



## AĞIR METALLERİN BALIKLARDA BİRİKİMİ VE ETKİLERİ

### Accumulation and Effects of Heavy Metals in Fish

Yusuf AKTOP\*, İfakat Tülay ÇAĞATAY

Akdeniz Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü, Antalya, Türkiye

\*E-posta: yusufaktop@gmail.com

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış Tarihi: 08/06/2020

Kabul Tarihi: 24/06/2020

#### ARTICLE INFO

Received: 08/06/2020

Accepted: 24/06/2020

#### Anahtar Kelimeler:

Ağır metal birikimi,  
Ağır metalin etkisi,  
Sularda ağır metal

#### Keywords:

Effect of heavy metal,  
Heavy metal accumulation,  
Heavy metal in waters

#### Öz

Su insanların yanı sıra diğer canlılar içinde önem arz eden yaşamın temel kaynağı olan bir maddedir. Son yıllarda hızla gelişen sanayileşme ve teknoloji sonucunda atıkların çevreye bırakılması toprak ve hava kirliliği oluşturmasının yanında su kirliliğini de meydana getirmektedir. Su kirliliği, radyoaktif, organik ve inorganik maddelerin su kaynaklarına karışarak su kalitesini bozması şeklinde ifade edilmektedir. Akarsular, göller ve denizler hem yaşamsal hem de ekonomik açıdan önemli, oldukça zengin ekolojije sahip su kaynaklarımızdır. Ancak son zamanlarda insanların bilinçli ya da bilinçsiz şekilde yaptıkları müdahaleler neticesinde bu kaynaklarda geriye dönüştürülmesi güç veya kalıcı kirliliklere sebep olabilmektedir. Sudaki kirlilik fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak kirlenici çeşidine göre üç grupta incelenmektedir. Kimyasal kirliliği oluşturan kaynaklardan birisi atom numarası 20'den büyük ağır metal olarak isimlendirilen ve periyodik sistemde yer alan geçiş elementleridir. Bu elementler çeşitli yollarla akarsu göl ve denizlere ulaşarak kirlilik meydana getirebilmektedir. Sularda kirlilik meydana getiren ağır metaller [Civa (Hg), Mangan (Mn), Arsenik (As), Demir (Fe), Molibden (Mo), Bakır (Cu), Krom (Cr), Çinko (Zn), Kalay (Sn), Gümüş (Ag), Kadmiyum (Cd), Selenyum (Se), Kobalt (Co), Kurşun (Pb), Nikel (Ni) ve Titanyum (Ti)] balıklarda birikimi ile toksik etki yapabilmektedir. Bu literatür taraması kapsamında balıklar tarafından alınan ağır metallerin birikimi ve etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ağır metallerin oldukça düşük konsantrasyonu pek çok canlı organizmanın sağlıklı büyümesi ve gelişmesini engellemekte kalmayıp toksik etki ve birikim oluşturarak besin zincirinin diğer üyelerine de taşınabilmektedir.

#### Abstract:

Water is a substance that is the main source of life that is important for other creatures as well as humans. As a result of the rapidly developing industrialization and technology in recent years, the disposal of wastes into the environment not only creates soil and air pollution, but also creates water pollution. Water pollution is expressed as radioactive, organic and inorganic substances mixed with water sources and impair water quality. Streams, lakes and seas are our vital water resources, both vital and economically important, with a very rich ecology. However, as a result of the interventions that people have made consciously or unconsciously, recycling these sources may cause difficult or permanent pollution. Water pollution is examined in three groups according to the type of physical, chemical and biological pollutants. One of the sources of chemical pollution is the transition elements in the periodic system, which are called heavy metals with an atomic number greater than 20. These elements can create pollution by reaching streams, lakes and seas in various ways. Heavy metals causing pollution in waters [Mercury (Hg), Manganese (Mn), Arsenic (As), Iron (Fe), Molybdenum (Mo), Copper (Cu), Chrome (Cr), Zinc (Zn), Tin (Sn), Silver (Ag), Cadmium (Cd), Selenium (Se), Cobalt (Co), Lead (Pb), Nickel (Ni) and Titanium (Ti)] can have toxic effects with their accumulation in fish. In this literature review, the accumulation and impact of heavy metals taken by fish were evaluated. As a result, the very low concentration of heavy metals not only prevents the healthy growth and development of many living organisms, but can also be transported to other members of the food chain by creating toxic effects and accumulation.

**Atf bilgisi/Cite as:** Aktop, Y. ve Çağatay, İ. T., 2020. Ağır Metallerin Balıklarda Birikimi ve Etkileri. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 6(1), 37-44.

## GİRİŞ

Hızla gelişen sanayileşme ile dünyamız birçok tehlike ile karşı karşıyadır. Bu tehlikelerden birisi de su kirliliğidir. Organik, inorganik, radyoaktif ve biyolojik maddelerin su kaynaklarının kullanılmasını engelleyecek veya bozacak oranda kaynaklara karışması sonucu su kaynaklarından yararlanılamayacak derecede su kalitesinin bozulması su kirliliği olarak tanımlanabilmektedir (Keleş ve Hamamcı, 1993; Kaptan, 2014).

Sudaki kirlilik fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak kirletici çeşidine göre üç grupta incelenmektedir. Maden işletmeleri, endüstri, sanayi atıkları, zirai atıklar, gıda sanayi atıkları, kanalizasyon atıkları ve doğal afetler gibi nedenlerle suların geri dönüşümü olmayacak şekilde hızla kirlendiği bildirilmiştir (Kalyoncu ve ark., 2016). Kimyasal kirliliği oluşturan kaynaklardan birisi de ağır metal olarak isimlendirilen ve periyodik sistemde yer alan geçiş elementleridir. Atom numarası 20'den büyük, kirlilik ve zehir etkisi meydana getiren  $5 \text{ g/cm}^3$ 'den fazla yoğunluğa sahip metaller ağır metaller olarak tanımlanmaktadır (Seven ve ark., 2018). Cu, Pb, Cd, Fe, Co, Hg, Cr, Ni, Zn gibi metaller olmak üzere bu gruba 60'tan fazla metal dahil edilmektedir (Akaydın, 2014; Acı, 2015).

Ağır metaller fabrika atıklarıyla, rüzgarın taşıdığı tozlarla, orman yangınlarıyla, volkanik faaliyetlerle, erozyonla taşınan kaya parçalarıyla, evsel atıklarla, kanalizasyonlarla nehir, göl benzeri sucul ortamlara geçerek canlı metabolizmalarını farklı şekillerde kirletici etkisine almaktadır (Kiracı, 2014; Kaptan, 2014). Denizler, göller ve nehirler gibi sucul ortama karışan ağır metaller balıklarda biyo-birikime neden olur. Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Mo gibi bazı ağır metaller düşük konsantrasyonlarda canlı organizmaların yaşamsal faaliyetlerini devam ettirebilmesi için gerekli olsa da (Kır ve ark., 2007), besin zinciri yoluyla bu canlılar ile beslenenlere de geçerek onların sağlıklarını olumsuz etkileyebilmektedir (Kiracı, 2014).

Bu çalışmada ağır metallerin balıklarda birikmesi ve balıklardaki etkileri değerlendirilmiştir.

### Ağır Metallerin Sudaki Birikimi

Endüstri kuruluşları, binalar, tarım ve hayvancılık uygulamaları, enerji üreten santrallerin işlemleri sonucu açığa çıkan ve içinde sağlığa olumsuz etki eden kimyasal maddeleri barındıran atık sular; akarsu, yer altı suları, göl ve denizlerde oluşan kirliliğin en önemli kaynaklarından (Dündar ve ark., 2012).

Akarsuların denize döküldüğü yerlerde ağır metal kirliliği diğer bölgelere oranla daha fazla olabilmektedir. Örneğin; daha fazla akarsuyun Karadeniz'e dökülmesi ve Karadeniz'e kıyısı olan bölgelerde yaşayan insanların balık tüketim oranının kıyısı olmayan bölgelerde yaşayan insanların balık tüketim oranından fazla olduğu için vücutlarında daha çok ağır metal birikimi olması beklenmektedir (Küçük, 2015). Elderwish ve ark. (2019), mevsimsel olarak Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyı sularındaki ağır metal birikimini incelemişler ve belirledikleri bazı istasyonlarda mevsimsel farklılıklarının olduğunu ayrıca analiz ettikleri metallerin tamamında metal çiftleri arasında pozitif yönde kuvvetli korelasyon tespit etmişlerdir. Engel ve ark. (1981) sucul ortamlarda metallerin organik veya inorganik bileşikler, serbest iyonlar ve partikül maddeler tarafından özümsemiş bir şekilde bulduklarını belirtmişlerdir.

Ağır metallerin sulara iyon halde bulunması zehirlilik etkilerinde artışa neden olabilmektedir. Sulara zehirli iyon şeklinde ağır metallerin bulunması doğrudan organizmalar ve organizmaların tüketicilerine zarar verebilmektedir. Bu şekilde bulunan ağır metaller suya girdikten sonra bazıları canlılar tarafından doğrudan alınırken, bazıları da sedimente taşınmaktadır (Kaptan, 2014).

Yüzey sularının fiziksel ile kimyasal parametreleri ve inorganik parametreler açısından kalite standartları Çizelge 1 ile Çizelge 2'de verilmiştir (Kiracı, 2014).

Su standartları Dünya Sağlık Örgütü, Avrupa Birliği ve Türkiye Standartlar Enstitüsü (TSE-266) tarafından belirlenen kriterlerce çeşitlilik göstermektedir. Resmi gazetenin 31.12.2004 tarihinde yayınlanan sayısında su kontrol yönetmeliği, su havzalarının kalitesini ve kullanılabilirliği yer almaktadır (Güler ve Çobanoğlu, 1994).

Resmi Gazete'de 25687 sayısı ile 31.12.2004 tarihinde yayımlanan su kirliliği kontrol yönetmeliğinde yüzeysel su kaynaklarının kalitelerine göre 4 sınıflama (I, II, III, IV. sınıf) yapılmıştır. Sınıflandırılan kaynak sularından I. sınıf sular yüksek kaliteli sular olarak sadece dezenfeksiyon ile içme suyu temininde, hayvan üretimi, çiftlik ihtiyaçları gibi rasyonel amaçla, II. sınıf sular az kirlenmiş sular olarak ileri veya uygun bir arıtma ile içme suyu temininde, kimyasal madde üretimi için, alabalık dışında balık üretiminde, III. sınıf kirlenmiş sular gıda, tekstil gibi kalite su gerektiren endüstriler haricinde uygun bir arıtmadan sonra endüstriyel su olarak, IV. sınıf sular ise I, II ve III. sınıfları için verilen kalite parametreleri bakımından daha düşük kalitedeki çok kirlenmiş yüzey sularını ifade eder (Kiracı, 2014).

**Çizelge 1.** Yüzeysel suları kalite standartları fiziksel ve kimyasal parametreler (Resmi Gazete, 2004)

SU KALİTE PARAMETRELERİ		SU KALİTE SINIFLARI			
Fiziksel ve Kimyasal Parametreler		I	II	III	IV
1	Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30
2	pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
3	Çözünmüş oksijen (mg O <sub>2</sub> /L)	8	6	3	< 3
4	Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	< 40
5	Klorür iyonu (mg Cl <sup>-</sup> /L)	25	200	400	> 400
6	Sülfat iyonu (mg SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> /L)	200	200	400	> 400
7	Amonyum azotu (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N/L)	0,2	1	2	> 2
8	Nitrit azotu (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N/L)	0,002	0,01	0,05	> 0,05
9	Nitrat azotu (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N/L)	5	10	20	> 20
10	Toplam fosfor (mg P/L)	0,02	0,16	0,65	> 0,65
11	Toplam çözünmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	> 5000
12	Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	> 300
13	Sodyum (mg Na <sup>+</sup> /L)	125	125	250	> 250

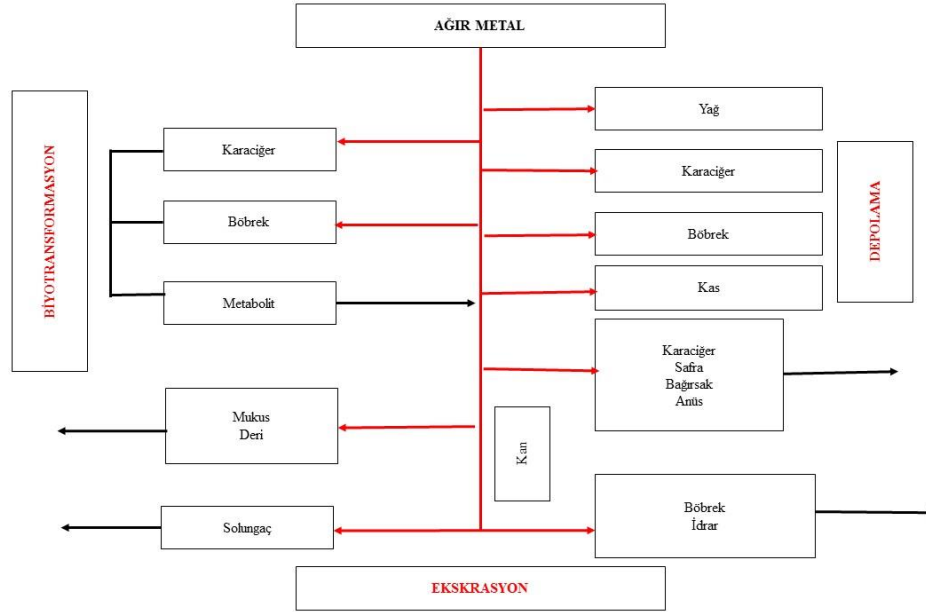
**Çizelge 2.** Yüzeysel suları kalite standartları inorganik parametreler (Resmi Gazete, 2004)

SU KALİTE PARAMETRELERİ		SU KALİTE SINIFLARI			
A) İnorganik parametreler		I	II	III	IV
1)	Civa (µg Hg/L)	0.1	0.5	2	> 2
2)	Kadmiyum (µg Cd/L)	3	5	10	> 10
3)	Kurşun (µg Pb/L)	10	20	50	> 50
4)	Arsenik (µg As/L)	20	50	100	> 100
5)	Bakır (µg Cu/L)	20	50	200	> 200
6)	Krom (toplam) (µg Cr/L)	20	50	200	> 200
7)	Krom (µg Cr+6/L)	Ölçülmeyecek kadar az		50	> 50
8)	Kobalt (µg Co/L)	10	20	200	> 200
9)	Nikel (µg Ni/L)	20	50	200	> 200
10)	Çinko (µg Zn/L)	200	500	2000	> 2000
11)	Siyanür (toplam) (µg CN/L)	10	50	100	> 100
12)	Florür (µg F <sup>-</sup> /L)	1000	1500	2000	> 2000
13)	Serbest klor (µg Cl <sub>2</sub> /L)	10	10	50	> 50
14)	Sülfür (µg S=/L)	2	2	10	> 10
15)	Demir (µg Fe/L)	300	1000	5000	> 5000
16)	Mangan (µg Mn/L)	100	500	3000	> 3000
17)	Bor (µg B/L)	1000	1000	1000	> 1000
18)	Selenyum (µg Se/L)	10	10	20	> 20
19)	Baryum (µg Ba/L)	1000	2000	2000	> 2000
20)	Alüminyum (mg Al/L)	0.3	0.3	1	> 1

## Balık Dokularında Ağır Metalin Birikimi ve Etkileri

Ağır metalleri balıklar dış ortamdan solungaçlar, besin ve deri aracılığı ile almaktadır (Dökmeci, 1988; Küçük, 2015). Dış ortamdan balıklar tarafından alınan ağır metaller, aktarıcı proteinlere tutunarak kan vasıtası ile doku ve organlara götürülmekte, dokulardaki metal tutucu proteinlere tutunarak yüksek oranlara ulaşabilmektedir (Kaptan, 2014).

Yüksek depolama potansiyeline sahip solungaçlar ağır metal birikiminde önemli rol oynamaktadır (Shah, 2002). Solunum için balıklar tarafından alınan sudaki çözünmüş oksijen solungaçlar aracılığıyla vücuda alınırken, solungaçlardaki lameller vasıtasıyla vücuda sulara bulunan ağır metaller de girmektedir (Heath, 1987). Yüze alanı geniş olan solungaç lamelleri ile etkileşime giren ağır metal içeren solunum suyu, solungaçlar ve lameller vasıtasıyla sürekli olarak vücuda ağır metal alınmasına neden olmaktadır (Kalay ve ark., 2004). Ayrıca balıklarda en çok meydana gelen zehirlenmeler ise ağız yolu ile alınan ağır metal atıkları tarafından ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla sindirim ile emilimi bir hayli önem arz etmektedir. Ağız aracılığıyla alınan ağır metal emiliminin gerçekleştiği yer ince bağırsaklardır. Sindirim yoluyla emilen ağır metaller, kan yolu ile vücuda her yerine dağılarak zehirlenme durumu meydana getirir. Bu durum, vücutta emilen zehirli maddenin miktarına ve türüne bağlıdır. Balıkların derileri de sucul ortamda zehirli maddelere maruz kalmakta bu durum deriden emilimini arttırmaktadır (Dökmeci, 1988). Balıklarda vücutta alınan ağır metallerin dolaşım sisteminde izleyebileceği yol şeması Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Balık dolaşım sistemine alınan ağır metallerin izleyebileceği olası yollar (Heath, 1987)

Dış ortamdan alınan ağır metaller çoğunlukla proteinlere bağlanarak kan vasıtasıyla, depo bölgelerine veya transformasyon ya da depolama için karaciğere iletilmektedir. Karaciğer tarafından transforme edilen ağır metaller burada depolanmakta veya safraya gönderilmekte ya da böbrekler tarafından atılmak üzere kana geri gönderilmektedir (Kıvrakdal, 2010).

Ağır metallerin balıkların değişik dokularında birikme düzeyi; ortamda bulunan ağır metal miktarına, balığın ağır metal ile etkileşim sürecine, balığın yaşına, ağır metalin türüne, balığın metabolik olarak aktivitesine, gelişimin hangi aşamasında olduğuna, doku ve organların yanı sıra suyun fizikokimyasal durumuna göre de farklılık gösterir (Köse ve Uysal, 2008).

Canlılar tarafından emilen ağır metaller genellikle pasif difüzyon aracılığıyla vücut ağırlığının çoğunluğunu oluşturan sıvı bölüme aktarılır. Türe göre boşaltım sistemi yeterli olmayan balıklarda zehir etkisi yapan ağır metaller şekil değiştirerek böbrekte ve karaciğerde birikim yapar (Gerlach, 1981).

Ağır metaller vücutta en yüksek konsantrasyona ulaşınca depolanmakta ve belirli limiti aşmadığı sürece toksik etki göstermemektedir. Kar (2011), düşük konsantrasyonlarda esansiyel ancak yüksek konsantrasyonlarda toksik etki yapan geçiş elementlerinin Fe, Cu, Zn, Co ve Mn olduğunu, metabolik aktivite için genelde gerekli olmayan ama oldukça düşük konsantrasyonlarda hücrede toksik etki yapan metaloitlerin ise Hg, Pb, Cd ve As olduğunu bildirmiştir. Ağırlıklı olarak en fazla depolama karaciğerde olurken en az depolama kas dokularında meydana gelmektedir. Bu durum öldürücü olmayan miktarlarda ağır metallerin, metabolik olarak balıkların daha aktif organlarında depolanmasından kaynaklanmaktadır (Kargın ve Erdem, 1992). En yüksek düzeylerin

karaciğerde saptanmasının karaciğerin de metabolik bakımdan aktif bir organ ve detoksifikasyon merkezi olmasından olduğu düşünülmektedir (Timoçin, 2008). Karaciğer ağır metallerin regülasyonunda önemli işleve sahiptir (Miklovics ve ark., 1985; Timoçin 2008). Karaciğerde sentezlenen düşük molekül ağırlıklı ve sisteince zengin olan metallothioneinler (MT) ve sistein bakımından zengin bir tripeptid olan glutatyon, ağır metalleri bağlayarak toksik etkilerinin giderilmesinde işlev yaparlar (Hodson, 1988; Chan ve Cherian, 1992).

Sökmen ve ark. (2018), Erzincan Karasu Nehri'nde yaptıkları çalışmada *Capoeta umbla*'nın kas, karaciğer ve solungaç gibi dokularında sırayla ortalama Fe'in (172.556, 267.734, 100.938) mg/kg oranları ile en fazla biriktiğini, Pb'un (0.172, 0,208, 0,127) mg/kg oranları ile en az biriktiğini tespit etmişlerdir.

Ağır metalin birden çok bulunduğu hallerde toksik etkilerin artması ya da zalması organizmaya bağlı olarak, ağır metallerde zehirlilik mekanizmalarının değişik olmasıyla farklılık göstermektedir. Örneğin Cu ile Zn karışımında salt Cu'a göre Cu'ın etkisi daha azdır. Ortamda Cu ve Zn birikimini herhangi bir etki yapmamıştır (Acı, 2015). Balıklarda, Zn birincil olarak deride ve kaslarda birikim olurken, Cu'ın daha çok karaciğerlerde birikimi gözlenmektedir. Balıklarda yavaş birikim gösteren Cd, daha çok böbrek ve karaciğerde depolanma özelliği göstermektedir (Hogstrand ve Haux, 1991).

Karayakar ve ark. (2017), Mersin Körfezi'nde *Caranx rhoncus*, *Scomber japonicus*, *Pegusa lascaris* ekonomik öneme sahip türlerin karaciğer, solungaç, böbrek, dalak ve kas dokularındaki Zn, Cu, Pb ve Cd düzeylerini araştırdıkları çalışmada en yüksek düzey Zn'nun dalakta, Cu ve Cd'nin karaciğerde, Pb'nin ise solungaç dokusunda olduğunu, en düşük birikimin kas dokusunda olduğu belirlenmişlerdir. Murat (2015), Pb birikiminin yıl boyu iç organlarda 0.01-0.09 mg/kg, solungaçlarda 0.03-0.1 mg/kg, kas dokusunda 0.01-0.08 mg/kg aralığında değişim gösterdiğini tespit etmiştir. Yazkan ve ark. (2002), Antalya Körfezi'nde örnekledikleri *Boops boops*, *Dicentrarchus labrax*, *Mullus barbatus*, *Mugil cephalus*, *Tracharus tracharus*, *Pagellus acarne*, *Sardina aurita*, *Scomber japonicus*, *Solea solea* ve *Sparus auratus* türlerinin karaciğer ve kas dokularında Zn, Cu, Cd ve Pb düzeylerini araştırmışlardır. Araştırma sonunda kas dokularında Cu ve Zn'nun sırası ile 0.51-3.66 mg/kg ve 3.17-11.36 mg/kg, karaciğerde ise 0.83-4.44 mg/kg ve 3.97-15.14 mg/kg, balık örneklerinin kas dokusunda Pb ve Cd sırası ile 0.00-2.05 mg/kg ve 3.97-15.14 mg/kg, karaciğer dokusunda ise 0.00-2.25 mg/kg ve 0.03-0.15 mg/kg değerleri arasında değişim gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Gelingüllü Baraj Gölü'nde Murat (2015), yaptığı çalışmada Cu, Pb, Cd ve Zn sırasıyla kas dokusunda 0.02-0.54 mg/kg, 0.01-0.22 mg/kg, 0.02-0.03 mg/kg, 1.19-18.92 mg/kg, solungaçlarda 0.09-0.55 mg/kg, 0.03-0.41 mg/kg, 0.01-0.1 mg/kg, 1.01-99.88 mg/kg, iç organlarda 0.03-0.59 mg/kg, 0.01-1.59 mg/kg, 0.02-0.58 mg/kg, 4.77-96.62 mg/kg aralığında değişim gösterdiğini belirlemiştir. Değerlerden de anlaşılabilirdiği gibi ağır metal birikimleri miktarlarının en fazladan en aza doğru; iç organ, solungaç, kas dokusu şeklinde belirlemiştir. Balık dokularında kabul edilebilir değerler Cd, Zn, Pb ve Cu ağır metalleri için sırayla 50.0, 0.1, 1.0 ve 20 mg/kg oranında olduğunu bildirmiştir (Murat, 2015).

Woodward (1996), çalışmasında balıklarda Cd 1 µg/kg'dan 50 µg/kg'a kadar çıkabileceğini bildirmiştir. Avrupa Besin Güvenliği Otoritesine (EFSA) göre tolere edilebilir haftalık oranı 2.5µg/kg canlı ağırlık şeklindedir (EFSA, 2012). Balıklarda As 80 µg/g'dan daha çok bulunabilmektedir (Bamji, 2002). FAO ve WHO değerlerine göre besinlerle alınabilecek As için geçici en yüksek tolere edilebilir günlük alım miktarı 0.002 mg/kg canlı ağırlık oranında olduğunu belirlemiştir (Baydan ve Yurdakök, 2010).

Baştürk ve ark. (1980), yaptıkları çalışmada Kanada'da yapılan bir araştırmanın Hg kalıntıları avcı balıklarda 0.2 µg/g'dan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir. Baydan ve Yurdakök (2010), ise Hg düzeyini en yüksek 0.988 ppm ile köpek balığında ve 1.450 ppm ile bir dip balığı olan tilefish'te tespit etmişlerdir. WHO ve FDA balıklarla gelen Hg'nin tolere edilebilir oranını 0.4µg/kg canlı ağırlık/gün olarak belirlemiştir. Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) ise bu oranı 0.1 µg/kg canlı ağırlık/gün şeklinde belirlemiştir (Sanfeliu ve ark., 2003). Taze balıklardaki Hg, Cd ve Pb için Türk Gıda Kodeksi tarafından belirlenen tüketim için kabul edilebilir maksimum miktarlar sırası ile 0.05 mg/kg (istavrit 0.1 mg/kg), 0.5 mg/kg ve 0.3 mg/kg'dır (Yıldırım, 2013).

Ağır metallerin birçoğu hücre ve dokularda birikir. Bazı ağır metallerin dokularda yüksek oranlarda birikimi organda toksik etkilerin açığa çıkmasına neden olur. Bazı ağır metaller ise birikim yaptığı doku ve organların dışında da toksik etki gösterebilmektedir. Örneğin, Pb' un kemiklerde birikimi yumuşak dokularda zehirlenme belirtilerinin görülmesine neden olur (Dökmeci, 1988). Bir başka çalışmada balıkların 0,04 mg/l (litre) ile 0,198 mg/l (litre) oranında inorganik Pb bulunan sulara tolerans gösterdikleri ancak daha düşük konsantrasyonlarda Pb' un besin olarak alınmasının akut zehirlenmeye neden olduğu bildirilmiştir (Kahvecioğlu ve ark., 2004). Ağır metallerden yaşamsal önemi bulunanların konsantrasyonundaki ufak bir artış dokularda tahribat oluştururken organları ve dokuları görevlerini yapamaz durma getirmektedir (Kır ve ark., 2007).

Balıkların karaciğer, kas ve mukusunda Hg'nin birikimi az olurken solungaçlarında Hg'nin birikimi daha çok olmaktadır (Handy ve Penrice, 1993). Balıkların farklı dokularına Hg esas olarak sülfidril proteinleri

eklemektedir (Olson ve ark., 1978). Bu durumda Hg balıkların ölümüne veya gecikmesine neden olabileceği bildirilmiştir (Verpe ve ark., 2018).

Cd<sup>+2</sup> iyonu halinde deniz organizmalarının ve bitkilerin bünyesine giren Cd'ü diğer elementlere nazaran suda çözünme yeteneği daha fazladır. Ancak balıkların büyümesi ve gelişmesi için Cd gereksinim duyulan bir element değildir. Çok düşük derişimleri bile balık larvalarının büyüme ve yaşama oranlarını düşürmekte zehirlik özellik göstermektedir. Balıkların karaciğerinde, beyinde ve sinir sisteminde patolojik olarak etkilere yol açarken, üreme problemleri, solungaç lamellerinde erimeye ve kılcalarında tıkanmaya sebep olmaktadır. Cd'un birikimi karaciğer, solungaç, kas, böbrekte meydana gelmektedir (Cicik ve Engin, 2005). Eğirdir Gölü (Isparta)'nda yaşayan sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'da Cd miktarının kasta 0.0016-3.19 mg/kg (ort. 0.22 mg/kg), karaciğerde 0.0041-6.22 mg/kg (ort. 0.22 mg/kg) ve solungaçta ise 0.0016-0.38 mg/kg (ort. 0.06 mg/kg) arasında değiştiğini bildirmişlerdir (Kaptan, 2014)

Genel olarak herbivor (otçul) türlere göre karnivor (etçil) balık türlerinde daha fazla ağır metal birikiminin olduğu görülmektedir. Ayrıca bentik ve pelajik balık türlerinin dokularında ağır metal birikimi farklılık gösterilmektedir (Bayhan, 2015). Brown ve Balls (1997), sultan balığı (*Mullus barbatus*), kupes (*Boops boops*) ve berlam (*Merluccius merluccius*) gibi Ege Denizi'ndeki ekonomik balık türlerindeki ağır metallerin (Cu, Zn, Cd, Pb) dokularda düzeylerini araştırmışlar, çinko düzeylerinin benzer değerlerde olduğunu ancak bakır düzeylerinin pelajik balıklarda daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Besin zincirinin alt basamağından üst basamaklarına besin yoluyla ağır metal aktarımı olmaktadır yani üst basamakta bulunan balıklar besin yoluyla altta bulunan canlılardan ağır metal almaktadır. Sonuç itibariyle ağır metaller vücutta birikmekte ve kronik ya da akut zehirlenmelere sebep olabilmektedir (Haesloop ve Schirmer, 1985).

## SONUÇ

Sulara karışan kirlenici atıklardan ağır metallerin proteince zengin insan beslenmesinde ise büyük öneme sahip balıklardaki etkisi göz ardı edilmemelidir. 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 çeşitli sağlık problemlerine yol açan ağır metallerin suya bırakılması konusunda ve bu suların arıtılması konusunda otoritelerin kriter değerleri dikkate alınmalıdır. Bu sebeplerden dolayı bazı ağır metaller birikim yaparken bazı ağır metallerin toksik etki yapması balık larvalarının büyüme ve yaşama oranlarının düşmesine sebep olması gelecekte doğal balık popülasyonlarını olumsuz etkileyerek sürdürülebilirliği yok edeceği aşikardır.

## KAYNAKLAR

- Acı, İ., 2015. Gökkuşuğu alabalığı, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792)'de ağır metal birikimi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Akaydın, A., 2014. Doğu Karadeniz sularından yakalanan ekonomik öneme sahip bazı balık türlerinde ağır metal birikiminin değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Bamji, M. S., 2002. Environment and nutrition-effects of infections and interaction with heavy metals. Proceedings-Indian National Science Academy Part B. 68(5): 401-414.
- Baştürk, O., Doğan, M., Salihoğlu, I., Balkas, T. I., 1980. DDT, DDE, and PCB residues in fish, crustaceans and sediments from the eastern Mediterranean coast of Turkey. Marine Pollution Bulletin. 11: 191-195.
- Baydan, E., Yurdakök, B., 2010. Balıklarda tespit edilen bazı bulaşanlar. Veteriner Hekim Derneği Dergisi. 81(2): 77-81.
- Bayhan, T. 2015. Büyük menderes deltasından avlanan kefal (*Leuciscus cephalus*) ve levreklerde (*Perca fluviatilis*) Cu, Zn ve Cd düzeylerinin belirlenmesi ve metalotiyonin ile ilişkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyokimya Anabilim Dalı, Aydın.
- Brown, F.M, Balls, P.W., 1997. Trace metals in fish and shell fish from Scottish waters, Scottish Fishries Reseach Report. 60: 30.
- Chan, H.M., Cherian, M.G., 1992. Protective roles of metallothionein and glutathione in hepatotoxicity of cadmium. Toxicology, 72, 281 – 290.
- Cicik, B., Engin, K., 2005. The effects of cadmium on levels of glucose in serum and glycogen reserves in the liver and muscle tissues of *Cyprinus carpio*(L., 1758). Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences. 29: 113-117.
- Dökmeci, G., 1988. Çevre kirlenmesinde rol oynayan toksik maddeler. 488-489.

- Dündar, Ş.M., Altundağ, H., Kaygaldurak, S., Şar, V., Acar, A., 2012. Çeşitli endüstriyel atık sularında ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Sakarya Üniversitesi. Fen Bilimleri Dergisi. 16(1): 6-12.
- EFSA., 2012. *Cadmium dietary exposure in the European population*. European Food Safety Authority. Parma, Italy European Food Safety Authority-Cadmium in Food. EFSA Journal. 2012; 10(1): 2551, 37p.
- Elderwish N. M., Taştan Y., Sönmez A. Y., 2019. Türkiye'nin Batı Karadeniz kıyı sularındaki ağır metal birikiminin mevsimsel olarak incelenmesi. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi, 5(2), 1-8
- Engel, D.W., Sunda, W.G., Fowler, B.A., 1981. Factors affecting trace metal uptake and toxicity to estuarine organisms. I. Environmental Parameters.
- Gerlach, S.A., 1981. Marine pollution: diagnosis and therapy. Springer-Verlag, New York. 218 Pp.
- Güler, Ç., Çobanoğlu, Z., 1994. Sağlıklı içme sularının nitelikleri. Su Kirliliği, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, Ankara, 12-30 pp.
- Haesloop, U., Schirmer, M., 1985. Accumulation of orally administered cadmium by the Eel (*Anguilla anguilla*). Chemosphere. 14 (10): 1627-1634.
- Handy, R.D., Penrice, W.S., 1993. The influence of high oral doses mercuricchloride on organ oxidant concentrations and histopathology in rainbow trout. *Oncorhynchus mykiss*. Comparative Biochemistry and Physiology. 106C: 717-724.
- Heath, A.G., 1987. Water pollution and fish physiology. CRP PressInc, 384p, Florida.
- Hodson, P.V., 1988. The effects of metal metabolism on uptake, disposition and toxicity in fish. Aquat Toxicol., 11, 3 – 18.
- Hogstrand, C., Haux, C., 1991. Mini review binding and detoxification of heavy metals in lower vertebrates with reference to metallothionein. Comparative Biochemistry and Physiology. 100: 137-147.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S., 2004. Metallerin çevresel etkileri (III- III) İstanbul Teknik Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Kalay, M., Koyuncu, C.E., Dönmez, A.E., 2004. Mersin Körfezi'nden yakalanan *Sparus aurata* (L. 1758) ve *Mullus barbatus* (L. 1758)'un kas ve karaciğer dokularındaki Kadmiyum Düzeylerinin Karşılaştırılması. Ekoloji. 13 (52): 23-27.
- Kalyoncu, H., Özkan, C., Tekin-Özkan, S., 2016. Isparta Deresi'nin su ve sedimentlerindeki ağır metal birikiminin incelenmesi. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 7: 268-280.
- Kaptan, H., 2014. Eğirdir Gölü (Isparta)'nın suyunda, sedimentinde ve gölde yaşayan sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ın bazı doku ve organlarındaki ağır metal düzeylerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Kar, M. 2011. Yamula Barajı (Kayseri) su, sediment ve tatlı su kefalı (*Squalus cephalus*) örneklerinde ağır metal düzeylerinin mevsimsel değişiminin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı, Kayseri.
- Karayakar, F., Bavbek, O., Cıçık, B., 2017. Mersin Körfezi'nde avlanan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri. Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research. 3 (3): 141-150.
- 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.
- Keleş, R., Hamamcı, C., 1993. Çevrebilim. İmge Kitapevi Yayınları, Ankara 368 Ss.
- Kır, İ., Tekin-Özan, S., Tuncay, Y., 2007. Kovada Gölü'nün su ve sedimentindeki bazı ağır metallerin mevsimsel değişimi. Ege JFAS, 24 (1-2): 155158.
- Kıvrakdal, A., 2010. Farklı sertlik değerlerindeki sularında metal (Cu, Cr) etkisinde kalan farklı büyüklükteki balıkların (*Oreochromis niloticus*) ATPaz tepkilerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kıracı, A., 2014. Azap Gölü'nün sedimentlerindeki ve sularındaki ağır metal miktarlarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın.
- Köse, E., Uysal, K., 2008. Cinsi olgunluğa erişmemiş pullu sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758)'ların kas, deri ve solungaçlarındaki ağır metal akümülyasyon oranlarının karşılaştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 17: 19-26.

- Küçük, M., 2015. Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*) böbrek, karaciğer, solungaç ve kas dokularından karbonik anhidraz enziminin saflaştırılması, karakterizasyonu ve bazı metal iyonlarının enzim aktivitesi üzerine etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- Miklovics, M.H., Kovacks-Gayer, E., Szakolczai, J., 1985. Accumulation and effects of heavy metals in the fishes of Lake Balaton. *Symposia Biologica Hungarica*, 29, 111 – 118.
- Murat, F., 2015. Gelingüllü barajındaki *Cyprinus carpio*, *Leuciscus cephalus* ve *Pagellus erythrinus* balık türlerindeki bazı ağır metal (Cd, Pb, Cu, Zn) seviyelerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hitit Üniversitesi, Çorum.
- Olson, K., Squibb, K.S., Cousins, R.J., 1978. Tissue uptake subcellular distribution and metabolism of  $^{14}CH_3HgCl$  and  $^{203}CH_3HgCl$  by rainbow trout *Salmo gairdneri*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*. 35(4): 381-390.
- Resmi Gazete, 2004. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 31.12.2004, Sayısı: 25687
- Sanfeliu, C., Sebastià, J., Cristòfol, R., Rodríguez-Farré, E., 2003. Neurotoxicity of Organo Mercurial Compounds. *Neurotoxicity Research*. 5: 283-305
- Seven, T., Can, B., Darende, N.B., Ocak, S., 2018. Hava ve Toprakta Ağır Metal Kirliliği. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*. 1(2): 91-103.
- Shah, S.L., 2002. Ağır metallerin (Hg, Cd, Pb) kadife balığı (*Tinca tinca* L. 1758) 'nın kan parametreleri üzerine bazı etkileri. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Ankara.
- Sökmen, T.Ö., Güneş, M., Kırıcı, 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.
- 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.
- Verep, B., Mutlu, T., Yüksek, T., Gürdal, A.A., 2018. Sert ve yumuşak su koşullarında karadeniz alabalığı (*Salmo coruhensis*) dokularında ağır metal (civa:hg) birikiminin belirlenmesi. *JAES*. 3(1): 19-26.
- Woodward, K.N., 1996. Thereregulation of fishmedicines-UK and European Unionaspects. *Aquaculture Research*. 27: 725-734.
- Yıldırım, B., 2013. Tekirdağ ili sahillerinde avlanan su ürünlerinin ağır metal içeriklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- Yazkan, M., Özdemir, F., Gölükcü, M., 2002. Antalya Körfezi'nde avlanan bazı balık türlerinde Cu, Zn, Pb, ve Cd içeriği. *Türk J.Vet. Anim. Sci. Tübitak*. 26: 1309-1313.