

## Su Ürünlerinde Kadmiyumun Biyobirikimi ve Toksisitesi

\*Figen Esin Kayhan

Marmara Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Göztepe Kampüsü, Göztepe, İstanbul, Türkiye  
\*E mail: fekayhan@mynet.com

**Abstract:** *Bioaccumulation and toxicity of cadmium in the water products.* All heavy metals are among the most toxic and inevitable pollutants. Cadmium is not an essential element for any organism. Molluscs accumulate large concentrations of cadmium. In recent years, people have been concerned that marine pollution by various pollutants is slowly advancing in extensive areas all over the world. Cadmium is an extremely toxic element continuing concern because its environmental levels have risen steadily with continued worldwide industrialization. In order to understand better the impact of heavy metals, such as cadmium in aquatic organisms, it is important to understand the chemical and physiological processes that control their uptake, bioaccumulation, storage and elimination. The aim of this study is to clarify the characteristics of cadmium and its bioaccumulation and toxicity in water products.

**Key Words:** Bioaccumulation, cadmium, heavy metal, toxicity.

**Özet:** Tüm ağır metaller kaçınılmaz bir şekilde toksiktirler. Kadmiyum yaşayan hiçbir canlı organizma için temel bir element değildir. Yumuşakçalar kadmiyumu serbest konsantrasyonlarda biriktirirler. Son yıllarda insanlar tüm dünyada yaygın olarak artan ve çeşitli kirleticiler tarafından oluşan deniz kirliliğinin farkına vardılar. Dünya çapındaki endüstrileşme sürekli artış gösterdikçe kadmiyum gibi aşırı toksik elementlere de ilgi sürecektir. Kadmiyum gibi ağır metallerin su organizmalarına etkilerini daha iyi anlayabilmek için, bu maddenin alımı, birikimi, saklanması ve atılması ile ilgili birçok kimyasal ve fizyolojik yöntemlerin anlaşılması çok önemlidir. Bu çalışmanın amacı, kadmiyumun biyoakümüülasyon karakteristiğini ve su ürünleri üzerindeki toksisitesini aydınlatmaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kadmiyum, ağır metal, biyobirikim, toksisite.

### Giriş

Son yıllarda hızlı nüfus artışı ve hızlı endüstrileşme sonucu özellikle sucul ortamda toksik ağır metal seviyesinin arttığını gösteren birçok çalışma vardır. Kirleticilerin bir bölümünü oluşturan ağır metaller, metal bileşikleri ve çeşitli mineraller göller, nehirler, körfez ve okyanuslar ile bunların sedimentlerinde geniş yayılım gösterirler. Bu mineraller doğal olarak yapının bir parçası olmaları veya insan faaliyetleri sonucunda yoğun olarak üretilip bir şekilde o ortama taşınmaları sonucu orada bulunurlar (Kalay 2004, Yazkan 2004). Normal koşullarda ağır metallerin doğadaki düzeyi düşüktür. Canlılarda enzimatik aktivite için bazı ağır metallerin gerekliliği sadece belli konsantrasyonlardadır. Doğal konsantrasyon düzeylerinin arttığı durumlarda, örneğin gümüş, civa, bakır, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metaller özellikle toksik etki yapmakta ve enzimleri inhibe etmektedir. Birçok ağır metal, gerekli olsun veya olmasın canlı organizmalar için potansiyel birer toksik ajanlardır. Ağır metallerin balıklar tarafından sucul ortamdan alınması solungaçlar yolu ile olur. Kadmiyumun farklı ortam derişimlerinin etkisinde Sazan balığının (*Cyprinus carpio*) karaciğer ve böbrek dokularındaki kadmiyum birikimi en kısa sürede çok yüksek derişime ulaşırken kas dokusundaki birikimin ancak 106 günlük bir etki süresi sonunda ortaya çıktığı belirtilmiştir. Bu da balıklarda kas dokusunun ağır metalleri bağlamada aktif bir doku olmadığını, birikimin diğer doku ve organlara göre düşük seviyede kaldığını

göstermektedir. Bu nedenle kas dokudaki ağır metal analizleri yanıltıcı olup, ağır metal kontaminasyonu hakkında kesin bilgi vermemektedir (DeConto, 1999). Besada ve diğ. (2002) yılında İspanya'nın Kuzey Atlantik sahillerinde midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) Cd, Cu, Hg, Pb ve Zn eğilimlerini araştırmışlardır. Araştırmacılar midyelerdeki ağır metal eğilimleri ile ilgili bu çalışmayı İspanya'nın Galician ve Cantabrian bölgelerinde yapmışlardır. Çalışmada İspanya'nın Biskay Körfezi'ne bakan kıyılarında Vigo, Pontevedra, A Coruna ve Bilbao bölgelerinde midyelerde ağır metal artışında pozitif bir eğilim olduğunu saptamışlardır. Kadmiyum, metallothionein kompleksleri tarafından tecrit edilir. Bu proteinler yüksek oranda kükürt içeren aminoasitlerdir ve bağlanan kadmiyumun hücre içi reseptörlerle etkileşimi kesilmektedir. Kadmiyumun omurgasız deniz organizmalarındaki akut toksisitesinin sudaki eşik değeri 7.0 µg/l olarak verilmiştir. Kronik toksisitesi ise oldukça düşük olup 0.28-3.0 µg/l olarak tayin edilmiştir. Balıklarda 96 saat süredeki kadmiyumun letal etkisi 11.7 µg/l' den başlamaktadır. Kronik etkileşimde ise, 0.5 ve 5.2 µg/l konsantrasyonlarda balıkların yarısı 168 ve 408 saatte ölmektedir. Balık embriyo ve yavrularının çok daha hassas olduğu da bir gerçektir (Güven ve Öztürk, 2005). Sudaki metalin önemli bir kısmının asılı partiküllerde ve dip sedimentinde yoğunlaştığı bilinmektedir. Besin zincirindeki trofik düzeyleri ve yaşam ortamları birbirinden farklı olan çok sayıda balık türü ile yapılan çalışmalar sonucunda pelajik türlere göre bentik türlerin daha fazla metal kontaminasyonuna maruz kaldıkları görülmüştür. Dipten

süzerek beslenen kabuklu türlerinde de yüksek ağır metal seviyelerinin ölçülmesi sedimentteki metal içeriği ile açıklanmaktadır (Parson 1999, Topçuoğlu 2002). Kadmiyum en toksik çevresel kirleticilerden biridir. Düşük konsantrasyonlarda bile su canlıları için son derece zararlı etkilere sahiptir. Kadmiyum özellikle çevre kirliliği görülen denizlerde su canlısının vücuduna alınarak birikmekte olduğu ve değişik seviyelerde zararlı toksik etkiler meydana getirdiği görülmüştür (Katalay ve Parlak, 2004). Sağlamtimur ve diğ. (2003) Tatlısu çipurası (*Oreochromis niloticus*) ile yaptıkları çalışmalarında, bakır+kadmiyum karışımının etkisinde solungaç, karaciğer, böbrek ve kas dokundaki bakır birikiminin, bakırın tek başına etkisinde saptanan birikim ile karşılaştırıldığında dalgalanma gösterdiğini belirtmişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda gerek bakır, gerekse bakır+kadmiyum karışımının etkisinde, bakır en fazla karaciğerde birikirken en az kas dokusunda birikmiştir. Bu sonuçları metal etkisinde incelenen doku ve organlarda metellothionein gibi metal bağlayıcı proteinlerin sentezindeki artış ve bu molekül üzerindeki bağlanma bölgeleri ile solungaçtan vücuda alınım bölgeleri için iki metal arasındaki rekabetle açıklamışlardır. Sucul ortamdaki ağır metallerin balıklar tarafından bünyelerine alınması en fazla solungaçlar, vücut yüzeyi ve sindirim sistemi ile olmaktadır. Bunun nedeni ağır metal içeren solunum suyunun en geniş yüzey alanına sahip olan solungaç lamelleri ile etkileşmesidir (Flos, 1979). Ağır metaller su canlılarında hücresel ve moleküler düzeyde yapısal işlev bozukluklarına ve DNA kırılmaları frekanslarında artışa sebep olmaktadır (Kalay, 2004, Levesque, 2002, Giordano,1989). Son on yıldaki endüstriyel gelişmeler deniz çevrelerinin ağır metaller tarafından kontamine edildiği ve bu kirlenmenin besin zincirine de yansıdığı gerçeğini ortaya koymaktadır.

### Neden kadmiyum?

Yüzyıl başlarında toksikolojik yönden sorun yaratabileceği pek düşünülmeyen bu metal son yıllarda endüstriyel kullanıma paralel olarak, kurşun, civa gibi ekotoksikolojik yönden önem kazanmıştır (Şener ve Yıldırım, 2000, Conti ve Cecchetti 2003). Genellikle çinko, bakır, kurşun gibi kimi minerallerin üretiminde bir alt ürün olarak çevreye yayılan bu metal, çeşitli endüstri kollarında da giderek artan miktarlarda kullanılmaktadır. Öte yandan, fosfatlı gübreler de önemli miktarda kadmiyum içermektedir. Kadmiyum teratojenik ve karsinojenik etkileri olan toksik bir metal olarak kabul edilir. Endüstriyel kirlenme sonucu açığa çıkan ve ortama karışan kadmiyum kardiyovasküler hastalıklar ve kanser gibi toplum sağlığı açısından önemli rahatsızlıklara da sebep olur (Bebianno ve Machado, 1997). Kadmiyum, çevrede çözünme yeteneği farklı olan tuzlar şeklinde bulunur. Güncel olarak, endüstriyel etkinlikler sonucu çevreye yayılan kadmiyum miktarının, doğal kaynaklı kadmiyumdan 10 kat fazla olduğu bildirilmektedir. Doğumda 1 mg/kg civarında olan kadmiyum düzeyi, besinlerle alınan miktara bağlı olarak, 50 yılda 30-70 mg/kg'a ulaşabilmektedir. Kadmiyum diğer metaller gibi, hava-toprak ve su ortamıyla bitki ve hayvanlara, bitkisel ve hayvansal kökenli besinlerle de insana yansır. Kadmiyumun

hedef organı böbrektir. Kirliliğin söz konusu olmadığı yörelerde su ortamının kadmiyum düzeyi 0.01-5 µg/L arasında ve genellikle 2 µg/L'nin altındadır. Bu nedenle su, insan için minör bir vektör olarak değerlendirilebilir. Ancak endüstriyel kirliliğin yoğun olduğu yörelerde suların kadmiyum düzeyi 1000 µg/L'ye ulaşabilmektedir. Su ve sedimentlerde bulunan kadmiyum özellikle plankton, bitkisel makrofitler, kabuklu ve yumuşakçalarda yoğunlaşır. Yumuşakça ve kabuklular kadmiyumu 300-10.000 kat yoğunlaştırabilmektedir (Serafim, 2002, Clark, 2003). Civa, su ortamında besin zinciri boyunca artarak birikir. Oysa kadmiyumun biyoakümüasyonu selektiftir; organik bileşikler oluşturmayan kadmiyum için, su bitkileri ve yumuşakçalar gibi ara tuzaklar vardır. Kadmiyum düzeyi balıklarda 10-60 ppb dolayında bulunmasına karşılık, kabuklu ve yumuşakçalarda 500-1500 ppb'ye ulaşabilmektedir. Bu verilere göre su ürünleri ile kontaminasyon beslenme tarzı ile yakından ilgilidir. Su ürünleri ile kontaminasyon Japonya'da maksimum düzeydedir. Ağır metaller çevre kirlenmesine neden olmalarından ve çok düşük yoğunluklarda bile deniz organizmalarına ve dolayısıyla insanlara zehirleyici etki gösterdiğinden sucul ekosistemde sürekli etki gösterirler (Hapke, 1991, Şanlı,1995). Ülkemizde Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Su Ürünleri Yönetmeliği (2003) ve Tebliğine (2004) göre kabul edilebilir en yüksek değerler Hg için 0,5 mg/l, Pb için 1,0 mg/l ve Cd için 0,1 mg/l'dir.

### Kadmiyumun Toksik Etki Mekanizması

Kadmiyum solunum ve sindirim yoluyla emilir. Emilen kadmiyum organizmada iki aşamalı bir yayılım gösterir. İlk aşamada kan ve özellikle karaciğerde düşük molekül ağırlıklı bir protein olan metalotiyoneinle fiske edilir. İkinci aşamada toksisiteden yoksun olan metalotiyonein-kadmiyum kompleksi mobilize olarak kana geçer ve böbrekte alınılarak yoğunlaşır. Değişik yollardan canlı bünyesine alınan ağır metal iyonları her organ ve dokuda farklı düzeyde birikmektedir. Canlı bünyesinde çeşitli metabolik olaylara katıldıktan sonra vücut dışına atılabilen metallerden fizyolojik öneme sahip olanlar depolanır. Eğer bunlar toksik metallerden biri ise enzimlerin yapısını bozabilmekte ve bazen de hücre içersinde özel bir şekilde bağlanarak toksik etkileri ortadan kaldırılabilmektedir (Yazkan, 2004). Kadmiyum enzimlerin tiyol grubuna bağlanır. Kadmiyumun hedef organı böbreklerdir. Kadmiyumun Goldfish ve *Carassius auratus* türü balıkların kırmızı hücre oluşumlarını engellediği belirtilmiştir (Houston ve Keen,1984). Bir çok çalışmada su canlılarındaki metal birikimi üzerine konsantrasyon, suyun sıcaklığı, tuzluluğu, derinliği yanında o canlının türü, cinsiyeti, boy ve ağırlığı ile yaşı da etkili faktörlerdendir (Ikuta ve Morikava, 1991). Alabalıklar için letal kadmiyum derişimi 8 mikrogram/litredir. Kadmiyuma ek olarak ortamda çinko ve bakır bulunursa balıklar üzerindeki toksik etkinin daha da arttığı belirtilmektedir. 320 ppm kadmiyum içeren deniz suyunda karideslerin 96 saatte öldükleri gözlenmiştir. Kuşaklı alabalık daha düşük derişimlere hassasiyet göstermektedir. Tuzluluk, kadmiyum birikimini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Kadmiyum toksisitesi ile ilgili yapılan birçok çalışmada tatlı su canlılarının

kadmiyuma daha duyarlı oldukları tespit edilmiştir. Böylece kadmiyum toksisitesi ile tuzluluk arasında ters bir ilişki var olup sudaki kadmiyum iyonlarının çokluğu ile izah edilmektedir. *Palaemon serratus* üzerinde yapılan birikim denemeleri sonucunda küçük bireylerin gerek doku gerekse kabuklarında biriktirdikleri kadmiyum miktarının büyük bireylere oranla çok daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Bunun nedeni küçük bireylerin metabolik aktivitelerinin büyük bireylere oranla fazla olmasıdır. Başka bir birikim denemeleri sonucunda ise, hem küçük hem de büyük bireylerin kabuklarındaki birikim miktarlarının dokularına oranla daha fazla olduğu saptanmıştır. Bunu nedeni ise, vücutlarını dış yüzeyinin kadmiyum ile doğrudan temas halinde olması ve kabukların salgıladığı mukus salgısının kadmiyum tutma özelliğine sahip olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (Egemen ve Sunlu, 2003). Sudaki kadmiyum balıkların vücut yüzeyi ve solungaçları ile etkileştikten sonra diğer dokulara geçmektedir (Hollis, 1999, Wong ve Wong, 2000). Karaciğer dokusu ağır metallerin taşınmasında ve detoksifikasyonunda görev yapan metallothionein (MT) ve benzeri proteinlerin başlıca sentez yerlerinden biri olduğu için, kadmiyum detoksifikasyonundaki işlevi oldukça fazladır. Ancak kadmiyum birikim düzeyi bakımından, özellikle kronik çalışmalarda karaciğer dokusuna göre birikimin en fazla böbrek dokusunda olduğu belirlenmiştir (DeConto, 1999, De Smet, 2001, Wu, 1999, Serafim, 2002). Ağır metaller organizmaya alındıklarında veya organizmadaki derişimleri arttığında MT sentezi de artar. (D'Souza, 2003, Chan ve Cherian, 1992). Ağır metaller, metabolik aktivitesi yüksek olan dokularda total protein derişimini artırırlar. Kadmiyum idrarla yavaş olarak, çok az düzeylerde de dışı, ter, kıl ve sütle atılır. Ağır metaller, endüstriyel atıklar ve bazı pestisitler içinde yer alıp ekolojik dengeyi tehdit eder düzeylere ulaşırlar (Kaya, 1998).

#### **Kadmiyumun Biyobirikimi Ve Toksisitesinin Ölçülmesi İle İlgili Yurtiçinde Yapılmış Çalışmalara Örnekler**

Ağır metaller sucul ortamlarda birbirlerinden bağımsız bulunmadıklarından ağır metal karışımlarının sucul organizmalar üzerine yaptığı etkilerin incelendiği araştırmaların sayısı gittikçe artmaktadır. *Oreochromis mossambicus* ile yapılan bir çalışmada bakır+kadmiyum karışımının etkisinde karaciğer, böbrek ve barsak dokusundaki bakır birikiminin bakırın tek başına etkisinde saptanan birikimden daha fazla olduğunu ancak kas dokusunda bu durumun tam tersinin meydana geldiğini belirtmişlerdir (Pelgrom, 1995). Alabalık (*Salmo trutta*) ile yapılan bir çalışmada kadmiyumun karaciğerde en fazla biriktiği belirlenmiştir (Olvisk, 2001). Yarsan ve diğ. (2000) Van Gölü'nden toplanan midyelerde ağır metal düzeylerini inceledikleri araştırmalarında, 120 adet *Unio stevenianus* türü midyeyi araştırma materyali olarak kullanmışlardır. Çalışmada arsenik, bakır, kadmiyum, çinko ve kurşun düzeyleri atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile ölçülmüştür. Analiz edilen tüm midyelerdeki kadmiyum düzeyleri  $0.09 \pm 0.02$  ppm olarak tespit edilmiştir ve bu sonuçlar ülkemiz ve diğer ülkeler için kabul edilen normal değerler içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Canlı ve diğ. (1998) Seyhan Nehri'nde yaşayan balıkların (*Cyprinus carpio*, *Barbus capito*, *Chondrostoma regium*) dokularında ağır metal (kadmiyum, kurşun, bakır, krom ve nikel) düzeylerini araştırmışlardır. Dokulardaki ağır metal düzeyleri istasyonlar arasında genellikle önemli oranlarda değişim göstermiş olup, özellikle hastane akıntıları tarafından kontamine edildiği düşünülen bir istasyon en yüksek değerlerde ölçülmüştür. Bazı metallerin derişimleri bazı dokularda insan tüketimi için kabul edilebilir değerleri aşmıştır ve biyolojik gereksinimleri ne olursa olsun bütün balıkların yüksek düzeylerde metal derişimleri gösterdiği belirtilmiştir. Katalay ve diğ. (2004) çalışmalarında, *Gobius niger* (Kömürücü kaya balıkları) türü balıklarda kadmiyumun balıkların eritrosit yapısı üzerine etkilerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar koşullarında 24 gün süreyle birikim denemelerini gerçekleştirmişlerdir. Mikroskopik çalışmaları sırasında kadmiyum etkisi sonucu bazı histolojik değişikliklerin ortaya çıktığını ve immatüre ve dejenere olmuş eritrosit sayısında artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Normal eritrositlerdeki nukleuslar değişikliğe uğramışlar ve küresel şekil almışlardır. Hücre zarlarının dikensi yapı kazandığı görülmüş ve ayrıca hipokromik anemi, parçalı eritrosit yapısı ve mikronüklei sayısında artış olduğu belirtilmiştir. Topçuoğlu ve diğ. (2004) Karadeniz kıyısız ortamından toplanan deniz alglerinde 1979-2001 yılları arasında ağır metal düzeylerini inceleyen uzun soluklu bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Karadeniz ve Boğaziçi ağır metal kirliliğine maruzdur. Bu arada kadmiyum, kobalt, krom ve kurşun düzeyleri 1998 ve 1999 yıllarında analizi yapılan tüm Karadeniz alglerinde tayin limiti altında bulunmuştur. Buna karşılık kadmiyum, krom, bakır, kurşun ve çinko konsantrasyonları 2001 yılı Doğu Karadeniz örneklerinde giderek artmıştır. Zira midyeler belli sürelerde metali tutup sonra salıverirler, algler ise ağır metali yığıştırırlar. Bu sebepten bu çalışmada algleri örnek materyali olarak kullanmayı uygun bulmuşlardır. Kalay ve diğ. (2004) yılında yayınladıkları çalışmalarında Mersin körfezi'nde yakalanan *Sparus aurata* ve *Mullus barbatus* türü balıklarda kas ve karaciğer dokularındaki kadmiyum düzeylerini karşılaştırmışlardır. Her iki balık türünün incelenen dokularında sınır değerleri aşan kadmiyum düzeyleri belirlenmesi bölgedeki ağır metal yükünü işaret etmektedir. Ayrıca bu türlerin dokularında yüksek kadmiyum derişimlerinin ölçülmesi tükettikleri besin türü (küçük omurgasızlar, balık larvaları, yumuşakçalar, kabuklular, detritus, kurtçuklar gibi) ile de kısmen ilişkilendirilebilir. Çalışmanın sonucunda kadmiyum derişimleri hem Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı'nın hem de uluslararası kuruluşların kabul ettiği sınırların üzerinde olduğu görülmüştür. Varlık (1991) çalışmasında, kadmiyum ve kurşun bulunan ortamlarda, midye larvalarında meydana gelen anormallikleri incelemiş ve yüzde olarak değerlendirmiştir. Her iki ağır metalde tüm konsantrasyonlarda midyelerde dölleme oranını düşürmüştür. 0.5 ppm Cd konsantrasyonunda larvalarda % 97 anormallik tespit edilmiştir ve kadmiyumun daha toksik olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmada kadmiyumun, midye ergin bireylerini kurşundan daha fazla

etkilediği belirtilmiştir. Şentürk (1993) yılındaki çalışmasında Marmara Denizi'nin değişik bölgelerinden avladığı midye ve istiridyelerde ağır metal birikimini incelemiştir. Midye ve istiridyelerdeki civa, kadmiyum ve kurşun seviyeleri AAS ile araştırılmıştır. Marmara Denizi'nin çeşitli bölgelerinden avladıkları 17 numunede ortalama değerler olarak 0.46 mg/kg Hg, 0.25 ppm Cd ve 0.304 ppm Pb verilerini elde etmiştir. Bu değerler su ürünlerinde kabul edilebilir ağır metal değerleri limitlerinin altında olmakla beraber bu canlıların ağır metaller tarafından kirletildiği gerçeğini de görmemizi sağlamıştır. Bat ve diğ. (1999) Karadeniz'in Sinop kıyılarında toplanan *Mytilus galloprovincialis*'lerde bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum konsantrasyonlarının tespiti çalışmasında, Karadeniz'in Sinop kıyılarında toplanan midyelerin dokularında bakır, çinko, kurşun ve kadmiyum konsantrasyonları kıyısız suların metal kirliliğini belirlemek amacıyla AAS ile ölçülmüştür. Elde ettikleri ağır metal konsantrasyonları örneklenen üç istasyon arasında istatistiksel olarak farklılık göstermiştir. Bu çalışmaya göre yaz ve sonbahar aylarında kurşun miktarları 1-1.3 mg/L Pb ve kadmiyum miktarları ise yılın ikinci yarısından itibaren ilk yarsına oranla daha yüksek olduğu (0.27-0.2 mg/L Cd) belirtilmiştir. Yazkan ve diğ. (2004) çalışmalarında Antalya körfezinde 2000 yılı Ocak, Şubat ve Mart aylarında avlanan bazı yumuşakça türlerinde kurşun ve kadmiyum içeriklerini belirlemişlerdir. Bu çalışmaya göre ağır metaller arasında insan sağlığı açısından önemli olan Pb ve Cd yumuşakçalarda sırasıyla 0.00-0.35 mg/kg Pb ve 0.26-0.28 mg/kg Cd olarak saptamışlardır. İncelenen türlerde analiz edilen ağır metaller açısından henüz ciddi bir tehlike olmadığını bildirmişlerdir. Antalya körfezinde ağır metal kirliliğinin ileri boyutlarda olmaması ülkemiz açısından sevindirici bir sonuçtur.

#### **Kadmiyum biyobirikimi ve toksisitesinin incelenmesi ile ilgili yurtdışında yapılmış çalışmalar**

Balıkların hematolojik parametreleri üzerine kirliliğin ve ağır metallerin etkisi konusunda pek çok çalışma vardır. Kadmiyuma kısa süreli maruz kalma sonucu *Salmo gairdneri* türü balıklarda glikojen seviyesinde bir azalma görülmüş ve karaciğer büyüklüğünde ise artış gözlenmiştir. Bundan dolayı sonraki çalışmalarında ortaya çıkabilecek deformitelerin saptanabilmesi amacıyla periferik kan inceleme çalışmalarına yönelmişlerdir (Lowe-Jinde ve Nimi, 1986). Kadmiyumun düşük seviyelerine maruz kalan *Perca fluviatilis* türü balıklarda normastik ve normokromik anemi gözlenmiştir (Larsson, 1985). İsveç'te Eman Nehri'nde kadmiyumla kontamine olmuş *Perca fluviatilis* türü balıklar üzerine biyokimyasal ve hematolojik araştırmalar yapılmış ve kadmiyuma çok yoğun bir şekilde maruz kalan balıklarda karaciğer içeriğindeki kadmiyum ve kurşun konsantrasyonunda yükselme ve anemik cevap gözlenmiştir. Bu olay intestinal absorpsiyondaki eksiklik sonucu ortaya çıkan demir metabolizmasındaki bozulmaya bağlı olabileceği bildirilmiştir (Sjöbek, 1984). Leonzio ve diğ. (1981) Akdeniz'in batısındaki Tiran Denizinin çeşitli bölgelerinde 1976 kışı ile 1980 baharı arasında mevsimsel bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada araştırma

materyali olarak dört tür deniz canlısı ele alınmıştır. Bunlar sırasıyla; *Mytilus galloprovincialis*, *Nephrops norvegicus*, *Mullus barbatus*, *Engraulis encrasicolus* türleridir. Leonzio çalışmasında bu dört tür deniz canlısında, çinko, bakır, kadmiyum, kurşun ve civa gibi bazı ağır metallerin derişimlerinin tespitini araştırmışlardır. Sonuç olarak civa hariç tüm ağır metaller her dört türde de benzer seviyelerde bulunurken civa seviyeleri değişkenlik göstermiştir. Civa değerlerinin değişik ölçülerde çıkması bu dört türün biyoindikatör olarak uygunluğunun tartışılır kılmaktadır. Storelli ve diğ. (2000) İtalya'nın İyonian denizindeki 10 istasyondan elde edilen midyelerde (*Mytilus galloprovincialis*) bulunabilecek ağır metalleri araştırmıştır. Çalışma 1997 yılının haziran ve eylül ayları arasında gerçekleştirilmiş olup civa, kurşun, kadmiyum, krom, çinko ve kalay ağır metallerinin konsantrasyonu tespit edilmiştir. Analizler sonucunda midyelerdeki ağır metal konsantrasyonları civa için 0.15 mg/kg, kurşun için 1.19 mg/kg ve kadmiyum için 0.64 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada bulunan değerlerin insan tüketimi için kabul edilebilir değerlerin altında bulunduğu belirtilmiştir. Pashkova ve Glushankova (1993) *Mytilus galloprovincialis*'in yumuşak doku ve kabuklarında ağır metal içeriği araştırması yapmışlardır. Bu çalışmada *Mytilus galloprovincialis*'in üç varyetesi kullanılmış ve AAS yöntemiyle midyelerin yumuşak doku ve kabuklarında demir, kurşun, çinko, bakır ve kadmiyum içeriği tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucuna göre tüm varyetelerde yumuşak dokulardaki ağır metal içeriği kabuklardakinden daha fazla bulunmuştur. Yumuşak dokuda bulunan ağır metallerin içerikleri artan sırayla demir, çinko, kurşun, bakır ve kadmiyum olarak bulunmuştur. Koyama ve Ozaki (1984) yılında yaptıkları çalışmalarında çeşitli konsantrasyonlarda kadmiyum içeren ortamlarda tutulan sazan *Cyprinus carpio* balıklarının hematolojik değişimlerini incelemişlerdir. Sonuçta hemoglobin ve hematokrit değerlerinin önemli ölçüde azaldığını, balıklarda anemik belirtilerde artış olduğunu ve karaciğer dokularında harabiyet gözlemlediklerini belirtmişlerdir. Olabarieta ve diğ. (2001) yılında, iki farklı hayvan hücresi modelinde kadmiyumun invitro etkilerinin araştırıldığı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmanın amacı *Mytilus galloprovincialis*'in iki farklı invitro hücresi modelinde kadmiyumun karşılaştırmalı etkisini araştırmaktır. Bu hücre gruplarından biri midyenin proksimal renal tübül hücreleri diğeri ise kan hücreleridir. 10-2000 mg Cd içeren farklı konsantrasyonlardaki Cd çözeltilerinde 24 saat bekletilen 96 adet midyenin çeşitli işlemlerden sonra analizleri yapılmıştır. Araştırmada midyelerin kan hücrelerinin kadmiyum emiliminde, proksimal renal tübül hücrelerine oranla daha dirençli oldukları gözlenmiş ve ayrıca kadmiyumun in-vitro şartlarda fagositik ve lizozomal aktiviteleri uyardığı belirtilmiştir.

#### **Sonuç ve Öneriler**

Bir metal, bir biyolojik sisteme girdiği zaman, o canlının tüm dinamik yaşam proseslerine zarar verme kapasitesine sahiptir

(Hu, 2000). Sucul ortamdaki derişimi artan ağır metaller suda yaşayan organizmalar tarafından alınarak besin zinciri aracılığı ile üst trofik düzeylere taşınmaktadır. Sucul organizmalarda ağır metal birikiminin incelenmesi, ağır metallere karşı duyarlılığı yüksek türlerin belirlenmesinin yanı sıra organizmada meydana gelen yapısal ve işlevsel bozuklukların belirlenmesi bakımından da önem taşımaktadır. Denizlerde bol miktarda bulunmaları, metalleri yüksek yoğunluklarda biriktirip, bunları uzun süre bünyelerinde tutmalarından dolayı midyeler, sularda kirliliği yansıtan biyolojik indikatörlerin başında gelir. Balıklarda bazı ağır metallerin letal olmayan ortam derişimlerinde öncelikle solungaçlarda birikmesi, solungaçların, sudaki çözünmüş ağır metallerle doğrudan etkileşim halinde olmasından kaynaklanmaktadır. Solungaçlardaki ağır metal birikim düzeyi mortaliteye neden olacak düzeyde değil ise derişimi zaman içinde azalmaktadır. Ağır metaller subletal ortam derişimlerinin etkisinde balıkların karaciğer, böbrek ve dalak gibi metal metabolizması ve metal detoksifikasyonu ile ilgili organlarında yüksek düzeyde birikmektedir. Balıklarda karaciğer, ağır metalleri bağlayarak toksik etkilerinin yok edilmesinde işlev gören metallothionein ve glutatyon gibi metal bağlayıcı proteinlerin başlıca sentez yerlerinden biridir. Balıklarda kas dokusu ağır metal bağlamada etkili değildir. Gerçekte dünyada yaşayan tüm canlıların ortak serveti olan denizler ve içindeki canlılar, kaliteli protein arayışı içinde olan toplumların gıda deposudur. Endüstrileşmenin kaçınılmaz olduğu yüzyılıımızda, yaşam kalitesini bozmadan, taze ve temiz ürünlerle sağlıklı beslenme olanaklarını korumak tüm toplumların ana hedefi olmalıdır.

## Kaynakça

- Bat, L., A. Gündoğdu., M. Öztürk., M. Öztürk. 1999. Copper, zinc, lead and cadmium concentrations in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* from the Sinop coast of the Black Sea. Turk. J. Zoology, 23:321-326.
- Bebianno, M.J., M. Machado. 1997. Concentrations of metals and metallothioneins in *Mytilus galloprovincialis* along the South Coast of Portugal. Marine Pollution of Bulletin. Vol:34(8): 666-670.
- Besada, V., J. Fumega., A. Vaamonde. 2002. Temporal trends of Cd, Cu, Hg, Pb, and Zn in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Spanish North-Atlantic coast. Sci. Total Environ. 288 (3):239-253.
- Canlı, M., O. Ay., M. Kalay. 1998. Levels of heavy metals (Cd, Pb, Cu, Cr and Ni) in tissue of *Cyprinus carpio*, *Barbus capito* and *Chondrostoma regium* from the Seyhan River, Turkey. Turk. J. Zoology. 22:149-157.
- Chan, H.M., M.G. Cherian. 1992. Protective roles of MT and glutathione in hepatotoxicity of Cd. Toxicology. 72:281-290.
- Clark, R.B. 2003. Marine Pollution. Oxford University Press. 5th. Ed. London, England.
- Conti, E.M., G. Cecchetti. 2003. A biomonitoring study: Trace metals in algae and mollusks from Tyrrhenian coastal areas. Environmental Research. 93: 99-112.
- D'Souza, S.H., G. Menezes., T. Venkatesh. 2003. Role of essential trace minerals on the absorption of heavy metals with special reference to lead. Indian Journal of Clinical Biochemistry, 18(2):154-160.
- De Conto Cinier, C., M.P. Ramel., R. Faure., D. Garin., Y. Bouvet. 1999. Kinetics of Cd accumulation and elimination in Carp *Cyprinus carpio* tissues. Comp. Biochem. Physiol. Part C, 122:345-352.
- De Smet, H., B. De Wachler., R. Lobinski., R. Blust. 2001. Dynamics of (Cd-Zn)-Metallothionein in gills, liver and kidney of Common carp *Cyprinus carpio* during Cd exposure. Aquatic Toxicol.52:269-281.
- Egemen, Ö., U. Sunlu. 2003. Su Kalitesi. E.Ü. Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, No:14, E.Ü.Basımevi, 148 p.
- Flos, R., A. Caritat., J. Balasch. 1979. Zinc content in organs of dogfish subjected to sublethal experimental aquatic zinc pollution. Comp.Biochem.Physiol. 63C:77-81.
- Giordano, R., P. Arata., S. Rinaldi., L. Ciaralli., M. Giani., M. Rubbiani., S. Costantini. 1989. Mercury, cadmium and lead levels in marine organisms (*Mytilus galloprovincialis*) collected along the Italian coasts. Ann. Ist. Super. Sanita, 25(3): 511-516.
- Güven, K.C., B. Öztürk. 2005. Deniz Kirliliği. Türkiye Deniz Araştırmaları Vakfı Yayınları. No.21, İstanbul, 504 p.
- Hapke, J. 1991. Effects of metal on domestic animals. VCH Verlagsgesellschaft mbH.
- Hollis, L., J.C. McGeer., G.D. McDonald., C.M. Wood. 1999. Cadmium accumulation, gill cadmium binding, acclimation, and physiological effects during sublethal Cd exposure in Rainbow Trout. Aquatic Toxicol.46:101-119.
- Houston, A.H., J.E. Keen. 1984. Cadmium inhibition of erythropoiesis in Goldfish, *Carassius auratus*. Can.J.Fish Aquat.Sci. 41:1(2)18-34.
- Hu, 2000. Exposure to metals. Occup.Environ.Med.27(4):983-996.
- İkuta, K., A. Morikava. 1991. Estimates for depuration periods of Cu, Cd and Zn in Pacific oyster under field conditions. Bull.Fac.Agric. 38:1-12.
- Kalay, M., C.E. Koyuncu., A.E. Dönmez. 2004. Comparison of Cd levels in the muscle and liver tissues of *Mullus barbatus* and *Sparus aurata* caught from the Mersin Gulf. (in Turkish). Ekoloji Dergisi. 13(52):23-27.
- Katalay, S., H. Parlak. 2004. The effects of cadmium on erythrocyte structure of Black goby (*Gobius niger* L.1758). (in Turkish). E.Ü. Su Ürünleri Dergisi. 21(1-2):99-102.
- Kaya, S., İ. Pirinççi., A. Bilgili. 1998. Çevre Bilimi ve Çevre Toksikolojisi. Medisan Yayın Serisi. Yayın No:36. Ankara, 104 p.
- Koyama, J., Y. Ozaki. 1984. Hematological changes of fish exposed to low concentrations of cadmium in the water. Bull. Jpn. Soc.Sci.Fish. 50(2):199-203.
- Larsson, A., M. L. Haux., S. Sjöbeck. 1985. Fish physiology and metal pollution: Results and experiences from laboratory and field studies. Ecotoxicol.Environ Saf. 9:250-281.
- Leonzio, C., E. Bacc., S. Focaedi., A. Renzoni. 1981. Heavy metals in organisms from the Northern Tyrrhenian Sea. Sci. Total Environ, 20(2): 131-146.
- Levesque, H.M., T.W. Moon., P.C.G. Campbell., A. Hontela. 2002. Seasonal variation in carbohydrate and lipid metabolism of Yellow perch (*Perca flavescens*) chronically exposed to metals in the field. Aquatic Toxicol. 60:257-267.
- Lowe-Jinde, L., A.J Nimi. 1986. Hematological characteristics of Rainbow trout *Salmo gairdneri* in response to cadmium exposure. Bull.Environ.Contam.Toxicol.37:375-381.
- Olabarliata, I., B. L'Azou., S. Yuric., J. Cambar., M.P. Cajaraville. 2001. In vitro effects of cadmium on two different animal cell models. Toxicol. In Vitro, 15(4-5):511-517.
- Olvisk, PA., P. Gundersen., RA. Andersen., KE. Zachariassen. 2001. Metal accumulation and MT in Brown Trout *Salmo trutta*, from two Norwegian rivers differently contaminated with Cd, Cu, and Zn. Comp.Biochem. Physiol.C.Toxicol.Pharmacol. 128:381-385.
- Pashkova, I.M., M.A. Glushankova. 1993. The heavy metal content in the soft tissues and shells of specimens of three varieties of the Azov and Black Sea mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam,1819. Tsitologiya, 35(6-7):64-67.
- Pelgrom, S.M.G.J., L.P.M. Lamers., R.A.C. Lock., P.H.M. Balm., S.E. Wandelaar. 1995. Interactions between Cu and Cd modify metal organ distribution in mature Tilapia, *Oreochromis mossambicus*. Environ.Pollut. 90:415-423.
- Sağlamtimur, B., B. Ciciik., C. Erdem. 2003. Effects of different concentrations of copper alone and copper+cadmium mixture on the accumulation of copper in the gill, liver, kidney and muscle tissues of *Oreochromis niloticus*. (in Turkish). Turk.J.Vet.Anim.Sci. 27:813-820.
- Serafim M.A., R.M. Bebianno., W.J. Langstone. 2002. Effects of temperature and size on metallothionein synthesis and gill of *Mytilus galloprovincialis* exposed to Cd. Marine Environmental Research. 54:361-365.
- Sjöbek, M.L., C. Haux Larsson., G. Lithner. 1984. Biochemical and Hematological studies on Perch, *Perca fluviatilis*, from the cadmium contaminated River Eman. Ecotoxicology and Environmental Safety.

- 8:303-312.
- Storelli, M.M., A. Storelli., G.O. Marcotrigiano. 2000. Heavy metals in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Ionian Sea. J. Food Prot. 63(2):273-276.
- Şanlı, Y., S. Kaya. 1995. Veteriner Klinik Toksikoloji. Medisan Yayın Serisi. Ankara. Yayın No:21.
- Şener, S., M. Yıldırım. 2000. Veteriner Toksikoloji. Teknik Yayıncılık. İstanbul, 343 p.
- Şentürk, F. 1993. Determination of mercury and lead levels in molluscs from different areas. (in Turkish). Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topçuoğlu, S., Ç. Kirbaşıoğlu., N. Balkıs. 2004. Heavy metal contents of algae of Turkish coast in the Black Sea (1979-2001). (in Turkish). J.BlackSea/Mediterranean Environment. 10:21-44.
- Topçuoğlu, S., Ç. Kirbaşıoğlu., Ç. Güngör. 2002. Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea. Environment International. 27:521-526.
- Varlık, B. 1991. Investigation of toxic effects of some heavy metals (Cd-Pb) to the different development stages of *Mytilus galloprovincialis*. (in Turkish). Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 44 p. İzmir.
- Wong, C.K.C., M.H. Wong. 2000. Morphological and biochemical changes in the gills of *Tilapia* to ambient cadmium exposure. Aquatic Toxicol. 48:517-527.
- Wu, S.M., C.F. Weng., M.J Yu, C.C. Lin., S.T. Chen., J.C. Hwang., P.P. Hang. 1999. Cadmium-inducible metallothionein in *Tilapia* (*Oreochromis mossambicus*). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 62:758-768.
- Yarsan, E., A. Bilgili., İ. Türel. 2000. Heavy metal levels in mussels (*Unio stevenianus* Krynicki) obtained from Lake Van. (in Turkish). Turk.J.Vet.Anim.Sci. 24:93-96.
- Yazkan M., F. Özdemir., M. Gölükçü. 2004. Cu, Zn, Pb and Cd contents in some molluscs and crustacea caught in the Gulf of Antalya. (in Turkish). Turk. J. Vet. Anim. Sci. 28:95-100.