

Türkiye Denizlerinin Biyojeokimyası: Dağılımlar ve Dönüşümler

Ayşen YILMAZ

*Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü,
P.K. 28, 33731, Erdemli, İçel-TÜRKİYE
e-mail: yilmaz@ims.metu.edu.tr*

Geliş Tarihi 01.04.2001

Özet

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 μM 'ın 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 yüzeye teması kesilen Akdeniz sularının çözünmüş oksijen konsantrasyonunda %70-80 azalma gözlenmektedir. 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 sığ bir derinlikte (50-100m) yer almaktadır ve bu bölgede üretim bağlı olarak daha yüksektir. Antisiklonik alanlarda ise nutriklin ışıklı tabakanın çok altındadır (200-700m).

Anahtar Sözcükler: Karadeniz, Akdeniz, Marmara Denizi, Biyojeokimyasal dönüşümler, ekosistem

Biogeochemistry of the Seas Surrounding Turkey: Cycling and Distributions

Abstract

The lower trophic level ecosystems and the biogeochemical cycles of the seas surrounding Turkey were investigated in the last decade and the results are presented in this paper. The Black Sea has a multi-layer system and below the oxygenated surface layer, the concentration of dissolved oxygen decreases rapidly to <20 μM in the sub-oxic layer between the 15.5 and 16.2 density surfaces. The upper boundary of the hydrogen sulfide layer is observed at different depths but always at a density of 16.2. 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 a limiting nutrient in such areas. The ecosystem of the Marmara Sea is influenced by the Black Sea inflow and by the input from the İstanbul metropolitan area. Mediterranean origin waters entering the Marmara deep basin through the Dardanelles change in character on the way to the Black Sea; for example the oxygen content of the Mediterranean

waters decreases by 70-80% due to lack of contact with the atmosphere when it enters the basin. The nitrate/phosphate ratio, in the deeper layers of the Marmara waters, which varies between 8 and 10, is in agreement with the chemical composition of particulate matter sinking from the surface layer. The 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 the lower boundary of the euphotic zone and it is located at shallower depths (50-100m) in the Rhodes cyclonic region where the primary production is relatively high. The nutricline is far (200-700m) below the euphotic zone in the anticyclonic areas of the Mediterranean.

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

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.

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) sulardan 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 çözülmüş oksijen ($\dot{C}O$) 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 ($\dot{C}O < 20 \mu M$ ve $H_2S < 5 \mu M$) sub-oksik tabaka ile H_2S 'li suların başlangıç sınırları tüm basende farkı 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 $\dot{C}O$ '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 $\dot{C}O$ 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, 2001). 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 ($50-200 gC m^{-2}y^{-1}$) (Vedernikov ve Demidov, 1993), kıyı alanlarında, örneğin kuzeybatı kıta sahanlığında yüksektir ($> 400 gC m^{-2}y^{-1}$) (Bologa *ve ark.*, 1999).

Marmara Denizi

Marmara Denizi ve Boğazlar iki tabakalı bir

ekosisteme sahiptir. Karadeniz kaynaklı az tuzlu sular 15-20m üst su kolonunda yer alırken dip basende Çanakkale'den giren Akdeniz kaynaklı 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).

Akdeniz

Akdeniz fiziksel dinamiği ve biyojeokimyasal özellikleri bakımından Karadeniz ve Marmara Denizi'nden çok farklı yapıdadır. Doğu Akdeniz yüzey sularında 200-300 μM seviyesinde olan CO_2 derin dip sularda ancak 175-200 μM '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. Kıyısal alanlarda nehirlerle olan taşımın Batı Akdeniz'de daha etkindir (Bethoux *ve ark.*, 1992). Doğu Akdeniz'de özellikle açık sularda yegane kaynak besin tuzlarıncı bağlı olarak zengin dip sularıdır (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 taşımının daha etkin olması nedeniyle üretim bağlı 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 taşımının 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, 1996a). 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*).

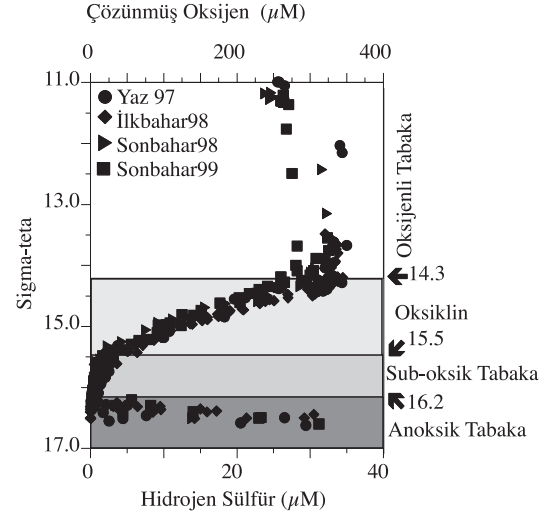
Sonuçlar ve Tartışma

Karadeniz

Karadeniz'de $\text{CO}_2\text{-H}_2\text{S}$ düşey dağılımı çok tabakalı bir yapı göstermektedir (Şekil 1). Bu tabakaların alt ve üst sınırları bölgelere ve zamana göre farklı derinliklerde yer almalarına karşın eş yoğunluk eğrilerini takip etmektedir (Şekil 1 ve 2). Oksijenli yüzey tabakası ortalama $300\pm 75 \mu\text{M}$ konsantrasyonunda 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 ÇO profili bu tabakada homojen bir dağılım gösterirken (Şekil 2a) mevsimsel tabakalaşmanın (termoklinin) gözlemlendiği yaz ve sonbahar aylarında, yüzey altında (20-40m'de), genellikle floresans ve klorofil-a maksimumlarıyla çakışan ÇO maksimumu gözlenmektedir (Şekil 2b). Işıklı tabakanın veya kış koşullarında haloklinin başlangıç derinliğinin altında oksijen derişimi hızla azalarak su yoğunluğunun 15.5 ± 0.1 olduğu derinliklerde dramatik seviyelere (20-30 μM) düşmektedir (Şekil 1 ve 2). 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 H₂S'li derin sular arasında oksijence çok fakir olan sub-oksik tabaka yer almaktadır (Şekil 1). 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 2). 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 1 ve 2). Sub-oksik geçiş tabakasının üst sınırından başlayarak sülfürlü tabaka içine kadar uzanan su kolonunda suyun redoks potansiyelinde (pE) çarpıcı 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 ÇO 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; Kononov ve Murray, 2001). Haloklin altındaki derin sulara oksijen girdi hızı havalı ortam bakterilerinin oksijen ihtiyacını karşılayamadığı için derin sulara çöken 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 2) yer almaktadır. Ancak, H₂S'li suların başladığı derinliklerdeki suyun yoğunluğu dikkate alındığında (Şekil 1), bu tabakanın üst 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 H₂S derişimi sigma-teta ile uyumlu bir şekilde artmaktadır (Şekil 1 ve 2).



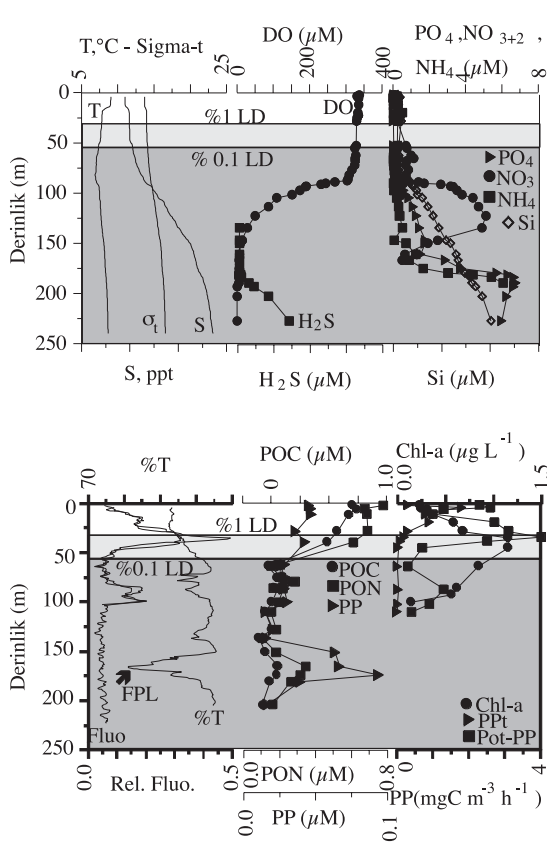
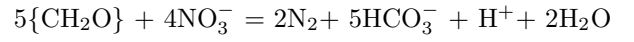
Şekil 1. Karadeniz'de çözünmüş oksijen ve hidrojen sülfürün su kolonunda düşey dağılımı. Bulgular 1997-1999 dönemini kapsamaktadır.

Karadeniz'de nehir etkisi dışında kalan alanların yüzey sularında azot ve fosfor derişimi oldukça düşüktür (Şekil 2 ve 3). 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 μM aralığında değişen nitrat değerleri, kıyıda 0.5-0.8 μM seviyesine kadar ve nehirlerin döküldüğü delta bölgelerinde, örneğin Tuna nehri ağzında, 6-8 μM 'a (Cociasu ve ark., 1996) kadar yükselmektedir. Kıyılarda yüksek derişimde nitrat iyonlarının varlığı Karadeniz'i besleyen nehir sularında NO₃/PO₄ 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

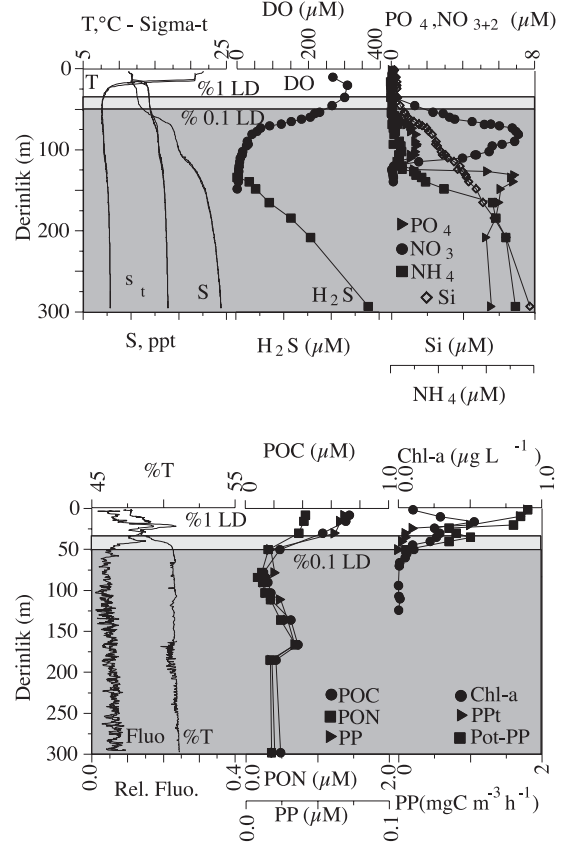
fakir ara tabakada 6-8 arasında değişen NO_3/PO_4 oranı dikkate alındığında, bu suların nitrat iyonlarınca oldukça fakir olduğu anlaşılmaktadır. Bu eksikliğin temel nedeni, bu tabaka nitratının denitrifikasyon bakterilerince sürekli tüketilmesidir. Açık yüzey sularının NO_3/PO_4 oranı ise 1-5 arasında 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 *flagel-*

late ağırlıklı populasyonlara geçiş) neden olmuştur (Humborg *ve ark.*, 1997). Ancak 1998'li yıllardan sonra biyo-çeşitlilikte dengeleme sağlanmıştır (Eker ve Kıdeys, *Yayımlanmamış bulgu*).

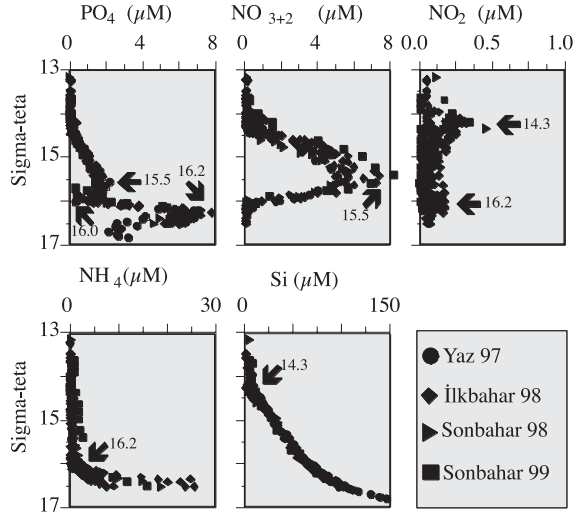
Oksiklin tabakası içerisinde oksijen hızla azalırken, organik maddenin bakterilerce parçalanması nedeniyle NO_3 ve PO_4 derişimlerinde belirgin bir artış gözlenmekte ve maksimum değerlere ($\text{NO}_3 = 6-8 \mu\text{M}$ ve PO_4 birinci maksimumu = $2 \mu\text{M}$) sub-oksik tabakanın üst sınırında ve $\sigma_t = 15.5$ 'de, ulaşılmaktadır (Şekil 2 ve 3). Sub-oksik tabaka içinde ise organik madde parçalanması, NO_3 iyonlarını oksijen kaynağı olarak kullanan heterotrofik bakterilerce gerçekleştirildiğinden nitrat derişimi hızlı bir düşüş göstermektedir. Denitrifikasyon olarak bilinen bu proseste gözlenen reaksiyon:



Şekil 2a. Orta Karadeniz'de kıyı akıntısı (Rim Current) içerisinde yer alan bir istasyonda (İst. M15R45; $42^\circ 15' \text{ N}$ ve $34^\circ 45' \text{ E}$), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

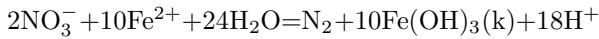
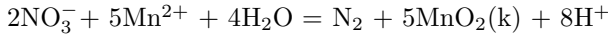
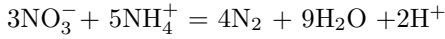


Şekil 2b. Karadeniz'de Doğu siklonu içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (İst. M45T45; $42^\circ 45' \text{ N}$ ve $36^\circ 45' \text{ E}$), Eylül 1999 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.



Şekil 3. 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.

$\sigma_t=16.1-16.2$ 'den büyük yüzeylerin altında ise NH_4 , Fe^{2+} ve Mn^{2+} konsantrasyonları derinlikle artan bir eğilimdedir ve bu bileşenler üst su kolonunda ve nitrifikasyon reaksiyonlarının yürüdüğü tabakada hızla kullanılmaktadır (Şekil 2). Bu derinlikte ve $\sigma_t=14.3$ derinliğinde NO_2 maksimumlarının gözlenmesi NO_2 'nin nitrifikasyon ve aşağıda gösterilen denitrifikasyon reaksiyonlarında ara ürün olarak ortaya çıkmasıyla ilgilidir (Şekil 3).



NO_3 maksimumu, 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 1, 2 ve 3). Bölgesel bazda farklı derinliklerde olan bu yapılar tüm basende aynı yoğunluk düzlemlerinde yer alırlar (Şekil 3). NO_3 profilleri Karadeniz boyunca sub-oksik/anoksik geçiş tabakasında her zaman azalan bir değişim gösterirken, siklonik döngü alanlarında $\sigma_t = 16.0$ derinliğinde PO_4 minimumu gözlenmektedir (Şekil 2b). Ancak yatay akıntılarının kuvvetli olduğu kıyısız kuşakta söz konusu minimum gözlenmemektedir (Şekil 2a). Nitrat iyonlarının çok düşük derişime indiği sülfürlü suların üst sınırında ise farklı redoks etkileşimleri sonucu 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). NO_3 iyonlarının artık bulunmadığı H_2S 'li suların üst derinliklerinde PO_4 profili önce azalan daha sonra da derinlikle tekrar artan bir profil görüntüsü vermektedir. Anoksik sularda yaşayan havasız ortam bakterilerinin organik madde ayrıştırmasını SO_4 iyonlarını indirgemesi yoluyla gerçekleştirmesi nedeniyle açığa çıkan NH_4 ve H_2S alt sularda ($\sigma_t > 16.2$) birikime uğramaktadır. Anoksik sularda tabana doğru inildikçe bu parametrelerin sudaki derişimi düzgün şekilde artar (Şekil 2 ve 3) 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 2 ve 3).

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 2, 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 2). Bu artışlar partikül fosfor profillerinde daha belirgindir. Bunun nedeni sülfürlü tabakaya geçişte çökme hızı düşük inorganik [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; Çoban-Yıldız, *Yayınlanmış bulgular*).

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 su-

larında NO_3/PO_4 oranının çok düşük olması ve azotun sınırlayıcı besin elementi olması nedeniyle, fotosentetik üretimde çözünmüş organik azot (DON) kullanımı ve doğrudan moleküler azot (N_2) alımının gerçekleştiğinden söz etmek gerekmektedir (Çoban-Yıldız, *Yayınlanmamış bulgular*).

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

	Işıklı Tabaka	Sub-oksik Tabaka
POC (μM)	7-15	3-5
PON (μM)	0.7-1.5	0.2-0.3
PP (μM)	0.05-0.12	0.01-0.03

Işıklı tabaka derinliği (pratikte yüzeye göre ışığın %1’e indiği derinlik) Karadeniz’de 20-35 m arasında değişmektedir ve fotosentetik üretim ve bağlı prosesler bu tabakada gerçekleşmektedir (Şekil 2). Klorofil-a ve floresans maksimumları ($\text{Chl-a} = 1.5\text{-}2 \mu\text{g L}^{-1}$), genel olarak ışıklı tabakanın tabanında yer almakta ve %1 ışık derinliği ile çakışmaktadır (Şekil 2). 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 kıyısız iki istasyonda ışıklı tabakanın çok altında ve ışığın en az düzeyde ($<0.5 \mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$ veya yüzeye 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 Şekil 2a. Yüzeysel klorofil aylık ortalama değerleri dikkate alındığında 1990-96 yılları arasında Karadeniz’de kıyısız alanlarda $1\text{-}11 \mu\text{g L}^{-1}$ aralığında, derin basende ise genelde $1 \mu\text{g L}^{-1}$ ’den düşük ancak fitoplankton patlama zamanlarında $2.5 \mu\text{g L}^{-1}$ ’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 $62\text{-}785 \text{ mgC m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$ aralığında (Ortalama: $487 \pm 184 \text{ mgC m}^{-2} \text{ gün}^{-1}$) ölçülmüştür. Karadeniz’de birincil üretim (PP_t), ışıklı tabakanın yüzeye yakın kısımlarında (çoğunlukla ışığın %10’a indiği derinliğe kadar) gerçekleşmektedir (Şekil 2). Nisan 1998 döneminde, ışığın çok az düzeye indiği ve ikinci bir floresans

ve klorofil-a maksimumunun gözlendiği derinlikte (Şekil 2a) birikim gösteren fitoplanktonların fotosentez kapasitelerinin (potansiyel üretim, Pot-PP), yüzey popülasyonları ile karşılaştırılabilir düzeyde olduğunu göstermiştir. Ayrıca, Karadeniz’de, sub-oksik/anoksik geçiş tabakasında ($\sigma_t = 16.2$), 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 ortamlarla iletişim içerisinde yürüdüğü gözlenmektedir.

Karadeniz’de 1998-99 yıllarında NO_3 ’ın ve NH_4 ’ün fitoplanktonlarca kullanım hızları ^{15}N -tekniki 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_2 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*).

"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).

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

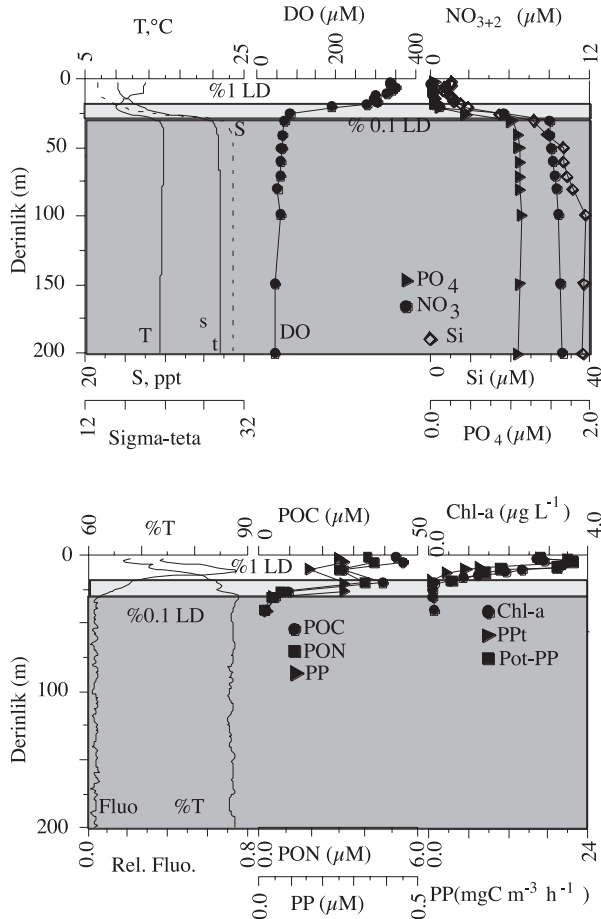
	İlkbahar dönemi (1998) [◇]	Sonbahar dönemi (1998-99)
NO_3 Uptake*	$1.5 \text{ mMol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$4 \text{ mMol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$
NH_4 Uptake*	$3.0 \text{ mMol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$	$5 \text{ mMol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$

[◇] Üretim sonrası dönem * Işıklı tabaka integre değerleri

Marmara Denizi

Karadeniz ile Ege Denizi arasındaki su değişiminin sonucu olarak Marmara Denizi’nde iki tabakalı deniz ekosistemi oluşmuştur (Şekil 4). Karadeniz sularının beslediği ve fotosentezin süregeldiği Marmara’nın az tuzlu üst tabakasının (15-20 metre)

biyokimyasal özellikleri oldukça değişikdir. Akdeniz kaynaklı tuzlu alt tabaka sularının yatay akıntılarla kısmen homojen hale gelmesi nedeniyle kimyasal özelliklerde gözlenen bölgesel ve mevsimsel değişimler çok daha azdır. Güneş ışığı ancak arageçiş tabakası (haloklin) sularına kadar ulaşabilmekte, bu nedenle fotosentez ve buna bağlı POM üretimi üst tabaka suları ile sınırlanmaktadır (Şekil 4) (Çoban-Yıldız, *Yayınlanmamış bulgular*). Alt sudaki POM'un kaynağı yalnızca üst tabakadan çökenler ve bunlarla beslenen bakterilerdir.



Şekil 4. Marmara Denizi'nin Doğu baseninde yer alan bir istasyonda (İst. K46L00; 40°46' N ve 29°00' E), Nisan 1998 dönemi için hidrografik, biyokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

Marmara Denizi'nin yüzey sularındaki ÇO konsantrasyonu 225-350 μM aralığında gözlenirken alt sularda ÇO genellikle 30-80 μM aralığında değişmektedir (Şekil 4). Marmara'nın Batı basenindeki derin suları kısmen daha fazla oksijen içermektedir; burada ÇO alt su mevsimsel or-

talama değerleri 50-80 μM aralığında değişirken, Doğu baseninde 30-50 μM seviyesine düşmektedir (Polat *ve ark.*, 1998b). Çanakkale'den girerken oksijence 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 4). 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 külesinin 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 4). 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 tuzlarının 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 iyonlarının 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 μM aralığında değişirken, PON= 0.4-4.5 μM ve PP= 0.05-0.45 μM aralığındadır (Çoban-Yıldız *ve ark.*, 2000). Marmara'nın ışıklı tabakası ince (15-20m) olmasına karşın, Kardeniz'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 sınırlandırılmış 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 4). 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 4). Işıklı tabakanın altında ise klorofil-a konsantrasyonları hızla düşmektedir. Marmara Denizi'nde ölçülen maksimum klorofil-a konsantrasyonu Nisan 1998 dönemi için 3-4 μgL^{-1} arasındadır ve bu değer güney Karadeniz'de aynı dönem için ölçülen maksimum değerleri aşmaktadır. Ancak Marmara Denizi'nde ilkbahar patlamasının olduğu

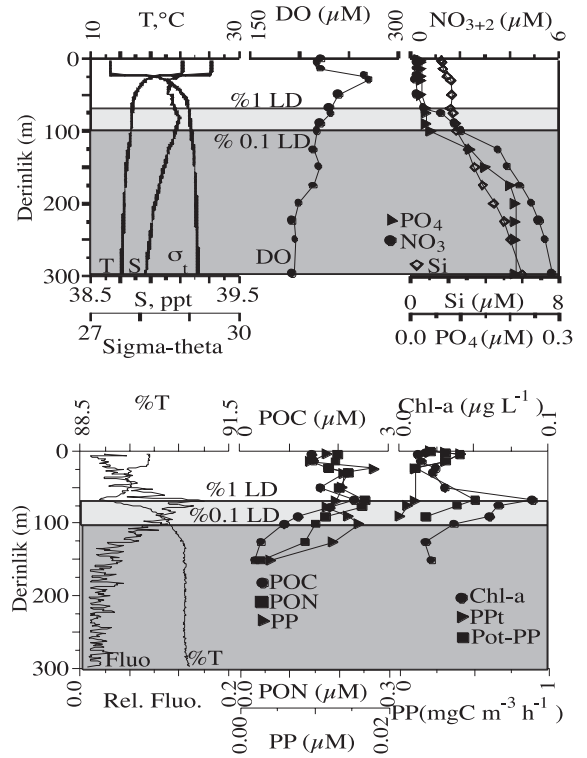
dönemlerde (Şubat-Mart ayları) 10 μgL^{-1} ye varan değerler kaydedilmiştir (Polat *ve ark.*, 1998a). Fitoplankton patlama dönemlerinde klorofil-a maksimumu yüzeye daha yakın derinliklerde (>%10 ışık derinliği) yer almaktadır. Bunun nedeni ilk üretimi gerçekleştiren fitoplanktonların ışığın az olduğu bu aylarda yüzeyde yoğunlaşarak daha fazla ışıktan yararlanma eğilimidir. Ayrıca bu aylarda yaz aylarına göre su kolonu daha dinamik bir yapıya sahiptir ve kuvvetli karışım nedeniyle besin tuzlarınınca 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 sınırlandırılmış olduğunu göstermiştir (Yayla, 1999). Bu sonuçlar, yukarıda tartışılan POM element kompozisyonundaki düşük N/P oranının bu sınırlama nedeniyle olduğu görüşünü desteklemektedir.

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 5). Rodos bölgesinde fotosentez kaynaklı oksijen maksimumları 100m’nin üzerinde gözlenmektedir ve 20-50 m arasında $275\mu\text{M}$ 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 Klikya 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 5). 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). An-

talya 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.



Şekil 5. Doğu Akdeniz’de Rodos siklonik döngüsü içerisinde yer alan açık deniz istasyonunda (Ist. F08K55; $35^{\circ}08' \text{ N}$ ve $28^{\circ}55' \text{ E}$), Eylül 1997 dönemi için hidrografik, biyojeokimyasal ve üretim parametrelerinin su kolonunda düşey dağılımı.

Klikya 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 belir-

gin 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 ışksız 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 (NO_3/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 Kliya 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 ışksız tabaka ve nütriklin 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. Inorganik azot/posfor oranı örneğin Atlantik okyanusu dip suları için 15.2 olarak verilmektedir (Bainbridge, 1981).

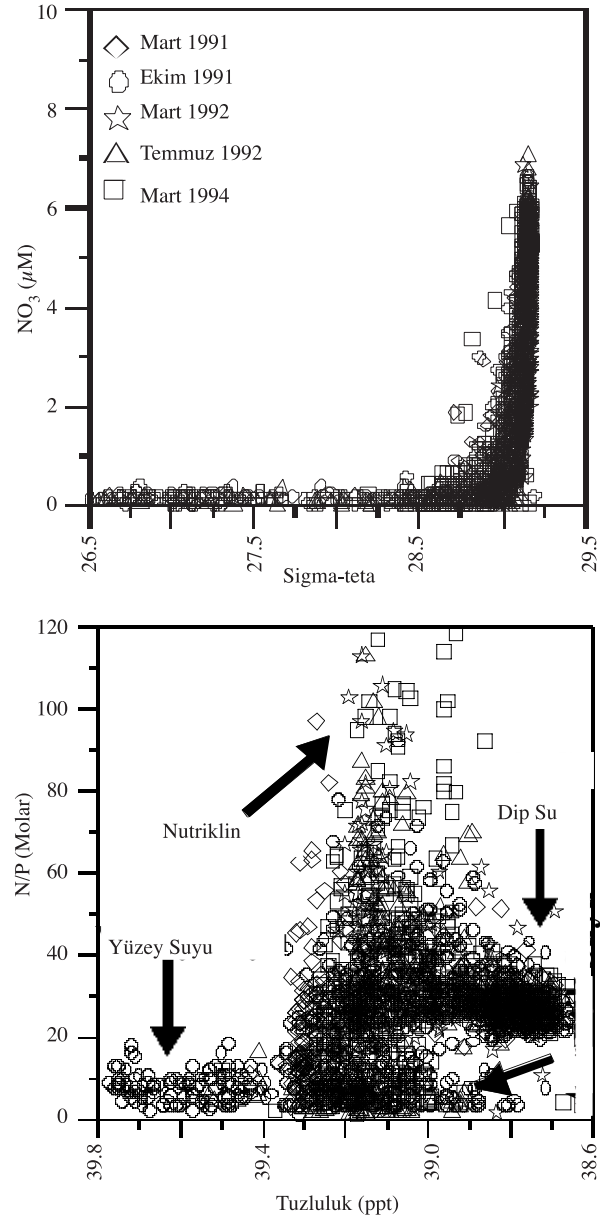
Burada özellikleri verilen bu tabakalar birbirlerinden belirli sigma-teta yüzeyleri ile ayrılırlar ve bu kural tüm Kuzeydoğu Akdeniz için geçerlidir. Besin tuzlarınca fakir ışksız tabaka ışıklı tabakanın hemen altında yer almakta ve 29.00-29.05 sigma-teta derinliğine kadar inmektedir. Bu tabaka Levant Ara Suyu (LIW) tabakasıyla çakışmaktadır. Nütriklin ise 29.00-29.05 sigma-teta derinliğinden başlayarak 29.15 sigma-theta derinliğine kadar devam etmektedir ve LIW'ın hemen altında yer almaktadır. Sigma-theta=29.15 derinliklerinin altında besin tuzu konsantrasyonları sabit dip su değerlerine ulaşmaktadır ($\text{PO}_4\text{-P}=0.20\text{-}0.22 \mu\text{M}$, $\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}=5.5\text{-}6.5 \mu\text{M}$ ve Reaktif Silikat=8-10 μM). Bu yapısal özellikler tek bir şekilde toplanarak besin tuzlarının fiziksel dinamiğe bağımlı olarak su kolonunda nasıl dağıldığı nitratın yoğunlukla değişimi örnek verilek gösterilmiştir (Şekil 6a). 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 6b'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 (Çoban-Yıldız, *Yayımlanmamış bulgular*).

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 (Şekil 5). 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 μM ve açık alanlarda 1.7-3.0, 0.2-0.3 ve 0.01-0.02 μM 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 regrasyon 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. Bağlı 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). Üretimin bağlı 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 bağlı 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



Şekil 6. 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).

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. Işık 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 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 $\mu\text{g/L}$ 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 ($> 3 \mu\text{g/L}$) 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 belir-

lenmiştir. Baca oluşumunun gözlendiği 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 nütriklin 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 gözlendiği Antalya körfezinde ise birincil üretim göreceli olarak daha düşük ölçülmüştür. Kuzeydoğu Akdeniz'de antisiklonik alanlarda nütriklinden besin tuzu taşınımı etkin değildir ve bu alanlarda bağıl olarak düşük seviyede üretim ve fitoplankton biyo-kütlesi belirlenmiştir. Işğın yüzeye göre %10'un altına düştüğü derinliklerde üretim hızla azalmakta ve ışıklı tabakanın tabanında net üretim sifıra düşmektedir. Mevsimsel tabakalaşmanın bulunduğu ve ışğın 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).

Yorum

Türkiye'yi çevreleyen denizler fiziksel di-

namizm, 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.

Teşekkür

Bu çalışmada TÜBİTAK tarafından desteklenen “Ulusal Deniz Araştırma Programı-Karadeniz, Marmara Denizi ve Akdeniz” Alt Projelerinde ve NATO’nun desteklediği SfS ve SfP Programları çerçevesinde yapılan araştırmalara ait sonuçlar sunulmuştur. Bu nedenle TÜBİTAK ve NATO’ya teşekkür ederim. Bu çalışmada katkısı olan tüm ODTÜ-Deniz Bilimleri akademik ve teknik personeli ile R/V Bilim gemisi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Semboller

ÇO (DO)	: çözünmüş Oksijen (μM)
H ₂ S	: hidrojen Sülfür (μM)
POM	: partikül Organik Madde

POC	: partikül Organik Karbon (μM)
PON	: partikül Organik Azot (μM)
PP	: partikül Fosfor (μM)
T	: sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
S	: kuzluluk (ppt)
σ_t	: sigma-teta (yoğunluk)
PO ₄ -P	: orto-fosfat (μM)
NO ₃ +NO ₂ (NO ₃₊₂)	: nitrat + nitrit (Toplam Oksitlenmiş Azot) (μM)
NH ₄	: amonyak (μM)
Si	: reaktif Silikat (μM)
Chl-a	: klorofil-a ($\mu\text{g L}^{-1}$)
PP _t	: toplam Birincil Üretim (mgC m ⁻³ h ⁻¹) ışıklı tabaka için integre edilmiş Toplam Birincil Üretim (mgC m ⁻² gün ⁻¹)
Pot-PP	: potansiyel Birincil Üretim (PP _t ile aynı birimlerde)
%1 LD	: ışığın yüzeye göre %1’e indiği derinlik (m)
%0.1 LD	: ışığın yüzeye göre %0.1’e indiği derinlik (m)

Kaynaklar

Azov, Y., “Seasonal Patterns of Phytoplankton Productivity and Abundance in Nearshore Oligotrophic Waters of the Levantine Basin”, *Journal of Plankton Research*, 8, 41-53, 1986.

Bainbridge, A.E., “GEOSECS, Atlantic Ocean Expedition”, V. 2. GPO. PO, 1981.

Baştürk, Ö., Saydam, A.C., Salihoglu, İ., Eremeev, L.V., Kononov, S.K., Stoyanov, A., Dimitrov, A., Cociasu, A., Dorogan, L. and Altabet, M., “Vertical Variations in the Principal Chemical Properties of the Black Sea in the Autumn of 1991”, *Marine Chemistry*, 45, 149-165, 1994.

Baştürk, Ö., Tuğrul, S., Kononov, S.K., and Salihoglu, İ., “Variations in the Vertical Structure of Water Chemistry within the Three Hydrodynamically Different Regions of the Black Sea”. In: Özsoy, E. and Mikaelyan, A. (eds), *Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic Sea and North Sea*, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, 27, 183-196, 1997.

Beşiktepe, Ş.T., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz, T., and Ünlüata, Ü., “The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea”, *Progress in Oceanography*, 34, 285-334, 1994.

Bethoux, J.P., Morin, P., Madec, C., and Gentili, B., “Phosphorus and Nitrogen Behaviour in the Mediterranean Sea”, *Deep-Sea Research*, 39 (9), 1641-1654, 1992.

Bologa, A.S., “Planktonic Primary Productivity of the Black Sea: A Review”, *Thalassia Jugoslavica* 21/22 (1/2), 1-22, 1985/86.

Bologa, A.S., Frangopol, P.T., Vedernikov, V.I., Stelmakh, L.V., Yunev, O.A., Yılmaz, A., and Oguz, T., “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, Kluwer Academic Publisher, Netherlands, 56, 131-145, 1999.

Cociasu, A., Dorogan, L., Humborg, C., and Popa, L., “Long-term Ecological Changes in Romanian Coastal Waters of the Black Sea”, *Marine Pollution Bulletin*, 32, 32-38, 1996.

Cociasu, A., Diaconu, V., Popa, L., Nae, I., Buga, L., Dorogan, L., and Malciu, V., “Nutrient Stock of the Romanian Shelf of the Black Sea in the Last Three Decades”, In: Özsoy, E., and Mikaelyan, A. (eds.), *Sensitivity to Change: Black Sea, Baltic and*

- North Sea, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 27, 49-63, 1997.
- Codispoti, L.A., Friederich, G.E., Murray, J.W., and Sakamoto, C.M., "Chemical Variability in the Black Sea: Implications of Continuous Vertical Profiles that Penetrated the Oxidic/Anoxic Interface", *Deep-Sea Research*, 38, 691-710, 1991.
- Copin-Montegut, C., and Copin-Montegut, G., "Stoichiometry of Carbon, Nitrogen and Phosphorus in Marine Particulate Matter", *Deep-Sea Research*, 30 (1), 31-46, 1983.
- Coste, B., Minas, H.J., and Bonin, M.C., "Proprietes Hydrologiques et Chimiques des Eaux du Bassin 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., and 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.
- Dauchez, S., Queguiner, B., Treguer, P., and Zeyons, C., "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.
- Ediger, D., "Interrelationships Among Primary Production and Environmental Conditions in the Northern Levantine Basin", Ph. D. Thesis, METU, Institute of Marine Sciences, Erdemli-İçel, 178, 1995.
- Ediger, D., and Yılmaz, A., "Characteristics of Deep Chlorophyll Maximum in the Northeastern Mediterranean with Respect to Environmental Conditions", *Journal of Marine Systems*, 9, 291-303, 1996a.
- Ediger, D., and Yılmaz, A., "Variability of Light Transparency in Physically and Biochemically Different Water Masses: Turkish Seas", *Fresenius Environmental Bulletin*, 5, 133-140, 1996b.
- Estrada, M., "Deep Phytoplankton and Chlorophyll Maxima in the Western Mediterranean. In: *Mediterranean Marine Ecosystems*", Apostopoulou, M.M., and Kiortsis, V. (eds.), Plenum Press, New York, 247-277, 1985.
- Hay, B.J., Honjo, S., Kempe, S., Ittekkot, V.A., Degens, E.T., Konuk, T., and İzdar, E., "Interannual Variability in Particle Flux in the Southwestern Black Sea", *Deep-Sea Research*, 37, 911- 928, 1990.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., and Bodungen, B. V., "Effect of Danube River Dam on Black Sea Biogeochemistry and Ecosystem Structure", *Nature*, 386, 385-388, 1997.
- Karl, D.M., and Knauer, G.A., "Microbial Production and Particle Flux in the Upper 350m of the Black Sea", *Deep-Sea Research*, 38 (2A), 921-942, 1991.
- Konovalov, S.K., and Murray, J.W., "Variations in the Basic Chemical Properties of the Black Sea on a Scale of Decades (1960-1995)", *Journal of Marine Systems*, (In press), 2001.
- Krivenko, O.V., Burlakova, Z.P., and Eremeeva, L.V., "Basic Characteristics of Biotic Nitrogen Cycle in the Open Western Part of the Black Sea", In: *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*, Ivanov, L.I., and Oğuz, T. (eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1, 121-136, 1998.
- Krom, M.D., Kress, N., and Brenner, S., "Phosphorus Limitation of Primary Productivity in the Eastern Mediterranean", *Limnology and Oceanography*, 36 (3), 424-432, 1991.
- Krom, M.D., Brenner, S., Kress, N., Neori, A., and Gordon, L.I., "Nutrient Dynamics and New Production in a Warm Eddy from the Eastern Mediterranean", *Deep-Sea Research*, 39 (3/4), 467-480, 1992.
- Lohrenz, S.E., Wiesenburg, D.A., Depalma, I.P., Johnson, K.S., and Gustafson, D.E., "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., Martin, J.M., and Morelli, J., "Atmospheric Input of Inorganic Nitrogen to the Western Mediterranean", *Biogeochemistry*, 9, 117-134, 1990.
- Mee, L.D., "The Black Sea in Crisis: The Need for Concerted International Action", *Ambio*, 21, 278-286, 1992.
- Murray, J.M., Jannasch, H.W., Honjo, S., Anderson, R.F., Reeburgh, W.S., Top, Z., Friederich, G.E., Codispoti, L.A., and İzdar, E., "Unexpected Changes in the Oxidic/Anoxic Interface in the Black Sea", *Nature*, 338, 411-413, 1989.
- Murray, J.M., Codispoti, L.A., and Freiderich, G.E., "Oxidation-Reduction Environments: The Suboxic Zone in the Black Sea", In: *Aquatic Chemistry*, Huang, C.P., OMelia, C.R., and Morgan, J.J. (eds.), ACS Advances in Chemistry Series, 244, 157-176, 1995.
- Oğuz, T., Latun, V.S., Latif, M.A., Vladimir, V.V., Sur, H.İ., Markov, A.A., Özsoy, E., Kotovhchikov, B.B., Eremeev, V.V., and Ünlüata Ü., "Circulation in the Surface and Intermediate Layers of the Black Sea", *Deep-Sea Research*, 40, 1597-1612, 1993.

- Orhon, S., Polat, S.Ç., Kıratlı, N., ve Tüfekçi, V., "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*, 203-216, 1998.
- Özsoy, E., Hecht, A., and Ünlüata, Ü., "Circulation and Hydrography of the Levantine Basin: Results of POEM Coordinated Experiments, 1985-1986", *Progress in Oceanography*, 22, 125-170, 1989.
- Özsoy, E., Hecht, A., Ünlüata, Ü., Brenner, S., Oğuz, T., Bishop, J., Latif, M.A., and Rosentraub, Z., "A Review of the Levantine Basin Circulation and its Variability during 1985-1988", *Dynamics of Atmosphere and Oceans*, 15, 421-456, 1991.
- 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, 1995.
- Polat, Ç.S., and Tuğrul, S., "Nutrient and Organic Carbon Exchanges between the Black and Marmara Seas Through the Bosphorus Strait", *Continental Shelf Research*, 15 (9), 1115-1132, 1995.
- Polat, S.Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y., Baştürk, Ö., and Salihoğlu, İ., "Elemental Composition of Seston and Nutrient Dynamics in the Sea of Marmara", *Hydrobiologia*, 363, 157-167, 1998a.
- Polat, S.Ç., Tuğrul, S., ve Baştürk, Ö., "Marmara Denizi (N,P) Dengelerine ait Özet Bir Çalışma", *Türkiye Kıyıları 98, Türkiyenin Kıyı ve Deniz Alanları II. Ulusal Konferansı ve Fuarı*, 22-27 Eylül 1998, Ankara, Türkiye, Bildiriler Kitabı, Özhan, E., (ed.), 639-648, 1998b.
- Redfield, A.C., Ketchum B.H., and Richards, F. A., "The Influence of Organisms on the Composition of Sea Water", In: *The Sea*, Hill, M.N., (ed.), Wiley-Interscience, New York, 2, 26-77, 1963.
- Repeta, D.J., and Simpson D.J., "The Distribution and Recycling of Chlorophyll, Bacteriochlorophyll and Carotenoids in the Black Sea", *Deep-Sea Research*, 38, 969-984, 1991.
- Salihoğlu, İ., Saydam, C., Baştürk, Ö., Yılmaz, K., Ediger, D., Hatipoğlu, E., and Yılmaz, A., "Transport and Distribution of Nutrients and Chlorophyll-a by Meso-scale Eddies in the Northeastern Mediterranean", *Marine Chemistry*, 29, 375-390, 1990.
- Saydam, C., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., and Oğuz, T., "Identification of the Oxic/Anoxic Interface by Isopycnal Surfaces in the Black Sea", *Deep-Sea Research I*, 40 (7), 1405-1412, 1993.
- Shaffer, G., "Phosphate Pumps and Shuttles in the Black Sea", *Nature*, 321, 515-517, 1986.
- Sur, H.İ., Özsoy, E., and Ünlüata Ü., "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., Baştürk, Ö., Saydam, C., and Yılmaz, A., "Changes in the Hydrochemistry of the Black Sea Inferred from Water Density Profiles", *Nature*, 359, 137-139, 1992.
- Tuğrul, S., Çoban-Yıldız, Y., Ediger, D., ve Yılmaz, A., "Karadeniz, Marmara ve Akdenizde 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, Uysal, Z., (ed.), 19, 2000.
- Tuncer, G., Karakaş, T., Balkaş, T.İ., Gökçay, C.F., Aygün, S., Yurteri, C., and Tuncel, G., "Land-Based Sources of Pollution Along the Black Sea Coast of Turkey: Concentrations and Annual Loads to the Black Sea", *Marine Pollution Bulletin*, 36 (6), 409-423, 1998.
- Vedernikov, V.I., and Demidov, A.B., "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*, Hagra, M., (ed.), 12-41, 1992.
- 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, 1999.
- Yılmaz, A., Ediger, D., Baştürk, Ö., and Tuğrul, S., "Phytoplankton Fluorescence and Deep Chlorophyll Maxima in the Northeastern Mediterranean", *Oceanologica Acta*, 17 (1), 69-77, 1994.
- Yılmaz, A., Tuğrul, S., Polat, Ç., Ediger, D., Çoban, Y., and Morkoç, E., "On the Production, Elemental Composition (C,N,P) and Distribution of Photosynthetic Organic Matter in the Southern Black Sea", *Hydrobiologia*, 363, 141-156, 1998a.
- Yılmaz, A., Yunev, O.A., Vedernikov, V.I., Moncheva, S., and Bologna, A.S., "Typical and Extreme Phenomena of Spatial Distribution of Chlorophyll-a in Various Seasons of 1990-1995 Period", In: *Ecosystem Modeling as a Management Tool for the Black Sea*, Ivanov, L.I., and Oğuz, T., (eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1, 105-120, 1998b.

Yilmaz, A., and Tuğrul, S., "The Effect of Cold- and Warm- Core Eddies on the Distribution and Stoichiometry of Dissolved Nutrients in the Northeastern Mediterranean", *Journal of Marine Systems*, 16 (3-4), 253-268, 1998.

Zohary, T., and Robarts, R.D., "Experimental Study of Microbial P Limitation in the Eastern Mediterranean", *Limnology and Oceanography*, 43 (3), 387-395, 1998.