

ARAŞTIRMA MAKALESİ

RESEARCH ARTICLE

# Gediz Deltası dalyan alanlarının (İzmir Körfezi) yüzey sedimentlerinde ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesi

## Assessment of heavy metal pollution of surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta (Izmir Bay)

Esin Uluturhan Suzer \* • Aynur Konaş • Elif Can Yılmaz

Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, 35340 İnciraltı-İzmir

\*Corresponding author: [esin.uluturhan@deu.edu.tr](mailto:esin.uluturhan@deu.edu.tr)

### How to cite this paper:

Uluturhan-Suzer, E., Konaş, A., Can-Yılmaz, E., 2015. Assessment of heavy metal pollution of surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta (Izmir Bay). *Ege J Fish Aqua Sci* 32(2): 79-87. doi: [10.12714/egejfas.2015.32.2.04](https://doi.org/10.12714/egejfas.2015.32.2.04)

**Abstract:** In this study, the heavy metal concentrations in surface sediments from Kırdeniz, Homa, Çilazmak Lagoons and Çamaltı Saltpan at Gediz Delta were investigated. The possible sources of metal pollution were determined according to the enrichment factors (EF) and sediment quality and pollution degrees were also defined with sediment quality guideline (SQG). The highest heavy metal concentrations were determined at Kırdeniz, Çilazmak Lagoons and Çamaltı Saltpan. The pollutions of Pb, Cr and Ni at all sampling area and especially Hg pollution at Çilazmak Lagoon and Çamaltı Saltpan are originated from anthropogenic sources. The concentrations of Ni were below the PEL value and the levels of Pb, Cr were above the TEL value in all sampling area. According to SOQ, all sampling stations were classified as heavily polluted for Ni and Cr and moderately polluted for Pb. The highest contamination degrees were detected in Kırdeniz and Çilazmak Lagoons.

**Keywords:** Gediz Delta, heavy metal, pollution, sediment, sediment quality criteria

**Özet:** Bu çalışma kapsamında Gediz Deltasında yer alan Kırdeniz, Homa ve Çilazmak Dalyanları ile Çamaltı Tuzlası kıyılarından alınan yüzey sedimentlerinde ağır metal konsantrasyonları saptanmıştır. Zenginleşme faktörleri (EF) hesap edilerek, metal kirliliğinin muhtemel kaynakları belirlenmiş ve sediment kalite kriterlerine (SQG) göre sediment kalitesi ve kirlilik düzeyleri tespit edilmiştir. En yüksek metal konsantrasyonları, Çamaltı Tuzlası, Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında saptanmıştır. Tüm çalışma bölgesi için Pb, Cr, Ni'nin yanı sıra özellikle Çilazmak ve Çamaltı Tuzlası alanlarında Hg kirlilikleri antropojenik kaynaklıdır. Çalışma alanının tümünde Ni konsantrasyonları PEL değerinin, Pb ve Cr seviyeleri ise TEL değerinin üstündedir. SOQ kriterlerine göre tüm istasyonlar Ni ve Cr açısından aşırı kirliliğe, Pb için ise kısmen kirliliğe sınıflandırılmıştır. En yüksek kirlilik dereceleri Kırdeniz ve Çilazmak Dalyanlarında tespit edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Gediz Deltası, ağır metal, kirlilik, sediment, sediment kalite kriteri

## GİRİŞ

Ağır metallerin yarattığı kirlilik, dünya denizlerinde ve dalyanlar gibi kıyasal ekosistemlerde problemler yaratmaktadır. Erozyon sonucu nehirlerle denizel bölgeye metal taşınması, jeolojik ayrışma ve aşınma, karasal ve deniz dibi volkanik faaliyetler, fosil yakıtların yanması gibi olaylar metallerin doğal kaynaklarını oluşturmaktadır. İnsan aktiviteleri sonucu oluşan metallerin kaynakları ise madencilik faaliyetleri, endüstriyel kökenli atıklar, evsel ve tarımsal aktiviteler sonucu oluşan metal girişleridir. Doğal olmayan kaynakların en önemlisi endüstriyel atıklardır. Deniz ortamına ulaşan ağır metaller, su kolonunda serbest iyonlar, inorganik veya organik bileşikler ve partikül maddelere tutunmuş şekilde bulunurlar. Su kolonunda çökerek sedimente geçmiş olan metaller su ve sediment arasında devamlı bir geçiş halindedir. Ağır metaller deniz ortamında çeşitli fiziko kimyasal reaksiyonlara girerler.

Sedimentte biriken metallerin konsantrasyonu dipte bulunan sedimentin yapısına, boyutuna ve sedimentteki organik maddeye bağlı olarak değişiklik gösterir. Sediment, ağır metaller için birikim yeridir ve bu nedenle sulcul ekosistemdeki ağır metal kirliliğinin araştırılmasında çok önemlidir (Salomons ve Fostner, 1984).

Gediz Nehri, İzmir Körfezi'nin kuzeybatısında bulunan Türkiye'nin en büyük deltalarından biri olan Gediz Deltası'nı oluşturur. Gediz Deltası, tatlı ve tuzlu su bataklıkları, geniş tuz tavaları ve dört lagünü içermesiyle geniş bir sulak alandır ve çok sayıda kuş türünün üreme alanı olarak Türkiye'nin önemli Ramsar alanlarından bir tanesidir. Deltanın oluşumu sırasında Gediz Nehri'nin sık sık yatak değiştirmesi nedeniyle denize doğru ilerlediği kesimlerde lagünler ve bataklıklar

oluşturmuştur. Deltada yer alan ve ince kordonlarla denizden ayrılan dalyanlar kuzeyden güneye doğru Kırdeniz (400 ha), Homa (1824 ha), Çilazmak (725 ha) ve yakın tarihte yıkılan Rağıp Paşa (500 ha) Dalyanı'dır. Homa Dalyanı ile Çilazmak Dalyanı'nın arasında Türkiye'nin tuz üretiminde önemli yeri olan Çamaltı Tuzlası bulunmaktadır (Çağırnkaya ve Meriç, 2013).

Gediz Deltası zengin ve farklı habitatları içermesi nedeniyle başta su kuşları ve balıklar olmak üzere binlerce canlıya uygun yaşam ortamı sağlamakta ve dalyanlarda yapılan balıkçılık ve avcılık ile yöre ekonomisine katkıda bulunmaktadır. Son yıllardaki aşırı kuraklık ve Gediz Nehri'nin sularının önemli miktarının barajlarda tutulması ve sulamada kullanılması nedeniyle deltaya yeterli su girişi sağlanamamış, sazlık ve bataklıklar kuruma tehlikesi ile karşılaşmış, bununla birlikte dalyan alanlarında aşırı tuzlanma ve sığlaşma görülmüştür. Bu nedenle delta için "Can Suyu Projesi" başlatılmıştır (Atılğan ve Egemen, 2001; Çağırnkaya ve Meriç, 2013).

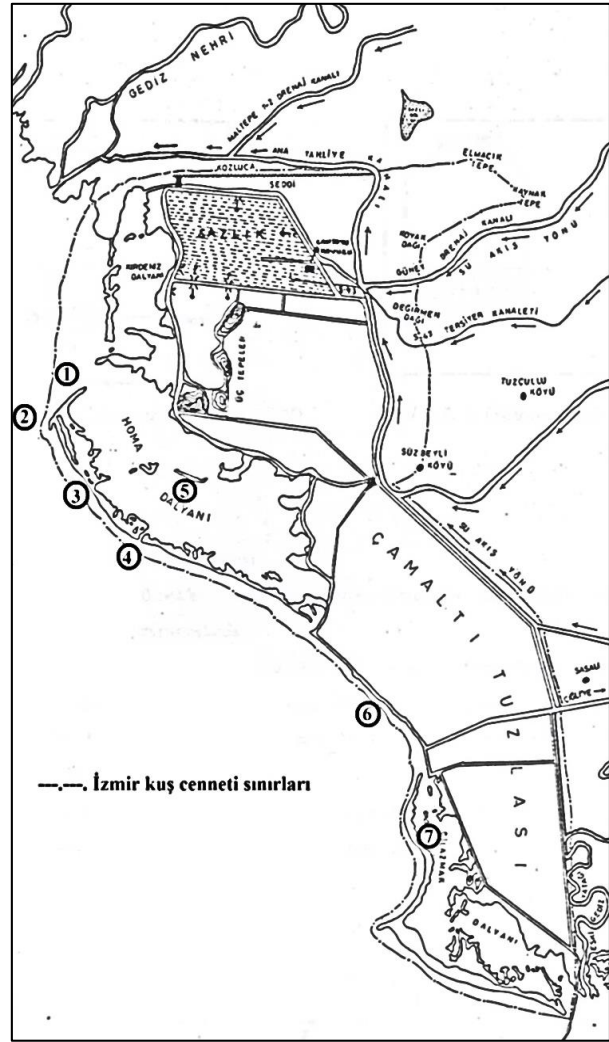
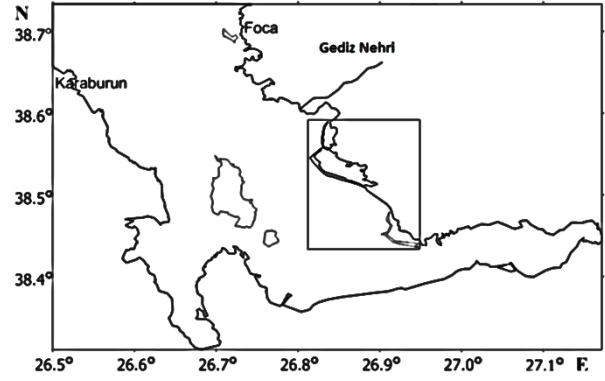
Gediz Havzası'nda çok sayıda metal, maden, kimya, toprak ürünleri, gıda, kağıt ve deri işleme tesisleri gibi sanayi kuruluşları mevcuttur. Gediz Nehri, üç büyük şehrin (Uşak, Manisa ve İzmir) evsel ve endüstriyel atık suları ile tarımsal drenaj sularına bağlı olarak aşırı derecede kirlenmektedir (Küçüksezgin vd., 2008; Parlak vd., 2006). Gediz Nehri'nin taşıdığı bu kirlenmeler İzmir Körfezi'ne kadar ulaşmakta ve deltasında yer alan dalyan alanlarını da etkilemektedir.

Bu çalışmada deltada yer alan Kırdeniz, Homa ve Çilazmak Dalyanları ile Çamaltı Tuzlası kıyı bölgelerindeki yüzey sedimentlerinde ağır metal konsantrasyonlarının ölçülmesi, kirlilik kaynaklarının belirlenmesi, sediment kalitesinin ve kirlilik düzeyinin saptanması amaçlanmıştır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Ağır Metal Analizleri

Gediz Deltası'nda seçilmiş örnekleme noktalarından (Şekil 1) yüzey sediment örnekleri Eylül 2005 tarihinde van Veen grab ile toplanmış ve analize kadar derin dondurucuda saklanmıştır. Laboratuvarında freeze-dryer yöntemiyle kurutulmuş ve elenmiş (63 µm) yaklaşık 0.10-0.20 gr sediment örnekleri, Milestone(1200) kapalı sistem mikrodalga çözünürleştirme sisteminde uygun asit karışımında çözülmüştür (UNEP, 1982; 1985a;b;c;d). Ağır metal ölçümleri Varian SpectraAA 300 Plus Atomik Absorbsiyon Spektrometre'(AAS) de yapılmıştır. Kurşun, bakır, krom, çinko, nikel, mangan, demir ve alüminyum alev tekniği ve kadmiyum grafit fırın, civa ise soğuk buhar tekniği kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. İzmir Körfezi ve örnekleme alanı  
Figure 1. Izmir Bay and the sampling area

Analitik yöntemlerin kontrol edilmesi amacıyla IAEA Monaco Deniz Laboratuvarından sağlanan SD-MEDPOL-1/TM referans maddesi kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar (mg/kg kuru ağırlık olarak): Hg (gerçek değer:0.132±0.014; bulunan değer:0.133±0.00), Pb (gd:39.40±4.80; bulunan değer:37,4±1.44), Cr (gd:74.2±5.80; bd:74.45±0.29), Cu

(gd:48.3±4.3; bd:48.71±0.25), Zn (gd:141±9.0; bd:142±1.44), Mn (gd:357±24; bd:357.5±2.74), Ni (gd:30±2.90; bd:31.14±0.59) şeklindedir.

### Sediment Kirliliğini ve Kalite Kriterlerini Belirleyen Metotlar

**Zenginleşme faktörü (EF):** Sedimentteki metalin antropojenik etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır.

$$EF = (\text{Metal/Alüminyum}) \text{ örnek} / (\text{Metal/ Alüminyum}) \text{ kabuk}$$

Genellikle ağır metal çalışmalarında metallerin kaynaklarını belirlemek için Al ve Fe gibi konservatif elementler kullanılarak jeokimyasal normalizasyon yapılır. Al kabukta; Fe ise kil minerallerinin yapısında bulunan en baskın elementtir. Bu çalışmada zenginleşme faktörünü hesaplarırken normalleştirme elementi olarak Fe kullanılmıştır.  $0.5 \leq EF \leq 1.5$  ise metal (litojenik) kabuksal kaynaklı veya doğal ayrışma sonucu;  $EF > 1.5$  ise metalin antropojenik kaynaklardan geldiği düşünülmektedir (Zhang vd., 2007).

**Sediment kalite belirleme yöntemleri (SQG):** Sucul ekosistemdeki kirlenici konsantrasyonlarının, kabul edilebilir limitlerini belirlemek için kullanılan kalite kriterleridir (MacDonald vd., 2000). SQGs'ler ağır metal, PAH ve PCB gibi birçok toksik madde için geliştirilmiştir. USEPA'nın (United States Environmental Protection Agency) SQG'e göre sediment; "kirli olmayan", "kısmen kirli" ve "aşırı kirli" olarak sınıflandırılır (Long vd., 1995). SQG için TEL (Eşik etki seviyesi) ve PEL (Olası etki seviyesi) değerleri belirlenmiştir. TEL değeri için bu konsantrasyonun altında kötü etkilerinin görünmesinin nadir; PEL değeri için ise bu konsantrasyonun üzerinde kötü etkilerin görünmesinin sıklıkla olacağı kabul edilmektedir (MacDonald vd., 2000).

**Kirlilik faktörü ( $C_f$ ) ve kirlilik derecesi ( $C_d$ ):** Sedimentteki

birikim tanecik yapısına ve fizikokimyasal etkenlere bağlıdır. Sedimentteki metal birikiminin sediment üzerindeki suya ve sucul çevreye olmak üzere iki tür etkisi vardır. Ağır metallerin çevreye olan etkileri sinerjik ve antogenistik olmak üzere iki tiptir. Kirlilik seviyesi "Kirlilik Faktörü ( $C_f$ )" olarak ifade edilmektedir (Muthu ve Jayaprakash 2008). Kirlilik faktörünün hesaplanması için "Ortalama eşik değerleri" (Turekian ve Wedepohl 1961) veya "Ortalama yer kabuk değerleri" (Taylor, 1972) kullanılır.

Kirlilik faktörü ( $C_f$ )=Sedimentteki metal konsantrasyonu / Metalin ortalama eşik değeri olarak hesap edilir. Kirlilik faktörü 4 grupta sınıflandırılır (Hakanson, 1980):  $C_f < 1$ : düşük;  $1 \leq C_f < 3$ : orta;  $3 \leq C_f < 6$ : önemli ve  $C_f \geq 6$ : çok yüksek kirlilik faktörü.

"Kirlilik Derecesi ( $C_d$ )" belirli bir basenin tüm kirlilik faktörlerinin toplamıdır. Bu çalışmada, Sedimentteki Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Mn, Ni, Zn, Fe ve Al için  $C_f$  hesap edildiğinde, kirlilik derecesi aşağıda ki gibi 4 grupta değerlendirilir:  $C_d < 10$ : düşük;  $10 \leq C_d < 20$ : orta;  $20 \leq C_d < 40$ : önemli ve  $C_d \geq 40$ : çok yüksek dereceli kirlilik (Hakanson, 1980).

## BULGULAR

### Ağır Metal Konsantrasyonlarının Dağılımı

Gediz Deltası dalyan alanları sedimentlerinde saptanan ağır metal konsantrasyonları Tablo 1 ve Şekil 2'de verilmiştir. Saptanan metal konsantrasyonları Akdeniz değerleri ile karşılaştırıldığında, Hg, Pb, Cr, Cu ve Zn konsantrasyonları bazı istasyonlar dışında genel olarak yüksek iken, Cd değerleri ise Akdeniz için bilinen seviyeler arasında saptanmıştır. Turekian ve Wedepohl'a (1961) göre, tüm istasyonlardaki Mn ve Ni seviyeleri ile bazı istasyonlardaki Hg, Pb, Cr, Zn ve Fe konsantrasyonları yüksek olarak saptanmıştır. Bunun yanında, Cd, Cu ve Al konsantrasyonları temel değerlerinden düşüktür (Tablo 1).

**Tablo 1.** Gediz Deltası dalyan alanları sedimentlerindeki ağır metal konsantrasyonları ile SOQ, Akdeniz ve temel değerleri (mg/kg, kuru ağırlık)

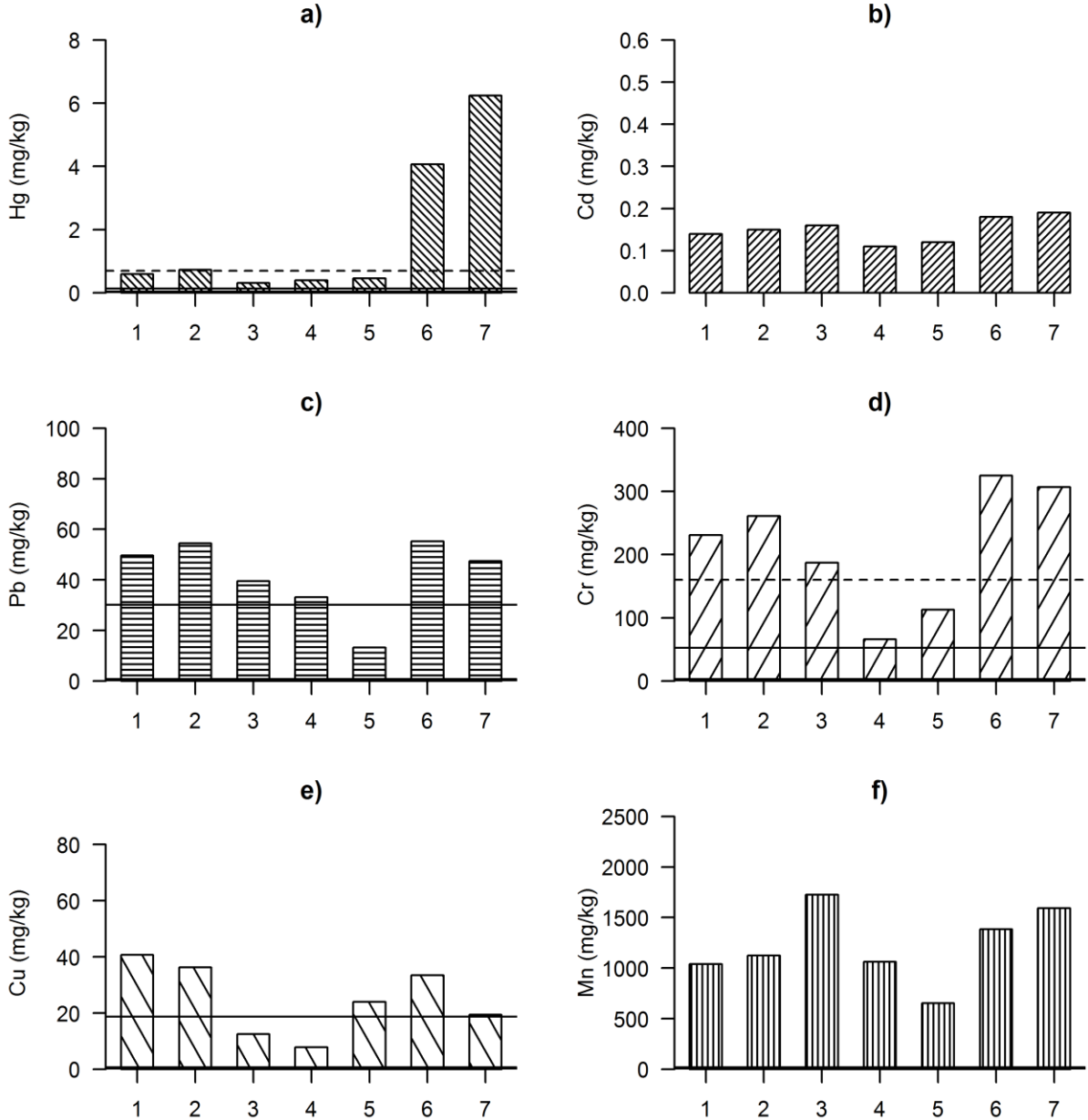
**Table 1.** Metal concentrations at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta, Mediterranean, temel and sediment quality guideline (SQG) values for heavy metals (mg/kg, dry weight)

Stations	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Fe	Al
1	0.59	0.14	49.7	231	40.7	1040	343	140	61347	59087
2	0.73	0.15	54.5	261	36.3	1126	279	141	52973	53995
3	0.31	0.16	39.5	187	12.5	1726	184	85	42013	35535
4	0.39	0.11	33.1	66	7.8	1063	141	35	20530	34018
5	0.46	0.12	13.2	113	24.0	653	115	80	28018	45996
6	4.07	0.18	55.2	325	33.5	1385	294	140	67816	50473
7	6.24	0.19	47.5	307	19.4	1594	242	89	51253	50929
kirli değil	-	-	<40	<25	<25	-	<20	<90	-	-
SQG kısmen kirli	-	-	40-60	25-75	25-50	-	20-50	90-200	-	-
aşırı kirli	-	>6	>60	>75	>50	-	>50	>200	-	-
Akdeniz <sup>a</sup>	0.34	0.10-2.3	25	15	15	-	-	50	-	-
Temel değerleri <sup>b</sup>	0.40	0.30	20	90	45	850	68	95	47000	84000

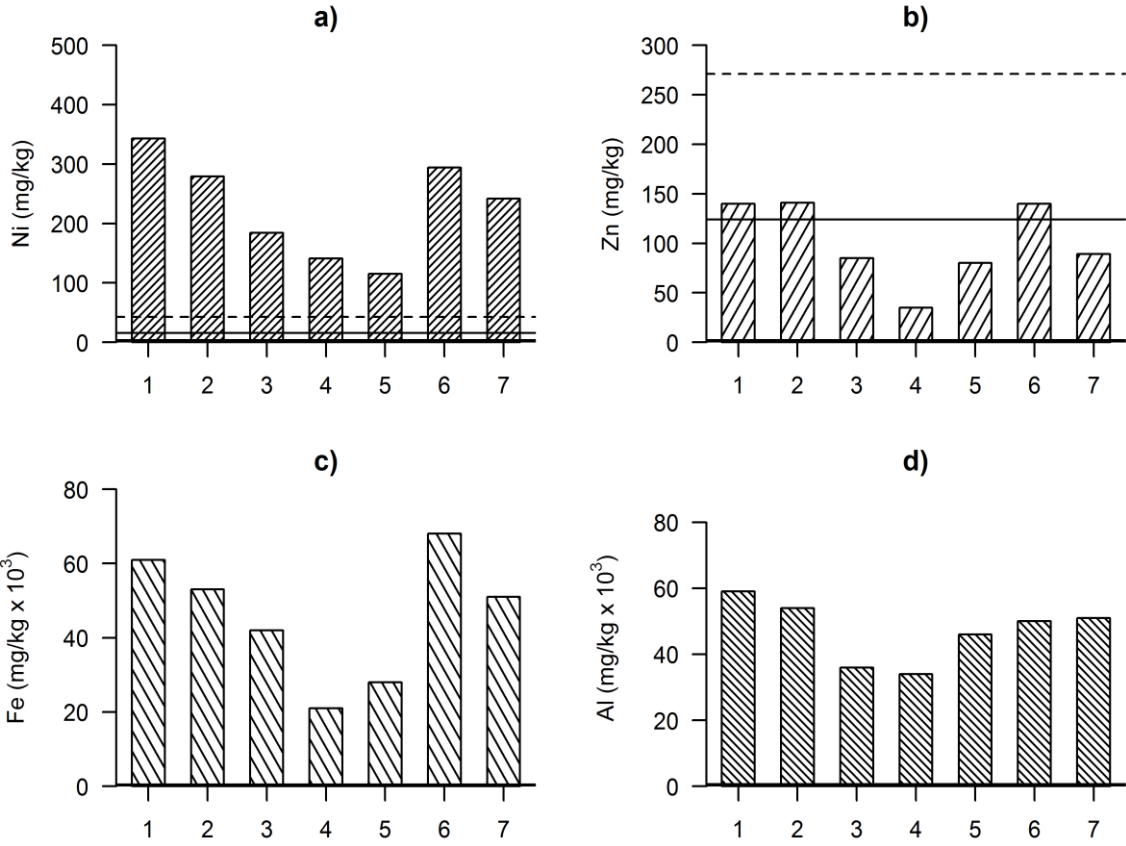
a UNEP (1978), Whitehead vd., (1985) ve MAP (1987) b Turekian ve Wedepohl (1961)

Bulunan sonuçlara göre en yüksek Hg ve Cd konsantrasyonları 7 numaralı istasyonda (Çilazmak Dalyanı) saptanırken, en yüksek Pb, Cr ve Fe seviyeleri istasyon 6'da (Çamaltı Tuzlası) ölçülmüştür. Maksimum Cu, Ni ve Al değerleri ise 1 numaralı istasyonda (Kırdeniz bölgesinde) bulunmuştur.

Minimum Cd, Cr, Cu, Zn, Fe ve Al konsantrasyonları 4 nolu istasyonda saptanırken, Pb, Mn ve Ni değerlerinin en düşük seviyeleri istasyon 5'de (Homa Dalyanı) ölçülmüştür (Tablo 1 ve Şekil 2-3)



**Şekil 2.** Gediz Deltası dalyan alanları sedimenterindeki Hg (a), Cd (b), Pb (c), Cr (d), Cu (e) ve Mn (f) konsantrasyonları ile TEL (—) ve PEL (----) seviyelerini (mg/kg, kuru ağırlık)  
**Figure 2.** Hg (a), Cd (b), Pb (c), Cr (d), Cu (e) and Mn (f) concentrations at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta and TEL (—), PEL (----) values (mg/kg, dry weight)



**Şekil 3.** Gediz Deltası dalyan alanları sedimentlerindeki Ni (a), Zn (b), Fe (c) ve Al (d) konsantrasyonları ile TEL (—) ve PEL (---) seviyereleri (mg/kg, kuru ağırlık)

**Figure 3.** Ni (a), Zn (b), Fe (c) and Al (d) concentrations at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta and TEL (—), PEL (---) values (mg/kg, dry weight)

### Ağır Metallerin Zenginleşme Faktörleri

Her metal için hesaplanan zenginleşme faktörü (EF) değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, tüm istasyonlardaki Cr ve Ni, zenginleşmesi ile bazı istasyonlar dışındaki Hg ve Pb zenginleşmesi genel olarak  $EF > 1.5$  olarak saptandığı için bu metallerin kirliliklerinin, antropojenik kaynaklı olduğunu göstermiştir. Bunun yanında, antropojenik Mn kirliliği ise 3, 4 ve 7 numaralı istasyonlarda bulunmuştur. Ölçülen tüm Cd ve Zn değerleri için  $EF < 1.5$  olması nedeniyle örnekleme alanında zenginleşmenin olmadığı görülmüştür (Tablo 2).

### Ağır Metaller Açısından Sediment Kalitesi

Gediz Deltası yüzey sedimentlerinde saptanan ağır metal konsantrasyonları, USEPA'nın (Long vd., 1995) Sediment Kalite Kriterlerine (SQGs) göre değerlendirilmiştir (Tablo 1 ve Şekil 2-3). Tüm örnekleme istasyonlarında ölçülen Ni konsantrasyonları PEL değerinden yüksektir. Sadece 4 ve 5 numaralı istasyonlardaki Cr seviyeleri TEL-PEL aralığında iken,

diğer istasyonlardaki konsantrasyonlar PEL değerini de aşmaktadır. Hg seviyeleri, 6 ve 7 numaralı istasyonda PEL değerini aşarken; diğer istasyonlarda TEL değerinin üstünde saptanmıştır. Pb konsantrasyonlarına göre sadece 5 numaralı istasyon dışında, tüm istasyonlardaki seviyeler TEL değerini aşmıştır. Genel olarak 1,2 ve 6 numaralı istasyonlarda saptanan Cu ve Zn seviyeleri TEL değerinin üstündedir. Bunun yanında, tüm örnekleme bölgesindeki Cd konsantrasyonları TEL değerinin de altında saptanmıştır (Şekil 2-3).

Tüm bu sonuçlar göstermektedir ki, Ni kirliliği tüm istasyonlarda SQG göre "aşırı kirlili" olarak değerlendirilebilir. Bunu yanında, Cr için 4 numaralı istasyon "kısmen kirlili" iken diğer tüm istasyonlar "aşırı kirlili" olarak sınıflandırılmıştır. Pb bakımından; 1, 2, 6 ve 7 numaralı istasyonlar, Zn için 1,2, 6 numaralı istasyonlar "kısmen kirlili" sınıfındadır. Pb, Cu ve Zn bakımından 3,4 ve 5 numaralı istasyonlar kirlili değildir. Bunun yanında Cd bakımından ise tüm istasyonlarda kirlilik saptanmamıştır (Tablo 1).

**Tablo 2.** Gediz Deltası dalyan alanları sedimentlerinde kirlilik faktörü (C<sub>f</sub>) ve kirlilik derecesi (C<sub>d</sub>)**Table 2.** Contamination factor (C<sub>f</sub>) and contamination degree (C<sub>d</sub>) at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta

	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn
1	1.12	0.36	1.90	1.96	0.69	0.94	3.87	1.13
2	1.61	0.43	2.42	2.57	0.72	1.18	3.63	1.31
3	0.88	0.60	2.21	2.33	0.31	2.27	3.02	1.00
4	2.24	0.82	3.79	1.68	0.40	2.86	4.76	0.84
5	1.93	0.67	1.11	2.10	0.89	1.29	2.84	1.42
6	7.06	0.42	1.91	2.50	0.52	1.13	3.00	1.02
7	14.3	0.58	2.18	3.12	0.40	1.72	3.26	0.85

**Metalle Kirlilik Faktörü (C<sub>f</sub>) Ve Kirlilik Derecesi (C<sub>d</sub>)**

Bölgede saptanan kirlilik faktörleri (C<sub>f</sub>) ve kirlilik dereceleri (C<sub>d</sub>) Tablo 3'de verilmiştir. Tüm örnekleme istasyonları için metal düzeylerindeki sıralama Ni>Cr>Pb>Mn>Zn şeklinde saptanmıştır. Özellikle Hg'nin kirlilik faktörü Çamaltı Tuzlası ve Çilazmak bölgesinde (istasyon 6 ve 7) çok yüksek bulunmuştur.

Bunlara bağlı olarak saptanan en yüksek kirlilik dereceleri (C<sub>d</sub>) genel olarak Çamaltı Tuzlası, Çilazmak ve Kırdeniz bölgelerinde (7,6, 1 ve 2 numaralı istasyonlar) tespit edilmiştir. Kırdeniz bölgesi orta dereceli kirlilik olarak sınıflandırılırken; Çamaltı Tuzlası ve Çilazmak bölgelerinin yüksek kirlilik düzeyinde olduğu bulunmuştur.

**Tablo 3.** Gediz Deltası dalyan alanları sedimentlerinde kirlilik faktörü (C<sub>f</sub>) ve kirlilik derecesi (C<sub>d</sub>)**Table 3.** Contamination factor (C<sub>f</sub>) and contamination degree (C<sub>d</sub>) at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta

	C <sub>f</sub>									C <sub>d</sub>
	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Fe	
1	1.46	0.47	2.49	2.56	0.90	1.22	5.05	1.48	1.3	16.9
2	1.82	0.48	2.72	2.90	0.81	1.32	4.10	1.48	1.1	16.8
3	0.79	0.54	1.98	2.08	0.28	2.03	2.70	0.90	0.9	12.2
4	0.98	0.36	1.66	0.74	0.17	1.25	2.08	0.37	0.44	8.04
5	1.15	0.40	0.66	1.25	0.53	0.77	1.69	0.85	0.60	7.90
6	10.2	0.60	2.76	3.61	0.74	1.63	4.33	1.47	1.4	26.8
7	15.6	0.64	2.38	3.41	0.43	1.88	3.55	0.93	1.1	29.9

## TARTIŞMA

Bu çalışmada saptanan ağır metal değerleri, Türkiye kıyılarında bulunan diğer lagünler ve İzmir Körfezi sedimentlerindeki ağır metal seviyeleri Tablo 4'de karşılaştırılmıştır. Gediz Deltası'nda saptanan Hg, Pb, Mn ve Ni konsantrasyonları, diğer çalışmalarda bulunan metal seviyelerinden daha yüksektir. Cd değerlerine bakıldığında; çalışma bölgesi sedimentlerindeki metal seviyeleri, İzmir körfezi ve Homa Dalyanı'nda yapılan araştırma sonuçlarına

benzerdir. Bu çalışmada bulunan Cd değerleri, Parlak ve arkadaşlarının (2006) deltada saptadığı konsantrasyonlardan daha düşüktür. Bulunan Cr konsantrasyonları, İzmir körfezi ve Homa Dalyanı'nda saptanan seviyelerden yüksek olmasına karşılık, Küçükçekmece ve daha önce bulunan Gediz Deltası Cr seviyelerinden daha düşüktür. Delta sedimentlerinin Cu ve Zn içerikleri, genel olarak İzmir Körfezi, Akyatan Lagünü, önceki Gediz Deltası (Parlak vd., 2006) ve Homa Dalyanı (Uluturhan vd., 2011) metal konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur (Tablo 4).

**Tablo 4.** Gediz Deltası dalyan alanları ve Türkiye'nin farklı kıyı bölgelerindeki sedimentlerde saptanan metal konsantrasyonları (mg/kg, kuru ağırlık)  
**Table 4.** Heavy metal concentrations at surface sediments from lagoon areas of Gediz Delta and different coastal areas of Turkey (mg/kg, dry weight)

Lagünler	Hg	Cd	Pb	Cr	Cu	Mn	Ni	Zn	Reference
Akyatan Lagünü	-	nd	19.5-33.6	-	15.4-31.3	-	80-129	54-102	Davutluoğlu vd., 2010
Küçükçekmece	-	nd	0.22-28	12-1226	1.46-75	69-959	8.6-197	32-391	Altun vd., 2009
İzmir Körfezi Gediz ağızı	0.14	0.12	16.5	184	32.4	686	115	112	Gülşen 2014
İzmir Körfezi arıtma önü	0.20	0.16	8.3	158	31.9	636	107	118	Gülşen 2014
İzmir Körfezi (Dış bölüm)	0.22-0.91	0.03-0.11	5.4-26	54-186	6.5-35	297-784	19-129	28-122	Küçüksezgin vd., 2011
İzmir Körfezi (Orta bölüm)	0.20-0.51	0.05-0.16	16-36	155-158	32-36	527-603	116-121	107-117	Küçüksezgin vd., 2011
Gediz Deltası	-	0.01-0.44	1.83-37.5	5.87-489	0.39-30.9	-	8.68-57.4	-	Parlak vd., 2006
Homa Dalyanı	-	0.001-1.16	5.27-19	19-90	4.03-51	-	-	13-96	Taş vd., 2009
Homa Dalyanı	0.22-0.48	0.06-0.19	2.43-17	84-129	10-26	410-729	58-108	46-92	Uluturhan vd., 2011
<b>Bu çalışma</b>	<b>0.31-6.24</b>	<b>0.11-0.19</b>	<b>13.2-54.5</b>	<b>66-325</b>	<b>7.8-40.7</b>	<b>653-1726</b>	<b>115-343</b>	<b>80-141</b>	

Elde edilen sonuçlara göre, genel olarak en yüksek metal konsantrasyonları Kırdenez bölgesi ile Çamlı Tuzlası ve Çilazmak Dalyanı'nda saptanmıştır. Zenginleşme faktörüne göre, özellikle Çilazmak Dalyanı ve Çamlı Tuzlası bölgelerinde Hg ve tüm bölge için Pb, Cr, Ni kirliliklerinin antropojenik kaynaklı olduğu bulunmuştur. Sediment kalite kriterlerine göre ise tüm bölgede Ni seviyeleri PEL değerini aşarken, Pb ve Cr seviyeleri TEL sınırının üstünde olduğu görülmüştür. SOQ kriterlerine göre tüm istasyonlar Ni ve Cr açısından "aşırı kirlili"; Pb için ise "kısmen kirlili" olarak sınıflandırılmıştır. Kırdenez, Çilazmak Dalyanları ve Çamlı Tuzlası istasyonlarında en yüksek kirlilik dereceleri tespit edilmiştir.

Tüm bu sonuçlara bakıldığında; Gediz Deltası'nda saptanan Cu birikiminin yoğun tarımsal aktivitelere bağlı olarak Gediz Nehri ile taşınan pestisit kaynaklı olduğu belirtilmektedir (Taş vd., 2009). Bunun yanında Gediz Nehri'nde yüksek olarak ölçülen Cr konsantrasyonlarının, deri ve tekstil sanayinde, özellikle deri tabaklanmasındaki yoğun Cr kullanımına bağlı olduğu ifade edilmektedir (Küçüksezgin vd., 2008; Taş vd., 2009). Havzada yer alan çok sayıda deri işletmesinin

bulunması ve bunların atık sularının arıtılmadan denize boşaltılmasına bağlı olarak bölgede yüksek seviyelerde ağır metal konsantrasyonlarının görüldüğü de belirtilmiştir (Taş vd., 2009; Yavaş, 2001).

İzmir Körfezi, 1960'lı yıllardan itibaren şehir nüfusunun hızla çoğalması ve endüstriyel kuruluşların sayısındaki artışlar sonucu, evsel ve endüstriyel atık suların doğrudan körfeze bırakılması nedeniyle giderek kirlenmiştir. 2000 yılında devreye giren Çiğli Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi ile körfezdeki evsel kirlilik kontrol altına alınmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen dalyan alanları Gediz Deltası'nda yer almasının yanı sıra özellikle Çamlı Tuzlası ile Çilazmak Dalyanı Çiğli Atık Su Arıtma Tesisi'nin çok yakınında yer alıp eski Gediz Nehri'nin döküldüğü alandır. Ayrıca Gediz Nehri, üç büyük şehrin evsel, endüstriyel ve tarımsal kirliliğinin etkisi altında olup bu kirlilik yükünü İzmir Körfezi'ne taşımaktadır. Bu bakımdan sediment kirliliğini ve kalite kriterlerini belirleyen metotlara göre, İzmir Körfezi'nin orta kesiminde yer alan deltanın sedimentlerinde saptanan Hg, Pb Ni, ve Cr kirliliği, İzmir Körfezi'nden ve Gediz Nehri'nin taşıdığı evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklı olduğu belirtilmiştir (Atılğan ve Egemen,

2001; Parlak vd., 2006; Küçüksezgin vd., 2008; Küçüksezgin vd., 2011; Uluturhan vd., 2011). Ayrıca Gediz havzasında Turgutlu ve Gördes bölgelerinde aktif olarak çalışan Ni-Co madenleri yer almaktadır. Bu bağlamda bu madencilik faaliyetlerinin, Gediz Nehri'nin, deltasında yer alan dalyanların ve ayrıca Türkiye'nin tuz üretiminde önemli katkısı olan Çamaltı Tuzlası bölgesi sedimentlerinde saptanan ağır metal kirliliğine katkısı olduğu düşünülmektedir.

## SONUÇ

Sediment, kirleticilerin birikim yeridir ve sucul ekosistemdeki kirliliğinin araştırılmasında son derece önemlidir. Türkiye'nin önemli Ramsar alanlarından olan, zengin flora ve faunaya uygun yaşam ortamı sağlayan sulak alanları; balıkçılık

## KAYNAKLAR

- Altun, Ö., Saçan, M., Türker, E., Kimiran, A., 2009. Water quality and heavy metal monitoring in water and sediment samples of the Küçükçekmece Lagoon, Turkey (2002–2003). *Environmental Monitoring and Assessment*, 151: 345–362. doi: [10.1007/s10661-008-0276-8](https://doi.org/10.1007/s10661-008-0276-8)
- Atılğan, I., Egemen, Ö., 2001. Güllük ve Homa lagünü sedimentlerinde karbon yanabilen madde ve bazı ağır metal (Cu, Zn) düzeylerinin karşılaştırmalı olarak araştırılması. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18 (1–2): 225–232.
- Çağırankaya, S.S., Meriç, B.T., 2013. Türkiye'nin Önemli Sulak Alanları: Ramsar Alanlarımız. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Hassas Alanlar Dairesi Başkanlığı, Ankara, Türkiye, 97-107.
- Davutluoğlu, O. I., Seckin, G., Kalat, D.G., Yılmaz, T., Ersu, C.B., 2010. Speciation and implications of heavy metal content in surface sediments of Akyatan Lagoon-Turkey. *Desalination*, 260: 199-210. doi: [10.1016/j.desal.2010.04.031](https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.04.031)
- Gülşen, F.D., 2014. Historical trends of heavy metals in sediment from Izmir Bay. Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Master thesis.
- Hakanson, L., 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control—a sedimentological approach. *Water Research*, 14: 975–1001. doi: [10.1016/0043-1354\(80\)90143-8](https://doi.org/10.1016/0043-1354(80)90143-8).
- Kucuksezgin, F., Uluturhan, E., Batki, H., 2008. Distribution of heavy metals in water, particulate matter and sediments of Gediz River (Eastern Aegean). *Environmental Monitoring and Assessment*, 141: 213–225. doi: [10.1007/s10661-007-9889-6](https://doi.org/10.1007/s10661-007-9889-6)
- Kucuksezgin F., Kontas, A., Uluturhan, E., 2011. Evaluations of heavy metal pollution in sediment and *Mullus barbatus* from the Izmir Bay (Eastern Aegean) during 1997–2009. *Marine Pollution Bulletin*, 62(7): 1562-1571. doi: [10.1016/j.marpolbul.2011.05.012](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.012)
- Long, E.R., MacDonald, D.D., Smith, S.L., Calder, F.D., 1995. Incidence of adverse biological effects within ranges of chemical concentrations in marine and estuarine sediments. *Environmental Management*, 19: 81–97. doi: [10.1007/BF02472006](https://doi.org/10.1007/BF02472006)
- MacDonald, D.D., Ingersoll, C.G., Berger, T.A., 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives Of Environmental Contamination And Toxicology*, 39: 20–31. doi: [10.1007/s002440010075](https://doi.org/10.1007/s002440010075)

ve avcılık ile yöre ekonomisine katkıda bulunan dalyanları ve tuz üretiminde önemli yeri olan Çamaltı Tuzlasını da içine alan Gediz Deltası sedimentlerinde yapılan bu çalışmada yüksek metal konsantrasyonları saptanmıştır. Çalışma bölgesinde ölçülen tüm Ni seviyeleri PEL değerinin; Pb ve Cr seviyeleri ise TEL sınırının üstünde bulunmuştur. SOQ kriterlerine göre delta, Ni ve Cr açısından “ağır kirli”; Pb bakımından ise “orta kirli” olduğu saptanmıştır.

Bütün bunlar göz önüne alınarak, ekolojik ve ekonomik değere sahip sucul ekosistemlerin sağlığı ve sürdürülebilirliği için sedimentlerdeki ağır metal kirliliğinin boyutları araştırılmalı, izlenmeli ve besin zinciri yolu ile insana kadar ulaşabilecek etkileri konusunda da bilgi sahibi olunmalıdır.

- MAP (Mediterranean Action Plan), 1987. Assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by mercury and mercury compounds. *Tech. Rep. Series 18*, UNEP, Athens.
- Muthu, S.R., Jayaprakash, M., 2008. Distribution and enrichment of trace metals in marine sediments of Bay of Bengal, off Ennore, South-east coast of India. *Environmental Geology*, 5(1): 207–217. doi: [10.1007/s00254-007-1156-1](https://doi.org/10.1007/s00254-007-1156-1)
- Parlak, H., Çakır, A., Boyacıoğlu, M., Çakal Arslan, Ö., 2006. Heavy metal deposition in sediments from the delta of the Gediz River (Western Turkey): a preliminary study. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23 (3–4): 445–448.
- Salomons, W., Fostner, V., 1984. Metals in the Hydrocycle, pp 63-93.
- Taş, E.Ç., Ergen, Z., Sunlu, U., 2009. 2002-2004 yılları arasında Homa Lagünü'nde (İzmir Körfezi) toplanan *Hediste diversicolor*'da ve yaşadığı sedimentte ağır metal düzeylerinin (Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe) araştırılması. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 3: 179-185.
- Taylor, S.R., 1972. Abundance of chemical elements in the continental crust; a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 28: 1273. doi: [10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *Geological Society of American Bulletin*, 72, 175-192. doi: [10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2)
- Uluturhan, E., Kontas, A., Can, E., 2011. Sediment concentrations of heavy metals in the Homa Lagoon (Eastern Aegean): Assessment of contamination and ecological risks. *Marine Pollution Bulletin*, 62(9): 1989–1997. doi: [10.1016/j.marpolbul.2011.06.019](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.06.019)
- UNEP., 1978 Preliminary report on the state of pollution of the Mediterranean Sea. In governmental review Meeting of Mediterranean Coastal States on the Mediterranean Action Plan. UNEP/IG.11/INF 4.
- UNEP. (1982). Reference Methods for Marine Pollution Studies. No:14.
- UNEP Determination of total Hg in marine sediments and suspended solids by cold vapour AAS. Reference Methods for Marine Pollution Studies 26. 1985a.
- UNEP Determination of total cadmium in marine sediments by flameless AAS. Reference Methods for Marine Pollution Studies 27. 1985b.
- UNEP Determination of total chromium in marine sediments by flameless AAS. Reference Methods for Marine Pollution Studies 31. 1985c.



- UNEP Determination of total lead in marine sediments by flameless AAS. Reference Methods for Marine Pollut. Studies 34. 1985d.
- Whitehead, N.E., Oregioni, B., Fukai, R., 1985. Temel levels of trace metals in Mediterranean sediments. In: VII Journées Etud. Pollutions, CIESM, 233–240.
- Yavaş, Ö., 2001. The contamination effects of the activities of Gediz Basin to the Gediz River. Dokuz Eylul university, the Graduate School of Natural and Applied Sciences, Marine Science and Technology, Masters thesis, İzmir.
- Zhang, L., Ye, X., Feng, H., Jing, Y., Ouyang, T., Yu, X., 2007. Heavy metal contamination in western Xiamen Bay sediments and its vicinity, China. *Marine Pollution Bulletin* 54: 974–982. doi:[10.1016/j.marpolbul.2007.02.010](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.010).