

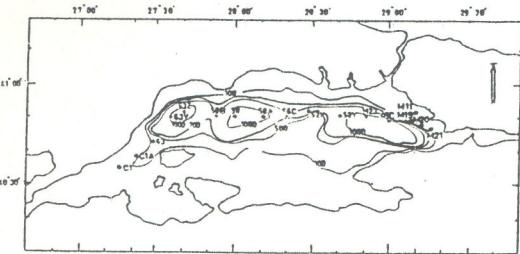
### MARMARA DENİZİ'NİN KİMYASAL OŞİNOGRAFİSİ\*

Bağturk, Ö., D. Ediger\*, A.F. Gaines\*, E. Hatipoğlu\*, N. Külliyyat\*, C. Polat\*,  
I. Salihoglu\*, G. Saydam\*, S. Taşgrul\*, S. Yemenicioğlu\*, K. Yılmaz\*, A. Yılmaz\*

(\*): Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K. 28,  
33731 Erdemli-İçel  
(\*\*): Akdeniz Üniversitesi, Kimya Fakültesi, Gazimağusa, Kuzey Kıbrıs  
Türk Cumhuriyeti

#### GİRİŞ:

Marmara Denizi, İstanbul ve Çanakkale boğalarından oluşan Türk Boğazlar sistemi oşinografik açıdan Karadeniz ile Ege Denizi-Akdeniz arasında geçiş özelligini taşıyan yarı kapalı bir sistemdir. Üzey alanı 11500 km<sup>2</sup> ve toplam hacmi 3378 km<sup>3</sup> olan Marmara Denizi, günümüzde kısmen sağ olmakla beraber 100 m'den az geniş bir sahanlık bölgeleryle, kuzeyde doğu-batı yönünde yerleşmiş ve derinliği 1000 m'yi aşan (maksimum derinlik 1335 m) bir derin çukur ile Şekil 1'de verilen topografik yapıya sahiptir.



Şekil 1. Marmara Denizinin topografyası ve oşinografik ölçüm yapılan istasyonlar

\*: Bu çalışmalarları destekleyen İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (ISKİ)  
Başkanlığına ve Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna (TÜBİTAK)  
burada teşekkür ederiz.

1

Marmara Denizi'nin en önemli özelliklerinden kökenli, az tuzlu ( $\sigma_0 = 22-25$ ) yüzey suları ile Akdeniz kökenli, tuzlu ( $\sigma_0 = 38.5$ ) dip suları arasındaki  $20-25$  m derinlikteki sürekli yoğunluk tabakalığının varlığıdır (Miller ve dig., 1970; Özsoy ve dig., 1986, 1988). Bu geçiş tabakası, biyolojik aktivitenin yoğun olduğu öfotik - iştaklı - bölgelerin alt sınırları da belirtmektedir. Karadeniz'den İstanbul Boğazı yoluyla taşıanan, Marmara Denizi'nin kendi doğal üretiminden ve insan faktöründen kaynaklanan farklı kökenli organik yük, mevcut tabakalığın nedeniyile atmosferde etkileşimini zayıf olan dip sularının oksijen faktör olmasına neden olmuştur. Diğer bir deyişle, Karadeniz'den Boğaz yüzey suları ile Çanakkale alt akıntıları yoluyla Ege Denizi'nden Marmara'ya giren suların oksijen doygun olmalarına karşılık Marmara Denizi dip sularının oksijen doygunluğu % 20-30 civarında kalmaktadır. Bu oksijen eksikliği, Marmara Denizi'nin jeolojik oluşumunu getirdiği doğal yapıdan kaynaklanmaktadır (Stanley ve Blanpied, 1980). Jeolojik oluşum yönünden Marmara Denizi sakin doğmuş bir deniz olarak kabul edilmektedir (Önusta ve Özsoy, 1986).

Marmara Denizi'nin ve Boğalar sisteminin genel hidrografisi tam olarak anlaşılmasına karşılık, bazı netleşmemiş oluşumlar söz konusudur. Bu nedenle sunulan bu makalede 1983-1990 yılları arasında R/V Bilim ile Marmara Denizi'nde Şekil 1'de gösterilen istasyonlarda mevsimsel şartlıklarla yapılan oşinografik çalışmalarдан elde edilen sonuçların değerlendirilmesi verilmüştür. Marmara Denizi'nin genel ve özel oşinografisi hakkında detaylı değerlendirmeler daha önce hazırlanan teknik raporlarda tartışılmıştır (Bağturk ve dig., 1986; Özsoy ve dig., 1988; Bağturk ve dig., 1988; Özsoy ve dig., 1988). Marmara Denizi'nin klimasal oşinografisinin değerlendirildiği bu makalede Boğalar sisteminin fiziksel dinamigi ile birlikte özellikleri birincil üretim parametreleri, basınçlar, organik yük akışı ve oksijen yetersizliğinin sebepleri tartışılmıştır. Böylece hızlanan sosyo-ekonomik gelişime ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan çeşitli boyutlarda eșvel ve endüstriyel kaynaklı atıkların deniz kirlenmesine neden olmuştur. Örnek olarak burada eșvel atıkların neden olduğu mikrobiyolojik kirlenme hakkında kısa bir yorum sunulacaktır.

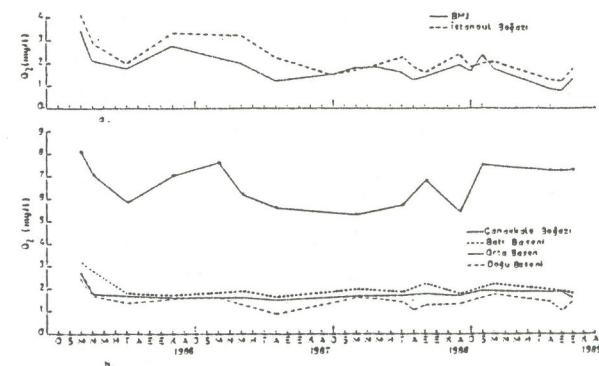
2

### MARMARA DENİZİ'NİN BİYOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

#### A- Çözünmeli Oksijen:

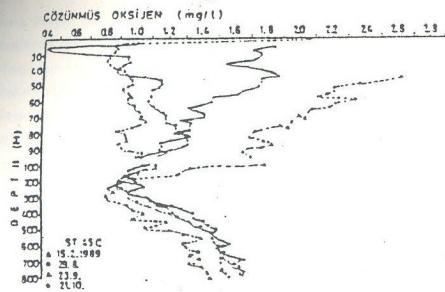
Marmara Denizi'nin doğusunda sakin olabileceği (Önusta ve Özsoy, 1986), jeolojik evrimi esnasında da değişik dönemlerde anoxic tabakaların oluştuğu (Stanley ve Blanpied, 1980) belirtilmektedir. Esasında, bugünkü mevcut şartların, sürekli yoğunluk tabakalığının getirdiği sınırlamalara ek olarak mevsimsel sıcaklık tabakalığının getirdiği sınır şartlarının da etkili olduğu yapılan çalışmalarla anlaşılmıştır.

Marmara Denizi'nin doğu-batı eksenin boyunca alt tabaka sularının içerdikleri ortalamalı oksijen miktarlarında gözlemlenen zamanla bağlı değişimler Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de görüleceği gibi, Marmara Denizi'nin İstanbul Boğazı ile keşif bölgelerinde (BMJ), tuzluluğu 38.5 ppt'den büyük olan alt tabaka sularının (50-200m) oksijen seviyelerinin yaz dönenlerinde 0.8-1.4 mg/l arasında değiştiği, kış dönenlerinde ise dikay karışımalar, Çanakkale'den giren yeni su katkılarının alt tabakaya karışması ve batı sularda birincil üretimin düşmesi ile haloklitin altı sulara az miktarlarda organik madda girdisi sonucu 50-200 metreler arasında çözünmeli oksijenin kısmen zenginleştiği 2-3 mg/l düzeyine ulaştığı görülmektedir. İstanbul Boğazı alt tabaka sularının, boğaz boyunca oluşan karışımaların etkisi ile, kuzeydoğu Marmara alt sularının orana daha fazla oksijen içereceği Şekil 2'den görülmektedir. Marmara Denizi'nin dip sularının içerdiği oksijen miktarı ise çevre basenlerde meydana gelen hidrolojik değişimler ve biyokimyasal olayları bağlı olarak yıllık değişimler gösterilebilmektedir (Şekil 2). 1-3 mg/l arasında değişen bu değer, batıdan doğuya doğru gidildikçe azalmaktadır. Marmara Denizi'nin dip sularına oksijen sağlayan Çanakkale Boğazı alt tabaka sularının oksijen seviyesi, kış dönenlerinde 7 mg/l iken, yaz dönenlerinde Ege Denizi'nin kendi iç tüketimi nedeniyile 5 mg/l değerine düşmektedir. Çanakkale'den giren alt suyundebiti ve oksijen içeriğine bağlı olarak Marmara Denizi'nin haloklit-altı sularının oksijen seviyeleri bölgeSEL ve mevsimsel değişimler göstermektedir.

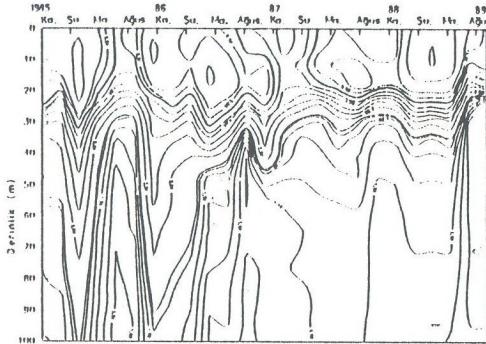


Şekil 2. Marmara Denizi basenlerinde ve Boğalar sisteminde haloklitin altı sularda (% 38.5) çözünmeli oksijenin 1985-1990 döneminde mevsimsel değişimleri

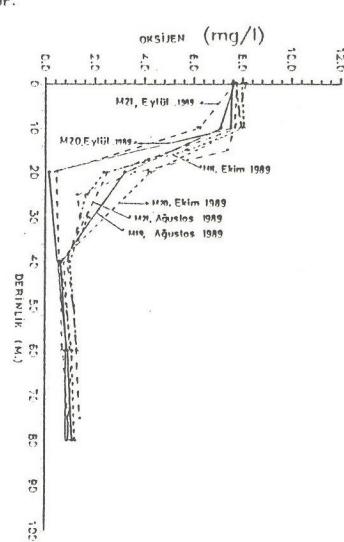
Son beş yıl içinde ODTÜ-DBE tarafından yapılan araştırmalarдан, alt tabaka sularının yenilenme süresinin 6-7 yıl olduğu, mevcut oksijen dengesinin korunması için bu tabaka sularının yeterli sıklıkta yenilenmesinin gerekliliği anlaşılmaktadır. Bunu başhar, her yıl lenme, dip sularının yoğunluğunun artmasına, yeterli karım olmasına durumunda ise bu yenilenme frekansının azalmasına yol açmaktadır. Çanakkale Boğazı yoluyla basenlere giren oksijenli suyun homojen olarak dağılmadığı oksijenin düşey değişiminden kolayca anlaşılmaktadır (Şekil 3). Marmara Denizi'nin iki tabakali yapısından dolayı, ortamın doğal yapısı mevsimsel değişimlere hassastır. Şekil 4'ten görüleceği gibi, canlılar için yaşamsal önemi olan 5 mg/l oksijen eşdeğerliği, 1985-1986 döneminde kuzeydoğu Marmara'da 40 metrelin altında iken, 1987 ve 1988 dönenlerinde 20-25 metreler arasında değişmektedir.



Şekil 3. Doğu baseninde 45-C İstasyonunda çözünmüz oksijenin değişim mevsimlerde düşey dağılımı



Şekil 4. Doğu baseninde 45-C İstasyonunda çözünmüz oksijenin değişiminin zamana karşı kesiti.



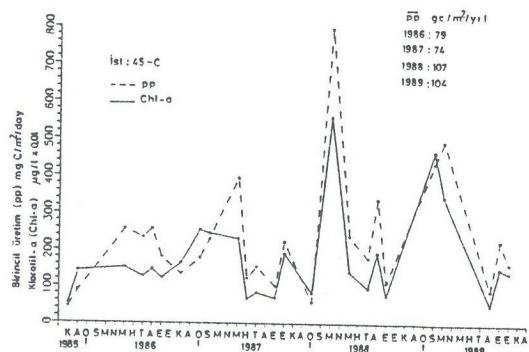
Şekil 5. Yaz ve Sonbahar 1989 dönemlerinde kara kaynaklı girdilerin etkisindeki Anadolu Yakası-Adalar Bölgesi içerisinde İstasyonlarda çözünmüz oksijenin düşey dağılımı

5

6

#### B-Basin Elementlerinin Dağılımları ve Bütçeleri:

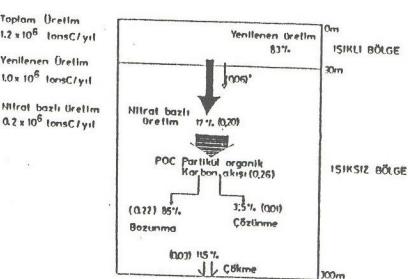
Kompozit denizlerle bağlantısını da ve sig boğazlar vasıtası ile sağlayan Marmara Denizi, temelde kendi bütyesinde oluşan ve Karadeniz'den gelen partikül haldeki organik karbon (POC) için bir çökelleme basen durumundadır. Doğu basen üzerinde yer alan 45-C İstasyonunda ölçülen klorofil-a ve buna bağlı olarak hesaplanan günümüze birencili üretimin 1985-1989 dönemi içindeki değişimi Şekil 6'da gösterilmiştir. Marmara Denizi'ndeki birencili üretimin yıllık ortalaması  $100 \text{ gC/m}^2$  olarak hesaplanmıştır (Gökmen, 1989). Bu değer, İzmit Körfezi gibi karaalıl kaynaklı kirlenticillerden yoğun şekilde etkilenen bölgelerde  $200-350 \text{ gC/m}^2/\text{yıl}$  seviyesine ulaşmaktadır (Tugrul ve dig., 1989).



Şekil 6. Doğu baseninde 45-C İstasyonunda klorofil-a ve birencili üretimin 1985-1989 yılları arasında mevsimsel dağılımı

Tüm Marmara basenin gözünde elindiginda, Ost tabaka sularında üretilen organik maddenin, karbon eşdeğerinin  $1.2 \times 10^6$  ton olduğu hesaplanmaktadır

(Şekil 7). Bu organik yükün  $20\%-80\%$ 'ı Ost tabaka içerisinde yeniden üretimin kullanılması biyolojik yollarla sağlanmaktadır, geriye kalan  $20\%-30\%$ 'u ise dip sularına ulaşarak bu tabaka içindeki oksijenin kullanılmasına neden olmaktadır. Dip sularına ulaşan organik karbonun  $25\%$ 'ı biyokimyasal oksitlenmelerle parçalanmaktadır ve ortama besin tuzları olarak geri dönmektedir. Alt tabaka sularındaki oksijen tüketimi en yoğun olarak  $30-300 \text{ m}$  derinlikleri arasında olmaktadır. Bu tabaka içerisinde parçalanmayan partikül halindeki organik karbonun  $24\%$ 'u çözülmüş hale gelmektedir, geriye kalan  $2\%-11\%$ 'ı ise dip sedimanlarında birikime uğramaktadır (Pöhl, 1989).



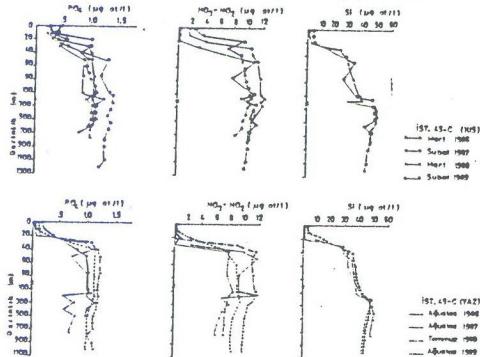
Şekil 7. Marmara Denizi'nde organik karbon döngüsünün kutsal şemasıyla Ost olarak gösterilisi

Ünlüata ve Özsoy (1986) Marmara Denizi ve boğazlarında 1985-1986 dönemlerinde ölçülen çözünmüz oksijen değerlerini kullanarak yaptıkları hesaplamalardan, haloiklin-altı suların yıllık oksijen tüketim hızını  $0.38-0.40 \text{ mg/l}$  olarak bulmuşlardır. Son dört yıl içinde ölçülen azot, fosfor ve organik karbon değerleri kullanılarak yapılan hesaplamalardan, yıllık oksijen tüketim hızı  $0.30 \text{ mg/l}$  olarak bulunmuştur. Farklı parametrelerden hesaplanan oksijen tüketim hızları birbirleriyle uyum içindedir.

7

8

Marmara Denizi'ndeki besin elementlerinin dağılımı, iki tabakalı sistemlerde görülen mevsimsel değişimleri yansıtmaktadır. Doğu baseninde yer alan 45-C istasyonunda 1986-1989 dönemini yaz ve kış mevsimlerinde ölçülen besin tuzlarının dikay değişimleri Şekil 8'de verilmektedir. Şekilden de görüleceği gibi, haloiklin-altı tabakada 100 m derinlige kadar düzgün olarak artan besin tuzları, daha derinlerde üst tabakalı birincil Oreatim miktarına ve bu tabakadaki su hareketlerine bağlı olarak mevsimsel değişimler göstermektedir. Dip sularında ölçülen fosfat, nitrat ve silikat iyonlarının kontrasyonları, sırasıyla 0,8-1,2  $\mu\text{M}$  N ve 40-50  $\mu\text{M}$  Si ortılığında değişmektedir.



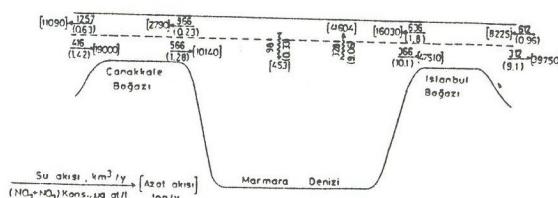
Şekil 8. Doğu baseninde 45-C istasyonunda besin tuzlarının kış ve yaz aylarında dikay dağılımı

Üst tabaka sularında ise, birincil Oreatimde kullanılan miktarları nedeniyile, besin tuzları kontrasyonları, yaz döneminde en düşük değerlerle ullaşmaktadır. Kış döneminde, artan dikay karışımı ve düşük birincil Oreatim nedeniyile, besin elementlerinin miktarlarında bir artış bulunmaktadır. 1988-1989 dönem içinde yapılan saha çalışmalarları sonunda bulunan ortalama besin tuzu miktarları, boğazlar ve Marmara Denizi basen boyunca olan su akım değerleri kullanılarak hesaplanan Marmara Denizi'nin azot ve fosfor bütçeleri, sırasıyla, Şekil 9 ve Şekil 10'da sunulmuştur. Şekillerden

9

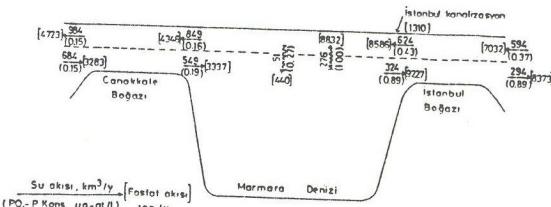
10

#### TOPLAM İNORGANİK AZOT ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) BÜTCESİ (1988-1989 Bulguları)



Şekil 9. Marmara Denizi ve Boğazlar sisteminde toplam inorganik azot ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2 - \text{N}$ ) bütçesi

#### FOSFAT BÜTCESİ (1986-1987 Bulguları)



Şekil 10. Marmara Denizi ve Boğazlar sisteminde toplam inorganik fosfat bütçesi

anlaşılması gibi, İstanbul Boğazı yoluyla Marmara Denizi'ne ulaşan Karadeniz kaynaklı suların içerdikleri organik ve anorganik formdeki besin tuzları Marmara'nın bütçesini önemli oranda etkilemektedir. Çanakkale Boğazı alt tabaka sular ile Marmara'ya ulaşan Ege kaynaklı tuzlu suların içerdikleri besin tuzu miktarları az olmakla beraber, toplam su akışı göz önünde bulundurduğumda, Marmara'nın bütçesine önemli etkileri olmaktadır, ve 6-7 yıllık kalış süresi içinde ortalamaya bir kat artarak Karadeniz'e ulaşmaktadır veya üst tabaka sularına karışarak Ege Denizi'ne girişi dönmemektedir.

#### C-Biyolojik Özellikleri:

Marmara Denizi'nin plankton populasyonu mevsimsel değişiklik göstergesine göre, baskın türün diatom türleri olduğu yapılan saha çalışmalarlarından anlaşılmaktadır. Bahar döneminin başlangıcında gözlenen plankton patlamaları esnasında planktonik türler arasında da değişimler olduğu gözlemlenmiştir (Bingöl ve Ünsal, 1986). Patlammanın başlangıc döneminde besin tuzu miktarları oldukça fazla olduğundan, boyutça büyük fakat yüzey/hacim oranının düşük olduğu pennata türler planktonlar baskın durumu göstermektedir. Besin tuzları miktarlarında meydana gelen azalmalarla paralel olarak daha küçük boyutları olan fakat yüzey/hacim oranları yüksük olan centric diatomeler baskın tür olmaktadır. Yüzey suyu sıcaklığının arttığı yaz dönemlerinde ise diatom türleri olmayan planktonlar, genellikle flagellatlı türler, birincil Oreatim'in önemli bir yıldızını oluşturmaktadır.

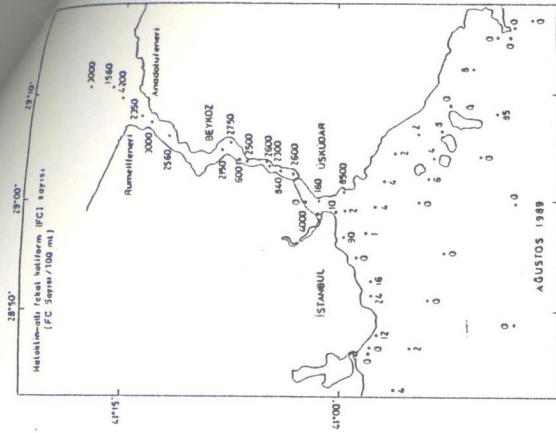
Balık türleri için bir geçiş bölge olan Marmara Denizi'nin iki tabakalı yapısından dolayı biyolojik yaşam ortalaması 30-50m derinlikle sınırlanmaktadır. Çanakkale Boğazı'ndan gelen oksijenli suların varlığından dolayı bu bölge girişine doğru yaşام derinliği artmaktadır. Biyolojik yaşamanın bir derinliğe etkişmiş olması, bu denizimizde yaşayan tüm canlı türlerinin kıyısal kirlenmelere de fazla etkilenebilmesine, balıkların ve diğer deniz canlılarının yumurtlaştığı veya barındığı kıyı bölgeleri dip çamurlarında biriken karasal kaynaklı kirliliklerin bazı türlerin zaman içinde yok olmasını neden olmaktadır. Deniz canlılarının tür ve miktarlarının arttırılması ve korunması yönünde yapılacak çalışmalarla, öncelikle kıyı bölgelerine etkisizden doğrudan daşarj edilen zehirli madde girdilerinin

azaltılması, üst tabaka sularına yapılan organik maddeler ve besin elementleri girdilerinin en az seviyeye indirilmesi gerekmektedir.

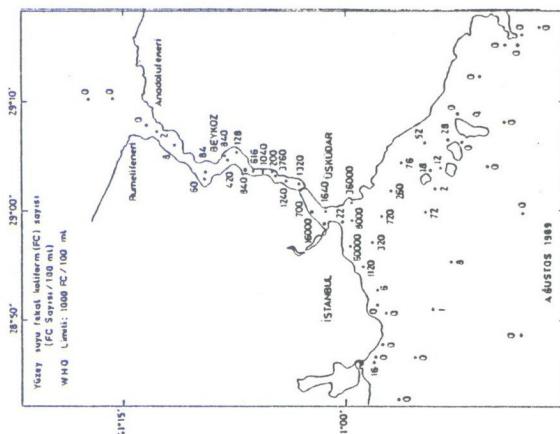
#### D-Fekal Koliform Seviyeleri:

1985-1989 dönemlerinde yapılan detaylı fekal koliform (FC) ölçümü sonucunda, İstanbul Boğazı'nın 100 ml deniz suyunda 0-10 FC olarak giren Karadeniz yüzey sularının Boğaz geçiş esnasında ve özellikle Dolmabahçe, Üsküdar ve Karaköy mevkilerinde yüzey daşarjları sebebiyle bakteriyolojik kirlenmeye uğradığı görülmüştür (Şekil 11). Boğaz açısından Marmara yönünde gidildikçe, kıyı bölgeleri hariç, doğal 810m ve fizikal seyrlemeler nedeniyle FC sayısının azalmasında ve Kocakırkemice-Fandik hattının kuzeyinde kalan bölgelerde görülmektedir. Daha sonra Boğaz'ın 100 ml deniz suyu sınırının altına inmektedir. Bu sınır daha çok kış mevsiminde yağmur sularının esesel ve endüstriyel atıkları yüzey yıkaması sonucunda kıyı şeridine etkilemektedir.

İstanbul Boğazı ile Kuzeydoğu Marmara Denizi'nin alt tabaka sularında Akıncılar Derin Daşarj Sistemi'nin işletmeye açılmadan önceki durumunu gösteren Kasım 1986 tarihli FC ölçümülerinden Boğaz alt tabaka sularının FC sayısı 400-600 arasındadırken, Akıncılar daşarjının işletmeye açılmışından sonra bu değer 100 ml deniz suyunda 2500-4000 FC seviyesine ulaşmıştır (Şekil 12). Daşarj nedeniyle artan bu bakteriyolojik yük, Boğaz alt akıntıları yoluyla Karadeniz kıyı sahilinin ve derin deniz basenine kadar ulaşmaktadır.



Sekil 12. İstanbul Boğazı ve Marmara ağzında değerler  
sonrası halickin altı sularda yaz dönem  
fekal koliform miktarları



Sekil 11. İstanbul Boğazı ve Marmara ağzında değerler  
sonrası yüzey sularında yaz dönem fekal  
koliform miktarları

#### KAYNAKLAR:

Bağtürk, Ö., A.C. Saydam, I. Selihoglu ve A. Tilmez, 1986, Türk Boğazlar Sisteminin Oginografisi, Türk Boğazlarının Sağlığı: Marmara Denizi'nin Kimyasal ve Çevresel Özellikleri, I. Yıllık Rapor, Cilt.III, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı, (İngilizce) Erdemli, İçel, Türkiye.

Bağtürk, Ö., A.Tilmez, C.Saydam and I.Selihoglu, 1988, Türk Boğazlar Sisteminin Oginografisi, Türk Boğazlarının Sağlığı: Marmara Denizi'nin Kimyasal ve Çevresel Özellikleri, II. Yıllık Rapor, Cilt.II, ODTÜ Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı, (İngilizce) Erdemli, İçel, Türkiye.

Bingöl, F ve M.Unsal, 1986, Boğazlar Sisteminin Oginografisi: İstanbul Boğazı Bölgesinin Biyolojisi, I. Yıllık Rapor, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı (İngilizce), Erdemli, İçel, Türkiye.

Gökmen, D., 1988, Fluctuations of Chlorophyll-a and Related Chemical, Biological and Physical Parameters in the Turkish Coastal Waters, M.Sc.Thesis, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, İçel, Türkiye.

Miller, A.R., P. Tchernia, H. Charnock and D.A. McGill, 1970; Mediterranean Sea Atlas of Temperature, Salinity, oxygen profiles and data from cruises of R/V Atlantis and R/V Chain with distribution of nutrient and chemical properties, WHOI Atlas Series 3, Woods Hole Oceanographic Institute, Woods Hole, Mass., pp:190

Özsoy, E., T.Oğuz, M.A.Latif ve Ü. Ünlüata, 1986, Türk Boğazlar Sisteminin Oginografisi, Türk Boğazlarının Fiziksel Oginografisi, I. Yıllık Rapor, Cilt.I, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı, (İngilizce) Erdemli, İçel, Türkiye.

Özsoy, E., T.Oğuz, M.A.Latif, Ü.Unlüata, R.I.Sur ve S.Bağıketepe, 1988: Türk Boğazlar Sisteminin Oginografisi, Türk Boğazlarının Fiziksel Oginografisi, II. Yıllık Rapor, Cilt.I, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı, (İngilizce) Erdemli, İçel, Türkiye.

Polat, Ç., 1989, The Supply, Use and Distribution of Organic Carbon in the Sea of Marmara, Ma.Sc. Thesis, Middle East Technical University, Institute of Marine Sciences, Erdemli-İçel, Türkiye.

14

13

Stanley, D.J. and C. Blanpied, 1980, Late Quaternary Water Exchange Between the Eastern Mediterranean inflow into the Black Sea, Nature, V.285, pp.537-541

Tuğrul,S., E.Morkoc ve Ö.Özsoy, 1989, Determination of Oceanographic Characteristics and Assimilation Capacity of the İzmit Bay, In: Waste Water Treatment and Disposal Studies, NATO-TÜ WATERS Projesi Sonuç Raporu, TÜBLTAK-MAE KİMYA Mühendisliği 8810md Yayıncı

Ünlüata, Ü. ve E.Özsoy, 1986, Türk Boğazlar Sisteminin Oginografisi, Türk Boğazlarının Sağlığı: I. Marmara Denizi'nin Oksijen Eksikliği, I. Yıllık Rapor, Cilt.II, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü Yayıncı, (İng.) Erdemli, İçel.

Ünlüata, Ü., T.Oğuz, M.A.Latif ve E.Özsoy, 1990, On the Physical Oceanography of the Turkish Straits, The Physical Oceanography of Sea Straits, L.J.Fratt (Ed.), NATO/ASI Series, Kluwar Academic Publishers

15