

Received: 09.04.2018

Accepted: 21.09.2018

DOI: 10.30516/bilgesci.413824

ISSN: 2651-401X

e-ISSN: 2651-4028

2(2), 128-138, 2018

Bafa Gölü Sediment ve Su Kalitesinin Ağır Metaller Bakımından Değerlendirilmesi

Fulya Algül^{1*}, Mehmet Beyhan¹

Özet: Bu çalışmanın amacı, Bafa Gölü'nü tehdit eden kirleticilerden ağır metallerin su ve sediment ortamlarındaki mevcudiyetini araştırmak, gölün durumunu ağır metal kirlenmesi bakımından değerlendirerek göldeki ekolojik sürdürülebilirliğin sağlanması amacıyla çeşitli çözüm önerileri geliştirmektir. Bafa Gölü'nü kirletmesi muhtemel ağır metal türlerinin göl suyundaki konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla göl içinde seçilen 4 örnekleme noktasında yüzey ve tabandan 12 aylık su örnekleri alınmıştır. Ayrıca gölün giriş ve çıkış kanallarından da 12 ay boyunca su örnekleri alınarak göle giren ve gölden çıkan ağır metal miktarları tespit edilmiştir. Ağır metallerin sediment ortamındaki birikimini belirlemek için su örneklerinin alındığı istasyonlarda mevsimsel olarak 4 kere sediment örnekleme yapılmıştır. Alınan su ve sediment örneklerinde kirliliğe neden olması beklenen ağır metal türleri, Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn olarak belirlenmiştir. Göle giren sularda, ağır metal konsantrasyonlarının gölden çıkış yapan sulardan daha fazla ağır metal içerdiği tespit edilmiş, aradaki farkın, gölde bulunan sediment ortamında tutulduğu ortaya konulmuştur. Bafa gölünü kirlilik bakımından en yüksek derecede etkileyen ağır metaller; Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe olarak belirlenmiş olup, bunların özellikle bazı su ve sediment ortamlarındaki konsantrasyonları kabul edilen belirli kirlilik kriter seviyelerini aştığı belirlenmiştir.

Keywords: Bafa Gölü, Ağır metal, Su Kalitesi, Sediment, Kirlilik

Assessment of Sediment and Water Quality in Terms of Heavy Metals, In Lake Bafa

Abstract: The aim of this study is to investigate the presence of heavy metals in water and sediment environments from various pollution sources threatening Lake Bafa and to develop solutions to assess ecological sustainability in the lake for heavy metal contamination. To determine concentrations of probable heavy metal species polluting the water environment of Lake Bafa, samples, were taken during 12 months from the surface and bottom, at 4 selected sampling points and from the entrance and exit channels of the lake, monthly. To determine the accumulation of heavy metals in the sediment environment, samples were taken seasonally, 4 times, at the stations where the water samples were taken. The heavy metal species expected to cause pollution in the water and sediment samples were defined as Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn. It was determined that the heavy metal concentrations in the entrance channel, contained more heavy metal concentrations than the exit channel, and the difference was kept in the sediment environment in the lake. Heavy metals affecting Lake Bafa at the highest pollution level are gradable as Ni, Cd, Cr, Cu, and Fe. Concentrations determined in some water and sediment environments have exceeded certain accepted pollution criterion levels.

Keywords: Lake Bafa, Heavy Metal, Water Quality, Sediment, Pollution

¹Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Environmental Engineering, Isparta, Turkey

*Corresponding author (İletişim yazarı): mehmetbeyhan@sdu.edu.tr

Citation (Atıf): Algül, F., Beyhan, M., 2018. Assessment of Sediment and Water Quality in Terms of Heavy Metals, In Lake Bafa. Bilge International Journal of Science and Technology Research, 2 (2): 128-138.

1. Giriş

Su, biyolojik yaşam formları ve insan faaliyetlerinin sürdürülebilirliğini sağlayan ekosistemimizin en önemli varlığıdır. Dünya yüzey alanının %70'i sularla kaplıdır ancak dünyada var olan suyun, %97'si okyanus ve denizlerde tuzlu sular halindedir ve mevcut suların ancak %3 gibi çok küçük bir miktarı içilebilir tatlı su durumundadır. Bunun da önemli bir kısmı kolay ulaşılabilir değildir. Günümüzde pek çok ülkede sağlıklı ve temiz suya ulaşmada çeşitli sorunlar bulunmaktadır ve birçok ülkede su kıtlığı yaşanmaktadır (USGS, 1999).

Dünya nüfusunun hızlı artışı ve yaşam standartlarının yükselmesine bağlı olarak endüstri ve sanayi atıklarındaki kirliliğin göl ve nehir gibi alıcı ortamlara ulaşması ile içilebilir ve kullanılabilir su miktarında azalmalar ve su kalitesinde bozulmalar görülmektedir (Akın ve Akın, 2007).

Sularda kirletici etki yapan birçok unsur bulunmaktadır. Bunlar; organik maddeler, gübre atıkları, deterjanlar, pestisitler, petrol ve türevleri, bakteri ve virüsler gibi hastalık yapıcı canlılar, tuzluluk ve canlılarda toksik etki yapan maddelerdir. Bu kirletici kaynakların en önemlilerinden birini de toksik etki yapan ağır metaller oluşturur (Wang vd., 2014). Endüstriyel ve tarımsal faaliyetlerdeki yoğunlaşma ağır metal kirliliğinin artmasındaki en önemli etkenlerdendir. Bu durum sucul ortamlarda bulunan canlı organizmaların hayatını tehdit etmektedir. Ağır metallerin düşük konsantrasyonlarda bile kanserojen, toksik ve mutajen etkilerinin bulunduğu düşünüldüğünde son derece önemli oldukları söylenebilir (Kahvecioğlu vd., 2009). Ayrıca uygun olmayan deşarjlar ve atmosferik taşınım yollarıyla sucul ortamlara karışan ağır metaller biyolojik olarak parçalanamadıkları için canlı organizmalarda birikme eğilimindedirler (Topbaş vd., 1998).

Bafa Gölü, Türkiye'nin batısında yer alan Ege Bölgesi'nin önemli göllerinden biridir. Yüzölçümü 72 km² olan gölde derinlik en fazla 25 m ve kıyı şeridi uzunluğu 50 km'dir (www.turkiyesulakalanlari.com, 2018). Göl tabanı deniz seviyesinin altında olup sıcaklık tabakalaşması görülen, orta derinlikte ve tuzlu bir göl olarak değerlendirilebilir. Bir zamanlar Ege Denizi'nin bir parçasıyken Büyük Menderes Nehri'nin taşıdığı alüvyonlar nedeniyle denizle olan bağlantısı zamanla kesilmiştir. Bu özellikler

bakımından ekolojik açıdan da önemli bir doğal göl durumundadır.

Bafa Gölü'nde yaşanan kirliliğin en önemli nedenlerinden biri Büyük Menderes Nehri'nden taşınan kirletici maddelerdir. Bunun yanında göl ile Büyük Menderes Nehri arasına yapılan ve gölün doğal su dengesini bozan bir setin varlığı da gölü etkilemektedir. Gölün yakın çevresinde faaliyet gösteren zeytinyağı üretim işletmeleri, balık yetiştirme tesisleri, otel, lokanta ve küçük ölçekli yerleşim birimleri ile büyük tarım arazileri yer almakta ve göle bu kaynaklardan giren çeşitli atıklar başta organik maddeler ve ağır metaller olmak üzere göldeki kirlilik tehdidini oluşturmaktadır.

Son yıllarda, gölde görülen ekolojik kayıplar ve kirlilik durumları nedeniyle araştırmacıların Bafa Gölü'nün su kalitesine olan ilgisinin giderek arttığını söylemek mümkündür.

Yılgör (2012), Bafa Gölü'nde sediment kirliliğini araştırmıştır. Alınan sediment örneklerinde Fe, Cr, Mn, Pb, Ni, Zn, Cu, Hg konsantrasyonları belirlenmiş karot örneklerinde radyometrik metotlar kullanarak yakın dönem tarihlenmesi yapmış ve sediment çökelim hızını saptamıştır. Ayrıca sediment örneklerinde organik karbon, tane boyu, göl suyuna ait akıntı ölçümleri, karbonat analizleri ve fizikokimyasal parametreleri de tayin etmiştir. Yapılan tarihlendirme ve ağır metal analizi sonuçlarına göre; ağır metal derişimlerini bazı kirlilik indekslerine göre yorumlamış ve sonucunda; Fe, Cr, Mn, Pb, Ni, Zn ve Cu, metalleri için neredeyse tüm yüzey ve karot örneklerini kirli olarak sınıflandırmıştır. Çalışmada Hg metaline ait zenginleşme faktörü değeri oldukça yüksek bulunmuş ve çalışma alanı genelinde Hg açısından kirli olduğunu sonucu ortaya çıkmıştır.

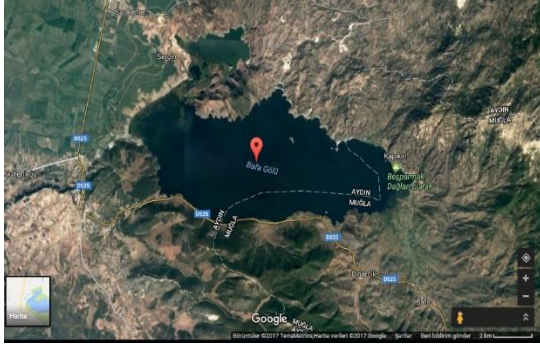
Manav (2014), Bafa Gölü'nde biyota *L. Ramada* (kefal), *D. Labrax* (levrek) ve *A. Anguilla* (yılan balığı), yüzey sedimenti, sediment tuzağı ve kor örnekleri, ²¹⁰Po ve ²¹⁰Pb radyoaktivite düzeyleri ve Cr, Ni, Pb, Cd, Mn, Fe ve Zn ağır metallerini araştırmıştır. Yüzey sedimenti ve sediment tuzağı örnekleri mevsimsel olarak araştırılmıştır. Çalışmada, Cr, Ni, Pb, Cd, Mn, Fe ve Zn iz element değerleri kor ve balık örnekleri için belirlenmiş ve bunlardan balık örneklerindeki Cd, Pb ve Zn değerlerinin Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın öngördüğü kritik seviyenin üstünde olduğu bulunmuştur.

Bu çalışmada Bafa Gölü'nü tehdit eden kirleticilerden 10 farklı ağır metal türünün su ve sediment ortamlarındaki konsantrasyonlarının araştırılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilerek kirlenme durumu hakkında tespitler yapılması amaçlanmıştır.

2. Materyal and Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Bafa Gölü, Aydın ve Muğla illeri arasında, Büyük Menderes Deltası'nın güney doğusunda 37° 31' Kuzey, 27° 27' Doğu koordinatlarında yer alır (Şekil 1). Göl, Büyük Menderes Deltası'nın jeomorfolojik gelişimi sonucunda Ege Denizi'nin bir koyu iken zamanla göl halini almıştır. Toplam alanı 7.088 ha olan göl yüzeyinin denizden yüksekliği 10 m çevresi 50 km olup denize uzaklığı 17 km'dir. Büyük Menderes Nehri gölü besleyen en önemli kaynaktır (OSİB, 2016).



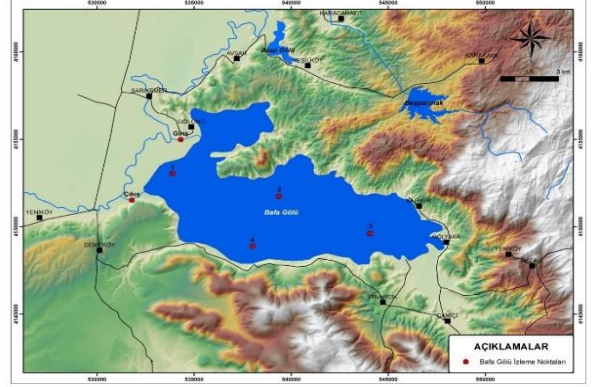
Şekil 1. Bafa Gölü'nün Konumu (Google Earth, 2017)

Aynı zamanda zengin florası ile ekolojik değere sahip olan Bafa Gölü önemli kuş cennetlerinden biridir. Toplamda 261 kuş türü, bunun yanı sıra 325 bitki, 22 sürüngen ve 19 memeli türüne ev sahipliği yapan Bafa Gölü, 1989 yılında Doğal Sit Alanı ve 1994 yılında Tabiat Parkı ilan edilmiştir (<http://www.wwf.org.tr>).

2.2. Örnekleme Noktaları

Bu çalışmada gölde bulunan ağır metallerin su ortamlarındaki kirlilik durumunu belirlemek için göl içinde 4, gölün giriş ve çıkış kanallarından da birer adet örnekleme noktasından 12 ay boyunca örnekleme yapılmıştır. Gölde bulunan ağır metallerin sediment ortamındaki kirlilik durumunu belirlemek için de mevsimsel olarak bir yıllık örnekleme çalışması yapılmıştır. Bafa Gölü'nde

ağır metal izleme çalışmalarının yapıldığı örnekleme noktaları Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışma alanı ve örnekleme noktalarının konumları

1. istasyon, gölün batısında yer almakta ve derinliği 0,7 m'dir. Bu nokta civarında tarımsal faaliyetlerin varlığı ve arazide kullanılan zirai ilaç ve gübrelerin, kimyasalların sulama suyu fazlasıyla yıkanarak göle girişi söz konusudur. Bu örnekleme noktası sığ ve Büyük Menderes Nehri'nin giriş yaptığı nokta ile gölden çıkış kanalı arasında kalan bir noktadır. Dolayısıyla nehirden gelen kirliliğin yoğun olduğu bir bölge olacağı düşünülmüş ve belirlenmiştir.

2. istasyon, gölün kuzeyinde yer almaktadır ve derinliği 23 m'dir. Yerleşim yerleri etkisinden uzak, yeraltı suyu girişinin yüksek olabileceği ve nispeten temiz bir bölge olduğu düşünülmüş ve belirlenmiştir.

3. istasyon, gölün doğusunda ve Aydın-Muğla il sınırları civarında yer almaktadır ve derinliği 18 m'dir. Bu istasyon çevresinde bulunan Kapıkırı ve Gökyaka gibi kanalizasyon alt yapıları bulunmayan yerleşimlerden gelen evsel atıklar kirliliğe neden olabileceği düşünülmüş ve belirlenmiştir. Bu bölgede karasu olarak adlandırılan zeytin işleme tesislerinden gelen tesis işletme atıksuları ve turistik tesislerden kaynaklı katı atıkların oluşturduğu bir kirlenme olduğu da gözlenmiştir. Ayrıca göle çok yakın mesafede otel, restoran, çay bahçeleri gibi işyerleri de bulunmaktadır. Bu işletmelerdeki evsel ve endüstriyel atıksuların, gölün su kalitesi açısından risk oluşturacağı düşünülmüştür.

4. istasyon gölün güneyinde yer almaktadır ve derinliği 20 m'dir. Bu istasyon civarından şehirlerarası karayolu geçmesi, nedeniyle ağır metal kirleticilerinin birikme potansiyeli olduğu düşünülmüştür. Ayrıca bölgede zeytinyağı ve balık

işleme tesislerinden gelen atıkların göle karışması sonucu bu nokta dördüncü istasyon olarak belirlenmiştir.

Giriş noktası, gölün kuzey batısında yer alan Büyük Menderes Nehri ile göl arasındaki kanalın kontrol edildiği bölgedir. Bu bölgenin çevresinde tarımsal alanlar bulunmaktadır.

Çıkış noktası, gölün güneybatısında yer alan, gölün nehre çıkış bağlantısının olduğu kanaldaki kontrol vanasının bulunduğu yerdir. Balık işleme tesislerine oldukça yakın bir noktadır. Bu noktanın yakın çevresinde tarımsal alanlar da bulunmaktadır.

2.3. Laboratuvar Analizleri

Göl içinde yer alan örnekleme noktalarından alınan su örnekleri Ağustos 2015- Temmuz 2016 tarihleri arasında yüzeyden ve dipten ayrı ayrı olmak üzere aylık periyotlarla alınmıştır. Giriş ve çıkış kanallarından su örnekleri suyun orta derinliğinden alınmıştır. Sediment örnekleri, sedimentin 2 cm'lik kalınlığındaki üst bölgesinden mevsimsel olarak Ağustos 2015, Kasım 2015, Şubat 2016, Mayıs 2016 tarihlerinde alınmıştır.

Su örnekleri için 1 L kapasiteli koyu renkli polietilen teraftalat, sediment örnekleri içinse 500 mL kapasiteli koyu renkli polietilen teraftalat örnek alma kapları kullanılmış ve koruma-saklama işlemleri uygulanmıştır. Su ve sediment örnekleri, mini oto buzdolabına konularak Süleyman Demirel Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarına getirilmiştir. Su örnekleri, analizden önce içerisindeki katı partiküllerin giderilmesi amacıyla 0,45 mikronluk filtreden süzülerek, 5 mL nitrik asit ile asitlendirilmiş ve analiz sürecine kadar +4°C'lik kapalı ortamda muhafaza edilmiştir. Sediment örnekleri, 50 mL falkon tüplere alınarak analiz aşamasına gelinceye kadar derin dondurucu içerisinde -20°C de korunmuştur.

Ağır metal analizleri, akredite olmuş bir laboratuvarında, ICP-OES cihazında gerçekleştirilmiştir. Su ve sediment kalitesi izleme sonucu elde edilen bulgular 3. kısımda sunulmuştur.

2.4. Verilerin Değerlendirilmesi

İzleme dönemi boyunca su ve sediment ortamları için elde edilen veriler; göle giriş kanalındaki mevsimlik ortalama konsantrasyonları, göl içindeki tüm örnekleme noktalarından elde edilen mevsimlik ortalama konsantrasyonlar ve çıkış kanalı mevsimlik ortalama konsantrasyonları sıralaması

ile grafik üzerine işaretlenerek değerlendirilmiştir. Ayrıca kirlilik kriterini aşan bazı noktalardaki özel durumlara da dikkat çekilmiştir.

Su örneklerinde, analizi yapılan ağır metal türlerinin tamamı (Al, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn) 2008 yılında revize edilen Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) eklerinde yer alan Tablo 1 (Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri)'e göre değerlendirilmiştir. Söz konusu tablo 2012 yılında yürürlüğe giren ve 2016 yılında revize edilen "Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği" (YSKY) ekinde de yer almaktadır. Ancak yönetmeliğin son halinde bu çalışmaya konu olan ağır metallerden sadece Mangan parametresi "Kıtaçi Yerüstü Su Kaynaklarının Genel Kimyasal ve Fizikokimyasal Parametreler Açısından Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri" tablosunda yer almaktadır (YSKY, 2016). Bu nedenle çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler aşağıda Çizelge 1'de verilen SKKY de yer alan Tablo 1 kriterlerine göre yapılmıştır.

Sediment örneklerinde belirlenen ağır metal türlerinin konsantrasyonları, ülkemiz mevzuatında sediment kalitesi ile ilgili değerlendirme kriteri bulunmadığı için Kanada'da uygulanmakta olan ve aşağıda Çizelge 2'de verilen "Kanada Sediment Kalite Yönergesi" kriterlerine göre çalışma kapsamında analizi yapılmış olan Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Mn, Ni ve Zn parametreleri için değerlendirilmiştir.

Çizelge 1. Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri (SKKY, 2008)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
	1.Sınıf	2.Sınıf	3.Sınıf	4.Sınıf
Alüminyum (mg Al/L)	≤ 0,3	≤ 0,3	1	>1
Kadmium (µg Cd/L)	≤ 2	5	7	>7
Krom(toplam) (µg Cr/L)	≤ 20	50	200	>200
Kobalt (µg Co/L)	≤ 10	20	200	>200
Bakır (µg Cu/L)	≤ 20	50	200	>200
Demir (µg Fe/L)	≤ 300	1000	5000	>5000
Kurşun (µg Pb/L)	≤ 10	20	50	>50
Mangan (µg Mn/L)	≤ 100	500	3000	>3000
Nikel (µg Ni/L)	≤ 20	50	200	>200
Çinko (µg Zn/L)	≤ 200	500	2000	> 2000

Çizelge 2. Kanada Sediment Kalite Yönergesi, 1992(<https://www.ontario.ca/document/guidelines>)

Metaller	En Düşük Etki Seviyesi (mg/kg KM)	Kuvvetli Etki Seviyesi (mg/kg KM)
Kadmiyum	0,6	33
Krom	26	110
Bakır	16	110
Demir (%)	2	4
Kurşun	31	250
Mangan	460	1100
Nikel	16	75
Çinko	120	820

3. Bulgular

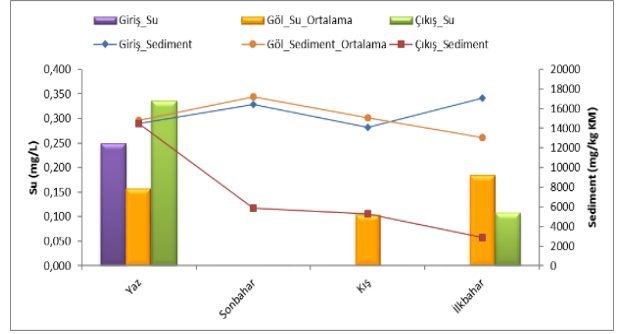
Bafa Gölü su ve sediment örneklerinde Ağustos 2015- Temmuz 2016 döneminde ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının mevsimlere göre ortalama değerleri ve bu değerlere göre oluşturulan şekiller aşağıda sırayla sunulmuştur.

Alüminyum

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Al konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 3’de verilmiştir.

Su örneklerinde görülen en yüksek Al konsantrasyonları; yaz mevsiminde çıkış kanalında 0,336 mg/L olarak II. sınıf su, giriş kanalında, 0,249 mg/L olarak I. sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir. Göl içi örnekleme noktalarında ortalama Al konsantrasyonunun 0,112 mg/L olarak I. Sınıf su kalitesinde olduğu görülmüştür. Sonbahar mevsiminde, tüm örnekleme noktalarında Al ölçüm limit değeri (LOQ) olan 0,1 mg/L değerinin altında tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde tespit edilen Al konsantrasyonları; giriş kanalında ortalama 15.525 mg/kg KM, göl içi örnekleme noktalarında ortalama 15.037 mg/kg KM ve çıkış kanalında ortalama 7.132,5 mg/kg KM olarak belirlenmiştir.



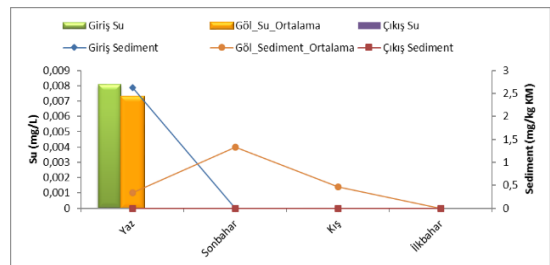
Şekil 3. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Al konsantrasyonları

Kadmiyum

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Cd konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 4’te verilmiştir.

Su örneklerinde Cd sadece yaz mevsiminde giriş kanalında ve göl suyunda sırasıyla 8,08 µg/L ve 7,26 µg/L konsantrasyonunda ve IV. sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir. Diğer mevsimlerde su ortamında kadmiyumun ölçüm limit değeri olan 4 µg/L konsantrasyonundan düşük değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde de Cd sadece giriş kanalında ve göl içi sediment ortamlarında tespit edilmiştir. Giriş kanalında kadmiyum suda olduğu gibi sadece yaz mevsiminde 2,63 mg/kg KM konsantrasyonunda, en düşük etki seviyesi değerinin üzerinde (>0,6 mg/kg KM) üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Göl içi sediment ortamında Cd ortalama 0,53 mg/kg KM değeri ile en düşük etki seviyesi 0,6 mg/kg KM değerine çok yakın, 3 nolu örnekleme istasyonunda sonbahar mevsiminde 3,92 mg/kg KM değeri ile en düşük etki seviyesi değerinin üzerinde tespit edilmiştir.



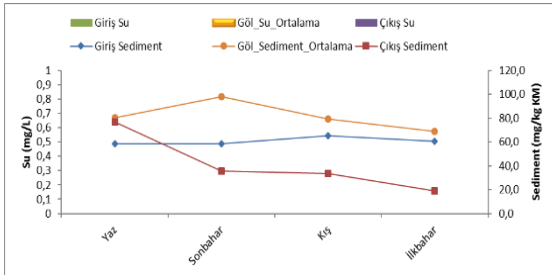
Şekil 4. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Cd konsantrasyonları

Krom

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Cr konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 5'te verilmiştir.

Tüm su örneklerindeki Cr konsantrasyonları, ölçüm limit değerinin (LOQ < 0,01 mg/L) altında tespit edilmiştir. Bu durum tüm su örneklerinin krom bakımından I. sınıf su kalitesinde olduğunu göstermektedir.

Sediment örneklerinde tespit edilen ortalama Cr konsantrasyonları; göl içi örnekleme noktalarında 81,6 mg/kg KM, giriş kanalında 60,7 mg/kg KM ve çıkış kanalında 41,2 mg/kg KM olarak tamamı en düşük etki seviyesi değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sediment örneklerinde tespit edilen en yüksek Cr konsantrasyonları; yaz mevsiminde göl içi ve çıkış kanalı sedimentlerinde sırasıyla 80,1 mg/kg KM ve 76,7 mg/kg KM, sonbahar ve kış mevsiminde göl içinde sırasıyla 97,9 mg/kg KM ve 79,5 mg/kg KM olduğu ve sediment ortamının kuvvetli etki seviyesi değeri olan 110 mg/kg KM değerine yaklaştığı gözlenmiştir. Cr, göl içinde yer alan 1 nolu örnekleme istasyonunda sonbahar mevsiminde 120 mg/kg KM değerinde tespit edilmiş olup bu konsantrasyon kuvvetli etki seviyesi değerinin üzerindedir.



Şekil 5. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Cr konsantrasyonları

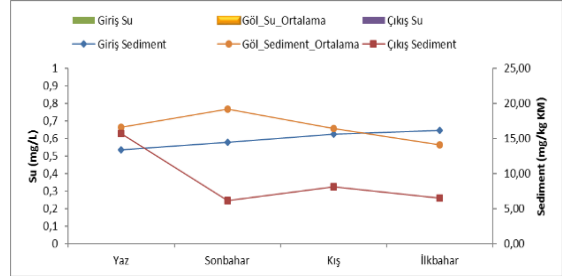
Kobalt

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Co konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 6'da verilmiştir.

Tüm su örneklerindeki Co konsantrasyonları, ölçüm limit değerinin (LOQ < 0,02 mg/L) altında tespit edilmiştir. Bu durum, tüm su örneklerinin kobalt bakımından II. sınıf su kalite kriterinin 0,02

mg/L olması nedeniyle en kötü II. sınıf su kalitesinde olduğunu göstermektedir.

Sediment örneklerinde tespit edilen Co konsantrasyonları; giriş kanalında ortalama 14,93 mg/kg KM, göl içi örnekleme noktalarında ortalama 16,61 mg/kg KM ve çıkış kanalında ortalama 9,13 mg/kg KM olarak belirlenmiştir.



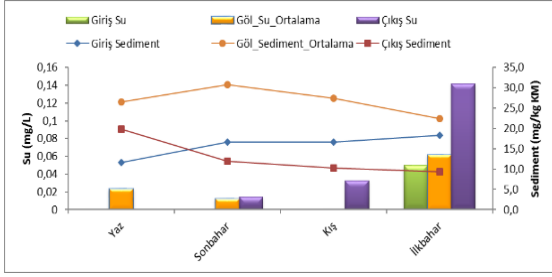
Şekil 6. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Co konsantrasyonları

Bakır

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Cu konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.

Su örneklerinde en yüksek Cu konsantrasyonlarının; ilkbahar mevsiminde çıkış kanalında 142 µg/L, göl içinde 61,4 µg/L ve giriş kanalında 49,9 µg/L olarak tüm örnekleme noktalarında III. sınıf su kalitesinde (>50 µg/L) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Cu konsantrasyonu, kış mevsiminde çıkış kanalında 32,5 µg/L, yaz mevsiminde de göl içinde ortalama 23,3 µg/L değerlerinde tespit edilmiş olup su kalitesi bakımından gölün bu mevsimlerde Cu bakımından II. sınıf su kalitesinde olduğu görülmüştür.

Sediment örneklerindeki en yüksek konsantrasyonlar; "Kanada Sediment Kalite Yönergesi" kriterlerine göre, göl içindeki sediment örneklerinde, ortalama 26,8 mg/kg KM değeri ile en düşük etki seviyesi değerinin (16 mg/kg KM) üzerinde olduğu saptanmıştır. Cu, giriş kanalında 15,8 mg/kg KM, çıkış kanalında 12,9 mg/kg KM konsantrasyon düzeylerinde tespit edilmiş olup bu değerler en düşük etki seviyesi değerine oldukça yakındır.



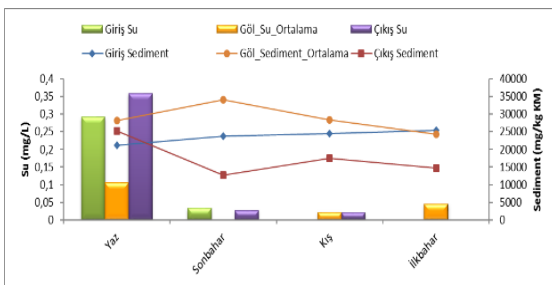
Şekil 7. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Cu konsantrasyonları

Demir

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Fe konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 8’de verilmiştir.

Su örneklerinde en yüksek Fe konsantrasyonları; yaz mevsiminde giriş ve çıkış kanallarında, sırasıyla 292 µg/L (I. sınıf) ve 359 µg/L (II. sınıf) ve göl suyu örneklerinde 105 µg/L (I. sınıf) olarak tespit edilmiştir. Diğer mevsimlerde göl suyunda Fe düşük konsantrasyonlarda tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde en yüksek konsantrasyonlar; göl içi örnekleme noktalarında ortalama %2,87 ve giriş kanalında ortalama %2,37 değerlerinde en düşük etki seviyesi değerinin üzerinde ve çıkış kanalında ortalama %1,755 değeri ile en düşük etki seviyesine yakın olduğu belirlenmiştir.



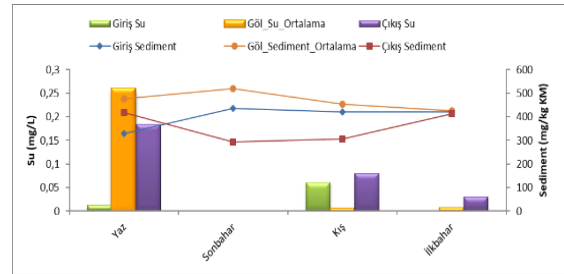
Şekil 8. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Fe konsantrasyonları

Mangan

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Mn konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 9’da verilmiştir.

Su örneklerinde en yüksek Mn değerleri; çıkış kanalında ortalama 98,246 µg/L, gölden alınan örneklerde 69,188 µg/L, giriş kanalında 37,12 µg/L değerlerinde tespit edilmiştir. Çıkış kanalı ortalama değeri II. Sınıf su kalitesi sınırına oldukça yakın bir seviyededir. Özellikle yaz mevsiminde göl içinde yer alan 2, 3 ve 4 nolu istasyonlarda dip suyundaki mangan konsantrasyon değerleri sırasıyla 635 µg/L, 536 µg/L ve 567 µg/L olup dip sularında manganın III. sınıf su kalitesine sahip olduğu görülmüştür.

Sediment örneklerinde belirlenen en yüksek Mn konsantrasyonları göl içi örnekleme noktalarında ortalama 469 mg/kg KM seviyesinde olup bu konsantrasyon en düşük etki seviyesi değerinin (460 mg/kg KM) üzerindedir. Giriş kanalında ve çıkış kanalı sediment ortamlarında ortalama mangan konsantrasyonu sırasıyla 401 mg/kg KM ve 357 mg/kg KM olarak en düşük etki seviyesine yakın değerlerde tespit edilmiştir.



Şekil 9. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Mn konsantrasyonları

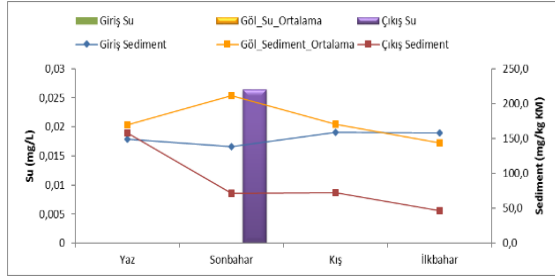
Nikel

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Ni konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 10’da verilmiştir.

Su örneklerinde Ni konsantrasyonu sadece sonbahar mevsiminde çıkış suyunda 26,4 µg/L tespit edilmiş olup Ni bakımından su kalitesi II. sınıf olarak değerlendirilmiştir. Diğer mevsimlerde Ni ölçüm limit değerinin (LOQ) altında (<20 µg/L) tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde ortalama Ni konsantrasyonları; göl içi örnekleme noktalarında ortalama 174 mg/kg KM, giriş kanalında ortalama 151 mg/kg KM ve çıkış kanalında ortalama 87 mg/kg KM olarak belirlenmiş olup tüm değerlerin

kuvvetli etki seviyesi değeri olan 75 mg/kg KM sınır değerinin üstündedir.



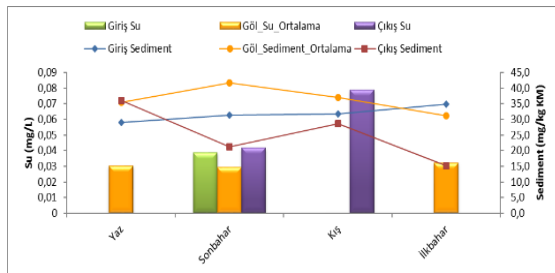
Şekil 10. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Ni konsantrasyonları

Çinko

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Zn konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 11’de verilmiştir.

Zn, kış mevsimi dışında tüm göl içi su örneklerinde ortalama 22,9 µg/L olarak, giriş kanalında sadece sonbahar mevsiminde 38,8 µg/L, çıkış kanalında sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla 41,8 µg/L ve 78,8 µg/L olarak tüm noktalarda ve mevsimlerde I. sınıf su kalitesinde (<200 µg/L) olduğu tespit edilmiştir.

Sediment örneklerinde ortalama çinko konsantrasyonları; göl içi örnekleme noktalarında 36,325 mg/kg KM, giriş kanalında 31,800 mg/kg KM ve çıkış kanalında 25,300 mg/kg KM olarak belirlenmiştir. Tespit edilen tüm ortalama değerler en düşük etki seviyesi kriteri olan 120 mg/kg KM değerinden düşüktür.



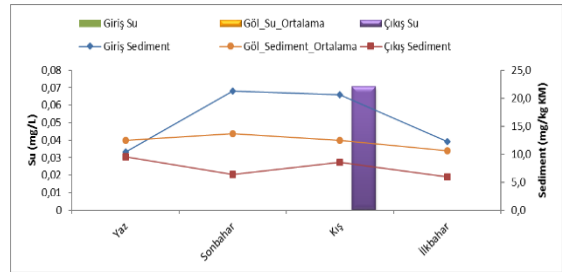
Şekil 11. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Zn konsantrasyonları

Kurşun

Bafa Gölü giriş kanalı, göl içi örnekleme noktaları ve çıkış kanalı, su ve sediment ortamlarındaki Pb konsantrasyonlarının mevsimlere göre dağılımı Şekil 12’de verilmiştir.

Pb su ortamında sadece kış mevsiminde ve çıkış kanalında yapılan örneklemede 70,6 µg/L konsantrasyon seviyesinde tespit edilmiş olup bu konsantrasyon IV. sınıf su kalitesi değerindedir. Diğer örnekleme noktaları ve mevsimlerde alınan örneklerde kurşunun ölçüm limit değerinin altında olduğu görülmüştür.

Sediment örneklerinde ortalama kurşun konsantrasyonları; göl içi örnekleme noktalarında 12,3 mg/kg KM, giriş kanalında 16,2 mg/kg KM ve çıkış kanalında 7,6 mg/kg KM olarak belirlenmiştir. Tespit edilen tüm ortalama değerler en düşük etki seviyesi kriteri olan 31 mg/kg KM değerinden düşüktür.



Şekil 12. Bafa Gölü su ve sediment ortamlarında mevsimlik Pb konsantrasyonları

4. Tartışma ve Sonuçlar

Bu çalışmada Bafa Gölü’nde farklı özelliklerde 4 örnekleme noktasında, yüzey ve dip olmak üzere iki farklı derinlik boyunca ve gölün giriş ve çıkışını temsil eden kanallarda 2 örnekleme noktasından farklı zamanlarda su ve sediment ortamlarından örnekler alınmıştır. Alınan örneklerde Al, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Cd, Pb ve Zn metal konsantrasyonları belirlenerek, su ve sediment ortamlarının ağır metal kirliliği bakımından değerlendirmesi aşağıda verilmiştir.

Alüminyum su ortamında sadece yaz mevsimi örnekleme noktasında ve çıkış kanalında II. sınıf su kalitesinde 0,336 mg/L olarak tespit edilmiştir. Göle giren sularda ve göl içinde Al bakımından herhangi bir olumsuz durum bulunmamaktadır. Sediment ortamlarında tespit edilen

konsantrasyonlar diğer ağır metal türlerine göre yüksek değerlerde olmakla birlikte bu durum alüminyumun sedimentin doğal yapısında bulunan doğal elementlerden biri olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak göl içinde ve giriş kanalında sediment ortamında tespit edilen Al konsantrasyonları çıkış kanalında tespit edilen değerler arasında büyük fark bulunmaktadır. Bafa Gölü sedimentinde Al bakımından tehdit edici bir durum söz konusu olmamakla birlikte giriş (15.525 mg/kg KM) ve çıkış (7.132 mg/kg KM) kanalı sedimentlerinde ortalama Al konsantrasyonları arasında belirgin bir fark olması, göle dış kaynaklardan Al girişi olduğunu ve bunun da sediment ortamında birikmekte olduğunu göstermektedir.

Kadmiyum, su ortamında sadece yaz mevsimi örneklemede giriş kanalında ve göl suyunda oldukça yüksek konsantrasyonlarda, IV. sınıf su kalitesinde, tespit edilmiştir. Diğer örneklemede Cd su ortamında ölçüm limit değerinin altında tespit edilmiştir. Sediment ortamına yaz mevsiminde su ile gelen kadmiyumun giriş kanalında, sonbahar mevsiminde göl sedimentinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışma döneminde Bafa gölünün yaz mevsimi sonunda pik bir kadmiyum yüküne maruz kaldığı ve zamanla bu yükün gölde dağıldığı ancak gölden çıkış yapmadığı söylenebilir.

Krom, tüm su örneklerinde ölçüm limit değeri olan 10µg/L konsantrasyonun altında gözlenmiştir ve Bafa Gölü'nün Cr bakımından I. sınıf su kalitesine sahip olduğu söylenebilir. Ancak sediment ortamında krom, kalite yönergesinde belirtilen "en düşük etki seviyesi" değerinin üzerinde hatta göl ortamında ve giriş kanalında "kuvvetli etki seviyesi" sınırına yakın konsantrasyonlarda tespit edilmiştir. Bu değerlere en yüksek göl içi sediment ortamında rastlanılmış olup, giriş kanalı değerlerinin de çıkış kanalı değerlerinden yaz mevsimi hariç daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kromun su ile göle düşük konsantrasyonlarda sürekli veya nadiren pik yükler ile geldiğini ve hızlı bir şekilde sediment ortamına geçiş yaparak gölde birikmekte olduğunu göstermektedir.

Kobalt, tüm su örneklerinde, ölçüm limit değeri olan 20 µg/L değerinin altındadır. Bu durum, su örneklerine bakılarak kobalt hakkında değerlendirme yapmanın sağlıklı olmadığını göstermektedir. Kobaltın, sediment ortamı değerlerine bakarak giriş ve çıkış kanalı arasında yaz mevsimi hariç giriş kanalı lehinde belirgin bir

farkın bulunduğu ve göl ortamındaki konsantrasyonların da giriş kanalından daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, kobaltın su ile göle düşük konsantrasyonlarda sürekli veya nadiren pik yükler ile geldiğini ve hızlı bir şekilde sediment ortamına geçiş yaparak gölde birikmekte olduğunu göstermektedir.

Bakır, su ortamında özellikle İlkbahar mevsiminde giriş, çıkış ve göl suyunda ortalama 84,44 µg/L olarak III. sınıf su kalitesinde tespit edilmiştir. Bakır ayrıca yaz ve kış mevsiminde de II. sınıf su kalitesi değerlerinde gözlendiğinden Bafa Gölü'nün bakır bakımından yoğun bir şekilde kirlenmekte olduğu tespit edilmiştir. Sediment örneklerinde en yüksek konsantrasyonlara göl içindeki örnekleme istasyonlarında en düşük etki seviyesi kriterinin üzerinde rastlanılmıştır. Giriş ve çıkış kanalı arasında giriş kanalı lehinde belirgin bir konsantrasyon farkının bulunduğu görülmüştür. Bu durum, bakırın Bafa Gölüne su ile özellikle kış ve ilkbahar mevsiminde yoğun bir şekilde girdiğini ve bir kısmının sediment ortamında birikmekte olduğunu, yoğun olarak geldiği dönemde de çıkış suyu ile birlikte gölden ayrıldığını göstermektedir. Ayrıca ilkbahar mevsiminde çıkış kanalı boyunca başka bir kaynağın da bakır konsantrasyonunu etkilediği düşünülebilir.

Demir, su ortamında özellikle yaz mevsiminde giriş ve çıkış kanallarında II. sınıf su kalitesi değerleri civarında tespit edilmiştir. Bu mevsimde göldeki konsantrasyon çok daha düşük değerlerde bulunmuştur. Diğer mevsimlerde de tüm su ortamlarında oldukça düşük konsantrasyonlar tespit edilmiştir. Demir, alüminyum gibi sedimentin yapısını oluşturan temel elementlerden biridir. Bafa Gölü sedimentlerinde demirin, alüminyum kadar olmasa da sediment ortamında bir miktar birikiminin olduğu söylenebilir. Göl içinde bulunan sedimentlerde %2,87, giriş kanalında %2,37'lik değerler sediment kalitesinin en düşük etki seviyesi değeri olan %2'nin üzerinde olduğunu ortaya koymuştur. Çıkış kanalı sedimentinde Fe %1,75 ile kriter sınır değerine yaklaşmıştır.

Mangan, su ortamında, yüzey ve dip suları ortalama değerleri dikkate alındığında yaz mevsiminde II. sınıf, diğer mevsimlerde I. sınıf su kalitesine sahiptir. Ancak dip sularına detaylı bakıldığında, derinliğin fazla olduğu 2, 3 ve 4 numaralı istasyonlarda, mangan değerlerinin III. sınıf su kalitesinde olduğu görülmüştür. Sediment ortamlarında giriş ve çıkış kanallarındaki konsantrasyonların birbirine yakın değerlerde, göl

içindeki değerlerin de en düşük etki seviyesi kriteri sınırının çok az üzerinde olduğu görülmüş olup Bafa Gölü mangan bakımından bölge jeolojik oluşumuna bağlı olarak doğal değerlerinde olduğu değerlendirilmiştir.

Nikel, su ortamında sadece sonbahar mevsimi örneklemede çıkış kanalında yüksek konsantrasyonda, II. sınıf su kalitesinde, tespit edilmiştir. Diğer örneklemede Ni konsantrasyonu su ortamında ölçüm limit değeri olan 20 µg/L'nin altındadır. Bafa Gölü sedimentlerinde nikel konsantrasyonları oldukça yüksek seviyelerde tespit edilmiş olup yıl boyunca hesaplanan ortalama değerlerin tamamı kuvvetli etki seviyesi değerlerinin üzerindedir. Sediment ortamında nikel değerlerine bakıldığında giriş ve çıkış kanalı değerleri arasında yaz mevsimi hariç giriş kanalı lehinde belirgin bir farkın bulunduğu ve göl ortamındaki konsantrasyonların da giriş kanalından ilkbahar mevsimi hariç daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, nikelin su ile göle düşük konsantrasyonlarda sürekli veya nadiren pik yükler ile geldiğini ve hızlı bir şekilde sediment ortamına geçiş yaparak gölde ve çıkış kanalı boyunca tehlikeli şekilde birikmekte olduğunu göstermektedir.

Çinko, su ortamında tüm noktalarda ve mevsimlerde I. sınıf su kalitesi değerlerinde tespit edilmiştir. Benzer şekilde sediment ortamlarında da çinko konsantrasyonları en düşük etki seviyesi sınır değerinin oldukça altında tespit edilmiş olup, giriş ve çıkış kanalları arasında yaz mevsimi hariç çinko konsantrasyonlarında giriş kanalı lehine az bir fark gözlenmiştir. Bu fark nedeniyle, göl içi sedimentlerinde az da olsa bir çinko birikimi olduğunu söylenebilir.

Kurşun, su ortamında sadece yaz mevsimi örneklemede çıkış kanalında yüksek konsantrasyonda 70,6 µg/L, IV. sınıf su kalitesinde, tespit edilmiştir. Diğer örneklemede Pb konsantrasyonu su ortamında ölçüm limit değeri olan 50 µg/L'nin altındadır. Bu limit değerin III. sınıf su kalitesi sınırında olması nedeniyle su ortamında kurşun için sağlıklı bir değerlendirme yapmak mümkün değildir. Bafa Gölü sedimentlerinde tespit edilen ortalama kurşun konsantrasyonları giriş kanalında 16,2, göl içi örnekleme noktalarında 12,3 ve çıkış kanalında 7,6 mg/kg KM olarak en düşük etki seviyesi değeri olan 31 mg/kg KM değerinin oldukça altındadır. Bu

durumda Bafa Gölünün kurşun bakımından düşük bir hızda kirlendiği söylenebilir.

Bafa gölü için, yukarıda yapılan parametre bazındaki değerlendirmeler çerçevesinde, yoğun bir dış kaynaklı ağır metal kirliliğine maruz kaldığı görülmektedir. Gölde sadece su ortamı verileri ile değerlendirme yapmanın sağlıklı olmadığı, sediment ortamının da mutlaka takip edilmesi gerektiği sonucuna da ulaşılmıştır.

Çalışma dönemi boyunca, Bafa gölünü kirlilik bakımından en yüksek derecede etkileyen ağır metaller; Ni, Cd, Cr, Cu ve Fe olarak belirlenmiş olup, bu ağır metallerin özellikle su ve sediment ortamlarındaki bazı konsantrasyonlarının kabul edilen belirli kirlilik kriter seviyelerini aştığı belirlenmiştir. Bu kirleticiler Bafa Gölüne genel olarak Büyük Menderes Nehri ve göl civarında faaliyet gösteren çeşitli endüstriyel kaynakların direk atık deşarjları ile ulaşmaktadır. Bu yollarla gelen kirleticilerin bir kısmı göl ortamındaki sedimentte tutulmakta bir kısmı da gölden çıkış kanalı vasıtası ile çıkış yaparak Ege Denizi'ne kadar ulaşmaktadır. Bu ağır metallerden yalnızca kadmiyumun göle pik yüklerle girdiği, ancak henüz gölden çıkış yapmadığı ve tamamının gölde biriktiği tespit edilmiştir. Diğer ağır metallerin bir kısmı da tutulmadan gölden çıkış yapmaktadır. Bu duruma neden olan en önemli etken, göle giriş ve çıkış kanallarının fiziki olarak birbirine çok yakın olması ve bu bölgede göl derinliğinin çok fazla olmamasıdır.

Bafa gölünü daha düşük şiddette etkileyen ağır metaller; Al, Zn, Pb ve Co olarak belirlenmiştir. Bu metaller de gölde kabul edilen kirlilik seviyelerinin altında konsantrasyonlarda tespit edilmişler de benzer şekilde gölde birikim yapmakta oldukları görülmüştür.

Bafa gölünde çalışılan ağır metallerden sadece manganın gölde doğal nedenlerden kaynaklı bulunduğu söylenebilir. Özellikle gölün derin kesimlerinde dip sularında mangan konsantrasyonları oldukça yüksektir.

Yukarıda gölde birikim yaptığı tespit edilen her bir ağır metal türünün neden olabilecek olumsuzluklar için havza yönetiminden sorumlu olan kurum, kurul ve idarelerin acilen gerekli tedbirleri alması gerekmektedir. Özellikle, Büyük Menderes Havzası Yönetim Planı kapsamında Bafa Gölü su kalitesinin ağır metaller bakımından da iyi duruma getirilmesi için ilave tedbirler alınması gerekmektedir. Gerekli

önlemler alınmazsa ağır metallerin gölde birikimi, göl ekosisteminde çeşitli zararlara neden olacaktır. Özellikle göl civarında yoğun balıkçılık faaliyetlerinin yapılıyor olması canlı organizmalarda da ağır metal izleme çalışmalarının yapılması gerektiğine işaret etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi (SDÜBAP) tarafından 4839-YL1-16 No'lu Proje ile desteklenmiştir. Bu desteklerinden dolayı SDÜ BAP Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz. Örneklemeye çalışmalarındaki destekleri için de SDÜ Su Enstitüsü tarafından yürütülmekte olan 112G037 No'lu TÜBİTAK KAMAG projesine de ayrıca teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akın M., Akın G., 2007, Suyun önemi, Türkiye'de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Dergisi, 47(2), 105-118.

Doğal Hayatı Koruma Derneği (WWF), 2017. Büyük Menderes Havza Atlası Raporu http://d2hawiim0tjbd8.cloudfront.net/download/atlas_web_download.pdf.

Kahvecioğlu, Ö., Kartal G, Güven, A. ve Timur S, 2009. Metallerin Çevresel Etkileri-I, İTÜ, http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (Erişim Tarihi:12 Mart 2011)

Kanada Sediment Kalite Yönergesi, 1992. Kanada Çevre Bakanlığı Resmi Web Sitesi. Erişim Tarihi:13.03.2018 <https://www.ontario.ca/document/guidelines-identifying-assessing-and-managing-contaminated-sediments-ontario/identification-and-assessment#section-1>.

Manav, R., 2014. Bafa Gölü'nde (Milas-Muğla) bazı ağır metallerin ve doğal radyonüklidlerin askıdaki katı madde ve sediment örneklerinde araştırılması. Doktora tezi, T. C. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı, İzmir, 105, (2014).

Orman ve Su İşleri Bakanlığı (OSİB), 2016, Göller ve Sulak Alanlar Eylem Planı 2016-2018, Ankara.

SKKY (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği), 2008. Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri, Tablo 1, 26786 sayılı ve 13/2/2008 tarihli Resmî Gazete, Ankara.

Topbaş, M., Brohi A., Karaman, M. 1998. Çevre kirliliğine sebep olan faktörler. Çevre Kirliliği. Çevre Bakanlığı Yayınları, pp.12-61, Ankara.

Türkiye'nin Sulak Alanları, 2018. Resmi Web Sitesi, 2014-2016. <http://www.turkiyesulakalanlari.com/portfolio/bafa-golu-aydin-mugla/>.

U.S. Geological Survey (USGS), 1999. The water cycle. Erişim Tarihi: 15.12.2016. <https://water.usgs.gov/edu/watercycleturkish.html>

Wang, L. F., Yang, L. Y., Kong, L. H., Li, S., Zhu, J. R., Wang, Y. Q. 2014. Spatial distribution, source identification and pollution assessment of metal content in the surface sediments of Nansi Lake, China. Journal of Geochemical Exploration, p.9, China.

Yılığör, S. 2012. Bafa Gölü Sedimanlarındaki Ağır Metal Kirliliğinin Araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir.

YSKY (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği), 2016, 29797 sayı ve 10.08.2016 tarihli Resmi Gazete, Ankara.