/L}$)	x^*+x_{deniz} (mg/L)	μ_b (gün)	$\Delta x/\Delta t$ ($\text{g/m}^3/\text{gün}$)	Birincil üretim ($\text{mgC/m}^2/\text{sa}$)
1000	7.55	1.01	1.65	0.74	1.23	358
2000	5.73	0.77	1.43	0.65	0.93	272
3000	5.04	0.67	1.35	0.61	0.82	239
4000	4.72	0.63	1.31	0.59	0.77	223
5000	4.47	0.59	1.28	0.57	0.72	211
6000	4.35	0.58	1.27	0.56	0.71	206
7000	4.25	0.57	1.26	0.55	0.69	202
8000	4.19	0.56	1.25	0.54	0.68	198
9000	4.11	0.55	1.24	0.53	0.67	194
10000	4.06	0.54	1.23	0.52	0.65	190

Tablo 5.7: Ocak-Şubat döneminde N^* , P^* , x^*+x_{deniz} , μ_b , $\Delta x/\Delta t$, birincil üretim değerleri

Dif.'den uzaklık(m)	N^* ($\mu\text{mol/L}$)	P^* ($\mu\text{mol/L}$)	x^*+x_{deniz} (mg/L)	μ_b (gün)	$\Delta x/\Delta t$ ($\text{g/m}^3/\text{gün}$)	birincil üretim ($\text{mgC/m}^2/\text{sa}$)
1000	4.45	0.21	1.18	0.11	0.13	54
2000	3.55	0.13	0.96	0.06	0.061	25
3000	3.15	0.11	0.88	0.05	0.045	19
4000	3.05	0.10	0.84	0.05	0.039	16
5000	2.85	0.09	0.81	0.04	0.032	13
6000	2.85	0.08	0.80	0.04	0.028	12
7000	2.81	0.08	0.79	0.04	0.028	12
8000	2.76	0.08	0.78	0.035	0.027	11
9000	2.72	0.07	0.77	0.031	0.024	10
10000	2.68	0.07	0.76	0.030	0.023	9.5

5.2.Yaz ve Kış Dönemi Algal Büyüme Hızlarının Karşılaştırılması

5.1. Bölümünde, deniz suyunda oluşabilecek azot ve fosfor konsantrasyonları (N^* , P^*) ifade edilmişti. Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından yapılan çalışmalarda Dış Körfezde ölçülen azot ve fosfor konsantrasyon aralığından da yararlanmak suretiyle sabit fosfor ve artan azot konsantrasyonlarında algal büyüme hızı ($\mu = \text{gün}^{-1}$) hesaplanarak yaz ve kış dönemi için Şekil 5.1. ve 5.2.'de gösterilmiştir.

Her iki dönemde, sabit bir fosfor konsantrasyonu için artan azot konsantrasyonlarında algal büyüme hızının arttığı görülmektedir. Ancak büyüme hızı, yaz döneminde azotun düşük konsantrasyonlarında oldukça yüksek olmasına karşın, kış döneminde düşmektedir.

Yaz döneminde, düşük azot ve fosfor konsantrasyonlarında ($0-5 \mu\text{molN/L}$) ve ($0.1-0.5 \mu\text{molP/L}$) büyüme hızı yüksek iken kış döneminde aynı büyüme hızlarına yüksek azot ve fosfor konsantrasyonlarında ($15-20 \mu\text{molN/L}$) ve ($0.5-1.0 \mu\text{molP/L}$) ulaşılmaktadır. Bu sonuç, yaz döneminde algal büyüme için gerekli azot ve fosfor ihtiyacının kış dönemine göre yüksek olduğu azot ve fosforun çok düşük konsantrasyonlarının yüksek bir hızla kullanılarak algal biyokütleyle çevrildiğini göstermektedir.

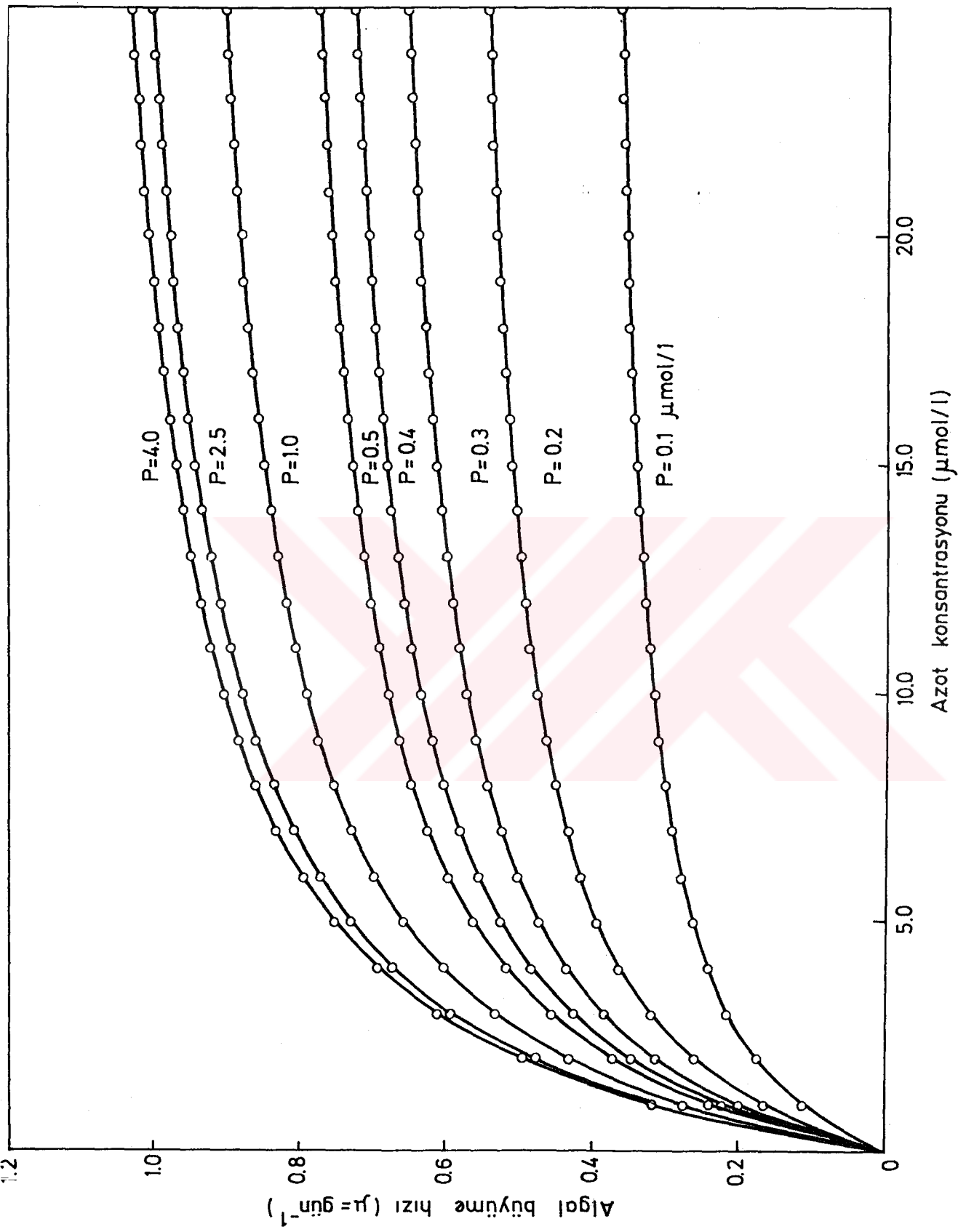
Yaz döneminde $20 \mu\text{molN/L}$ azot konsantrasyonundan yüksek azot konsantrasyonlarında, tüm fosfor konsantrasyonlarında sabit bir büyüme hızı oluşmakta, kış döneminde ise $25-30 \mu\text{molN/L}$ 'den daha yüksek azot konsantrasyonlarında sabit büyüme hızı oluşmakta ancak büyüme hızı artan fosfor konsantrasyonu ile artmaya devam etmektedir.

Sabit fosfor ve algal biyokütleyi ifade eden sabit başlangıç uçucu askıda katı madde (X_0) konsantrasyonlarında değişen azot konsantrasyonları için dx/dt ($gUAKM/m^3/gün$) hesaplanarak yaz dönemi için Şekil 5.3. a, b, c, d, e, f, g, h, i, j'de kış dönemi için ise Şekil 5.4 a, b, c, d, e, f, g, h, i, j'de verilmiştir.

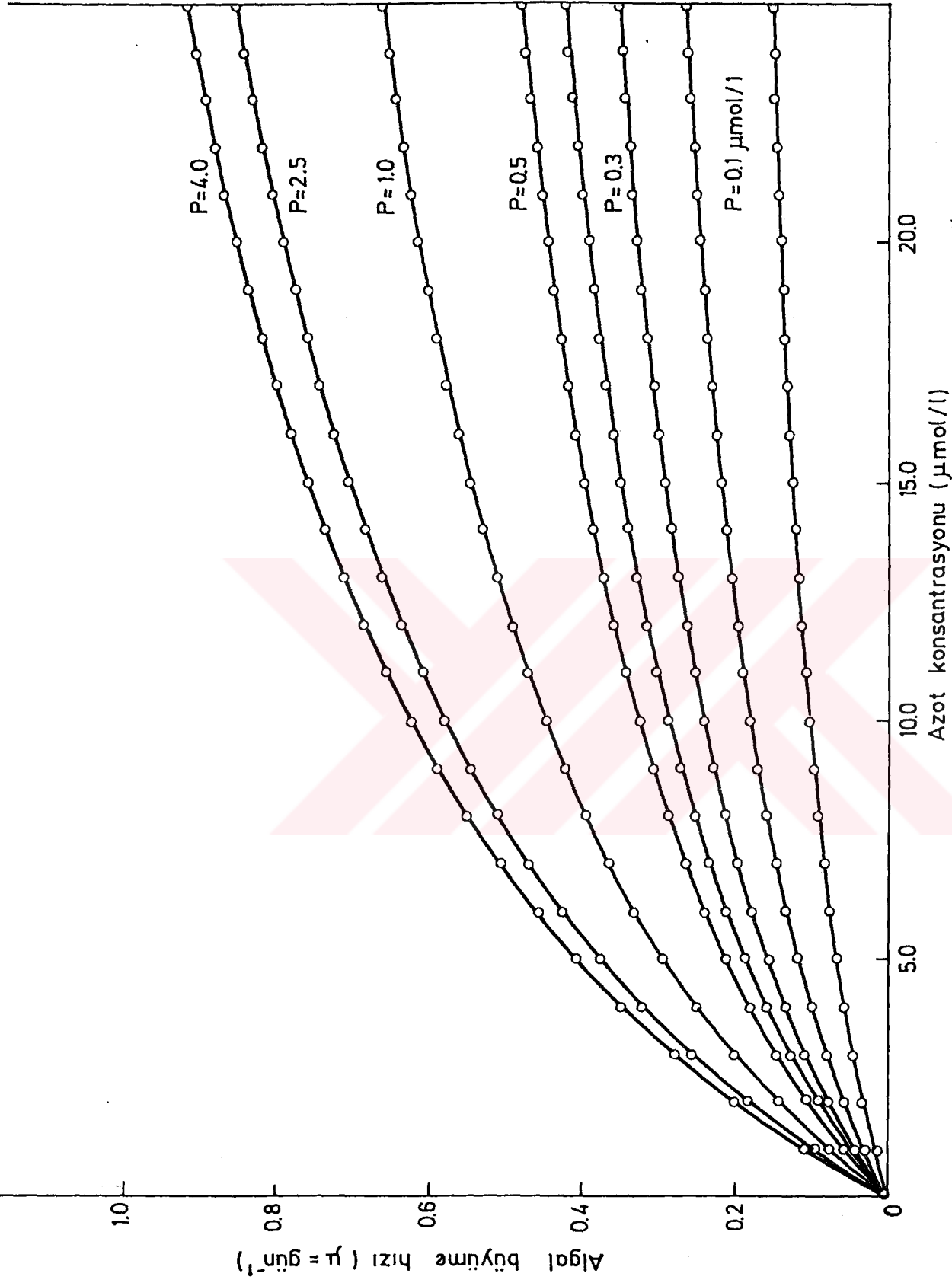
Yaz döneminde azot ve fosforun çok düşük konsantrasyonlarında bile dx/dt 'in oldukça yüksek olduğu, kış döneminde ancak yüksek azot ve fosfor konsantrasyonlarında aynı dx/dt değerlerine ulaşılabilirdiği, Şekil 5.3. ve 5.4.'den görülmektedir.

Eşitlik 2.6 , 2.7 ve 4.16 kullanılarak ve Secchi diski derinliği dış körfezde ölçülmüş ortalama bir değer (20 m) alınarak $gC/m^2/gün$ olarak birincil üretim değerleri hesaplanmıştır. Tablo 5.8.'de yaz dönemi için, Tablo 5.9.'da kış dönemi için minimum ve maksimum birincil üretim değerleri verilmiştir.



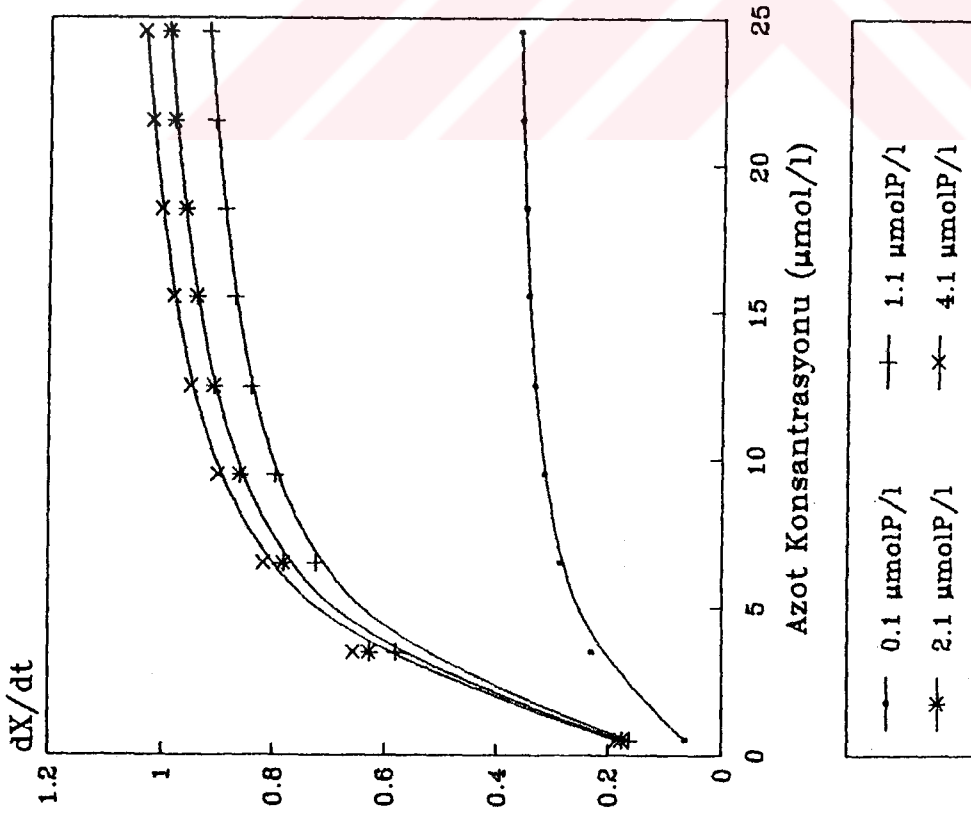


Şekil 5.1. Yaz döneminde sabit fosfor ve değişen azot konsantrasyonları için algöl büyüme hızı ($\mu = \text{gün}^{-1}$)



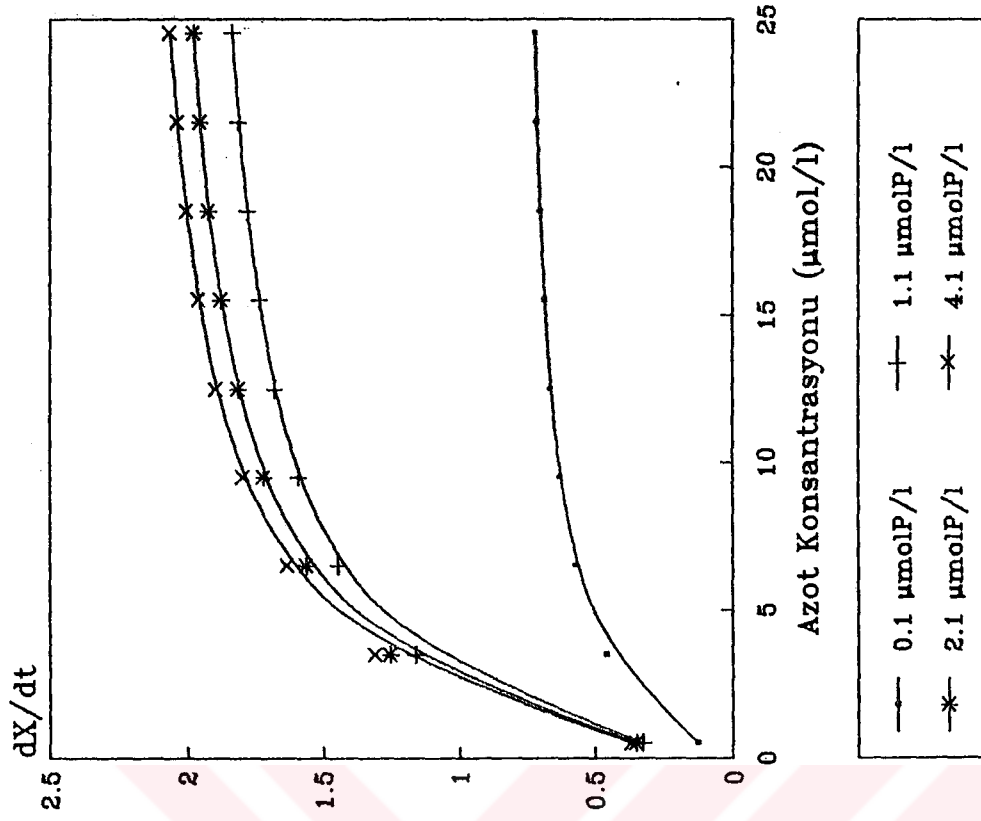
Şekil 5.2. Kış döneminde sabit fosfor ve değişen azot konsantrasyonları için algal büyüme hızı ($\mu = \text{gün}^{-1}$)

Birincil Üretim $X_0=1$ mg/l (Yaz Dönemi)



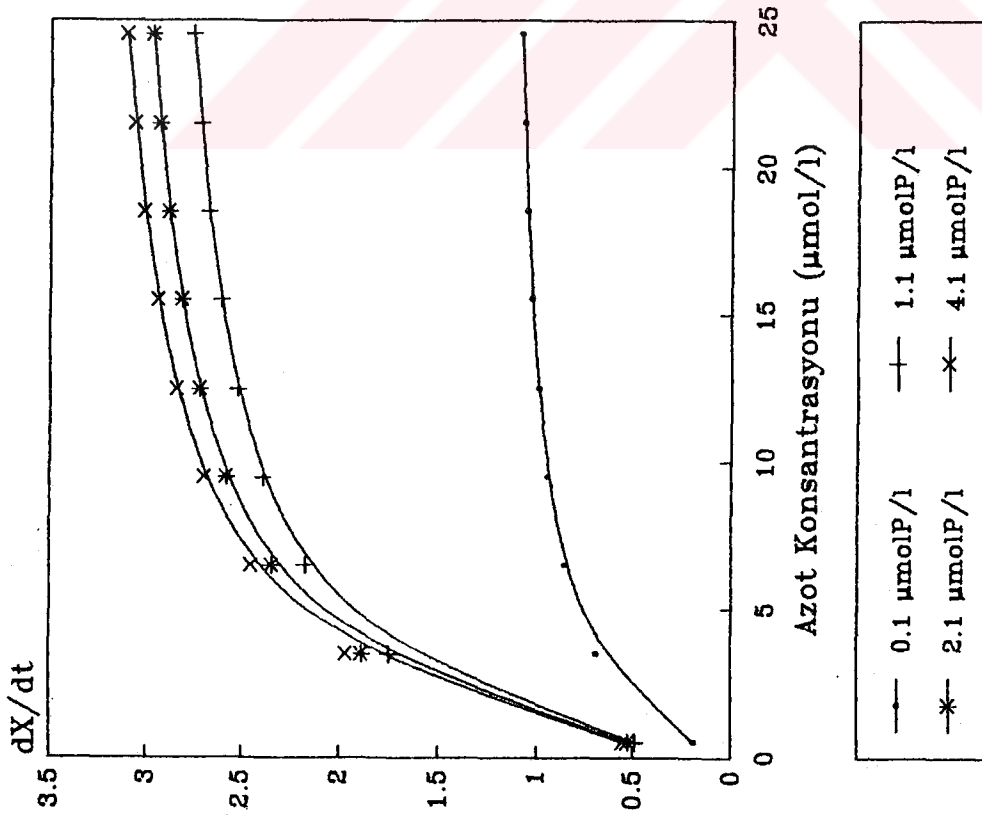
(b)

Birincil Üretim $X_0=2$ mg/l (Yaz Dönemi)



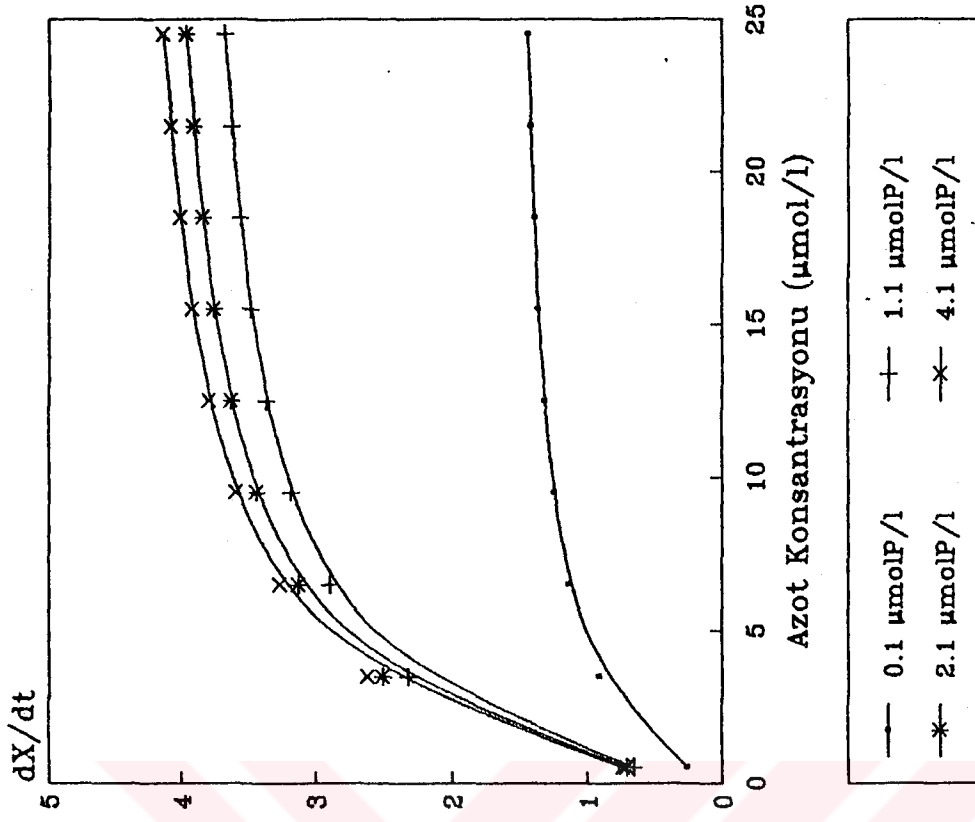
Şekil 5.3.(a)

Birincil Üretim $X_0=3$ mg/l (Yaz Dönemi)



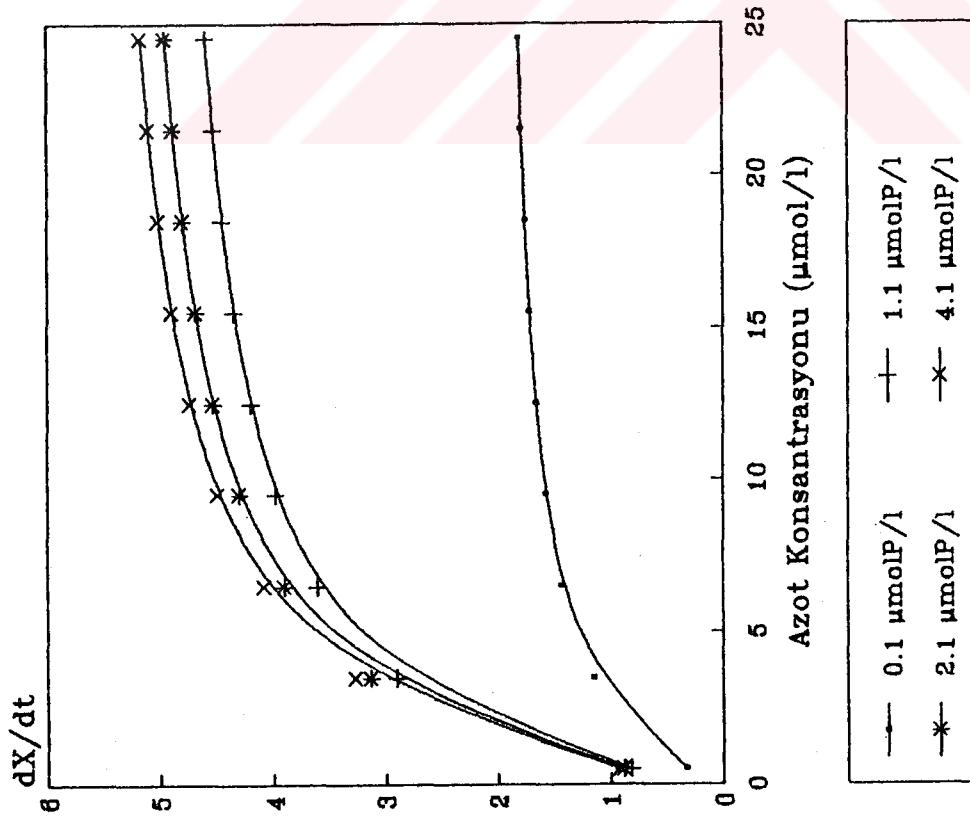
(d)

Birincil Üretim $X_0=4$ mg/l (Yaz Dönemi)



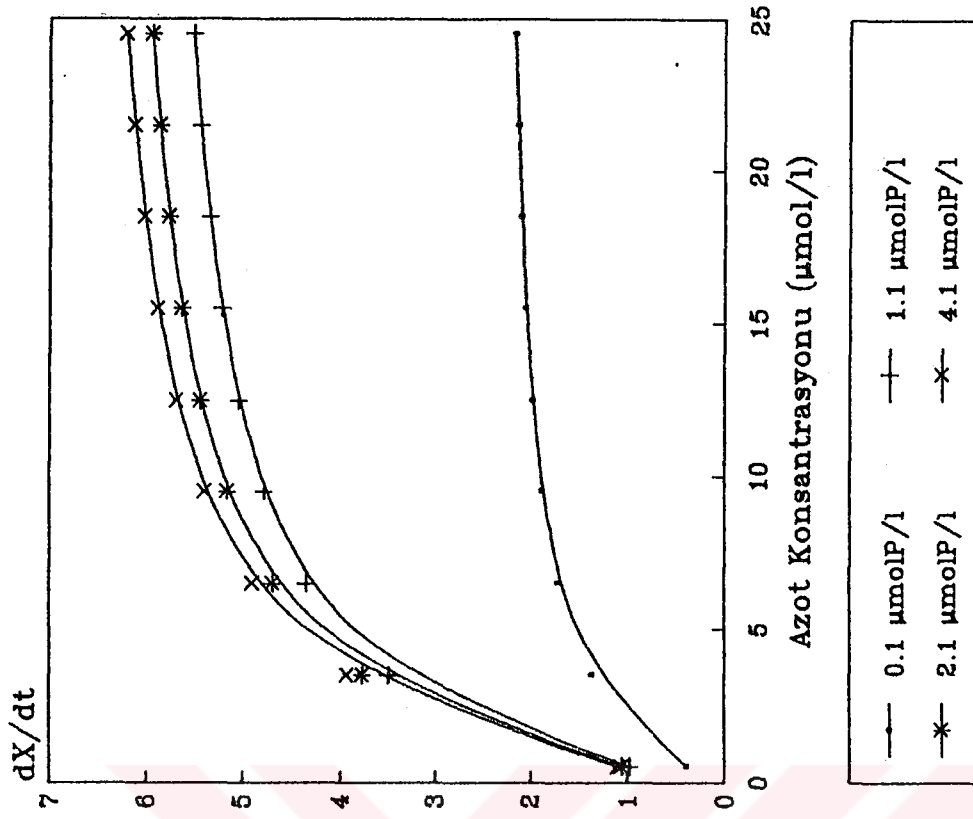
(c)

Birincil Üretim $X_0=5$ mg/l (Yaz Dönemi)



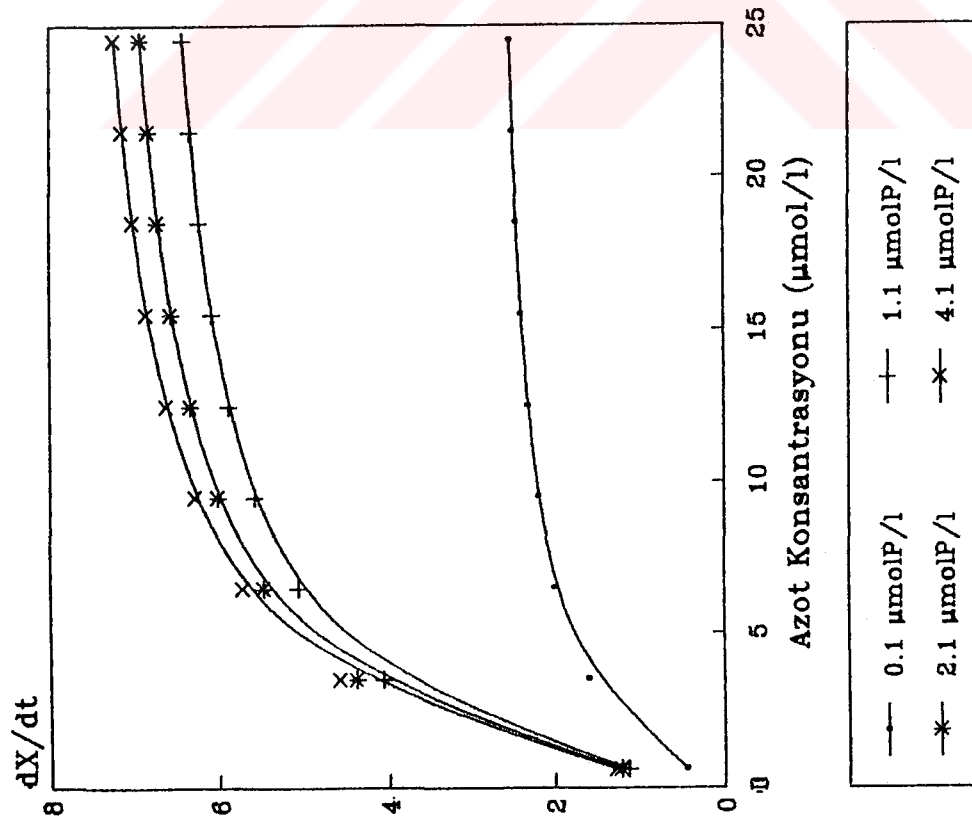
(f)

Birincil Üretim $X_0=6$ mg/l (Yaz Dönemi)



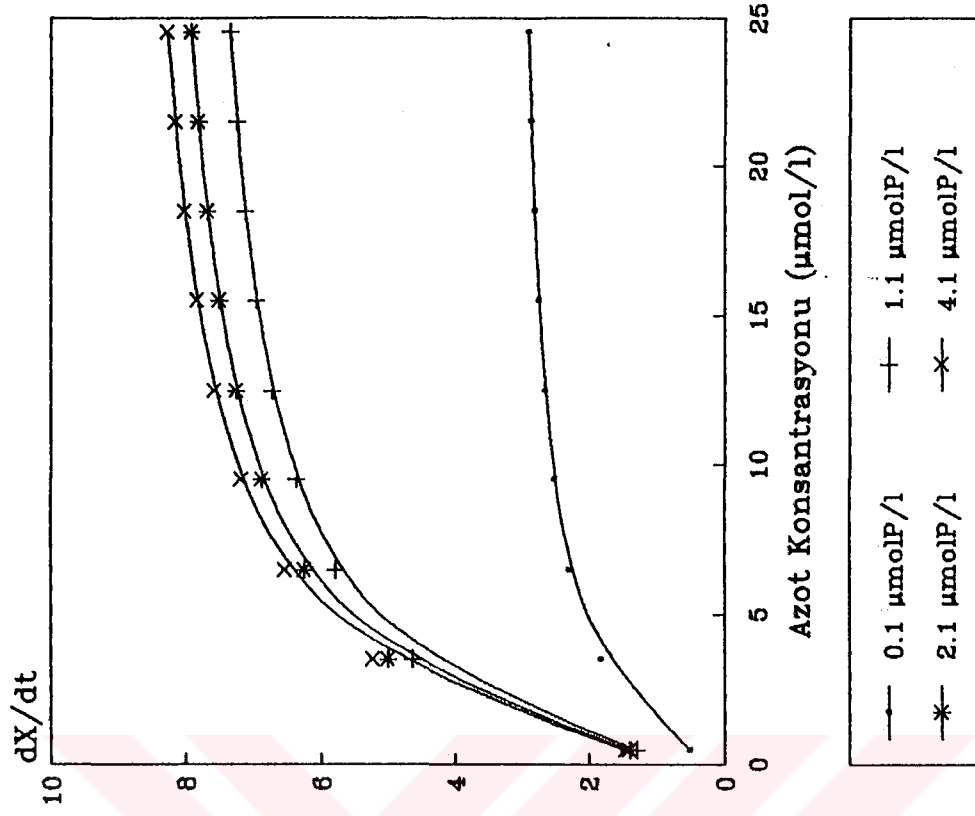
(e)

Birincil Üretim $X_0=7$ mg/l (Yaz Dönemi)



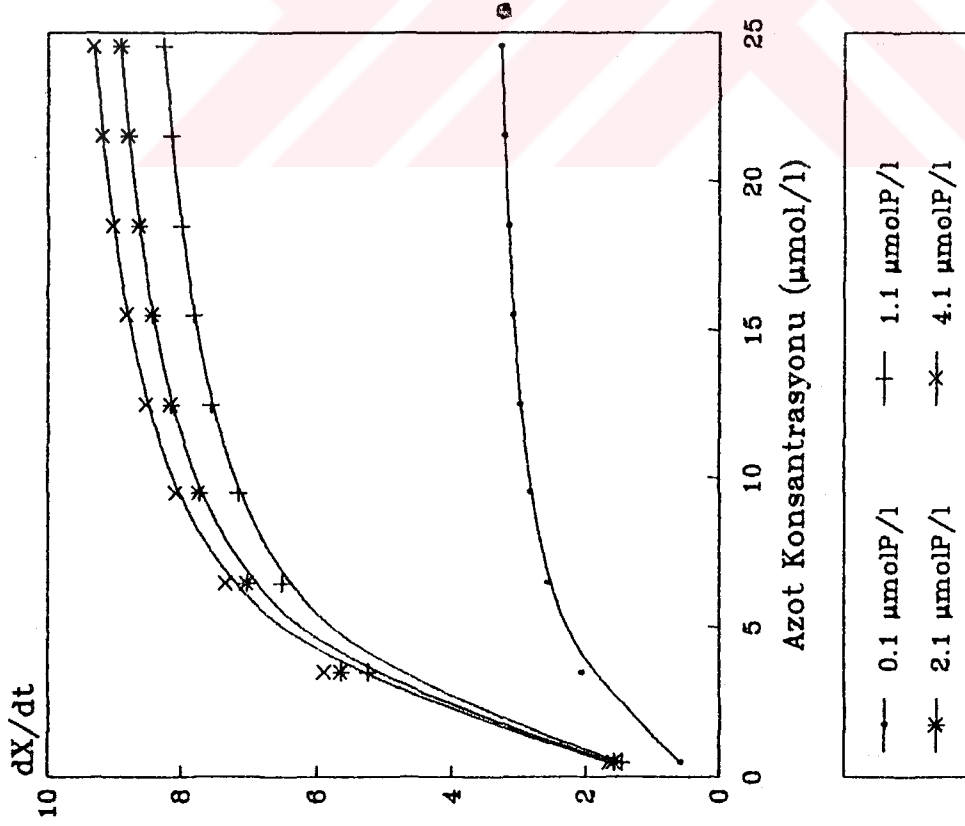
(h)

Birincil Üretim $X_0=8$ mg/l (Yaz Dönemi)



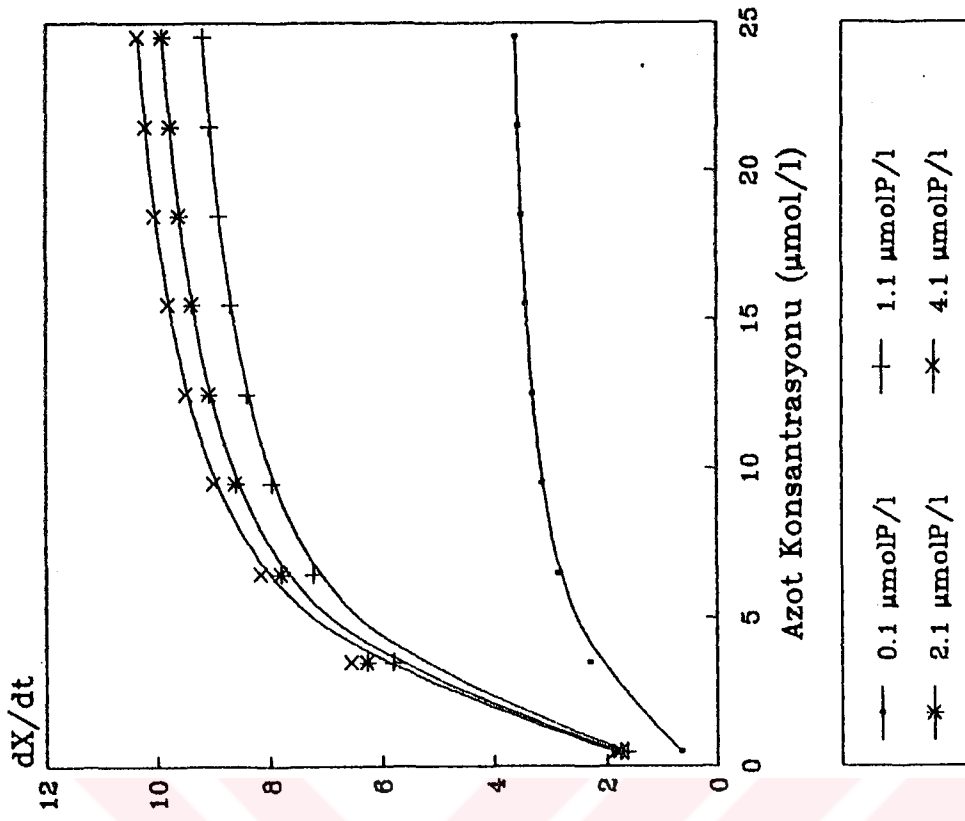
(g)

Birincil Üretim $X_0=9$ mg/l (Yaz Dönemi)



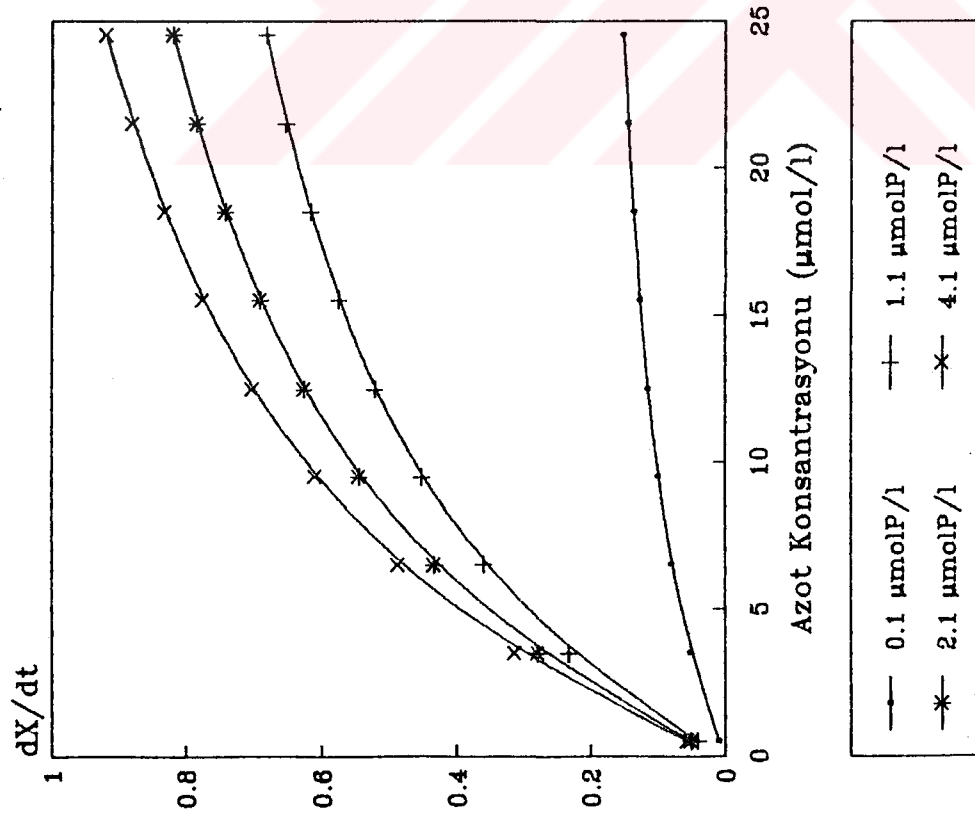
(j)

Birincil Üretim $X_0=10$ mg/l (Yaz Dönemi)



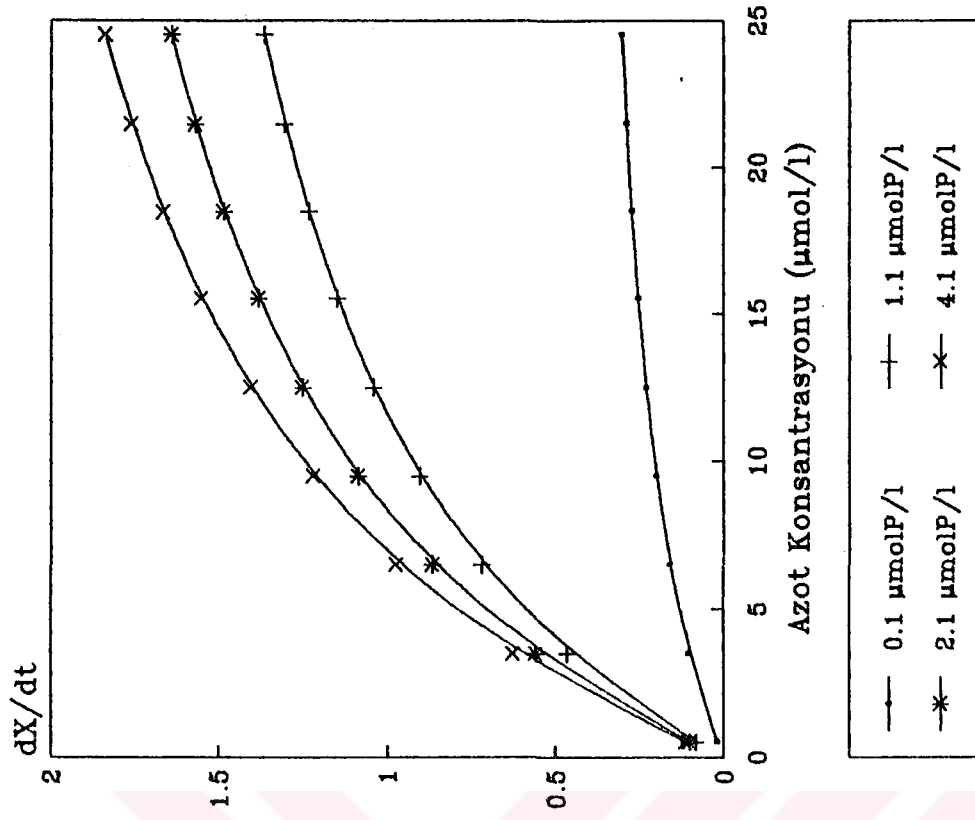
(i)

Birincil Üretim $X_0=1$ mg/l (Kış Dönemi)



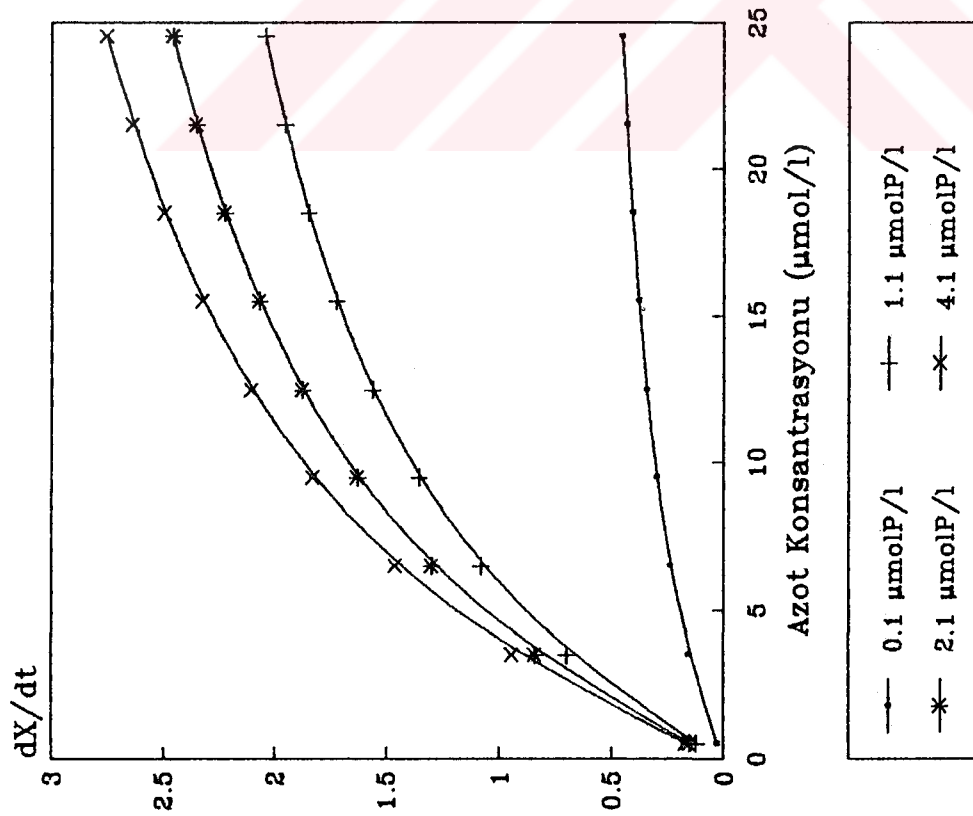
(b)

Birincil Üretim $X_0=2$ mg/l (Kış Dönemi)



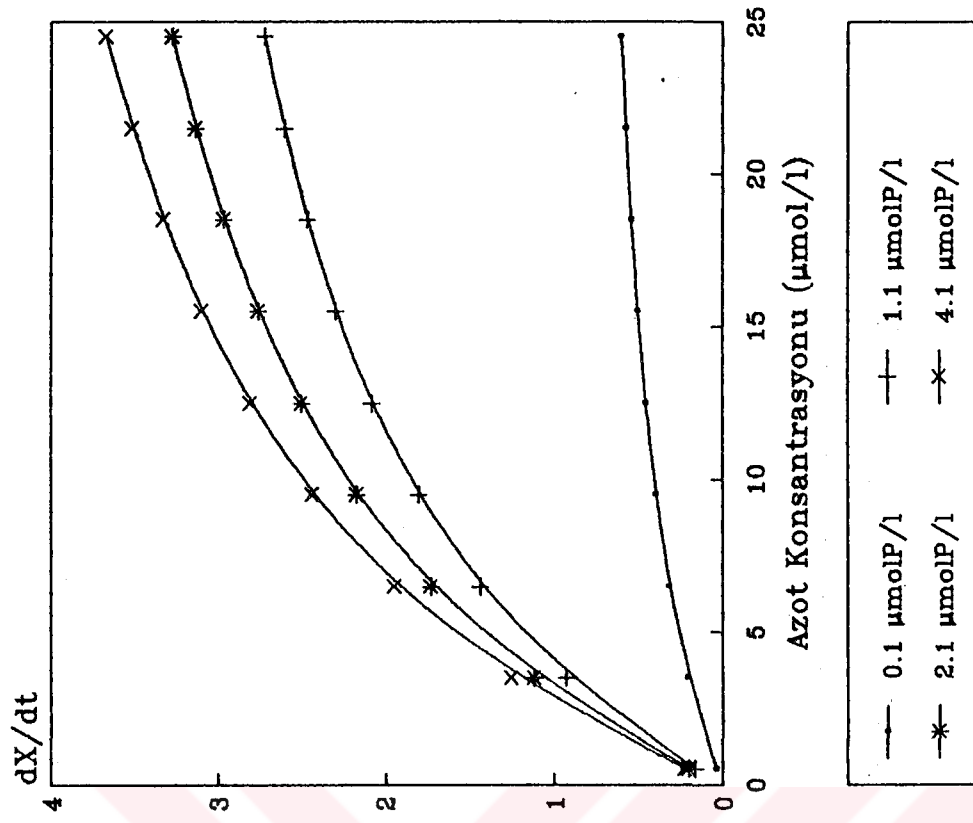
Sekil 5.4. (a)

Birincil Üretim $X_0=3$ mg/l (Kış Dönemi)



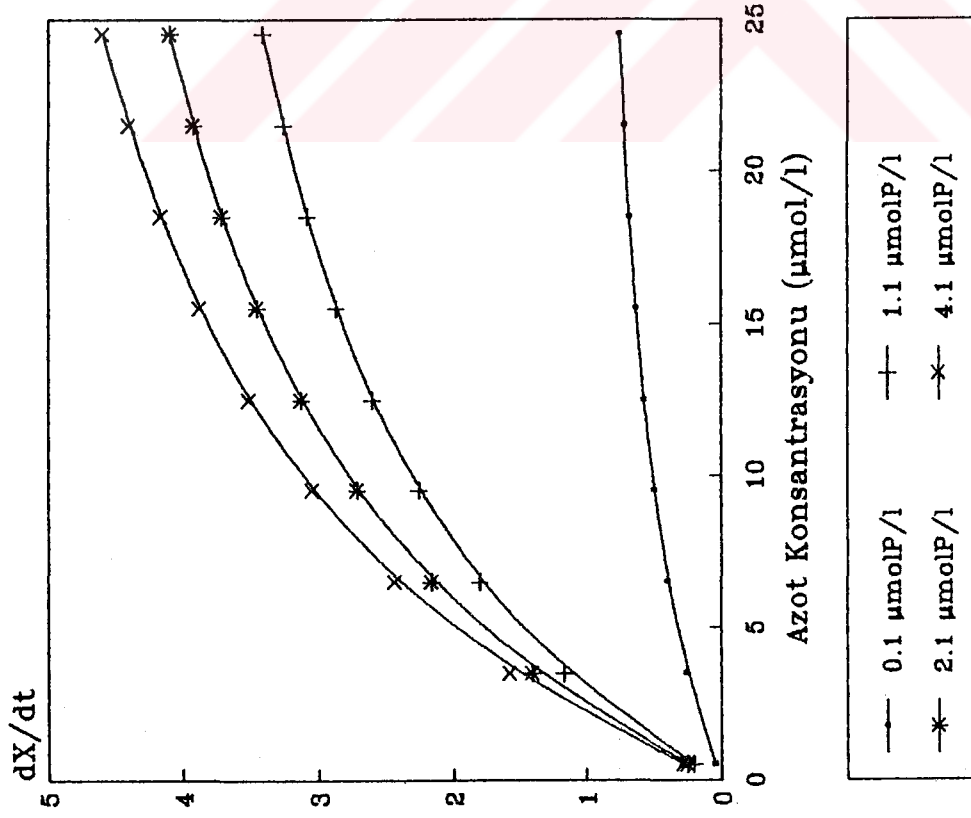
(d)

Birincil Üretim $X_0=4$ mg/l (Kış Dönemi)



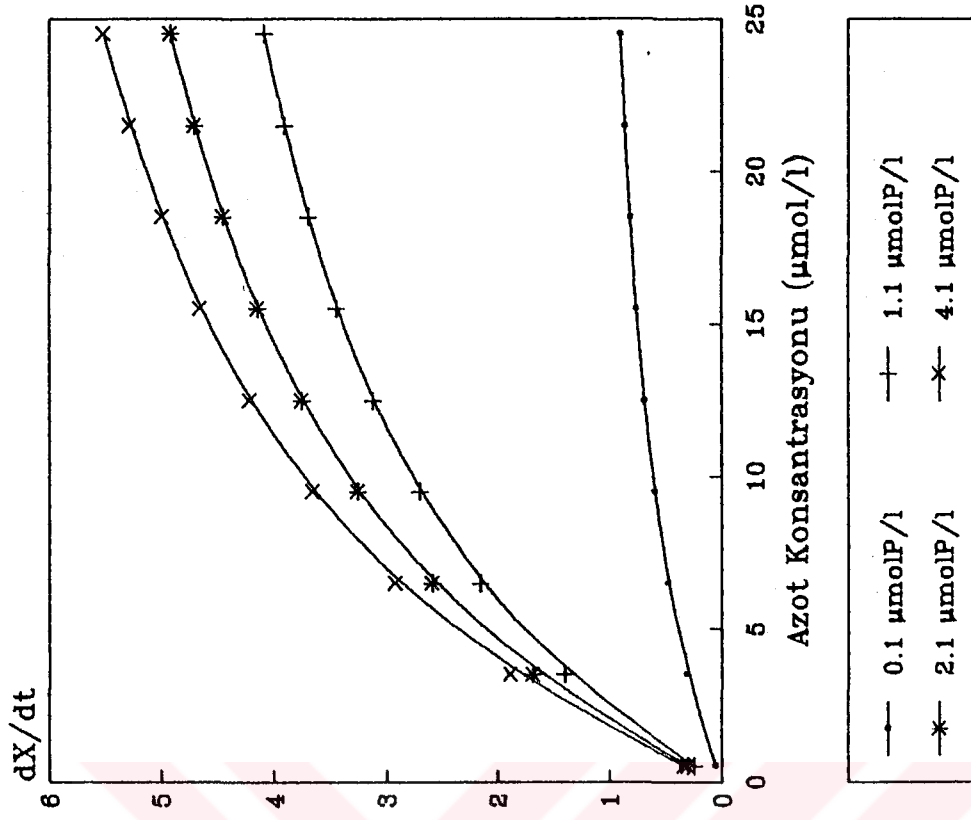
(c)

Birincil Üretim $X_0=5$ mg/l (Kış Dönemi)



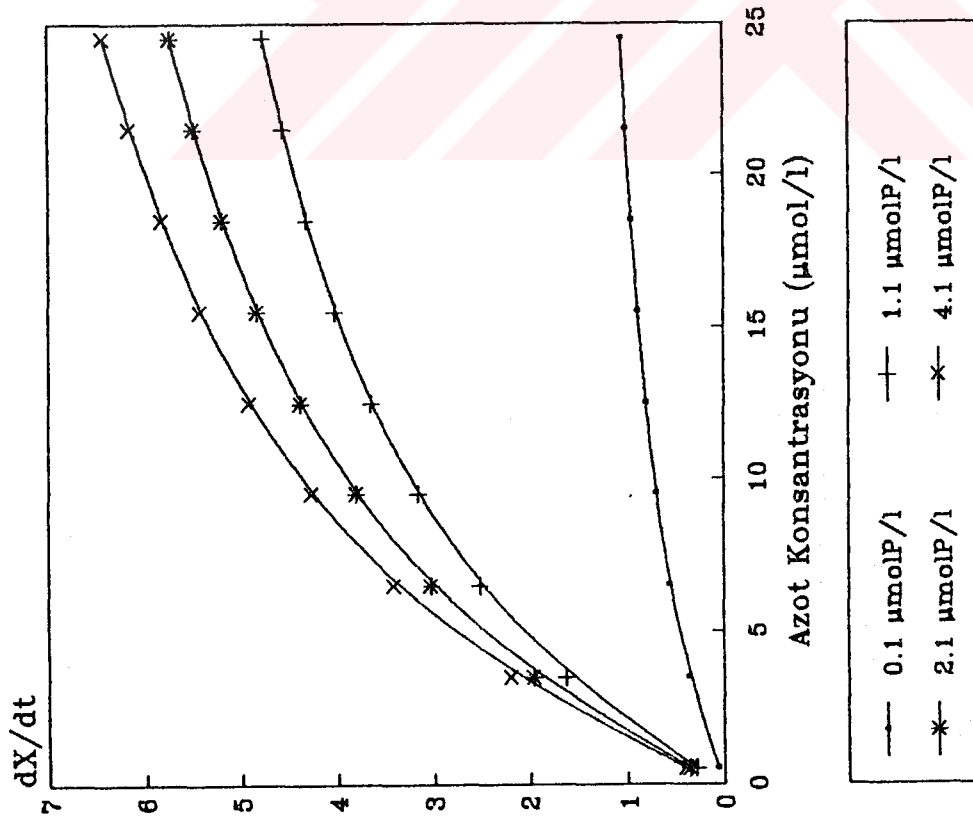
(f)

Birincil Üretim $X_0=6$ mg/l (Kış Dönemi)



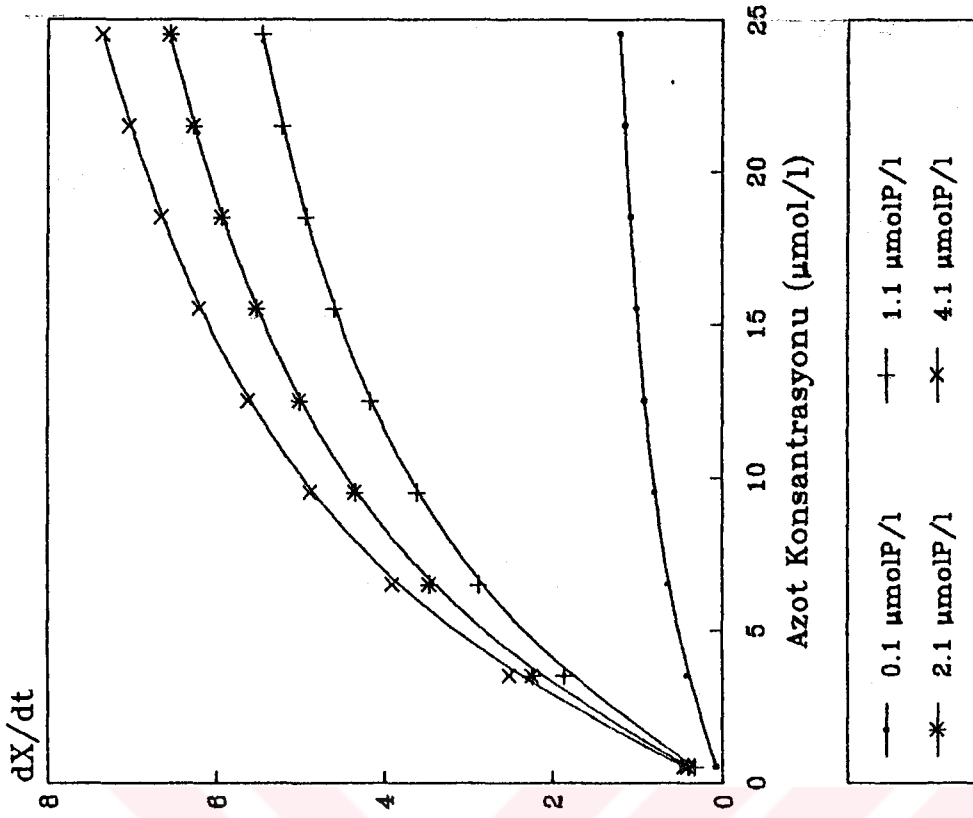
(e)

Birincil Üretim $X_0=7$ mg/l (Kış Dönemi)



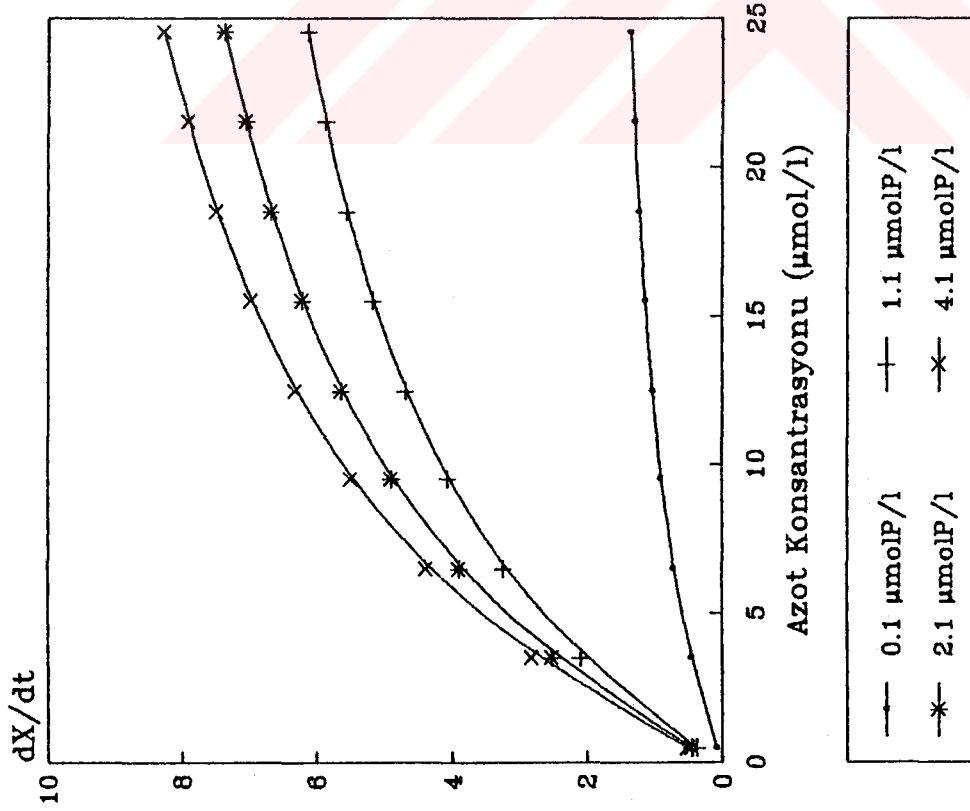
(h)

Birincil Üretim $X_0=8$ mg/l (Kış Dönemi)



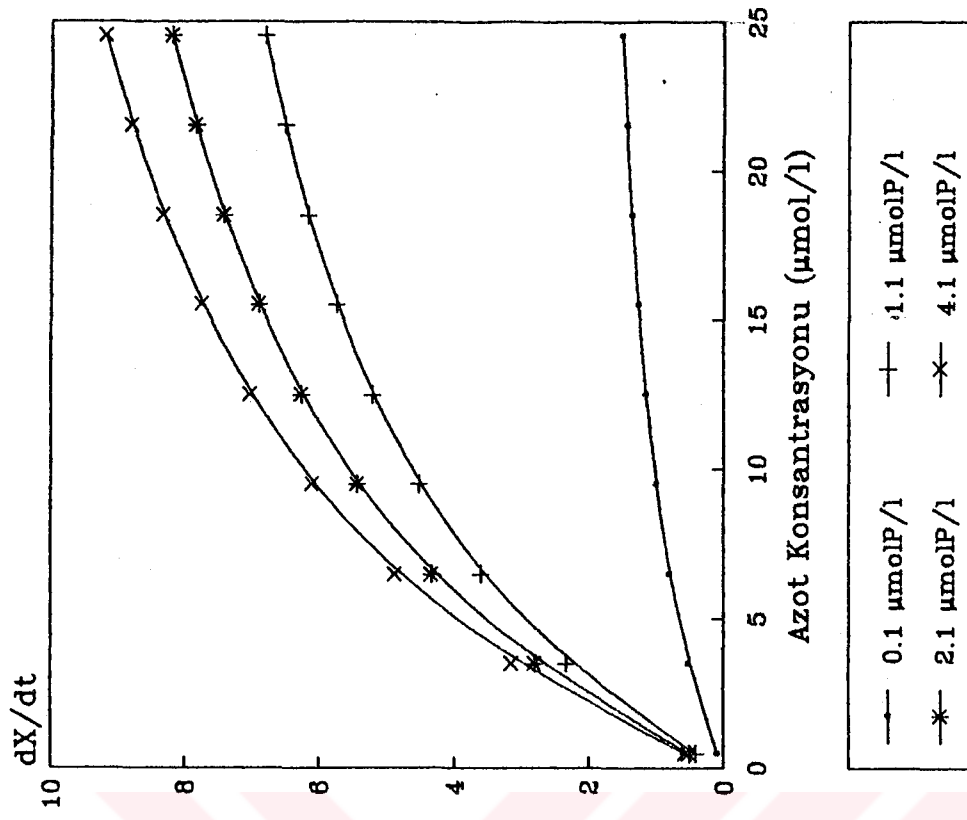
(g)

Birincil Üretim $X_0=9$ mg/l (Kış Dönemi)



(j)

Birincil Üretim $X_0=10$ mg/l (Kış Dönemi)



(i)

Tablo 5.8: Yaz dönemi için sabit fosfor ve uçucu askıda katı madde ile değişen azot konsantrasyonlarında birincil üretim (Secchi derinliği: 20 m).

UAKM (g/m ³)	Fosfor Konst. (μmol/L)	Azot Konst. Aralığı (μmol/L)		Birincil Üretim (gC/m ² /gün)
1	0.1	0.5	24.5	0.20-1.11
	1.1			0.51-2.81
	4.1			0.58-3.24
2	0.1	0.5	24.5	0.41-2.27
	1.1			1.03-5.78
	4.1			1.16-6.48
3	0.1	0.5	24.5	0.60-3.40
	1.1			1.49-8.64
	4.1			1.73-9.46
4	0.1	0.5	24.5	0.81-4.54
	1.1			2.05-11.5
	4.1			2.30-12.6
5	0.1	0.5	24.5	1.00-5.67
	1.1			2.56-14.4
	4.1			2.89-15.8
6	0.1	0.5	24.5	1.21-6.80
	1.1			3.08-17.3
	4.1			3.46-19.5
7	0.1	0.5	24.5	1.41-7.97
	1.1			3.59-20.2
	4.1			4.02-22.8
8	0.1	0.5	24.5	1.61-9.11
	1.1			4.11-23.1
	4.1			4.59-26.0
9	0.1	0.5	24.5	1.81-10.2
	1.1			4.59-26.0
	4.1			5.19-29.1
10	0.1	0.5	24.5	2.02-11.4
	1.1			5.11-28.6
	4.1			5.76-32.4

Tablo 5.9: Kış dönemi için sabit fosfor ve uçucu askıda katı madde ile değişen azot konsantrasyonlarında birincil üretim (Secchi derinliği: 20 m).

UAKM (g/m ³)	Fosfor Konst. (μmol/L)	Azot Konst. Aralığı (μmol/L)		Birincil Üretim (gC/m ² /gün)
1	0.1	0.5	24.5	0.03-0.47
	1.1			0.13-2.15
	4.1			0.18-2.89
2	0.1	0.5	24.5	0.06-0.95
	1.1			0.26-4.30
	4.1			0.35-5.78
3	0.1	0.5	24.5	0.09-1.42
	1.1			0.39-6.43
	4.1			0.53-8.68
4	0.1	0.5	24.5	0.12-1.89
	1.1			0.52-8.59
	4.1			0.71-11.6
5	0.1	0.5	24.5	0.14-2.37
	1.1			0.65-10.7
	4.1			0.88-14.5
6	0.1	0.5	24.5	0.17-2.84
	1.1			0.78-12.9
	4.1			1.06-17.4
7	0.1	0.5	24.5	0.20-3.30
	1.1			0.91-15.0
	4.1			1.23-20.2
8	0.1	0.5	24.5	0.23-3.62
	1.1			1.04-17.1
	4.1			1.41-23.1
9	0.1	0.5	24.5	0.26-4.27
	1.1			1.17-19.3
	4.1			1.59-26.0
10	0.1	0.5	24.5	0.29-4.73
	1.1			1.31-21.4
	4.1			1.76-28.9

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

- Yaz döneminde yapılan deneysel çalışmalardan, deniz suyu örnekleri alınan üç noktada N/P oranı çözünmüş inorganik azot ve fosfora göre mol oranı olarak 6/1, 8/1 ve 7/1 olarak hesaplanmıştır. Her üç noktadaki ölçüm sonuçları bu dönemde deniz suyunda Redfield oranına göre ($N/P < 16/1$) azot eksikliği olduğunu göstermiştir.
- Kış döneminde yapılan deneysel çalışmalardan, deniz suyu örnekleri alınan üç noktada N/P oranları çözünmüş inorganik azot ve fosfora göre mol oranı olarak 43/1, 40/1 ve 55/1 olarak hesaplanmıştır. Her üç noktadaki ölçüm sonuçları bu dönemde deniz suyunda Redfield oranına göre ($N/P > 16/1$) fosfor eksikliği olduğunu göstermiştir.
- Yaz döneminde örneklerin alındığı üç noktada ortalama çözünmüş inorganik azot konsantrasyonu $3.78 \mu\text{mol/L}$, çözünmüş inorganik toplam fosfor konsantrasyonu ise $0.50 \mu\text{mol/L}$ 'dir. Kış döneminde ortalama çözünmüş inorganik azot konsantrasyonu $3.16 \mu\text{mol/L}$, çözünmüş inorganik toplam fosfor konsantrasyonu ortalama $0.06 \mu\text{mol/L}$ 'dir. Azot konsantrasyonunun her iki dönem de çok az değişmesine karşın fosfor konsantrasyonu yaz döneminde yüksek, kış döneminde ise çok düşüktür. Yaz döneminde fosfor konsantrasyonunun yüksek olması, sedimentten suya fosfor geçişi olduğunu, kış döneminde ise fosforun sedimentte biriktiğini göstermektedir. Okyanuslarda yüzey sularında (oligotrofik) azot konsantrasyonunun $0.07 \mu\text{mol/L}$ ile açık kıyı sularında $21.43 \mu\text{mol/L}$ arasında değiştiği belirtilmiştir (CONNELL, W., MILLER, G., 1983). Örneklerin alındığı Dış Körfez bu değerlere göre, "oligotrofik" düzeydedir.
- Yaz döneminde UAKM ile klorofil-a arasında 30 analiz sonucu doğrusal bir bağıntı elde edilmiştir ($UAKM \text{ (mg/L)} = 0.31 + 1.64 \text{ klorofil-a (mg/m}^3\text{)}$).
- Ocak-Şubat döneminde UAKM ile klorofil-a arasında 34 analiz sonucu şu doğrusal bir bağıntı elde edilmiştir ($UAKM \text{ (mg/L)} = 0.15 + 2.62 \text{ klorofil-a (mg/m}^3\text{)}$).
- Deniz suyunda azot eksikliği olması durumunda, besin maddesi ilave edilmeyen, yalnız fosfor ilave edilen deneylerde ölçülebilecek algal büyüme meydana gelmemiştir. Azot ilavesi yapılan deneylerde N/P oranı 34/1 ile 127/1 arasında değişmiş, 1 ve 2. günlerde maksimum büyüme hızı oluşmuştur. Azot ve fosforun birlikte ilave edildiği deneylerde N/P oranı 10/1 ile 12/1 arasında değişmiş ve 1 ile 2. günler arasında maksimum büyüme oluşmuştur. Deney sonunda ortamda kalıntı çözünmüş azot ve fosfor kalmamıştır. Birim çözünmüş azot alımına karşı algal biyokütlede oluşan partikül azot oranı 0.80 ile 0.95 arasında, partikül fosfor oranı da 0.88 ile 0.95 arasında değişmiştir. Maksimum büyüme hızı ve miktarı azot + fosfor ilavesi yapılan deneylerde, yalnız azot ilave edilen deneylere göre çok az artmıştır. Büyüme hızı ve miktarının, başlangıç besin maddesi konsantrasyonuna bağlı olduğu ve başlangıç besin maddesi konsantrasyonu arttıkça maksimum büyüme hızının azaldığı saptanmıştır. Kesikli büyüme eğrilerinde besin maddesi konsantrasyonunun limitlediği kesim çok kısa

bir zaman aralığı olduğundan ve büyüme hızını etkilemediğinden, bu aralıktaki veriler dikkate alınmamıştır. Verilerin bu şekilde kullanımı, enzimatik tepkimeler için kullanılan Michealis-Menten eşitliğinin çıkarılmasında kullanılan deney sistemine benzemektedir. Michealis-Menten eşitliği başlangıç tepkime hızlarının, başlangıç substrat konsantrasyonlarına karşı çizilmesiyle elde edilmiştir. Monod eşitliği de matematiksel olarak Michealis-Menten eşitliğine benzerlik gösterdiğinden kesikli deney verilerinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle başlangıç besin maddesi konsantrasyonuna bağlı olan Monod hiperbolik denkleminin uygulanabileceği anlaşılmıştır.

- Deniz suyunda fosfor eksikliği olması durumunda, besin maddesi ilave edilmeyen ve yalnız azot ilave edilen deneylerde ölçülebilecek algal büyüme meydana gelmemiştir. Fosfor ilavesi yapılan deneylerde N/P oranı 2/1 ile 0.5/1 arasında değişmiş ortamda çözünmüş azot ve fosfor kalmamasına karşın algal büyüme gecikerek başlamış 6 ve 7. günlerde maksimum büyüme hızı oluşmuştur. Ancak hem büyüme hızı hem de büyüme miktarı çok düşük olmuştur. Azot+fosfor ilavesi yapılan deneylerde N/P oranı 12/1 ile 13/1 arasında değişmiş ve 4 ile 5. günlerde maksimum büyüme hızı meydana gelmiştir. Azot büyümeyi arttıran aktivatör besin maddesi ödevini görmüş hem büyüme hızı, hem de ulaşılan nihai büyüme miktarını arttırmıştır. Büyüme hızı ve miktarının bu durumda da başlangıç besin maddesi konsantrasyonuna bağlı olduğu, başlangıç besin maddesi konsantrasyonu arttıkça maksimum büyüme hızının azaldığı saptanmış ve başlangıç besin maddesi konsantrasyonuna bağlı olan Monod hiperbolik denkleminin uygulanabileceği anlaşılmıştır.
- Azot eksikliği durumunda, azot zenginleştirmesi ile elde edilen maksimum büyüme hızı, 1.20 gün^{-1} , yarı doyumluk konsantrasyonu $2.62 \mu\text{mol N/L}$ 'dir, ikilenme süresi 0.59 gün'dür. Fosfor eksikliği durumunda ise fosfor zenginleştirmesi ile elde edilen maksimum büyüme hızı 0.78 gün^{-1} , yarı doyumluk konsantrasyonu $0.60 \mu\text{mol/L}$ 'dir, ikilenme süresi 0.89 gündür. Azot eksikliği durumunda, azot+fosfor zenginleştirmesi deneylerinden elde edilen fosfora ait kinetik katsayılar; maksimum büyüme hızı 1.00 gün^{-1} , yarı doyumluk konsantrasyonu $0.20 \mu\text{molP/L}$ 'dir. Fosfor eksikliği durumunda, azot+fosfor zenginleştirmesi deneylerinden elde edilen azota ait kinetik katsayılar; maksimum büyüme hızı 1.99 gün^{-1} , yarı doyumluk konsantrasyonu $11.60 \mu\text{molN/L}$ 'dir. Elde edilen bulgulardan deniz suyunda azot eksikliği bulunması durumunda azotun çok düşük konsantrasyonlarının, yüksek büyüme hızı ve düşük bir ikilenme süresinde mikroalgler tarafından kullanıldığı, fosfor eksikliği bulunması ve azot+fosfor zenginleştirmesinde ise ilave edilen azotun ancak yüksek konsantrasyonlarının, yüksek büyüme hızı ile kullanıldığı anlaşılmıştır.
- Maksimum büyüme hızı ikili besin maddesi ilavesinde ve su sıcaklığının ortalama 11°C ile 16°C arasında olduğu aralıkta artmış, 16°C ile 28°C arasında ise azalmıştır. 16°C su sıcaklığının alg büyümesi için optimal sıcaklık olduğu anlaşılmıştır.

- Işık şiddetinin 80 ile 120 Cal/cm². gün arasında olması durumunda maksimum büyüme hızı artmış, 120 ile 196 Cal/cm².gün arasında ise maksimum büyüme hızı düşmüştür. Tekil besin maddesi ilavesinde maksimum büyüme hızındaki artış çok az olmuştur. Deneyler derin olmayan kaplarda yapıldığı için ışığın derinlikle büyüme hızını limitleyici bir faktör olacağı gözönüne alınmış ve birincil üretimin hesaplanmasında ışığın derinlikle olan eksponensiyel azalması, kompenzasyon derinliği ve büyüme hızı ile UAKM konsantrasyonundan iki döneme ait birincil üretim değerleri hesaplanmıştır. Ağustos-Eylül dönemi için birincil üretim ortalama 181 mgC/m²/saat veya 14 saatlik aydınlanma süresi gözönüne alınarak 2534 mgC/m²/gün, Ocak-Şubat dönemi için birincil üretim ortalama 7.5 mgC/m²/saat veya 10 saatlik aydınlanma süresi ile 75 mgC/m²/gün'dür. Tablo 3.5'de verilen ve 1972 yılında ölçülen birincil üretim hızı; Ağustos-Eylül döneminde Dış körfezde ortalama 17.6 mgC/m²/saat, İç körfezde ise 113.3 mgC/m²/saat, Ocak-Şubat döneminde Dış körfezde ortalama 7.52 mgC/m²/saat, İç körfezde 43.30 mgC/m²/saat olarak ölçülmüştür.
- İzmir'de yapılması planlanan arıtma tesisi çıkışı suyunda 2000 yılı için azot konsantrasyonu 8.8 mgN/L (629 µmolN/L), fosfor konsantrasyonu 2.68 mgP/L (86 µmolN/L), alg konsantrasyonu ise 90 mgalg/L'dir. Derin deniz deşarjı ile çıkış suyunun denize verilmesinde oluşacak birinci ve ikinci seyrelmeler gözönüne alınarak alglerin denizde yaşamlarını sürdürmesi ve sürdürmemesi gibi iki hipotezden yola çıkarak difüzörden 1000 ile 10000 m. uzaklıklarda oluşacak alg konsantrasyonları hesaplanmıştır. Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü tarafından yapılan ölçümlerden de yararlanarak, denizde beklenen azot konsantrasyonları değişimi ve sabit fosfor konsantrasyonları için yaz ve kış dönemindeki algal büyüme hızı ile değişen azot, sabit fosfor ve UAKM konsantrasyonlarında birincil üretim değerleri hesaplanmış ve şekillerle gösterilmiştir. Ayrıca Secchi diski derinliğinin 20 m olması durumunda birim alanda oluşacak birincil üretim değerleri hesaplanmıştır (Bkz. Tablo 5.8 ve Tablo 5.9). Tablo 5.8 ve 5.9'da verilen birincil üretim değerlerinin Tablo 3.2'de bazı denizlerde ölçülmüş ortalama değerlere göre özellikle yaz döneminde oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Yine Tablo 5.6'da 2000 yılı yaz döneminde beklenen birincil üretim değerleri, Tablo 3.5'de verilen birincil üretim değerlerine göre yüksektir. Ancak su ortamının düşey yönde karışımı ile yatay yönlerdeki advektif hareketi sonucu azot ve fosfor yükleri değişerek hesaplanan birincil üretim değerlerinden daha düşük veya daha yüksek değerlere neden olabileceğinden bu özelliklerin gözönüne alınmasında yarar olacaktır.

KAYNAKLAR

- BROWN, T.L & LEMAY, H.E. (1987): Chemistry, the Central Science.
- BÜYÜKİŞİK, B. (1986): İzmir İç Körfezi ve Gülbahçe Körfezinde Karşılaştırmalı Olarak Nütrient Dinamikleri Üzerine Araştırmalar, Doktora Tezi, Mart-1986, Bornova, İzmir.
- BÜYÜKİŞİK, B. ERBİL, Ö. (1987): İzmir İç Körfezi'nde Nütrient Dinamikleri Üzerine Araştırmalar, DOĞA, TU Müh. ve Çev. D.C.11s.
- CONNEL, W., MILLER, G.J. (1983): Chemistry and Ecotoxicology of Pollution, of Pollution, A Wiley-Interscience Publication.
- DARLEY, W.M. (1982): Algal biology: a physiological approach, Basic Microbiology, Volume 9. Blackwell Scientific Publications Ltd.
- DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ, MÜH-MİM.FAK. ÇEVRE MÜH.BÖL.(1985): İzmir Atıksu Arıtma Tesisleri Fizibilite Etüdü, İzmir.
- GOLDMAN, J.C. (1979): Outdoor Algal Mass Cultures-II Photosynthetic Yield Limitations, Wat.Res. Vol.13. pp 119-136
- GOLDMAN, J.C. (1979): Outdoor Algal Mass Cultures-I.Applications, Water Research Vol.13.pp 1-19.
- GOLDMAN, J.C., RYTHER, J.H.(1975): Nutrient Transformations in Mass Cultures of Marine Algae, Journal of Environmental Engineering/ASCE, Vol, 101. pp. 351-64
- GOLDMAN, J.C. (1976): Identification of Nitrogen as a Growth Limiting Nutrient in Wastewaters and Coastal Marine Waters Through Continuous Culture Algal Assays, Water Research Vol.10, pp.97 to 104, Pergamon Press.
- GOLDMAN, J.C. (1973): Inorganic Nitrogen Removal from Wastewater: Effect on Phytoplankton Growth in Coastal Marine Waters, Science, Vol.180 p. 055-56
- GOLTERMAN, H.L. (1983): Eutrophication, Station Biologique de La Tour Du Valat, Le Sambuc, 13200 Arles, Fransa .
- GORDON. D.M., McComb, A.J. (1989): Growth and Production of the Green Alga Cladophora Montagneana in a Eutrophic Australian Estuary and its Interpretation using a computer Program, Wat. Res. Vol.23, No.5, pp. 633-645.
- GÖKPINAR, Ş. (1991): Akuakültürde önemli Beş Deniz Flagellat'ının İnorganik Azot Alınimleri Üzerine Sıcaklık Değişimlerinin Etkisi, Ocak-1991, İzmir.
- LARCHER, W. (1972): Ökologie der Pflanzen, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

- MAHONEY, B.J. (1989): Algal Assay of Relative Abundance of Phytoplankton Nutrients in North-east United States Coastal and Shelf Waters,
- MARTIN, D.F. (1972): Marine Chemistry, Volume 1 Analytical Methods, Second Edition, Revised and expanded, Marcel Dekker, New York.
- MARTIN, D.F. (1972): Marine Chemistry, Volume 2, Theory and Applications, Preliminary Edition, Marcel Dekker, New York.
- MARKOÇ, E., TUĞRUL, S. (1989): Determination of Primary Production and Limiting Nutrients in the Bay of İzmit, TÜBİTAK Marmara Scientific and Industrial Research Center, Publ. No: 232.
- METCALF & EDDY (1972): Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse, TMH Edition 1979.
- NYMOLM, N: (1977): Kinetics of Phosphate Limited Algal Growth, Biotechnology and Bioengineering, Vol. XIX, Pages 467-492.
- O'BRIEN, W.J. (1972): Limiting Factors in Phytoplankton Algae: Their Meaning and Measurement, Science, Volume 175.
- PARSONS, T.R., TAKAHASHI, M., HARGRAVE, B. (1977): Biological Oceanographic Processes, Second Edition, Pergamon Press.
- PLATT, TREVOR (ed) (1981): Physiological Bases of Phytoplankton Ecology, Department of Fisheries Oceans, Ottawa.
- SAKSHAUG, E., OLSEN, Y. (1986): Nutrient Status of Phytoplankton Blooms in Norwegian Waters and Algal Strategies for Nutrient Competition, Can. J.Fish. Aquat.Sci., Vol.43.
- TALBOT, P., THEBAULT, J.M., DAUTA, A., NOÛE, J. (1991): A Comparative Study and Mathematical Modeling of Temperature, Light and Growth of Three Microalgae Potentially Useful for Wastewater Treatment, Wat. Res. Vol. 25, No.4, pp.465-472.
- TAYLOR, M.E., CLARK, W.J., HO, L. (1990): Nutrient Availability and the Algal Growth Potential (AGP) in a small Microcosm, Wat. Res.Vol.24, No.4, pp.529-532.
- TÜBİTAK DENİZ BİLİMLERİ VE ÇEVRE ARAŞTIRMALARI GRUBU (1989): Deniz Ölçme ve İzleme Programı Örnekleme ve Standart Yöntemler El Kitabı, Kalibrasyon I, Ankara.
- USLU, O., TÜRKMAN, A. (1987): Su Kirliliği ve Kontrolü, T.C.Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi, Ankara.

UYSAL, H., PARLAK, H. BÜYÜKİŞİK, B. (1989): Deniz Ekolojisi Laboratuvar Klavuzu, E.Ü. Fen Fakültesi Teksirler Serisi No: 85, Bornova 1989.

WRIGLEY, T.J., TORIEN, D.F. (1990): Limnological Aspects of Small Sewage Pond, Wat. Res. Vol.24, No.1. pp.83-90, 1990.





Ham Deniz Suyu	İlave edilen azot ve fosfor(mol/l)	Deneyin 4. gününde alg türleri
Classis: <u>Bacillariophyceae</u>	-	-
<u>Chaetoceros curvisetum</u>	2.58 P	-
<u>C.pseudocurvisetum</u>	14.29 N	Classis: <u>Prasinophyceae</u>
<u>Eucampia zoodiacus</u>	28.57 N	<u>Pavlova cf. suecica</u>
<u>Bacteriastrium hyalinum</u>	60.70 N	classis: <u>Bacillariophyceae</u>
<u>Chaetoceros decipiens</u>		<u>Bacteriastrium hyalinum</u>
<u>Rhizosolenia setigera</u>		
Classis: <u>Chrysophyceae</u>	4.84 P	-
<u>Chrysophyte flogellat</u>	Evsel atıksu (23.57 N+1.87 P)	Classis: <u>Prasinophyceae</u>
		<u>Pavlova cf. Suecia</u>
		<u>Bacillariophyceae</u>
		<u>Bacteriastrium hyalinum</u>

Ötrofikasyon
algleri

Ötrofikasyon
algleri

Ağustos-Eylül 1990 döneminde yapılan deneylerde Başlangıçta ve 4. gün gözlenen alg türleri