

2002-2004 Yılları Arasında Homa Lagünü'nden (İzmir Körfezi) Toplanan *Hediste diversicolor*'da ve Yaşadığı Sedimentte Ağır Metal Düzeylerinin (Cd, Cu, Zn, Pb, Cr, Fe) Araştırılması*

*Elif Çağrı Taş, Zeki Ergen, Uğur Sunlu

Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, 35100, Bornova, İzmir, Türkiye
*E mail:e.cagri.tas@ege.edu.tr

Abstract: Investigation of Heavy Metal Levels (Cd, Cu, Pb, Zn, Cr, Fe) in *Hediste diversicolor* and in their Habitat Sediment Collected from Homa Lagoon (Izmir Bay) between 2002-2004 The present study was conducted at Homa Lagoon - the only lagoon of the bay in which fishing activities are performed although it is located within the borders of Izmir Bird Paradise - with the aim to determine the concentrations of several heavy metals (cadmium, copper, lead, zinc, chrome and iron) in the polychaete *Hediste diversicolor* (Müller, 1776) and their habitat sediment. Metal concentrations of *H. diversicolor* was detected to reveal variation during the period of 2 years between Autumn 2002 and Summer 2004. The order of metal concentrations in *H. diversicolor* was found to be as Cd<Cr<Cu<Pb<Zn<Fe. The increasing order of the metal concentrations determined in sediment samples was Cd<Pb<Cu<Cr<Zn<Fe. A statistically significant but a poor correlation was found between *H. diversicolor* and the amount of Cd and Cu in the sediment.

Key Words: Heavy metal, Polychaeta, Sediments, Homa Lagoon, Izmir Bay.

Özet: İzmir Kuş Cenneti sınırları içerisinde yer almasına karşın körfezde aktif halde su ürünleri avcılığının yapıldığı tek dalyan olan Homa Dalyanı'nda yürütülen bu çalışma, poliketlerden *Hediste diversicolor* (Müller, 1776) 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, *H. diversicolor* bireylerindeki metal konsantrasyonlarının zaman içinde değişiklik gösterdiği saptanmıştır. *H. diversicolor*'da birikim gösteren metal konsantrasyonları arasındaki sıralama Cd<Cr<Cu<Pb<Zn<Fe şeklinde belirlenmiştir. Sediment örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyonları arasındaki sıralama Cd<Pb<Cu<Cr<Zn<Fe şeklindedir. *H. diversicolor* bireyleri ile sedimentteki Cd ve Cu konsantrasyonları arasında istatistiki açıdan önemli ancak zayıf bir korelasyon saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Poliket, Sediment, Homa Lagünü, İzmir Körfezi.

* 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.

Giriş

Bir organizmanın biyomonitör olarak değerlendirilmesinde en önemli kriterlerden biri yaşadıkları ortam ile bünyelerindeki kirlenici düzeyleri arasındaki ilişkilerdir ve değişik omurgasız türleri, farklı ağır metal birikim modelleri sergiler (Rainbow 1997). Su kalitesinde ve ortamda meydana gelen bazı olumsuz değişikliklerden en fazla etkilenen canlılar, aktif hareket etme yeteneği sınırlı olan bentik organizmalardır. Poliketlerin, bentik makroomurgasız faunasının önemli bir bölümünü oluşturmaları ve sediment ile doğrudan temas halinde olmaları nedeniyle bu hayvan grupları üzerine toksik maddelerin etkileri ekolojik açıdan önemlidir (Reish ve Lemay 1991). Bu organizmalar çevredeki metallerin varlığına oldukça duyarlıdır ve ortamdaki konsantrasyon seviyeleriyle orantılı olarak, bu metalleri yumuşak dokularında biriktirirler (Bryan ve Hummerstone 1971). Organizmaların üzerinde ya da içinde yaşadığı sediment ise sucül ortama çeşitli yollarla gelen kirlenicilerin çökeldiği ve organizma atıkları içinde mevcut olan ağır metallerin depo edildikleri yerdir. Bu nedenle ağır metaller

ile ilgili yapılacak olan araştırmaların, organizmaların yanı sıra sedimentte de yürütülmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmanın yapıldığı, Ege Bölgesi'nin en önemli dalyanlarından birisi olan, Homa Dalyanı, İzmir'in 25 km. kuzeybatısında, 38° 31' 10" N enlemi ile 26° 49' 50" E boylamı arasında, yer almaktadır. Dalyanın derinliği en fazla 1.5 m olup ortalama 90 cm derinliğindedir ve 1824 ha yüzey alanına sahiptir. İzmir Körfezi'nde çalışır durumdaki tek dalyan olması bakımından ayrıca önemlidir. 1998 yılında Çevre Bakanlığı tarafından Ramsar sözleşmesi kapsamında koruma altına alınan Gediz Deltası sınırları içerisinde kalan Homa Dalyanı, günümüzde, Gediz Nehri ile taşınan evsel, endüstriyel ve tarımsal kaynaklı kirlenicilerin etkisi altındadır. Bu çalışmanın amacı, ağır metal birikimi yönünden ülkemizde çalışılmamış bir poliket türü olan *Hediste diversicolor* ve bunların yaşadığı sedimentteki Cd, Cu, Pb, Cr, Zn ve Fe düzeyleri belirlenerek, doğal yaşamın devamlılığı açısından son derece önemli bir ekosistem olan

Homa Dalyanı'nın ağır metal birikimi açısından durumunu saptamaktır.

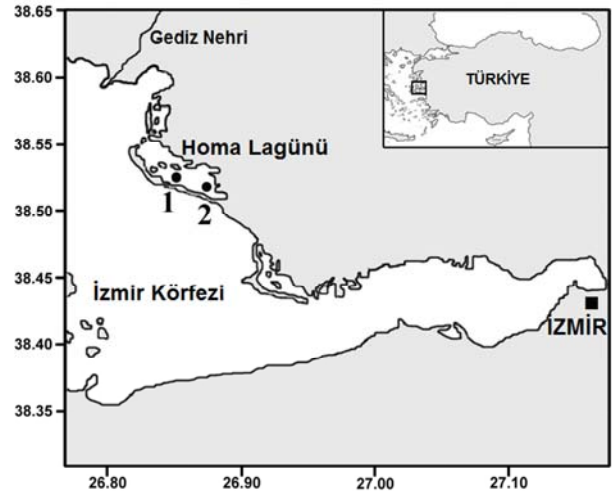
Materyal ve Yöntem

Homa Dalyanı'nda belirlenen iki istasyondan (Şekil 1) Sonbahar 2002-Yaz 2004 periyodunda *Hediste diversicolor* ve sediment örnekleri mevsimsel olarak alınmıştır. Kürek yardımıyla istasyonlardan alınan sediment örnekleri polietilen torbalar içerisinde laboratuara taşınmıştır. Sediment örnekleri 60 °C'de 24 saat süreyle etüvde kurutulmuş ve ardından toz haline getirilmiştir. Her istasyon için 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. 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 kağıdı ile süzülüp, bidestile su ile 50 ml'ye tamamlanmış ve polietilen şişelere alınarak ölçüme hazır hale getirilmiştir (Arnoux ve diğ. 1981). Sediment örneklerinin alındığı aynı istasyonlardan *H. diversicolor* bireyleri kürek yardımıyla ve elle toplanmıştır. Toplanan poliket türleri, ıslak deniz yosunları arasında veya doğal yaşam alanından alınan sediment içinde, polietilen kutulara konularak laboratuara getirilmiştir. Bu canlı bireyler, 24 saatliğine örnekleme bölgelerinden alınan temiz, havalandırılmış deniz suyu içine yerleştirilmiş ve bağırsak içeriklerinin boşaltılması sağlanmıştır. Çünkü organizmada, sedimentin varlığı, ağırlık ve metal içeriğinin olduğundan fazla tespit edilmesine yol açmaktadır (Parker ve diğ. 1980, Volpi Ghirardini ve diğ. 1999, Berthet ve diğ. 2003). Bu süre sonunda hasar görmüş bireyler ayrılmıştır. Çalışmada aynı 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 analize hazırlama aşamasına kadar -21 °C' de saklanmıştır. Her istasyon için 3 tekrarlı olarak çalışılmıştır. Bu organizmalar 250 ml'lik şilifli balonlara konulmuş, HNO₃ : HClO₄ (Merck) ile (5:1) oranında asitlendirilerek ağızları sıkı biçimde parafilmle kapatılarak bir gün boyunca bekletilmiştir (Bernhard, 1976). Örneklere, 24-36 saat süreyle geri soğutucular altında, ayarlanabilir ısıtıcılı 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. Tüm örneklerin ölçümleri ICP-OES (Perkin Elmer 2000 DV) ile yapılmıştır. Verilerin istatistiksel hesaplanması tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile yapılmıştır.

Bulgular

Her iki örnekleme bölgesinden toplanmış olan *Hediste diversicolor* bireylerinin dokularında en çok saptanan element Fe'dir. Zn da yüksek düzeyde bulunmuştur ve bunu Pb, Cu, Cr ve Cd izlemektedir. *H. diversicolor*'da ölçülen Cd

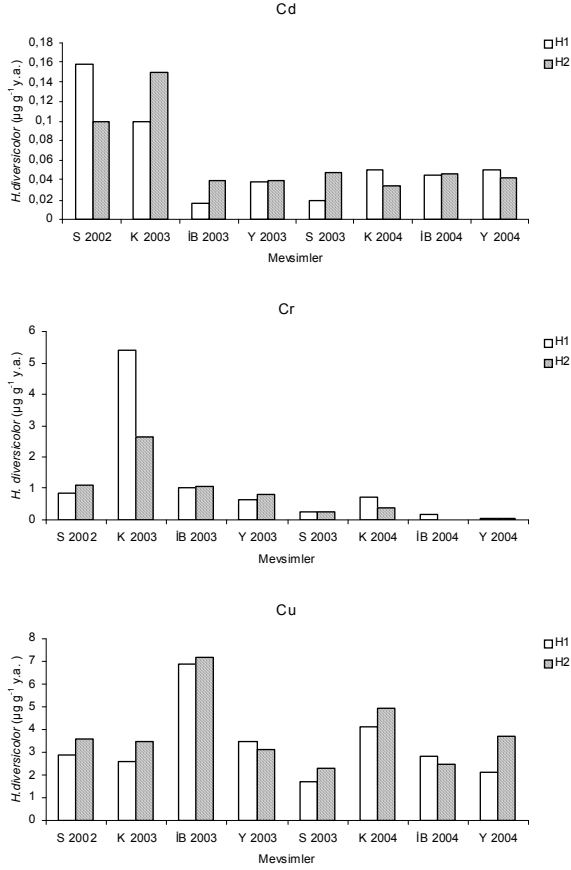
konsantrasyonları 0.012 ile 0.191 µg g⁻¹ y.a. arasında değişmektedir. En yüksek Cd değerleri, 1 no'lu istasyon (H1) için Sonbahar 2002'de, 2 no'lu istasyon (H2) için ise Kış 2003'de saptanmıştır ve bu periyotlar haricinde tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 2). Cd birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, H1 ve H2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır (p>0.05) (Tablo 1). Cr miktarının, 0.001-11.1 µg g⁻¹ y.a. arasında değiştiği belirlenmiştir. H1 ve H2 istasyonlarından alınan *H. diversicolor* bireylerinin içerdiği maksimum Cr konsantrasyonu Kış 2003'te tespit edilmiş olup benzer mevsimsel değişimler saptanmıştır (Şekil 2). Cr birikim düzeyleri incelendiğinde istasyonlar arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık bulunmamıştır (p>0.05) (Tablo 1). Cu konsantrasyonu, 1.54-10.1 µg g⁻¹ y.a. arasında değişmektedir. Bu çalışmada, her iki istasyon için minimum değerler sonbahar 2003'te maksimum değerler ilkbahar 2003'te tespit edilmiştir. Yaz 2004 haricinde benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 2). Cu birikim düzeyleri incelendiğinde istasyonlar arasında önemli farklılık bulunmamıştır (p>0.05) (Tablo 1). Pb konsantrasyonu 0.012-18.2 µg g⁻¹ y.a. arasında değişim göstermektedir. Her iki istasyon için en yüksek değerler yaz 2004 periyodunda gözlenmiştir. Sonbahar 2003 haricinde diğer mevsimlerde Pb konsantrasyonları benzer eğilim göstermişlerdir (Şekil 3). *H. diversicolor*'a ait Pb birikim düzeylerinin ANOVA ile değerlendirilmesi sonucunda, H1 ve H2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır (p>0.05) (Tablo 1).



Şekil 1. Araştırma istasyonları.

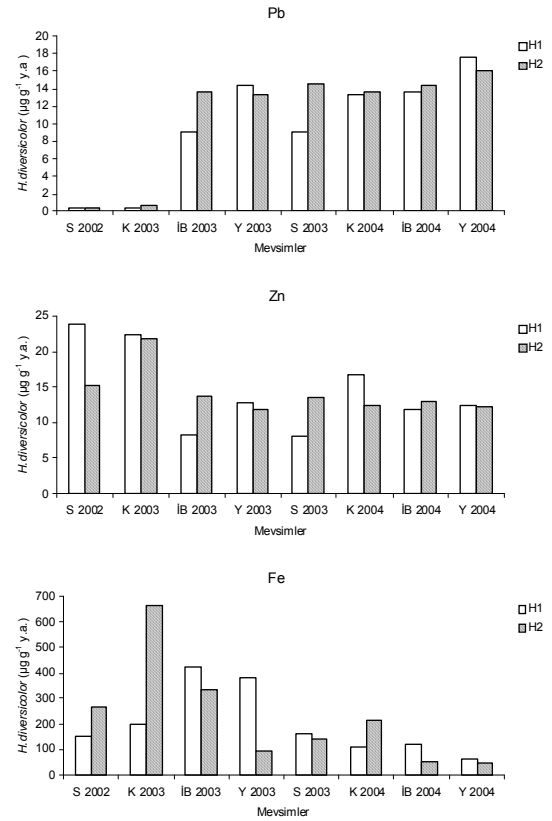
Zn konsantrasyonları 7.61-26.4 µg g⁻¹ y.a. arasındadır. Ancak, Kış 2003, Yaz 2003, İlkbahar 2004 ve Yaz 2004 dışında kalan periyotlarda farklı mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 3). Zn konsantrasyonları incelendiğinde istasyonlar arasında önemli farklılık saptanmamıştır (p>0.05) (Tablo 1). Zn *H. diversicolor*'da diğer metallere (Cd, Cr, Cu, Pb) göre daha yüksek konsantrasyonlarda bulunmuştur. Fe konsantrasyonları, 42-782 µg g⁻¹ y.a. arasındadır. Bu metal *H. diversicolor*'da en yüksek konsantrasyonda bulunmuştur. Her iki istasyondan alınan *H. diversicolor* bireylerinde en düşük Fe

düzeyi Yaz 2004'te tespit edilmiştir. Sonbahar 2003 ve Yaz 2004 haricinde Fe konsantrasyonları tüm mevsimlerde farklıdır (Şekil 3). Fe birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde H1 ve H2 arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 1).



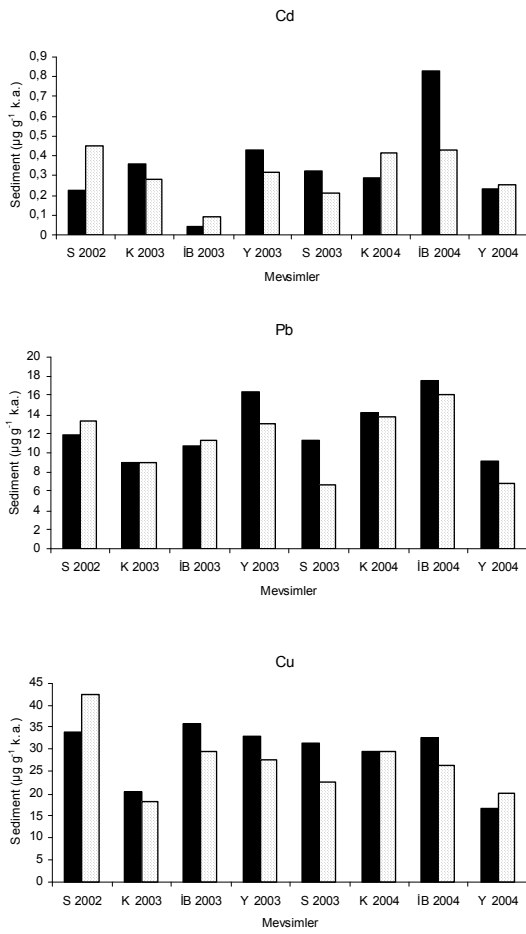
Şekil 2. Hediste diversicolor'daki Cd, Cr ve Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ($\mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık).

Homa Dalyanı'nda belirlenen istasyonlara ait sediment örneklerinde tespit edilen Cd değerleri $0.001-1.16 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasında değişmektedir. En yüksek Cd değerleri, 1 no'lu istasyon (S1) için 2004 ilkbahar mevsiminde, 2 no'lu istasyon (S2) için ise 2002 Sonbahar mevsiminde saptanmış ve bu periyotlar haricinde tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 4). Cd konsantrasyonları incelendiğinde, istasyonlar arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 1). Sediment örneklerinde tespit edilen Pb konsantrasyonu $5.27 \mu\text{g g}^{-1}$ ile $19.10 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasındadır. Bu çalışmada, her iki istasyona ait en yüksek konsantrasyonlar ilkbahar 2004'te saptanmıştır (Şekil 4). Sedimentte mevcut olan Pb konsantrasyonları istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, istasyonlar önemli derecede farklıdır ($p<0.05$) (Tablo 1). Sedimentteki Cu konsantrasyonu



Şekil 3. Hediste diversicolor'daki Pb, Zn ve Fe konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ($\mu\text{g g}^{-1}$ yaş ağırlık).

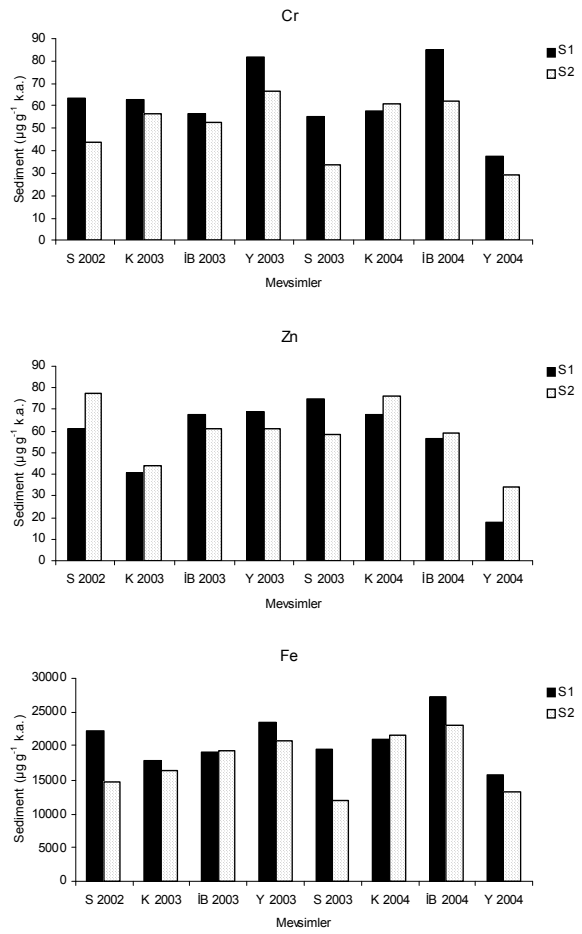
$4.03-51.30 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasında değişmektedir. En yüksek Cu değerleri, S1 için ilkbahar 2003'te S2 için ise Sonbahar 2002'de saptanmıştır ve tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 4). Sedimentte Cu birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, iki istasyon arasında önemli farklılık bulunmuştur ($p<0.05$) (Tablo 1). Cr miktarının $19.00-90.00 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasında değiştiği belirlenmiştir. En yüksek Cr değerleri, S1 için ilkbahar 2004'te, S2 için ise Yaz 2003'te saptanmıştır ve tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 5). Cr konsantrasyonları incelendiğinde, S1 ve S2 arasında istatistiksel açıdan önemli farklılık bulunmuştur ($p<0.05$) (Tablo 1). Sedimentte tespit edilen Zn konsantrasyonu 13.1 ile $95.5 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasında değişmektedir. Sonbahar 2002 haricinde tüm örnekleme istasyonlarında benzer mevsimsel değişimler gözlenmiştir (Şekil 5). Zn birikim düzeyleri istatistiksel olarak değerlendirildiğinde, istasyonlar arasında önemli farklılık bulunmamıştır ($p>0.05$) (Tablo 1). Fe değerleri, $9270-28700 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. arasında değişmektedir. Fe birikim düzeyleri istatistiksel olarak incelendiğinde S1 ve S2 arasında önemli derecede farklılık olduğu saptanmıştır ($p<0.05$) (Tablo 1).



Şekil 4. Sedimentteki Cd, Pb ve Cu konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri ($\mu\text{g g}^{-1}$ kuru ağırlık).

Bir bölgenin biyotası, ortam suyu içindeki yüksek konsantrasyonlarda ağır metallerle maruz kalmasının yanısıra süspans partiküllerin ve sedimentlerin içerdiği yüksek konsantrasyonlardaki ağır metallerden de etkilenmektedir (Bryan ve Gibbs 1983). Metallerin *Hediste diversicolor* tarafından ortamdan alınması epidermis yoluyla, öğütülen sedimentle veya besinle olabilir (Howard ve Brown 1983). Bu nedenle, *H. diversicolor* bireylerinde ve bu türlerin içinde yaşadıkları sedimentte birikim gösteren ağır metallerin arasındaki ilişkiye bakılmıştır (N=48; $p < 0.05$). Altı metal içinde sadece Cd ($r = 0.43$; $p < 0.05$) ve Cu ($r = 0.25$; $p < 0.05$) için pozitif yönlü zayıf korelasyon tespit edilmiş olup diğer metaller (Cr; $r = 0.10$, Pb; $r = 0.12$, Zn; $r = -0.22$, Fe; $r = -0.03$, $p < 0.05$, N=48) için böyle bir yorum yapmak istatistiksel açıdan mümkün değildir.

Sedimentlerde ve *H. diversicolor*'da bulunan metallerin ortalama konsantrasyonları arasında farklılıklar mevcuttur.



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

Tablo 1. İstasyonlara göre, *Hediste diversicolor*'da ve sedimentte ölçülen ortalama ağır metal konsantrasyonları ($\mu\text{g g}^{-1}$)±Standart Hata değerleri ile ANOVA'ya izleyen varyans analizi sonuçları ($p < 0.05$).

Metaller	İstasyonlar		P değeri
	H1 (Ort.±SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ y.a)	H2 (Ort.±SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ y.a)	
Cd	0.342 ^a ±0.025	0.307 ^a ±0.023	0.983
Cr	62.376 ^a ±1.826	50.709 ^a ±1.639	0.720
Cu	29.093 ^a ±1.017	27.000 ^a ±0.989	0.643
Pb	12.540 ^a ±0.390	11.271 ^a ±0.406	0.950
Zn	57.05 ^a ±2.257	58.904 ^a ±1.826	0.994
Fe	20779.17 ^a ±442.941	17672.78 ^a ±477.646	0.904
	S1 (Ort.±SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ ka)	S2 (Ort.±SH) ($\mu\text{g g}^{-1}$ ka)	
Cd	0.059 ^b ±0.005	0.062 ^b ±0.004	0.525
Cr	1.135 ^b ±0.261	0.780 ^b ±0.110	0.000
Cu	3.316 ^b ±0.219	3.857 ^b ±0.185	0.013
Pb	9.691 ^b ±0.717	9.127 ^b ±0.821	0.013
Zn	14.503 ^b ±0.679	14.191 ^b ±0.389	0.871
Fe	202.000 ^b ±19.367	227.263 ^b ±25.932	0.000

*Aynı satırda gösterilen farklı harfler, istatistiksel yönden farklılığı ifade etmektedir ($p < 0.05$).

Tartışma ve Sonuç

Hediste diversicolor'da birikim gösteren metal konsantrasyonları arasındaki sıralama $Cd < Cr < Cu < Pb < Zn < Fe$ şeklindedir. Her iki örnekleme bölgesinden toplanmış olan *H. diversicolor* bireylerinin dokularında en düşük konsantrasyon kadmiyuma aittir. Yüksek konsantrasyonda ağır metaller içeren zonlarda yaşayan *H. diversicolor* popülasyonlarının kadmiyuma karşı tolerans kazandığı bildirilmiştir (Bryan ve Hummerstone 1971, Volpi Ghirardini ve diğ. 1999, Berthet ve diğ. 2003, Mouneyrac ve diğ. 2003). Ayrıca, *H. diversicolor* bireyleri tarafından çözünmüş Cd'un sınırlı miktarda akümülyasyonunun, muhtemelen kontamine olmuş bölgelerde, Zn ile olan rekabetinden kaynaklandığı ve bunun deneysel olarak gözlemlendiği belirtilmiştir (Bryan ve Hummerstone 1973). *H. diversicolor* bireylerinin içerdiği Zn konsantrasyonu, diğer metallere (Cd, Cr, Cu ve Pb) oranla daha fazla bulunmuştur. Bunun nedeni olarak bu türlerin çene içeriklerinde bulunan Zn'dan kaynaklandığı düşünülmektedir. *H. diversicolor*'da total çinko yükünün %50'sine yakınının çenelerde olabileceği, bu nedenle, çene kısmının geliştiği büyüme evresinde bu metale büyük bir gereksinim duydukları için küçük bireylerde bu durum maksimum derecede olacağından çinkoda meydana gelen küçük artışların, konsantrasyonda büyük artışlara neden olduğu belirtilmiştir (Bryan ve Gibbs 1980). Benzer şekilde, *H. diversicolor*'daki Zn konsantrasyonlarının bireyin boyutu ile ilişkili olduğu ancak bu ilişkinin, hızlı büyüme evresinde en yüksek seviyeye çıktığı ve bu periyotta ortaya çıkan Zn konsantrasyonunun, bireyin çeneleri için bu metale gereksinim duyması ile açıklanabileceği vurgulanmıştır (Howard ve Brown 1983). Ağır metallerin ortamdaki 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 diğ. 1999). Bu nedenle çeşitli araştırmalarda tespit edilen bulguları karşılaştırırken, popülasyonların metal etkilerine maruz kalmaları, aynı tür için bile çok farklı olabilmektedir. İngiltere'nin Fal Halicinde yapılan araştırmada, çeşitli poliket türleriyle çalışılmıştır. *H. diversicolor*'a ait Cr konsantrasyonu $0.05-0.80 \mu\text{g g}^{-1}$ y.a. olarak bildirilmiştir (Bryan ve Gibbs 1983). Bu değerler, bu çalışmada saptanan Cr konsantrasyonundan düşüktür. Bu tür ile ilgili olarak İngiltere'nin Medway halici bölgesinde yapılan araştırmada, Cu konsantrasyonu $1.6-5.1 \mu\text{g g}^{-1}$ y.a. (Wharfe ve Van Den Broek 1977) olarak bildirilmiş olup bu çalışmada tespit edilen bakır konsantrasyonuna ($1.54-10.1 \mu\text{g g}^{-1}$ y.a.) benzer düzeydedir. Aynı araştırmada *H. diversicolor*'a ait Pb konsantrasyonu, $0.1-4.8 \mu\text{g g}^{-1}$ y.a. tır (Wharfe ve Van Den Broek 1977), yine İngiltere'nin Fal Halicinde yapılan diğer bir araştırmada $0.8-9.8 \mu\text{g g}^{-1}$ y.a. tespit edilmiştir (Bryan ve Gibbs 1983). Díez ve diğ. (2000) tarafından İspanya'nın Biscay kıyısında Urdaibai Halicinde yapılmış araştırmada ise bu türün Pb konsantrasyonu $0-10 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a. olarak bildirilmiştir. Buna göre, bu araştırmada saptanan değerler

daha yüksek bulunmuştur. Bu çalışmada *H. diversicolor* bireyleri ile sedimentteki Cd konsantrasyonları arasında istatistiki açıdan önemli ancak zayıf bir korelasyon saptanmıştır ($r=0.43$; $p<0.05$). Denizel poliketlerden *H. diversicolor*'un, dokularında bulunan Cd konsantrasyonları sedimentlerdeki konsantrasyonlarla ilişkilidir ancak sedimentteki seviyeleri hiçbir zaman aşmaz (Bryan ve Hummerstone 1973) ve bu türde Cd akümülyasyonunu kontrol eden en önemli faktörün, bu metallerin yüzey sedimentindeki konsantrasyonları olduğu bildirilmiştir (Luoma ve Bryan 1982). *H. diversicolor* bireyleri ile sediment örneklerindeki Cr ($r = 0.10$; $p<0.05$) ve Pb ($r = 0.12$; $p<0.05$) konsantrasyonları arasında istatistiki açıdan önemli bir korelasyon bulunmamıştır. Sedimentlerde ve *H. diversicolor*'da bulunan Cr ve Pb arasında bir ilişki göstermemesi, *H. diversicolor*'un sedimentte bulunan partiküllere bağlı kirleticilere karşı, kendisini yoğun konsantrasyonlu mukuslu yuvası ile aktif olarak koruduğu (Saiz-Salinas ve Frances-Zubillaga 1997) belirtilmiş olup bu araştırma bunu doğrular nitelik taşımaktadır. *H. diversicolor* bireyleri ile sedimentteki Zn konsantrasyonları arasındaki korelasyonun negatif yönlü olduğu saptanmıştır ancak istatistiksel açıdan önemli değildir ($r = -0.22$ $p<0.05$). Sediment yoğun bir şekilde metale zengin olsa bile, *H. diversicolor* bireylerindeki çinko konsantrasyonları ile sedimentteki çinko zenginleşmesi karşılaştırıldığında az bir artış göstermektedir (Berthet ve diğ. 2003). Poliketler dokularında bulunan bazı iz metalleri, özellikle de çinko konsantrasyonlarını düzenlemektedir (Bryan ve Hummerstone 1973). Bu çalışmada, *H. diversicolor*'da belirlenen Fe konsantrasyonları ile bu türlerin içinde yaşadığı sedimentte birikim gösteren Fe konsantrasyonu arasında istatistiksel açıdan önemli bir korelasyon bulunmamıştır ($r = -0.03$ $p<0.05$). Benzer biçimde, Howard and Brown (1983) iki yıllık süre boyunca, Tees Halici'nden (İngiltere) elde edilmiş olan *H. diversicolor* bireylerinde ve 25 cm derinlikten aldıkları sediment örneklerinde, çeşitli ağır metallerin doğal varyasyonlarını incelemişler ve *H. diversicolor*'daki Fe'in, çalışma süresi boyunca sedimentteki metal konsantrasyonları ile istatistiksel bir ilişki göstermediği tespit edilmiştir. Bu türün dokularındaki Fe konsantrasyonlarının, bireyin büyüklüğünden, cinsel olgunluğundan ve metalin sediment konsantrasyonlarından bağımsız görüldüğünü belirtmişlerdir. Buna ek olarak, yüksek seviyede ağır metal kirliliğine sahip Ria de Bilbao'dan ve düşük metal kontaminasyonuna sahip Ris de Plencia'dan toplanan *H. diversicolor* bireylerinde Fe seviyelerinin düzenlendiği ve ortamdaki varyasyonları yansıtmadığı belirtilmiştir (Saiz-Salinas ve Frances-Zubillaga 1997). Başka bir araştırmada, Fal Halici (İngiltere) sedimentlerinde demir konsantrasyonu diğer metallerden daha yüksek oranlarda bulunmasına rağmen, koydan alınan *H. diversicolor* bireylerinde Fe konsantrasyon miktarının normal oranda bulunduğu, ve bunun, poliketin yumuşak dokuları içinde Fe konsantrasyonlarını düzenleyebilme kabiliyetinden ileri geldiği rapor edilmiştir (Bryan ve Gibbs 1983). Bu

çalışmada kullanılan *H. diversicolor* yaşadıkları bölgelerde balıklardan kuşlara kadar çok çeşitli organizma türünün besin maddesini oluşturmakla birlikte, özellikle balıkların bu poliket türlerini tercih etmeleri sebebiyle olta balıkçılığında yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Ağır metallerle karşı yüksek toleransı olduğu bilinen bu türlerin, vücutlarında yüksek konsantrasyonlarda metallerin akümüle edilmesinden dolayı, bu canlıyla beslenen diğer sucul organizmalarda problem yaratabileceği sonucuna varılmıştır. Benzer bir sonuç, İngiltere'nin Restronguet Koyu'nda yapılan bir çalışmada da saptanmıştır. Bu bölgede yaşayan kuşların bazı omurgasızlarla beslenmesi ve bu organizmalara ayrıca kontamine olmuş sedimentin yapışması ile yüksek seviyelerde Cu ve bazen de Zn ve As almalarına sebep olabileceği ve bu organizmaların akümüle ettikleri seviyelerin, sadece ortamdaki metal konsantrasyonuna bağlı olmadığı, aynı zamanda türlerin metabolizma farklılıklarından etkilendiği bildirilmiştir (Bryan ve Gibbs 1983). Sediment örneklerinde tespit edilen metal konsantrasyonları arasındaki sıralama $Cd < Pb < Cu < Cr < Zn < Fe$ şeklindedir. Bu çalışmada saptanan Cd, Cr, Zn, Fe konsantrasyonları bu bölgede daha önceki yıllarda yapılan araştırmalarda belirlenen değerlere paralellik göstermektedir. Ancak, maksimum Cu konsantrasyonu Yaramaz ve diğ. (1992), Egemen ve diğ. (1998) ve Sunlu (2002)'ya ait çalışmalarda sunulan maksimum değerlerle karşılaştırıldığında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunu, Gediz Deltası'nda yoğun biçimde yürütülen tarımsal aktivitelerden dolayı Gediz Nehri'yle taşınan pestisit kaynaklı bakır birikiminin neden olduğu şeklinde yorumlamak mümkündür. Cr konsantrasyonu ise Gediz Nehri sedimentinde Akçay ve diğ. (2003) ile Homa Dalyanı açıklarında Semalar (2000) tarafından yapılan araştırmada belirlenen değerleri kapsamaktadır. Bilindiği gibi deri ve tekstil sanayinde, özellikle de deri tabaklanması sırasında yoğun biçimde Cr kullanılmaktadır. Gediz Havzası'nda yer alan deri işletmelerinin çokluğu ve bunların atık sularını arıtma tesisi olmadan kanala deşarj etmeleri nedeniyle bölgede ağır metal sonuçlarında yoğunluk görülmektedir (Yavaş, 2001). Bu çalışmada sedimentte tespit edilen ağır metal konsantrasyonlarının değerlendirilmesi için, ağır metaller de dahil olmak üzere potansiyel olarak toksik birçok madde için geliştirilmiş olan sediment kalite kılavuzu (SQG) (MacDonald ve diğ., 1996; Long ve MacDonald, 1998) kullanılmıştır. Bu değerler bölgesel olarak düşünülüp, düzenleyici kurallar olarak kullanılmak için tasarlanmamış olsalar da kontamine olmuş sedimentlerin potansiyel toksisitesini belirlemek ve sedimentleri "referans" veya "bozulmuş" olarak sınıflandırmak için faydalı olabilmektedir (Miller ve diğ., 2000). Burada, sedimentlerdeki metal konsantrasyonlarının toksikolojik düzeylerinin değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş olan iki grup, düşük etki seviyesi (LEL) ve yüksek etki seviyesi (SEL) (Persaud ve diğ., 1993) kullanılmıştır. Buna göre sedimentte tespit edilen maksimum değerlere göre Pb ve Zn miktarları, (LEL) düşük etki seviyelerinin altında tespit edilmiştir (Tablo

2). Cd, Cr, Cu ve Fe maksimum değerleri ise düşük etki seviyesi (LEL) üzerinde bulunan metallerdir. Bu metaller içinde Cr ise $90 \mu\text{g g}^{-1}$ k.a maksimum değeri ile yüksek etki seviyesi (SEL) sınırına yaklaşmış tek metaldir (Tablo 2) ve bölgedeki endüstriyel aktivitelerden kaynaklanan atık yoğunluğunu ifade etmektedir.

Tablo 2. Denizel sediment kalitesi klavuzuna göre referans değerleri ile maksimum değerlerin karşılaştırılması ($\mu\text{g g}^{-1}$ k.a.).

Denizel Sediment ($\mu\text{g g}^{-1}$ k.a.)	Ağır Metaller					
	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe
OMEE LEL*	0.6	26	16	31	120	20000
SEL*	10	110	110	250	180	40000
Bu Çalışma Maks.	1.16	90.00	51.30	19.10	95.50	28700

* Referans değerleri (Persaud ve diğ. 1993).

Zaman zaman kitle halinde balık ölümlerinin gözleendiği Gediz Nehri, İzmir Körfezi'nde yoğun kirliliğe neden olan başlıca kaynaklardan birisidir. Gediz Nehri Deltası'nda yüksek konsantrasyonlar, özellikle Cr için ölçülmüştür (Anonim, 2005).

Sonuç olarak, tüm bu kirlilik yüklerinin etkisi altında kalan İzmir Körfezi'nde yer alan Homa Dalyanı'nda yürütülen bu çalışmada, *H. diversicolor* ile bunların yaşadığı sediment arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmıştır. *H. diversicolor*'un akümüle ettiği ağır metal miktarları ile sedimentte birikim gösteren ağır metal düzeyleri arasındaki korelasyonun incelenmesi sonucunda, zayıf olmakla birlikte bakır ve kadmiyum için pozitif yönlü korelasyonların tespit edilmesi ilgi çekicidir ve biyolojik indikatör fikrini akla getirmektedir. Ancak böylesi bir yargıya varabilmek için bu konuda daha ayrıntılı çalışmaların devamı gerekmektedir. Ülkemizde *H. diversicolor* dokularındaki metal konsantrasyonlarında meydana gelen doğal varyasyonların incelendiği başka bir araştırmanın mevcut olmaması nedeniyle bu çalışma bir ilk olması açısından önem arz etmektedir. Canlıların çeşitli gelişim evrelerinde ve zamana bağlı olarak, ağır metal birikim düzeylerinde farklılık olabileceği varsayılarak, bundan sonra yapılacak çalışmalarda, üreme periyotları, erkek ve dişi bireyler dikkate alınarak incelenmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma, Ege Üniversitesi 2002/SÜF/05 No'lu Bilimsel Araştırma Projesi tarafından desteklenmiştir. Ağır metal örneklerinin ICP-OES ile ölçülmesini sağlayan Prof. Dr. Meral ERAL'e ve ölçümleri yapan Uzm. Şenol SERT'e teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Akçay H., A. Oğuz, C. Karapıra. 2003. Study of heavy metal pollution and speciation in Büyük Menderes and Gediz River sediments. Water Research 37, 813-822.
- Anonim, 2005. Monitoring project of wasterwaters of Great Channel in Izmir Bay. Final Report of 2004, (in Turkish). Dokuz Eylül University, Institute of Marine Sciences and Technology.
- Arnoux A., L.P. Nienchewski, Et J. Tatossian. 1981. Comparision de quelques methodes d'attaque des sediments marins pour l'analyse des metaux lourds. Journal Français d'hydrologie, 12 (1): 34, 29-48.

- Bernhard M. 1976. Manual of methods in aquatic environment research. FAO Fisheries Technical Paper, no: 158 FIRI/T 158 Rome: 1-123.
- Berthelot B., C. Mouneyrac, J.C. Amiard, C. Amiard-Triquet, Y. Berthelot, A. Le Hen, O. Mastain, P.S. Rainbow, B.D. Smith. 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 G.W., P.E. Gibbs. 1980. Metals in nereid polychaete: The contribution of metals in the jaws to the total body burden. J. Mar. Biol. Ass. UK 60, 641-654.
- Bryan G.W., P.E. Gibbs. 1983. Heavy metals in The Fal Estuary, Cornwall: a study of long-term contamination by mining waste and its effects on estuarine organisms. J. Mar Biol. Ass. UK Ser. 2, 1-112.
- Bryan G.W., L.G. Hummerstone. 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. UK 51, 845-863.
- Bryan G.W., L.G. Hummerstone. 1973. Adaptation of the polychaete *Nereis diversicolor* to estuarine sediments containing high concentrations of zinc and cadmium. J. Mar. Biol. Ass. UK 53, 839-857.
- Diez G., M. Soto, L. Canton, M.C. Vaquero, I. Marigomez. 2000. *Hediste (Nereis) diversicolor* as bioindicator of metal and organic chemical bioavailability: A field study. Ecotoxicology and Environmental Restoration (3)1:1-15.
- Egemen Ö., U. Sunlu, A. Kaymakçı. 1998. Heavy metal concentrations in some mollusc and in surficial sediments from Izmir Bay/ Turkey, Rapp.Comm. int. Mer Médit. 35, 250.
- Howard L.S., B.E. Brown. 1983. Natural variations in tissue concentrations of copper, zinc and iron in the polychaete *Nereis diversicolor*. Marine Biology 78, 87-97.
- Long, E.R., D.D. Macdonald. 1998. Recommended uses of empirically derived, sediment quality guidelines for marine and estuarine ecosystems. Human and Ecological Risk Assessment 4 (5): 1019-1039.
- Luoma S.N., G.W. Bryan .1982. A statistical study of environmental factors controlling concentrations of heavy metals in the burrowing bivalve *Scrobicularia plana* and the polychaete *Nereis diversicolor*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 15, 95-108.
- Macdonald, D.D., R.S. Carr, F.D. Calder, E.R. Long, C.G. Ingersoll. 1996. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. Ecotoxicology 5, 253-278.
- Miller, B.S., D.J. Pirie, C.J. Redshaw. 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., O. Mastain, C.J. C. Amiard, Amiard-Triquet, P. Beaulier, A.Y. Jeantet, B.D. Smith, P.S. Rainbow. 2003. Trace-metal detoxification and tolerance of the estuarine worm *Hediste diversicolor* chronically exposed in their environment. Marine Biology 143, 731-744.
- Parker D.M., M.P. Ireland, R.J. Wootton. 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.
- Persaud, D, R. Jaagumagi, A. Hayton. 1993. Guidelines for the Protection and Management of Aquatic Sediment Quality in Ontario, Ontario Ministry of the Environment (OMEE), Water Resources, Branch, Toronto.
- Rainbow P.S. 1997. Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry? J. Mar. Biol. Ass. U.K., 77, 195-210.
- Reish D.J., J.A. Lemay. 1991. Toxicity and bioconcentration of metals and organic compounds by polychaeta. Ophelia, Suppl. 5, 653-660.
- Saiz-Salinas J.I., G. Frances-Zubillaga. 1997. *Nereis diversicolor*: An unreliable biomonitor of metal contamination in the "Ría de Bilbao" (Spain), Marine Ecology 18 (2): 113-125.
- Semalar A. 2000. Heavy metals content of sediment of Gediz Delta's wet-land (in Turkish). Ege University Institute of Natural and Applied Sciences , Masters thesis.
- Sunlu U. 2002. Comparison of heavy metal levels in native and cultured mussel *Mytilus galloprovincialis* (L., 1758) from the Bay of Izmir (Aegean Sea / Turkey). C.I.E.S.M. Workshop Series., Marseilles, 101-103.
- Volpi Ghirardini A., L. Cavallini, E. Delaney, D. Tagliapietra, P.F. Ghetti, C. Bettiol, E. Argese. 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, 71, 457-474.
- Wharfe, J.R., V.L.F. Van Den Broek. 1977. Heavy metals in macroinvertebrates and fish from The Lower Medway Estuary, Kent, Mar. Pollut. Bull. 8, 31-34.
- Yaramaz Ö, H. Mordoğan, U. Sunlu, M. Önen. 1992. A comparative on some heavy metal concentrations (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr) in the sediments from Homa (Izmir) and Karine (Aydın- Türkiye) Fisheries Lagoons. Rapp. Comm. Int. Mer Médit. 33, 87.
- 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.