

# İskenderun Körfezi'nde Dağılım Gösteren İki Makroalg Türünde [*Cystoseira corniculata* (Phaeophyta), *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)] Ağır Metallerin Mevsimsel Değişimi\*

\*M. Perçin Piner Olgunoğlu, Sevim Polat

Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi 01330 Balçalı, Adana, Türkiye  
\*E mail: mineper@cu.edu.tr

**Abstract:** Seasonal changes of heavy metals in two macroalgae species [*Cystoseira corniculata* (Phaeophyta), *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)] in the Iskenderun Bay. Iskenderun Bay, located in the most north-eastern part of eastern Mediterranean Sea, is potentially threatened by anthropogenic activities such as fishing, shipping and industrial efforts. The aim of the present study was to monitor the heavy metal pollution in macroalgae at three different stations in Iskenderun Bay. For this purpose, two macroalgae species, (*Cystoseira corniculata* (Phaeophyta) and *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)) were collected, and the levels of iron (Fe), copper (Cu), lead (Pb), and cadmium (Cd) were measured spectrophotometrically. Heavy metal concentrations decreased in the following order: Fe > Pb > Cu > Cd in both species. The results of this study showed that the accumulation of Fe, Cu, Pb was higher in *L. papillosa* than *C. corniculata* which collected at the same stations. In conclusion, *L. papillosa* together with *C. corniculata* could be used as a bioindicator species to monitor the heavy metal pollution.

**Key Words:** Heavy metals, Macroalgae, Bioindicator, Iskenderun Bay, Bioaccumulation.

**Özet:** Doğu Akdeniz'in Kuzeydoğu köşesinde yer alan İskenderun Körfezi, balıkçılık, deniz trafiği ve kıyıl kesimlerde birçok sanayii kuruluşunun bulunması nedeniyle potansiyel kirlilik tehditi altında bulunan bir alandır. Bu kirlilik unsurlarının tespit edilebilmesi amacıyla İskenderun Körfezi kıyılarındaki belirlenen üç farklı istasyondan, makroalg örnekleri toplanarak, Demir (Fe), Bakır (Cu), Kurşun (Pb) ve Kadmiyum (Cd) konsantrasyonları spektrofotometrik yöntemlerle belirlenmiştir. *Cystoseira corniculata* (Phaeophyta) ve *Laurencia papillosa* (Rhodophyta)'da ağır metal konsantrasyonlarının sıralaması Fe > Pb > Cu > Cd olarak belirlenmiştir. Aynı istasyonlardan toplanan *C. corniculata* ve *L. papillosa*'da belirlenen ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında *L. papillosa*'nın *C. corniculata*'ya göre daha fazla Fe, Cu ve Pb biriktirdiği ettiği belirlenmiştir. *L. papillosa*, *C. corniculata* ile birlikte ağır metal kirliliğinin izlenme çalışmalarında indikatör tür olarak kullanılabilen tür olarak önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, Makroalg, Bioindikatör, İskenderun körfezi, Bioakümülyasyon.

\*Bu çalışma (SÜF2003D1) Ç. Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

## Giriş

Akdeniz 3 milyon km<sup>2</sup> lik bir yüzey alanına ve doğu-batı yönünde uzanan düzensiz bir kıyı şeridine sahip bir iç denizdir. Süveyş Kanalı aracılığıyla Hint Okyanusuna, Cebelitarık Boğazı yoluyla Atlantik Okyanusuna bağlanmıştır. Birincil üretimde kullanılan besin tuzları yönünden fakir olduğundan oligotrofik bir özellik göstermektedir (Avşar 1999; Danovaro 2003). Yarı kapalı bir deniz olan Akdeniz, gerek nüfus yoğunluğu, gerekse endüstriyel gelişmenin hızla arttığı ülkelerin kendisini çevrelemesi sebebiyle kirlenmeye açık bir denizdir (Uslu ve diğ. 1999).

İskenderun Körfezi Akdeniz'in Kuzeydoğusundan başlayıp, Ceyhan deltasında son bulmaktadır. Körfez'in yüz ölçümü yaklaşık 2250 km<sup>2</sup> olup, Akdeniz'in yaklaşık % 4'ünü kaplamakta ve hacmi yaklaşık 95 km<sup>3</sup> ve derinliği 70-80 m civarındadır. Yukarı akış saat yönünde, aşağı akış ise saat yönünün tersi yönünde olan akıntı sistemine sahiptir. Bu sistemden dolayı okyanustan gelen kirleticiler körfez'de uzun süre seyrelmeden ve parçalanmadan kalmakta ve birikebilmektedir (Yüceer ve Başbüyük, 1999).

Endüstriyel atıklar, jeokimyasal yapı ve maden çalışmaları sucul ortamlarda ağır metal kirliliğinin önemli kaynaklarını oluşturmaktadır. Belirli çevresel şartlar altında ağır metaller, toksik konsantrasyonlarda akümüle edilebilir ve ekolojik zararlara neden olabilmektedir (Türkmen ve diğ., 2005a). Demir, bakır, çinko ve manganez gibi metaller esansiyel elementlerdendir ve biyolojik sistemlerde önemli rol oynarlar. Buna karşın civa, kurşun ve kadmiyum esansiyel elementlerden değildir ve iz miktarlarda bile toksiktir. Bu esansiyel elementler aşırı olarak alındığında da toksik etki oluşturabilmektedir (Türkmen and Ciminli, 2007). Denizel ortamlarda ağır metal deşerjleri önemli bir çevresel problemi oluşturmakta, toksisiteleri ve akümüle edilebilir olmaları nedeniyle büyük ekolojik öneme sahiptir (Türkmen ve diğ., 2005a).

Algler, fotosentetik pigmentlere sahip, kompleks üreme sistemleri olmayan prokaryotik yada ökaryotik ilkel bitkisel organizmalar olarak tanımlanmaktadır ve mikroskobik tek hücreli canlılardan, kompleks çok hücreli, metrelerce uzunluğa erişen deniz yosunlarını içermektedir (Sze, 1998).

Kıyısız alanlarda, birincil üretime önemli ölçüde katkıda bulunan deniz makroalgleri, bulunduğu ortamdan kolaylıkla

metalleri biriktirebilme yeteneğine sahip olduklarından, çoğunlukla deniz suyunun metal kontaminasyonunun göstergeleri olarak kullanılmaktadır. Makroalgler, metal konsantrasyonlarının belirlenerek, ortam kalitesi ve metal kontaminasyonunun seviyeleri ile ilgili verilerin elde edilmesinde önemli yer tutmaktadır. Ayrıca çoğu makroalg türü nispeten uzun yaşam evresine sahip olduklarından, buldukları ortamın metal düzeylerindeki kısa süreli dalgalanmaları yansıtabilmektedir (Fytianos ve diğ. 1999).

Türkiye'nin Akdeniz kıyılarında balıklarda (Türkmen ve diğ. 2005a, Türkmen ve diğ. 2006, Canlı ve Atı 2003), deniz salyangozunda (Türkmen ve diğ. 2005b) ve bivalverlerde (Türkmen ve diğ. 2005c) ağır metal seviyelerinin belirlendiği birçok çalışma mevcuttur. Makroalglerin biyokimyasal içeriği ve ağır metal birikimi konusunda Türkiye'nin Karadeniz kıyıları (Topçuoğlu ve diğ. 2001, 2003), İstanbul Boğazı (Kut ve diğ. 2000), Marmara Denizi (Topçuoğlu ve diğ., 2004) ve Ege Denizi'nin Kuzey kısımlarında (Çetingül ve diğ., 2000, Çetingül 2001, Swadis ve diğ., 2001) birçok çalışma yapılmış olup, ülkemizin Akdeniz kıyısında ise bu konuda yapılan çalışma sayısı oldukça azdır.

Bu araştırmada, Ağustos 2003 - Temmuz 2004 yılları arasında İskenderun Körfezi'nden toplanan makroalg ve sediment örneklerinde ağır metallerden Fe, Cu, Pb ve Cd düzeyleri belirlenmiştir. Çalışmanın amacı, elde edilen verileri benzer çalışmalar ile karşılaştırılarak körfezin ağır metal kirliliği hakkında bilgi sahibi olmak, Akdeniz kıyıları boyunca her mevsim bulunabilen, toplanması ve teşhisleri kolay yapılabilen *L. papillosa* ve *C. corniculata*'nın indikatör tür olarak kullanımları üzerine daha fazla bilgi edinmektir.

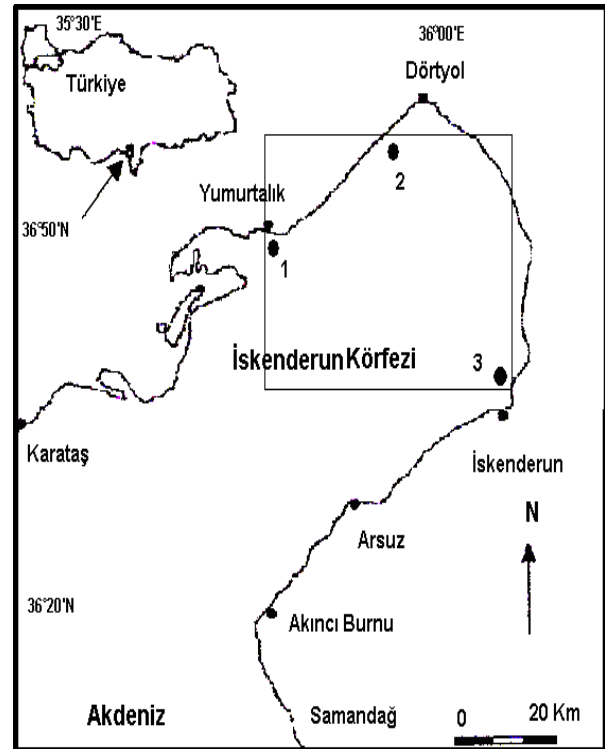
## Materyal ve Yöntem

Araştırma bölgesi, Türkiye'nin Doğu Akdeniz kıyısında yer alan İskenderun Körfezi'nin üst infralittoralı olarak belirlenmiştir. Çalışma alanı 36°44'-36°42' enlem ve 35°45'-36°11' boylamları arasında bulunmaktadır. (1. İstasyon Yumurtalık kıyısı, 2. İstasyon Botaş kıyısı ve 3. İstasyon Arsuz yakınlarında yer alan Piriçlik kıyısından seçilmiştir) (Şekil 1).

*L. papillosa* ve *C. corniculata* örnekleri, körfezde gelgit zonunun 2-3 m altından, kıydan el ile derinlerden palet ve şnorkel yardımıyla Ağustos 2003 - Temmuz 2004 yılları arasında toplanmıştır. Örnekler ayrı ayrı polietilen torbalarda buzluk içerisinde laboratuara getirilmiş, önce çeşme suyu, daha sonra bidistile su ile iyice yıkanarak üzerindeki canlı ve cansız materyalden uzaklaştırılmıştır. Her bir makroalg örneğinden 2'er gr tartılarak, ısıya dayanıklı cam erlenlere konulmuş ve üzerine 20 ml nitrik asit (Merck-extra pure) eklenmiş ve örnekler hot-plate üzerinde kahverengi buhar kaybolana kadar yakılmıştır. Organik parçalanması biten örnekler filtre kağıdından süzülerek bidistile su ile son hacim 50 ml olacak şekilde tamamlanmıştır (Iaea-Mesl 1998).

Makroalg örnekleri ile birlikte alınan sediment örnekleri polietilen torbalarda buzluk içerisinde laboratuara getirilmiş ve analize kadar -18 °C'de derin dondurucuda saklanmıştır. Sediment örnekleri porselen krozelerde 105° C'de 12 saat

süreyle kurutulduktan sonra her bir örnekten 2 gr alınarak, ısıya dayanıklı cam erlenlere konulmuş ve üzerlerine 3:1 oranında hidroklorik:nitrik asit (merck-extra pure) eklenmiş ve hot-plate üzerinde kahverengi buhar kaybolana kadar 120°C'de yakılmıştır (Unep, 1984). Berraklaşan örnekler soğutulularak mavi-bant filtre kağıdından süzülüş ve son hacim 50 ml'ye bidistile su ile tamamlanmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı ve örnekleme istasyonları

Makroalglerde ve sedimentte Fe, Cu, Pb ve Cd konsantrasyonları 3100 Model Perkin Elmer Atomic Absorption Spektrofotometresi kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç konsantrasyonlar  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak verilmiştir.

İstatistiksel analizler, One-Way ANOVA Varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak SPSS 13.0 Paket programında yapılmıştır.

## Bulgular

*C. corniculata* ve *L. papillosa* türleri ile sedimentte metal birikimlerinin istasyonlara ve mevsimlere göre gösterdiği değişimler Şekil 2-3'de gösterilmiştir.

*C. corniculata*'da en düşük Fe konsantrasyonu 71.87  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak kış mevsiminde 1 nolu istasyonda, en düşük Cd konsantrasyonu ise 0.22  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak yine aynı mevsimde 2 nolu istasyonda bulunmuştur. En yüksek Fe ve Cd konsantrasyonları sonbahar ve yaz mevsimlerinde 2. nolu istasyonda sırasıyla 468.75  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 0.68  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak saptanmıştır. Aynı türde en düşük Pb konsantrasyonu ilkbahar ve yaz mevsimlerinde her üç istasyonda belirleme limitlerinin

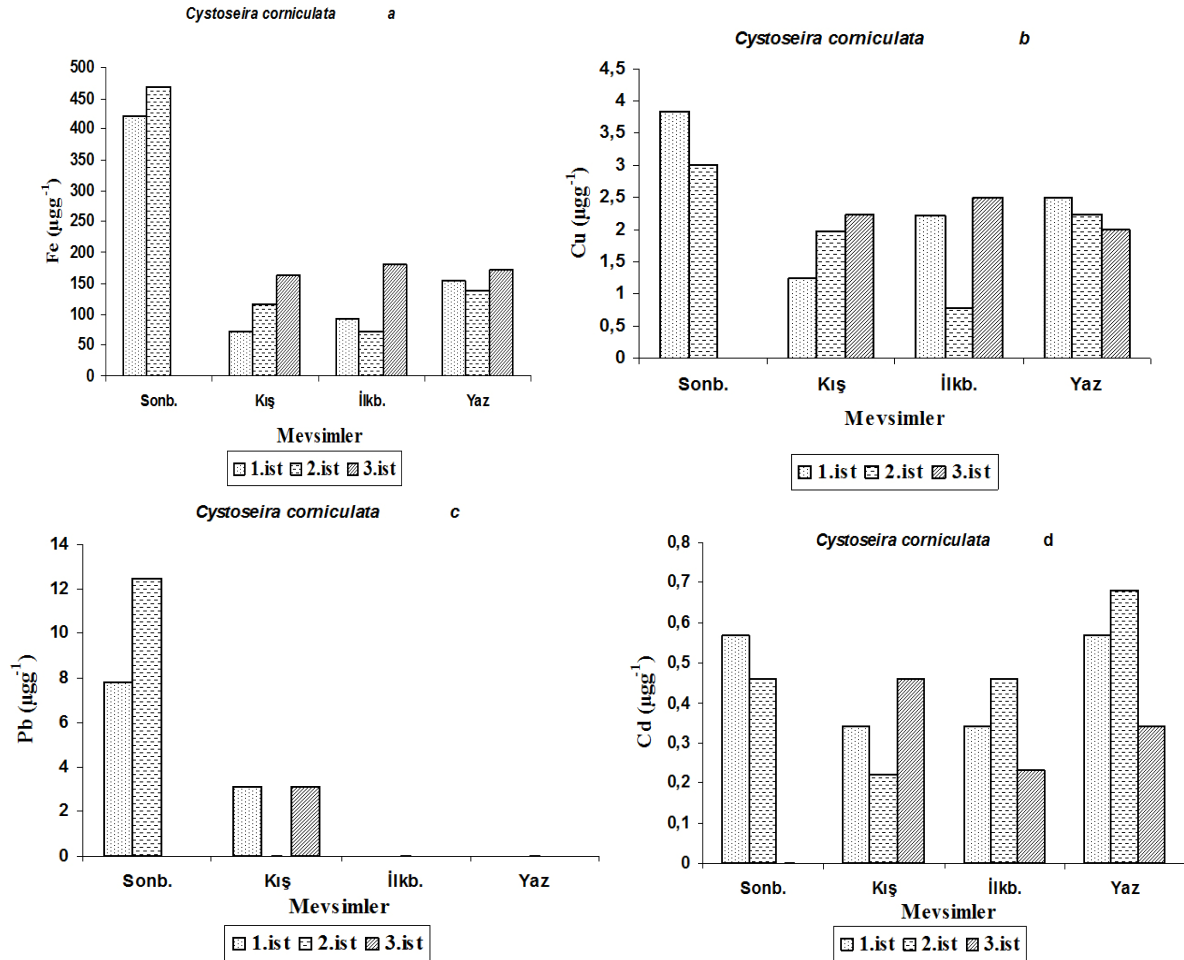
(<0.125  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) altında bulunurken, en düşük Cu konsantrasyonu (0.78  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ilkbahar mevsiminde 2 nolu istasyonda bulunmuştur. *C. corniculata*'da en yüksek Cu konsantrasyonu sonbahar mevsiminde 1 nolu istasyonda 3.83  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak bulunurken, en yüksek Pb konsantrasyonu yine sonbahar mevsiminde 2 nolu istasyonda 12.50  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak saptanmıştır (Şekil 2). *C. corniculata*'da Fe ve Cu konsantrasyonları mevsimlere ve istasyonlara göre karşılaştırıldığında, mevsimler arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunurken ( $p<0.05$ ), istasyonlar arasındaki farkın önemsiz ( $p>0.05$ ) olduğu belirlenmiştir. Cd konsantrasyonu ise mevsimlere ve istasyonlara göre karşılaştırıldığında, aradaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ( $p<0.05$ ) saptanmıştır. 3. istasyonda bu tür yıl boyu bulunamamıştır (Tablo 1).

*L. papillosa*'da en düşük Fe (112.5  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve Cd (0.23  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) konsantrasyonları ilkbahar mevsiminde sırasıyla 3 ve 1 nolu istasyonlarda belirlenirken, en yüksek Fe ( 557.5  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) ve Cd (0.75  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) konsantrasyonları 1 nolu istasyonda sırasıyla sonbahar ve yaz mevsimlerinde saptanmıştır. Aynı türdeki en düşük Cu konsantrasyonu 2 nolu istasyonda 1.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak yaz mevsiminde, yine en düşük Pb konsantrasyonu ilkbahar mevsiminde tüm istasyonlarda belirleme limitleri (<0.125  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) altında saptanmıştır. En yüksek Cu konsantrasyonu (3.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ )

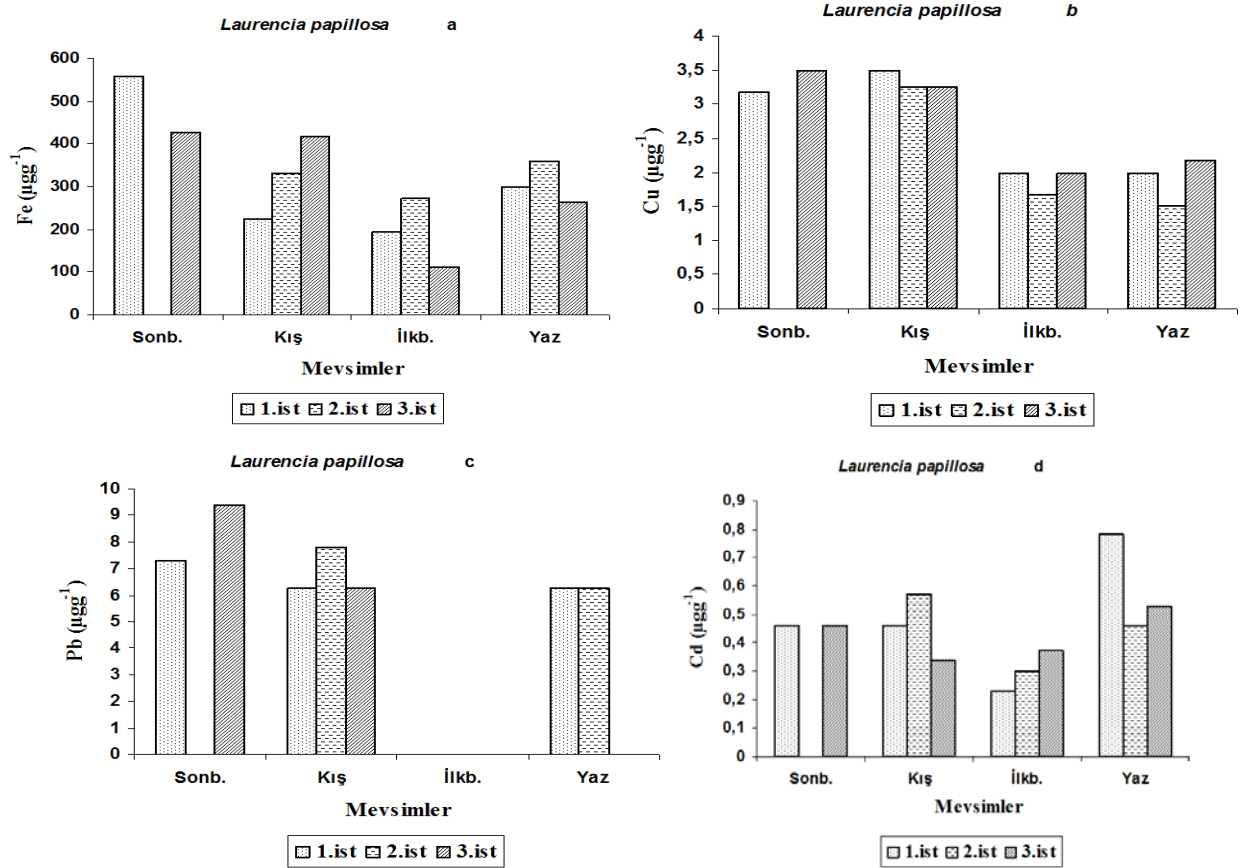
3 nolu istasyonda sonbahar mevsiminde ve 1 nolu istasyonda kış mevsiminde bulunmuştur. En yüksek Pb konsantrasyonu ise (9.37  $\mu\text{g g}^{-1}$ ) 3 nolu istasyonda sonbahar mevsiminde bulunmuştur (Şekil 3).

2 nolu istasyonda yıl boyu bu türe ait örnek bulunamamıştır. Fe, Cu, Pb ve Cd konsantrasyonları mevsimlere ve istasyonlara göre karşılaştırıldığında, mevsimler arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) olduğu, buna karşın istasyonların birbirine benzer olduğu ( $p>0.05$ ) belirlenmiştir (Tablo 2).

Sedimentte en düşük Fe konsantrasyonu kış mevsiminde 2 nolu istasyonda 746.25  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak, en yüksek Fe konsantrasyonu yine aynı mevsimde 3 nolu istasyonda 791.87  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. En düşük Cu, Pb ve Cd konsantrasyonları ise sırasıyla 3.63  $\mu\text{g g}^{-1}$ , 14.06  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 1.37  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak kış mevsiminde 3 nolu istasyonda belirlenmiştir. Cu, Pb ve Cd için en yüksek konsantrasyonlar 2 nolu istasyonda bulunmuştur. Bu değerlerin Cu için sonbaharda 8.50  $\mu\text{g g}^{-1}$ , Pb için yaz mevsiminde 34.38  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve Cd için ilkbaharda 3.86  $\mu\text{g g}^{-1}$  olduğu saptanmıştır. Mevsimlere göre Fe, Cu ve Pb konsantrasyonları karşılaştırıldığında mevsimler ve istasyonlar arasında farkın istatistiksel olarak önemli ( $p<0.05$ ) olduğu belirlenmiştir (Tablo 3).



Şekil 2. *Cystoseira corniculata*'da ağır metal konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.

Şekil 3. *Laurencia papillosa*'da ağır metal konsantrasyonlarının mevsimlere göre değişimi.Tablo 1. *C. corniculata*'da metallerin çoklu karşılaştırma testi sonuçları.

	Mevsimler	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon
		$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$
Fe	Sonbahar	420.83 <sup>ax</sup>	468.75 <sup>ax</sup>	-
	Kış	71.87 <sup>bx</sup>	116.25 <sup>bx</sup>	162.5 <sup>ax</sup>
	İlkbahar	91.67 <sup>bx</sup>	73.12 <sup>bx</sup>	181.25 <sup>ax</sup>
	Yaz	153.33 <sup>bx</sup>	138.33 <sup>bx</sup>	171.87 <sup>ax</sup>
Cu	Sonbahar	3.83 <sup>ax</sup>	3 <sup>ax</sup>	-
	Kış	1.25 <sup>ax</sup>	1.97 <sup>abx</sup>	2.25 <sup>ax</sup>
	İlkbahar	2.22 <sup>ax</sup>	0.77 <sup>bx</sup>	2.5 <sup>ax</sup>
	Yaz	2.5 <sup>ax</sup>	2.25 <sup>abx</sup>	2 <sup>ax</sup>
Pb	Sonbahar	7.81	12.50	-
	Kış	3.13	♣	3.13
	İlkbahar	♣	♣	♣
	Yaz	♣	♣	♣
Cd	Sonbahar	0.56 <sup>ax</sup>	0.45 <sup>abx</sup>	-
	Kış	0.34 <sup>ax</sup>	0.22 <sup>ax</sup>	0.45 <sup>ax</sup>
	İlkbahar	0.34 <sup>ax</sup>	0.45 <sup>abx</sup>	0.23 <sup>ax</sup>
	Yaz	0.57 <sup>axy</sup>	0.68 <sup>bx</sup>	0.34 <sup>ay</sup>

 $\bar{X}$  : Aritmetik ortalama\* : Farklı harflerle gösterilen veriler arasında ( $p < 0.05$ ) düzeyinde istatistiksel ayırım bulunmaktadır (N.3). x, y harfleri aynı mevsim içerisinde istasyonlar arasındaki ayırımı, a, b harfleri aynı istasyon içerisinde mevsimler arasındaki ayırımı göstermektedir. ♣ : Okuma sınırının altındaki değerleri göstermektedir.Tablo 2. *L. papillosa*'da metallerin çoklu karşılaştırma testi sonuçları.

	Mevsimler	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon
		$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$
Fe	Sonbahar	557.5 <sup>ax</sup>	-	425 <sup>ax</sup>
	Kış	225 <sup>bx</sup>	330.62 <sup>ax</sup>	418.75 <sup>ax</sup>
	İlkbahar	193.75 <sup>bx</sup>	270.83 <sup>ax</sup>	112.5 <sup>bx</sup>
	Yaz	300 <sup>bx</sup>	359.37 <sup>ax</sup>	264.58 <sup>abx</sup>
Cu	Sonbahar	3.17 <sup>abx</sup>	-	3.5 <sup>ax</sup>
	Kış	3.5 <sup>ax</sup>	3.25 <sup>ax</sup>	3.25 <sup>abx</sup>
	İlkbahar	2 <sup>bx</sup>	1.67 <sup>bx</sup>	2.0 <sup>bx</sup>
	Yaz	2 <sup>bx</sup>	1.5 <sup>bx</sup>	2.17 <sup>bx</sup>
Pb	Sonbahar	7.29 <sup>ax</sup>	-	9.37 <sup>ax</sup>
	Kış	6.25 <sup>ax</sup>	7.81 <sup>ax</sup>	6.25 <sup>bx</sup>
	İlkbahar	♣	♣	♣
	Yaz	6.25 <sup>ax</sup>	6.25 <sup>ax</sup>	♣
Cd	Sonbahar	0.45 <sup>abx</sup>	-	0.45 <sup>ax</sup>
	Kış	0.45 <sup>abx</sup>	0.56 <sup>ax</sup>	0.34 <sup>ax</sup>
	İlkbahar	0.23 <sup>ax</sup>	0.30 <sup>ax</sup>	0.37 <sup>ax</sup>
	Yaz	0.75 <sup>bx</sup>	0.45 <sup>ax</sup>	0.53 <sup>ax</sup>

 $\bar{X}$  : Aritmetik ortalama\* : Farklı harflerle gösterilen veriler arasında ( $p < 0.05$ ) düzeyinde istatistiksel ayırım bulunmaktadır (N.3). x harfi aynı mevsim içerisinde istasyonlar arasındaki ayırımı, a, b harfleri aynı istasyon içerisinde mevsimler arasındaki ayırımı göstermektedir. ♣ : Okuma sınırının altındaki değerleri göstermektedir.

**Tablo 3.** Sedimentte metallerin çoklu karşılaştırma testi sonuçları.

	Mevsimler	1. İstasyon	2. İstasyon	3. İstasyon
		$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$	$\bar{X}^*$
Fe	Sonbahar	755.83 <sup>ax</sup>	750.42 <sup>ax</sup>	785.83 <sup>ay</sup>
	Kış	758.33 <sup>ax</sup>	746.25 <sup>ax</sup>	791.87 <sup>ay</sup>
	İlkbahar	762.50 <sup>ax</sup>	758.33 <sup>ax</sup>	783.75 <sup>ax</sup>
	Yaz	761.67 <sup>axy</sup>	757.50 <sup>ax</sup>	785.42 <sup>ay</sup>
Cu	Sonbahar	8.17 <sup>ax</sup>	8.50 <sup>ax</sup>	4.08 <sup>ay</sup>
	Kış	7.67 <sup>ax</sup>	7.33 <sup>bx</sup>	3.63 <sup>ay</sup>
	İlkbahar	8.33 <sup>ax</sup>	8.00 <sup>abx</sup>	4.17 <sup>ay</sup>
	Yaz	8.17 <sup>ax</sup>	8.17 <sup>abx</sup>	4.08 <sup>ay</sup>
Pb	Sonbahar	29.17 <sup>abx</sup>	30.21 <sup>ax</sup>	17.71 <sup>ay</sup>
	Kış	23.96 <sup>ax</sup>	28.13 <sup>ax</sup>	14.06 <sup>ay</sup>
	İlkbahar	27.08 <sup>abx</sup>	31.25 <sup>ax</sup>	19.79 <sup>ay</sup>
	Yaz	32.29 <sup>bx</sup>	34.38 <sup>ax</sup>	16.67 <sup>ay</sup>
Cd	Sonbahar	3.19 <sup>ax</sup>	3.41 <sup>ax</sup>	1.74 <sup>ay</sup>
	Kış	2.73 <sup>ax</sup>	3.26 <sup>ax</sup>	1.37 <sup>ay</sup>
	İlkbahar	2.88 <sup>ax</sup>	3.86 <sup>ax</sup>	1.82 <sup>ay</sup>
	Yaz	3.34 <sup>ax</sup>	3.71 <sup>ax</sup>	1.59 <sup>ay</sup>

$\bar{X}$  : Aritmetik ortalama

\*: Farklı harflerle gösterilen veriler arasında ( $p < 0.05$ ) düzeyinde istatistiksel ayırım bulunmaktadır (N.3). x, y harfleri aynı mevsim içerisinde istasyonlar arasındaki ayırımı, a, b harfleri aynı istasyon içerisinde mevsimler arasındaki ayırımı göstermektedir.

### Tartışma ve Sonuç

Makroalglerdeki ağır metal konsantrasyonları, örnekleme alanlarına, mevsimlere ve alg türlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar, algin morfolojik özelliklerine, gel-git zonunda bulunan algin pozisyonuna, algin yaşına, diğer ağır metallerle etkileşimlerine ve çevresel faktörlere bağlı olabilmektedir (Kalesh ve Nair 2005, Fytianos ve diğ. 1999, Türkmen ve diğ. 2005c).

Bu çalışmada incelenen her iki alg türünde de, ağır metal düzeyleri, Fe > Pb > Cu > Cd olarak belirlenmiştir. Benzer olarak, Kut ve diğ. (2000), İstanbul Boğazı (Poyraz) *C. barbata*'da bu sıralamanın Fe > Pb > Cu > Cd şeklinde olduğunu belirlemişlerdir. İskenderun Körfezi, kıyısında petrol dolmuş tesisi, gübre fabrikası ve demir-çelik fabrikası v.b. bulunması nedeniyle endüstriyel faaliyetlerin en yoğun olduğu alanlardan biridir. Endüstriyel atıkların yüksek düzeyde Fe, Cu, Pb ve Cd gibi ağır metalleri içermeleri nedeniyle İskenderun Körfezi kıyılarında gelişim gösteren *C. corniculata* ve *L. papillosa*'da bu metaller yüksek düzeyde birikim yapmıştır.

Çalışmada *C. corniculata* ve *L. papillosa*'da en yüksek Fe konsantrasyonu sırasıyla 468.75  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 557.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Topçuoğlu ve diğ. (2003), Karadeniz'in Türkiye kıyılarında (Sinop-2000) yaptıkları çalışmalarında *C. barbata*'da Fe konsantrasyonunu 436  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlemişlerdir. Marmara Denizi'nin kuzeyinde yapılan bir başka çalışmada *C. barbata*'da Fe konsantrasyonu 1511  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir (Topçuoğlu ve diğ. 2004). Çalışmaların sonuçları karşılaştırıldığında Fe konsantrasyonunun Karadeniz'e göre yüksek Marmara Denizi'ne göre düşük olduğu görülmüştür.

*C. corniculata* ve *L. papillosa*'da en yüksek Pb konsantrasyonu ise sırasıyla 12.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 9.37  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Topçuoğlu ve diğ. (2004) tarafından, Marmara Denizi'nin kuzeyinden toplanan *C. barbata*'da Pb

konsantrasyonu 3.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Swadis ve diğ. (2001), Ege Denizi'nin farklı bölgelerinden (N.Fokaea) toplanan *L. obdusca*'da Pb konsantrasyonunu 0.02 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulmuşlardır. Marmara ve Ege Denizi'nden alınan makroalg örneklerindeki ağır metal değerleri bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırıldığında bu çalışmadaki Pb konsantrasyonunun yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durumun çalışılan alanda yoğun gemi trafiğinin olması nedeniyle gemi yakıtlarında bulunan Pb'nin su ortamına katılmasından ileri geldiği düşünülmektedir.

Çalışmada en yüksek Cu konsantrasyonu *C. corniculata*'da 3.83  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve *L. papillosa*'da 3.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Al-Masri ve diğ. (2003), Suriye kıyılarında yaptıkları çalışmada *Cystoceira* sp. de Cu konsantrasyonunu 5.64  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlemişlerdir. Swadis ve diğ. (2001), Ege Denizi'nin farklı bölgelerinden toplanan *L. obdusca*'da Cu konsantrasyonu 7.1 mg kg<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. *C. corniculata* ve *L. papillosa*'da belirlenen en yüksek Cd konsantrasyonu sırasıyla 0.68  $\mu\text{g g}^{-1}$  ve 0.75  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak, Botaş Petrol Boru Hattı ile Toros Gübre yakınlarında bulunan 1. ve 2. istasyonlarda belirlenmiştir. Al-Masri ve diğ. (2003) tarafından, Suriye kıyılarında yapılan çalışmada *Cystoceira* sp. de Cd konsantrasyonu <0.1  $\mu\text{g g}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Swadis ve diğ. (2001), Ege Denizi'nin farklı bölgelerinden (N.fokaea) toplanan *L. obdusca*'da Cd konsantrasyonu 1.2 mg kg<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Cu ve Cd konsantrasyonları Ege Denizi örnekleri ile karşılaştırıldığında daha düşük olduğu görülürken, Suriye kıyılarında bulunan değerlerden daha yüksektir.

Aynı istasyonlardan toplanan *C. corniculata* ve *L. papillosa*'da belirlenen ağır metal konsantrasyonları karşılaştırıldığında *L. papillosa*'nın *C. corniculata*'ya göre daha fazla Fe, Cu ve Pb biriktirdiği belirlenmiştir. Bu durum alglerin morfolojik ve biyokimyasal yapılarındaki farklılıklara bağlı olarak metal bağlama kapasitelerinin farklı olmasıyla açıklanabilir. *L. papillosa* loblu bir morfolojik yapı göstermesinden dolayı *C. corniculata*'ya göre daha geniş yüzey alanına sahiptir. Artan yüzey alanı kirleticilerle kontamine olmuş sularla algin temas yüzeyini artırmakta ve daha fazla ağır metal biriktirmesine etmesine neden olmaktadır. Al-Masri ve diğ. (2003) tarafından, *Cystoceira* türlerinin kirlilik çalışmalarında indikatör tür olarak kullanılabileceği önerilmektedir. Bu çalışmada da daha fazla metal biriktirebilme özelliğinden dolayı *L. papillosa* türünün indikatör tür olarak kullanılmaya daha uygun olduğu söylenebilir.

Sedimentte de alg örneklerinde olduğu gibi, en yüksek konsantrasyonlarda bulunan metalin doğada en yüksek düzeylerde bulunan Fe olduğu ve sedimentte ağır metal sıralamasının Fe > Pb > Cu > Cd şeklinde bulunduğu belirlenmiştir. Benzer olarak, Tunçer (1985), tarafından yapılan çalışmada, İzmir ve Çandarlı Körfezleri'nden alınan sediment örneklerinde ağır metal sıralamasının benzer olarak Fe > Pb > Zn > Cu > Cd şeklinde olduğunu bildirmişlerdir. Denizel ortama ulaşan Pb, partikül halindeki maddelerle birleşerek hızlıca dibe çökmektedir (Ünsal ve diğ. 1993). Fe'den sonra en fazla bulunan metalin Pb olması karasal girdilerin önemini göstermektedir. Topçuoğlu ve diğ. (2002), 1997-1998 yılları arasında Karadeniz'in Türkiye Kıyıları'nda sediment örneklerinde

metal konsantrasyonunu araştırmışlar, sedimentte Cd için < 0.02–0.93, Pb için <0.05–31.10 ve Cu için 4.0–95.5  $\mu\text{g g}^{-1}$  değerlerini belirlemişlerdir. Dalman ve diğ. (2006), Ege Denizi (Güllük Körfezi) sediment örneklerinde ortalama Pb, Cu ve Cd konsantrasyonlarını sırasıyla 20  $\text{mg kg}^{-1}$ , 25.2  $\text{mg kg}^{-1}$  ve 0.56  $\text{mg kg}^{-1}$  olarak belirlemişlerdir. Bu çalışmada sedimentte, 3.63–8.50  $\mu\text{g g}^{-1}$  Cu, 14.16–34.38  $\mu\text{g g}^{-1}$  Pb ve 1.37–3.86  $\mu\text{g g}^{-1}$  Cd değerleri belirlenmiştir. Topçuoğlu ve diğ. (2002) ile Dalman ve diğ. (2006) tarafından bulunan değerler bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırıldığında Cd ve Pb konsantrasyonları yönünden Karadeniz örneği ile benzerlik gösterdiği, ancak Cu konsantrasyonunun Karadeniz örneğine göre düşük olduğu görülmüştür. Ege denizi sediment örneğinde elde edilen Pb ve Cd değerlerinin bu çalışmadaki değerlerden düşük olduğu belirlenmiştir. İskenderun körfezinin kirlilik yükünün bu iki metal için Ege denize göre fazla olduğu belirlenmiştir. Benzer olarak Türkmen ve diğ. (2005c), tarafından yapılan çalışmada İskenderun Körfezi'nin ağır metal kirliliği tehdidi altında bulunduğu bildirilmiştir.

Sedimentte Fe konsantrasyonları istasyonlara göre karşılaştırıldığında, en yüksek Fe konsantrasyonunun İskenderun Demir-çelik fabrikası yakınlarında bulunan 3 nolu istasyonda olduğu belirlenmiştir. Bu durumun Demir-çelik Fabrikası cüruf atıklarının yüksek derecede Fe içermesi ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. Sediment örneklerinde bu metal konsantrasyonlarının yüksek olması endüstriyel atıklardan ve tarımın yoğun olarak yapıldığı karasal alanlardan, yağış ve nehir girdilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, çalışılan iki makroalg türü ve sedimentten elde edilen bulgulara göre İskenderun Körfezi'nin farklı bölgelerinde ağır metal kirliliğinin farklı düzeylerde olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan Körfezde endüstriyel faaliyetler, gemi trafiği ve BTC (Bakü- Tiflis -Ceyhan) boru hattı ile kirlilik yükünün artmasının makroalglerin yanı sıra diğer denizel canlıları da olumsuz etkileyebileceği ve besin zinciri yoluyla birikim düzeyinin artacağı düşünülmektedir. Bu nedenle bu gibi ortamlarda ağır metal düzeylerinin besin zincirinin farklı kademelerinde belirlenmesi ve bunun izleme çalışmaları şeklinde periyodik olarak yapılması oldukça önem taşımaktadır.

## Kaynakça

- Al-Masri, M.S., S. Mamish, and Y. Budier. 2003. Radionuclides and trace metals in eastern mediterranean sea algae. *Journal of Environmental Radioactivity*, 67: 157-168.
- Avşar, D. 1999. Physico-chemical characteristic of the eastern mediterranean in relation to distribution of the new scyphomedusae (*Rhopilema nomadica*) (in Turkish). *Tr. Journal of Zoology*, 23 (2): 605-616.
- Canlı, M. and G. Atlı. 2003. The relationships between heavy metal (Cd, Cr, Cu, Fe, Pb, Zn) levels and the size of six mediterranean fish species. *Environmental Pollution*, 121: 117-126.
- Çetingül, V., V. Aysel, and Y. Kurumlu-Kuran. 2000. Biochemical investigation and heavy metal contents of *Cladophora dalmatica* Kütz. and *Ceramium ciliatum* (Ellis) ducl. var. *robustum* (J. Ag.) from Aegean Sea (Turkish coast). *Turkish J. Marine Sciences*, 6 (1):9-22.
- Çetingül, V. 2001. Seasonal changes in composition of *Petalonia fascia* (O.F.Müll.) Kuntze (in Turkish). *E.U. Journal of Fisheries & Aquatic*

- Sciences*, 18 (1-2), 117-124.
- Dalman, Ö., A. Demirak and A. Balcı. 2006. Determination of heavy metals (Cd, Pb) and trace elements (Cu, Zn) in sediments and fish of the southeastern Aegean Sea (Turkey) by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 95:157-162.
- Danovaro, R. 2003. Pollution threats in the Mediterranean Sea; an overview. *Chemistry and Ecology*, 19 (1): 15-32.
- Fytianos, K., G. Evgenidou and G. Zachariadis. 1999. Use of macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in Ternaikos Gulf, Greece. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 62:630-637.
- laea-Mesli, 1998. International atomic energy agency, marine environmental laboratory, marine environmental studies laboratory, standart operating procedure for trace metals determination. Monaco.
- Kalesh, N. and S.M. Nair. 2005. The accumulation levels of heavy metals (Ni, Cr, Sr, & Ag) in marine algae from southwest coast of India. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 87(2): 35-146.
- Kut, D., S. Topçuoğlu, N. Esen, R. Küçükcezzar and K.C. Güven. 2000. Trace metals in marine algae and sediment samples from the Bosphorus. *Water, Air, and Soil Pollution*, 118:27-33.
- Swadis T., M.T. Brown, G. Zachariadis and I. Sratıs. 2001. Trace metal concentrations in marine macroalgae from different biotopes in the Aegean Sea. *Environment International*, 27: 43-47.
- Sze P., 1998. *A Biology of the Algae Third Edition*, Georgetown University.
- Topçuoğlu, S., K.C. Güven, Ç. Kirbaşoğlu, N. Güngör, S. Ünlü and Y.Z. Yılmaz. 2001. Heavy metals in marine algae from Şile in the Black Sea, 1994-1997. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 67: 288-294.
- Topçuoğlu S., Ç. Kirbaşoğlu and N. Güngör. 2002. Heavy Metals in Organisms and Sediments from Turkish Coast of the Black Sea 1997-1998. *Environment International*, 27:521-526.
- Topçuoğlu, S., K. C. Güven, N.Balkıs and Ç. Kirbaşoğlu. 2003. Heavy metal monitoring of marine algae from the Turkish Coast of the Black Sea, 1998-2000. *Chemosphere*, 52:1683-1688.
- Topçuoğlu S., Ç. Kirbaşoğlu and Y.Z. Yılmaz. 2004. Heavy metal levels in biota and sediments in the northern coast of the Marmara Sea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 96: 183-189.
- Tunçer, S., 1985. Comparative investigation of heavy metal concentrations in some mollusks, algae and their environment found in İzmir and Çandarlı (Aliağa) Bay (in Turkish). *Ege Üniversitesi Hidrobiyoloji ve Su Ürünleri Araştırma Uygulama Merkezi, Doktora Tezi*. 86.
- Türkmen, A., M. Türkmen, Y. Tepe and İ. Akyurt. 2005a. Heavy metals in three commercially valuable fish species from İskenderun Bay, northern east Mediterranean Sea, Turkey. *Food Chemistry*, 91: 167-172.
- Türkmen, M., A. Türkmen, İ. Akyurt and Y. Tepe. 2005b. Limpet, *patella caerulea* linnaeus, 1758 and barnacle, *balanus* sp., as biomonitors of trace metal availabilities in İskenderun Bay, northern east Mediterranean Sea. *Bull. Environ. Contam. Toxicology*, 74: 301-307.
- Türkmen, A., M. Türkmen and Y. Tepe. 2005c. Biomonitorin of heavy metals from İskenderun Bay using two biwalve species *chama pacifica* broderip, 1838 and *ostrea stentina* payraudeau, 1826. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 5:107-111.
- Türkmen, A., M. Türkmen, Y. Tepe, Y. Mazlum and S. Oymael. 2006. Metal concentrations in blue crab (*callinectes sapidus*) and mullet (*mugil cephalus*) in İskenderun Bay, northern east Mediterranean Turkey. *Bull. Environ. Contam. Toxicology*, 77: 186-193.
- Türkmen, M. and C. Ciminli. 2007. Determination of metals in fish and mussel species by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. *Food Chemistry*, 103: 670-675.
- Unep, 1984. United nations environmental programme referans methods for marine pollution, studies no:11. rev:1.
- Ünsal, M., Y. Bekiroğlu, Ş. Akdoğan, Ü. Ataş, Y. Kayıkçı, N. Alemdağ, M. Aktaş and C. Yıldırım. 1993. Determination of heavy metals in some seafood which have economical importance in western Black Sea. *Tubitak Projesi*, No: DEBAG-80/G.
- Uslu O., H. A. Benli and E. Demirkurt. 1999. Heavy metal pollution of seafood in Aegean Sea, *Tubitak Projesi*, No: YDABÇAG-459/G. 80 s.
- Yüceer A. and M. Başıbüyük. 1999. Potential of seawater pollution in İskenderun Bay and coastal area, X. *Su Ürünleri Sempozyumu*, Adana.