



Diopatra neapolitana (Delle Chiaje, 1841)'da ve Yaşadığı Sedimentte Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe Düzeylerinin Araştırılması

Elif Çağrı Taş*, Zeki Ergen, Uğur Sunlu

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, 35040 Bornova/İzmir, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

ÖZ

Araştırma Makalesi

Geliş 24 Temmuz 2018
Kabul 01 Ağustos 2018

Anahtar Kelimeler:

Ağır metal
Poliket
Diopatra neapolitana
Sediment kalitesi
İzmir körfezi

*Sorumlu Yazar:

E-mail: e.cagritas@gmail.com

Bu çalışma, İzmir Körfezi'nin orta bölgesinde, poliketlerden *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) ile bunların yaşadığı sedimentteki bazı ağır metallerin (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr ve Fe) konsantrasyonlarını belirlemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Sonbahar 2002-Yaz 2004 arasındaki 2 yıllık dönemde, *D. neapolitana*'daki metal konsantrasyonlarının zaman içinde değişkenlik gösterdiği saptanmıştır. *D. neapolitana*'da birikim gösteren metal konsantrasyonları arasındaki sıralama Cd<Cr<Cu<Pb<Zn<Fe şeklinde belirlenmiştir. Sedimentte tespit edilen Cr miktarı, Amerika Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA, 1999) tarafından önerilen Düşük Etki Seviyesi (ERL) ve Avusturalya ve Yeni Zellanda Çevre Koruma Meclisi (ANZECC, 2000) tarafından belirtilen Sediment Etki Seviyesi (STV)'nin üstünde bulunan tek metaldir ve bölgede yoğun bir endüstriyel aktivite olduğunu göstermektedir. Sediment örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyonları arasındaki sıralama Cd<Pb<Cu<Cr<Zn<Fe şeklindedir. *D. neapolitana* bireyleri ile sedimentteki Cd ve Cu konsantrasyonları arasında istatistiki açıdan önemli ancak zayıf bir korelasyon saptanmıştır.

Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, 6(10): 1493-1500, 2018

An Investigation on Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe Levels in *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) and Sediments That Inhabit

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Research Article

Received 24 July 2018
Accepted 01 August 2018

Keywords:

Heavy metals
Polychaete
Diopatra neapolitana
Sediment quality
Izmir bay

*Corresponding Author:

E-mail: e.cagritas@gmail.com

This study was carried out to determine the concentrations of some heavy metals (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr and Fe) in *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) and sediments in the middle region of İzmir Bay. In the two-year period between autumn 2002 and summer 2004, it has been determined that metal concentrations in *D. neapolitana* vary over time. The order of accumulation of metal concentrates in *D. neapolitana* was determined as Cd <Cr <Cu <Pb <Zn <Fe. The amount of Cr detected in the sediment is the only metal above the Effect Range Low (ERL) recommended in National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 1999) and the Sediment Trigger Level (STV) specified in The Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (ANZECC,2000). These indicate an intense industrial activity in the region. The order of the metal concentrations detected in the sediment samples was Cd <Pb <Cu <Cr <Zn <Fe. There was a statistically significant but weak correlation between concentrations of Cd and Cu in sediment and *D. neapolitana*.

Giriş

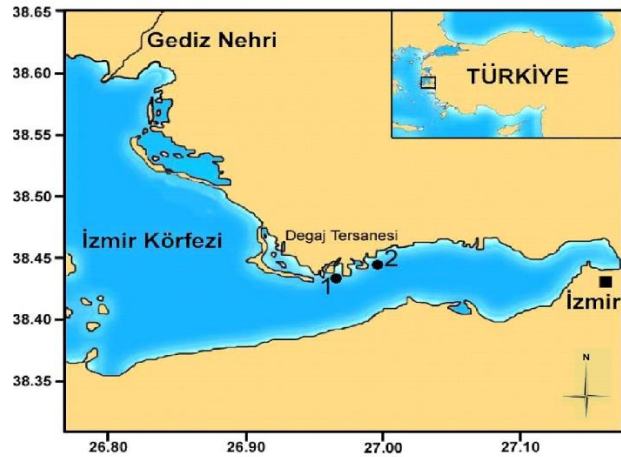
Endüstriyel aktivitelerin hızlı gelişmesi sonucunda, sahillerde özellikle zayıf akıntıların görüldüğü körfez sularında, ağır metal kirliliği yönünden önemli artışlar görülmektedir (Akkan, 2013). Önemli kirletici parametrelerden olan ağır metaller, canlıların yaşam aktiviteleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptirler. Bir organizmanın biyomonitör olarak değerlendirilmesinde en önemli kriterlerden birisini yaşadıkları ortam ile bünyelerindeki kirletici düzeyleri arasındaki ilişkiler oluşturur ve değişik omurgasız türleri, farklı ağır metal birikim modelleri sergiler (Rainbow, 1997). Uzun süreler boyunca sediment ile yakın temas halinde olmaları ve beslenme aktiviteleri nedeniyle bentik makroinvertebrata türleri büyük miktarlarda çevresel kontaminasyon biriktirebilir ve kıyı bölgelerinde metal kirliliğinin biyoundikatörleri olarak kullanılabilirler (Freitas, 2012). *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) ekosistemlerin yapısında ve işleyişinde anahtar rol oynamaktadır ve iyi biyoundikatörler olarak kabul edilmektedir (Dean, 2008). Biyotanın üzerinde ya da içinde yaşadığı sediment ise sucul ortama çeşitli yollarla gelen kirleticilerin çökelediği ve organizmaların atıkları içinde mevcut olan ağır metallerin depo edildikleri yerdir. Bu nedenle ağır metallerle ilgili yapılacak olan çevresel araştırmalarda biyotanın yanı sıra sedimentteki değişikliklerin incelenmesi de önem taşımaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı, İzmir Körfezi'nin orta körfez bölümünde, 0.50-1 m derinlikte çamurlu kum özelliğinde dip yapısına sahip bu bölgede denizel çiçekli bitkilerden (Phanerogamae) *Cymodocea nodosa* fasiyesi hâkim durumdadır. Bu çalışmanın amacı, ağır metal birikimi yönünden ülkemizde çalışılmamış bir poliket türü olan *Diopatra neapolitana* (Delle Chiaje, 1841) ile bunların yaşadığı sedimentteki Cd, Cu, Pb, Cr, Zn ve Fe düzeylerini belirlemektir.

Materyal ve Metot

İzmir Körfezi'nin orta bölümünde belirlenen 1 ve 2 numaralı istasyonlardan (Şekil 1) Sonbahar 2002-Yaz 2004 periyodunda *Diopatra neapolitana* ve sediment örnekleri mevsimsel olarak alınmıştır. Kürek yardımıyla istasyonlardan (S1 ve S2) alınan sediment örnekleri polietilen torbalar içinde laboratuvara taşınmıştır. Sediment örnekleri 60°C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulularak toz haline getirilmiştir. Alınan 1 g (<160 µ) sediment örnekleri 10 ml. HCl : HNO₃ (3:1) (Merck) oranında ilave edilerek geri soğutucu altında 60°C sıcaklıkta 12 saat süreyle renklenme bitinceye kadar bekletilmiştir. Organik parçalanması biten örnekler, filtre kâğıdı ile süzülüp, bidestile su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve polietilen şişelere alınarak ölçüme hazır hale getirilmiştir (Arnoux ve ark. 1981). Sediment örneklerinin alındığı aynı istasyonlardan *D. neapolitana* (D1 ve D2) bireyleri kürek yardımıyla ve elle toplanmıştır. Toplanan poliket türleri, ıslak deniz yosunları arasında veya doğal yaşam alanından alınan sediment içinde, polietilen kutular içerisine konularak etiketlenmiş ve laboratuvara getirilmiştir. Canlı bireyler, 24 saatliğine örnekleme bölgelerinden alınan temiz, havalandırılmış deniz suyu içine yerleştirilmiş ve bağırsak içeriklerinin boşaltılması

sağlanmıştır. Çünkü organizmada, sedimentin varlığının, ağırlık ve metal içeriğinin olduğundan fazla tespit edilmesinden sorumlu olduğu bilinmektedir (Parker ve ark., 1980; Volphi Ghirardini ve ark., 1999; Berthet ve ark., 2003; Türkmen ve ark., 2009). Bu süre sonunda hasar görmüş bireyler ayrılmıştır. Çalışmada benzer büyüklükteki bireyleri kullanmak amacıyla bireylerin boyları ölçülmüş, segment sayıları tespit edilmiştir. Örnekteki her bir birey kurutma kağıdında kurutulduktan sonra yaş ağırlıkları hassas terazi kullanılarak belirlenmiştir. Bu örneklerden 5 g homojen hale getirilerek polietilen torbalar içinde, etiketlenerek kimyasal analiz aşamasına kadar -21°C' de saklanmıştır. Bu organizmalar 250 ml'lik şifli balonlara konulmuş, HNO₃: HClO₄ (Merck) ile (5:1) oranında asitlendirilmiş ve ağızları sıkı biçimde parafilmle kapatılarak bir gün boyunca bekletilmiştir (Bernhard, 1976). Örneklere, 24-36 saat süreyle geri soğutucular altında, ayarlanabilir ısıtıcı ocaklarda, 60°C'de, renklenme bitinceye kadar demineralizasyon işlemi uygulanmıştır. Organik parçalanması biten örnekler Whatman 40 filtre kağıdından süzülüp, hacmi, bidestile su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve polietilen şişelere alınarak, etiketlenmiştir. Her istasyondan alınan *Diopatra neapolitana* ve sediment örneklerinin parçalama işlemleri için 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Tüm örneklerin ölçümleri ICP-OES (Perkin Elmer 2000 DV) ile yapılmıştır.

Yüzey sularının sıcaklığı 0,1°C duyarlı termometre ile, çözülmüş oksijen miktarı ise Winkler yöntemi ile in situ olarak belirlenmiştir. Tuzluluk (%S) Mohr- Knudsen yöntemi ile, PH değerleri Orion Model 420A pHmetre yardımıyla ölçülmüştür.



Şekil 1 İzmir Körfezindeki araştırma istasyonları
Figure 1 Location of sampling sites of Izmir Bay

Diopatra neapolitana'da birikim gösteren ağır metal düzeyleri ile bunların yaşadığı sedimentlerde tespit edilen ağır metal değerlerinin normal dağılışa uygunluğu Chi-Square testi ile test edilmiştir. Gerekli olduğunda logaritmik transformasyon uygulanmıştır. İstasyonlar ve mevsimler arası varyansların homojenliği Levene İstatistik Testi ile analiz edilmiştir. Homojen bulunan grupların önemlilik testi tek yönlü varyans analizini (ANOVA) izleyen Tukey-HSD testi ile değerlendirilerek, organizmalarda ve sedimentte ölçülen ağır metal

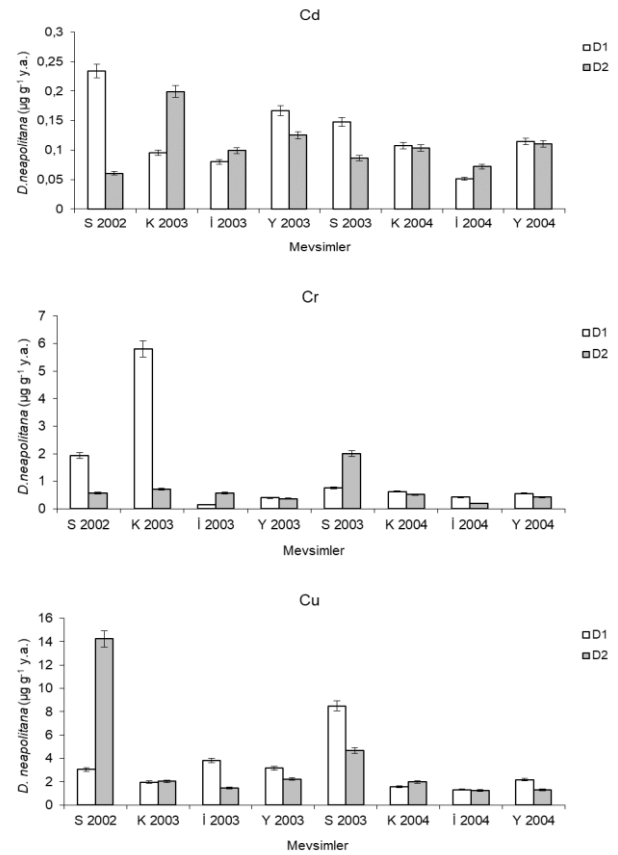
düzeyleriyle ilgili parametrelerin istasyonlara göre farklılıkları saptanmıştır. Bütün istatistiksel analizler Zar (1999)'a göre yapılmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı farklılık bulunanlar $P \leq 0,005$ olarak ifade edilmiştir.

Bulgular ve Tartışma

Denizel organizmaların metal konsantrasyonları değişkenliği çevresel faktörlere (deniz suyundaki çözülmüş metal konsantrasyonları, sıcaklık, tuzluluk, çözülmüş oksijen, pH, vs.) ve biyolojik faktörlere (türler, dokular, organlar, beslenme şartları, vb.) bağlıdır (Phillips, 1995). Araştırma istasyonlarına ait fiziko-kimyasal parametreler, Tablo 1'de özetlenmiştir.

Diopatra neapolitana'da birikim gösteren metal konsantrasyonları arasındaki sıralama $Cd < Cr < Cu < Pb < Zn < Fe$ şeklindedir. Her iki örnekleme bölgesinden (D1 ve D2) toplanmış olan *D. neapolitana* bireylerinin dokularında en düşük konsantrasyon $0,043-0,331 \mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık (YA) ile Cd'ye aittir ve iki istasyon arasında istatistiksel yönden önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). En yüksek Cd değerleri, 1 no'lu istasyon (D1) için S2002'de 2 no'lu istasyon (D2) için ise K2003'te saptanmıştır ve bu periyotlar haricinde tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 2). Cd birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, D1 ve D2 istasyonları arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). *D. neapolitana* ile yapılan çalışmalarda bu metale ait değerler $0,11-0,15 \mu\text{g g}^{-1}$ (Freitas ve ark., 2012) ve $0,02-0,9 \mu\text{g g}^{-1}$ (Pires ve ark., 2017) olarak bildirilmiştir. Bryan ve Gibbs (1983), çeşitli poliket türlerinin (*Perinereis cultrifera*, *Nephtys hombergi*, *Cirriiformia tentaculata*, *Eurythoe complanata*) Cd konsantrasyonunu incelemişler ve her tür için farklı değer aralıkları tespit etmişlerdir. Benzer şekilde yüksek konsantrasyonda ağır metaller içeren zonlarda yaşayan *Hediste diversicolor* populasyonlarının Cd'ye karşı tolerans kazandığı farklı çalışmalarda bildirilmiştir (Bryan ve Hummerstone, 1971, Volpi Ghirardini ve ark., 1999, Berthet ve ark., 2003, Mouneyrac ve ark., 2003). Çalışmada Cr miktarının, $0,044-16,30 \mu\text{g g}^{-1}$ YA arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek Cr değerleri, D1 için K2003'te D2 için ise S2003'te saptanmış olup benzer mevsimsel değişimler saptanmıştır (Şekil 2). Cr birikim düzeyleri incelendiğinde D1 ve D2 istasyonları arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Çalışma sonucunda elde edilen Cr değerleri *H. diversicolor* ile yapılan araştırmada (Diez ve ark., 2000) tespit edilenden ($0,1-5 \mu\text{g g}^{-1}$) daha düşük olduğu saptanırken *D. neapolitana*'da tespit edilen maksimum değerden ($0,53-0,86 \mu\text{g g}^{-1}$) daha yüksek belirlenmiştir. Bu araştırmada, Cu konsantrasyonu, $1,12-17,10 \mu\text{g g}^{-1}$ YA arasında değişim göstermiştir. En yüksek Cu değerleri ise, D1 için S2003'te D2 için ise S2002'de tespit edilmiştir (Şekil 2). Cu birikim düzeyleri istatistiksel olarak incelendiğinde D1 ve D2 istasyonları arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Cu seviyesinin bazı poliket türleri için tespit edilen değerleri *P. cultifera* ($38-1210 \mu\text{g g}^{-1}$), *N. hombergi* ($47-2227 \mu\text{g g}^{-1}$), *Glycera convoluta* ($45-828 \mu\text{g g}^{-1}$), *C. tentaculata* ($15-194 \mu\text{g g}^{-1}$), *Tharyx marioni* ($161-262 \mu\text{g g}^{-1}$), *Melinna palmata* ($314-3124 \mu\text{g g}^{-1}$) (Bryan and

Gibbs, 1983), *E. complanata* ($0,9-11,0 \mu\text{g g}^{-1}$) (Mendez and Paez-Osuna, 1998), *D. neapolitana* ($1,57-4,33 \mu\text{g g}^{-1}$) (Pires ve ark., 2017) olarak bildirilmiştir. Bu çalışmalarla kıyaslandığında belirlenen Cu konsantrasyonu diğer poliket türlerinden daha düşüktür ancak *D. neapolitana* ile yapılan çalışmada (Pires ve ark., 2017) tespit ettikleri değerden oldukça yüksektir. Populasyonların metal etkilerine maruz kalmaları, aynı tür için bile çok farklı olabilmektedir. Ağır metallerin ortamdan alınması, ortamın fizikokimyasal özelliklerinin yanısıra, organizmaların trofik davranışlarına hem beslenme hızlarına hem de barsaktan geçiş süresine, sindirme şekline ve verimliliğine bağlı olmaktadır (Volpi Ghirardini ve ark., 1999). Pb konsantrasyonu $0,017-30,20 \mu\text{g g}^{-1}$ YA arasında değişim göstermektedir.



Şekil 2 *Diopatra neapolitana*'daki Cd, Cr ve Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ($\mu\text{g g}^{-1}$ YA)
Figure 2 Seasonal variations of Cd, Cr and Cu concentrations in *Diopatra neapolitana* ($\mu\text{g g}^{-1}$ w.w.)

D1 için en yüksek değer Y2004 periyodunda, D2 için ise S2003'te gözlenmiştir. S2002 ve K2003 haricinde diğer mevsimlerde Pb konsantrasyonları arasında büyük değişim yoktur (Şekil 3). *D. neapolitana*'ya ait Pb birikim düzeylerinin ANOVA ile değerlendirilmesi sonucunda, D1 ve D2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Bu metal, *D. neapolitana* için $0,11-0,65 \mu\text{g g}^{-1}$, *P. cultifera* için $1,8-5,5 \mu\text{g g}^{-1}$, *N. hombergi* için $3,5-44,7 \mu\text{g g}^{-1}$, *Hediste diversicolor* için $0,8-9,8 \mu\text{g g}^{-1}$ ve *E. complanata* için $10,1-30,1 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir (Bryan ve Gibbs, 1983; Mendez ve Paez-Osuna, 1998; Pires ve ark., 2017). Ortaya çıkan bu farklılık türlerin akümülyasyon kabiliyetinden ve

lokalitelerin ağır metal girdilerinin değişkenliğinden kaynaklanmaktadır. Zn konsantrasyonları 7,80-52,60 $\mu\text{g g}^{-1}$ YA arasındadır. Maksimum konsantrasyonlar her iki istasyon için K2003'te bulunmuştur ancak, S2002, İ2004 ve Y2004 periyotlarında D1 birikim oranı D2'ye göre daha fazladır ($P \leq 0,05$) (Şekil 3, Tablo 2). Çalışmada bu metal Cd, Cr, Cu ve Pb'ye göre daha yüksek bulunmuştur. Phelp (1967)'e göre yüksek Zn seviyeleri seçici olmayan depozitörlerde, omnivorlarda ve karnivorlarda bulunmaktadırlar (Mendez ve Paez-Osuna, 1998). Omnivor ve detritivor olarak beslenen *D. neapolitana* dokularında belirlenen yüksek Zn konsantrasyonu benzer düşüncüyü akla getirmektedir. Zn seviyesi *P. cultifera* (130-784 $\mu\text{g g}^{-1}$), *N. hombergi* (252-518 $\mu\text{g g}^{-1}$), *G. convoluta* (169-483 $\mu\text{g g}^{-1}$), *C. tentaculata* (71-176 $\mu\text{g g}^{-1}$), *T. marioni* (81-138 $\mu\text{g g}^{-1}$), *M. palmata* (116-149 $\mu\text{g g}^{-1}$) türleri için bildirilmiştir (Bryan ve

Gibbs, 1983). Bu çalışmada *D. neapolitana*'da Fe konsantrasyonu 50-1580 $\mu\text{g g}^{-1}$ ile en fazla bulunan metaldir. En düşük Fe düzeyi Y2004'te tespit edilmiştir. S2003'te D2'deki Fe konsantrasyonları D1'e göre yüksek bulunmuştur (Şekil 3). Fe birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde D1 ve D2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Bryan ve Gibbs, (1983) *P. cultifera* (282-691 $\mu\text{g g}^{-1}$), *N. hombergi* (622-3263 $\mu\text{g g}^{-1}$), *G. convoluta* (954-1371 $\mu\text{g g}^{-1}$), *C. tentaculata* (702-752 $\mu\text{g g}^{-1}$), *T. marioni* (1183-1818 $\mu\text{g g}^{-1}$), *M. palmata* (410-835 $\mu\text{g g}^{-1}$) türleri ile yaptığı çalışmada Fe konsantrasyonunun diğer metallerle göre en fazla olduğunu bildirmiştir. Howard ve Brown (1983) *Nereis diversicolor* ile yaptıkları çalışmada, Fe konsantrasyonunun bireyin büyüklüğünden, cinsel olgunluğundan ve metalin sediment konsantrasyonundan bağımsız olabileceğini bildirmişlerdir.

Tablo 1 Araştırma istasyonlarına ait fiziko-kimyasal parametreler.

Table 1 Physico-chemical parameters of research stations

Örnekleme zamanı	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)		O_2 (mg/l)		pH		Tuzluluk (%)	
	D1	D2	D1	D2	D1	D2	D1	D2
Sonbahar 2002	18	17	7,0	6,8	8,08	7,95	40,00	40,00
Kış 2003	11	11	8,7	8,2	7,53	7,36	37,50	36,47
İlkbahar 2003	16	15	7,0	7,2	8,19	8,12	30,00	30,00
Yaz 2003	25	23	6,4	6,0	8,38	8,35	40,85	40,85
Sonbahar 2003	19	20	8,0	7,6	8,20	8,09	37,92	38,85
Kış 2004	12	12	8,1	8,3	7,27	7,51	31,59	30,31
İlkbahar 2004	18	17	7,8	7,9	7,93	7,78	32,81	33,98
Yaz 2004	26	25	6,7	6,3	8,33	8,41	39,78	39,44

Tablo 2 *Diopatra neapolitana*'da (D1-D2) ve sedimentte (S1-S2) ölçülen ortalama ağır metal konsantrasyonları ($\mu\text{g g}^{-1}$) \pm Standart Hata ile varyans analizi sonuçları ($P \leq 0,05$).

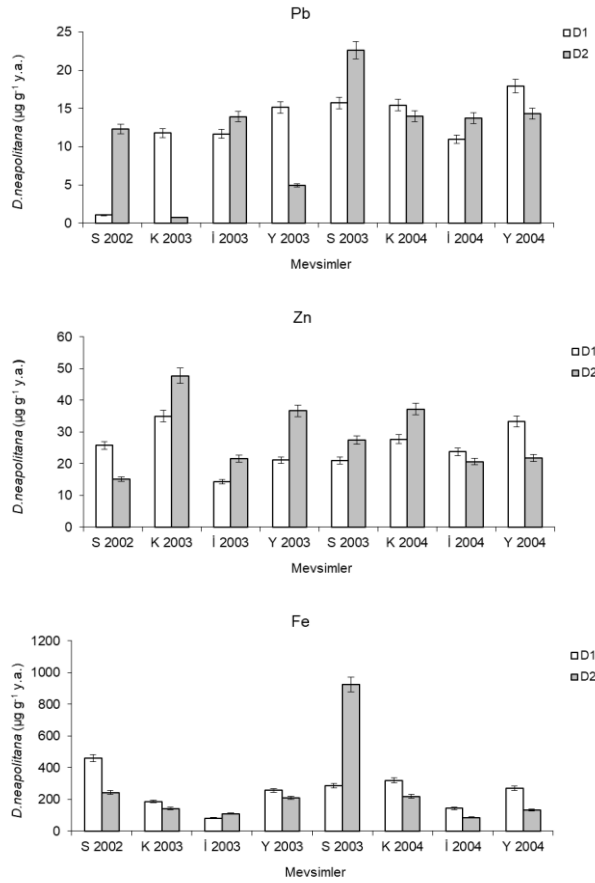
Table 2 Mean heavy metal concentrations ($\mu\text{g g}^{-1}$) in *Diopatra neapolitana* (D1-D2) and in Sediment (S1-S2) \pm standard error with variance analysis results ($P \leq 0,05$).

Metaller	İstasyonlar		P değeri
	D1 (Ort. \pm SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ YA)	D2 (Ort. \pm SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ YA)	
Cd	0,124 ^a \pm 0,007	0,106 ^a \pm 0,005	0,129
Cr	1,329 ^a \pm 0,377	0,669 ^a \pm 0,079	0,207
Cu	3,185 ^a \pm 1,017	3,642 ^a \pm 0,497	0,753
Pb	12,618 ^a \pm 0,582	12,036 ^a \pm 0,842	0,984
Zn	25,237 ^{a*} \pm 0,859	28,525 ^b \pm 1,272	0,035
Fe	249,84 ^a \pm 17,661	257,90 ^a \pm 37,248	0,996
	S1 (Ort. \pm SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ KA)	S2 (Ort. \pm SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ KA)	
Cd	0,085 ^a \pm 0,006	0,094 ^a \pm 0,007	0,985
Cr	33,668 ^a \pm 1,787	24,568 ^b \pm 0,763	0,000
Cu	9,605 ^a \pm 0,569	9,360 ^a \pm 0,481	0,161
Pb	4,797 ^a \pm 0,170	3,927 ^a \pm 0,068	0,161
Zn	32,504 ^a \pm 1,585	28,534 ^a \pm 0,954	0,361
Fe	10565,420 ^a \pm 354,14	8514,300 ^b \pm 299,890	0,001

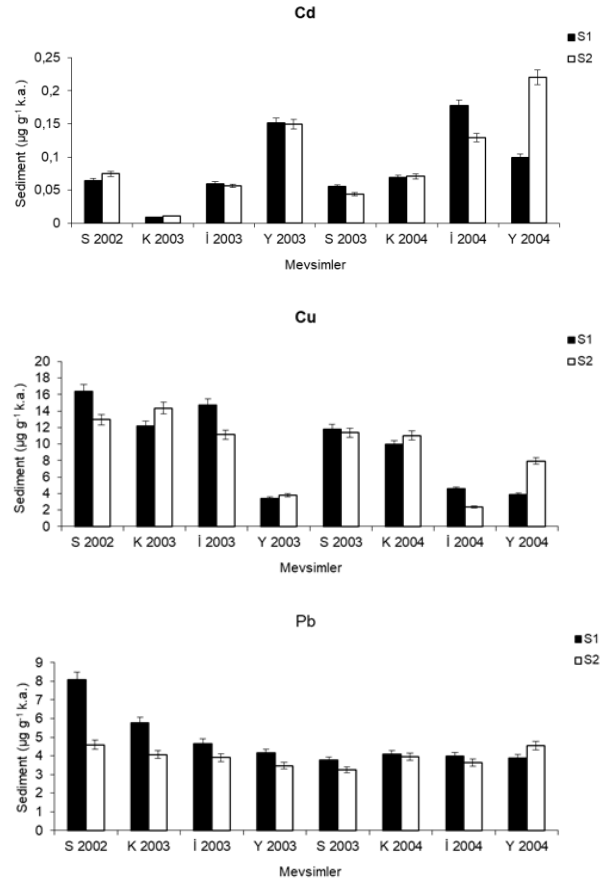
*Aynı satırda gösterilen farklı harfler, istatistiksel yönden farklılığı ifade etmektedir ($P \leq 0,05$)

Sediment örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyonları arasındaki sıralama Cd<Pb<Cu<Cr<Zn<Fe şeklindedir. İzmir Körfezi'nde belirlenen istasyonlara ait sediment örneklerinde (S1 ve S2) tespit edilen Cd değerleri 0,001-0,22 $\mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık (KA) arasında değişmektedir. En yüksek Cd değerleri, S1 için İ2004 ve S2 için Y2004 periyodunda saptanmıştır ve bu periyotlar haricinde tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 4). Cd konsantrasyonları incelendiğinde,

istasyonlar (S1, S2) arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Bu çalışmada saptanan maksimum Cd değeri (0,22 $\mu\text{g g}^{-1}$) Küçükseğzin ve ark. (2011) İzmir Körfezi'nin orta bölümünde saptadığı konsantrasyonlardan (0,05-0,16 $\mu\text{g g}^{-1}$) daha yüksektir. S1 ve S2 sediment örneklerinde tespit edilen Pb konsantrasyonu 2,43 $\mu\text{g g}^{-1}$ KA ile 8,28 $\mu\text{g g}^{-1}$ KA arasındadır. Bu çalışmada, her iki istasyona (S1 ve S2) ait en yüksek konsantrasyonlar S2002'de saptanmıştır (Şekil 4).



Şekil 3 *Diopatra neapolitana*'daki Pb, Zn ve Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri (µg g⁻¹ YA).
Figure 3 Seasonal variations of Pb, Zn and Fe concentrations in *Diopatra neapolitana* (µg g⁻¹ w.w.).



Şekil 4 Sedimentteki Cd, Cu ve Pb konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri (µg g⁻¹ KA).
Figure 4 Seasonal variations of Cd, Cu and Pb concentrations in sediment (µg g⁻¹ d.w.).

Tablo 3 Denizel Sediment kalitesi tüzüklerine göre kriter değerleri (µg g⁻¹ KA)
Table 3 Criteria values according to marine sediment quality regulations (µg g⁻¹ d.w.)

Denizel Sediment (µg g ⁻¹ KA)		Ağır Metaller					
		Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe
CCME*	ISQG	0,7	52,3	18	30,2	124	-
	PEL	4,2	160	108	112	271	-
NOAA**	TEL	0,676	52,3	18,7	30,24	124	-
	ERL	1,2	81	34	46,7	150	-
	PEL	4,21	160,4	150	112,18	271	-
OMEE***	ERM	9,6	370	270	218	410	-
	LEL	0,6	26	16	31	120	20000
	SEL	10	110	110	250	180	40000
ANZECC****	STV	1,5	80	65	50	200	-
Bu çalışma	Mak.	0,22	94,60	17,42	8,28	57,80	16660

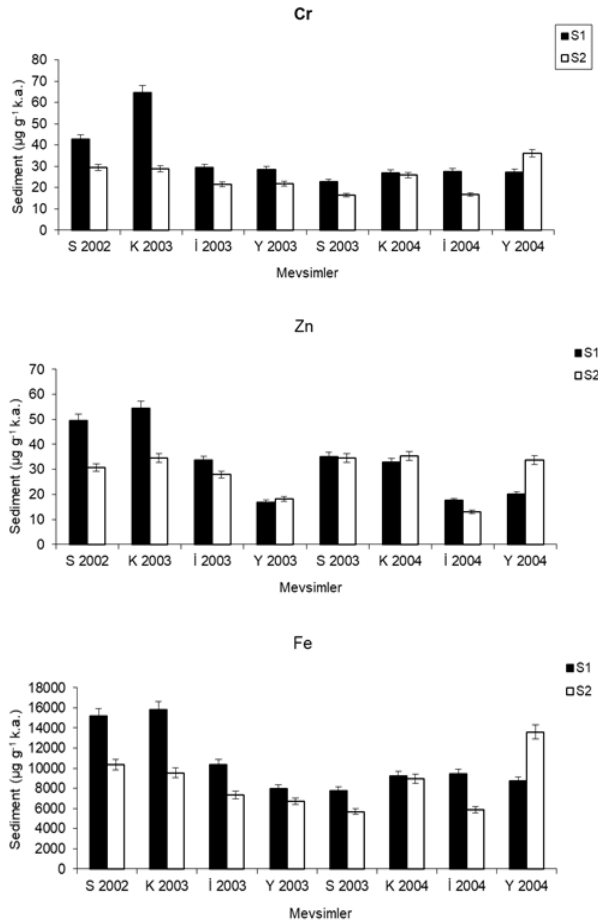
* Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME), 2001, ** National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), "Sediment Quality Guidelines" 1999, *** Ontario Ministry of Environment & Energy (OMEE), 1993, **** Australian and New Zealand Environment on Conservation Council (ANZECC), 2000.

Sedimentte mevcut olan Pb konsantrasyonları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, S1 ve S2 istasyonları önemli farklılık bulunmamıştır (P≥0,05) (Tablo 2). Bu çalışmada saptanan maksimum Pb konsantrasyonu 16-36 µg g⁻¹ (Küçüksezgin ve ark., 2011), 27,3 µg g⁻¹ (Atalar ve ark., 2013) te saptadığından daha düşük seviyededir. Sedimentteki Cu konsantrasyonunun, 1,93-17,42 µg g⁻¹ KA arasında değiştiği saptanmıştır. En yüksek Cu değerleri, S1 için S2002'de S2 için ise K2003'te belirlenmiş ve tüm örnekleme istasyonlarında

benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 4). Sedimentte Cu birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, S1 ve S2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır (P≥0,05) (Tablo 2). Cr miktarının 14,10-94,60 µg g⁻¹ KA arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek Cr değerleri, S1 için K2003'te, S2 için ise Y2004'te saptanmıştır ve tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 5). Cr konsantrasyonları incelendiğinde, istasyonlar (S1, S2) arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık vardır

($P \leq 0,05$) (Tablo 2). Maksimum Cr konsantrasyonu Atalar ve ark., (2013)'dan ($71,3 \mu\text{g g}^{-1}$) daha yüksek, Küçüksezgin ve ark., (2011)'den ($155-158 \mu\text{g g}^{-1}$) daha düşük bulunmuştur. S1 ve S2'de tespit edilen Zn konsantrasyonu 10,9 ile $57,8 \mu\text{g g}^{-1}$ KA arasında değişmektedir. En yüksek Zn değeri, S1 için K2003'te S2 için ise K2004'te bulunmuştur (Şekil 5).

Zn birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, S1 ve S2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($P \geq 0,05$) (Tablo 2). Tespit edilen maksimum Zn konsantrasyonu $91,7 \mu\text{g g}^{-1}$ (Atalar ve ark., 2013), $107-117 \mu\text{g g}^{-1}$ (Küçüksezgin ve ark., 2011)'den daha düşük bulunmuştur. Fe değerleri, $5500-16660 \mu\text{g g}^{-1}$ KA arasında değişmektedir. En yüksek Fe değerleri, S1 için K2003'te, S2 için ise Y2004'te gözlenmiştir. Fe birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde S1 ve S2 arasında önemli derecede farklılık olduğu tespit edilmiştir ($P \leq 0,05$) (Tablo 2). Bu çalışmada tespit edilen maksimum Fe konsantrasyonu ($16660 \mu\text{g g}^{-1}$) Atalar ve ark. (2013) tespit ettiği değerden ($31000 \mu\text{g g}^{-1}$) daha düşüktür. Metallerin poliketler tarafından ortamdan alınması epidermis yoluyla, öğütülen sedimentle veya besinle olabilir (Howard ve Brown, 1983). Bu nedenle, *D. neapolitana* bireylerinde ve bu türlerin içinde yaşadıkları sedimentte birikim gösteren ağır metallerin arasındaki ilişkiye bakılmıştır.



Şekil 5 Sedimentteki Zn, Cr ve Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ($\mu\text{g g}^{-1}$ KA).

Figure 5 Seasonal variations of Zn, Cr and Fe concentrations in sediment ($\mu\text{g g}^{-1}$ d.w.).

Altı metal içinde Cr ($r=0,75$ $P \leq 0,05$) ve Cu ($r=0,32$ $P \leq 0,05$) için pozitif yönlü korelasyon tespit edilmiştir. Cd ($r=-0,23$ $P \leq 0,05$) ve Pb ($r=-0,44$ $P \leq 0,05$) için ise zayıf ve negatif yönlü bir korelasyon söz konusudur. Bu çalışmada *D. neapolitana* bireyleri ile sedimentteki Cr konsantrasyonları arasında istatistiksel açıdan önemli ve pozitif yönlü bir korelasyonun ($r = 0,75$; $P \leq 0,05$) tespit edilmesi sedimentte bulunan Cr diğer metallerle oranla yüksek seviyede olmasının yanı sıra *D. neapolitana*'nın sedimentteki Cr'un güçlü bir akümülatörü olduğunu göstermektedir.

Sedimentlerin kirleticilerden etkilendikleri değerleri belirlemek için Ontario Çevre ve Enerji Bakanlığı (OMEE, 1993), Amerika Okyanus ve Atmosfer Dairesi (NOAA, 1999), Avustralya ve Yeni Zelanda Çevre Koruma Meclisi (ANZECC, 2000), Kanada Çevre Bakanlığı (CCME, 2001) doğal hayatın korunması için "Sediment Kalitesi Kriteri" yönetmeliği yayınlamıştır. Bu değerler bölgesel olarak düşünülüp, düzenleyici kurullar olarak kullanılmak için tasarlanmamış olsalar da kontamine olmuş sedimentlerin potansiyel toksisitesini belirlemek ve sedimentleri "referans" veya "bozulmuş" olarak sınıflandırmak için faydalı olabilmektedir (Miller ve ark., 2000). Sedimentlerde ağır metal kalite kriterleriyle ilgili ulusal bir yönetmelik bulunmamaktadır. Yönetmelikte belirlenen değerler ile çalışmada belirlenen maksimum değerler Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışmada sedimentte tespit edilen Cr miktarı ($94,60 \mu\text{g g}^{-1}$) NOAA'da önerilen Düşük Etki Seviyesi (ERL) ve ANZECC'te belirtilen Sediment Etki Seviyesi (STV)'nin üstünde bulunan tek metaldir ve bölgedeki endüstriyel aktivitelere kaynaklanan atık yoğunluğunu ifade etmektedir. Bilindiği gibi deri ve tekstil sanayinde, özellikle de deri tabaklanması sırasında yoğun biçimde Cr kullanılmaktadır. Gediz Nehri, üç büyük şehrin (Uşak, Manisa ve İzmir) evsel, endüstriyel ve tarımsal drenaj sularına bağlı olarak kirliliğinin etkisi altında olup bu kirlilik yükünü İzmir Körfezi'ne taşımaktadır (Küçüksezgin ve ark., 2008). İzmir Körfezi'nin orta kesiminde yer alan Gediz Deltası sedimentlerinde saptanan Pb, Cr kirliliğinin İzmir Körfezi'nden ve Gediz Nehri'nin taşıdığı evsel, tarımsal ve endüstriyel kaynaklardan olduğu belirtilmiştir (Küçüksezgin ve ark., 2008, 2011). Gediz Havzası'nda yer alan deri işletmelerinin çokluğu ve bunların atık sularını arıtma tesisi olmadan kanala deşarj etmeleri nedeniyle bölgede ağır metal sonuçlarında yoğunluk artışına neden olmaktadır (Yavaş, 2001).

Sonuç

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. Zaman zaman kitle halinde balık ölümlerinin gözlemlendiği Gediz Nehri de İzmir Körfezi'nde yoğun kirliliğe neden olan başlıca kaynaklardan birisidir. Sonuç olarak, tüm bu kirlilik yüklerinin etkisi altında kalan İzmir Körfezi'nde yürütülen bu çalışmada, *D. neapolitana* ile bunların yaşadığı sediment arasındaki

ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. *D. neapolitana*'nın akümüle ettiği ağır metal miktarları ile sedimentte birikim gösteren ağır metal düzeyleri arasındaki korelasyonun incelenmesi sonucunda, zayıf olmakla birlikte Cu ve Cd için pozitif yönlü korelasyonların tespit edilmesi ilgi çekicidir ve biyolojik indikatör fikrini akla getirmektedir. Ülkemizde özellikle olta balıkçılığında yaygın olarak kullanılan *D. neapolitana* dokularındaki metal konsantrasyonlarında meydana gelen doğal varyasyonların incelendiği başka bir araştırmanın mevcut olmaması nedeniyle bu çalışma bir ilk olması açısından önem arz etmektedir. Sediment, kirleticilerin birikim yeridir ve sucul ekosistemdeki kirliliğinin araştırılmasında son derece önemlidir. Çalışma bölgesi sedimentlerinde tespit edilen ağır metal değerleri Uluslararası Sediment kalite standartlarına göre yorumlanmış ve ölçülen maksimum Cr seviyesi NOAA'da önerilen Düşük Etki Seviyesi (ERL) ve ANZECC'te belirtilen Sediment Etki Seviyesi (STV)'nin üstünde bulunmuş ve izlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Teşekkür

Bu araştırma, “İzmir Körfezi’nde Bazı Poliket Türleri (*Hediste diversicolor*, *Diopatra neapolitana*) ile Bunların Yaşadığı Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin Araştırılması” adlı Doktora Tezinin bir bölümünü içermektedir ve Ege Üniversitesi 2002 / SÜF / 05 No’lu Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Örneklem sırasında yardımcı olan Dr. Ertan DAĞLI'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akkan T, Kaya A, Dinçer S. 2013. Antibiotic levels and heavy metal resistance in Gram negative bacteria isolated from sea water Iskenderun Organized Industrial zone. J. Appl. Biol. Biosci. 7(1):10-14.

ANZECC 2000. Australian and New Zealand Environment and Conservation Council. Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, No.4 Vol.1

Arnoux A, Nienchewski, LP, Tatossian J. 1981. Comparision de quelques methodes d'attaque des sediments marins pour l'analyse des metaux lourds. Journal Français d'hydrologie, 12, fasc 1, no 34, 29-48.

Atalar M, Küçüksezgin, F, Duman M, Gonul LT. 2013. Heavy Metal Concentrations in Surficial and Core Sediments from Izmir Bay: An Assessment of Contamination and Comparison Against Sediment Quality Benchmarks, Bull Environ Contam Toxicol, 91:69–75 DOI 10.1007/s00128-013-1008-5

Bernhard M. 1976. Manual of methods in aquatic environment research. FAO Fisheries Technical Paper, no: 158 FIRI/T 158 Rome: 1-123.

Berthet B., Mouneyrac C, Amiard JC, Amiard-Triquet C, Berthelot Y, Le Hen A, Mastain O, Rainbow PS, Smith BD. 2003. Accumulation and Soluble Binding of Cadmium, Copper, and Zinc in the Polychaete *Hediste diversicolor* from Coastal Sites with Different Trace Metal Bioavailabilities. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 45, 468–478.

Bryan GW, Gibbs P. 1983. Heavy Metals in The Fal Estuary, Cornwall: A Study of Long-term Contamination by Mining Waste and Its Effects on Estuarine Organisms, Marine Biological Association of The UK. No:2, 1-112.

Bryan GW, Hummerstone LG. 1971. Adaptation of the Polychaete *Nereis diversicolor* to Estuarine Sediments Containing High Concentrations of Heavy Metals. I. General Observation and Adaptation to Copper. J.Mar. Biol. Ass. U.K., 51, 845-863.

CCME. 2001. Canadian Council of Ministers of the Environment, Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life.

Dean HK. 2008 The use of polychaetes (Annelida) as indicator species of marine pollution: a review. Rev. Biol. Trop. pp. 11-38.

Diez G, Soto M, Canton L, Vaquero MC, Marigomez I. 2000. *Hediste (Nereis) diversicolor* as bioindicator of metal and organic chemical bioavailability: A field study. Ecotoxicology and environmental Restoration, 3,1.

Freitas R, Pires A, Quintino V, Rodrigues AM, Figueria E. 2012. Subcellular partitioning of elements and availability for trophic transfer: Comparison between the Bivalve *Cerastoderma edule* and the Polychaete *Diopatra neapolitana*. Estuarine, Coastal and Shelf Science : 21-30.

Howard LS, Brown BE. 1983. Natural variations in tissue concentrations of copper, zinc and iron in the polychaete *Nereis diversicolor*. Marine Biology, 78,87-97.

Küçüksezgin 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

Küçüksezgin 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/s10661-0079889-6

Mendez N, Paez-Osuna F. 1998 Trace Metals in Two Populations of Fireworm *Eurythoe complanata* from Mazatlan Bay: Effect of Body ize on Concentrations, Environmental Pollution. 102:279-285.

Miller BS, Pirie DJ, Redshaw CJ. 2000. An assessment of the contamination and toxicity of marine sediments in the Holy Loch, Scotland. Marine Pollution Bulletin 40 (1): 22–35.

Mouneyrac C, Mastain O, Amiard CJ, Amiard-Triquet C, Beaunier P, Jeantet AY, Smith BD, Rainbow PS. 2003. Trace-metal Detoxification and Tolerance of the Estuarine Worm *Hediste diversicolor* Chronically Exposed in Their Environment. Marine Biology, 143, 731–744.

NOAA. 1999. National Oceanic & Atmospheric Administration (USA), “Sediment Quality Guidelines”.

OMEE. 1993 Ontario Ministry of Environmental and Energy, “Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario”.

Parker DM, Ireland MP, Wootton RJ. 1980. Cadmium, Copper, Lead, Zinc and Manganese in The Polychaete *Arenicola marina* from Sediments Around The Coast of Wales, Environ. Poll. (Series A), 22, 309-321. 10

Phillips DJH. 1995 The chemistries and environmental fates of trace metals and organochlorines in aquatic ecosystems, Mar. Pollut. Bull. 31(4-12):193-200.

Pires A, Velez C, Figueria E, Soares AMVM, Freitas R. 2017. Effects of sediment contamination on physiological and biochemical responses of the polychaete *Diopatra neapolitana*, an exploited natural resource. Marine Pollution. Bull. Vol.119, Issue 1: 119-131.

Rainbow PS. 1997. Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry. J. Mar. Biol. Ass. U.K., 77, 195-210.

Türkmen A, Tepe Y, Türkmen M, Mutlu E. 2009. Heavy metal contaminants in tissues of the Garfish, *Belone belone* L., 1761, and the Bluefish, *Pomatomus saltatrix* L., 1766, from Turkey waters. Bulletin Environmental Contamination Toxicology, 82,70-74.

- Volpi Ghirardini A, Cavallini L, Delaney E, Tagliapietra D, Ghetti PF, Bettiol C, Argese E. 1999. *H. diversicolor*, *N. succinea* and *P. cultrifera* (Polychaeta: Nereididae) as Bioaccumulators of Cadmium and Zinc from Sediments: Preliminary Results in The Venetian Lagoon (Italy). Toxicological and Environmental Chemistry, Vol. 71, 457-474.
- Yavaş Ö. 2001. The contamination effects of the activities of Gediz Basin to The Gediz River. (in Turkish) Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Marine Science and Technology, Masters Thesis, Izmir.Zar JH. 1999. Biostatistical analysis. Prentice-Hall, New Jersey.ISBN: 9780-1308-15422