

**TÜBİTAK**

2007-324

**TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNOLOJİK ARAŞTIRMA KURUMU**  
THE SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

**Çevre, Atmosfer, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Grubu**  
Environment, Atmospheric, Earth and Marine Sciences Research Grant Group

91102

**Proje No: 199Y122**

**Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve  
Akdeniz'in Alt Beslenme Basamaklarının Dinamiği:  
Biyojeokimyasal Dönüşümler ve Ekosistem  
Modellemesi**

Prof. Dr. İlkay Salihoğlu  
Prof. Dr. Ayşen Yılmaz  
Prof. Dr. M.A. Latif  
Prof. Dr. Ferit Bingel  
Prof. Dr. Emin Özsoy  
Prof. Dr. Mustafa Ünsal  
Prof. Dr. Süleyman Tuğrul  
Prof. Dr. Temel Oğuz  
Prof. Dr. Özden Baştürk  
Doç. Dr. Semal Yemenicioğlu  
Prof. Dr. Mahmut Okyar  
Doç. Dr. Ali Cemal Gücü  
Doç. Dr. Şükrü T. Beşiktepe  
Prof. Dr. Ahmet E. Kıdeyş  
Doç. Dr. Zahit Uysal  
Prof. Dr. Nilgün Kubilay

NİSAN 2007  
MERSİN

## ÖNSÖZ

Bu araştırma önerisinin temel amacı Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Akdeniz'de biyojeokimyasal ve fiziksel dönüşüm olaylarının açıklanmasına ve sistematik bulgu-birikiminin sağlanmasına yönelik olarak saha çalışmaları gerçekleştirmektir.

Bu program kapsamında öncelikle denizlerimizin ışık alan üst tabakasında süregelen canlı yaşamın alt beslenme basamağını oluşturan planktonik canlıların çoğalması ve dağılımını etkileyen çevresel faktörlerin anlaşılmasına yönelik daha detaylı araştırmaların yapılması öngörülmüştür. Bu amaçla deniz ekosisteminin ilkbahar sonu-yaz özelliklerini belirlemek ve bu koşullarda süregelen biyokimyasal proseslerin hızları ve sınırlayıcı etkenleri belirleme çalışmalarının yapılması öngörülmüştür. Bu proje önerisi, 1998 yılında başlayan ve Barış için Bilim (SfP) Programı kapsamında NATO tarafından desteklenen "Karadeniz Ekosistemi; Dönüşümler, Öngörüler, ve Uygulamalı Veri Yönetimi" konulu uluslararası projeye katkı sağlaması ve özellikle bu projenin amaç ve hedefleri doğrultusunda bulgu ve bilimsel sonuçlar sağlaması açısından önem arz etmektedir. Önerilen TÜBİTAK projesinin amacı ve hedefleri NATO projesi ile örtüşmektedir.

Ayrıca Marmara, Ege ve Akdeniz'de, bu sistemleri temsil eden sınırlı sayıda istasyonda fiziksel ve biyo-kimyasal ölçümler yaz döneminde gerçekleştirilen bu çalışmaların temel amacı, termal tabakalaşma dönemindeki deniz ekosisteminin özelliklerinin incelenmesi ve ekosistemdeki uzun süreli değişimleri tanımlamak için güvenilir bulguların sağlanmasıdır.

Model sonuçları ile gözlemlerin yönlendirilmesi ve tahmin yapılan bütün alan yerine tahmini etkileyen sinoptik dinamiksel faaliyetlerin gözendiği alt alanların örneklenmesi modern oşinografide bugün gelinen noktadır. Bu proje kapsamında model çalışmaları ile deniz çalışmalarının birleştirileceği çalışmalar yapılmıştır.

Bu raporun editörlüğünü yapan Doç. Dr. Erhan Mutlu ve bazı yazıların tercümesini yapan Syn. Meltem Ok ve Cansu Bayındırlı'ya teşekkür ederiz.

1.1.2	Karadeniz Ekosistemi	1
1.1.3	Karadeniz Ekosistemi	1
1.1.3	Karadeniz Ekosistemi	1
1.2	Diyadin Ekosistemi	1
2.2.1	Özellikler	1
2.2.2	Özellikler	1
2.3	Avrasya Denizi Ekosistemi	1
3	Buğünün Ekosistemi	1
3.1	Ekosistem	1
3.1.1	Ekosistem	1
3.1.2	Ekosistem	1
3.1.3	Ekosistem	1

## İçindekiler

ÖNSÖZ .....	2
İçindekiler .....	3
Tablolar listesi .....	5
Şekiller listesi .....	6
ÖZET .....	8
ABSTRACT .....	9
1. Giriş .....	10
1.1. Biyojeokimyasal Dönüşümler .....	10
1.1.1. Karadeniz .....	10
1.1.2. Marmara Denizi .....	11
1.1.3. Akdeniz .....	11
1.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları .....	12
1.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri .....	13
2. Gereç ve yöntem.....	16
2.1. Biyojeokimyasal Dönüşümler .....	16
2.1.1. Karadeniz'de Suboksik/Anoksik Arayüzünde Redoksa Bağlı Tepkimeler Üzerine Çalışmalar (09 -17 Eylül 1999) .....	17
2.1.2. Karadeniz ekosistemi: Sürece bağlı çalışmalar (22-30 Eylül 1999).....	19
2.1.3. Karadeniz'de, Marmara Denizi'nde, Ege Denizi'nde ve Doğu Akdeniz'de SeaWIFS için biyo-optik ve bölgesel algoritim gelişmesi .....	20
2.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları .....	21
2.2.1. Cyanobakteri .....	21
2.2.2. Fitoplankton .....	22
2.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri .....	22
3. Bulgular ve tartışma/sonuç .....	24
3.1. Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler .....	24
3.1.1. Karadeniz .....	24
3.1.2. Marmara Denizi .....	35
3.1.3. Akdeniz .....	37

3.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları .....	43
3.2.1. Cyanobakteri .....	43
3.2.2. Fitoplankton .....	45
3.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri .....	51
3.3.1. Doğu Akdeniz'e yağ çökme mekanizması ile ulaşan besin tuzları.....	51
3.3.2. Doğu Akdeniz'e kuru çökme mekanizması ile ulaşan besin tuzları ...	51
3.3.3. Doğu Akdeniz Atmosferi Aerosollerindeki Sülfatın Kaynakları .....	53
Kaynaklar .....	62
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU .....	70

## Tablolar listesi

Tablo 1. 1990-98 yılları arasında Karadeniz'de POM konsantrasyonunun su kolonunda değişimi (Çoban-Yıldız ve ark., 2000) .....	29
Tablo 2. Karadeniz'de besin tuzlarının fitoplanktonlarca kullanımlarının kinetik sonuçları (J. McCarthy, <i>Yayınlanmamış bulgu</i> ) .....	30
Tablo 3. İstasyonlarda elde edilen tür çeşitlilik indis değerleri. ....	46
Tablo 4. Fitoplankton türlerinin bölgeler arasında ortalama benzerliklere ( $\bar{S}$ ) katkıları ( $\bar{S}_i$ ) .....	48
Tablo 5. Fitoplankton türlerinin bölgeler arasında toplam ortalama benzememezliklere ( $\bar{\delta} = \Sigma \bar{\delta}_i$ ) katkıları ( $\bar{\delta}_i$ ) .....	49
Tablo 6. Ekim 2000 döneminde Marmara, Ege ve Akdeniz'de tanımlanan fitoplankterlerin listesi.....	49
Tablo 7. Doğu Akdeniz aerosollerinde toplam inorganik fosfat (TIP), çözünmüş inorganik fosfat (DIP), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ve amonyumun ( $\text{NH}_4^+$ ) mevsimsel ve sektörel geometric ortalama değerleri. (a) Finokalia; (b) Erdemli. ....	52

## Şekiller listesi

Şekil 1. İşlev tabanlı çalışmalar ve Karadeniz için biyojeokimyasal parametrelerin örneklenme stratejisi .....	17
Şekil 2. R/V Bilim Ağustos 1999 Seferi, Ayak-1 09-17 Eylül 1999 istasyon lokasyonları. □ : Hız deneylerinin yapıldığı istasyonlar, •: Hidrokimyasal ölçümlerin yapıldığı istasyonlar, Δ: CTD ve 10 metrede besin tuzları verilerinin toplandığı istasyonlar. ....	18
Şekil 3 R/V Bilim araştırma gemisi Ağustos 1999 seferi, 2. ayak istasyonları. (Dolu semboller: Uzun istasyonlar, Açık semboller: Kısa istasyonlar) .....	19
Şekil 4. R/V Bilim araştırma gemisi Ağustos 1999 seferi 3. ayak boyunca örnekleme yapılan istasyonlar. ....	20
Şekil 5. Marmara, Ege ve Akdeniz'de örnek toplanan istasyonlar. ....	22
Şekil 6. Aerosol ve yağmur numunelerinin toplandığı istasyonlar. ....	23
Şekil 7. Yirmi bir yıllık ortalama Nisan ayı TOMS-AAI dağılımı. ....	23
Şekil 8. Karadeniz'de çözünmüş oksijen ve hidrojen sülfürün su kolonunda düşey dağılımı. Bulgular 1997-1999 dönemini kapsamaktadır. ....	24
Şekil 9. Orta Karadeniz'de kıyı akıntısı (Rim Current) içerisinde yer alan bir istasyonda (İst. M15R45; 42°15' N ve 34°45' E), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı. ....	25
Şekil 10. Karadeniz'de Doğu siklonu içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (İst. M45T45; 42°45' N ve 36°45' E), Eylül 1999 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı. ....	26
Şekil 11. Karadeniz'de besin tuzlarının basen bazında ve 1997-1999 dönemi için düşey dağılımı. Düşey skalada derinlik yerine sigma-teta kullanılmıştır ve grafiklerde oklarla işaret edilen değerler özel sigma-teta düzlemlerini göstermektedir. ....	28
Şekil 12. Karadeniz merkez siklonu içinde seçilen istasyondaki su kolonunda görece yerinde flüoresans ve hidrografi. Aynı istasyon için kurulan Fotosentez-parlaklık (P-I) eğrisi. ....	31
Şekil 13. Karadeniz açık sularında mevsimsel N-15 üretimi (1% I <sub>0</sub> Euphotic derinliğe kadar birleştirilmiş) ve 1998-1999 periyodu için belirlenen f-oranı. Veriler 1991-1993 boyunca toplanan Krivenko ve arkadaşları 1998 verileri ile karşılaştırılmıştır ( kapalı semboller: Mc Charty ve arkadaşları; açık semboller: Krivenko ve arkadaşları 1998). ....	32
Şekil 14. Hidrojen sülfid ve Nitrit çekilme hızları ölçümleri .....	33
Şekil 15. Nitrat ve Mn(II) tüketim zaman serileri .....	34
Şekil 16. Marmara Denizi'nin Doğu baseninde yer alan bir istasyonda (İst. K46L00; 40°46' N ve 29°00' E), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı. ....	35
Şekil 17. Doğu Akdeniz'de Rodos siklonik döngüsü içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (İst. F08K55; 35°08' N ve 28°55' E), Eylül 1997 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı. ....	38
Şekil 18. Doğu Akdeniz'de nitratın (NO <sub>3</sub> ) sigma-tetayla (a) ve nitrat/fosfat (N/P) molar oranının tuzlulukla (b) basen bazında değişimi (1991-1994 bulguları kullanılmıştır).....	40

Şekil 19. Araştırılan istasyonlarda Cyanobakteri <i>Synechococcus</i> sp sıklığında derinlikle değişim (su sıcaklığı ve tuzluluk profilleri ile birlikte). .....	44
Şekil 20. Araştırılan istasyonlarda Cyanobakteri <i>Synechococcus</i> sp sıklığında derinlikle değişim (su sıcaklığı ve tuzluluk profilleri eklenmiştir). .....	45
Şekil 21: Bray-Curtis benzerlik indisi kullanılarak istasyonların sınıflandırıldığı dendogram. ....	47
Şekil 22. Çok-boyutlu ölçümlendirme (Multi-Dimensional Scaling – MDS) tekniği sonucu oluşan kümeler (a): I. Küme Akdeniz (rodos civarı), II. Küme Ege, ve III. Boğazlar ve Marmara istasyonları ve kümelenemenin tuzluluk (b) ve sıcaklık (c) ile ilişkisi. ....	48
Şekil 23. Finokolia ve Erdemli numunelerinde gözlenen TIP ve nss-Ca <sup>+2</sup> ilişkisi. 53	
Şekil 24. Aerosollerdeki günlük MSA ve nss-SO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> ölçümlerinin zamansal değişimi. ....	54
Şekil 25. Aerosollerdeki aylık ortalama MSA ve nss-SO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> derişimlerinin değişimi. ....	55
Şekil 26. Aylık ortalama toplam sülfat derişimlerine biyojenik katkının zamansal değişimi. ....	55
Şekil 27. 1998 yılında Erdemli aerosollerinde ölçülen MSA (siyah çizgiler) ve Al (kırmızı çizgiler) derişimlerinin bahar ve yaz aylarındaki dağılımı. Günlük yağış miktarı noktalı barlar ile gösterilmiştir. Erdemli istasyonunun Karadeniz üzerinden kaynaklanan hava kütlelerinden etkilendiği dönemler kesikli çizgi ile gösterilen barlar ile tanımlanmıştır. ....	56
Şekil 28. 1998 yılı Haziran ve Temmuz aylarında Erdemli ve Finokolia istasyonlarını etkileyen Karadeniz kaynaklı hava kütlelerinin 3 günlük geri yörüngeleri. ....	57
Şekil 29. Mayıs-Temmuz 1998 dönemine ait SeaWIFS sensörünün 8 günlük komposit verilerinden türetilen Karadeniz'in yüzey sularındaki kokolit dağılımı. (a) Mayıs sonu; (b) Haziran başı; (c) Haziran ortası; (d) Haziran sonu; (e) Temmuz başı; (f) Temmuz ortası. Haritalar üzerinde siyah renk ile boyanan bölgeler kokolit patlamalarının olduğu alanları, gri renkli bölgeler kokolit patlamalarının olmadığı alanları ve beyaz renkli bölgeler ise bulut ile kaplı alanları tanımlamaktadır. ....	58
Şekil 30. (a) Erdemli istasyonu için günlük TOMS-AAI dağılımı (siyah barlar). Kırmızı barlar yer ölçümlerinin olduğu günlere ait TOMS-AAI verilerini göstermektedir. (b) Günlük aerosol Al derişim değerlerinin dağılımı. ....	59
Şekil 31. Erdemli istasyonuna toz taşınım olaylarını gösteren hava kütlesi geri yörünge analizleri. (A) Atmosferin yüksek seviyelerindeki (700 ve 500 hPa) taşınımı göstermektedir; (b) Atmosferin alt seviyelerindeki (850 ve 1000 hPa) taşınımı göstermektedir. ....	60
Şekil 32. TOMS-AOT değerlerine karşılık gelen AERONET-AOT değerleri. ....	61



## ÖZET

### Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Akdeniz'in Alt Beslenme Basamaklarının Dinamiği: Biyojeokimyasal Dönüşümler ve Ekosistem Modellemesi

Türkiye'yi çevreleyen denizlerin alt beslenme basamakları ekosistemlerinin ve biyojeokimyasal döngülerin anlaşılması amacıyla 1990'larda başlatılan araştırmaların sonuçları bu yayında sunulmaktadır. Karadeniz çok tabakalı bir yapıya sahiptir ve oksijenli yüzey tabakasının altında konsantrasyon hızla azalarak, 15.5-16.2 yoğunluk düzlemleri arasında (sub-oksik tabaka), 20  $\mu\text{M}$ 'in altına düşmektedir. Hidrojen sülfürlü suların başlangıç sınırı farklı derinliklerde ancak aynı su yoğunluğunda ( $\sigma_t=16.2$ ) yer almaktadır. Karadeniz'de kıyılarda nitrat/fosfat oranı 20'nin üzerindedir ve üretim fosforca sınırlamaktadır. Açık denizin yüzey ve sub-oksik sularında bu oran düşüktür (<8). Azot eksikliğinin temel nedeni, sub-oksik tabakada nitrat iyonlarının denitrifikasyon ile tüketilmesidir; bu alanlarda üretimi azot sınırlamaktadır. Marmara Denizi'nde, Karadeniz'den Boğaz yoluyla ve İstanbul bölgesinden taşınan kirleticiler ekosistemi etkilemektedir. Çanakkale Boğazı'ndan giren Akdeniz kaynaklı dip suların biyokimyasal özelliklerinde Marmara baseni boyunca değişimler olmaktadır; örneğin yüzeyle teması kesilen Akdeniz sularının çözünmüş oksijen konsantrasyonunda %70-80 azalma olmaktadır. Marmara'nın alt sularında 8-10 arasında değişen nitrat/fosfat oranı, çöken partikül organik maddenin kimyasal kompozisyonu ile benzerlik göstermektedir. Doğu Akdeniz daha dinamik bir yapıya sahiptir ve su kolonu tabana kadar oksijenlidir; ancak besin tuzu kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle ilk üretim çok düşük seviyededir. Rodos siklonik bölgesinde nutriklin ışıklı tabakanın tabanıyla çakışmakta ve siğ bir derinlikte (50-100m) yer almaktadır ve bu bölgede üretim bağıl olarak daha yüksektir. Antisiklonik alanlarda ise nutriklin ışıklı tabakanın çok altındadır (200-700m).

**Anahtar Sözcükler:** Karadeniz, Akdeniz, Marmara Denizi, Biyojeokimyasal Dönüşümler, Ekosistem

**Key Words:**

Biogeochemistry

## ABSTRACT

### Dynamic of lower trophic levels of the Black Sea, Sea of Marmara, Aegean Sea and Mediterranean Sea: Biogeochemical cycles and Ecosystem modelling

The lower trophic level ecosystems and the biogeochemical cycles of the seas surrounding Turkey are investigated in the last decade and the results are presented in this paper. The Black Sea has multi-layer system and below the oxygenated surface layer, the concentration of dissolved oxygen decreases rapidly to  $<20 \mu\text{M}$  in the sub-oxic layer which takes place in between 15.5 and 16.2 density surfaces. The upper boundary of the hydrogen sulfide layer is observed at different depths but it always matches with 16.2 density surface. The nitrate/phosphate molar ratio is greater than 20 in the coastal Black Sea waters where the primary production is limited by phosphorus. This ratio is low ( $<8$ ) in the open surface and sub-oxic waters. The reason for this is the denitrification reaction taking place in the sub-oxic layer and nitrogen is limiting nutrient in such areas. The ecosystem of the Marmara Sea is influenced by the Black Sea inflow and by the input from Istanbul metropolitan area. Mediterranean origin waters entering the Marmara deep basin through Dardanelles changes in character on the way to Black Sea; for example the oxygen content of the Mediterranean waters decreases 70-80% due to incontact with the atmosphere when they enter the basin. Nitrate/phosphate ratio changes between 8-10 for the lower Marmara waters which is in agreement with the elemental composition of particulates sinking from the surface layer. Eastern Mediterranean is physically dynamic and therefore the water column is well oxygenated down to the bottom. This area is oligotrophic due to the limited amount of nutrient input. The nutricline coincides with lower boundary of the euphotic zone and it locates at shallower depths (50-100m) in the Rhodes cyclonic region where the primary production is relatively high. Nutricline is far (200-700m) below the euphotic zone in the anticyclonic areas of Mediterranean.

**Key Words:** The Black Sea, Mediterranean, The Sea of Marmara, Biogeochemical Cycles, Ecosystem

## 1. Giriş

Türkiye hidrodinamiği, biyojeokimyasal özellikleri ve ekosistemleri farklı denizlerle çevrilmiştir. Karadeniz özellikle kuzeybatı kıta sahanlığı olmak üzere ötrofik, Marmara Denizi ve körfezleri ileri derecede ötrofik, Ege Denizi ve Doğu Akdeniz oligotrofik yapı göstermektedir.

### 1.1. Biyojeokimyasal Dönüşümler

#### 1.1.1. Karadeniz

Karadeniz'i diğer denizlerden ayrıcalıklı kılan en önemli özelliği, yüzeydeki oksijenli tabakanın altındaki derin basen sularının sürekli oksijensiz olması ve tabana doğru artan yüksek derişimlerde hidrojen sülfür ( $H_2S$ ) içermesidir (Murray ve ark., 1989; 1995; Codispoti ve ark., 1991; Tuğrul ve ark., 1992; Saydam ve ark., 1993). Bu oluşumun temel nedeni, tüm dip baseni dolduran Akdeniz kökenli tuzlu suların ( $>22$  ppt) yüzeydeki daha az tuzlu (18 ppt) suların kalıcı bir haloklin ile ayrılmasıdır (Codispoti ve ark., 1991; Oğuz ve ark., 1993). Karadeniz'de dikey karışımlar haloklinin üst sınırına kadar etkilidir. Bu nedenle oksijenli yüzey tabakasından sülfürlü derin sulara çözünmüş oksijen (ÇO) taşınımı çok sınırlıdır. Oksijen girdisi havalı ortam bakterilerinin oksijen ihtiyacını karşılayamadığı için çöken organik maddenin parçalanması havasız ortam bakterilerince,  $SO_4$  indirgenmesi yoluyla olmakta ve  $H_2S$ 'li ortam oluşmaktadır. Haloklin üst derinliklerinde sürekli oluşan oksijence fakir (ÇO  $<20 \mu M$  ve  $H_2S <5 \mu M$ ) sub-oksik tabaka ile  $H_2S$ 'li suların başlangıç sınırları tüm basende farklı derinliklerde fakat aynı su yoğunluklarında (sırasıyla  $\sigma_t=15.4\pm 0.1$  ve  $\sigma_t=16.2\pm 0.05$ ) yer almaktadır (Tuğrul ve ark., 1992; Saydam ve ark., 1993). Sub-oksik tabakanın sınırları Murray ve ark., (1995) tarafından ÇO'nin  $<10 \mu M$ 'in altına düştüğü ve  $H_2S$ 'ün  $<10 nM$  olduğu tabaka olarak tanımlanmış ve karşılık gelen su yoğunlukları  $\sigma_t=15.65$  ve  $\sigma_t=16.15$  olarak verilmiştir. Günümüz Karadeniz ekosisteminde  $H_2S$ 'li suların başlangıç sınırı siklonik döngülerin hakim olduğu açık sularda 90-100m, kıyılarda ise daha derinlerde (160-180m). Karadeniz ekosisteminde son 30 yılda çarpıcı değişimler gözlenmiştir (Bologa, 1985/86; Vinogradov ve ark., 1992; Mee, 1992; Bologa ve ark., 1999). 1960'lı yıllara ait ÇO ve  $H_2S$  bulguları 1980 ve 90'lı yılların bulgularıyla karşılaştırıldığında, geçmişte "oksiklin" in daha kalın ve "suboksik" tabakanın daha ince olduğu olduğu belirlenmiştir (Murray ve ark., 1989; 1995; Tuğrul ve ark., 1992; Baştürk ve ark., 1997; Kononov ve Murray, 2000). Anoksik tabakanın üst sınırı ise bu süre içinde aynı yoğunluk düzleminde ( $\sigma_t=16.2$ ) kalmıştır.

Karadeniz'de kıyısız alanlarda nehir girdilerine (Cociasu ve ark., 1996; 1997; Tuncer ve ark., 1998) paralel olarak düşey ve yatay taşınım mekanizmaları ile sedimandan olan girdiler besin tuzlarına kaynak oluşturmaktadır. Siklonik döngü sistemlerinin etkin olduğu derin basende ise besin tuzları ışıklı yüzey tabakasına daha çok düşey karışım ve nutriklinde difüzyon ile taşınmaktadır (Yılmaz ve ark., 1998a). Nutriklinin alt sınırı ile çakışan sub-oxic tabaka ve altından besin tuzu aktarımı yoğunluk tabakalaşması nedeniyle sınırlıdır. Ayrıca sub-oxic tabakada denitrifikasyon ve redoksa bağlı prosesler de (Murray ve ark., 1995) bu taşınımı engellemektedir. Karadeniz'de birincil üretim yıl boyunca ilkbahar ve sonbaharda olmak üzere iki kez pik değerlere ulaşmaktadır (Vedernikov ve Demidov, 1993). Ancak son 10-15 yıldır ayrıca yaz fitoplankton patlamaları ve yüksek düzeyde birincil üretim hem kıyılarda hem de açık Karadeniz sularında gözlenmiştir (Hay ve ark., 1990; Yılmaz ve ark., 1998a; 1998b). Birincil üretim açık sularda bağıl olarak düşüken ( $50-200 g C m^{-2} y^{-1}$ ) (Vedernikov ve Demidov,

1993), kıyı alanlarında, örneğin kuzeybatı kıta sahanlığında yüksektir ( $>400 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ) (Bologa ve ark., 1999).

### 1.1.2. Marmara Denizi

Marmara Denizi ve Boğazlar iki tabakalı bir ekosisteme sahiptir. Karadeniz orijinli az tuzlu sular 15-20m üst su kolonunda yer alırken dip basende Çanakkale'den giren Akdeniz orijinli tuzlu sular yer almaktadır (Beşiktepe ve ark., 1994). Bu sistemde ışıklı tabakanın haloklin ile çakışması nedeniyle fotosenteze bağlı üretim üst tabakaya sınırlanmıştır; alt suda ise yüzeyden çöken partikül organik madde ve bunlarla beslenen bakteriler biyojeokimyasal döngüde rol oynamaktadır (Polat ve ark., 1998a; Yayla, 1999). Marmara Denizi üst tabakasındaki ekosistem gerek Karadeniz kaynaklı ve gerekse karasal kaynaklı (İstanbul şehir atıkları ile bölgedeki endüstriyel atıklar) kimyasal girdilerin yoğun etkisi altındayken, alt tabakanın kimyasal özellikleri, yüzeyden çöken partiküllerin yoğun etkisi altındadır (Polat ve Tuğrul, 1995; Polat ve ark., 1998a). Marmara yüzey sularında kirliliğin son 30 yılda belirgin şekilde artması sonucu, denizdeki organik madde üretimi artmış ise de, alt suların çözünmüş oksijen değeri, 70'li yıllardaki ölçümlere kıyasla çok fazla değişmemiştir. Ancak kirliliğin etkisi yüzey sularında daha belirgin olmuş, ışıklı tabakanın kalınlığı azalmış ve haloklinin hemen altındaki suların çözünmüş oksijen değerlerinde hızlı çöküşler (oksiklin) oluşmuştur (Tuğrul ve ark., 2000). Besin tuzları profilleri, bölgesel ve mevsimsel ölçekte incelenirse, en düşük konsantrasyonların Çanakkale girişine yakın bölgede, en yüksek değerlerin de İstanbul Boğazı'na yakın alanlarda ve haloklinin hemen altındaki oksijen minimum tabakasından gözlemlendiği anlaşılmaktadır (Polat ve ark., 1998a).

### 1.1.3. Akdeniz

Akdeniz fiziksel dinamiği ve biyojeokimyasal özellikleri bakımından Karadeniz ve Marmara Denizi'nden çok farklı yapıdadır. Doğu Akdeniz yüzey sularında 200-300  $\mu\text{M}$  seviyesinde olan  $\text{CO}_2$  derin dip sularda ancak 175-200  $\mu\text{M}$ 'a (% 70-85 doygunluk seviyesine) kadar düşmektedir. Bu oluşumun nedeni basende derin konveksiyonel karışımın çok etkin olmasıdır. Doğu Akdeniz besin tuzu girdilerinin sınırlı olduğu bir denizdir. Kıyısız alanlarda nehirlere olan taşınım Batı Akdeniz'de daha etkindir (Bethoux ve ark., 1992). Doğu Akdeniz'de özellikle açık sularda yegane kaynak besin tuzlarıncaya bağlı olarak zengin dip sulardır (Yılmaz ve Tuğrul, 1998; Krom ve ark., 1991; 1992). Atmosferik girdilerin de Akdeniz ekosistemini etkilediği bilinmektedir (Loye-Pilot ve ark., 1990). Doğu Akdeniz dip baseni besin tuzu konsantrasyonları, Karadeniz ve Marmara deniziyle karşılaştırıldığında bu denizimizin birincil üretim ve bağlı üretimlerde neden bu derece fakir olduğu açıkça görülebilmektedir. Doğu Akdeniz dip sularının nitrat ve reaktif silikat konsantrasyonları düşük olmakla birlikte karşılaştırılabilir düzeydeyken fosfat Marmara Denizi'ne oranla 5 kat, Karadeniz maksimum değerlerine oranla 20-40 kat daha azdır. Doğu Akdeniz'de nutriklin bölgesel bazda ve döngü sistemleri içerisinde farklı derinlikte yer almakta, ancak aynı yoğunluk ( $\sigma_t=29.00-29.05$  ve  $29.15$ ) eğrilerini takip etmektedir (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Rodos siklonik bölgesinde nutriklin çok daha keskindir ve ışıklı tabakanın tabanıyla çakışacak şekilde diğer alanlara oranla daha sığ bir derinlikte (50-100m) yer almaktadır. Bu bölgede ve çevresindeki cephesel (frontal) sistemlerde besin tuzu taşınımının daha etkin olması nedeniyle üretim bağılı olarak daha yüksektir (Ediger, 1995; Ediger ve Yılmaz, 1996a). Antisiklonik alanlarda ise nutriklin ışıklı tabakanın çok altında ve kış karışım koşullarının etkinliğine göre 200-700m derinlikte yer almaktadır. Besin tuzu taşınımının son derece sınırlı olduğu bu alanlar (Klikya Baseni, İskenderun Körfezi açığı, Antalya Körfezi açığı) üretimce Akdeniz'in en fakir alanları arasında yer almaktadır (Ediger ve Yılmaz, 1996). Doğu Akdeniz'in dinamik yapısı ve iklimsel koşulların

etkisiyle derin basenlerinde (Rodos gibi) çok güçlü düşey karışımlar gözlenebilmektedir. 1992, 1993 ve 1995 kış koşullarının sert geçmesi nedeniyle Rodos baseninde "BACA" oluşumu gözlenmiş ve su kolonu fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından homojen hale gelmiştir. Bu özel koşullarda Doğu Akdeniz'de fitoplankton biyo-kütlesi ve ilk üretim Rodos baseni ve çevresindeki cephe sistemlerinde 5-10 kat düzeyinde artmıştır (Sur ve ark., 1993; Ediger ve Yılmaz, 1996a; Yılmaz ve Tuğrul, 1998; *Yayınlanmamış bulgular*).

## 1.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları

Denizlerde ve okyanuslarda birincil üretimi oluşturan fitoplanktonlar besin zinciri tabanını oluşumunda büyük bir rol oynamaktadır. Ototrof olan bu canlılar, sucul ortamda, ışıklı tabakalarda fotosentez yolu ile karbondioksit ve inorganik maddelerden yüksek enerji potansiyeline sahip organik bileşikler yaparlar. Burada üretime katkı farklı gruplarca değişik oranlarda olmakta, ototrofik diatomeler ve dinoflagellatların yanısıra daha küçük boyutlu kokkolitler ve boyları 3 mikrondan küçük fotosentetik pikoplankton (prokaryotik ve ökaryotik) okyanus ve denizlerde toplam biyokütleye ve üretime önemli katkılarda bulunmaktadır. Bunların üzerinde beslenen ve boyca daha büyük olan mikro ve mesoplanktonun yoğunluğu ve dağılımı ise suda balıklara kadar uzanan besin zincirinde büyük önem arzeder.

Yeryüzünde bitkilerin toplam net birincil üretim miktarları kuru ağırlık bazında  $1.4 \times 10^{14}$  kg/yıl olarak tahmin edilmekte ve bunun yaklaşık %40'ı ise denizel fitoplanktonlarca oluşturulmaktadır (Golley, 1972). Bu da bize yılda yaklaşık  $2 \times 10^{13}$  kg karbonun denizel fitoplanktonlarca organik forma dönüştürüldüğünü gösterir (Strickland, 1972). Denizlerin yoğun üretken bölgelerinde (upwelling) ve kıta sahanlıklarında diatomeler yeryüzündeki net birincil üretimin %20-25'ini oluşturmaktadırlar. Diatomeler deniz planktonu içerisinde en önemli bir grubu oluşturmakta ve çok fazla tür ve yoğunluklarda bulunmaları nedeni ile dolaylı veya dolaysız olarak denizel organizmaların ve onların larvalarının besinini oluşturmaktadır. Bir diğer sıkça rastlanan grup olan dinoflagellatlar da denizlerde üretime önemli katkıda bulunmakta ve balık larvaları yanısıra denizel mikrozooplanktonun besinini oluşturmaktadır.

Oligotrofik okyanus sistemlerinde pikoplankton genelde inorganik karbon fiksasyonunun %60'ını gerçekleştirmektedir. Bunlar arasında fikoeritrin içeren tek hücreli, fotoötotrofik cyanobakteri *Synechococcus* yoğun ilgi odağı oluşturmuştur. Genelde bu grup ılıman ve tropik denizlerde öfotik tabakada yoğun olarak bulunup atmosferdeki azotu bağlaması ile deniz ekosisteminde önemli bir rol oynarlar. Sayısal açıdan bu grup diğer toplam ökaryotik fitoplanktondan daha yoğun olup ılıman denizlerin yüzey sularında  $10^3 - 10^5$  hücre/ml dolayındadır. Bunun yanısıra birim su kolonunda birincil üretime katkıları yüzde ellileri aşan oranlara ulaşmaktadır. Bu prokaryotik hücre yaklaşık 1 mikron çapında olup pigment yapısında fikoeritrin içermesi nedeni ile epifloresan mikroskop aracılığı ile diğer planktondan kolayca ayırt edilebilmektedir.

Denizlerimizde birincil üretim ve bunu oluşturan fitoplanktonun komponentlerinin araştırılması ve buradan beslenen zooplanktonun yapısının ve yoğunluğunun bilinmesi balıkçılık açısından da büyük önem arz etmektedir.

Ülke içinde, denizlerimizde, pikoplankton düzeyinde özellikle kokkoid Cyanobakteri *Synechococcus* üzerine herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Karadeniz'de pikoplanktonun önemli bir kısmını oluşturan Cyanobakteri *Synechococcus* üzerine preliminere bir çalışma A.B.D.'de Oregon Üniversitesinde Dr. Zahit Uysal tarafından gerçekleştirilmiş ve bu çalışma sırasında Kanada'da Bedford Oşinografi Enstitüsü ile de kontakt kurularak flow-cytometrik analiz yapılabilmektedir. Konu daha da geliştirilerek Karadeniz kıyı sularımızda bu grubun su kolonunda ve sahada

dağılımı ve bu dağılımı etkileyen fiziko-kimyasal etmenlerin araştırılması projesi şeklinde yürütülmüştür (Uysal ve ark. 1998). Bu grubun Karadeniz popülasyonu için pigment yapısı, boy ve dağılımı üzerine yeni bulgular edinilmiştir (Uysal, 1999). Son olarak kuzey Levantin baseni kıyı sularında (Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü açıklarında) bu grubun haftalık dinamikleri çalışılmıştır (Köksalan, Master tezi).

Doğu Akdeniz'de gerçekleştirilen bir ortak (A.B.D., Kanada ve İsrail) çalışmada ise flow cytometry kullanılarak ultrafito-planktonik cyanobakteri, proklorofitler ve ökaryotlarda hücre bolluğu, klorofil ve karbon içerikleri üzerine bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Li., W. K. W., ve arkadaşları, 1993). Bunun yanısıra diğer okyanus ve denizlerde bu alanda birçok çalışma gerçekleştirilmiş ve halen de sürmektedir. Yurtdışında, bu konuda gelişmiş birçok Enstitülerde, pikoplankton düzeyinde araştırmalar genelde epifloresan mikroskop yanısıra bu konu için özel olarak geliştirilmiş flow cytometre ile otomatik yapılmaktadır. Bunların yanısıra elektronik partikül sayıcıları olan Coulter Sayıcıları da bir dönem kullanılmalarına karşın fotosentetik pikoplanktonu diğer fotosentetik olmayan partiküllerden ayırt edememesi nedeni ile vazgeçilmiştir. Ayrıca immunofloresans ve microautoradiography yöntemleri ve elektron mikrograf aracılığı ile de fotosentetik pikoplankton çalışılmaktadır.

Fitoplankton üzerine Kimor ve Wood'un (1975) 1960'larda gerçekleştirdiği çalışmada 143 Dinoflagellat, 77 Diatome, 17 Kokkolit, 2 Silikoflagellat ve diğer seyrek gruplar olmak üzere farklı gruplara ait toplam 248 tür tanımlanmıştır. Bunu takiben 1987 yılında Kıdeyş, kuzey Kilikya baseninde gerçekleştirdiği çalışmada 51 Dinoflagellat ve 66 Diatome türü rapor etmiştir. Ayrıca ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün Haziran 1995 döneminde Antalya körfezinde gerçekleştirdiği proje çalışmasında toplam 43 Diatome ve 65 Dinoflagellat taxa saptanmış olup, tür düzeyinde 33 Diatome ve 52 Dinoflagellat tanımlanmıştır. Son olarak 1995-1997 yıllarında ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü limanında haftalık bazda fitoplankton kompozisyonu çalışılmıştır (Eker ve Kıdeyş, 1999). Buna ek olarak ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün Kuzeydoğu Akdeniz Ekolojisi Projesi çerçevesinde yürüttüğü çalışmalarda Mayıs 1996 döneminde fitoplanktonda, diatomeler toplam 18 cins ve 37 tür, dinoflagellatlar toplam 21 cins ve 63 tür, Chrysophyceaea grubu üyeleri 14 cins ve 25 tür, Chlorophyta grubu üyeleri 4 cins ve 6 tür ve en son olarak Euglenophyta grubu 1 tür ile temsil edilmişlerdir (Salihoğlu ve ark., 1997). Aynı proje kapsamında Kasım 1996 döneminde ise diatomeler toplam 30 cins ve 68 tür, dinoflagellatlar toplam 21 cins ve 70 tür, Chrysophyceaea grubu üyeleri 19 cins ve 47 tür, Chlorophyta grubu üyeleri 2 cins ve 5 tür, Cyanophyta grubu 1 cins, Euglenophyta grubu 1 tür ve son olarak Xantophyta grubu 1 tür ile temsil edilmişlerdir.

### 1.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri

Akdeniz baseninin birincil üretimi batıdan doğuya doğru azalan bir eğilim göstermekte ve doğu Akdeniz ihtiva ettiği besin tuzlarının miktarı açısından denizlerin çölü olarak tanımlanmaktadır. Denizsel ortamda yaşayan mikroskobik bitkisel canlıların (fitoplanktonların), ortamdaki inorganik besin tuzları (azotlu bileşikler, fosfat, silikat) ve demir gibi üretim için gerekli elementi fotosentez işlemi esnasında kullanarak organik madde üretmeleri besin zincirinin ilk halkası olup "birincil üretim" olarak anılmaktadır. Doğu Akdeniz baseninde birincil üretimin çok düşük seviyelerde olmasının nedeni, besin tuzlarının deniz ortamında yetersiz seviyelerde bulunmasındandır. Genel olarak karalarla çevrili denizlere besin tuzları girdisinin nehirler ve atmosferik taşınım ile gerçekleştiği kabul edilmektedir. Nehirler ile taşınan besin tuzları, kıyı bölgelerde yaşayan fitoplanktonlar tarafından kullanılıp ve daha sonra oluşan organik maddenin dibe çökerek canlıların fotosentez yaptıkları ışıklı ortamdan ayrılmaları nedeni ile açık denize ulaşmadan sistemden çıkmaktadırlar. Atmosferik taşınım ile denizler

üzerine ulaşan ve daha sonra yağmur ve/veya kuru çökelme mekanizmaları ile deniz yüzeyine ulaşan besin tuzları ise açık deniz için yegane kaynak olarak gösterilmektedir. Doğu Akdeniz'e dökülen nehir sayısının çok kısıtlı olması ise bu basen için atmosfer girdilerinin önemli ve hatta yegane diyebileceğimiz bir kaynak olduğu gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

Son yıllarda Türkiye kıyılarında yapılan çalışmalar ile Doğu Akdeniz aerosollerinin ve yağışlarının kimyasal kompozisyonu ve kaynak bölgeleri hakkında bir bilgi birikimi oluşmaya başlamıştır (Kubilay ve Saydam, 1995; Al-Momani ve diğ., 1995; 1998; Güllü ve diğ., 1998; Özsoy ve Saydam, 2000, 2001; Özsoy ve diğ., 2000). Anılan çalışmalarda Doğu Akdeniz'in ülkemiz kıyılarındaki aerosollerinin ve bu aerosolleri içeren yağışların deniz tuzu, Afrika kökenli çöl tozu (mineral toz), lokal toprak ve antropojenik komponentlerin karışımından ibaret olduğu belirlenmiştir. Oluşan bulgu ve bilgi birikimi iyi bir başlangıç olmakla birlikte atmosferik taşınımının açık deniz ekosistemi üzerindeki olası etkileri ve atmosferdeki aerosollerin (özellikle sülfat aerosolleri) kaynakları henüz tam manası ile açıklanamamaktadır.

Klasik yaklaşımda, deniz ortamındaki besin tuzlarının (nitrat ve fosfat) ve birincil üretim için canlıların gereksinim duyduğu bazı eser elementlerin (demir gibi) bütçesi yapılırken sadece nehirler ile denize taşınan miktarlar göz önünde tutulmuş ve atmosfer ile taşınan miktarlar ise gözardı edilmiştir. Ancak son on yıl içerisinde gerçekleştirilen araştırmaların sonuçları, özellikle kıyıda uzak (açık deniz) bölgeler ile doğu Akdeniz gibi nehir girdileri açısından yoksul olan kıyı bölgeleri için atmosfer girdilerinin yegane kaynak olduğunu (Duce ve diğ., 1991; Jickells, 1995; 1999) göstermektedir.

Guerzoni ve diğ. (1999), Akdeniz'e atmosfer girdileri ile ilgili yayınlanmış tüm verileri ve atmosfer girdilerinin basen biyokimyası üzerindeki olası etkilerini sentezlemiş ve atmosfer girdilerinin basen ölçeğinde önemli miktarlarda olduğunu vurgulamışlardır. Atmosfer ile deniz yüzeyine ulaşan besin tuzları ile ilgili bulguların önemli bir bölümü batı basenine aittir (Martin ve diğ., 1989; Loye-Pilot ve diğ., 1990; Bergametti ve diğ., 1992; Migon ve Sandroni, 1999). Doğu baseni için atmosfer yolu ile deniz yüzeyine ulaşan besin tuzları ile ilgili İsraili bir grup araştırma yapmıştır (Herut ve diğ., 1999a). Akdeniz'in batı baseninde birincil üretim nitrat ile kısıtlanırken doğuda fosfat eksikliği olduğu gösterilmiştir. Önceleri bölgeye darbeler halinde ulaşan Afrika kaynaklı çöl tozlarının deniz yüzeyine çökeldikten sonra ortamdaki fosfatı üzerlerine adsorblayarak dibe doğru çöktükleri ve dolayısı ile biyolojik olarak kullanılabilir fosfatın ortamdaki kaybolduğu üzerine hipotezler üretilmişti (Krom ve diğ., 1991). Fakat bu konu üzerinde yapılan detaylı bir araştırmanın sonucu göstermiştir ki Afrika tozları doğu Akdeniz'e fosfat katkısında bulunmaktadır ve sistemdeki fosfat eksikliğinin nedeni başka sebeplerden kaynaklanmaktadır (Herut ve diğ., 1999b). Ayrıca Herut ve diğ. (1999a) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise güneydoğu Akdeniz'e tek bir darbe halinde ulaşan Afrika kaynaklı çöl tozunun içerdiği fosfatın, deniz yüzeyinde birincil üretimin önsürücüsü olan chl-a pigmentinde artışa neden olduğu belirtilmiştir. Yine Batı Akdeniz'de gerçekleştirilmiş başka araştırmalarda da Afrika kaynaklı tozların, deniz ortamı için fosfat açısından kaynak olduğu belirtilmiştir ve özellikle yaz aylarında (dip sulardan ötrofik tabakaya fosfat taşınımının minimal olduğu dönemlerde) atmosfer ile denize ulaşan fosfatın ortamda yaşayan mikroskobik canlılar için önemli olabileceği belirtilmiştir (Bergametti ve diğ., 1992; Migon and Sandroni, 1999; Ridame and Guieu, 2002).

Afrika kaynaklı çöl tozlarının yanısıra Doğu Akdeniz aerosollerinin bir diğer baskın bileşenide sülfat parçacıklarıdır (Mihalopoulos ve diğ., 1997; Luria ve diğ., 1989; 1996; Özsoy ve diğ., 2000). Sülfat aerosolleri güneş ışınlarını yeryüzüne

ulaşamadan geri yansıtıkları ve/veya bulut yoğunlaşma çekirdeği olarak görev yapıp atmosferdeki bulut miktarını artırma özelliğine sahip oldukları için iklim üzerinde soğuma etkisi yaratmaktadırlar. Bu nedenle günümüzde atmosferik sülfat parçacıkları üzerine yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Atmosferdeki antropojenik orijinli sülfat miktarının dağılımı ve iklim üzerindeki etkisini global ölçekli bir model ile simüle eden Charlson ve diğ. (1991) nin sonuçları doğu Akdeniz üzerinde yüksek miktarlarda sülfat ve bu sülfatın iklimsel soğuma potansiyelini göstermektedir. Bölgede gerçekleştirilen ölçüm çalışmalarının bir bölümü doğu Akdeniz'deki yüksek sülfat aerosol konsantrasyonlarından Avrupa dan atmosferik taşınım ile bölgeye ulaşan antropojenik emisyonların sorumlu olduğunu söylerken (Mihalopoulos ve diğ., 1997; Luria et al., 1989, 1996) diğer bir grup ise denizsel biyojenik emisyonların, bölgenin sülfat bütçesi üzerindeki katkısının göz ardı edilmemesi gerektiğini söylemektedir (Özsoy ve diğ., 2000; Ganor ve diğ., 2000).

Ancak son on yıl içerisinde gerçekleştirilen araştırmaların sonuçları, özellikle kıyıda uzak (açık deniz) bölgeler ile doğu Akdeniz gibi nehir girdileri açısından yoksul olan kıyı bölgeleri için atmosfer girdilerinin önemli olduğunu göstermiştir (Krom et al., 2004; Markaki et al., 2003; Baker et al., 2003; Ridame and Guieu, 2002; Guieu et al., 2002; Barak et al., 1999; 2002; Migon, 1998). Doğu Akdeniz de birincil üretim ortamdaki fosfat miktarı ile kısıtlanmaktadır (Krom et al., 1991; Zohary ve Robarts, 1998). Önceleri bölgeye darbeler halinde ulaşan Afrika kaynaklı çöl tozlarının deniz yüzeyine çökeldikten sonra su kolonundaki fosfatı üzerlerine adsorblayarak dibe doğru çökeltiltikleri ve dolayısı ile ortamdaki N/P oranını yükselterek biyolojik aktivitenin fosfat tarafından kısıtlanmasına neden olduğu şeklinde hipotez üretilmiş idi (Krom ve diğ., 1991). Fakat bu konu üzerinde yapılan detaylı bir araştırmanın sonucu göstermiştir ki Afrika tozları doğu Akdeniz'e fosfat katkısında bulunmaktadır ve sistemdeki fosfat eksikliğinin nedeni başka sebeplerden kaynaklanmaktadır (Ridame et al., 2003 ). Atmosfer ile taşınan ve deniz yüzeyine çöken Sahra tozlarının ortama fosfat ve demir sağlayarak ortamdaki mikroorganizmaların atmosferdeki azot gazını fiksleyerek biyolojik açıdan kullanılabilen nitrat derişimini artırma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir (Lenes et al., 2001; Mills et al., 2004; Mahaffey et al., 2003). Ortamdaki azot miktarının artması sonucunda balık ölümleri ile sonuçlanan toksik fitoplankton patlamaları olduğu gösterilmiştir (Walsh and Steidinger, 2001).

Batı Akdeniz'de bulunan Sardunya adasında toplanan atmosfer örnekleri üzerinde gerçekleştirilen diğer bir araştırmanın sonucu ise Afrika kaynaklı çöl tozlarının, bölge atmosferinin kompozisyonu üzerinde önemli bir etmen olduğu ve toprak orijinli elementlerin (Al ve Fe gibi) denize akı miktarlarında da artışa neden olduğu gösterilmiştir. Akdeniz'in Doğu ve Batı basenlerinde toplanan atmosfer örneklerinden elde edilen bulgular, bölgeye darbeler halinde Afrika kaynaklı çöl tozlarının ulaştığını ve tek bir yağmur ile deniz yüzeyine ulaşan çöl tozu miktarının yıllık akı miktarının yaklaşık % 40-80 ini oluşturduğu göstermiştir (Guerzoni ve diğ., 1997; Kubilay ve diğ., 2000). Kıyıda tek bir noktadan toplanan örneklerin incelenmesi sonucunda elde edilen atmosferik akıların tüm basene dağıtılması gerçekçi bir yaklaşım değildir. Tüm baseni kapsayacak biçimde yer ölçümleri yapabilecek bir istasyon ağının kurulması ise ancak uluslararası bilimsel işbirliği projesi çerçevesinde mümkündür.

Denizlerin üzerindeki atmosferik parçacıkların (aerosollerin) miktar ve kompozisyonunu belirlemek amacı ile bir kaç yöntem geliştirilmiştir. Geleneksel olarak aerosol örnekleri kıyı ve/veya adalar üzerine inşa edilmiş olan örnekleme kulelerinin yada araştırma gemilerinin platform olarak kullanılması ile toplanmakta ve laboratuvarında analiz edilerek aerosollerin miktarı ve kompozisyonu tayin edilmektedir. Daha yeni ve modern olan diğer bir yöntem ise uydular üzerine yerleştirilen sensörlerden elde edilen uzaktan algılama verilerinin kullanılarak



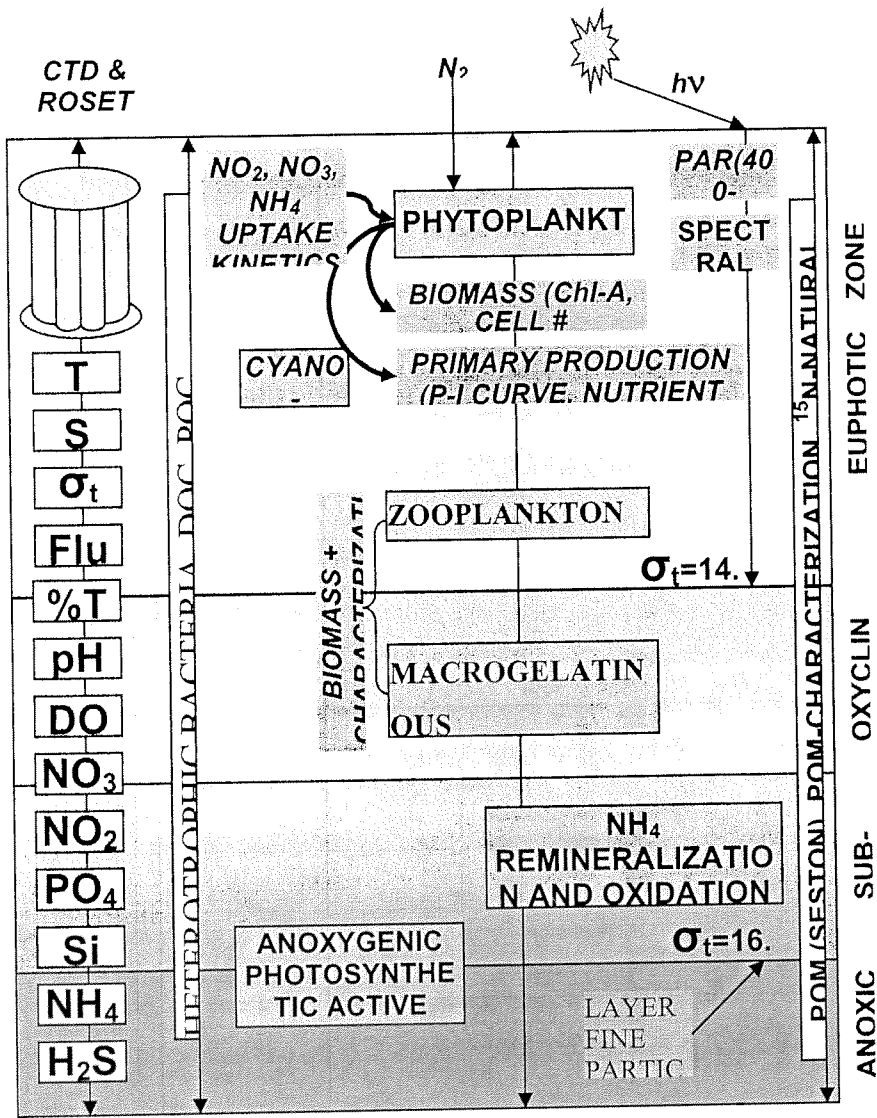
aerosollerin miktarının uzay ve zaman dağılımlarının çıkarılmasıdır (Husar ve diğ., 1997; Herman ve diğ., 1997; Stegman ve Tindale, 1999). Moulin ve diğ. (1997) uydu verilerini kullanarak Afrika tozlarının kuzey Atlantik ve Akdeniz üzerine taşınımını klimatolojik zaman ölçeğinde göstermişlerdir. Yine aynı grubun uzaktan algılama verilerini kullanarak yayınladıkları bir diğ. çalışmada ise Afrika tozlarının ilkbahar aylarında yoğun olarak doğu Akdeniz'e yaz aylarında ise batı Akdeniz'e taşındığı gösterilmiştir (Moulin ve diğ., 1998).

Bu araştırma kapsamında Akdeniz'in biyojeokimyasal döngüleri üzerinde önemli rolü olabileceği varsayılan Sahra tozlarının uydu verileri ile tesbit edilmesi amacı ile Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) uydusu verilerinden türetilen Absorbing Aerosol Index (AAI) verileri kullanılacaktır. Bu uydudan elde edilen AAI verileri daha önce Sahra çölünden Atlantik Okyanusu üzerine uzun menzilli taşınım ile ulaşan çöl tozlarının tanımlanması için kullanılmıştır (Chiapello ve diğ., 1999; Chiapello and Moulin, 2002; Moulin and Chiapello, 2004). TOMS-AAI verileri Israelevich ve diğ. (2002) tarafından Akdeniz'e Sahra çölünden toz taşınımının gösterilmesi için kullanılmış fakat yer ölçümleri ile uzaktan algılama verileri doğrulanmamıştır. ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde 1991-2002 yılları arasında toplanan aerosol örneklerinde gerçekleştirilen yer ölçümlerden uydu verilerinin doğrulanması için faydalanılmıştır.

## **2. Gereç ve yöntem**

### **2.1. Biyojeokimyasal Dönüşümler**

Besin zincirinin alt basamaklarını oluşturan canlı grupları, işlevleri ve ölçülen biyojeokimyasal parametreler Şekil 1'de gösterilmiştir. Örnekleme stratejisi, Karadeniz'in çok katmanlı su kolonu yapısına göre belirlenmiştir.



Şekil 1. İşlev tabanlı çalışmalar ve Karadeniz için biyojeokimyasal parametrelerin örneklenme stratejisi

### 2.1.1. Karadeniz'de Suboksik/Anoksik Arayüzünde Redoksa Bağlı Tepkimeler Üzerine Çalışmalar (09 -17 Eylül 1999)

Yapılan Deneyleler:

**Hız Deneyleri Serisi-I:** (Özden Baştürk ve Oğuz Yiğiterhan ODTÜ-DBE/TÜRKİYE)

**Amaç:** Sub-oksik tabakanın farklı tabakaları içinde  $H_2S$  çekilme hızları üzerine  $NO_3$ 'ün etkisini test etmek. Bu görev argon gaz ortamı altında su karışımı doldurulmuş reaktör içinde gerçekleştirildi. Bu deneylerde tanecikli  $FeS(s)$ ,  $FeS_2(s)$  ve  $MnS(s)$  formlarında metallerin katkısı ve 16.50 yoğunluk yüzey sularında mevcut amonyak toplam hız sabitleri ayrıca dikkate alındı.

**Hız Deneyleri Serisi-II:** (J. Murray ve A. Callahan, Washington Üniversitesi, ABD)

**Amaç:** Sub-oksik (SOL) tabakasından anoksik tabakasına veya yalnız  $NO_3$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $NH_4^+$  maksimum, veya  $NO_3 + Mn^{2+}$  maksimum veya  $NO_3 + NH_4^+$  her ikisinin maksimum olduğu derinliklere kadar su örnekleri toplamak.

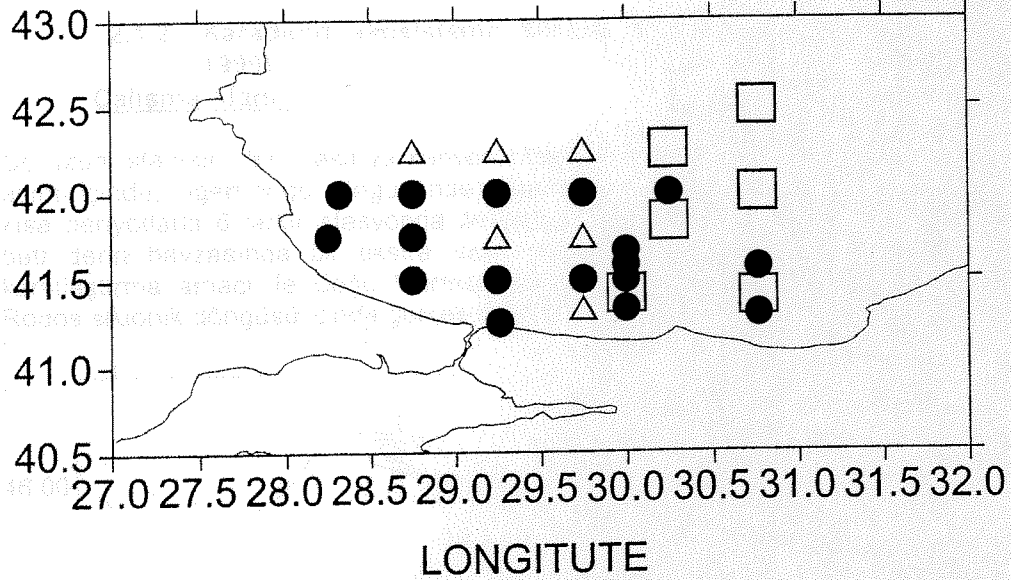
Bazı deneyler bakteri zehirlenmesini içermektedir. Zaman serisi deneyleri  $NO_3$ ,  $NH_4^+$  ve  $Mn^{2+}$  konsantrasyonlarında zamana bağlı değişimleri takip etmek suretiyle yapıldı.

**Deney serileri-III:** (A. Romanov, MHI, UKRAYNA)

**Amaç:** Ana vazife İodometrik titrasyon metodu ile  $H_2S$ 'ün yüksek çözünürlükte dikey profillerini ve spektrofotometri ile yüzeyden 300 metre derinliğe kadar ( $> 16.50$  su yoğunluğu)  $NH_4^+$  ve  $SiO_2$ 'nin detaylı ölçümlerini elde etmek.

**Çalışma Alanı:**

Kıyasal çalışmalar için Sakarya Kanyon bölgesi, açık deniz çalışmaları için ise batı döngüsü seçildi (Şekil 2).



Şekil 2. R/V Bilim Ağustos 1999 Seferi, Ayak-1 09-17 Eylül 1999 istasyon lokasyonları. □ : Hız deneylerinin yapıldığı istasyonlar, •: Hidrokimyasal ölçümlerin yapıldığı istasyonlar, Δ: CTD ve 10 metrede besin tuzları verilerinin toplandığı istasyonlar.

**Ölçülen Parametreler:**

Aşağıdaki parametreler çalışma alanının hidrografik ve kimyasal özelliklerinin tanımlanması amacıyla eşzamanlı olarak belirlendi (16.5 metre derinliğe kadar yoğunluk yüzeyi).

Tuzluluk	$H_2S$
Sıcaklık	Çözünmüş Oksijen
Yoğunluk	pH
Mn (II)	
Besin Tuzları ( $NO_3$ , $NO_2$ , $NH_4$ , $PO_4$ , Si)	

**Kinetik Çalışmalar İçin Yapılan Deneylerin Hedefleri:**

- 1-  $NO_3$  iyonlarının  $H_2S$  çekilme hızları üzerindeki rolunu anlamak:
- 2- Bir katalizör olarak indirgenmiş mangan iyonlarının  $H_2S$  çekilme hızları üzerindeki rolünü anlamak

ve ayrıca,

3- Anoksit arayüzde ( $DO < 1.0 \mu M$ ) meydana gelen birleşmiş biyotik ve abiyotik proseslerin bir sonucu olarak kıyı sularında ve açık denizde olan  $H_2S$  çekilme hızlarını hesaplamak.

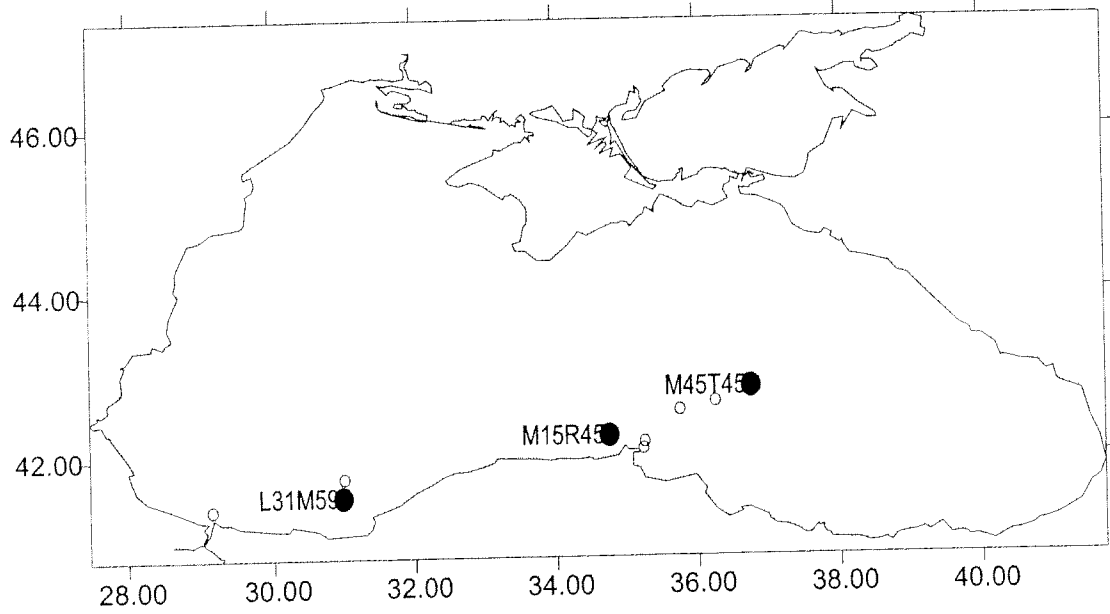
4- Yukarıdaki hedeflerin uygulanması için 16.5 yoğunluk tabakası derinliğinden alınan sülfite dayanımlı su örnekleri argonla yıkanmış tank içinde suboksik/anoksik arayüzden alınan oksijence fakir su ile karıştırıldı ve karıştırılmış örneklerde  $15 \mu M$ 'in nihai konsantrasyonunu elde etmek için  $NO_3$  eklendi.

5- Zaman aralıkları (dakika) ile gerçekleştirilen  $H_2S$ ,  $NO_2$ ,  $NO_3$  ve  $Mn(II)$ 'nin zaman serileri eklenen figürlerde gösterilmiştir ve ölçümler reaksiyondan 4 saat sonra sonlandırılmıştır.

### 2.1.2. Karadeniz ekosistemi: Sürece bağlı çalışmalar (22-30 Eylül 1999)

#### Çalışma Alanı:

Üç uzun istasyon (biri Sakarya kanyon bölgesinde, biri Sinop'un batısında ana akıntı içinde, diğeri doğu döngüsünde) ziyaret edildi. R/V Bilim Araştırma gemisi kısa periyotlarla 6 farklı istasyonda örnekleme yaptı (Şekil 3). 3. ayak boyunca batı derin havzasında bir ekstra uzun istasyon yapıldı. Benzer bir çalışma karşılaştırma amacı ile Doğu Marmara baseninde ve Kuzey Doğu Akdenizde Rodos siklonik döngüsü içinde gerçekleştirildi.



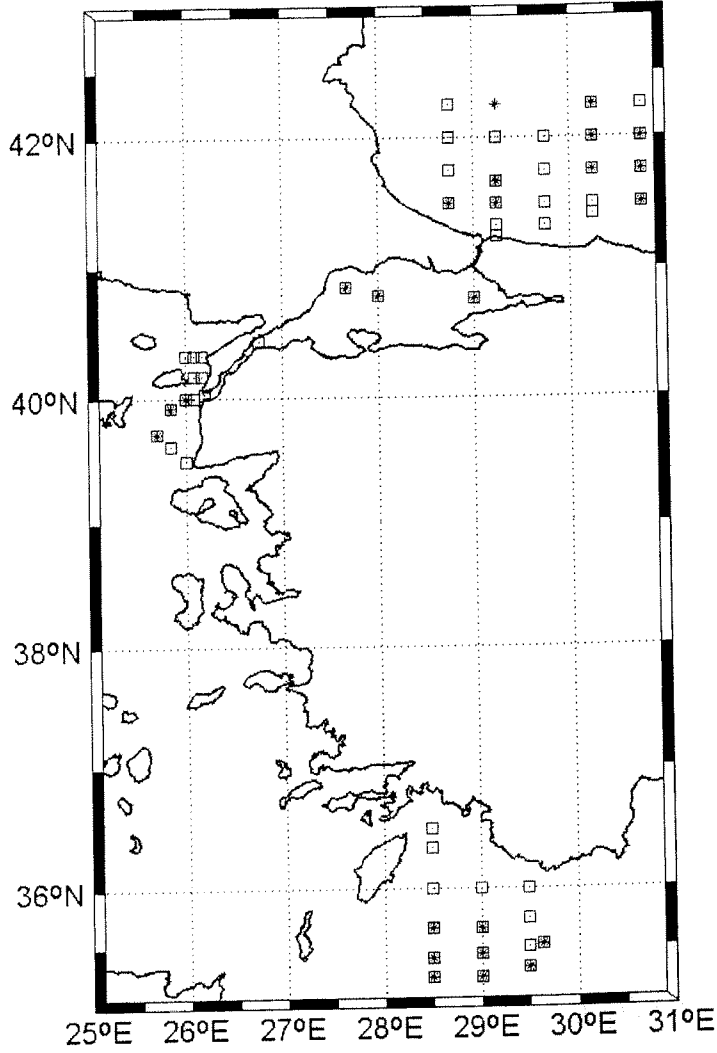
Şekil 3 R/V Bilim araştırma gemisi Ağustos 1999 seferi, 2. ayak istasyonları. (Dolu semboller: Uzun istasyonlar, Açık semboller: Kısa istasyonlar)

#### Ölçülen Parametreler:

Besin zincirinin alt basamaklarını oluşturan canlı grupları, işlevleri ve çalışılan süreçler Şekil 1'de gösterilmiştir. Sürece bağlı çalışmalar için ölçülen parametreler de yine şekilde gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi örnekleme stratejisi, Karadeniz'in çok katmanlı su kolonu yapısına göre belirlenmiştir.

2.1.3. Karadeniz'de, Marmara Denizi'nde, Ege Denizi'nde ve Doğu Akdeniz'de SeaWiFS için biyo-optik ve bölgesel algoritim gelişmesi

Çalışma Alanı:



Şekil 4. R/V Bilim araştırma gemisi Ağustos 1999 seferi 3. ayak boyunca örnekleme yapılan istasyonlar.

- Standart oşinografik istasyonlar
- \* Optik ölçümlerin yapıldığı istasyonlar

Araştırma Aktiviteleri ve yapılan çalışmalar:

Sefer süresince, 53 oşinografik istasyon (25 optik) ziyaret edilmiştir; Karadeniz' de 23 (10 optik), Marmara Denizi'nde 3, Ege Denizi'nde 12 (3 optik), Akdeniz'de 15 (8 optik; Şekil 4).

Hat boyunca yapılan çalışma su kolonu boyunca planktonun volume backscatterinin akustik ölçümlerini, atmosferik saydamlık ve su yüzeyindeki yansımaya içermektedir.

Geminin ADCP ünitesi geminin altında su akıntı profilinin sürekli ölçümü için kullanıldı. Sefer boyunca yakın gerçek-zamalı SeaWiFS görüntüleri SIMBIOS Projesi tarafından sağlandı.

### **Veri toplama ve ölçülen parametreler:**

### **Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Parametreler:**

CTD (Sıcaklık, Tuzluluk, Yoğunluk)  
Işık Geçirgenliği  
Yerinde ölçülen flüoresans  
Toplam asılı çökelti  
Çözünmüş oksijen ve Hidrojen Sülfid  
Çözünmüş besin tuzları (NO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub>, Si)  
Klorofil-a ve Phaeopigmentler  
Fitoplankton tarafından yapılan emilim  
Detritus tarafından yapılan emilim  
Çözülebilir materyal tarafından yapılan emilim  
Siyanobakteri (*Synechococcus* sp.)  
Fitoplankton  
Zooplankton

### **Akustik:**

Akustik veriler Ekim 1999'da su yüzeyinin hemen altında çekilen ve 200-120 kHz arasında değişen çift hüzmeli transducerslar ile toplanmıştır (bknz Mutlu 2005).

### **Optik Ölçümler:**

Water-leaving Radiance  
Güneşsel İletim  
Aerosol Optical Thickness  
Yansıma  
Spektral Işık İletimi (Su kolonunda)  
Aşağı ve yukarı yönde spektral parlaklık (Su kolonunda)  
PAR (Fotosentetik Aktif Işıma) (Su kolonunda)

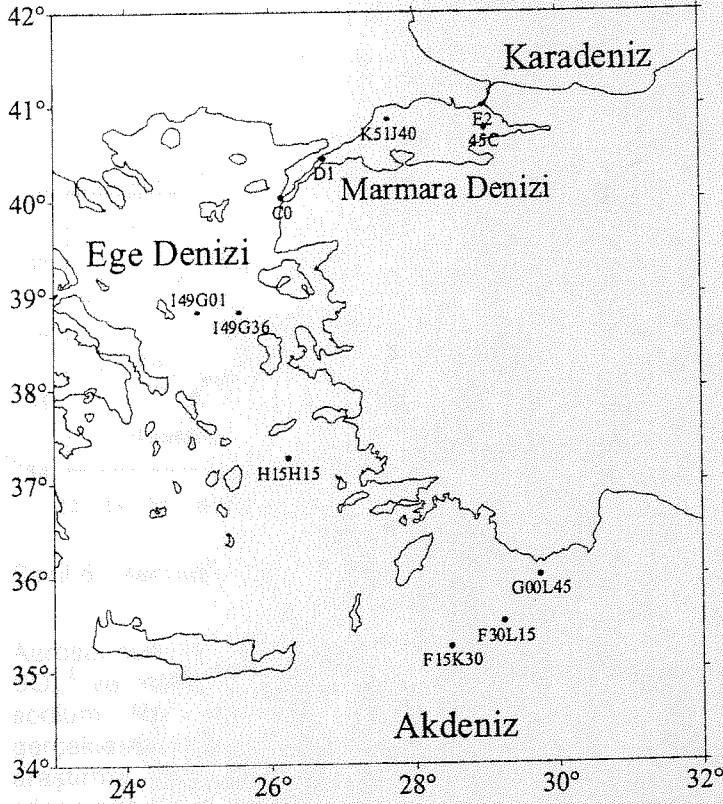
## **2.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları**

Proje (ÇAYDAG 199Y122) kapsamında Marmara, Ege ve Akdeniz'de (Şekil 5), ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne ait R/V Bilim gemisi ile Ekim 2000'de sefer gerçekleştirilmiştir. Sefer süresince istasyonlarda Biyolojik parametrelerden Cyanobakteri (*Synechococcus* sp), ve fitoplankton örnekleri toplanmıştır. Aşağıda örneklerin nasıl toplandığı, güvertede işlendiği ve laboratuvar analizleri hakkında bilgi verilmektedir.

### **2.2.1. Cyanobakteri**

Cyanobakteri sayımları için su örnekleri CTD probu bağlı Rozet örnekleyici aracılığı ile farklı derinliklerden alınmıştır. 50 ml'lik koyu renkli polyetilen şişelere doldurulan sudan gereksinime göre 10 veya 20 ml'si 25 mm çaplı, 0.2 mikrometre göz açıklığı, siyah, polikarbonat, nuklepor membran filtreler üzerine zaman

geçirilmeden süzölmüştür. Filtre daha sonra lam lamel arasına immersiyon yağı ile sabitleştirilmiştir. Hazırlanan preparatlar lam kutusu içinde yatay konumda derin dondurucuda sayımlara kadar saklanmıştır. Laboratuvarında sayımlar Nikon epifluoresan mikroskop ile 1500 büyütmede B-2A (DM 505, EX 450-490, BA 520) ve G-1A (DM 575, EX 546/10, BA 580) filtre kombinasyonlarında gerçekleştirilmiştir. Hücre sayımları rastgele en az 40 görüş alanı incelenerek yapılmış olup sonuçlar litrede hücre sayısı olarak verilmiştir.



Şekil 5. Marmara, Ege ve Akdeniz'de örnek toplanan istasyonlar.

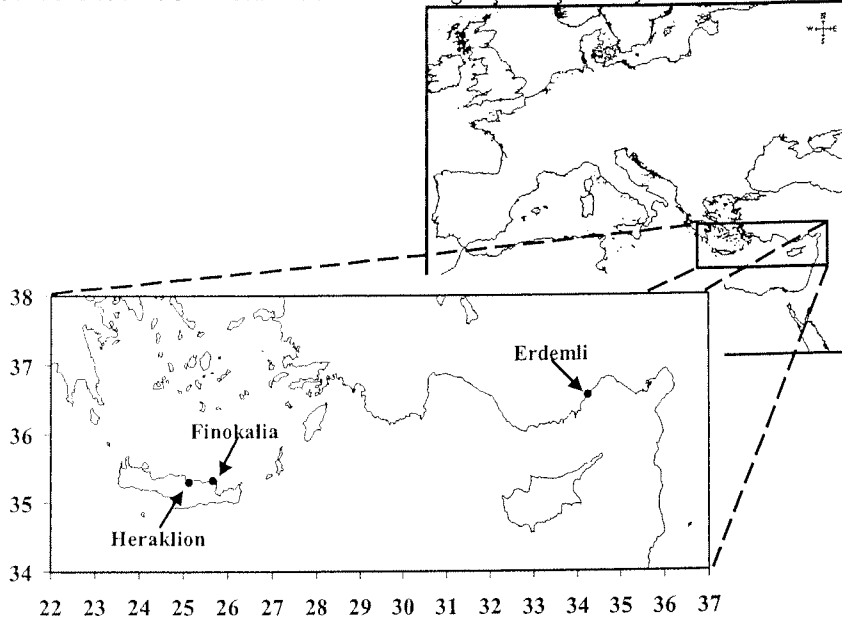
### 2.2.2. Fitoplankton

Fitoplankton analizleri için su örnekleri CTD probu bağlı Rozet örnekleyici aracılığı ile farklı derinliklerden alınmıştır. Su örnekleri 1 litrelik koyu renkli cam şişelere doldurulmuş ve sonuç konsantrasyonu 2.5% olacak şekilde %31'lik tamponlanmış formaldehit ile tespit edilmiştir. Şişeler etiketlenerek laboratuvarında 3-4 hafta süresince hücrelerin dibe çökmesi için beklemeye bırakılmıştır. İnce plastik borular aracılığı ile, tabanda yaklaşık 40-50 ml su kalacak şekilde, üst kısımdaki su sifonlanmıştır. Küçük şişelerde tekrar 2-3 hafta çöktürmeye bırakılan örnekler sonuçta 10-15 ml kalacak şekilde üzerlerinden şırınga ile alınarak yoğunlaştırılmıştır. Hücre tanımlama ve sayımları Nikon ters mikroskop altında 2 ml hacimli sayma kamerası kullanılarak yapılmıştır.

### 2.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri

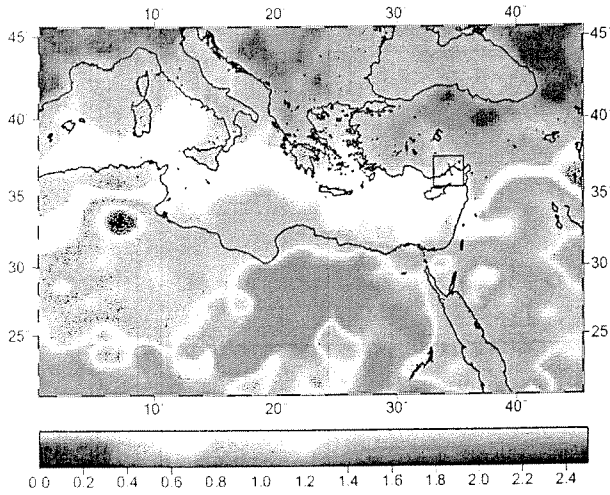
Bu araştırma kapsamında Erdemli ve Girit adasında toplanan aerosol ve yağmur numunelerinde gerçekleştirilen analizlerin sonuçları tartışılacaktır. İstasyonların konumu Şekil 6 de gösterilmiştir. Numuneler 1996-2000 dönemi arasında eşzamanlı toplanmıştır. Yağmurlar otomatik yağ çökeltme örnekleyicisi ile her yağış ayrı toplanmıştır. Aerosol numuneleri ise günlük olarak filtre kağıtları

üzerine pompalar ile örneklenmiştir. Erdemli de toplanan yağmur numunelerinin besin tuzu (nitrat ve fosfat) analizleri Enstitü laboratuvarında bulunan Oto Analizör cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Toplanan aerosol numunelerinin analizleri ise bilimsel işbirliği kapsamında Enstitümüz doktora öğrencisi tarafından Girit Üniversitesindeki deki laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6. Aerosol ve yağmur numunelerinin toplandığı istasyonlar.

Aerosol numunelerinde suda çözülebilen anyon (nitrat,  $\text{NO}_3^-$ , fosfat,  $\text{PO}_4^{3-}$ , sülfat,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve metan sülfonik asit,  $\text{MSA}^-$ ) ile katyon (sodyum,  $\text{Na}^+$ , kalsiyum,  $\text{Ca}^{+2}$ , sodyum,  $\text{Na}^+$ , ve amonyum,  $\text{NH}_4^+$ ) analizleri Lyon Kromatografisi cihazı ile gerçekleştirilmiştir. 21 yıllık (1979-1992 ve 1996-2002) TOMS-AAI verileri bu araştırma kapsamında kullanılmıştır. Veriler kullanıma açık olan internet sitesinden (<http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpimage/v8.html>) indirilmiştir. Bu verilerin Nisan ayı için 21 yıllık ortalama dağılımı Şekil 7'de sunulmuştur. Şekil üzerinde kare şeklinde gösterilen bölgeye düşen TOMS-AAI verilerinin ortalaması alınarak Erdemli'deki yer ölçümleri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Yirmi bir yıllık ortalama Nisan ayı TOMS-AAI dağılımı.



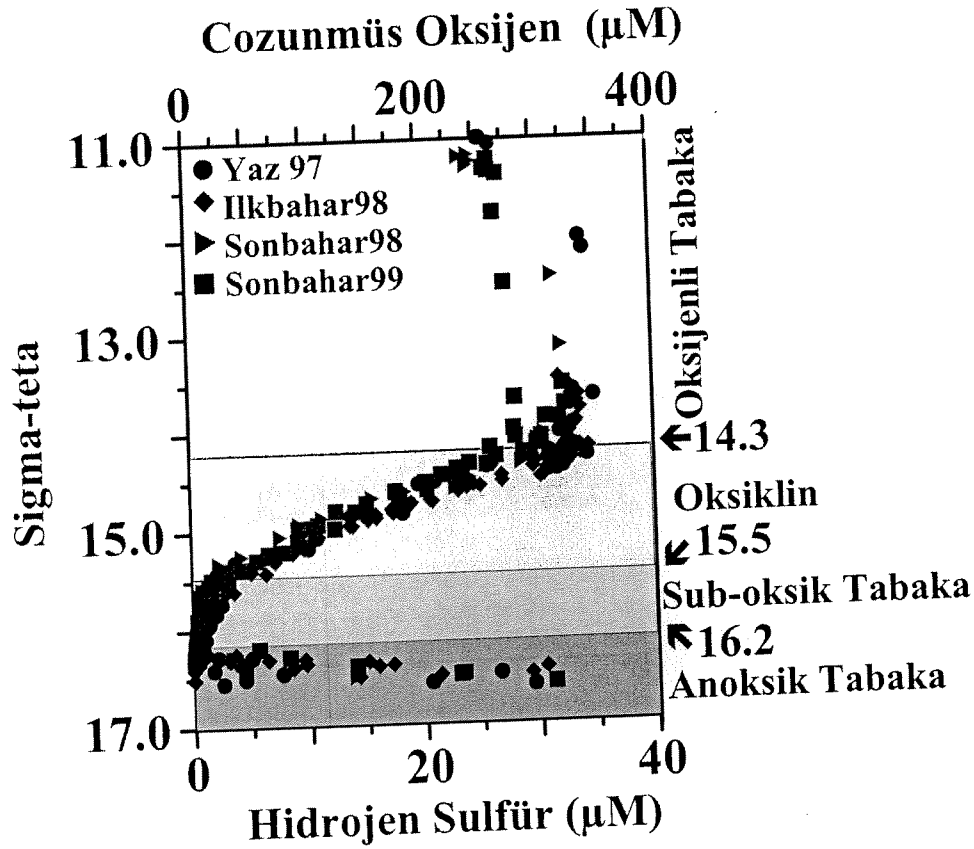
TOMS verilerinden hesaplanan aerosollerin optik kalınlığı (AOT) verilerinin yer ölçümleri ile doğrulanması için AERONET (Aerosol Robotic Network) ölçüm ağına dahil olan Enstitüde bulunan güneş fotometresi cihazının ölçümlerinden faydalanılmıştır. Bu ölçümler kullanılarak doğu Akdeniz'e Sahra çölü tozu taşınımı ve doğu akdeniz aerosollerinin optik özellikleri daha önce gösterilmiştir (Kubilay ve diğ., 2003). Uydu verilerinin doğrulanması için kullanılan yer ölçümleri ODTÜ-Deniz Bilimleri kampüsünde bulunan atmosferik örnekleme kulesinden Ağustos 1991 – Aralık 1992, Ocak 1996-Mayıs 1997, Şubat 1998-Mayıs 2000 ve Ocak 2001-Aralık 2001 dönemlerinde toplanmıştır. Örnekleme yöntemi ve laboratuvar analizleri daha önce yayınlanmış makalelerde detaylı olarak anlatılmış olduğu için burada tekrarlanmayacaktır (Kubilay ve Saydam, 1995; Kubilay ve diğ., 2000; Koçak ve diğ., 2004).

### 3. Bulgular ve tartışma/sonuç

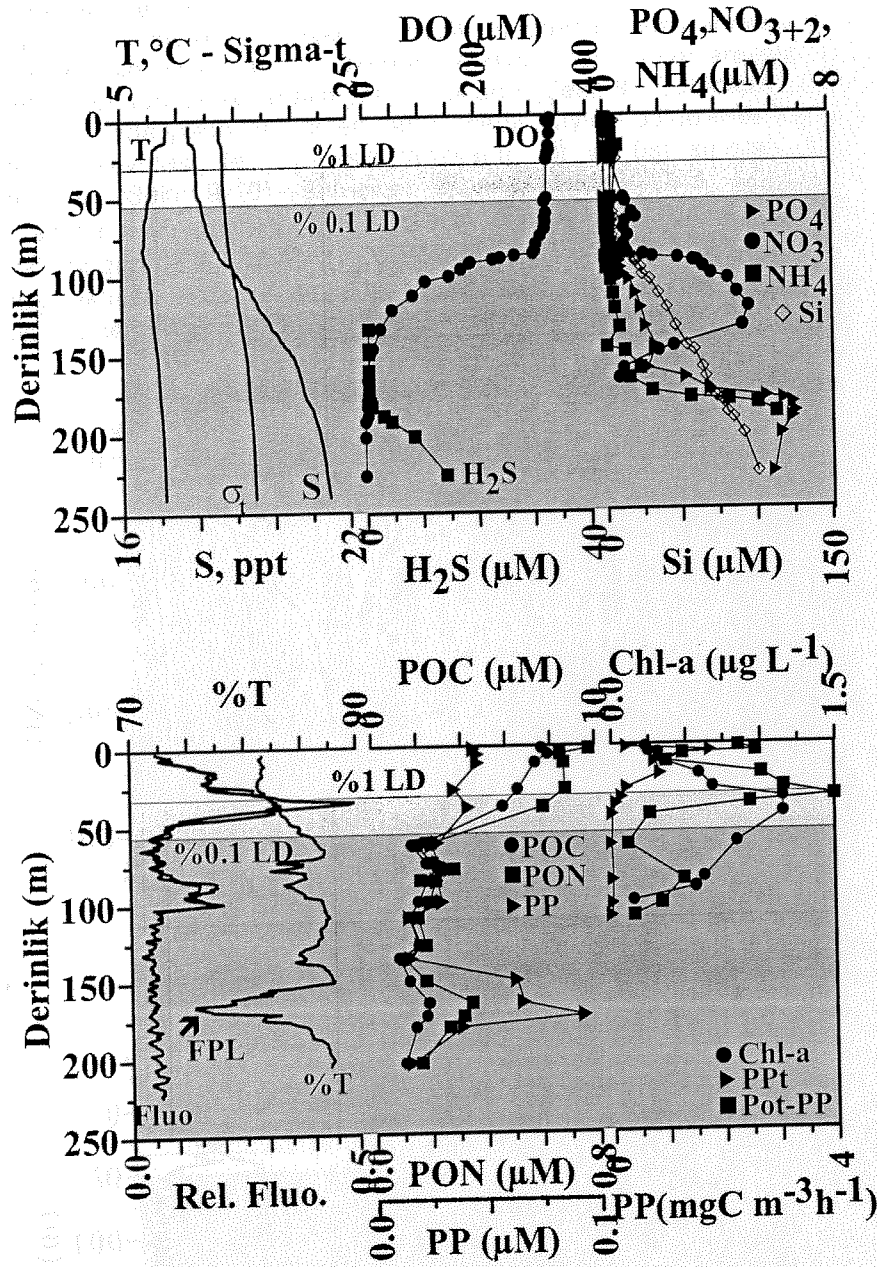
#### 3.1. Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler

##### 3.1.1. Karadeniz

Karadeniz'de  $\text{CO-H}_2\text{S}$  düşey dağılımı çok tabakalı bir yapı göstermektedir (Şekil 8). Bu tabakaların alt ve üst sınırları bölgelere ve zamana göre farklı derinliklerde yer almalarına karşın eş yoğunluk eğrilerini takip etmektedir (Şekil 8 ve 9-10).



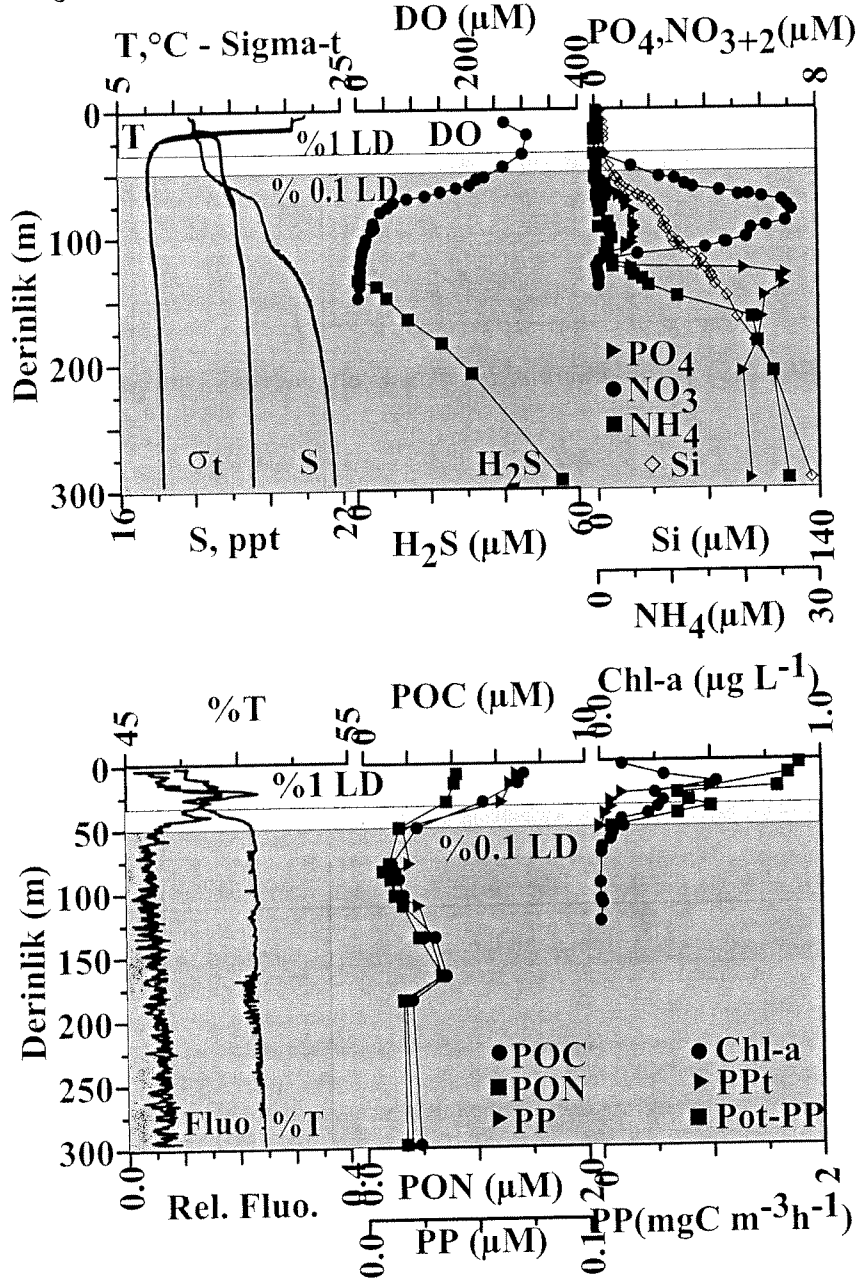
Şekil 8. Karadeniz'de çözünmüş oksijen ve hidrojen sülfürün su kolonunda düşey dağılımı. Bulgular 1997-1999 dönemini kapsamaktadır.



Şekil 9. Orta Karadeniz'de kıyı akıntısı (Rim Current) içerisinde yer alan bir istasyonda (İst. M15R45; 42°15' N ve 34°45' E), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

Oksijenli yüzey tabakası ortalama  $300 \pm 75 \mu\text{M}$  konsantrasyonunda  $\text{CO}_2$  içermektedir ve su kolonunda atmosfer ve/veya fotosentez kaynaklı oksijenin taşınımı  $\sigma_t = 14.3 \pm 0.1$ 'a kadar etkili olabilmektedir. Bu yoğunluk düzlemi genellikle ışıklı tabakanın alt sınırı ile çakışmaktadır. Karışımın haloklinin üst sınırına kadar etkin olduğu kış ve ilkbaharın ilk aylarında  $\text{CO}_2$  profili bu tabakada homojen bir dağılım gösterirken (Şekil 9) mevsimsel tabakalaşmanın (termoklinin) gözlemlendiği yaz ve sonbahar aylarında, yüzey altında (20-40m'de), genellikle floresans ve klorofil-a maksimumlarıyla çakışan  $\text{CO}_2$  maksimumu gözlenmektedir (Şekil 10). Işıklı tabakanın veya kış koşullarında haloklinin başlangıç derinliğinin altında oksijen derişimi hızla azalarak su yoğunluğunun  $15.5 \pm 0.1$  olduğu derinliklerde dramatik seviyelere (20-30 $\mu\text{M}$ ) düşmektedir (Şekil 8-10). Bu ani düşüşün (oksiklin

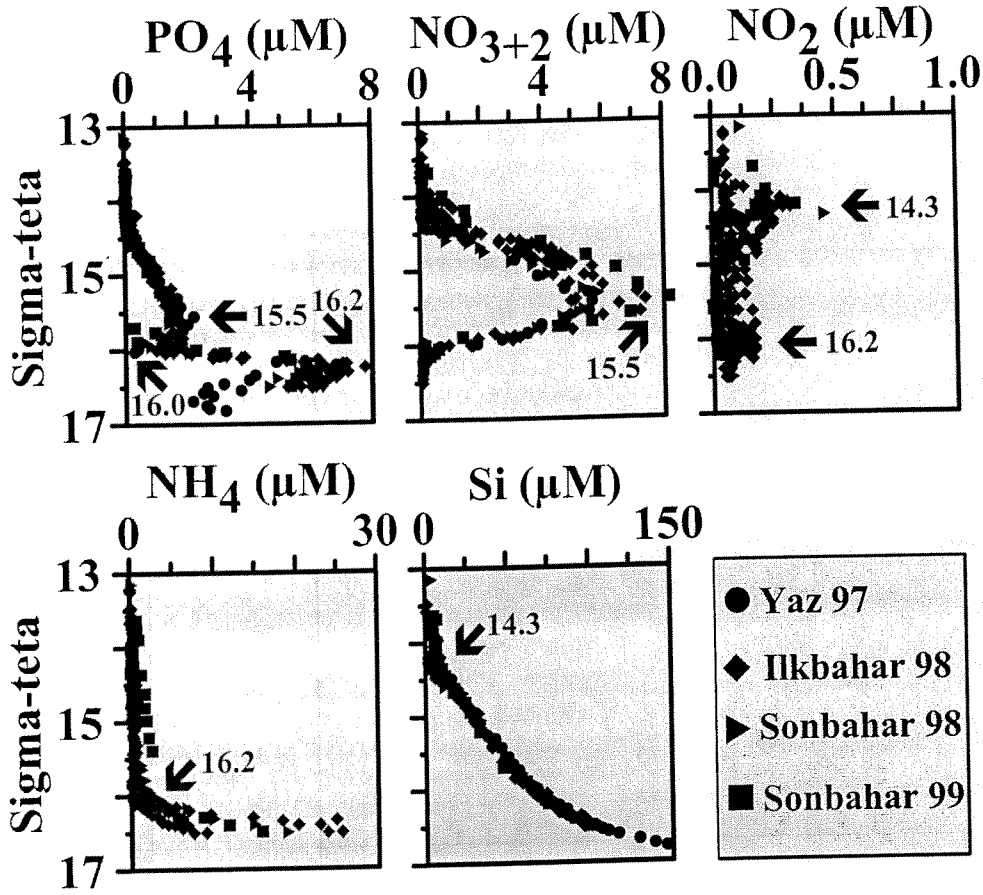
tabakası) temel nedeni, haloklin içine karışım ve difüzyon yoluyla ÇO girdi hızının, bu tabakaya çöken organik maddenin parçalanması için gerekli ÇO miktarından az olmasıdır. Oksiklin ile H<sub>2</sub>S'li derin sular arasında oksijence çok fakir olan sub-oksik tabaka yer almaktadır (Şekil 8). Sub-oksik tabaka, açıklarda yüzeye daha yakın ve kısmen daha incedir. Kıyısız bölgelerde ise haloklinin daha derine kayması ile sub-oksik tabakanın alt ve üst sınırları daha derinlerde gözlenir (Şekil 9-10). Sub-oksik tabaka içinde ÇO'nin azalma hızı oldukça düşüktür. Su yoğunluğunun 15.5±0.1 olduğu derinliklerde ÇO=20-30 µM iken yoğunluğun 15.9-16.0'ya yükseldiği derinliklerde 5 µM sınırının altına düşmektedir. Hidrojen sülfürlü suların başladığı ve su yoğunluğunun,  $\sigma_t=16.2$  olduğu derinliklerinde ise oksijen tamamen tükenmektedir (Şekil 8-10).



Şekil 10. Karadeniz'de Doğu siklonu içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (İst. M45T45; 42°45' N ve 36°45' E), Eylül 1999 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

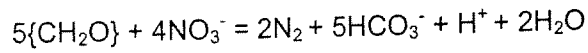
Sub-oksik geçiş tabakasının st sınırından başlayarak sülfürlü tabaka içine kadar kadar uzanan su kolonunda suyun redoks potensiyelinde (pE) arpıcı bir düşüş gözlenmektedir. Sub-oksik tabakasının varlığı 1980'li yıllardan beri bilinmektedir (Tuğrul ve ark., 1992; Saydam ve ark., 1993; Baştürk ve ark., 1994; Murray ve ark., 1995). 1960-1970 yılları arasındaki O bulguları 1980'den sonra elde edilen bulgularla karşılaştırıldığında, geçmişte "oksiklin" in daha geniş ve sub-oksik tabakanın daha ince olduğu olduğu belirlenmiştir (Murray ve ark., 1989;1995; Tuğrul ve ark., 1992; Baştürk ve ark., 1997; Konovalov ve Murray, 2000). Haloklin altındaki derin sulara oksijen girdi hızı havalı ortam bakterilerinin oksijen ihtiyacını karşılayamadığı için derin sulara oken katı organik maddenin parçalanması azot ve sülfür bakterileri vasıtasıyla önce sub-oksik tabakada nitratın daha sonra anoksik tabakada sülfatın indirgenmesi yoluyla olmaktadır. Bunun sonucu olarak, günümüz Karadeniz ekosisteminde hidrojen sülfürlü suların başlangıç sınırı, sürekli haloklinin alt sınırı ile çakışmakta ve genel olarak siklonik döngülerin hakim olduğu açık sularda 90-110m, kıyılarda ise daha derinlerde, 150-180m'de (şekil 9-10) yer almaktadır. Ancak, H<sub>2</sub>S'li suların başladığı derinliklerdeki suyun yoğunluğu dikkate alındığında (şekil 8), bu tabakanın st sınırının her zaman su yoğunluğunun  $\sigma_t=16.2$ 'ye ulaştığı derinliklerde başladığı belirlenmiştir (Tuğrul ve ark., 1992; Baştürk ve ark., 1994, 1997; Murray ve ark., 1995). Bu sınırın altındaki su kolonunda H<sub>2</sub>S derişimi sigma-theata ile uyumlu bir şekilde artmaktadır (şekil 8-10).

Karadeniz'de nehir etkisi dışında kalan alanların yüzey sularında azot ve fosfor derişimi oldukça düşüktür (şekil 9-11). Son 15 yılın ortalama değerleri, geçmiş bulgularla karşılaştırıldığında sistemli azalma ya da artış eğiliminin olmadığı görülmüştür (Tuğrul ve ark., 1992; Murray ve ark., 1995; Yılmaz ve ark., 1998a). Açık sularda genellikle 0.07-0.3  $\mu$ M aralığında değişen nitrat değerleri, kıyıda 0.5-0.8  $\mu$ M seviyesine kadar ve nehirlerin döküldüğü delta bölgelerinde, rneğin Tuna nehri ağzında, 6-8  $\mu$ M'a (Cociasu ve ark., 1996) kadar yükselmektedir. Kıyılarda yüksek derişimde nitrat iyonlarının varlığı Karadeniz'i besleyen nehir sularında NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>/PO<sub>4</sub> oranının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tuna nehrinde bu oran 1960'lı yıllarda 11.7 gibi bir değerden 1990'lı yıllarda 22-33 gibi oldukça yüksek değerlere (Cociasu ve ark., 1996) ulaşmıştır. Bu nedenle, kıyı suları üretiminde fosfat sınırlayıcı elementtir. Siklonik döngülerin hakim olduğu açık sularda ise oksijence fakir ara tabakada 6-8 arasında değişen NO<sub>3</sub>/PO<sub>4</sub> oranı dikkate alındığında, bu suların nitrat iyonlarıncı oldukça fakir olduğu anlaşılmaktadır. Bu eksikliğin temel nedeni, bu tabaka nitratının denitrifikasyon bakterilerince sürekli tüketilmesidir. Açık yüzey sularının NO<sub>3</sub>/PO<sub>4</sub> oranı ise 1-5 arasında değişmektedir. Bu nedenlerle açık deniz alanlarında fotosenteze dayalı fitoplankton üretimi nitratça sınırlanmaktadır. Karadeniz'e toplam tatlı su girdisinin %70'ini oluşturan Tuna nehrinden gelen reaktif silikat derişiminde 1970'li yıllarda baraj açılmasını takiben günümüze kadar 2/3 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir (Humborg ve ark., 1997). Bunun sonucunda Karadeniz yüzey sularında silikatın %60 oranında azaldığı gözlenmiş ve bu azalma fitoplankton kompozisyonlarında 1990'lı yılların başında dramatik değişimlere (diatom ağırlıklı populasyonlardan coccolithophore ve flagellate ağırlıklı populasyonlara geçiş) neden olmuştur (Humborg ve ark., 1997). Ancak 1998'li yıllardan sonra biyo-çeşitlilikte dengelenme sağlanmıştır (Eker ve Kideyş, Yayınlanmamış bulgu).

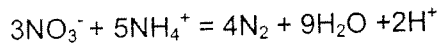


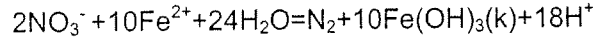
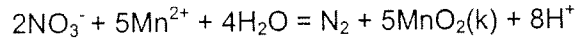
Şekil 11. Karadeniz'de besin tuzlarının basen bazında ve 1997-1999 dönemi için düşey dağılımı. Düşey skalada derinlik yerine sigma-teta kullanılmıştır ve grafiklerde oklarla işaret edilen değerler özel sigma-teta düzlemlerini göstermektedir.

Oksiklin tabakası içerisinde oksijen hızla azalırken, organik maddenin bakterilerce parçalanması nedeniyle  $\text{NO}_3$  ve  $\text{PO}_4$  derişimlerinde belirgin bir artış gözlenmekte ve maksimum değerlere ( $\text{NO}_3 = 6-8\mu\text{M}$  ve  $\text{PO}_4$  birinci maksimumu =  $2\mu\text{M}$ ) sub-oksik tabakanın üst sınırında ve  $\sigma_t = 15.5$ 'de, ulaşılmaktadır (Şekil 9-11). Sub-oksik tabaka içinde ise organik madde parçalanması,  $\text{NO}_3$  iyonlarını oksijen kaynağı olarak kullanan heterotrofik bakterilerce gerçekleştirildiğinden nitrat derişimi hızlı bir düşüş göstermektedir. Denitrifikasyon olarak bilinen bu proseste gözlenen reaksiyon:



$\sigma_t = 16.1-16.2$ 'den büyük yüzeylerin altında ise  $\text{NH}_4$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  ve  $\text{Mn}^{2+}$  konsantrasyonları derinlikle artan bir eğilimdedir ve bu bileşenler üst su kolonunda ve nitrifikasyon reaksiyonlarının yürüdüğü tabakada hızla kullanılmaktadır (Şekil 9-10). Bu derinlikte ve  $\sigma_t = 14.3$  derinliğinde  $\text{NO}_2$  maksimumlarının gözlenmesi  $\text{NO}_2$ 'nin nitrifikasyon ve aşağıda gösterilen denitrifikasyon reaksiyonlarında ara ürün olarak ortaya çıkmasıyla ilgilidir (Şekil 11).





$\text{NO}_3$  maksimumu,  $\text{PO}_4$  minimum ve maksimumları kıyıda daha derinlerde, açık sularda yüzeye daha yakın olup, sub-oksik suların alt ve üst sınır derinlikleri ile yakından ilişkilidir (Şekil 8-11). Bölgesel bazda farklı derinliklerde olan bu yapılar tüm basende aynı yoğunluk düzlemlerinde yer alırlar (Şekil 11).  $\text{NO}_3$  profilleri Karadeniz boyunca sub-oksik/anoksik geçiş tabakasında her zaman azalan bir değişim gösterirken, siklonik döngü alanlarında  $\sigma_t = 16.0$  derinliğinde  $\text{PO}_4$  minimumu gözlenmektedir (Şekil 10). Ancak yatay akıntıların kuvvetli olduğu kıyısız kuşakta söz konusu minimum gözlenmemektedir (Şekil 9). Nitrat iyonlarının çok düşük derişime indiği sülfürlü suların üst sınırında ise farklı redoks etkileşimleri sonucu  $\text{PO}_4$  derişimi çok ince bir tabaka içerisinde hızlı bir artış göstererek 4-8  $\mu\text{M}$ 'a kadar çıkarak ikinci maksimumunu oluşturmaktadır. Bu ani artışın nedeni, bu iyonların Fe-, Mn-oksitlere tutunarak sülfürlü sulara katı fazda taşınması ve metal oksitlerin sülfürlü sularda indirgenmesi neticesinde katı fazdan ayrılarak tekrar sulu faza geçmesi sırasında birikim göstermesidir (Shaffer, 1986).  $\text{NO}_3$  iyonlarının artık bulunmadığı  $\text{H}_2\text{S}$ 'li suların üst derinliklerinde  $\text{PO}_4$  profili önce azalan daha sonra da derinlikle tekrar artan bir profil görüntüsü vermektedir. Anoksik sularda yaşayan havasız ortam bakterilerinin organik madde ayrıştırmasını  $\text{SO}_4$  iyonlarını indirgemesi yoluyla gerçekleştirmesi nedeniyle açığa çıkan  $\text{NH}_4$  ve  $\text{H}_2\text{S}$  alt sularda ( $\sigma_t > 16.2$ ) birikime uğramaktadır. Anoksik sularda tabana doğru inildikçe bu parametrelerin sudaki derişimi düzgün şekilde artar (Şekil 9-11) kendi aralarında uyumlu derinlik profilleri gözlenir (Murray ve ark., 1989; Codispoti ve ark., 1991) Reaktif silikat ise ışıklı tabakanın altında ( $\sigma_t > 14.3$ ) derinlikle düzenli bir şekilde artan bir yapı göstermektedir (Şekil 9-11).

Fotosentez ürünü olan partikül organik maddenin (POM) ana bileşenlerini oluşturan karbon (POC), azot (PON) ve fosfor (PP) derişimleri ışıklı tabakada göreceli olarak daha yüksektir (Şekil 9, Tablo 1). POM değerleri oksiklin içinde derinlikle azalmaktadır, bir başka anlatımla oksitlenmekte ve/veya çözülmüş organik maddeye dönüşmektedir (Karl ve Knauer, 1991). Oksik/anoksik sular arasındaki sub-oksik tabakada ise en düşük doğal seviyesine ulaşmaktadır. Suboksik/anoksik geçiş tabakası içinde ( $\sigma_t = 16.0-16.3$ ) POM derişimleri artış göstererek tekrar pik değerlere ulaşmaktadır (Şekil 9). Bu artışlar partikül fosfor profillerinde daha belirgindir. Bunun nedeni sülfürlü tabakaya geçişte çökme hızı düşük inorganik [ $\text{MnO}_2$  ve  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ] ve organik katıların, suda çözülmüş halde bulunan fosfatı dış yüzeylerinde adsorbsiyon yoluyla tutabilmesidir. Bunun sonucu olarak, ışıklı tabakada 11-16 arasında değişen PON/PP oranı, PP'nin tepe değerlere ulaştığı sülfürlü suların üst sınırında 4'e kadar düşerken POC/PP oranı da 110-160'dan 30-35'e kadar düşmektedir. Bu tür yapılar kıyısız alanlarda daha belirgin olarak gözlenmektedir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000).

Tablo 1. 1990-98 yılları arasında Karadeniz'de POM konsantrasyonunun su kolonunda değişimi (Çoban-Yıldız ve ark., 2000)

	Işıklı Tabaka	Sub-oksik Tabaka
POC ( $\mu\text{M}$ )	7-15	3-5
PON ( $\mu\text{M}$ )	0.7-1.5	0.2-0.3
PP ( $\mu\text{M}$ )	0.05-0.12	0.01-0.03

POM'un element kompozisyonu incelendiğinde N/P oranının açık deniz yüzey suları için 13-21 aralığında (ortalama=14.7) ve Redfield oranı (Redfield ve ark., 1963) ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğu belirlenmiştir. Ancak burada yüzey sularında NO<sub>3</sub>/PO<sub>4</sub> oranının çok düşük olması ve azotun sınırlayıcı besin elementi olması nedeniyle, fotosentetik üretimde çözünmüş organik azot (DON) kullanımı ve doğrudan moleküler azot (N<sub>2</sub>) alımının gerçekleştiğinden söz etmek gerekmektedir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000).

Işıklı tabaka derinliği (pratikte yüzeğe göre ışığın %1'e indiği derinlik) Karadeniz'de 20-35 m arasında değişmektedir ve fotosentetik üretim ve bağlı prosesler bu tabakada gerçekleşmektedir (Şekil 9-10). Klorofil-a ve floresans maksimumları (Chl-a = 1.5-2 µg L<sup>-1</sup>), genel olarak ışıklı tabakanın tabanında yer almakta ve %1 ışık derinliği ile çakışmaktadır (Şekil 9-10). Kış karışımının etkin olduğu ve üst su kolonunun sürekli yoğunluk tabakası derinliğine kadar homojen hale geldiği aylarda klorofil-a ve üretim parametreleri ışıklı tabaka boyunca homojen bir yapı göstermektedir. İlkbahar 1998 döneminde, Karadeniz'de kıyasal iki istasyonda ışıklı tabakanın çok altında ve ışığın en az düzeyde (<0.5 µE m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> veya yüzeğe göre <0.1% ışık seviyesinde) olduğu derinliklerde *Rhizosolenia* türlerinin yoğunlaşması ile (Eker ve Kıdeyş, *Yayınlanmamış bulgu*), nutriklin tabakasının hemen üzerinde ikinci bir klorofil-a maksimumu gözlenmiştir. Yüzeğe klorofili aylık ortalama değerleri dikkate alındığında 1990-96 yılları arasında Karadeniz'de kıyasal alanlarda 1-11 µg L<sup>-1</sup> aralığında, derin basende ise genelde 1 µg L<sup>-1</sup>'den düşük ancak fitoplankton patlama zamanlarında 2.5 µg L<sup>-1</sup>'ye yaklaşan değerler verilmektedir (Yılmaz ve ark., 1998b). Karadeniz'de 1997-98 döneminde yapılan birincil üretim ölçümleri en yüksek üretim hızlarının yaz ve sonbahar aylarında gözlendiğini göstermiştir ve bu çalışma dönemi için Karadeniz'de birincil üretim 62-785 mgC m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup> aralığında (Ortalama: 487±184 mgC m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup>) ölçülmüştür. Karadeniz'de birincil üretim (PP<sub>t</sub>), ışıklı tabakanın yüzeğe yakın kısımlarında (çoğunlukla ışığın % 10'a indiği derinliğe kadar) gerçekleşmektedir (Şekil 9-10). Nisan 1998 döneminde, ışığın çok az düzeyde indiği ve ikinci bir floresans ve klorofil-a maksimumunun gözlendiği derinlikte (Şekil 9) birikim gösteren fitoplanktonların fotosentez kapasitelerinin (potansiyel üretim, Pot-PP), yüzeğe popülasyonları ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Karadeniz'de, sub-oksik/anoksik geçiş tabakasında (σ<sub>t</sub> =16.2), fotosentetik aktif anaerobik bakterilerin karbon bütçesine katkılarının önemli düzeyde olduğu bilinmektedir (Repeta ve ark., 1991). Tüm biyojeokimyasal bulgulara toplu halde bakıldığında Karadeniz'de biyolojik aktivitenin anoksik tabakaya kadar devam ettiği, karbon döngüsünde fotosentetik ve mikro-biyolojik proseslerin bağlı olarak ve kimyasal ortamla iletişim içerisinde yürüdüğü gözlenmektedir.

Tablo 2. Karadeniz'de besin tuzlarının fitoplanktonlarca kullanımının kinetik sonuçları (J. McCarthy, *Yayınlanmamış bulgu*)

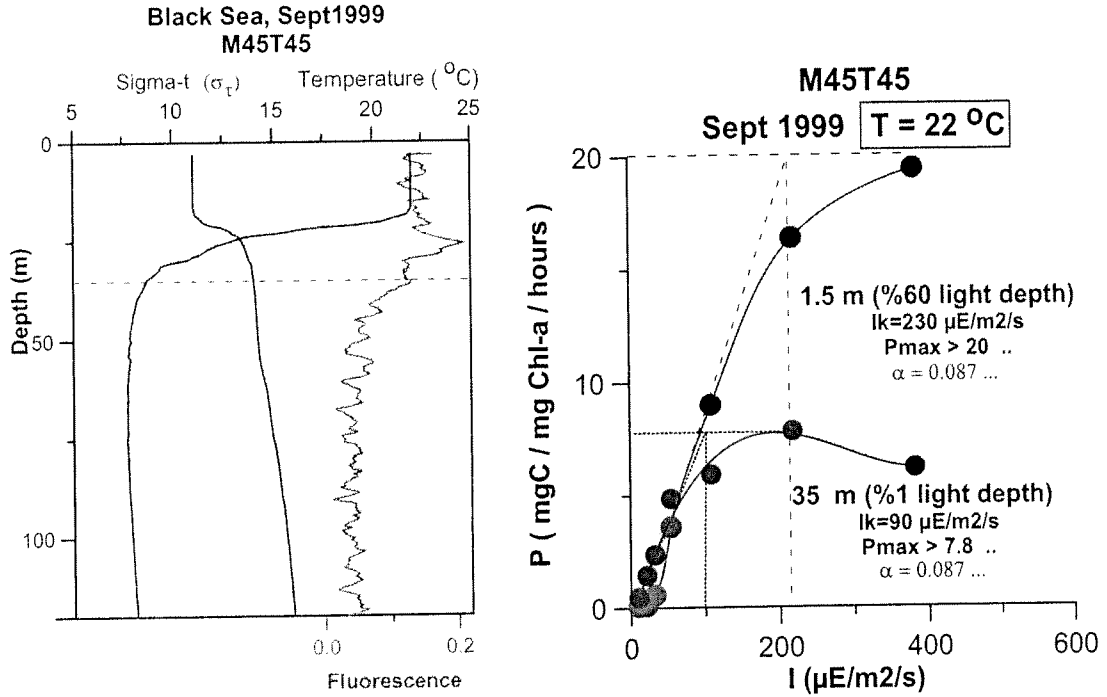
	İlkbahar dönemi (1998)*	Sonbahar dönemi (1998-99)
NO <sub>3</sub> Uptake	1.5 mMol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	4 mMol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
NH <sub>4</sub> Uptake	3.0 mMol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	5 mMol m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>

\* Üretim sonrası dönem \* Işıklı tabaka integre değerleri

Karadeniz'de 1998-99 yıllarında NO<sub>3</sub>'ün ve NH<sub>4</sub>'ün fitoplanktonlarca kullanım hızları <sup>15</sup>N-teknigi uygulanarak belirlenmiş (Tablo 2) ve buna bağlı olarak Yeni ve Döngü Üretimin Toplam Üretime oranları (f-ratio) hesaplanmıştır. Aynı çalışmada izotop tekniği ile yapılan "N<sub>2</sub> Fixation" ölçümlerinde bu prosesin toplam inorganik besin tuzu kullanımında önemli rolü olduğu ve Karadeniz'de birincil üretimde %

25'e varan oranlarda serbest azot kullanıldığı gösterilmiştir (J. McCarthy, Yayınlanmamış bulgu).

Ağustos 1999 Karadeniz seferi boyunca, foto-adaptasyon karakteristikleri bazı detayları ile çalışıldı ve yakın yüzeyden ve %1 ışık derinliğinden fotosentez-parlaklık eğrileri tayin edildi. Şekil 12'de gösterilen grafik bu tür bir ölçüme örnek olarak göstermektedir ki yüzeye yakın yerlerdeki maksimum üretim ( $P_{max}$ ) tabakalaşma mevsimi boyunca  $20 \text{ mg C mg Klorofil-a}^{-1} \text{ saat}^{-1}$  kadar yüksektir.



Şekil 12. Karadeniz merkez siklonu içinde seçilen istasyondaki su kolonunda görece yerinde flüoresans ve hidrografi. Aynı istasyon için kurulan Fotosentez-parlaklık (P-I) eğrisi.

1998 ve 1999  $^{15}\text{N}$  kullanım verileri Karadeniz'de N üretimini mevsimsel olarak ortaya koyan Krivenko ve arkadaşları 1998'deki ile kombine edilmiş (şekil L2-7a). Bu NFS projesinin ve NANO Sfp programının ana araştırma hedeflerinden biriydi. İki gözlem setide iyi bir şekilde birbirine geçmiştir.

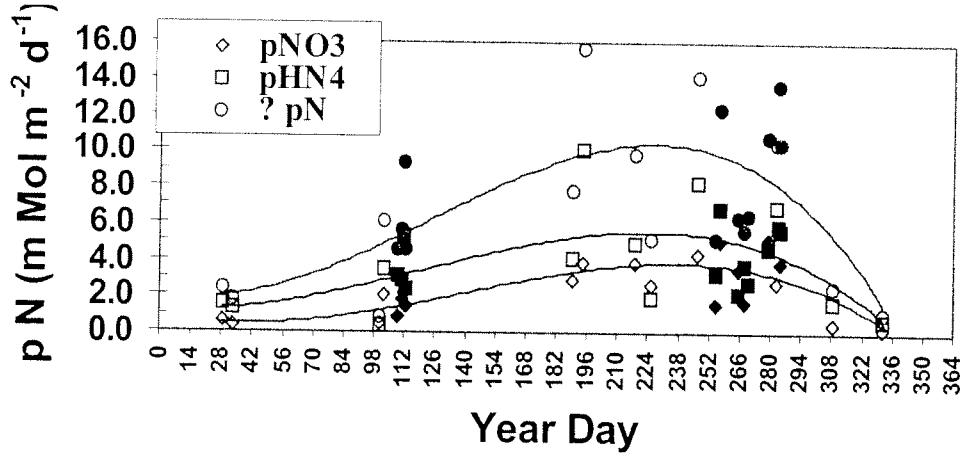
Sunulan f-oranı konvansiyonel  $\text{pNO}_3/\text{Total pN}$ 'dir (Şekil 13). İlaveten gelecekte Karadeniz'de N üretiminde "yeni N üretimi" karşısında "gerikazanılmış N üretimi" nin doğasını incelemek gereklidir.

Ağustos 1999 seferi boyunca Karadeniz Batı basenindeki iki isyasyonda yapılan  $^{15}\text{N}_2$  fiksasyon direk ölçüm ilk sonuçları bu prosesler için bu istasyonlardaki toplam inorganik kullanımının %25'ine kadar güçlü bir işaret göstermiştir.

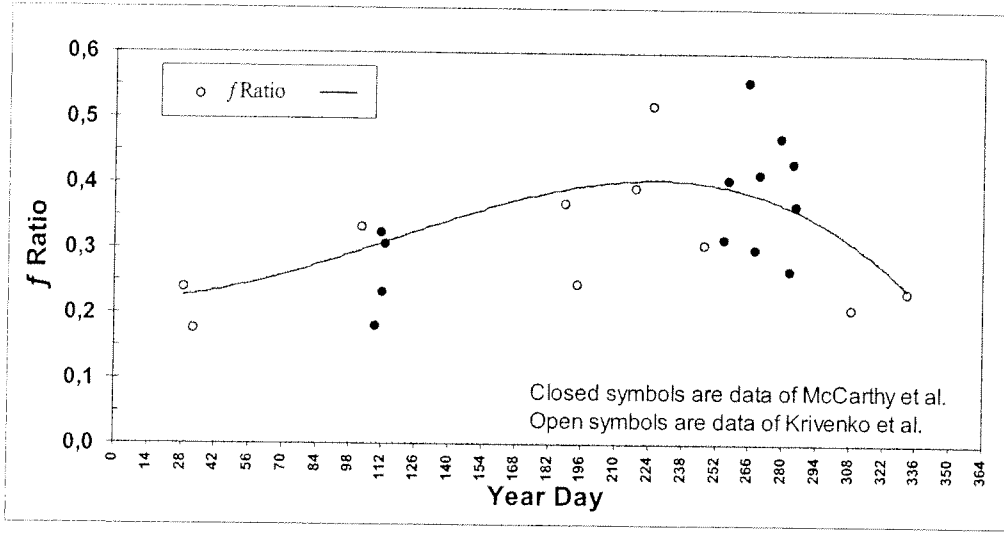
Bu sonuçlar ve Karadeniz'deki yeni ve geridönüşmüş N kaynağı olarak  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{NH}_4^+$  nun rollerindeki açık tersine dönme bu data setlerinin izleyen analizlerinde odak noktamız olacak.

(a)





(b)



Şekil 13. Karadeniz açık sularında mevsimsel N-15 üretimi ( $1\% I_0$  Euphotic derinliğe kadar birleştirilmiş) ve 1998-1999 periyodu için belirlenen f-oranı. Veriler 1991-1993 byunca toplanan Krivenko ve arkadaşları 1998 verileri ile karşılaştırılmıştır ( kapalı semboller: Mc Charty ve arkasları; açık semboller: Krivenko ve arkadaşları 1998).

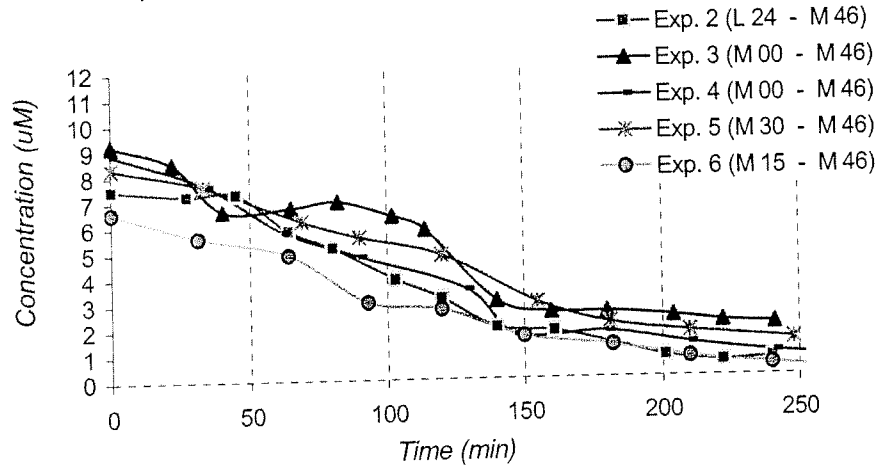
“Yeni Üretim”, üretimin sisteme dışarıdan giren besin tuzlarıyla sağlanan fraksiyonu, “Döngü Üretim” ise genel olarak hayvansal ve bakteriyel metabolizma ürünleri üzerinden yürüyen üretim olarak tanımlanmıştır. f-oranı = Yeni Üretim / (Yeni+Döngü Üretim) Karadeniz’de 1998-99 dönemi için 0.2-0.5 aralığında hesaplanmıştır (J. McCarthy, *Yayınlanmamış bulgu*). Bu değerler Karadeniz’de 1992-93 yılları için elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir (Krivenko ve ark., 1998).

Anoksik koşullar altında henüz tanımlanmamış biyo-kimyasal reaksiyonlar sonucunda proses edilen 4 saat reaksiyon zamanından sonra  $H_2S$  konsantrasyonları karışımdaki 7-9  $\mu M$  olan başlangıç değerlerinden 1-2  $\mu M$ ’nun altına düşmüştür. Anoksik arayüz boyunca kıyasal sulardan açık denize hafif bir değişkenlik gösteren  $H_2S$ ’ün oksidasyon ve/veya çekilme hızı açık basen arayüzü ile karşılaştırıldığında Mn ve Fe bileşikleri içeren ince partiküllerce görece zengindir. Karışık örneklerdeki  $NO_2$  konsantrasyonları görece düşüktür ve karışık örnekler deneye başlanmadan önce suni olarak 15-20  $\mu M$  başlangıç konsantrasyonunda nitratla zenginleştirilmiş olmasına rağmen  $NO_2$

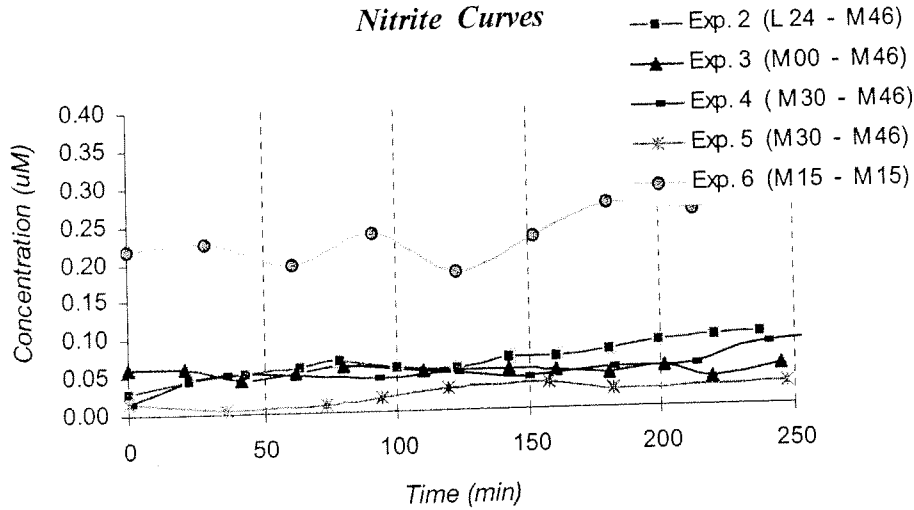
konsantrasyonları ayrıca deney süresi boyunca neredeyse sabit kalmıştır. (Şekil 14).

$\text{NO}_3$  ve  $\text{Mn (II)}$  için yapılan eşzamanlı ölçümler boyunca bu parametrelerin her ikisi içinde sürekli bir değişim kaydedilmemiştir (Şekil 15). Deneyden önce  $\text{NO}_3$  maksimum değer veren örneklerde, en düşük  $\text{NO}_3$  değerleri başlangıçta kaydedildi, sonra deney sonlandırılana kadar alt-örneklerde hesaplanan  $\text{NO}_3$  konsantrasyon seviyeleri belirlendi. Deneyler süresince  $\text{NO}_2$  değerleri değişmeden kalırken  $\text{NO}_3$  konsantrasyonlarının neden çok düşük olduğu net değildir. Sakarya kanyon bölgesi yakınlarındaki ana akıntıdan alınan örneklerle yapılan bir deneyde tam tersi bir eğilim gözlemlendi; deneyin sonunda  $\text{NO}_3$  konsantrasyonu %70 düştü ama  $\text{NO}_2$  değerlerinde önemli bir değişim kaydedilmedi. İndirgenmiş mangan konsantrasyonları,  $\text{Mn(II)}$  deney periyodu boyunca neredeyse sabit kaldı. Özetle,  $\text{NO}_3$ 'ca zengin anoksik Karadeniz sularında  $\text{H}_2\text{S}$  oksidasyonunun  $\text{Mn (II)}$  tarafından katalizlendiğini gösteren açık bir eğilim yoktur.

### Hydrogen Sulfide Consumption Curves

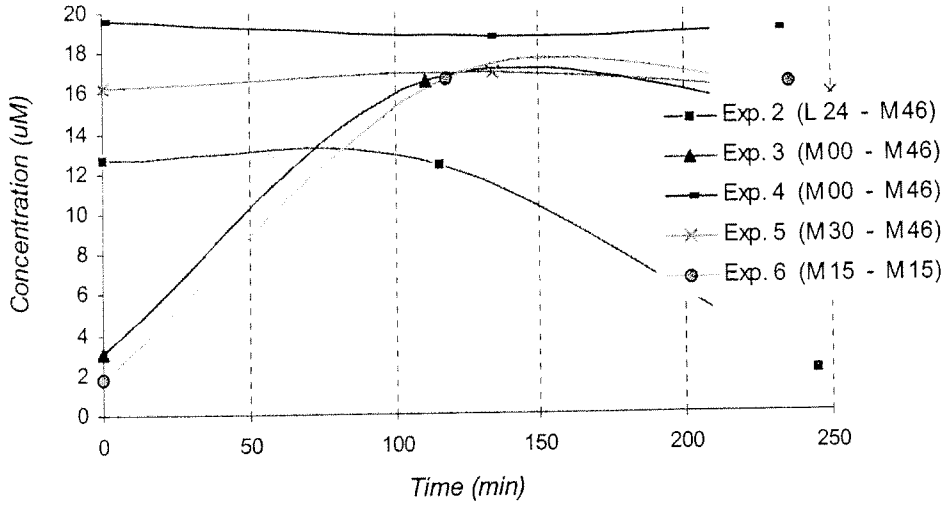


### Nitrite Curves

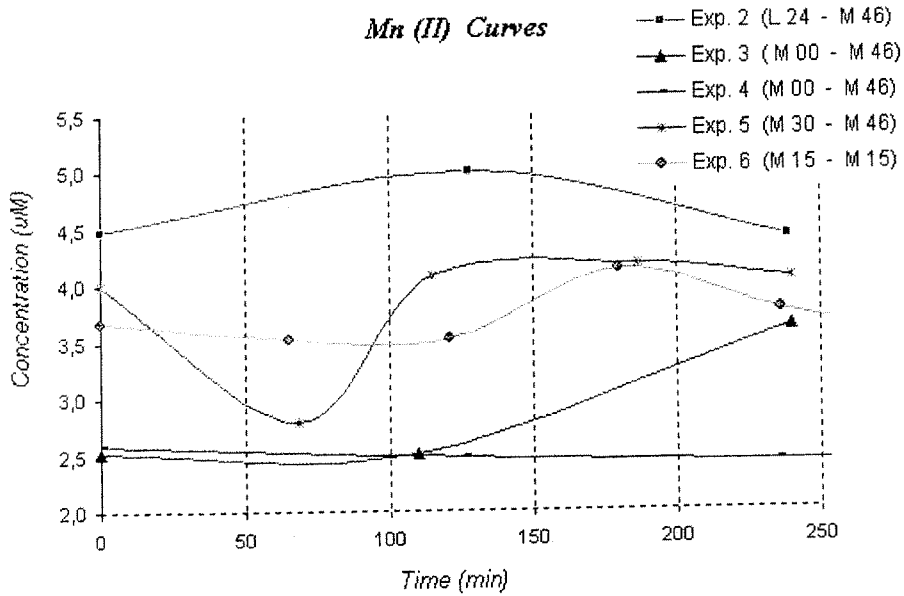


Şekil 14. Hidrojen sülfid ve Nitrit çekilme hızları ölçümleri

### Nitrate Curves



### Mn (II) Curves



Şekil 15. Nitrat ve Mn(II) tüketim zaman serileri

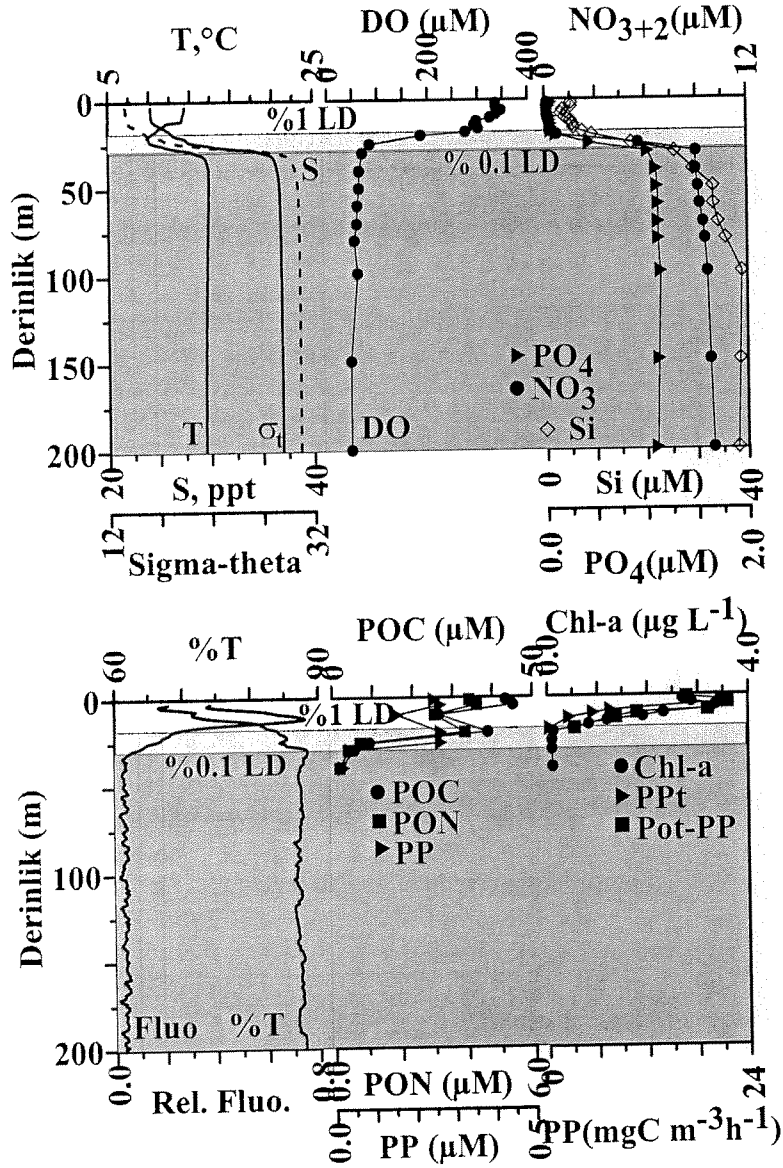
Karadeniz açık ve kıyı anoksik sularında  $H_2S$  oksidasyon/çekilme hızlarının karşılaştırılabilmesi mümkündür ve daha önce elde edilen oranlarla büyük oranda benzerlik göstermektedir. Ancak anoksik arayüzdeki  $H_2S$  oksidasyon/çekilmesinde suboksik/anoksik arayüzdeki (DO (çözünmüş oksijen) <  $5.0 \mu M$ ) hangi kimyasal veya kimyasalların (oksijenden farklı olarak) sorumlu olduğu hala açık değildir.

Ne yazık ki kinetik çalışmalar boyunca hiç bir  $NH_4$  ölçümü gerçekleştirilmemiştir. Ancak, 4 saat deneyleri boyunca  $NO_3$  ve  $NO_2$  konsantrasyonlarındaki önemsiz değişimler  $NO_3$  ve  $NH_4$ 'ün  $H_2S$ 'in 16.5 yoğunluk yüzeyinden alınan örnekler ile suboksik/anoksik arayüzden alınan ve DO(çözünmüş oksijen) <  $1 \mu M$ ,  $7-9 \mu M$  of  $H_2S$ ,  $NO_3=12-20 \mu M$  ve  $Mn(II)= 2.5-4.5$

$\mu\text{M}$  ve yaklaşık  $\text{NH}_4$ 'ün  $5 \mu\text{M}$  içeren örnekler karıştırılarak hazırlanan anoksik sulardan çekilmesinde ikincil bir önemi olduğunu göstermektedir.

### 3.1.2. Marmara Denizi

Karadeniz ile Ege Denizi arasındaki su değişiminin sonucu olarak Marmara Denizi'nde iki tabakalı deniz ekosistemi oluşmuştur (Şekil 16). Karadeniz sularının beslediği ve fotosentezin süregeldiği Marmara'nın az tuzlu üst tabakasının (15-20 metre) biyokimyasal özellikleri oldukça değişkendir. Akdeniz kaynaklı tuzlu alt tabaka sularının yatay akıntılarla kısmen homojen hale gelmesi nedeniyle kimyasal özelliklerde gözlenen bölgesel ve mevsimsel değişimler çok daha azdır.



Şekil 16. Marmara Denizi'nin Doğu baseninde yer alan bir istasyonda (İst. K46L00;  $40^{\circ}46' \text{ N}$  ve  $29^{\circ}00' \text{ E}$ ), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

Güneş ışığı ancak arageçiş tabakası (haloklin) sularına kadar ulaşabilmekte, bu nedenle fotosentez ve buna bağlı POM üretimi üst tabaka suları ile sınırlanmaktadır (Şekil 16). Alt sudaki POM'un kaynağı yalnızca üst tabakadan çökenler ve bunlarla beslenen bakterilerdir.

Marmara Denizi'nin yüzey sularındaki ÇO konsantrasyonu 225-350 µM aralığında gözlenirken alt sularda ÇO genellikle 30-80 µM aralığında değişmektedir (Şekil 16). Marmara'nın Batı basenindeki derin suları kısmen daha fazla oksijen içermektedir; burada ÇO alt su mevsimsel ortalama değerleri 50-80 µM aralığında değişirken, Doğu baseninde 30-50 µM seviyesine düşmektedir (Polat ve ark., 1998b). Çanakkale'den girerken oksijen zengin (225-250) µM olan Akdeniz suyu, sahip olduğu ÇO oksijenin yaklaşık %70'ini daha batı baseninde kaybetmektedir (Polat ve ark., 1998a). Marmara Denizi'nde varolan keskin ara-geçiş tabakası (haloklin), alt sulardaki düşük oksijenli su kütlelerinin varlığına süreklilik sağlamaktadır. Marmara yüzey sularında kirliliğin son 30 yılda belirgin şekilde artması sonucu (Orhon ve ark., 1998), denizdeki POM üretimi artmış ise de, alt suların ÇO değeri, 70'li yıllardaki ölçümlere kıyasla çok fazla değişmezken, kirlenmenin etkisi yüzey sularında daha belirgin olmuştur. Işıklı tabakanın kalınlığı azalmış ve haloklinin hemen altındaki suların ÇO değerlerinde hızlı çöküşler (keskin oksiklin) oluşmuştur (Tuğrul ve ark., 2000). ÇO profili incelendiğinde, ara tabakada tuzluluk artışına paralel olarak ÇO'nun ters yönde bir değişim göstererek aynı hızda azaldığı görülmektedir (Şekil 16). Marmara'nın derin çukurlarının tabanına doğru inildikçe ÇO değerlerinde çok az da olsa bir artış gözlenmektedir. 500 metrenin altında daha belirgin olan bu artış, hem bu su kütlelerinin daha genç olması hem de derin sulara daha az POM ulaşması ve parçalanmasının sonucudur (Polat, 1995).

Marmara'nın ışıklı üst tabakasına Karadeniz'den, karasal kaynaklardan ve alt tabakadan sürekli besin tuzu girdisi vardır. Fakat bunların büyük bir kısmı fotosentez yoluyla POM üretiminde kullanıldığı için, Marmara yüzey sularında ölçülen nitrat ve fosfat konsantrasyonları yıl boyunca genellikle düşüktür (Şekil 16). 1990-1998 arasında Marmara üst tabakasında nitrat ve fosfat ortalama değerlerinin 0.02-4.1 µM ve 0.02-0.25 µM arasında değiştiği gösterilmiştir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000). Ancak, Kasım-Nisan ayları arasında Karadeniz'den giren suların besin tuzları aşırı zenginleşmesi, kışın dikey karışımlarla alt su girdisinin artması ve güneş ışığının yetersizliği gibi etkenlerin birleşmesiyle özellikle kuzedoğu Marmara'nın ve İstanbul Boğazı'na yakın alanların yüzey sularında besin tuzu konsantrasyonu artmaktadır. Örneğin Nisan 1996'da, Boğazlar ve Marmara'da yapılan ölçümler, Karadeniz girdisinin Nisan başında özellikle nitrat iyonları çok zenginleştiğini (Nitrat=7.0-7.2 µM) göstermiştir (Yılmaz ve ark., 1998a). ÇO'nin hızlı düşüş gösterdiği haloklin tabakasında, besin tuzları (nitrat, fosfat ve silikat) değerleri de hızlı ve tuzluluk değişimiyle uyumlu artışlar göstermektedir. Alt tabakadaki oksijen minimum derinliklerinde en yüksek seviyeye ulaşan nitrat ve fosfat değerleri, 500 metrenin altındaki sularda da tabana doğru az da olsa azalma eğilimindedir. Alt tabaka mevsimsel ortalama değerleri fosfat, nitrat ve reaktif silikat için sırasıyla, 0.7-1.1, 7.8-10.7 ve 32-39 µM aralığındadır. Derinlik profilleri, bölgesel ve mevsimsel ölçekte incelenirse, en düşük alt su besin tuzları değerlerinin Çanakkale girişine yakın bölgede, en yüksek değerlerin de İstanbul Boğazına yakın alanlarda ve haloklinin hemen altındaki oksijen minimum tabakasında olduğu anlaşılır.

Marmara yüzey sularında POM konsantrasyonları özellikle fotosentetik üretimin yüksek olduğu ilkbahar aylarında olmak üzere her zaman yüksektir. Haloklin içinde azalan POM değerleri, haloklinin altındaki sularda en düşük değerlere ulaşmaktadır ve çok az mevsimsel ve bölgesel değişimler göstermektedir. Yüzey sularında, 1990-1998 yılları arasında ölçülen partikül organik madde konsantrasyonlarının üst tabaka ortalama değerleri; POC için 10-

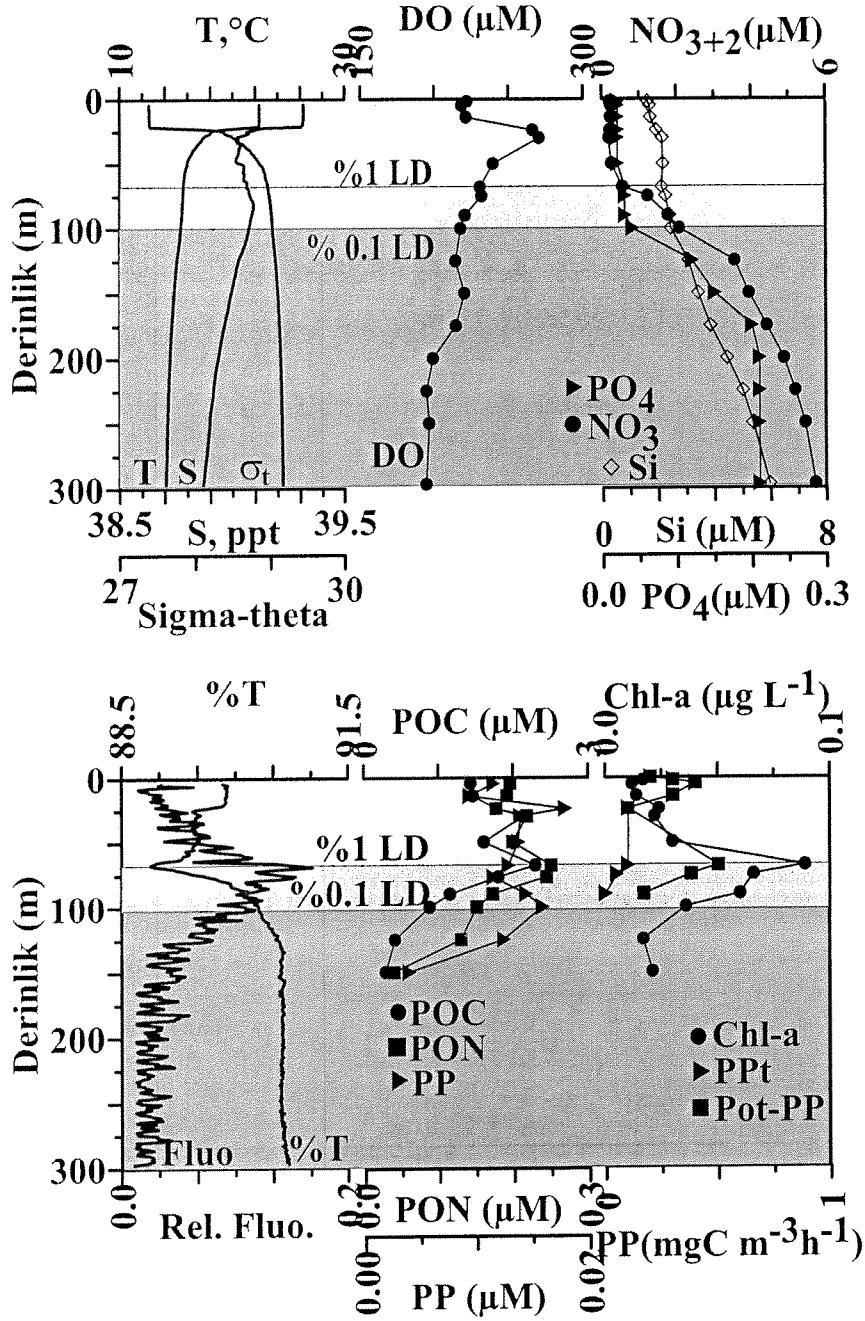
35  $\mu\text{M}$  aralığında değişirken,  $\text{PON} = 0.4-4.5 \mu\text{M}$  ve  $\text{PP} = 0.05-0.45 \mu\text{M}$  aralığındadır (Çoban-Yıldız ve ark., 2000). Marmara'nın ışıklı tabakası ince (15-20m) olmasına karşın, Karadeniz'le kıyaslandığında, yüzey sularında daha fazla POM birikimi olmaktadır. Marmara Denizi yüzey sularında POM'un element kompozisyonunu incelendiğinde N/P oranının düşük (7-12 aralığında) olduğu hesaplanmış ve Akdeniz yüzey suları POM element kompozisyonu ile uyum içerisinde olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu oran Marmara Denizi alt sularının inorganik azot ve fosfor oranı ( $\text{NO}_3/\text{PO}_4 = 9.3$ ) ile tam benzerlik göstermektedir (Polat ve ark., 1998a; Çoban-Yıldız ve ark., 2000). Bu yapı Marmara Denizi'nde birincil üretimin nitratça sınırlandırıldığını ve alt sulara çöken POM'da azot eksikliğini göstermektedir.

Marmara Denizi'nde ışıklı tabaka çok incedir (15-20m) ve genel olarak sürekli haloklin tabakasıyla çakışmaktadır (Şekil 16). Marmara Denizi'nde en yüksek klorofil-a konsantrasyonları ilk 15m'de ölçülmüştür ve genel olarak yüzey altında gözlenen maksimumlar ışığın %10-%1'e indiği derinlikler arasında yer almaktadır (Şekil 16). Işıklı tabakanın altında ise klorofil-a konsantrasyonları hızla düşmektedir. Marmara Denizi'nde ölçülen maksimum klorofil-a konsantrasyonu Nisan 1998 dönemi için  $3-4 \mu\text{gL}^{-1}$  arasındadır ve bu değer güney Karadeniz'de aynı dönem için ölçülen maksimum değerleri aşmaktadır. Ancak Marmara Denizi'nde ilkbahar patlamasının olduğu dönemlerde (Şubat-Mart ayları)  $10 \mu\text{gL}^{-1}$  ye varan değerler kaydedilmiştir (Polat ve ark., 1998a). Fitoplankton patlama dönemlerinde klorofil-a maksimumu yüzeye daha yakın derinliklerde (>%10 ışık derinliği) yer almaktadır. Bunun nedeni ilk üretimi gerçekleştiren fitoplanktonların ışığın az olduğu bu mevsimlerde yüzeyde yoğunlaşarak daha fazla ışıktan yararlanma eğilimidir. Ayrıca bu mevsimlerde yaz aylarına göre su kolonu daha dinamik bir yapıya sahiptir ve kuvvetli karışım nedeniyle besin tuzlarının zengin dip sulardan besin tuzu taşınımı daha etkindir. Yaz ve sonbahar aylarında ise durum tersinedir ve fotosentetik aktif organizmalar ışıklı tabakanın ortalarında veya tabanında yoğunlaşmaya ve bir yüzey-altı klorofil-a maksimumu gözlenmektedir. Bu aylarda ışık yeterince vardır ancak mevsimsel tabakalaşma ve düşey karışımın zayıflaması nedeniyle dip sulardan besin tuzu taşınımı en düşük seviyededir. Tüm Marmara baseninde elde edilen klorofil-a sonuçlarına göre yıl boyunca belirli bir seviyenin üzerinde fitoplankton yoğunluğunun ve bağlı fotosentetik üretimin (döngü üretim) varlığının yanında kış karışımını takip eden ilkbahar aylarında pik konsantrasyonlara ulaşılmaktadır. Genel olarak Karadeniz'in etkisi altındaki doğu baseninde fitoplankton biyo-kütlesini temsil eden klorofil-a konsantrasyonları batı baseninde elde edilen değerlere oranla daha yüksektir. Karadeniz girdisine ek olarak bu bölgede karasal kaynaklardan gelen evsel ve endüstriyel atıklar ve bu bölgenin özellikle dikey yönde dinamik bir yapıya sahip olması (Beşiktepe ve ark., 1994) nedeniyle dip sulardan besin tuzu taşınımı daha etkin olmaktadır. Şekil 4'ten görüleceği üzere, Nisan 1998 döneminde Doğu baseninde yer alan bir istasyonda birincil üretim ince yüzey tabakasında (10m) gerçekleşmiş ve  $22 \text{mgCm}^{-3}\text{h}^{-1}$ 'e varan değerler ölçülmüştür. Bu derinliğin altında ışık yüzey değerinin %10'unun altına düşmekte ve organik karbon üretimi hızla azalmaktadır. Su kolonunda ışıklı tabaka için integre edilmiş birincil üretim ise Eylül 1997 dönemi için 1192, Nisan 1998 dönemi için  $1850 \text{mgC m}^{-2} \text{gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Az sayıda gerçekleştirilen biyo-assay deneyleri Marmara Denizi'nde birincil üretimin azot tarafından sınırlandırıldığını göstermiştir (Yayla, 1999). Bu sonuçlar, yukarıda tartışılan POM element kompozisyonundaki düşük N/P oranının bu sınırlama nedeniyle olduğu görüşünü desteklemektedir.

### 3.1.3. Akdeniz

Akdeniz diğer denizlerimizle karşılaştırıldığında daha dinamik olma özelliğine sahiptir (Özsoy ve ark., 1989;1991) ve dikey karışımın etkin olması, su kolonunun

en derin basenlerde dahi tabana kadar oksijenli olmasını sağlamaktadır. Kuzeydoğu Akdeniz'de çözülmüş oksijen profilleri genel olarak tuzluluk profilleri ile aynı eğilimleri göstermektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Doğu Akdeniz'de Rodos siklonik döngüsü içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (İst. F08K55; 35°08' N ve 28°55' E), Eylül 1997 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

Rodos bölgesinde fotosentez kaynaklı oksijen maksimumları 100m'nin üzerinde gözlenmektedir ve 20-50 m arasında 275µM' a varan pik değerlere ulaşılmaktadır. 100m'nin altında çözülmüş oksijen konsantrasyonu düşerek 150m'den sonra 185-200 µM arasında sabit dip su konsantrasyonları

gözlenmektedir. Rodos baseninde 1992, 1993 ve 1995 yıllarında sert kış koşulları nedeniyle su kolonunda dibe doğru kuvvetli karışımın oluşması ÇO'nin derin sularda da bağıl olarak yüksek konsantrasyonlarda ( $>200 \mu\text{M}$ ) ölçülmesine neden olmuştur (Yılmaz ve Tuğrul, 1998; *Yayınlanmamış bulgu*). Daha çok frontlar ile antisiklonik alanların gözleendiği Antalya körfezinde ve antisiklonik alanlarda, örneğin Klıkya baseninde, birincil üretimden kaynaklanan ÇO pikleri genel olarak Rodos bölgesine oranla daha derinlerde (50-150m) gözlenmektedir (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Kış karışımı sonucunda oluşan ve daha çok bu bölgelerde net olarak gözlenen Levant Ara Suyu (LIW) ÇO'ce zengin ara tabakayı oluşturmaktadır ve ÇO konsantrasyonu mevsimlere ve döngü sistemlerinin etki alanlarına bağıl olarak 200-700 m'nin altında sabit dip değerlerine ulaşmaktadır.

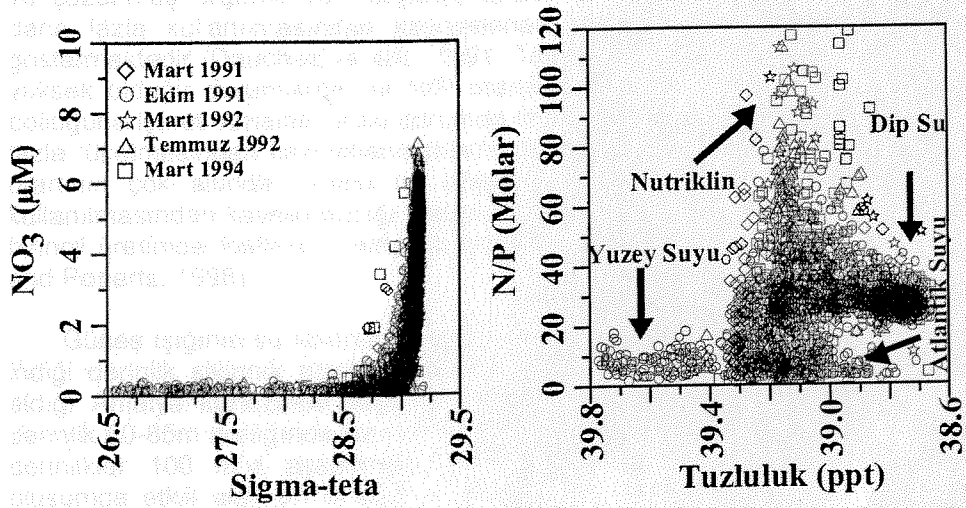
Kuzeydoğu Akdeniz'de ışıklı tabaka temel besin tuzları bakımından çok fakirdir (Şekil 17). Mart 1992, Şubat 1993 ve Şubat 1995 döneminde Rodos bölgesinde gözlenen kuvvetli karışım ve su kolonunun  $>1000 \text{ m}$ 'ye kadar homojenleşmesi (Sur ve ark., 1993; *Yayınlanmamış bulgu*) nedeniyle besin tuzlarınca zengin dip sularından ışıklı yüzey tabakasına besin tuzu taşınımı gerçekleşmiş ve yüzeyde bağıl olarak yüksek (dip konsantrasyonlarına yakın) konsantrasyonlar,  $\text{PO}_4\text{-P} \approx 0.18 \mu\text{M}$ ,  $\text{NO}_3\text{+NO}_2\text{-N} \approx 5 \mu\text{M}$  ve  $\text{Si} \approx 7.5 \mu\text{M}$  seviyesinde ölçülebilmıştır (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Bu özel durumlarda su kolonundaki homojenleşme ve dip suların besin tuzlarınca fakir yüzey sularıyla karışarak seyrelmesi nedeniyle dip su besin tuzu konsantrasyonları diğer dönemlere oranla düşmüştür. Rodos bölgesinde nütriklin ışıklı tabakanın içinde veya hemen altında (50-100m'de) yer almaktadır ve nütriklinin diğer bölgelerle karşılaştırıldığında çok ince (yaklaşık 50m) olduğu belirlenmiştir (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Antalya körfezinde besin tuzlarının su kolonundaki düşey dağılımı Rodos bölgesinden farklı özellikler göstermektedir. 75-100m kalınlığındaki ışıklı tabaka besin tuzlarınca fakir bir tabakadır ve özellikle yaz aylarında konsantrasyonlar ölçüm sınırlarına yaklaşmaktadır. Işıklı tabakanın altında besin tuzu konsantrasyonları derinlikle dereceli olarak artarak mevsimlere bağıl olarak farklılık göstererek 200-400m derinlikte sabit dip su konsantrasyonlarına ulaşmaktadır. Bir başka anlatımla Rodos döngüsünün sınır bölgeleri, frontlar ve daha çok antisiklonların gözleendiği bu körfezde nütriklin Rodos bölgesine oranla daha kalındır.

Klıkya baseninde ve diğer alanlardaki antisiklonik bölgelerde ise besin tuzlarının düşey dağılımında dört tabaka gözlenmektedir 1)Besin tuzlarınca fakir ışıklı tabaka, 2)Besin tuzlarınca fakir (ışıklı tabakaya oranla daha zengin, dip sulara oranla daha fakir) ışiksiz tabaka, 3)Nütriklin ve, 4) Dip sular (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Besin tuzlarınca fakir ışiksiz tabaka antisiklonik merkezlerde daha belirgin olarak gözlenmekte ve bu tabaka front alanlarında yavaş yavaş zayıflayarak Rodos döngüsü gibi siklonik alanlarda tamamen kaybolmaktadır. Bu tabaka ayrıca Levant Ara Suyu (LIW) tabakası ile de çakışmaktadır ve kış koşullarının şiddetine göre bu tabakadaki besin tuzu konsantrasyonları değişmektedir. Bu tabakanın altında yer alan nütriklin ise bağıl olarak kalın bir tabakadır ve genel olarak sabit dip su konsantrasyonlarına bu bölgelerde daha derinlerde (200-700m) ulaşmaktadır. 1992, 1993 ve 1995 kışlarında ve bu kışları takip eden yaz aylarında besin tuzlarınca fakir ışiksiz tabakanın kalınlığının bu bölgelerde diğer zamanlara oranla daha fazla olduğu ve besin tuzu konsantrasyonlarının daha yüksek olduğu gözlenmiştir (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Işıklı yüzey tabakasındaki inorganik azot/fosfor ( $\text{NO}_3/\text{PO}_4$ ) molar oranı 5-10 aralığındadır ve bu tabakanın hemen altında ve nütriklin tabakasının hemen üzerinde bu oran pik değerlere (40-120) ulaşmaktadır (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Benzer pik değerleri Güneydoğu Akdeniz için de verilmektedir (Krom ve ark., 1992). Bu yüksek azot/fosfor oranı içeren su tabakası 29.05 sigma-teta yüzeyinde yer almakla birlikte basen boyunca farklı derinliklerde gözlenmektedir.



Örneğin Rodos siklonik alanında 100m'de gözlenirken Klikeya baseninde 300-400m de gözlenebilmektedir. Bu pikin oluşmasının ana nedeni fosfat gradient tabakasının nitrat gradient tabakasından 0.05 sigma-teta daha derinde olmasıdır. Ortalama inorganik azot/fosfor molar oranı doğrusal regrasyon analizi ile besin tuzlarınca fakir ışiksiz tabaka ve nutriklin tabakası için 23.6 olarak belirlenmiştir. Bu tabaka LIW ve dip sulara kadar devam eden LIW gradient tabakasına karşılık gelmektedir (Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Bu değer Güneydoğu Akdeniz için aynı regrasyon yöntemi ile hesaplanmış değere çok yakındır (=22.9; Krom ve ark., 1992) ve Batı Akdeniz ve Kuzey Atlantik için verilen değerlerden (sırasıyla =19.1; Coste ve ark., 1984 ve =14.5; Bainbridge, 1981) bağıl olarak daha yüksektir. Derin sularda ise, sigma-teta=29.15'in altında, inorganik azot/fosfor oranı sabit bir değere (=28) ulaşmaktadır. Derin sularda gözlenen inorganik azot/fosfor oranı yüzey sularında fotosentetik aktivite sonucu oluşan partikül organik maddedeki azot/fosfor oranından (10-18) (Ediger, 1995) daha yüksektir. Bu oran normalde okyanus dip sularında gözlenen orandan da yüksektir. İnorganik azot/posfor oranı örneğin Atlantik okyanusu dip suları için 15.2 olarak verilmektedir (Bainbridge, 1981).

Burada özellikleri verilen bu tabakalar birbirlerinden belirli sigma-teta yüzeyleri ile ayrılırlar ve bu kural tüm Kuzeydoğu Akdeniz için geçerlidir. Besin tuzlarınca fakir ışiksiz tabaka ışıklı tabakanın hemen altında yer almakta ve 29.00-29.05 sigma-teta derinliğine kadar inmektedir. Bu tabaka Levant Ara Suyu (LIW) tabakasıyla çakışmaktadır. Nutriklin ise 29.00-29.05 sigma-teta derinliğinden başlayarak 29.15 sigma-theta derinliğine kadar devam etmektedir ve LIW'in hemen altında yer almaktadır. Sigma-theta=29.15 derinliklerinin altında besin tuzu konsantrasyonları sabit dip su değerlerine ulaşmaktadır ( $PO_4-P=0.20-0.22 \mu M$ ,  $NO_3+NO_2-N=5.5-6.5 \mu M$  ve Reaktif Silikat=8-10  $\mu M$ ). Bu yapısal özellikler tek bir şekilde toplanarak besin tuzlarının fiziksel dinamiğe bağımlı olarak su kolonunda nasıl dağıldığı nitratın yoğunlukla değişimi örnek verilek gösterilmiştir (Şekil 18a).



Şekil 18. Doğu Akdeniz'de nitratın ( $NO_3$ ) sigma-tetayla (a) ve nitrat/fosfat (N/P) molar oranının tuzlulukla (b) basen bazında değişimi (1991-1994 bulguları kullanılmıştır).

Yukarıda açıklandığı üzere Doğu Akdeniz'de karakteristik su kütlelerinin belirli sigma-teta yüzeyleriyle ayrılması ve bu su kütlelerinin kimyasal özelliklerinin de belirli farklılıklarla birbirinden ayrılması su kütlelerinin ayrıca kimyasal ölçümlerle ve bulgularla da tanımlanabileceğini göstermektedir. Şekil 18b'de 1991-1994 dönemi için ve iyi bir örnek olması bakımından, inorganik

azot/fosfor oranının farklı özellikteki su kütlelerinin tanımlanmasına ilişkin toplu grafiği istasyon ve zaman gözetmeksizin tüm Kuzeydoğu Akdeniz için verilmektedir.

Doğu Akdeniz'de genel olarak ışıklı tabakada POM konsantrasyonları bağıl olarak yüksek ölçülmüştür ve bu tabakanın altında konsantrasyonlar dereceli olarak düşmektedir. Mevsimsel tabakalaşmanın olduğu ve kış karışımının en az düzeyde olduğu dönemlerde POM profilleri 25-100m arasında pik oluşumunu içeren bir yapı göstermektedir ve POC düşey dağılımı ile klorofil-a'nın düşey dağılımı arasında benzerlikler gözlenmektedir. Daha önceki yıllarda yapılan çalışmalarda kış aylarında (Şubat-Mart ayları) POM'un düşey dağılımında belirli bir maksimum gözlenmediği ve POC, PON ve PP konsantrasyonlarının yüzeyde daha yüksek olduğu ve derinlikle dereceli olarak azaldığı belirlenmiştir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000). POM'un Kuzeydoğu Akdeniz'de basen bazında ortalama konsantrasyonları 1990-1997 dönemi ve POC, PON ve PP için sırasıyla kıyısız alanlarda 4.9-11.2, 0.5-1.0 ve 0.06-0.07  $\mu\text{M}$  ve açık alanlarda 1.7-3.0, 0.2-0.3 ve 0.01-0.02  $\mu\text{M}$  olarak verilmektedir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000). Bu açık deniz konsantrasyonları Karadeniz ve Marmara Deniz'i sonuçlarıyla karşılaştırıldığında en az 2-4 kat kadar daha azdır ancak karasal girdilerin etkisindeki kıyı alanlarında (İskenderun ve Mersin körfezleri) konsantrasyonlar karşılaştırılabilir düzeydedir. POM'da Redfield oranları, (C:N:P), 1990-1997 dönemine ait bulguların regresyon analizi ile ışıklı tabaka (0-<125m) kıyı alanları ve sırasıyla ilkbahar, yaz ve sonbahar için C:N:P= 52:9:1, 77:7:1 ve 64:7:1 açık alanlar içinse 105:11:1, 113:15:1 ve 109:10:1 olarak verilmektedir (Çoban-Yıldız ve ark., 2000). Bu oranlar literatürde verilen oranlara benzerlik göstermekle birlikte (Redfield ve ark., 1963; Copin-Montegut ve Copin-Montegut, 1983) C/N oranı hem açık sular hem de kıyı suları için beklenenden yüksek, N/P oranı ise özellikle kıyı sularında beklenenden düşüktür. C/P oranı açık sularda Redfield oranına eşdeğer olarak hesaplanırken kıyı alanlarında çok düşük bir seviyededir. Bağıl olarak yüksek bulunan C/N oranı daha önce Atlantik okyanusunda ve batı Akdeniz'de gözlenen ve çözünmüş organik ve inorganik karbon bileşiklerinin fitoplanton tarafından daha fazla kullanılmasından kaynaklanan yüksek C/N oranları ile benzerlik göstermektedir (Dauchez ve ark., 1991; Toggweiler, 1993). Üretim bağıl olarak yüksek olduğu durumlarda ise N/P oranının düşük olması ortamda besin tuzu bolluğuna işaret etmekte ve bu durumda fitoplanktonun fosforu azota oranla daha fazla tüketmesinden kaynaklanmaktadır. Kıyısız alanlarda N/P oranının Redfield oranının çok altında olması bu bölgede fosforun tercihli olarak daha fazla kullanılmasından kaynaklandığı yorumunu getirmektedir. Doğu Akdeniz sularında birincil üretimde fosforun sınırlayıcı besin elementi olduğu bilinmektedir (Zohary and Robarts, 1998).

Güneş ışığının su kolonunda girişimi incelendiğinde ışığın yüzeye göre %1'e indiği derinlik siklonik alanlarda daha sığ, antisiklonik ve frontal alanların yer aldığı Antalya körfezinde bağıl olarak daha derindedir. Rodos bölgesinde bu derinlik 60-85m aralığında iken, antisiklonik bölgelerde ise ışığın nüfuz edebildiği derinlikler 100 m'yi aşabilmektedir (Ediger ve Yılmaz, 1996a; 1996b). Bu oluşumda etkili olan en önemli faktör Rodos döngüsü ve döngüyü çevreleyen alanlarda birincil üretimin yoğun olmasıdır. Kış ve ilkbahar aylarında güneş ışığının şiddetinin azalması nedeniyle yaz ve sonbahar aylarına göre ışık daha sığ tabakalara nüfuz edebilmektedir. Rodos Bölgesinde kış koşullarının sert geçtiği yıllarda (1992, 1993 ve 1995) su kolonunun derin ve etkin karışım nedeniyle homojen hale gelmesi (Sur ve ark., 1993; *Yayınlanmamış bulgu*) ile ilk üretim diğer yıllara oranla çok fazla olmuş (5-10 katı) ve ışık daha sığ derinliklere nüfuz edebilmiştir (Ediger ve Yılmaz, 1996a). Bu dönemlerde bu bölgede %1 ışık derinliği 30-50m'lere kadar düşmüştür. Işığın yüzeye oranla %1'e indiği derinlik Kuzeydoğu Akdeniz'de ve 1991-94 dönemi için ortalama 82m olarak hesaplanmıştır (Ediger, 1995). 1996-97 döneminde ve sadece Rodos ve Finike

Boğazı bölgelerini kapsayan alanlar için bu derinlik ortalama olarak 77m olarak verilmektedir (Yayla, 1999). %1 ışık derinliğinde net üretim sifıra yaklaşmakla birlikte Akdeniz'de ışığın %0.1'e indiği derinliğe kadar fotosentetik aktivite devam edebilmektedir.

Daha önce yapılan çalışmalar (Yılmaz ve ark., 1994; Krom ve ark., 1991; Estrada, 1985; Ediger ve Yılmaz, 1996a) ve yakın zamanda elde edilen sonuçlara göre Akdeniz'de Derin Klorofil-a Maksimumu (DCM) özellikle yaz ve sonbahar aylarında belirgin olmak üzere yaygın olarak gözlenmektedir. Rodos baseninde nütriklinin ışıklı tabakanın tabanına yakın derinliklerde yer alması nedeniyle DCM daha sığ derinliklerde (50-60m) oluşmakta ve genelde nütriklin derinliği ile çakışmaktadır (Şekil 5). Antisiklonik alanlarda ise DCM ışıklı tabakanın tabanında ve keskin bir pik şeklinde yer almaktadır (Ediger ve Yılmaz, 1996a). Kış aylarında DCM yapısının hemen bozulduğu ve klorofil-a'nın ışıklı tabakanın yüzeye yakın derinliklerinde konsantrasyonu yüksek olan geniş pikler gösterdiği tespit edilmiştir. Daha önce literatürde verildiği gibi (Ediger, 1995; Ediger ve Yılmaz, 1996a; *Yayınlanmamış bulgu*) 1992, 1993 ve 1995 kışlarında klorofil-a su kolonunun ışıklı kısmında homojen bir yapı göstermiş ve ışıklı tabakanın altında iniş trendine geçmiştir. Genel olarak DCM kuzey doğu Akdeniz'de ışığın yüzeye oranla %0.5-%5' e indiği derinliklerde ve mevsimsel tabakalaşmanın (termoklin) altında yer almaktadır. 1991-1998 dönemine ait klorofil-a bulguları değerlendirildiğinde ortalama konsantrasyonun 0.05-1.0 µg/L aralığında olduğu belirlenmiştir. Genelde Şubat-Mart döneminde fitoplankton yoğunluğunun yüksek olduğu Kuzeydoğu Akdeniz'de (Ediger 1995, Ediger ve Yılmaz, 1996a) 1992, 1993 ve 1995 kışlarında üst su kolonunda bağıl olarak yüksek konsantrasyonlar (> 3 µg/L) ölçülmüştür. Daha önceki çalışmalarda sözedildiği gibi (Yılmaz ve ark., 1994; Salihoğlu ve ark., 1990) genelde Rodos siklonu ve siklonun çevresindeki frontlarda klorofil-a konsantrasyonu bağıl olarak yüksektir. Bunun nedeni bu bölgelerde besin tuzlarınca zengin dip sulardan ve özellikle frontlarda yatay taşınımından kaynaklanan besin tuzu girdisinin etkili olmasıdır.

1995-1997 yılları arasında yapılan birincil üretim ( $PP_T$ ) ölçümlerine göre üretim hızının ışıklı tabaka için  $93-479 \text{ mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$  aralığında olduğu belirlenmiştir. Baca oluşumunun gözleendiği 1995 kışında ise  $1298 \text{ mg/m}^2/\text{gün}$ 'e varan çok yüksek değerler gözlenmiştir (*Yayınlanmamış bulgu*). Genel olarak fitoplankton biyo-kütlesinin yüksek olduğu Rodos döngüsünde ilk üretim de yüksektir. Rodos siklonik alanında nutriklin ışıklı tabakanın alt sınırına kadar yükselmektedir ve besin tuzlarının yıl boyunca difüzyon ve adveksiyon ile sürekli ışıklı tabakaya taşınmasının yanısıra kış karışımı ile ve özellikle 1995 kışında oluşan derin ve kuvvetli karışım sonucu etkin taşınım gerçekleşmiştir (*Yayınlanmamış bulgu*). Genel olarak Kuzeydoğu Akdeniz'de Şubat-Mart aylarında biyo-küttele ve birincil üretimde göreceli pik değerlere ulaşılmaktadır. Rodos bölgesinde yıl boyunca belirli bir seviyenin üzerinde ilk üretimin gerçekleşmektedir. Rodos siklonunu çevreleyen ve daha çok Finike bölgesinde gözlenen cephe (front) sistemlerinde ise besin tuzlarının düşey taşınım mekanizmalarına paralel olarak yatay taşınım mekanizmalarının etkin olması nedeniyle genel olarak yüksek seviyede birincil üretim ölçülmesi söz konusudur. Küçük Asya akıntısı ve küçük çapta antisiklonların gözleendiği Antalya körfezinde ise birincil üretim göreceli olarak daha düşük ölçülmüştür. Kuzeydoğu Akdeniz'de antisiklonik alanlarda nutriklinde besin tuzu taşınımı etkin değildir ve bu alanlarda bağıl olarak düşük seviyede üretim ve fitoplankton biyo-kütlesi belirlenmiştir. Işığın yüzeye göre %10'un altına düştüğü derinliklerde üretim hızla azalmakta ve ışıklı tabakanın tabanında net üretim sifıra düşmektedir. Mevsimsel tabakalaşmanın bulunduğu ve ışığın yeterli olduğu bu dönemlerde düşey yönde besin tuzu taşınımının zayıflaması nedeniyle birincil üretim ışıklı tabakanın tabanında pik değerlere ulaşmaktadır. Biyo-kütlenin de (klorofil-a ile temsil edilen)

ışıklı tabakanın tabanına yakın derinliklerde birikim yapması ve DCM'in oluşması Kuzeydoğu Akdeniz'de üretimi ışıktan çok besin tuzlarının sınırladığını göstermektedir. Birincil üretim değerleri Batı Akdeniz ve Doğu Akdeniz'de daha önce elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında Kuzeydoğu Akdeniz'in Batı Akdeniz'le karşılaştırılabilir düzeyde ve Güney Akdeniz'den daha üretken olduğu gözlenmektedir (Azov, 1986). Batı Akdeniz'de birincil üretim ilkbahar dönemi için  $330-600 \text{ mgC m}^{-2}\text{gün}^{-1}$  (Lohrenz ve ark., 1988); kış karışım dönemi için ise  $200-600 \text{ mgC m}^{-2}\text{gün}^{-1}$  olarak verilmektedir (Estrada, 1985).

Türkiye'yi çevreleyen denizler fiziksel dinamizm, biyojeokimyasal özellikler ve ekosistemleri bakımından çok farklıdır. Diğer yandan iletişim halinde olan bu denizler birbirini etkilemektedir. Doğu Akdeniz baseni en az şekilde olmak üzere denizlerimiz yoğun karasal girdilerin etkisi altındadır ve son 30 yılda ekosistemlerinde önemli değişimler gözlenmiştir.

#### Semboller:

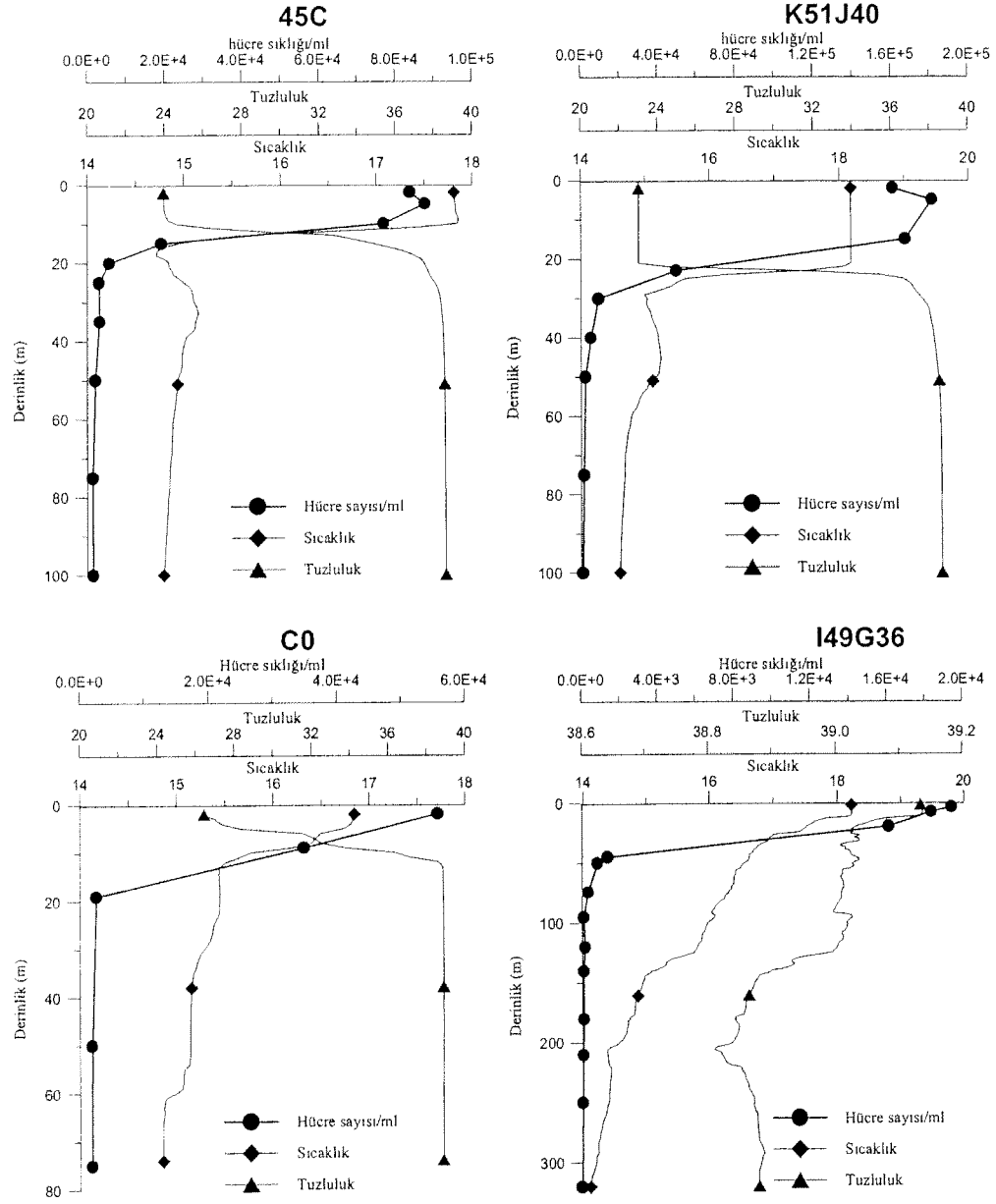
ÇO (DO)	: Çözünmüş Oksijen ( $\mu\text{M}$ )
H <sub>2</sub> S	: Hidrojen Sülfür ( $\mu\text{M}$ )
POM	: Partikül Organik Madde
POC	: Partikül Organik Karbon ( $\mu\text{M}$ )
PON	: Partikül Organik Azot ( $\mu\text{M}$ )
PP	: Partikül Fosfor ( $\mu\text{M}$ )
T	: Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )
S	: Tuzluluk (ppt)
$\sigma_t$	: Sigma-teta (yoğunluk)
PO <sub>4</sub> -P	: Orto-fosfat ( $\mu\text{M}$ )
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (NO <sub>3+2</sub> )	: Nitrat + nitrit (Toplam Oksitlenmiş Azot) ( $\mu\text{M}$ )
NH <sub>4</sub>	: Amonyak ( $\mu\text{M}$ )
Si	: Reaktif Silikat ( $\mu\text{M}$ )
Chl-a	: Klorofil-a ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )
PP <sub>t</sub>	: Toplam Birincil Üretim ( $\text{mgC m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ )
	ışıklı tabaka için integre edilmiş Toplam Birincil Üretim ( $\text{mgC m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ )
Pot-PP	: Potansiyel Birincil Üretim (PP <sub>t</sub> ile aynı birimlerde)
% 1 LD	: Işığın yüzeye göre %1'e indiği derinlik (m)
% 0.1 LD	: Işığın yüzeye göre % 0.1'e indiği derinlik (m)

### 3.2. Cyanobakteri ve Fitoplankton çalışmaları

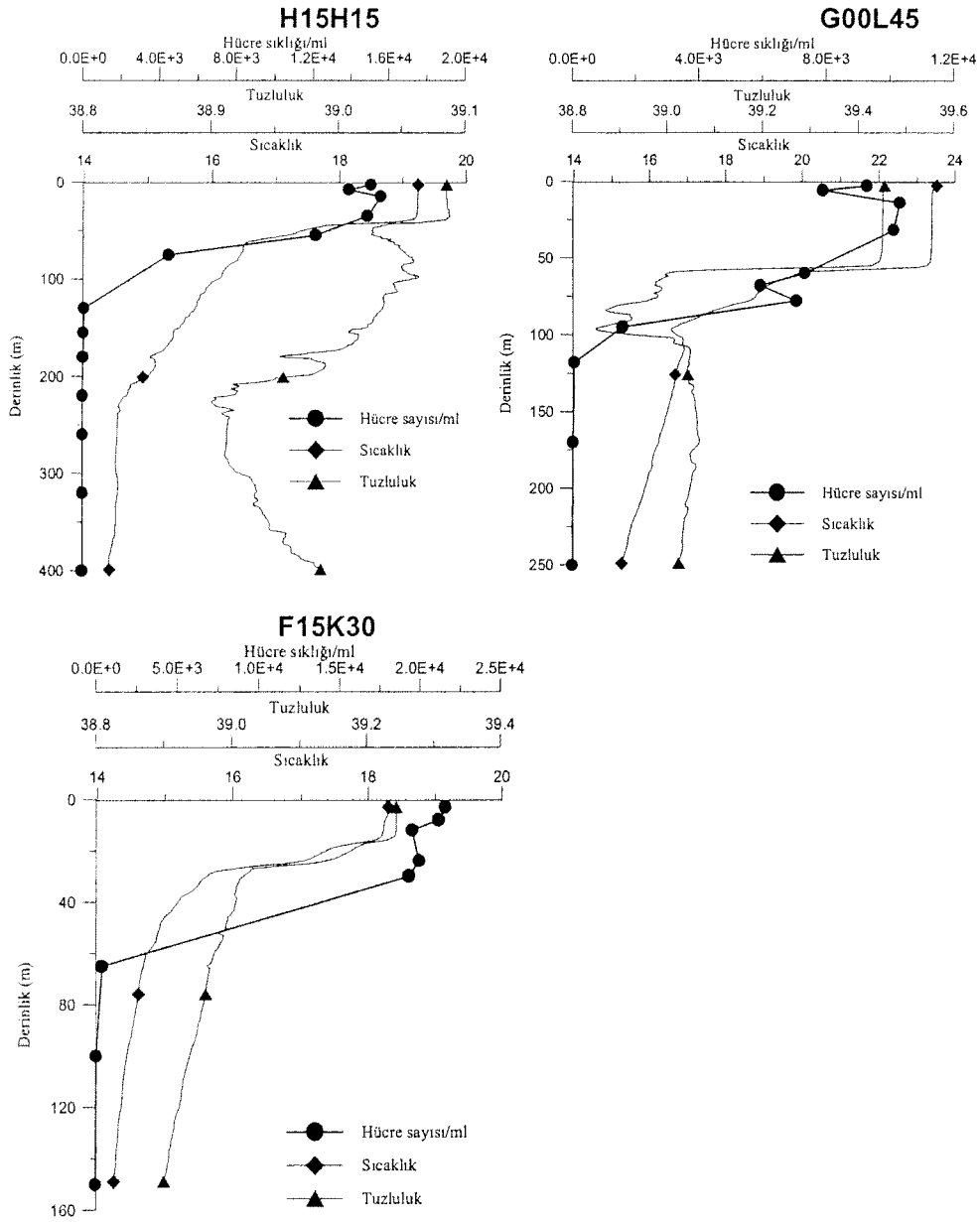
#### 3.2.1. Cyanobakteri

İstasyonlardan toplanan örneklerde yapılan hücre sayımları mililitrede toplam *Synechococcus* sp. sayısı olarak verilmektedir. Şekil 19-20'da de görüldüğü üzere, hücre sayımları tüm istasyonlarda derinlikle azalma göstermektedir. Fotosentetik hücreler olmaları nedeni ile bu grup ışığa bağımlı olmakta ve öfotik tabakanın üst kısımlarında yoğunlaşmaktadırlar. Marmara Denizi'nde 45C İstasyonunda hücre sayımları yüzeyde 84000 h/ml düzeyinden 20 metrede haloklinin hemen altında 5800 h/ml seviyesine düşmüştür. Aynı şekilde K51J40 istasyonunda hücre sayımları yüzeyde 161000 h/ml düzeyinden haloklinin altında 30 metrede 9500 h/ml seviyesine düşmüştür. Çanakkale Boğazı Ege Denizi çıkışında C0 istasyonunda yüzeyde sayımlar 56000 h/ml seviyesinden 9 metrede 35000 h/ml seviyesine ve haloklinin altında 19 metrede 2700 h/ml seviyesine düşmüştür. Ege Denizi'nde I49G36 istasyonunda ilk 20 metrede hücre sıklığı 18000 h/ml düzeyinde olmuş ve 45 metre derinlikte 1400 h/ml seviyesine inmiştir. Buna karşın H15H15 istasyonunda hücre sayımları 55 m derinliğe kadar 12000 h/ml ve üzeri düzeylerde olmuş, 75 metrede 4500 h/ml seviyesine inmiştir. Akdeniz'de G00L45 istasyonunda hücre sayımları 78 metre derinliğe kadar ortalama 8300 h/ml seviyesini korumuş ve 95 metre derinlikte 1600 h/ml seviyesine düşmüştür. Buna

karşın daha açığı F15K30 istasyonunda hücre sayıları ilk 30 metrede ortalama 20300 h/ml seviyesinden 65 metrede 430 h/ml seviyesine düşmüştür.



Şekil 19. Araştırılan istasyonlarda Cyanobakteri *Synechococcus* sp sıklığında derinlikle değişim (su sıcaklığı ve tuzluluk profilleri ile birlikte).



Şekil 20. Araştırılan istasyonlarda Cyanobakteri *Synechococcus* sp sıklığında derinlikle değişim (su sıcaklığı ve tuzluluk profilleri eklenmiştir).

### 3.2.2. Fitoplankton

Ekim 2000 seferinde fitoplankton üzerine yapılan araştırmalarda tüm istasyonlarda tanımlanan türler Tablo 6'de verilmektedir. Bu dönemde diatomeler toplam 15 cins ve 36 tür, dinoflagellatlar toplam 10 cins ve 39 tür, Chrysophyceae grubu üyeleri 9 cins ve 12 tür, Chlorophyta grubu üyeleri 1 tür ile temsil edilmişlerdir. Hücre sıklığı açısından Marmara istasyonları (45C ve K51J40) yüzey değerleri en yüksek çıkmış, bunu sırası ile Marmara Denizi Çanakale girişi (D1) ile İstanbul Boğazı Marmara çıkışı (E2) izlemiştir. Marmara Denizi'nde değerlerin yüksek çıkması birkaç nedene bağlanabilir. Öncelikle haloklin üst sınırının yüzeye yakın olması (13-14 m civarında) yanısıra ötrofikasyona bağlı olarak fotik zonun yüzeyde çok

dar olması nedeni ile hücreler yüzeyde ve yüzeye yakın derinliklerde yoğunlaşmak durumunda kalmaktadır. Marmara Denizi ayrıca antropojenik girdiler yanısıra İstanbul Boğazı üst akıntısı ile ek besin tuzları ve organik madde girdisi nedeni ile zengin fitoplankton içerir. Marmara ve Karadeniz etki alanından çıkıldığında, Tablo 3'de verilen hücre sayılarından da anlaşılacağı üzere Ege ve Akdeniz Rodos Adası civarı istasyonların fitoplankton içeriklerinde büyük bir düşüş olmuştur. Bu durum çeşitli faktörlere bağlı olup öncelikle ortamdaki besin tuzu konsantrasyonu ve ışık şiddeti ile ilişkilidir. Oligotrofik açık denizlerde yüzeyde aşırı ışık fitoplanktonun daha derinlere kaçmasına, kendilerince optimum ışık bulunan derinliklerde gelişmesine neden olmaktadır. Bu nedenledir ki Akdeniz sisteminde alt klorofil maksimum tabakası daha derinlerde bulunmaktadır.

Hücre sıklığına paralel olarak Kuzeyden güneye doğru genelde tür çeşitliliğinde de bir azalma söz konusudur. Toplam tür sayısı Marmara'da 41 iken Ege ve Akdeniz'de ortalama 28'e düşmüştür. Dolayısı ile Marmara istasyonlarında tür çeşitlilik indisi yüksek çıkmış, buna karşın bazı baskın türlerin (özellikle kokolitlerden *Emiliana huxleyi*) Marmara'da diğer türlere oranla daha yoğun olması nedeni ile Evenness indisi düşük olmuştur. Baskın türlerin Akdeniz istasyonlarında bulunmaması nedeni ile Shannon ve Evenness indis değerleri daha yüksek çıkmıştır.

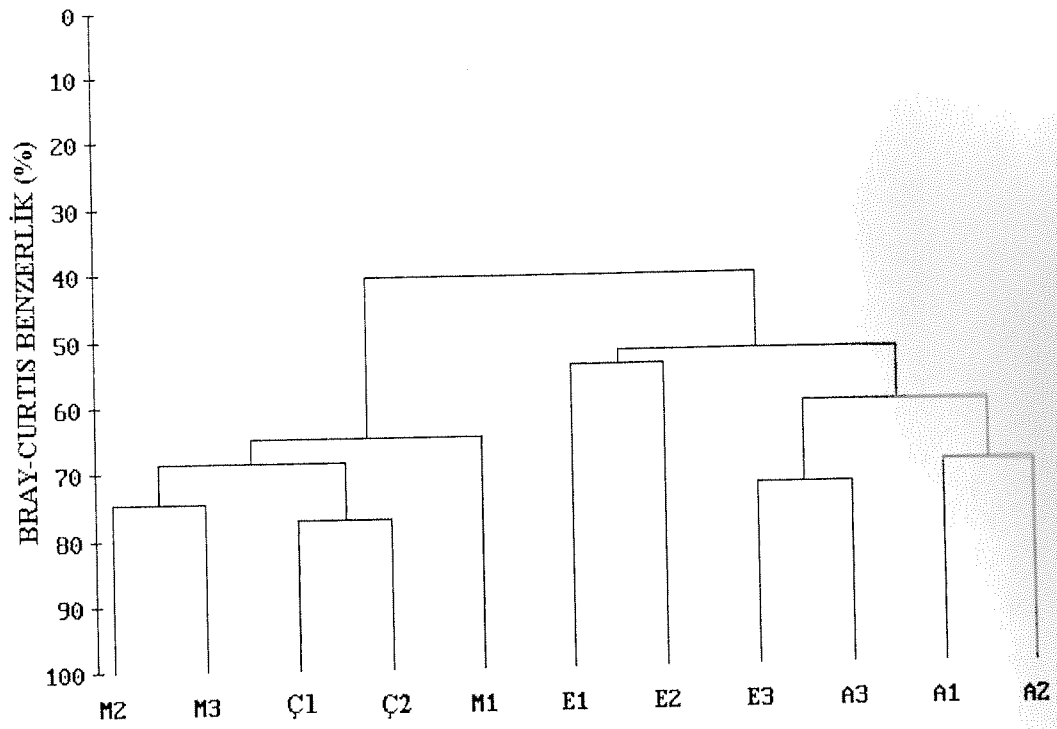
Tablo 3. İstasyonlarda elde edilen tür çeşitlilik indis değerleri.

İstasyon adı	İstasyon Kodu *	Toplam hücre/litre	Toplam sayısı/litre	Richness	Shannon	Evenness
E2	M1	84210	43	3.70	1.67	.44
45C	M2	197513	41	3.28	2.14	.57
K51J40	M3	224279	41	3.25	1.43	.38
D1	Ç1	86360	36	3.08	0.97	.27
Ç0	Ç2	69473	34	2.96	1.08	.31
I49G01	E1	13902	33	3.35	1.61	.46
I49G36	E2	6873	24	2.60	1.61	.51
H15H15	E3	14059	26	2.62	1.79	.55
G00L45	A1	5850	29	3.23	2.36	.70
F30L15	A2	6498	25	2.73	2.05	.64
F15K30	A3	16585	29	2.88	2.12	.63

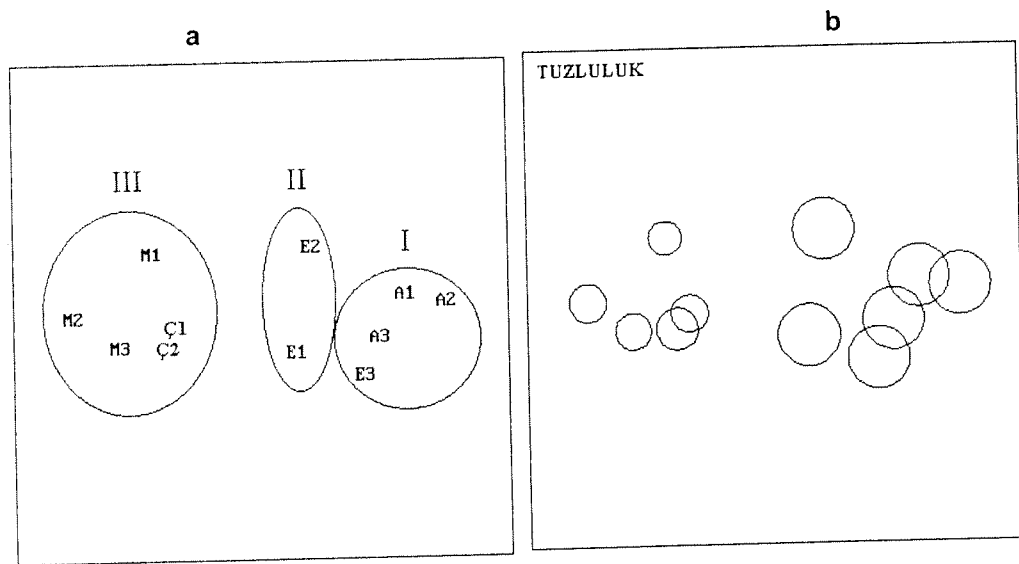
\* Çok-Çeşitlilik hesaplamalarında kullanılan istasyon kodları.

Çok-değişkenli (Multivariate) analiz tekniği ile farklı su kütlelerinde farklı fitoplankton yapısının bulunduğu saptanmıştır. Bray Curtis benzerlik (%) değerleri kullanarak çizdirilen dendograma (Şekil 21) bakıldığında Akdeniz, Ege, ve Marmara istasyonları fitoplankton yapısında belirgin farklılık görülecektir. Fitoplankton komünite yapısı olarak İstasyonlar arası en yüksek benzerlik Çanakkale Boğazı Marmara (D1) ve Ege (C0) çıkışları arasında olmuştur.

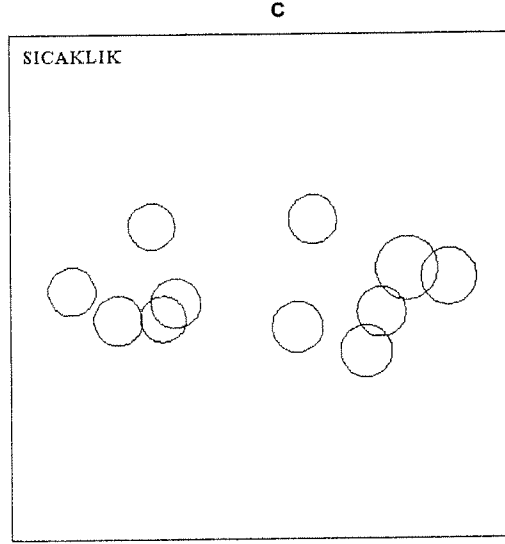
Şekil 22'de da görüleceği üzere çok-boyutlu ölçümlendirme (Multi-Dimensional Scaling – MDS) tekniği ile tüm istasyonlar 3 farklı küme içinde toplanmıştır. I. Küme Akdeniz (rodos civarı) istasyonları yanısıra H15H15 istasyonunu, II. Küme Ege istasyonlarını, ve III. Küme ise Boğazlar ve Marmara istasyonlarını içermektedir. Ortam suyu fiziksel faktörler ile ilişkilendirildiğinde birinci derecede tuzluluk faktörünün (Şekil 22b) yanısıra sıcaklığın da (Şekil 22c) etkili olduğu görülmektedir.



Şekil 21: Bray-Curtis benzerlik indisi kullanılarak istasyonların sınıflandırıldığı dendrogram.







Şekil 22. Çok-boyutlu ölçümlendirme (Multi-Dimensional Scaling – MDS) tekniği sonucu oluşan kümeler (a): I. Küme Akdeniz (rodos civarı), II. Küme Ege, ve III. Boğazlar ve Marmara istasyonları ve kümelenmenin tuzluluk (b) ve sıcaklık (c) ile ilişkisi.

Araştırılan bölge içerisinde fitoplankton komünitesinde bölgeler arasında benzerlik ve farklılıklara neden olan türler Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Birinci grubu oluşturan Akdeniz istasyonları arasındaki yakınlaşmaya en büyük katkı kokkolitlerden olmuştur. III. grupta kokkolitlerin yanısıra diatomelerden *Nitzschia pungens* ve dinoflagellatlardan *Ceratium fusus seta* katkı yapmışlardır.

Tablo 4. Fitoplankton türlerinin bölgeler arasında ortalama benzerliklere ( $\bar{S}$ ) katkıları ( $\bar{S}_i$ ).

Grup	Species	$\bar{S}_i$	SD( $S_i$ )	$\bar{S}_i/SD(S_i)$	$\Sigma \bar{S}_i$ %	
*64	<i>Emiliana huxleyi</i>	7.9	.75	10.5	12.4	
	<i>Syracosphaera</i> sp	5.9	.50	11.9	21.7	
	I	<i>Coccolithus</i> sp	4.7	.40	11.9	29.0
		<i>Calyptrosphaera</i> sp	4.5	.38	11.9	36.2
		<i>Coccolithinae</i> sp	4.4	.37	11.9	43.0
*69	<i>Emiliana huxleyi</i>	8.4	1.04	8.1	12.3	
	<i>Nitzschia pungens</i>	3.9	.44	8.8	17.9	
	III	<i>Syracosphaera</i> sp	3.8	.68	5.6	23.5
		<i>Coccolithus</i> sp	3.0	.54	5.6	27.9
		<i>Ceratium fusus seta</i>	3.0	.34	8.8	32.3

\* Gruplar arası ortalama benzerlik ( $\bar{S}$ ).

Tablo 5. Fitoplankton türlerinin bölgeler arasında toplam ortalama benzememezliklere ( $\bar{\delta} = \Sigma \bar{\delta}_i$ ) katkıları ( $\bar{\delta}_i$ )

Grup	Tür	$\bar{\delta}_i$	SD( $\delta_i$ )	$\bar{\delta}_i/SD(\delta_i)$	$\Sigma \bar{\delta}_i$ %
*48	<i>Chaetoceros decipiens</i>	1.9	.25	7.4	3.9
	<i>Nitzschia delicatissima</i>	1.8	.21	8.8	7.7
I & II	<i>Peridinium brevipes</i>	1.7	.23	7.2	11.2
	<i>Thalassiosira rotula</i>	1.6	1.01	1.6	14.5
	<i>Chaetoceros</i> sp	1.6	1.11	1.4	17.8
*62	<i>Nitzschia pungens</i>	3.1	.47	6.5	4.9
	<i>Emiliana huxleyi</i>	3.0	.66	4.6	9.9
I & III	<i>Nitzschia delicatissima</i>	2.5	.68	3.8	14.0
	<i>Ceratium fusus seta</i>	2.4	.44	5.3	17.8
	<i>Prorocentrum micans</i>	1.7	.61	2.8	20.6
*54	<i>Nitzschia pungens</i>	3.2	.51	6.2	5.8
	<i>Emiliana huxleyi</i>	3.0	.66	4.5	11.3
II & III	<i>Ceratium fusus seta</i>	2.0	.56	3.6	15.0
	<i>Chaetoceros decipiens</i>	1.8	.50	3.5	18.3
	<i>Rhizosolenia alata</i> f. gr.	1.7	1.05	1.6	21.5

\* Gruplar arası ortalama benzememezlik ( $\bar{\delta}$ ).

Tablo 6. Ekim 2000 döneminde Marmara, Ege ve Akdeniz'de tanımlanan fitoplankton türlerinin listesi.

<b>Bacillariophyta</b> (Diatomeler) <i>Bacteriastrum</i> <i>delicatulum</i> <i>Bacteriastrum furcatum</i> <i>Bacteriastrum hyalinum</i> <i>Cerataulina bergonii</i> <i>Chaetoceros affinis</i> <i>Chaetoceros dadayi</i> <i>Chaetoceros danicus</i> <i>Chaetoceros decipiens</i> <i>Chaetoceros lacinius</i> <i>Chaetoceros similis</i> <i>Chaetoceros</i> sp <i>Coscinodiscus radiatus</i> <i>Coscinodiscus</i> sp <i>Dactyliosolen blavyanus</i> <i>Ditylum brightwellii</i> <i>Hemiaulus hauckii</i> <i>Leptocylindrus danicus</i> <i>Leptocylindrus minimus</i> <i>Navicula</i> sp (1) <i>Navicula</i> sp (2) <i>Nitzschia delicatissima</i> <i>Nitzschia longissima</i>	<i>Nitzschia pungens</i>	<i>Ceratium</i>
	<i>Pleurosigma</i> sp	<i>longirostrum</i>
	<i>Rhizosolenia alata</i>	<i>Ceratium</i>
	<i>Rhizosolenia alata</i>	f. <i>macroceros</i>
	<i>gracillima</i>	<i>Ceratium</i>
	<i>Rhizosolenia calcaravis</i>	<i>macroceros</i>
	<i>Rhizosolenia fragilissima</i>	<i>gallicum</i>
	<i>Rhizosolenia robusta</i>	<i>Ceratium teres</i>
	<i>Rhizosolenia setigera</i>	<i>Ceratium tripos</i>
	<i>Rhizosolenia stolterfothii</i>	<i>Dinophysis</i>
	<i>Thalassionema</i>	<i>acuminata</i>
	<i>nitzschioides</i>	<i>Dinophysis caudata</i>
	<i>Thalassiosira decipiens</i>	<i>Dinophysis fortii</i>
	<i>Thalassiosira rotula</i>	<i>Dinophysis ovum</i>
	<i>Thalassiosira</i> sp	<i>Dinophysis</i>
	<i>Thalassiothrix</i>	<i>sphaerica</i>
	<i>mediterranea</i>	<i>Gymnodinium</i> sp
		<i>Gymnodinium</i>
		<i>splendens</i>
	<b>Pyrrophyta</b> (Dinoflagellatlar)	<i>Gyrodinium</i>
	<i>Ceratium extensum</i>	<i>fusiforme</i>
	<i>Ceratium furca</i>	<i>Gyrodinium</i>
	<i>Ceratium furca furca</i>	<i>lachryma</i>
	<i>Ceratium fusus</i>	<i>Gyrosigma</i> sp
	<i>Ceratium fusus seta</i>	<i>Noctiluca scintillans</i>
	<i>Ceratium horridum buceros</i>	<i>Oxytoxum</i>
		<i>caudatum</i>

*Oxytoxum longum*  
*Oxytoxum milneri*  
*Oxytoxum scolopax*  
*Oxytoxum variabilis*  
*Peridinium brevipes*  
*Peridinium divergens*  
*Peridinium punctulatum*  
*Peridinium sp*  
*Peridinium steinii*  
*Peridinium trochoideum*  
*Prorocentrum*  
*compressum*  
*Prorocentrum micans*  
*Prorocentrum ovum*  
*Prorocentrum scutellum*  
*Prorocentrum sp*  
*Pyrophacus horologium*

### **Chrysophyta**

*Acanthoica quattrosolina*  
*Calyptosphaera oblonga*  
*Calyptosphaera sp*  
*Coccolithinae sp*  
*Coccolithus sp*  
*Dictyocha fibula*  
*Distephanus speculum*  
*Emiliana huxleyi*  
*Rhabdosphaera claviger*  
*Rhabdosphaera tignifer*  
*Syracosphaera pulchra*  
*Syracosphaera sp*

### **Chlorophyta**

*Pterosperma sp*

### 3.3. Atmosfer Girdileri ve Deniz Ekosistemine Etkileri

Burada sunulan araştırma verileri doğu Akdeniz'de iki ayrı istasyonda toplanan zaman serisi numunelerinin analizleri ile elde edildiği için basen ölçeğinde zamansal değişimi görebilmeye olanak sağlamıştır. Doğru Akdeniz'de iki ayrı istasyonda eş zamanlı toplanan örneklerin birlikte değerlendirilmesi ilk olması açısından benzer araştırmalar arasında özgün değeri vardır. Bu bölümde ilk olarak doğu Akdeniz'e atmosfer ile taşınan besin tuzları ile ilgili araştırmanın sonuçları sunulacak daha sonra ise doğu Akdeniz atmosferinde bulunan sülfat aerosolleri ve kaynakları ile ilgili sonuçlar sunulacaktır.

#### 3.3.1. Doğru Akdeniz'e yağış çökeltme mekanizması ile ulaşan besin tuzları

Girit de bulunan Heraklion istasyonunda Eylül 1999-Eylül 2000 dönemi arasında toplam 41 adet yağmur örneği (bu dönem içinde düşen toplam yağışın > 95 ine denk düşmektedir) toplanmıştır. Erdemli istasyonunda ise Şubat 1999-Aralık 1999 dönemi arasında toplam 16 adet yağmur örneği (bu dönem içinde düşen toplam yağışın % 70 ine denk düşmektedir) toplanmıştır. Heraklion istasyonuna ait yağış örneklerinin toplam reaktif fosfor (TRP) analiz sonuçlarının hacim ağırlıklı ortalaması  $0.24 \mu\text{mol L}^{-1}$  iken Erdemli istasyonuna ait örneklerde bu değer  $0.48 \mu\text{mol L}^{-1}$  dir. Aynı şekilde Heraklion'a ait yağışlarda hacim ağırlıklı nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ortalaması  $17.9 \mu\text{mol L}^{-1}$  olup bu değer Erdemli'de  $46.3 \mu\text{mol L}^{-1}$  dir. Bu ortalama değerler aynı döneme ait toplam yağış miktarları ile ( $50 \text{ cm yıl}^{-1}$  Heraklion ve  $35 \text{ cm yıl}^{-1}$  Erdemli) çarpılıp yıllık yağış akı miktarları hesaplanmıştır. Erdemli için yıllık TRP yağış akı değeri  $167.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$  iken yıllık yağış nitrat akı değeri  $16.2 \text{ mmol m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$  dir. Heraklion için ise yıllık TRP yağış akı değeri  $119.3 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$  iken yıllık yağış nitrat akı değeri  $9.0 \text{ mmol m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$  dir.

#### 3.3.2. Doğru Akdeniz'e kuru çökeltme mekanizması ile ulaşan besin tuzları

Kuru çökeltme akılarının belirlenmesi için aerosollerde çözünmüş inorganik fosfat (DIP) ve toplam inorganik fosfat (TIP) olmak üzere iki farklı formda fosfat analizleri gerçekleştirilmiştir. Fosfat analizlerinin yanısıra aerosol örneklerinde suda çözülebilen nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ve amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) analizleride yapılmıştır. İstasyonları etkileyen kaynak bölgelerinin ölçülen konsantrasyon değerleri üzerindeki etkisinin belirlenebilmesi için her aerosol örnekleme gününe ait hava kütlesi geri yörünge (air mass back trajectories) analizleri (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) kontrol edilmiştir. Aerosollerde ölçülen besin tuzu değerlerinin mevsimsel ve sektörel değerleri Tablo 7 de her iki istasyon için sunulmuştur. Girit deki (Finokolia) TIP ve DIP derişimleri yaz mevsiminde en yüksek değerlere ulaşmış mevsimsel bir değişim gösterirken benzer değişim Erdemli'de görülmemiştir (bknz. Tablo7 a ve b). Her iki istasyon için elde edilen TIP ve DIP derişimleri literatürde yer alan diğer araştırmaların sonuçları ile uyumludur. Güneydoğu Akdeniz atmosferinde toplanan aerosoller için Herut ve diğ. (1999a) tarafından rapor edilen TIP derişimleri Avrupa sektöründen kaynaklanan aerosoller için  $0.65 \text{ nmol m}^{-3}$  iken Afrika/Arap Yarımadası sektöründen kaynaklanan aerosoller için  $2.91 \text{ nmol m}^{-3}$  dür. Bergametti ve diğ. (1992) nin batı Akdeniz'de elde ettikleri sonuçlarda Finokolia'da gözlenen mevsimsel değişim ile uyumludur.

Genel olarak DIP/TIP ortalaması 0.35 olup aerosollerdeki fosfatın DIP ve TIP formları her iki istasyonda da birbirleri ile lineer ilişki göstermektedir ( $r^2=0.59$  Finokolia ve  $r^2=0.52$  Erdemli). Ancak Sahra kaynaklı örneklerde DIP/TIP oranının  $\sim 0.1-0.3$  değerlerine kadar düştüğü görülmüştür. Tablo 1'de verilen sektörel derişim değerlerine bakıldığında TIP derişiminin SW (Sahra çölünden

kaynaklanan örnekleri temsil etmektedir) sektöründe NE ve/veya NW (Avrupa kıtasından kaynaklanan hava kütleleri) sektörüne kıyasla iki kat daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç Herut ve diğ. (1999a) bulguları ile uyumlu olup Sahra tozundan etkilenen aerosol numunelerinde fosfat çözünürlüğünün çok düşük olduğunu göstermektedir. TIP değerleri her iki istasyonda toplanan numunelerde ölçümü yapılan deniz tuzundan kaynaklanmayan  $Ca^{+2}$  ile istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki göstermiştir (bkz. Şekil 23). Her iki istasyon verileride istatistiksel açıdan anlamlı bir ilişki göstermiş olmasına rağmen Finokolia için hesaplanan eğim ( $1.86 \times 10^{-2}$ ) Erdemli değerinden ( $1.4 \times 10^{-2}$ ) büyüktür. Bu ise Finokolia istasyonunun Sahra çölünden nisbeten daha az etkilendiğini göstermektedir. Benzer ilişki Herut ve diğ. (1999a) tarafından rapor edilmiş olup elde edilen eğim  $1.3 \times 10^{-2}$  dir. Aerosollerde ölçülen fosfatın topraktan kaynaklanan fraksiyonunun antropojenik emisyonlardan kaynaklanan fosfattan ayrılması için literatürde P/Al oranları kullanılmıştır (Bergametti ve diğ., 1992). Bu çalışmada TIP in topraktan kaynaklanan miktarı Finokolia istasyonu için 25 %, Erdemli istasyonu için ise 34 % olarak hesaplanmıştır.

Tablo 7. Doğu Akdeniz aerosollerinde toplam inorganik fosfat (TIP), çözülmüş inorganik fosfat (DIP), nitrat ( $NO_3^-$ ) ve amonyumun ( $NH_4^+$ ) mevsimsel ve sektörel geometric ortalama değerleri. (a) Finokolia; (b) Erdemli.

(a) FINOKALIA

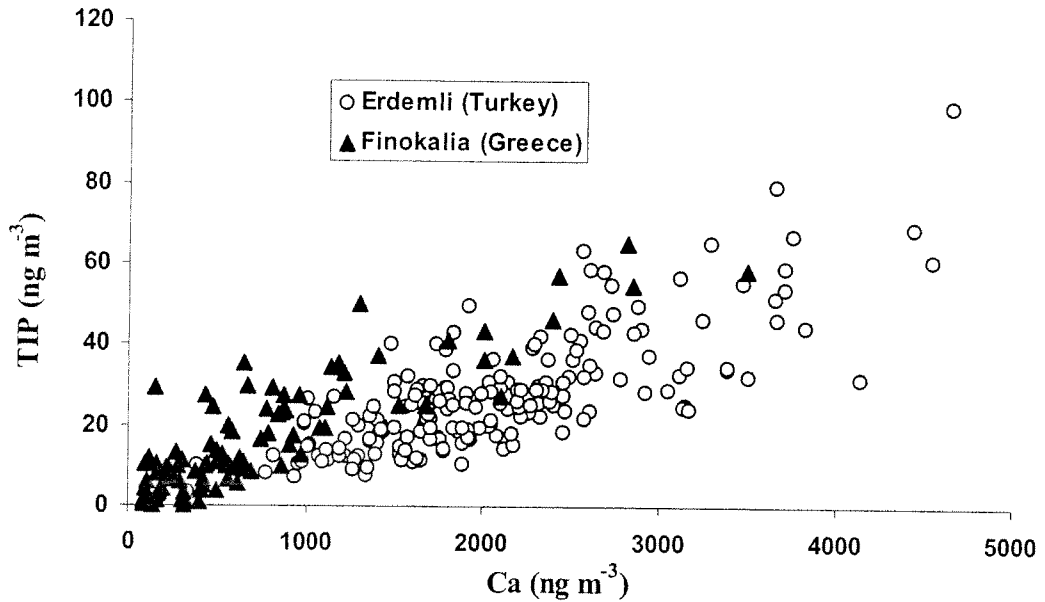
Mevsim	TIP	DIP	DIP/TIP	$NO_3^-$	$NH_4^+$
	$nmol m^{-3}$	$nmol m^{-3}$		$nmol m^{-3}$	$nmol m^{-3}$
Kış	0.13	0.03	0.23	8.9	16.4
İlkbahar	0.57	0.23	0.40	12.4	21.4
Yaz	0.80	0.31	0.39	27.6	41.0
Sonbahar	0.50	0.18	0.36	15.0	17.2
Yıllık ortalama	0.43	0.13		16.0	24.0
<b>Sektör</b>					
N/NE	0.63	0.24	0.37	15.3	36.6
NW	0.70	0.29	0.42	17.6	33.2
W	0.60	0.24	0.40	20.5	18.4
SW	1.18	0.26	0.22	17.2	10.7

(b) ERDEMLİ

Mevsim	TIP	DIP	DIP/TIP	$NO_3^-$	$NH_4^+$
	$nmol m^{-3}$	$nmol m^{-3}$		$nmol m^{-3}$	$nmol m^{-3}$
Kış	0.62	0.15	0.24	30.7	75.0
İlkbahar	0.87	0.31	0.36	76.3	146.6
Yaz	0.76	0.32	0.43	72.7	142.9
Sonbahar	0.87	0.29	0.33	51.2	108.5
Yıllık ortalama	0.77	0.26		57.7	118.3
<b>Sektör</b>					
N/NE	0.84	0.34	0.40	64.7	133.4
NW	0.74	0.26	0.35	39.3	91.1
W	0.62	0.21	0.34	76.4	139.4
SW	1.66	0.38	0.23	106.2	129.9
SE	0.94	0.20	0.22	29.5	84.8

Aerosollerde ölçümü gerçekleştirilen  $\text{NO}_3^-$  ve  $\text{NH}_4^+$  her iki istasyonda da yaz mevsiminde yüksek derişimler göstermektedir (bkz Tablo 7). Erdemli istasyonunda ise Finokolia'dan farklı olarak ilk bahar mevsiminde de yüksek değerler gözlemlenmiştir. Özsoy ve diğ. (2000) Erdemli'de gözlenen yüksek değerlerin lokal aktivitelerden (trafik, tarımda gübreleme faaliyetleri) kaynaklanabileceğini öne sürmüşlerdir. Finokolia istasyonu verilerinde  $\text{NO}_3^-$  derişimlerinde sektörel bir farklılaşma görülmezken Erdemli istasyonunda SW (Sahra çölü) sektöründe gözlenen değerler N sektöründe (Avrupa ve Rusya) gözlenen değerlerden iki veya üç kat daha fazladır.

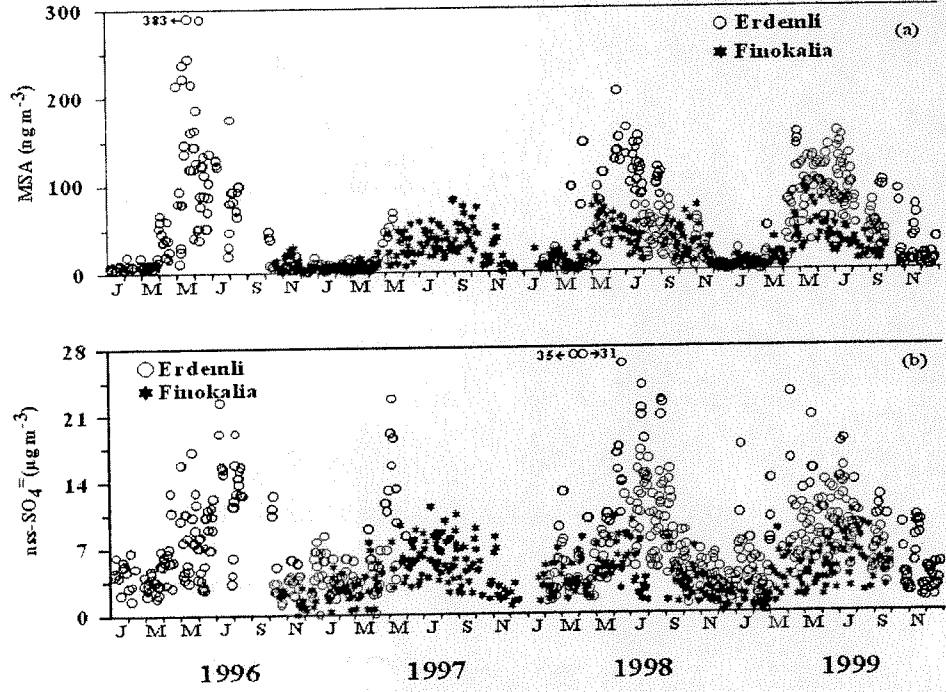
Aerosollerde ölçülen yıllık ortalama fosfat ve azot (nitrat ve amonyum azotu) derişimleri kuru çökeltme hızları ile çarpılarak yıllık kuru akı miktarları her iki istasyon için hesaplanmıştır. Erdemli için yıllık DIP kuru akı değeri  $167.9 \mu\text{mol m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$  iken yıllık kuru azot (nitrat ve amonyum) akı değeri  $43.88 \text{mmol m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$  dir. Heraklion için ise yıllık DIP kuru akı değeri  $125 \mu\text{mol m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$  iken yıllık kuru azot (nitrat ve amonyum) akı değeri  $11.60 \text{mmol m}^{-2} \text{yıl}^{-1}$  dir.



Şekil 23. Finokolia ve Erdemli numunelerinde gözlenen TIP ve nss- $\text{Ca}^{+2}$  ilişkisi.

### 3.3.3. Doğu Akdeniz Atmosferi Aerosollerindeki Sülfatın Kaynakları

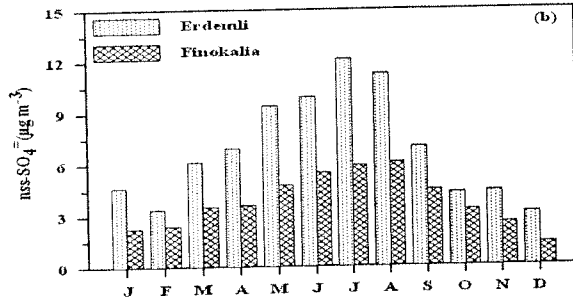
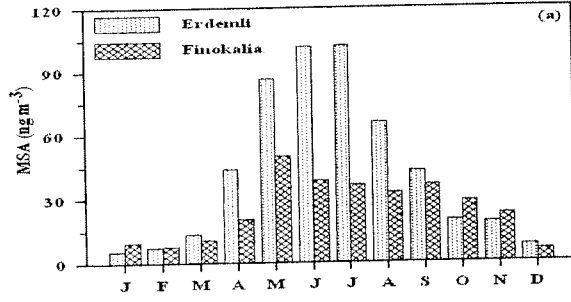
Denizlerdeki biyolojik aktivite kaynaklı gazlar (dimetilsülfid, DMS, gibi) atmosfere kaçıktıklarında atmosferdeki sülfür döngüsü üzerinde etki yapma potensiyeline sahiptir. Denizsel biyolojik üretimin iz sürücüsü olan DMS gazı atmosferde fotokimyasal dönüşüm süreçleri sonucunda metan sülfonat ( $\text{MSA}^-$ ) ve sülfat ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) aerosollerine dönüşürler. Denizsel bölgelerin atmosferindeki aerosollerde ölçülen sülfatın kaynakları antropojenik, deniz tuzu ve biyojenik aktivitelerdir. Aerosollerde sülfatın yanısıra deniz tuzunun iz sürücü elementi olan sodyum ( $\text{Na}^+$ ) ile biyojenik aktivitenin iz sürücüsü olan  $\text{MSA}^-$  ölçümleri gerçekleştirilerek toplam sülfata kaynakların göreceli katkısını belirlemek mümkündür. Bu çalışma kapsamında Erdemli ve Finokolia istasyonlarında 1996-1999 periyodunda eş zamanlı toplanan aerosollerin analizleri sonucunda doğu Akdeniz aerosollerindeki sülfata biyojenik aktivitenin katkısı belirlenmiştir. Şekil 24'de her iki istasyonda gözlenen denizden kaynaklanmayan sülfat ( $\text{nss-SO}_4^{2-}$ ) ve  $\text{MSA}^-$  nın zaman serisi değişimi sunulmuştur.



Şekil 24. Aerosollerdeki günlük MSA ve nss-SO<sub>4</sub><sup>-3</sup> ölçümlerinin zamansal değişimi.

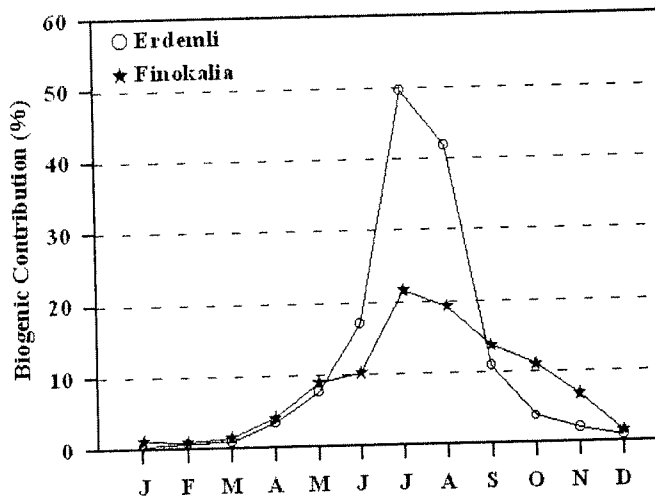
Şekil 3'ten görüleceği üzere her iki parametrede (MSA, nss-SO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) yaz aylarında maksimum değerlere ulaşır ve kış aylarında ise minimum seviyelere düşmektedir. Ancak bu zamansal değişim her iki istasyon için geçerli iken derişim değerleri Erdemli'de daha yüksektir. Erdemli'de ölçülen ortalama MSA değeri  $44.6 \pm 48.5$  ng m<sup>-3</sup> iken Finokalia'da  $26.5 \pm 20.1$  ng m<sup>-3</sup>'dür. Aynı döneme tekabül eden ortalama nss-SO<sub>4</sub><sup>-3</sup> derişimleri Erdemli'de  $6.97 \pm 5.08$  µg m<sup>-3</sup> iken Finokalia'da  $4.08 \pm 2.40$  µg m<sup>-3</sup>'tür. Görüleceği üzere derişimlerin standart sapmaları ortalama derişim değerlerine oldukça yakındır. Bu durum günlük ve/veya haftalık zaman ölçeğinde yüksek değerlerin gözlemlendiğine işaret etmektedir. MSA derişimlerinde yüksek değerler dört senelik gözlem dönemi boyunca Mayıs ayının ikinci yarısında başlayıp Haziran ve Temmuz aylarında yüksek seviyelerde devam edip daha sonra düşmektedir (bkz. Şekil 24a).

Şekil 24'de sunulan günlük derişim değerlerinden hesaplanan aylık ortalama MSA, nss-SO<sub>4</sub><sup>-3</sup> değışımi Şekil 25'de sunulmuştur. Aylık ortalama MSA derişimlerinden görüleceği üzere Erdemli istasyonunda ölçülen değerler Finokalia'dan daha yüksek olup Haziran ve Temmuz aylarında maksimuma ulaşmaktadır.



Şekil 25. Aerosollerdeki aylık ortalama MSA ve nss-SO<sub>4</sub><sup>-3</sup> derişimlerinin değişimi.

Aerosollerde ölçülen toplam sülfata biyojenik katkı miktarı Bates ve diğ. (1992) tarafından literature sunulan amprik formül yardımı ile hesaplanıp Şekil 26'de sunulmuştur. Erdemli'de ölçülen toplam sülfata denizsel biyojenik katkı yıl bazında % 25 iken bu katkı Temmuz ayında % 50 civarına çıkmaktadır. Temmuz ayında Finokalia istasyonunda ölçülen toplam sülfata biyojenik katkı ise % 20 civarındadır.

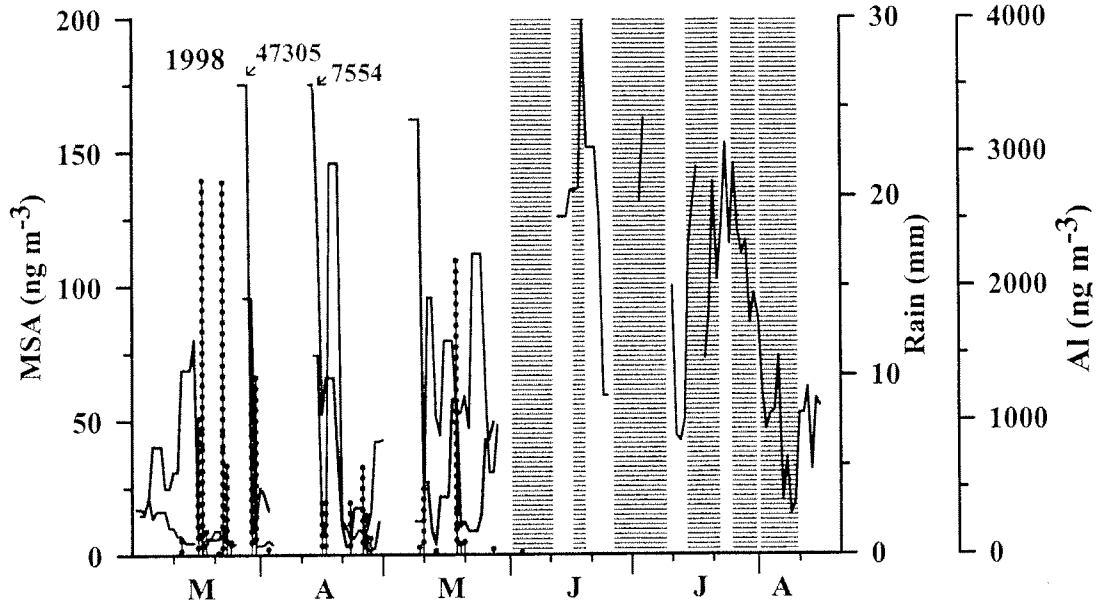


Şekil 26. Aylık ortalama toplam sülfat derişimlerine biyojenik katkının zamansal değişimi.

Şekil 27'de 1998 yılında Erdemli'de toplanan aerosol örneklerinde gerçekleştirilen metan sülfonat (MSA), alimünyum (Al) derişimlerinin bahar ve yaz aylarındaki değişimi ile birlikte Erdemli'ye düşen günlük yağış miktarı sunulmuştur. Yaz aylarında Erdemli istasyonunda gözlenen yüksek MSA derişimlerinin kaynaklarını belirlemek amacı ile 1998 yılı Mayıs-Ağustos dönemine ait hava kütlelerinin geri yörüngeleri detaylı olarak incelenmiştir. Şekil 28' de verilen örneklerde görüleceği üzere Temmuz ve Haziran 1998 döneminde her iki istasyon (Erdemli

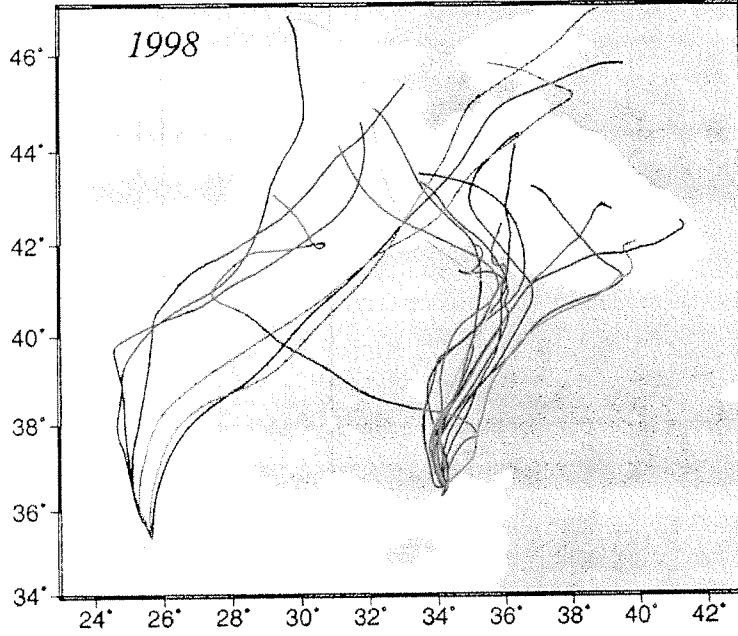


ve Finokalia) sıklıkla Karadeniz üzerinden gelen hava akımlarının etkisi altında kalmaktadır. Şekil 6'da Erdemli istasyonunun Karadeniz kaynaklı hava kütlelerinin etkisinde olduğu dönemler kesik çizgili barlar ile belirtilmiştir.



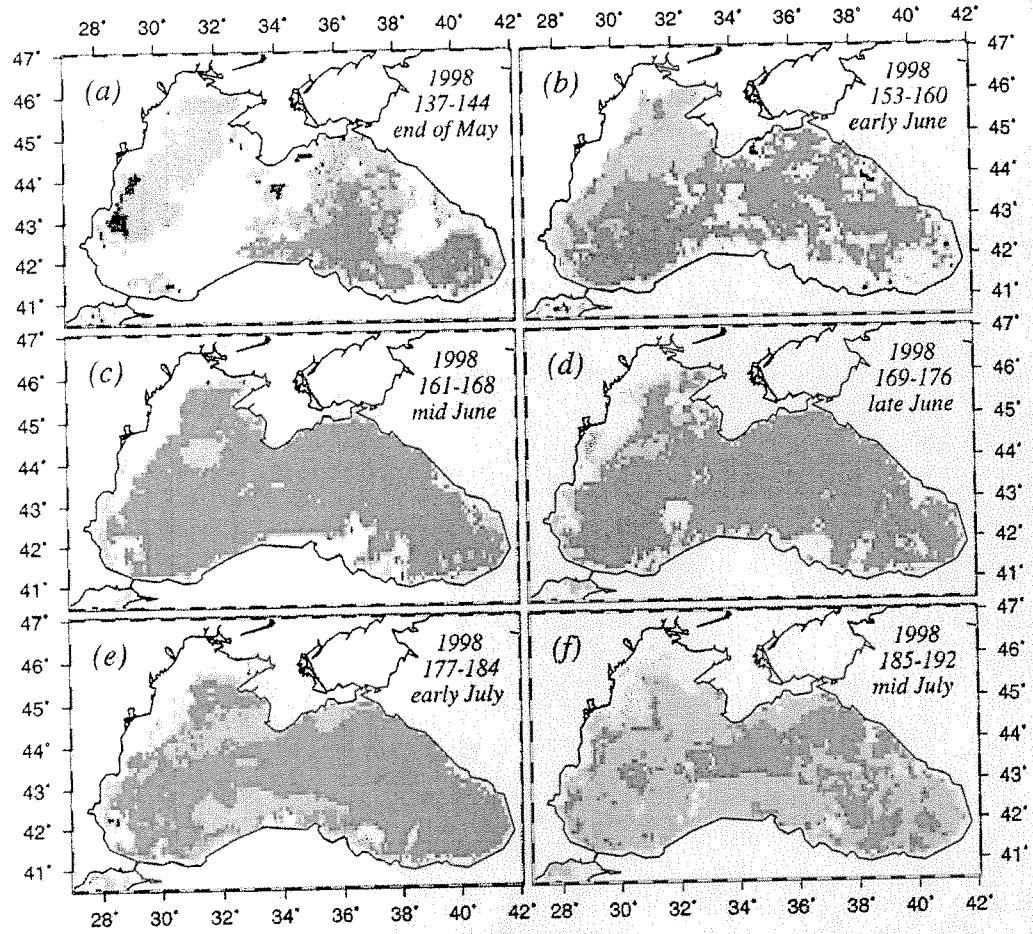
Şekil 27. 1998 yılında Erdemli aerosollerinde ölçülen MSA (siyah çizgiler) ve Al (kırmızı çizgiler) derişimlerinin bahar ve yaz aylarındaki dağılımı. Günlük yağış miktarı noktalı barlar ile gösterilmiştir. Erdemli istasyonunun Karadeniz üzerinden kaynaklanan hava kütlelerinden etkilendiği dönemler kesikli çizgi ile gösterilen barlar ile tanımlanmıştır.

Yaz aylarındaki yüksek MSA derişimleri Karadeniz üzerinden taşınan hava kütleleri ve bu denizin tüm yüzeyini kaplayan kokolit türü fitoplankton patlamaları ile ilişkilendirilmiştir. Karadeniz'de yaz aylarında rutin olarak kokolit patlamaları olduğu SeaWIFS verileri kullanılarak uzaktan algılama metodu ile kanıtlanmıştır (Çokacar ve diğ., 2001). 1998 yılına ait Mayıs-Temmuz ayları arasındaki kokolit patlamaları Çokacar ve diğ. (2001)'nin kullandıkları algoritma ile proses edilmiş olan SeaWIFS verileri ile gösterilmiştir (bkz Şekil 29). Uzaktan algılama verileri ile bu dönemde tüm Karadeniz baseninin kokolit türü fitoplankton patlamalarına maruz olduğu kanıtlanmıştır. Bu tür organizmalar yoğun olarak DMS üretmeleri nedeni ile Karadeniz üzerindeki atmosferde DMS ve MSA derişimlerinin yüksek olması beklenir. Sonuç olarak, yaz aylarında Erdemli ve Finokalia istasyonlarında gözlenen yüksek MSA derişimlerinin bu dönemde Karadeniz'de basen ölçeğinde patlama yapan kokolitlerin ürettiği DMS'in Karadeniz üzerinden kaynaklanarak Erdemli istasyonuna ulaşan hava kütleleri ile taşındığı şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 28. 1998 yılı Haziran ve Temmuz aylarında Erdemli ve Finokalia istasyonlarını etkileyen Karadeniz kaynaklı hava kütlelerinin 3 günlük geri yörüngeleri.

Bahar aylarında MSA ve AI derişimlerinde ani yükselmeler gözlenmiştir. Erdemli istasyonunda bahar aylarında toplanan aerosol ve yağış numunelerinde gözlenen AI derişimlerindeki ani artışların istasyon bölgesine ulaşan hava kütlelerinin geri yörüngeleri ile bütünleşik olarak değerlendirilmesi sonucunda bölge atmosferine episodik olarak taşınan çöl tozlarından kaynaklandığı kanıtlanmıştır (Kubilay ve diğ., 2000; Özsoy ve Saydam, 2000; 2001). Şekil 27'de bahar aylarında gözlenen MSA derişimindeki ani yükselmeler, yağmurlar ile yıkanarak deniz yüzeyine çökelen çöl tozlarının deniz ortamındaki biyolojik aktiviteyi arttırmasına bağlanmıştır.

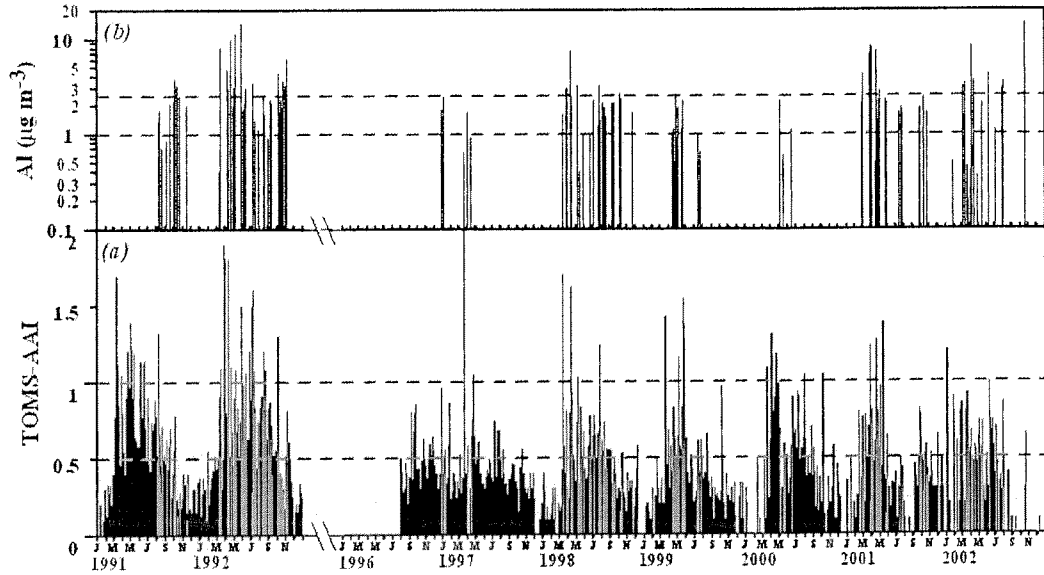


Şekil 29. Mayıs-Temmuz 1998 dönemine ait SeaWIFS sensörünün 8 günlük komposit verilerinden türetilen Karadeniz'in yüzey sularındaki kokolit dağılımı. (a) Mayıs sonu; (b) Haziran başı; (c) Haziran ortası; (d) Haziran sonu; (e) Temmuz başı; (f) Temmuz ortası. Haritalar üzerinde siyah renk ile boyanan bölgeler kokolit patlamalarının olduğu alanları, gri renkli bölgeler ise kokolit patlamalarının olmadığı alanları ve beyaz renkli bölgeler ise bulut ile kaplı alanları tanımlamaktadır.

Nisan ayı için uzun dönemli (21 yıl ortalaması) TOMS-AAI değerleri hesaplanıp Şekil 27 de sunulmuştur. Nisan ayı özellikle seçilmiştir. Çünkü doğu Akdeniz'e Sahra çölü tozları taşınımı bu ayda en yoğun biçimde gözlenmektedir (Ganor, 1994; Moulin ve diğ., 1998; Israelevich ve diğ., 2002). Genel olarak TOMS-AAI (atmosferdeki çöl tozunu göstermektedir) dağılımı enlemsel değişim göstermekte olup güneyde (Afrika kıtası üzerinde) çöl tozu yoğun olarak bulunmakta kuzeyde ise ihmal edilecek kadar az miktarda toz vardır (bkz. Şekil 27). Kuzey Afrika kıtası üzerinde TOMS-AAI değerleri  $>1$  den büyüktür. Doğu Akdeniz atmosferinde TOMS-AAI değerleri enlemsel değişim gösterip 1.0 ile 0.6 değerleri arasında değişmektedir. Batı Akdeniz atmosferi bu dönemde toz taşınımından daha az etkilenmekte olup yoğun toz taşınımı yaz aylarında gözlenmektedir (Moulin ve diğ., 1998; Israelevich ve diğ., 2002).

Şekil 27de görülen karenin ( $20.5^{\circ}$  N ve  $45.5^{\circ}$  N enlemleri ile  $0.0^{\circ}$  ve  $45.5^{\circ}$ E boylamları ile sınırlı) içine düşen TOMS-AAI verilerinin günlük ortalama değerleri Şekil 28a'da sunulmuştur. Bu şekile sadece Erdemli'de yer ölçümlerinin bulunduğu 1991-1992 ve 1996-2002 dönemine ait TOMS-AAI verileri dahil edilmiştir. Buradaki araştırma kapsamına dahil edilen yer ölçümleri sayısı toplam

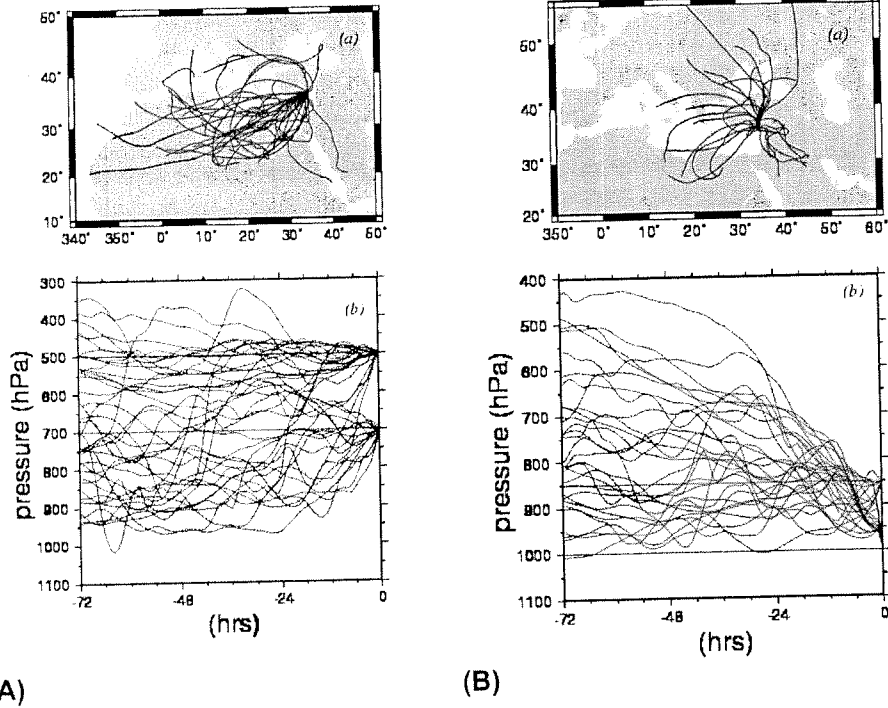
1070 adettir. Bunlardan 225 tanesi Erdemli istasyonuna çöl tozu taşınımını göstermektedir. Erdemli bölgesindeki atmosferde çöl tozunun varlığı 1070 yer ölçümünün hem TOMS-AAI değerleri ve hemde aerosol AI ölçümleri karşılaştırmalı olarak tek tek kontrol edilerek karar verilmiştir. Bu amaçla aerosol AI derişimi için  $1.0 \mu\text{g m}^{-3}$ , TOMS-AAI için ise  $>0.5$  eşik değerler olarak kullanılmıştır. Bu koşulların birini ve/veya her ikisini birden sağlayan günlere ait hava kütleleri geri yörüngeleri de (air mass back trajectory) incelenerek Sahra çölünden toz taşınımına uygun hava akımlarının olup olmadığı kontrol edilmiştir. Şekil 30a'da TOMS-AAI değerlerinin mevsimsel değişim gösterdiği gözlenmektedir. Sonbahar ve Kış aylarında (Kasım başı ile Mart başı arası) toz taşınımı görülmezken yılın geri kalan döneminde episodik TOMS-AAI yükselmeleri çöl tozu taşınımını göstermektedir. En yoğun toz taşınım olayları Mart ayının ikinci yarısında başlayıp Nisan ve Mayıs aylarında devam etmektedir. Ayrıca göreceli olarak yüksek yoğunluklu toz taşınım olayları sonbahar aylarında da gözlenmekte ve Kasım ayına kadar devam etmektedir.



Şekil 30. (a) Erdemli istasyonu için günlük TOMS-AAI dağılımı (siyah barlar). Kırmızı barlar yer ölçümlerinin olduğu günlere ait TOMS-AAI verilerini göstermektedir. (b) Günlük aerosol AI derişim değerlerinin dağılımı.

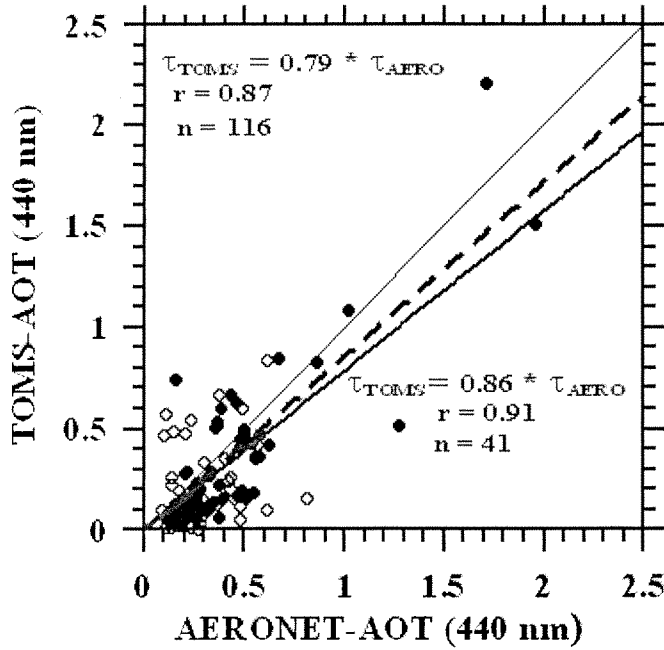
Şekil 30a'da Erdemli istasyonuna çöl tozu taşınımını  $0.5 < \text{TOMS-AAI} < 1.0$  değerleri gösterirken en yoğun toz olayları  $\text{TOMS-AAI} > 1$ 'den büyük olduğu günlere tekabül etmektedir.

Yer ölçümleri ile toz taşınımı olduğunun doğrulandığı 225 güne ait hava kütlelerinin geri yörüngeleri incelendiğinde Doğu Akdeniz'e toz taşınımının atmosferin yüksek ve alt seviyelerinde olabildiği gözlenmiştir. Şekil 31a toz taşınımının atmosferin yüksek seviyelerinde olduğunu gösteren hava kütleleri geri yörüngelerine, Şekil 31b ise alt seviyelerde taşınım olduğunu gösteren yörüngelere örnek olarak sunulmuştur.



Şekil 31. Erdemli istasyonuna toz taşınım olaylarını gösteren hava kütlesi geri yörünge analizleri. (A) Atmosferin yüksek seviyelerindeki (700 ve 500 hPa) taşınımı göstermektedir; (b) Atmosferin alt seviyelerindeki (850 ve 1000 hPa) taşınımı göstermektedir.

TOMS-AAI değerleri atmosferdeki çöl tozunun varlığı hakkında fikir vermekle birlikte bu değerler yarı nicel olup çöl tozunun atmosfer kolonundaki yoğunluğu hakkında fikir vermemektedir. Uydu verilerinin algoritmalar ile işlenmesi sonucunda elde edilen aerosol yoğunluğunu gösteren nicel değerler aerosollerin optik kalınlığı (AOT) olarak tanımlanmaktadır. TOMS verilerinden elde edilen AOT değerleri Erdemli istasyonunda bulunan ve küresel ölçüm ağı olan AERONET (<http://aeronet.gsfc.nasa.gov/>) projesinin bir parçası olan güneş fotometresi ile yer seviyesinde ölçülen AERONET-AOT değerleri ile karşılaştırılmıştır (bkz Şekil 4). Erdemli istasyonuna ait AERONET-AOT verileri daha önce gerçekleştirilmiş bir çalışmada kullanılarak bu verilerin doğu Akdeniz'in aerosol kompozisyonunun belirlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir (Kubilay ve diğ., 2003).



Şekil 32. TOMS-AOT değerlerine karşılık gelen AERONET-AOT değerleri.

Şekil 32'de öncelikle elde olan tüm AERONET-AOT değerlerine (toplam 116 tane olup içi boş daireler ile gösterilmiştir) karşılık gelen TOMS-AOT değerleri çizilmiş ve iki veri seti arasındaki korrelasyon değeri 0.87 olarak bulunmuştur. Daha sonra toplam veri seti içerisinde çöl tozu taşınımı olduğu günlere ait 41 adet TOMS-AOT değerleri AERONET-AOT (siyah renkli daireler) arasındaki ilişkiye bakıldığında ise korrelasyonun 0.91'e yükseldiği gözlenmiştir. Bu sonuç TOMS-AOT değerlerinin atmosferde çöl tozu olduğu günleri daha gerçekçi belirlediğini göstermektedir.

Atmosfer yolu ile deniz yüzeyine ulaşan besin tuzlarının denizin ışıklı tabakasındaki biyolojik açıdan kullanılabilir formda olan toplam besin tuzları bütçesine önemli katkı sağlama (özellikle dikey karışımın tabakalaşma sonucunda kısıtlandığı dönemlerde) potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir (Prospero ve diğ., 1996; Pearl, 1997). Araştırma sonuçları göstermiştir ki Akdeniz'de özellikle oligotropik dönemlerde (dikey karışımın kısıtlandığı yaz aylarında) yağışlarla deniz yüzeyine çöken besin tuzları ve/veya Sahra tozu fitoplankton büyümesine katkı sağlamaktadır (Martin ve diğ., 1999; Ridame and Guieu, 2002). Su kolonunun tabakalaşması sonucunda dip sulardan ışıklı tabakaya besin tuzu taşınımının kısıtlandığı yaz ve sonbahar aylarında atmosfer yolu ile deniz yüzeyine çöken besin tuzları üretim için yegane kaynak haline gelmektedir. Girit denizi çevresinde iki dönem (1995 ve 1997-1998) gerçekleştirilen araştırma sonucunda yaz-sonbahar döneminde yeni üretim miktarı 0.15 ile 0.23 mmol C m<sup>-2</sup> gün<sup>-1</sup> mertebesinde rapor edilmiştir (Kouvarakis ve diğ., 2001). Burada sunulan araştırma kapsamında Girit'deki istasyon için hesaplanan fosfat akışı kullanılarak yaz-sonbahar dönemi için verilen yeni üretim miktarının % 20 ile % 38 lik (Erdemli istasyonu için hesaplanan fosfat akışı kullanıldığına % 22-% 40 oranları elde edilmiştir) kısmının atmosfer ile doğu Akdeniz'e ulaşan besin tuzlarından kaynaklandığı bulunmuştur. Sonuç olarak atmosfer yolu ile doğu Akdeniz'e ulaşan fosfat miktarının özellikle stratifikasyon dönemlerinde önemli bir kaynak olduğunu söylemek mümkündür. Benzer sonuç daha önce Bergametti ve diğ. (1992) tarafından batı Akdeniz için gösterilmiştir.

Burada sonuçları sunulan araştırma çalışması çerçevesinde geçmiş dönemde uzun dönemli toplanan zaman serisi aerosol örneklerinde sülfat ve MSA analizleri gerçekleştirilerek doğu Akdeniz atmosferindeki yüksek sülfat miktarının kaynakları araştırılmıştır. Yaz aylarında her iki istasyonda da gözlenen yüksek sülfat değerleri Karadeniz'deki kokolit patlamaları ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca Erdemli istasyonunun Girit'deki istasyona nisbeten daha uzun dönem Karadeniz kaynaklı hava kütlelerinin etkisinde kalmasından dolayı sülfat ve MSA derişimlerinin Girit'deki istasyondan daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca ilkbahar aylarında kısa dönemli gözlenen sülfat ve MSA derişimlerine ait piklerin ise Akdeniz'e ulaşan Sahra çölü tozlarının deniz yüzeyindeki biyolojik aktiviteyi arttırmış olmasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu araştırma kapsamında 21 yıllık (1979-1992 ve 1996-2002) günlük TOMS-AAI verileri ile Erdemli istasyonunda gerçekleştirilen uzun dönemli aerosol Al ölçümleri kullanılarak TOMS-AAI verilerinin doğu Akdeniz atmosferine Kuzey Afrikadan taşınan tozun belirlenmesinde kullanılabileceği gösterilmiştir.

Uzun mesafeli taşınım ile yüklü miktarlarda çöl tozunun doğu Akdeniz atmosferine taşındığı noktasal çalışmalar ile daha önce gösterilmiştir. Ancak bu tozların deniz yüzeyine çöktüğü zaman ortamın biyojeokimyasal döngüleri üzerindeki olası etkilerinin belirlenebilmesi ancak atmosferdeki toz yoğunluğunun ve deniz yüzeyine akısının basen ölçeğinde belirlenebilmesi ile mümkündür. Bu ise belirlenen gereksinim doğrultusunda uzaktan algılama verilerinin kullanılabilir olmasını gerektirmektedir. Burada elde ettiğimiz bulgulardan TOMS uydusundan elde edilen verilerin doğu Akdeniz basenine taşınan çöl tozunun belirlenmesinde ve zaman/mezan ölçeğinde dağılımının saptanmasında faydalı olabileceği sonucu çıkmıştır. Konu ile ilgili gerçekleştirilen çok yeni bir araştırmanın sonuçları ise uydu verileri ile Kuzey Afrika çölünden Atlantik Okyanusu üzerine taşınan çöl tozlarının sadece basen ölçeğinde yoğunluk dağılımının değil deniz yüzeyine çökme akıları dağılımının da elde edilebileceğini göstermiştir (Kaufman ve diğ., 2005). Böylesi bir yaklaşım ise çöl tozu ile birlikte taşınan ve deniz yüzeyine çökelen fosfat ve demir gibi biyolojik üretim açısından önemli olan besin elementleri akılarının mevsimsel ve basen ölçeğinde tanımlanmasına olanak sağlayacaktır.

### Kaynaklar

- Al-Momani, İ. F., Aygun, S. and Tuncel, G., 1998. Wet deposition of major ions and trace elements in the eastern Mediterranean basin. *Journal of Geophysical Research*, 103, 8287-8299.
- Al-Momani, İ. F., Tuncel, S., Eler, Ü., Örtel, E., Sirin, G. and Tuncel G., 1995. Major ion composition of wet and dry deposition in the eastern Mediterranean basin. *The Science of the Total Environment*, 164, 75-85.
- Azov, Y., "Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in nearshore oligotrophic waters of the Levantine basin", *J. of Plankton Res.*, 8, 41-53, 1986.
- Bainbridge A.E., "GEOSECS, Atlantic Ocean Expedition", V. 2. GPO. PO, 1981.
- Baker, A.R., Kelly, S. D., Biswas, K. F., Witt, M., Jickells, T.D., 2003. Atmospheric deposition of nutrients to the Atlantic Ocean. *Geophysical Research Letters*, 2296, doi:10.1029/2003GL018518.
- Baştürk, Ö., C. Saydam, İ. Salihoğlu, L. V. Eremeev, S.K. Konovalov, A. Stoyanov, A.Dimitrov, A. Cociasu, L. Dorogan and M. Altabet, "Vertical variations in the principal chemical properties of the Black Sea in the autumn of 1991". *Mar. Chem.*, 45, 149-165, 1994.
- Baştürk, Ö., S. Tuğrul, S. Konovalov and İ. Salihoğlu, "Variations in the vertical structure of water chemistry within the three hydrodynamically different regions of the Black Sea". In E. Özsoy & A. Mikaelyan (eds), *Sensitivity to*

- Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 27: 183-196, 1997.
- Bates, T. S., Calhoun, J. A. and Quinn, P. K., 1992. Variations in the methane-sulfonate to sulfate molar ratio in submicrometer marine aerosol particles over the south Pacific ocean. *Journal of Geophysical Research*, 97, 9859-9865.
- Bergametti, G., Remoudaki, E., Losno, R., Steiner, E., Chatenet, B. and Buat-Menard, P., 1992. Source, transport and deposition of atmospheric phosphorus over the Northwestern Mediterranean. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 14, 501-513.
- Beşiktepe, Ş.T., H.İ. Sur, E. Özsoy, M.A.Latif, T.Oğuz and Ü. Ünlüata, "The circulation and hydrography of the Marmara Sea", *Prog. Oceanogr.*, 34, 285-334, 1994.
- Bethoux J.P., P. Morin, C. Madec and B. Gentili, "Phosphorus and Nitrogen behaviour in the Mediterranean Sea", *Deep-Sea Research*, 39(9), 1641-1654, 1992.
- Bologa, A. S., P. T., Frangopol, V. I., Vedernikov, L. V., Stelmakh, O. A., Yunev, A. Yılmaz, and T. Oguz, "Distribution of planktonic primary production in the Black Sea", In: *Environmental Degradation of the Black Sea: Challenges and Remedies*, (Beşiktepe *et al.*, eds.), NATO Science Series, 2, Environmental Security, 56, 131-145, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 1999.
- Bologa, A.S., "Planktonic primary productivity of the Black Sea: a review", *Thalassia Jugoslavica* 21/22(1/2), 1-22, 1985/86.
- Charlson, R. J., Langner, J., Rodhe, H., Leovy, C. B. and Warren, S. G., 1991. Perturbation of the northern hemisphere radiative balance by backscattering from anthropogenic sulfate aerosols. *Tellus*, 43AB, 152-163.
- Chiapello, I., and Moulin, C., 2002. TOMS and METEOSAT satellite records of the variability of Saharan dust transport over the Atlantic during the last two decades (1979-1997). *Geophysical Research Letters*, 29 (8), 1176, doi:10.1029/2001GL013767.
- Chiapello, I., Prospero, J. M., Herman, J. M., and Hsu, N. C., 1999. Detection of mineral dust over the North Atlantic Ocean and Africa with Nimbus 7 TOMS. *Journal of Geophysical Research*, 104, 9277-9291.
- Cociasu, A., L. Dorogan, C. Humborg and L. Popa, "Long-term ecological changes in Romanian Coastal Waters of the Black Sea", *Mar. Poll. Bull.* 32, 32-38, 1996.
- Cociasu, A., V. Diaconu, L. Popa, I. Nae, L. Buga, L. Dorogan and V. Malciu, "Nutrient stock of the Romanian shelf of the Black Sea in the last three decades", In: E. Özsoy and A. Mikaelyan (eds), *Sensitivity to change: Black Sea, Baltic and North Sea*, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 27, 49-63, 1997.
- Codispoti, L.A., G.E. Friederich, J.W. Murray and C.M. Sakamoto, "Chemical variability in the Black Sea: Implications of continuous vertical profiles that penetrated the oxic/anoxic interface", *Deep-Sea Res.*, 38, 691-710, 1991.
- Copin-Montegut, C. and G. Copin-Montegut, "Stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in marine particulate matter". *Deep Sea Res.*, 30(1), 31-46, 1983.
- Coste B., H.J. Minas and M.C. Bonin, "Proprietes hydrologiques et chimiques des eaux du basin occidental de la Mediterranee", *Publ. Cent. Natl. Explor. Oceans Result Campagnes Mer (Fr.)*, 26, 106 p. 1984.
- Çoban-Yıldız, Y., Tuğrul, S., Polat, S.Ç., Ediger, D., Yılmaz, A., "A comparative study on the abundance and elemental composition of POM in three interconnected basins: the Black, the Marmara and the Mediterranean Seas", *Mediterranean Marine Sciences*, 1(1), 51-63, 2000.



- Çokacar, T., Kubilay, N., and Oguz, T., 2001. Structure of *E. huxleyi* blooms in the Black Sea surface waters as detected by SeaWiFS imagery. *Geophysical Research Letters*, 28, 4607-4610.
- Dauchez, S., B. Queguiner, P. Treguer, C. Zeyons, "A comparative study of nitrogen and carbon uptake by phytoplankton in a coastal eutrophic ecosystem (Bay of Brest, France)", *Oceanologica Acta*, 14, 87-95, 1991.
- Duce, R.A., Liss, P.S., Merrill, J.T., Atlas, E.L., Buat-Menart, P., Hicks, B.B., Miller, J.M., Prospero, J.M., Arimoto, R., Church, T.M., Ellis, W., Galloway, J.N., Hansen, L., Jickells, T.D., Knap, A.H., Reinhardt, K.H., Schneider, B., Soudine, A., Tokos, J.J., Tsunogai, S., Wollast, R. and Zhou, M., 1991. The atmospheric input of trace species to the world ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 5: 193-259.
- Ediger, D. and A. Yılmaz, "Characteristics of deep chlorophyll maximum in the Northeastern Mediterranean with respect to environmental conditions", *J. of Mar. Systems*, 9, 291-303, 1996a.
- Ediger, D. and A. Yılmaz, "Variability of light transparency in physically and biochemically different water masses: Turkish seas", *Fresenius Environmental Bulletin*, 5, 133-140, 1996b.
- Ediger, D., "Interrelationships among primary production and environmental conditions in the Northern Levantine Basin", Ph. D. Thesis, METU, Institute of Marine Sciences, Erdemli-İçel, 178pp., 1995.
- Eker, E. ve A.E. Kıdeyş., 1999. Phytoplankton composition (>55µm) of the METU-IMS Harbour (Mediterranean Coast of Turkey) from July 1995 to June 1997 with an assessment of the contribution of small (<55µm) phytoplankters. *DOĞA Türk Botanik Dergisi*, sunuldu.
- Estrada M., "Deep phytoplankton and chlorophyll maxima in the western Mediterranean. In: *Mediterranean marine ecosystems*", M.M. Apostopoulou and V.Kiortsis (eds.), Plenum Press, New York, 247-277, 1985.
- Ganor, E. (1994). The frequency of Saharan dust episodes over Tel Aviv, Israel. *Atmospheric Environment*, 28, 2867-2871.
- Ganor, E., Foner, H.A., Bingemer, H.G., Uditsi, R. and Setter, I., 2000. Biogenic sulphate generation in the Mediterranean Sea and its contribution to the sulphate anomaly in the aerosol over Israel and the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 34, 3453-3462.
- Golley, F. B., 1972. Energy flux in ecosystems. In *Ecosystem structure and function* (ed. J.A. Wiens) s. 69-88. Oregon State University Press, Corvallis, USA.
- Guerzoni, S., Malinaroli, E. and Chester, R., 1997. Saharan dust input to the western Mediterranean Sea: depositional patterns, geochemistry and sedimentological implications. *Deep-Sea Research II*, 44: 631-654.
- Guerzoni, S., R. Chester, F. Dulac, B. Herut, M. D. Loye-Pilot, C. Measures, C. Migon, E. Molinaroli, C. Moulin, P. Rossini, C. Saydam, A. Soudine and P. Ziveri, 1999. The role of atmospheric deposition in the biogeochemistry of the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 44, 147-190.
- Guieu, C., Bozec, Y., Blain, S., Ridame, C., Sarthou, G., Leblond, N., 2002. Impact of high Saharan dust inputs on dissolved iron concentrations in the Mediterranean Sea. *Geophysical Research Letters*, 1911, doi:10.1029/2001GL014454.
- Güllü, G. H., Ölmez, İ., Aygun, S. and Tuncel, G. (1998). Atmospheric concentrations of trace elements over the eastern Mediterranean Sea: factors affecting temporal variability. *Journal of Geophysical Research*, 103, D17, 21943-21954.
- Hay, B.J., S. Honjo, S. Kempe, V.A. Ittekkot, E.T. Degens, T. Konuk and E. İzdar, "Interannual variability in particle flux in the southwestern Black Sea", *Deep-Sea Res.*, 37, 911- 928, 1990.

- Herman, J.R. P.K. Bhartia, O.Torres, C. Hsu, C. Seftor, E. Celarier, 1997. Global Distribution of UV-Absorbing Aerosols From Nimbus-7/TOMS data . Journal of Geophysical Research, 102, 16,911-16,922.
- Herut, B., Collier, R., Krom, M. D., 2002. The role of dust in supplying nitrogen and phosphorus to the southeast Mediterranean. Limnology and Oceanography, 47(3), 870-878.
- Herut, B., Kromm, D., Pan, G. and Mortimer, R., 1999a. Atmospheric input of nitrogen and phosphorus to the southeast Mediterranean : sources, fluxes and possible impact, Limnology and Oceanography, 44 (7), 1683-1692.
- Herut, B., Zohary, T., Robarts, D. and Kress, N., 1999b. Adsorption of dissolved phosphate onto loess particles in surface and deep Eastern Mediterranean water. Marine Chemistry, 64, 253-265.
- Humborg, C., V. Ittekkot, A. Cociasu and B. v. Bodungen, "Effect of Danube River dam on Black Sea biogeochemistry and ecosystem structure", Nature, 386, 385-388, 1997.
- Husar, R. B., J. M. Prospero and L. W. Stowe, 1997. Characterization of tropospheric aerosols over the oceans with the NOAA advanced very high resolution radiometer optical thickness operational product. Journal of Geophysical Research, 102, 16889-16909.
- Israelevich, P. L., Levin, Z., Joseph, J. H., and Ganor, E., 2002. Desert aerosol transport in the Mediterranean regions as inferred from the TOMS aerosol index. Journal of Geophysical Research, 107 (D21), 4572, doi: 10.1029/2001JD002011.
- Jickells, T. D., 1999. The inputs of dust derived elements to the Sargosso Sea; a synthesis. Marine Chemistry, 68, 5-14.
- Jickells, T., 1995. Atmospheric inputs of metals and nutrients to the oceans: their magnitude and effects. Marine Chemistry, 48, 199-214.
- Karl, D.M. and G.A. Knauer, "Microbial production and particle flux in the upper 350m of the Black Sea", DeepSea Res., 38(2A), 921-942, 1991.
- Kaufman, Y. J., Koren, I., Remer, L. A., Tanre, D., Ginoux, P., and Fan, S., 2005. Dust transport and deposition observed from the Terra-Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) spacecraft over the Atlantic Ocean. Journal of Geophysical Research, 110, D10S12, doi:10.1029/2003JD004436.
- Kıdeyş, A. E., 1987. Time series of chlorinated hydrocarbon residues in sea water and plankton. MS. Thesis. IMS-METU, Erdemli, 120 p.
- Kimor, B. ve E. J. F. Wood., 1975. A plankton study in the Eastern Mediterranean Sea. Marine Biology. 29, 321-333.
- Koçak, M., Nimmo, M., Kubilay, N., Herut, B., 2004. Spatio-temporal aerosol trace metal concentrations and sources in the Levantine basin of the eastern Mediterranean. Atmospheric Environment, 38, 2133-2144.
- Konovalov, S.K. and J.W. Murray, "Variations in the basic chemical properties of the Black Sea on a scale of decades (1960-1995)", J. of Mar. Systems, (In press), 2000.
- Kouvarakis, G., Mihalopoulos, N., Tselepidis, T., and Stavrakakis, S., 2001. On the importance of atmospheric inputs of inorganic nitrogen species on the productivity of the eastern Mediterranean Sea. Global Biogeochemical Cycles, 15, 805-818.
- Köksalan, İ., 2000. Weekly changes in marine *Synechococcus* spp. abundance in the northern Levantine basin shelf waters. Master Tezi, IMS-METU, İçel (henüz sunum aşamasında).
- Krivenko, O.V., Z.P. Burlakova and L.V. Eremeeva, "Basic characteristics of Biotic Nitrogen Cycle in the Open Western Part of the Black Sea", Presented at NATO TU-Black Sea Project: Symposium on Scientific Results, Crimea, Ukraine, June 15-19, 1997. In: Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea, Vol. 1, 121-136, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 1998.

- Krom, M. D., Herut, B., Mantoura, R. F. C., 2004. Nutrient budget for the eastern Mediterranean: Implications for phosphorus limitation. *Limnology and Oceanography*, 49(5), 1582-1592.
- Krom, M. D., Kress, N. and Brenner, S., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the Eastern Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 36, 424-432.
- Krom, M.D., S. Brenner, N. Kress, A. Neori and L.I. Gordon, "Nutrient dynamics and new production in a warm eddy from the eastern Mediterranean" *DeepSea Res.*, 39(3/4), 467-480, 1992.
- Kubilay, N. and Saydam, A. C. (1995). Trace elements in atmospheric particulates over the eastern Mediterranean; concentrations, sources and temporal variability. *Atmospheric Environment*, 29, 2289-2300.
- Kubilay, N., Cokacar, T., and Oguz, T., 2003. Optical properties of mineral dust outbreaks over the northeastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 108 (D21), 4666, doi: 10.1029/2003JD003798.
- Kubilay, N., S. Nickovic, C. Moulin and F. Dulac, 2000. An illustration of the transport of mineral dust onto the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment*, 34/8, 1293-1303.
- Lenes, J. M. et al., 2001. Iron fertilization and the *Trichodesmium* response on the west Florida shelf. *Limnology and Oceanography*, 46(6), 1261-1277.
- Li, W. K. W., T. Zohary. Y. Z. Yacobi., ve A. M. Wood., 1993. Ultraphytoplankton in the Mediterranean Sea: towards deriving phytoplankton biomass from flow cytometric measurements of abundance, fluorescence and light scatter. *Marine Ecology Progress Series*.Vol.102: 79-87.
- Lohrenz, S.E., D.A. Wiesenburg, I.P. Depalma, K.S. Johnson and D.E. Gustafson, "Interrelationships among primary production, chlorophyll and environmental conditions in frontal region of the western Mediterranean Sea", *Deep-Sea Research*, 35(5), 793-810, 1988.
- Loye-Pilot, M. D., J. M. Martin and J. Morelli, 1990. Atmospheric input of inorganic nitrogen to the western Mediterranean. *Biogeochemistry*, 9, 117-134.
- Luria, M., B. Lifschitz and M. Peleg, 1989. Particulate sulfate levels at a rural site in Israel. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 8, 241-250.
- Luria, M., M. Peleg, G. Sharf, D. S. Tov-Alper, N. Spitz, Y. Ben Ami, Z. Gawii, B. Lifschitz, A. Yitzchaki and I. Seter, 1996. Atmospheric sulfur over the east Mediterranean region. *Journal of Geophysical Research*, 101, 25917-25930.
- Mahaffey, C., Williams, R. G., Wolff, G. A., Mahowald, N., Anderson, W., Woodward, M., 2003. Biogeochemical signatures of nitrogen fixation in the eastern North Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 1300, doi:10.1029/2002GL016542.
- Markaki, Z., Oikonomou, K., Kocak, M., Kouvarakis, G., Chaniotaki, A., Kubilay, N., Mihalopoulos, N., 2003. Atmospheric deposition of inorganic phosphorus in the Levantine basin, eastern Mediterranean: Spatial and temporal variability and its role in seawater productivity. *Limnology and Oceanography*, 48(4), 1557-1568.
- Martin, J.M., Elbaz-Poulichet, F., Guieu, C., Loye-Pilot M-D. and G., Han, 1989. River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: An overview, *Marine Chemistry*, 28: 159-182.
- Mee, L.D., "The Black Sea in crisis: The need for concerted international action", *Ambio*, 21, 278-286, 1992.
- Migon, C. and Sandroni, V., 1999. Phosphorus in rainwater: Partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 44: 1160-1165.
- Migon, C., 1999. Phosphorus in rainwater: Partitioning inputs and impact on the surface coastal ocean. *Limnology and Oceanography*, 44(4), 1160-1165.

- Mihalopoulos, N., Stephanou, E., Kanakidou, M., Pilitsidis, S. and Bousquet, P., 1997. Tropospheric aerosol ionic composition in the E. Mediterranean region. *Tellus*, 49B, 1-13.
- Mills, M. M., Ridame, C., Davey, M., La Roche, J., Geider, R. J., 2004. Iron and phosphorus co-limit nitrogen fixation in the eastern tropical North Atlantic. *Nature*, 429, 292-294.
- Moulin, C., and Chiapello, I., 2004. Evidence of the control of summer atmospheric transport of African dust over the Atlantic by Sahel sources from TOMS satellites (1979-2000). *Geophysical Research Letters*, 31, L02107, doi:10.1029/2003GL018931.
- Moulin, C., E. Lambert, U. Dayan, V. Masson, M. Ramonet, P. Bousquet, M. Legrand, Y. J. Balkanski, W. Guelle, B. Marticorena, G. Bergametti and F. Dulac, 1998: Satellite climatology of African dust transport in the Mediterranean atmosphere. *Journal of Geophysical Research*, 103, 13137-13144.
- Moulin, C., Lambert, C. E., Dulac, F. and Sayan, U., 1997. Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation. *Nature*, 387, 691-694.
- Murray, J.M., H.W. Jannasch, S.Honjo, R.F. Anderson, W.S. Reeburgh, Z. Top, G.E. Friederich, L.A. Codispoti and E. İzdar, "Unexpected changes in the oxic/anoxic interface in the Black Sea", *Nature*, 338, 411-413, 1989.
- Murray, J.M., L.A. Codispoti and G.E. Freiderich, "Oxidation-reduction Environments: The suboxic zone in the Black Sea", In C.P.Huang, C.R.O'Melia , J.J.Morgan (eds), *Aquatic Chemistry*, ACS Advances in Chemistry Series, 244, 157-176, 1995.
- Mutlu, E., 2005. An intercomparison of the contribution of zooplankton and nekton taxa to the near-surface acoustic structure of three Turkish Seas, *Mar Ecol*, 26(1): 17-32.
- Oğuz, T., V.S. Latun, M.A. Latif, V.V. Vladimir, H.İ. Sur, A.A. Markov, E. Özsoy, B.B. Kotovhchikov, V.V. Eremeev and Ü. Ünlüata, "Circulation in the surface and intermediate layers of the Black Sea", *Deep-Sea Res.*, 40, 1597-1612, 1993.
- Orhon, S., S.Ç.Polat, N. Kıratlı ve V. Tüfekçi, "İstanbul Boğazı ve çevresine ait (1996-1998) su kalitesi parametrelerinin (ÇO, AKM, TOK) önceki dönemlere ait bulgularla karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi", *Büyükşehirlerde Atıksu Yönetimi ve Deniz Kirlenmesi Kontrolü Sempozyumu*, İSKİ, İstanbul, s. 203-216, 1998.
- Özsoy, E., A. Hecht , Ü. Ünlüata, S. Brenner, T. Oğuz, J. Bishop, M.A. Latif and Z. Rosentraub, "A review of the Levantine Basin circulation and its variability during 1985-1988", *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, 15, 421-456, 1991.
- Özsoy, E., A. Hecht and Ü. Ünlüata, "Circulation and hydrography of the Levantine Basin. Results of POEM coordinated experiments 1985-1986". *Progress in Oceanography*, 22, 125-170, 1989.
- Özsoy, T. and Saydam, A. C., 2000. Acidic and alkaline precipitation in the Cilician Basin, northeastern Mediterranean Sea. *The Science of the Total Environment*, 253(1-3), 95-101.
- Özsoy, T. and Saydam, C., 2001. Iron speciation in precipitation in the north-eastern Mediterranean and its relationship with Sahara dust. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 40, 41-76
- Özsoy, T., Saydam, C., Kubilay, N. and Salihoğlu, İ., 2000. Aerosol nitrate and non-sea-salt sulfate over the eastern Mediterranean. *The Global Atmosphere and Ocean System*, 7, 185-228.
- Pearl, H. W., 1997. Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and ground water as "new" nitrogen and other nutrient sources. *Limnology and Oceanography*, 42, 1154-1165.

- Polat, Ç., "Nutrient and organic carbon budgets of the Sea of Marmara: A progressive effort on the biogeochemical cycles of carbon, nitrogen and phosphorus", Ph.D. Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Technical University, 215 pp., 1995.
- Polat, Ç.S. and S. Tuğrul, "Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus strait", *Continental Shelf Res.*, 15(9), 1115-1132, 1995.
- Polat, S.Ç., S. Tuğrul ve Ö. Baştürk, "Marmara Denizi (N,P) dengelerine ait özet bir çalışma", *Türkiye Kıyıları 98, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı ve Fuarı*, 22-27 Eylül 1998, Ankara, Türkiye, Bildiriler Kitabı, Editör: Erdal Özhan, 639-648, 1998b.
- Polat, S.Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y., Baştürk, Ö., Salihoğlu, İ., "Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara", *Hydrobiologia*, 363, 157-167, 1998a.
- Prospero, J. M., and others, 1996. Atmospheric deposition of nutrients to the North Atlantic basin. *Biogeochemistry*, 35, 27-73.
- Redfield, A.C., B.H. Ketchum and F. A. Richards, "The influence of organisms on the composition of sea water", In: *The Sea*, Vol. 2, M.N. Hill (ed.), Wiley-Interscience, New-York, pp. 26-77, 1963.
- Repeta, D.J. and D.J. Simpson, "The distribution and recycling of chlorophyll, bacteriochlorophyll and carotenoids in the Black Sea", *Deep-Sea Res.*, 38, 969-984, 1991.
- Ridame, C. and Guieu, C., 2002., Saharan input of phosphate to the oligotrophic water of the open western Mediterranean Sea. *Limnology and Oceanography*, 47 (3), 856-869.
- Ridame, C., Moutin, T., Guieu, C., 2003. Does phosphate adsorption onto Saharan dust explain the unusual N/P ratio in the Mediterranean Sea?. *Oceanologica Acta*, 26, 629-634.
- Salihoğlu İ., C. Saydam, Ö. Baştürk, K.Yılmaz, D. Ediger, E. Hatipoğlu and A. Yılmaz, "Transport and distribution of nutrients and chlorophyll-a by meso-scale eddies in the Northeastern Mediterranean", *Marine Chemistry*, 29, 375-390, 1990.
- Salihoğlu, İ., A.C.Gücü, Z. Uysal ve A.Yılmaz., 1997. Kuzeydoğu Akdeniz Ekolojisi. "Kuzeydoğu Akdeniz Ekolojisi çerçevesinde Leseptiyen balıkların ve balık faunasındaki yerlerinin belirlenmesi ve Rodos döngüsünde birincil üretim, pikoplankton, fitoplankton ve zooplankton komünite yapısı, dağılımı ve fiziko-kimyasal faktörlerle etkileşimi. TÜBİTAK Proje No: YDABÇAG 449/G. ODTÜ-Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü. Mersin.
- Saydam, C., S. Tuğrul, Ö. Baştürk and T. Oğuz, "Identification of the oxic/anoxic interface by isopycnal surfaces in the Black Sea", *Deep-Sea Res. I*, 40 (7): 1405-1412, 1993.
- Shaffer, G., "Phosphate pumps and shuttles in the Black Sea", *Nature*, 321, 515-517, 1986.
- Stegmann, P. and N. W. Tindale, 1999. Global distribution of aerosols over the open ocean as derived from the coastal zone color scanner. *Global Biogeochemical Cycles*, 13, 383-397.
- Strickland, J.D., 1972. Research on the marine planctonic food web at the institute of marine resources: a review of the past seven years of work. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* (ed. H. Barnes) 10, 349-414.
- Sur, H.İ., E. Özsoy and Ü. Ünlüata, "Simultaneous deep and intermediate depth convection in the Northern Levantine Sea, winter 1992", *Oceanologica Acta*, 16(1), 33-43, 1993.
- Toggweiler, J.R., "Carbon overconsumption", *Nature*, 363, 210-211, 1993.
- Tuğrul, S., Çoban-Yıldız, Y., Ediger, D., Yılmaz, A., "Karadeniz, Marmara ve Akdeniz'de partikül organik madde dağılımı ve kompozisyonu. I. Ulusal Deniz Bilimleri Konferansı, 30 Mayıs-2 Haziran 2000, kültür ve Kongre merkezi, ODTÜ, Ankara. Bildiri Özetleri Kitapçığı, Z. Uysal (ed.), p.19.

- Tuğrul, S., Ö. Baştürk, C. Saydam and A. Yılmaz, "Changes in the hydrochemistry of the Black Sea inferred from water density profiles", *Nature*, 359, 137-139, 1992.
- Tuncer, G., T. Karakaş, T.İ. Balkaş, C.F. Gökçay, S. Aygün, C. Yurteri and G. Tuncel, "Land-based sources of pollution along the Black Sea coast of Turkey: Concentrations and annual loads to the Black Sea". *Mar. Pol. Bul.*, 36(6): 409-423, 1998.
- Uysal, Z., A.E. Kıdeyş ve İ. Köksalan, 1998. Karadeniz'de birincil üretimi pompalayan cyanobakterium *Synechococcus*'un su kolonundaki dağılımını etkileyen fiziko-kimyasal etmenlerin araştırılması. TÜBİTAK Proje No:YDABÇAG-352. 73 s.ODTÜ-Erdemli Deniz Bilimleri Enstitüsü. İçel-Türkiye.
- Uysal, Z., 1999. Pigments, size and distribution of *Synechococcus* spp. in the Black Sea. *Journal of Marine Systems*. (baskıda)
- Vedernikov, V.I. and A.B. Demidov, "Primary production and chlorophyll in the deep regions of the Black Sea", *Oceanology*, 33, 229-235, 1993.
- Vinogradov, M. E., Sapaznikov, V. V. and Shushkina, E.A., "Ecosystems of the open (deep) part of the Black sea", In: *The Black Sea*, M. HAGRA, (ed.), 12-41, 1992.
- Walsh, J. J., Steidinger, K.A., 2001. Saharan dust and Florida red tides: The cyanophyte connection. *Journal of Geophysical Research*, 106, 11597-11612.
- Yayla, M., Yılmaz, A., Morkoç, E., "The dynamics of nutrient enrichment and primary production related to the recent changes in the ecosystem of the Black Sea", *Aquatic Ecosystem Health and Management* (In press), 2000.
- Yayla, M.K., "Primary Production, Availability and Uptake of Nutrients and Photo-Adaptation of Phytoplankton in The Black Sea, The Sea of Marmara and the Eastern Mediterranean", Master Thesis, METU, Institute of Marine Sciences, 128 pp., 1999.
- Yılmaz A., O.A. Yunev, V.I. Vedernikov, S. Moncheva and A.S. Bologa, "Typical and extreme phenomena of spatial distribution of chlorophyll-a in various seasons of 1990-1995 period", Presented at NATO TU-Black Sea Project: Symposium on Scientific Results, Crimea, Ukraine, June 15-19, 1997. In: *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*, Vol. 1, 105-120, 1998, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 1998b.
- Yılmaz, A. and S.Tuğrul, "The effect of cold- and warm-core eddies on the distribution and stoichiometry of dissolved nutrients in the Northeastern Mediterranean", *J. Mar. Systems*, 16(3-4), 253-268, 1998.
- Yılmaz, A., D. Ediger, Ö. Baştürk and S. Tuğrul, "Phytoplankton fluorescence and deep chlorophyll maxima in the Northeastern Mediterranean", *Oceanologica Acta*, 17(1), 69-77, 1994.
- Yılmaz, A., S. Tuğrul, Ç. Polat, D. Ediger, Y. Çoban and E. Morkoç, "On the production, elemental composition (C,N,P) and distribution of photosynthetic organic matter in the southern Black Sea", *Hydrobiologia*, 363, 141-156, 1998a.
- Zohary, T., Robarts, R. D., 1998. Experimental study of microbial P limitation in the eastern Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 43(3), 387-395.

**TÜBİTAK**  
**PROJE ÖZET BİLGİ FORMU**

<b>Proje No:</b> 199Y122
<b>Proje Başlığı:</b> Karadeniz, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Akdeniz'in Alt Beslenme Basamaklarının Dinamiği: Biyojeokimyasal Dönüşümler ve Ekosistem Modellemesi
<b>Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar:</b> Prof. Dr. İlkay Salihoğlu Prof. Dr. Ayşen Yılmaz Prof. Dr. M.A. Latif Prof. Dr. Ferit Bingel Prof. Dr. Emin Özsoy Prof. Dr. Mustafa Ünsal Prof. Dr. Süleyman Tuğrul Prof. Dr. Temel Oğuz Prof. Dr. Özden Baştürk Doç. Dr. Semal Yemenicioğlu Prof. Dr. Mahmut Okyar Doç. Dr. Ali Cemal Gücü Doç. Dr. Şükrü T. Beşiktepe Prof. Dr. Ahmet E. Kideyş Doç. Dr. Zahit Uysal Prof. Dr. Nilgün Kubilay
<b>Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:</b> ODTÜ- Deniz Bilimleri Enstitüsü PK 28, Erdemli, 33731, Mersin
<b>Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:</b>
<b>Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:</b> 01/11/1999- 01/11/2000
<b>Öz (en çok 70 kelime)</b> Karadeniz çok tabakalı bir yapıya sahiptir ve oksijenli yüzey tabakasının altında konsantrasyon hızla azalarak, 15.5-16.2 yoğunluk düzlemleri arasında, 20 µM'ın altına düşmektedir. Karadeniz'de kıyılarda nitrat/fosfat oranı 20'nin üzerindedir. Açık sularında bu oran düşüktür. Marmara Denizi'nde, Karadeniz'den Boğaz yoluyla ve İstanbul bölgesinden taşınan kirleticiler ekosistemi etkilemektedir. Doğu Akdeniz daha dinamik bir yapıya sahiptir ve su kolonu tabana kadar oksijenlidir; ancak besin tuzu kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle ilk üretim çok düşük seviyededir.
<b>Anahtar Kelimeler:</b> Karadeniz, Akdeniz, Marmara Denizi, Biyojeokimyasal Dönüşümler, Ekosistem
<b>Projeden Yapılan Yayınlar:</b> Mutlu, E., 2005. An intercomparison of the contribution of zooplankton and nekton taxa to the near-surface acoustic structure of three Turkish Seas, Mar Ecol, 26(1): 17-32.