

**PORSUK ÇAYI (KÜTAHYA BÖLÜMÜ)'NDAKI
TATLISU MİDYESİ (*Unio sp.*)'NDE BAZI AĞIR
METALLERİN ARAŞTIRILMASI**

Arzu Sultan CELİLOĞLU BEGENİRBAŞ
Yüksek Lisans Tezi

Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı
Aralık-2002

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Arzu Sultan CELİLOĞLU BEGENİRBAŞ 'ın Porsuk Çayı (Kütahya Bölümü)'ndeki Tatlısu Midyesi (*Unio Sp.*)'nde Bazı Ağır Metallerin Araştırılması başlıklı Biyoloji Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans tezi 19.12.2002 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı-Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı)	: Prof. Dr. A. Yavuz KILIÇ	
Üye	: Doç. Dr. Mehtap KUTLU	
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Mustafa TANATMIŞ	
Üye	:	
Üye	:	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25.12.2002.. tarih ve 42/2.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Sıhan ÖZGEN
Fen Bilimleri Enstitüsü
42000

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PORSUK ÇAYI (KÜTAHYA BÖLÜMÜ)'NDAKİ TATLISU MİDYESİ (*Unio sp.*)'NDE BAZI AĞIR METALLERİN ARAŞTIRILMASI

ARZU SULTAN CELİLOĞLU BEGENİRBAŞ

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof.Dr. A. Yavuz KILIÇ
2002, 47 sayfa

Bu çalışmada, Porsuk Çayı'nın Kütahya bölümündeki tatlısu midyesi (*Unio sp.*)'nde, bazı ağır metal birikimleri (oranları) araştırılmıştır. Porsuk Çayı'nın Kütahya öncesi ve sonrası bölümlerinden toplanan kabuk ve canlı midye örneklerinde bakır (Cu), krom (Cr), kurşun (Pb), civa (Hg), arsenik (As), kadmiyum (Cd) analizleri yapılmıştır. Kabuktaki ağır metal birikimlerinde örneğin alındığı lokalitelere göre değişiklik görülmüştür. İç organlardaki ağır metal miktarları ise hem Kütahya öncesi hem Kütahya sonrası için; Cr>Pb>As>Cu>Hg şeklinde bulunmuştur. Kütahya öncesi ve Kütahya sonrası alınan midye iç organlarında As, Hg ve Pb miktarları kabul edilebilir değerlere göre yüksektir. Kütahya öncesi midye kabuğunda yapılan analizde As, Kütahya sonrası midye kabuğu analizlerinde As ve Hg miktarları da kabul edilen değerlerden yüksektir. Ağır metal birikimlerinin çayın Kütahya öncesi, sonrası lokalitelere göre değiştiği, yoğunluk sıralamalarının da lokalitelere göre değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Porsuk Çayı, Kütahya, ağır metal, *Unio sp.*

ABSTRACT**Master of Science Thesis****INVESTIGATION OF SOME HEAVY METALS IN FRESHWATER
MUSSEL (*Unio sp.*) IN KUTAHYA SECTION OF PORSUK CREEK****ARZU SULTAN CELİLOĞLU BEGENİRBAŞ****Anadolu University
Graduate School of Natural and Applied Science
Biology Program****Supervisor: Prof.Dr. A. Yavuz KILIÇ
2002, 47 pages**

In this study, some of heavy metal accumulations were determined in freshwater mussel (*Unio sp.*) in Kütahya region of Porsuk Creek. Copper (Cu), Chromium (Cr), Lead (Pb), Mercury (Hg), Arsenic (As) and Cadmium (Cd) were analysed in samples of shell and live mussel which were collected from before and after Kütahya section of Porsuk Creek. Heavy metal accumulations on shell were varied according to localities where the samples collected. Both before and after Kütahya, amounts of heavy metals in viscera were found in this order; Cr>Pb>As>Cu>Hg. In viscera of mussels collected from before and after Kütahya, the amounts of As, Hg and Pb were higher than the acceptance level. The analysis conducted on mussel shell, As before Kütahya and, As and Hg after Kütahya were higher than the acceptance level. It was also found that heavy metals concentrations and sequence of densities were different according to the localities before and after Kütahya of the Creek.

Keywords: Porsuk Creek, Kütahya, heavy metal, *Unio sp.*

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerek arazi ve gerekse diğer kısımlarında hiçbir yardımı esirgemeyen ve daima destek olan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. A. Yavuz Kılıç'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Kimyasal analizlerin yapılmasında büyük katkıları olan Doç. Dr. Rıdvan SAY'a, Arş. Gör. Sibel EMİR DİLTEMİZ'e, Yrd. Doç. A. Savaş KOPARAL'a Arş. Gör. Ebru ÖNDER'e, Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü'nün tüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Ahmet ÖZATA'ya ve çalışmada yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Arş. Gör. Elif YAMAÇ'a, Arş. Gör. R. Sulhi ÖZKÜTÜK'e, Ayça TÛLÛOĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi desteklerini asla üzerimden esirgemeyen değerli eşim Memduh BEGENİRBAŞ'a ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ağır Metal Kirliliği.....	6
1.1.1. Kurşun (Pb).....	8
1.1.2. Civa (Hg).....	11
1.1.3. Kadmiyum (Cd).....	14
1.1.4. Bakır (Cu).....	15
1.1.5. Arsenik (As).....	17
1.1.6. Krom (Cr).....	20
1.2. Ağır Metaller ve Midyeler.....	21
1.2.1. Çeşitli Ülkelerin Değişik Besinler İle Su Ürünleri İçin Belirledikleri Maksimum Ağır Metal Sınırı.....	25
1.3. Porsuk Çayı'nda Kirlilik Oluşturan Kaynaklar.....	26
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3. BULGULAR.....	34
4. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	37
5. KAYNAKLAR.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
2.1.Çalışma alanın haritası	31
2.2. <i>Unio sp.</i>	32

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

1.1. Çeşitli ülkelerin farklı besin maddelerindeki bazı ağır metal maksimum sınırları.....	25
1.2. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı'nın su ürünlerindeki kabul edilebilir ağır metal oranları	25
1.3. ABD'de 1990 yılı için çıkış sularında izin verilen tipik deşarj limitleri	25
1.4. Canlı, dondurulmuş ve işlenmiş çift kabuklu yumuşakçalarda kabul edilebilir ağır metal oranları	26
1.5. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri	26
1.6. Porsuk çayı kalitesinin çeşitli standartlara göre değerlendirilmesi.....	28
1.7. Porsuk Çayı'nın değişik noktalarından alınan su örnekleri	30
2.1. Belirtilen lokalitelerden bulunan örneklerin durumu	33
3.1. Belirtilen lokalitelerden toplanan örneklerin bakır (Cu) konsantrasyonları	34
3.2. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin kurşun(Pb) konsantrasyonları ...	35
3.3. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin krom (Cr) konsantrasyonları ...	35
3.4. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin arsenik (As) konsantrasyonları ..	35
3.5. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin civa (Hg) konsantrasyonları.....	36
3.6. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin kadmiyum (Cd) konsantrasyonları.....	36

KISALTMALAR DİZİNİ

- AAS** : Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre
Cu : Bakır
Pb : Kurşun
Hg : Civa
As : Arsenik
Cr : Krom
µg : Mikrogram
mg : Miligram
L : Litre
HNO₃ : Nitrik asit
HClO₄ : Perklorik asit
DDT : (Dikloro-difenil-trikloroetan)
B.H.C.: (Benzen Hegza Klorür)
S : Kükürt
PCB : Polychlorinated Biphenyls
HCH : Hexachlorocyclohexane
FAO : Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü
***** : Aletin duyarlılık sınırının altındaki değerler
WHO : Dünya sağlık örgütü

1. GİRİŞ

Günümüz dünyasında canlı ve cansız varlıklar arasındaki dengeli ilişkiler, insanların neden olduğu birçok olumsuz etkiler nedeniyle hızla bozulmaktadır. Halbuki canlılık, onun ortamı ile arasındaki madde ve enerji alışverişi sürdürülebildiği sürece devam eder. Bu nedenle tüm canlılar, yaşamlarını düzenli bir biçimde sürdürebilecekleri uygun bir çevreye gereksinim duyarlar. Ancak günümüzün en önemli problemlerinden birisi çevre kirlenmesi, dolayısıyla canlıların gereksinim duydukları uygun çevreyi kaybetme tehlikesidir. Çevre kirliliği denildiğinde hava, su, toprak kirlenmesi akla gelir. Canlı hayatında çok önemli yer tutan bu üç unsurun doğal dengesi bozulduğunda canlılar üzerinde olumsuz etkiler açık bir biçimde bilinmektedir.

Bu çalışmanın konusu içine giren su kirliliğini FAO, canlı kaynaklara zararlı, insan sağlığı için tehlikeli, balıkçılık gibi çalışmalarını engelleyici, su kalitesini zedeleyici etkiler yapabilecek maddelerin suya atılması şeklinde tanımlamaktadır. İç sular genellikle evsel ve endüstriyel atıklar, zirai savaş ilaçları, gübreler ve toprak erozyonu gibi etkilerle kirlenir. Sağlıklı bir akarsuda bitki ve hayvan yaşamı ile ilgili olarak ekolojik bir denge bulunmaktadır. Kirlilik bu dengenin değişmesine neden olur (Yılmaz 1998).

Komünite ve ekosistemlerde bulunan türlere ait bireylerin diğer tür veya türlere ait bireyler üzerinden beslenmesi sonucu oluşan halkalar serisine besin zinciri denilmektedir. Birçok besin zinciri iç içe bağlanmıştır. Bu nedenle bu organizasyonu bir besin ağı olarak tanımlamak daha doğru olur. Bitkilerle başlayan bu besin zincirinde zincirin halkalarını oluşturan çeşitli gruplar vardır. Bunlar üreticiler, birincil tüketiciler, ikincil tüketiciler, üçüncül tüketiciler ve ayrıştırıcılarıdır. Bitkilerde birincil net üretim şeklinde biriken kimyasal enerji beslenme yoluyla bir hayvandan diğerine zincirleme olarak geçer. Böylece güneş enerjisinin primer üreticilerde kimyasal enerji halinde biriktirilmesi ile oluşan besin maddelerinden başlayarak, tüketicilere aktarılması ile onlarda depo edilen maddeler ayrıştırıcılara kadar gider (Çepel 1983; Berkes ve Kışlalıoğlu 1993 ve Kocataş 1992).

Karasal ortamlarda besin zinciri genellikle çiçekli bitkilerle, sucul ortamda ise mikroskobik alglerle başlar (üreticiler). Birincil tüketiciler bitkisel organizmaları besin olarak kullanan hayvanlardır. Karasal ortamdaki otobur formların esasını böcekler, kemirici memeliler ve geviş getirenler oluşturur. Deniz ve tatlı sularda ise fitoplanktonik formlarla beslenen küçük boylu Crustacea ve Molluca türleri genelde otoburdur. Otobur hayvanları besin olarak kullanan hayvanlar ikincil tüketicileri, ikincil tüketicileri besin olarak kullanan etobur hayvanlarda üçüncül tüketicileri oluşturur. Ayrıştırıcılar besin zincirinin son halkasını oluşturan organizmalardır. Çürümekte olan organik madde (detritus) üzerinden başlayan besin zinciri doğada çok çeşitli şekillerde gözlenebilir. Doğada detritusla geçinen pek çok form (detritivor) mevcut olup, bunlardan küçük boylu omurgasızlar ilk sırayı alırlar. Bunlara örnek olarak kurumuş ağaç gövdesinden beslenen omurgasızlar, deniz diplerinde yaşayan Polychaeta ve Mollusca türleri, balıklardan kefal türleri gösterilebilir (Kocataş 1992).

Nehirlerde besin zincirinin tabanında fitoplanktonlar gelmektedir. Bunlar zooplanktonların besinini oluşturmaktadır. Yumuşakça, kabuklu ve zooplanktonlarla beslenen balıklar ise besin zincirinin en üstünde bulunurlar (Denny ve ark. 1987).

Sucul ortamlardaki üretkenlik, ham materyalin sağlanması ve bu materyali çeşitli hayat formlarına dönüştüren biyolojik etkenlerle sınırlıdır. Oksijen, karbondioksit, azot, fosfor ve yeterli miktarda güneş ışığının sağlandığı nehirler ve göller, bitkiler ve hayvanlar için zengin yaşam ortamlarıdır. Bu ortamlarda besinler yeterli miktarda değilse, su kirletilmiş ya da yeterli miktarda güneş ışığı almıyorsa orada hayat belirtisi düşük seviyededir (Hammer ve Hammer Jr. 1996 ve Horne ve Goldman 1994).

Ortamın besin ilişkisinin bu karışık sistemi kirlilikle bozulabilir. Örneğin birinci üretim, bulanıklığın artması veya yüksek miktarda fertilizasyon ile bozulabilir. Bulanık su, güneş ışığını bloke eder ve bitki büyümesini yavaşlatır. Bu da besin zincirinde yiyeceğin ve besinlerin azalmasına neden olur, böylece yüksek yaşam formlarının oluşmasını engeller. Endüstriyel atıklar, asitler, yağlar, ağır metaller veya diğer kimyasallar akuatik hayat üzerine direkt olarak etki ederler. Birçok atık, balıkları doğrudan öldürebilir. Eğer bu atıklar, suyun pH

oranını yeterli oranda değiştirirlerse, bu maddeler su yüzeyini kaplayarak oksijen çözünmesini engeller. Bu da balıkların ölümüne neden olabilir. Eğer balıkların beslendiği üreticiler ve birincil tüketiciler bu endüstriyel atıklarla zehirlenerek yok edilirse balıklar aç kalarak ölürler. Bazı kimyasallar besin zincirinden geçerken biyolojik olarak artarlar. Eğer civa, kurşun ve klorlu hidrokarbonlar suda mevcutsa alglerde bunların konsantrasyonları daha yoğun bulunmaktadır. Kirletilmiş algleri tüketen herbivorların vücutlarında daha büyük oranda kirlilik bulunur. Bu birikim balıklarda daha fazladır. Biyolojik çoğalmanın ciddiyeti değişik kimyasallarda farklılıklar gösterir. Çoğunlukla etki doğrudan değildir. Genellikle üreme başarısının düşmesi ya da vücut fonksiyonlarının etkilenmesi nedeniyle popülasyondaki birey sayısının azalması balıkları başarısız predatörler haline getirir. Ayrıca bu balıklar besin zincirinin üst sıralarında yer alan insanlar tarafından yenildiğinde biyolojik birikimin etkileri insanlara taşınır. Ya da balık eti kirletilmiş veya yenmeyecek duruma da gelebilir (Hammer ve Hammer Jr. 1996).

Kirlenmenin kökeni aslında çok eski devirlere uzanmaktadır. Bugün modern teknolojik kirleticiler, şehir atıkları, yerleşim ve endüstriyel merkezlerin atık suları gibi emisyon problemleri eski devirlerdekililerle karşılaştırıldığında etkilerinin çok farklı olduğu görülür. Bütün bu problemler, tahribat derecesini ve genişliğini bilmeden, insanın faaliyetleri sonucu oluşan artıklardan meydana gelir (Akman ve ark. 1996).

Yaygın kaynak kirliliğine noktasal kaynaklardan farklı olarak çevredeki yaygın ve dağılmış kaynaklardan gelen kirlenmiş ve akışa geçmiş sular neden olur. Bu su arazi üzerinde veya altında akararak doğal ve insan etkileri sonucunda oluşan kirleticiler bileşenleri alıcı ortamlara ulaştırmaktadır. Kaynaklar; aşırı gübreleme, herbisitler, insektisitler, kentsel atık sulardan gelen toksik bileşenler, çiftliklerden gelen patojenler ve besin maddeleri, insan ve hayvan atıklarıdır (Göncü 2001).

Yüzey ve yeraltı suları tüm canlıların yaşamında temel kaynak oluşturan önemli bir çevre faktörüdür. Bu kaynakların çeşitli yollarla kirlenmesi başta insanlar olmak üzere canlı hayatını önemli ölçüde tehdit etmektedir. Öyle ki kirlenmenin derecesi ve çeşidine göre kitle halinde ölümlere bile sebep

olmaktadır. Yüzeý ve yeraltı sularının kirlenmesinde organik maddeler, besleyici tuzlar, mikroorganizmalar, anorganik maddeler, askıdaki katı maddeler, deterjanlar, gübreler, pestisitler, ağır metaller, radyoaktivite, yağlar ve petrol ürünleridir.

Çalışma konusunu oluşturan ağır metalleri içermeleri açısından bu kirleticilerden birisi gübrelerdir. Gübrelerin su kirliliğinde iki türlü etkileri vardır. Bunlardan birincisi ötrifikasyona olan katkıları, ikincisi ise gübre elementlerinin yüzeý ve yeraltı sularında birikim yapmasıdır.

Deniz, akarsu ve göllerde en belirgin kirlenme çeşitlerinden biri, aşırı üretim anlamına gelen ötrifikasyondur. Aslında ötrifikasyon doğal bir olaydır. Suyun yeşil ve bulanık bir renge dönüşmesine, kıyılarda alglerin birikmesine yol açar. Ayrıca insanların karasal ortamda çeşitli aktiviteleri sonucu neden oldukları aşınım olayı, evselatıklar, fosfatlı deterjanlar vb. fosforun denizlere taşınmasını hızlandıran olaylardır. Bu atıklar özellikle göl ve akarsularda ötrifikasyona neden olur (Kocataş 1992 ve Kışlahoğlu ve Berkes 1994). Gübre içindeki fosfat ve kadmiyum (Cd) da çevre için sorun yaratmaktadır. Bu nedenle Hollanda gibi ülkelerde kullanımı sınırlandırılmaktadır (Anonim-1 1996).

Gübrelerin su kirliliği üzerindeki etkileri sadece gübre elementlerinden kaynaklanmamaktadır. Gübre sanayii atıkları ile gübre üretiminde kullanılan ara maddeler de sularda kirliliğe yol açmaktadır. Bunların yanında gübrelerin topraklara verilme zamanı, miktarı ve metodu gibi hususlar da bu kirlilikte önemli oranda etkili olmaktadır. Ayrıca gübre elementlerinin yüzeysel ve yeraltı sularına geçmesinde rol oynayan etkiler de kirlenme olayına geniş çaplı olarak katılmaktadır. Bütün bunların etkilerini azaltan veya arttıran insan faktörüdür (Şahin 1991).

Çalışma alanını oluşturan Porsuk Çayı üzerinde Kütahya'daki azot gübre fabrikaları uzun yıllardır azot atıklarını Porsuk Çayı'na vererek kirlenmeye yol açmıştır. Bu atıklar Porsuk Baraj Gölünde birikerek etkisini daha uzun yıllar sürdüreceği bir duruma gelmiştir (Anonim-2 1987).

Bir diğer önemli kirleticisi ve ağır metallerle ilişkili faktör de pestisitlerdir. Pestisitlerin farklı şekilde ve farklı alanlarda kullanılması bitki ve hayvanlarda

öldürücü etkilere yol açmaktadır. Besin zinciri yolu ile de diğer canlılara geçmektedir (Jeffries ve Mills 1995 ve May ve ark. 1991).

Pestisit kalıntısının yoğunluğu kişinin kimyasal böcek öldürücülerle karşı karşıya kalıp aldığı miktarla orantılıdır. Vücuda bunların en iyi girme biçimi besinlerle olmaktadır. Besininin büyük kısmını et, balık, kümes hayvanları teşkil eden toplumlarda birikim, besin zinciri yoluyla daha yüksektir (Şişli 1999).

Civalı organik fungusidler hayvan organizmalarında inanılmaz birikimler yapmaktadır. İsveç'te av mevsiminde avlanan sülünlerde 900 kat daha fazla civa bulunmuştur (Akman ve ark. 1996).

Pestisitlerin bir besin seviyesinden diğerine biyoakümülyasyonu 10-100 kez artmaktadır. Besin zincirinin en üst düzeyindeki bir organizma, daha alt düzeydeki bir organizmadan 1000 kez daha fazla seviyede pestisit konsantrasyonuna sahiptir (Balkaya 1998).

Toprak altından çıkarılan madenler ve yakıtlar kullanılıp, atıldıktan sonra yok olmazlar. Bunları oluşturan atomlar yeniden birleşip kullanılamayacak bir şekilde havaya, toprağa ve suya dağılırlar. Doğal ekolojik sistemler insanın faaliyetleri sonucu oluşan artıklarının büyük bir bölümünü emer ve diğer canlılarca kullanılabilir hale getirir, ya da en azından onları zararsız maddeler haline sokar. Ancak çevreye atılan artıkların miktarı çoğaldıkça doğal emme mekanizması doyum noktasına erişir (Atayeter 1991b).

Yumuşakçalar, metal konsantrasyonlarına benzer şekilde bazı pestisitleri de bünyelerinde bulundururlar. Pestisitlerin bulunduğu ortamda yapılan bir çalışmada dieldrin ve endrin'in gastropodlardan *Ilyanassa obsolata*'da 0.26 ppm, başka bir midye türünde de bu oran 0.42 ppm olduğu gözlenmiştir. California'da ise DDT ürünlerinden bu dieldrin ve endrin yumuşakçalarda 10-3600 ppb yoğunluğunda tespit edilmiştir. Ancak yumuşakçalar bu pestisit birikiminden sonra, eğer uygun ve temiz akıntılı bir ortama konulurlarsa kendilerini pestisitlerden arındırabilirler (Menzel 1979).

1.1. Ağır Metal Kirliliği

Tüm canlılar normal yaşam aktivitelerini sürdürebilmek için ortamlarında bulunan Fe, Cu, Zn, Cd, Mn, Cr, Mo, V, Se, Ni ve Sn gibi ağır metallere belirli düzeylerde gereksinim duyarlar. Bu metaller, organik moleküllerle, daha çok proteinlerle birleşerek metal protein komplekslerini oluştururlar. Bunun yanında, pek çok enzimin yapısında da bulunurlar. Ağır metaller deniz ortamında belirli oranlarda iz halinde bulunmalarına karşılık, organizmadaki doğal düzeyleri ve birikimleri farklı olmaktadır. Metaller çevre kirlenmesine neden olmaları ve çok düşük konsantrasyonlarda bile deniz organizmalarına ve dolayısı ile insanlara toksik etki yaptıklarından dolayı deniz ekosisteminde sürekli izlenmektedirler.

Düşük konsantrasyonlarda geniş alanlara dağılmış olan ağır metaller, endüstriyel tesislerin çevrelerinde bölgesel olarak oldukça yüksek konsantrasyonlarda da bulunurlar. Bu metallerin çoğu genellikle endüstri atıklarında ve fabrika çevrelerindeki havada küçük partiküller halinde bulunurlar. Havada bulunan partiküller sonuçta toprak ve suda birikir. Endüstriyel kaynaklardan akarsular aracılığıyla gerçekleşen kirlenme bölgesel bir kirlenme olup daha çok kıta suları ve kapalı denizler bu tür kirlenmeden etkilenmektedir. Bu şekilde kirlenmenin riski daha fazladır. Çünkü bu bölgelerde yüksek bir üretkenlik ve biyokütle yoğunluğu vardır. Ağır metallerin denize geçişinde havanın rolü küçümsenmemekle birlikte, en önemli yolun karalardan doğal aşınma ve doğrudan doğruya denize yapılan endüstriyel deşarjdır (Atayeter 1991b).

Ağır metaller suda çok az miktarda bulunsalar bile su hayvanları için toksiktir (Pb, Hg, Cu, Zn gibi). Çoğu 1 ppm sınırında öldürücüdür (Mutluay ve Demirak 1996).

Günümüzde birçok gelişmiş ülke, su ürünlerinde izin verilebilecek maksimum ağır metal düzeylerini yönetmelik ve standartlarla belirlemiş durumdadır. Ayrıca, gelişmiş ülkelerde resmi kuruluşlar midye toplama bölgelerine ilişkin sınırlamalar da getirmektedirler (Atayeter 1991b).

Toksik elementlerin sağlık üzerinde ters etkileri vardır. Kimyasalların birçoğu toksik olarak sınıflandırılır. Fakat bazılarının toksik etkileri daha fazladır.

Bir maddenin toksik etki seviyesi, onun ters etki yaratma miktarıyla ve bazı durumlarda etkinin çeşidiyle alakalıdır. Birçok kimyasal element vazgeçilemez ve insan sağlığına yararları vardır. Ancak bu elementler aşırı derecede alındığında vücutta toksik etki yapabilirler (Fergusson 1990).

Zn, Cu, Cd gibi ağır metallerin elektrik, kağıt, boya, plastik, metal kaplama ve cam sanayii gibi çeşitli endüstri alanlarında kullanımı ve tarımda verimi arttırmak amacı ile yaygın olarak kullanılan pestisit ve yapay gübrelerin bileşimine girmeleri, bu metallerin su ortamındaki derişimlerini arttırmaktadır (Özkan ve ark. 1997).

Özellikle metal kaplama ve demir çelik endüstrisinden gelen atıksular içindeki ağır metallerden kadmiyum, civa, kurşun ve krom besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılamadıkları için canlılarda fizyolojik birikime neden olurlar. Bünyede belirli sınır konsantrasyonlarının aşılması halinde ise canlıda toksik etkiler söz konusu olur. Bu birikim sonucunda sularda yaşayan balıklar ve diğer canlılar ölebilir ve hatta bu çeşit su ürünleri ile beslenen insanların bile olumsuz sağlık etkilerine uğraması söz konusudur (Beyazıt ve Peker 1998).

Litoral zonda yakalanan balıkların vücut yüzeylelerinde ve bağırsaklarında virüs ve bakteriyel patojenlere rastlamak mümkündür. Balıkların kontaminasyonundan daha önemli olan ise kabuklu deniz hayvanlarının kontaminasyonudur. Midye ve istiridyeler tuzluluğun %0,8–3,6 olduğu kıyı ve haliçlerde üremektedirler. Böylece kıyıya atık su deşarjı ve kirletilmiş akarsular bu su ürünlerini direkt olarak olumsuz bir şekilde etkilemektedir (Alkan ve ark. 1998).

Su devri çok yavaş olan, çeşitli atıklarla çok fazla yüklenen dip sedimentleri üzerindeki ağır metallerin, kükürtlü hidrojen gazı (H_2S) ile tutularak metal sülfürleri halinde depo edildiği; ayrıca, iç körfez sedimentlerindeki ağır metal düzeylerinin de, endüstrinin yoğun olduğu iç körfezden dışa doğru giderek azaldığı rapor edilmiştir. Diğer taraftan, Akdeniz ile komşu olduğumuz İsrail ve İspanya gibi ülkelerin sahil kenarı sedimentlerinde de en yüksek metal derişimlerinin kanalizasyon ağızlarına en yakın olanlarda olduğu saptanmıştır. Mevsimsel olarak alınan örneklerin ortalama ağır metal derişimleri de farklılıklar

göstermiştir. Örneğin; midyelerin yenilebilir kas dokularında ağır metal düzeyleri diğer türlerden daha yüksek bulunmuştur. Bu artışın beslenme ve biyotop farklarından olabileceği belirtilmiştir. Bunun sonucunda, sedimentlerden elde edilen ağır metal derişimlerinin, evsel ve endüstriyel atıklarla kirletilmiş kıyı sonlarında kirlenmenin takip edilebilmesi için, mükemmel bir gösterge oluşturulacağı anlaşılmıştır. ICRP – 23 raporuna göre, insanın besinlerden günde ortalama olarak, 3500 µg Cu, 3700 µg Mn, 13 000 µg Zn, 16 000 µg Fe ve 150 µg Cd aldığı hesaplanmıştır. Ayrıca FAO 1977 kayıtlarındaki deniz organizmaları için ağır metal düzeyleri Cd için 0,001-1,5 µg/g, Zn için 3,0-100 µg/g ve Pb için 0,05-5,0 µg/g kuru ağırlık olarak rapor edilmiştir (Gey ve Mordoğan 1988).

1.1.1. Kurşun (Pb)

Kurşun, ilk çağlardan günümüze kadar insanlar tarafından yoğun şekilde kullanılmış bir elementtir. 327°C'de erir ve 1749°C'de kaynar. Bu sıcaklığa ulaşmadan çok önce, zehirli buharlar yayar. Açık havada bazik karbonat oluşmasıyla donuklaşır. Fakat bu değişiklik yüzeyde kalır. Karbondioksit eşliğinde saf suda ayrışarak, oldukça az çözünen zehirli bir tuz meydana getirir. Suda sülfatlar varsa bu çözünme gerçekleşmez.

Kurşunun kullanım alanı çok geniştir. Saf ve alaşım halindeki kurşun, aşınmaya dayanıklı olduğu için, levhalar halinde kaplama malzemesi olarak ya da boru şeklinde kullanılır. Kurşunun sertliğini arttıran antimon ile yapılan alaşımı, matbaa harfleri ve akümülatör plakaları yapımında kullanılır. Seramik, porselen ve kristal eşya yapımında kullanılır. Bu ve bunlar gibi pek çok alanda kullanılan kurşun solunum ve sindirim yoluyla absorbe edilir. Sindirim yoluyla kurşun absorpsiyonu yavaştır. Kurşun tozları, mide suyunda ve kanda, metalik kurşun doku sıvılarında çözünebilir. Bu nedenle vücuda girmiş olan kurşun yavaş yavaş çözünerek kurşun zehirlenmesine neden olur. Vücutta, toplam kurşun birikimini %2'si kadardır. Kan kurşununun %90'ı eritrositlerde bulunur. Kurşunun bünyeden atılım hızı çok yavaştır. Genç yaştaki insanlarda yumuşak dokularda birikir. Kana geçtiği zaman böbrek, pankreas, dalak, akciğer, kıkırdak ve kaslara dağılır. Anorganik kurşun, serum proteinine bağlanır ve kanda dolaşır, tetraetil

kurşunsa karaciğerde çok zehirli olan trietil kurşuna dönüşür (Boşgelmez ve ark. 2001).

Kurşunun yerel bölgesel ve global biyojeokimyasal dönüşümü toksit elementlerden daha çok insanları etkilemiştir. Gerçekte günümüzde dünyada sadece birkaç bölgede antropojenik kurşun bulunmamaktadır. Günümüzde Kuzey Kutbundaki birçok buzul tabakalarında kurşun konantrasyonu ilk çağlardaki değerlerden 10 ila 100 kez daha yüksek bulunmuştur. Daha da önemlisi şu andaki değerler güney kutbundaki aynı çağa göre 10 kat daha fazladır. Hatta Güney Kutbunda günümüzün kurşun birikim oranı teknoloji gelişiminin ilk yıllarına göre 2 ila 5 kat daha fazladır.

İnsanların yaşadığı merkezler kurşunun çok fazla bulunduğu yerler olarak görülebilir. Öyleki bu yüksek seviye teknolojinin ilk yıllarına oranla bir kaç bin kez daha fazladır. Tüm insanların özellikle şehir merkezlerinde bir arada bulunmaları diğer etkenlere göre kurşunun çok ciddi bir çevresel ve sağlık sorunu oluşturmasını sağlamıştır. Kurşunun eritilmesi, kullanılması ve toksit madde taşınması eski zamanlarda bilinirdi. Fakat kurşunun dönüşümündeki büyük değişimler endüstriyel gelişmelerin yapılmasından sonra oldu. Özellikle 1923 yılında kurşunlu benzinin ortaya çıkmasıyla bu kaynakların dağıtım ağı olması ve dışarı atılan partiküllerin küçük çaplı olması nedeniyle büyük dönüşümlerdeki büyük değişimler meydana gelmiştir. Bu değişiklikler özellikle endüstriyel reformdan sonra ve 1923 yılında kurşunlu benzinin ortaya çıkmasıyla gerçekleşmiştir. Günümüzde yapılan araştırmalar, kronik kurşuna maruz kalmış çocukların zeka ve sinir sistemi üzerinde önemli etkiler yaptığını ortaya çıkartmıştır.

Kurşun hem inorganik şekilde Pb (II), çok az olarakta Pb (IV) ve organik olarak 4 Pb-C şeklinde bulunmaktadır. Organometalik kurşun bileşenleri hakkında insanların beyinleri, kuşlarda, sedimentlerde, deniz balıklarında insanların yaşadığı havada yapılan birkaç düzensiz ölçümler dışında çok az bilgi vardır. Hepsi olmasa bile organometalik kurşunların çoğu çevreye benzinli katkılarının buharlaşmasıyla geçmektedir (bu katkıların yaklaşık %5'i dışarıya yanmadan atılır). Benzin katkılarının buharlaşmasından dolayı inorganik çevresel kurşunların biyotransformasyonundan daha fazla organometalik kurşunlar çevreye

yayılır. Organometalik kurşun akımı inorganik kurşun akımıyla karşılaştırıldığında bu oran daha küçüktür. Fakat bazı bölgelerde özellikle benzin istasyonlarının yakınlarında bu oran tehlikeli boyutlara ulaşır. İnorganik kurşunlar üzerindeki araştırmalar organometalik araştırmalarından daha fazladır (Denny et al. 1987).

Tetraetil kurşun organometalik bir türevidir; kurşun iyodürün etil magnezyum iyodüre etki etmesiyle elde edilir. Az miktarda kullanılarak içten yanmalı motor yakıtlarının kalitesini düzelteren tetraetil kurşun, bir patlama önleyicisidir, fakat çok zehirlidir (Boşgelmez ve ark. 2001).

Kurşunun çevresel dönüşümü ve insanın kurşuna maruz kalmasının döngüsü bilinmektedir. Onun doğasına ve pozisyonuna bağlı olarak herhangi bir kaynak suya ve havaya kurşun verebilir. Kurşunun taşınması için başlangıç ortamı havadır. Çünkü küçük partiküller (ki bunlar 1 mm çapından daha küçüktür), antropojenik yüksek ısı kaynaklarında meydana gelen partiküllerdir ve çok uzak mesafelere ulaşabilmektedirler. Bu partiküllerin havada kalış süreleri birkaç saatten birkaç güne kadar olabilmektedir. Volkanlar ve orman yangınları dışında diğer doğal kaynaklı olan düşük dereceli emisyonlar, büyük partikülleri oluşturur ve bu partiküllerin de dağılması ve yayılması çok hızlı olur. Yüksek bacaların emisyonlarından dolayı kurşunun etrafa dağılması 30 km ve daha fazla olabilmektedir (Denny ve ark. 1987).

Kurşunun insanlar için zehirli olduğu yüzyıllardır bilinmektedir. Romalılar lezzet vermesi için şarabı kurşun kaplarda bekletmişler; bu nedenle de, kronik kurşun zehirlenmeleri olmuştur. Günümüzde kurşun kirliliği o kadar artmıştır ki, sanayileşmiş ülke insanının vücudundaki kurşun miktarı, sanayi devriminden önce yaşamış olan bir insanınkinden 500-1000 kat daha fazladır. Kutuplardaki kar ve buzullarda bile kurşun birikimi söz konusudur (Boşgelmez ve ark. 2001).

Topraktaki depolanmış pek çok kurşun partikülleri yüzeydeki tabakayla zamanla karışmış duruma gelir. Toprak yüzeyinde biriken kurşun direkt olarak yeryüzünde bulunan hayvanlar ve toprak mikroorganizmaları tarafından alınır ve topraktan yetişen besin zincirlerine oradan da insana kadar ulaşır (Denny ve ark. 1987).

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu kesimlerde, insanlar ve hayvanlar, havadan soludukları kurşuna ilave olarak, kurşunla kirlenmiş bitkileri yemek suretiyle zehirlenmektedir. Yetiştığı toprağa bağlı olarak, bitkisel kaynaklı besinlerde kurşun miktarı ortalama, 0-2,5 mgr/kg; balık ve deniz ürünlerinde 0,2-2,5 mgr/kg; et ve yumurtada 0-3,7 mgr/kg arasında değişmektedir (Boşgelmez ve ark. 2001).

Nehirlerin içerisindeki kurşunlar; biriken yağmur sularından, doğal erozyonlardan ve havadaki kurşun birikiminden gelir. Büyük göllerde ise kurşunun büyük bir bölümü bulutlarda birikmiş olan kurşunun yağmur şeklinde düşmesiyle meydana gelir. Tatlı su genellikle deniz suyundan daha fazla içerisinde inorganik ve organik geçici materyaller içerir. Bu materyaller yüksek derecede çözülmüş kurşunu emme eğilimine sahiptir. Böylece tatlı sudaki kurşun hareketleri suyun çalkantılı hareketiyle yakından ilgilidir. Mikroorganizmalar ve bitkiler su sütunlarından çok güçlü olarak kurşun toplama eğilimi gösterirler. Bentik organizmalarda kurşun içeren partiküllü maddeler depolanır. Özellikle filtre besleyiciler sayesinde kurşunun deniz besin zinciri içerisine girdiği gözlenir. Balıklar yumurtalarını yeryüzü sedimentlerine bırakırlar ve birçok genç balık türü kurşuna karşı yetişkin balıklara göre daha hassastır. Böylece balıkların yumurtlama bölgesindeki kurşun kirlenmesi balık popülasyonunu ve insanların yiyecek kaynaklarını olumsuz yönde etkiler (Denny ve ark. 1987).

1.1.2. Civa (Hg)

Birçok metal ve metasellerin çevreye olan potansiyel zarar verici etkileri arasında civanın en başta gelenlerindedir. Civa kimyasal olarak farklı olduğu gibi güçlü kovalent bağ oluşturma eğiliminden dolayı biyolojik sistemler içindeki davranışı da farklıdır. Civanın erken toksik etkilerinin inceliği, bu döngünün anahtar parçalarının ve hedef nüfusun dikkatlice izlenmesini gerektirir.

İnsanların bundan etkilenmesinin ana yolu genellikle suda yaşayan organizmalar, özellikle balıklardır. Civa besin zincirini biyomagnife eden tek metaldir. Buna ek olarak, çoğu metalin aksine, civa sulu ortamlarda en zehirli formu olan metil civa haline dönüşebilir. Bu gerçekler civayı en uzak olanlarda

bile ciddi potansiyel tehlike yapar. Bu gözlemler, civanın çevreye olan etkilerinin sinsi, ortaya çıkarılması zor olduğunu ve geniş bir alanı etkileyebileceğini ortaya koymaktadır.

Civa emisyonları (hem doğal hem de antropojenik olanları) buhar hallerinde atmosfere kaçmaları nedeniyle küresel atmosfer havuzunda büyük miktarı gaz halinde bulunur. Ayrıca bu formların dirençli olmaları, uzun mesafelere taşınmalarına neden olur.

Bu nedenlerle, civa tortusunu arttıran ve küresel döngüde önemli etkileri olan atmosferdeki genel kimyasal değişikliklere odaklanmalıyız. Bu değişiklikler hem kentsel hem de kırsal alanlardaki büyük kaygı verici olayların göstergesi olabilir. Biyomagnifikasyon söz konusu olsun ya da olmasın besin zinciri transferi, ana su bağlantılarıyla kesin iyi tanımlanmış besin zincirleriyle sınırlanmış görülmektedir. Örneğin balık yiyen kuşlar ve memeliler üzerindeki direkt etkiler, Kanada ve İsveç'te izole edilmiş olaylar olarak rapor edilmiştir. Civanın insana kaydedilmiş akut etkilerine ek olarak atmosferik civa buharının insan üzerindeki uzun dönemli kronik potansiyel etkileri konusunda elimizde yeterince veri bulunmamaktadır.

Metil civanın insanı etkilemesinin birinci yolu yiyecek, özellikle balık tüketiminden geçer. Dünya üzerindeki birçok insan nüfusu, yüksek balık tüketimleri sebebiyle metil civa zehirlenmesi için yüksek risk grubunda tanımlanmaktadır. Birçok balıktaki yüksek civa oranları hem antropojenik (Kanada, İtalya) hem doğal (Yeni Gine, Yeni Zelanda) kaynaklarla ilişkilendirilmiştir. Metil civa intoksikasyonunun teşhisi için yapılan birçok denemeler yetersiz çalışmalar olarak kalmıştır. İnsan üzerinde ilerde yapılacak klinik, epidemiolojik yada nörolojik testler istatistik olarak geçerli ve dikkatlice tasarlanmalıdır.

İlgilenilen diğer zehirli maddelere karşıt olarak (Cd, Pb) metil civanın insanlar ve diğer memeliler üzerindeki beslenme ile ilgili etkilerinin (Örn. Cd etkilemesi) çok azı bilinmektedir. Yüksek risk grubundaki insanların rutin testleri mümkün olduğu kadar izin alınarak fakat geçerli teknikler kullanarak geliştirilmelidir (Örn. Saç analizleri gibi). Ayrıca bu bölgelerdeki balık tüketimine bakılmaksızın civanın çevreye boşaltılması konusunda bölgede yaşayan insanlara

sorumluluk verilerek gözlem altında tutulmalıdır. Kuzey Amerika ve Avrupa'nın çoğunluğunda civanın tarımsal amaçlar ve direkt endüstriyel kullanım sonucu çevreye yayılması büyük ölçüde kısıtlanmışken, gelişmekte olan ülkelerde bu durum söz konusu değildir. İnsanlığın civa zehirlenmesinden korunması için önlemler alınmalıdır.

Civa diğer toksik maddeler arasında "akuatik" besin zincirine biyomagnifiye edebilen yegane metaldir. Bununla birlikte çevreye olan etkilerinin kanıtı, yüksek tropik derecelere sınırlandırılmıştır. Fitoplanktonik fotosentezdeki etkilerin deneysel demonstrasyonunda, deniz suyunda milyarda bir ppb derecesinde civa bulunmuştur. Çevredeki civayla ilgili biyolojik etkiler genellikle civanın havaya yada suya nokta kaynaklarından büyük oranda yerel yayılmasıyla ilişkilendirilmiştir. Örneğin yüksek oranda civa çeşitli akuatik organizmalarda bitkilerde ve kloralkali bitkilerin bulunduğu akıntılarda yaşayan balıklarda gözlemlenmiştir. Kirlenmiş su ürünlerinin tüketimi akuatik biota için zehirli etkiler kaydedilmediğinden civa zehirlenmesine yol açmıştır. Kanada'da balık yiyen kuşlar, beyaz vizon ve su samurları gibi türler bu koşullardan etkilenmiştir. Yine organo-civa bileşiklerinin kullanımı sunucu vahşi kuşlarda ciddi kirlenmeler görülmüştür. İsveç'te av hayvanları ve tilki gibi yırtıcı hayvanlar bundan en çok etkilenen hayvanlardır (Goldberg ve Wren 1987).

Göl, nehir ve okyanus sularında civa konsantrasyonu ppb düzeyindedir. 1956 yılında salgın bir hastalık Minimata Körfezi'nde baş gösterdi. Hastalığın sebebi ise besinlerin doğadan karşılanması, yumuşakçalar, kabuklular ve körfezden tutulan balıklardı. Bu konuda bilinen 116 resmi vakadan 43 tanesi ölümle sonuçlanmıştır (Akman ve ark. 1996 ve Kışlalıoğlu ve Berkes 1993).

Fabrikalardan atılan civanın, sedimentlerle mikroorganizmalar tarafından metil civaya dönüştüğü, lipolif özellikte ve çok toksik olan bu bileşiğin biyobirikim ve besin zinciri (metil civa → akuatik bitkiler → algler → ilkel hayvanlar → balıklar ve deniz kabuklu hayvanları → insan) yolu ile insanlara ulaştığı anlaşılmıştır (Çiçek ve ark. 1997).

1.1.3. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum nadir bulunan iz elementlerden olup, nadiren saf mineral halde bulunur. Ticari olarak çinko cevherinden ekstre edilir. Kadmiyumun küçük fakat önemli bir kaynağı da bakır saflaştırma yan ürünü ve daha az bir miktarda kurşunun işlenmesidir (Varlık 1991).

Kadmiyum canlılar için gerekli elementler grubuna girmemektedir. Buna rağmen çevre kirliliği olan denizlerde Cd canlı vücuduna alınmakta, biriktirilmekte ve değişik seviyelerde toksik etkiler göstermektedir. Kadmiyum akuatik organizmalarda da toksik etkiye yol açmaktadır (Parlak 1989 ve Dopson 1992).

Kadmiyum, doğada demir içermeyen metal filizlerinin küçük bileşeni olarak bulunan ve diğerlerine göre nadir bir metaldir. Kadmiyum kullanımının çok hızla artışına paralel olarak küresel metal döngüsünde de değişim meydana gelmiştir (Krishna Murti ve ark. 1987).

Kadmiyumun endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir metal olup, maden alaşımlarında, madeni levha kaplamacılığında, pillerde, mürekkep, boya ve plastiklerin yapısında yer alan pigmentlerde sürekli olarak kullanılmaktadır (Güven 1999).

Kadmiyumun insan sağlığı için anlamı, kurşunla karşılaştırıldığında aynı perspektife oturtulabilir. Kurşun konusunda çocukların, özellikle kentlerdeki nörö-davranışsal etkilerin riski altında olduğu konusunda bir görüş birliği vardır. Buna karşılık, kadmiyumun çevresel etkilerine maruz kalmış nüfusların sağlık raporları, Japonya ve Avrupa' da sanayileşmiş şehirlerdeki yaşlı nüfuslar gibi belirli topluluklarla sınırlandırılmıştır (Krishna Murti ve ark. 1987).

Kadmiyum zehirlenmesi ilk kez Japonya'da 1955'te tanımlanmıştır. "Itai-itai" hastalığı olarak adlandırılan kadmiyum zehirlenmesi, hastaların eklemlerinde meydana gelen kalsiyum kaybı nedeniyle hareket ederken çok büyük acılar çekmelerine neden olmuştur. 1955-1968 yılları arasında Japonya'da bu hastalıktan 100 kişinin öldüğü bilinmektedir. Bundan başka az miktarlarda kadmiyumun çeşitli olumsuz kronik etkilere yol açtığı da bilinmektedir. Her gün

alınacak milyonda 0,1 oranında bir doz erken ölüme; 0,08 oranında bir doz böbrek hastalığına yol açmaktadır (Kışlalıoğlu ve Berkes 1994).

Kadmiyumun biyojeokimyasal dönüşümünü anlayabilmek için, tabiattaki metal kaynaklarını tanımlamak ve derecelendirmek gerekmektedir. Son yıllarda açığa çıkan bu kaynakların tanımlanması ve ölçümlerinin yapılması için büyük çabalar harcanmıştır. Bu çalışmalar sayesinde hem endüstri bölgelerinde hem de daha fakir ve gelişmemiş bölgelerde yapılan çalışmalar, kaynak tespitleri için bir çeşit doküman oluşturulmasını sağlamıştır. Birçok global envanterler kadmiyumun atmosferik emisyonu ile ilişkilendirilmiştir. Volkanik hareketler, atmosferik kadmiyumun önemli bir doğal kaynağı olarak düşünülür. Bu durum volkanik aerosollerde kadmiyumun çok fazla olarak diğer maddelerle birlikte açığa çıkmasından kaynaklanır. Ancak değişik volkanlarda kadmiyum oranının farklı çıkmasından dolayı, dünyada kadmiyumun doğal kaynaklarından biri olan volkanlar hakkında değişik sonuçlar ve problemler çıkmıştır. Atmosferik kadmiyumun diğer doğal kaynaklarını, okyanus serpintileri, orman yangınları ve zenginleştirilmiş metal parçacıkları oluşturur. Ancak bu kaynakların çevrede ne kadar kadmiyumu açığa çıkardığını ölçmek oldukça zordur (Krishna Murti ve ark. 1987).

1.1.4. Bakır (Cu)

Bakır, dokularda bulunan önemli bir metalloenzim bileşeni olup, organizmalarda bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde, omuriliğin miyelinleşmesinde, kalp fonksiyonlarında ve doku pigmentasyonunda etkin rol oynamaktadır (Kalay ve Erdem 1995).

Birçok bitkide bakır miktarı kuru maddede 2-20 ppm arasında değişir ve bitki bünyesinde hareketli bir element değildir. Bakır çok düşük miktarda absorbe edilir. Topraktaki alınabilir bakır miktarı, önem arz eder (Boşgelmez ve ark. 2001).

Fuller (1974)'e göre Imlay (1971)'in raporunda çeşitli aylarda bakıra maruz kalan midyeler için öldürücü dozun 25 ppb olduğu belirtilmiştir. Hart ve

Samuel (1974)'e göre Wurtz (1963)'in raporunda bakır çinkodan sonra dikkate alınacak toksik metaller arasında ikinci etkiye sahiptir (Fuller 1974).

Bakır su organizmaları üzerine toksik etkisi yüksek olan bir metal olup, bu ortama mavi-yeşil algler gibi istenmeyen vejetasyonun yok edilmesi amacıyla doğrudan bırakılabilmektedir (Erdem ve Kargın 1990). Küçük canlılar ve balıklar için kuvvetli zehir etkisi yapar. Alabalıklar için zehirlilik sınırı 0.14 mg/L dir (Akman ve ark. 1996). Yüzeysel sularda bakır 1,0 mg/L'nin altında bile, su bitkilerine zehirli etki, bazı balıklar için 1 mg/L toksik etki yapar (Çiçek ve ark. 1997).

Birçok alanda kullanılan bakır sülfat (CuSO_4) fazla miktarda vücuda alındığı zaman toksik etki yapmaktadır. İçme suyunda bakır konsantrasyonu litrede 12 mikromolden daha fazla olmamalıdır. Vücuda aşırı miktarda giren bakır dokularda birikmektedir. Bu birikim karaciğerde olduğu zaman siroza, beyinde ise hücre tahribatı ile tremor ve personelite değişikliğine neden olmaktadır. Bakır birikimi özellikle karaciğer, kornea, böbrek ve beyin dokusunda olmaktadır (Köksal 2001).

Balıklarda bakırın çeşitli dokularda birikimi, ortamdaki bakır düzeyine bağlı olarak artmakta ve bu birikim bazı organlarda ortamdaki derişimin üzerine bile çıkabilmektedir. Çeşitli metallerin birikimindeki artış, düşük ortam derişimlerinde fizyolojik ve biyokimyasal bozukluklara yol açarken, yüksek derişimlerde doğrudan ölüme neden olabilmektedir. Bakır plazma içerisinde albumin ve aminoasitlerle zayıf bağ yaparak, karaciğer ve böbreklere taşınmaktadır. Bakırın fizyolojik ve biyokimyasal parametrelerde oluşturduğu değişikliklerin belirlenmesi, öldürücü olmayan bakır derişimlerinin organizmalara etki mekanizmasının aydınlatılması bakımından önem taşır. Balıklarda kan parametrelerindeki derişimler, ortam faktörleri ve fizyolojik yapıya bağlı olarak kısa sürede ortaya çıktığından bunların belirlenmesi, sudaki kirlenme düzeyinin anlaşılması açısından önemlidir (Kalay ve Erdem 1995).

Bir elektro kaplama işlemi kullanılarak, tatlı su midyesi *Quadrula quadrula*'daki bakır artıkları gözlenmiştir. Midyeler elektro kaplama işleminin yapıldığı yerden çeşitli uzaklıklardaki noktalara konulmuştur. Bu işlemin yapıldığı yerden 0,1 km uzakta, midyeler 14 günde $20,64 \mu\text{g Cu g}^{-1}$ biriktirmişler

ve ölmüşlerdir. Zamanla biriken bakırın miktarının daha uzak noktalarda azaldığı gözlenmiştir. Hiçbir zaman nehirdeki bakır oranı olması gerekeni aşmamıştır. Böylece akümülatörler düşük seviyelerdeki metalin akıntı faunalarında ters etkisi olduğunu göstermiştir (Mason 1996).

1.1.5. Arsenik (As)

Arsenik çevremizde her zaman ve her yerde bulunan ve hem doğal hem de antropojenik kaynakları olan temel ulaşım yolu atmosfer olan bir maddedir. İnsan vücuduna esas giriş yolu ağız yoluyla olmasına rağmen, solunum yoluyla mesleki nedenlerle maruz kalanlar için de önemlidir. Diğer potansiyel zehirli maddelerin aksine, yerel sağlığa etkileri endüstriyel faaliyetlerle kirletilmiş bölgelerde olduğu gibi, arsenikle doğal olarak zenginleşmiş bölgelerde de belirgindir. Bu madde, bazı coğrafi bölgelerin kara, tatlı ve tuzlu suları ve havasında oldukça yaygın bir şekilde araştırılmıştır. Yeni analitik yöntemlerin gelişmesiyle birlikte, arseniğin çeşitli organik ve inorganik formlarının oluşumu çok daha iyi incelenebilmektedir. Arsenik döngüsü hakkındaki bilgimiz, bazı doğal kaynakların yetersiz ölçülmesi sebebiyle, yine de sınırlıdır. Buna rağmen, metillenmiş arsenik bileşiklerinin atmosferik arsenik seviyelerine katkısı ve düşük derecelerdeki buharlaşmaları hakkında tahminler vardır (Havas ve ark. 1987).

Kirlenmemiş bölgelerde hava kaynaklı arseniğin normal düzeyi birkaç ng/m^3 'ü geçmez. Normal olarak bir günde solunan havayı 20 m^3 olarak kabul edersek, bu ortamda solunum yolu ile alınan ortalama arsenik düzeyi maksimum $0,05 \text{ mg/gün}$ olmaktadır. Kirlenmiş bölgelerde özellikle maden işletmeleri veya kömürlü enerji santrallerinin çevresinde hava kaynaklı arsenik düzeyi ortalama $1 \mu\text{g/m}^3$ 'e ulaşmaktadır. Çekoslovakya'da kömürle çalışan bir termik santralde yapılan ölçümler sonucu, elektrostatik arıtma yapılmasına karşın, bir günde yaklaşık $0,5 \text{ ton}$ arsenik havaya karışmaktadır (Uzunören 1987).

Antropojenik kaynaklardan atmosfere dağılan toplam arsenik 30.000 T/yıl sınırındadır. Bu tahminlerdeki kesinsizlik çoğunlukla dağılım faktörleri için benimsenen değere bağlıdır. Dağılım faktörleri gelişmiş ülkelerde alındığından beri, tahmini global kaynakların etki derecesi tespit edilemez olmuştur. Avrupa,

Birleşik Devletler ve Kanada haricindeki ülkelerden de güncel küresel değerleri edinmek için veriye gerek vardır. Ayrıca, herbisitlerin kullanımı, tarım alanı ve ormanların yakılması, özellikle Güney Afrika'da gerçekleştirilen altın madenciliği, işlenmesi ve Afrika ve Hindistan'ın büyük kaynağını oluşturduğu odun ve tezek yakımı gibi arseniğin antropojenik kaynaklarının ayrıntılarında halen daha boşluklar bulunmaktadır. Childers ve Peterson, arsenik birikimini herbisit olarak kullanımından yılda 3440 ton, kömür yanmasından kaynaklanan 6240 As/yıl ve demir-çelik üretiminden kaynaklanan 14350 ton As/yıl olarak hesaplamışlardır.

Doğal arsenik kaynakları hakkındaki kesin bilgi eksikliğimiz, antropojenik kaynaklar hakkındakilere göre daha fazladır. Volkanik aktivite ve düşük sıcaklıktaki buharlaşmalar (biyolojik metillenme) iki baskın doğal kaynaktır. Düşük sıcaklık buharlaşmasının volkanlarla 26200 ton As/yıl, doğal kaynaklardan arseniğin atmosfere dağılımının ise ortalama 17150 ton As/yıl olduğu hesaplanmıştır (Havas ve ark. 1987).

İnorganik bileşiklerden -3 değerli bileşik olan arsin (AsH_3), genellikle maden yataklarının nemlendirilmesi sırasında oluşan, çok toksik bir gazdır. Organik bileşiklerden arsenobetaine, arsenocholine gibi daha yüksek moleküllü arsenik bileşikleri deniz canlıları tarafından sentezlenir ve kimyasal bozulmalara karşı dayanıklıdır (Uzunören 1987).

Yine Havas, Steinnes ve Turner (1987)'e göre Zoller (1984), volkanik kaynaklar konusunda, volkanik patlama aktiviteleri nedeniyle oluşan geniş fakat seyrek dağılımlarla magmanın zehirli gazlarını atması, fumarolik ve jeotermal aktiviteler gibi sürekli dağılımların birbirinden ayırt edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Sonraki dağılımlar, volkanlardan ve As/S oranlarından atmosfere giden kükürt akış değerlerinin tahmini, olarak kabul edilebilir.

Antropojenik kaynaklardan atmosfere global dağılıma, özellikle bakır işletmeleri, dolaylı olarak kara ve karasal suların arsenikle kirlenmesine katkıda bulunur. Ciddi miktarda arsenik, çöplüklerdeki artıklardan ve rafineri, işletme faaliyetleri sonucu oluşan atık sulardan karaya geçer. Çalışma grubunun genel görüşü, arseniğin çeşitli biokimyasal ve biyojeokimyasal yolları hakkında daha fazla çalışmalara ihtiyaç olduğu yönündedir. Bu çalışmalar, sadece toplam

arseniği değil aynı zamanda farklı zehirlilik seviyeleri ve çeşitli risk çevrelerinde farklı ömürleri olan, organik ve inorganik farklı kimyasal formlardaki arseniğin oluşumunu da kapsamalıdır. Arsenik çeşitlenmesindeki redoks döngüsünün ve mikrobik faaliyetlerin rolü, özellikle As (III) seviyelerinin değerini tespit edebilmek için özel çalışmalara gerek vardır. İleriki çalışmalarda, maden alanları öncelikli olarak ele alınmalıdır. Çeşitli çöküntü bakteriyel tarlasının arseniğe toleransı konusunda yapılan çalışmalar, hem bu fenomenin oluşumu hem de mekanizması üzerinde odaklanmıştır Belirli balık türleri As (III)'ün potansiyel kaynağını teşkil eder. Toksikolojik çalışmalar için deniz suyu ve tatlı suda yaşayan balıklarla ilgili bir veri tabanına ihtiyaç vardır (Havas ve ark. 1987).

Gıdalarda bulunan ortalama arsenik düzeyi genellikle 1 mg/kg yaş ağırlığı geçmez. Ancak deniz ürünlerindeki arsenik düzeyi oldukça yüksektir. Deniz yumuşakçaları ve kabuklularda sırası ile 20-30 mg/kg ve 10/100 mg/kg kadar artış gösteren arsenik balıklarda ise ortalama 5 mg/kg yaş ağırlık olarak saptanmıştır. Özellikle kirlenmenin yoğun olduğu bir bölgede bulunan göllerde omurgasızlardaki arsenik düzeyinin 1300 ppm'e ulaştığı bildirilmektedir (Uzunören 1987).

İnsana geçiş yolları çeşitli şekillerdedir. Toprak bitki bariyer efekti olarak adlandırılan sebepten dolayı, topraktaki yükselmiş arsenik konsantrasyonları, çoğaltılmış besin zinciri birikiminin ortaya çıkmasından önce mahsul üretimini azaltabilir. Dahası besin zinciri, yüksek oranda arsenikle kirlenmiş toprağın yenmesiyle direkt olarak etkilenebilir. Belki de, arseniğin insanlara geçmesinde şu an için farkına varılmış en kritik yol, içme suyudur. Şu ana kadarki çalışmalar daha çok musluk suyundaki arsenikle ilişkilidir. Yerüstü suları ve yeraltı suları gibi nüfusun önemli bir kesimi için temel içme suyu kaynağıdır (Havas ve ark. 1987).

Potansiyel erken uyarı biyolojik indikatörlerinin (özellikle tatlı su ekosistemleri için) tanımlanması için araştırma gereklidir. Yiyecek ve içecekler için böyle bir görüntüleme, içme suyu kalitesi bakımından da gereklidir. Epidemiyolojik çalışmalar, havuzdaki arseniğin (arsenikle yapılan tarımsal ilerlemeler gibi) solunum yolu kanserleri artışında etkisini göstermiştir. Bakır

işletmesi işçileri, arsenikli böcek zehiri üreticileri ve arsenikli böcek zehiri uygulayıcıları gibi 3 ana grup endüstriyel risk taşımaktadır.

Özellikle arsenik yayan işletme yada altın madenleri ve arsenikli böcek üreten fabrika yanlarındaki bölgeler önem taşımaktadır. Yeni kaynaklar bakımından önce, içme suyu kaynaklarının mevcut ve potansiyel yüksek arsenik seviyeleri incelenmelidir. Bu tarz çalışmalar ulusal örgütler tarafından desteklenmelidir. Karasal ve su ekosistemlerdeki arsenik döngüsünün diğer döngülerde olan (P, Ze, Mn) etkileşimi de kurulmalıdır (Havas ve ark. 1987).

Arsenik içme sularında en çok $< 0,05$ mg/L derişiminde olmalıdır, ancak hiç bulunmaması tercih edilir (Çiçek ve ark. 1997).

Arsenik bazı boyaların yapımında, cam sanayinde renklendirici olarak; dipotasyum arseniat kürklerin saklanması, disodyum arseniat ($\text{Na}_2\text{HASO}_4, 7\text{H}_2\text{O}$)'da eczacılıkta kullanılmaktadır. Sanayide kullanılmayan arseniatların en önemlisi Amerika'da pamuk tarlalarında böceklere karşı kullanılan kalsiyum arseniattır (Terem 1961).

Arseniğin organik ve inorganik türevleri tarım ve orman işletmelerinde, yem sanayiinde gelişim arttırıcı ajan olarak ve yine daha az oranda olmak üzere cam, deri, boya ilaç ve elektrik sanayiinde kullanılarak, tüm dünya ülkelerinde yılda yaklaşık 60000 ton arsenik bileşikleri tüketilmektedir (Uzunören 1987).

1.1.6. Krom (Cr)

Krom yerkabuğunda %0,037 oranında bulunmakta olup en belli başlı kaynağı kromit (FeCr_2O_4) tir. Krom, toz halinde oldukça aktif bir elementtir. Hem süs eşyalarının hem de korozyona karşı korunması gereken makina parçalarının korunmasında kullanılır (Müezzinoğlu ve Şengül 1987).

Bütün krom bileşikleri renklidir. Kromun +2 oksidasyon kademesi gösterdiği kromöz bileşikleri gayet dayanıksız bileşikler olup, havada bırakıldığında veya seğretilik sulu çözeltilerde hemen oksidasyona uğrayarak bozulurlar. Bunların suda verdiği çözeltiler koyu mavi renklidir. Kromit adı verilen üç değerli krom bileşikleri kararlı bileşikler olup sudaki çözeltileri yeşil renklidir. Krom (+6) yükseltgenme basamağında kromat veya dikromat halinde

bulunur. Kromat formlarının sudaki çözeltileri sarı renkli, dikromat formlarının sudaki çözeltileri ise turuncu-portakal renktedir. +6 değerlikli krom tuzları yoğun bir şekilde metal kaplama ve metal piklaj işlerinde kullanılmaktadır. Ayrıca deri sanayinde, duvar boyalarının yapısında, kumaş boyalarında, seramiklerde, patlayıcı maddelerde, kağıt sanayinde, tekstil boyamada, fotoğrafçılıkta, cam endüstrisinde ve endüstriyel soğutma sularında korozyon kontrolünde kullanılır. Sayılan bu endüstrilerin yıkama suları, proses atıksuları ve soğutma suları ile çevreye krom bileşikleri verilmektedir (Müezzinoğlu ve Şengül 1987).

Krom glikoz metabolizmasının ana parçasını oluşturur. Krom aynı zamanda glikoz metabolizmasında, insulin hareketleri ve çevresel aktivitelerde kofaktör olarak rol oynamaktadır. Bu nedenle önemli bir iz elementtir. Krom zehirlenmesi daha çok bu elementin kullanıldığı sanayide görülmektedir. Bugün kromatlar yüksek oksitlenme gücünden ve çok parlak oluşlarından dolayı birçok sanayi kuruluşunda kullanılmaktadır. Bu kuruluşlarda çalışan işçilerin her zaman toz ve aerosollere maruz kalmaları olasıdır. Dikromatın birkaç gramı alındığı takdirde insanlarda gastrolojik sorunlar ortaya çıkarabilir. Hatta karaciğer ve böbreklerde tahribat söz konusu olabilir (Öztürk ve ark. 1993 ve Canlı 1995).

Deniz canlılarında biyolojik birikimi azdır. Cr^{+3} yüksek derişimlerde zehir etkisi gösterir. Cr^{+6} 5 mg/L derişiminde dört gün süre ile etkiğinde iri deniz yosunlarının fotosentezinin % 50 azalmasına neden olur (Çiçek ve ark. 1997).

Krom balıklarda göreceli olarak tolerans göstermesine karşılık bazı akuatik omurgasızlarda oldukça duyarlılık göstermektedir (Train 1979).

1.2. Ağır Metaller ve Midyeler

Canlılar büyümek, üremek, kendilerini yenilemek, enerji elde etmek vb. için bir takım maddelere gereksinim duyarlar. Genellikle beslenme ile alınan bu maddeler enerji veren maddeler (karbonhidratlar, proteinler ve yağlar), yapı maddeleri (proteinler ve madensel tuzlar), uyarıcı ve koruyucu maddeler (vitaminler, hormonlar, iyonlar vb.) olmak üzere üç kısma ayrılır (Demirsoy 1995; Gaman ve Sherrington 1996 ve Köksal 2001). Doğada besin azlığının oluşturduğu baskı nedeniyle hayvanlar farklı habitatlardaki besinleri almak için uyum

sağlamışlardır. Böylece farklı beslenme tipleri ortaya çıkmıştır (Prosser ve DeVillez 1991).

Filtrasyonla beslenen midyelerde su filamentler arasından geçerken içerisindeki partiküller yan-ön siller tarafından süzülür. Besin partikülleri (planktonlar) farklı yollarla besin oluşuna ulaştırılırlar. İstenmeyen partiküller (örneğin tıkaçıcı nesnelere) ise özel sillerle su giriş yoluna geri itilir ve mukusla çevrilerek dışarıya atılır. Ancak, midyeler bu şekilde her gün yüzlerce litre suyu filtre edip içinden oksijen ve besinleri toplarken, bunun yanında bir takım kontamine olmuş diğer maddeleri de bünyelerinde tutarlar. Bunun sonucu kontamine olmuş bu maddeler, midyelerin bünyelerinde çevreden daha çok miktarda bulunur. Ayrıca midyelerin ergin dönemlerini genellikle sesil olarak geçirmeleri vücutlarındaki her maddenin yaşadıkları bölgeye ait olduğunun bir göstergesidir. Bu yüzden midyeler buldukları bölgelerdeki kirliliği saptamak için kullanılan indikatör canlılardandır (Demirsoy 1998; Prosser ve DeVillez 1991 ve Locatelli ve ark. 1999).

Metaller zehirliklerinin giderilmesi amacıyla, midyelerde metallothionein proteinlerine bağlanır ve lizozomlarca tutulurlar. Metal birikimlerinin belirlenmesi amacıyla solungaçlar ve sindirim bezinin kullanılmasının uygun olacağı da araştırmacılarca bildirilmektedir (Atayeter 1991b).

Tatlısulardaki kirlilik izlerini gözlemek hem tatlısu hem de deniz ve okyanus ekosistemlerinde önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü nehirlerdeki kirlilik denizlerdeki kirliliğin önemli bir etkenidir (Mersch ve ark. 1993). Denizel organizmalarda birikim de en çok hareket yeteneği kısıtlı olan Mollusca'larda olmaktadır (Öztürk 1994).

Biyokimyasal reaksiyonlar için fonksiyonel rol oynayan Ca, Mg, Na, K, Mn, Cu, Zn, Fe, Mo, Co ve Se ile endüstri atıkları sonucu ortama giren ve canlı organizmada kuvvetli toksik etkiye sahip Cd, Ni, Hg ve Pb gibi ağır metaller, su ortamında belirli limitlerin dışına çıktığında toksik etki yapıp organizmaların canlılığına son veren metallerdir. Su ortamında sediment ve organizmalarda yüksek miktardaki birikim çok ciddi ekolojik değişikliklerle sonuçlanmaktadır. Besin zincirinde metal konsantrasyonları dereceli olarak artış göstermektedir. Cd, Cu, Cr, Ni, Zn ve Mn gibi ağır metaller besin zinciriyle girdikleri canlı

bünyelerinden doğal fizyolojik mekanizmalarla atılamadıkları için birikime uğrar ve bünyede belirli konsantrasyonların aşılması halinde, toksik etki yaparlar. Bu toksik etkiler buldukları kimyasal formlara bağlı olup sucul ortamdaki serbest iyonlar, inorganik ve organik bileşikler halinde bulunurlar. Sedimente çökmüş veya absorbe edilmiş durumda olsalar bile bazı fiziksel ve kimyasal olaylarla tekrar iyonik forma dönüşür ve toksik etkilerini gösterebilirler (Ünlü ve ark. 1994 ve Başol 1991).

Yenilebilen omurgasız hayvanların dünya denizlerindeki yıllık ortalama üretimi yaklaşık 8.932.000 tondur. Bu dünyadaki toplam su ürünleri üretiminin %9,13'ünü oluşturmaktadır. Midyeler ise %17,72'lik katılım payı ile omurgasız su ürünleri üretiminde oldukça önemli bir yer almaktadır. Midyeler, tüm dünya denizlerinde doğal olarak bulunduğu gibi yetiştiricilik yoluyla yoğun bir şekilde üretimleride yapılmaktadır. Japonya'da yayımlanan ve besin bileşenlerini gösteren standart tablolarda midyelerin yenilebilir kısmının 100 gramının bileşeni şöyledir; Enerji: 70 cal, Su: 82,9 gram, Protein: 10,3 gram, Lipid: 1,4 gram, Karbonhidrat: 3,2 gram, Kül: 2,2 gram, Kalsiyum: 43 mg, Fosfor: 160 mg, Demir: 3,5 mg, Sodyum: 450 mg, Potasyum: 330 mg, Retinol: 34 mg, Vitamin (Vit B1): 0,01 mg, Riboflavin (Vit B2): 0,37 mg, Niavin:1,4 mg, Askorbit Asit (Vit C): 5 mg. (Atayeter 1991b).

Bitkiler ve yumuşakçalar ağır metallerin zayıf düzenleyicileridir. Fakat sıkça görülen metallerden olan çinko ve bakır Decapoda (Crustacea) ve balıklarda düzenlenebilir. Daha az rastlanan civa ve kadmiyumun düzenlenmesi daha zordur. Türlerdeki metal konsantrasyonlarının oranları kirletilmiş ve normal bölgelere göre değişiklikler gösterme eğilimindedir. Örneğin *Mytilus edulis*'te kirlenmiş bölgedeki bakır oranı 60 ppm (kuru ağırlık), normal bölgedeki oranı ise 4 ppm (kuru ağırlık) olarak belirlenmiştir. Yumuşakçalarda bulunan lökositler metallerin yer değiştirmelerinde ve zehir gidermelerinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu, bakırla kirletilmiş istiridyelerde kısmen fark edilebilir. İstiridyelerde bakırın lökosit sayısındaki akümüasyonu bu tür canlılara yeşil renk verilmesine yardımcı olur (Bryan 1976).

Farklı canlılar değişik yabancı maddelerin tespitinde kullanılabilir. Mollusklar kıyı sahillerindeki biyolojik görüntü için çok fazlalıkla

kullanılmaktadır. Tatlı sularda çoklukla bulunurlar. Küçük bivalvia olarak bilinen *Sphaerium corneum* organoklorin pestisit dendrinini aramak için kullanılır. Bu dendrinlerin bir çoğu sulardan doku yağları aracılığıyla yiyecek maddelerinden ziyade sulardan doku yağları ile elde edilirler. Tatlı su midyelerinden *Dreissena polymorpha* Hollanda'daki Meuse ve Rhine nehirlerinde 1976'dan beri ağır metallerin incelenmesi için kullanılmaktadır. Midyeler bu yerlerden hem toplanmış hem de temiz bölgelerden nehirlere taşınmıştır. 1976'dan Rhine Nehri'nde bulunan midyelerdeki kadmiyum konsantrasyonları belirli oranlarda azalmıştır. Fakat aynı oran Meuse Nehri'nde artmıştır. Bakır konsantrasyonu ise değişmemiştir. Krustaselerden *Asellus aquaticus* ve *Gammarus pulex* nehirlerdeki kafesler içinde akümüasyonu ve ağır metal yüklerini ölçmek için kullanılmaktadır (Mason 1996).

Sucul çevre, insan aktivitesinden kaynaklanan ve ağır metal içeren atıklar tarafından kirletilmektedir. Midyeler de diğer canlılar gibi, insanoğlunun yeryüzündeki faaliyetleri (tarımsal ve endüstriyel) sonucu ortaya çıkan kirlenmeden önemli ölçüde etkilenmekte ve bir takım ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilmektedirler. Bu durum hem bu canlılar, hem de bunları tüketen insanlar için önemli bir tehlike kaynağı olmaktadır (Atayeter 1991b ve Karadede ve Ünlü 1998).

Bu nedenle Midyeler ağır metal kirliliği ile ilgili birçok çalışmada indikatör organizmalar olarak kullanılmıştır (Tunçer 1985; Uzunören 1987; Parlak ve ark. 1991; Peakall 1992; Mersch ve Johansson 1993; Mersch ve Pihan 1993, Ünsal ve Beşiktepe 1994; Bat ve ark. 1999; Parlak ve ark. 1999 ve Tessier ve ark. 1994).

1.2.1. Çeşitli Ülkelerin Değişik Besinler İle Su Ürünleri İçin Belirledikleri Maksimum Ağır Metal Sınırları

Çizelge 1.1. Çeşitli ülkelerin farklı besin maddelerindeki bazı ağır metal maksimum sınırları (ATAYETER 1991a)

Ülkeler	Besin	Metal	Maksimum Sınırı(ppm=mg/kg)
Avustralya	Yumuşakçalar	Cu	70,00
Avustralya	Yumuşakçalar	Pb	2,5
Avustralya	İstiridye	Zn	1000,0
Finlandiya	Midye	Pb	2,0
İtalya	Yumuşakçalar	Pb	2,0
Hollanda	Balık ve Crustacealar	Pb	0,5
Hollanda	Yumuşakçalar	Pb	2,0
İngiltere	Midyeler	Cu	20,0
İngiltere	Midyeler	Pb	10,0
Venezuela	Midyeler	Cu	10,0
Vesnezuella	Midyeler	Pb	2,0

Çizelge 1.2. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı'nın su ürünlerindeki kabul edilebilir ağır metal oranları (Resmi Gazete 1991)

Ürün cinsi	Metal (mg/kg)					
	As	Hg	Cd	Pb	Cu	Zn
Balık ve	1,00	0,50	0,10	1,00	20,00	50,00
Yumuşakça	1,00	0,50	0,10	1,00	20,00	50,00
Kabuklu	1,00	1,00	1,00	2,00	20,00	50,00

Çizelge 1.3. ABD'de 1990 yılı için çıkış sularında izin verilen tipik deşarj limitleri (ŞENGÜL ve TÜRKMAN 1992)

Cr	17 mg/L
Cu	8 mg/L
Pb	12 mg/L
Hg	0,6 mg/L

Çizelge 1.4. Canlı, dondurulmuş ve işlenmiş çift kabuklu yumuşakçalarda kabul edilebilir ağır metal oranları (Resmi Gazete 2001 ve T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Koruma Kontrol Genel Müdürlüğü Su Ürünleri Kalite Kontrol El Kitabı 2000)

Ürün Grubu	Kimyasal	Kabul Edilebilir Değer
CANLI, DONDURULMUŞ VE İŞLENMİŞ	Civa	0,5 mg/kg
	Kadmiyum	0,1 mg/kg
	Kurşun	1,0 mg/kg
	Bakır	20,0 mg/kg
	Çinko	50,0 mg/kg
	Arsenik	1,0 mg/kg

Çizelge 1.5. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (Resmi Gazete 1988)

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite sınıfları			
	I	II	III	IV
PH	6,5-8,5	6,5-8,5	6-9	6-9 dışında
Nitrat azotu(mg NO ₃ -N/L)	5	10	20	>20
KOİ (mg/L)	25	50	70	>70
BOİ (mg/L)	4	8	20	>20
Kadmiyum (µg Cd/L)	3	5	10	>10
Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	>50
Bakır (mg Cu/L)	20	50	200	>200
Krom (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	>200
Nikel (µg Ni/L)	20	50	200	>200
Çinko (µg Zn/L)	200	500	2000	>2000
Demir (µg Fe/L)	300	1000	5000	>5000

1.3. Porsuk Çayında Kirlilik Oluşturan Kaynaklar

Porsuk baraj gölüne akıtılan Kütahya ili atık sularının bu baraj gölünde meydana getirdiği olumsuz etkiler araştırılmıştır. Alınan su örneklerinde yapılan fiziksel ve kimyasal analizler, gölde önemli kirlilik problemlerinin olduğunu göstermiştir. Porsuk Baraj Gölü'nde yaşayan balık ve diğer su canlıları da bu durumdan son derece olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca ötrifikasyon değerleri bakımından baraj gölü çok kötü bir durumdadır (Yılmaz 1998).

Eskişehir-Kütahya çevre yolunda yapılan çalışmalarda trafik yoğunluğu daha düşük olmasına karşın Pb miktarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni bu bölgelerin ağır sanayi bölgesi olmasıdır. Bu bölgede Kütahya Gübre Sanayi, Kümaş Manyezit Tesisleri, kiremit fabrikaları, tuğla fabrikaları, seramik ve porselen fabrikaları bulunmaktadır (Yücel 1996).

D.S.İ. su kalitesi gözlem çalışmalarına ilk defa 1969 yılında, Genel Müdürlük Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı'nca Sakarya Havzasındaki akarsuların kirliliği ile ilgili verilerin, toplanması amacıyla başlanmıştır. Yapılan programa göre, Porsuk Çayı'nın Eskişehir girişi ve çıkışı ile çayı kirleten belli başlı kirletici kaynakları olan şeker, tekstil ve lokomotif fabrikalarının atık kanallardan aylık periyotlar halinde örnekler alınmış, bir yıl süren bu çalışmalar sonunda toplanan veriler değerlendirilerek rapor haline getirilmiş ve ilgili kuruluşlara dağıtılmıştır. Bu çalışmalarla, Porsuk Çayı'nın kirli olduğu ortaya çıkarılırken endüstri atıklarında bulunan değerler, İngiltere'de endüstri atık sularında ve kanalizasyon sularında izin verilen limit değerler ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak da ilgili fabrikaların arıtma tesisleri kurmaları önerilmiştir.

1974 yılında Porsuk Barajı'ndan alınacak suların, Eskişehir'e içme ve kullanma suyu olarak verilip verilemeyeceği hususu incelenmiş ve bir takım önlemler alınarak bu işin yapılabilmesi anlaşılmıştır.

Aynı yıllarda Kütahya Azot Fabrikası atıklarından alınan örnekler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, nitrat değerlerinin, ileriki yıllarda standartların üzerine çıkacağı düşünülerek, fabrika tarafından arıtma tesisi yapımının gerekli olduğu üzerinde durulmuştur.

Mart 1974-Ocak 1975 tarihleri arasında, Sakarya Nehri'nin, kirlilik bakımından Porsuk ve Çarksuyu kolları tarafından ne derece etkilendiğini görmek amacıyla yeni bir çalışma başlatılmıştır. Bunun için Porsuk Çayı'nın geçtiği Kütahya ve Eskişehir, Çarksuyu'nun geçtiği Sakarya illerinin giriş ve çıkışları ile bu yan kolların Sakarya Nehri'ne karışım öncesi ve sonrası istasyonlar seçilmiştir. Aylık periyotlar halinde alınan örnekler Eskişehir Bölge Laboratuvarında analiz edilmiştir. Bu çalışmalar 1977 yılında Genel Müdürlük Etüd ve Plan Daire Başkanlığı'nca değerlendirilerek rapor haline getirilmiştir. Sonuçta, Porsuk

Çayı'nın ve Çarksuyu'nun evsel ve endüstriyel atıklarla kirletilmiş olduğu ortaya çıkarılırken, Sakarya Nehri'nin temiz olduğu belirtilmiştir.

Mutlu, 1989'e göre Porsuk Çayı'nı Kütahya bölümünde kirleten kaynaklar; Kütahya ili kanalizasyon atıkları, Kütahya mezbahası, Kütahya Şeker Fabrikası, Azot Fabrikası, Kümaş Manyezit Fabrikası ve havzadaki tarım alanlarıdır (Mutlu 1989).

DSİ tarafından 1980'de yapılan bir çalışmada Porsuk Çayı kaynağından Sakarya nehrine karıştığı noktaya kadar 10 örnekleme noktasından alınan su örneklerinin ve ayrıca başlıca kirletici deşarj noktalarından alınan atıksuların analiz sonuçları verilmiş ve çayın kirlenme durumu belirlenmiştir. Kütahya kentinin evsel atıksuları ve yöresindeki işletmelerin endüstriyel atık suları ile yoğun bir şekilde kirletilen Porsuk Baraj Gölü'nde 0,78 yıl gibi uzun bir bekleme süresi nedeniyle doğal arınım sonucunda baraj çıkışında hemen hemen temiz bir durumda bulunmaktadır. Ancak baraj gölü ötrifikasyon tehdidi altındadır (Yıldırım ve Murathan 1992).

Çizelge 1.6. Porsuk çayı kalitesinin çeşitli standartlara göre değerlendirilmesi (Mutlu 1989)

İstasyon	Ağaçköy	Çalça	Beş Değirmen	Benzin lik	Şeker Çiftliği	Ye Şildon	Beylik Ahır	Yunus emre	Sazılar
Değerlendirme									
BOI	Temiz	Kirli	Kirli	Temiz	Çok kirli			Kirli	Şüpheli
Çözünmüş O ₂	Temiz	Şüpheli	Kirli	Temiz	Çok kirli			Kirli	Temiz
Su ürünleri yaşamına Uygunluk	NH ₃ N yüksek								
	BOI yüksek				BOI yüksek				
						Ç.O ₂ düşük			
S.S.U.	Sulama Suyuna Uygun								
Endüstri Suyuna Uygunluk	NH ₃ -N yüksek								

Çizelge 1.6'ya bakıldığında, Porsuk Çayı 1. bölümünde en önemli organik kirlenme göstergesi olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı yönünden değerlendirildiğinde bir günlük kirlenme yükü olan 6268 kg'nın, 4219 kg'ı Kütahya Şeker Fabrikası'ndan, 589 kg'ı azottan, 832 kg'ı Kütahya ili

kanalizasyonundan (henüz %20'si yapılmış olan bölümünden) gelen evsel atıklarda, 149 kg'ı mezbahadan, 479 kg'ı tarımsal alanlardan gelmektedir. Bu değerler % oranları ile ifade edilmek istenirse %67,3'ü Kütahya Şeker Fabrikası'nın organik atıklarından kaynaklandığı görülmektedir.

Kirlenme yükü dağılımı azot parametresi yönünden değerlendirildiğinde, Porsuk' a gelen günlük azot miktarı 6007 kg'dır. Bunun 4850 kg'ı Kütahya Azot Fabrikası'ndan gelmektedir. Bu da günlük yükünün %80,7'sidir. Aynı şekilde günlük fosfor yükü dağılımına bakıldığında ise %43,7 ile tarımsal alandan gelen kirlilik birinci sırayı almakta ve bunu %38,4 ile Kütahya kanalizasyonu takip etmektedir. Kütahya ili kanalizasyon şebekesinin %95'i tamamlanmış durumda olup şehir evsel atıkları hiç bir arıtıma tabi tutulmadan doğrudan doğruya Porsuk Çayı'na verilmektedir.

Porsuk üzerinde Kütahya ili çıkışında seçilen örnekleme istasyonu Çalça'da biyokimyasal oksijen değeri (BOI₅) yönünden organik kirlenme yükü dağılım hesapları yapıldığında son üç yıllık değer ortalamaları günlük 5538 kg'dır. Bu değer %100 olarak kabul edildiğinde Kütahya ili kanalizasyonunun ve mezbahasının payı %75,8, Azot Fabrikası'nın payı %10, mezbaha öncesi evsel atıkların payı da %15,5'dir.

Organik yönden en fazla kirlilik veren Kütahya Şeker Fabrikası 1981 yılında devreye soktuğu çöktürme, dinlendirme ve havalandırma ünitelerinden oluşan biyolojik arıtma sistemi ile önlemini almış bulunmaktadır. Fabrika evsel atıkları ise şehir kanalizasyon şebekesine bağlamıştır. Kütahya mezbahası, 1988 yılı içinde kan dahil katı atıklarını değerlendirmeye almış olup sadece yıkama suyu atıklarını Porsuk Çayı'na vermektedir. Kütahya arıtma tesisleri tamamlandığında bu atıklardan da ortaya kalkmış olacaktır.

Yine Çalça gözlem istasyonunda son üç yıla ait toplam azot yükü açısından bir değerlendirme yapıldığında, ortalama toplam azot yükünün günde 8000 kg olduğu hesaplanmaktadır. %100 olarak kabul edilen bu yük değerinin %87,7'si Azot Fabrikası'ndan gelmektedir.

Azot Fabrikası 1938 yılına kadar iki tip atık vermekte idi. Bunlardan birincisi, kömürden su gazı eldesinde kalan curufllu atıklardır. Bu atıklar atık depolama barajında tutulmaya başlanmıştır. İkinci tip atık olan ve çok fazla

miktarlarda nitrit, nitrat, amonyak azotu içeren atıklar doğrudan Porsuk Çayı'na verilmektedir. Ancak fabrika araştırma gurubu bu tip atıkları konsantre hale getirerek atık depolama tesisine verme olasılıklarını araştırmaktadır.

Ayrıca Porsuk Çayı'nı ve Porsuk Baraj Gölü'nü, askıdaki katı maddeler yönünden oldukça etkileyen Kümaş Manyezit Fabrikası 1987 yılında yaptığı kademeli çöktürme havuzları ile geri su kazanma imkanı sağladığı gibi Porsuk Çayı'na atık verme işlemini de ortadan kaldırmıştır. Çöktürme havuzlarında toplanan maddeler, azot fabrikasında kullanıldığı için katı atık problemi de çözümlenmiştir. Fabrika evsel atıkları için ise ufak çapta biyolojik arıtma tesisi bulunmaktadır (Mutlu 1989).

Porsuk Çayı'nda Gelinkaya köyü tarımsal kirlilik, Kütahya çıkışı tarımsal, evsel, sanayi kirlilik içermektedir. Gelinkaya köyünde toprakta Cd 0,344 mg/kg kuru madde, Zn toprakta 11,5 mg/kg, Cu 0,171mg/kg, Pb 1 mg/kg olarak bildirilmektedir (Yücel 1995).

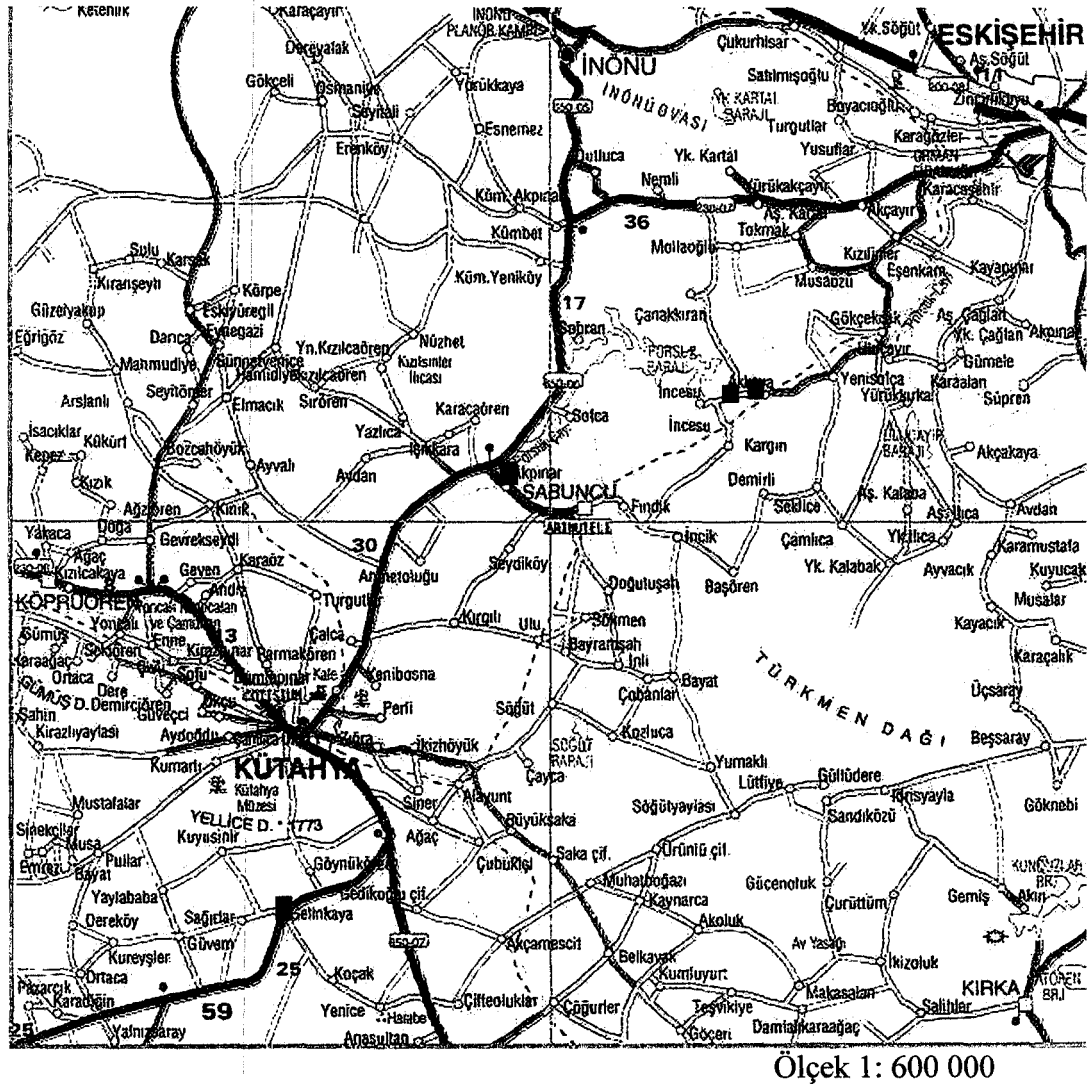
Çizelge 1.7. Porsuk Çayı'nın değişik noktalarından alınan su örnekleri (Tarım İl Müdürlüğü 1999)

(mg/L)	1	2	3	4	5	6	7	8
Nitrat	1,2	1,6	35,8	1,1	0,3	1,3	0,7	
PH	7,47	7,17	7,06	8,2	7,69	7,36	7,67	7,53
KOI	20,8	12,48	99,84	14,56	8,32	16,64	4,16	149,76
BOI	16,53	4,62	42,1	3,59	2,06	10,9	1	78,4
Pb	<0,01	<0,01		<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cd	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Fe	1,15	<0,03		<0,03	0,53	0,15	0,15	
Cu	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Zn	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Ag	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cr	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Ni	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

İstasyonlar: 1.Arıtma sonrası Porsuk Çayı 2.Porsuk Barajı çıkışı 3.Azot Fabrikası çıkışı 4.Sofça Köyü (Baraj Gölü) 5.Sarısü (Sarı Basma önü) 6.Kütahya çıkışı Porsuk Çayı (Baraj öncesi) 7.Kütahya girişi Regülatör yanı 8.Kütahya Porselen deşarj noktası.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

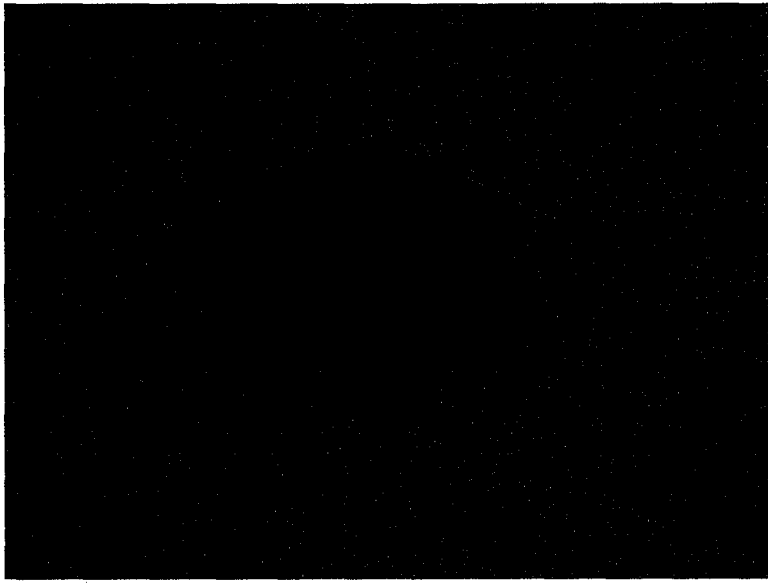
Porsuk Çayı'nın Kütahya Bölümü'ndeki tatlısu midyesi (*Unio sp.*) 'ndeki ağır metal birikimini saptamak için Porsuk Çayı'nın Kütahya öncesi ve Kütahya sonrası bölümlerinden çeşitli istasyonlardan örnekler toplanmıştır. Örneklerin toplandığı lokaliteler şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışma alanının haritası (Örnek alınan lokaliteler ■ sembolü ile işaretlenmiştir)

Bu istasyonlar, Kütahya öncesi Gelinkaya Köyü karşı, Kütahya sonrası Ilıca karşı ve Akkaya Köyü 8 km öncesi ile Akkaya Köyü 2 km öncesidir. Örnek toplama çalışmalarında Kütahya öncesi Gelinkaya ve Kütahya sonrası Akkaya Köyü çevresinde canlı midye, Kütahya Ilıca karşıda ise canlı midye örneklerine rastlanmamış, bu nedenle de midye kabukları toplanmıştır (Çizelge 2.1).

Araştırma materyali olarak seçilen tatlısu midyesi (*Unio sp.*) (Şekil 2.2) örnekleri 2000 Ağustos ayı içinde, kumlu zeminde yapılan taramalarda, belirtilen bölgelerden toplanmıştır. Toplanan örnekler, ayrı ayrı polietilen torbalarda, termos içerisinde aynı gün laboratuvara getirilmiş ve analize kadar -21°C 'ye ayarlı dondurucuda saklanmıştır.



Şekil 2.2. *Unio sp.*

Çizelge 2.1. Belirtilen lokalitelerden bulunan örneklerin durumu

Örneğin Toplandığı Yer	Örneğin Durumu	Örnek Numarası
Kütahya öncesi Gelinkaya köyü	Midye	1
Kütahya öncesi Gelinkaya köyü	Kabuk	2
Kütahya Ilıca Karşısı	Kabuk	3
Akkaya köyü 8 km öncesi	Kabuk	4
Akkaya köyü 2 km öncesi	Midye	5
Akkaya köyü 2 km öncesi	Kabuk	6

Toplanan canlı örneklerin hem iç organları hem de kabuklarındaki, diğer örneklerin ise kabuklarındaki bakır, krom, kurşun, civa, arsenik ve kadmiyum birikimleri ölçülmüştür. Laboratuvara getirilen örnekler bidistile su ile yıkanıp boy ve ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bu işlemden sonra örneklerin içorganları kabuklarından ayrılmış ve kurutma kağıdının üzerinde bekletilmiştir. Bu örneklerden 5'er gram erlenmayerler içerisine konularak 100 °C'ye ayarlanmış etüvde 24 saat bırakılarak kurutulmuştur. Etüvden çıkarıldığında yaklaşık 1 gram kalan örnek üzerine HNO₃:HClO₄ oranı 5:1 olmak üzere 10 cc HNO₃, 2cc HClO₄ eklenip çeker ocakta yavaş yavaş yakılarak (yaklaşık 2 saat) buharlaştırılmıştır. Dipte kalan tortu üzerine 50 ml'ye kadar bidistile su eklenmiş, daha sonra Whatman kağıdından süzülerek analiz işlemine kadar +4 °C'de saklanmıştır.

Örneklerin Cr, As, Hg, Cu, Pb, analizleri Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi [AAS-5EA, Carl Zeiss Tegnology (Grafit Fırını)]'nde yapılmıştır. Cd ise Varian Spectra A250 Plus Model Atomik Absorbsiyon Spectro Fotometre'de ölçülmüştür. AAS'deki ölçüm değerlerinin ortalamaları alınmıştır.

3. BULGULAR

Kumpas ile yaptığımız ölçümlerde Gelinkaya Köyü'nden toplanan midyelerin boyları 4,1-6,5 cm arasında değişiklik göstermektedir. Akkaya Köyü'nden toplanan midyelerin boyları ise 2,8-6,0 cm arasındadır.

Gelinkaya Köyü'nden toplanan midyelerin iç organlarının ağırlıkları 3,9-8,9 gr arasında, aynı bölgeden toplanan aynı midyelerin kabuklarının ağırlıkları 5,3-19,9 gr arasında değişiklik göstermektedir.

Akkaya Köyü 2 km öncesi toplanan midyelerin iç organlarının ağırlıkları 0,9-4,9 gr arasında, aynı bölgeden toplanan aynı midyelerin kabuklarının ağırlıkları 2,2-18 gr arasında değişiklik göstermektedir. Analizde boy ve ağırlıkları ortalamaya yakın midyeler kullanılmıştır.

Toplanan örnekler üzerinde yapılan bakır, krom, kurşun, civa, arsenik ve kadmiyum analizlerinden elde edilen sonuçlar çizelge 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Belirtilen lokalitelerden toplanan örneklerin bakır (Cu) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	0,7932	2,4850 mg/kg
2	0,6462	2,1036 mg/kg
3	0,6346	1,9759 mg/kg
4	0,6862	2,2021 mg/kg
5	3,09891	0,9755 mg/kg
6	0,8816	2,3466 mg/kg

Çizelge 3.2. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin kurşun (Pb) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	0,0533	4,1497 mg/kg
2	0,0107	0,1018 mg/kg
3	0,0043	0,0121 mg/kg
4	0,0036	*
5	0,0527	3,7059 mg/kg
6	0,0027	*

*: Aletin duyarlılık sınırlarının altında kaldığı için tesbit edilemedi.

Çizelge 3.3. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin krom (Cr) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	0,0667	6,1657 mg/kg
2	0,0192	1,9346 mg/kg
3	0,0175	1,5275 mg/kg
4	0,0166	1,5351 mg/kg
5	0,3413	31,0472 mg/kg
6	0,0248	2,2675 mg/kg

Çizelge 3. 4. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin arsenik (As) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	0,0129	4,0559 mg/kg
2	0,0076	2,0002 mg/kg
3	0,0044	1,2792 mg/kg
4	0,0064	1,8252 mg/kg
5	0,0089	2,4986 mg/kg
6	0,0053	1,3891 mg/kg

Çizelge 3. 5. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin civa (Hg) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	1,528	0,6955 mg/kg
2	1,019	0,4480 mg/kg
3	1,654	0,7565 mg/kg
4	1,703	0,7805 mg/kg
5	1,658	0,7585 mg/kg
6	1,646	0,7525 mg/kg

Çizelge 3. 6. Belirlenen lokalitelerden toplanan örneklerin kadmiyum (Cd) konsantrasyonları (Örnek no'ları Çizelge 2.1'de gösterildiği şekildedir)

Örnek No	Absorbans	Konsantrasyon
1	0,001	*
2	0,001	*
3	0,00	*
4	0,001	*
5	0,001	*
6	0,001	*

*:Aletin duyarlılık sınırlarının altında kaldığı için tesbit edilemedi.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Porsuk Çayı'nın Kütahya Bölümü'nde bulunan *Unio sp.*'lerdeki ağır metal kirliliğini saptamak amacıyla yapılan bu çalışmada, Kütahya öncesi Gelinkaya Köyü karşısında, Kütahya sonrası ise Akkaya Köyü civarında canlı midye örneklerine rastlanılmıştır. Canlı midye bulunamayan lokalitelerin ağır metal karşılaştırılmasında ise bu bölgelerden toplanan kabuk örneklerinden yapılan analizler kullanılmıştır. Örneklerde araştırılan ağır metal birikimleri birbiriyle karşılaştırıldığında, bölgelere göre değişiklik gösterdiği görülecektir. Örneğin; Gelinkaya Köyü'nden alınan örnekler için sıralama $Cu>As>Cr>Pb>Hg$; Ilıca karşısından alınan örneklerde, $Cu>Cr>As>Hg>Pb$, Akkaya Köyü 8 km öncesinden alınan örneklerde; $Cu>As>Cr>Hg$, Akkaya Köyü 2 km. öncesinden alınan örneklerde $Cu>Cr>As>Hg$ şeklindedir. Akkaya Köyü 8 km öncesi ve Akkaya Köyü 2 km öncesinden alınan örneklerde Pb oranı AAS'de yapılan ölçümlerde aletin duyarlılık sınırının altında kaldığı için sıralamaya dahil edilmemiştir.

Kütahya öncesi Gelinkaya Köyü ve Kütahya sonrası Akkaya Köyü'nden toplanan midyelerin iç organlardaki ağır metal birikiminin sıralaması ise $Cr>Pb>As>Cu>Hg$ şeklindedir.

Araştırma alanında midyelerde tespit edilen değerler Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'nın 3 Şubat 2001'de 24307 sayılı resmi gazetede yayınladığı su ürünleri yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelikteki çift kabuklu yumuşakçalardaki kabul edilebilir değerlerle karşılaştırıldığında, hem Kütahya öncesi hem de Kütahya sonrasından alınan örneklerde Pb, As ve Hg'nin yüksek olduğu görülmektedir. Kütahya öncesi Gelinkaya Köyü karşısından toplanan midyelerin iç organlarında Pb, As, Hg kabul edilen değerlerden yüksektir (Çizelge 1.5, Çizelge 3.2, Çizelge 3.4 ve Çizelge3.5). Buna göre Porsuk Çayı'nın daha Kütahya atıklarını almadan bu bölgeye ağır metal kirliliği ile geldiği söylenebilir. Kaldı ki aynı sonuç Kütahya sonrası Akkaya Köyü öncesinden toplanan midye iç organlarında da görülmektedir (Çizelge 3.2, Çizelge 3.4 ve Çizelge3.5).

Kütahya öncesi Gelinkaya Köyü karşısından toplanan midye kabuğunda As miktarı da kabul edilebilir değerlerden yüksek çıkmıştır (Çizelge 3.4).

Kütahya sonrası Ilıca karşısından alınan kabukta As, Hg; Kütahya sonrası Akkaya Köyü 2 km ve 8 km öncesi kabukta Pb, As, Hg kabul edilebilir değerlerden yüksektir. Elde edilen bu sonuçlar Yücel ve ark. (1995) tarafından Porsuk Çayı üzerindeki belirli noktalardan alınan toprak ve bitki yaprakları (*P. Australis* ve *S. Erectum*) ile yapılan çalışmaları da desteklemektedir. Yücel ve ark. (1995) tarafından yapılan Porsuk Çayı'nın çıkışı olan Oysu ile Eskişehir çıkışı arasındaki örnekleme noktalarından aldıkları toprak ve bitki yaprakları (*P. Australis* ve *S. Erectum*) ile yapılan çalışmada Cd, Zn, Cu, Pb oranları araştırılmış, Pb oranının izin verilmeyen seviyelerde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 3.2'de Pb için Akkaya Köyü 8 km öncesindeki kabuk ile Akkaya Köyü 2 km öncesindeki kabukta değer belirtilmemiştir. Bunun nedeni bulunan değerlerin aletin duyarlılık sınırının altında olmasıdır. Pb için AAS'nin duyarlılık sınırı 0,1 mg/L'dir. Çizelge 3.2'de örnek 1 ve 5 diğer değerlerden yüksektir. Bunlar midye iç organlarıdır. Örnek 2, 3, 4 ve 6'dakiler kabuktaki değerlerdir ve iç organdaki değerlerden oldukça düşüktür. Çizelge 3.2'ye bakarak Pb'nin iç organlarda daha çok biriktiğini söyleyebiliriz. Aynı durum çizelge 3.4'deki As içinde söz konusudur. Örnek 1 ve 5'de değerler midye iç organı değerleridir ve diğer değerlerden daha yüksektir. 2, 3, 4 ve 6 nolu örnekler kabuk değerleridir. Bunda da arseniğin iç organlarda daha fazla biriktiğini söyleyebiliriz. Çizelge 3.6'da Cd değeri için AAS'nin duyarlılık sınırı 0,02 mg/L'dir. Cd değerlerimiz belirtilen sınırın altındadır.

Midyelerde tespit edilen Cu oranı, daha önce Porsuk suyunda ölçülmüş değerden bir miktar yüksek iken, yumuşakçalarda kabul edilebilir değerlerden oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Midyelerde birikmiş Pb ve Cr değerleri daha önce suda ölçülmüş değerlerden (Çizelge 1.7) çok yüksektir. Bu değerler Pb için yumuşakçalarda kabul edilebilir değerlerden de çok yüksek iken, Cr değeri (ki bu element Tarım Bakanlığı çizelgelerinde bulunmamaktadır) A.B.D.'de 17 mg/L şeklinde verilen kabul edilebilir değerlerden çok yüksek olduğu görülmektedir.

Çalışma bölgesinde midyelerde araştırılan Cd değeri AAS'nin duyarlılık sınırının altında çıkmıştır. Bu nedenle Porsuk ağır metal kirliliğinde Cd bir tehlike oluşturmamaktadır.

Midye iç organları ve kabuklardaki ağır metal birikimleri dikkate alındığında, krom ve kurşunun iç organlarda, bakırın ise kabukta daha çok biriktirildiği görülmektedir (Çizelge 3.1, 3.2 ve 3.3).

Bu çalışmada, çalışma alanında canlı midye bulunan lokalitelerden alınan örneklerin kabukları ile sadece kabuğa rastlanan lokalitelerden alınan örneklerin kabuk kısımları karşılaştırıldığında, canlı midyelerin kabuk kısımlarındaki ağır metal birikiminin daha fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 3.1 ve 3.3). Bunun nedeni canlı midyelerin son zamanlardaki ağır metal kirlenmesine daha fazla maruz kalmaları olabilir. Buna dayanarak ağır metal kirliliğinin Porsuk Çayı'nda son zamanlarda artış gösterdiği söylenebilir.

Porsuk Çayı'nda daha önce 23.06.1999'da Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından Tarım İl Müdürlüğü için yapılan su analizi sonuçları, 04 Eylül 1988, 19919 sayılı resmi gazetede yayınlanan su kirliliği kontrolü yönetmeliği sonuçları ile karşılaştırıldığında özellikle Kütahya Porselen deşarj noktasında BOI'nin belirtilen sınırların çok üstünde, nitratın özellikle Azot Fabrikası çıkışında çok yüksek, kadmiyumun genel olarak yüksek olduğu görülmektedir.

Çalışmanın yapıldığı alanda midye kabuğunun da hiç bulunmadığı bölgeler vardır. Bu bölgeler akışın ve su sıcaklığının değişken olduğu baraja yakın, baraj ve baraj sonrası bölgelerdir. Porsuk Çayı'nda bundan daha önceki yıllarda bu midyelerin çok fazla miktarda bulunduğu bilinmektedir. Ancak günümüzde özellikle Kütahya sonrası bölgelerde canlı örneklerin bulunmaması dikkat çekicidir.

Bunun yanında baraj yapımı ile nehri hapsetmenin (özellikle U.S.A.'nın güney doğusunda) bu bölgedeki midye populasyonlarının üzerinde kalıcı bir etkisinin olduğu bildirilmektedir. Barajlar midye habitatından gelen glochidial konukçu balıkları engelleyen fiziksel bir bariyer görevi yapmaktadır. Barajın altındaki nehir yatağından gelen ince sediment parçaları azaltılabilmekte ya da ortadan kaldırılabilir. Böylece bu bölgedeki *Unio* habitatı yok edilmektedir. Barajlar değişen su sıcaklıkları, günlük ve mevsimsel hidrografiden de sorumludur. Bu durum, bazı midye türlerinin hidrolojik olarak göze çarpan akıntılardan çok, daha kararlı görülen akıntılarda sık bulunması iddiasını

desteklemektedir. Baraj öncesi (girişi) ve baraj sonrası (çıkışı) canlı midye örneklerine rastlanmaması bu durumlarda açıklanabilir (http-1).

Bu bilgiler çalışma alanında bazı bölgelerden ne midye ne de kabuk bulanamamasına açıklık getirmektedir. Bunun yanında Porsuk Çayı'nın kirlilik oranındaki artış da bu bölgedeki midyelerin yok olma sürecini hızlandırmış olabilir.

Porsuk Çayı'na akıtılan Kütahya çıkışındaki mezbaha atıkları ve sanayi atıkları zamanla çaydaki kirliliği üst sınıra çıkararak canlıların yaşama alanını daraltmıştır.

Midyelerin ortamda bulunmayışı direk besin maddesi olarak kullanılmaları bile besin zincirinin kirlilik nedeniyle kırılmasına yol açmasıyla da açıklanabilir. Ancak bu durum ağır metallerin zincirin daha üstündeki halkalara geçişinin bittiği anlamına gelmemektedir.

Sonuç olarak midyelerde tespit edilen ağır metal kirliliğinin tolere edilebilir değerlerin üzerinde olması, aynı zamanda başka araştırmalarla elde edilmiş diğer kirlilik durumları, besin zinciri içinde insana kadar gelebilecek bir çok olumsuz faktörün varlığını göstermektedir. Bu nedenle çevrede özellikle baraj gölünden yakalanıp tüketilen balıkların, ağır metal oranları açısından dikkate alınmaları gerekir. Bu kirliliğin önlenmesi ya da azaltılması, buna neden olan insanın elindedir. Bu yönde yapılacak çalışmaların sürdürülmesi, desteklenmesi toplumun görevidir.

KAYNAKLAR

AKMAN, Y., DÜZENLİ, A. ve GEVEN, F., *Çevre Kirliliği ve Ekolojik Etkileri*, Ankara (1996).

ALKAN, U., TAŞDEMİR, Y., KARAER, F. ve TEKSOY, A., *Evsel Atıksuların Mikrobiyolojik Kompozisyonu ve Halk Sağlığına Etkileri*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed:ATLI, V. ve BELENLİ, İ.) 22-28 Kayseri (1998).

Anonim-1: Gübre Sanayii Hammaddeleri, Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Gübre Sanayii Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu Fosfat, Kükürt, Potas. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Yayın No: DPT:2437-ÖTK:494, Ankara (1996).

Anonim-2: Gübre ve Gübre Hammaddeleri, V. Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Yayın No: DPT:2105-ÖTK:324, Ankara (1987).

ATAYETER, S., *Anadolu Kavağı Yöresi Midye Türünde (Mytilus galloprovincialis Lamarck, 1819) Bazı Ağır Metal Birikimlerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (1991a).

ATAYETER, S., *Denizlerde Ağır Metal Kirliliği ve Metallerin Midyelerdeki Birikimleri*, Ekonomik ve Teknik Dergi Standard, Aralık (1991b).

BALKAYA, N., *Pestisitlerin Alıcı Su Ortamlarına Etkileri*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed:ATLI, V. ve BELENLİ, İ.) 310-315 Kayseri (1998).

BAŞOL, P., *İzmir Körfezi Medio-Littoralinde yaşayan Patella spp.'de Ağır Metal Birikimlerinin Mevsimsel Değişimlerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, İzmir (1991).

BAT, L., GÜNDOĞDU, A., ÖZTÜRK, M. ve ÖZTÜRK, M., *Copper, Zinc, Lead and Cadmium in the Mediterran Mussel Mytilus galloprovincialis Lamarck, 1819 From the Sinop Coast of the Black Sea*, Tr.J. Zoology, Tübitak, 23, 321-326 (1999).

BERKES, F. ve KIŞLALIOĞLU, M., *Ekoloji ve Çevre Bilimleri*, 3. baskı, Remzi Kitabevi, İstanbul (1993).

BEYAZIT, N. ve PEKER, İ., *Atıksularda Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed:ATLI, V. ve BELENLİ, İ.) 209 (1998).

BOŞGELMEZ, A., BOŞGELMEZ, İ., SAVAŞCI, S. ve PASLI, N., *Ekoloji-II Toprak*, Başkent Klşe Matbaacılık, Ankara (2001).

BRYAN, G. W., *Some aspects of heavy metal tolerance in aquatic organisms, Effects of Pollutants on Aquatic Organisms*(Ed: LOCKWOOD, A. P. M.) Cambridge University Prees, Cambridge England (1976).

CANLI, M., *Effects of Mercury, Chromium and Nickel on Some Blood Parameter in the Carp Cyprinus carpio*, Tr.J.of Zoology Tübitak, **19**, 305-311 (1995).

ÇEPEL, N., *Genel Ekoloji*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, İ. Ü. Yayın No:3155, İstanbul (1983).

ÇİÇEK, A., ATİK, S., YAVUZ, Y., BİLGE, F., GENÇE, S., BANAR, M., DÖĞEROĞLU, T. ve KARA, S., *Metal İşlem Sanayii Atıksularının Toksikolojik ve Ekolojik Risklerinin Değerlendirilmesi*, III. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Programı, Kırşehir (1997).

DEMİRSOY, A. Yaşamın Temel Kuralları, Omurgasızlar = İnvertebrata – Böcekler Dışında- cilt-II/ Kısım-I Meteksan A.Ş. Ankara (1998).

DEMİRSOY, A., *Yaşamın Temel Kuralları, Genel Biyoloji/Genel Zooloji*, Cilt-1/Kısım-2, 6. Baskı, Meteksan A.Ş., Ankara (1995).

DENNY, P., HART, B. T., LASHEEN, M. R., SUBRAMANIAN, V. ve WONG, M. H., *Group Report:Lead, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment*, (Ed: HUTCHINSON, T. C., MEEMA, K. M.) S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. Canada (1987).

Devlet Bakanlığı *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete, 4 Eylül 1988-Sayı:19919

DOPSON, S., *Cadmium-Environmental Aspects*, Environmental Healt Criteria 135, World Health Organization Genova (1992).

ERDEM, C. ve KARGIN, F., *Farklı Ortam Derişimlerinde Tilapia nilotica (L.)'nin Doku ve organlarında Bakır Birikimi*, Doğa-Tr. J. of. Zoolgy, **14**, 173-178, Tübitak (1990).

FERGUSSON, J.E., *The Heavy Elements, Chemistry, Enviromental Impact and Healt Effects*, 1st. ed. Pergamon prees, Oxford (1990).

FULLER, S.L.H., *Clams and Mussels (Mollusca: Bivalvia)*, Pollution Ecology of Freshwater Invertebrates, Ed.by. HART, C.W., FULLER, S.L.H., Academic Press, U.S.A. (1974).

GAMAN, P.M. ve SHERRINGTON, K.B., *The Science of Food*, 4th Ed., Reed Educational and Professional Publishing Ltd., England (1996).

GEY, H. ve MORDOĞAN, H., *İzmir Körfezindeki Bazı Deniz Organizmalarında ve İç Körfezin Sahil Kenarı Sedimentlerinde Çeşitli Ağır Metallerin Derişimleri*, Doğa TU Zooloji D. 12, 3 (1988).

GOLDBERG, E. ve WREN, C., *Group Report:Mercury, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment*, (Ed: HUTCHINSON, T. C., MEEMA, K. M.) S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. Canada (1987).

GÖNCÜ, S., *Seydi Suyu'nda Azot ve Fosfor Döngüsünün Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir (2001).

GÜVEN, K., *Biyokimyasal ve Moleküler Toksikoloji*, Diyarbakır (1999).

HAMMER, M.K. ve HAMMER, M.J., Jr., *Water and Wastewater Technology*, Third Edition, Prentice Hall International, Inc.(1996).

HAVAS, M., STEINNES, E. ve TURNER, D., *Group Report:Lead, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment*, (Ed by HUTCHINSON, T. C., MEEMA, K. M.) S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. Canada (1987).

HORNE, A.J. ve GOLDMAN, C.R., *Limnology*, Second Edition, McGraw-Hill, Inc., U.S.A. (1994).

http-1: *Mesocosm Scale Freshwater Mussel Rearing*, <http://www.fred.net/acepoff/mussel/mussel.html> (2001).

JEFFRIES, M. ve MILLS, D., *Freshwater Ecology Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., England (1995).

KALAY, M. ve ERDEM, C., *Bakırın Tilapia nilotica(L.)'da Karaciğer, Böbrek, Solungaç, Kas, Beyin ve Kan Dokularındaki Birikimi ile Bazı Kan Parametreleri Üzerine Etkileri*, Tübitak 19, 1, 27-33 (1995).

KARADEDE, H. ve ÜNLÜ, E., *Atatürk Baraj Gölündeki Cyprinio macrostosum HECKEL, 1843, (Cyprinidae)'da Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi*, XIV. Ulusal Biyoloji Kongresi, Cilt II, 181-190 Samsun (1998).

KIŞLALIOĞLU, M. ve BERKES, F., *Çevre ve Ekoloji Bilimleri*, Remzi Kitabevi, İstanbul (1993).

KIŞLALIOĞLU, M. ve BERKES, F., *Ekoloji ve Çevre Bilimleri*, 2. baskı, Remzi Kitabevi, İstanbul (1994).

KRISHNA MURTI, C. R., OLADE, M. A. ve PAGE, A.L., *Group Report:Lead, Lead, Mercury, Cadmium and Arsenic In The Environment*, (Ed: HUTCHINSON, T. C., MEEMA, K. M.) S.C.O.P.E. of the I.C.S.U. Canada (1987).

KOCATAŞ, A., *Ekoloji ve Çevre Biyolojisi*, Ege Üniversitesi Matbaası, İzmir (1992).

KÖKSAL, O., *Gıda ve Beslenme*, Erciyes Üniversitesi Matbaası, Erciyes Üniversitesi Yayınları No:130, Kayseri (2001).

LOCATELLI, C., TORSI, G. ve GARAI, T., *Determation of Heavy Metals in Enviromental Bio-indikators by Voltametric and Spectroscopic Techniques*, Fresenius J Anal Chem. 363 : 662-666 (1999).

MASON, C. F., *Biology of Freshwater Pollution*, 3rd Ed., Essex University, England Longman Group Limited (1996).

MAY, E., HAMILTON, N. ve WHITNEY, E.N., *Nutrition Conseps & Controversies*, Fifth Edition, Frances Siencliciewicz, Wet Publishing Company, U.S.A. (1991).

MENZEL, W., *Clams and Snail [Mollusca: Pelecypoda (except Oysters) and Gastropoda]* Ed by. HART C.W. Jr., and FULLER, S.L.H., *Pollution Ecology of Estuarine Invertebrates*, Academic Press, U.S.A. (1974).

MERSCH, J. ve JOHANSSON, L., *Transplanted Aquatic Mosses and Freshwater Mussels to Investigate the Trace Metal Contamination in the Rivers Meurthe and Plaine, France*, Environmental Technology, Vol.14. pp 1027-1036, Publications Division Selper Ltd. (1993).

MERSCH, J. ve PIHAN, J-C., *Simultaneous Assessment of Enviromental Impact on Condition and Trace Metal Availability in Zebra Mussels Dreissena polymorpha Transplanted into the Wiltz River, Luxembourg. Comparison with the Aquatic Moss*, Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 25, 353-364 (1993).

MERSCH, J., MORHAIN, E. ve MOUVET, C., *Laboratory Accumulation and Depuration of Copper and Cadmium in The Freshwater Mussel Dreissena Polymorpha and The Aquatik Moss Rhynchostegium Riparioides*, Chemosphere, Vol.27, No.8, pp 1475-1485, Permagon Press Ltd. Printed in Great Britain (1993).

MUTLU, H., *DSİ III. Bölge Müdürlüğü Su Kalitesi Gözlem Çalışmaları ve Uygulamalar*, Su Kalitesi Gözlem ve Denetimi Semineri Bildirileri, İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, 78-92 (1989).

MUTLUAY, H. ve DEMİRAK, A., *Su Kimyası*, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., 1. Baskı, İstanbul (1996).

MÜEZZİNOĞLU, A. ve ŞENGÜL, F., *İzmir Körfezinde ve Körfeze Dökülen Akarsularda Krom, Kadmiyum ve Civa Kirlenmesi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Araştırma Raporları, İzmir (1987).

ÖZKAN, F., GÖÇER, M., KARAYAKAR, F., KOYUNCU, E., DÖNMEZ, E. ve SAĞLAMTİMUR, B., *Mersin Yöresinde Ekonomik Değere Sahip Çipura (Sparus aurata L., 1758), Barbun (Mullus barbatus L., 1758) ve Kefal (Mugil cephalus L., 1758) Türlerinde Bakır, Çinko ve Kadmiyum Birikimi*, IX. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, Palmar Su Ürünleri Endüstrisi A.Ş. Isparta (1997).

ÖZTÜRK, M. ve ÖZTÜRK, M., *Karadeniz'in Sinop Kıyılarından Toplanan Deniz Salyangozlarında (Rapana venosa Valenciennes, 1846) Bazı Ağır Metal Düzeyleri*, Tr. J. of Zoology **18** 193-198, Tubitak (1994).

ÖZTÜRK, M., TÜRKAN, İ., DALGIÇ, R., ÇELİK, Ü., YILMAZ, M. ve YÜCEL, E., *Ağır Metaller Canlılar İçin Bir Yük Mü?*, II Uluslararası Ekoloji ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 1992 (Ed. KİZİROĞLU, İ.), Türk-Alman Kültür İşleri Kurulu Yayın Dizisi; no.3, Ankara (1993).

PARLAK, H., *Girella punctata'nın Karaciğerindeki Proteinlere Bağlı Çinko Miktarı Üzerine Kadmiyumun Etkileri*, Doğa TU Biyol.(Genetik, Mikrobiyoloji, Moleküler Biyoloji, Sitoloji) D.13, 2, 97-104 (1989).

PARLAK, H., KATALAY, B. ve BÜYÜKİŞİK, B., *Accumulation and Loss of Chromium by Mussels (M. Galloprovincialis)*, Environmental Contamination and Toxicology, **62**: 286-292, Springer-Verlag New York Inc. (1999).

PARLAK, H., UYSAL, H., BÜYÜKİŞİK, B. ve DAMOĞLU, E., *Heavy Metals Concentrations in Water and Some Organism Collected From Lake Kuş (Bandırma)*, Journal of Faculty of Science Ege University Series B, Vol. 13, No.1 and 2, 31-41 İzmir (1991).

PEAKALL, D., *Animal Biomarkers as Pollution Indicators*, Chapman & Hall, Canada (1992).

PROSSER, C.L. ve DeVILLEZ, E.J., *Feeding and Digestion*, Environmental and Metabolic Animal Physiology (Ed:Prosser, C.D.), Wiley-Liss, Inc. Newyork, U.S.A., 205-229 (1991).

ŞAHİN, M., *Gübreler ile Yüzey ve Yeraltı Sularının Kirlenmesi Arasındaki İlişkiler* Ekonomik ve Teknik Dergi Standard, Aralık (1991).

ŞENGÜL, F. ve TÜRKMAN, A., *Tehlikeli atıklar ve Türkiye İçin Bir Değerlendirme*, Tehlikeli ve Toksik Atıkların Yönetimi; Teknik Yasal ve Yöresel Uygulamalar Kollokyumu ve Eskişehir'de Durum ve Çözüm Alternatiflerinin Uygulanabilirlik Yönünden Tartışılması Paneli, (Ed. KARA, S.), Bildiriler

Kitabı, Anadolu Üniversitesi Eskişehir Valiliği I. Hava İkmal Bakım Merkezi, Eskişehir (1992).

ŞİŞLİ, N., *Çevre Bilim Ekoloji*, Gazi Kitabevi, İkinci Baskı, Ankara (1999).

T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Koruma Kontrol El Kitabı, Ankara (2000).

Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, *Su Ürünlerinin Ağır Metal Kalıntısı ve Mikrobiyolojik Kontrolüne Dair Tebliğ (91/8)*, Resmi Gazete Sayı:20884, 28 Mayıs 1991.

Tarım İl Müdürlüğü için Anadolu Üniversitesi Çevre Sorunları Uygulama ve Araştırma Merkezi tarafından 23.06.1999 tarihinde yapılan su analiz raporu, Eskişehir (1999).

Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'ndan *Su Ürünleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik*, Resmi Gazete, 3.Şubat 2001-Sayı:24307.s

TEREM, H. N., *Anorganik Sınai Kimya*, İstanbul Üniversitesi Yayınlarından, Sayı:911, Fen Fakültesi No:41, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul (1961).

TESSIER, L., VAILLANCOURT, G. ve PAZDERNIK, L., *Laboratory Study Of Cd and Hg Uptake By Two Freshwater Molluscs In Relation To Concentration, Age and Exposure Time*, Canada G9A 5H7 (1994).

TRAIN, R.E., *Quality Criteria For Water*, Castle House Publications Ltd., U.S.A. (1979).

TUNÇER, S., *İzmir ve Çandarlı (Aliğa Limanı) Körfezlerinde Yaşayan Bazı Mollusk, Alg ve Ortamlarındaki Ağır Metal Kirlenmesi İle İlgili Araştırmalar*, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Hidrobiyoloji ve Su Ürünleri Araştırma Uygulama Merkezi, İzmir (1985).

UZUNÖREN, N., *Ağır Metallerle Kirlenmiş Sulardan Toplanan Midyeler ve Benzeri Deniz Ürünlerinde Ağır Metallerden Arsenik ve Türevleri İle Kirlenme Düzeylerinin Saptanması*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İç Hastalıklar ve Farmakoloji Anabilim Dalı, İstanbul (1987).

ÜNLÜ, E., PAKDEMİR, S. ve AKBA, O., *Dicle Nehrinde Yaşayan Acanthobrama marmid Heckel, 1843'in Doku ve Organlarında Bazı Ağır Metallerin Birikimlerinin İncelenmesi*. XII. Ulusal Biyoloji Kongresi, Edirne (1994).

ÜNSAL, M. ve BEŞİKTEPE, Ş., *A Preliminary Study on the Metal Concent of Mussels, Mytilus galloprovincialis (Lmk.) in the Eastern Black Sea*, Tr. J. of Zoology **18**, 265-271 Tübitak (1994).

VARLIK, B., *Mytilus galloprovincialis* LAMARC'ın Farklı Gelişim Safhalarında Bazı Ağır Metallerin (Cd, Pb) Toksik Etkilerinin Araştırılması, Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknoloji Enstitüsü Canlı Deniz Kaynakları Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İzmir (1991).

YILDIRIM, M. E. ve MURATHAN, A., *Porsuk Çayı'nda Endüstriyel ve Evsel Kirlenmenin Aktif Çamur Yöntemiyle Azaltılması*, Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi Araştırma Fonu Proje Raporu, Eskişehir (1992).

YILMAZ, F., *Kütahya Şehir Atıksularının Porsuk Baraj Gölü'ndeki Olumsuz Etkileri*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu Bildiri Kitabı, (Ed:ATLI, V. ve BELENLİ, İ.) 225-229 Kayseri (1998).

YÜCEL, E., *Asya Servi Kavağı (Populus usbekistanica Kom. Subsp. Usbekistanica cv. 'Afghanica')* Kullanılarak Kütahya İlindeki Trafik Kökenli Pb, Cd, ve Zn Kirliliğinin Araştırılması, Tr. J. of Botany **20** 113-116 Tübitak (1996).

YÜCEL, E., *Porsuk Çayında Ağır Metal Kirlilik Düzeyleri ve Halk Sağlığı İlişkisi*, Ekoloji Çevre Dergisi, **17**, 29-32 (1995).