

Ege Denizi Kıyılarında Görülen Kahverengi Alg *Cystoseira* sp.'de Ağır Metal Birikimi

*İdil Akçalı, Filiz Küçüksezgin

Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri Enstitüsü, Bakü Bul. No:100, İnciraltı, Türkiye
*E mail: idilozs@gmail.com

Abstract: *Bioaccumulation of heavy metals by the brown alga Cystoseira sp. along the Aegean Sea.* Brown algae *Cystoseira* sp. and to gain additional information on the environmental conditions of the area, seawater samples were collected from six sampling stations along the Aegean coast. Concentrations of Cd, Pb, Cu, Zn, Mn and Fe were measured for both algae and seawater samples. The relative abundance of metals in *Cystoseira* sp. increase in the order Pb<Cd<Cu<Zn<Mn<Fe, whereas in the seawater the order was Pb<Cd<Cu<Mn<Zn<Fe. The heavy metal concentrations detected in algae showed significant differences among all studied stations. The data obtained from this study were also compared with those obtained from previous studies. Metal concentrations recorded at the sampling stations may be used for background levels for interspecific comparison within the Aegean area.

Key Words: Marine algae, *Cystoseira* sp., bioaccumulation, heavy metals, Aegean Sea.

Özet: Bu çalışmada, Ege Denizi kıyılarında saptanan altı örnekleme noktasında kahverengi alglerden *Cystoseira* sp. ve çevre koşulları ile ilgili daha fazla bilgi edinmek amacıyla denizsuyu örnekleri de toplanmıştır. Toplanan örneklerde Cd, Pb, Cu, Zn, Mn ve Fe konsantrasyonları ölçülmüştür. Ağır metal konsantrasyon sıralaması *Cystoseira* sp. için Pb<Cd<Cu<Zn<Mn<Fe iken bu sıralama deniz suyu örneklerinde Pb<Cd<Cu<Mn<Zn<Fe şeklindedir. *Cystoseira* sp. için ölçülen metal konsantrasyonları tüm istasyonlarda belirgin farklılıklar göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada ölçülen ağır metal değerleri Ege Denizi kıyılarında yapılacak diğer çalışmalarda referans değerlerini oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Denizel alg, *Cystoseira* sp., akümülyasyon, ağır metal, Ege Denizi.

Giriş

Sanayi devrimi ile başlayan çevre kirliliği, sanayinin gelişmesine bağlı olarak kimyasal ürünlerin çoğalması ile artış göstermiştir. Buna ek olarak, denize kıyısı olan yerleşimlerin nüfuslarındaki artış, turizm ve tarımsal aktiviteler ise diğer kirlilik kaynaklarıdır.

Çevrenin korunması ile ilgili gerekli önlemler alınmadan oluşturulan kalkınma programları sonucu sanayi atıkları, tarımsal gübre ve ilaçlar, toksik atıkların boşaltılması doğal kaynaklarda kirliliğe neden olmuştur. Bu doğal kaynakların başında gelen sucul kaynaklar ve dolayısıyla denizler bu hızlı kirlenmeden fazlasıyla etkilenmektedir.

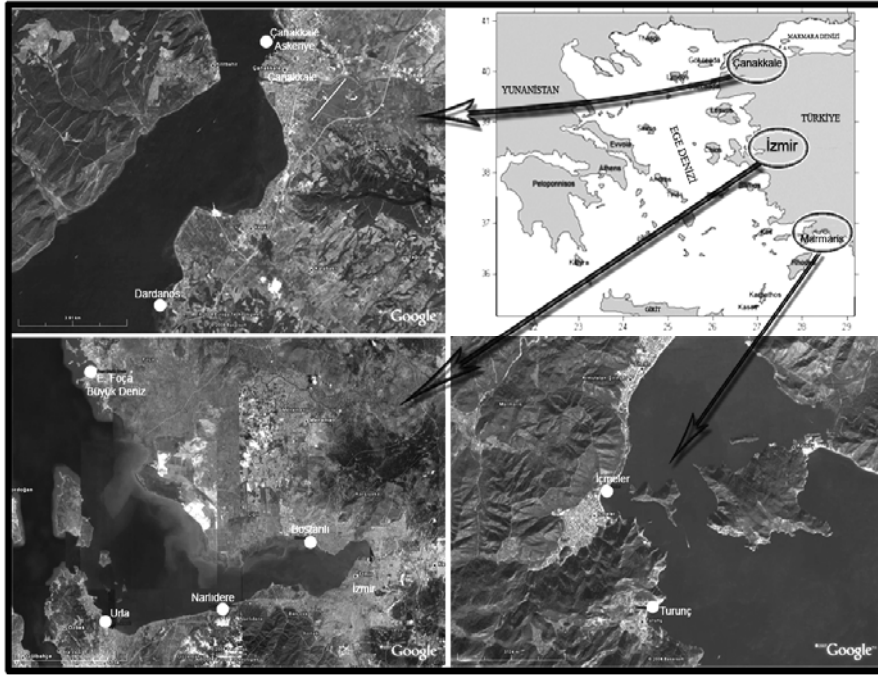
Doğrudan veya dolaylı yollarla denize ulaşan atıklardan biri de insan sağlığı açısından da tehlikeli sayılan ağır metallerdir. Bu nedenle, deniz kirliliği çalışmalarında ağır metal analizleri önemli bir yer tutar. Denizel ortama giren ağır metal miktarlarının tespiti çevre kalitesinin izlenmesi açısından gereklidir.

Günümüzde, denize kıyısı olan ülkeler bu konuyla ilgili izleme çalışmalarına ağırlık vermektedir. Biyolojik izleme için uygun türlerin tayini için çalışmalar ve uygun olduğu belirlenen türlerin kullanıldığı biyolojik izleme programları başlatılmaktadır. Biyolojik izleme çalışmalarında kullanılan biyo-izleyicilerden biri de makroalglerdir. Makroalg türlerinin biyo-izleyici olarak kullanıma nedenleri, özellikle ve sadece

çözünmüş metal kaynaklarına tepki vermeleri, metal bağlama kapasitelerinin yüksek oluşu, buldukları bölgedeki metal konsantrasyonunu oldukça iyi tanımlamaları ve dünyada yaygın türlerinin bulunmasıdır (Rainbow 1995, Rainbow ve Phillips 1993, Conti ve Cecchetti 2003).

Ülkemiz denizlerinin kirlilik seviyelerinde insan aktiviteleri ve sanayileşme sonucu artış görülmektedir. Kirlilik seviyelerinin kontrol edilmesi biyolojik izleme çalışmalarıyla gerçekleştirilebilir. Birçok çalışma metal kirliliğinin biyolojik olarak izlenmesinde alg türlerinin kullanılmasını desteklemektedir (Villares ve diğ. 2002, Rainbow 1995, Rainbow ve Phillips 1993, Ostapczuk ve diğ. 1997).

Akdeniz ekosistemi yoğun bir evsel ve endüstriyel kirlenmenin etkisi altında bulunmaktadır. Bu ekosistemin bir alt bölgesini oluşturan Ege Denizi'nde çeşitli kirlenmelerin boşaltılması nedeniyle aynı ölçüde kirlenmektedir. Türkiye kıyılarında yedisi akarsu ağızı, altısı irili ufaklı evsel, endüstriyel ve turistik yerleşim bölgesi olmak üzere toplam 15 noktadan Ege Denizi'ne atık su boşaltımı yapılmaktadır. Ege Denizi'ne doğrudan veya nehirler vasıtasıyla boşaltılan atıklar deniz ortamında organik madde, besin elementi, deterjan, ağır metal, pestisid ve askı yük miktarının artmasında etkili olmaktadır.



Şekil 1. Ege Denizi kıyılarında bulunan çalışma istasyonları.

Yapılan çalışmada Ege Denizi kıyılarında saptanan örnekleme noktalarından toplanan *Cystoseira* türleri ve su örneklerindeki ağır metal seviyeleri ölçülmüştür. Denizel kahverengi algler buldukları ortamdaki metalleri bağlama ve biriktirme kapasiteleri yüksek türlerdir ve fizyolojik olarak iz element oranındaki yükselmeyi regüle edemediklerinden dolayı çevrelerindeki kirletici elementlerin iyi birer indikatörüdürler (Davis ve diğ. 2003, Ostapczuk ve diğ. 1997, Krishnani ve Ayyappan 2006). Hem türün bu özelliklerinden dolayı hem de Ege Denizi kıyıları boyunca yayılım göstermeleri nedeniyle bu çalışmada *Cystoseira* genusuna ait makroalg türleri tercih edilmiştir. Çanakkale ve İzmir bölgesindeki istasyonlardan *Cystoseira barbata* (Stackhouse) C. Agard, Marmaris bölgesindeki İçmeler istasyonundan *Cystoseira elegans* Sauvageau, Turunç istasyonundan ise *Cystoseira crinita* Duby türleri toplanmıştır. Bu çalışma sırasında yapılan ağır metal analizlerinden elde edilen veriler ileride uygulanabilecek bir biyolojik izleme programı için referans oluşturacaktır. Abiotik faktörler (tuzluluk ve sıcaklık) metal konsantrasyonlarının değişimini etkilemektedir (Vasconcelos ve Leal 2001, Villares ve diğ. 2002). Bu nedenle, örnekleme bölgelerinde sonuçları daha hassas değerlendirmek amacıyla temel oşinografik parametreler de ölçülmüştür.

Materyal ve Yöntem

Bu biyolojik izleme çalışmasında karşılaştırma yapmak amacıyla hem denizel makroalg hem de su örnekleri alınmıştır. Çalışmada kuzey, orta ve güney Ege Denizi olmak üzere üç bölgede seçilen altı istasyonda 2006 yılının Nisan ayında örnekleme yapılmıştır. Örnekleme noktalarının

konumları Şekil 1'de verilmiştir. Örnekleme noktalarında çözülmüş oksijen (DO), pH, sıcaklık ve tuzluluk gibi fiziksel parametrelerin ölçümü WTW pH/Cond 304i/Set Model taşınabilir sistem ve Winkler metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Makroalg örnekleri sublittoral zonda (0,5-3 m) elle toplanmıştır. Toplanan örnekler istasyondaki deniz suyuyla yıkandıktan sonra deniz suyu ile doldurulmuş plastik torbalarda laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvarda musluk suyu ve distile su ile atık ve epifitlerden temizlenen alg örnekleri etüvde kurutulduktan sonra öğütülmüş ve hava almayan torbalarda oda sıcaklığında saklanmıştır. Alg örneklerin her birinden üç alt örnek alınmış (yaklaşık 1 g kuru ağırlık) ve HNO₃-HF-HClO₄-HCl asit karışımı konularak Milestone (1200) kapalı sistem mikrodalga çözünürleştirme sisteminde çözülmüştür. Çözünme işleminin ardından örnekler iki kere distile su ilave edilerek istenen hacime tamamlanıp örnek şişelerine alınmıştır. Analitik yöntemi kontrol amacıyla IAEA Monaco Deniz Laboratuvarından sağlanan IAEA-140 alg referans maddesi kullanılmıştır. Bulunan sonuçlar: Cd (gerçek değer: 0.54 ± 0.037; ölçülen değer: 0.057 ± 0.049), Pb (gd: 2.19 ± 0.28; öd: 2.27 ± 0.39), Cu (gd: 5.05 ± 0.28; öd: 5.73 ± 0.25), Zn(gd: 47.3 ± 2.0; öd: 47.4 ± 0.40), Mn (gd: 316±16; öd:317±1,7), ve Fe (gd: 1256 ± 35; öd:1233 ± 31).

Su örnekleri önceden temizlenmiş polietilen şişelerde koruyucu olarak 1 N HNO₃ ilave edilerek laboratuvara getirilmiştir. Su örnekleri pH ayarı yapıldıktan sonra içine metalleri tutan özel reçine, Chelex-100, konularak karıştırılır (Dornfner 1972, Khym 1974). Daha sonra metali tutan reçine %10'luk nitrik asit ile elue edilerek uygun hacime tamamlanmıştır.

Tüm ölçümler Varian SpectrAA 300 Plus Atomik Absorbsiyon Spektrometre'(AAS)de alev ve grafit fırın kullanılarak yapılmıştır (UNEP 1982, UNEP 1985). Ağır metaller için AAS'de saptama limitleri; Cd: 0.10 µg l⁻¹, Pb: 0.10 µg l⁻¹, Cu: 0.03 mg l⁻¹, Zn: 0.01 mg l⁻¹, Mn: 0.02 mg l⁻¹ ve Fe: 0.06 mg l⁻¹ dir.

Bulgular

Bu çalışmada, Çanakkale ve Marmaris bölgelerinde *Cystoseira* sp. yaygın olarak görülmüştür. İzmir bölgesinde ise körfezin iç kısımlarında kalan Bostanlı ve Narlıdere kıyılarında bu türe rastlanmamış, türün görüldüğü Foça ve Urla istasyonlarından örnekleme yapılmıştır.

Örnekleme istasyonlarında, alınan örneklerdeki metal konsantrasyonları ile muhtemel ilişkileri bulabilmek için sudaki fizikokimyasal özellikler saptanmıştır. İstasyonlarda ölçülen deniz suyu sıcaklık (12,8-18,6°C) ve tuzluluk (25,2-39,2 ppt) değerlerinde kuzeyden güneye doğru artış görülmüştür. Doymuş oksijen değerlerine bakılacak olursa en düşük değer (7,72 mg/l) deniz suyu sıcaklığının en yüksek olduğu istasyon olan Marmaris Turunç'ta ölçülmüştür. En yüksek değer (9,07 mg/l) ise Çanakkale'de bulunan şehir

istasyonunda tespit edilmiştir. pH değerlerinde (8,10-8,78) ise belirgin bir farklılık bulunmamaktadır.

Tüm istasyonlardan alınan *Cystoseira* sp. örneklerine ait ağır metal konsantrasyonlarının ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 1'de, deniz suyu örneklerine ait ağır metal konsantrasyonları Tablo 2'de verilmiştir. Metal düzeylerindeki sıralama *Cystoseira* sp. için Pb<Cd<Cu<Zn<Mn<Fe, deniz suyu için ise Pb<Cd<Cu<Mn<Zn<Fe şeklindedir. Deniz suyundaki Zn ve Mn değerlerinin ortalamaları arasındaki fark çok fazla değildir (sırasıyla 1,50 ve 1,31 µg l⁻¹). Deniz suyundaki metal miktarları alg örneklerindeki miktarlardan daha düşüktür (Tablo 1 ve Tablo 2).

Bölgelere göre istasyonlardan alınan alg örnekleri metal miktarları açısından değerlendirildiğinde; Çanakkale bölgesinde şehrin içindeki kıyı istasyonundan alınan örneklerdeki tüm metal değerlerinin şehrin dışında bulunan Dardanos yerleşkesi kıyılarından alınan örneklere oranla daha yüksek olduğu, İzmir bölgesinde en yüksek değerlerin, Cu ve Mn hariç, Urla istasyonunda ölçüldüğü, Marmaris bölgesinde Pb hariç tüm ağır metal seviyelerinin İçmeler istasyonunda daha yüksek olduğu görülmüştür. Deniz suyundaki ağır metal miktarlarına bakıldığında ise bölgelerdeki istasyonlar arasında belirgin bir ayırımdan söz etmek mümkün değildir.

Tablo 1. *Cystoseira* sp. örneklerindeki ağır metal konsantrasyonlarının istasyonlara göre ortalama±ss.değerleri (µg g⁻¹ kuru ağırlık, n=3).

Bölge/İstasyon	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe
Çanakkale/Şehir	0,057±0,001	0,0052±0,00	3,78±0,26	56,19±1,46	50,34±0,62	314,01±2,97
Çanakkale/Dardanos	0,037±0,001	0,0045±0,00	2,67±0,14	25,84±0,11	21,08±1,88	164,35±2,17
İzmir/Foça	0,0052±0,00	0,0032±0,00	3,78±0,26	10,81±0,29	17,93±0,35	97,62±3,01
İzmir/Urla	0,19±0,001	0,0083±0,00	2,25±0,17	27,17±0,83	8,43±0,15	212,14±1,85
Marmaris/Turunç	0,10±0,001	0,0028±0,00	4,95±0,28	35,64±0,58	59,27±1,27	398,16±1,41
Marmaris/İçmeler	0,17±0,002	0,0022±0,00	11,28±0,48	62,48±1,03	131,37±1,40	526,38±2,15

Tablo 2. Örnekleme istasyonlarından alınan deniz suyu örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları (µg l⁻¹)

Bölge/İstasyon	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe
Çanakkale/Şehir	0,33	0,19	0,76	3,27	2,44	7,15
Çanakkale/Dardanos	0,35	0,14	0,66	0,92	1,60	42,00
İzmir/Foça	0,38	0,95	0,90	1,60	1,17	5,76
İzmir/Urla	0,36	0,29	0,70	1,67	1,60	9,51
Marmaris/Turunç	0,42	0,19	1,00	0,83	0,50	2,17
Marmaris/İçmeler	0,45	0,16	1,08	0,68	0,53	2,76

Tablo 3. *Cystoseira* sp. için ölçülen farklı metal konsantrasyonları arasındaki Spearman korelasyon katsayıları.

	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe
Cd	1,000					
Pb	0,065	1,000				
Cu	0,026	-0,889	1,000			
Zn	0,593	-0,323	0,590	1,000		
Mn	0,135	-0,754	0,882	0,759	1,000	
Fe	0,626	-0,476	0,653	0,917	0,806	1,000

*Koyu olarak yazılan değerler istatistiksel olarak kuvvetli ilişki olduğunu göstermektedir (p<0,05)

Tablo 4. *Cystoseira* sp. ve deniz suyu için ölçülen farklı metal konsantrasyonları arasındaki korelasyon (Spearman rank-order correlation coefficient)

	Cd	Pb	Cu	Zn	Mn	Fe
<i>Cystoseira</i> sp. -deniz suyu	0,374	0,599	0,708	-0,149	-0,001	0,133

*Koyu olarak yazılan değerler istatistiksel olarak kuvvetli ilişki olduğunu göstermektedir (p<0,05)

Tablo 5. Tüm istasyonlarda *Cystoseira* sp. için One-way ANOVA sonuçları ($p < 0,05$).

	df	Istasyon F	P
<i>Cystoseira</i> sp.			
Cd	5	9314,99	0,00
Pb	5	203,140	0,00
Cu	5	401,302	0,00
Zn	5	1606,61	0,00
Mn	5	4853,55	0,00
Fe	5	13978,5	0,00

Cystoseira sp. için tüm istasyonlarda bulunan metal değerlerine bakıldığında Cd ve Pb hariç diğer tüm metallere en yüksek değerlerin Marmaris bölgesindeki istasyonlarda ölçüldüğü tespit edilmiştir. En yüksek Pb ($0,0083 \mu\text{g g}^{-1}$) ve Cd ($0,19 \mu\text{g g}^{-1}$) ölçümleri İzmir/Urla istasyonuna aittir. En düşük değerler ise Pb (Marmaris, $0,0022 \mu\text{g g}^{-1}$) hariç İzmir bölgesindeki istasyonlarda ölçülmüştür.

Deniz suyunda ölçülen metal miktarları ele alındığında ise en düşük Cd ($0,33 \mu\text{g l}^{-1}$), Pb ($0,14 \mu\text{g l}^{-1}$) ve Cu ($0,66 \mu\text{g l}^{-1}$) değerlerinin Çanakkale bölgesindeki istasyonlarda, Zn ($0,68 \mu\text{g l}^{-1}$), Mn ($0,50 \mu\text{g l}^{-1}$) ve Fe ($2,17 \mu\text{g l}^{-1}$) değerlerinin ise Marmaris bölgesindeki istasyonlarda ölçüldüğü görülmüştür. Zn, Mn ve Fe için ise en yüksek değerler Çanakkale'de bulunan istasyonlarda görülmüştür.

Cystoseira sp. için ölçülen metal konsantrasyonlarının Spearman korelasyon katsayıları Cd-Zn, Cd-Fe, Cu-Zn, Cu-Mn, Cu-Fe, Zn-Mn, Zn-Fe ve Mn-Fe arasında pozitif, Pb ile Cu, Pb ile Fe ve Mn ile Fe arasında ise negatif bir korelasyon olduğunu işaret etmektedir ($p < 0,05$) (Tablo 3). Deniz suyu değerlerine bakıldığında ise Cd-Cu, Pb-Cu, Pb-Zn, Pb-Mn, Zn-Mn, Zn-Fe ve Mn-Fe arasında pozitif korelasyon görülmektedir ($p < 0,05$). *Cystoseira* sp.'de ölçülen Pb ve Cu konsantrasyonları deniz suyunda ölçülen değerlerle pozitif korelasyon göstermektedir ($p < 0,05$) (Tablo 4). Algde ölçülen ağır metal seviyelerine bakıldığında istasyonlar arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir (Tablo 5).

Tartışma ve Sonuç

Makroalgde ağır metal konsantrasyonları örnekleme alanlarının jeolojik özelliklerine, mevsimlere, algin morfolojik özelliklerine, algin yaşına, fizikokimyasal parametrelere ve diğer ağır metallerle etkileşimlerine bağlı olabilmektedir (Sawidis ve diğ. 2001). Algin bu özelliğinden dolayı, farklı bölgelerdeki kirlilik düzeylerinin karşılaştırılması için yapılan çalışmalarda kullanılacak alg türünün eş zamanlı toplanması ve benzer yaşlarda olması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada incelenen *Cystoseira* türlerinde ağır metal konsantrasyonlarının sıralanışı $\text{Pb} < \text{Cd} < \text{Cu} < \text{Zn} < \text{Mn} < \text{Fe}$ olarak tespit edilmiştir. Malea ve Haritonidis (1999), alg hücrelerinde hücre metabolizması için gerekli olan Fe ve Zn konsantrasyonlarının diğer metallere göre yüksek miktarlarda bulunduğunu, buna karşın toksik metaller olan Cd, Cu ve Pb miktarlarının düşük olduğunu belirtmişlerdir. Storelli ve diğ. (2001), Fe konsantrasyonlarının yüksek olmasının nedeninin yalnız algin normal büyümesi için demire olan ihtiyaçlarından

kaynaklanmadığını, aynı zamanda endüstriyel kaynaklı kirlleticileri biriktirebilme yeteneklerinden ileri gelebileceğini vurgulamaktadır. Yapılan çalışmada en yüksek demir konsantrasyonu $526,38 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Topcuoğlu ve diğ. (2003), Karadeniz kıyılarında yaptıkları çalışmada *Cystoseira barbata*'da Fe miktarı $436 \mu\text{g g}^{-1}$, Marmara Denizi'nin kuzeyinde yapılan başka bir çalışmada aynı türe ait Fe konsantrasyonu $1151 \mu\text{g g}^{-1}$ (Topcuoğlu ve diğ. 2004), Akdeniz'de İskenderun Körfezi'nde yapılan bir çalışmada ise *Cystoseira corniculata*'da Fe konsantrasyonu $468,75 \mu\text{g g}^{-1}$ (Olgunoğlu ve Polat 2007) olarak ölçülmüştür. Bu çalışmalarla karşılaştırıldığında bulunan Fe miktarı Karadeniz ve Akdeniz'e göre yüksek, Marmara Denizi'ne göre ise düşüktür.

Demirden sonra *Cystoseira* sp.'de en yüksek ortalama metal konsantrasyonu Mn için ölçülmüştür. Deniz suyunda en düşük seviyede mangan Marmaris bölgesindeki istasyonlarda ölçülmesine karşın, algdeki en yüksek seviyeler yine bu bölgede ölçülmüştür. Bu durum, algin bu metali oldukça yüksek seviyede akümüle edebildiğini göstermektedir. Ostapczuk ve diğ. (1997), Kuzey Denizi ve Baltık Denizi'nde başka bir kahvarengi alg türü olan *Fucus vesiculosus* ve bivalvia grubundan *Mytilus edulis* ile yaptıkları çalışmada algin Mn'i midyeye oranla on kattan daha yüksek seviyede akümüle edebildiğini belirtmektedir. Ege Denizi'nin Yunanistan kıyılarında yapılan bir çalışmada *Cystoseira barbata* için Mn seviyeleri $5,6-181,3 \mu\text{g g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür (Sawidis ve diğ. 2001). Bizim kıyılarımızda ise bu değerler 8,43 ile $131,37 \mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişmektedir.

Ortalama konsantrasyonlara bakıldığında algde mangandan sonraki yüksek konsantrasyonlar sırasıyla Zn ve Cu'da tespit edilmiştir. Genel olarak alg Zn ve Cu'ı doğrudan deniz suyundan akümüle eder (Ho 1988). Bentik makrofitterde Zn için $100 \mu\text{g g}^{-1}$ 'i aşmayan seviyeler Storelli ve diğ. (2001) tarafından kirlenmemiş bölgeler için geçerli seviyeler olarak belirlenmiş, daha yüksek konsantrasyonların antropojenik kirlenmeyi gösterdiğine işaret edilmiştir. Bu çalışmada ölçülen en yüksek değer olan $62,48 \mu\text{g g}^{-1}$ kirlilik seviyesinin altında kalmaktadır. Literatürde kirliliğin bölgelerdeki alg türlerinde $200-300 \mu\text{g g}^{-1}$ arasında değişen Cu değerleri verilmiştir (Storelli ve diğ. 2001). İzmir Körfezi'nde 1986 yılında yapılan bir çalışmada Zn değerlerinin $18-46 \mu\text{g g}^{-1}$, Cu değerlerinin ise $3-26 \mu\text{g g}^{-1}$ arasında değiştiği bildirilmektedir (Yüksel ve diğ. 1988). Hem 1986 yılındaki hem de yapılan çalışmadaki değerler, kirliliğin bölgeler için belirtilen seviyelerin oldukça altındadır. Dolayısıyla, ölçülen değerler Ege Denizi kıyılarında inceleme yapılan bölgelerde Zn ve Cu kaynaklı kirliliğin oldukça düşük olduğunu göstermektedir.

Yapılan çalışmada hem algde hem de deniz suyunda en yüksek Pb konsantrasyonları ise İzmir bölgesindeki istasyonlarda ölçülmüştür. Bunun muhtemel nedenleri olarak İzmir Körfezi içinde bulunan İzmir limanındaki yoğun gemi trafiği, arıtma suyunun körfeze verilmesi ve Gediz Nehri'nin etkileri gösterilebilir. Diğer çalışmalarda, *Cystoseira* türleri için Ege Denizi'nde 0,02-2,5 µg g⁻¹ arasında (Sawidis ve diğ. 2001), İskenderun Körfezi'nde 3,13-12,50 µg g⁻¹ arasında (Olgunoğlu ve Polat 2007) ve Karadeniz'de 3,7 µg g⁻¹ (Topcuoğlu ve diğ. 2004) olarak bulunan değerlere bakıldığında ise bu çalışmada ölçülen Pb değerlerinin oldukça düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Cd konsantrasyonları açısından algde en yüksek değer İzmir/Urla'da, deniz suyunda ise en yüksek değerler Marmaris bölgesindeki istasyonlarda ölçülmüştür. Bununla birlikte Marmaris bölgesindeki istasyonlarda, İzmir/Urla istasyonu hariç, algde Cd birikimi de diğer istasyonlardan çok daha yüksektir. Bu çalışmada algde gözlemlenen Cd değerleri genel olarak daha önce yapılmış çalışmalarda rapor edilen değerlere oranla daha düşüktür (Sawidis ve diğ. 2001, Olgunoğlu ve Polat 2007, Cirik ve diğ. 1988).

Deniz suyunda da, alg de olduğu gibi en yüksek konsantrasyonun Fe için ölçüldüğü ve ağır metal konsantrasyonlarındaki sıralamanın (Pb<Cd<Cu<Mn<Zn<Fe) Zn ve Mn hariç algde aynı olduğu görülmüştür. Bu sıralama daha önce yapılmış çalışmalarla farklılık göstermektedir. Haritonidis ve Malea (1999), bu sıralamayı Cd<Cu<Pb<Zn<Fe, Conti ve Cecchetti (2003) Cd<Cr<Cu<Pb<Zn olarak vermiştir.

Cystoseira sp. için ölçülen metallere Cd-Zn, Cd-Fe, Cu-Zn, Cu-Mn, Cu-Fe, Zn-Mn, Zn-Fe ve Mn-Fe arasındaki pozitif korelasyon bu metallerin kaynaklarının aynı olduğu şeklinde veya bu metallere arasındaki sinerjik etkileşimle açıklanabilir (Villares ve diğ. 2002). Pb ile Cu, Mn ve Fe arasındaki negatif korelasyon ise bu metallere arasında bitki üzerine bağlanma açısından rekabet olduğunu veya ortama farklı kaynaklardan geldiklerini ve dağılımlarında farklılıklar olduğunu göstergesi olarak yorumlanabilir (Malea ve Haritonidis 1999).

Kıyasal alanlarda, özellikle de kirlilik düzeylerinin çok fazla olmadığı alanlardaki kirlilik çalışmalarında biyolojik izleme için uygun türlerin kullanımının önemi gün geçtikçe artmaktadır. *Cystoseira* genusuna ait türler Ege Denizi kıyılarında iz metaller için biyolojik izlemede kullanılabilir potansiyel türlerdir çünkü, bu türler biyolojik izleme için aranan, kolayca tayin edilebilir ve toplanma, yıl boyunca kıyılarda bulunma, metallere sudaki konsantrasyonlarından çok daha fazla ölçüde akümüle edilebilir ve tüm kıyasal alanlarda dağılım göstermeleri gibi önemli özellikleri taşımaktadırlar.

Teşekkür

Dr. Barış Akçali'ya alg tayini ve örneklerin toplanmasında, Doç. Dr. Aynur Konaş, Dr. Esin Uluturhan Suzer, Dr. Oya Altay ve Araş. Gör. Enis Darılmaz'a laboratuvar aşamasındaki yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynakça

- Cirik, S., H. Uysal, H. Parlak, E. Demirkurt, F. Küçüksezgin. 1988. Heavy metal accumulation by marine vegetation in the polluted waters of Izmir Bay. Plants and Pollutants in Developed and Developing Countries, International Symposium, 22-28 August 1988, Izmir.
- Conti, M.E., G. Cecchetti. 2003. Abiomonitöring study: trace metals in algae and molluscs from Tyrrhenian coastal areas. Environmental Research, 93: 99-112.
- Davis, T.A., B. Volesky, A. Mucci. 2003. A review of biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae. Water Research, 37: 4311-4330.
- Dornfner, K. 1972. Ion Exchange; Proportion and Applications, Ann Arbor Science, Michigan.
- Ho, Y.B. 1988. Metal levels in three intertidal macroalgae in Hong Kong waters. Aquat. Bot., 29: 367-372.
- Khym, J.X. 1974. Analytical Ion Exchange Procedures in Chemistry and Biology, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Krishnani, K.K., S. Ayyappan. 2006. Heavy metals remediation of water using plants and lignocellulosic agrowastes. Environ. Contam. Toxicol., 188: 59-84.
- Malea, P., S. Haritonidis. 1999. Metal content in *Enteromorpha linza* (Linnaeus) in Thermaikos Gulf (Greece). Hydrobiologia, 394: 103-112.
- Olgunoğlu, M.P.P., S. Polat. 2007. Seasonal changes of heavy metals in two macroalgae species [*Cystoseira corniculata* (Phaeophyta), *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)] in the Iskenderun Bay, (in Turkish). E.U. Journal of Fisheries&Aquatic Sciences, 24(1-2): 25-30.
- Ostapczuk, P., M. Burow, K. May, C. Mohl, M. Froning, B. Süßenbach, E. Waidmann, H. Emons. 1997. Mussels and algae as bioindicators for long-term tendencies of element pollution in marine ecosystems. Chemosphere, 34: 2049-2058.
- Rainbow, P.S., D.J.H. Phillips. 1993. Cosmopolitan biomonitors of trace metals. Marine Pollution Bull., 26(11): 593-601.
- Rainbow, P.S. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. Marine Pollution Bull., 8(1): 16-19.
- Sawidis, T., M.T. Brown, G. Zachariadis, I. Sratias. 2001. Trace metal concentrations in marine algae from different biotopes in the Aegean Sea. Environment International, 27: 43-47.
- Storelli, M.M., A. Storelli, G.O. Marcotrigiano. 2001. Heavy metals in the aquatic environment of the Southern Adriatic Sea, Italy macroalgae, sediments and benthic species. Environment International, 26: 505-509.
- Topcuoğlu, S., K.C. Güven, N. Balkis, Ç. Kirbaşoğlu. 2003. Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea. Chemosphere, 52: 1683-1688.
- Topcuoğlu, S., Ç. Kirbaşoğlu, Y.Z. Yılmaz. 2004. Heavy metal levels in biota and sediments in the northern coast of the Marmara Sea. Environment Monitoring and Assessment, 96: 183-189.
- UNEP. 1982. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No:14.
- UNEP. 1985. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No:26
- Yüksel, Ü., B. İikme, M. Kesgin, A. Sukatar. 1988. Heavy metal accumulation by marine vegetation in the polluted waters of Izmir Bay. Plants and Pollutants in Developed and Developing Countries, International Symposium, 22-28 August 1988, Izmir.