



Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri

Gözde Şavran^{1,*} , Fahrettin Küçük² 

1 Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Temel Bilimler ABD., Isparta, Türkiye.

2 Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, Isparta, Türkiye.

* *Corresponding author (Sorumlu Yazar): G. Şavran, e-mail (e-posta): gozdesavrann@gmail.com*

ÖZET

Artan endüstrileşme, kentleşme, tarımsal faaliyetler, insan aktiviteleri gibi birçok sebepten dolayı sucul ekosistemler baskı altındadır. Kirletici unsurların düzensiz ve kontrolsüz şekilde su sistemlerine verilmesi, ortamdaki canlı yaşamlarını tehlikeye sokmaktadır. Çevre kirliliğinin en önemli konularından olan ağır metaller doğal ya da yapay yollardan sucul ekosistemlere girmekte ve besin zinciri yolu ile en alt basamaktan en üst basamak olan tüketicilere, dolayısıyla insana kadar aktarılmaktadır. Bu şekilde ekosistemde sürekli ve dengeli bir enerji döngüsü vardır. Doğal ekosistemlerde besin zincirinin herhangi bir kirletici ile zarar görmesiyle, madde ve enerji döngüsü de olumsuz yönde etkilenmektedir. Farklı kaynaklardan ekosisteme giren ağır metallerin bir kısmı çözünürlük kapasitelerine bağlı olarak doğrudan su içerisinde taşınırken, bazıları sediment tabakasında birikir. Ağır metal biriktiren sediment tabakası doymun hale geldiğinde bünyesindeki ağır metalleri tekrar suya bırakır ve kirletici konumuna gelir. Ağır metallerin besin zincirindeki birikimi ise, birinci halkadaki fitoplanktonik organizmaların güneşten aldıkları enerjiyi kullanmalarıyla başlar, balıklar ve diğer omurgalılar ile son bulur. Doku ve organlarda farklı şekillerde birikim gösteren ağır metallerin yoğunluğu, bir üst halkaya aktarıldığında artmaktadır. Söz konusu maddeler aynı ortamda yaşayan yakın türlerde bile farklı derişimlerde bulunabilmektedir. Sucul ortamdaki bazı canlılar ağır metalleri bünyelerinden atabildikleri halde bazıları (bazı sucul bitkiler, midye, istridye vb.) bünyelerinde biriktirirler. Özellikle beslenme ve diğer yollar ile vücuda alınan ağır metaller canlılarda olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal, Biyoakümülyasyon, Besin zinciri, Su kirliliği

Heavy Metal Accumulation and Effects in Aquatic Organisms

ABSTRACT

Aquatic ecosystems are under pressure due to many reasons such as increasing industrialization, urbanization, agricultural activities, and human activities. Irregular and uncontrolled release of polluting elements into water systems endanger the lives of living things in the environment. Heavy metals, which are one of the most important issues of environmental pollution, enter aquatic ecosystems naturally or artificially and are transferred from the lowest to the highest level consumers, thus to humans, through the food chain. In this way, there is a continuous and balanced energy cycle in the ecosystem. In natural ecosystems, when the food chain is damaged by any pollutant, the material and energy cycle is also adversely affected. Some of the heavy metals entering the ecosystem from different sources are transported directly in the water depending on their solubility capacity, while some accumulate in the sediment layer. When the heavy metal-accumulating sediment layer becomes saturated, it releases the heavy metals back into the water and becomes a pollutant. The accumulation of heavy metals in the food chain begins with the use of energy from the sun by phytoplanktonic organisms in the first ring, and ends with fish and other vertebrates. The density of heavy metals, which accumulate in tissues and organs in different ways, increases when transferred to an upper ring. These substances can be found in different concentrations even in close species living in the same environment. Although some living things in the aquatic environment can remove heavy metals from their bodies, some (some aquatic plants, mussels, oysters, etc.) accumulate in their bodies. Especially heavy metals taken into the body through nutrition and other ways cause negative results in living things.

Keywords: Heavy metal, Bioaccumulation, Food chain, Water pollution

Makale Bilgisi / Article Info

Alınış tarihi
Received date : 24.08.2022

Düzeltilme tarihi
Revised date : 30.09.2022

Kabul tarihi
Accepted date : 30.09.2022

Atıf için
How to Cite Şavran, G. ve Küçük, F. (2022). "Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri", *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 2022: 65-78.

1. GİRİŞ

Günümüzde genel olarak içsular, denizler ve okyanuslar kentleşme, endüstrileşme, tarımsal faaliyetler, insan faaliyetleri gibi birçok sebepten dolayı baskı altındadır. Kirleticilerin doğrudan su sistemine verilmesi, mevcut durumdaki ekosistemin de tahribatına sebep olmaktadır. Kirletici unsur olarak ağır metaller, su ekosistemine girdiğinde besin zinciri aracılığı ile canlı sisteminde toksik etki meydana getirmektedir. Ağır metaller genellikle doğal sularda eser miktarlarda bulunan, ancak çoğu çok düşük derişimlerde bile zehirli olan maddelerdir (Herawati vd., 2000; Masindi ve Muedi, 2018).

Ağır metal teriminin özel bir tanımı olmamasına karşın, özgül ağırlığı 5 g/cm^3 'ten fazla olan metaller ağır metal olarak adlandırılmıştır (Banfalvi, 2011). Normal koşullarda arseniğin özgül ağırlığı ($3,87 \text{ g/cm}^3$) bu değerlerden az olmasına karşın ağır metaller gibi toksik etki gösterdiğinden, bu grupta yer almaktadır (Aslam vd., 2013).

Sanayinin gelişmesi, çevre kirliliğinin başlıca kaynaklarından olan ağır metalleri de beraberinde getirmiş, bunun sonucunda hem doğal hem de yapay su ortamlarındaki canlı grupları tehlike altına girmiştir (Karadavut vd., 2012a). Sanayi Devriminin başlamasıyla birlikte doğada geri dönüşü olmayan tahribatlar ortaya çıkmaya başlamıştır (Baykal ve Baykal, 2008). Çevrenin kirlenmesinde en büyük etkenlerden olan ağır metallerin birçoğu (demir, çinko, kobalt, bakır, nikel, mangan) aslında canlı hücrelerin temel bileşenleri olan karbon, azot ve fosfor kadar önemli besin elementleri arasındadır. Ancak bu maddeler sucul ortamda yüksek derişime ulaştığında, canlılarda birikme ve kanserojen etkiye neden olduğundan çok önemli kirleticiler arasında gösterilmektedir (Dereli vd., 2017).

Ağır metaller, doğada kolayca yok edilemez ve uzun süre bozulmadan alıcı ortamda kalabilirler. Bu sayede canlı vücuduna geçerek besin zinciri yolu ile bir üst seviyedeki canlıya aktarılırlar (Aras vd., 2017). Son seviye insan vücuduna taşınan ağır metaller birden fazla organ ve sistemi etkilemekte; sinirlere ve kemiklere zarar vermekte, kansere ve başka birçok hastalığa sebep olmaktadır (Özbolat ve Abdullah, 2016).

Bu çalışma ağır metallerin içsulara girişi, canlılardaki birikimi ve sucul ekosistemlere etkilerinin irdelenmesi amacıyla yapılmıştır.

2. AĞIR METALLERİN SUCUL EKOSİSTEME GİRİŞİ

Ağır metaller su ortamına noktasal ve noktasal olmayan kaynaklardan ulaşır. Noktasal kaynaklar; boşalım yerleri belli olan kaynaklardır. Noktasal olmayanlar ise nereden geldiği belli olmayan, tespit edilmesi zor olan kaynaklardır (Taylan ve Böke Özkoç, 2007). Noktasal olmayan kaynaklardaki ağır metallerin miktarını, boşalma miktarını ve zamanlamasını tahmin etmek zordur (Landis vd., 1999). Ağır metaller sucul ekosisteme; evsel ve endüstriyel atık sular (noktasal kaynaklar), tehlikeli atık bertaraf bölgeleri, kaza sonucu sızmalar, tarımsal kaynaklı atık kalıntıları, şehir ve ulaşım bölgelerinden gelen yüzey suları (noktasal olmayan kaynaklar) şeklinde dahil olmaktadır. Ancak bazı araştırmacılara göre kaza sonucu sızmalar noktasal olmayan kirleticiler olarak sınıflandırılmış olsa da noktasal kirleticiler olarak da değerlendirilebilir.

Ağır metallerin sucul ekosisteme girişi antropojenik olarak; yüzeysel akış, evsel, endüstriyel ve jeotermal atıksu boşalımları, atmosferik taşınım ve maden sahalarından gelen ağır metaller, doğal olarak jeolojik yapı ve volkanlardan kaynaklanmaktadır (Dereli vd., 2017). Genellikle antropojenik süreçlerden kaynaklı ağır metallerin başında kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), civa (Hg), nikel (Ni), gümüş (Ag), kalay (Sn), çinko (Zn) ve arsenik (As) gelmektedir. Ancak bunlara doğada

çoğunlukla hidroksitler (OH⁻), oksitler, sülfidler (SO₃²⁻), sülfatlar (SO₄²⁻), fosfatlar (PO₄³⁻), silikatlar (SiO₄⁴⁻) ve organik bileşikler şeklinde karşılaşmaktadır (Yücel ve Yücel, 2013; Vane vd., 2020).

Sucul ortamlara farklı şekillerde taşınan ve birikimleri de farklı olan söz konusu maddelerden suda çözünemeyenler sedimente çökerek kil mineralleri ve organik madde gibi sedimentin çeşitli bileşenlerine bağlanır. Sürekli ağır metal biriktiren sediment tabakası, ağır metal açısından doymun hale geldiğinde, bünyesindeki bu metalleri tekrar suya bırakır ve kirletici konumuna gelir (Şener, 2015).

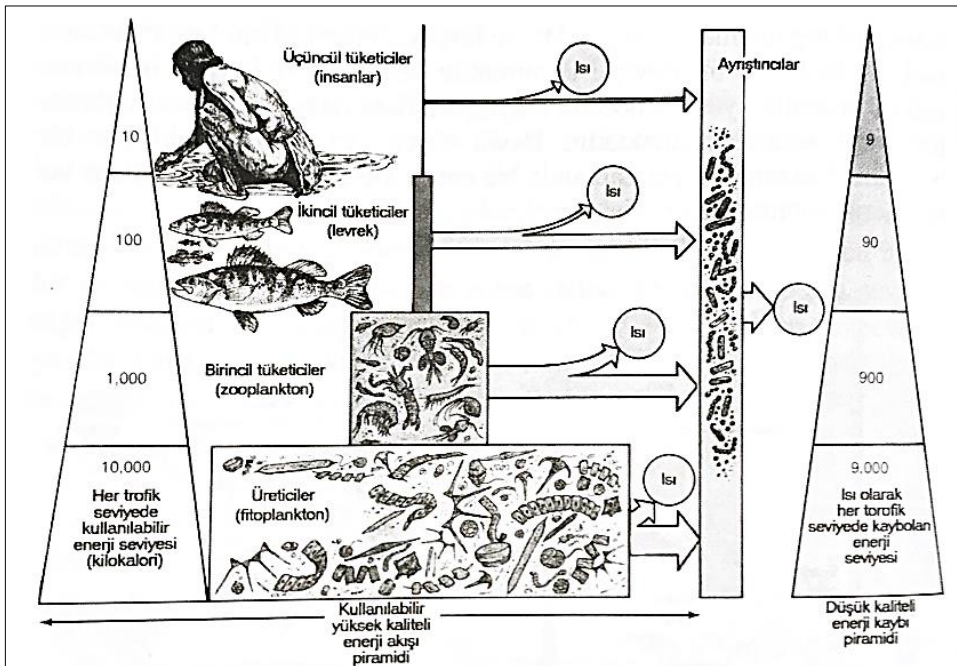
Başaran (2010)'a göre "sucul sistemlerin temel bir bileşeni olarak sediment, çoğu sucul organizma için yaşam alanı oluşturduğu gibi beslenme, büyüme ve üreme alanı olarak da rol oynamaktadır. Sucul sistemlerde insan kaynaklı kimyasallar, atık maddeler, organik ve inorganik bileşikler sedimentte birikme özelliğindedir ve sediment, kirleticiler için birikme yeri olarak görev yapar". Bu nedenle göl ve denizlerin sedimentlerinde ağır metallerin birikimi daha fazla olmaktadır (Goyer, 1986).

3. AĞIR METALLERİN SUCUL EKOSİSTEMİN MADDE DÖNGÜSÜNE KATILMASI

Sucul ekosistemlerde canlı grupları birbirlerine besin zinciri veya ağları ile bağlıdır. Yani sistemde dengeli bir enerji ve madde döngüsü vardır. En alt halkadaki canlı aldığı besinlerin bir kısmını enerjiye dönüştürür, bir kısmını da besin zincirinin bir üst halkasındaki canlıya aktarır. Besin zincirindeki bir halkanın kirletici ile zarar görmesi sonucu halkanın diğer basamağındaki canlılar da olumsuz yönlü etkilenir. Bu nedenle canlılar arasındaki besin ve enerji akışı engellenmiş olur (Taylan ve Böke, 2007).

Tatlı su ekosistemlerinde besin zinciri en alt basamaktaki fitoplanktonik organizmaların güneşten aldıkları enerjiyi kullanmalarıyla başlar, balıklar ve diğer omurgalılar ile son bulur.

Besin zincirindeki enerjinin genellikle bir basamaktan diğerine geçişte %90'ı kaybolmaktadır. Bu olgu ikinci termodinamik yasası ile ilgilidir. Yani her enerji dönüşümünde yaklaşık %90 oranında enerji kaybı olmakta, bu besin düzeyine ulaşan enerjinin ancak %10 kadarı bir sonraki beslenme düzeyine aktarılabilir. Bu enerjiye kullanılabilir enerji denir ve %10 yasası olarak tanımlanır. Bu nedenle akan enerji miktarı besin zincirinin başında en yüksek, sonunda ise en düşük düzeyde olup, kalan miktarlar ısı enerjisi olarak ortama bırakılmaktadır (Kocataş, 2014) (Şekil 1).



Şekil 1. Besin zincirinde enerji akımı ve kaybı (Miller,1991'e göre; Kocataş, 2014)

Ağır metaller fitoplankton, zooplankton ve makrofit gibi sucul canlıların hücrelerinde birikmekte ve toksik özellik göstererek olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle ekosistemde bu canlılarla birlikte diğer birçok canlı da beslenmeleri sonucu ağır metalleri bünyelerine almaktadırlar. Güncel bilimsel araştırmalarda ağır metallerin genel olarak suda, sedimentte ve sucul canlılarda miktar ve etkileri kısmen incelenmiş (Austin ve Munteanu, 1984; Oberholster vd., 2010; Radwan vd., 1990) olsa da, ekosistem basamaklarındaki aktarımı yeterince aydınlatılamamıştır. Aynı sucul habitatta yaşayan ve hatta aynı türlerin bile eser metalleri bünyelerinde çok farklı yoğunlukta biriktirebildikleri belirtilmiştir (Taylan ve Böke, 2007). Ağır metallerin ototrof ve heterotrof canlılar tarafından alınması, birikimi ve etkileri aşağıda özetlenmiştir.

3.1. Ototrofik Organizmalar

Ototrofik organizmalar, ağır metalleri doğrudan sudan alır. Bunun yanında bakterilerden birkaç özel tür (*Thiobacillus ferrooxidans* vb.) metalleri doğrudan metal sülfürler gibi inorganik bileşiklerden kazanır. Bazı bakteri türleri ise (*Ferrobacillus ferrooxidans* vb.) bu elementleri temel enerji kaynağı için oksidasyon-redüksiyon (Fe^{2+}/Fe^{3+}) sistemi olarak kullanır. Ototrofik organizmalardaki metal derişimleri yalnızca sudan alım olarak değerlendirildiğinden, katı besin parçacıklarından ağır metallerin alınması söz konusu değildir (Förstner ve Wittmann, 1983).

Bitkisel organizmaların metal alımı suyoluyla, köklü yüksek bitkilerde ise ayrıca kökleri aracılığıyla gerçekleşir. Ağır metaller, mavi-yeşil algler (Cyanobacteria) müsilağlarında birikme yoluyla ulaşır. Bu bitkilere giren ağır metallerin mutlaka çözünür bir evrede olması gerekir (Förstner ve Wittmann, 1983).

Fitoplanktonik organizmalar hassas canlılar olduğundan herhangi bir fitoplankton türünün ömrü genellikle birkaç günden fazla değildir (Aktar ve Cebe, 2010). Bu nedenle abiyotik parametrelerdeki (sıcaklık, hava akımı vs.) değişikliklere ani tepki verebildiklerinden vücutlarındaki metal derişimleri kısa süre içinde önemli ölçüde değişebilir (Förstner ve Wittmann, 1983). Bu konuda Monterey Körfezi (Kaliforniya) diatomları (Bacillariophyta) üzerinde yapılan bir çalışmada, kadmiyum konsantrasyonunun besin açısından zengin suların etkisiyle arttığı, bu doğal zenginleşmenin aksine, kıyıya yakın sulardaki alglerdeki kadmiyum içeriği, antropojenik etkilerin bir sonucu olarak açık denizlerdekinden yaklaşık iki kat daha yüksek olduğu bulunmuştur. Başka bir çalışmada ise aynı bölgenin (San Diego, Kaliforniya) kıyı sularındaki diatomların kadmiyum seviyesi en fazla 19,5 ppm (kuru ağırlık) ölçülmüştür (Knauer ve Martin, 1973; Martin ve Broenkow, 1975).

Planktonik algler sudaki metal kirliliği için gösterge (biyoindikatör) olarak kullanıldığında, alglerde yüksek oranda ağır metal birikimi görülse de, sudaki çözünmüş metal konsantrasyonlarının hala düşük olabileceği ileri sürülmüştür. Algler yüzeylerinde sahip oldukları yüksek negatif yükten dolayı, sudaki birçok pozitif yüklü ağır metal iyonunu kendilerine çekme ve depolama özelliğine sahiptirler (Rao, 1986). Alglerde metal birikimi öncelikle hücre yüzeyinde (Andrade vd., 2005), daha sonra hücre içi elemanlarda gerçekleşmektedir (Mehta ve Gaur, 2005).

Kızılırmak Nehri'nin 5 bölgesinden alınan su yosunu (*Cladophora glomerata*, Chlorophyceae) örneklerinde; Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Se ve I gibi büyüme, gelişme ve fotosentezde etkili iz ve makro elementler ile fazla olması durumunda zehirli etki yapan Al, Fe, Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb gibi ağır metaller incelenmiştir. Bulgularda sanayi bölgesine yakın kesimlerden alınan örneklerde Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb'nin yüksek; şehir atıklarının karıştığı kesimlerde ise Na, Mg, Mn, P, K, Ca, Se ve I elementlerinin yüksek olduğu görülmüştür (Gündoğan ve ark., 2005). Aynı tür üzerinde Tuna Nehri'nde yapılan benzer bir

çalışmada ise rafine atık suların karıştığı bölgedeki alglerde Ni, Cd, V, Pb ve Cr gibi ağır metallerin yoğunluğunun yüksek çıktığı görülmüştür (Chmielewska ve Medved, 2001).

Genellikle alglerin kurşunu belirli oranda depolayabildiği, bu bağlamda Elsenz Irmağı'ndaki (Almanya) bir su yosunu türünde (*Fontinalis antipyretica*) 277,4 ppm'ye kadar kurşun seviyeleri tespit edilmiştir (Heydt, 1977). Almanya'nın yoğun kirli olan Ruhr Irmağı'ndan alınan aynı yosun türünde 2180 ppm ve diğer bir su yosunu türünde (*Hygroamblystegium* sp.) ise 800 ppm miktarında aşırı kurşun değerleri belirlenmiştir (Dietz, 1972). Bu konuda yapılan başka bir bilimsel çalışmada Yeni Zelanda'nın jeotermik suları ile ısıtılan bölgelerinden alınan alg örneklerinde (*Nitella hookeri*), ısıtılmayan bölgelerden alınan örneklerle göre on kat daha fazla arsenik içerdiği bulunmuştur (Reay, 1972).

Makroalgler fitoplanktondan daha uzun bir ömre sahip olduğundan suda çok daha uzun bir metal kirlilik dönemini temsil ederler. Bunların metal içerikleri, fitoplanktona benzer şekilde sudaki metal derişimleriyle doğrudan ilişkilidir, bu nedenle makro algler de metal kirliliğinin göstergeleri olarak kullanılabilir. Çoğu makroalg'in köklü olması, bunların yerel kirlenici konsantrasyonları ile ilişkilendirilir. Böylece bitkideki artan metal derişimlerinin açık bir şekilde yorumlanmasını kolaylaştırır (Bryan, 1971).

3.2. Heterotrofik Organizmalar

Heterotrofik canlılara ağır metal geçişi besinlerindeki metal derişiminin sudaki oranına bağlıdır. Suda yaşayan organizmaların solunum fizyolojisi birbirine benzer olduğundan, ağır metallerin organizmalara geçmesi de benzer şekildedir. Ancak sulardaki ağır metal konsantrasyonları farklılık gösterdiği için sucul canlılardaki ağır metal birikiminin asıl kaynağı aldıkları besinlerdir. Beslenme alışkanlıkları ve besin emilim hızı, organizmalardaki metal derişimlerinin değerlendirilmesinde önemli faktörlerdir. Çok kirli ortamlardaki tortular ve döküntüler yoğun olduğundan kirli sulardan beslenen organizmalar ile diğer besin kaynaklarını tercih edenler arasında ayırım yapmak gereklidir (Förstner ve Wittmann, 1983).

Sucul ekosistemlerde zooplanktonik organizmalar birincil tüketiciler olarak kabul edilir. Ancak bu beslenme şekli yalnız fitoplanktonu süzerek beslenen bazı zooplankton (*Daphnia* sp vb.) türleri için geçerlidir. Çoğu zaman fitoplankton ve etçil zooplankton üzerinden karışık beslenen canlıların örneklemeleri söz konusudur. Bu tür beslenme her iki trofik seviyeye de karşılık geldiğinden ağır metal içeriğinin belirlenmesinde yanılıya/zorluğa neden olur (Förstner ve Wittmann, 1983).

Konuyla ilgili olarak Norveç'in Storfjorden Fiyortunda yapılan bir çalışmada zooplankton ve fitoplankton örneklemeleri ile civa kirliliği tespit edilmiş ve kuru ağırlıkta en fazla 25,21 ppm Hg bulunmuştur. Çalışmada farklı bölgelerden alınan plankton örneklerinde noktasal kaynaklı kirliliğinin etkisi güçlü bir şekilde görülmüş, örneklerdeki civa konsantrasyonunun kirlilik kaynağından uzaklaştıkça kademeli olarak azaldığı tespit edilmiştir (Skei vd., 1976).

Türkiye'nin Akdeniz kıyılarındaki midyeler (*Mytilus galloprovincialis*) üzerindeki bir araştırmada, As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, V ve Zn'nin birikimleri ve söz konusu metallerin çocuk-yetişkin tüketiciler için risk değerlendirmesi yapılmıştır. Alınan midye örneklerinde Zn (39,75 mg kg⁻¹)>Cu (1,95 mg kg⁻¹)>As (1,84 mg kg⁻¹)>Pb (0,99 mg kg⁻¹)>Ni (0,65 mg kg⁻¹)>Cr (0,62 mg kg⁻¹)>V (0,47 mg kg⁻¹) ve >Cd (0,08 mg kg⁻¹) olarak bulunmuştur. Ayrıca örnekler üzerinden yapılan Monte Carlo simülasyonu midye tüketimine bağlı olarak yetişkin (%62,98) ve çocuklarda (%97,24) Arseniğin neden olduğu kanser riskini doğrulamıştır. Bu değerlendirmelere göre ağır metal kaynaklarının çoğunluğunun antropojenik kaynaklı olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Turanlı ve Gedik, 2021).

Deneysel ortamda yapılan bir çalışmada ise Aras Irmağı'ndan örneklenen bir tatlısu midyesinde (*Unio crassus*) kurşun II arsenat birikimi ICP-MS cihazı ile incelenmiştir. Denemede midyelere 0,05 ve 0,1 g/L oranlarında kurşun II asetat uygulaması yapılmış ve 21 gün sonunda yumuşak dokudaki birikim belirlenmiştir. Çalışma sonucunda midyelerde ölüm gözlenmediği için akarsularda ağır metal birikimi açısından bu türün göstere (indikatör) canlı olarak değerlendirilebileceği önerilmiştir. Bu çalışmanın bulguları doğal ortamdaki deniz ve tatlı su midyelerindeki birikim ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyede değerler bulunmuştur. Midyelerin maruz bırakıldığı derişim değeri oldukça az olmasına karşın 21. gün sonunda en yüksek kurşun II asetat birikimi (0,1 gr/L derişimde) $5,217 \pm 0,05$ mg/kg olarak ölçülmüştür (Kobaza vd., 2021). Kanar (2012) ise Tuzla sahilinde (İstanbul) Kara Midye (*Mytilus galloprovincialis*)'lerde ortalama kadmiyum miktarını 0,088 mg/kg ve ortalama kurşun miktarını ise 1,206 mg/kg olarak bulmuştur. Bu konuda Houlbrèque vd. (2011) su içerisindeki partikülleri süzerek beslenen midyelerin ortamdaki suyla birlikte aldıkları metalleri uzun süre biriktirebildiklerini belirtmişlerdir. Marmara Denizi'nden (Tekirdağ kıyı şeridi) avlanan Derin su pembe karidesinin (*Parapenaeus longirostris*) yenilebilir etinde 3,98-25,48 mg/kg Cu, 12,16-22,42 mg/kg Zn, 1,84-2,12 mg/kg Pb, 0,106 mg/kg Cd ve 2,33-9,93 mg/kg As tespit edilmiştir (Dökmeci vd. 2012). Arsenik ve kurşun değerlerinin yüksek olması besin zincirinde taşınmasından dolayı insanlarda toksik etki meydana getirebileceği, kirliliğin insan ve gemi-liman faaliyetlerinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Konuyla ilgili olarak balıklar üzerinde yapılan araştırmalarda; kas, karaciğer, böbrek, solungaç, deri gibi doku ve organların biyo-belirteç olarak kullanıldığı belirtilmiştir (Ayas vd., 2009; Kayhan vd., 2006). Balıklar kirlilik artışı gibi çevresel değişikliklere karşı çok hassas olduklarından tüm sucul ekosistemin genel durumunun belirlenmesinde, balık sağlığının güvenilir bir göstere olduğu ileri sürülmüştür (Uçar ve Atamanalp, 2008). Sucul ortamdaki ağır metallerin balıklar tarafından bünyelerine alınması çoğunlukla solungaçlar, vücut yüzeyi ve sindirim sistemi ile olmaktadır. Bunun nedeni ağır metal içeren solunum suyunun en geniş yüzey alanına sahip olan solungaç lamelleri ile etkileşmesinden dolayıdır.

Petrol rafinerisi ve gemi söküm tesislerinin bulunduğu Aliğa Körfezi (Ege Denizi)'nde yapılan bir çalışmada; iç limandan avalanan kaya balığı (*Gobius niger*) örneklerinin karaciğerinde en yüksek Zn (0,609 µg/g yaş ağırlık) ve Cd (0,036 µg/g yaş ağırlık), rafineri çevresinden avlanan örneklerin karaciğerinde ise en yüksek Cu (0,098 µg/g yaş ağırlık) tespit edilmiş, kaya balığının bentik habitatlarda yaşadığından ağır metal biriktirme konusunda göstere canlı olduğu ifade edilmiştir (Katalay vd., 2005).

Marmara Denizi'nin farklı bölgelerinden yakalanan dip balıklardan berlam (*Merluccius merluccius*), mezgıt (*Melanogrammus aeglefinus*), öksüz (*Trigla lyra*), barbun (*Mullus barbatus*), kırlangıç (*Chelidonichthys lucerna*), benekli hani (*Serranus hepatus*) ve karidesin yumuşak dokusunda Hg, Pb, Cd, Cu, Zn ve Fe birikiminin sedimana yakın bölgeden beslenen türlerde daha fazla olduğunu belirlenmiştir (Kocahan, 1999). Ülkemizin Akdeniz bölgesindeki önemli balıkçılık alanlarından biri olan İskenderun Körfezi'nden avlanan Barbun (*M. barbatus*), Çipura (*Sparus aurata*), Sarıkuyruk istavrit (*Trachurus mediterraneus*) ve Kolyoz (*Scomber japonicus*)'un kas, solungaç ve karaciğerinde Cr, Ni, Cu, Zn, As Cd, Pb ve Fe birikiminin metalin türüne ve örnekleme bölgesine göre değiştiği, dokular arası belirgin farklılık olduğu tespit edilmiştir (Özvar, 2020).

Konuyla ilgili olarak içsularımızda yapılan bir araştırmada ise Seyhan Baraj Gölü'nde yaşayan sazan (*Cyprinus carpio*)'ın genel olarak küçük bireylerinde daha fazla metalin biriktiği, metal kirliliğinin gölün çevresindeki tarım arazilerinden gelen kimyasal gübrelerden kaynaklandığı bildirilmiştir. Yüzey akışı ile suya karışan gübrelerde bol miktarda Cd, Pb, Fe ve Zn bulunması ortamın kirlenmesine, böylece

göldeki küçük bireylerin büyük balıklara göre daha hızlı metabolizmaya, daha az gelişmiş bağışıklık sistemlerinin olmasına ve beslenmede daha aktif olmaları nedenleriyle daha fazla metal biriktirdikleri belirtilmiştir (Güldiren ve Tekin Özkan, 2018).

Canpolat ve Çalta (2003) benzer şekilde küçük balıkların oksijene büyük balıklara oranla daha fazla ihtiyaç duymaları nedeniyle; solunum için solungaçlarından daha fazla su geçişi sonucu, solungaçlarındaki metal birikiminin artmasına neden olduğunu ifade etmişlerdir. Karasu Irmağı'ndan (Fırat havzası) avlanan siraz balıklarının (*Capoeta umbla*)'nın karaciğerinde, diğer yumuşak dokulara göre en fazla Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn birikiminin olduğu, ağır metallerin tarım alanları, kanalizasyon ve evsel atıklardan kaynaklandığı belirtilmiştir (Sökmen vd. 2018).

Ülkemizin en kirli akarsularından biri olan Sakarya Irmağı'na karışan Çeltikçe Çayı'nda yaşayan Tatlısu kefali (*Squalius pursakensis*) bireylerinin karaciğer, kas ve solungaçlarında; Zn (98,50 ppm), Cd (4,53 ppm) ve Pb'nin (38,96 ppm) en fazla karaciğerinde, Cu'nun ise kasında (6,03 ppm) biriktiği tespit edilmiştir (Akgün vd., 2007).

Sucul canlılarda ağır metal birikiminin en bilindik ve trajik örneklerinden birisi de; ilk olarak 1953-1956 yılları arasında Japonya'nın Minimata Körfezi'ndeki bir fabrikada, kimyasal gübre ve vinilklorid gibi maddelerin üretiminden ortaya çıkan civalı atık sular doğrudan denize verilmiş ve bu sebepten ortama giren civa, besin zincirine karışıp planktondan küçük balıklara, midyelere, büyük balıklara ve en sonunda insanlara ulaşmıştır. Bu birikim sonucunda civaya maruz kalan insanlarda "Minimata hastalığı" olarak adlandırılan bir tür sinir sistemi hastalığı ortaya çıkmıştır. Kasım 1999 sonu itibariyle, Kumamoto ve Kagoshima eyaletlerinde 2263 vaka, Niigata eyaletinde ise 690 Minamata hastalığı vakası tespit edilmiştir (Eto, 200).

4. SONUÇ

Kirleticilerin ilk belirgin etkileri, canlıların davranış ya da dış görünümde ortaya çıkmadan önce doku ya da hücrelerinde görülür. Bu etkiler histolojik analizler ile ortaya çıkar. Bu nedenle hedef organlarda hücresel değişimlerin belirlenmesinde söz konusu analiz zorunludur (Dutta, 1996). Değişik yollardan canlı bünyesine alınan ağır metaller her organ ve dokuda farklı düzeyde birikirler. Ağırlıklı olarak en fazla birikim karaciğerde olurken en az birikim ise kas dokularında meydana gelmektedir. Bu durum öldürücü düzeyde olmayan ağır metallerin, metabolik olarak daha aktif organlarında depolanmasından kaynaklandığı (Kargın ve Erdem, 1992), karaciğerde en yüksek düzeyde tespit edilmesinin metabolik bakımdan aktif bir organ olmasından ileri geldiği belirtilmektedir (Timoçin, 2008).

Su ortamına karışan ağır metaller hiçbir yolla parçalanamazlar, ancak sedimentte, suda çözülmüş halde veya su kolonunda partiküllere tutunmuş halde bulunabilirler. Ancak birçok ağır metalin sucul ortamlarda eser miktarlarda bulunması bile canlılar için toksik etkiye sahiptir. Doğal yollarla kolaylıkla bozulmaz ve yok edilemez oluşları, uzun süre bozulmaya uğramadan alıcı ortamda kalabilmeleri, buldukları ortamdaki canlıların bünyesinde birikerek besin ağı yoluyla diğer canlılara aktarılabilir olmaları nedeniyle çevre sağlığı için çok tehlikeli maddelerdir.

Güncel çalışmalarda sucul ekosistemin bütün canlı gruplarının (üreticiler, süzücüler ve karnivorlar) vücutlarında birikerek onların yaşam döngülerinde bozulmalara neden olduğu bilinen bir gerçektir. Diğer taraftan doğada bazı türler bu toksik maddelerin bir kısmını vücutlarından atabildikleri halde, bazı sucul bitkiler, midye ve istiridye gibi kabuklular vücutlarında biriktirirler. Özellikle vücuda alınan ağır

metallerin kan yoluyla doku ve organlara kadar ulaşarak metal bağlayıcı proteinler ile bağlanıp yüksek derişimlere ulaşması hem canlıda hem de ekosistemde olumsuz sonuçlara neden olmaktadır.

Bilinçli veya bilinçsiz olarak doğaya bırakılan atıkların yine insana döneceği gerçeği dikkate alınmalıdır. Besin zincirinin ilk basamağından son basamağına kadar ulaşan ve farklı şekilde birikerek önlenemez sağlık sorunlarına yol açan ağır metallerin çevre sağlığı için yöneticilerin güncel ölçütleri dikkate alması elzem bir durumdur.

KAYNAKLAR

- Akgün, M., Ali, G. Ü. L., & Yılmaz, M. (2007). Sakarya Nehri Çeltikçe Çayında Yaşayan *Leuciscus cephalus* L., 1758 Dokularında Ağır Metal Birikimi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 27(2), 179-189.
- Aktar, S., Cebe, G. E., (2010). Alglerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi, Ankara Ecz. Fak. Derg. 39 (3) 237-264. <https://doi.org/10.1501/Eczfak.0000000568>
- Andrade, S. A. L. D., Jorge, R. A., & Silveira, A. P. D. D. (2005). Cadmium effect on the association of jackbean (*Canavalia ensiformis*) and *Arbuscular mycorrhizal* fungi. *Scientia Agricola*, 62, 389-394. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162005000400013>
- Aras, S., Findik, O., Kalıpcı, E. & Sahinkaya, S. (2017). Assessment of concentration physicochemical parameters and heavy metals in Kızılırmak river, Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 72, 328- 334.
- Aslam J, Khan SA & Khan SH. (2013). Heavy metals contamination in roadside soil near different traffic signals in Dubai, United Arab Emirates. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17, 315-319. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.04.015>
- Austin, A., Munteanu, N. (1984). Evaluation of changes in a large oligotrophic wilderness park lake exposed to mine tailing effluent for 14 years: The phytoplankton. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33(1) 39-62. [https://doi.org/10.1016/0143-1471\(84\)90161-2](https://doi.org/10.1016/0143-1471(84)90161-2)
- Ayas, D., Kalay, M., Sangün, M.K. (2009). Mersin Körfezi'nden örneklenen yüzey suyu ve *Patella* türlerindeki (*Patella caerulea*, *Patella rustica*) Cr, Cd ve Pb düzeylerinin belirlenmesi. *Ekoloji* 70, 32-37.
- Banfalvi G. (2011). "Cellular effects of heavy metals". Netherlands, London, NewYork: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-0428-2>.
- Başaran, G. (2010). Kapulukaya baraj gölü (Kırikkale) ve aşağı havzası su, sediment ve sucul bitki örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi.
- Baykal, H. & Baykal, T. (2008). "Küreselleşen Dünyada Çevre Sorunları". Mustafa Kemal Üniv. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 5(9), 1-17.
- Bryan, G. W., & Hummerstone, L. G. (1971). Adaptation of the polychaete *Nereis diversicolor* to estuarine sediments containing high concentrations of heavy metals. I. General observations and adaptation to copper. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 51(4), 845-863. <https://doi.org/10.1017/S0025315400018014>
- Canpolat, Ö., Çalta, M. (2003). Heavy metals in some tissues and organs of *Capoeta capoeta umbla* (Heckel, 1843) fish species in relation to body size, age, sex and seasons. *Fresenius Environmental Bulletin* 12: 961-966.

- Chmielewska E., Medved J., Bioaccumulation of heavy Metals by Green Algae *Cladophora glomerata* in a Refinery Sewage Lagoon, *Croatia Chemica Acta*, 74: (1), 135-145, (2001).
- Dereli, E. M., Ertürk, A., & Çakmakçı, M. (2017). Yüzeysel Sularda Ağır Metallerin Etkileri Ve Ötrofikasyon İle İlişkisi. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*, 214-230. <https://doi.org/10.18864/TJAS201720>
- Dietz, F. (1972). Die Anreicherung von Schwermetallen in submersen Pflanzen.
- Dökmeci, A. H., Yıldız, T., Sivri, N., & Öngen, A. (2012). Tekirdağ kıyı sularından toplanan karideslerin ağır metal seviyelerinin belirlenmesi ve insan sağlığına olan toksit etkileri.
- Dutta, H. M., 1996. A composite approach for evaluation of the effects of pesticides on fish. In: *Fish Morphology*, (eds) J.S.D. Munshi & H.M. Dutta. Science Publishers Inc, USA. p:249.
- Eto, K. (2000). Minamata disease. *Neuropathology*, 20, 14-19.
- Förstner, U., & Wittmann, G.T.E. (1983). Metal pollution in the aquatic environment. *Heavy Metal Enrichment in Limnic and Marine Organisms at Different Trophic Levels*. (pp. 286-306)
- Goyer, R.A. (1986). Toxic Effects of Metals. In: *The Basic Science of Poisons*. Amdur, M.O., Doull, J., Klaassen, C.D. (eds.), Pergamon Press, London, UK, 623-680.
- Güldiren, O. & Tekin Özcan, S. (2018). Seyhan Baraj Gölü (Adana)'nde Yaşayan Sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ın Kas, Karaciğer ve Solungaçlarındaki Ağır Metal Düzeylerinin Belirlenmesi . Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi , 9 (2) , 157-167. <https://doi.org/10.29048/makufebed.411888>
- Gündoğan Y., Ali, G. Ü. L., ARICA, Ş. Ç., & Çavuşoğlu, K. (2005). *Cladophora Glomerata* (Chlorophyce)'da Ağır metal Birikiminin Araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 181-194.
- Herawati, N., Suzuki, S, Hayashi, K., Rivai, I.F. & Koyoma, H. (2000). Cadmium, copper and zinc levels in rice and soil of Japan, Indonesia and China by soil type. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, 33-39. <https://doi.org/10.1007/s001289910006>
- Heydt, G. (1977). Schwermctallgehalte von wasser, Wasserpflanzen, chironomidae und mollusca der Elsenz. Dipl. Arbeit Univ., Heidelberg.
- Houlbrèque, F., Hervé-Fernández, P., Teyssié, J. L., Oberhaensli, F., Boisson, F., & Jeffree, R. (2011). Cooking makes cadmium contained in Chilean mussels less bioaccessible to humans. *Food chemistry*, 126(3), 917-921. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.11.078>
- Kanar, D. (2012). Tuzla (İstanbul) Sahilindeki Ağır Metal Kirliliğinin Midyelerle Takibi (Doctoral dissertation, Marmara Üniversitesi (Turkey)).
- Karadavut, I. S., Saydam, A. C., Kalipci, E., Karadavut, S., Ozdemir, C. & Durduran, S. (2012a). Pollution in Melendiz water basin groundwater. *Pol. J. Environ. Stud.*, 21(3), 659.
- Kargın, E., Erdem, C., 1992. Bakır-çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi. *Doğa Turkish Journal of Zoology*. 16: 343-348.
- Katalay, S., Parlak, H., & Arslan, Ö. Ç. (2005). Ege Denizinde Yaşayan Kaya Balıklarının (*Gobius niger* L., 1758) Karaciğer Dokusunda Bazı Ağır Metallerin Birikimi. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 22(3), 385-388.

- Kayhan, F.E., Balkısı, N., Aksu, A. 2006. İstanbul Balık Halinden Alınan Akdeniz Midyelerinde (*Mytilus galloprovincialis*) Arsenik Düzeyleri. Ekoloji 61, 1-5.
- Knauer, G. A., & Martin, J. H. (1973). Seasonal Variations of Cadmium, Copper, Manganese, Lead and Zinc in Water and Phytoplankton in Monterey Bay, California 1. Limnology and Oceanography ,18 (4), 597-604. <https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.4.0597>
- Kobaza, K., Parlak, V., Atamanalp, M., 2021. Aras Nehri'nden (Erzurum) Örneklenen Tatlı Su Midyesinde (*Unio Crassus*) Deneysel Ortamda Kurşun II Asetat Birikim Düzeylerinin Araştırılması. Atatürk Univ. Ziraat Fak. Derg., 52 (3): 344-350. <https://doi.org/10.17097/ataunizfd.903170>
- Kocahan, İ. (1999). Marmara Denizi Demersal Balıklarında İz Element Kirliliği, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, Kimyasal Osinografi ABD (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, 187 s., İstanbul).
- Kocataş, A. (2014). Ekoloji Çevre Biyolojisi. Dora Yayıncılık, Bursa.
- Landis WG, Yu M (1999). Introduction to Environmental Toxicology: Impacts of Chemicals upon Ecological Systems. 2nd ed. Lewis Publisher, New York, pp. 18-238.
- Martin, J. H., & Broenkow, W. W. (1975). Cadmium in plankton: elevated concentrations off Baja California. Science, 190(4217), 884-885. <https://doi.org/10.1126/science.190.4217.884>
- Masindi, V. and Muedi, K.L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. Heavy metals, 10, 115-132. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.76082>
- Mehta, S, Gaur JP. (2005). Use of Algae for Removing Heavy Metal Ions from Wastewater: Progress and Prospects. Critical Reviews in Biotechnology. 25: 113-152. <https://doi.org/10.1080/07388550500248571>
- Miller, CB, Frost BW, Wheeler PA, Landry MR, Welschmeyer N, Powell TW (1991) Ecological dynamics In the subarctic Pacific, a possible iron-limited ecosystem. Limnol Oceanogr 36:1600-1615. <https://doi.org/10.4319/lo.1991.36.8.1600>
- Oberholster, P.J., Myburgh, J.G., Ashton, P.J., Botha, A.M., (2010). Responses of phytoplankton upon exposure to a mixture of acid mine drainage and high levels of nutrient pollution in Lake Loskop, South Africa. Ecotoxicology and Environmental Safety, 73(3), 326-335. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.08.011>
- Özbolet, G., & Abdullah, T. U. L. İ. (2016). Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. Arşiv Kaynak Tarama Dergisi, 25(4), 502-521. <https://doi.org/10.17827/aktd.253562>
- Özvar, N. (2020). İskenderun Körfezi'nden Avlanıp Tüketime Sunulan Balık Türlerindeki Ağır Metal Düzeyleri. (Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Radwan, S., Kowalik, W., Kowalczyk, C. (1990). Occurrence of heavy metals in water, phytoplankton and zooplankton of a mesotrophic lake in eastern Poland. Science of The Total Environment, 96(1-2), 115-120. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(90\)90011-I](https://doi.org/10.1016/0048-9697(90)90011-I)
- Rao, SVR., Cadmium accumulation in fiddler crabs *Uca annulipes* uptake of lead chromium, cadmium and cobalt by *Cladophora glomerata*, International Journal Environment Studies, 27, 219-223, (1986).

- Reay, P.F. (1972). The accumulation of arsenic from arsenic-rich natural waters by aquatic plants. *Journal of applied ecology*, 557-565. <https://doi.org/10.2307/2402453>
- Skei, J. M., Saunders, M., & Price, N. B. (1976). Mercury in plankton from a polluted Norwegian fjord. *Marine Pollution Bulletin*, 7(2), 34-36. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(76\)90309-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(76)90309-X)
- Sökmen, T. Ö., Güneş, M., & KIRICI, M. (2018). Karasu Nehri'nden (Erzincan) alınan su, sediment ve *Capoeta umbla* dokularındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 5(4), 578-588. <https://doi.org/10.30910/turkjans.471355>
- Şener, Ş., & Şener, E. (2015). Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında ağır metal dağılımı ve kirliliğinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 86-96.
- Taylan, Z. S., & Özkoç, H. B. (2007). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların biokullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 17-33.
- Timoçin, Ç. 2008. İki farklı balık çiftliğinden örneklenen *Clarias gariepinus* ve *Cyprinus carpio*'nun solungaç, kas ve karaciğer dokularında bakır, çinko, demir, krom, kurşun ve kadmiyum düzeyleri. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Turanlı, N., & Gedik, K. (2021). Spatial trace element bioaccumulation along with consumer risk simulations of Mediterranean mussels in coastal waters of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(31), 41746-41759.
- Uçar, A., & Atamanalp, M. (2008). Balıklarda toksikopatolojik lezyonlar II/toxicopathological lesions in fish II. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 40(1), 95-101.
- Vane, C., Turner, G. H., Chenery, S. R., Richardson, M., Cave, M. C., Terrington, R., Gowing C.J.B. & Moss-Hayes, V. (2020). "Trends in Heavy Metals, Polychlorinated Biphenyls and Toxicity from Sediment Cores of the Inner Thames Estuary, London, UK". *Environ. Sci.: Processes Impacts*, 22, 364-30. <https://doi.org/10.1039/C9EM00430K>
- Yücel, M. & Yücel, E. (2013). "On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties." *Biological Diversity and Conservation*, 6(13) 6-11.

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

In recent years, water resources have been endangered due to the increasing industrialization, urbanization, agricultural and human activities. Heavy metals, which are one of the main problems of environmental pollution, create serious pressures on water resources. These metals reach the aquatic ecosystem from point and non-point sources such as hazardous dump disposal sites, agricultural wastes, domestic and industrial wastewater. Heavy metals that come to water sources through different means, such as natural and anthropogenic causes, enter the food chain and put the ecosystem under pressure. Heavy metals are transported from phytoplanktonic organisms at the bottom of the food chain to fish and other vertebrates at the top. The concentration of heavy metals, which is low in the first step of the food chain, increases towards the upper rungs. The density of heavy metals, which accumulate in tissues and organs in different ways, increases when transferred to a top ring. The substances in question can be found in different concentrations even in close species living in the same environment. Although some living things in the aquatic environment can eliminate heavy metals from their bodies, some of them (some aquatic plants, mussels, clams, etc.) accumulate in their bodies. In particular, heavy metals taken into the body by nutrition and other means cause negative results in living things.

Results

Heavy metals that are taken into the living body in different ways accumulate at different levels in each organ and tissue. Predominantly, the most accumulation occurs in the liver, while the least accumulation occurs in muscle tissues. It is determined that this situation is caused by the storage of non-lethal heavy metals in the more active metabolic organs (Kargin and Erdem, 1992), therefore, it accumulates at the highest level in the liver, which is an active organ (Timocin, 2008). Heavy metals that enter the aquatic environment cannot be broken down by any means, but they can be found in sediment, dissolved in water or attached to particles in the water column. In nature, some species can eliminate some of these toxic substances from their bodies, while some aquatic plants, crustaceans such as mussels and clams accumulate in their bodies. In particular, the fact that heavy metals taken into the body reach tissues and organs through the blood and bind with metal-binding proteins and reach high concentrations causes negative consequences both in the living being and in the ecosystem. The fact that the wastes left to nature consciously or unconsciously will return to human beings should be taken into consideration. It is essential to take into account the current criteria of the managers for the environmental health of heavy metals that reach the first step to the last step of the food chain and accumulate differently and cause unpreventable health problems.

Yazarların Biyografisi



Gözde ŞAVRAN

2014 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini, 2019 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2021 yılı itibariyle Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Temel Bilimleri ABD' de doktora eğitimine devam etmektedir.

İletişim gozdesavrann@gmail.com

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0003-0053-964X>



Fahrettin KÜÇÜK

1983 yılında Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi Biyoloji (Zooloji-Botanik) Bölümü'nde lisans, 1991 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisans (Su Ürünleri Müh.) ve 1997 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde (Su Ürünleri Müh.) doktora eğitimini tamamlamıştır. 1997 yılında Yrd. Doç., 2010 yılında Doçent ve 2016 yılında profesör unvanını hak kazanmıştır. Halen Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimleri Bölümü öğretim üyesi kadrosunda çalışmaktadır.

İletişim fahrettinkucuk@isparta.edu.tr

ORCID Adresi <https://orcid.org/0000-0002-0470-9063>