

Beyşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi

Esra ÜÇÜNCÜ TUNCA

Ordu Üniversitesi Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, 52400, Fatsa/ORDU

Özet

Bu çalışmanın amacı, Beyşehir Gölü'nün üç istasyonunda su ve sedimentteki metal konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sedimentteki antropojenik (insan kaynaklı) etkinin oluşturduğu kirliliğinin değerlendirilmesidir. Kontaminasyon derecesi (C_d), zenginleştirme faktörü (EF), jeoakümülyasyon indeksi (I_{geo}) gibi pek çok jeokimyasal yöntem kullanılarak sedimentteki mevcut kirlilik durumu hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Potansiyel ekolojik risk faktörü (Er^f) gibi yöntemler kullanılarak ise sedimentteki kirliliğin canlılar üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Sedimentte 2.istasyonun diğer istasyonlara göre daha kontamine ve toksik olduğu (%76 oranında) tespit edilmiştir. Arsenik (As) açısından orta seviyede diğer metaller açısından ise yüksek oranda etkilenmiş olduğu görülmektedir. Bu durum PERI değerlendirmelerinden de görüldüğü üzere, sedimentteki As' nin canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkisinin ciddi seviyede olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ekolojik risk indeksi; kirlilik; kontaminasyon derecesi; sediment

Heavy Metal Accumulation in Water, Sediment and Evaluation of Antropogenic Sediment Contamination in Beyşehir Lake

Abstract

The present study aims to detect the heavy metal concentrations in water and sediment samples taken from three stations of Beyşehir Lake and were evaluated contamination caused antropogenic effects in sediment. We propose that has been obtained information about current contamination status in sediment by using many geochemical methods as contamination degree, enrichment factor, geoaccumulation index. Effects of contamination on organisms were also evaluated using methods as potential ecological risk factor in sediment. Station 2 sediments were determined more toxic (76%) and contaminated than other stations. It's seen that station 2 was contaminated moderate in terms of As and highly impacted in terms of other metals. As seen from PERI assessment, this situation shows that potential toxic effects of As on organisms are considerable level.

Key words: Contamination degree; ecological risk index; pollution; sediment

1. GİRİŞ

Doğal kaynakların da payı olmakla birlikte, antropojenik etkiler sonucunda ekosistemlerde ciddi seviyelerde metal birikimi ve bununla birlikte kirlilik görülebilmektedir. Metallerin doğal toksisiteleri, çok sayıda kaynaklarının olması, biyodegradasyona uğramamaları ve varlıklarını uzun süre devam ettirebilmeleri; metal akümülyasyonu konusundaki ekolojik ve çevresel çalışmaların önemini artırmaktadır (Gao et al 2016). Kirliliğin tespiti ya da değerlendirilmesi, su kalitesinin artırılması ve ağır metallerin sebep olabildiği anemia, beyin hasarları, böbrek ya da sinir sistemi rahatsızlıkları gibi hastalıkların en aza indirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır (Frena et al 2016; Ucuncu et al 2013).

Sucul ekosistemlerde metaller, su sütununda çözelti halinde ya da parçacık materyallerle bağlı olarak ve sedimentte litolojik bileşimler ile birlikte bulunmaktadır (Bonnail et al 2016). Toksik pek çok kontaminantın biriktiği sedimentte, ortam parametrelerinin değişimiyle biriken metallerin çözünerek tekrar suya karışabilmesi söz konusu olabilmektedir. Sedimentte ağır metallerin doğal girdiler ve antropojenik kaynaklar olmak üzere iki ana kaynağı bulunmaktadır. Antropojenik kaynaklar biyokütle ve fosil yakıt yanması (kömür, petrol, doğal gaz) ve madencilik endüstrileri gibi kaynakları içermektedir (Guo & Yang 2016). Sediment ve sudaki ağır metal konsantrasyonlarının çeşitliliği; sıcaklık, pH ve çözünen konsantrasyonu gibi pek çok parametreye bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir (Banerjee et al 2016).

Sedimentteki metal birikiminin, doğal ve antropojenik etkilerin ve sedimentte bulunan kontaminantların canlılar üzerindeki toksik etkilerinin araştırılması için pek çok yöntem mevcuttur. Sediment kalitesinin değerlendirildiği bu yöntemlerden kontaminasyon faktörü (C_f^i), kontaminasyon derecesi (C_d), modifiye kontaminasyon derecesi (mC_d), zenginleştirme faktörü (EF) ve jeoakümülyasyon indeksi sedimentteki insan kaynaklı kirliliği; potansiyel ekolojik risk faktörü (Er^i), toksik birim, toplam toksik birim, ortalama etki aralığı medyanı (m-ERM-Q) ve ortalama muhtemel etki seviyesi oranı (m-PEL-Q) ise sedimentteki kirliliğin ekosistem üzerinde yarattığı etkiyi belirleyen yöntemlerdir (Balık & Tunca 2015). Bu yöntemler, herhangi bir su sisteminin sedimentinde geriye dönük kirlilik hakkında yorum yapabilmeyi mümkün kılmaktadır.

Beyşehir Gölü'nde gerçekleştirilen bu ön çalışmanın amacı, belirlenen istasyonlarda, su ve sedimentteki metal kontaminasyonun belirlenmesi ve sedimentteki risk faktörlerinin

araştırılmasıdır. Sedimentteki kirliliğin belirlenmesinde jeokimyasal metotlar kullanılmış ve antropojenik aktivitelerin etkisi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Sediment kirlilik statüleri açısından da istasyonlar değerlendirilmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Arazi çalışmaları, Beyşehir ile Isparta arasında bulunan tektonik bir çökeltide yer alan Beyşehir Gölü'nde (Konya); deneysel kısım ise Bilkent Üniversitesi UNAM Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

2.1. Projenin Arazi Aşaması

Beyşehir Gölü'nde bir kez olmak üzere ve kirlenici kaynakların su sistemlerine karıştığı bölgeler göz önünde bulundurularak 3 istasyonda örnekleme yapılmıştır. Ağır metal analizleri için kullanılmak üzere her istasyondan 3'er su ve sediment örneği alınmıştır. İstasyonlardan alınan ve ağır metal analizi yapılacak su örneklerine, konsantrasyonu %2 olacak şekilde HNO₃ ile muamele edilmiştir. Sediment örnekleri, plastik kepçeler yardımıyla alınarak plastik kavanozlar içerisinde laboratuvara getirilmiştir. Arazi çalışmaları esnasında suyun bazı parametreleri (sıcaklık, elektriksel iletkenlik (EC), pH,...) ölçülmüştür.

Araziden getirilen su örnekleri Whatman kağıdı ile süzöldükten sonra, Bilkent Üniversitesi UNAM Laboratuvarı'nda bulunan ICP-MS İndüktif Eşlenik Plazma-Kütle Spektrofotometresi kullanılarak su örnekleri içerisinde bulunan ağır metaller, metalloidler (Pb, Cu, Cr, Ni, As, Mn, Al, Fe, Zn) tespit edilmiştir. XRF (X-Ray Floresans Spektroskopisi) cihazı kullanılarak da sedimentteki ağır metal miktarları tespit edilmiştir.

2.2. Metal Okutma Yöntemleri (ICP-MS, XRF)

Araştırmada Thermo Scientific markalı X-Series II modeli ICP-MS cihazı kullanılmıştır. Bütün elementlere ait kalibrasyon eğrileri korelasyon katsayısı 0.99'un üzerinde olacak şekilde oluşturulmuştur. İnternal standart olarak 10 ppb ²⁰⁹Bi kullanılmıştır. Sediment örneklerinde metal analizi için XRF kullanılmıştır. Alınan örnekler jeokimyasal analize uygun hale getirilmiştir. Numuneler öncelikle otomatik öğütücüde Tungsten Karbid değirmene konularak öğütülmüştür. Bağlayıcı malzeme (Wachs) ile karıştırılıp, hidrolik pres altında sıkıştırılarak pres-pastil halinde analize hazır hale getirilmiştir.

2.3. Sediment Kontaminasyon Değerlendirme Yöntemleri

Metaller doğal kaynaklı olarak ya da antropojenik etkiler sonucunda ekosistemlerde birikebilmektedir. Sucul ekosistemlerde kontaminantların birikiminin sedimentte oldukça yoğun olduğu bilinmektedir. Göl sedimentlerinin metal içeriğinin değerlendirilmesi, doğal ve antropojenik etkilerin geriye dönük verileri hakkında yorum yapabilmeyi mümkün kılmaktadır. İnsan kaynaklı etkilerin belirlenmesinde pek çok yöntem kullanılmaktadır. Beyşehir Gölü'nden temin edilen sediment örneklerindeki kontaminasyon, farklı metotlar uygulanarak incelenmiştir.

Kontaminasyon faktörü (C_f^i) (Hakanson 1980)

Sedimentte bulunan ağır metallerin değerlendirildiği çalışmalarda en sık kullanılan ve mevcut durum hakkında ciddi veriler sağlayan bir yöntemdir.

$$C_f^i = C^i / C_n^i$$

C^i : sedimentte ölçülen metal değeri

C_n^i : metale ait endüstri öncesi referans değeri

Kontaminasyon derecesi (C_d) (Hakanson 1980)

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f^i$$

C_f^i kontaminasyon faktörüdür. Kontaminasyon derecesi ise tüm (C_f^i) değerlerinin toplamıdır.

Modifiye Kontaminasyon Derecesi (mC_d) (Abraham & Parker 2008)

Hakanson'un oluşturduğu kontaminasyon derecesi formülü bazı uygulamalarda problem oluşturduğundan Abraham ve Parker aynı formülü modifiye ederek modifiye kontaminasyon derecesi formülünü oluşturmuştur.

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_f^i}{n}$$

C_f^i : kontaminasyon faktörü

n: metal sayısı

Modifiye edilen bu formülde kontaminasyon faktörü (C_f^i) değerlerinin toplamı metal sayısına oranlanmasıyla elde edilmiştir.

Zenginleştirme faktörü (EF)

$$EF = \frac{C_n/C_{ref}}{B_n/B_{ref}}$$

C_n : çalışmada ölçülen metal değeri

C_{ref} : çalışılan metalin referans ortamdaki değeri

B_n : referans elementin çalışmada ölçülen değeri(örn. Fe or Al)

B_{ref} : referans elementin referans ortamdaki değeri

Jeokümülyasyon indeksi(I_{geo}) (Müller 1969)

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 \times B_n}$$

C_n : ölçülen metal miktarı

B_n : değeri ölçülen metalin referans değerini

1.5 ise doğal dalgalanma katsayısını vermektedir.

Potansiyel ekolojik risk faktörü(Er^i) (Hakanson 1980)

$$Er^i = T_r^i X \frac{C_i}{C_o}$$

T_r^i : toksik response faktörü

C_i : örneklerdeki metal miktarı

C_o : referans değeri

Ortalama etki aralığı medyanı oranı(m-ERM-Q) ve ortalama muhtemel etki seviyesi

oranı (m-PEL-Q) (Carr et al 1996; Long et al 1998)

$$m - ERM - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i/ERM_i}{n}$$

$$m - PEL - Q = \frac{\sum_{i=1}^n C_i/PEL_i}{n}$$

C_i : çalışılan metalin ortamdaki değeri

ERM: çalışılan metalin etki aralığı medyanı

PEL: çalışılan metalin ortalama muhtemel etki seviyesi

n: çalışılan metal sayısı

Toksik üniteler toplamı (ΣTUs) ve oransal toksik unite (Oransal TU)

Çalışılan metallerin birikiminin canlılar üzerindeki etkisinin araştırıldığı yöntemlerdendir.

$$\Sigma TUs = \sum_{i=1}^n C_i/PEL_{C_i}$$

$$\text{Oransal TU} = \frac{C_i/PEL_{C_i}}{\Sigma TUs} \times 100$$

C_i : çalışılan metalin ortamdaki konsantrasyonu

PEL_{C_i} : çalışılan metalin PEL (Muhtemel etki seviyesi) değeri

n: çalışılan toplam metal sayısı

2.4. Data analizleri

İstasyonlar arası ağır metal birikim farkı olup olmadığına SPSS 17.0 istatistik programı kullanılarak bakılmıştır. Veriler az olduğundan ANOVA testi yerine Mann Whitney U testi uygulanmıştır. Her bir arazi bölgesinin istasyonları arasındaki birikim farkları belirlenmiş olup, testler %95'lik ($p < 0.05$) anlam düzeyinde gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Su Sonuçları

İstasyonlardan getirilen su örneklerinden 10'ar mL alınarak ICP cihazında bazı metalloid ve metaller (Pb, Cu, Cr, Ni, As, Mn, Al, Fe, Zn) için analiz edilmiş, istasyonların ağır metal birikim düzeyleri tespit edilmiştir (Çizelge 1). Su sonuçları incelendiğinde, değerler çok yüksek olmamakla birlikte en fazla birikimin 3.istasyonda olduğu görülmektedir. Burada birikimin fazla olmasının nedeninin 3.istasyonda tarım arazilerinin bulunmasından kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. 3.istasyonda Fe' in değeri oldukça yüksek bulunmuştur. Tarım arazilerinde gübrelemede sıklıkla kullanılan esansiyel bir metal olması Fe' in bu istasyonda yoğun olarak bulunmasının sebebi olarak düşünülmektedir.

• Birikim farkları

İstasyonlardan temin edilen su örneklerindeki metal miktarları arasında istatistiksel birikim farkı olup olmadığı incelenmiş ve istasyonlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bulgular tabloda verilmiştir (Çizelge 1). Beyşehir Gölü'nün 1 ve 2. istasyonları kıyaslandığında; Cr,Cu,Zn ve Pb hariç diğer metallerde istatistiki olarak anlamlı bir fark

görülmektedir. Al ve Mn 2.istasyonda 1.istasyona göre daha fazla birikim yapmıştır. Fe,Ni,As ise 1.istasyondaki birikimleri 2.istasyondan daha fazla bulunmuştur. Beyşehir Gölü'nün 1 ve 3.istasyondaki birikimleri kıyaslandığında; Zn hariç diğer metallerde istatistiki olarak anlamlı bir fark söz konusudur. Fark görülen metallerin 3.istasyonda 1.istasyona göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Beyşehir Gölü'nün 2 ve 3.istasyonlarındaki birikim farkları kıyaslandığında; Zn hariç diğer metallerde istatistiki olarak anlamlı bir fark görülmektedir. Fark görülen tüm metallerde 3.istasyonlardaki birikim 2.istasyona göre daha fazla olduğu bulunmuştur.

3.2. Sediment Sonuçları

XRF cihazı kullanılarak sediment örneklerindeki metal miktarları belirlenmiş ($\mu\text{g/g}$) ve önemli görülen metaller çizelgede verilmiştir (Çizelge 2). Sudaki değerleri yüksek bulunan metallerin sediment örneklerinde de yoğun bulunduğu tespit edilmiştir. Çalışılan bölgelerin sedimentlerinin istasyonlar bazında farklılık olmakla birlikte Cr, Zn, Cu, Mn, Ni ve As gibi metallerce yüksek oranda kirli sınıfına dahil oldukları görülmektedir. Sedimentteki en yüksek değerler Fe ve Al'dir. Cr'a 1.istasyon hariç, As'e 2.istasyon hariç hiç rastlanmamıştır. 2005'te Beyşehir Gölü'nde yapılmış çalışmadan farklı olarak Pb tespit edilememiştir. Cr değeri ise yapılan bu çalışmada daha yüksek tespit edilmiştir (Altındağ & Yiğit 2005). Yeniçağa Gölü'nde yapılan bir çalışmada, genel olarak sedimentteki değerler Beyşehir istasyonlarındaki sediment değerlerinden daha düşük bulunmuştur (Tunca et al 2013a).

• Birikim farkları

Temin edilen sediment örneklerinde bulunan metal miktarlarının istasyonlar arası birikim farkı olup olmadığı incelenmiş, bulgular tablolar halinde verilmiştir (Çizelge 2). Beyşehir Gölü'nün 1 ve 2. istasyonlardaki birikim farklarını kıyasladığımızda; sadece Fe, Zn, Ni ve As birikiminde istatistiki olarak anlamlı bir fark görülmektedir. Fark görülen tüm metallerin birikimleri 2.istasyonda 1.istasyona göre daha fazla bulunmuştur. Beyşehir Gölü'nün 1 ve 3. istasyonlardaki birikim farklarını kıyasladığımızda; Cr, Cu ve As hariç diğer metallerin birikiminde istatistiki olarak anlamlı bir fark görülmektedir. Fark görülen metallerin birikimleri 1.istasyonda daha fazla bulunmuştur. Beyşehir Gölü'nün 2 ve 3. istasyonlardaki birikim farklarını kıyasladığımızda; Mn, Cr, Cu hariç diğer metallerin birikiminde istatistiki olarak anlamlı bir fark görülmektedir. Fark görülen metallerin birikimleri 2.istasyonda daha

fazla bulunmuştur.

- ***Sediment kalite değerlendirme***

Sedimentteki kontaminasyonun belirlenmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemlere göre hesaplamalar yapılmış her istasyon için çalışılan metallerin oluşturduğu kontaminasyon değerlendirilmeye çalışılmıştır. Referans değerler ve derecelendirme skalası tabloda verilmiştir (Çizelge 3).

Her metal için ayrı ayrı yapılan kontaminasyon faktörü hesaplamalarına göre, 1.istasyonda Cr ve Ni kontaminasyon aralığının oldukça yüksek derecesinde, As ve Pb hariç diğer metallerin ise orta seviyede olduğu görülmektedir. 2.istasyonda; Ni ve As kontaminasyonunun çok yüksek olduğu, Mn ve Zn'nin oldukça yüksek, Cr ve Pb hariç diğer metallerin ise orta derecede olduğu belirlenmiştir. 3.istasyonun kontaminasyon değerleri diğer istasyonlara göre daha düşüktür (Çizelge 4).

Kontaminasyon dereceleri incelendiğinde 2.istasyonun çok yüksek, 1.istasyonun oldukça yüksek ve 3.istasyonun ise orta seviyede olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, metal birikim farklarıyla benzerlik göstermektedir (2.ist > 1.ist > 3.ist). Kontaminasyon derecesi formülünün modifiye edilmesiyle oluşturulan modifiye kontaminasyon derecesine göre sonuçlar farklılık göstermiştir. mC_d sonuçlarında 1 ve 2.istasyonların orta seviyede, 3.istasyonun ise çok düşük seviyede kontaminasyon olduğu görülmektedir. Metallerin tek tek incelendiği diğer bir yöntem olan zenginleştirme faktörü, 1.istasyonda Ni için orta seviyede, diğer tüm metaller için en az seviyede tespit edilmiştir. 2.istasyonda Ni ve As için orta seviyede, diğer metaller için en az seviyede EF belirlenirken; 3.istasyon için Cr hariç (orta seviye) diğer tüm metaller için en az seviyededir. Jeoakümülyasyon indeksleri incelendiğinde, 1.istasyon Cr ve Ni açısından orta seviye, Al açısından neredeyse hiç kirlenmemiş, diğer metaller açısından ise kirlenmemiş ile orta seviye kirlenmiş arasında tespit edilmiştir. 2.istasyonun As ve Ni açısından orta ile güçlü kirlilik seviyesi arasında, Al açısından neredeyse hiç kirlenmemiş, Cu ve Fe kirlenmemiş ile orta kirlilik arasında, Zn ve Mn açısından ise orta kirlilik derecesinde olduğu belirlenmiştir. 3.istasyonda, Cr orta seviye kirlilik gösterirken, diğer metallerin neredeyse hiç kirlenmemiş seviyesinde olduğu tespit edilmiştir.

Potansiyel ekolojik risk faktörü, kontaminasyonun canlılara olan etkisini gösteren bir yöntemdir. Çalışılan bölgede 1 ve 3. istasyonlar için Er^i değerleri düşüktür.

2.istasyonda ise Ni için orta seviye, As için ise ciddi seviyesinde risk faktörü tespit edilmiştir. 2.istasyonun yapıldığı bölgede kaynak suyu çıkışı olduğu ve bu durumun bu bölgedeki As konsantrasyonunu arttırdığı düşünülmektedir. Ortalama etki aralığı medyanı oranları belirlenmiştir. 1.istasyon %49 toksik aralığında, 2.istasyon %76, 3.istasyon ise %21 toksik aralığında belirlenmiştir. Muhtemel etki seviyeleri oranları ise; 1.istasyonda Ni,As ve Pb açısından hiç etkilenmemiş, diğer metaller için yüksek oranda etkilenmiş; 2.istasyonda Pb açısından hiç etkilenmemiş, As açısından orta seviyede etkilenmiş, diğer tüm metaller için yüksek oranda etkilenmiş; 3.istasyonda ise As ve Pb açısında hiç etkilenmemiş, diğer tüm metaller açısından orta seviyede etkilenmiş tespit edilmiştir.

Sediment kalitesinin değerlendirilmesi için kullanılan tüm yöntemler sonucunda, 2.istasyonun diğer istasyonlara göre daha kontamine ve toksik olduğu, özellikle bu istasyondaki Ni ve As kontaminasyonunun önem teşkil ettiği görülmektedir. Jeoakümülyasyon indeksine göre 2.istasyonun As ve Ni açısından güçlü kirlilik seviyesi ile orta derece arasında olması da bu durumu desteklemektedir. Bu durum potansiyel ekolojik risk faktörü değerlendirmelerinde de görüldüğü üzere, sedimentte kontaminasyona sebep olan bu metallerin canlılar üzerindeki potansiyel etkisinin de ciddi seviyelerde olduğunu göstermektedir.

Sedimentte kontaminantların oluşturduğu kirlilik statülerinin değerlendirilmesinde kalite değerlendirme yöntemlerinin kullanıldığı çalışmalar mevcuttur (Frémion et al 2016; Kalender & Çiçek Uçar 2013; Liu et al 2016; Omar et al 2016). İstanbul Boğazı'nın güney çıkışının sığlık bölgesinde I_{geo} , EF gibi kalite değerlendirme yöntemleri kullanılarak sedimentteki kirlilik hakkında bilgi edinilmiştir. Bu yöntemlere göre; Cr,Cu,Pb ve As'in çevresel risklere sebep olacak tehlikeli kimyasallar olduğu ve toksik sonuçlar oluşturabileceği sonucuna varmışlardır (Ünlü & Alpar 2015). Çıldır Gölü'nde yapılan çalışmalarda sedimentteki metal miktarları belirlenerek, potansiyel ekolojik risk faktörleri değerlendirilmiş, gölde potansiyel risk faktörü olarak Cd ve Hg; diğer bir çalışmada da PLI ve PER değerlerine göre orta seviye ekolojik risk seviyesinde olduğu tespit edilmiştir (Kükreer et al 2015; Kükreer et al 2014). Kapulukaya Gölü'nde (Kırıkkale) sedimentte EF değerlendirmelerine göre en yüksek değer As olduğu ve bölgede ağır metal kirliliği olduğu belirlenmiştir (Kankiliç et al 2013). Ayrıca, İzmir Körfezi'nde, Bafa Gölü'nde ve Rize Limanı'nda da sediment kalite

değerlendirmeleri yapılmış olup, İzmir Körfezi'nin Cu, As, Ni, Cr, Pb açısından şiddetli seviyede kirliliğe maruz kaldığı, Rize Limanı'nda Cu'un önemli zenginleşme oranı olduğu, Bafa Gölü'nün ise, Hg açısından kirlilik riski taşıdığı belirlenmiştir (Atalar et al 2013; Gedik & Boran 2013; Yilgor et al 2012).

Liu vd.'nin 2016'da yapmış oldukları başka bir çalışmada sedimentteki ağır metal birikiminin belirlenmesinde zenginleştirme faktörü ve jeoakümülyasyon indeksi birlikte kullanılmış, sedimentin antropojenik etkiye bağlı olarak özellikle As açısından yüksek kontaminasyon derecelerine ulaştığı tespit edilmiştir (Liu et al 2016). Tropikal bir gölde gerçekleştirilen bir çalışmada, jeoakümülyasyon indeksi ve kontaminasyon faktörüne göre sedimentte Cd kirliliğinin orta seviyede olduğu; kirlilik yüklemeye indeksi ve zenginleştirme faktörü sonuçlarına göre de $Cd > Cu > Pb > Cr > Ni > Mn > Zn$ şeklinde sıralanmıştır (Nirmala et al 2016). Yangtze Nehri'nde sedimentte ağır metal zenginleşmesi araştırılmış olup, EF ve I_{geo} 'ya göre çalışılan metaller açısından akarsu sedimentinde önemli bir kirlilik olmadığı tespit edilmiştir (guo & yang 2016).

Çizelgeler

Çizelge 1. Su örneklerinde metal miktarları ($\mu\text{g/L}$) ve istasyonlar arasındaki birikim farkları

	Al	Cr	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Pb	pH	TDS (mg/L)	EC (SPC- C)	Tuzluluk (ppt)	NO ₃	DO ₂ (mg/L)	T (°C)
1.ist	44 \pm 0.57 ^{2,3}	2.33 \pm 0.30 ³	8.30 \pm 0.28 ^{2,3}	377 \pm 4.66 ^{2,3}	2.40 \pm 0.02 ^{2,3}	1.05 \pm 0.13 ³	L.A	2.04 \pm 0.03 ^{2,3}	0.38 \pm 0.01 ³	7.88	253	389 -	0.19	0.65	4.82	11.4
2.ist	63 \pm 4.15 ^{1,3}	2.44 \pm 0.03 ³	10.49 \pm 0.59 ^{1,3}	316 \pm 5.90 ^{1,3}	1.30 \pm 0.49 ^{1,3}	1.11 \pm 0.09 ³	L.A	0.80 \pm 0.01 ^{1,3}	0.41 \pm 0.02 ³	8.12	254	391 -	0.19	1.73	4.68	11.8
3.ist	184 \pm 0.95 ^{1,2}	3.18 \pm 0.10 ^{1,2}	84.67 \pm 0.43 ^{1,2}	126 \pm 0.94 ^{1,2}	4.90 \pm 0.05 ^{1,2}	2.50 \pm 0.13 ^{1,2}	L.A	4.36 \pm 0.03 ^{1,2}	1.60 \pm 0.01 ^{1,2}	7.86	364	565 -	0.27	1.73	4.63	12.0

L.A: Limit altı

1,2,3 :Üssel rakamlar istasyonlar arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 2. Sedimentteki metal miktarları, istasyonlar arası birikim farkları ve sediment kalite sınıflandırması (Perin et al 1997; Tunca et al 2013b)

$\mu\text{g/g}$	Beyşehir			Sediment kalite parametreleri		
	1.ist	2.ist	3.ist	Kirlenmemiş	Kısmen kirlenmiş	Aşırı kirlenmiş
Fe	96668 \pm 161 ^{2,3}	119686 \pm 14.666 ^{1,3}	58425 \pm 270 ^{1,2}	-	-	-
Al	113560 \pm 2.355 ³	104767 \pm 7.501 ³	9006 \pm 32 ^{1,2}	-	-	-
Zn	221 \pm 4 ^{2,3}	289 \pm 6 ^{1,3}	88 \pm 65 ^{1,2}	<90	90 - 200	>200
Mn	1931 \pm 301 ³	2632 \pm 826	1242 \pm 178 ¹	<300	300 - 500	>500
Cr	335 \pm 49	L.A	283 \pm 215	<25	25 - 75	>75
Ni	303 \pm 31 ^{2,3}	708 \pm 256 ^{1,3}	60 \pm 86 ^{1,2}	<20	20 - 50	>50
Cu	92 \pm 68	104 \pm 74	L.A	<25	25 - 50	>50
As	L.A	137 \pm 12 ^{1,3}	L.A	<3	3-8	>8
Pb	L.A	L.A	L.A	<40	40-60	>60

L.A: Limit altı

1,2,3 :Üssel rakamlar istasyonlar arasındaki anlamlı farklılıkları göstermektedir.

Çizelge 3. Kirlilik ölçekleri ve sınır değerler (Balık & Tunca 2015)

Sınır Değerler									
	Cu	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	As	Cr	Al
PEL	197	91	315	36	-	-	17	90	-
ERM	390	110	270	50	-	-	85	145	-
TEL	35	35	123	18	-	-	5.9	37.3	-
Ref.	45	20	95	68	850	47200	13	90	80000
Kontaminasyon Faktörü (C_f^i)									
$C_f^i < 1$	$1 \leq C_f^i < 3$			$3 \leq C_f^i < 6$			$C_f^i \geq 6$		
nispeten düşük	orta			Oldukça yüksek			Çok yüksek		
Kontaminasyon Derecesi (C_d)									
$C_d \leq 8$	$8 \leq C_d \leq 16$			$16 \leq C_d \leq 32$			$C_d \geq 32$		
düşük	orta			Oldukça yüksek			Çok yüksek		
Modifiye Kontaminasyon Derecesi (mC_d)									
$mC_d < 1.5$	$1.5 \leq mC_d < 2$	$2 \leq mC_d < 4$	$4 \leq mC_d < 8$	$8 \leq mC_d < 16$			$16 \leq mC_d < 32$	$mC_d \geq 32$	
sıfırdan çok aza	düşük	orta	yüksek	çok yüksek			aşırı yüksek	ultra yüksek	
Zenginleştirme Faktörü (EF)									
$EF < 2$	$2 \leq EF < 5$			$5 \leq EF < 20$			$20 \leq EF < 40$	$EF \geq 40$	
En az	orta			belirgin			çok yüksek	Aşırı yüksek	

Beşehir Gölü'nde Su ve Sedimentte Ağır Metal Birikimi ve Sedimentte Antropojenik Kontaminasyon Değerlendirmesi

Jeoakümülayon İndeksi (I_{geo})						
$I_{geo} \leq 0$	$0 < I_{geo} < 1$	$1 < I_{geo} < 2$	$2 < I_{geo} < 3$	$3 < I_{geo} < 4$	$4 < I_{geo} < 5$	$I_{geo} \geq 5$
Neredeyse hiç kirlenmemiş	Kirlenmemiş-orta kirlilik	Orta kirlilik	Orta - güçlü kirlilik	Güçlü kirlilik	Güçlü - aşırı kirlilik	Aşırı kirlilik
Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (Er^i)						
$Er^i < 40$	$40 \leq Er^i < 80$	$80 \leq Er^i < 160$	$160 \leq Er^i < 320$	$320 \geq Er^i$		
düşük	orta	ciddi	yüksek	çok yüksek		
Ortalama Etki Aralığı Medyanı Oranı (m-ERM-Q)						
$m-ERM-Q < 0.1$	$0.11 < m-ERM-Q < 0.5$		$0.51 < m-ERM-Q < 1.5$	$m-ERM-Q > 1.5$		
%9 toksik	%21 toksik		%49 toksik	%76 toksik		
Ortalama Muhtemel Etki Seviyesi Oranı (m-PEL-Q)						
$m-PEL-Q < 0.1$			$0.1 < m-PEL-Q < 1$		$m-ERM-Q > 1$	
etkilenmemiş			ksmen etkilenmiş		yüksek etkilenmiş	

PEL: Olası etki seviyesi, TEL: Sınırlı etki seviyesi Smith vd. (1996)

ERM: Etki aralığı ortancası, ERL: Etki aralığı alt sınırı Long ve Morgan (1991)

Ref: Endüstri öncesi referans değerler Turekian ve Wedepohl (1961)

Çizelge 4. Sedimentte kirlilik değerlendirme yöntemleri

	<i>Kontaminasyon Faktörü (C_f^i)</i>									C_d	mC_d
	Fe	Al	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	As	Pb		
B- 1.ist	2,05	1,42	2,33	2,27	3,72	4,46	2,04	L.A	L.A	18,29	2,03
B- 2.ist	2,54	1,31	3,04	3,10	L.A	10,41	2,31	10,54	L.A	33,25	3,69
B- 3.ist	1,24	1,13	0,93	1,46	3,14	0,88	0	L.A	L.A	8,78	0,98
	<i>Zenginleştirme Faktörü (EF)</i>									$m-RM-Q$	ΣTUs
	Fe	Al	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	As	Pb		
B- 1.ist	1,00	1,14	1,00	0,69	1,11	1,82	2,18	0,00	0,00	1,05	13,31
B- 2.ist	0,91	1,20	1,00	0,52	1,22	0,00	4,11	4,16	0,00	1,90	29,17
B- 3.ist	0,00	0,75	1,00	0,91	1,18	2,54	0,71	0,00	0,00	0,39	5,09
	<i>Jeoakümülayon İndeksi (I_{geo})</i>										
	Fe	Al	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	As	Pb		
B- 1.ist	0,45	0,63	0,45	-0,08	0,60	1,31	1,57	0,00	0,00		
B- 2.ist	0,62	1,02	0,76	-0,20	1,05	0,00	2,80	2,81	0,00		
B- 3.ist	0,00	-0,70	-0,28	-0,41	-0,04	1,07	-0,77	0,00	0,00		
	<i>Potansiyel Ekolojik Risk Faktörü (PERI)</i>										
	Fe	Al	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	As	Pb		
B- 1.ist	10,20	2,33	0,00	0,00	2,27	7,44	22,30	0,00	0,00		
B- 2.ist	11,55	3,04	0,00	0,00	3,10	0,00	52,05	105,40	0,00		
B- 3.ist	0,00	0,93	0,00	0,00	1,46	6,28	4,40	0,00	0,00		
	<i>Ortalama Muhtemel Etki Seviyesi Oranı (M-PEL-Q)</i>										
	Fe	Al	Zn	Mn	Cr	Ni	Cu	As	Pb		
B- 1.ist	1,48	1,43	1,35	1,35	1,35	1,35	0,00	0,00	0,00		
B- 2.ist	3,24	3,18	3,08	3,08	3,08	3,08	3,08	0,90	0,00		
B- 3.ist	0,57	0,57	0,53	0,53	0,53	0,53	0,19	0,00	0,00		

C_d : Kontaminasyon derecesi

mC_d : modifiye kontaminasyon derecesi

$m-ERM-Q$: Ortalama etki aralığı medyanı oranı

ΣTUs : Toksik üniteler toplamı

B: Beşehir

4. SONUÇ

Beyşehir gölü su sonuçlarına göre, tarım arazilerinin olduğu bölgede yapılan istasyon olan 3.istasyonda diğer istasyonlara göre daha fazla metal birikiminin olduğu tespit edilmiştir. Çalışılan bölgelerin sedimentlerinin ise, istasyonlar bazında farklılık olmakla birlikte Cr, Zn, Cu, Mn, Ni ve As gibi metallerce yüksek oranda kirli sınıfa dahil oldukları, çoğu metal birikimleri arasında istatistiki olarak anlamlı bir birikim farkı olduğu görülmektedir. Sediment kirlilik değerlendirmesinde pek çok jeokimyasal yöntem kullanılmıştır. Yöntemlerin sonuçlarına göre, sudaki metal birikiminin 3.istasyonda yoğun olmasına karşın; sedimentte 2.istasyonun diğer istasyonlara göre daha kontamine ve toksik olduğu tespit edilmiştir. Ortalama etki aralığı medyanı oranına göre 2.istasyonun %76 oranında toksik olduğu, As açısından orta seviyede diğer metaller açısından ise yüksek oranda etkilenmiş olduğu görülmektedir. Bu durum PERI değerlendirmelerinden de görüldüğü üzere, sedimentteki kontaminantların canlılar üzerindeki potansiyel toksik etkisinin ciddi seviyede olduğunu göstermektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Tübitak 112Y373 nolu projeyle desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Abraham G M S & Parker R J (2008). Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment* **136**(1-3): 227-238
- Altındağ A & Yiğit S (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere* **60**(4): 552-556
- Atalar M, Kucuksezgin F, Duman M & Gonul L T (2013). Heavy metal concentrations in surficial and core sediments from Izmir Bay: An assessment of contamination and comparison against sediment quality benchmarks. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **91**(1): 69-75
- Balık İ & Tunca E (2015). A Review of Sediment Contamination Assessment Methods. *Journal of Maritime and Marine Sciences* **1**(1): 32-42
- Banerjee S, Kumar A, Maiti S K & Chowdhury A (2016). Seasonal variation in heavy metal contaminations in water and sediments of Jamshedpur stretch of Subarnarekha river, India. *Environmental Earth Sciences* **75**(3): 1-12
- Bonnail E, Sarmiento A M, DelValls T A, Nieto J M & Riba I (2016). Assessment of metal contamination, bioavailability, toxicity and bioaccumulation in extreme metallic environments (Iberian Pyrite Belt) using *Corbicula fluminea*. *Science of the Total Environment* **544**:1031-1044
- Carr R S, Long E R, Windom H L, Chapman D C, Thursby G, Sloane G M & Wolfe D A (1996). Sediment quality assessment studies of Tampa Bay, Florida. *Environmental Toxicology and Chemistry* **15**(7): 1218-1231

- Frémion F, Bordas F, Mourier B, Lenain J F, Kestens T & Courtin-Nomade A (2016). Influence of dams on sediment continuity: A study case of a natural metallic contamination. *Science of the Total Environment* **547**:282-294
- Frena M, Bataglioni G A, Tonietto A E, Eberlin M N, Alexandre M R & Madureira L A S (2016). Assessment of anthropogenic contamination with sterol markers in surface sediments of a tropical estuary (Itajaí-Açu, Brazil). *Science of the Total Environment* **544**:432-438
- Gao W, Du Y, Gao S, Ingels J & Wang D (2016). Heavy metal accumulation reflecting natural sedimentary processes and anthropogenic activities in two contrasting coastal wetland ecosystems, eastern China. *Journal of Soils and Sediments* **16**(3): 1093-1108
- Gedik K & Boran M (2013). Assessment of metal accumulation and ecological risk around rize harbor, Turkey (Southeast Black Sea) affected by copper ore loading operations by using different sediment indexes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **90**(2): 176-181
- Guo Y & Yang S (2016). Heavy metal enrichments in the Changjiang (Yangtze River) catchment and on the inner shelf of the East China Sea over the last 150years. *Science of the Total Environment* **543**:105-115
- Hakanson L (1980). An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Research* **14**:975-1001
- Kalender L & Çiçek Uçar S (2013). Assessment of metal contamination in sediments in the tributaries of the Euphrates River, using pollution indices and the determination of the pollution source, Turkey. *Journal of Geochemical Exploration* **134**:73-84
- Kankiliç G B, Tüzün I & Kadioğlu Y K (2013). Assessment of heavy metal levels in sediment samples of Kapulukaya Dam Lake (Kirikkale) and lower catchment area. *Environmental Monitoring and Assessment* **185**(8): 6739-6750
- Kükrer S, Erginal A E, Şeker S & Karabıyıkoglu M (2015). Distribution and environmental risk evaluation of heavy metal in core sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* **187**(7):
- Kükrer S, Seker S, Abaci Z T & Kutlu B (2014). Ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of northern littoral zone of Lake Çıldır, Ardahan, Turkey. *Environmental monitoring and assessment* **186**(6): 3847-3857
- Liu S, Shi X, Yang G, Khokiattiwong S & Kornkanitnan N (2016). Concentration distribution and assessment of heavy metals in the surface sediments of the western Gulf of Thailand. *Environmental Earth Sciences* **75**(4): 1-14
- Long E R, Field L J & MacDonald D D (1998). Predicting toxicity in marine sediments with numerical sediment quality guidelines. *Environmental Toxicology and Chemistry* **17**(4): 714-727
- Müller G (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *GeoJournal* **2**:108-118
- Nirmala K, Ramesh R, Ambujam N K, Arumugam K & Srinivasalu S (2016). Geochemistry of surface sediments of a tropical brackish water lake in South Asia. *Environmental Earth Sciences* **75**(3): 1-11
- Omar W A, Saleh Y S & Marie M A S (2016). The use of biotic and abiotic components of Red Sea coastal areas as indicators of ecosystem health. *Ecotoxicology* **25**(2): 253-266
- Perin G, Bonardi M, Fabris R, Simoncini B, Manente S, Tosi L & Scotto S (1997). Heavy Metal Pollution in Central Venice Lagoon Bottom Sediments: Evaluation of the Metal Bioavailability by Geochemical Speciation Procedure. *Environmental Technology* **18**(6): 593-604
- Tunca E, Üçüncü E, Kurtuluş B, Ozkan A D & Atasagun S (2013a). Accumulation trends of metals and a metalloid in the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* from Lake Yenicağa (Turkey). *Chemistry and Ecology* **29**(8): 754-769

- Tunca E, Üçüncü E, Kurtuluş B, Ozkan A D & Atasagun S (2013b). Accumulation trends of metals and a metalloid in the freshwater crayfish *Astacus leptodactylus* from Lake Yeniçağa (Turkey). *Chemistry and Ecology* **29**(8): 754-769
- Ucuncu E, Tunca E, Fikirdesici S & Altindag A (2013). Decrease and increase profile of Cu, Cr and Pb during stable phase of removal by duckweed (*Lemna minor* L.). *Int J Phytoremediation* **15**(4): 376-84
- Ünlü S & Alpar B (2015). An assessment of metal contamination in the shelf sediments at the southern exit of Bosphorus Strait, Turkey. *Toxicological and Environmental Chemistry* **97**(6): 723-740
- Yilgor S, Kucuksezgin F & Ozel E (2012). Assessment of metal concentrations in sediments from Lake Bafa (Western Anatolia): An index analysis approach. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* **89**(3): 512-518