



MARMARA-KARADENİZ ARASINDAKİ BESİN ELEMENTLERİ TAŞINIMI, DOĞAL VE KARASAL KAYNAKLı GIRDİLERİN MARMARA EKOSİSTEMİNÉ ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Süleyman Tuğrul, Çolpan Polat*, Özden Baştürk, İlkay Salihoglu

ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, P.K. 28, 33731 Erdemli, İçel

*İÜ-Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Vefa, İstanbul

ÖZET: Karadeniz'den Marmara Denizi'ne İstanbul Boğazı üst akıntısıyla taşınan yıllık toplam fosfor (TP) ve azot (TN) yüklerinin hesaplamaları, boğazın güney ve kuzey girişlerinde yapılan sistematik ölçümlere ve Marmara Denizinin yıllık bazdaki su bütçesine dayanmaktadır. Yapılan hesaplamalara göre Karadeniz'den Marmara'ya yılda yaklaşık 0.98×10^4 ton TP ve 1.72×10^5 ton TN taşınmaktadır. 1990 yılı itibarı ile İstanbul bölgesinden Marmara Denizi'ne yılda 0.33×10^4 ton TP ve 0.17×10^5 ton TN girmektedir. Marmara'nın yüzey suyuna alt tabakadan giren yıllık TP miktarı Karadeniz girdisi ile aynı seviyededir. Fakat Karadeniz kaynaklı TN girdisi yaklaşık üç kat yüksektir. Batı Karadeniz ekosisteminin nehirlerle taşınan insan kaynaklı kimyasalların etkisiyle son 20 yılda dramatik değişimlere uğradığı dikkate alınırsa, Karadeniz kaynaklı Boğaz akıntısıyla üst tabakadaki suları yılda en az iki kez yenilenen Marmara Denizi'nin ciddi bir tehdit altında olduğu açıktır. Karadeniz kökenli kirleticiler Marmara Denizi'nin açık sularını etkilerken, boğaz dışında kalan bölgelerden Marmara'ya deşarj edilen atıksular, akıntıların zayıfladığı kıyı sularında birikime uğrayarak bu alanlardaki canlı yaşamı olumsuz etkilemektedir.

Anahtar sözcükler: Marmara Denizi, Karadeniz, besin elementleri, karasal girdiler

**NUTRIENT EXCHANGES BETWEEN THE MARMARA AND BLACK SEAS,
COMPARISON OF NATURAL FLUXES WITH MAN-MADE DISCHARGES INTO IN
THE MARMARA MARINE ECOSYSTEM.**

ABSTRACT: In the calculation of annual total phosphorus (TP) and nitrogen (TN) input from the Black Sea to the Sea of Marmara, the systematic chemical data obtained at the northern and southern entrances of Bosphorus and the water budget of the Marmara Sea were used. The Black Sea inputs were calculated to be 0.98×10^4 tonnes of TP and 1.72×10^5 tonnes of TN per year. Outstanding to 1990 population and industrial facilities of the İstanbul region, the waste loads damped to Bosphorus and Marmara surface layer were estimated as 0.33×10^4 tonnes TP and 0.17×10^5 tonnes of TN per year. The annual input of TP from the lower layer to the Marmara surface waters is very similar to the influx from the Black Sea; but the Black Sea TN input is nearly 3 times the one from the Marmara lower layer. When it is noticed to the ecological damage



in the Black Sea due to the increasing loads of nutrients via the riverine discharges during the last 20 years, it is obvious that the surface waters of the Sea of Marmara renewed twice a year with the Black Sea inflow could be threatened seriously with this fact. While the Black Sea originated pollutants are hitting the open waters of the Marmara Sea, the wastewaters damped to the surface waters of Marmara in the Bosphorus vicinity threatens the biological life of coastal waters where the currents are weak.

Key words: Marmara Sea, Black Sea, nutrients, anthropogenic inputs

GİRİŞ: Karadeniz'i İstanbul ve Çanakkale Boğazları yoluyla Akdeniz'e bağlayan Marmara Denizi, bulunduğu konumu itibarı ile Türkiye'nin bir iç denizidir. Boğazlardaki iki tabakalı ters yönlü akıntılar, suları çok daha tuzlu Akdeniz ile Karadeniz arasında sürekli etkileşime olanak verdiginden, Marmara Denizi'nde kendine özgü iki tabakalı bir deniz ekosistemi oluşmuştur (Grasshoff, 1975; Sorokin, 1983). TÜBİTAK ve İSKİ desteği ile son on yıldır Marmara-Boğazlar batı Karadeniz alanlarında sürdürulen deniz araştırmalarından, Marmara-Boğazlar sisteminin hidrodinamik özelliklerini tanımlamaya yönelik çok önemli bulgu ve bilgi birikimi sağlanmıştır (Ünlüata ve diğ., 1990; Beşiktepe, 1991; Baştürk ve diğ., 1990; Özsoy ve diğ., 1994; Polat ve Tuğrul, 1995, 1996; Polat ve diğ., 1998). Mevcut ters yönlü akıntılar, gerek Boğazlarda gereksiz Marmara baseni boyunca alt-üst tabaka arasında madde taşınımına neden olmaktadır. Karadeniz'den giren az tuzlu sular, Marmara Denizi'nde ortalama 4-5 ay kaldiktan sonra Çanakkale Boğazı yoluyla Ege Denizine ulaşmaktadır (Ünlüata ve diğ., 1990; Beşiktepe, 1991). Diğer bir deyişle, Marmara Denizi, son 30 yılda yüksek debili nehir girdileri ile sürekli kirlenen kuzeyden güneye doğru akan batı Karadeniz kıyısal yüzey sularının doğrudan etkisi altındadır. Aşırı üretken duruma gelen bu sularla yaşayan canlı türleri son 20 yılda aşırı azalmış, yeni türler ortaya çıkmış ve aşırı çoğalmıştır (Bologa, 1985; Mee, 1992). Karadeniz kaynaklı doğal baskılara ek olarak, Marmara Denizi kıyısal kuşağında son 20 yılda yoğun kentleşme ve sanayileşme sonucu, Marmara Denizi'ne verilen evsel-endüstriyel kaynaklı atıksular Marmara'nın kıyısal sığ sularındaki canlı yaşamı yok olma noktasına getirmiştir. Bunun en çarpıcı örnekleri, Haliç ve İzmit Körfezi ile İstanbul'un her iki yakasındaki sığ kıyısal kuşaktır.

Ege Denizi'nden Çanakkale Boğazı yoluyla giren tuzlu Akdeniz suları, Marmara'nın derin baseninde yaklaşık 6-7 yıl kaldiktan sonra Karadeniz'e ulaşmakta veya Marmara'nın üst tabaka sularına karışarak Ege'ye geri dönmektedir (Beşiktepe, 1991). Ege'den giren tuzlu sular oksijence zengin, fakat besin elementleri ve organik maddece fakirdir (Grasshoff, 1975; Sorokin, 1983; Polat ve Tuğrul, 1996). Marmara'da kaldığı sürece bu suların biyokimyasal özelliklerinde dikkate değer değişimler olduğu gözlenmiştir (Polat ve diğ., 1998).

Sistematiğ veri eksikliği nedeniyle Marmara Denizi ekosistemindeki bozunmanın biyolojik ve kimyasal boyutu tam olarak bilinmemektedir. Ancak, ekonomik değere sahip balık türlerinin sayısı ve yıllık avlanma miktarlarında aşırı azalmalar olduğu mevcut raporlarda açıkça vurgulanmaktadır.



Son yıllarda yapılan gözlemler, ekonomik değeri olmayan deniz anası ve benzeri jelimsi canlı türlerinin miktarında - Karadeniz girdisi nedeniyle - aşırı artışlar olmuştur. Karadeniz etkisi, kıyasal atıksu deşarjlarına bağlı kimyasal ve patojenik kirlenmeyle birleşince, Marmara Denizindeki bozunma turizm sektörünü de olumsuz etkilemektedir. Marmara Denizi ekosistemini Boğaz yoluyla Karadeniz'den ve alt tabakadan karışımıla giren kimyasal yükün mü, yoksa insan kaynaklı doğrudan yüklemelerin mi öncelikle kontrol ettiği, bulgu ve bilgi eksikleri nedeniyle hala tartışma konusudur. Bu konudaki bilinmeyenlerin bilimsel verilere dayanarak tartışıması ve güvenilir sonuçlara ulaşılması, Marmara Denizi ekolojik özelliklerindeki değişimlerin nedenlerinin uluslararası platformda tartışıması açısından son derece önemlidir. Çünkü Karadeniz ekosisteminin iyileştirilmesine yönelik bilimsel ve teknolojik gayretler Marmara'yı da doğrudan ilgilendirmektedir.

Bu raporda, iki tabakalı Marmara Denizi'ndeki plankton türü canlıların çoğalma hızları ve yoğunluğunu kontrol eden besin elementlerinin temel kaynakları ve tahmini yıllık yükleri, elde edilen bulgulardaki değişkenlikler ve belirsizliklerin derecesi ve nedenleri kısaca tartılmaktadır. Sonuçta, insan kaynaklı yüklemelerin Karadeniz girdisine kıyasla Marmara Denizi besin tuzları bütçesi üzerindeki rolünün derecesi hakkında bilimsel bulgulara dayalı yorumlar yapılmıştır.

ÖNEKLEME VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ: Deniz çalışmaları, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deniz Bilimleri Enstitüsü'ne ait R/V BİLİM gemisi ile yapılmıştır. Tuzluluk ve sıcaklık ölçümülerinde bilgisayar bağlantılı Sea-Bird model CTD probu kullanılmıştır. Deniz suyu örnekleri, CTD probuna bağlı 12 adet 5 litre kapasiteli plastik (PVC) Niskin şişeleri ile alınmıştır. Besin elementleri için alınan deniz suyu örnekleri, gemide kullanılabilen Technicon marka iki kanallı oto-analizör ile analiz edimiştir. Partikül organik (PON) ve partikül fosfor (PP) analizleri için deniz suyu örnekleri GF/F tipi filtrelerden süzülmüş (Polat ve Tuğrul, 1995) ve kurutulduktan sonra, filtrelerin PON içeriği Carlo-Erba model bir CHN analiz cihazı ile ölçülmüştür. PP tayini için filtre kağıdı üzerine toplanan partikül madde, 450 °C'de ısıtılarak organik fosfor bileşikleri anorganik yapıya dönüştürülmüş ve seyreltilik HCl ilavesiyle 90°C'de çözeltiye geçirilmiştir. Çözeltinin pH'sı 7'ye ayarlandıktan sonra standart o-fosfat ölçüm yöntemiyle fosfor ölçümü yapılmıştır (Polat ve Tuğrul, 1995, 1996).

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Boğaz Akıntısıyla Taşınan Karadeniz Suyunun Özellikleri: ODTÜ-DBE tarafından İstanbul Boğazı boyunca değişik mevsimlerde yapılan kısa ve uzun süreli tuzluluk ve akıntı ölçümülerinin sonuçlarına göre, Karadeniz'in Boğaz girişindeki homojen ve az tuzu (binde 17-18) suları 45-50 metrelilik bir tabaka halinde Marmara'ya doğru akar. Karadeniz akıntısı, Boğaz'ın güney ucuna ancak 10-15 metrelilik bir tabaka halinde ulaşır ve Marmara üst sularına karışır. Boğaz'ın Marmara girişinde, binde 30 eşitzlilik yüzeyinin altında kalan Akdeniz kaynaklı Marmara alt tabakasındaki tuzu sular, Boğaz'daki ters akıntıyla Karadeniz'e kadar taşınır (Beşiktepe, 1991; Özsoy ve diğ., 1994). Fakat binde 25-30'luk eşitzlilik yüzeyleri arasında kalan ince geçiş (haloklin) tabakasında ise iki yönlü akıntı hızları çok düşüktür. İstanbul Boğazı'nda yıl boyunca varlığını günlük ve mevsimsel ölçekli salınımlarla sürdürten iki tabakalı su akışını kontrol eden temel faktörler



Karadeniz ve Marmara Denizi'ndeki hidrolojik ve meteorolojik koşullar ile Karadeniz'e giren tatlı su debisindeki değişimler olduğu ifade edilmektedir (Beşiktepe, 1991; Özsoy ve diğ., 1994). Boğaz üst akıntısı genel olarak İlkbahar-yaz başlangıcı döneminde artar, sonbahar-kış döneminde ise kısmen azalır. Fakat şiddetli lodos döneminde üst akıntıının boğazın güneyinde - ender de olsa - birkaç saat süreyle tıkanlığı gözlenmiştir (Özsoy ve diğ., 1994). Benzer şekilde, üst su debisinin arttığı şiddetli poyraz dönemlerinde Boğaz'ın Karadeniz çıkışında tikanabilen ters yönde Boğaz alt akıntısı, Marmara'nın Akdeniz kökenli tuzlu sularını yıl boyunca değişen debilerde Karadeniz'e taşırl (Özsoy ve diğ., 1995). ODTÜ - Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde görevli bilim adamlarınca hesaplanan Marmara Denizi'nin su bütçesine göre yılda yaklaşık 560 km^3 ($20,000 \text{ m}^3 \text{ sn}^{-1}$) Karadeniz suyu Boğaz yoluyla Marmara'ya akarken, ters yönlü Boğaz alt akıntısı Marmara'dan Karadeniz'e yılda 262 km^3 tuzlu su taşırl (Ünlüata ve diğ., 1990; Beşiktepe, 1991).

Karadeniz'den Boğaz yönüne akan az tuzlu suların içerdiği anorganik besin elementlerinin (azot ve fosfor bileşikleri) derişimleri çarpıcı mevsimsel değişimler gösterir (Şekil 1). İlkbahar-sonbahar döneminde $0.1\text{-}0.2 \mu\text{M}$ seviyelerine kadar düşen nitrat derişimi, kışın $5\text{-}7 \mu\text{M}$ 'a kadar yükselir. Benzer mevsimsel değişim gösteren orto-fosfat derişimi, yazın genellikle $0.02\text{-}0.06 \mu\text{M}$ aralığında iken, kış döneminde $0.3\text{-}0.6 \mu\text{M}$ 'a kadar artar (Polat ve Tuğrul, 1995, 1996). Büylesine çarpıcı mevsimsel değişimlerin nedeni, kuzeybatı Karadeniz yüzey sularının kış aylarındaki yoğun dikey karışımlar sonucu alt tabakadan nitrat ve fosfatça zengin su taşımımı ve kış dönemde bu besin tuzlarının fotosentez yoluyla tüketiminin önemli oranda azalmasıdır. Dolayısı ile nitrat ve fosfat zengini yüzey suları kuzey-güney yönlü kıyısal akıntılarla Boğaz girişine kadar seyrelmeden ulaşabilmektedir (Polat ve Tuğrul, 1995). Son on yılda yapılan ölçümelerin aylık ortalamalarından hesaplanan yıllık ortalamalar; nitrat için $1.3 \mu\text{M}$, orto-fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) için ise $0.11 \mu\text{M}$ 'dır. Boğazda düzenli olarak çözünmüş amonyak (NH_4) ölçülmemişinden, güneybatı Karadeniz'de yapılan az sayıdaki ölçümelerden (Kirikova, 1986; Sapozhnikov, 1990, Codispoti ve diğ., 1991) Boğaz üst akıntısının yıllık ortalama amonyak derişimi $0.5 \mu\text{M}$ olarak alınmıştır. 1991-1995 dönemi mevsimsel sıklıkta yapılan PON ve PP ölçümelerinden mevsimsel PON ($0.5\text{-}5.5 \mu\text{M}$) ve PP ($0.07\text{-}0.23 \mu\text{M}$) bulgularından hesaplanan yıllık ortalamalar sırasıyla 1.9 ve $0.15 \mu\text{M}$ 'dır. Deniz suyundaki çözünmüş organik fosfor (DOP) derişimleri ise toplam fosfor (TP)-($\text{PO}_4\text{-PP}$) farkından hesaplanan yıllık DOP ortalaması $0.30 \mu\text{M}$ 'dır. Boğaz bölgesinde bugüne kadar çözünmüş organik azot (DON) ölçüyü yapılmadığından, Boğaz üst akıntısı için belirlenen $18 \mu\text{M}'luk$ ortalama DON derişiminde Batı Karadeniz verileri baz alınmıştır. Çünkü kuzeybatı Karadeniz'i besleyen nehirler, güneşe doğru akan kıyı sulara fazla miktarlarda anorganik ve organik azot bileşikleri taşırl ve bu kıyısal sular açık denize kıyasla daha fazla organik madde içerir (Sorokin, 1983; Mee, 1992). Boğaz için kabul edilen DON değeri, birçok yönyle Karadeniz'e benzeyen Baltık Denizi ve nehir girdilerinin yoğun olduğu diğer kıyısal denizlerin yüzey sularında ölçülen DON'ler ile uyumludur (Kullenberg, 1986; Gardner ve Stephens, 1978).

İstanbul Boğazı yoluyla Marmara'ya doğru akan Karadeniz yüzey sularının içerdikleri azot ve fosfor bileşikleri derişimlerinin yıllık ortalamaları Tablo 1'de sıralanmıştır. Göründüğü gibi, $0.56 \mu\text{M}'luk$ TP yıllık ortalamasının yaklaşık yarısı DOP kaynaklıdır. Yıllık ortalaması $21.7 \mu\text{M}$ olarak



hesaplanan TN'nun yaklaşık 80'ni ise DON kökenlidir. PON+NO₃+NH₄ toplamının TN'e katkısı ancak %20 mertebesindedir. Bunun nedeni, Karadeniz'in kuzeybatı kıyı sahanlığını besleyen akarsuların taşıdığı azot içerikli çözünmüş organik maddenin bakteriyel parçalanmaya dirençli olması, fakat sudaki çözünmüş anorganik azot bileşiklerinin fotosentez sonucu tüketilmesidir. Boğaz yoluyla Karadeniz'den Marmara'ya taşınan çözünmüş organik maddenin çoğunuğu Çanakkale üst akıntısıyla Akdeniz'e kadar ulaşır. Özette, Karadeniz'den Marmara'ya akan az tuzlu yüzey suları anorganik besin tuzlarında fakir, fakat organik yapıya bağlanmış besin elementlerince zengindir.

Dip akıntılarıyla Karadeniz'e ulaşan Akdeniz kökenli Marmara alt sularında ise tersine bir görüntü vardır (Tablo 1). Kuzeydoğu Ege'den Marmara'nın alt tabakasına giren Akdeniz'in tuzlu suları, burada kaldığı 6-7 yıllık sürede önemli kimyasal değişikliklere uğrar (Polat ve Tuğrul, 1996, 1998). Çanakkale girişinde besin elementlerince fakir olan (NO_3 :0.1-2.4 μM ; PO_4 :0.02-0.08 μM) Akdeniz suları, Çanakkale'den İstanbul Boğazı'na ulaşıcaya kadar geçen sürede, Marmara'nın yüzey sularından giren alt suda parçalan partikül organik madde nedeniyle nitrat ve orto-fosfatça aşırı zenginleşir (NO_3 :7-12 μM ; PO_4 :0.7-1.3 μM), fakat çözünmüş oksijence %70-80 oranında fakirleşir. Bu suların PON, DON, PP ve DOP derişimlerinde çarpıcı değişim olmaz (Polat ve Tuğrul, 1996).

Marmara Yüzey Sularına Giren Yıllık Azot ve Fosfor Yükleri: Karadeniz'den Marmara Denizi üst tabakasına taşınan yıllık toplam azot (TN) ve fosfor (TP) yüklerinin hesaplanması Tablo 1'de verilen yıllık ortalama konsantrasyon ve su akışı değerleri kullanılmıştır. Karadeniz'den ve diğer kaynaklardan Marmara yüzey sularına giren yıllık toplam besin elementleri yüklerinin karşılaştırması Tablo 2'de yapılmıştır. Karadeniz'den Marmara'ya boğaz yoluyla yılda yaklaşık 9.8×10^3 ton TP ve 1.7×10^5 ton TN taşınmaktadır. Sudaki toplam azot ve fosforu oluşturan anorganik ve organik bileşenler dikkate alındığında Karadenizden giren yıllık toplam fosfor (TP) yükünün yaklaşık %50'si DOP içerikli iken, TN yükünün yaklaşık %80'ni DON (Polat ve Tuğrul, 1996).

Marmara Denizi'ne verilen atıksu girdisinin öncelikle İstanbul bölgesindeki yoğun yerleşim ve sanayileşmeden kaynaklandığı bilinmektedir 1990 yılı verileri baz alınarak yapılan hesaplamalara göre, Boğaz-Marmara bölgesi kıyı sularına verilen yıllık TP ve TN yükleri sırasıyla 0.33×10^4 ve 0.20×10^5 tondur (Orhon ve dig., 1994). Bu girdilere, Yenikapı bölgesinden Boğaz alt akıntısına verilen yıllık TP (80.075×10^4) ve TN (0.038×10^5 ton) yükleri dahildir. Boğaz alt akıntına verilen yüklerin asgari %20'lik bir bölümünün boğaz boyunca meydana gelen dikey karışımalarla üst akıntıya taşıdığı ve sonuçta Marmara'ya döndüğü tahmin edilmektedir (Özsoy ve dig., 1995). Tugrul ve Polat'ın (1995) hesaplamalarına göre tüm Marmara basenine giren (İstanbul deşarji ve nehirler dahil) TP ve TN yükleri sırasıyla 0.77×10^4 ve 0.44×10^5 ton mertebesindedir ve bunların yarısına yakını İstanbul bölgesi atıksularından kaynaklanmaktadır (bkz Tablo 2).

Marmara Denizi üst tabakasındaki plankton çoğalmasını ve buna bağlı besin zincirini doğal (Karadeniz ve alt tabaka girdileri) ve karasal (atıksu ve nehir girdileri) kaynaklı besin elementleri

girdileri birlikte etkiler. Deniz ekosistemine bunların göreceli katkıları Tablo 2'de verilen yıllık azot ve fosfor yüklerinden kolayca anlaşılmaktadır. Karadeniz'den Boğaz yoluyla taşınan ve Marmara alt tabakasından dikey karışımımla belli bölgelerde yoğunlaşarak (doğal kaynaklardan) giren TP ve TN yükleri, Marmara Denizi üst tabakasına besin elementleri sağlayan ana kaynaklardır. Yalnızca Karadeniz'den giren yıllık TP yükü (%35), karasal kaynaklı toplam yükten (%28) fazladır. Bu fark TN yüklerinde çok daha belirgindir (bkz Tablo 2). Karasal kaynaklı girdilerin yarısına yakını İstanbul bölgesi kaynaklıdır. Geri kalan ise genellikle yarı kapalı körfezlere ve yatay su hareketlerinin kısmen yavaş olduğu sıg kıyı sulara olmaktadır. Öneimle vurgulamak gerekirse, Marmara Denizi ekosisteminin tümünü kontrol eden temel kaynak Karadeniz girdisidir. Bu su akısı Marmara'ya hem kimyasal madde hem de canlı kütle taşımaktadır. Tuna Nehri girdileriyle yoğun kirlenme etkisi altında olan kuzeypatı Karadeniz yüzey sularının yatay akıntılarla kısa sürede Boğaz Bölgesine ulaştığı dikkate alınırsa, Marmara Denizi'nin iyileştirilmesine yönelik plan ve projelerde Karadeniz faktörü önemle dikkate alınmalıdır. Boğaz üst akıntısı ile taşınan Karadeniz yüzey suları Marmara Denizi'nin tüm açık sularını ve kuzey Ege'yi etkilerken, kıyısal kuşaktan deşarj edilen atık sular ise zayıf akıntılar nedeniyle öncelikle sıg kıyı sahanlığındaki canlı yaşamı olumsuz etkilemeye ve kıyı suların alt tabakasında zaman zaman oksijensiz koşulları oluşturmaktadır. Ancak, kıyı sulara verilen kimyasal atıkların açık sulara ne miktarlarda ulaştığı ve kıyı sularındaki döngülerini yeterince bilinmemektedir.

Teşekkür: TÜBİTAK ve İSKİ tarafından desteklenen bu çalışmanın saha ve laboratuvar bulgularının eldesine katkı sağlayan tüm ÖDTÜ-DBE çalışanlara teşekkürü bir borç biliriz.

KAYNAKLAR

- BAŞTÜRK, Ö., TUĞRUL, S., YILMAZ, A., SAYDAM, C. (1990) Health of the Turkish Straits: Chemical and environmental aspects of the Sea of Marmara, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, No.90/4, Erdemli, İçel.
- BEŞİKTEPE, Ş. (1991) Some aspects of the circulation and dynamics of the Sea of Marmara, Doktora tezi, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 226 sayfa.
- BOLOGA, A. S. (1985) Planktonic primary productivity of the Black Sea: a review. *Thallassia Jugoslavica* Cilt: 21/22, 1-22.
- CODISPOTI, L.A., FRIEDERICH, G.E., MURRAY, J.W., SATAMOTO, C.M (1991) Chemical variability in the Black Sea: implications of data obtained with a continuous vertical profiling system that penetrated the oxic/anoxic interface, *Deep-Sea Res.*, Cilt:38(2), s:691-710.
- GARDNER W. S. ve STEPHENS, J. A. (1978) Stability and composition of terrestrially derived dissolved organic nitrogen in continental shelf surface waters. *Mar. Chem.*, Cilt:6, sayfa:335-342.
- GRASSHOFF, K. (1975) The hydrochemistry of landlocked basins and fjords. In: *Chemical oceanography*, J.P.RILEY ve SKIRROW (yazarlar). Acad. Press, N. Y., s:456-597.



- KIRIKOVA, M.V. (1986) The content of inorganic nitrogen forms in the upper layer of the Black Sea in the late summer period, *Marine Ecology*, Cilt:23, s:3-10.
- KULLENBERG G. (1981) The Baltic-a Regional Sea Marine Pollution Case Study. *Mar. Poll. Bulletin*, Cilt: 12(6), sayfa:179-182.
- MEE, L.D. (1992) The Black Sea in crisis: The need for concerted international action, *Ambio*, c:21 (4), s:278-286..
- ÖZSOY, E., GAINES, A.F. ve dig. (1994) Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow. Final Raporu, 2 Cilt, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli.
- POLAT, S.Ç. ve TUĞRUL, S. (1995) Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus Strait, *Continental Shelf Res.*, C:15, s:1115-1132.
- TUĞRUL, S. ve POLAT, S.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*, Cilt: 32(2), sayfa: 115-121.
- POLAT, S.Ç. ve TUĞRUL, S. (1996) Chemical exchanges between the Mediterranean and Black Sea via the Turkish Straits. In: Dynamics of Mediterranean Straits and Channels, F. Briand (yazarı), CIESM Science Series No:2, Monaco, sayfa: 167-186.
- POLAT, S.Ç., TUĞRUL, S., ÇOBAN, Y., BAŞTÜRK, Ö., SALİHOĞLU, İ. (1998) Elemental composition of seston and nutrient dynamics in the Sea of Marmara, *Hydrobiologia* C:363, s:157-167
- SAPOZHNIKOV, V.V. (1990) Ammonia in the Black Sea, *Oceanology*, C:30, s: 39-42.
- SOROKIN, Yu.I. (1983) Estuaries and Enclosed Seas. In: Ecosystem of the World, B.H. Ketchum (yazar), Elsevier Yayıncı, Amsterdam, s:253-291.
- ÜNLÜATA, Ü., OĞUZ, T., LATİF, M.A., ÖZSOY E. (1990) Physical Oceanography of the Straits, J. Pratt. (yazar), Hollanda, Kluwer Academic yayını, Cilt:318, sayfa: 25-60.

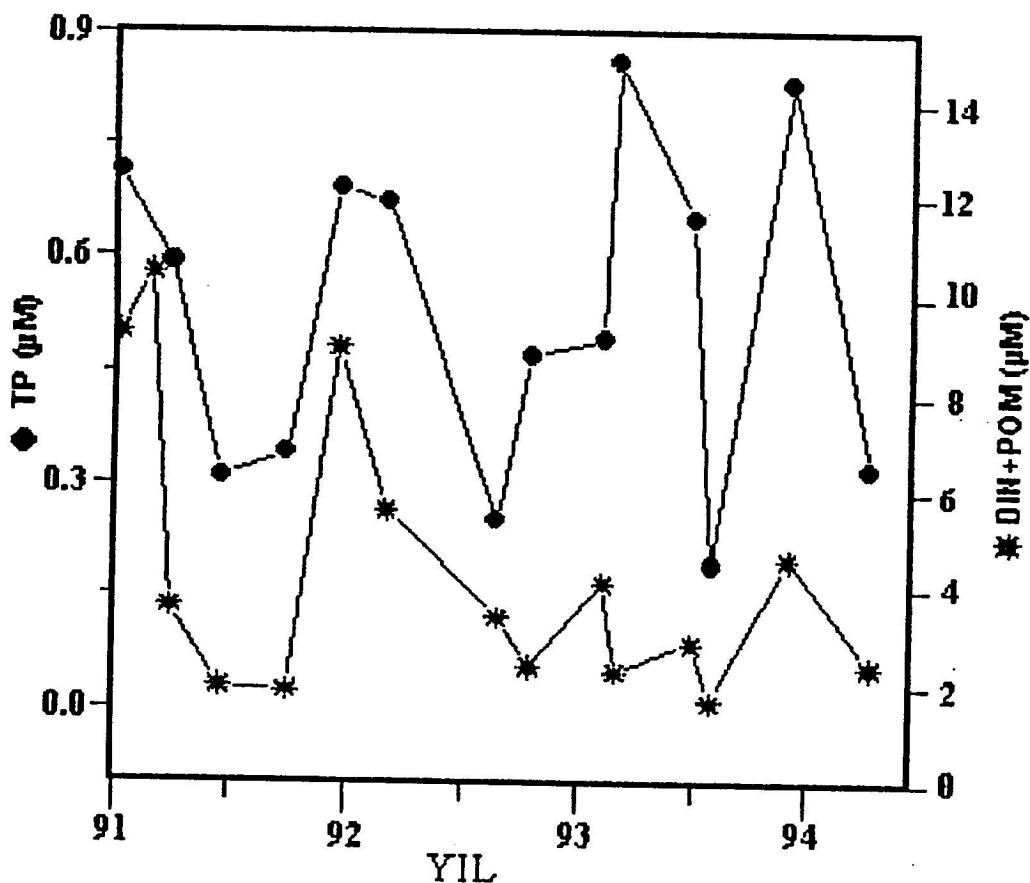
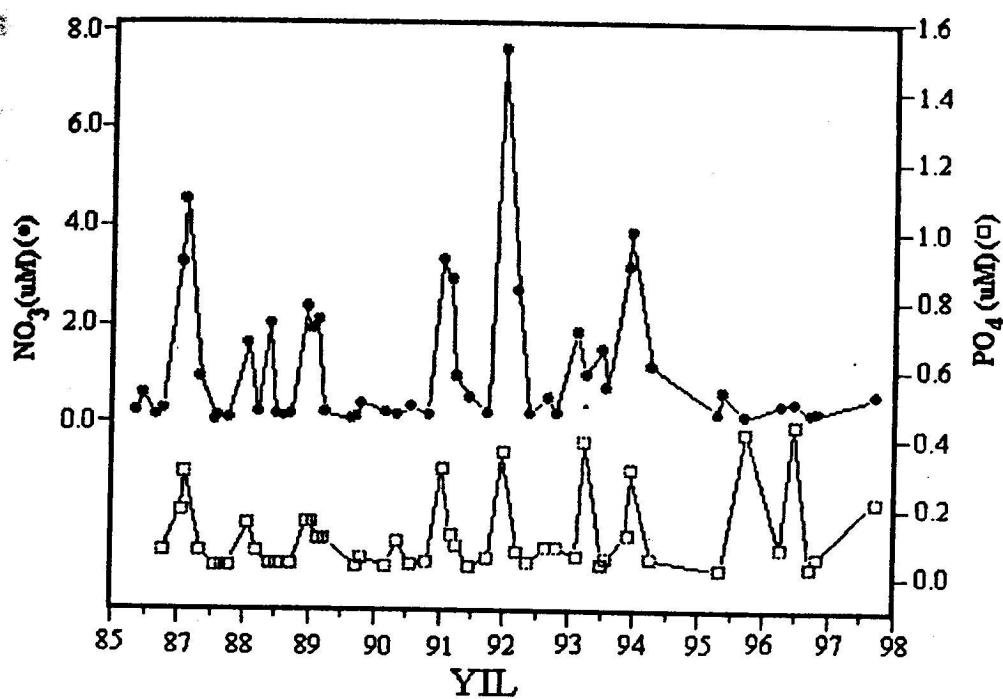
Tablo 1. İstanbul Boğazındaki ters yönlü akıntılarla Karadeniz'den Marmara'ya ve Marmara'dan Karadeniz'e giren az ve çok tuzlu suların besin elementleri derişimlerinin yıllık ortalamaları ve taşınan yıllık toplam yükler.

Parametre	Konsantrasyon (μM)		Yıllık Toplam Yük (ton)	
	Karadeniz yüzey suyu	Marmara alt suyu	Karadenizden Marmaraya	Marmaradan Karadenize
FOSFOR				
PO ₄	0.11	0.99	1.9×10^3	8.1×10^3
PP	0.15	0.05	2.6×10^3	0.4×10^3
DOP	0.30	0.06	5.3×10^3	0.5×10^3
TP	0.56	1.10	9.8×10^3	9.0×10^3
AZOT				
NH ₄	0.5	0.2	0.39×10^4	0.73×10^3
NO ₃	1.3	9.6	0.10×10^5	0.35×10^5
PON	1.9	0.4	0.15×10^5	1.46×10^3
DON	18.0	3.7	1.42×10^5	0.13×10^5
TN	21.7	13.9	1.71×10^5	0.51×10^5
Yıllık debi (km³)	562	263		

Tablo 2. Marmara Denizi üst tabakasına Karadeniz'den, Marmara alt tabakasından ve karasal kaynaklardan giren yıllık toplam azot (TN) ve fosfor (TP) yükleri (ton).

parametre	Karadeniz girdisi	Marmara Alt tabakasından	Karasal Kaynak ToplAMI*	İstanbul Bölgesi Atıkları
TN ($\times 10^5$)	1.72 (%64)	0.57 (%21)	0.40 (%15)	0.20 (%7.5)
TP ($\times 10^4$)	0.98 (%35)	1.02 (%37)	0.77 (%28)	0.33 (%12)

(*):Karasal kaynak toplamı, İstanbul bölgесinden Marmara'ya verilen atıksu kaynaklı TP ve TN yüklerini de kapsar.



Şekil 1. İstanbul Boğazı'ndaki Karadeniz Yüzey akıntısında Besin Elementleri Derişimlerinin Mevsimsel Değişimleri.