

Karadeniz'den ve İstanbul Atıklarından Marmara Denizi'ne Taşınan Yıllık Fosfor, Azot ve Organik Karbon Yükleri

Çolpan POLAT, Süleyman TUČRUL

Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, İçel-TÜRKİYE

Geliş Tarihi: 1 / 6 / 1994

Özet: Karadeniz'den Marmara Denizi'ne İstanbul Boğazı üst akıntısıyla taşınan yıllık toplam fosfor (TP), azot (TN) ve organik karbon (TOC) yüklerinin hesaplanması, boğazın güney ve kuzey girişlerinde 1986-1992 yılları arasında yapılan sistematik ölçümlere dayalı yeni su akıları ve kimsasal madde derişimlerinin yıllık ortalamaları baz alınmıştır. Yapılan hesaplamalara göre Karadeniz'den Marmara'ya yılda yaklaşık 0.94×10^4 ton TP, 1.90×10^5 ton TN ve 1.54×10^6 ton da TOC taşınmaktadır. 1990 yılı İstanbul toplam nüfusu ve bölgedeki mevcut sanayi kuruluşlarının kimsasal atık yükleri baz alınarak yapılan hesaplamalara göre ise, boğazın yüzey sularına ve boğaza yakın Marmara kıyı sularına verilen İstanbul bölgesi atıksularıyla Marmara Denizi'ne yılda 0.28×10^4 ton TP, 0.17×10^5 ton TN ve 0.08×10^6 ton TOC taşınmaktadır. Marmara'nın üst tabakasına bu iki kaynaktan giren yıllık kimsasal madde yükleri karşılaştırıldığında, Karadeniz girdilerinin, İstanbul kentsel atıklarının taşıdığı kimsasal yüklerden parametre bazında 4 ila 20 kat daha fazla olduğu görülmektedir. Batı Karadeniz ekosisteminin nehirlerle taşıyan insan kaynaklı kimsasalların etkisiyle son 20 yılda dramatik değişimlere uğradığı dikkate alınırsa, boğaz akıntısıyla üst tabakasındaki suları yılda en az iki kez Karadeniz Kökenli sularla yenilenen Marmara Denizi'nin ciddi bir tehdit altında olduğu açıktır. Karadeniz kökenli kirlilikler Marmara Denizi'nin açık sularını etkilerken, boğaz dışında kalan bölgelerden Marmara'ya deşarj edilen atıksular akıntıların zayıf olduğu kıyı sularında birikme uğrayarak bu alanlardaki canlı yaşamını etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Marmara Denizi, Karadeniz, Besin Tuzları, Organik Karbon, Karasal Girdiler

The Annual Influxes of Phosphorus, Nitrogen and Organic Carbon into the Marmara Sea from the Black Sea and İstanbul Wastes

Abstract: In the calculation of annual transports of total phosphorus (TP), nitrogen (TN) and organic carbon (TOC) from the Black Sea to the Sea of Marmara, the systematic water flow and average chemical concentration data obtained at the northern and southern entrances of the Bosphorus in 1986-1992 period were used. On this basis, the annual influxes from the Black Sea to the Sea of Marmara were calculated to be 0.94×10^4 tons P, 1.90×10^5 tons N, and 1.54×10^6 tons C. Based on the 1990 population and industrial facilities of the Istanbul region, the annual waste loads dumped onto the Bosphorus surface layer and the shore waters of the Marmara sea were calculated to be 0.28×10^4 tons P, 0.17×10^5 tons N, and 0.08×10^6 tons C. When these two sources which feed the surface waters of the Marmara Sea are compared, the Black Sea loads are obviously 4-20 times greater than the Istanbul waste loads. When noticing the ecological damage in the Black Sea due to the increasing pollutant loads with the riverine inputs in the last 20 years, it is obvious that the surface waters of the Sea of Marmara which renew twice a year with the Black Sea flow could be threatened seriously by this fact. While the Black Sea-originated pollutants contact the open waters of the Marmara Sea, the wastewaters dumped onto the surface waters of the Marmara in the Bosphorus vicinity threaten the biological life of coastal waters where the currents are weak.

Key Words: Marmara Sea, Black Sea, Nutrients, Organic Carbon, Anthropogenic Inputs

Giriş

Çevre sorunlarına bakış, 1980'li yıllarda başlayarak değişmiş ve bölgelik kirlilik haritalarının yanısıra olayları yerkürebazında inceleme ve değerlendirme eğilimi ağırlık kazanmıştır. Böylelikle birbiriyile etkileşim içindeki sistemlerin sorunlarına daha akıcı yaklaşımalarla

çözüm önerilerinin ve uygulamalarının getirilebilmesi sağlanmıştır.

Kapalı bir deniz ve çok geniş bir drenaj havzası görsütüsü çizen Karadeniz'in diğer denizlerle bağlantısını İstanbul Boğazı sağlar. Bu kanal aynı zamanda kirlenmenin önemli boyutlarda olduğu Karadeniz sularını

Marmara Denizi'ne ve buradan da Çanakkale Boğazı yoluyla Akdeniz'e taşır. Karadeniz'de geçmişte yapılan uzun dönemli çalışmalar, özellikle son 20 yıl içinde bu denizin ekosisteminde dramatik değişimlerin olduğunu ve biyolojik yaşam çeşitliliğini kontrol eden temel kimsesizlerin derişimlerinde de önemli değişikliklerin varlığını ortaya koymuştur (Tuğrul ve diğ., 1992, Mee, 1992). Örneğin Tuna Nehri'nin taşıdığı kimyasal kirlilik yükleri aynı dönemde 5-10 kat artmıştır (Mee, 1992). Bugün tartışılan bir diğer konu da Karadeniz'in sadece Marmara Denizi'nin değil, aynı zamanda Akdeniz'in de ekolojisini etkilemeyeceğini söylemektedir. Marmara Denizi için geçerli olan bir diğer durum da, bir iç deniz olması ve kıyılarda yoğun bir sanayileşme ile kentleşmenin yaşanmasıdır. Bunun sonucu olarak, bölge bazındaki kara kökenli kirletici yükler de önemli girdiler oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı'ndaki iki tabakalı akış rejimi üzerine son yıllarda kapsamlı bilimsel çalışmalar yapılmış olmasına rağmen, boğaz alt ve üst akıntılarıyla Karadeniz ve Marmara'ya taşınan kimyasalların mevsimsel değişimini ve yıllık yüklerini gösteren bilimsel veriler henüz yayınlanmamıştır. Geçmişte, Deuser (1971) ve Fonselius (1974) tarafından yapılan toplam organik karbon (TOC) ve toplam fosfor (TP) yüklerinin hesaplamaları eski aki verilerine ve sınırlı kimyasal ölçümlere dayandığından günümüzün değişen koşullarını yansıtmaktan uzaktır. Batı Karadeniz'e nehirler yoluyla ulaşan karasal (evsel+endüstriyel+tarımsal) kaynaklı kimyasal girdilerde son yıllarda gözlenen belirgin artış paralel olarak, İstanbul Boğazı üst akıntılarıyla Marmara'ya taşınan suların toplam besin tuzu (TP, TN) ve toplam organik karbon (TOC) konsantrasyonlarında belirgin artışların olması doğaldır (Polat ve Tuğrul, 1995). Diğer yandan, deniz ortamında süregelen biyokimyasal olaylar, Karadeniz'in yüzey sularındaki kimyasal maddelerin gerek nicelik, gerekse de nitelik olarak mevsimsel değişimler gösternesine ve uzak mesafelere farklı kimyasal yapılarında taşınmasına neden olmaktadır. Örneğin, nehirler yoluyla Karadeniz'in yüzey sularına karışan besin tuzları, boğaz bölgesine ulaşıcaya kadar besin zinciri yoluyla çevrimde uğrarlar; bir bölümü fotosentezde kullanılarak organik yapıya dönüşür ve partikül organik madde olarak deniz tabanında birikime uğrar; çözünmüş anorganik ve organik yapıda olanlar da su kütleleri ile birlikte taşınırlar. Bu nedenle, Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki kimyasal madde akışının sağılılı tahmini, ancak boğazın iki girişinde sistematik ölçümlein yapılması ile mümkündür. Boğaz alt ve üst akıntı ile taşınan suların kimyasal özelliklerinin ve yıllık yüklerin

belirlenmesi gerek komşu denizlerdeki besin tuzları ve organik karbon bütçelerinin oluşturulması, gerekse doğal ekolojik dengelerin bozulduğu bu denizlerin iyileştirilmesini amaçlayan yönetim programları için kritik öneme sahiptir.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi-Deniz Bilimleri Enstitüsü (ODTÜ-DBE), Marmara Denizi ve boğazlarda 1986'dan bu yana sistemli olarak oşinografik çalışmalarını sürdürmektedir. Elde edilen bulgulardan bir bölümünü değerlendirmeyi amaçlayan bu makalede, İstanbul Boğazı yoluyla Karadeniz'den Marmara'ya taşınan toplam fosfor, azot ve organik karbon yüklerinin hesaplanması yönelik yaklaşım ve sonuçlar sunulmuş ve bu yükler İstanbul kenti (evsel+endüstriyel) atıklarıyla Marmara'ya verilen yıllık toplam fosfor, azot ve organik karbon yükleriyle karşılaştırılmıştır.

Materyal ve Yöntemler

ODTÜ'nün "BİLİM" araştırma gemisiyle 1986-1992 yılları arasında İstanbul Boğazı'nın kuzey ve güney girişlerinde besin tuzları (fosfor ve azot bileşikleri) ve organik karbon analizleri için değişik derinliklerden örneklemler yapılmıştır. Asitle temizlenmiş poli-etenil şişelere alınan deniz suyu örnekleri buzdolabında ya da derin dondurucuda ölçüm zamanına kadar korunmuştur. Örneklerde reaktif fosfat ve nitrat-nitrit ölçümleri, Technicon tipi iki kanallı bir otoanalizör ile yapılmıştır. Toplam fosfor analizlerinde persülfat parçalama yöntemi ile fotometrik ölçüm metodu kullanılmıştır (Standard Methods, 1985). Deniz suyu örneklerindeki toplam çözünmüş organik karbon konsantrasyonları, 1989 yılına kadar persülfat+UV yöntemi ile daha sonra da Shimadzu model karbon analizöründe yüksek sıcaklık katalitik oksidasyon yöntemi uygulanarak ölçülmüştür (Polat, 1989, Tuğrul, 1993). Partikül organik karbon (POC), partikül organik azot (PON) ve partikül fosfor (PP) analizleri için 5-20 litrelik deniz suyu örnekleri GF/F tipi filtrelerden süzülmüş ve filtreler analize kadar derin dondurucuda korunmuştur. Filtreler üzerinde tutulan POC ve PON miktarlarının ölçümünde Carlo-Erba model bir CHN analizörü kullanılmıştır (Polat ve Tuğrul, 1995). PP analizleri için korunan filtreler, önce 450-500 °C'de yakılmış ve bu filtre üzerindeki organik fosfor bileşikler orto-fosfata dönüştürülmüştür. Daha sonra asit ilave edilerek filtre üzerindeki fosfat iyonları çözeltiye alınmış ve pH ayarlaması yapılmıştır. Anorganik fosfat analizinde olduğu gibi, aksorbik asit metodu kullanılarak fotometrik yöntemle ölçülmüştür (Standard Methods, 1985, Hawaii Ocean Time Series Prog-

ramme, 1990). Elde edilen filtre değerleri süzüntü hacmine bölünerek, örneklerinin POC, PON ve PP konstantrasyonları bulunmuştur.

Sonuçlar ve Tartışma

Boğaz Akıntısıyla Taşınan Karadeniz Suyunun Özellikleri

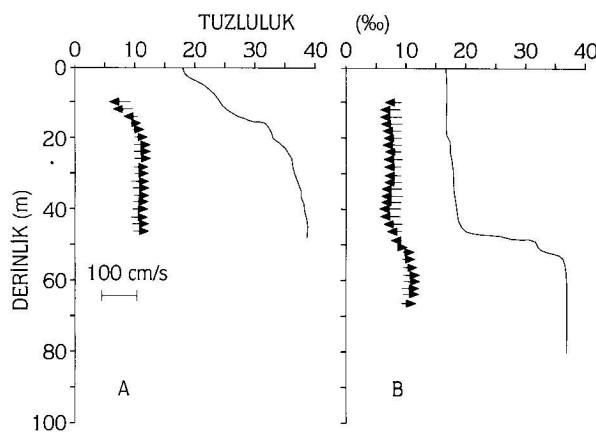
ODTÜ-DBE tarafından İstanbul Boğazı boyunca değişik mevsimlerde yapılan kesintisiz-akıntı ölçümlerinin sonuçları yakın zamanda yayınlanmıştır (Latif ve diğ., 1992). Bu verilere göre Karadeniz'in boğaz girişindeki homojen ve az tuzlu (%. 17-18) suları 45-50 metrelük bir tabaka halinde Marmara'ya doğru akmaktadır (Şekil 1). Karadeniz sularını taşıyan üst tabaka, boğazın kuzeyinden güney ucuna doğru gidildikçe incelenerken, 10-15 metrelük bir tabaka halinde Marmara üst sularına karışmaktadır. Yine, Şekil 1'den görüleceği gibi boğazın

Marmara girişinde, %. 30 eştuzluluk yüzeyinin altında kalan Akdeniz kaynaklı Marmara'nın tuzlu suları boğaz boyunca Karadeniz'e doğru akmaktadır; %. 25-30 eştuzluluk yüzeyleri arasında kalan ince geçiş (haloklin) tabakasında ise iki yönlü akıntı hızları çok düşüktür.

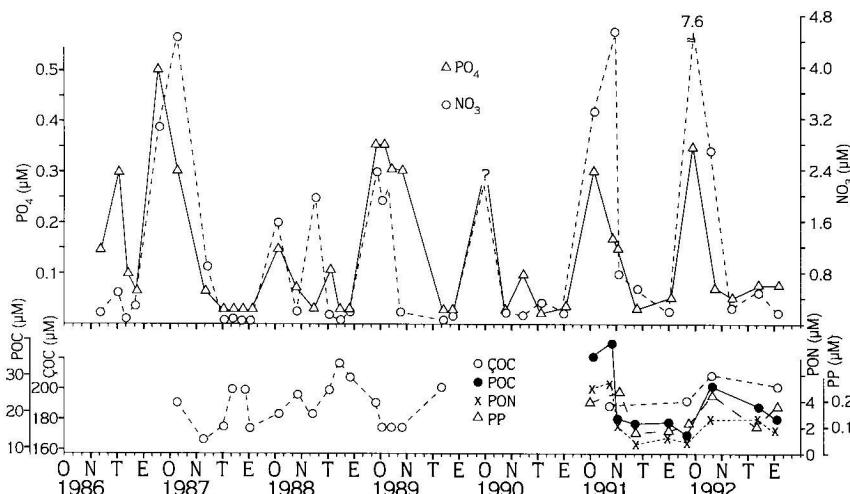
Karadeniz'den boğaz yönüne akan 45-50 metrelük su kolonunda kiş aylarında düzenli olarak artan anorganik besin tuzları (nitrat+nitrit ve orto-fosfat) derişimlerinin, ilkbahar-sonbahar dönemini kapsayan ay larda 5-10 kez düşüğü gözlenmiştir (Polat ve Tuğrul, 1995). Büylesine çarpıcı mevsimsel değişimler gösteren bulgulardan (Bkz. Şekil 2a) yıllık ortalama değerlere ulaşmak için önce 1986-1992 dönemine ait aylık ortalamalar hesaplanmıştır. Bu aylık ortalamalardan elde edilen yıllık ortalamalar ise (nitrat+nitrit) için $1.6 \pm 1.6 \mu\text{M}$ ($=\mu\text{mol/l}$), anorganik fosfat (CIP) için de $0.18 \pm 0.18 \mu\text{M}$ 'dir. Boğazda düzenli olarak çözünmüş amonyak ölçülmemişinden, Karadeniz'in güneybatı bölgesinde farklı gruplarca değişik zamanlarda toplanan sınırlı sayıdaki verilerden (Kirikova, 1986, Sapozhnikov, 1990, Codispoti ve diğ., 1991) boğaz üst akıntısının yıllık ortalama amonyak derişimi $0.5 \mu\text{M}$ olarak hesaplanmıştır.

Boğaza giren Karadeniz sularında 1991-1992 yılları arasında mevsimsel sıklıkta yapılan partikül organik azot (PON) ve partikül fosfor (PP) ölçümlerine (Şekil 2b) göre, mevsimsel olarak $1-5 \mu\text{M}$ arasında değişen PON derişimlerinin yıllık ortalaması $2.4 \mu\text{M}$ ve benzer mevsimsel salınımlar gösteren PP'nin yıllık ortalaması da $0.17 \mu\text{M}$ 'dir.

Karadeniz sularını Marmara'ya taşıyan boğaz üst akıntısının içерdiği çözünmüş organik fosfor (COP) konstantrasyonları, paralel örneklerde ölçülen toplam fosfor (TP) sonuçlarından ($\text{CIP}+\text{PP}$) değerlerinin çi-



Şekil 1. İstanbul Boğazı'nın Güney (A) ve Kuzey (B) Girişlerindeki Tipik Tuzluluk ve Akıntı Karakteri (Latif ve diğ., 1992)



Şekil 2. İstanbul Boğazı'nın Kuzey Girişinde Üst Tabaka Sularında Ölçülen ($\mu\text{M}=\mu\text{mol/l}$) Kimyasal Parametrelerin Zamana Bağlı Değişimleri (Polat ve Tuğrul, 1995).

kartılmasıyla hesaplanmıştır. Mevsimsel bulgulardan hesaplanan ortalama ÇOP konsantrasyonu $0.15 \mu\text{M}$ 'dır. Boğaz bölgesinde bugüne kadar çözünmüş organik azot (ÇON) ölçümü yapılmadığından, boğaz üst akıntısı için ortalama ÇON derişiminin belirlenmesinde Batı Karadeniz verileri kullanılmıştır. Bu bölgenin geniş ve sık kış sahanlığına nehirler ve doğrudan atıksular aracılığı ile fazla miktarlarda anorganik ve organik azot bileşikleri girdiğinden, boğaz üst akıntılarıyla Karadeniz'i terk eden Batı Karadeniz kıyı sularının, açık sulara kıyasla daha yüksek ÇON içermesi doğaldır. Bu nedenle, batı bölgesi için verilen $18 \mu\text{M}'lik$ ÇON konsantrasyonu (Sorokin, 1983) boğaz üst akıntısı için yıllık ortalama değer olarak kabul edilmiştir. Bu değer, birçok yönyle Karadeniz'e benzeyen Baltık Denizi ve nehir girdilerinin yoğun olduğu diğer kıyısal denizlerin yüzey suları ortalama ÇON değerleri ile çok uyumludur.

Boğaz üst akıntısında ölçülen çözünmüş organik karbon (ÇOC) değerlerindeki mevsimsel değişim, anorganik besin elementlerinde gözlenen salınımlara kıyasla daha azdır (Polat ve Tuğrul, 1995). Bunun da nedeni, Karadeniz yüzey sularının, nehirlerle taşınan karasal (kırılık+doğal) kaynaklı ve biyokimyasal bozunmaya dirençli fazla miktarlarda organik madde içermesidir. 1987-1992 dönemini kapsayan ÇOC ölçümülarından hesaplanan yıllık ortalama değer $191 \mu\text{M}$ 'dır. Yalnızca 1991-1992 yılları arasında mevsimsel sıklıkla yapılan partikül organik karbon (POC) ölçümünün yıllık ortalaması $21 \mu\text{M}$ 'dır. Şekil 2b'den görüleceği gibi, Karadeniz'de birincil üretimin arttığı mevsimlerde (Polat ve Tuğrul, 1995) boğaz sularının gerek ÇOC gereke POC derişimi artış göstermektedir; bu değişim aralıkları ise bize boğaz üst akıntısıyla Marmara'ya taşınan organik maddenin ne kadarının bakterilerce kolayca parçalanabilir yapıda olduğu hakkında bilgi vermektedir.

İstanbul Boğazı yoluyla Marmara'ya doğru akan Karadeniz yüzey sularının içerdikleri besin tuzları ve organik karbon derişimlerinin yıllık ortalamaları Tablo 1'de sıralanmıştır. Göründüğü gibi, $0.50 \mu\text{M}'lik$ TP yıllık ortalamasını meydana getiren fosfor bileşenlerinin derişimleri karşılaştırılabilir seviyelerde iken, $22.5 \mu\text{M}'lik$ toplam azotun (TN) en önemli bileşenini ÇON oluşturmaktadır. Bunun nedeni de boğaza giren Karadeniz suyundaki ÇON'un önemli bir oranının bakteriyel parçalanmaya karşı dirençli ve karasal kaynaklı organik madde yapısında bulunmaktadır (Sorokin, 1983).

Boğazdaki ters yönlü akıntı sistemini oluşturan Karadeniz kökenli az tuzlu suların kimyasal özellikleri, dip akıntılarıyla Karadeniz'e ulaşan Akdeniz kökenli Mar-

mara alt sularının özelliklerinden önemli farklılıklar gösterir (Polat ve Tuğrul, 1995). Çanakkale yoluyla Marmara Denizi'nin alt tabakasına giren Akdeniz'in tuzlu suları, burada kaldığı 6-7 yıllık süre içinde önemli kimyasal değişikliklere uğramaktadır (Baştürk ve diğ., 1990, Polat ve Tuğrul, 1995); anorganik besin tuzlarıncı zenginleşip, çözünmüş oksijence de %670-80 faktörleserek İstanbul Boğazı'na ulaşır. Boğaz alt akıntısıyla Marmara'yı terk eden tuzlu suların kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde, 1986-1992 yılları arasında bölgедe yapılan ölçüm sonuçları kullanılmıştır (Polat ve Tuğrul, 1995); mevsimsel salınımı üst tabaka sularına kıyasla çok daha az olan değerlerden hesaplanan yıllık ortalamalar Tablo 1'de verilmiştir. Göründüğü gibi, Karadeniz'den Marmara'ya giren az tuzlu sular, Marmara alt sularına kıyasla daha fazla POC, ÇOC ve organik azot içermektedirler. Marmara suları ise anorganik besin tuzlarıncı (orto-fosfat ve nitrat) zengindir.

İstanbul Boğazındaki Su Akışları

İstanbul Boğazı'nda yıl boyunca varlığını günlük ve mevsimsel ölçekli salınımlarla sürdürden iki tabakalı akış rejimini kontrol eden temel faktörler Karadeniz ve Marmara Denizi'ndeki hidrolojik ve meteorolojik koşullar ile Karadeniz'e giren tatlı su debisindeki değişimelerdir (Latif ve diğ., 1992). Karadeniz sularını Marmara'ya taşıyan boğaz üst akıntısının ilkbahar-yaz başlangıcı döneminde artış gösterdiği, sonbahar-kış döneminde ise kısmen azaldığı ifade edilmektedir (Latif

Tablo 1. İstanbul Boğazı'nın Karadeniz Girişinde Üst Su Tabakasına, Marmara Girişinde ise Tuzlu Alt Su Tabakasına Ait Yıllık Ortalama Anorganik ve Organik Madde Derişimleri, μM (Polat ve Tuğrul, 1995)

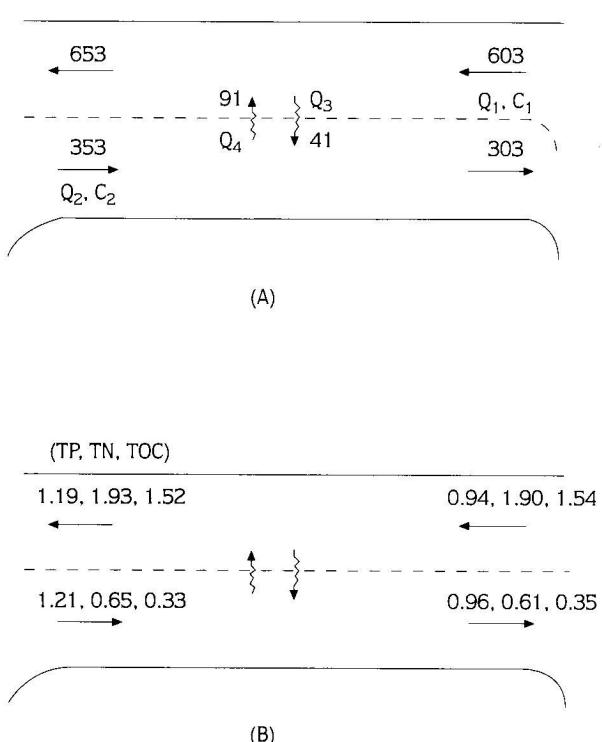
Parametre	Karadeniz-Üst	Marmara-alt
ÇIP (PO_4^3-P)	0.18	1.01
PP	0.17	0.05
ÇOP	0.15	0.05
TP	0.50	1.11
NH_4^-N	0.5	0.2
$\text{NO}_3^-+\text{NO}_2^-\text{N}$	1.6	9.5
$\text{ÇIN}(\text{NH}_4^++\text{NO}_3^-+\text{NO}_2^-\text{N})$	2.1	9.7
PON	2.4	0.4
ÇON	18.0	3.0
TN	22.5	13.1
ÇOC	191.0	73.0
POC	21.0	5.2
TOC	212.0	78.2

ve diğ., 1992). Fakat, şiddetli lodos döneminde üst akıntıının boğazın güneyinde -ender de olsa- birkaç saat süreyle tıkandığı gözlenmiştir. Benzer şekilde, üst su debisinin arttığı şiddetli poyraz dönemlerinde Karadeniz çıkışında tikanabilen ters yönlü boğaz alt akıntıları, Marmara'nın Akdeniz kökenli tuzlu sularını yıl boyunca değişen debilerde Karadeniz'e taşımaktadır (Latif ve diğ., 1992, Özsoy ve diğ., 1992).

ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü'nde görevli bilim adamları Marmara Denizi'nin su dengesini Kütlenin ve tuzluluğun korunumu denklemlerini kullanarak ilk kez 1986'da hesaplamışlardır (Özsoy ve diğ., 1986). Bu su akı değerlerinin geçerliliği 1986-1991 fiziksel bulgularına dayalı hesaplamalarla da kanıtlanmıştır (Ünlüata ve diğ., 1990, Beşiktepe, 1991). Beşiktepe (1991) tarafından yapılan hesaplamalara (Şekil 3a) göre yılda yaklaşık 603 km^3 ($20,000 \text{ m}^3 \text{ sn}^{-1}$) Karadeniz suyu İstanbul Boğazı'na girmekte ve bunun yaklaşık 40 km^3 'ü boğazdaki dikey karışımılarla alt suya geçerek tekrar Karadeniz'in ara tabakasına dönmektedir. Buna karşılık boğaz alt akıntı ile Marmara'yı terk eden Akdeniz kökenli tuzlu suların ($353 \text{ km}^3 \text{ y}^{-1}$) yaklaşık %25'i (91 km^3), özellikle boğazın güney çıkışına yakın bölgesinde süregelen dikey karışımılarla Karadeniz akıntısına karışarak Marmara'nın üst sularına geri dönmekte ve daha sonra da Çanakkale yoluya Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Boğaz geçişi sırasında ters yönlü Karadeniz akıntı ile kısmen seyrelen boğaz alt akıntı, Karadeniz'in ara tabakasına karışırken yıllık toplam debisi 303 km^3 'ye ulaşmaktadır (Şekil 3a); bunun yaklaşık 260 km^3 'ünü Marmara'nın tuzlu suları oluşturmaktadır.

Boğaz Üst Akıntıyla Karadeniz'den Marmara'ya Taşınan Yıllık Toplam Fosfor, Azot ve Organik Karbon Yükleri

Istanbul Boğazı'nın kendi iç dinamiği ile Marmara Denizi'ne taşınan toplam fosfor, azot ve organik karbon yüklerinin hesaplanması Tablo 1'de verilen toplam konsantrasyon değerleri ve Şekil 3'a yıllık su akış verileri kullanılmıştır. Toplam konsantrasyon değerlerinin kullanılmasındaki amaç, aynı bazda hesaplanmış olan İstanbul kentsel atık yükleriyle bir karşılaştırmaya gideilmektedir. Şekil 3'a verilen değerlere göre Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki yıllık su değişimi 603 ve 353 km^3 kadardır (Beşiktepe, 1991). Bu değerler aynı suların ortalama kimyasal konsantrasyonları ile çarpıldığında ve boğazdaki dikey karışımılar meydana gelen kayıp ve kazanımlar dikkate alındığında Karadeniz'den Marmara'ya taşınan toplam fosfor, azot ve organik karbonun net yükleri bulunur.



Şekil 3. İstanbul Boğazı'ndaki Su ve Kimyasal Madde Akıları: (A) Su Akıları ($\text{km}^3 \text{ y}^{-1}$; Beşiktepe, 1991); (B) Toplam Fosfor ($\text{x} 10^4 \text{ ton P y}^{-1}$), Toplam Azot ($\text{x} 10^5 \text{ ton N y}^{-1}$) ve Toplam Organik Karbon Akıları ($\text{x} 10^6 \text{ ton C y}^{-1}$)

Boğaz üst akıntı ile Marmara'ya giren yıllık kimyasal yükler aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır:

$$\text{Yıllık toplam net yük} = C_1 * (Q_1 - Q_3) + Q_4 * C_2$$

C_1 ve C_2 , sırasıyla, Tablo 1'de verilen ve boğaz kuzey girişinde Karadeniz-yüzey ve güney girişinde Marmara-alt sularındaki ortalama fosfor, azot ve organik karbon konsantrasyonlarını ifade eder. Q_i , ise Şekil 3'a yönleri gösterilen yıllık su akışlarıdır.

Yukarıda belirtilen yaklaşımıyla yapılan hesaplamaların sonuçları şematik olarak Şekil 3b'de verilmiştir. Buna göre, boğaz üst akıntıyla yılda yaklaşık $9,400$ ton toplam fosfor (TP) Karadeniz'den Marmara'ya taşınmaktadır. Çözünmüş anorganik fosfor (ÇİP) açısından zengin, ters yönlü alt akıntıdan dikey karışımılarla boğaz üst akıntısına yaklaşık $3,000$ ton yil^{-1} TP girdisi ile birlikte Marmara'ya ulaşan yıllık TP miktarı $12,000$ tona çıkmaktadır. Bu TP yükünün yaklaşık %50'si ÇİP, %26'sı PP ve %24 kadarı da ÇOP'dır (Polat ve Tuğrul, 1995).

Karadeniz'den Marmara'ya taşınan toplam azot yükü $190,000$ ton yil^{-1} dir. Boğazdaki dikey karışımılar

da dikkate alındığında Marmara yüzey sularına karışan yıllık toplam net azot yükü 1.93×10^5 ton yıl^{-1} düzeyindedir. Karadeniz'den giren TN yükünün %75'ini ÇON, %10'unu PON, %15'ni de ÇİN oluşturmaktadır (Polat ve Tuğrul, 1995).

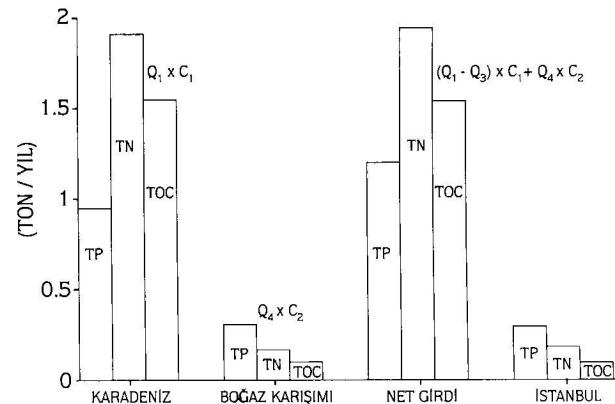
Karadeniz'den Marmara Denizi'ne taşınan toplam organik karbon yükü 1.54×10^6 ton yıl^{-1} seviyesindedir. Bu miktar, Marmara Denizi'ni terk eden yıllık 0.33×10^6 ton TOC ile kıyaslandığında Boğaz akıntıları yoluyla Karadeniz'den net bir organik madde kaybı olduğu görülmektedir. Marmara'ya giren bu TOC yükünün çoğu biyokimyasal parçalanmaya uğramadan Çanakkale yoluyla Ege ve Akdeniz'e kadar ulaşmaktadır.

İstanbul Kentsel Atıklarıyla Marmara'ya Taşınan Yıllık Toplam Fosfor, Azot ve Organik Karbon Yükleri

Marmara Denizi'ne -kendi bünyesi içinde- en fazla kirlilik yükünün İstanbul bölgesindeki yerleşim alanlarından ve sanayi kuruluşlarından verildiği bilinmektedir. Uslu ve diğ.'lerinin (1990) hesaplamalarına göre, 1990 yılı itibarıyle Boğaz ve Marmara'nın yüzey sularına verilen toplam fosfor ve azot yükleri sırasıyla 0.26×10^4 ve 0.16×10^5 ton yıl^{-1} 'dir. Bunlara ek olarak, Yenikapı bölgesinden boğaz alt akıntısına verilen yıllık TP ve TN yükü yaklaşık 750 ton TP ve 3800 ton TN'dir. Bu yüklerin yaklaşık %20'lik bir bölümünün boğaz boyunca meydana gelen dikey karışımalarla üst akıntıya ve sonuçta Marmara'ya döndüğü, yakın zamanda, farklı akıntı koşullarında tekrarlanan Rodamin-deney sonuçlarından anlaşılmaktadır (Özsoy ve diğ., 1992). Bu yolla boğaz yüzey sularına karışan atık yükleri de dikkate alındığında, İstanbul bölgesinde Marmara yüzey sularına verilen atıksu kaynaklı yıllık TP yükü 0.28×10^4 ton, TN yükü de 0.17×10^5 ton düzeyine ulaşmaktadır.

İstanbul bölgesi atıksu deşarjlarıyla Marmara yüzey sularına giren toplam organik karbon (TOC) yükü, Uslu ve diğ. (1990) tarafından verilen BOI_5 yükleri ve kentsel atıksular için verilen $\text{BOI}_5/\text{TOC} \approx 1.5$ (Benefield and Randall, 1980) oranı kullanılarak hesaplanmıştır. Buna göre, boğaz ve çevresine atıksular yoluyla yılda yaklaşık 0.07×10^6 ton TOC girmektedir. Alt suya ve rıdikten sonra üst suya dönem tahmini 0.01×10^6 ton TOC yükü de eklendiğinde Marmara yüzey sularını etkileyen toplam TOC yükü 0.08×10^6 ton C yıl^{-1} ulaşmaktadır.

Şekil 4'de değişik kaynaklardan Marmara yüzey sularına taşınan yıllık TP, TN ve TOC yükleri grafiksel olarak gösterilmiştir. Birinci grup grafik boğazın kuzey



Şekil 4. Marmara Denizi Yüzey Sularına Karadeniz'den, Boğaz Karışımlı ile Alt Tabakadan ve İstanbul Atıksularından Taşınan Yıllık Toplam Fosfor ($\times 10^4$ ton P), Azot ($\times 10^5$ ton N) ve Organik Karbon ($\times 10^6$ ton C) Yükleri

girişindeki yüzey TP, TN ve TOC taşınımını, ikinci grup boğazın güney kesiminde daha belirgin olan dikey taşınlımı, üçüncü grup grafik ise yatay ve dikey taşınlımların sonunda Marmara Denizi yüzey sularına boğaz yoluyla giren net TP, TN ve TOC yüklerini göstermektedir. Dördüncü grup grafikte, İstanbul kentsel atıksularından Marmara yüzey sularına giren TP, TN ve TOC yükleri verilmiştir. İki kaynağın karşılaştırması sonucunda, Karadeniz'den boğaz yoluyla taşınan toplam fosfor, azot ve organik karbon yüklerinin Marmara Denizi için en önemli girdi olduğu görülür ki; parametre bazında değerlendirildiğinde Karadeniz yükleri İstanbul kentsel girdilerinden 4-20 kat daha fazladır.

Her geçen gün karasal girdilerin, kirlilik düzeyinin arttığı ve özellikle de kuzeybatı kesiminde örtükfasyonun yoğunlaşlığı Karadeniz tek başına bile Marmara Denizi'ni olumsuz yönde etkileyebilecek bir kaynaktır. Bu nedenle, bölgeyi ilgilendiren tüm plan ve projelerde bu durum önemli irdelenmeli ve tartışılmalıdır. Ayrıca boğaz üst akıntı ile taşınan bu sular Marmara Denizi'nin açık sularını ve hatta Akdeniz'i etkilerken, kıyılardan deşarj edilen atıksular zayıf akıntılar nedeniyle daha çok bu bölgelerdeki canlı yaşamını tehdit etmektedir.

Teşekkür

Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen bu çalışmada saha ve laboratuvara verilerin toplanmasına katkı sağlayan tüm çalışanlara teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Baştürk, O., Tuğrul, S., Yılmaz, A., Saydam, C., Health of the Turkish Straits: Chemical and environmental aspects of the Sea of Marmara, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, No. 90/4, Erdemli, 1990.
- Benefield, L. D. ve Randall, C. W., Biological Process Design for Wastewater Treatment, N. J./USA, 1980, Prentice-Hall, 62-77.
- Beşiktepe, S., Some aspects of the circulation and dynamics of the Sea of Marmara, Doktora tezi, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 226 Sayfa, 1991.
- Codispoti, L.A., Friederich, G. E., Murray, J.W., Satamoto, C.M, "Chemical variability in the Black Sea: implications of data obtained with a continuous vertical profiling system that penetrated the oxic/anoxic interface", Deep-Sea Research, Vol. 38, No. 2, pp. 691-710, 1991.
- Deuser, W. G., "Organic carbon budget of the Black sea", Deep-Sea Research, Vol. 18, pp. 995-1004, 1971.
- Fonselius, S. H., The Black Sea-Geology, Chemistry and Biology, E. T. Degens, D. A. Ross (ed.), Vol. 20, U.S.A., 1974, Amer. Assoc. Petrol. and Geologists, 144-150.
- Hawaii Ocean Time-series Program, Field and Laboratory Protocols, University of Hawaii, pp. 41-43, 1990.
- Kırıkova, M. V., "The content of inorganic nitrogen forms in the upper layer of the Black Sea in the late summer period", Marine Ecology, Vol. 23, pp. 3-10, 1986.
- Latif, M. A., Özsoy, E., Salihoglu, I., Gaines, A. F., Baştürk, Ö., Yılmaz, A., Tuğrul, S., Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow. ODTÜ-Institute of Marine Sciences, No. 92-2, Erdemli, 1992.
- Mee L.D., "The Black Sea in crisis: The need for concerted international action", Ambio, Vol. 21, No. 4, pp. 278-286, 1992.
- Özsoy, E., Oğuz, T., Latif, M. A., Ünlüata, Ü., Oceanography of the Turkish Straits. Physical Oceanography of the Turkish Straits, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 1986.
- Özsoy, E., Latif, M. A., Salihoglu, I., Beşiktepe, Ş., Gaines, A. F., Oğuz, T., Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Saydam, C., Yılmaz, A., Monitoring via direct measurements of the modes of mixing and transport of wastewater discharges into the Bosphorus underflow: Bosphorus hydrography, currents, fluxes and acoustical, chemical and rhodamine-B dye tracer studies of the waste discharge. ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 1992.
- Polat, S. Ç., The supply, use and distribution of organic carbon in the Sea of Marmara, Mastir tezi, ODTÜ-Deniz Bilimleri Enstitüsü, Erdemli, 126 sayfa, 1989.
- Polat, S. Ç. ve Tuğrul, S., "Nutrient and organic carbon exchanges between the Black and Marmara seas through the Bosphorus Strait", Continental Shelf Research , Vol. 15, No. 9, pp. 1115-1132, 1995.
- Sapozhnikov, V.V., "Ammonia in the Black Sea", Oceanology, Vol. 30, pp. 39-42, 1990.
- Sorokin, Yu. I., Estuaries and Enclosed Seas. Ecosystem of the World, B.H. Ketchum (ed.), Amsterdam, 1983, Elsevier, 253-291.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, Joint Editorial Board of APHA, AWWA and WPCF, 16th ed., U.S.A., 1985, American Public Health Association, 444-450.
- Tuğrul, S., Baştürk, Ö., Saydam, C., Yılmaz A., "Changes in the hydrochemistry of the Black Sea inferred from density profiles", Nature, Vol. 359, pp. 137-139, 1992.
- Üslu, O., Orhon, D., Ünlüata, Ü., Filibeli, A., İstanbul Boğazı Akıntılarının ve Kentsel Atıksularının Marmara Denizi Kirliliğine Katkılarının Bilançosu, Çevresel Etki Değerlendirme Raporu, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İstanbul, 1990.
- Ünlüata, Ü., Oğuz, T., Latif, M.A., Özsoy E., The Physical Oceanography of the Straits, J. Pratt. (ed.), Vol. 318, Hollanda, 1990, Kluwer Academic Publishers, 25-60.