

## Evaluation of Sediment Dredging on Heavy Metal Concentrations in Mogan Lake's Sediment (Ankara, Turkey)

Arzu Binici<sup>1\*</sup>, Serap Pulatsü<sup>2</sup>, Nurbanu Bursa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Eğitim ve Yayın Dairesi Başkanlığı, 06170 Ankara, Türkiye  
<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Su Ürünleri Mühendisliği Bölümü, 06100, Ankara, Türkiye  
<sup>3</sup>Hacettepe Üniversitesi, İstatistik Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara, Türkiye

Correspondent: arzu.binici@tarimorman.gov.tr

Received: 26.08.2021 Accepted: 27.09.2021

Arzu Binici: Orcid 0000-0002-8212-3615

Serap Pulatsü: Orcid 0000-0001-5277-417X

Nurbanu Bursa: Orcid 0000-0003-3747-5870

**How to cite this article:** Binici, A., Pulatsü, S., Bursa, N. (2021). Evaluation of sediment dredging on heavy metal concentrations in Mogan Lake's sediment (Ankara, Turkey). COMU J. Mar. Sci. Fish, 4(2): 159-167. DOI: 10.46384/jmsf.987343

**Abstract:** Sediment dredging (removal), a lake management method, is performed on a regular basis to improve the recreational value of Mogan Lake. The aim of the study is to a) determine heavy metal concentrations (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu, and Zn) in the sediment after dredging and make evaluations based on the sediment quality criteria, b) define the potential sources of heavy metals by multivariate analyses, c) shed light on the effectiveness of the dredging in the context of current data. As indicated by the findings from two stations under the influence of mineral processing facilities (station I) and domestic wastewater discharges (station II) taken in May and November, 2020, the mean heavy metal concentrations in the sediment in decreasing order were Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg. Cr, Ni, and As levels were found to exceed the probable effect level (PEL) and therefore, the lake sediment was classified as heavily polluted in terms of Cr, Ni, Cu and As. Based on the Spearman's correlation analysis, Cu-Cd, Zn-Pb, and As-Cd were found to have similar anthropogenic sources. Three main components determined by the principal component analysis also support this result; the differences in heavy metals originating from different anthropogenic sources reflect the environmental pollution diversity and pressure related to the heavy metal accumulation in the lake sediment. Based on our findings, sediment removal in Mogan lake can not be considered as effective intervention. As anthropogenic pollutants persist in the lake basin, sediment should be routinely monitored for heavy metal levels to ensure the lake's sustainable use.

**Key words:** Sediment Dredging, Sediment Quality, Heavy Metal, Principal Component Analysis, Mogan Lake

## Mogan Gölü'nde (Ankara, Türkiye) Sediment Tarama Uygulamalarının Sedimentteki Ağır Metal Konsantrasyonları Açısından Değerlendirilmesi

**Özet:** Bir göl yönetim uygulaması olan sediment taraması (uzaklaştırımı), Mogan Gölü'nün rekreatif değerinin artırılması amacıyla zaman zaman gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, sediment tarama faaliyetinden sonra; a) sedimentteki bazı ağır metal (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn) konsantrasyonlarının belirlenmesi ve sediment kalite kriterlerine göre değerlendirilmesi b) göl sedimentindeki ağır metallerin potansiyel kaynaklarının bazı çok değişkenli istatistiksel analizler kullanarak tanımlanması c) güncel veriler bağlamında sediment taramasının etkinliğine ışık tutulması amaçlanmıştır. Gölde litoral bölgede; özellikle maden işleme tesisleri ile evsel kaynaklı atık suların (I. istasyon) ve evsel atık sular ile tarımsal faaliyet kaynaklı atık suların ulaştığı alanda (II. istasyon) seçilen iki istasyondan 2020 yılının Mayıs ve Kasım aylarında alınan yüzey sediment örneklerinde saptanan bulgulara göre, sedimentteki ortalama ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg şeklinde bulunmuştur. Cr, Ni ve As, ay-istasyonlara göre olası etki değerini (PEL) aşmış olup, göl sedimenti Cr, Ni, Cu ve As açısından çok kirli sınıfa girmektedir. Spearman korelasyon analizi sonuçlarına göre, Cu-Cd, Zn-Pb ve As-Cd, benzer antropojenik kaynaklar ile göle ulaşmaktadır. Temel bileşen analizi ile belirlenen 3 temel

bileşen de bu sonucu desteklemekte, farklı antropojenik kaynaklardan köken alan ağır metallerdeki farklılıklar, göldeki ağır metal birikimine ilişkin çevresel baskının çeşitliliğini ve baskısını yansıtmaktadır. Bulgular ışığında, gölde gerçekleştirilen sedimentin uzaklaştırılması faaliyetini, etkin bir girişim olarak değerlendirmek olası gözükmemektedir. Göl havzasındaki farklı antropojenik kirleticiler devam ettikçe, gölün sürdürülebilir kullanımı açısından göl sedimenti ağır metaller açısından rutin olarak izlenmelidir.

**Anahtar kelimeler:** Sediment Tarama, Sediment Kalitesi, Ağır Metal, Temel Bileşen Analizi, Mogan Gölü

## Giriş

Sediment tarama uygulamaları, göl içi ötrofikasyon kontrolüne yönelik fiziksel yöntemlerden biri olup, akarsular, göller, kıyı suları ve denizlerden dip sedimentlerinin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilmektedir. Tarama uygulamaları rekreatif amaca hizmet etmekte, göl içi yüklemenin önemli bir fosfor kaynağı olduğu göllerin iyileştirilmesi başta olmak üzere, makrofit kontrolü veya sedimentasyonla büyük oranda dolmuş göllerde sığlığın bertarafı süreçlerinde kullanılmaktadır. Söz konusu uygulamanın; maliyet, sedimentten besin elementi-toksik madde salınımı, koku sorunu, sedimentin boşaltıldığı alana çevresel etkisi gibi birtakım olumsuz etkileri de bulunmaktadır (Peterson, 2007; Manap ve Voulvoulis, 2015).

Limnolojik ve ekotoksikolojik kirlenme çalışmalarının ana unsurlarından biri olan sedimentler, kirleticilerden ağır metallerin deposu ve potansiyel bir kaynağıdır. Göl sedimentlerinde ağır metallerin, tarama uygulamaları ile başarılı bir şekilde kontrol altına alındığı çalışmalar bulunmakta (Wang ve Feng 2007; Fathollahzadeh vd., 2015; Chen vd., 2019), tarama yapılmayan bölge ile karşılaştırıldığında, taramanın sedimentteki ağır metal konsantrasyonlarını 2-5 kat azalttığı bildirilmektedir (Jiang vd., 2010; Smal vd., 2015).

Sucul ekosistemlerdeki kirletici konsantrasyonlarının, kabul edilebilir limitlerini belirlemek için kullanılan kalite kriterleri (SQG), ağır metal, PAH ve PCB gibi birçok toksik madde için geliştirilmiş, TEL (Eşik etki seviyesi) ve PEL (Olası etki seviyesi) değerleri belirlenmiştir. Örneğin USEPA (United States Environmental Protection Agency) SQG'e göre sediment; "kirli olmayan", "kısmen kirli" ve "aşırı kirli" olarak sınıflandırmakta; SQG için TEL değeri, bu konsantrasyonun altında kötü etkilerin görünmesinin nadir; PEL değeri ise bu konsantrasyonun üzerinde kötü etkilerin görünmesinin sıklıkla olacağını ifade etmektedir (MacDonald vd., 2000; Pulatsü ve Topçu, 2015).

Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi'nde bulunan Mogan Gölü çevresinde giderek artan yerleşim yerlerinin yanısıra tarımsal faaliyetler gibi antropojenik etkiler gölün rekreatif değerini de olumsuz yönde etkilemektedir. Bu tip etkilerin yanısıra Gölbaşı'nda andezit taşı işleyen 24 fabrika, 4 atölye olmak üzere 29 tesis bulunduğu ve bu tesislerde 2006 yılında yapılan denetimlerde birçok tesisin özellikle kesim esnasında ortaya çıkardıkları sulu çamurları herhangi bir arıtma işlemi yapmadan gölü besleyen Sukesen deresine verdikleri ve söz

konusu tesislere idari para cezaları verildiği bildirilmiştir (Anonim, 2013). Ayrıca Çevre ve Şehircilik Bakanlığı yetkilileri, havzada bulunan andezit taşı işleme tesislerinin çamurlarından alınan numunelerde yüksek oranda ağır metal tespit edildiğini belirtmişlerdir. Gölbaşı Belediyesi'nden edinilen bilgilere göre; fiilen göl tabanından çamur çekilmesine 20 Temmuz 2017'de başlanılmış ve 2018 yılı Kasım ayında sonlandırılmıştır.

Mogan Gölü'nde, sedimentin ağır metal seviyesine ilişkin araştırmalar oldukça sınırlı sayıda kalmıştır (Yavuz ve Filazi, 2015; Olgun ve Kocaemre, 2011; Benzer vd., 2013; Topçu ve Kaya, 2017). Bu çalışmalar, Mogan Gölü sedimentinde ortalama metal konsantrasyonlarının; dizilimine, mevsimsel-yersel değişimlerine, sediment kalite kriterleri ve TEL/PEL değerleri ile karşılaştırılmasına yöneliktir.

Bu çalışma ise, Mogan Gölü'nün rekreatif değerinin artırılması amacıyla uygulanan sediment tarama (uzaklaştırımı) faaliyetinden sonra; a) göl sedimentindeki ağır metal konsantrasyonlarının (Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn) belirlenen iki ay ve istasyona göre değişimlerinin tespit edilmesine b) ağır metal konsantrasyonlarının SQS, TEL ve PEL değerlerine göre değerlendirilmesine c) korelasyon ve temel bileşen analizi ile sedimentteki ağır metallerin potansiyel kaynaklarını tanımlamak d) güncel veriler bağlamında girişimin etkinliğine ışık tutulmasına odaklanmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Araştırma alanı

Mogan Gölü alüvyal set gölü olup, Ankara'nın 20 km güneyinde yağış ve irili ufaklı beşten fazla dereden gelen sular dışında beslenmesi oldukça düşük yeraltı suyuyla beslenmektedir. Gölbaşı Özel Çevre Koruma Bölgesi sınırında olan göl, Ramsar'a aday gösterilen önemli sulak alanlarından (Anonim, 2016).

### Saha çalışması

Mogan Gölü litoral bölgede, tabanı sediment örneklerinin alınmasına uygun olan ve gölü kirleten kaynakları da temsil edecek şekilde iki istasyon seçilmiştir. Buna göre, I. istasyon; özellikle maden işleme tesisleri ve evsel kaynaklı atık suların ulaştığı alanda, II. istasyon; evsel atık ve tarımsal faaliyet kaynaklı atık suların ulaştığı alandadır. Yüzey sediment örnekleri litoral bölgede seçilen

istasyonlardan 2020 yılının Mayıs ve Kasım aylarında alınarak koyu renkli naylon torbalarda ve soğuk ortamda laboratuvara ulaştırılmıştır.

### Laboratuvar çalışması

Sediment örnekleri, 105°C 2 saat kurutulduktan sonra çözeltiyeye alma işlemleri Anton Paar Multiwave 3000 Microwave Digestion System (Rotor type 8SXF100) kullanılarak yapılmıştır. Hg, As, Cd, Cr, Pb, Ni, Cu ve Zn düzeyleri Endüktif Eşleşmiş Plazma Kütle Spektrometresi (ICP-MS, Perkin Elmer NexION 350D) kullanılarak tespit edilmiştir. Analizler ODTÜ Merkezi Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

### İstatistiksel analizler

Gözlem sayısı az olduğu için ağır metallerin farklı istasyonlara göre karşılaştırılmasında Mann-Whitney testi, aynı istasyonlardaki aylara göre karşılaştırılmasında ise Wilcoxon işaretli sıra sayıları testi kullanılmıştır. Ayrıca ağır metaller arasındaki ilişkinin yönü ve miktarı Spearman korelasyon katsayısı ile saptanmıştır. Göle ulaşan ağır metaller üzerinde doğal ve antropojenik faktörlerin katkısını belirlemek amacıyla temel bileşen analizi kullanılmıştır. Temel bileşenler analizi sonucunda yorumlamayı zorlaştıran bileşenlerin koordinat sistemi üzerinde yer alması nedeniyle, toplam açıklanan varyans oranının değişmediği, ancak daha basit bir yapıya ulaşmanın mümkün olduğu Varimax döndürme yöntemi kullanılmıştır. Varimax döndürme yönteminde yükler matrisinin her sütunundaki bazı yük değerleri 1'e yaklaştırılırken, geriye kalan yük değerleri ise 0'a yaklaştırılmaktadır. Çalışmada tüm istatistiksel analizler için iki yönlü  $p < 0.05$  değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir (Pardo ve Pardo, 2018; Kolassa, 2020). İstatistiksel analizler için SPSS 23 yazılımından yararlanılmıştır.

### Bulgular ve Tartışma

Sedimentte ortalama ağır metal konsantrasyon değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi Tablo 1'de sunulmuştur. Mogan Gölü'nde sediment örnekleme yapılan aylara göre istasyonlar açısından farklılığın istatistiksel olarak önemli bulunmadığı ağır metaller; Mayıs ayında Hg iken, Kasım ayında Hg, Ni, Zn ve Pb olarak belirlenmiştir. Aylar açısından ise her iki istasyonda da tüm metaller istatistiksel açıdan önemli seviyede farklılık göstermemiştir ( $p > 0,05$ ) (Tablo 1).

Tablo 1'deki verilere göre, her iki istasyon göz önüne alındığında ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi; I. istasyonda: Cu>Zn>Ni>Cr>Pb>As>Cd>Hg, II. istasyonda: Cr>Zn>Ni>Cu>Pb>As>Cd>Hg olarak belirlenmiştir. Her iki istasyon ve ay dikkate alındığında ise toplam ortalama bazında sedimentteki ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi; Cr>Cu>Zn>Ni>Pb>As>Cd>Hg şeklindedir. Ağır metal konsantrasyonlarının diziliminde, istasyon ve

aylar açısından Cu ve Cr'un sıralama yeri dışında bir farklılık söz konusu değildir.

Gölde yürütülen önceki çalışmaların kantitatif sonuçlarının yanısıra, herbir metale ilişkin SQS ve MacDonald vd. (2000)'in bildirdiği TEL (eşik etki değeri)- PEL (olası etki değeri) ile ardalara değerler Tablo 2'de sunulmuştur. Bu kapsamda Mogan Gölü sedimentine ilişkin ağır metal konsantrasyon değerleri; sediment tarama öncesi dönemde gerçekleştirilen Yavuz ve Filazi (1995), Olgun ve Kocaemre (2011), Benzer vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda bildirilen aynı metallere ait sonuçlarından daha yüksek bulunurken, Hg konsantrasyon seviyeleri Olgun ve Kocaemre (2011)'ye ait bulgulardan daha düşük seviyede belirlenmiştir. Bu çalışmada tespit edilen sediment Cu-Zn konsantrasyon değerleri, Topçu ve Kaya (2017)'in çalışmasında bildirilen Cu (34,75-75,50 µg/gKA) ve Zn (20,50-36,50 µg/gKA) konsantrasyon değerlerinden ve gölde sediment tarama faaliyetlerinin devam ettiği süreçte, Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından yürütülmüş çalışmada elde edilen verilerden daha yüksek bulunmuştur (Tablo 2).

Çalışmamızda, genel ortalamalar dikkate alındığında, her iki istasyonda Hg, Cu, Cd ve Zn'nun eşik etki (TEL) seviyesini aşmadığı, diğer metallerin (Cr, Ni, As, Pb) ise aştığı belirlenmiştir. Hg, Cu, Zn, Cd, Pb olası etki seviyelerini (PEL) aşmazken, Cr, Ni, As genel ortalamalar bazında PEL değerlerini aşmıştır (Tablo 2). Mogan Gölü'nde Benzer vd. (2013) tarafından yürütülen çalışma kapsamında sedimentteki Cr, Cu, Pb, Zn seviyelerinin olası etki seviyesini (PEL) aşmadığı bildirilmesine karşın, bu çalışmada ele alınan ortak ağır metallerden yalnız Cr'un PEL değerini aştığı saptanmıştır. Ayrıca Topçu ve Kaya (2017), gölde ortalama metal konsantrasyonlarını azalan sırayla Ca>Zn>Al>Cu>TFe>K>Na>Mg>Mn şeklinde belirlemiş oldukları dizilim ile benzerlik göstermezken, Cu ve Zn konsantrasyon verilerini TEL/PEL ve SQGs değerleri ile karşılaştırdıkları sonuçlar ile uyum göstermektedir.

Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) tarafından Mogan Gölü'nde belirlenen 5 istasyondan elde edilen yüksek ağır metal seviyelerinin, istasyonlara göre farklılık gösterdiği ve en kirli istasyonunun, restoran ve çay bahçelerinden gelen atıkların boşaltıldığı alana, nispeten düşük kirlenme düzeylerinin ise, Çölova ve Sukesen Dere'lerinin göle döküldüğü lokasyonlarda tespit edildiği bildirilmiştir. Araştırmacıların yüzey sedimentlerinde belirledikleri ağır metal konsantrasyonlarının dizilimi Fe>Zn>Cu>Ni>Se>Pb>Cr>As>Al>Cd şeklinde olup, dikkate aldığımız ortak ağır metallerden Cr'un As ve Cd'dan daha yüksek olduğuna ilişkin sonucu desteklemektedir.

Ağır metal konsantrasyonlarının ardalan değerleri dikkate alındığında, Hg'nin I. istasyonda düşük olması dışında, tüm metallerin ardalan değerlere göre daha yüksek bulunduğu görülmektedir. SQS değerleri kapsamında ise, göl sedimenti Cr, Ni, Cu ve As açısından çok kirli sınıfa girerek, sedimentin özellikle sözü edilen ağır metallerce oldukça kirlendiği olgusunu gözler önüne sermektedir (Tablo 2).

Mogan Gölü'nde gerek son altı yılda (Topçu ve Kaya, 2017) sediment tarama öncesi gerekse tarama esnasında yapılan çalışma kapsamında (Küçükosmanoğlu ve Filazi, 2020) belirlenen ağır metaller değerleri ile güncel veriler dikkate alındığında, tarama girişiminin sedimentin ağır metallerle kirlenmesi açısından olumlu bir etkisi olduğunu söylemek olası gözükmemektedir.

Peng vd. (2009), sedimentlerin ağır metallerin en önemli rezervleri olarak metallerin transformasyonlarında oldukça önemli rol oynadığını, bu nedenle tarama girişiminin göl ve nehirlerde sedimentten metal salınımının azaltılması için sedimentin oksidasyonundan kaçınılması gerektiğini bildirmişlerdir. Van den Berg vd. (2001) ise, sediment tarama girişiminin hem partiküler hem de gözenek suyundaki kirleticilerin dağılımı ile sonuçlanabildiğini, söz konusu girişimin ağır

metallerin hareketliliğini artırarak özellikle taranan kısım ile askıda katı maddenin karışımı, organik madde ve Mn değerlerinde düşmeye, askıda katı maddedeki ağır metallerin miktarında artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Belirlenen güncel verilere bakarak Mogan Gölü'nde sediment tarama ertesini, sedimentte dikkate alınan ağır metal konsantrasyonlarındaki artışlar nedeniyle, tarama faaliyetinin ağır metallerin dağılımını ve düzeyini tetiklediği düşünülmektedir. Ancak araştırma bulguları, Wang ve Feng (2007) tarafından South Gölü'nde (Çin), sediment tarama ertesini, sedimentte Hg (%97,0), Zn (%93,1), As (%82,6), Pb (%63,9), Cd (%52,7), Cu (%50,1), Cr (%32,0) ve Ni (%23,6) için indirgenme belirledikleri çalışma sonuçları ile örtüşmemektedir.

Fan vd. (2019), sedimentin yapısındaki killerin geniş bir yüzey alanına ve gözenek hacmine sahip olduğundan ağır metalleri daha fazla adsorbe edebileceğinden söz etmiştir. Bu çalışmada, istasyonlar ve aylar baz alındığında sedimentin kil yüzdesi (%45,13-87,13), silt yüzdesinden (%12,86-54,86) daha yüksek bulunmuştur. Sedimentin kil ağırlıklı yapısının da ağır metallerin sedimentte tutulumunda önemli rol oynadığı düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Sedimentte ortalama ağır metal değerlerinin aylara ve istasyonlara bağlı değişimi (N=4)

Örnekleme Zamanı	Parametre (mg/kg)	İstasyonlar	
		I	II
Mayıs	Hg	0,04±0,03 <sup>a*A**</sup>	0,015±0,01 <sup>aB</sup>
	Cr	72,08±4,03 <sup>cA</sup>	194,12±36,34 <sup>dB</sup>
	Ni	69,16±5,36 <sup>cA</sup>	91,75±3,39 <sup>dB</sup>
	Cu	171,47±10,98 <sup>cA</sup>	23,91±1,03 <sup>dB</sup>
	Zn	132,73±13,24 <sup>cA</sup>	64,85±2,99 <sup>dB</sup>
	As	23,59±3,65 <sup>cA</sup>	16,55±1,11 <sup>dB</sup>
	Cd	0,42±0,09 <sup>cA</sup>	0,22±0,10 <sup>dB</sup>
	Pb	45,69±3,01 <sup>cA</sup>	16,45±1,43 <sup>dB</sup>
Kasım	Hg	0,01±0,01 <sup>bA</sup>	0,11±0,12 <sup>bB</sup>
	Cr	54,43±2,84 <sup>eA</sup>	147,27±18,46 <sup>fB</sup>
	Ni	63,17±4,00 <sup>bA</sup>	58,96±1,69 <sup>bB</sup>
	Cu	190,84±8,34 <sup>eA</sup>	45,20±25,78 <sup>fB</sup>
	Zn	115,73±4,79 <sup>bA</sup>	106,97±62,03 <sup>bB</sup>
	As	18,99±1,14 <sup>eA</sup>	9,83±0,30 <sup>fB</sup>
	Cd	0,44±0,10 <sup>eA</sup>	0,17±0,05 <sup>fB</sup>
	Pb	45,38±2,61 <sup>bA</sup>	43,98±36,24 <sup>bB</sup>

\* : Aynı satırdaki küçük harfler, aynı ayda her bir parametrenin istasyonlar arası farklılığını,

\*\* : Aynı sütundaki büyük harfler ise aynı istasyonda her bir parametrenin aylar arasındaki farklılığını göstermektedir.

**Tablo 2.** Mogan Gölü'nde sediment tarama öncesi farklı çalışmalar ile bu çalışmaya ilişkin ağır metal konsantrasyonları

	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb	Kaynaklar	
<b>Tarama öncesi</b>	-	-	-	75	49	-	6	270	Yavuz ve Filazi (1995)(µg/kg) (1991-1992)*	
	200	-	-	-	-	-	1000	10000-25000	Olgun ve Kocaemre (2011) (µg/kg) (2009)*	
	-	22,19-41,31	-	9,91-30,19	11,27-18010	-	-	0,46-1,78	Benzer vd. (2013) (µg/g) (2007)*	
	-	-	-	31,25-36,50	63,75-75,50	-	-	-	Topçu ve Kaya (2017) (µg/g) (2015)*	
<b>Tarama esnasında</b>	0,9±2,86	406,7±65,1	4481±672	4514±537	14051±1068	66,6±8,4	24,8±6,9	651,3±129,1	Küçükosmanoğlu ve Filazi (2020) (µg/kg) (2017 Mayıs-2018 Haziran)*	
<b>Tarama sonrası (I. istasyon)</b>	0,01-0,04	54,43-72,08	63,17-69,16	171,47-190,84	115,73-132,73	18,99-23,59	0,42-0,44	45,38-45,69	Bu çalışma (mg/kg) (2020)*	
<b>Tarama sonrası (II. istasyon)</b>	0,015-0,11	147,27-194,12	58,96-91,75	23,91-45,20	64,85-106,97	9,83-16,55	0,17-0,22	16,45-43,98		
<b>Ardalan değerler</b>	0,05	92	47	28	67	4,8	0,09	17	Rudnick ve Gao (2014)	
<b>SOS</b>	<b>a**</b>	<1.0	<25	<20	<25	<90	<3	-	<40	
	<b>b</b>	-	25-75	20-50	25-50	90-200	3-8	-	40-60	Wang ve Feng (2007)
	<b>c</b>	>1.0	25-75	>50	>50	>200	>8	>6	>60	
<b>TEL</b>	0,174	37,3	18,0	35,7	123,0	5,9	0,596	35,0	MacDonald (2000)	
<b>PEL</b>	0,486	90,0	36,0	197,0	315,0	17,0	3,53	91,3		

\*:Araştırmanın yürütüldüğü yıl; \*\*:a: Kirlenmemiş, b: Orta düzeyde kirlenmiş, c:Yoğun kirlenmiş

**Tablo 3.** Sedimentte ağır metaller arasındaki Spearman korelasyon katsayıları

	Hg	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Hg	1	0,512* (0,043)	0,194 (0,471)	-0,053 (0,846)	0,485 (0,057)	-0,088 (0,745)	0,068 (0,803)	0,541* (0,030)
Cr		1	0,494 (0,052)	-0,744* (0,001)	-0,232 (387)	-0,518* (<0,040)	-0,591* (0,016)	-0,218 (0,418)
Ni			1	-0,059 (0,829)	0,094 (0,729)	0,344 (0,192)	0,229 (0,393)	0,009 (0,974)
Cu				1	0,656* (0,006)	-0,729* (0,001)	0,921* (<0,001)	0,671* (0,004)
Zn					1	0,626* (0,009)	0,697* (0,003)	0,932* (<0,001)
As						1	0,891* (<0,001)	0,459 (0,074)
Cd							1	0,626* (0,009)
Pb								1

\*0,05 düzeyinde önemli korelasyon

İstasyonlara göre bir elementin diğer elementlerle bulunma ilişkileri, matrisler şeklinde Tablo 3'te verilmiştir. Ağır metaller arasındaki korelasyon, ağır metallerin kaynakları ve taşınım yolları konusunda bazı bilgiler vermekte; belirlenen pozitif değerler sözü edilen elementlerin ortak bir kaynağa sahip olma, taşınım esasında birlikte bulunma ve aynı davranış gösterme; belirlenen negatif değerler ise bu elementlerin farklı kaynaklardan köken aldığı şeklinde yorumlanmaktadır. (Hu vd., 2013; Mamat vd., 2016). Spearman korelasyon analizi sonuçlarına ( $p < 0,05$ ) göre, Cr-Cu (negatif yönlü) ve Cu-As (negatif yönlü) arasında güçlü ilişkiler; Cu-Cd (pozitif yönlü), Zn-Pb (pozitif yönlü) ve As-Cd (pozitif yönlü) arasında çok güçlü ilişkiler olduğu görülmektedir. Cu, Cd, Hg, Pb ve As gibi ağır metallerin gerek madencilik faaliyetleri gerekse gübre, pestisit kullanımı başta olmak üzere, tarımsal faaliyet odaklı atık sularla alıcı ortamlara ulaştığı bildirilmekte olup (Dai vd., 2018), Mogan Gölü'nde aralarında güçlü korelasyon saptanan söz konusu metallerin de istasyonları karakterize eden benzer antropojenik kaynaklarla göle ulaştığı düşünülmektedir.

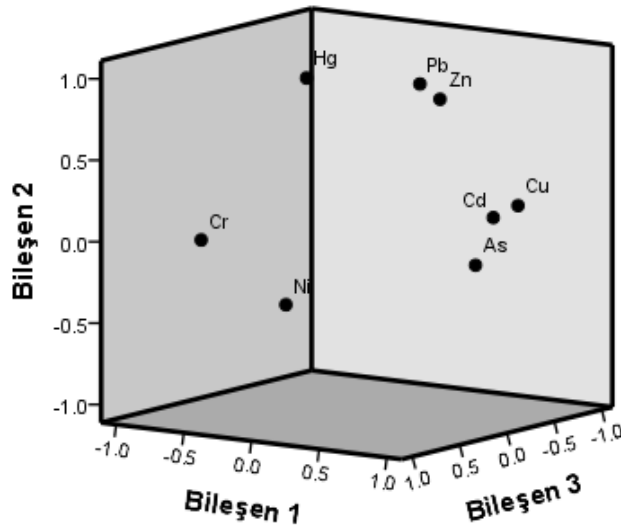
Çalışma kapsamında temel bileşen analizi ile göldeki kirletici kaynaklardaki ağır metallerin çeşitleri ve katkılarının nasıl olacağı tanımlanmıştır. Önemli bulunan bileşenlere ait grafik Şekil 1'de gösterilmiştir. Analiz sonucunda toplam varyansın %96,141'ini açıklayan özdeğeri 1'den büyük 3 temel bileşen tespit edilmiştir. Toplam varyansın %40,063'ünü açıklayan 1. temel bileşende bulunan

Cu (0,826), As (0,962) ve Cd (0,933) diğer ağır metallere göre daha güçlü pozitif yüke sahiptir (Tablo 4). Her üç ağır metalin de örnekleme yapıldığı iki periyotta, maden işleme tesisleri ile evsel kaynaklı atık suların deşarj edildiği I. istasyonda, II. istasyona göre oldukça yüksek değerlerde seyrettiği (Tablo 1) görülmektedir. Toplam varyansın %31,625'ini açıklayan 2. temel bileşende bulunan Hg (0,936), Zn (0,831) ve Pb (0,900) ağır metalleri ise diğer ağır metallere göre daha güçlü pozitif yüklere sahiptir. Farklı araştırmacılar tarafından uygulanan temel bileşen analizi sonuçlarına göre, yerleşim yerlerinden Ni, Cr, Cu, Fe, V, Ba, Zn, Pb'un ulaştığı belirtilmiş (Baralkiewicz vd., 2008), evsel yerleşimler ile gübre-pestisit kullanımının göl sedimentinde Cd, Pb ve Hg birikimine yol açtığı bildirilmiştir (Li vd., 2013; Mamat vd., 2016). Toplam varyansın %24,452'sini açıklayan 3. temel bileşende bulunan Cr (0,779) ve Ni (0,935) ağır metalleri ise diğer ağır metallere göre daha güçlü pozitif yüklere sahiptir (Tablo 4). Bu metallerden özellikle Cr, örnekleme yapılan her iki ayda da evsel atık sular ile tarımsal faaliyet kaynaklı atık suların ulaştığı II. istasyonda, I. istasyona göre daha yüksektir (Tablo 1).

Genel olarak Tablo 3'te ağır metaller arasında tespit edilen güçlü ilişkiler elde edilen temel bileşenlerin yüklerini destekler niteliktedir. Temel bileşen analizi sonucu, göle ulaşan farklı antropojenik kaynaklardan köken alan ağır metallerdeki farklılıklar, göldeki ağır metal birikimine yönelik çevresel baskının çeşitliliğini ve baskısını da yansıtmaktadır.

**Tablo 4.** Sedimentteki ağır metaller için temel bileşenler analizi (Varimax yöntemi ile döndürme yapılmış hali)

Parametre	Temel Bileşenler		
	1	2	3
Hg	-0,318	0,936	0,076
Cr	-0,604	0,014	0,779
Ni	0,131	-0,287	0,935
Cu	0,826	0,181	-0,523
Zn	0,427	0,831	-0,269
As	0,962	-0,078	0,120
Cd	0,933	0,178	-0,109
Pb	0,248	0,900	-0,313
Varyans Katkı Oranları (%)	40,063	31,625	24,452
Kümülatif Katkıları (%)	40,063	71,689	96,141

**Şekil 1.** Önemli bulunan temel bileşenlerin grafiği

## Sonuç

Mogan Gölü'nde gerçekleştirilen sedimentin uzaklaştırılması girişimini; gerek sediment tarama öncesi ile tarama esnasında gerekse bu çalışma kapsamında elde edilen sedimentteki ağır metal konsantrasyonu düzeylerine bakarak, etkin bir girişim olarak değerlendirmek olası gözükmemektedir. Bu bağlamda;

Göl havzasındaki antropojenik kirlenmelerin kontrolüne yönelik girişimler ön plana çıkarılmalı, gölün sürdürülebilir kullanımı açısından, göl sedimenti bu çalışmada ele alınan sekiz ağır metal (Cr, Cu, Zn, Ni, Pb, As, Cd, Hg) düzeyleri açısından rutin olarak izlenmelidir.

Sedimentten ağır metallerin salınımını değerlendirebilmek ve uygun sediment tarama

stratejileri önerebilmek için analitik kimya ve ekotoksikolojik testler paralel olarak gerçekleştirilmelidir.

Mogan Gölü'nde tarama uygulamalarının çevresel etkileri, süreci vb. unsurlar yanında belirli bir maliyeti de söz konusudur. Bu açıdan sedimentteki ağır metal düzeylerine göre, tarama alanlarının bölgesel olarak önceliklendirilmesi, tarama derinliği ve tekniği gibi konular da göz önünde bulundurulmalıdır.

## Teşekkür

Bu çalışma Arzu Binici'nin "Mogan Gölü'nde (Ankara) Dip Tarama Uygulamaları Sonrası Sedimentin Kirlilik Durumunun Değerlendirilmesi"

isimli doktora tezinden üretilmiş ve tez Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (19L0447010) tarafından desteklenmiştir.

#### Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

#### Yazar Katkıları

Tüm yazarlar eşit oranda katkı sağlamıştır.

#### Kaynaklar

- Anonim (2013). Mogan'ı kirletmenin bedeli ağır oldu. Erişim tarihi: 23.08.2019, <http://www.hurriyet.com.tr/mogan-i-kirletmenin-bedeli-agir-oldu-22951119>.
- Anonim (2016). *Göller ve sulak alanlar eylem planı, 2016-2018*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Baralkiewicz, D., Gramowska, H., Kanecka, A., Krzyżaniak, I., & Goldyn, R. (2008). Spatial distribution of major and trace elements in the water of Swarzędzkie Lake (Poland). *Environ Monit Assess.*, *143*, 327–336. doi:10.1007/s10661-007-9935-4
- Benzer, S., Arslan, H., Uzal, N., Gül, A., & Yılmaz, M. (2013). Concentrations of metals in water, sediment and tissues of *Cyprinus carpio* L., 1758 from Mogan Lake (Turkey). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, *12*, (1), 45-55.
- Chen, M., Ding, S., Gao, S., Fu, Z., Tang, W., Wu, Y., Gong, M., Wang, D., & Wang, Y. (2019). Efficacy of dredging engineering as a means to remove heavy metals from lake sediments. *Science of the Total Environment*, *665*, 181–190. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.02.057
- Dai, L., Wang, L., Li, L., Liang, T., Zhang, Y., Ma, C., & Baoshan, X. (2018). Multivariate geostatistical analysis and source identification of heavy metals in the sediment of Poyang Lake in China. *Science of the Total Environment*. *621*, 1433-1444. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.085
- Fan, Z. Wang, W., Tang, C., Li, Y., Wang, Z., Lin, S., & Zheng, F. (2019). Targeting remediation dredging by ecological risk assessment of heavy metals in lake sediment: a case study of Shitang Lake, China. *Sustainability*, *11*, 1-10. doi:10.3390/su11247251
- Fathollahzadeh, H., Kaczala, F., Bhatnagar, A., & Hogland W. (2015). Significance of environmental dredging on metal mobility from contaminated sediments in the Oskarshamn Harbor, Sweden. *Chemosphere*. *119*, 445-451. doi:10.1016/j.chemosphere.2014.07.008
- Hu, Y., Liu, X., Bai, J., Shih, K., Zeng, EY., & Cheng, H. 2013. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environmental Science and Pollution Research*, *20*(9): 6150-6159. doi: 10.1007/s11356-013-1668-z
- Jiang, X., Shi, Z. F. Li, F., Chen, C.X., Jin, X.C. (2010). Effects of dredging on speciation and bio-toxicity of heavy metals in the surface sediments in Zhushan Bay of Taihu Lake. *J. Environ. Sci.* *23* (9), 1151- 1157.
- Kolassa, J. E. (2020). *An introduction to nonparametric statistics*. Chapman and Hall/CRC Press.
- Küçükosmanoğlu, A. G., & Filazi, A. (2020). Investigation of the metal pollution sources in Lake Mogan, Ankara, Turkey. *Biological Trace Element Research*, *198*, 269–282. doi: 10.1007/s12011-020-02031-z
- Li, F. Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., Wang, X., Tang, X., & Bai, B. (2013). Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, *132*, 75-83. doi: 10.1016/j.gexplo.2013.05.007
- MacDonald, D.D., Ingersoll C.G., & Berger, T.A. (2000). Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, *39*, 20–31. doi: 10.1007/s002440010075
- Mamat, Z., Haximu, S., Zhang, Z., & Aji, R. (2016). An ecological risk assessment of heavy metal contamination in the surface sediments of Bosten Lake, Northwest China. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, *23*, 7255–7265. doi: 10.1007/s11356-016-6280-6
- Manap, N., & Voulvoulis, N. (2015). Environmental management for dredging sediments- The requirement of developing nations. *Journal of Environmental Management*, *147*, 338-348. doi: 10.1016/j.jenvman.2014.09.024
- Olgun, E., & Kocaemre, T.S. (2011). Mogan Gölü Su Kalitesinin İncelenmesi. *Tabiat ve İnsan* *3*(3),10–22.
- Pardo, S. A., & Pardo, M. A. (2018). *Statistical methods for fieldand laboratory studies in behavioral ecology*. Chapman and Hall/CRC.
- Peng, J., Song, Y., Peng, Y., Cui, X., & Qiu, G. (2009). The remediation of heavy metals contaminated sediment. *Journal of Hazardous Materials*, *161*, 633–640. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.04.061



- Peterson, S., A. (2007). Lake restoration by sediment removal. *Journal of the American Water Resources Association*, 18(3), 423-436. doi: 10.1111/j.1752-1688.1982.tb00009.x
- Pulatsü, S., & Topçu, A. (2015). Review of 15 years of research on sediment heavy metal contents and sediment nutrient release in inland aquatic ecosystems, Turkey. *Journal of Water Resource and Protection*, 7, 85-100. doi: 10.4236/jwarp.2015.72007
- Rudnick, RL., & Gao, S. (2014). Composition of the continental crust. In H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on Geochemistry* (pp.1-64). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-08-095975-7.00301-6
- Smal, H., Ligeza, S., Wojcikowska-Kapusta, A., Baran, S., Obrosiak, R., & Pawlowski, A., (2015). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in bottom sediments of two small dam reservoirs (South-east Poland). *Arch. Environ. Prot.* 41(4), 67-80. doi: 10.1515/aep-2015-0041
- Topçu, A., & Kaya, D. (2017). Ecological risk assessment and seasonal-spatial distribution of some trace elements from surface sediment: eutrophic-shallow Mogan Lake, Turkey. *International Congress on Chemistry and Materials Science*, 5-7. Ankara.
- Van Den Berg, G. A., Meijers, G.A., Van Der Heijdt, L., & Zwolsman, J. G. (2001). Dredging-related mobilisation of trace metals: A case study in the Netherlands. *Water Research*, 35 (8), 1979–1986. doi: 10.1016/s0043-1354(00)00452-8
- Wang, X. Y., & Feng, J. (2007). Assessment of the effectiveness of environmental dredging boin South Lake, China. *Environ. Manage.*, 40, 314–322. doi: 10.1007/s00267-006-0132-y
- Yavuz, H., & Filazi, A. (1995). Ankara Mogan Gölü'nden sağlanan su, çökelti ve balık örneklerinde ağır metal düzeyleri. *Vet Hekim Der Derg*, 66, 1–7.