



**Güllük Körfezi (Muğla-Türkiye) YüzeY Sedimentlerinde Toksik Metal Kirliliği**  
*Toxic Metal Pollution in the Surface Sediments from Güllük Bay (Muğla-Turkey)*

**Nuray Çağlar (Balkıs)<sup>1\*</sup>, Abdullah Aksu<sup>1</sup>, Gülşen Altuğ<sup>2</sup>**

<sup>1\*</sup>*İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul*

<sup>2</sup>*İstanbul Üniversitesi, Su Bilimleri Fakültesi, İstanbul*

Geliş/Received : 01.07.2019

• Düzeltilmiş Metin Geliş/Revised Manuscript Received : 07.08.2019

• Kabul/Accepted : 15.10.2019

• Çevrimiçi Yayın/Available online : 15.01.2020

• Baskı/Printed : 31.01.2020

*Araştırma Makalesi/Research Article*

*Türkiye Jeol. Bül. / Geol. Bull. Turkey*

**Öz:** Bu çalışmada yaz aylarında yoğun nüfusa, kış aylarında ise düşük nüfusa sahip, yakın çevresinde termik santral bulunan Güllük Körfezi'ndeki yüzeY sedimentlerinin kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), çinko (Zn), arsenik (As) ve alüminyum (Al) içerikleri incelenmiştir. Bu amaçla körfezden 2011-2012 yılları arasında Mayıs, Haziran, Temmuz ve Eylül aylarında yüzeY sediment örnekleri alınmıştır. Liyoflizatörde kurutulan örneklerle mikrodalgada kuvvetli asit ( $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{HClO}_4$ ) çözünürleştirilmesi uygulanmıştır. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile belirlenen toplam metal konsantrasyonları sırasıyla Pb için 1 ile 209  $\mu\text{g/g}$ ; Zn için 10 ile 259  $\mu\text{g/g}$ ; Cu için 1 ile 59  $\mu\text{g/g}$ ; Cr için 0,1 ile 46  $\mu\text{g/g}$ ; Cd için  $<0,01$  ile 2,8  $\mu\text{g/g}$ , As için  $<0,01$  ile 0,4  $\mu\text{g/g}$  ve Al için %0,6 ile %5,9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Tüm ölçüm dönemlerinde körfez sedimentlerinin Cu, Cr ve As elementleri yönünden kirlenmemiş olduğu, buna karşılık Pb, Cd ve Zn elementleri yönünden ise orta derecede kirlenmiş olduğu belirlenmiştir. YüzeY sedimentlerindeki yüksek Pb, Cd ve Zn değerleri Güllük Körfezi'ne özellikle Sarıçay deresi olan karasal kaynaklı antropojenik (evsel+endüstriyel) girdilere, limanlardaki deniz taşımacılığına ve turizm aktivitelerine işaret etmektedir. Artan nüfus yoğunluğuna (283,6 kişi/ $\text{m}^2$ ) (TÜİK, 2018) bağlı olarak insan aktiviteleri de körfezdeki metal kirliliğini etkilemektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Metal kirliliği, sediment, Güllük Körfezi.

**Abstract:** In this study, total lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As) and aluminum (Al) contents were investigated in surface sediments in order to determine the current pollution in Güllük Bay, which has dense population in summer; low population in winter; and a thermal power plant in the vicinity. For this purpose, surface sediments were collected from the bay seasonally in 2011 and 2012. Strong acid ( $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{HClO}_4$ ) digestion was used for metal analysis after drying in a freeze-dryer. Total metal concentrations were measured by atomic absorption spectrophotometer. The total metal contents changed between 1 and 209  $\mu\text{g/g}$ ; 10 and 259  $\mu\text{g/g}$ ; 1 and 59  $\mu\text{g/g}$ ; 0.1 and 46  $\mu\text{g/g}$ ;  $<0.01$  and 2.8  $\mu\text{g/g}$ ,  $<0.01$  and 0.4  $\mu\text{g/g}$  and 0.6% and 5.9% for Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, As and Al, respectively. Cu, Cr and As concentrations were lower than the background values, contrary to higher Pb, Cd and Zn contents in bay surface sediments during all sampling periods. These high metal values indicate the presence of anthropogenic (domestic and industrial) inputs via Sarıçay creek and both maritime transport and tourism waste in Güllük Bay. As a result, it was found that population growth and human activities affected metal contamination.

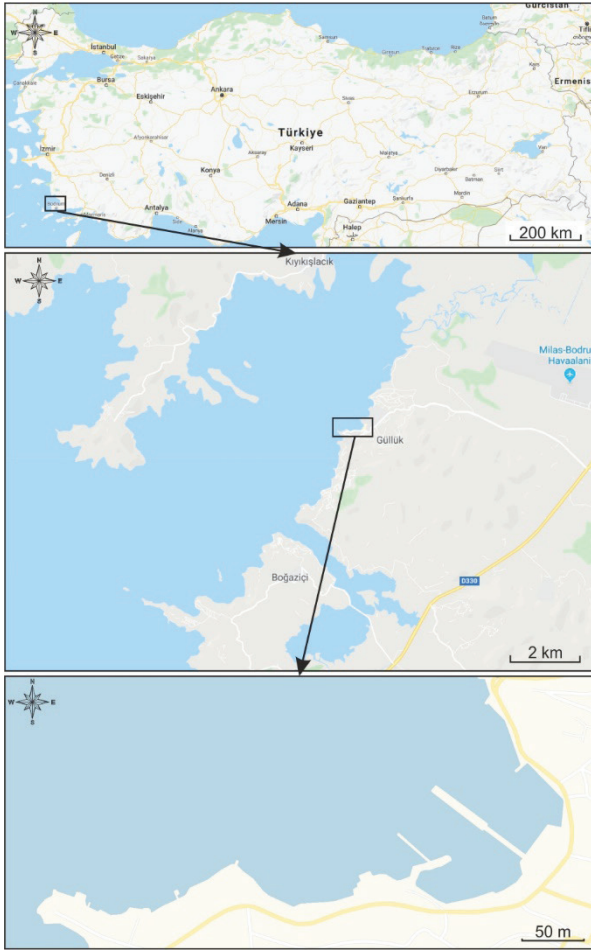
**Keywords:** Metal pollution, sediment, Güllük Bay.

## GİRİŞ

Deniz suyunda metallerin kaynağı doğal ya da antropojenik kökenlidir. Bunlar; karalar üzerindeki zengin metal kaynaklarından atmosfer yoluyla olan taşınımlar, akarsularla olan girdiler, denizaltı hidrotermal ve volkanik aktiviteler, diyajenez gibi doğal ve jeokimyasal prosesler ve hızla artan nüfus ile insan aktiviteleridir. Maden cevherlerinin erozyonu, volkanik aktiviteler, toz bulutları, orman yangınları ve tarım gibi doğal kaynakların ve insan aktiviteleri sonucu oluşan girdilerin etkileri değerlendirildiğinde ise metal girdileri karmaşık bir hal alır (Balkıs ve Algan, 2005). Bunun yanı sıra metalik maden sahalarından sızan metallerin nehir bünyesine ve oradan da denizlere taşınması ile metal birikimine önemli ölçüde katkıda bulunur. Ayrıca kentsel ve endüstriyel bölgelerden geçen nehirlere atıkların deşarjı sonucu metalleri bünyesine alır. Bir diğer metal kaynağı ise atmosferik girdilerdir. Metalleri diğer toksik maddelerden ayıran en önemli özellikleri ise insanlar tarafından ne oluşturulabilir ne de yok edilebilir olmalarıdır. Tüm canlıların yaşamsal faaliyetlerini normal olarak sürdürebilmeleri için, ortamlarında bulunan Cu, Mn, Zn ve diğer metallere (Cd, Cr, Fe, Mo, Ni, Sn ve V) belirli düzeylerde gereksinim duymaktadır. Bu metaller organik moleküllerle ve daha çok proteinlerle birleşerek metal-protein komplekslerini oluştururlar. Bunun yanında, birçok enzimin yapılarına katılırlar. Örneğin, Fe kanı kırmızı olan canlılarda, Cu ise renksiz kan sıvısı olan omurgasızlarda ve deniz organizmalarında oksijen taşınmaları ve bunların yanında diğer birçok enzim aktivitelerine direkt olarak metalloprotein olarak katılırlar (Gailer, 2007). Bununla beraber, bazı metaller de vitaminlerin yapı taşlarını oluştururlar (Güler ve Çobanoğlu, 1994). Esansiyel olan metaller, eksikliklerinde olduğu gibi fazla miktarlarda alındıklarında da toksik etki oluşturabilmektedirler. Toksiklik düzeyi her metalde farklılık göstermektedir. Metallerin toksiklik düzeyleri çoktan aza doğru

As, Hg, Ag, Cu, Cd, Zn, Pb, Cr, Ni ve Co şeklinde olmakla beraber bu sıralama kesin değildir. Yüksek konsantrasyonlardaki metaller organizma için faydalı olsun olmasın toksiktir (Brayn, 1971; 1976). Bu nedenle hızla gelişen endüstrileşme ve artan nüfusla birlikte özellikle kıyısularda ve körfezlerde oluşan metal kirlenmesi dünyanın çeşitli bölgelerinde önemli halk sağlığı sorunları yaratmıştır. Ege Denizi'nde yapılan kirlilik çalışmalarında midyede oldukça yüksek poliaromatik hidrokarbon değerlerine rastlanmıştır (Balcıoğlu vd., 2014). Ayrıca evsel ve endüstriyel atıklar Marmara Denizi'ndeki Pb ve Cr kirliliğini tetiklemektedir (Aksu ve Taşkın, 2012). Sadece toksik metaller değil Al, Fe, Mn gibi metallerin dağılımı da evsel ve endüstriyel aktivitelerden redoks değişimleri sonucunda etkilenmektedir (Taşkın vd., 2011).

Güllük Körfezi, Torba, Güvercinlik ve Güllük gibi küçük yerleşim yerlerine sahip olup, çevresinde endüstriyel faaliyetler bulunmamaktadır (Şekil 1). Buna karşılık Güllük Limanı, özellikle çevredeki boksit ve feldspat rezervlerinin sevk noktası olması sebebiyle hayli işlek ve gelişmiştir. Limanın dışında balıkçılık ve turizm önemli faaliyet alanları ve geçim kaynaklarıdır. Kentin kuzeyine kurulu dalyanda ve denizde iyi balık çıkmakta, en çok, çipura, levrek, sargoz, mercan, lüfer, kefal, dil balığı, istavrit, palamut, yılanbalığı ve daha birçok türde balık avlanmaktadır. Ayrıca çevredeki koyların çoğunda kültür balıkçılığı da yapılmakta, çipura ve levrek yetiştirilmektedir. (Altuğ vd., 2013). Ancak, körfez tarım ve turizme ait aktiviteler, evsel atıklar, limanlardaki özellikle de Güllük Limanı'ndaki yoğun maden taşımacılığı ve Sarıçay deresinin getirdiği karasal girdiler sonucunda son yıllarda kirlenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Bu çalışmada Güllük Körfezi'nden 2011-2012 yılları arasında örnekleme yapılan yüzey sedimentlerinde kurşun (Pb), çinko (Zn), bakır (Cu), krom (Cr), kadmiyum (Cd) ve arsenik (As) gibi bazı toksik metallerin güncel kirlenme seviyeleri ve kökenleri belirlenmeye çalışılmıştır.

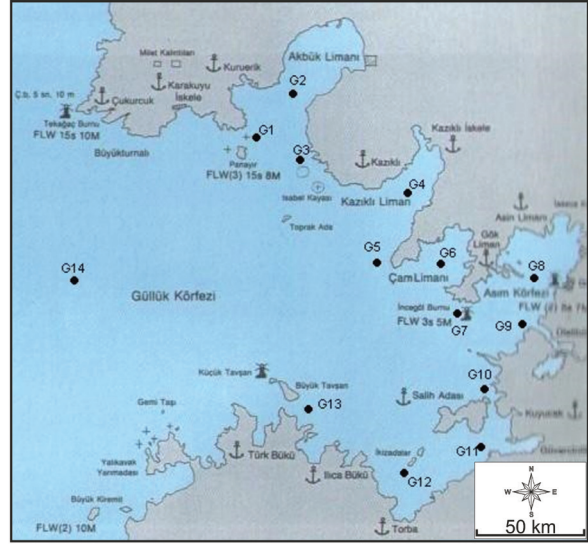


Şekil 1. Güllük Körfezi'nin konumu ve çalışma alanı.  
Figure 1. Location map for Güllük bay and study area.

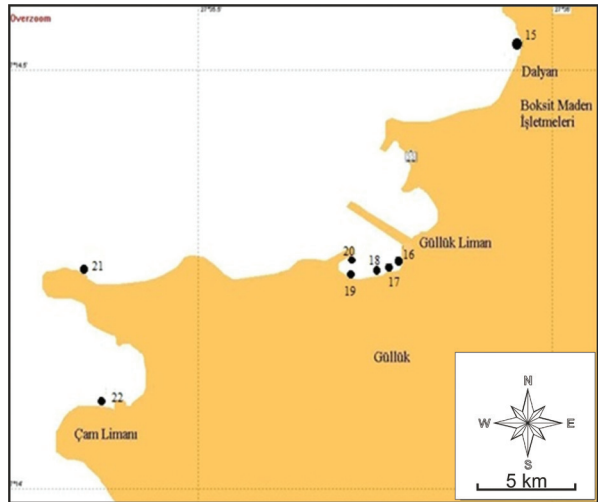
## MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Güllük Körfezi'nden 2011-2012 yılları arasında Mayıs, Haziran, Temmuz ve Eylül dönemlerinde yüzeY sediment örnekleme yapılmıştır (Şekil 2 ve 3). Sediment örnekleri liman, koy (14 adet) ve kıyılal alandan (9 adet) Ekman Grab (Hydrobios 15x15) ile alınmış ve laboratuarda analiz edilinceye kadar +4°C'de saklanmıştır. Daha sonra liyoflizatörde kurutulmuş örneklere mikrodalgada kuvvetli asit ( $HNO_3+HF+HClO_4$ ) çözünürleştirilmesi uygulanmıştır (Loring ve Rantala, 1992; Li vd., 2000). Elde edilen örnekler 1 M HCl ile 10 ml'ye tamamlandıktan sonra Cr,

Cu, Pb ve Zn analizi İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü Kimyasal Oşinografi Anabilim Dalı'nda bulunan atomik absorpsiyon spektrofotometresinde (Shimadzu AA-6701-F, Japonya) hava-asetilen alevinde, Al analizi  $N_2O$ -asetilen alevinde, As analizi alevli hidrür ünitesinde analiz gerçekleştirilmiştir.



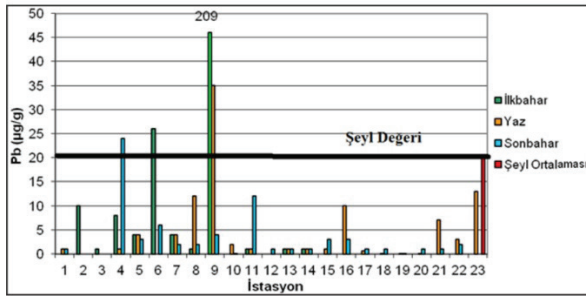
Şekil 2. Örnekleme istasyonları  
Figure 2. Sampling stations



Şekil 3. Kıyılal alan örnekleme istasyonları.  
Figure 3. Sampling stations in the coastal area.

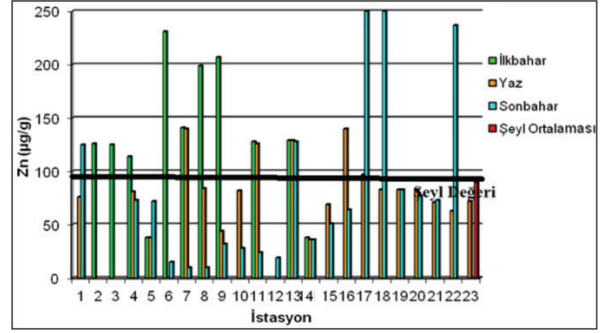
## BULGULAR

Güllük Körfezi'nin liman, koy ve kıyıl alanlarından toplanan yüzey sediment örneklerinde toplam Pb, Cu, Zn, Cr, Cd, As ve Al içerikleri grafikler halinde verilmiştir. Buna göre; körfezde alınan sediment örneklerinin toplam Pb içerikleri 1 ile 209  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir (Şekil 4). En yüksek Pb içeriği Sarıçay deresi ağzında ilkbahar ve yaz mevsimlerinde, en düşük değer ise tüm örnekleme dönemlerinde (ilkbahar-yaz-sonbahar) Akbük Limanı açığı Panayır Adası kuzeyinde tespit edilmiştir. Ayrıca Kazıklı ve Çam Limanı içlerinde de şeyl ortalamasının (20  $\mu\text{g/g}$ ) üzerinde Pb birikimleri belirlenmiştir. Krauskopf (1979) tarafından belirtilen şeyl değerlerine göre tüm metal değerleri karşılaştırılmıştır. Buna karşılık körfezin genelinde ise Pb konsantrasyonunun 20  $\mu\text{g/g}$  değerinin altında olduğu görülmüştür. Körfezde alınan sediment örneklerinin toplam Zn içerikleri 10 ile 259  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir (Şekil 5). En yüksek Zn değeri sonbaharda Güllük Limanı halk plajlarında belirlenirken, en düşük değer İncegöl Burnu'nda ölçülmüştür. Körfezin büyük bölümünde de şeyl ortalaması olan 90  $\mu\text{g/g}$  değerinin üzerinde tespit edilmiştir.



Şekil 4. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Pb içerikleri ( $\mu\text{g/g}$ ).

Figure 4. Pb contents in surface sediments from Güllük Bay ( $\mu\text{g/g}$ ).

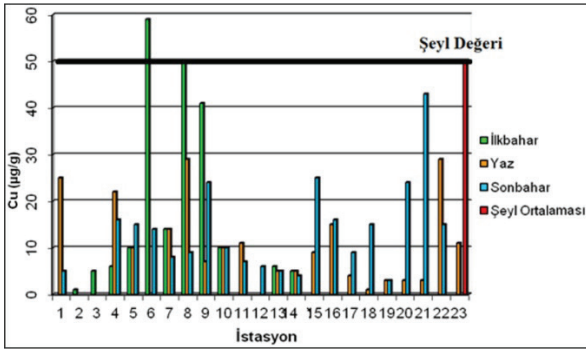


Şekil 5. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Zn içerikleri ( $\mu\text{g/g}$ ).

Figure 5. Zn contents in surface sediments from Güllük Bay ( $\mu\text{g/g}$ ).

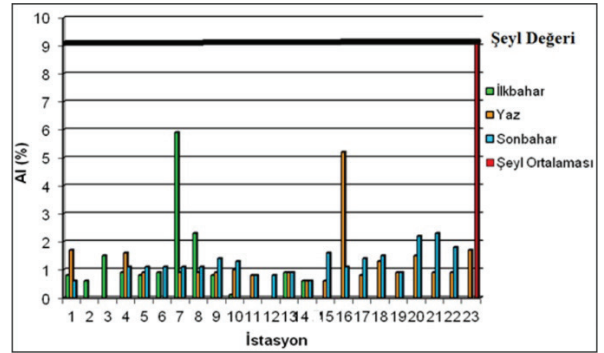
Körfez sedimentlerinde toplam Cu içerikleri 1 ile 59  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir (Şekil 6). Bakır konsantrasyonları en yüksek değerde ilkbaharda Çam Limanı içinde ölçülürken, en düşük değerde yine aynı mevsimde Akbük limanı içinde belirlenmiştir. Özellikle Çam limanı içi, Asım Körfezi ve Sarıçay deresi ağzı dışında ise Cu değerleri şeyl ortalaması olan 50  $\mu\text{g/g}$ 'ın altında tespit edilmiştir. Körfezde toplam krom içerikleri 0,1 ile 46  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmekte olup, şeyl ortalaması olan 100  $\mu\text{g/g}$  değerinin oldukça altındadır (Şekil 7). Yüzey sedimentlerinde toplam Cd içerikleri <0,01 ile 2,8  $\mu\text{g/g}$  arasında değişmektedir (Şekil 8). Bunun yanı sıra Cd değerlerinin Güllük Limanı'ndaki kıyıl alanın büyük bir bölümünde ve referans istasyonda ölçüm limitlerinin (<0,01  $\mu\text{g/g}$ ) altında olduğu görülmüştür. Özellikle en yüksek değerde Pb değişimlerine benzer şekilde Sarıçay deresi ağzında ölçülmüştür. Ayrıca Çam Limanı ve Güvercinlik'te de şeyl ortalaması olan 0,2  $\mu\text{g/g}$  değerinin oldukça üzerinde tespit edilmiştir. Körfez sedimentlerinde toplam As içerikleri körfezin tamamında şeyl ortalamasının (<10  $\mu\text{g/g}$ ) altında ölçülmüştür. Güllük Körfezi yüzey sedimentlerinde Al içeriklerinin %0,6 ile %5,9 arasında değiştiği belirlenmiştir (Şekil 9). Buna göre Al değerleri tüm istasyonlarda şeyl ortalamasının (%9,2) altındadır ve sedimentler ağırlıklı olarak kaba taneli malzemeden oluşmaktadır.





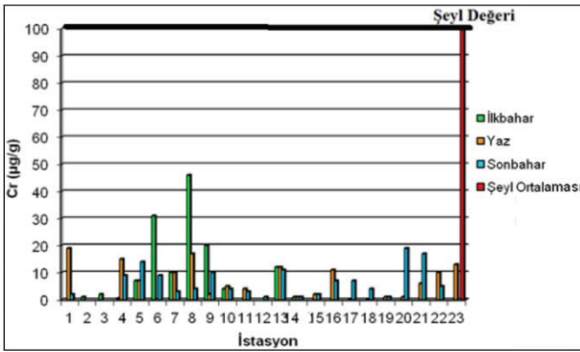
Şekil 6. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cu içerikleri (µg/g).

Figure 6. Cu contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).



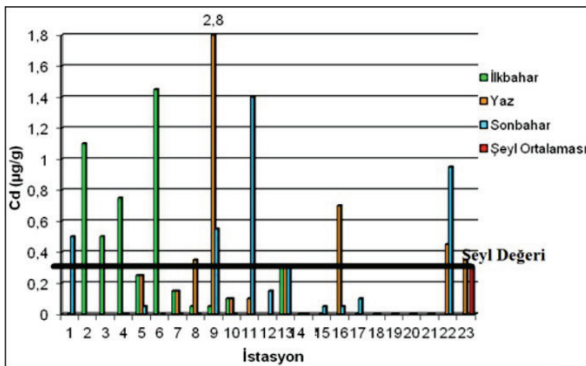
Şekil 9. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Al içerikleri (%).

Figure 9. Al contents in surface sediments from Güllük Bay (%).



Şekil 7. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cr içerikleri (µg/g).

Figure 7. Cr contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).



Şekil 8. Güllük Körfezi yüzeY sedimentlerinde toplam Cd içerikleri (µg/g).

Figure 8. Cd contents in surface sediments from Güllük Bay (µg/g).

## SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Denizel ortamlarda yüzeY sedimentleri kirlenme faktörü (CF) değerine göre sınıflandırılmaktadır (Li vd., 2000; Pekey vd., 2004). Buna göre CF değeri 4 ayrı grupta sınıflandırılır.  $CF < 1$  ise kirlenmemiş,  $1 < CF < 3$  ise orta derecede kirlenmiş,  $3 < CF < 6$  ise önemli derecede kirlenmiş ve  $CF > 6$  ise oldukça yüksek derecede kirlenmiş olarak yorumlanmaktadır (Hakanson, 1980). CF değeri aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$CF = C_{\text{metal}} / C_0$$

$C_{\text{metal}}$  : Sediment örneğindeki metal konsantrasyonu

$C_0$  : Metalin dünya şeyl ortalama değeri

formülüne göre hesaplanır. Formüle göre yapılan hesaplamalarla tüm ölçüm dönemlerinde bütün istasyonlarda yüzeY sedimentlerinin Cu, Cr ve As elementleri yönünden kirlenmemiş olduğu tespit edilmiştir. Söz konusu elementlerin toplam içeriklerinin şeyl ortalamasının altında olduğunun belirlenmesi de bu sonucu desteklemektedir. Buna karşılık, Pb yönünden ilkbahar döneminde Çam Limanı'nın orta derecede, Sarıçay deresi ağzında oldukça yüksek ve yaz döneminde ise yine Sarıçay deresi ağzında orta derecede kirlenmiş olduğu

belirlenmiştir. Cd yönünden Kazıklı açığı, Kazıklı ve Çam Limanlarının, yaz döneminde Asım Körfezi ve Sarıçay deresi ağzının, sonbaharda ise Panayır Adası Kuzeyi ve Sarı Çay deresi ağzının orta derecede kirlenmiş olduğu görülmüştür. Zn yönünden ise ilkbahar döneminde Teke Burnu ve referans istasyonu dışında orta derece bir kirlenme belirlenirken, yaz döneminde İncegöl Burnu, Güvercinlik ve Büyük Tavşan Adası güneyinde ve sonbaharda Yük Limanı'nda orta derecede kirlenme tespit edilmiştir. Benzer şekilde Pb, Cd ve Zn metalleri yönünden kirlenmelerin görüldüğü aynı dönemlerde toplam Pb, Cd ve Zn içerikleri de şeyl ortalamasının üzerinde bulunmuştur. Dolayısıyla analizler ve hesaplamalar sonucu elde edilen veriler birbirini desteklemektedir. Bu çalışma, Güllük Körfezi'nde Dalman vd. (2006) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırıldığında

sonuçların genel olarak uyumlu olduğu; farklı olarak Sarıçay deresi ağzındaki örneklerde özellikle Pb, Cd ve Zn konsantrasyonlarının yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 1). Ayrıca Gökova Körfezi ve Muğla ili ve çevresinde yapılan kirlilik izleme çalışmalarında metal birikimlerinde termik santrallerin de etkili olduğu dikkati çekmektedir (Baba vd., 2003; Tuna vd., 2005; Balkıs vd., 2010). Sonuç olarak, yüzey sedimentlerindeki yüksek Pb, Cd ve Zn değerleri Güllük Körfezi'ne özellikle Sarıçay deresi olan karasal kaynaklı antropojenik girdilere, limanlardaki deniz taşımacılığına ve turizm aktivitelerine işaret etmektedir. Buna karşılık, körfez sedimentlerinde şeyl ortalaması altındaki Al içerikleri ise yüzey sedimenti örneklerinin kaba taneli yani karbonatça zengin olmasından kaynaklanmakta olup, körfeze yakın olan mermer yatakları ile ilişkili olduğu düşünülmektedir.

#### Çizelge 1. Yüzey sedimentlerinde toksik metal kirliliği.

*Table 1. Toxic metal pollution in surface sediments*

Çalışma Alanları	Al	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd
	%			µg/g		
Erdek Körfezi (Mülayim vd., 2012)	1,14-8,61	2,2-172	<0,01-24	18-106	2-172	0,52-0,77
Bandırma Körfezi (Mülayim vd., 2012)	1,83-5,64	3,2-229	0,08-27	25-80	17-36	0,57-0,86
Erdek Körfezi (Balkıs ve Çağatay, 2001)	1,1-9,2	11-238	3-52	34-272	19-61	-
Gemlik Körfezi (Algan vd., 2004)	3,7-8,7	53-152	6-107	33-410	17-85	-
İzmit Körfezi (Balkıs vd., 2007)	2,3-11,4	34-77	11-42	84-306	23-52	-
İstanbul Şehri Kıyıları (Algan vd., 1999)	0,8-8	11-509	5-80	48-237	12-58	-
İzmir Körfezi (Küçüksezgin vd., 2006)	-	29-316	13-49	45-114	14-113	0,01-0,33
Gökova Körfezi (Balkıs vd., 2010)	5-34	18-1012	0,01-52	38-55	2-40	<0,01-1,6
Güllük Körfezi (Dalman vd., 2006)	-	-	20-30	34-159	19-21	0,45-0,69
Güllük Körfezi (Bu çalışma)	0,1-5,9	0,1 - 46	1-59	10-259	0,1-209	<0,01-1,8

## EXTENDED SUMMARY


Güllük Bay is surrounded by small settlements such as Torba, Güvercinlik and Güllük. There are no industrial activities in the vicinity. Fishery and tourism are the main livelihood activities around the bay. Güllük Port is a dense transport location for bauxite and feldspar minerals in the bay. In this study, total lead (Pb), cadmium (Cd), chromium (Cr), copper (Cu), zinc (Zn), arsenic (As) and aluminum (Al) contents were investigated in the surface sediments in order to determine current contamination in Güllük Bay. For this purpose, surface sediments were collected with Ekman Grab (Hydrobios 15x15) seasonally from the bay (May, June, July and September) in 2011 and 2012. Strong acid (HNO<sub>3</sub>, HF+HClO<sub>4</sub>) digestion was used for metal analysis after drying in a freeze-dryer. Total metal concentrations were measured by atomic absorption spectrophotometer. It was observed that total metal contents changed between 1 and 209 µg/g; 10 and 259 µg/g; 1 and 59 µg/g; 0.1 and 46 µg/g; <0.01 and 2.8 µg/g, <0.01 and 0.4 µg/g, 0.6% and 5.9% for Pb, Zn, Cu, Cr, Cd, As and Al, respectively. Copper, Cr and As concentrations were lower than the background values, contrary to higher Cd, Pb and Zn contents of the bay surface sediments in all the sampling periods. In other words, Güllük bay is an unpolluted area for As, Cr and Cu, while it is moderately polluted with Cd, Pb and Zn. These high metal values indicate that there are anthropogenic (domestic and industrial) inputs via Sarıçay creek and both maritime transport (especially at Kazık, Yük and Çam Ports) and tourism wastes in Güllük Bay. In contrast, the low Al content could indicate both natural and anthropogenic terrestrial inputs from a marble mining zone close to the bay.

## KATKI BELİRTME

Makalenin üretildiği bilimsel veriler TÜBİTAK tarafından desteklenen 110Y243 no'lu proje kapsamında elde edilmiştir.

## ORCID

Nuray Çağlar (Balkıs)  <https://orcid.org/0000-0001-7608-6339>

Abdullah Aksu  <https://orcid.org/0000-0003-1368-5689>

Gülşen Altuğ  <https://orcid.org/0000-0003-3251-7699>

## DEĞİNİLEN BELGELER / REFERENCES

- Aksu, A., Taşkın, Ö.S., 2012. Organochlorine residue and toxic metal (Pb, Cd and Cr) levels in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 64 (5), 1060-1062.
- Algan, O., Çağatay, N., Sarıkaya, H.Z, Balkıs, N., Sarı, E., 1999. Pollution monitoring using marine sediments: A case study on the Istanbul metropolitan area. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 23 (1), 39-48.
- Algan, O., Balkıs, N., Çağatay, M. N., Sarı, E. 2004. The sources of metal contents in the shelf sediments from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Geology*, 46, 932-950.
- Altuğ, G., Balkıs, N., Çardak, M., Gürin S., Çiftçi Türetken, P.S., Kalkan, S., Hulyar, O., 2013. Güllük Körfezi Ekosisteminin Bakteriyolojik Analizlerle Araştırılması. Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK), Proje No: 110Y243, (yayımlanmamış).
- Baba, A., Kaya, A., Birsoy, Y.K., 2003. The effect of Yatağan Thermal power plant (Muğla, Turkey) on the quality of surface and groundwaters. *Water Air and Soil Pollution*, 149 (1-4), 93-111.
- Balcıoğlu, E.B., Aksu, A., Balkıs, N., Öztürk, B., 2014. T-PAH contamination in Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) at various stations of the Turkish Straits System. *Marine Pollution Bulletin* 88 (1-2), 344-346.
- Balkıs, N., Çağatay M.N., 2001. Factors controlling metal distributions in the surface sediments of the Erdek Bay, Sea of Marmara, Turkey. *Environment International*, 27, 1-13.
- Balkıs, N., Algan O., 2005. Marmara Denizi Yüzev Sedimentlerinde (Şelf Alanı) Metallerin Birikimi ve Denetleyen Mekanizmalar, (Deniz Kirliliği Analiz Yöntemleri İlgili Uluslararası Sözleşmeler, Editörler: Güven, K.C., Öztürk, B.). TÜDAV Yayınları No:21, 177-204.

- Balkıs, N., Senol, E., Aksu, A., 2007. Trace metal distributions in water column and surface sediments of Izmit Bay (Turkey) after Marmara (Izmit) earthquake. *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (8), 910-916.
- Balkıs, N., Aksu A., Okuş E., Apak, R., 2010. Heavy metal concentrations in water, suspended matter, and sediment from Gökova Bay, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 167 (1-4), 359-370
- Brayn, G.W., 1971. The effects of heavy metals on marine and estuarine organisms. *Proceedings of the Royal Society of London*, 389-410.
- Brayn, G.W., 1976. Heavy metal contamination in the sea, (Marine Pollution, Editör: Johnson R.). Academic Press, London 185-302.
- Dalman, Ö., Demirak, A., Balcı, A., 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the Southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 95 (1), 157-162.
- Gailer, J. 2007. Arsenic-selenium and mercury-selenium bonds in biology. *Coordination Chemistry Reviews* 251 (1-2), 234-254.
- Güler Ç., Çobanoğlu Z., 1994. Çocuk ve Çevre. Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi No:23, T.C. Sağlık Bakanlığı Temel Sağlık Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 24.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control a sedimentological approach. *Water Research*, 14 (8), 975-1001.
- Krauskopf, K.B. 1979. *Introduction to Geochemistry*. McGraw-Hill, New York, 617 s.
- Küçüksezgin, F., Kontas, A., Altay, O., Uluturhan, E., Darılmaz, E., 2006. Assessment of marine pollution in Izmir Bay: Nutrient, heavy metal and total hydrocarbon concentrations. *Environment International*, 32(1), 41-51.
- Li, X., Shen, Z., Wai, O.W.H., Li, Y., 2000. Chemical partitioning of heavy metal contaminants in sediments of the Pearl River Estuary. *Chemical Speciation and Bioavailability*, 12, 17-25.
- Loring, D.H. ve Rantala, R.T.T., 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32, 235-283.
- Mülayim, A., Balkıs, N., Balkıs, H., Aksu, A., 2012. Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 94 (1), 56-69.
- Pekey, H., Karakaş, D., Ayberk, S., Tolun, L., Bakoğlu, M., 2004. Ecological risk assessment using trace elements from surface sediments of Izmit Bay (Northeastern Marmara Sea) Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 48, 946-953.
- Taşkın, Ö.S., Aksu, A. ve Balkıs, N., 2011. Metal (Al, Fe, Mn and Cu) distributions and origins of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of the Marmara Sea and the coast of Istanbul, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*, 62 (11), 2568-2570.
- Tuna, L.A., Yağmur, B., Hakerlerler, H., Kılınc, R., Yokas, İ., Bürün, B., 2005. Muğla Bölgesi'ndeki Termik Santrallerinden Kaynaklanan Kirlilik Üzerine Araştırmalar. Muğla Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projesi-Kesin Raporu, Muğla, 79 s.
- TÜİK, 2018. [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1047](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1047)