

# Bakır ve kadmiyuma maruz bırakılan Sariağız balığının (*Argyrosomus regius*) bazı dokularındaki metal birikimi

## Metal accumulation in some tissues of Meagre (*Argyrosomus regius*) exposed to copper and cadmium

Mehmer Rüştü Özen<sup>1</sup> • Faruk Pak<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi, Isparta

<https://orcid.org/0000-0003-4021-3994>

<sup>2</sup> Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü, Antalya

<https://orcid.org/0000-0003-4191-6173>

Corresponding author: [faruk.pak@tarimorman.gov.tr](mailto:faruk.pak@tarimorman.gov.tr)

Received date: 31.07.2019

Accepted date: 11.11.2019

### How to cite this paper:

Özen, M.R. & Pak, F (2020). Metal accumulation in some tissues of Meagre (*Argyrosomus regius*) exposed to copper and cadmium. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37(2), 201-206. DOI: [10.12714/egejfas.37.2.12](https://doi.org/10.12714/egejfas.37.2.12)

**Öz:** Bu çalışmada, kadmiyum ve bakır iyonlarının subletal konsantrasyonlarına 30 gün süreyle maruz bırakılan *A. regius* juvenillerinin, kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki metal birikimleri incelenmiştir. 30 günlük zaman sürecinde ortamda bulunan metal konsantrasyonu arttıkça dokulardaki bakır ve kadmiyum birikimi de önemli oranlarda artmış ve fark anlamlı bulunmuştur. Her iki metal içinde birikim en fazla karaciğerde olmuş bunu solungaç ve kas dokusu izlemiştir. Metal birikimi bakımından dokular arasında saptanan bu ayırım, doku ve organların işlevlerindeki farklılıkla açıklanabilir.

**Anahtar kelimeler:** *Argyrosomus regius*, sariağız, bakır, kadmiyum, birikim, toksisite

**Abstract:** In this study, the metal accumulation of *A. regius* juveniles in muscle, liver and gill tissues was exposed to sublethal concentrations of cadmium and copper ions for 30 days. As the concentration of metal in the environment increased in the 30-day period, the accumulation of copper and cadmium in the tissues increased considerably and the difference was significant. The accumulation in both metals was mostly in the liver followed by gill and muscle tissue. This distinction between tissues in terms of metal deposition can be explained by the difference in the functions of tissues and organs.

**Keywords:** *Argyrosomus regius*, meagre, copper, cadmium, accumulation, toxicity

## GİRİŞ

Sariağız, *Argyrosomus regius*, Akdeniz kıyılarında yaygın olarak yetiştirilmeye başlanmış alternatif bir türdür. Bu nedenle, sariağızdaki daha fazla üretim; insan beslenmesi için önemli olan daha fazla protein ve yağ asitleri kaynağı anlamına gelecektir. Bunun yanı sıra iz metaller de dahil olmak üzere balıklardaki biyokimyasal parametreler, beslenme ve deniz suyunun çevresel parametrelerinden etkilenebilir (Serra vd., 1996; Carpene vd., 1999). Bu bağlamda balık sağlığı ve et kalitesi kısmen deniz suyunun temel bileşimine bağlı olarak değişir. Metal kirliliği, endüstriyel faaliyetlerin sucül çevre üzerindeki en tehlikeli sonuçlarından biridir. Bakır ve kadmiyum gibi ağır metaller, insan sağlığını tehdit etmesinden dolayı uzun yıllardır bilim dünyasında büyük ilgi görmüştür. Bakır sülfat şeklindeki bakır, bir yosun öldürücü olarak ve çeşitli dış parazitler ile bakteriyel enfeksiyonlar için terapötik bir kimyasal olarak kullanılırken; kadmiyum ise evsel ve endüstriyel atıklarda çeşitli organik ve inorganik maddeler şeklinde kirliliğe önemli etkilerde bulunmaktadır (Shuhaimi-Othman vd., 2010). Kalıcı yapıları ve yavaş elimine olmaları nedeniyle, kadmiyum (Cd), çinko (Zn) ve bakır (Cu) gibi metaller en büyük ve en yaygın mikro kirlenici grupları arasındadır (Knapen vd., 2004; Minghetti vd., 2008).

Ağır metal gibi toksik elementlerin başta balık ve deniz memelileri olmak üzere, deniz ürünlerinin dokularında biyobirikim gösterdiği bilinmektedir (Cicik, 2003). Balıklar tarafından ağır metal alımı, su, besin, solungaçlar ve tüm vücut yüzeyinden absorpsiyon yolu ile olsa da dolaşım sistemi aracılığıyla karaciğer, böbrek ve dalak gibi metabolik bakımdan aktif organlara taşınarak birikmektedir. Çeşitli balık türleri ile yapılan araştırmalarda, dokulardaki metal birikiminin metalin türüne (Allen, 1995a, b), metalin ortam konsantrasyonuna (Gill vd., 1992), etkide kalma süresine (Suresh vd., 1993), canlılığın türüne (Erdem ve Kargın, 1990) ve türün gelişme evresine (Beaumont vd., 2000) bağlı olarak değişim gösterdiği gibi suyun fiziko-kimyasal özelliklerine (Pagenkopf, 1983) bağlı olarak da değiştiği söylenmiştir (Erdem vd., 2005). Ayrıca, balıkların boylarının ve toplandıkları mevsimin de ağır metal birikiminde farklılıklara neden olduğu bildirilmiştir (Katalay vd., 2005).

Çevre kirliliğinin bir göstergesi olarak canlılarda ölçülen metalik kirleniciler, özellikle su ürünlerinde ortamda bulunan konsantrasyonlarına bağlı olarak tehlikeli düzeylere erişebilmektedir. Alternatif ve stratejik bir gıda maddesi olan

sucul organizmalarda, ağır metal birikimi ve oluşturduğu hasarların araştırılması, bir taraftan ağır metallere karşı duyarlılığı yüksek olan türlerin belirlenmesini sağlarken, diğer taraftan da anılan canlıların vücut mekanizmalarındaki işleyişler ile ilgili parametrelerde oluşabilecek reaksiyonların saptanması noktasında oldukça önemli olacaktır. Doğal ortamda olması kuvvetle muhtemel etkileri yakalayabilmek ve somutlaştırabilmek için kronik subletal testlere ihtiyaç duyulmaktadır (Çetinkaya and Karataş, 2010). Bu çalışmada, kadmiyum ve bakır iyonlarının subletal konsantrasyonlarına kronik olarak maruz bırakılan *A. regius*'un kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki metal birikimleri incelenmiştir.

## MATERYAL VE METOT

Araştırmada deneme materyali olarak kullanılan juvenil sarağız balıkları (*Argyrosomus regius*) Kılıç Holding'den temin edilerek kontrollü ortam koşullarındaki laboratuvara getirilip, içerisinde %38'lik ultraviyolede geçirilmiş deniz suyu bulunan 40x60x35 cm boyutlarındaki 60 litrelik cam akvaryumlarda 15 gün bekletilerek balıkların ortam koşullarına alışmaları sağlanmıştır. Denemeler Akdeniz Su Ürünleri Araştırma Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğünde yürütülmüştür. Deneyler, merkezi havalandırma sistemi ile havalandırılan 20±1 °C sıcaklıklarda, 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık fotoperiyod uygulaması ile gerçekleştirilmiştir. Denemelerde; balıkların maruz bırakılması planlanan çözeltilerin hazırlanmasında, kadmiyum klorür monohidrat (CdCl<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O) ve bakır sülfat pentahidrat (CuSO<sub>4</sub>.5H<sub>2</sub>O) tuzları kullanılmıştır. Denemeler yarı statik (1/3 su değişimi/gün) biyo-deney düzeninde yapılmıştır. Balıklar, günde bir kez vücut ağırlığının %2'si kadar, ticari levrek büyüme yemi ile beslenmiştir. Deney süresince kontrol ve deney grubundaki akvaryumlarda günlük 1/3 oranında (20 L) su değişimi yapılmış ve yerine aynı konsantrasyonda su ilave edilmiştir.

Kronik toksisite denemelerinde akut toksisite denemelerinden elde edilen LC50'nin %3, %15 ve %30'u alınarak bakır ve kadmiyum için 3 farklı konsantrasyon oluşturularak kullanılmıştır. *A. regius* için 96 saat LC50 değeri Cu için 1,643 mg/L ve Cd için 6,699 mg/L olarak bildirilmiştir (Pak, 2019). Bakır için 0,05, 0,25 ve 0,50 mg/L, Kadmiyum için ise 0,2, 1 ve 2 mg/L konsantrasyonlarında 30 gün süreyle kronik toksisite denemeleri yürütülmüştür. Kontrol grubu ile birlikte toplam 7 grup olan denemeler 3 tekrarlı olarak yürütülmüştür. Bu denemelerde 9 bakır, 9 kadmiyum ve 3 kontrol grubu olacak şekilde hazırlanan akvaryumların her birine ortalama 13 cm uzunluğundaki 8 er adet balık konulmuştur. 30. gün sonunda her akvaryumdan 4 balık alınarak, balıkların solungaç, kas ve karaciğer dokularındaki Cu ve Cd birikimlerine bakılmıştır.

Denemenin her gününde akvaryumlardaki sıcaklık, pH ve oksijen doygunluğu HACH 40-d çoklu değişken ölçer ile ölçüldü. Akvaryumlardaki amonyum ve nitrit azotlarındaki konsantrasyon değişimlerini belirleyebilmek için, akvaryumlardan 0., 4., 11., 18., 25. ve 30. günlerde alınan su numunesi örneklerinde amonyum ve nitrit analizleri

gerçekleştirildi. Su değişimi sırasında sifonlama ile alınan su örnekleri, 0,45 µm'lik por çapına sahip bir membran filtre ile filtrelendikten sonra analizlerde kullanılmıştır. Nitrit analizi kolorimetrik metot kullanılarak (SM 4500B, 1995), amonyum analizi fenat metodu kullanılarak (SM 4500F, 1995) spektrofotometre ile gerçekleştirildi. Deniz suyu örneklerinde, kadmiyum ve bakır analizleri Perkin Elmer marka ICP-MS cihazında doğrudan okuma yapılarak gerçekleştirildi (SM 3120B, 1995). Doku örneklerinin ayrılmasında ve homojenizasyonunda paslanmaz çelikten yapılmış diseksiyon aletleri kullanıldı. Doku örnekleri çözünürleştirme işlemine kadar -20 °C'de muhafaza edildi. Analizler için yaklaşık 0,5 g homojenize edilmiş doku örneği örnekleme kaplarına alındıktan sonra üzerlerine 8 ml konsantre nitrik asit ve 2 ml hidrojen peroksit ilave edildi ve mikrodalga parçalama yöntemi (Berghof MWS-2) kullanılarak belirli sıcaklık ve basınç altında uygun programda çözdürüldü, sonra tüplere alındı ve deiyonize su ile 50 ml ye tamamlanarak analize hazır hale getirildi. Metal analizleri 3 tekrarlı olacak şekilde ICP-MS ile analiz edildi (EPA METHOD 3051, 1998).

## BULGULAR

*A. regius*'da belirlenen konsantrasyon ve sürede karaciğer, kas ve solungaç dokuları için üç tekrarlı olarak saptanan metal düzeylerinin aritmetik ortalamaları ve standart sapmaları **Tablo 1**'de verilmiştir. *A. regius*'da 30 günlük zaman sürecinde artan bakır konsantrasyonuna paralel olarak dokulardaki bakır birikimi de önemli oranlarda artmıştır (**Tablo 1**). Bu artış, denenen bütün dokularda tüm konsantrasyonlar arasında istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0.05). Ortam konsantrasyonunda 10 katlık bir artış 30. günde karaciğer ve solungaç dokularındaki bakır birikiminde yaklaşık 1,5 katlık bir artışa neden olmuştur. *A. regius*'da belirli bir sürede ve farklı ortam konsantrasyonunda bakır birikimi bakımından dokular arasında önemli farklılıklar bulunduğu belirlenmiş, birikim en fazla karaciğerde kaydedilmiş bunu solungaç ve kas dokusu izlemiştir. 30. gün sonunda 0,5 mg/L ortam konsantrasyonunda karaciğerde biriken bakır, incelenen dokularda biriken bakırın %96'sını oluşturmuştur (**Tablo 1**).

**Tablo 1.** Farklı bakır ortam konsantrasyonlarına 30 gün süreyle maruz bırakılan *A. regius*'un kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki bakır birikimi (µg Cu/g yaş ağırlık)

**Table 1.** Copper accumulation in muscle, gill, and liver tissues of *A. regius* exposed to different concentrations of copper for 30 days (µg Cu/g wet weight)

Konsantrasyon	Doku		
	Kas	Solungaç	Karaciğer
Kontrol	T.S.A.	T.S.A.	1,545 ± 0,046
0,050 mg/L Cu	0,698 ± 0,045 a	4,961 ± 0,114 a	130,3 ± 11,5 a
0,250 mg/L Cu	0,813 ± 0,030 b	5,977 ± 0,132 b	156,2 ± 18,1 b
0,500 mg/L Cu	0,971 ± 0,012 c	7,485 ± 0,558 c	196,8 ± 19,9 c

Değerler aritmetik ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir.

a, b ve c harfleri konsantrasyonlar arası farkı belirtmek üzere kullanılmıştır.

Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistik farklılık vardır (P<0.05).

T.S.A. Tayin sınırının altında

*A. regius*'da 30 günlük zaman sürecinde ortamda bulunan kadmiyum konsantrasyonu arttıkça doku ve organlardaki kadmiyum birikiminin arttığı saptanmıştır (Tablo 2). 30. günde denenen bütün dokularda ve tüm konsantrasyonlar arasında istatistiksel fark tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). Ortam konsantrasyonunda 10 katlık bir artış 30. gün sonunda yaklaşık karaciğerde 3,5, solungaçlarda ise 2 kat daha fazla kadmiyum birikimine neden olmuştur. *A. regius*'da belirli bir sürede ve farklı ortam konsantrasyonunda kadmiyum birikimi bakımından dokular arasında önemli farkların bulunduğu görülmüş, birikim en fazla karaciğerde kaydedilmiş bunu solungaç ve kas dokusu izlemiştir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Farklı kadmiyum ortam konsantrasyonlarına 30 gün süreyle maruz bırakılan *A. regius*'un kas, solungaç ve karaciğer dokularındaki kadmiyum birikimi ( $\mu\text{g Cd/g}$  yaş ağırlık)

**Table 2.** Cadmium accumulation in muscle, gill, and liver tissues of *A. regius* exposed to different concentrations of cadmium for 30 days ( $\mu\text{g Cu/g}$  wet weight)

Konsantrasyon	Doku		
	Kas	Solungaç	Karaciğer
Kontrol	T.S.A.	T.S.A.	T.S.A.
0,2 mg/L Cd	0,817 $\pm$ 0,024 a	8,991 $\pm$ 0,054 a	25,14 $\pm$ 0,777 a
1,0 mg/L Cd	1,094 $\pm$ 0,114 b	13,68 $\pm$ 0,801 b	50,74 $\pm$ 3,615 b
2,0 mg/L Cd	1,347 $\pm$ 0,207 c	18,15 $\pm$ 0,537 c	87,21 $\pm$ 6,054 c

Değerler aritmetik ortalama  $\pm$  standart sapma olarak verilmiştir.

a, b ve c harfleri konsantrasyonlar arası farkı belirtmek üzere kullanılmıştır.

Farklı harflerle gösterilen veriler arasında istatistik farklılık vardır ( $P < 0.05$ ).

T.S.A. Tayin sınırının altında

## TARTIŞMA VE SONUÇ

### *A. regius* Dokularındaki Cu Birikimi

*A. regius*'da belirlenen süre ve ortam konsantrasyonunun etkisinde bakır birikimi en fazla karaciğerde olmuş bunu solungaç ve kas dokusu izlemiştir. Bununla birlikte, incelenen tüm dokularda artan maruz kalma konsantrasyonu ile dokularda biriken bakır miktarı da artış göstermiştir. Metal birikimi bakımından doku ve organlar arasında saptanan bu ayırım, doku ve organların işlevlerindeki farklılıkla açıklanabilir. Ayrıca, balıklarda ağır metal birikiminin, doku ve organlar arasında farklılık göstermekle birlikte genellikle metabolik bakımdan aktif doku ve organlarda yüksek konsantrasyonlarda meydana geldiğini bildirilmiştir (Cicik, 2003).

Çoğun vd. (2003), *O. niloticus*'u 0,1 ve 1 mg/L bakıra 30 gün maruz bıraktıkları çalışmada; dokulardaki birikimi karaciğer>solungaç> kas şeklinde belirlemişler ve konsantrasyon artışı ile dokulardaki birikiminde arttığını ve aynı zamanda vücut büyüklüğünün kas dokusundaki bakır birikimini etkilemediğini, ancak solungaç ile karaciğer dokularını etkilediğini bildirmiştir. Wong vd. (1999), 0,15, 0,30 ve 0,45 mg/L  $\text{Cu}^{+2}$ 'ya 30 gün süreyle maruz bıraktıkları gümüş çipura (*Sparus sarba*) fingerlingleri ve juvenillerinin kontrol grubuna

kıyasla daha fazla bakır içerdiğini hem fingerling hem de juveniller için en yüksek bakır konsantrasyonun bağırsakta bulunduğunu ve dokularda biriken bakır miktarını, bağırsak> karaciğer> gonad> solungaç> deri>kas şeklinde olduğunu bildirmiştir. Ayrıca Cicik (2003), sazan (*Cyprinus carpio*) yavrularını 0,5 ve 5 mg/L bakıra 15 gün süreyle maruz bıraktıkları çalışmada, maksimum Cu birikimini karaciğerde, minimum birikimin de kas dokusunda meydana geldiğini bildirmiştir.

Erdem ve Kargin (1990), 20 gün süreyle 0,1, 1,0 ve 10,0 mg/L konsantrasyonlarında bakırın etkisine maruz bırakılan balıkların (*Tilapia nilotica*) çalışılan doku ve organlarındaki bakır birikiminin süre ve konsantrasyon düzeyi ile orantılı olarak arttığını saptamıştır. Bakır birikimi bakımından dokular arasındaki ilişki sırası ile şöyle bulunmuştur: Dalak> Karaciğer> Bağırsak> Mide> Solungaç> Kas. Yine Kargin ve Erdem (1991), 10, 20, 30, 45 ve 60 gün süreyle 0,01, 0,10, 1,00 ve 10 mg/L bakır konsantrasyonlarına maruz bırakılan *Cyprinus carpio*'nun incelenen doku ve organlarındaki bakır birikiminin, ortam konsantrasyon düzeyi ve bekletilme süresi ile orantılı olarak arttığını bildirmiştir. Bakır birikiminin en yüksek karaciğerde, en düşük ise kasta olduğu saptanmıştır. Bakır birikimi bakımından dokular arasındaki ilişki ise şöyle bulunmuştur: Karaciğer> Dalak> Mide> Bağırsak> Solungaç> Kas. Ayrıca Kargin ve Erdem (1992), kısa süreli (96 saat) 60 mg/L bakır etkisine bırakılan *Tilapia (Tilapia nilotica)*'nın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimini en yüksek karaciğerde ve takiben solungaç ve kas dokularında belirlemişlerdir. Tüm bu sonuçlar, *A. regius* dokularında elde edilen verilerle benzerlik göstermektedir.

Mazon ve Fernandes (1999), *P. scrofa* juvenillerini çeşitli konsantrasyonlarda bakıra 96 saat boyunca maruz bıraktıktan sonra solungaç, karaciğer, böbrek, kas ve bağırsak dokularındaki bakır miktarlarını araştırdıkları çalışmada, karaciğerde bakır birikimi diğer dokularla karşılaştırıldığında en fazla bulunmuş, bunu bağırsak ve böbrek izlemiştir. Karaciğer ve böbreklerin toksik maddelerin detoksifikasyonunda ve atılımında önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Bu da anılan organlardaki yüksek bakır birikimini açıklamaktadır. Diğer yandan, en az birikimin solungaç ve kas dokusunda olduğu bildirilmiştir. Solungaçların, özellikle su ile temas eden geniş yüzey alanına sahip olmaları nedeniyle, balıklarda bakır alımı için ana alan olduğu varsayılmaktadır. Bu durumda, solungaçlardan ve daha az yoğun bir şekilde vücut yüzeyinden metal alımının karaciğere kan akımı yoluyla taşınması, metabolize edilmesi ve daha sonra safra yoluyla atılması kabul edilir. Sudaki artan metal seviyeleri, bakıra bağlı hepatositlerde depolanan metalotiyoninler gibi metal bağlayıcı proteinlerin üretimine yol açar. Metal fazlalığı karaciğerdeki  $\alpha$ -globuline bağlanır, seruloplazmin üretir ve böbreklerden atılır. Çok yüksek bakır seviyelerine maruz kalma meydana geldiğinde ve karaciğerin bakır bağlama kapasitesi aşıldığında, daha toksik olan bakır türleri kan dolaşımından diğer organlara taşınabilmektedir.

### A. *regius* Dokularındaki Cd Birikimi

*A. regius* ile yürütülen bu çalışmada kadmiyumun 0,20, 1,00 ve 2,00 mg/L ortam konsantrasyonlarının 30 gün süreli etkisinde mortalite gözlenmemesi, belirlenen sürede çalışılan konsantrasyonların türün tolere edebilir sınır içerisinde olduğunu göstermektedir. Balıklarda kadmiyumun doku birikimi, ortam konsantrasyonu ve etkide kalma süresine bağlı olarak artış göstermiştir. Kadmiyumun belirlenen konsantrasyonlardaki etkisi incelenen dokulardaki metal birikimini kontrole oranla önemli düzeyde arttırmıştır. Metal birikimi bakımından incelenen dokular arasında en fazla birikimin karaciğerde, en az birikimin ise kas dokusunda olduğu saptanmıştır. Diğer deniz balıkları gibi, *A. regius* da metale maruz kaldıktan 30 gün sonra kasta düşük bir Cd konsantrasyonu göstermiştir. Bu durum, toplam balık ağırlığının büyük bir kısmını kas dokusunun oluşturması ile açıklanabilir ve böylece metal; bağırsak, karaciğer, böbrek ve solungaç gibi diğer organlarla karşılaştırıldığında, önemli miktarda beyaz kas dokusunda seyreltilmiş olmaktadır (Cao vd., 2012).

Cirillo vd. (2012), yaptıkları çalışmada, çipurayı (*Sparus aurata*) 11 gün boyunca 0,1 mg/L kadmiyuma maruz bırakarak, Cd birikim yollarını araştırdıkları çalışmada en çok metal birikiminin karaciğerlerde ve solungaçta biriktiğini ve kas dokusunda herhangi bir Cd birikiminin olmadığını bildirmiştir. Souid vd. (2013), *Sparus aurata*'nın farklı dokularında Cd (0,5 mg/L)'un kısa süreli maruz kalması (2, 4 ve 24 saat) altında birikimini araştırdıkları çalışmada, sonuçların farklı dokulardaki Cd birikiminin metale maruz kalma süresinin uzunluğuna bağlı olarak değiştiğini ve dokulardaki Cd birikimlerini büyükten küçüğe doğru; bağırsaklar, karaciğer, solungaç ve kas şeklinde olduğunu bildirmiştir. Buradan elde edilen bilgiler doğrultusunda kadmiyum birikimi bakımından sariağz (*A. regius*) için bu çalışmada elde edilen bulgular ile çipura (*S. aurata*)'nın benzer özellik gösterdiği anlaşılmaktadır.

Shukla vd. (2007), *Channa punctatus*'u 11,8 mg/L kadmiyuma 4 gün süreyle maruz bıraktıktan sonra dokulardaki metal birikimini inceledikleri çalışmada maksimum kadmiyum birikiminin solungaçlarda olduğunu bildirmiştir. Solungaçlar ortama doğrudan temas ettiğinden kısa süreli maruz bırakmalarda başlangıçta solungaçlarda birikim fazla olmakta süre uzadıkça birikimin azaldığı ifade edilmiştir. Costa vd. (2012), solungaçların metali detoksifiye eden etkili organ olduğunu bildirmiştir. Metal iyonlarına uzun süre maruz kalındığı durumlarda solungaçlarda daha az birikim olmaktadır. Çünkü solungaçların Cd birikimi için geçici bir hedef organ olduğu ve sonrasında kadmiyumun sindirim ve üreme organlarına aktarılarak burada biriktiği ifade edilmiştir (Wu vd., 2007).

Cattani vd. (1996), levrek (*D. labrax*)'ı 0,5 ve 5 µg/L kadmiyuma maruz bıraktıklarında 7 gün sonunda her iki konsantrasyon için de dokulardaki birikimi azalan sırayla böbrek, karaciğer ve solungaç şeklinde bulmuştur. Kuroshima (1992), tatlı suda 0,3 mg/L kadmiyuma sazan (*Cyprinus*

*carpio*)'yu ve deniz suyunda ise 10 mg/L kadmiyuma mercan (*Pagrus major*)'u, 96 saat süreyle maruz bırakmış ve dokulardaki birikimi incelemiştir. Sazanın kadmiyuma maruz kalması solungaçlarda en yüksek birikime neden olurken, ardından böbrek, bağırsak ve karaciğerde azalan sırayla birikim göstermiştir. Akut kadmiyuma maruz kalan mercanda ise en yüksek birikim karaciğerde olmuş ve ardından böbrek, bağırsak ve solungaçlara göre azalan sırayla sonuçlanmıştır. Başka bir çalışmada, *C. carpio*'da kadmiyumun 127 gün süreli etkisinde 53 µg/L ortam konsantrasyonunda, böbreklerdeki kadmiyum konsantrasyonu karaciğerden 4 kat, kasta 50 kat daha yüksek bulunmuş, 443 µg/L Cd konsantrasyonunda ise böbrek kadmiyum içeriği karaciğerden 2 kat, kasta 100 kat daha yüksek bulunmuştur. *O. mykiss*'de kadmiyum birikimi bakımından incelenen dokuların böbrek> karaciğer> solungaç> kas şeklinde sıralandığı belirlenmiştir (Melgar vd., 1997). Balıklarda kadmiyum etkisi, böbrek dokusunun yanı sıra karaciğer ve dalak gibi metabolik bakımdan aktif dokularda molekül ağırlığı düşük, metal bağlayıcı proteinlerin sentezini arttırmaktadır (Hogstrand ve Haux, 1990). Bu çalışmada en fazla kadmiyum birikiminin karaciğer dokusunda saptanması, metalin metal bağlayıcı proteinlere bağlanarak bu dokularda alınması ile açıklanabilir.

Çoğun vd. (2003), çeşitli su türleriyle yapılan çalışmalarda, karaciğerin metal birikimi için ana organ olduğunu ve aynı zamanda metallerin depolanması, yeniden dağıtılması, detoksifikasyonunda veya dönüşümünde önemli bir rol oynadığını bildirmiştir. Balıklardaki karaciğerlerin kirlenici maddeler için iyi bir biyoindikatör organ olarak uygun olduğu kabul edilmektedir. Bu, muhtemelen karaciğerin, çevrelerinden daha yüksek seviyelerde çeşitli türlerdeki kirlenicileri biriktirme eğiliminden kaynaklanmaktadır (Galindo vd., 1986). Çoğun vd. (2003), *O. niloticus* ile 0,1 ve 1 mg/L kadmiyuma 30 gün maruz bıraktıkları çalışmada dokulardaki birikimi karaciğer>solungaç> kas şeklinde belirlemişlerdir. Yeşilbudak ve Erdem (2014), *C. carpio* ve *O. niloticus*' 0,5 mg/L kadmiyuma 30 gün maruz bıraktıktan sonra böbrek, karaciğer, solungaç ve kas dokusunda Cd birikimini inceledikleri çalışmada, kadmiyum birikiminin kas dokusu dışındaki tüm dokularda maruz kalma sürelerinin artmasıyla arttığını bildirmiştir. Solungaç, böbrek ve karaciğer dokularındaki 30. günde görülen bu artış, ilk güne göre sırasıyla yaklaşık 2, 3 ve 6 kat olarak bulunmuştur. Kadmiyum birikimi, *C. carpio*'nun böbrek dokusunda en yüksek olduğu ve bunu takiben tüm maruz kalma sürelerinde karaciğer, solungaç ve kas dokularında en yüksek olduğu görülmüştür. *O. niloticus*'un dokularında Cd birikiminde belirgin artış, kas dokusu dışında uzun süreli maruz kalma sürelerinde gözlenmiştir. Solungaç kadmiyum seviyeleri 30. günde 1. güne göre dokuz kat artış göstermiştir. En yüksek Cd birikimi de böbrek dokusunda, ardından *C. carpio*'daki gibi karaciğer, solungaç ve kas dokularında saptanmıştır.

Kadmiyumun biyolojik bir işlevinin olmadığı bilinmektedir ve atılım için su ve diğer metabolik atıklarla birlikte böbreğe taşınır. Bu işlem sırasında, metalotiyoninler gibi metal bağlama

proteinlerine yeniden emilimi ve bağlanması, diğer dokularla karşılaştırıldığında böbreklerde ve karaciğerde bulunan yüksek seviyelerde kadmiyumu açıklayabilmektedir (Yeşilbudak ve Erdem, 2014).

Kadmiyum birikimi türden türe farklılık gösterir ve maruz kalma süresine bağlıdır (Velma vd., 2009). Ağır metallerin nadiren balık dokularında düzgün dağıldığı ve belirli hedef organlarla biriktiği iyi bilinmektedir. Her doku için metal metabolizmasının spesifik bir rolünün geliştirildiği kabul edilmiştir (Cinier vd., 1999). Türler arasında dokulardaki

birikimlerde meydana gelen farklılıklar osmoregülasyon ve detoksifikasyon mekanizmalarındaki farklılıklar ile açıklanabilir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar Kılıç Holding yönetimi ve çalışanlarına teşekkürlerini sunar. Bu çalışma, Akdeniz Su Ürünleri Araştırma, Üretim ve Eğitim Enstitüsü Müdürlüğü'nün hayvan deneyleri için yerel etik kurulu tarafından onaylanmıştır (Onay numarası: 68385072-325.04-0153).

## KAYNAKÇA

- Allen, P. (1995a). Chronic accumulation of cadmium in the edible tissue of *Oreochromis aureus* (Steindachner); Modification by mercury and lead. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 29(1), 8-14. DOI: [10.1007/BF00213079](https://doi.org/10.1007/BF00213079)
- Allen, P. (1995b). Soft-tissue accumulation of lead in the blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner), and the modifying effects of cadmium and mercury. *Biological Trace Element Research*, 50(3), 193-208. DOI: [10.1007/BF02785410](https://doi.org/10.1007/BF02785410)
- Beaumont, M.W., Butler, P.J. & Taylor, E.W. (2000). Exposure of brown trout *Salmo trutta*, to a sublethal concentration of copper in soft acidic water, effects upon muscle metabolism and membrane potential. *Aquatic Toxicology*, 51, 259-272. DOI: [10.1242/jeb.00060](https://doi.org/10.1242/jeb.00060)
- Cao, L., Huang, W., Shan, X., Ye, Z. & Dou, S. (2012). Tissue-specific accumulation of cadmium and its effects on antioxidative responses in japonese flounder juveniles. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 33, 16-25. DOI: [10.1016/j.etap.2011.10.003](https://doi.org/10.1016/j.etap.2011.10.003)
- Carpene, E., Serra, R., Manera, M. & Isani, G. (1999). Seasonal changes of zinc, copper, and iron in gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed fortified diets. *Biological Trace Element Research*, 69, 121-139. DOI: [10.1007/BF02783864](https://doi.org/10.1007/BF02783864)
- Cattani, O., Serra, R., Isani, G., Raggi, G., Cortesi, P. & Carpene, E. (1996). Correlation Between Metallothionein and Energy Metabolism in Sea bass, *dicentrarchus labrax*, Exposed to Cadmium. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 113C(2), 193-199. DOI: [0742-8413\(95\)02087-X](https://doi.org/10.1016/0742-8413(95)02087-X)
- Cicik, B. (2003). Bakır-çinko etkileşiminin sazan (*Cyprinus Carpio*)'ın karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi üzerine etkileri. *Ekoloji Çevre Dergisi*, Cilt 12, Sayı 48, 32-36
- Cinier, C.C., Petit-Ramel, M., Faure, R., Garin, D. & Bouvet, Y. (1999). Kinetics of cadmium accumulation and elimination in carp *Cyprinus carpio* tissues. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 122(3), 345-352. DOI: [10.1016/S0742-8413\(98\)10132-9](https://doi.org/10.1016/S0742-8413(98)10132-9)
- Cirillo, T., Cocchieri, R.A., Fasano, E., Lucisano, A., Tafuri, S., Ferrante, M.C., Carpane, E., Andreani, G. & Isani, G. (2012). Cadmium accumulation and antioxidant responses in *Sparus aurata* exposed to waterborne cadmium. *Environmental Contamination and Toxicology*, 62, 118-126. DOI: [10.1007/s00244-011-9676-9](https://doi.org/10.1007/s00244-011-9676-9)
- Costa, P.M., Caeiro, S. & Costa, M.H. (2012). Multi-Organ histological observations on juvenile senegalese soles exposed to low concentrations of waterborne cadmium. *Fish Physiol Biochem*, 39, 143-158. DOI: [10.1007/S10695-012-9686-1](https://doi.org/10.1007/S10695-012-9686-1)
- Çetinkaya, O. & Karataş, M. 2010. Akuatik toksikoloji: Balık biyodenyeleri, Balık biyolojisi araştırma yöntemleri, 143-187.
- Çoğun, H.Y.C., Yüzereroğlu, T.A. & Kargin F. (2003). Accumulation of copper and cadmium in small and large Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 71, 1265-1271. DOI: [10.1007/s00128-003-8523-8](https://doi.org/10.1007/s00128-003-8523-8)
- EPA Method 3051, 1998. Microwave Assisted Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils, and Oils.
- Erdem, C. & Kargin, F. (1990). Farklı ortam derişimlerinde *Tilapia Nilotica* (L.)'nin doku ve organlarında bakır birikimi. *Turkish Journal of Zoology*, 14, 173-178.
- Erdem, C., Cicik, B., Karayakar, S., Karayakar, F. & Karaytuğ, S. (2005). *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822)'da kadmiyum'un solungaç, karaciğer, böbrek, dalak ve kas dokularındaki birikim ve artımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 1(2), 18-26.
- Galindo, L., Hardisson, A. & Montelongo, F.G. (1986). Correlation between lead, cadmium, copper, zinc and iron concentrations in frozen tuna fish. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 36, 595-599. DOI: [10.1007/BF01623556](https://doi.org/10.1007/BF01623556)
- Gill, T.S., Bianchi, C.P. & Epple, A. (1992). Tracemetal (Cu And Zn) adaptation of organ systems of the american eel *Anguilla rostrata* to external concentrations of cadmium. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 102(3), 361-371. DOI: [10.1016/0742-8413\(92\)90127-S](https://doi.org/10.1016/0742-8413(92)90127-S)
- Hogstrand, C.L. & Haux, C. (1990). Metallothionein as an indicator of heavy metal exposure in two subtropical fish species. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 138, 69-84. DOI: [10.1016/0022-0981\(90\)90177-E](https://doi.org/10.1016/0022-0981(90)90177-E)
- Katalay, S., Parlak, H. & Arslan, O.C. (2005). Ege denizinde yaşayan kaya balıklarının (*Gobius niger*, L., 1758) karaciğer dokusunda bazı ağır metallerin birikimi. *Su Ürünleri Dergisi*, 22 (3-4), 385-388.
- Kargin, F. & Erdem, C. (1991). *Cyprinus carpio*'da bakırın karaciğer, dalak, mide, bağırsak, solungaç ve kas dokularındaki birikimi. *Turkish Journal of Zoology*, 15, 306-314.
- Kargin, F. & Erdem, C. (1992). Bakır-çinko etkileşiminde *Tilapia nilotica* (L.)'nin karaciğer, solungaç ve kas dokularındaki metal birikimi. *Turkish Journal of Zoology*, 16, 343-348.
- Knapen, D., Bervoets, L., Verheyen, E. & Blust, R. (2004). Resistance to water pollution in natural gudgeon (*Gobio gobio*) populations may be due to genetic adaptation. *Aquatic toxicology*, 67, 155-165. DOI: [10.1016/j.aquatox.2003.12.001](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2003.12.001)
- Kuroshima, R. (1992). Comparison of cadmium accumulation in tissues between carp *cyprinus carpio* and red sea bream *pagrus major*. *Nihon-Suisan-Gakkai-Shi*, 58(7), 1237-1242. DOI: [10.2331/suisan.58.1237](https://doi.org/10.2331/suisan.58.1237)
- Mazon, A. F. & Fernandes, M. N. (1999). Toxicity and differential tissue accumulation of copper in the tropical freshwater fish, *Prochilodus scrofa* (Prochilodontidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 63, 797-804. DOI: [10.1007/s001289901049](https://doi.org/10.1007/s001289901049)
- Melgar, M.J., Perez, M., Garcia, M.A., Alonso, J. & Miguez, B. (1997). The Toxic and accumulative effects of short term exposure to cadmium in rainbow trout (*O. mykiss*). *Veterinary and Human Toxicology*, 39(2), 79-83.
- Minghetti, M., Leaver, M.J., Carpene, E. & George, S.G. (2008). Copper transporter 1, metallothionein and glutathione reductase genes are differentially expressed in tissues of Seabream (*Sparus Aurata*) after exposure to dietary or waterborne copper. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 147, 450-459. DOI: [10.1016/j.cbpc.2008.01.014](https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.01.014)

- Pak, F. (2019). Farklı Konsantrasyonlarda Kadmiyum ve Bakır İyonlarına Maruz Bırakılan Sarıağız Balığının (*Argyrosomus regius*) Bazı Dokularındaki Antioksidant Enzim Aktivitelerinin İncelenmesi. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pagenkopf, G.K. (1983). Gill surface interaction model for trace-metal toxicity to fishes: Role of complexation, pH and water hardness. *Environmental Science and Technology*, 7 (6), 342-347. DOI: [10.1021/es00112a007](https://doi.org/10.1021/es00112a007)
- Serra, S.D.; Serra, A.B.; Ichinohe, T. & Fujihara, T. (1996). Ruminant solubilization of macrominerals in selected Philippine forages. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 9 (1): 75-81
- Shuhaimi Othman, M., Nadzifah, Y. & Andahmad, A.K. (2010). Toxicity of copper and cadmium to freshwater fishes international journal of biological, biomolecular, agricultural. *Food and Biotechnological Engineering*, 4(5), 319-321.
- Shukla, V., Dhankhar, M., Prakash, J. & Sastry, K.V. (2007). Bioaccumulation of Zn, Cu and Cd in *Channa punctatus*. *Journal of Environmental Biology*, 28(2), 395-397.
- SM 3120B, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, Washington.
- SM 4500B, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, Washington.
- SM 4500F, 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th Edition, Washington.
- Souid, G., Souayed, N., Fatmayaktiti, F. & Maaroufi, M. (2013). Effect of acute cadmium exposure on metal accumulation and oxidative stress biomarkers of *Sparus aurata*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89, 1-7. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2012.12.015](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.12.015).
- Suresh, A., Sivaramakrishna, B. & Radhakrishnaiah, K. (1993). Patterns of cadmium accumulation in the organs of fry and fingerlings of fresh water fish *Cyprinus carpio* following cadmium exposure. *Chemosphere*, 26, 945-953. DOI: [10.1016/0045-6535\(93\)90369-G](https://doi.org/10.1016/0045-6535(93)90369-G)
- Velma, V., Vutukuru, S. & Tchounwou, P.B. (2009). Ecotoxicology of hexavalent chromium in freshwater fish: A critical review. *Rev Environ Health*, 24(2), 129-145. DOI: [10.1515/REVEH.2009.24.2.129](https://doi.org/10.1515/REVEH.2009.24.2.129)
- Wong, P.P.K., Chu, L.M. & Wang, C.K. (1999). Study of toxicity and bioaccumulation of copper in the silver sea bream *Sparus sarba*. *Environment International*, 25(4), 417-422. DOI: [10.1016/S0160-4120\(99\)00008-2](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(99)00008-2)
- Wu, S.M., Shih, M.J. & Ho, Y.C. (2007). Toxicological stress response and cadmium distribution in hybrid tilapia (*Oreochromis* Sp.) upon cadmium exposure. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 145, 218-226. DOI: [10.1016/j.cbpc.2006.12.003](https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2006.12.003).
- Yeşilbudak, B. & Erdem, C. (2014). Cadmium accumulation in gill, liver, kidney and muscle tissues of common carp, *Cyprinus carpio*, and Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92, 546-550. DOI: [10.1007/s00128-014-1228-3](https://doi.org/10.1007/s00128-014-1228-3).