

2002 - 240



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

YDABGAG-169 2002-240

*Marmara Denizi'nde Besin
Tuzları-Plankton
Dinamiğinin Bir Model
Yardımları ile İncelenmesi*

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri Araştırma Grubu

Earth Marine and Atmospheric Sciences
Researches Grant Group

TUBİTAK

Yer Deniz ve Atmosfer Bilimleri
Araştırma Grubu

195Y028 (YDABÇAG-169) No'lu

YDABÇAG-169 ¹⁻²⁴ 2002-240 (22)

Marmara Denizi'nde Besin

Tuzları-Plankton

Dinamiğinin Bir Model

Yardımlı ile İncelenmesi

Projesi

Kesin Raporu

Prof. Dr. Temel Oğuz
ODTÜ Deniz Bilimleri Enst.

1.9.95
31.12.1996 → 18.9.2002

Önsöz

Bu raporda 195Y028 (YDABÇAG-169) Nolu "Marmara Denzinde besin tuzları-plankton dinamiğinin bir model yardımı ile incelenmesi" konulu projenin sonuç raporu verilmektedir. Bu proje çalışmayı yürütecek yardımcı araştırmacının proje kabulünden kısa bir süre sonra ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsünden ayrılması nedeni ile tam istenildiği şekilde gerçekleştirilememiş bulunmaktadır. Ancak ayrılan bütçenin yaklaşık 1/7 oranındaki bölümünün projenin kabul tarihinden hemen sonra kullanılması nedeniyle proje fiilen başlatılmış kabul edilmekte, bu nedenle de projenin kesin raporunun yazılarak fiilen bitirilmesi gerekmektedir.

Bu rapor kapsamında, yukarıda anlatılan nedenlerle gerçekleştirilemeyen model çalışması yerine, bu tür çalışmaya temel teşkil eden Marmara Denzinin ekosistem karakteristiklerinin bir sentezi anlatılmaktadır.

1. Giriş

Marmara Denizi, Karadeniz ile Ege Denizi arasındaki su değişiminin sonucu oluşmuş iki tabakalı bir ekosisteme sahiptir. Bu komşu denizlerdeki suların yoğunluklarının çok farklı olması nedeniyle Marmara Denizi üst tabaka suları büyük oranda Karadeniz yüzey sularının özelliklerini taşımaktadır. Marmara'nın tabanında ise Çanakkale'den giren Akdeniz'in tuzlu suları vardır. Bu tuzlu suların fiziksel özellikleri Marmara Denizi'nde fazla değişmezken biyokimyasal özelliklerinde çarpıcı değişimler görülmektedir. Haloklin'deki keskin yoğunluk tabakalaşmasının yüzeyden alt tabakaya oksijen girdisini engellediği bir ortamda, biyojenik kaynaklı partikül maddenin yüzeyden alt tabakaya çökerek yarattıkları oksijen tüketimi ile Çanakkale Boğazından giren oksijence zengin Akdeniz suları arasında bir denge bulunmaktadır. Çanakkale'den sürekli su girişleriyle yenilenen (ortalama yenilenme zamanı 6-7 yıl) Marmara haloklin altı sularında oksijence yetersiz (suboksik) koşullar bulunmasına rağmen Karadeniz'e benzer anoksik koşullar gelişmemiştir. Buna karşılık son yıllarda açık denizle etkileşimi sınırlı bazı kıyı ve körfez bölgelerindeki aşırı ötrofikasyon sonucu hipoksiya olayları görülmüştür. Karadeniz sularınca beslenen Marmara Denizi üst tabaka sularının ise yenilenme süreleri yaklaşık bir kaç ay mertebesindedir.

Canlı yaşamın çoğunlukla üst tabakada yoğunlaştığı Marmara Denizinde, Karadeniz'den Boğaz yoluyla giren az tuzlu suların ve bunların taşıdıkları kimyasal maddelerin, Marmara Denizi ekosistemi için önemi Marmara'nın üst sularını yılda yaklaşık iki kez yenilenmesi nedeniyle büyüktür (Polat ve Tuğrul, 1995; Tuğrul ve Polat, 1995; Tuğrul ve diğ., 1995). Bu doğal girdinin yanısıra Marmara Denizi'ni çevreleyen drenaj havzasında son 30 yılda yerleşim ve sanayileşmenin hızla artması sonucu bu denize çok fazla atık madde girdisi olduğu bilinmektedir (Polat, 1995; Tuğrul ve Polat, 1995). Aynı süreçte, Karadeniz ekosistemindeki dramatik değişimler Marmara Denizini çok olumsuz etkilemiştir. Karadeniz'e kıyasla hacmi ve yüzey alanı oldukça çok küçük olan Marmara Denizi, anlaşılacağı üzere hem kirletilmiş Karadeniz yüzey akıntısı ile hem de bölgedeki karasal kaynaklı atıklar yoluyla yoğun bir kirlenmenin etkisi altındadır (Polat, 1995; Tuğrul ve Polat, 1995). Ancak, bu iki farklı kaynağın Marmara Denizi ekosistemi üzerindeki olumsuz etkilerinin göreceli payları hakkında çok kesin bilimsel bulgu ve bilgiler bulunmamaktadır.

Marmara Denizi'nde gerek bölgesel gerekse mevsimsel ölçekte fitoplankton üretimini hangi besin elementinin birinci derecede kontrol ettiği yeterince bilinmemektedir. İzmit Körfezi ve Marmara'da yapılan az sayıdaki çalışmalar, farklı dönemlerde ve farklı yerlerde değişik besin tuzlarının birincil üretimi kontrol ettiğini göstermiştir (Morkoç ve diğ., 1997). Ancak, bu konuda

tekrarlanabilirliği kanıtlanmış ve o bölgenin tipik özelliğini yansıtan yeterli bilimsel bulgu yok denecek kadar azdır. Marmara Denizi'nin ekolojik özellikleri içinde kritik öneme sahip besin elementlerinin sucul ortamdaki yapısal özellikleri, bunların toplam konsantrasyona katkısı, biyolojik kullanıma girenlerin özellikleri ve oranları gibi temel bilgiler eksiktir. Karasal kaynaklı atıkların alt tabaka akıntılarına verilmeye başlandığı İstanbul Boğazı-Marmara kesişim bölgesinde, Karadeniz'den giren kimyasal yüklerin kuzeydoğu Marmara üst tabaka ekosistemini birinci derecede etkilediği ileri sürülmektedir. Son yıllarda Boğaz boyunca ve Ahırkapı deşarjı bölgesinde yapılan oşinografik çalışmalar da bu görüşü desteklemektedir (Özsoy ve diğ., 1994). Ancak, alt tabakaya verilen kirleticilerin seyrelerek yüzeye karıştığı ve Boğaz alt sularına yeni atıksu deşarjların eklendiği dikkate alındığında, karasal kaynaklı atık girdisinin Marmara üzerindeki etkisinin beklenenden fazla olduğu ve giderek arttığı tahmin edilmektedir. Çanakkale Boğazı'ndan girip, İstanbul Boğazı alt akıntısıyla Karadeniz'e kadar ulaşan Akdeniz kaynaklı tuzlu suların biyokimyasal özelliklerinde Marmara baseni boyunca çarpıcı değişimler olmaktadır (Baştürk ve diğ., 1990; Polat ve Tuğrul, 1996; Polat ve diğ., 1998; Tuğrul ve diğ., 1995). Bu değişimde hem Karadeniz'den hem de karasal kaynaklardan ve atmosfer yoluyla Marmara üst tabakasına ulaşan kirleticilerin ortak katkısı bulunmaktadır. Çanakkale girişinden sonra yüzeyle teması kesilen Akdeniz sularının çözünmüş oksijen derişiminde %70-80 azalma olmaktadır. Hatta, kıyısız alanların bir kesiminde, yaz sonrasında tabanda veya haloklin altında oksijensiz koşullar dahi oluşabilmektedir. Oksijensiz sularda yüzeyden çöken organik maddenin parçalanmasında nitrat iyonları kullanıldığından (denitrifikasyon bakterilerince) alt sudaki nitrat/fosfat oranı belirgin şekilde azalması söz konusudur. Böyle alanlarda dikey karışımlar ve difüzyon yoluyla ara geçiş tabakasına nitrate kıyasla daha fazla fosfat girdisinin olması beklenir.

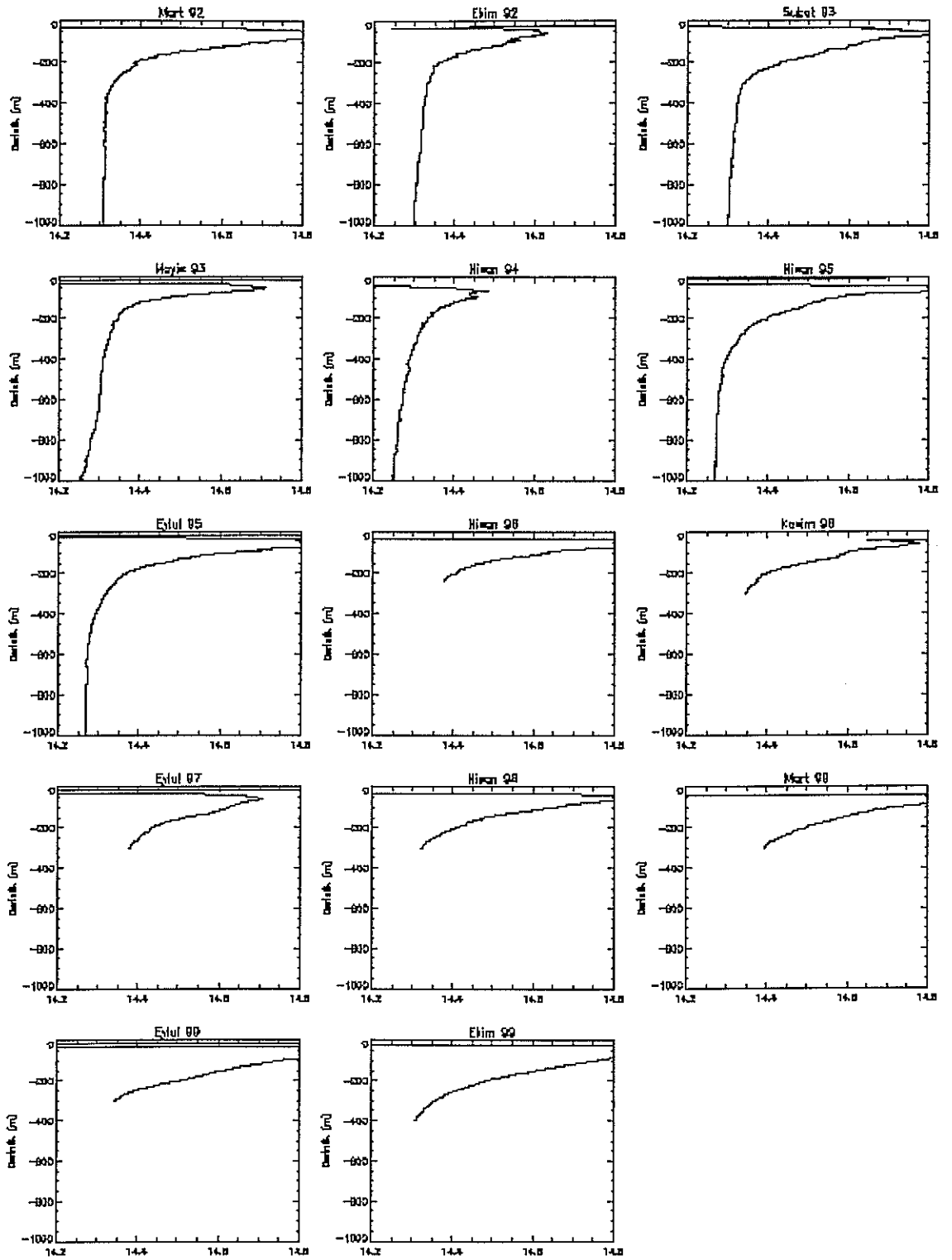
Marmara'nın alt sularında 1970'li yıllardan beri 8-10 arasında değişen nitrat/fosfat molarite oranı, yüzeyden çöken katı organik maddenin kimyasal kompozisyonu (C:N:P oranı) ile yakın benzerlik göstermektedir (Polat, 1995; Polat ve diğ., 1998). Ancak bu oranlar, fitoplanktonların bilinen (N/P=16) oranından oldukça düşüktür. Karadeniz'e bağlı olan Marmara Denizinin ekolojik özellikleri son 30 yılda önemli değişime uğradığı bilinmektedir. Ancak, alt sudaki N/P oranının neden fazla değişmediği hakkında geçmiş dönemin POM kompozisyonu hakkında hiç bir bulgu olmaması nedeniyle sağlıklı yorumda bulunmak mümkün değildir. Marmara alt tabaksından karışımla yüzeye ulaşan sularda, doğal olarak nitrat/fosfat oranı hep düşük kalmıştır. Karadeniz'den giren üst akıntının kimyasal özelliklerinde, Tuna etkisinden dolayı, önemli değişimlerin olduğu bir gerçektir. Bu iki farklı kaynak Boğaz girişinde karışarak tüm Marmara'ya yayılmaktadır. Az tuzlu Karadeniz girdisinin azotlu bileşiklerce daha zengin (yüksek N/P oranı) olduğu dikkate alınır, alt su girdisindeki azot eksikliğinin azotça kısmen zengin Karadeniz girdisiyle karşılandığı anlaşılmaktadır. Karadeniz girdisinin N/P oranının son

30 yılda değiştiği tahmin edilmekle birlikte, Marmara alt sularında gözlenen düşük N/P oranının (göreceli nitrat eksikliğinin) kaynağı henüz bilinmemektedir. Yüzeydeki POM'un düşük N/P oranına sahip olduğu bilinmekle birlikte, çökeltme hızı yüksek POM'un kompozisyonu (N/P oranı) ve ölçülen partikül fosforun ne kadarının inorganik kökenli olduğu konusunda hemen hemen hiç bilimsel bulgu yoktur. Oksijence fakir olan Marmara alt tabaka sularında ve su-sediman arafazında süregelen denitrifikasyonun olaylarının birim zamanda ne kadar nitrat tükettiği ve alt suda son 30 yıldır fazla değişmediğini bildiğimiz düşük N/P oranına katkısı konusunda çalışma yapılmamıştır (Polat, 1995). Özetle vurgulamak gerekirse iki tabakalı Marmara Denizinde alt beslenme basamağını oluşturan canlıların çoğalması, madde transferleri, sistemin azot ve fosfor döngüleri ve bütçeleri hakkında önemli bulgu ve bilgi eksiklikleri bulunmaktadır.

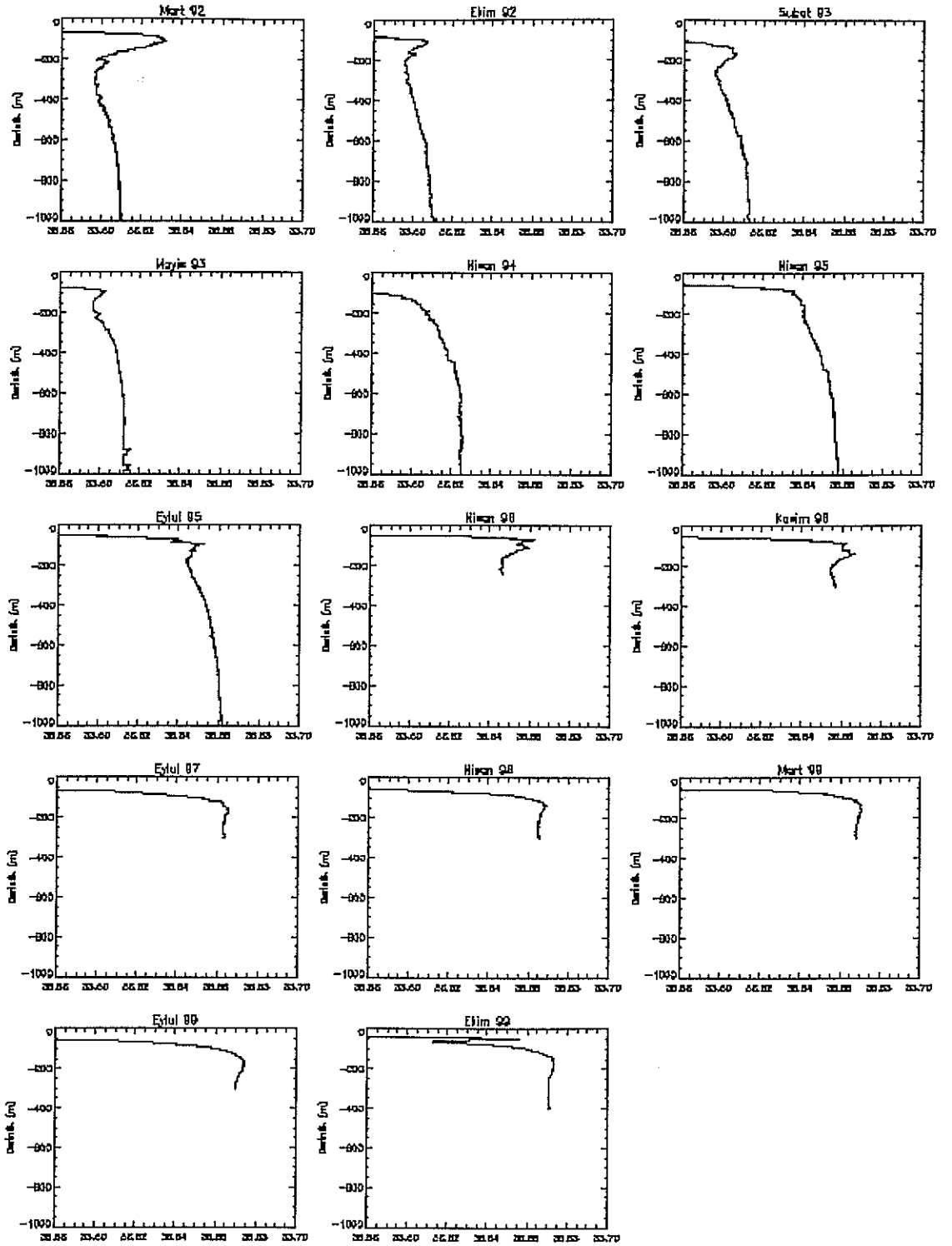
2. Fiziksel Özellikleri

Yüzeyden 40 m'ye kadar olan tabaka direk atmosfer etkisinde olduğundan zaman içerisinde en fazla değişimin gözlendiği yerdir. Bu tabakanın hemen altında su sıcaklığı büyüklüğü mevsimsel olarak değişen bir maksimum yapar. Yaklaşık olarak 50 m civarında oluşan bu maksimumdan derinlere doğru su sıcaklığı monotonik olarak azalır ve deniz tabanında yaklaşık olarak 14.2-14.3'e düşer. Beşiktepe ve diğerleri (1994) tarafından belirtildiği gibi 50 m. civarında oluşan sıcaklık maksimumu sonbahar aylarında Çanakkale Boğazı'ndan havzaya giren Ege sularından ötürüdür. Derine inildikçe su sıcaklığının düşüşü de kış aylarında Çanakkale'den havzaya giren suların tabana çökmesi nedeniyle. Sıcaklık maksimumunun değer ve hacmi, Ege Denizi'nden sonbahar aylarında gelip havzanın doğusuna ulaşan suların zamanı ve miktarı konusunda fikir verir. Genelde sonbahar da giren sular havzanın bu kısmına kış aylarında ulaşır.

K46L00(45-C) istasyonunda ölçülen tuzluluk dikey görünümleri de yukarıda tartışılan sıcaklık dikey görünümleri ile paralellik gösterir. Sıcaklığın maksimum yaptığı 50 m' nin hemen altında tuzluluk maksimuma ulaşır. Bu maksimum hemen altında tuzluluk minimumu yer alır. Buradan derinlere doğru inildikçe tuzluluk monoton olarak artar. Bu tür tuzluluk ve sıcaklığın düşey dağılımları ve zaman içerisinde değişimleri tamamen Çanakkale Boğazından gelen suyun mevsimsel değişimi nedeniyle.



Şekil 1. K46L00(45-C) istasyonunda sıcaklığın zaman içerisindeki değişimi.



Şekil 2. K46L00(45-C) istasyonunda tuzluluğun zaman içerisindeki değişimi

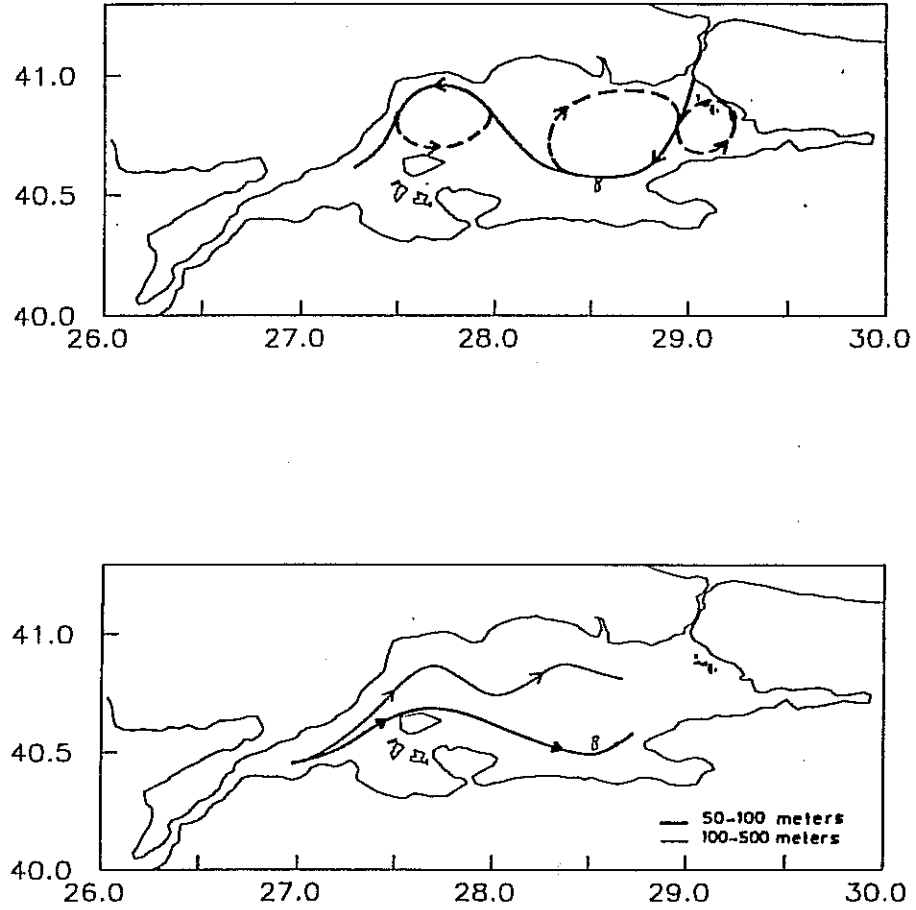
Kış aylarında Çanakkale Boğazı yoluyla gelen Ege suları, havza sularından daha ağır olması nedeniyle, batı tarafında hemen tabana çöker. Bu sular düşük sıcaklık-yüksek tuzluluklarıyla yörenin kendi su kütlelerinin özelliklerinden kolayca ayırt edilebilirler. Kış aylarında çöken bu sular havzanın en batısında bulunan çukuru doldurur. Tuzluluk maksimum batıdan doğuya doğru azalan büyüklüğüyle 50-200 metrelerde yer alır. Orta derinliklerde yatay V biçiminde az tuzlu sular yer alır. Kış aylarında havzanın batısında tabana çöken sular daha sonraki aylarda doğuya doğru hareket eder. Bunun neticesi olarak Marmara Denizi'nin batısında yer alan çukur yeni gelen sularla dolduğu gibi ortadaki çukurda dolmuş ve hatta doğuda yer alan çukura da taşmıştır. Baharda havzaya giren Ege suları ise tabana çökecek kadar ağır değildir ve ancak 700-800 metrelere kadar çökebilir. Havzanın batı yakasının tabanına yapışık olarak derinlere çöken yüksek tuzluluktaki sular kolayca ayırt edilebilir. Bahar aylarında yüzey suları hidrografisi ve akıntısı kış aylarına benzerlik gösterir. Bunun nedeni güçlü rüzgarların bölgeyi etkilemeye devam etmesidir.

Yaz aylarında havzaya giren sıcak ve tuzlu Ege suları ancak belirli derinliklere çökebilir. Marmara Denizi'ne giren Ege Denizi kaynaklı sular 150m ile 500m arasında yüksek tuzluluk hücreleri olarak gözlenir. Bu su kütlelerinin bir kısmı Marmara Adası'nın güneyinden, bir kısmı da diğer mevsimlerde olduğu gibi Marmara adasının kuzey batısından havzaya karışır. Çevresindeki sularla karışım nedeniyle yoğunluğu değişen bu sular farklı farklı derinliklere çöker. Daha derinlerde gözlemlenen tuzluluk anomalileri kış sonlarında çöken sular tarafından oluşturulmuştur. Bu ayda yüzey tuzluluğu kış ve bahar aylarına nazaran daha düşük olup 20-22 ppt arasında değişir. Ancak, Marmara Adası'nın güneyindeki sığlık bölge ile körfezlerde 24 ppt'ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. Tuzluluk dağılımından çıkarılabilecek akıntı sistemi, havza boyutlarında ve saat yönünde hareket eden bir dolaşımın hakim olduğunu gösterir. İstanbul Boğazından çıkan jet önce güney-batı istikametinde havzanın güney kıyılarına ulaşır. Daha sonra kuzey-batı yönüne döner. Bu genel akıntının güneyde yer alan körfezleri etkilemediği görülmektedir.

Sonbahar aylarında Ege Denizi'nden gelen suların yoğunluğu havzanın alt tabaka sularının yoğunluğundan daha azdır. Bu nedenle bu mevsimde gelen sular derinlere çökmeyerek haloklinin hemen altından havzaya girer ve burada tuzluluk maksimumunu oluşturur. Kış aylarında tabana çöken sular sonbaharda Marmara Denizinin ortasındaki çukuru doldurmuştur. Çanakkale'den gelen sularla direk olarak yenilenmeyen orta derinlikteki sular az tuzlu olarak yer alır.

Mart 1992 – Ekim 1999 arasında yapılan ve bu raporda bir sentezi verilen ölçümlerden çıkarılan Marmara Denizi yüzey suları ve alt sularının dolaşımı Şekil 3'deki gibi şematize

edilebilir. Yüzey suları (Şekil 3, üst panel) İstanbul Boğazından çıkan jetin havza içerisinde saat yönünde bir dolaşım sistemi oluşturur. Bu genel yapı rüzgarın ve/veya Karadeniz'den gelen su miktarındaki oynamalar nedeniyle değişebilir. Çanakkale Boğazı'ndan gelen Ege suları Çanakkale Boğazının uzantısı olan deniz altı kanyonunu takip ederek havzanın batısındaki çukura ulaşır. Havzanın derinliklerindeki bir akıntı sistemi daha sonra dip sularını doğuya doğru taşır (Şekil 3, alt panel). Yaz aylarında ise Ege Denizi'nden gelen suların bir bölümü doğuya dönerek farklı bir yol izler ve havzanın güney kısmını etkiler.



Şekil 3. Marmara Denizi akıntılarının şematik gösterimi.

3. Kimyasal Özellikleri

Marmara alt ve üst sularının farklı kimyasal özelliklere sahip olmasının başlıca nedenleri (a) yüzeydeki az tuzlu ince tabakanın tabandaki Akdeniz'in tuzlu sularından çok keskin (10-15 metre kalınlığında) bir arageçişle (haloklinde) ayrılması ve bu keskin geçiş tabakası içinde su

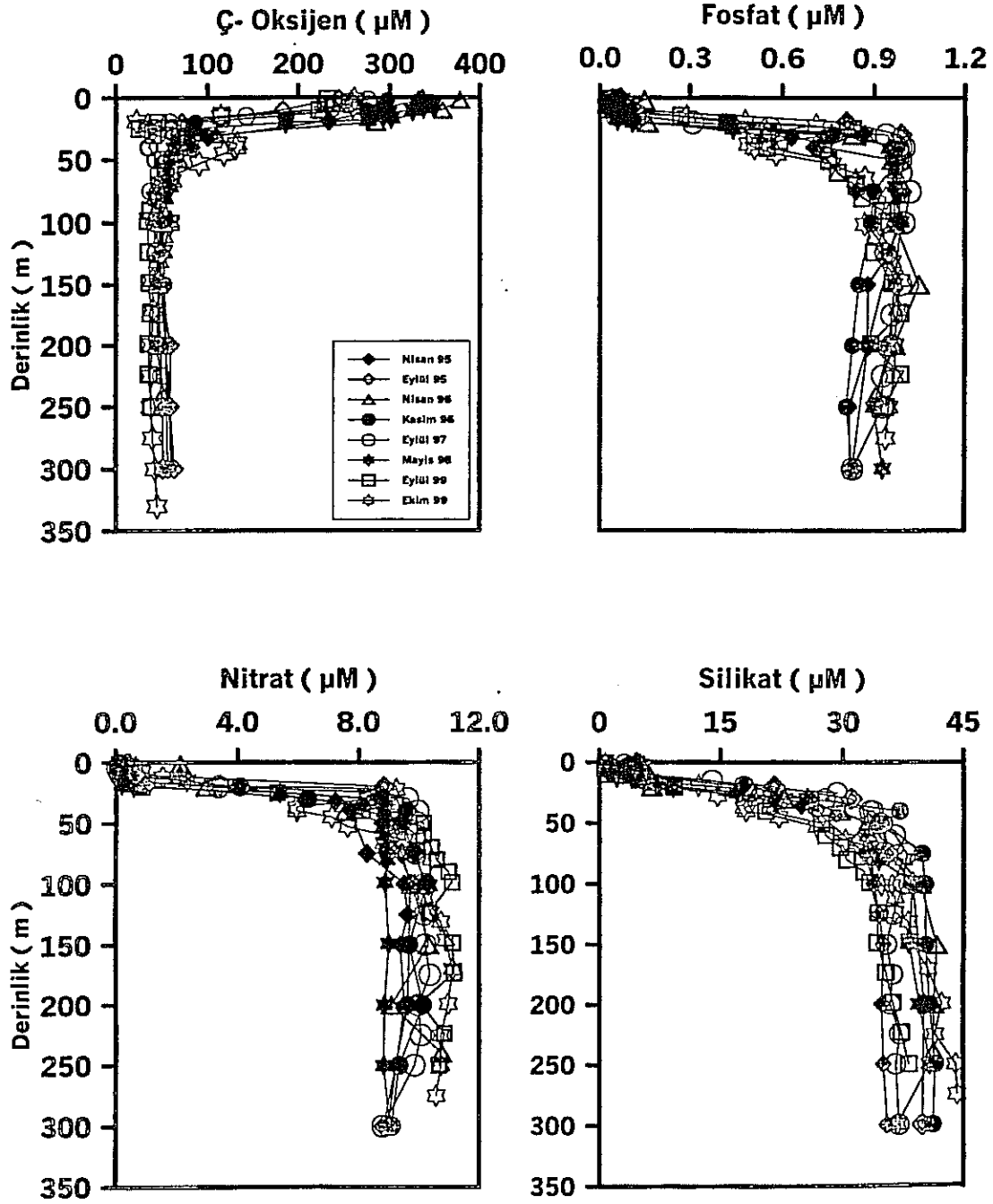
yoğunluğun hızlı ve çok fazla değişmesi, (b) keskin arageçiş tabakasının (haloklinin) yüzey sularından alt tabakaya partiküllerin geçişini azaltması ve fotosentez ürünü POM'un yüzeyde uzun süre kalması ve burada parçalanması, (c) iki tabakalı Marmara ekosisteminde güneş ışığının ancak arageçiş tabakası (haloklin) sularına kadar ulaşabilmesi sonucu olarak, alt tabaka sularında POM üretimi olmaması ve ortama partikülat girdisinin yalnızca üst tabakadan çökelenler ve bunlarla beslenen heterotrofik bakteriler olması, (d) alt suyun Marmara'da kalış süresinin yüzeye göre oldukça uzun olması (ortalama 6-7 yıl), (e) alt suların tabandaki yatay akıntılarla kısmen homojen hale gelmesi ve bölgesel farklılıkların seyrelmelerle oldukça azalmasıdır.

Çözünmüş Oksijen (ÇO): ÇO'nun yüzeydeki az tuzlu suların daha soğuk olduğu Nisan ayında 380 μM seviyesine kadar çıktığı, Eylül-Ekim'de ise 225 μM 'ın altına düştüğü gözlenmiştir (Şekil 4, 5). Doğu Marmara'nın üst tabaka Nisan ortalaması 313 μM iken bu değer batı basende 290 μM mertebesine düşmüştür. Ancak, ölçümlerin yapılmadığı Şubat-Mart aylarında, Karadeniz'deki yüzey suları gibi, Marmara üst tabaka ÇO değerlerinin 400 μM seviyesine ulaşması beklenir. Alt tabaka sularında ise ÇO değerlerinin genellikle 40-80 μM aralığında değiştiği gözlenmiştir. Beklendiği üzere, Marmara'nın batı basenindeki derin suları kısmen daha fazla oksijen içermektedir; burada alt su ÇO mevsimsel ortalamaları 53-83 μM aralığında değişirken, Marmara'nın doğu baseninde 50-65 μM seviyesine düşmektedir. Çanakkale'den giren oksijence zengin (225-250 μM) olan tuzlu Akdeniz suları, sahip olduğu oksijenin yaklaşık %70'ini daha batı basenine ulaşmadan kaybetmektedir. Doğu basenine ulaşıncaya kadar bir miktar daha oksijen düşüşü olmaktadır. İki basenin alt tabaka ÇO değerleri arasındaki fark, Akdeniz suyunun batı basenine ulaşma hızına ve seyrelme derecesine bağlı olarak değişik aylarda 5 ila 20 μM arasında değişmektedir. Ancak bu fark, sığ kıyasal kuşakta ve doğu baseninde haloklinin hemen altındaki derinliklerde çok daha fazladır (bkz. Şekil 4,5). Çünkü yaz sonu-sonbahar aylarında bu haloklin altı sularda ÇO hemen hemen tükenmektedir ($\text{ÇO} < 10 \mu\text{M}$). Ancak derin basenlerin tabana yakın sularında (500 metrenin altında) bölgesel fark azdır. Bu da Marmara Denizi boyunca derin sulara daha az POM çökmesi ve de ÇO tüketimi olduğunu; batı ve doğudaki derin basenleri dolduran tuzlu suların yatay akıntılarla karışarak kısmen homojen hale gelmesi sonucu olarak, derin basenlerdeki suların yaşları ve kimyasal bileşenleri arasında çok belirgin fark olmadığını işaret etmektedir. Marmara'nın alt tabakasına oksijen girdisi Ege'den ve difüzyonla kısmen de yüzeyden olduğu için, Marmara'daki alt tabaka sularında yıl boyunca %70-80 mertebesinde oksijen eksikliği gözlenir. Alt tabaka sularında ölçülen düşük ÇO derişimlerinin mevsimsel değişimi de çoğunlukla 15-30 μM aralığındadır ve bunun sürekliliği Marmara alt tabakasındaki yıllık ÇO tüketimi ile yüzeyden çökelen partikül organik maddenin yıllık miktarı arasında hassas bir dengenin oluştuğunu göstermektedir.

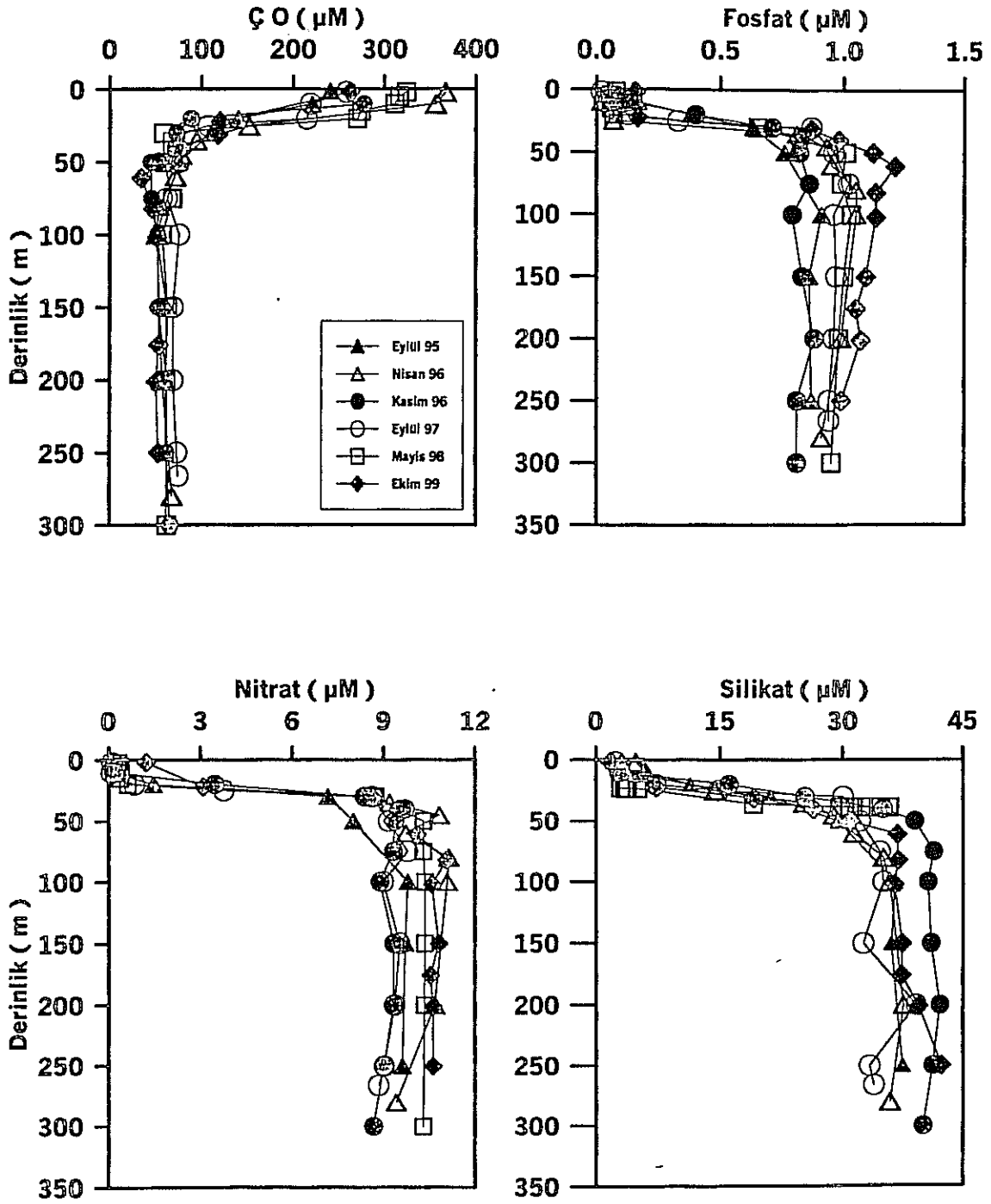
Keskin arageçiş tabakasının varlığı alt sulardaki sürekli düşük oksijenli bir ekosistemin varlığının başlıca nedenidir. Marmara yüzey sularında kirliliğin son 30 yılda belirgin şekilde artması sonucu, denizdeki POM üretiminin artmasına rağmen, alt suların ÇO değeri 70'li yıllardaki ölçümlere kıyasla çok fazla bir azalma görülmemektedir (Polat, 1995). Fakat, ekosistem yapısındaki değişim üst tabaka sularında daha belirgin durumdadır. Birincil üretimin artması ile yüzeydeki ışıklı tabakanın kalınlığı azalmış ve haloklinin hemen altındaki suların ÇO değerlerinde hızlı azalmalar (keskin oksiklin) ortaya çıkmıştır. Bunun nedeni, POM sentezinin yüzeye yakın sularda gerçekleşmesi ve buna bağlı olarak haloklinde POM çökmesinin yavaşlaması ve alt sulara daha az POM taşınmasıdır. Şekil 4 ve 5'deki ÇO profilleri daha detaylı incelendiğinde, ara tabakada tuzluluk artışına paralel olarak ÇO'nun ters yönde bir değişim ile aynı hızda azaldığı görülür. Sonbaharda yüzey sularındaki mevsimsel termoklinin kırılmaya başlaması ile haloklin içine daha fazla oksijen ulaşır ve haloklinin alt sınırında oluşan ÇO minimum yavaş yavaş kaybolur. Marmara'nın derin çukurlarının tabanına doğru inildikçe ÇO değerlerinde çok az da olsa bir artış gözlenir. 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. Sonuç olarak, kuzey Ege'nin oksijence zengin tuzlu suları, İstanbul Boğazı'na ulaşmaya kadar geçen sürede sahip olduğu oksijenin yaklaşık %80'ni Marmara'nın derin baseninde tüketilir.

Anorganik Besin Tuzları: Marmara Denizindeki anorganik besin elementlerinin (nitrat, fosfat ve silikat) dağılımı iki tabakalı deniz ekosistemlerinin tipik özelliklerini ve derinlik değişimlerini yansıtmaktadır. Boğazlardan giren Karadeniz ve Akdeniz sularının kendine özgü kimyasal özellikleri (Codispoti ve diğ., 1991; Murray ve di., 1989, 1995; Polat ve Tuğrul 1996; Tuğrul ve diğ., 1992, 1995), Marmara'da kaldıkları sürede dikkate değer değişimlere uğrar (Şekil 4, 5). Marmara'nın ışık alan üst tabakasına Karadeniz'den sürekli besin tuzları girdisi vardır. Fakat bunların büyük bir kısmı fotosentez yoluyla POM üretiminde kullanıldığı için, Marmara yüzey sularında ölçülen nitrat ve fosfat konsantrasyon değerleri yıl boyunca genellikle düşüktür (Şekil 4, 5). Ancak, Kasım-Nisan ayları arasında Karadeniz'den giren suların besin tuzları (özellikle nitrat iyonları) bazen aşırı zenginleşir. Kış aylarında dikey karışımlarla Marmara alt tabaka sularından besin tuzları girdisinin artması ve bu dönemde güneş ışığının yetersizliği gibi etkenlerin birleşmesiyle kuzeydoğu Marmara'da ve İstanbul Boğazı'na yakın alanlarının yüzey sularında besin tuzları derişiminin arttığı gözlenmiştir.

Marmara'nın alt tabakasında, arageçiş tabakasının derinlere yeterli ışık ulaşmasını önlemesi nedeniyle fotosentez (POM üretim) hızı çok düşüktür. ÇO'nun hızlı bir düşüş gösterdiği bu arageçiş tabakasında, besin tuzları (nitrat, fosfat ve silikat) değerleri de hızlı ve tuzluluk



Şekil 4. Marmara Denizi doğu baseninde (ist. No: 45C) 1995-1999 yılları arasında ölçülen çözülmüş oksijen, nitrat, fosfat ve silikat derişimlerinin derinlikle değişimleri.



Marmara Denizi Batı Baseni (K50J34)

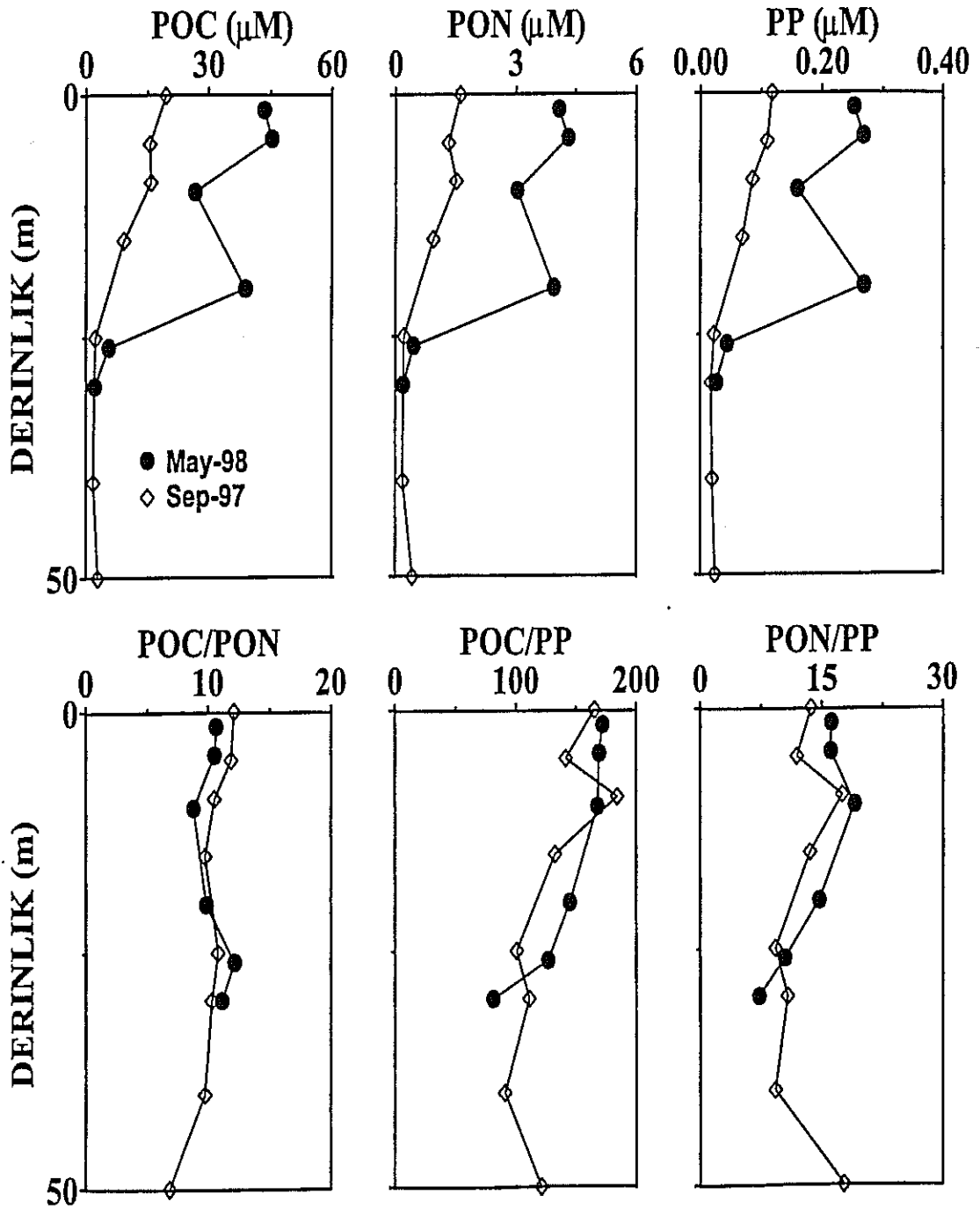
2007 3-6 2 2

Şekil 5. Marmara Denizi batı baseninde (ist. No: K50 J34) 1995-1999 yılları arasında ölçülen çözülmüş oksijen, nitrat, fosfat ve silikat derişimlerinin derinlikle değişimleri.

değişimiyle çok uyumlu artışlar gösterir (Şekil 4, 5). Haloklin altındaki tuzlu sulara ulaşıldığında, besin tuzları en yüksek konsantrasyon değerlerine sahiptir. Alt tabakadaki oksijen minimum derinliklerinde en yüksek seviyeye ulaşan nitrat ve fosfat değerleri, 500 metrenin altındaki sularda tabana doğru az da olsa azalan bir değişim gösterir. Alt tabaka mevsimsel ortalama değerleri orto-fosfat , nitrat ve reaktif silikat konsantrasyonları sırasıyla, 0.7-1.1, 7.8-10.7 ve 32-39 μM aralığında değişmektedir. En düşük alt su besin tuzları değerlerine Çanakkale girişine yakın bölgede, en yüksek değerlerin de kuzeydoğu Marmara'da rastlanmaktadır. Sonuç olarak, Marmara'nın alt tabaka sularında anorganik besin tuzları derişimi, Çanakkale Boğazı'ndan İstanbul Boğazı'na doğru gidildikçe artar.

Partikül Organik Madde: Fotosentez yoluyla sürekli fakat değişik hızlarda POM sentezinin olduğu üst tabakada POM konsantrasyonları her zaman yüksektir (Şekil 6). Haloklin içinde azalarak haloklin altı sularda en düşük değerlere ulaşır. Fitoplankton kaynaklı biyo-kütlenin en yoğun olduğu kış sonu-ilkbahar aylarında POC, PON ve PP konsantrasyonları üst tabakada en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Haloklin içinde POM birikiminin olmaması, bu arageçiş tabakasında küçük boyutlu partiküllerin bakterilerce oldukça hızlı parçalandığını işaret etmektedir. Alt tabaka sularında gözlenen düşük POM konsantrasyonlarının mevsimsel ve bölgesel değişimleri oldukça azdır. POM dağılımında ve bolluğunda birincil üretimin etken olduğu yüzey sularında, 1991-1999 yılları arasında ölçülen partikül konsantrasyonlarının üst tabaka ortalama değerleri POC için 13-29 μM , PON için 1.3-2.9 μM ve PP için 0.11-0.24 μM aralığında değişmektedir (Şekil 6). Ayrıca, Marmara'daki POM konsantrasyonları kirletici girdilerindeki mevsimsel ve bölgesel değişimler nedeniyle Marmara'nın farklı bölgelerinde önemli farklar göstermektedir.

Farklı mevsimlerde POM'un kimyasal kompozisyonunu (C/N/P oranlarını) belirlemek için hesaplanan C/N, C/P ve N/P oranlarının su kolonu içindeki dağılımları Şekil 6'da verilmiştir. Görüleceği üzere, ilkbahar ve sonbahar dönemi C/N oranı ortalamaları (10.3 ve 11.2), Karadeniz'den giren POM'un kimyasal kompozisyonu ile benzerdir. Fakat, okyanus planktonları için hesaplanan ve Redfield oranı olarak da bilinen C/N=6.7'lik değerden oldukça yüksektir. Yaz dönemi ortalaması (13.8) gerek Redfield oranından gerekse Karadeniz girdisinin yaz dönemi C/N oranından oldukça yüksektir. C/P mevsimsel ortalamaları ise 115 ile 143 arasında değişmektedir ve Redfield oranından (C/P=106) yüksektir. Marmara POM'unun N/P oranı yaz ve sonbaharda döneminde 9.2 ve 11.5'e mertebesinde iken, ilbaharda 14.9'a yükselmiştir; bu değer, planktonlar için hesaplanan N/P=16.0 (Redfield oranı) değerine ve okyanusların üst tabaka POM kompozisyonuna (Copin ve Montegut, 1983)



Şekil 6. Marmara Denizi partikül organik madde konsantrasyonları

çok yakındır. Marmara POM'unda C/N ve C/P oranlarının yüksek bulunması, toplanan partikülatların azot ve fosfor içerikli bileşiklerce kısmen fakir olduğunun göstergesidir. N/P oranının çoğunlukla 16'dan düşük olması, filte üzerinde toplanan partikülat maddenin yapısında göreceli fosfor birikiminin olduğunu işaret etmektedir. Ölçülen PP, partikül yapıdaki organik ve anorganik fosforun toplamı olduğu için, düşük N/P'nin hangi bileşin etkisi sonucu oluştuğunu eldeki bulgularla tanımlamak mümkün değildir.

Toplam Organik Karbon (TOC): Eldeki az sayıdaki ölçüm sonuçlarına göre, Nisan 1995'te yüzey suyunda 2.5-2.7 mg/L seviyesinde olan TOC konsantrasyon değerleri, alt tabakadaki tuzlu suda 0.8-1.0 mg/L seviyelerine düşmektedir. Bu değerler daha önceki bulgularla oldukça uyumludur (Tuğrul, 1993; Polat, 1995). TOC, POC ve ÇÖ profilleri benzer bir görüntü veririler. Birincil üretimin değişken olduğu üst tabaka sularında 2.7 ile 3.6 mg/L arasında değişmektedir. En yüksek değerler birincil üretimin yüksek olduğu zamanlarda ve klorofil maksimum derinliğinde gözlenmiştir. Anlaşılacağı üzere, Karadeniz sularıyla beslenen Marmara'nın ışıklı yüzey tabakası organik maddece zengindir. Az tuzlu ve üretken yüzey sularında yüksek olan TOC, POC ve ÇÖ değerleri haloklin içinde tuzluluk arttıkça azalır ve haloklin altı sularda derinlikle fazla değişmeyen seviyeye düşer. Ara tabakada azalan TOC derişiminde, aynı derinliklerde artış gösteren nitrat ve fosfat profilleri ile ters yönlü sıkı bir ilişki gösterir. TOC derişimi alt suda yüzeyden çöken POM'un önemli bir kısmının oksitlenmesi nedeniyle dikkate değer mevsimsel farklılık gözlenmez.

Marmara Denizi'nde ölçülen TOC konsantrasyonları Karadeniz'de ölçülen değerlere benzerlik göstermekle birlikte, üst tabaka TOC değerleri İstanbul Boğazı'ndan Çanakkale'ye doğru gidildikçe belirgin bir azalma gözlenir. Karadeniz'den Boğaz yoluyla taşınan yüzey suları İstanbul atıkları ile kirlenerek Marmara ulaşır. Ayrıca Boğaz bölgesindeki ters yönlü akıntılar, alt tabakadan yüzeye besin elementleri taşır. Tüm bu faktörler, kuzeydoğu Marmara Denizinin üst tabaka sularında gerek doğrudan gerekse fotosentez yoluyla organik madde birikimine (artışına) neden olur. Bu etki üst tabaka akıntısı Çanakkale doğru ilerledikçe azalır.

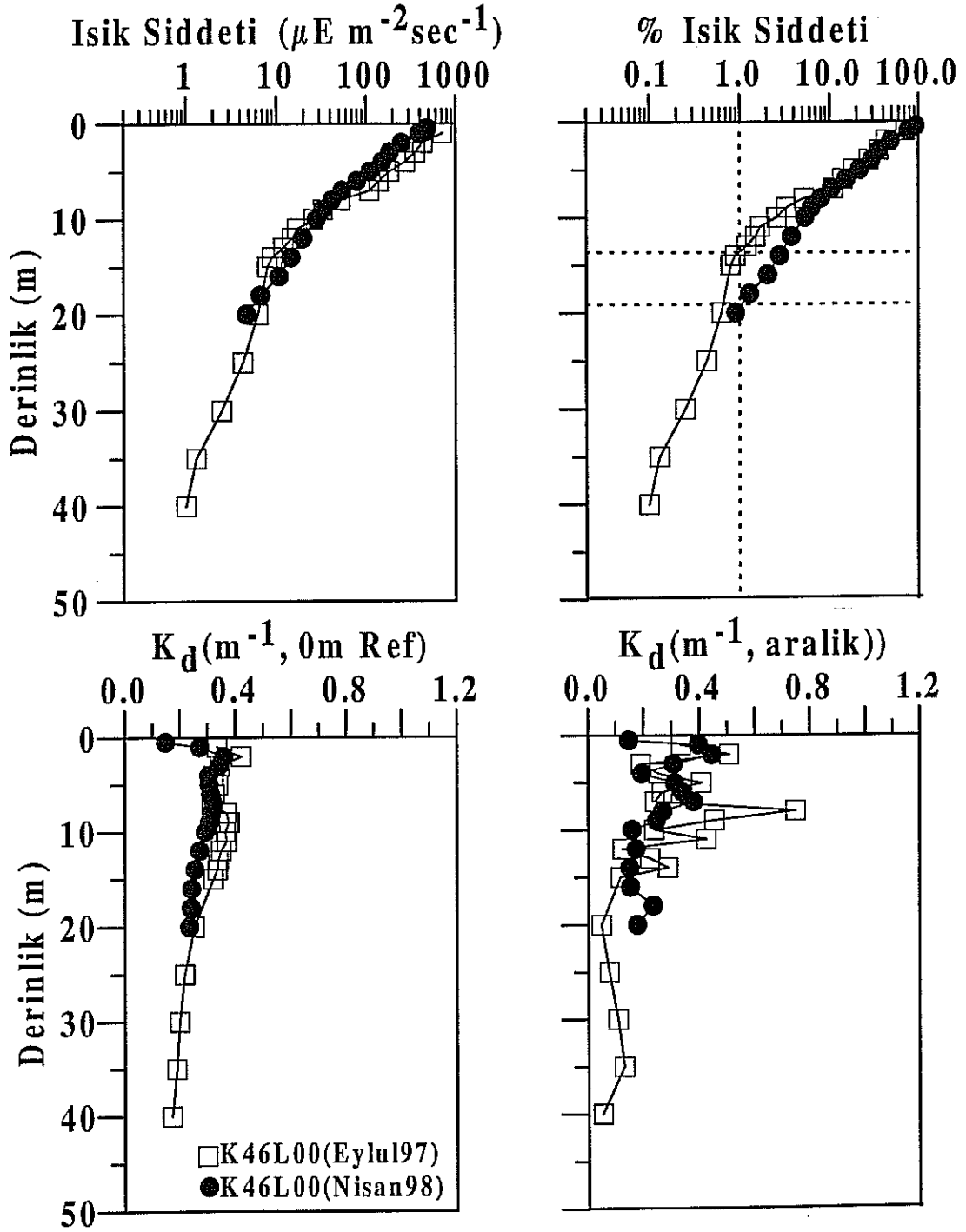
4. Biyo-optik Özellikleri

Marmara Denizinde ışığın su kolonundaki girişimi Karadeniz ve Akdeniz'e göre farklı özellikler göstermektedir (Polat, 1995; Vidal, 1995). Işıklı tabaka bu denizimizde çok ince olup genel olarak sürekli haloklin/piknoklin tabakasıyla çakışmaktadır. Fotosentetik üretimin gözlendiği ışıklı tabaka (pratik olarak yüzey ışığının %1'e indiği derinlik) 15-20m kalınlığındadır. Şekil 7'de Marmara Denizinde doğu derin baseninde seçilen bir istasyonda ışığın su kolonundaki girişimi gösterilmiştir. Bu istasyonda Secchi Disk derinliği 6-7m civarındadır. Sürekli ve kuvvetli bir tabakalaşmanın varlığı ayrıca partikül ve çözünmüş bileşenler için bir bariyer oluşturması nedeniyle gelen ışığın özellikle yüksek enerjili kısa dalga boylu kısmının bu tabakada soğurularak tamamen bittiği gözlenmiştir. Yüzey sularında daha çok yüksek dalga boylu ve az enerjili kısımların soğurulması ve yine yüzeye yakın tabakada canlı-cansız

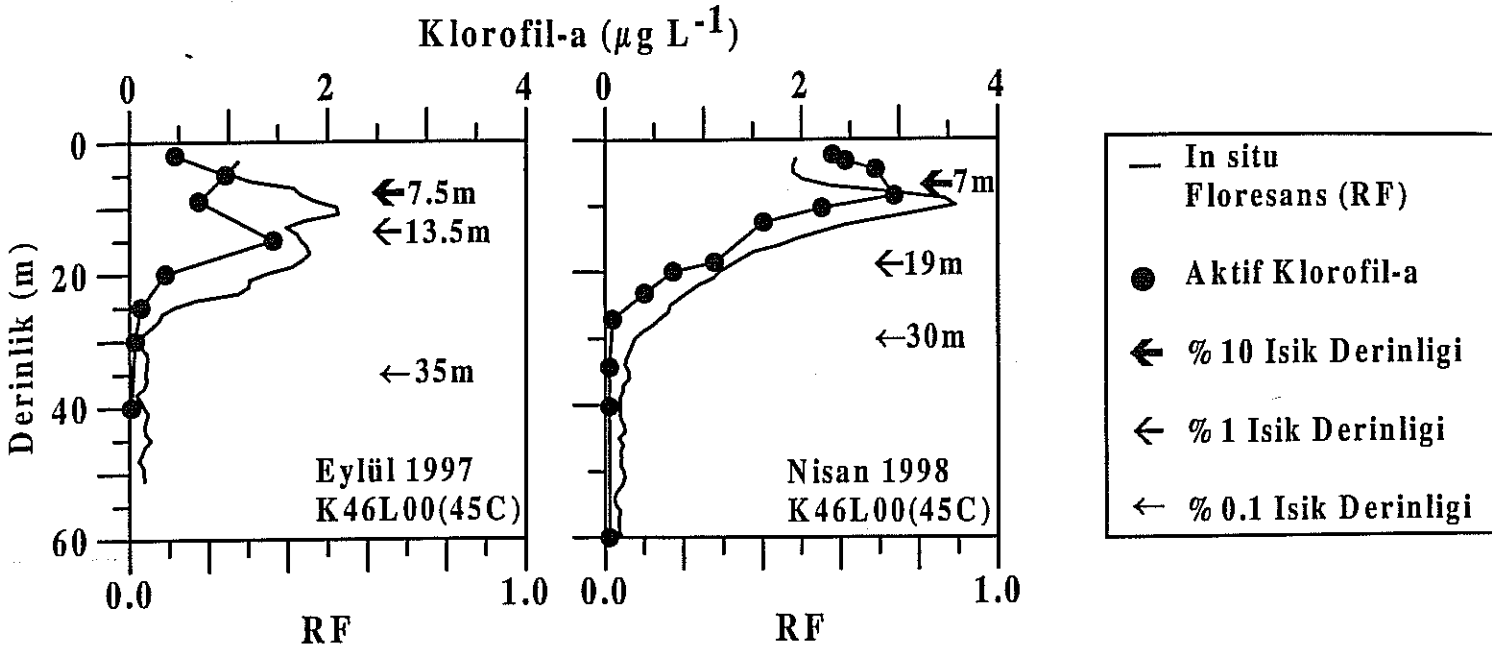
partiküllerin çok yoğun olması 1.0 m^{-1} 'ye yakın aşan ışık sönüm katsayılarının hesaplanmasına neden olmaktadır. Işık sönüm katsayısı K_d derinlikle azalarak ortalama 0.3 m^{-1} gibi sabit bir değere ulaşmaktadır. Marmara Denizinde daha önce yapılan ölçümlerde K_d değerleri $0.07-0.35 \text{ m}^{-1}$ aralığında hesaplanmıştır (Ediger ve Yılmaz, 1996).

Fitoplankton biyo-kütlesini temsilen ölçülen klorofil-a'ya ait örnek profiller Doğu Marmara bölgesi için Şekil 8'de verilmektedir. En yüksek klorofil-a konsantrasyonları ilk 20m'de ölçülmüştür ve genel olarak yüzey altında gözlenen maksimumlar ışığın %10-%1'e indiği derinlikler arasında yer almaktadır. Işıklı tabakanın alt sınırını oluşturan bu derinliğin altında ise klorofil-a konsantrasyonları hızla düşmektedir.

Marmara Denizinde ölçülen maksimum klorofil-a konsantrasyonu Nisan 1998 dönemi için $3 \mu\text{g/L}$ civarındadır ve bu değer güney Karadeniz'de aynı dönem için ölçülen maksimum değerleri aşmaktadır. Burada her iki deniz için karasal girdilerin etkisi altındaki yakın kıyusal istasyonların bu değerlendirmede yer almadığını belirtmek gerekmektedir. Bu dönem için genel olarak ölçülen klorofil-a konsantrasyonları daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlarla uyum içerisindedir ancak Marmara Denizinde ilkbahar patlamasının olduğu dönemlerde (Şubat-Mart ayları) $10 \mu\text{g/L}$ ye varan değerler kaydedilmiştir (Polat ve diğ., 1998). Fitoplankton patlama dönemlerinde klorofil-a maksimumunun daha yüzeye yakın bir derinlikte (>%10 ışık derinliği) yer aldığı gözlenmiştir. Bunun nedeni ilk üretimi gerçekleştiren fitoplanktonların ışığın az olduğu bu mevsimlerde yüzeyde yoğunlaşarak daha fazla ışıktan yararlanma eğiliminden kaynaklanmaktadır. Ayrıca bu mevsimlerde yaz aylarına göre su kolonu daha dinamik bir yapıya sahiptir ve etkin karışım nedeniyle besin tuzlarınca zengin dip sulardan besin tuzu taşınımı daha etkindir. Yaz ve sonbahar aylarında ise zıt bir durum oluşmakta ve fotosentetik aktif organizmalar (genel anlamda fitoplanktonlar) ışıklı tabakanın ortalarında veya tabanına doğru yoğunlaşarak bir yüzey-altı klorofil-a maksimumu yaratmaktadır. Bu aylarda yeterince ışık bulunmasına rağmen mevsimsel tabakalaşma ve düşey karışımın zayıflaması nedeniyle dip sulardan besin tuzu taşınımı en düşük seviyededir.

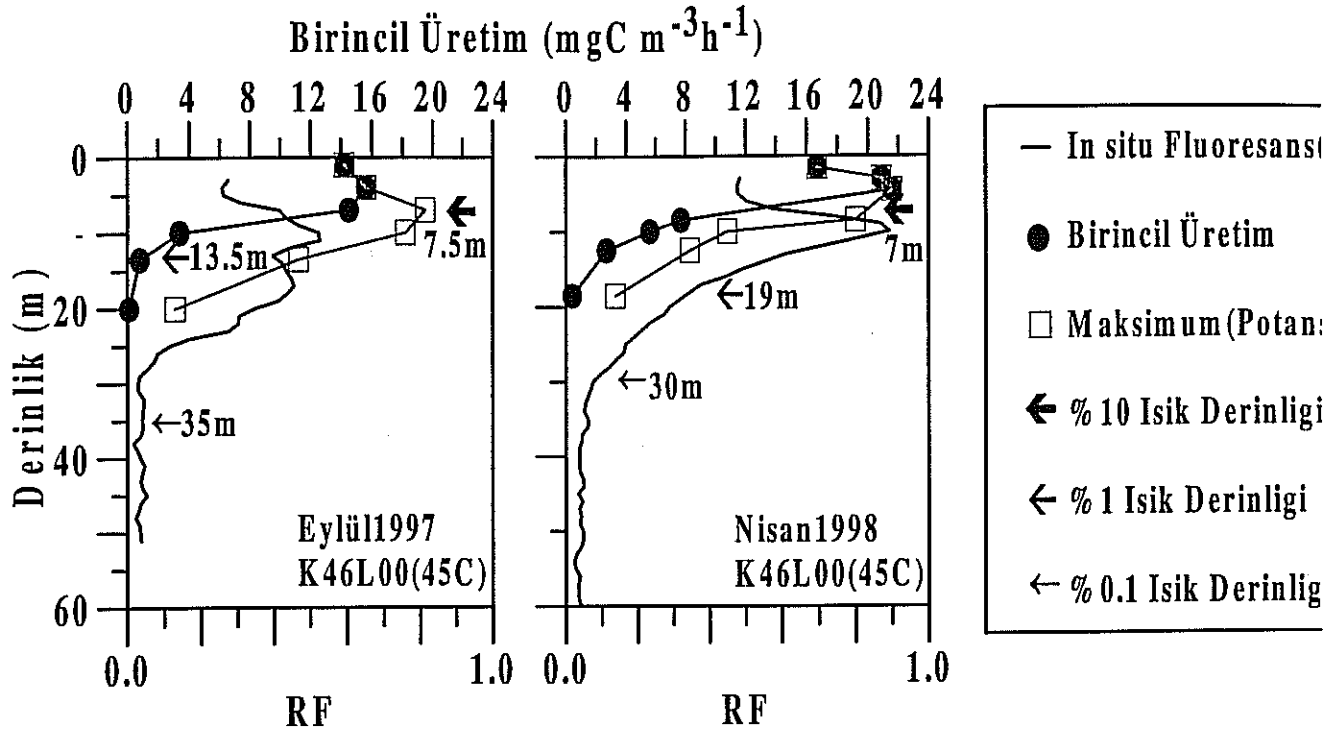


Şekil 7. Marmara Denizi'nde ışığın su kolonunda girişimi. Fotosentetik Aktif Işık aralığında (PAR, 400-700nm arası) ışık şiddetinin derinlikle değişimine paralel olarak yüzeye gelen ışığın yüzdesi şeklinde verilmektedir. Işık sönüm katsayısı (K_d) yüzey değerleri referans alınarak ve her derinlik aralığı için ayrı ayrı hesaplanarak düşey dağılımları verilmiştir.



Şekil 8. Marmara Denizinde doğu baseninde seçilen bir istasyonda (K46L00, 45C) klorofil-a'nın düşey dağılımı. Seçilen derinliklerde ölçülen Klorofil-a konsantrasyonları sembollerle gösterilirken sürekli çizgi ile gösterilen yerinde floresans aynı grafikte verilmiştir.

Tüm Marmara baseninde elde edilen klorofil-a sonuçlarına göre, yıl boyunca belirli bir seviyenin üzerinde fitoplankton yoğunluğunun ve buna bağlı fotosentetik üretimin varlığı gözlenmektedir. Ancak, bunlar kış karışımı takip eden ilkbahar aylarında fitoplankton patlamaları sonucu en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Genel olarak Karadeniz'in etkisi altındaki doğu baseninde fitoplankton biyo-kütlesini temsil eden klorofil-a konsantrasyonları (Maksimum $3 \mu\text{g/L}$), batı baseninde elde edilen değerlere (Maksimum $1 \mu\text{g/L}$) göre daha yüksektir. Karadeniz girdisine ek olarak bu bölgede karasal kaynaklardan gelen evsel ve endüstriyel atıklarla bu bölgenin özellikle dikey yönde dinamik bir yapıya sahip olması (Beşiktepe ve diğ., 1994) dip sulardan besin tuzu taşınımının daha etkin olmasına neden olmaktadır.

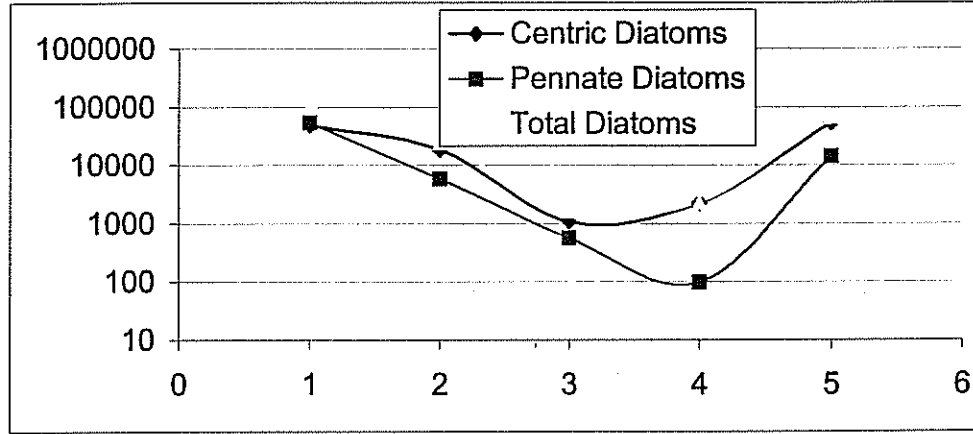


Şekil 9. Marmara Denizi doğu baseninde seçilen bir istasyonda (K46L00, 45C) birincil üretimin düşey dağılımı. İçi dolu yuvarlak sembollerle seçilen derinliklerde ölçülen birincil üretim hızına paralel olarak ölçülen ve aynı derinliklerden toplanan örneklerin tamamı aynı düzeyde ışığa karşı inkübe edildiğinde elde edilen maksimum potansiyel üretim hızları içi boş kare sembollerle ifade edilmiştir. Yerinde floresans (RF) ölçümleri ise düz çizgi ile gösterilmiştir.

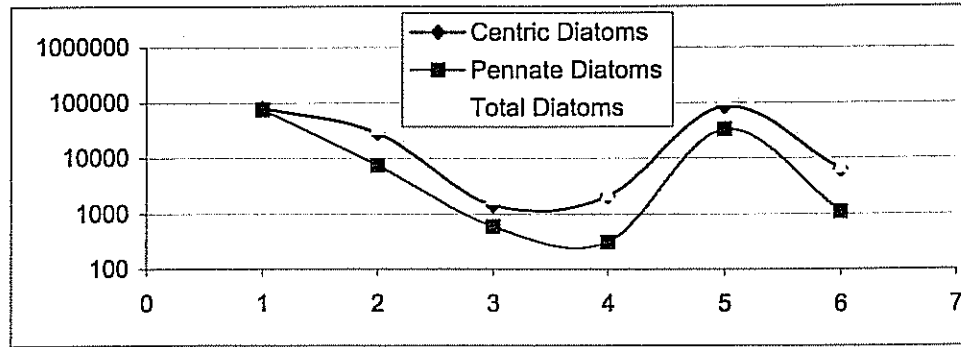
Şekil 9'dan görüleceği üzere birincil üretim 10m gibi ince bir yüzey tabakasında gerçekleşmiş ve $22 \text{ mgC/m}^3/\text{saat}$ 'e varan değerlerde fotosentetik karbon üretim hızı (birincil üretim) ölçülmüştür. Bu derinliğin altında ışık yüzey değerinin %10'unun altına düşmekte ve karbon üretimi hızla azalmaktadır. Işıklı tabakanın tabanında (ışığın yüzey değerinin %1'ine düştüğü derinlikte) üretim en düşük seviyede olmakta ve/veya net üretim sıfıra ulaşmaktadır. Bu örnek profillerden görüleceği üzere birincil üretim maksimumları genel olarak klorofil-a ve floresans maksimumlarının üzerinde daha yüze yakın derinlikte yer almaktadır. Su kolonunda ışıklı tabaka için integre edilmiş birincil üretim ise Eylül 1997 dönemi için 1192 , Nisan 1998 dönemi içinse $1850 \text{ mgC/m}^2/\text{gün}$ olarak hesaplanmıştır. Yapılacak çok kaba bir hesaplamayla Marmara Denizinde yıllık birincil üretimin $500-550 \text{ gC/m}^2$ olarak tahmin edilmesi söz konusu olabilir. Hesaplanan bu değer 1988-1990 yıllarında Marmara Denizi'nde ölçülen klorofil-a değerleri kullanılarak hesaplanan birincil üretim değerlerinden ($64-161 \text{ gC/m}^2/\text{yıl}$) (Ergin ve diğ., 1993) çok üzerindedir. Bu da son yıllarda karasal girdilerde ve Karadeniz'den taşınan

organik ve anorganik yükteki artışa paralel olarak birincil üretimin hızlı bir artış içinde olduğuna işaret etmektedir. Biyo-assay deneyleri Marmara Denizinde birincil üretimin azot tarafından sınırlandırıldığını göstermektedir.

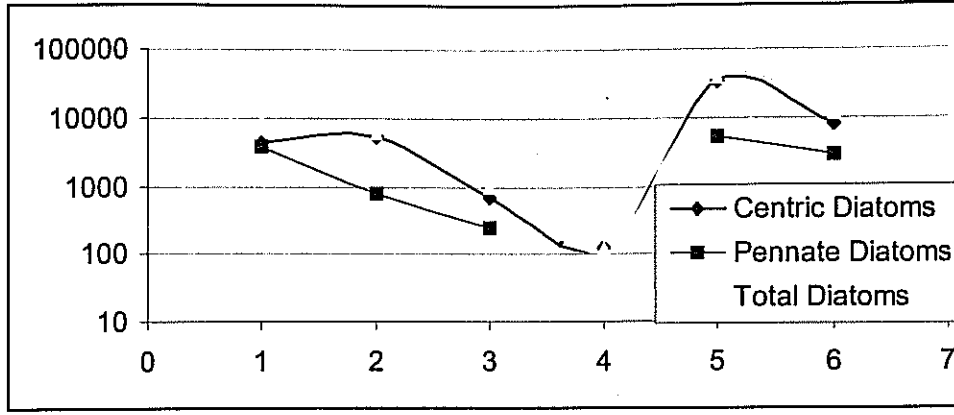
Fitoplankton hücre çoğalmalarının genellikle Kasım ayında başlayarak Ocak ayına kadar devam ettiği gözlenmiştir. Ocak ayından Mayıs'a kadar hücre sayısında azalma olmuştur (Şekil. 10). Her iki diatome maksimaları 10 metrede, en düşük seviyeler ise haloklin tabakasının altında 30 metrede elde edilmiştir (Uysal ve Ünsal, 1996).



Şekil 10a: Marmara Denizi yüzey suyundaki diatom sayılarının aylara göre dağılımları (1=Ock.86, 2=Mar.86, 3=May.86, 4=Tem.86, 5=Ekm.86)



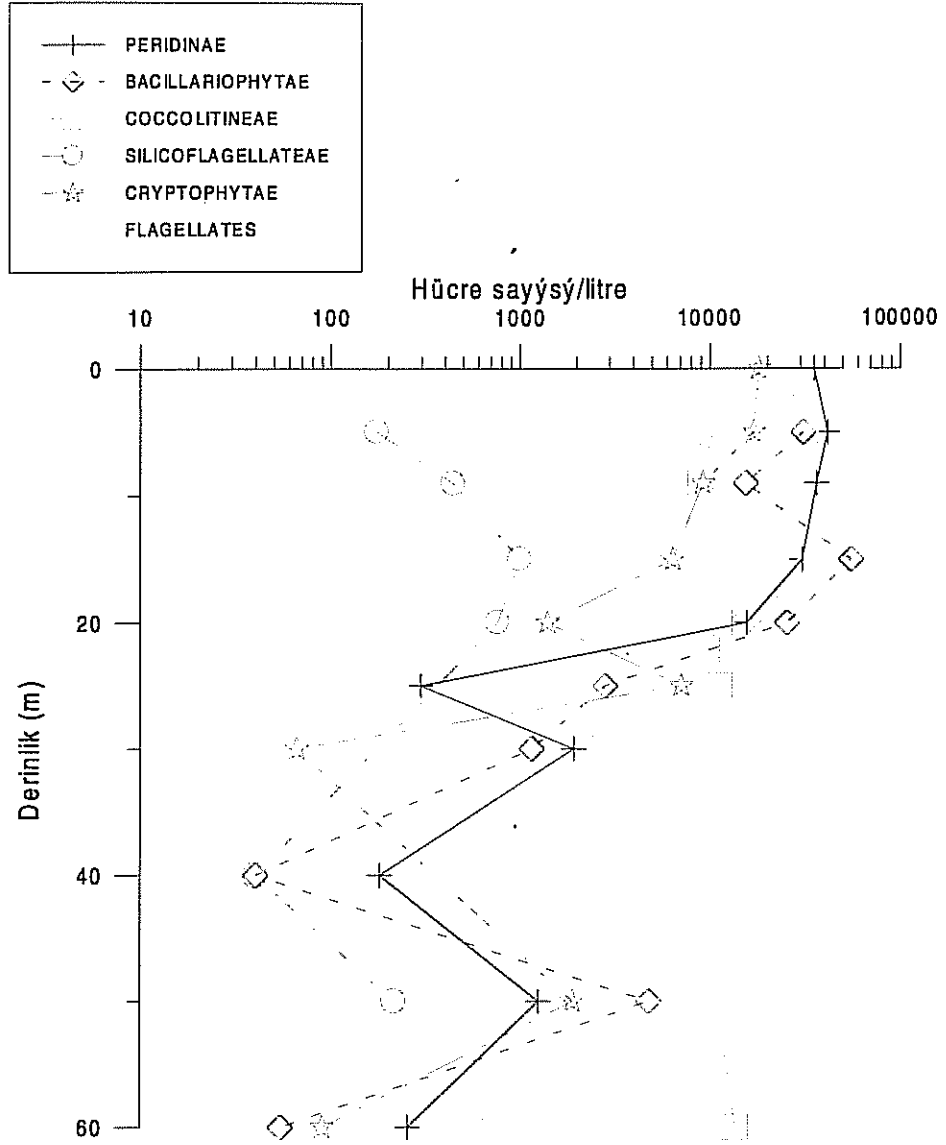
Şekil 10b: Marmara Denizi 10 m derinlikteki diatom sayılarının aylara göre dağılımları (1=Ock.86, 2=Mar.86, 3=May.86, 4=Tem.86, 5=Ekm.86, 6=Ock.87)



Şekil 10c: Marmara Denizi 30 m derinlikteki diatom sayılarının aylara göre dağılımları (1=Ock.86, 2=Mar.86, 3=May.86, 4=Tem.86, 5=Ekim.86, 6=Ock.87)

Şekil 11'de 45C istasyonunda bulunan fitoplankton alt gruplarının derinliklere göre hücre sayılarının dağılımı gösterilmektedir. Genel olarak, bütün alt gruplar yüzeyden 40 m'ye doğru hücre sayılarında bir azalma göstermektedir. 40 metreden 60 metreye kadar coccolitineae ile flagellate grupları diğer kalan gruplara göre daha fazla hücre sayısı ile dağılım göstermiştir. En fazla yüzde karbon miktarı Peridinae'de bulunurken bunu %29 değer ile Bacillariophyta grubu takip etmiştir. Marmara Denizinin batı kısmındaki K50J34 istasyonunda ise hücre sayısınca en fazla bulunan alt gruplar Coccolitineae (%69) ve bunu %20 değer ile Flagellateler takip ederken en fazla karbon ağırlığını Peridinae türleri vermiştir. Sayıca en fazla gözlenen türler *Gleno.paululum* (Peridinae), *Thala.nitzschioides*, *Scele.costatum* (Bacillariophyta), *Cocco.huxleyi* (Coccolitineae), *Diste.speculum* (Silicoflagellateae), *Hille.fusifformis* (Cryptophytae), *Nosto.sp.* (Cyanophytae) ve Flage.4-6 (4-6 mikrometre boyundaki flagelates türleri) ve Flage.6-8 (Flagellates) dir.

Derinlik dağılımları 45C istasyonuna benzer bir yapı oluşurken bu istasyonda başka bir grubun bir türü gözlenmiştir. Coccolitineae türlerinin hücre sayıları yüzeyden 10 metre derinliğe kadar artış gösterirken diğer gruplarda tam tersine bir azalış göstermiştir. 20-30 metre derinlikten sonra Cryptophyta grubu hariç diğer grupların hücre sayılarında azalarak dağılmıştır. Bu iki istasyon arasında hücre sayısı bakımından önemli bir ölçüde farklılık görülmemiştir.



Şekil 11. 1997 Eylül ayındaki derinliklere göre fitoplankton alt türlerinin dağılımları (İstasyon 45C).

Marmara'da Copepoda, Siphonophora, Cheatognatha, Polychaeta larvaları, Cladocera ve Appendicularia' lar dominant zooplankton gruplarını oluşturmaktadır. Yıl boyunca Copepoda grubu hem sayıca hem de tür zenginliği bakımından baskındır. En yüksek zooplankton birey sayısı yüzey suyunun metreküpte 125000 olarak Eylül, en düşük 3980 birey Mayıs'da bulunmuştur. 10 metre derinlikte ise maksimum sayı Ocak'da (107180), minimum ise 12190 birey ile Mayıs'da bulunmuştur.

Marmara Deniz'in doğu ucunu temsil eden 45C istasyonunda 3 ayrı derinlik aralıklarından alınan zooplankton örneklerinde en fazla tür ve grup 30-150 metre derinliklerde görülmüştür.

Bu değer 15-30 metre arasında 27 ve 15-yüzey arasında 20 olarak kaydedilmiştir. Genelde zooplankton grup içerisinde Copepoda en fazla görülen sınıf olmuştur. Bunu Cladocera türleri takip etmiştir. Birey sayısı olarak ise en fazla gözlenen sınıf Cladoceralardır. Bunu copepodalardan *Acartia* türleri en çok sayılan tür olarak takip etmektedir.

Marmara denizinin batı kısmını temsil eden K50J34 istasyonunda iki ayrı derinlik aralıklarında (0-30 m ve 30-150 m) örnekleme yapılmıştır. İlk 30 metrede 36 tür ve grup bulunurken 30-150 metre arasında yarısı kadar tür ve grup sayısı kaydedilmiştir. En fazla Copepod türleri gözlenmiştir. Yüzey ile 30 metre derinlik arasında sayıca en fazla *Acartia* türü gözlenmiştir. Bu istasyonun 30 metreden sonra önemli bir miktarda birey sayısı kaydedilmemiştir. 30-150 m örnekleme Marmara Denizinde 30 metreden sonra canlı zooplanktonların bulunduğu anlamına tam olarak gelmez, genelde bilinen Akdeniz suyunun başladığı veya görüldüğü noktadan sonra daha derinlerde oksijene bağlı canlıların bulunmadıkları söylenmektedir.

Kıdeyş ve Niermann (1994) Doğu Akdeniz sahilinden İstanbul Boğazına kadar toplam 15 istasyondan aę örnekleme ile jeli organizmaların bulunurlukları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Akdeniz ve Ege'de Denizanası (*Aurelia aurita*) ve *Mnemiopsis leidyi* bireyelerine rastlanmaz iken Çanakkale Boğazının girişinden itibaren bu iki tür düşük sayıda (0.2 birey/100 m³) görülmeye başlamıştır. *Mnemiopsis* birey sayısı Boğaz çıkışına doğru artarak maksimuma ulaşmıştır (33.9 birey/100 m³). Denizanası ise 100 metreküpte 1 birey civarında kalmıştır. Marmara Denizinde yapılan 5 istasyon çalışmasında *Mnemiopsis* 22 bireyden (Çanakkale Boğazından Marmara'ya giriş) 2.1 birey sayısına (İstanbul Boğaz ağzı) düşmüştür. Denizanası birey sayısı Marmara'ya giriş bölgesi ve İstanbul Boğazı ağzında Marmara ortalarına kıyasla yüksek bulunmuştur (1.5 ve 2.8 birey/100 m³).

Kaynakça

- Baştürk, Ö., Tuğrul, S., Yılmaz, A., Saydam, C. (1990). Health of the Turkish Straits: Chemical and Environmental Aspects of the Sea of Marmara. METU-Institute of Marine Sciences, Tech. Rep., No.90/4, Erdemli, İçel, 69 pp.
- Beşiktepe, Ş., Sur, H. İ., Özsoy, E., Latif, M. A., Oğuz, T., and Ü. Ünlüata (1994), The Circulation and Hydrography of the Marmara Sea, *Prog. Oceanogr.*, 34, 285-334.
- Codispoti, L.A., G.E. Friederich, J.W. Murray & C.M. Sakamoto, 1991. Chemical variability in the Black Sea: Implications of continuous vertical profiles that penetrated the oxic/anoxic interface. *DeepSea Res.* 38(2A): 691-710.
- Copin-Montegut, C. & G. Copin-Montegut, 1983. Stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in marine particulate matter. *Deep Sea Res.* 30(1):31-46.
- Ediger, D. and A. Yılmaz, 1996. Variability of light transparency in physically and biochemically different water masses: Turkish seas, *Fresenius Environmental Bulletin*, 5, 133-140.
- Kideys, A.E. and Niermann, U., 1994: Occurrence of Mnemiopsis along the Turkish coast. *ICES J. Mar. Sci.*, 51(4): 423-427.
- Murray J. W., H. W. Jannasch, S. Honjo, R. F. Anderson, W. S. Reeburgh, Z. Top, G. E. Friederich, L. A. Codispoti and E. Izdar, 1989. Unexpected Changes in the Oxic/Anoxic Interface in the Black Sea, *Nature*, 338, 411-413.
- Murray, J.M., L.A. Codispoti & G.E. Freiderich, 1995. Oxidation-reduction Environments: The suboxic zone in the Black Sea. In C.P.Huang, C.R.O'Melia and J.J.Morgan (eds), *Aquatic Chemistry*, ACS Advances in Chemistry Series 244:157-176.
- Özsoy, E., Latif, M. A., Beşiktepe, ş., Oğuz, T., Güngör, H., Ünlüata, Ü., Gaines, A. F., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Yılmaz, A., Yemenicioğlu, S., Saydam, C. and İ. Salihoğlu. 1994. Monitoring via Direct Measurements of the Modes of Mixing and Transport of Wastewater Discharges into the Bosphorus Underflow (Hydrography, Sea-Level, Current and Flux Measurements in the Bosphorus Strait, and Acoustical Chemical and Rhodamine-B Dye Tracer Studies of the Ahırkapı Waste Discharge), Volumes 1, 2 and 3, METU Institute of Marine Sciences, Erdemli, İçel, Turkey.

- Polat, Ç. ve S. Tuğrul (1996). Chemical exchange between the Mediterranean and Black Sea via the Turkish straits. CIESM Science Series No.2, Bull. de l'Institut Océanog., Cilt:17, Sayfa: 167-186.
- Polat, Ç., S. Tuğrul, Y. Çoban, Ö. Baştürk ve İ. Salihoğlu, 1998. Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. *Hydrobiologia*, Cilt:363, s: 157-167.
- Polat, Ç.S. & S. Tuğrul, 1995. Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus strait, *Continental Shelf Res.* 15(9):1115-1132.
- Polat, S.Ç., 1995. Nutrient and organic carbon budgets in the Sea of Marmara: A progressive effort of the biogeochemical cycles of carbon, nitrogen and phosphorus. Ph. D. Thesis, METU-IMS, Erdemli, Turkey, 215 pp.
- Tuğrul, S. (1993). Comparison of TOC concentrations by persulphate-UV and HTCO techniques in the Marmara and Black Seas. *Marine Chemistry*, Cilt: 41, Sayfa: 265-270.
- Tuğrul, S. ve Ç. Polat, 1995. Quantitative comparison of the influxes of nutrients and organic carbon into the Sea of Marmara both from anthropogenic sources and from the Black Sea. *Water Science and Technology*, Cilt: 32, Sayfa: 115-121.
- Tuğrul, S. ve Ç. Polat, Ö. Baştürk, E. Hatipoğlu, A.Yılmaz, S. Yemenicioğlu, C. Saydam ve İ. Salihoğlu, 1995. Chemical properties of the two-layer flow regimes in the Turkish Straits. *Turkish J. Marine Sciences*, Cilt: 2/3, Sayfa: 81-94.
- Tuğrul, S., 1993. Comparison of TOC concentrations by persulphate-UV and HTCO techniques in the Marmara and Black Seas. *Marine Chemistry*, Cilt: 41, Sayfa: 265-270
- Tuğrul, S., M. Sunay, Ö. Baştürk ve T. Balkaş, 1986. The Izmit Bay Case Study. Kitabın adı: *The Role of the Oceans as a Waste Disposal Option*, yazarı G. Kullenberg, NATO ASI Series, Math. and Physical Sciences, D.Reidel Publishing Company, Cilt: 172, Sayfa: 243-274.
- Tuğrul, S., Ö. Baştürk, C. Saydam and A. Yılmaz, 1992. Changes in the Hydrochemistry of the Black Sea Inferred from Water Density Profiles, *Nature*, 359, 137-139.
- Tuğrul, S., Ö. Baştürk, C. Saydam & A. Yılmaz, 1992. Changes in the hydrochemistry of the Black Sea inferred from water density profiles. *Nature* 359:137-139.

- Uysal, Z., and Ünsal, M., 1996: Spatial distribution of net diatoms along adjacent water masses of different origin. *Turkish Journal of Botany*. 20, 519-525.
- Vidal, C. V., 1995. Bio-optical characteristics of the Mediterranean and the Black Sea, M.S. Thesis, 134pp., Institute of Marine Sciences, Erdemli, İçel, Turkey.