

# **IX. OTURUM**

## **SU KALİTESİ ve DENİZ KIRLİLİĞİ**

**Oturum Başkanı - Prof. Dr. İLKAY SALİHOĞLU**

**AYŞIN GİRAY KAYNAK  
HAKAN OĞUZ  
AYŞEN YILMAZ  
SÜLEYMAN TUĞRUL**

## NİLÜFER ÇAYI'NIN SU KALİTESİ ve KİRLİLİK YÜKLERİ

Yücel TAŞDEMİR<sup>1</sup> - Aysın GİRAY KAYNAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uludağ Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Çevre Müh. Bölümü,  
Görükle, BURSA

<sup>2</sup> BUSKİ Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı , Doğu Atıksu Arıtma Tesisi ,  
BURSA

### ÖZET

Bursa kenti için, en önemli yüzeyel su kaynağı olan Nilüfer Çayı'nın mevcut kirlilik düzeyinin ortaya konması amacıyla Ekim 1999 - Kasım 2000 tarihleri arasında 10 noktadan örnekler alınmıştır. Alınan anlık numunelerde pH, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, toplam demir, bakır, kadmiyum, çinko, siyanür, florür, kurşun ve toplam krom parametrelerinin analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları 04/09/1988 tarihli Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 'ne göre değerlendirilmiştir. Nilüfer Çayı su kalitesinin Bursa kent merkezi çıkışında açık bir kanalizasyon niteliğinde olduğu belirlenmiştir. Kent merkezindeki evsel ve endüstriyel deşarjlar nedeni ile yoğun olarak kirletilen Nilüfer Çayı bu kirliliğini Marmara Denizi'ne taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bursa, Nilüfer Çayı, Su Kirliliği

### WATER QUALITY LEVEL AND CONTAMINANT LOADINGS IN NİLÜFER CREEK

#### ABSTRACT

In order to present the level of its pollution, samples were taken between October 1999 and November 2000 from 10 sampling points on the Nilüfer Creek, which is the most important surface water source for Bursa. Instant samples were taken to be analyzed for the parameters of pH, dissolved oxygen, biological oxygen demand, chemical oxygen demand, copper, cadmium, zinc, cyanide, fluoride, lead, and total chromium. The analytical results were evaluated according to the "water pollution control regulations" issued on 04/09/1988. The water quality of the Nilüfer Creek was like an open sewage while it was leaving the Bursa city center. The Nilüfer Creek, heavily polluted with municipal and industrial discharges, carries the pollution to the Marmara Sea.

**Key Words:** Bursa, The Nilüfer Creek, Water Pollution.

## 1. GİRİŞ

Su kirliliği, su kaynağının kimyasal, fiziksel, bakteriyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesidir (Uslu ve Türkman, 1987, Tchobanoglou ve Schroeder, 1987). Su kirliliğinin kaynakları; evsel ve endüstriyel deşarjlar, zirai mücadele ilaçları, yapay ve doğal tarımsal gübreler, yağlar vb. maddeler, sentetik deterjanlar, ölmüş hayvanlar, bitki ve tarımsal artıklar, radyoaktifler, inorganik tuzlar ve atık isıdır (Peavy ve ark., 1985, Uslu ve Türkman, 1987, Eroğlu, 1987). Suyun kirliliği doğrudan veya dolaylı olarak insan sağlığında, su ürünlerinde, su kalitesinde ve dolayısıyla suyun kullanım amacının kısıtlanması gibi olumsuz etkiler oluşturmaktadır (Anonim, 1998a).

Türkiye'de bir çok yüzeysel su, arıtılmamış kanalizasyon atıksuları için alıcı ortam niteliğinde olduğundan kirletmiş durumdadır. Nilüfer Çayı da bu duruma iyi bir örnekтир (Pala, 1996, Karaer, 1993, Dedeoğlu, 2000). Keles İlçe merkezinin yaklaşık 10 km kuzey-doğusundan doğan Nilüfer Çayı'na Uludağ yamaçlarından ve vadinin güneybatısındaki yamaçlardan birçok yan dereler katılmaktadır (DSİ, 2000). Nilüfer Çayı'nın uzunluğu yaklaşık 168 km olup, DSİ'nin Göbelye örneklemeye noktasında (Ayvalı Deresi Nilüfer karışım sonrasında nokta) yapmış olduğu ölçümlere göre çayın yıllık ortalama su hacmi 458.848.800 m<sup>3</sup> tür (Dedeoğlu, 2000). Bursa Ovası çıkışındaki Dercçavuş Köyü'nün kuzeyinde batıya yönelikte olan çay, Karacabey İlçesi Hayırlar Köyü mevkiinde Simav Çayı ile birleşerek Marmara Denizi'ne dökülmektedir.

Nilüfer Çayı'ndan Bursa'ya içme ve kullanma suyu temininde faydalılmaktadır. Nilüfer Çayı üzerinde inşa edilen Selahattin Saygı Doğancı Barajı 2005 yılına kadar Bursa'nın su ihtiyacını karşılayabilecek bir kapasiteye sahiptir (Dedeoğlu, 2000). Barajdan alınan su 500.000 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli Dobruca Arıtma Tesisi'nde arıtıldıkten sonra Bursa'ya içme ve kullanma suyu olarak iletilmektedir (Dedeoğlu, 2000). Ayrıca kısmen de olsa Nilüfer Çayı'ndan tarımsal sulamalarda da faydalılmaktadır.

Nilüfer Çayı gerek evsel gerekse endüstriyel atıksuların büyük çoğunuğunun doğrudan deşarjına maruz kalmaktadır. Örneğin Bursa'daki mevcut Doğu ve Batı atıksu arıtma tesisleri kabaca bir hesapla ancak şehir atıksuyunun % 60'ını tasfiye edebilmektedir. Bu arıtma tesislerinin stabilizasyon havuzlarından ibaret olduğu gözönüne alındığında, bu tesislerin su kalitesinin korunmasına katkılarının düşük verimleriyle çok sınırlı olduğu anlaşılabilir. Öte yandan endüstriyel açıdan oldukça zengin olan Bursa, maalesef çevreye yeterince duyarlılığın gösterilmesi dolayısıyla Nilüfer Çayı'nın kirletmesine sebep olmaktadır. Ayrıca Nilüfer Çayı havzası, tarımsal alanların sulanması sonucu zirai ilaç ve gübrelemeden etkilenen drenaj suları, dere yataklarına atılan katı atıklar, erozyonun doğurduğu fiziksel kirlenme ve sınırlı da olsa hava kirliliğine neden olan gazların yüzyesel sulara karışması ile de kirlemektedir.

Su kaynağının kalitesi, kullanım amacına göre değişiklik gösterebilimektedir. Ülkemizde kullanım amacına uygun su kalitesinin belirlenmesi için, 04/09/1988 tarihli Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ndeki 'Kıtaçı Yüzeysel Suların Kalitelerine Göre Sınıflandırılması (I.- IV. Sınıf)' ve 'Kıtaçı Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (A, B, C, D Sınıfı)' tablolarından faydalılmaktadır. Bu kriterlerde I. sınıf yüksek kaliteli suyu temsil ederken, IV. sınıf çok kirletmiş suyu tanımlamaktadır. Bununla beraber A sınıfı fiziksel ve inorganik kimyasal parametreleri, B sınıfı organik parametreleri, C sınıfı inorganik parametreleri ve D sınıfı da bakteriyolojik parametreleri ifade etmektedir.

Bu çalışmanın başlıca amacı, Nilüfer Çayı'ndaki kirletici konsantrasyonlarının ve bu değerlerin yıllara göre salınımlarının belirlenmesidir. Ayrıca, belirlenen konsantrasyonlara göre Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik miktarlarının hesaplanması ve Nilüfer Çayı'ndaki kirliliğin kontrol edilmesi için alınması gereken önlemlerin ortaya koyması da makalenin diğer amaçları arasında sayılabilir.

## 2. MATERİYAL VE METOD

### 2.1. Örnekleme Noktalarının Saptanması

Bursa İl Merkezi'nden kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıklara paralel olarak Nilüfer Çayı'nın mevcut kirlilik düzeyinin belirlenmesi için 10 örnekleme noktası saptanmıştır (Tablo 1). Belirlenen bu 10 örnekleme noktasından alınan anlık numunelerin analizleri Buski Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuvarı'nda yapılarak analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Örnekleme Noktaları ve Özellikleri

No	Örnekleme Noktası	Özellikİ
1	Gümüştepe	Doğancı Barajı'ndan sonra, Gümüştepe mevkisinden ömek alınmaktadır.
2	Cılımboz Deresi	Kent merkezinin atıklarını toplayan dere olan Cılımboz Deresi üzerinden örnek alınmaktadır.
3	Cılımboz Deresi – Nilüfer Çayı Karışım Sonrası	Cılımboz Deresinin Nilüfer ile birleştiği noktadan sonra, Nilüfer Çayı üzerinden ömek alınmaktadır.
4	Kaplıkaya	Hacıval Deresi üzerinde Kaplıkaya mevkisinden ömek alınmaktadır.
5	Gökdere	Kent merkezinin atıklarını toplayan bir diğer dere olan Gökdere üzerinden örnek alınmaktadır.
6	Panayır Deresi	Kelesen Kanal, Ana Kanal, Deliçay, Kaplıkaya Deresi, Gökdere, Cenup Kanalı'nın birleştiği Panayır Deresi üzerinden örnek alınmaktadır.
7	Panayır Deresi – Nilüfer Çayı Karışım Sonrası	Panayır deresinin Nilüfer'e olan ekkisini belirlemek için; Panayır Deresi'nin Nilüfer ile birleştiği noktadan sonra, Nilüfer Çayı üzerinden örnek alınmaktadır.
8	Ayvalı Deresi – Nilüfer Çayı Karışım Öncesi	Nilüfer Çayı üzerinden örnek alınmaktadır.
9	Ayvalı Deresi	Kentin batı bölgesinin atıklarını toplayan Ayvalı Deresi üzerinden örnek alınmaktadır.
10	Ayvalı Deresi – Nilüfer Çayı Karışım Sonrası	Ayvalı Deresi'nin Nilüfer'e olan ekkisini belirlemek için; Ayvalı Deresi'nin Nilüfer ile birleştiği noktadan sonra, Nilüfer Çayı üzerinden örnek alınmaktadır.

### 2.2. Parametre Seçimi ve Örnekleme Sıklığının Saptanması

Nilüfer Çayı'nda analizi yapılacak parametrelerin seçiminde, kaynağın mevcut su kalitesinin belirlenmesi, evsel ve özellikle endüstriyel deşarjların su kalitesi üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu nedenle örnekleme noktalarından Ekim 1999 - Kasım 2000 tarihleri arasında yaklaşık 2 aylık periyotlarla alınan numunelerde pH, çözünmüş oksijen, biyokimyasal oksijen ihtiyacı ( $BO_2S$ ), kimyasal oksijen ihtiyacı ( $KO_2I$ ), toplam demir, bakır, kadmiyum, çinko, siyanür, florür, kurşun, toplam kromu içeren 12 kirleticinin analizleri yapılmıştır.

### **2.3. Analiz Metotları**

Belirlenen örnekleme noktalarından, ağızı kapalı plastik bidonlar ile alınan anlık numuneler literatürde belirtilen koruma öüemelerine dikkat edilerek en kısa sürede BUSKİ Doğu Atıksu Arıtma Tesisi Laboratuvarı'na getirilerek analiz edilmiştir. Analizlerin gerçekleştirilemesinde standart metotlarda verilen yöntemler kullanılmıştır (Greenberg ve ark., 1995). Bu çalışma kapsamında kullanılan metotlar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

pH Ölçümü : WTW marka 320 model pH-metre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

ÇO : Standart Metotlar'da verilen yönteme uygun klasik şekilde yapılmıştır.

BOİ5 Analizi : Standart Metotlar'da verilen yönteme uygun klasik şekilde yapılmıştır.

Düger analizlerde HACH marka DR/2010 model spektrofotometre kullanılmıştır.

## **3. ARAŞTIRMA BULGULARI**

### **3.1 Nilüfer Çayı'nın Su Kalitesi**

Nilüfer Çayı su kalitesi, Su Kirlılığı Kontrol Yönetmeliği, Kıtaiçi Su Kaynaklarına göre incelendiğinde, Nilüfer Çayı'nın Doğancı Barajı'na girmeden önceki örnekleme noktasında, A ve B grubu parametrelere açısından I. sınıf su kalite kriterlerine uydugu gözlemlenmiştir (Dedcoğlu, 2000). Fakat Nilüfer Çayı'nın şehrin içinde A grubu parametrelere için III. ve IV., B ve C grubu parametrelere için ise IV. sınıf su kalitcsinde olacak derecede kirlendiği belirlenmiştir.

Ekim 1999 ile Kasım 2000 tarihleri arasında Nilüfer Çayı üzerinde belirlenen 10 örnekleme noktasından elde edilen sonuçların ortalaması Tablo 2'de özetlenmiştir. Bu sonuçlar özellikle Cilimboz ve Panayır Dereleri' nin Nilüfer Çayı'na büyük miktarlarda kirlilik getirdiğini ortaya koymaktadır. Kent içi kanalizasyon atıksularının yanında bölgedeki sanayi ve ticari sektörlerin de (tekstil, deri, metal kaplama, oto yıkama-yağlama, gıda, halı-çamaşır yıkama, boyahaneler) atıksuları bu dereler vasıtıyla Nilüfer Çayı'na ulaşmakta ve onun kalitesini bozmaktadır.

Evscl ve endüstriyel atıksuların fiziksel ve anaerobik biyolojik olarak ön arıtma işleminin yapıldığı "I. Aşama Doğu Atıksu Arıtma Tesisi"nde yıllık ortalama bazda % 30 oranında BOİ5 giderim verimi ile arıtulan atıksular Deliçay'a dolayısıyla da onun bağlılığı Panayır Dere'sine büyük kirlilik yükleri getirmektedir. İkinci aşaması planlanan bu tesisin bir an önce hayata geçirilmesi Nilüfer Çayı'nın kurtarılması için bir zorunluluktur.

Panayır Dere'sinin Nilüfer Çayı'na karıştığı noktadan sonra, Demirtaş Organize Sanayi Bölgesi'nin (DOSAB) atıksuları Nilüfer Çayı'na deşarj edilmektedir. Değişik sektörlerden 160'tan fazla tesisten kaynaklanan bu atıksular Nilüfer Çayı'nda oldukça yüksek inorganik ve organik kirliliğe sebep olmaktadır (Dedeoğlu, 2000). KOİ ve BOİ5 parametreleri en yüksek konsantrasyonlarına bu noktada erişmektedir. Bursa Kenti'nin tüm doğu bölgesinde kaynaklanan kirliliğini bu örnekleme noktasında görmek mümkündür. Artık Nilüfer Çayı bir yüzeysel su kaynağı olmaktan çıkmış ve açık bir atıksu kanalına dönüştürülmüştür.

Öte yandan Bursa'nın batı bölgesinde yer alan ve yıllık ortalama BOİ5 verimi yaklaşık % 30 olan "I. Aşama Batı Atıksu Arıtma Tesisi" atıksuları ile civar köy ve nahiyyeler ile

birçok endüstri tesisinin atıksuları Ayvalı Deresi'ne deşarj edilmektedir. Tablo 2<sup>1</sup> den de görüldüğü gibi bu dere oldukça kirli olarak akmakta ve Bursa çıkışında Nilüfer Çayı'na karışmaktadır. Bu da halihazırda kirli olarak akan Nilüfer Çayı'na yeni kirlilik yükleri getirmektedir. Bu noktadan sonra Nilüfer Çayı, Bursa'nın tüm evsel ve endüstriyel atıksularını bünyesinde toplamış durumdadır ve bu kirliliği Marmara Denizi'ne taşımaktadır.

### 3.2 Nilüfer Çayı'ndaki Önceki Ölçümler

Nilüfer Çayı ile Bursa şehir merkezinden Marmara Denizi'ne taşımanın kirlilik miktarının en makul biçimde belirleneceği yerlerden birisi, Ayvalı Deresi ile Nilüfer Çayı'nın karışımından sonraki noktadır (10 nolu nokta). Bu amaçla, değişik yıllarda bu noktada yapılan ölçüm sonuçları değerlendirilerek Nilüfer Çayı'nın kirlilik seviyesinde zamana bağlı olarak nasıl bir değişim olduğu saptanmıştır. Bu ve önceki çalışmaların kapsamında elde edilen sonuçların ortalamaları Tablo 3 ve 4'de sunulmuştur.

Tablo 3'teki 1989-1991 ve 1995-1998 yıllarına ait ölçüm sonuçları DSİ<sup>1</sup> den, 1998-1999 yıllarına ait ölçümler Dedeoğlu (2000)'ndan ve Tablo 4'deki 1999-2000 yıllarına ait ölçümler ise bu çalışmadan elde edilen değerlerdir.

Bu çalışmadan elde edilen analiz sonuçlarının önceki değerler ile karşılaştırılması, Nilüfer Çayı'ndaki pH değerlerinin az bir salınım gösterdiğini ancak ÇO değerlerinde bu farkın çok arttığını ortaya koymustur. BOİ5 ve KOİ gibi organik parametre değerlerinin, yıllara bağlı olarak bir artış trendinde olduğu ve 1999-2000 periyodunda en yüksek değerlerine ulaştığı belirlenmiştir. İnorganik parametrelerin (toplam demir, bakır, kadımyum, çinko, siyanür, florür, kurşun, toplam krom) 1999-2000 zarfında 'toplum krom' parametresi hariç 1998-1999 periyoduna göre önemli miktarda arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Nilüfer Çayı'nın, her geçen yıl nüfus ve endüstriyel artışlara paralel olarak daha fazla kirlendiğini göstermektedir. Kirlilik miktar ve çeşitliliğinin artması, Nilüfer Çayı'na müdahaleyi daha zor hale getirmektedir.

### 3.3 Marmara Denizi'ne Taşınan Kirlilik Yüksü

Bursa kentinin tüm evsel ve endüstriyel kirliliğini almış olan Nilüfer Çayı'nın son örnekleme noktasında (10 no'luk noktası) Ekim 1999- Kasım 2000 tarihleri arasında yapılan analizlerin sonuçlarının ortalaması Tablo 4'de verilmiştir. Nilüfer Çayı'nın bu noktadaki debi ve kirlilik konsantrasyonlarına bağlı olarak Marmara Denizi'ne taşınan kirlilik yükleri hesaplanmış ve Tablo 4'de özetlenmiştir. Analizlerde anlık numunelerin kullanılması nedeniyle kirlilik yüklerinin gerçek değerleri yansıtmayabileceği ve gerçek yüklerin hesaplanması için daha ayrıntılı ve uzun bir çalışma yapılması gerekligi aşikardır.

Nilüfer Çayı'ndaki yüksek miktardaki organik kirlilik aşırı oksijen tüketimine dolayısıyla ortam koşullarının anaerobik (oksijensiz) şartlara dönüşmesine neden olmaktadır. Anaerobik şartlarda ise organik maddelerin H2S ve CH4 gibi son ürünlerle dönüşerek koku problemine sebep olmasının yanında acrob canlılar da bu ortamdan göçerler ve ortamındaki doğal denge bozulur.

Yıllık bazda organik ve inorganik kökenli yüzlerce ton kirletici Nilüfer Çayı ile Marmara Denizi'ne taşımaktadır. Bunun sonucunda da deniz canlılarının tür ve miktarlarında azalmalar ve hatta yok olmalar söz konusudur. Diğer bir olumsuzluk ise, bazı kirleticilerin sudaki canlı türlerinde birikmeye sebep olması ve besin zinciri ile insan ve diğer üst seviyedeki canlılara taşınmasıdır.

Tablo 2 : Örnekleme Noktalarında Ölçümü Yapılan Parametrelerin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri

Tablo 3. Analiz Sonuçlarının Literatür Değerleri İle Karşılaştırılması

Parametre	Yıl	1989 <sup>a</sup>	1990 <sup>a</sup>	1991 <sup>a</sup>	1995 <sup>a</sup>	1996 <sup>a</sup>	1997 <sup>a</sup>	1998 <sup>a</sup>	1998-1999 <sup>b</sup>
pH		7,60	7,61	7,60	7,92	8,07	7,82	7,80	7,23
ÇO (mg/L)		0,62	2,46	2,12	1,26	1,55	0	0,34	2,40
BO <sub>ls</sub> (mg/L)		25,10	27,15	23,10	32,60	40,95	38,13	27,85	39,00
KO <sub>i</sub> (mg/L)		118,80	85,17	87,12	139,16	160,26	136,55	168,22	128,87
Top. Demir (mg/L)		-	-	-	0,93	1,25	0,91	1,06	0,29
Bakır (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,16
Kadmiyum (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,01
Cinko (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,39
Sıyanür (mg/L)		-	-	-	0,06	0,07	0,07	0,02	0,02
Florür (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,28
Kurşun (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,16
Top. Krom (mg/L)		-	-	-	-	-	-	-	0,17

Not: Tabloda verilen değerler ortalamalardır.

<sup>a</sup>; DSI, 2000. <sup>b</sup>; Dedeoğlu, 2000.

Tablo 4. Kırletici Konsantrasyonları ve Marmara Denizi'ne Taşınan Kirlilik Yükleri

Parametre	Konsantrasyon (mg/L)	Kirlilik Yükü (ton/yıl)
pH	7,99 ± 0,17	-
ÇO	1,88 ± 2,35	-
BO <sub>ls</sub>	187,13 ± 72,69	85,864
KO <sub>i</sub>	390,63 ± 232,49	179,240
Toplam Demir	4,46 ± 2,54	2.045,5
Bakır	0,26 ± 0,22	117,5
Kadmiyum	0,33 ± 0,22	150,5
Cinko	2,78 ± 2,97	1276,5
Sıyanür	0,04 ± 0,02	19,3
Florür	0,31 ± 0,40	142,2
Kurşun	0,52 ± 0,23	240,4
Toplam Krom	0,09 ± 0,06	41,3

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye'nin en fazla nüfusa sahip kentlerinden olan Bursa'nın evsel ve endüstriyel atıkları nedeniyle Nilüfer Çayı yoğun olarak kirlenmekte ve bu kirlilik Marmara Denizi'ne taşınımaktadır. Örneğin, Bursa kentinin en önemli yüzeysel su kaynağı olan Nilüfer Çayı Doğancı Barajı'ndan hemen sonra kirlenmeye başlamaktır ve Nilüfer Çayı 1 no'lu örnöklemci noktası sonrasında IV. sınıf kalite kriterine uydugu için sadece atıksu deşarjları için alıcı ortam olmaktan ileriye gidememektedir. Nilüfer Çayı, çirkin görüntüsü ve özellikle yaz aylarındaki kötü kokusu ile çevredekiler üzerinde estetik açıdan olumsuzluklar oluşturmaktadır.

Bursa kenti ekonomisinde tarım önemli bir yer tutmaktadır ve tarım alanlarının sulanmasında kısmen de olsa Nilüfer Çayı kullanılmaktadır. Ancak organik ve inorganik parametreler açısından çok kirli olan Nilüfer Çayı'nın sulamada kullanılmasının uygun olmadığı açıklıkta. Özellikle bu çalışma kapsamında tespit edilen ağır metalerin sulama ile toprağı olumsuz etkilemelerinin yanında besin zincirine geçmesi ve insanları etkilemesi söz konusudur.

Nilüfer Çayı'nın kirlenmesinin önemli bir diğer sonucu ise oluşan tüm bu kirliliğin bir iç deniz olan Marmara Denizi'ne taşınmasıdır. Bu iç Marmara Denizi'ndeki fizikscl,

kimyasal ve biyolojik dengenin bozulmasına neden olmakta ve Marmara Denizi'nden rekreasyon ve ticari amaçlarla (Örneğin, balıkçılık) faydalansmasını kısıtlamaktadır.

Nilüfer Çayı gibi akarsuların kirlenmesini önlemek yüzeysel su kaynaklarının yönetimi ile mümkündür. Yüzeysel su kaynakları yönetiminde amaç, hem kaynağın korunmasını, hem de çevre ve insan ihtiyaçları için kaynağı yeterli olmasını sağlamaktır. Ancak her geçen gün nüfusun artması ile suyun arzi ve talebi arasındaki dengesizlik artmaktadır bu ise su kaynağının aşırı tüketilmesine ve kirletilmesine yol açmaktadır. Yüzeysel su kaynağı yönetiminin istenen amacına ulaşması ancak gerekli politikalardan belirlenmesi ve uygun planlama ile mümkündür (Karacır, 1993). Bu bağlamda Nilüfer Çayı için bazı tavsiyeler şöyle özetlenebilir:

1- Bursa kenti içindeki yerleşim birimlerinin tümünün evsel atıksuları kanalizasyon sisteme bağlanarak atıksu arıtma tesislerine iletilmelidir.

2- Bursa kenti içindeki Nilüfer Çayı'na direkt deşarj yapan endüstriler atıksu arıtma tesislerini kurmalıdır. Şehir içindeki kanalizasyon sistemine deşarj yapan endüstrilere "BUSKİ Atıksu Deşarj Yönetmeliği" ne uygun olarak deşarj yapmaları sağlanmalıdır.

3- Şehir merkezindeki tüm endüstriler, organize sanayi bölgelerine bir an önce nakledilmeli ve burada ortak bir arıtma tesisi kurulmalıdır.

4- Çevredeki yerleşim birimlerinden kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıksular kanalizasyon sistemleri aracılığıyla toplanmalı ve müsterek atıksu arıtma tesisleri kurulmalıdır.

5- BUSKİ tarafından işletilen I. Aşama Doğu ve Batı Atıksu Arıtma Tesisleri fiziksel ve anaerobik biyolojik arıtma sistemlerinden oluşan bir ön arıtma niteliğindedir. Tesislerin arıtma verimini artıracak aktif çamur sisteminde oluşan II. aşama üniteler bir an önce devreye alınmalıdır.

## KAYNAKLAR

- 1- (ANONİM 1988) Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 4 Eylül 1988 tarihli, 19919 sayılı Resmi Gazete
- 2- (ANONİM, 1998 a) Çevre Notları Mart 1998, T.C. Çevre Bakanlığı, Ankara, s. 22-23
- 3- (ANONİM, 1998 b) BUSKİ 1998 Mavi Nilüfer Eylem Planı (yayınlanmamış) Bursa Büyükköy Belediyesi Yerel Gündem 2 f Genel Sekreterliği Yayınevi, Bursa, 7-10.
- 4- Dedeoğlu, Y. 2000 Bursa Yöresindeki Yüzeysel Suların Kırletici kaynakları ile Nilüfer Çayı'nın Kirlilik Yüklerinin Belirlenmesi ve Çözüm Önerileri , Yüksek Lisans Tezi , Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı , Bursa.
- 5- DSİ. Eylül 2000.- "Susurluk Nehri Havzasında Su Kalitesi Yönetimi", DSİ İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- 6- Eroğlu, V. 1987. Su Tasfiyesi. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- 7- Greenberg, A.E., Clescerl, L.S., Eaton, A.D 1995. Standart Methods For The Examination of Water and Wastewater.
- 8- Karacır, F. 1993 Yüzeysel Su Kaynaklarının Yönetimi ve Parasal Yönlendirme Araçları (Bursa Nilüfer Çayına İlişkin Bir Yönetim Modeli Önerisi) Doktora Tczi, Uludağ

- Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çevre Sorunları Ana Bilim Dalı , Bursa.
- 9- Pala, A.İ. 1997. 'Nehir Su Kalitesi Modellemesi ve Nilüfer Çayı'na Uygulaması' 1. Uludağ Çevre Sempozyumu (24-26 Haziran 1996) Bildiriler Kitabı, s.453-464.
  - 10- Peavy, H., Rowe, D.R., Tchobanoglous, G. 1985. Environmental Engineering. McGraw-Hill, Inc, ABD.
  - 11- Tchobanoglous, G., Schroeder, E.D. 1987. Water Quality: Characteristics, Modeling, Modification. Addison-Wesley Co., ABD.
  - 12- Uşlu O. Türkman A. 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü, Ankara.

## KARASAL KAYNAKLI KİRLETİCİLERİN DENİZ ORTAMINA ETKİLERİ: ANTALYA - BOĞAÇAYI ÖRNEĞİ

Hakan OĞUZ\*, Bülent TOPKAYA\*\*

\* Akdeniz Üniversitesi Teknik Bilimler M.Y.O. Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü  
Programı, Kampüs-Antalya, Tel: 0.242.2274780, Faks: 0.242.2274785  
E-mail: hoguz @ teknik.akdeniz.edu.tr

\*\* Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü,  
Topçular- Antalya, Tel: 0.242.3236890, Faks: 0.242.3232362, E-mail:  
btopkaya @ hotmail.com

### ÖZET

Bu çalışmada Antalya kıyı bölgesine karışan Boğaçayı'nın 832,79 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj alanından topladığı kirlilik yüklerinin aylık değişimini incelenmiştir.

**Arahtar Kelimeler:** Boğaçayı Havzası, Kirlilik Yükü, Konyaaltı Plajı, Karasal Kaynaklı Kırleticiler

### ABSTRACT

In this study, monthly variation of pollution loads originated from 832,79 km<sup>2</sup> drainage area of Boğaçay that flows Antalya Coastal Region is investigated.

**Key Words:** Boğaçay catchment area, Pollution load, Konyaaltı Beach, Land-based pollutants

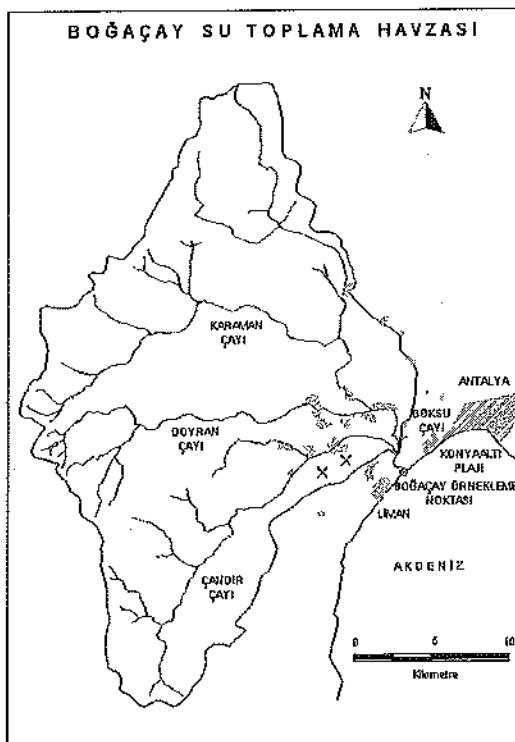
### GİRİŞ

Antalya, Türkiye'nin Akdeniz kıyısındaki en büyük ilidir. Yaklaşık 600 km uzunlığında kıyıya sahip bu il, ülkenin turizm yatırımlarının yarısından fazlasına sahiptir ve her yıl milyonlarca turist bu bölgelere gelmektedir. Yöre, ülke turizmi ve genel ekonomisi açısından çok önemli bir yere sahiptir. Bölgenin çekiciliğinin nedenleri tarihi değerlerin ve düşük fiyatların yanı sıra coğrenen, deniz suyu da dahil olmak üzere çok temiz olmasıdır. Deniz suyunun temiz kalabilmesi için tüm kıyı bölgelerinde turizm merkezleri ve yerleşim yerlerinin atıkları mekanik-biyolojik arıtma tesislerinde arıtıldıkten sonra son alıcı ortam olan denize verilmektedir.

Ancak diğer bir önemli kirlilik taşıyıcısı olan akarsu ve derelerin kontrolü arzu edilen düzeyde gerçekleşmemektedir. Biliñdiği gibi su toplama havzalarında gerçekleşen faaliyetler sonucu çok değişik ve tehlikeli kırleticiler kilometrelerce uzağa, kıyı bölgelerine taşınabilmektedir. Bu kapsamda Antalya kenti için önem taşıyan bir kaynak da Boğaçayıdır. Bu çalışmada Konyaaltı plaj bölgesine karışan Boğaçayı'nın su toplama havzasından deniz ortamına taşıdığı kirlilik yükleri incelenmiştir.

### *Boğaçayı Havzası*

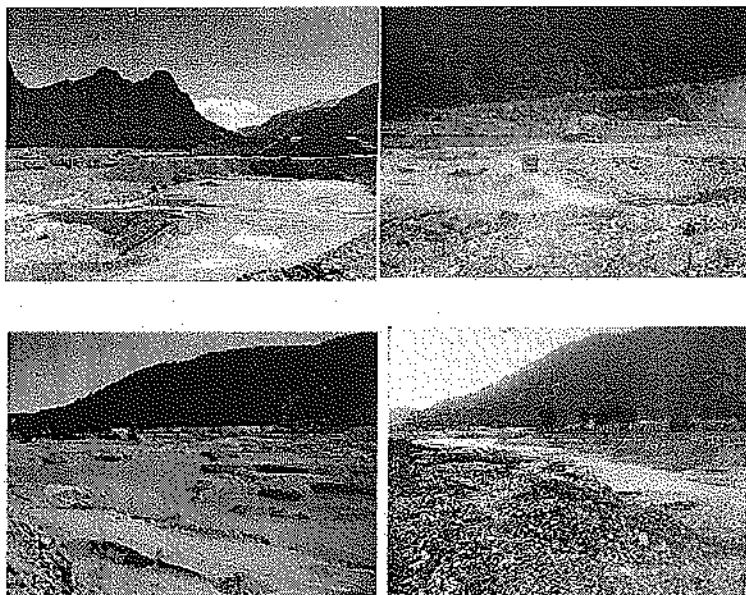
Bu kıyı bölgесine karışan önemli akarsulardan birisi Boğaçayı'dır. Doyran, Çandır ve Karaman çaylarının birleşmesinden oluşan Boğaçayı 832,79 km<sup>2</sup>'lik bir drenaj havzasına sahiptir (Şekil 1). Bunun 113,9 km<sup>2</sup>'si yani % 14'ü 1500 m kotu üzerindedir. Bölgenin ana ulaşım yolları kent merkezi ile Konyaaltı kıyı bölgesinden geçmektedir. Havza içerisinde bulunan çok sayıdaki yerleşim yerinde 1990 yılının nüfus sayımlarına göre 8927 kişi yaşamaktadır (DİE, 1998).



Şekil 1. Boğaçayı su toplama havzası, yerleşim yeri (taralı alanlar), kum çakıl ocakları (X)

Gözlem sürcsine Boğaçayı aracılığı ile kıyı bölgесine 53986 ton katı madde taşınmış olup bunun %95'inin çözünmüş halde olduğu tespit edilmiştir. Bu maddelerin aşağı havzada bulunan noktalı kaynaklardan geldiği düşünülmektedir. Bu noktalı kaynaklar Çandır Çayı mecrasında bulunan kum-çakıl işletmeleridir. Bu ocakların bulunduğu meykinin mansabında iki adet siltasyon havuzu bulunmaktadır. Bu havuzlar tamamen ince silt-kil madde ile dolmuştur ve yağışlı dönemlerde dere suları seddeleri aşarak taşıdıkları askıdaki katı maddeleri deniz ortamına taşımaktadır. Özellikle Aralık 2000 tarihinde meydana gelen yoğun yağışlar sonucu taşınan malzeme ile deniz yüzeyinin gri reng'e dönüşmesi bu görüşü kanıtlamıştır (Oğuz, 2001).

Ocak 2001 ayı başında yaşanan aşırı yağışlar sırasında yapılan ölçümle, yağışlı dönemlerde Akdeniz'e taşınan kirlilik yüklerinin normal dönemlerdekiin çok üstünde olduğunu ve kıyı bölgesi için ciddi bir tehdit oluşturduğunu göstermektedir (Şekil 3).



**Şekil 2.** Kum-çakıl ocaklarında üretim yapılması ve düzensiz malzeme alımı sonucu oluşan göllenmeler

Boğaçayı havzasında gerçekleştirilen en önemli faaliyet kum-çakıl üretilmesidir. Uzun yıllar süren ve taşan şeklinde gerçekleşen bu üretim, özellikle Çandır deresi boyunca dere yatağına büyük zarar vermiştir (Şekil 2). Bu bölgede dere kaybolmakta ve kum çakıl üretim tesisleri sona erdikten sonra tekrar yüzeye çıkmaktadır.

Faaliyet gösteren kum-çakıl ocaklarında malzeme yıkanmasından sonra ince partikülleri geri tutacak, mühendislik kurallarına göre boyutlandırılmış, siltasyon havuzları bulunmamaktadır. Sadece havzanın en son kısmında yer alan kum çakıl işletmesinden sonra çay yatağı üzerinde iki adet basit siltasyon havuzu inşa edilmiştir. Çalışma esnasında bu havuzların tamamen dolmuş olduğu tespit edilmiştir. Bu olgu yağış dönemlerinde Boğaçayı ile birlikte Antalya Körfczi'ne çok büyük miktarlarda katı madde taşınmasına neden olmaktadır.

Arazi çalışmaları kapsamında 12 ay süre ile Boğaçayı'nın denize döküldüğü noktadan her ay su örnekleri alınmış, su kalitesi parametreleri açısından incelenmiş ve Boğaçayı ile Akdeniz'e taşınan kirlilik yükleri hesaplanmıştır (Oğuz, 2001).

#### MATERIAL VE METOT

Su örnekleri alınmasına Mart 2000 ayında başlanılmış, her ayın 20'sinde olmak üzere Şubat 2001 ayı sonuna kadar devam edilmiştir. Örnekleme dönemlerinde saat 12'ye kadar toplanan su örnekleri buz kaplarında muhafaza edilerek aynı gün laboratuara getirilmiş ve analizlere başlanmıştır.

Çalışma kapsamında Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ ), pH, Elektriksel iletkenlik, Bulanıklık ve Çözünmüş oksijen konsantrasyonları yerinde ölçülürken; Toplam katı madde, Askıda katı madde, Çözünmüş katı madde, Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BO $\dot{\text{I}}$ S), Kimyasal

oksijen ihtiyacı (KOİ), Toplam azot, Nitrat azotu, Toplam fosfor, Ortofosfat, Toplam koliform, Fekal koliform aynı gün Standart Metotlar (APHA ve diğerleri, 1995) kullanılarak laboratuarda analizlenmiştir.

Tablo 1. Boğaçayı ayhk debi ve kırılık yükleri (Oğuz, 2001)

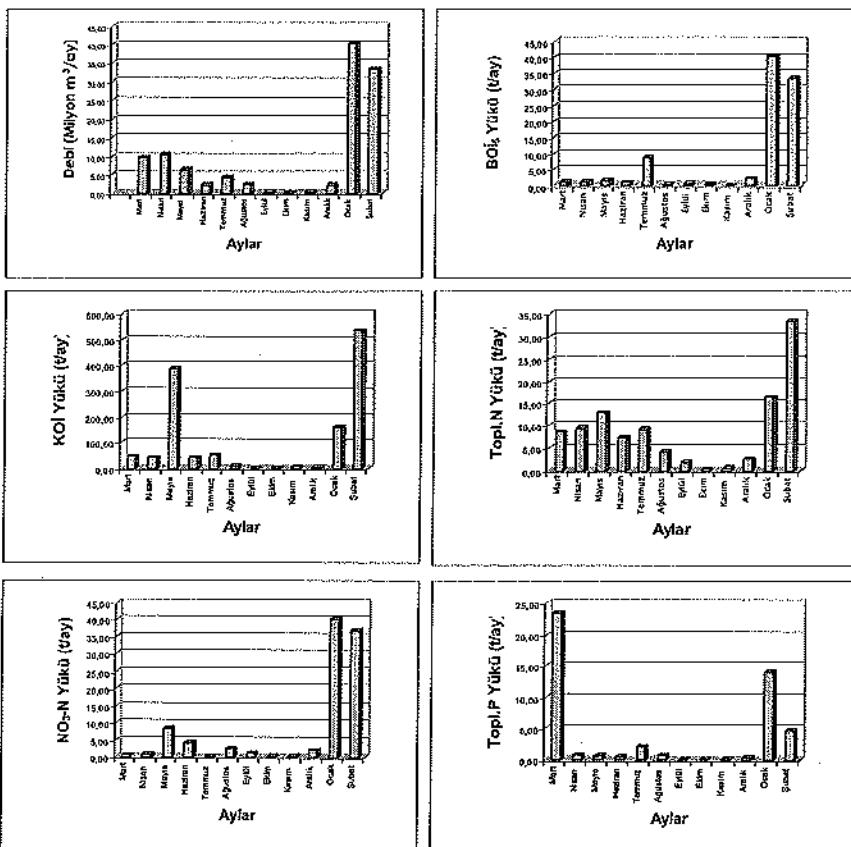
Aylar	Debi (Milyon m³/ay)	BO <sub>5</sub> Yüksü (t/ay)	KOj Yüksü (t/ay)	Topl.N Yüksü (t/ay)	NO <sub>2</sub> -N Yüksü (t/ay)	Topl.P Yüksü (t/ay)	O-PO <sub>4</sub> Yüksü (t/ay)	TKM Yüksü Yüksü (t/ay)	AKM Yüksü (t/ay)	TCM Yüksü Yüksü (t/ay)	Topl.Koli (Milyar/ay)	Fekal Koli Yüksü (Milyar/ay)
Mart	9,77	0,98	48,85	8,79	0,49	23,55	0,98	3322,0	64,5	3257,5	23400	17600
Nisan	10,64	1,06	42,56	9,58	0,85	0,74	0,11	4043,0	35,1	4007,9	34000	31900
Mayıs	6,45	1,29	387,90	12,90	8,40	0,65	0,32	2580,0	85,8	2494,2	18100	10900
Haziran	2,13	0,85	42,60	7,46	4,26	0,43	0,19	639,0	49,6	589,4	6400	5960
Temmuz	4,41	8,82	52,92	9,26	0,22	2,21	0,44	1764,0	44,1	1720,0	33500	30900
Augustos	2,41	0,24	9,64	4,10	2,41	0,72	0,19	1060,0	32,1	1028,0	15900	15400
Eyüll	0,58	0,58	2,32	1,74	1,33	0,12	0,06	220,0	9,6	210,4	4200	3900
Ekim	0,33	0,33	2,64	0,40	0,33	0,04	0,03	119,0	1,1	117,9	1600	1500
Kasım	0,41	0,04	6,56	0,53	0,41	0,04	0,02	164,0	2,7	161,3	1100	980
Aralık	2,16	1,94	6,05	2,53	2,10	0,39	0,22	1080,0	109,5	970,5	6480	5400
Ocak	40,15	40,15	160,10	16,49	40,15	14,05	4,02	20878,0	1690,0	20609,0	112420	68255
Şubat	33,55	33,55	536,80	33,55	36,91	4,70	5,03	18117,0	2013,0	16104,0	77165	60390
<b>TOPLAM</b>	<b>112,99</b>	<b>89,83</b>	<b>1298,04</b>	<b>107,33</b>	<b>97,86</b>	<b>47,64</b>	<b>11,61</b>	<b>53986,0</b>	<b>4137,1</b>	<b>51270,1</b>	<b>334265</b>	<b>253085</b>

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

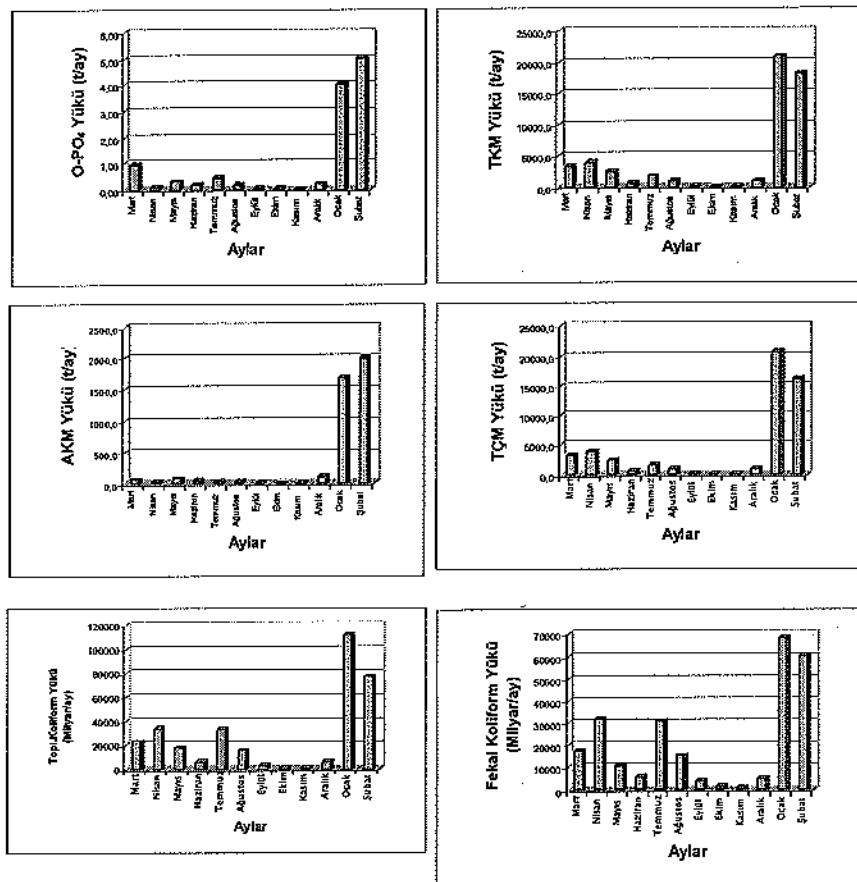
Çalışmanın yapıldığı 12 ay süresinde Boğaçayı aracılığı ile Akdeniz'e taşınan toplam 112.99 milyon m<sup>3</sup> su ile birlikte 89.83 ton BOİ5 ve 1298.04 ton KOİ yükü taşınmıştır (Tablo 1). Tüm gözlem süresinde çözünmüş oksijen doygunluk değerinin yüksek olması nedeniyle Akdeniz'e taşınan organik maddenin bir problem yaratması beklenmemektedir.

Gözlem süresi boyunca taşınan toplam azot yükü 107.33 ton, nitrat azot yükü ise 97.86 ton olmuştur (Tablo 1). Toplam azot yükünün aylara göre dağılımı homojenlik gösterirken, nitrat azotunun geniş bir aralıkta değişmekte olduğu görülmektedir. Bu olgunun civardaki suyu tarım yapılan alanlardan gelen geri dönüş sularına bağlanması mümkündür.

Belirtilen süre içerisinde taşınan toplam fosfor yükü 47.64 ton olurken, sadece Mart ayında aşırı artış gözlemlenmiş, diğer aylarda konsantrasyon sabit kalmıştır. Fosfor, toprakta nitrata oranla daha yüksek miktarlarda tutulabilmektedir. Tespit edilen fosfor yükünün araziden yüzey akışın yanı sıra derelerde karışan çevresel atık sulardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, şiddetli erozyonun yaşandığı havzada dereler aracılığı ile taşınan askıdaki katı maddeler ile birlikte de fosfor taşınması mümkündür. Ancak, Boğaçayı üzerindeki ömekleme noktasının hemen yakınında siltasyon havuzu bulunması bu konuda sağlıklı yorum yapılması engellemektedir.



Şekil 3. Akdeniz'e taşınan yükler (Mart-Aralık 2000; Ocak-Şubat 2001)



Şekil 3. (devam) Akdeniz'e taşınan yükler (Mart-Aralık 2000; Ocak-Şubat 2001)

Boğaçayı ile kıyı bölgesine küfürleşmeyeyecek sayıda koliform grubu bakteri taşımaktadır. Toplam ve fekal koliform sayılarının özellikle yaz aylarında yüksek olması dikkat çekicidir. Su Kirliliği Kontrolu Yönetmeliği'ne göre rekreasyon amaçlı kullanılan kıyı ve deniz sularında müsaade edilen fekal koliform sayısının 200 adet/100 mL olduğundan hareketle Boğaçayı'nın denize döküldüğü noktada koliform bakterilerinin tespitinin daha sık aralıklarla yapılması ve deniz suyunda yüksek değerler tespit edilmesi durumunda kıyı bölgesini kullananırm uyarılması yerinde olacaktır.

## KAYNAKÇA

- D.I.E. (1998). "Ekonomik ve Sosyal Göstergeler-Antalya", Ankara.  
 Oğuz H. (2001). "Boğaçayı Havzasında Yapılan Faaliyetler Sonucu Antalya Körfezine Taşınan Kirlilik Yüklerinin Tespiti ve Çözüm Önerileri", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya.  
 Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1995). 19. Yayın, APHA/ AWWA/WEF, Washington, ABD.

## DOĞU AKDENİZ EKOSİSTEMİ ve DENİZ KİRLİĞİNİN EKOSİSTEM ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Ayşen YILMAZ, Semal YEMENİCİOĞLU, İlkay SALİHOĞLU,  
Süleyman TUĞRUL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü P.K. 28, 33731,  
Erdemli-İçel

Tel: 0324-5213434 Fax: 0324-5212327 e-mail: [yilmaz@ims.metu.edu.tr](mailto:yilmaz@ims.metu.edu.tr)

### ÖZET

Bu çalışmada Kuzeydoğu Akdeniz'de karasal kaynaklardan kirlenmenin boyutu 16 yılda (1982-1997) toplanan bulguların ışığı altında tartışılmış ve bu kirlenmenin zamana karşı değişimi izlenerek, deniz ekosisteminin verilen zararlar idelenmiştir. Marmaris-İskenderun kıyı bandında yer alan nehirler, şehir deşajları ve sanayi kuruluşlarının deşaj noktalarında yılda 2-4 kez aralıklarla toplanan su örneklerinde ve bu noktaların etki alanlarındaki kıyılarda toplam asılı katı, fekal koliform bakteri, fosfat, toplam fosfor (sadece atık sularda), nitrat, toplam azot (sadece atık sularda), BOİ5, KOİ, poliaromatik petrol hidrokarbonları ve civa, kadmiyum gibi ağır ve toksik metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Kirletici kaynakların etki alanından uzak açık sularda referans olarak seçilen noktalarda da aynı parametreler ölçülerek karşılaştırma yapılmıştır. Yılda bir kez kita sahanlıklarında belirli noktalardan toplanan sedimant örneklerinde ağır metaller ve petrol hidrokarbonu gibi kirleticilerin birikimi izlenmiştir. Bu tür kirleticiler aynı zamanda Akdeniz'de ticari bakımından önemi bulunan barbunya, kefal, dil gibi balıklarda izlenmiş ve zamana karşı eğilimler belirlenerek değerlendirilmiştir ve tartışılmıştır.

### ABSTRACT

In the present study, the state of marine pollution from land-based sources is given for the Turkish Mediterranean coast for the last two decades (between 1982-1997) and impacts on the marine ecosystem are discussed with the help of trend monitoring. The water samples were collected from source points such as rivers and domestic/industrial effluents and from the coastal waters along the Marmaris-İskenderun coastline 2-4 times a year. The open waters were also monitored as reference points. Total suspended sediment, Feakal coliform bacteria, phosphate, total phosphorus (only in discharge waters), nitrate, total nitrogen (only in discharge waters), BOD<sub>5</sub>, COD, polyaromatic petroleum hydrocarbons (PAHs), toxic metals such as mercury and cadmium were measured for the above period. The accumulation of heavy metals and petroleum hydrocarbons at the bottom sediments were monitored for yearly frequencies. Such pollutants were also measured in marine biota (especially for commercially important fish such as Mugil, Mullus and Solea species) and the trends were determined.

## GİRİŞ

Akdeniz kıyı bandında yaklaşık 6-7 milyon insan yaşamaktadır. Bu kıyılarda 5 büyük yerleşim merkezi bulunmaktadır. Muğla ve Antalya Türkiye'nin en önemli turizm alanlarındanandır ve genel anlamda bu bölgelerde çok fazla sanayileşme gözlenmemektedir. Genel nüfus artışı % 2-2.5 civarında olmasına karşın bu bölgelerde turizmi nedeniyle yaz aylarında nüfus 2-3 katına çıkmaktadır. İçel ilinde ise daha çok göçe dayalı olan nüfus artışı ve bölgedeki endüstri, turizm ve serbest bölgeye dayalı faaliyetler çevre kirliliğinde etken olmaktadır. Adana ise Çukurova'da tarımsal alanların genişliği ve sanayileşme nedeniyle Akdeniz'e olan girdilerde önemli bir paya sahiptir. Hatay diğer şehirler kadar hızlı gelişmemektedir. Özellikle Taşucu-İskenderun kıyı bandında yoğun sanayileşme deniz ve çevre kirliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Tekstil, gıda, metal, ferro-krom, kağıt, demir-çelik, boyalar, plastik, soda, gübre ve petrol endüstrileri bölgede faaliyet göstermektedir. Mersin'de yüksek kapasiteli bir petrol rafinerisi ve İskenderun körfezi'nde petrol dolum-boşaltım tesisi ile Kerkük/Irak-Yumurtalık petrol boru hattının bulunması bu kıyı alanlarında petrol kirliliğine neden olmaktadır. Nehirler vasıtıyla kirleticiler iç bölgelerden denizel alanlara taşınmaktadır.

## LİTERATÜR TARAMASI

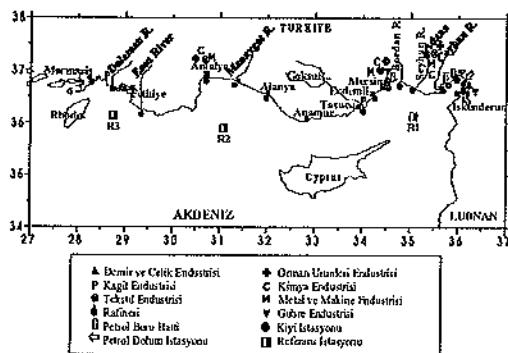
Akdeniz dünya denizleri arasında üretim bakımından en fakir denizler arasında yer almaktadır. Bunun nedeni nehirler ve diğer karasal girdilerden ve derin sulardan karışım yoluyla besin tuzlarının yaptığı katkının sınırlı olmasıdır. Genel olarak batı Akdeniz nehirlerle ve Atlantik okyanusundan gelen yüzey suları ile doğu Akdenize göre daha fazla borslenmektedir (Bethoux ve dig., 1992). Besin tuzlarının dağılımı ve rejimi ile fitoplankton üretimi son yıllarda üzerinde yoğunlukla çalışılan konulardır ve yapılan çalışmalarдан elde edilen sonuçlara göre Akdeniz'de açık sularda birincil üretim kuş karışımı ile derin sulardan besin tuzu taşımımı ile gerçekleşmektedir (Krom ve dig., 1992; 1993; Ediger ve Yılmaz, 1996; Yılmaz ve Tuğrul, 1998). Besin tuzu konsantrasyonları ve dolayısıyla birincil ürcütüm, nehir ve diğer karasal girdilerin yoğun olduğu Mersin ve İskenderun körfezlerinde bağıl olarak daha yüksektir (Yılmaz ve dig., 1992a). Bu körfezlerde yoğun karasal girdiye ve bağlı yüksek üretmeye rağmen su kolonunda oksijen yetersizliği ve ötrifaksiyon gözlenmemektedir. Basen bazında etkili olan akıntı sistemleri bu körfezler ile açık deniz arasındaki su değişimini etkin bir şekilde sağlamaktadır. Ancak son yıllarda bu bölgelere olan yoğun göç nedeniyle hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve sanayileşme deniz kirlenmesine neden olmakta ve kirlilik akıntı sistemleri ile açık denize de taşınabilmektedir. Türkiye'nin Akdeniz kıyılarına yıllık tatlı su girdisi toplam  $3X10^{10}$  m<sup>3</sup> tür ve bu miktar toplam Akdeniz'e giren tatlı su miktarının % 7 sidir. Aynı kıyı bandında yıllık endüstriyel ve şehir deşarjları toplam ise  $14X10^7$  m<sup>3</sup> tür (Yılmaz ve dig., 1992b; 1997). Kuzeydoğu Akdeniz kıyı bandında kita sahanlığı çok dardır ancak Mersin ve İskenderun körfezlerinde sahanlık genişlemektedir. Akdeniz kıyılarına dökülen Göksu, Berdan, Seyhan ve Ceyhan gibi önemli nehirler bu bölgede yer almaktadır.

Akdeniz'e karasal kaynaklardan toplam asılı katı girdisi 1990'lı yıllar için  $1.2X10^6$  t/y olarak ve bu girdinin hemen hemen tamamının (>99%) nehirler vasıtıyla olduğu hesaplanmıştır. Uzun süreli izleme çalışmaları toplam asılı katı girdi miktarlarında zamana bağlı değişimin (evsel ve endüstriyel girdilerdeki artışa rağmen) çok az düzeyde olduğunu göstermiştir (1980'li yıllarda girdi  $0.9 X10^6$  t/y olarak hesaplanmıştır) (Yılmaz

ve diğ., 1997). Akdeniz kıyılarına karasal kaynaklardan toplam fosfor ve azot girdileri sırasıyla  $9.5 \times 10^3$  ve  $57 \times 10^3$  t/y olarak hesaplanmıştır. Bu girdilerde inorganik kısımlar sırasıyla  $2.7 \times 10^3$  ( $\text{PO}_4$ ) ve  $11 \times 10^3$  ( $\text{NO}_3$ ) t/y veya sırasıyla toplam girdinin %30 ve %20si olarak hesaplanmıştır (Yılmaz ve diğ., 1992a; 1992b; 1997; Yemenicioğlu ve diğ., 1993). 1980'li yıllar için Kuzeydoğu Akdeniz'e karasal kaynaklardan  $7.3 \text{ t/y}$  toplam civanın girdiği hesaplanmıştır (Yemenicioğlu ve diğ., 1993). Bu değer UNEP (1984)'ün verdiği değerle ( $7.1 \text{ t/y}$ ) uyum içerisindeidir. Aynı bölge için ve yine 1980'li yıllar için atmosfer kaynaklı toplam civa girdisi  $5 \text{ t/y}$  olarak tahmin edilmiştir (Salihoglu ve diğ., 1989). 1990'lı yıllar için ise toplam civa girdisi  $<1 \text{ t/y}$  olarak hesaplanmıştır (Yılmaz ve diğ., 1997). Karasal kaynaklardan civa girdisinin azaldığı izlenimini veren bu düşüş aslında analizlerde 1980'li yıllarda sorun olan kirlenme ve analiz hassasitlerinin yükseliş olmasından kaynaklanmaktadır. Karasal kaynaklardan denize taşınan civanın yarısından çoğu (yaklaşık %80) partikül fazda olmaktadır ve sürekli çökme nedeniyle sedimana doğru yönlenderek sedimada birikim yapmaktadır. 1980'li yıllar için karasal kaynaklardan Kuzeydoğu Akdeniz'e toplam kadmiyum girdisi  $6.3 \text{ t/y}$  olarak hesaplanmıştır ve bu girdinin yaklaşık %90 i nehirlerle taşınmaktadır (Yemenicioğlu ve diğ., 1993). Civada olduğu gibi kadmiyum da yüksek oranda (%70) partikül fazında denize geçiş yapmaktadır. Akdeniz dünyada petrol kirliliğinin yüksek olduğu denizlerden birisidir. Bunun nedeni güneyinde ve doğusunda petrol üreten ülkelerin, batısında ve kuzeyinde ise petrol tüketen ülkelerin yer almاسıdır. Mersin'de yüksek kapasiteli bir rafinerinin bulunması, İskenderun-Yumurtalık bölgesinde yer alan petrol boru hatları, petrol dolu-boşaltım tesislerinin yer alması nedeniyle gerek karasal girdi gerekse deniz tanker trafiginin bu bölgede yoğun olması nedeniyle özellikle kıyı sularında petrol kirliliği yoğunlaşmaktadır (Yılmaz ve diğ., 1998b).

## YÖNTEM

Bu çalışmada toplam asılı katı (TAK), fekal ve toplam koliform bakteri (FC ve TC), fosfat ( $\text{PO}_4$ ), toplam fosfor (TP)(sadece atık sularda), nitrat ( $\text{NO}_3$ ), toplam azot (TN) (sadece atık sularda), Çözünmüş oksijen (atık sularda ölçülmemiştir), biyojelik oksijen ihtiyacı (BOD<sub>5</sub>), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI), poliaromatik petrol hidrokarbonları (çözünmüş/dağılmış=DDPH ve poliaromatik hidrokarbonlar=PAH olarak) ve civa (Hg), kadmiyum (Cd) gibi ağır ve toksik metal konsantrasyonları Şekil 1'de verilen karasal kaynak ile kıyı ve açık deniz istasyonlarından toplanan örneklerde analiz edilmiştir.



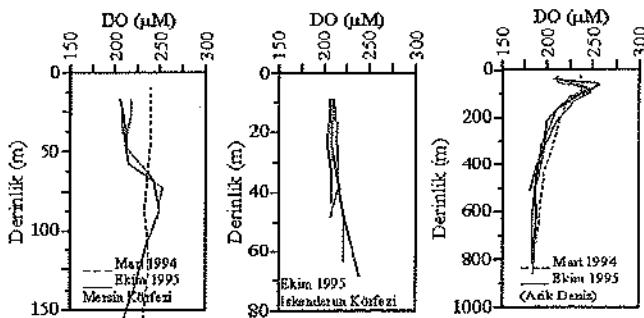
Şekil 1. Kuzeydoğu Akdeniz'de karasal kaynaklardan kirlenmenin izlenmesi çalışmalarında örnekleme yapılan deniz istasyonları ve kaynak noktaları

TAK (mg/L), gravimetrik olarak (APHA/AWWA/WPCF Standard Methods, 1985); FC ve TC (#/100 mL) membran filtre yöntemiyle ve MFC Broth besi ortamında (APHA/AWWA/WPCF Standard Methods, 1985); PO<sub>4</sub> ( $\mu\text{M}$ ) otoanalizör ile ve fosfor-molibden kompleks oluşum yöntemiyle (Grasshoff, 1983); TP( $\mu\text{M}$ ) persülfatla oksitleme ve daha sonra fosfat analiz yöntemiyle (Strickland ve Parsons, 1972; FAO, 1975); NO<sub>3</sub> ( $\mu\text{M}$ ) Cd/Cu indirgeme kolonu kullanarak azo-kompleks oluşumu ve otoanalizör ile (Grasshoff, 1983); TN( $\mu\text{M}$ ), NaOH/persülat oksitleme ve takiben otoanalizörde nitrat analiz yöntemiyle (Strickland ve Parsons, 1972; FAO, 1975); çözünmüş oksijen (DO), Winkler titrasyonu ile; BOD<sub>5</sub>, 20°C'de 5 gün inkübasyon ve Winkler titrasyonu ile (APHA/AWWA/WPCF Standard Methods, 1985); KOI, K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>/H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile oksitleme ve titrasyon yöntemiyle (APHA/AWWA/WPCF Standard Methods, 1985); DDPH ve PAH ( $\mu\text{g}/\text{L}$  ve  $\mu\text{g}/\text{g}$ ) n-hegzan ekstraksiyonu ile ve florometrik yöntemle (UNEP, 1986); toplam Hg ve Cd (ng/L veya sediman ve organizma için ng/g olarak) sırasıyla soğuk buhar/AAS ve AAS yöntemleriyle ölçülmüştür (Yemenicioğlu, 1990).

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kuzeydoğu Akdeniz'de derin sular dahil (>1000m) tüm su kolonu oksijenlidir ve oksijen doygunluk değeri derin sular için 70-80%, konsantrasyon ise 175-200  $\mu\text{M}$  seviyesindedir. Yüzey sularında ise çözünmüş oksijen konsantrasyonu 200-275  $\mu\text{M}$  aralığındadır. Kita sahanlığı ile açık deniz arasındaki kuvvetli etkileşim ve akıntı sistemlerinin etkisiyle körfezler olumlu yönde etkilenderek tüm su kolonunun oksijenli olmasını sağlamaktadır. Özellikle İskenderun Körfezinde, Yarikkaya adıyla bilinen yörensel kuvvetli rüzgarlar su kolonunda karışımın deniz tabanına kadar etkili olmasını ve bol oksijenli suların deniz tabanına kadar ulaşmasını sağlamaktadır (Yılmaz ve diğ., 1992a; Latif ve diğ., 1989). Şekil 2'de İskenderun ve Mersin körfezleri ile açık deniz sularında çözünmüş oksijenin düşey dağılımı gözlenmektedir.

Azot ve fosfor girdisinin ana kaynağını nehirler oluşturmakla birlikte toplam girdinin %15-20 lik kısmı şehir deşarjları ve gübre, gıda gibi endüstriyi atıklarından kaynaklanmaktadır. Mersin-İskenderun kıyı bandında 3 gübre fabrikası faaliyet göstermektedir. Akdeniz yüzey suları besin tuzları bakımından ve özellikle fosforca oldukça fakırdır (Tablo 1). Bunun nedeni hem karasal besin tuzu girdilerinin az olması, kaynak sularında inorganik azot/fosfor oranının yüksek olması (örneğin nehir sularında bu oran 75-100 aralığındadır) hem de bağlı olarak besin tuzlarında zengin dip ara tabaka sularının ters bir akımla Cebelitarık Boğazından Atlantik okyanusuna akmasıdır, Mersin



Şekil 2. Kuzeydoğu Akdeniz'de çözünmüş oksijenin (DO) düşey dağılımı

ve İskenderun körfecelerinde ise yüzey suyu besin tuzu konsantrasyonları bağıl olarak yüksektir. Bu bölgelerde, nchriler, şçir ve endüstri dejalarının yoğun olması besin tuzu girdilerinin yüksek olması ve ayrıca sediman-su kołonu ctkileşimi nedeniyle besin tuzu döngülerinin etkin olması nedeniyle birincil ve bağlı üretimler yüksektir. Tablo 1'de bu bölgelerde ölçülen besin tuzu konsantrasyonları karşılaştırılmış olarak verilmiştir. İskenderun ve Mersin körfeceleri ile açık denizden seçilmiş besin tuzu düşey dağılımları ise Şekil 3'te verilmektedir. Nitrat/fosfat oranı fitoplanktonlara kullanım nedeniyle yüzey sularında düşükmasına karşın, nutriklin tabakasında 40-120 gibi çok yüksek değerlere ulaşmaktadır ve dip suda ise 28 gibi sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu sonuçlar genel anlamda Doğu Akdeniz'de fosfor azlığına işaret etmektedir ve üretimin fosforca sınırlandığını göstermektedir.

İskenderun ve Merin körfecelerinde deniz suyunda ölçülen BO<sub>15</sub> değerleri ile sudaki klor interferansı nedeniyle asılı katkıda ölçülen KOI değerleri 1mg/L'yi aşmamaktadır.

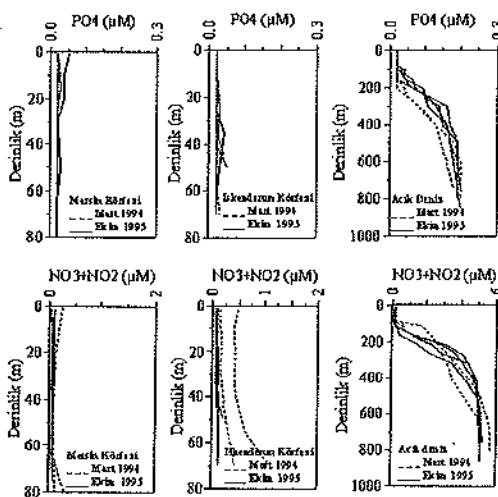
Tablo 1. Doğu Akdeniz'de yüzey ve derin suların besin tuzu konsantrasyonları

Besin Tuzu	Güneydoğu Akdeniz (a) (Açık sular)		Kuzeydoğu Akdeniz (b) (Açık sular)		İskenderun Körfezi (c)(*)	Mersin Körfezi (d)(*)
	Yüzey	Dip	Yüzey	Dip		
PO <sub>4</sub> (µM)	<0.01	0.24	0.02-0.04	0.2-0.24	0.1-1.6	0.02-6.5
NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> (µM)	0.05-0.7	5.5-6.0	0.05-0.6	5.5-6.0	0.5-34.6	0.05-38.1

(a): Kron ve diğ., 1991; (b): Yılmaz ve Tuğrul, 1998; (c): Yılmaz ve diğ. 1992a; (d): Yılmaz ve diğ., 1998a

(\*): En yüksek değerler karasal kaynakların yakın etkili alanındaki deniz suyu konsantrasyonlarındır.

Şekil 3. Kuzeydoğu Akdeniz'de besin tuzlarının su kolonunda düşey dağılımı



Kuzeydoğu Akdeniz için ortalama asılı katkı madde konsantrasyonu 1 mg/L'dir. İskenderun ve Mersin körfecelerinde ise ortalama değer 2 mg/L'ye ulaşmaktadır. Ancak bazı sıcak noktalarda, örneğin Mersin şehir atıklarının deşarj edildiği noktada 120 mg/L gibi çok yüksek değerler ölçülmüştür. Aslında Kuzeydoğu Akdeniz dünyada suları en berrak, ışık geçirgenliği en fazla olan su kütelerine örnek teşkil etmektedir. İşıklı tabakanın kalınlığı Kuzeydoğu Akdeniz için 55-95m olarak (ortalama=80m) verilmektedir (Ediger ve Yılmaz, 1996). İskenderun körfesinde ise ortalama ışıklı tabaka

kaçılığı 50m (40-70m aralığında) ve ortalamı Seki disk derinliği 20m (7-33m aralığında) olarak ölçülmüştür (Yılmaz ve diğ., 1992a). Mersin körfezinde şehir deşarjını etki alanında Seki disk derinliği ise 5m olarak ölçülmüştür (Yılmaz ve diğ., 1998a).

Mersin bölgesinde ölçümleri yapılan ve insan sağlığını doğrudan etkileyen bir parametre olarak koliform bakteri sayıları sonuçları incelendiğinde, 1980'li yıllarda bu kıyı bandının mikrobiyolojik açıdan temiz olduğu görülmektedir. Ancak 1990'lı yıllarda yapılan izleme çalışmalarında bazı plajlarda insan sağlığını tehdit edecek boyutlarda mikrobiyolojik kirlenmenin olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Dünya Sağlık Teşkilatının (WHO) verdiği limitlerin aşıldığı bu plajlar rekreatif amaçyla kullanılmaya devam etmemektedir.

Tablo 2. Doğu Akdeniz'de Mersin kıyı bandlarında mikrobiyolojik kirlenme

Bölge/Yıl	Fekal Kolifomi (FC) Sayısı	Toplam Kolifomi (TC) Sayısı	Kirlenme Düzeyi
1982-1985 Mersin/İskenderun B.	<30	---	Temiz
1992 Sonrası Anamur	<10	<80	Temiz
Aydınçık	<15	<100	Temiz
Boğsak	<90	<250	Az Kirli
Susanoğlu	350	900	Kirli
Narlıkuyu	900	1800	Çok Kirli
Kızılkalesi	1400	2800	Çok Kirli
Erdemli	35	400	Kirli
Kargıpinarı	120	400	Kirli
Viranşehir	700	>2000	Çok Kirli
Mersin	2000	3000	Çok Kirli

WHO Limiti: FC: 100 adet/100 mL TC: 500 adet/100mL

Kuzeydoğu Akdeniz yüzey sularında toplam civa konsantrasyonu 2.5-27 ng/L aralığında değişmektedir (Ortalama=11 ng/L). Yüksek konsantrasyonlar daha çok karasal kaynakların etki alanındaki kıyılarda ölçülmüştür (Salihoglu ve Yemeñoioğlu, 1986; Salihoglu ve diğ., 1987; 1989). Kuzeydoğu Akdeniz'de partikül haldeki kadmiyum konsantrasyonu 0.002-0.252 µg/L aralığındadır (Ortalama=0.004 µg/L). 1983-1986 yılları arasında atık sularda ve partikül üzerine adsorbe olma özelliği nedeniyle partikül maddede civa konsantrasyonları analitik problemler (kirlenme ve hassasiyet sınırlarının yüksek olması nedeniyle) yüksek ölçülmüştür. Kadmiyum konsantrasyonlarında bu analitik problemlerin çözümünü takiben ve 1986 yılından sonra deniz suyundaki konsantrasyonlarda düşüşler kaydedilmiştir. Evsel, endüstriyel atıklar ile nehirlerden gelen kadmiyum miktarında kayda değer bir değişim gözlenmemekle birlikte partikül haldeki kadmiyumun konsantrasyonunun 1980'li yıllara göre arttığı gözlenmiştir. Organizmada civa konsantrasyonu 165 ng g<sup>-1</sup> kadar ulaşmaktadır ve en yüksek civa konsantrasyonu 2503±1205 ng g<sup>-1</sup> (kuru ağırlık) ile Nil Barbutyasında ölçülmüştür. Sedimanda toplam civa konsantrasyonu 16-47 ng g<sup>-1</sup> (kuru ağırlık) olarak ölçülmüştür ve bu konsantrasyon değeri Mersin limanından alınan sediman örneklerinde 440 ng g<sup>-1</sup>, (kuru ağırlık) kadar yükselmektedir.

Tablo 3. Mersin ve İskenderun bölgelerinde örneklenen organizma (*Mullus Barbatus/Barbunya*,

Bölge	<i>M. Barbatus</i> (Hg) (ng g <sup>-1</sup> , yaş ağırlık)	<i>M. Barbatus</i> (Cd) (ng g <sup>-1</sup> , yaş ağırlık)	Sediment (Hg) (ng g <sup>-1</sup> , yaş ağırlık)	Sediment (Cd) (ng g <sup>-1</sup> , yaş ağırlık)
Göksu-Taşucu	7.4 - 55.9	6.6-127.6	117.8	37.7
Mersin Körfezi	13.3 - 52.7	34.1-284.3	17.8	33.4
İskenderun Körfezi	74.0 - 174.7	37.5-377.4	15.2	41.0

Türkiye'nin Akdeniz kıyılarına karasal kaynaklardan toplam petrol girdisi son 15 yıl için 20-500 t/y aralığında hesaplanmıştır (Yılmaz ve dig., 1997). Kuzeydoğu Akdeniz'de çözünmüş/dağılmış petrol hidrokarbonu konsantrasyonu ise  $0.01\text{-}4.14 \mu\text{g/L}$  aralığında ölçülmüştür ve yıllar bazında artış eğilimi söz konusudur (Yılmaz ve dig., 1998b). Yüksek petrol hidrokarbonu konsantrasyonları Mersin ve İskenderun körfezlerinde karasal kaynakların etki alanındaki kıyı sularında yüksek (1980'li yıllarda ve  $15\text{-}20 \mu\text{g/L}$ 'ye varan seviyelerde) ölçüldürken açık sularda konsantrasyon seyreklene nedeniyle  $1 \mu\text{g/L}$ 'nin altında ölçülmüştür. 1990'lı yıllarda ise petrol kirliliğinde bir düşüş gözlenmiştir. Suda petrol kirliliğinden söz edebilmek için konsantrasyonun  $>3 \mu\text{g/L}$ 'den büyük olması gerekmektedir. Bu sonuçlardan anlaşıldığına göre bazı sıcak noktalar hariç Kuzeydoğu Akdeniz'de petrol kirliliği tehlke sınırlarını aşmamaktadır. Örneğin, Weber ve Bicego, 1990'a göre Antartika kıyılarında petrol hidrokarbonları konsantrasyonu  $0.15\text{-}4.65 \mu\text{g/L}$  aralığındadır. Ancak aynı dönem için sedimandaki petrol hidrokarbonları konsantrasyonunun (1985-86'da ortalama 0.51 den 1996'da 4.75  $\mu\text{g/g}$ , kuru ağırlık seviyesine) artışı gözlenmiştir. UNEP (1994)'e göre konsantrasyon  $> 0.5 \mu\text{g/g}$  (kuru ağırlık) olduğu alanlar kirli alan, konsantrasyonun  $> 10 \mu\text{g/g}$  (kuru ağırlık) olduğu alanlar ise çok kirli alan olarak belirlenmiştir. Lipiatou ve Saliot (1991)'e göre batı Akdeniz sedimanlarında ortalama PAH konsantrasyonu açık deniz-Rhone delta güzergahında 0.18 den 2.4 ( $\mu\text{g/g}$ , kuru ağırlık) seviyesine çıkmaktadır. Deniz suyunda bağıl olarak düşük konsantrasyonda petrol bileşenlerinin olması ancak sedimanda yüksek konsantrasyonlarının gözlenmesi petrolün partikül madde çokluğu ile deniz tabanına doğru taşındığını işaret etmektedir. 1980'li yıllarda petrol kirliliğinin bağıl olarak yüksek olduğu Mersin ve İskenderun körfezlerinde ise 1990'lı yılların ilk yarısında konsantrasyonlar düşmüştür. 1990 Körfez savaşı sonrası Irak'a uygulanan ambargo ve tüm boro hatlarının devre dışı olması nedeniyle İskenderun Körfezinde petrol kirliliği göreceli olarak azalmıştır. Bölgede atık sular için arıtma konusunda daha duyarlı davranışının bu azalmada payının olduğunu belirtmekte yarar vardır. Nisan 1982'de Kerkük-Yumurtalık petrol boro hattında meydana gelen kaza sonucu 8000 ton hampetrol önce Ceyhan nehrine daha sonra da İskenderun körfezine yayılmasıyla kirlilik hat seviyeye ulaşmıştır. Çözünmüş/dağılmış petrol hidrokarbon konsantrasyonu kaza sonrasında Ceyhan nehrinde  $200 \mu\text{g/L}$ 'ye, İskenderun körfezinde de  $25 \mu\text{g/L}$ 'ye ulaşmıştır (Sakarya, 1985). Yenilebilir ve ticari değeri büyük bazı deniz canlılarında yapılan analizler özellikle Mersin ve İskenderun körfezlerinde kefal gibi bazı balık türlerinde sınır değerleri aşan konsantrasyonlarda PAH ölçülmüştür. Tablo 4'de farklı yıllarda ve farklı bölgelerde avlanan balıklarda ve diğer deniz ürünlerinde ortalama PAH konsantrasyonları

Tablo 4. Kuzeydoğu Akdeniz kıyılarında avlanmış balıklarda Poliaromatik Petrol Hidrokarbonu (PAH)

Yıl	# of sample	Bölge	Balık türü	PAH
1987	10	Mersin Limanı	Kefal	$10.0\text{-}14.5$
1991	6	Akdeniz kıyı bandı	Barbunya	$1.1\pm0.4$
1991	2	Akdeniz kıyı bandı	Kefal	$1.6\pm1.2$
1995	15	Mersin Körfezi	Karışık türler	$2.8\pm0.5$
1996	6	İskenderun Kör.	Kefal	$8.7\pm1.1$
1996	7	İskenderun Kör.	Karides	$6.4\pm1.0$
1996	6	Karataş	Kefal	$10.7\pm2.1$
1996	6	Karataş	Karides	$6.2\pm0.9$
1996	4	Karataş	Dil Bahçı	$4.6\pm1.3$

verilmektedir. Toksik seviyenin üzerinde PAH içeren deniz canlılarının tüketiminde ise toplam alınabilecek miktar 1.6-16 µg/g (yaş ağırlık) (deniz ürünü)/kg/gün olarak verilmektedir (Santodonato ve diğ., 1980). Buna göre örneğin ortalama 60 kg'lık bir kişinin alabileceği miktar Mersin limanından yakalanmış bir kefal balığı için 20 g, Akdeniz kıyılarından yakalanan bir balık için 200 g aşmamalıdır.

### KAYNAKÇA

- APHA, AWWA, WPCF, (1985). Standard Methods for the examination of water and waste water, 16th edition, Greenberg, A., R.R. Trussel and L.S. Clesceri (eds)
- Bethoux, J. P., P. Morin, C. Madec and B. Gentili, (1992). Phosphorus and nitrogen behaviour in the Mediterranean Sea. Deep-Sea Research, 39(9): 1641-1654.
- Ediger D. and A. Yılmaz , (1996). Characteristics of deep chlorophyll maximum in the Northeastern Mediterranean with respect to environmental conditions, Journal of Marine Systems, 9, 291-303.
- FAO, (1975). Fisheries Technical Report, No:137.
- Krom, M.D., N. Kress, and S. Brenner, (1991). Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean. Limnol. Oceanogr., 36:424-432.
- Krom, M.D., S. Brenner, N. Kress, A. Neori & L.I. Gordon, (1992). Nutrient dynamics and new production in a warm eddy from the eastern Mediterranean. Deep-Sea Res. 39: 467-480.
- Krom, M.D., S. Brenner, N. Kress, A. Neori & L.I. Gordon, (1993). Nutrient distribution during an annual cycle across a warm core eddy from the E. Mediterranean Sea. Deep-Sea Res. 40(4): 805-825.
- Latif, M.A.L., E. Ozsoy, C. Saydam and U. Unluata, (1989). Oceanographic investigations of the Gulf of Iskenderun. Annual Report. Middle East Technical University, Institute of Marine Sciences.
- Lipiatou, E. and Saliot, A., (1991). Hydrocarbon contamination of the Rhone delta and western Mediterranean. Marine Pollution Bulletin, 22, 297-304.
- Sakarya, M. (1985). Petroleum Hydrocarbons in the Marine Environment. M.Sc. Thesis, METU, Institute of Marine Sciences.
- Salihoglu, İ., C. Saydam and S. Yemenicioğlu, (1987). Two toxicants, mercury and tin in the Gulf of Iskenderun. Chemosphere, 16:2/3, 445-453.
- Salihoglu, İ., C. Saydam and S. Yemenicioğlu, (1989). Biogeochemical cycle of mercury in the Northeastern Mediterranean Southern coast of Turkey. MAP Technical Report Series, No: 32, 37-57.
- Salihoglu, İ. and S. Yemenicioğlu, (1986). Chemical and biological distribution of mercury in the North Levantine" FAO Fish. Rep., (325) suppl. 140-149.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons, 1972. A practical handbook of seawater analysis. 2nd edition. Bull. Fish. Res. Bd Can. 167.
- UNEP (1984). UNEP/ECE/UNIDO/FAO/UNESCO/WHO/IAEA: Pollutants from land-based sources in the Mediterranean. UNEP Regional Seas Report and Studies No. 32. UNEP, 1984.

- UNEP (1994). Monitoring programme for the eastern Adriatic coastal area. MAP Technical Report Series, No. 86. United Nations Environment Programme, Geneva.
- Weber, R.R. and Bicego, M.C., (1990). Petroleum aromatic hydrocarbons in surface waters around Elephant Island, Antarctic Peninsula. *Marine Pollution Bulletin*, 21, 448-449.
- Yemenicioğlu, S., A.Yılmaz and I.Salihoglu, (1993), "Synthesis of the MED -POL Phase II Studies Related to the Northern Levantine Basin", Submitted to Ministry of Environment, Middle East Technical University, Institute of Marine Sciences, Erdemli, İçel.
- Yemenicioğlu, (1990). Basin scale fate of mercury in the Sea of Marmara, Ph.D. Thesis, METU, Institute of Marine Sciences, Erdemli, İçel.
- Yılmaz, A., Ö. Baştürk, A. C. Saydam, D. Ediger, K. Yılmaz and E. Hatipoğlu, (1992a). Eutrophication in İskenderun Bay, Northeastern Mediterranean, Science for the Total Environment (Special Issue) In: *Marine Coastal Eutrophication*,(Eds: Vollenweider R.A., Marchetti R., Viviani R.) Elsevier, Amsterdam, 705-717.
- Yılmaz, A., Yemenicioğlu, S., Baştürk, Ö., Tuğrul, S., Saydam, C. and Salihoglu, İ. (1992b). State of pollution of the Turkish coast of the Eastern Mediterranean by land based sources. *Rapports et Proces Verbaux des Reunions Commission internationale pour l'exploration scientifique de la mer Méditerranée*, 33, p189 (abstract only: XXXIII Congrès de la CIESM, Trieste, Italy).
- Yılmaz A., İ. Salihoglu, S. Tuğrul and O.Baştürk (1997). Pollution loads from land-based sources of Turkish Mediterranean coast and their impacts on the marine environment, Presented at 7th Stockholm Water Symposium, 3rd International Conference on the Environmental Management of Enclosed Coastal Seas (EMECS): With Rivers to the Sea, Interaction of Land Activities, Fresh Water and Enclosed Coastal Seas, August 10-15, 1997, Stockholm, Sweden.
- Yılmaz A. and S. Tuğrul, (1998). 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.
- Yılmaz A., I. Salihoglu, M.A. Latif and S. Yemenicioğlu, (1998a) Oceanographic investigation related to a sewerage outfall in Mersin bay, DOĞA, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 22(3), 155-167. (In English).
- Yılmaz K., A. Yılmaz, S. Yemenicioğlu, M. Sur, I. Salihoglu, Z. Karabulut, F. Telli Karakoç, E.Hatipoğlu, A.F. Gaines, D. Phillips and A. Hewer, (1998b) Polynuclear Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in the Eastern Mediterranean Sea, *Marine Pollution Bulletin*, 36(11), 922-925.

## TÜRK BOĞAZLAR SİSTEMİNDE (MARMARA, İSTANBUL ve ÇANAKKALE BOĞAZI) BESİN TUZLARI DEĞİŞİMLERİ

Süleyman TUĞRUL, Ayşen YILMAZ, Özden BAŞTÜRK\*,  
İlkay SALİHOĞLU

Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli-İçel

\*Mersin Üniversitesi- Sü Ürünleri Fakültesi, Mersin

### ÖZET

Türk Boğazlar Sistemi (TBS) olarak tanımlanan Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale Boğazlarındaki iki tabakalı akıntı rejiminin besin tuzları değerlerindeki mevsimsel değişimleri anlamak için 1990-2000 yılları arasında elde edilen hidro-kimyasal bulgular değerlendirilmiştir. Karadeniz'in az tuzlu sularında ilkbahar sonu-sonbahar döneminde çok düşük (nitrat: 0.1-0.2  $\mu\text{M}$ ; fosfat: 0.02-0.05  $\mu\text{M}$ ) olan besin tuzları, sonbahar sonu ve kış döneninde çarpıcı artışlar gösterir. Marmara'da süregelen fotosentez sonucu, Karadeniz'den giren suların besin tuzları içeriği Çanakkale Boğazı'na ulaşıcaya kadar daha az değişken olur. Çanakkale Boğazı gişindeki Ege'nin tuzlu sularının besin tuzları derişimleri, upwelling dönemleri hariç, oldukça düşüktür. Marmara alt tabakasına ulaşan bu sular, burada kaldıkları 6-7 yıllık sürede, yüzeyden çöken organik maddenin oksitlenmesi sonucu içerdikleri besin tuzları derişimleri yaklaşık on kat artar (nitrat: 8-12  $\mu\text{M}$ ; fosfat 0.7-1.2  $\mu\text{M}$ ). Karadeniz'den Marmaraya giren yıllık nitrat ve fosfat yükleri sırasıyla  $8.17 \times 10^8$  mol-N and  $4.25 \times 10^6$  mol-P kadardır ve Marmara'dan Karadeniz'e taşınan yüklerden oldukça düşüktür. Tuzlu Ege sularıyla Marmara alt tabakasına taşınan yıllık nitrat miktarı  $2.1 \times 10^8$  mol-N, fosfat  $5.26 \times 10^6$  mol-P mertebesindedir. Hesaplanan fosfor girdisi Marmara'dan Ege'ye taşınan yükün yaklaşık üçte biri kadardır.

**Anahtar kelimeler:** Ege Denizi, Karadeniz, İstanbul Boğazı, Çanakkale Boğazı, su akışı, besin tuzları, N-P yükleri

### ABSTRACT

Hydro-chemical data obtained in the Turkish Strait System (TSS) including the Sea of Marmara Sea, the Dardanelles and Bosphorus straits, during 1990-2000, were evaluated to understand seasonal variations of nutrients in the two-layer flow regimes of the TSS. Nutrient concentrations of the brackish Black Sea waters in the Bosphorus Strait are markedly low (nitrate: 0.1-0.2  $\mu\text{M}$ ; phosphate: 0.02-0.05  $\mu\text{M}$ ) during the late spring-autumn period, increasing markedly in late autumn and winter. Photosynthetic activity in the Marmara Sea reduces temporal variations in the nutrient content of the brackish waters until the Dardanelles entrance is reached. The salty Aegean waters in the Dardanelles entrance have

relatively low concentrations of nutrients, excluding upwelling periods. During its 6-7 years sojourn in the Marmara basin, the salty waters become enriched in nitrate and phosphate by about 10-fold (nitrate: 8-12 µM; phosphate: 0.7-1.2 µM), due to oxidation of particulate organic matter sinking from the surface layer. The annual inputs of nutrients from the Black Sea to the Marmara basin were estimated as  $8.17 \times 10^8$  mol-N and  $4.25 \times 10^6$  mol-P, which are much lower than the importation from the Marmara lower layer. The salty Aegean water introduces nearly  $2.1 \times 10^8$  mol-N and  $5.26 \times 10^6$  mol-P into the Marmara lower layer. The estimated phosphorus influx to the Marmara basin is nearly 3-times less than the outflux from the Marmara Sea via the Dardanelles Strait.

## GİRİŞ

Akdeniz ile Karadeniz arasındaki su değişimini sağlayan Marmara Denizi, Çanakkale ve İstanbul Boğazları ile birlikte oşinografi literatüründe Türk Boğazlar Sistemi (TBS) olarak anılmaktadır. Komşu denizlere kıyasla oldukça küçük olan Marmara Denizi ve Türk Boğazları hakkında geçmiş yıllarda, özellikle 1985 öncesi yıllara ait, çok az bilimsel bulgu ve sonuçlar bulunmaktadır (Sorokin, 1983; Baştürk ve diğ., 1990; Beşiktepe ve diğ., 1994). TBS'deki iki tabakalı akıntı rejimi sayesinde Karadeniz'in az tuzlu suları Ege'ye, Ege'nin daha tuzlu suları da boğazlardaki taban akıntısı ile Karadeniz'e kadar yıl boyunca taşınmaktadır (Sorokin, 1983; Beşiktepe ve diğ., 1993, 1994). 90'lı yılların başında yapılan Marmara Denizi su bütçesine göre Karadeniz'den giren az tuzlu sular Marmara Denizi üst tabakasında ortalama beş ay kadar kaldığından (Beşiktepe ve diğ., 1993, 1994), Karadeniz akışının taşıdığı biyokimyasal bileşenler Marmara Denizi ekosistemini için kritik öneme sahiptir (Tuğrul ve Polat, 1995). Karasal kaynaklı kirleticilerin yıllık yükleri Karadeniz girdisine yakındır; fakat insan kaynaklı atıklar en fazla Marmara'nın kıyısal kuşağını ve körfez sularının biyokimyasal özelliklerini etkilemektedir (Orhon ve diğ., 1994; Tuğrul ve Polat, 1995). Fazla miktarda nötr girdisi alan batı Karadeniz yüzey sularında birincil üretimin yüksek olduğu bilinmemektedir (Sorokin, 1983; Cociascu ve diğ., 1997). Marmara'ya ulaşan batı Karadeniz suları canlı ve cansız organik maddelerce oldukça zengin olmakla birlikte dikkate değer mevsimsel salınlıklar göstermektedir (Polat ve Tuğrul, 1995). Çanakkale Boğazı'ndaki iki tabakalı akıntı rejimi, yıl boyunca Marmara ile Ege Denizi arasında su değişimini sağlar (Grasshoff, 1975; Beşiktepe ve diğ., 1993). Boğaz girişindeki ters yönlerle akan az ve çok tuzlu suların doygunluk seviyesinde oksijen içerir; fakat inorganik besin elementlerince fakir oldukları gözlenmiştir (Polat ve Tuğrul, 1996; Polat ve diğ., 1998). Ege'den giren tuzlu sular, Marmara'daki 6-7 yıllık ortalama karış süresi boyunca oksijençe fakirleşir; nitrat ve fosfat iyonlarının 10 kata varan artışlar olur (Baştürk ve diğ., 1990; Polat ve diğ., 1998). Akdeniz kökenli tuzlu sular, sahip oldukları bu yeni özelliklerle İstanbul Boğazı'ndan güneybatı Karadeniz'in ara tabakalarına taşımır (Polat ve Tuğrul, 1995).

Türk Boğazlar Sisteminin (TBS) hidro-dinamik ve biyokimyasal özelliklerini tanımlamaya yönelik olarak, 1986 yılından beri ulusal deniz araştırma programları çerçevesinde sistematik ölçümler yapılmaktadır. Burada tartışılan hidro-kimyasal bulgular ve ulaşılan sonuçlar, çoğunlukla 1990-2000 yılları arasında gerçekleştirilen TÜBİTAK ve İSKİ destekli çalışmalarının ürünüdür.

## ÖRNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Deniz çalışmaları, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nün R/V BİLİM gemisi ile gerçekleştirılmıştır. Gemideki vinç ve okuyucu sistemine bağlı yüksek ayrımlı Sea-Bird Model bir CTD (iletkenlik, sıcaklık ve derinlik) probu kullanılarak, yüzeyden tabana kadar kesintisiz tuzluluk ve sıcaklık yapılmış ve doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Deniz suyu örnekleri, CDT probuna bağlı olan rozet üzerindeki 5 litre kapasiteli 12 adet Niskin tipi PVC şişelerle, belirlenen derinliklerden alınımuştur. Çözünmüş oksijen ( $\text{CO}_2$ ) ölçümü klasik Winkler titrasyon metodu ile yapılmıştır ve duyarlılığı  $3.0 \mu\text{M}$  seviyesindedir. Besin tuzları ölçümü için  $100 \text{ ml}^{-1}$  plastik kaplara alınarak dondurulan deniz suyu örneklerindeki nitrat + nitrit ve reaktif  $\text{PO}_4^{2-}$  derişimi kolorimetrik yöntemle, Technicon AII model oto-analizör kullanılarak ölçülmüştür. Uygulanan yöntemin duyarlılığı  $0.02 \mu\text{M}$  mertebesindedir.

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Marmara Denizi ve Boğazlar Sistemi, Karadeniz ile Ege Denizi arasındaki su değişiminin sonucu olmuş iki tabakalı bir ekosisteme sahiptir. Komşu denizlerde su yoğunlıklarının çok farklı olması nedeniyle Marmara'nın yüzeyindeki ince tabakada tuzluluğu kısmen artmış Karadeniz suları, bunun altında ise Ege'den giren tuzlu sular vardır. Bu nedenle Marmara Denizi'nin temel oşinografik özelliklerini anlamannı ve değişimleri tanımlamanın temel koşulu Marmara'ya Boğazlar yoluyla giren az ve çok tuzlu suların hidro-kimyasal özelliklerini izlemek ve Marmara'daki ölçüm değerleri ile kıyaslamaktır. Ege'den giren tuzlu suların tuzluluğu ve sıcaklığı Marmara'da fazla değişmezken biyokimyasal özelliklerinde çarpıcı değişimler olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Boğazlardaki ters yönlü akıntıların neden olduğu dikey karşıtlar Marmara ve Ege yönüne olan üst akımının tuzluluğunu yükseltirken, ters yöndeki alt akımının taşıdığı tuzlu suların yüzey sularıyla seyrelmesi sonucu tuzluluğun düşer (Beşiktepe ve diğerleri, 1993, 1994).

**İstanbul Boğazı:** Boğazın Karadeniz girişinde ölçülen akıntı vektörleri ve tuzluluk profilleri göre, 40-45 metrelik homejen bir külesi Karadeniz'den Marmara yönüne akmaktadır (Şekil 1). Boğaz alt akıntısı da Karadeniz'e tuzlu suları taşır. Boğaz çıkışında oldukça incelen alt akımının tuzluluğu da Marmara'ya kıyasla oldukça azalır. Alt akımdaki günlük ve mevsimsel değişim daha fazladır (Beşiktepe ve diğ., 1994). Karadeniz'den Boğaza giren yüzey suların tuzluluğu yıl boyunca dar bir aralıkta (17-18 ppt), su sıcaklığı ise  $7-22^\circ\text{C}$  arasında değişebilmektedir. Bu suların kimyasal özelliklerindeki mevsimsel değişimler de belirgindir. Çünkü kuzeybatı Karadeniz kıyı suları, özellikle Tuna Nehri'nin taşıdığı besin tuzları ve organik madde ile sürekli kirlenmektedir ve kıyısal akıntılarla seyretilerek güney Karadeniz kıyılarına ulaşır. Boğaz sularında ölçülen  $\text{CO}_2$ , nitrat ve fosfat profilleri arasında uyumlu fakat ters yönde değişen bir ilişki gözlenir (Şekil 1). Karadeniz yüzey suları her zaman oksijenle doygundur ve su sıcaklığına bağlı olarak  $\text{CO}_2=240-410 \mu\text{M}$  aralığında değişmektedir. Boğazda Karadeniz üst akımının özellikle nitrat ve fosfat konsantrasyonlarında çarpıcı mevsimsel değişimler gözlenir (Şekil 1). Kasım-Mayıs ayları arasında besin elementlerince zenginleşen kuzey batı Karadeniz yüzey suları, Boğaz yoluyla Marmaraya taşınır. Boğaz üst akımında yaz aylarında  $0.1-0.2 \mu\text{M}$  seviyelerinde olan nitrat, Kasım-Mayıs arasında zaman zaman  $5-7 \mu\text{M}$ 'a kadar çıkmaktadır. Ancak besin tuzlarının zengin

bu suların Marmara'ya ne kadar süreyle girdiği konusunda sistematik veri yoktur. Fosfat değerleri yaz-sonbahar başlarında  $0.02\text{-}0.05 \mu\text{M}$  aralığında iken, nitratin yükseldiği dönemlerde  $0.2\text{-}0.3 \mu\text{M}$ 'a kadar çıkar (Şekil 2). Mevsimsel ortalamalar Tablo 1'de verilmiştir.

Marmara'ya girerken  $225\text{-}255 \mu\text{M}$  aralığında  $\text{CO}$  içeren Ege'nin tuzlu suları, Marmara kalkıkları 6-7 yıllık sürede sahip olduğu oksijenin %70-80'ni tüketmiş, fakat besin tuzları arasında zenginleşmiş olarak İstanbul Boğazı'na ulaşır. Bu çarpıcı değişimin nedeni, Marmara üst sularından alt tabakaya giren oksijen miktarının yüzey sularından çökelen partikül organik maddenin parçalanması için yetersiz kalmasıdır. İstanbul Boğazı girişinde alt tabaka sularında ölçülen nitrat ve fosfat konsantrasyon değerlerinin mevsimsel ortalamaları sırasıyla  $9.3\text{-}10.4 \mu\text{M}$  ve  $0.92\text{-}1.07 \mu\text{M}$  aralığında değişmektedir (Tablo 1). Bu değerlerden hesaplanan nitrat/fosfat oranı 8-10 aralığında olup, yıl boyunca dikkate değer değişim göstermez (Polat, 1995; Polat ve diğ., 1998). Marmara alt su N/P oranları, oşinografi bilimine "Redfield orantı" olarak bilinen okyanusların derin su N/P = 16 ortalama oranından oldukça düşüktür. Anlaşılacağı üzere, Marmara alt tabakasından Boğaz alt akıntı ile Karadeniz'e taşınan tuzlu sular, nitrat ve fosfatça zengin olmakla birlikte, düşük N/P oranına sahiptir.

**Çanakkale Boğazı:** Boğaza her zaman oksijence doygun ( $\text{CO}: 225\text{-}255 \mu\text{M}$ ) giren Ege'nin tuzlu suları, Marmara'ya ulaşınca, içeriği oksijenin yarısından fazlasını, oksijence fakirleşmiş Marmara'nın eski tuzlu sularıyla karışımı sonucu kaybeder.

Tablo 1. İstanbul ve Çanakkale Boğazları'ndaki iki tabakalı (üst ve alt) akıntı rejiminin mevsimsel ve yıllık su debisi, nitrat ve reaktif fosfat derişimleri ve yükleri

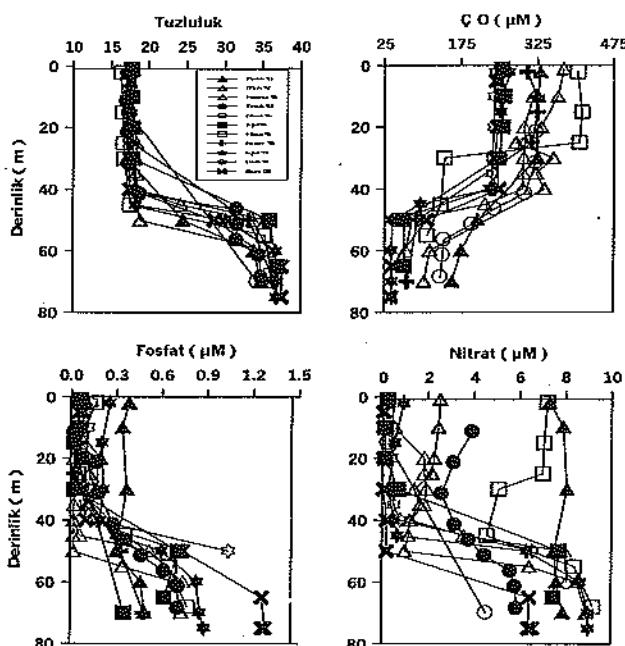
İSTANBUL BOĞAZI			ÇANAKKALE BOĞAZI				
Akıntı tabakası	Mevsim	Su akısı ( $10^9 \text{ m}^3$ )	$\text{NO}_3$ derişimi ( $\text{mmol}/\text{m}^3$ )	$\text{NO}_3$ akısı ( $*10^4 \text{ mol}$ )	Su akısı ( $10^9 \text{ m}^3$ )	$\text{NO}_3$ derişimi ( $\text{mmol}/\text{m}^3$ )	$\text{NO}_3$ akısı ( $*10^4 \text{ mol}$ )
Üst	İlkbahar	200	1,32	2,64	307	0,2	0,61
Üst	Yaz	158	0,42	0,66	194	0,12	0,23
Üst	Sonbahar	105	0,22	0,23	142	0,3	0,42
Üst	Kış	145	3,2	4,64	234	0,36	0,84
Alt	Yıllık	608	1,29	8,17	877	0,24	2,1
Alt	İlkbahar	94	9,17	8,62	202	1,14	2,3
Alt	Yaz	76	10,46	7,95	112	0,47	0,52
Alt	Sonbahar	49	9,34	4,58	87	0,88	0,76
Alt	Kış	68	9,81	6,67	158	1,62	2,55
Alt	Yıllık	287	9,7	27,8	559	1,03	6,13

#### FOSFAT-FOSFORU

İSTANBUL BOĞAZI			ÇANAKKALE BOĞAZI				
Akıntı tabakası	Mevsim	Su akısı ( $10^9 \text{ m}^3$ )	$\text{PO}_4$ derişimi ( $\text{mmol}/\text{m}^3$ )	$\text{PO}_4$ akısı ( $*10^6 \text{ mol}$ )	Su akısı ( $10^9 \text{ m}^3$ )	Fosfat ( $\text{nmol Cr}_6^{2-}/\text{m}^3$ )	Fosfat ( $*10^6 \text{ mol}$ )
Üst	İlkbahar	200	0,05	1,00	307	0,06	1,84
Üst	Yaz	158	0,03	0,47	194	0,03	0,58
Üst	Sonbahar	105	0,05	0,52	142	0,05	0,71
Üst	Kış	145	0,14	2,03	234	0,09	2,19
Alt	Yıllık	608	0,07	4,25	877	0,06	5,26
Alt	İlkbahar	94	0,92	8,65	202	0,05	1,01
Alt	Yaz	76	0,99	7,52	112	0,03	0,34
Alt	Sonbahar	49	0,91	4,46	87	0,05	0,43
Alt	Kış	68	1,07	7,27	158	0,05	0,79
Alt	Yıllık	287	0,97	27,84	559	0,05	2,79

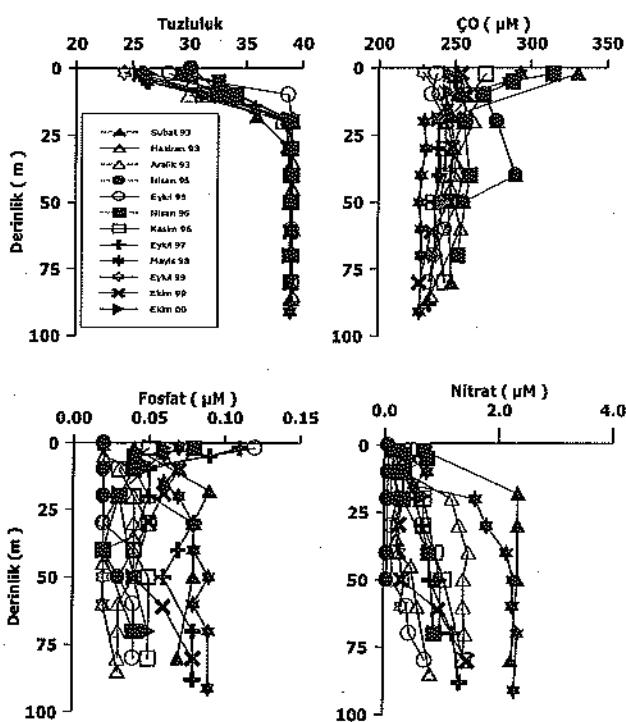
Çanakkale Boğazındaki iki tabakalı akıntı rejiminin besin tuzları (nitrat, fosfat) özellikleri, İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı sularında ölçülen değerlerden belirgin şekilde farklıdır. Çanakkale üst akıntısındaki mevsimsel değişim İstanbul Boğazındaki kadar çarpıcı değildir (Tablo 1). Üst akıntı nitrat değerleri,  $0.12\text{--}0.36 \mu\text{M}$ , fosfat ise çoğunlukla  $0.03\text{--}0.09 \mu\text{M}$  aralığında değiştiği gözlenmiştir. Bu sonuçlar, 1990-1995 dönemi bulgularıyla uyumludur (Polat ve Tuğrul, 1996). Yüzey sularındaki mevsimsel değişim ortalama 3 kat kadardır. Üst akıntıda nitrat/fosfat oranı çoğunlukla 1-10 aralığında olup, normal plankton çoğalması için gerekken  $\text{N}/\text{P}=16$  oranının oldukça altındadır. Oranın düşük bulunması, Marmara'dan Ege'ye taşınan sularda göreceli nitrat eksikliğinin olduğunu ve Marmara ve kuzey doğu Ege sularındaki plankton çoğalmasında muhtemelen nitratın sınırlayıcı rol oynadığını işaret etmektedir.

Kuzey Ege'nin suları Marmara'ya girerken doygunluk seviyesinde oksijen içerir; fakat besin elementlerince oldukça sakindir (Tablo 1, Şekil 2). Boğazın alt akıntıyla Marmaraya bu tuzlu suların fosfat derişimi kiş aylarında zaman zaman  $0.1 \mu\text{M}$ 'a kadar yükselse de; hesaplanan mevsimsel ortalamalar  $0.03\text{--}0.05 \mu\text{M}$  aralığındadır. Alt su nitrat mevsimsel ortalama değerleri yazın  $0.4 \mu\text{M}$  seviyesinde iken, kişin dikkate değer bir artışla 1.6 ortalama değere ulaşır ve ilkbaharda kısmi bir düşüş gösterir (Tablo 1). İlkbahar ve kiş aylarındaki besin tuzları artışının nedeni, derinlerdeki nitrat ve fosfatça kısmen zenginleşmiş suların "upwelling" prosesleriyle yüzeye yaklaşması ve Boğaz girişine kadar ulaşmasıdır. Bu dönenlerde boğaz alt akıntısında yapılan ölçümlelerde  $2.0 \mu\text{M}'u$  aşan nitrat değerleri ölçülmüştür (Şekil 2). Boğaz alt akıntındaki nitrat/fosfat oranı ( $>20$ ) oldukça yüksektir ve doğu Akdeniz'in genel özelliğini yansıtmaktadır (Yılmaz ve diğerleri, 1998).



Şekil 1. İstanbul Boğazı-Karadeniz girişindeki iki tabakalı akıntı rejiminde farklı zamanlarda ölçülen tuzluluk (S), çözünmüş oksijen (CO), nitrat ve reaktif fosfat profilleri

**Sonuç:** Türk Boğazlar Sisteminde son on yıldır ölçülen (TBS) besin tuzları derişimleri, iki tabakalı deniz ekosisteminin genel özelliklerini yansıtmaktadır. Tuna ile beslenen kuzey batı Karadeniz suları organik maddece her zaman zengindir ve seyrelerek Marmara'ya kadar ulaşır. Bu sular kiş aylarında yüksek nitrat ve fosfat derişimleri içerir. Ancak, Marmara boyunca Karadeniz sularının içерdiği fazla nitrat ve fosfat bileşenleri fotosentez yoluya tüketilir ve Çanakkale Boğazı'na ulaşıldığında nitrat ve fosfat derişimleri yüzey sularında düşer ve mevsimsel değişim çok azdır. Marmara'da fotosentez sadece Karadeniz suyuyla beslenen ince üst tabakada (10-20 metre) süregeldiği için Karadeniz kökenli yüzey suları organik maddece her zaman zengindir. Yüzey sularının altındaki tuzlu alt tabaka sularının kimyasal özelliklerindeki bölgesel ve mevsimsel değişimler oldukça düşüktür. Çünkü üretken yüzey sularından güneş ışığının ulaşmadığı tuzlu sulara yıl boyunca değişen miktarlarda partikül organik madde girdisi vardır. Bunun sonucu olarak düşük derişim fakat yüksek nitrat/fosfat oranı ile giren tuzlu Ege sularının kimyasal özellikleri, Marmara'da kaldığı 6-7 yıllık ortalamaya sürede önemli değişimle uğrar. Oksijen suboksik seviyelere ( $30-80 \mu\text{M}$ ) düşerken, nitrat ve fosfatça zenginleşir; N/P orantı 8-10 mertebesine düşer. Bu değişen özelliklerle Karadeniz'e kadar ulaşır. Diğer bir ifade ile, Karadeniz'den ve karasal kaynaklardan Marmara yüzey tabakasına taşınan besin tuzlarının önemli bir yüzdesi, boğaz alt akışlarıyla Karadeniz'in ara sularına taşınır. Son 25 yıldaki çevresel kirlenmeler sonucunda Marmara'nın alt tabaka sularındaki nitrat ve fosfat derişimleri artarken, ÇO azalmıştır.



Şekil 2. Çanakkale Boğazı-Ege girişindeki iki tabakalı akıntı rejiminde farklı zamanlarda ölçülen tuzluluk (S), çözünmüş oksijen (ÇO), nitrat ve reaktif fosfat profilleri

Marmara'nın toplam toplam fosfor bütçesi hesaplamalarına göre (Tuğrul ve Polat, 1995), Karadenizden giren yıllık TP yükü, karasal kaynaklı kırıltıcılarından giren TP yükü ve alt akıntıyla Karadenize taşınan yıllık TP miktarıyla yaklaşık aynı seviyelerdedir.

**Teşekkür:** Bu çalışma, TÜBİTAK ve İSKİ tarafından desteklenmiş, ODTÜ-DBE'ye ait olan R/V BİLİM araştırma gemisi ile gerçekleştirilmiştir.

### KAYNAKLAR

- Başturk, Ö., Tuğrul, S., Yılmaz, A. ve Saydam, C., 1990. Health of the Turkish Straits: Chemical and Environmental Aspects of the Sea of Marmara. METU-Institute of Marine Sciences, Teknik rapor No. 90/4, Erdemli-İçel, 69 sayfa.
- Beşiktepe, Ş., Özsoy, E ve Ünlüata, Ü., 1993. Filling of the Sea of Marmara by the Dardanelles Lower Layer Inflow, Deep-Sea Res., 40:1815-1838.
- Beşiktepe, Ş., Sur, H.İ., Özsoy, E., Latif, M.A., Oğuz T. ve Ünlüata, Ü., 1994. The circulation and hydrography of the Marmara Sea, Prog. Oceanogr., 34:285-334.
- Cociașu, A., Diaconu, V., Teren, L., Nae, I., Popa, L., Dorogan L. ve Malciu, V., 1997. Nutrient stocks on the Western shelf of the Black Sea in the last three decades. In E. Özsoy and A. Mikaelyan (eds), Sensitivity to change: Black Sea, Baltic and North Sea, NATO ASI Series, Kluwer Academic Publishers.
- Cociașu, A., Dorogan, L., Humborg, C. ve Popa, L., 1996. Long-term ecological changes in Romanian Coastal Waters of the Black Sea. Mar. Poll. Bull. 32(1):32-38.
- Grasshoff, K., 1975. The hydrochemistry of landlocked basins and fjords. In: Chemical Oceanography. J.P.RILEY ve SKIRROW (eds.), Academic Press, New York, sayfa:456-597.
- Orhon, D., Uslu, O., Meriç, S., Salihoglu İ. ve Filibeli, A. (1994). Wastewater Management for İstanbul: Basis for Treatment and Disposal. Environmental Pollution, 84:167-178.
- Polat, Ç.S. ve Tuğrul, S. 1995. Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus strait, Continental Shelf Res. 15(9):1115-1132.
- Polat, Ç. ve Tuğrul, S., 1996. Chemical exchange between the Med. and Black Sea via the Turkish straits. CIESM Science Series No.2, Bull. de l'Institut Océanog., 17: 167-186.
- Polat, Ç., Tuğrul, S., Çoban, Y., Baştürk Ö. ve Salihoglu, İ., 1998. Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara. Hydrobiologia, 363:157-167.
- Sorokin, Yu. I., 1983. The Black Sea. In Estuaries and Enclosed Seas, B.H. Ketchum (ed.), Ecosystem of the World. Elsevier yayını, Amsterdam: sayfa:253-292.
- Tuğrul, S. ve Polat, Ç., 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, 32: 115-121.
- Yılmaz, A. ve Tuğrul, S., 1998. The effect of cold- and warm-core eddies on the distribution and stoichiometry of dissolved nutrients in the north-eastern Mediterranean. J. Marine Systems, 16: 253-268.