

AKDENİZ KIYI ALANLARI KİRLİLİK KAYNAKLARINDA UZUN SÜRELİ EĞİLİM İZLEME: NEHİRLER VE ATIKSULAR (2003-2006)

Süleyman TUĞRUL, Semal YEMENİCİOĞLU, Neslihan DOĞAN-SAĞLAMTİMUR
ODTÜ DENİZ BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ, ERDEMLİ-MERSİN
neslihan@ims.metu.edu.tr

ÖZET

Son yıllarda ülkemiz kıyısız alanlarında gözlenen hızlı sanayileşme, yoğun nüfus artışı, tarım ve özellikle Ege-Akdeniz bölgesindeki turizm faaliyetleri önemli çevre kirliliğine neden olmuştur. Tüm bu faaliyetlerden çıkan atıksuların doğrudan deşarj ve nehirler yoluyla ulaştığı yarı kapalı körfezlerin, açık denizle etkileşimi zayıf sığ kıta sahanlığı ekosistemlerinin atık özümseme kapasiteleri çok sınırlıdır. Ülkemizde karasal kaynaklı atıksularla kirlenen ve doğal ekolojik özellikleri belirgin şekilde değişen kıyısız alanların başında İzmir, İzmit, Mersin ve İskenderun körfezleri gelmektedir.

Akdeniz Eylem Planı (MED POL) uzun süreli değişim izleme ve uyum izleme programı çerçevesinde Doğu Akdeniz (Türkiye kıyıları) kesiminde, nehirler ve kentsel atıksu kaynaklarından 2003-2006 döneminde mevsimsel su örnekleri alınmış ve kirlilik (besin tuzları, BO₅, KOİ, PAH, toplam civa, fekal koliform) ölçümleri yapılmıştır. İzlenen karasal kaynaklarda dikkate değer bir civa ve PAH kirlenmesi gözlenmemiştir. Petrol kirliliği, arıtma uygulanmadan denize verilen Mersin kent atıksuyunda belirgin ve değişkendir.

Doğu Akdeniz'de izlenen nehirler arasında Lamas nehir suyu oldukça temizdir. Buna göre kıyaslandığında, sırasıyla Berdan, Göksu ve Ceyhan nehir suları kirletilmiş durumdadır. En kirli nehir Seyhan'dır ve Adana bölgesi evsel ve sanayi atıklarını, Çukurova'nın tarımsal kaynaklı kirleticilerini denize taşır. Nehir ve atıksularda ölçülen çözünmüş inorganik besin tuzları (ÇİN, ÇİP) değerlerinden hesaplanan N/P oranlarına göre; akarsularda N/P oranı atıksulara kıyasla çok yüksektir ve akarsuların doğal özelliğidir. Nehirler yoluyla Akdeniz kıyı sularına, fosfata kıyasla, fazla miktarda nitrat taşınmaktadır. N/P oranı düşük evsel atıksular fosfatça zengindir. Bu nedenle, fosforca fakir Akdeniz'e yapılan atıksu deşarjları, özellikle seyrelmenin zayıf olduğu kıyısız deniz ortamında, aşırı plankton çoğalması ve ötrofikasyona neden olmaktadır. Bunun çarpıcı örneği, kentsel atığın doğrudan verildiği, Çukurova bölgesi atıkları, tarımsal faaliyetler ve Seyhan nehir sularınca kirletilen Mersin Körfezi kıyı sularıdır. Bu nedenle, Akdeniz ve Ege kıyı sularına deşarj edilen, nehirlere verilen atıksularda organik madde ve fosfor yükünün azaltılmasına yönelik araştırma, teknolojik uygulama ve kirlilik izleme çalışmalarına gereken önem ve öncelikler verilmelidir.

Anahtar Sözcükler: Akdeniz, kirlilik, besin tuzları, KOİ, BO₅, civa, PAH, fekal koliform.

LONG TERM TREND MONITORING IN POLLUTION SOURCES OF THE MEDITERRANEAN COASTAL ZONE: RIVERS AND WASTEWATERS (2003-2006)

ABSTRACT

In recent years drastic developments in industry and human population increases observed along the coastal zone of Turkey have caused serious environmental pollution. Natural ecosystems of semi-enclosed gulfs, shallow coastal zones having limited water exchanges with open sea, where wastewaters are discharged directly or reach via rivers, have limited waste assimilation capacity. İzmir, İzmit, Mersin and

İskenderun bays are the typical examples of polluted areas by land-based waste discharges and ecologically modified coastal zones in Turkey.

Within the framework of Long Term Trend Monitoring and Compliance Monitoring of Mediterranean Action Plan (MED POL), pollution parameters (nutrients, BOD₅, COD, PAH total mercury, and fecal coliforms) were measured seasonally between 2003-2006 in the rivers and domestic wastewaters discharged to the NE Mediterranean coastal zone of Turkey. The pollution data have been evaluated and compared. No noticeable pollution of total mercury and PAH were observed in the major pollution sources. Oil pollution were occasionally recorded in the domestic wastewaters of Mersin city, discharged directly to the bay without treatment.

Among the rivers monitored in the eastern Mediterranean, the Lamas River waters do not possess any signs of pollution and its chemical properties can be used to compare the levels of pollution in the rivers. The Berdan, Göksu ve Ceyhan River waters are more contaminated than the small Lamas River waters. The most polluted one is the Seyhan River which receives all kinds of wastewaters from Adana city and Çukurova region. Comparison of N/P ratios calculated from the dissolved inorganic nutrient (DIN, DIP) data of rivers and wastewaters shows that the river waters of the region have very high ratios, which are the natural properties of rivers due to high nitrate concentrations. In other words, the rivers introduce large amounts of DIN to the sea as compared to their DIP loads. Domestic wastewaters with low N/P ratios are very rich in phosphate. Accordingly, P-rich wastewater discharges to P-poor eastern Mediterranean coastal zone having limited ventilation with open sea, cause eutrophication problem due to high algal production and biomass accumulation in nearshore waters. The Mersin Bay is a typical example for eutrophic coastal waters due to large inputs of nutrients via the Seyhan and Berdan rivers, domestic wastewater discharges. For this reason, organic matter and phosphorus contents of wastewaters and rivers should be reduced before entering the sea. In this context, reactive N/P ratios should be raised in all kinds of pollution sources to prevent eutrophication problem. This requires dedicated policy actions to be taken; otherwise the coastal ecosystem will further worsen and the impact of coastal pollution will be drastic on the socio-economics of the region, especially tourism sector.

Keywords: Mediterranean, pollution, nutrient, COD, BOD₅, mercury, PAH, fecal coliform.

GİRİŞ

Türkiye'nin yürütmekte olduğu MED POL "Ulusal İzleme Programı"; Akdeniz'de sıcak noktadaki (nehir haliçleri, kentsel ve endüstriyel atıksu alan alanlar) kirliliğin, atıksuların içerdiği kirlilik değerlerinin mevcut deşarj kriterlerine uygunluğunun, biyota ve sedimandaki kirlitici seviyelerinin tesbitiyle kıyı sularda uzun dönemli ekolojik/kirlilik değişikliklerinin izlenmesi çalışmalarını kapsamaktadır. Diğer yandan, TÜBİTAK "Kilikya Baseni Kıyısız Ekosisteminde Dolaşım, Taşınım ve Ötrofikasyon Araştırmaları" sürdürülmekte ve bölgenin kirlilik durumu farklı açılardan, çok disiplinli olarak ele alınmaktadır.

Yıllardır dünya denizlerinde görülen ötrofikasyon olayları karşısında bilimsel bilincin gelişmesi ancak son yirmi yılda oluşmuştur. Ötrofikasyonun tanımı, basit olarak çevreye, taşıma kapasitesinin üzerinde, insan kaynaklı nedenlerle besin tuzları (azot, fosfor, organik karbon, vb.) yüklemesidir. Su kütesinin sığlılık ve/veya sınırlı su döngüsü gibi morfolojik ve hidrolojik özellikleri, ötrofikasyon problemine karşı kıyı suların hassasiyetini arttırmaktadır. Bu çevresel hassasiyet, kentleşmeye yakınlıkları dolayısıyla daha yüksek risk taşıyan körfezlerin ve lagünlerin tipik sorunudur. Doğu Akdeniz açık suları dünya denizleri arasında, her zaman besin tuzları açısından fakir olarak gösterilen tipik bir örnektir. Ancak elde bulunan yakın kıyı bölgesi biyokimyasal

sonuçları, ötrofikasyon probleminin bazı bölgelerin kıyı sularında, karasal kaynaklı besin tuzları girdisiyle ilgili olduğunu göstermektedir. Örneğin, Mersin ve İskenderun körfezlerini de içine alan doğu Akdeniz'in geniş ve sığ kıta sahanlığı, nehirlerden gelen büyük miktarlardaki kimyasal, evsel ve endüstriyel atıklardan etkilenmektedir. Körfez görelisi olarak sığ ve su karışımı sınırlı olduğundan, deşarj alanındaki atık girdisi oranları asimilasyon kapasitesini aşmaktadır. Körfezdeki ekolojik değişimleri açıklayabilecek sistematik biyokimyasal veri bulunmamasına rağmen, körfezin sığ kesimlerinde ötrofikasyon gibi uzun dönemde gözlenen değişikliklerin son 30 yıldaki kirlenmenin ürünü olduğu tahmin edilmektedir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, nehirler ve atıksulardan (evsel ve fabrika) kıyı sulara ulaşan kirlilik yüklerinde durum ve yönelim belirlemek için, noktasal kirlilik kaynaklarından mevsimsel/yıllık bazda örnek toplanmaktadır. MED POL ve TÜBİTAK projeleri kapsamında yürütölen karasal kaynaklı kirleticilerin izlenmesi, ötrofikasyon izleme ve yönetimi çalışmasının başarılı olabilmesi için saha çalışmasından elde edilecek tüm verilerin yeterli hassasiyette ve güvenilir olması gerekmektedir. Bu nedenle, temel kirlilik parametreleri olan toplam fosfor (TP), çözünmüş inorganik fosfat (PO_4-P), nitrat (NO_3-N), amonyak (NH_4-N), reaktif silikat (Si), çözünmüş oksijen (ÇÖ), beş günlük biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOI_5), kimyasal oksijen ihtiyacı (KOl), toplam asılı katı (TAK), poliaromatik hidrokarbonlar (PAH) ve toplam civa (Hg_w) örneklemeleri standart yöntemlerle yapılmıştır (Tuğrul ve ark., 2006; Uysal ve ark., 2006). Analiz aşamasında, her bir parametre için belirlenmiş referans yöntem, UNEP-MED POL tarafından yayımlanan teknik rapor ve uluslararası standart su analiz yöntemleri uygulanmıştır (Grasshoff ve ark., 1983; TÜBİTAK, 1989; Standart Methods, 1995). Ölçüm sonucunda elde edilen datanın güvenilirliğini sınamak için, uluslararası kalibrasyon çalışmaları sürdürölmekte; IAEA (Monaco) Laboratuvarı tarafından gönderilen referans madde ve interkalibrasyon örnekleri kullanılmaktadır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

2003-2006 yıllarındaki yıllık ortalama kirlilik değerleri incelendiğinde, nehirlerdeki yıllık salınımların düşük olduğu görülür (Şekil 1-4). Ceyhan nehrinde 2006'da TP derişimi ve yükünde bir azalma varken; Seyhan ve Göksu'da artan bir eğilim gözlenmiştir (Şekil 1). Berdan'da 2006 örnekleme istasyonu deniz kıyısına yaklaştırıldığından, kirlilik değerleri 2006'da artış göstermiştir. Göksu nehrinde PO_4-P , 2004-2005 döneminde düşük ve benzerdir. 2006'da 3 kata varan artış gözlenmiştir. Bu değişim bölgedeki Seyhan ve Berdan akarsu kirlilik değişimleriyle uyumludur. Nehir sularında TP değeri yükseldikçe, sudaki PO_4-P derişimi de belirgin şekilde artış göstermiştir. Bu da sudaki PO_4-P iyonlarının çoğunluğunun sucul ortamda çözünmüş halde bulunduğunu açıkça göstermektedir. Doğu Akdeniz nehirlerinde Si derişimi yüksektir ve 68-192 μM aralığında değişmektedir (Şekil 2). Nehir sularının doğal bileşeni olan Si, en fazla yıllık değişimi Berdan nehrinde göstermiştir. Bu da suyun akış hızı ve barajdaki kalış süresi, baraj ve yatağında denize kadar ulaşınca kadar geçen sürede biyo-jeo-kimyasal tepkimelerle tüketilme oranına bağlıdır. Nehir sularında Si/ NO_3 oranı 0.5 ila 2.5 arasında değişmektedir. Tüm nehirlerde NO_3-N ve Si yıllık değişimleri %20 seviyesindedir ve bir eğilim yoktur. Ancak, Seyhan nehir suyunun NO_3-N derişimi ve yıllık yükü Ceyhan'a göre düşüktür. NH_4-N derişimi, büyük nehirlerde 2006'da artış göstermiştir (Şekil 2). Bu artışlar, nehirlerde kentsel atıksu kaynaklı kirlenmeyi işaret etmektedir. Göksu'da ise NH_4-N derişimi zayıf bir azalma göstermiştir (Şekil 2.d). Seyhan nehir suyunun PO_4-P derişimi ve yıllık yükü Ceyhan'dan fazla olmuştur; NH_4-N ile birlikte artış göstermesi kentsel atıksu kaynaklı kirlenmeyi işaret etmektedir. Lamas Nehri, bölgenin en temiz akar suyudur; tüm kirlilik değerleri ortamın doğal özelliklerini yansıtmaktadır ve bölgenin yağış rejimine göre mevsimsel değişim gösterir. Ancak yıllık

değişim çok düşüktür. Bu temiz nehirde $\text{NO}_3\text{-N}$ derişimi her zaman yüksek (yıllık ortalama: 80-115 μM aralığında), $\text{PO}_4\text{-P}$ ise düşüktür (0.2-0.5 μM); bu akarsuda fosfat azlığından dolayı N/P oranı çok yüksektir (>350). Si genellikle 100-130 μM seviyesindedir (Şekil 2.e) ve NO_3/Si molar oranı 1.0'e yakındır.

Diğer yandan, Doğu Akdeniz'de yürütölen ötrofikasyon izleme çalışmasında atmosferden deniz yüzeyine yıllık ortalama 156950 ton azot ($\text{NO}_3+\text{NO}_2\text{-N}+\text{NH}_4\text{-N}$) ve 1996 ton P çöktüğü rapor edilmiştir (Uysal ve ark., 2006). Seyhan, Ceyhan ve Göksu nehirlerinin belirtilen alan içerisinde 2005 yılı içerisinde getirdikleri azot miktarı 16800 ton iken fosfat miktarı ise 1970 ton olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan besin tuzları girdi miktarları göstermektedir ki, Doğu Akdeniz'e atmosfer ve nehir ile ulaşan yıllık fosfat girdileri birbirine yakın miktarlarda iken, atmosferden çöken azot miktarı nehir girdisinin yaklaşık dokuz katıdır. Yıllık ortalama atmosfer akılarının N/P oranı 174 olarak hesaplanmıştır (Uysal ve ark., 2006).

Nehirlerde ölçölen çözünmüş oksijen değerleri suyun doygunluk değerlerine yakındır. Nehirlerde örnekleme yüzey sularından yapıldığı için, alınan örneklerde belirgin oksijen eksikliği gözlenmesi beklenmez. Sularda ölçölen BOI_5 değerleri, suda bulunan ve mikroskopik canlılarca parçalanabilir özellikteki organik maddelerin bir göstergesidir. Doğu Akdeniz'e dökölen nehir sularında BOI_5 , 0.6-4.9 mg/L aralığında salınım yapar ve çoğunlukla yaklaşık 1.0 mg/L seviyesindedir (Şekil 3). Son 3 yılın ölçömlerinde bir eğilim (trend) gözlenmemiştir. En yüksek değerler, KOI ve fosfor kirliliğinin de çok belirgin olduğu Seyhan nehir sularında ölçölmüştür. Sudaki toplam organik maddenin göstergesi olan KOI derişimleri, göreceli olarak BOI_5 değerlerinden yüksektir. Lamas nehir suyunda BOI_5 ve KOI değerlerinin çok düşük olması, bu akarsuda organik kirlenmenin az olduğunun göstergesidir (Şekil 3.e). Nehirlerin KOI/BOI_5 oranı genellikle 5-45 arasında değişmektedir ve atıksuların oranından daha yüksektir.

Toplam askıda katı (TAK) derişimi dikkate alındığında Göksu, yağmurdan nehir yatağına ulaşan katı maddeleri denize en fazla taşıyan akarsudur. Bu nehirde TAK değerleri değişken (60-210 μM , 220000-760000 t/yıl) olup, 2003 ve 2006 yıllarında yaklaşık 4 kat artış göstermiştir (Şekil 4.d). İzlenen nehirlerde dikkate değer PAH kirlenmesi gözlenmemiştir; PAH 0.1-1.8 $\mu\text{g}/\text{L}$ derişim ve 0.02-9.2 t/yıl yük aralığında yıllık derişimler gösterir (Şekil 4). En düşük PAH değerleri ise bölgenin en temiz akarsuyu, içme suyu kaynağı olarak da kullanılan Lamas nehrinde ölçölmüştür (0.1-0.9 $\mu\text{g}/\text{L}$, 0.02-0.17 t/yıl) (Şekil 4.e) ve bu sonuçlar yüzey sularının doğal PAH seviyesi hakkında bir fikir vermektedir.

Nehir sularında Hg_w derişimi (2-7 ng/L) düşüktür ve fazla değişken değildir; debinin etkisiyle yıllık Hg_w yükleri Ceyhan ve Seyhan'da 20-30 kg/yıl iken Berdan'da 2-3 kg/yıl, Göksu'da 8-16 kg/yıl ve Lamas'ta ise 0.5-0.9 kg/yıl seviyesinde kalmıştır. Ceyhan hariç (>2000 adet/mL), akarsularda fekal koliform kirliliği düşüktür (300-2000 adet/mL); ancak, Seyhan'daki patojenik kirlilik 2004 yılında çok belirgindir (10500 adet/mL). Bu da nehir suyuna deşarjların olduğunun işaretidir.

Evsel ve endüstriyel atıksuların mevsimsel kirlilik değerleri Çizelge 1-4'de verilmiştir. Arıtılmış ve arıtılmamış evsel atıksularda, ölçölen kirlilik değerleri arasında önemli farklılıklar vardır. Ön arıtımsız denize verilen Mersin evsel atıksuyunun özellikle organik madde (KOI ve BOI_5) derişimleri çok yüksektir. TP, tüm evsel atıklarda yüksektir; ancak Mersin atık suları $\text{PO}_4\text{-P}$ iyonlarınca daha zengindir. Arıtılmış atıklarda $\text{NH}_4\text{-N}$ derişimi çok düşük (4-40 μM , 1-44 t/yıl), $\text{NO}_3\text{-N}$ yüksektir (250-500 μM , 40-100 t/yıl). Arıtılmamış Mersin evsel atığında ise tersine durum söz konusudur; oksijence fakir atıksuda $\text{NH}_4\text{-N}$ derişimi çok yüksek (1800-2000 μM , 470-520 t/yıl), $\text{NO}_3\text{-N}$ çok düşüktür (4-11 μM , 1-4 t/yıl). Son yılda PAH ve Hg_w 'de artış görölmüştür. Biyolojik arıtım uygulanarak denize verilen Antalya ve İskenderun atık sularındaki 2003-2006 dönemi ölçüm sonuçları

Çizelge 1-4'lerde verilmiştir. Atıksularda, TP değerinin çok yüksek olmasına bağlı olarak N/P oranı düşüktür. Atıksularda belirgin fosfor kirliliği vardır ve deterjan kaynaklı olduğu için evsel atıklardaki fosfor derişimi ile aynı düzeydedir. Nehir sularına kıyasla evsel atıklarda belirgin $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$ ve Si fazlalığı vardır (Çizelge 1, 2). Arıtılmış evsel atıkların KOI , BOI_5 ve TAK derişimleri, Mersin kentinin arıtılmamış evsel atıksu derişimlerinden her zaman çok düşüktür (Çizelge 3, 4). Atıksularda PAH derişimi genelde düşüktür ($0.7\text{-}12 \mu\text{M}$). Mersin evsel atığında zaman zaman yüksek PAH değerlerinin gözlenmesi, kanalizasyon sistemine bilinmeyen kaynaklardan önemli petrol atığı içerikli girdilerin olduğunu işaret etmektedir. Özellikle 2006 yılında PAH derişimi çok yüksektir ve yıllık ortalaması $121 \mu\text{M}$ olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4). Evsel ve endüstriyel atıksularda Hg_w derişimleri ($3\text{-}7 \text{ ng/L}$), nehir suları seviyesindedir; atıksuların debisi düşük ve birbirine yakın olduğundan yıllık Hg_w yükü $0.03\text{-}0.12 \text{ kg/yıl}$ seviyesinde salınmıştır. Kısaca, evsel atıklarda nehirlere kıyasla belirgin bir civa kirlenmesi yoktur. Beklenildiği üzere atıksularda fekal koliform kirliliği yüksektir ve $12000\text{-}10500000$ adet/mL aralığında yıllık derişim gösterir. En yüksek miktara 2004 yılında Antalya atıksuyunda ulaşırken, en düşük değer 2006 yılında İskenderun'da ölçülmüştür.

2003-2006 dönemindeki atıksu karakterindeki kirlilik derişimleri, nehirlerdeki kadar belirgin değildir. Evsel atıktaki yıllık derişimler en fazla %20 seviyesinde olurken, nehirlerdeki yıllık derişimler %50-100 mertebesine ulaşabilmektedir. Özellikle nehirlerde $\text{NH}_4\text{-N}$ ve KOI derişimleri, insan kaynaklı olduğundan 2005 ve 2006 yıllarında ölçülen mevsimlik ve yıllık derişkenlikleri daha belirgindir (Şekil 2, 3). Evsel atıksularda ölçülen kirlilik değerleri, nehir sularından çok farklıdır. TP derişimi evsel atık sularda çok yüksektir ve $125\text{-}240 \mu\text{M}$ arasında derişmektedir. En yüksek TP derişimleri nehir sularında ancak $8\text{-}14 \mu\text{M}$ seviyesindedir ve kentsel kirlenmenin yoğun olduğu Seyhan nehir sularında ölçülmüştür.

SONUÇ

Parametre ve kaynak bazında kirlilik sonuçları birlikte değerlendirildiğinde önemli sonuçlara ulaşılmaktadır. Öncelikle, izlenen nehirlerin debileri yıllık $10^8\text{-}10^9 \text{ m}^3$ seviyelerinde olup, evsel ve endüstriyel atıksuların yıllık debilerinden ($10^6\text{-}10^7 \text{ m}^3$) çok fazladır. Yüksek debili nehirler yoluyla daha fazla kimyasal kirleticiler, Doğu Akdeniz kıyı sularına taşınmaktadır. Seyhan ve Ceyhan nehirlerinin debileri ve kirlilik yükleri benzerlik gösterdiğinden, denize taşıdıkları yıllık kirlilik yükleri arasında dikkate değer bölgesel farklar yoktur. Bu nehirlerin yüksek debisinden dolayı, denize taşıdıkları $\text{NO}_3\text{-N}$ ve $\text{PO}_4\text{-P}$ yükleri evsel atıklardan çok daha yüksektir. Göksu'nun taşıdığı besin elementleri ve organik madde konsantrasyonları diğer iki nehre göre kısmen düşüktür; ancak daha fazla miktarda askıda katı maddeyi (TAK) Akdeniz'e taşımaktadır (Şekil 4.d). Nehir suları, yoğunluk farkından dolayı, su yüzeyinde kalmakta ve yüzey akıntısıyla kıyısız alanda dağılmaktadır. Nehir suları özellikle nitrat ve silikatça zengin olduğundan, nehirlerin beslediği kıyı sularda biyolojik çeşitlilik ve biyokütle fazladır, suyun rengi maviden yeşile döner. Doğu Akdeniz, $\text{PO}_4\text{-P}$ iyonlarınca fakirdir; yüksek N/P oranlarıyla besin elementleri taşıyan nehirlerin $\text{PO}_4\text{-P}$ ile kirlenmesi, kıyı suların doğal ekolojik özelliklerini deriştiren önemli bir faktördür. İzlenen nehirler içinde küçük debili Lamas nehrinin suları oldukça temizdir ve bölgenin doğal tatlı su kaynakları için referans kabul edilebilir.

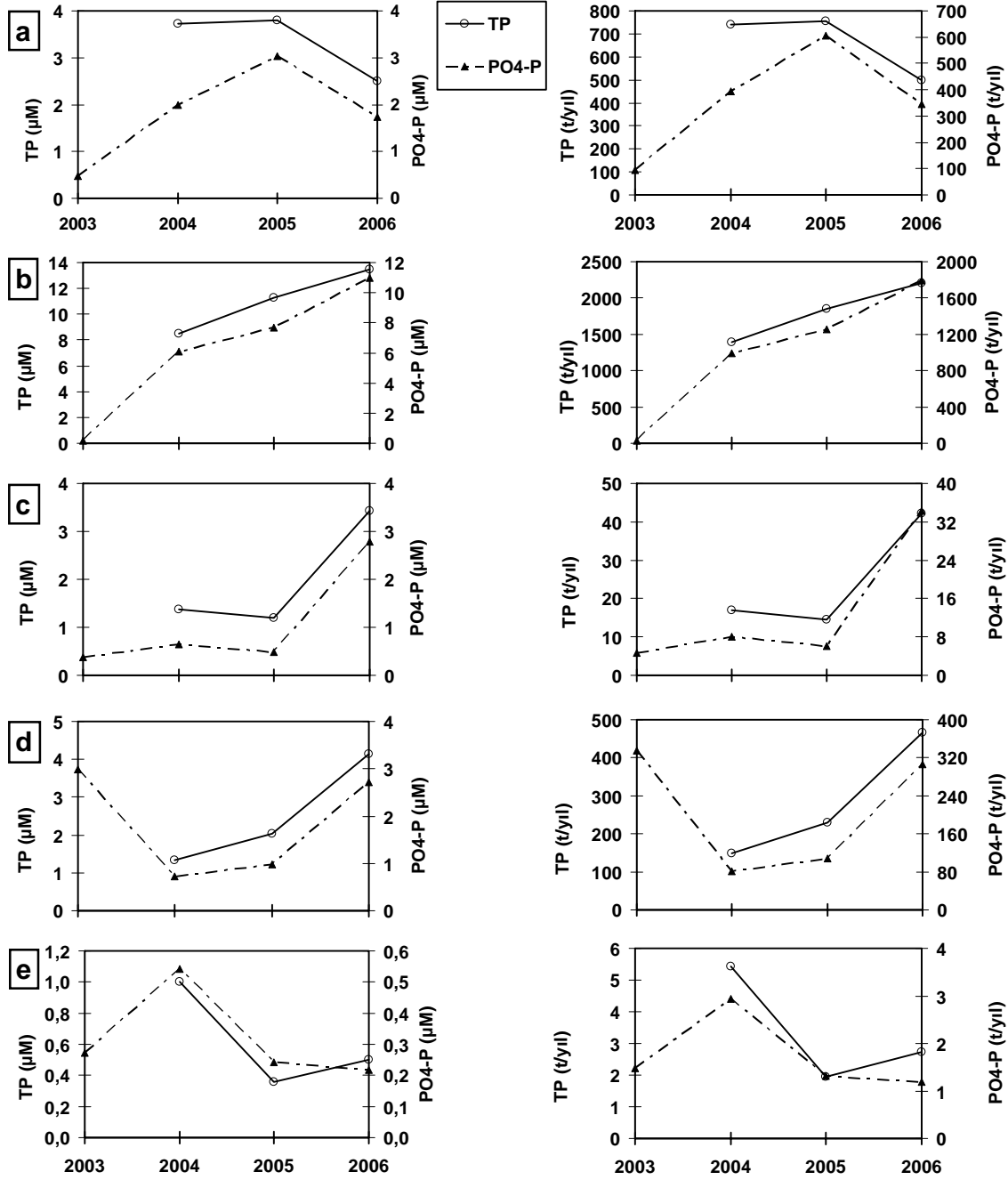
Nehirlere kıyasla debisi düşük evsel atıksular, yüksek konsantrasyonlarda kirleticiler taşıyarak sığ sulara verilir ve dar alanlarda önemli kirlilik yaratır. Evsel atıksular içinde en kirli olanı ön arıtımsız denize verilen Mersin evsel atıksuyu olup, kirlilik yükü de en yüksek olanıdır (Çizelge 1-4). Antalya şehriyle yaklaşık aynı nüfus yoğunluğuna ve atıksu debisine sahip olmasına rağmen Mersin evsel atıklarıyla kıyı sulara verilen KOI ve BOI_5 yıllık yükü, Antalya ve İskenderun evsel atıklarının organik madde yüklerinden

çok fazladır. Doğal olarak Mersin evsel atıklarının TAK yükü de arıtılmış atıksulara göre oldukça yüksektir; küçük nehirler kadar katı maddeyi denize taşımaktadır ve tipik arılmamış ham atıksu özelliği göstermektedir. Bu atıksuyun organik madde (KOİ ve BOİ₅) yükü, yüksek debili nehirlerle kıyasla ise çok düşüktür. Fakat, nehir sularındaki organik yükün çoğunluğu parçalanmaya karşı dirençlidir ve KOİ/BOİ₅ oranı yüksektir (>10). Oysa evsel atıksularda bu oran düşüktür ve 2-4 arasındadır. Bu nedenle ön arıtımsız denize verilen Mersin kenti evsel atıksuları, körfezin sığ kıyı sularında gözle kolayca görülen noktasal kirlenmeye neden olmaktadır.

Biyolojik arıtım uygulanmış Antalya ve İskenderun evsel atıksu kirlilik değerleri karşılaştırılınca; İskenderun atık sularının TP, PO₄-P ve NO₃-N değerlerinin Antalya atığına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. İskenderun evsel atığı, besin tuzlarınca daha fazla kirlenmiş durumdadır. Fakat, arıtma sistemi çıkışından alınan atıksuyun KOİ ve BOİ₅ değerleri çok düşüktür (arıtılmamış Mersin atıksuyuna göre) ve arıtılmış atıklar benzer organik madde derişimleri ile denize ulaştığı anlaşılmaktadır. Arıtmanın olduğu kentlerdeki evsel atıksu arıtma sisteminin etkin çalıştığı, ölçülen düşük amonyak (NH₄-N) ve organik madde (KOİ) derişimlerinden anlaşılmaktadır.

Ölçüm yapılan nehir sularındaki N/P oranının Doğu Akdeniz'e akan nehirlerde oldukça yüksek olması, bu denizimizin doğal ekolojik özelliklerinin sürdürülebilmesi açısından çok önemlidir. Nehirler yoluyla Akdeniz'e fazla miktarda nitrat taşınır (Çizelge 2). Bu doğal özelliğin korunması için, nehirlerimize karasal kaynaklardan fosfat taşınımı azaltılmalıdır. Çünkü atıksu deşarjları ve nehirler yoluyla artan miktarlarda PO₄-P girdisinin (yükünün) artması durumunda, Akdeniz'in kıyı sularında plankton üretimi artacak ve biyolojik çeşitlilik değişecektir. Bu yöndeki değişime çarpıcı örnek, Mersin Körfezi kıyı sularıdır. Mersin deşarj noktasının kıyıya yakın ve sığ olması, atıksuların seyrelmesini ve açık sulara taşınmasını sınırlamaktadır; bölgenin özellikle bentik flora ve faunası için önemli kirlilik kaynağıdır. Çukurova bölgesi atıklarıyla kirlenmiş Seyhan ve Berdan nehir sularını alan Mersin Körfezi kıyı suları, Mersin evsel atıksuları için de alıcı ortamdır. Biyolojik arıtım uygulanmayan bu atıklar, körfezin sığ ve açık deniz ile etkileşimi zayıf olan sularına verildiğinden, alıcı ortamda yüksek seviyede organik ve inorganik madde kirliliğine neden olmaktadır. Mersin körfezinde sürdürülen ötrofikasyon izleme çalışması sonuçları bunu açıkça gösterir. Körfezin kıyı sularının çok kirli olduğu belirlenmiş; deşarj bölgesinde yüksek fosfor ve BOİ₅ değerleri ölçülmüştür. Işık geçirgenliği kıyı sularda çok düşük, nehir ve evsel atıksu etkisi kıyı sularda çok belirgin ve plankton üretimi fazla bulunmuştur. BENTIX ve AMBI indeksi kullanılarak, istasyonlarda kirliliğin ne derecede olduğu anlamak için bolluk (birey sayıları) verilerinden yararlanılmıştır. Mersin Körfezi'nin, Doğu Akdeniz'de toplam 1930 birey 291 g biyokütle ile en yüksek değerlere sahip olduğu rapor edilmiştir (Uysal ve ark., 2006).

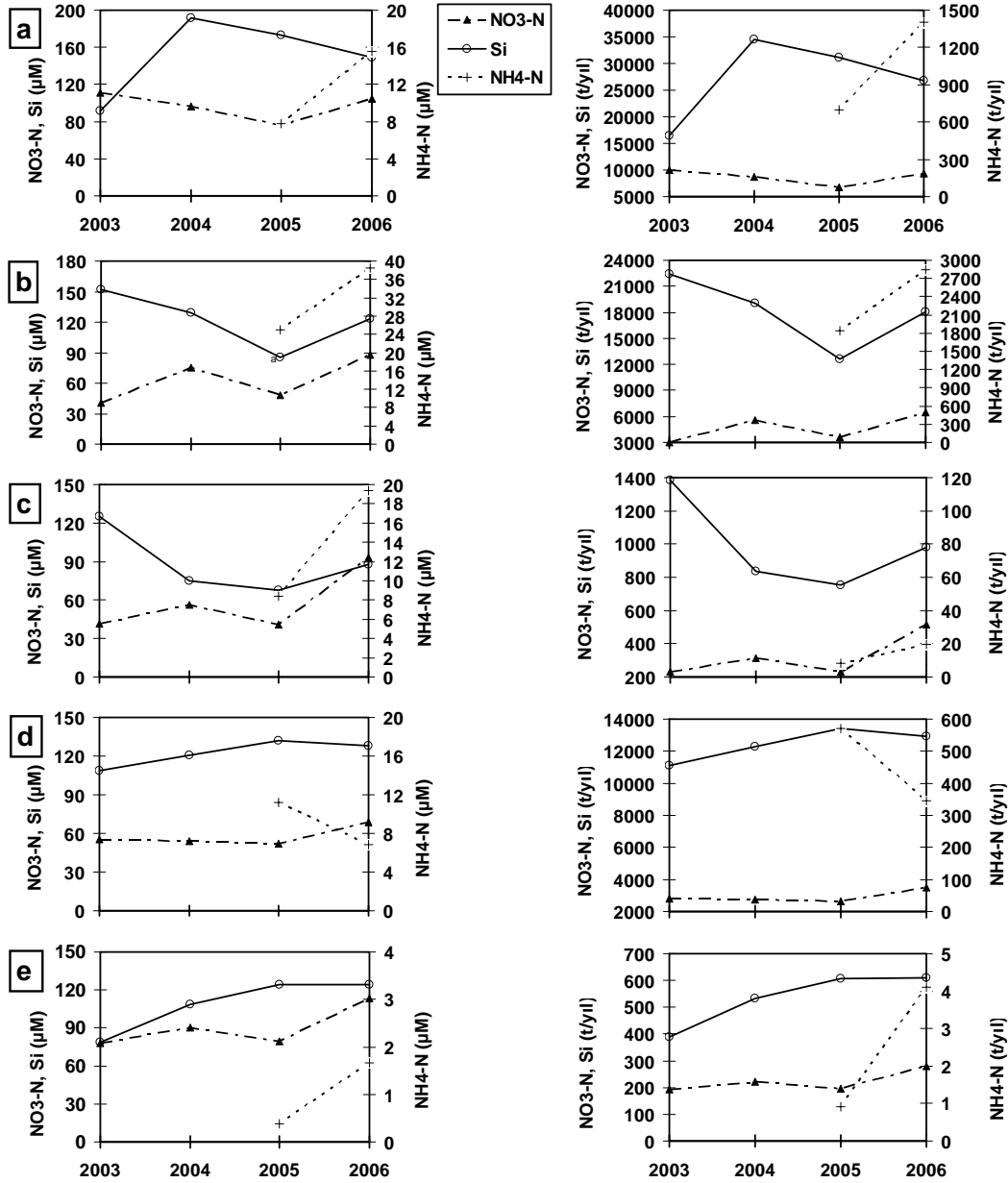
Akdeniz'in temel biyo-kimyasal özellikleri ve plankton üretimini sınırlayan kimyasal faktörler dikkate alındığında, karasal kaynaklardan denize taşınan reaktif fosfat yükünün azaltılmasının önemi çok açıktır. Özellikle yarı kapalı ve dış denizlerle su değişimi sınırlı olan sığ Mersin, İskenderun ve İzmir Körfezi gibi bölgelere giren organik madde ve fosfor yükleri öncelikle kontrol edilmelidir. Deniz ortamı fosfat ve inorganik azot iyonlarınca son derece fakir iken, evsel atık sularda fazla miktarda azot ve deterjan kaynaklı fosfor bileşikleri bulunmaktadır. Bu nedenle, alıcı ortamın öncelikle fosfora karşı hassas olduğu dikkate alınırca, evsel atıksuların gerek deniz deşarjı öncesinde atıksu arıtma sistemlerinin tasarımında gerekse kaynaklarda (kullanım, üretim aşamalarında) fosfor kullanımının azaltılması sağlanmalıdır. Benzer şekilde, denize ulaşan evsel atık sularda ve tarımsal alanlardan giren atıklarla kirlenmiş nehir sularında fosfor yükünün azaltılarak, kirlenici kaynaklarda N/P oranının yükselmesi için gerekli idari ve teknik tedbirler alınmalıdır. Çünkü temiz nehirler ve yağmur suları fosfor iyonlarınca fakirdir ve çok yüksek N/P oranı (<100) ile denize ulaşır.



Şekil 1. Atıksu alan nehirlerde 2003-2006 yılları arasında TP ve PO₄-P yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri (a: Ceyhan, b: Seyhan; c: Berdan, d: Göksu, e: Lamas).

Çizelge 1. Mersin, Antalya ve İskenderun kenti atıksularında 2003-2006 yılları arasında TP ve PO₄-P yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri

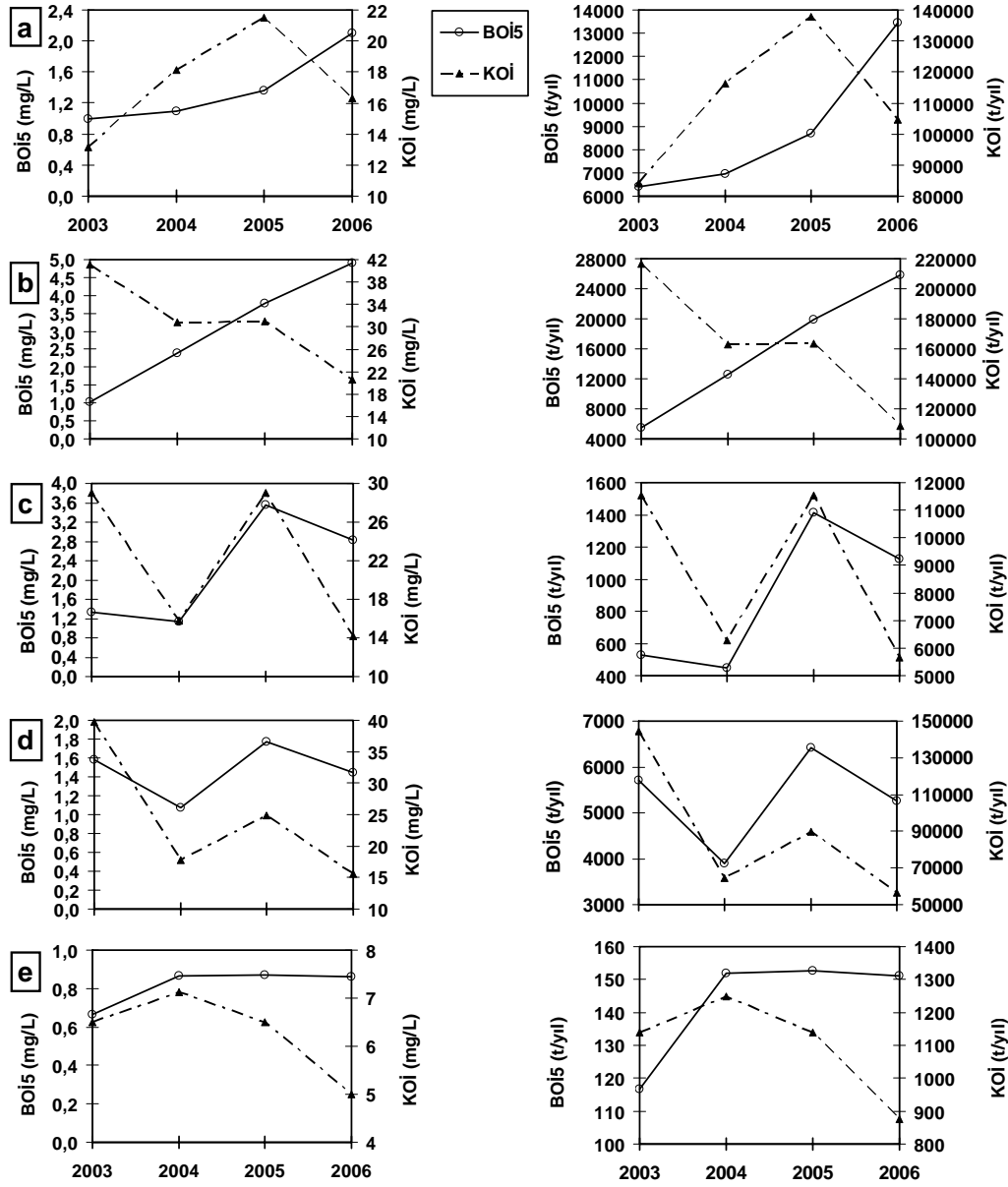
Yıllar	Örnekleminin Yapıldığı Atıksular											
	Mersin Atıksuyu				Antalya Atıksuyu				İskenderun Atıksuyu			
	TP		PO ₄ -P		TP		PO ₄ -P		TP		PO ₄ -P	
	(µM)	(t/yıl)	(µM)	(t/yıl)	(µM)	(t/yıl)	(µM)	(t/yıl)	(µM)	(t/yıl)	(µM)	(t/yıl)
2003			2.96	1.74			119	52.7				
2004	190	111	120	70.3	152	67.5	78.3	34.7	174	45.0	123	31.8
2005	233	136	156	91.2	125	55.6	94.2	41.7	176	45.5	140	36.0
2006	237	139	192	113	144	63.8	131	58.2	161	41.6	153	39.5



Şekil 2. Atıksu alan nehirlerde 2003-2006 yılları arasında $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$ ve Si yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri (a: Ceyhan, b: Seyhan; c: Berdan, d: Göksu, e: Lamas).

Çizelge 2. Mersin, Antalya ve İskenderun kenti atıksularında 2003-2006 yılları arasında $\text{NO}_3\text{-N}$ ve Si yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri

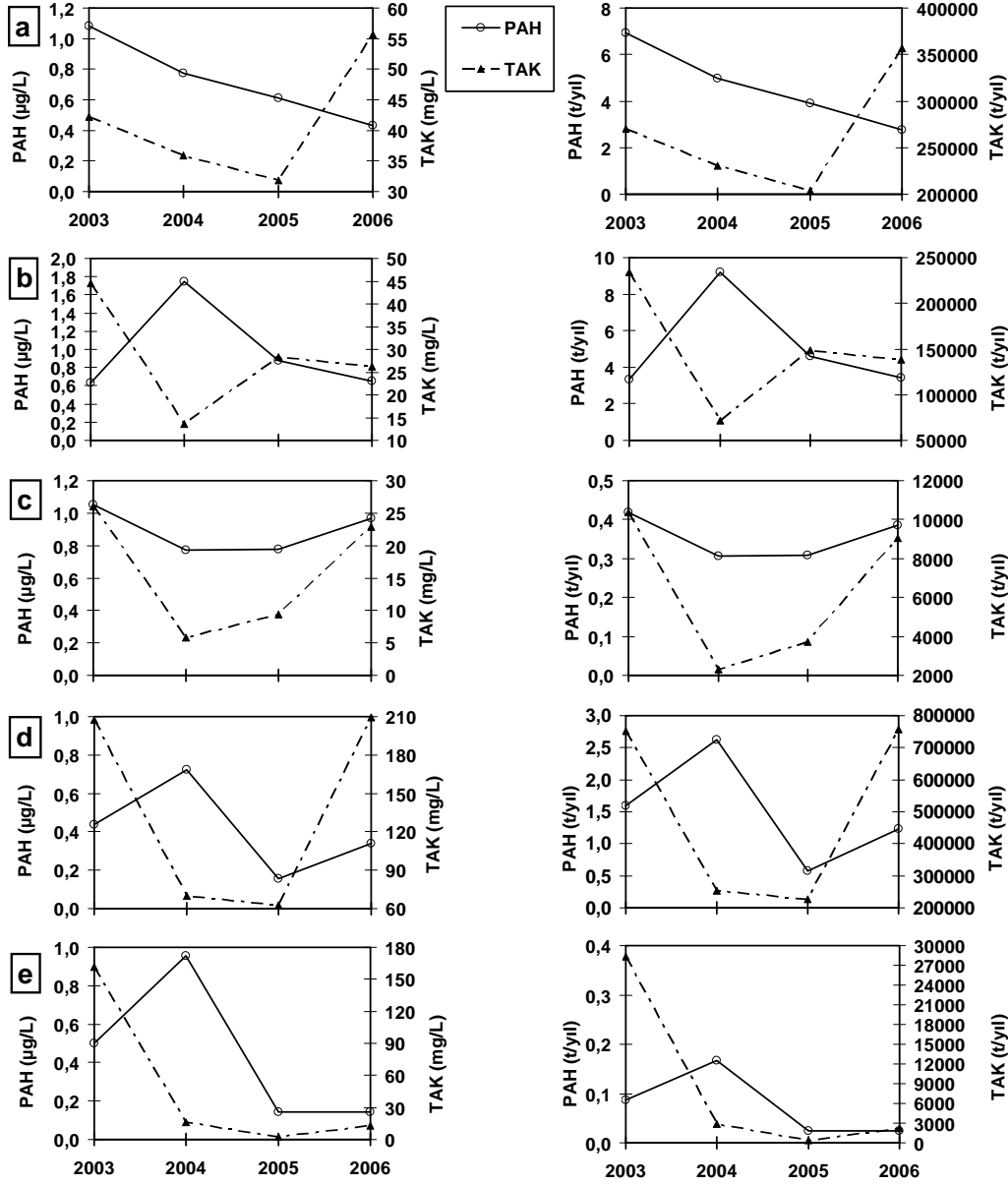
Yıllar	Örnekleminin Yapıldığı Atıksular											
	Mersin Atıksuyu				Antalya Atıksuyu				İskenderun Atıksuyu			
	$\text{NO}_3\text{-N}$		Si		$\text{NO}_3\text{-N}$		Si		$\text{NO}_3\text{-N}$		Si	
	(μM)	(t/yıl)	(μM)	(t/yıl)	(μM)	(t/yıl)	(μM)	(t/yıl)	(μM)	(t/yıl)	(μM)	(t/yıl)
2003	10.6	2.81	14.9	7.91	249	49.9	440	176	522	60.9	679	158
2004	14.8	3.90	312	165	458	91.6	496	198	336	39.2	523	122
2005	3.69	0.98	258	137	523	105	265	106	336	39.2	523	122
2006	6.10	1.61	244	129	22.6	4.53	309	124	336	39.2	557	130



Şekil 3. Atıksu alan nehirlerde 2003-2006 yılları arasında BOİ₅ ve KOİ yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri (a: Ceyhan, b: Seyhan; c: Berdan, d: Göksu, e:Lamas).

Çizelge 3. Mersin, Antalya ve İskenderun kenti atıksularında 2003-2006 yılları arasında BOİ₅ ve KOİ yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri

Yıllar	Örnekleminin Yapıldığı Atıksular											
	Mersin Atıksuyu				Antalya Atıksuyu				İskenderun Atıksuyu			
	BOİ ₅		KOİ		BOİ ₅		KOİ		BOİ ₅		KOİ	
	mg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl
2003	1.10	20.7			22.2	318						
2004	111	2098	386	7286	48.5	694	118	1680	26.3	219	77.3	644
2005	170	3205	447	8453	15.6	130	41.8	597	11.3	93.7	40.0	333
2006	207	3908	425	8037	11.0	157	29.9	427	12.2	102	30.6	255



Şekil 4. Atıksu alan nehirlerde 2003-2006 yılları arasında PAH ve TAK yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri (a: Ceyhan, b: Seyhan; c: Berdan, d: Göksu, e:Lamas).

Çizelge 4. Mersin, Antalya ve İskenderun kenti atıksularında 2003-2006 yılları arasında PAH ve TAK yıllık konsantrasyon ve yük değişimleri

Yıllar	Örnekleminin Yapıldığı Atıksular											
	Mersin Atıksuyu				Antalya Atıksuyu				İskenderun Atıksuyu			
	PAH		TAK		PAH		TAK		PAH		TAK	
	µg/L	t/yıl	µg/L	t/yıl	µg/L	t/yıl	µg/L	t/yıl	µg/L	t/yıl	mg/L	t/yıl
2003	0.66	0.01	12.4	234	3.38	0.05	47.7	683				
2004	11.5	0.22	187	3540	8.70	0.12	14.9	212	1.75	0.01	77.3	644
2005	4.87	0.09	255	4828	0.83	0.01	6.56	93.7	2.31	0.02	40.0	333
2006	121	2.28	367	6928	2.09	0.03	11.5	164	1.23	0.01	30.6	255

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye'nin Akdeniz ve Ege kıyılarında 2003-2006 yılları arasında, MED-POL Programı uzun dönem biyolojik izleme, eğilim izleme ve uyum izleme projesi ve Kilikya Baseni Kıyusal Ekosisteminde Dolaşım, Taşınım ve Ötrotfikasyon Araştırmaları

projesi çerçevesinde yapılmaktadır. İhtiyaç duyulan parasal destek, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ve TÜBİTAK'tan (Proje no: ÇAYDAG 104Y277) sağlanmıştır. Ayrıca, UNEP/MAP-MED POL-Atina Ofisinin katkılarıyla, IEAE (Monaco) Laboratuvarı'ndan interkalibrasyon örnekleri sağlanmıştır. Deniz suyu örnekleme ve analiz aşamasındaki katkılarından dolayı ODTÜ-DBE teknisyenlerine, R/V ERDEMLİ teknesi ve R/V BİLİM gemisinin kaptan ve gemicilerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Eaton AD, Clesceri LS, Greenberg AE, 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. American Public Health Association, Washington, DC.

Grasshoff, K., Erhardt, M., Kremling, K., 1983. Determination of nutrients. Methods of seawater analysis, 2nd ed., Verlag Chemie GMBH, Weinheim, 125-188.

UNEP/IOC/IAEA, 1985. Determination of total mercury in estuarine waters and suspended sediment by cold vapor atomic absorption spectrophotometry. Ref. Method No: 19.

UNEP/IAEA, 1985. Determination of total mercury in marine sediments and suspended solids by cold vapour atomic absorption spectrophotometry. Ref. Method No: 26.

UNEP/FAO/IOC/IAEA, 1987. Determination of total mercury in selected marine organisms by cold vapour atomic absorption spectrophotometry. Method No: 8.

UNEP/IOC/IAEA, 1987. Guidelines for the determination of riverine inputs of inorganic contaminants to estuaries. Ref. Method No: 41.

UNEP/FAO/IOC/IAEA, 1988. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for trace metal analysis. Ref. Method No: 7.

UNEP/FAO/IOC/IAEA, 1991. Sampling of selected marine organisms and sample preparation for the analysis of chlorinated hydrocarbons. Ref. Method No: 12.

UNEP/IOC/IAEA, 1991. Standard chemical methods for marine environmental monitoring. Ref. Method No: 50.

UNEP/WHO/IOC/IAEA, 1998. Determination of BOD5 and COD in estuarine waters.

Tuğrul, S., Yemenicioğlu, S., Uysal, Z., Doğan-Sağlamtimur, N., Yılmaz, D., Ediger, D., 2006. Med Poll Faz IV Ege Denizi ve Kuzeydoğu Akdeniz Kıyı Alanlarında Uzun Süreli Biyolojik İzleme, Değişim İzleme ve Uyum İzleme Programı 2006 Yılı Final Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, 211 p.

TÜBİTAK, 1989. Ulusal Deniz Ölçme ve İzleme Programı Örnekleme ve Standart Yöntemler El Kitabı, Ankara, 49 p.

Uysal, Z., Özsoy, E., Tuğrul, S., Beşiktepe, Ş.T., Yemenicioğlu, S., Ediger, V., Mutlu, E., Kubilay, N., Ediger, D., Beşiktepe, Ş., Demirel, M., 2006. Kilikya Baseni Kıyusal Ekosisteminde Dolaşım, Taşınım ve Ötrofikasyon Araştırmaları 3. Gelişme Raporu, TÜBİTAK, Proje No: ÇAYDAG 104Y277, 78 s.