



Alınış tarihi (Received): 02.04.2019  
Kabul tarihi (Accepted): 29.12.2019

## Sucul Organizmalarda Kurşunun (Pb) Biyobirikimi ve Toksisitesi

Figen Esin KAYHAN<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Hidrobiyoloji A.B.Dalı,  
34722 Göztepe, İstanbul

\*Sorumlu yazar: [fekayhan@marmara.edu.tr](mailto:fekayhan@marmara.edu.tr)

**ÖZET:** Endüstriyel gelişim sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan ağır metaller doğal sularda önemli bir çevresel kirlenici grubudur. Ağır metaller sucul ekosistemdeki organizmaları doğrudan veya dolaylı olarak tehdit ederler ve bazen organizmaların toplu ölümlerine neden olurlar. Ayrıca sucul organizmalarda uzun yıllar birikirler ve besin zincirinde üst trofik seviyelere taşınırlar. Ağır metaller organizmaya girdikleri zaman, o organizmanın üreme ve büyüme fonksiyonlarına zarar verirler. Biyolojik rolü olmayan Cd, Pb, Hg ve Sn gibi çok sayıda ağır metal doğal ortamda kalır ve göreceli olarak düşük seviyelerde bile toksik etkiler yapma kapasitesine sahiptir. Kurşun birçok endüstriyel uygulamada dünya çapında kullanılmaktadır ve çevre kirliliği ile ilgili olarak bilinen en toksik metallere biridir. Kurşun elementi, hiçbir sucul organizma için yaşamsal değildir. Dünya çapındaki endüstrileşme devamlı artış gösterdiği sürece kadmiyum, kurşun, civa ve arsenik gibi toksik elementlerin olumsuz etkilerine de ilgi sürecektir. Kurşun bileşenler suda yaşayan hayvanlarda metal toksisitesi gibi tehlikeli çevresel etkilere neden olabilir. Böylece insanlar besin zincirinde kurşun bileşenlere maruz kalabilirler. Kurşun gibi ağır metallerin sucul organizmalara olan çeşitli etkilerini daha iyi anlayabilmek için bu elementin alımı, birikimi, saklanması ve atılması ile ilgili kimyasal, biyolojik ve fizyolojik süreçlerin anlaşılması gerekmektedir. Bu çalışmada, kurşunun sucul organizmalar üzerinde görülebilecek bazı toksik etkiler irdelenmiştir.

**Anahtar kelimeler** - Ağır metaller, kurşun, biyobirikim, sucul organizmalar, oksidatif stres

## Bioaccumulation and Toxicity of Lead (Pb) in Aquatic Organisms

**ABSTRACT:** Heavy metals that occur as a by-product during industrial development are an important group of environmental pollutants in natural waters. Heavy metals threaten the organisms in the aquatic ecosystem, directly or indirectly, and sometimes can cause mass deaths. They also accumulate in aquatic organisms for a long years and are transported to upper trophic levels in the food chain. When a heavy metal enters an aquatic organism, it can damage on reproduction and growth processes of that organism. Heavy metals such as Cd, Pb, Hg and Sn remain in the natural environment and are capable of producing toxic effects even at relatively low levels. Lead is used worldwide in many industrial applications and is one of the most toxic metals known to deal with environmental pollution. Lead is not an essential element for any aquatic organisms. Some heavy metals such as cadmium, lead, mercury or arsenic is an extremely toxic element continuing concern because its environmental levels have risen steadily with continued worldwide industrialization. Lead constituents may cause hazardous environmental effects, such as metal toxicity in aquatic animals. Thus, people can become exposed to lead components through food chain. In order to understand better the various impact of Pb in aquatic organisms, it is important to understand the chemical, biological and physiological processes that control their uptake, accumulation, storage and elimination. In this review, some toxic and hazardous effects of lead on aquatic organisms were investigated.

**Keywords** - Heavy metals, lead, bioaccumulation, aquatic organisms, oxidative stress

### 1. Giriş

Kurşun (Pb) toksisitesi yüksek ancak insanda fizyolojik bir işlevi olmayan bir ağır metaldir. Organizmalar kurşunu hava, su ve besin yolu ile bünyelerine alırlar (Hu ve ark., 2016).

Kurşunun emilimi ve hasarı, bebeklerde ve fetalarda yetişkinlerden çok daha ciddidir. Çevresel izleme projeleri, insan sağlığının değerlendirilmesi ve ekosistemler üzerindeki etkisi konusunda bilimsel bilgi sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır (Gu ve ark., 2018b). Son yıllarda artan endüstriyel faaliyetler sonucunda su ortamları hızla kirlenmiştir. Bentik ve pelajik organizmalar, herhangi bir deniz, göl veya akarsudaki metal kirlenmesini izlemek için kullanılmaktadır. Toksik kirleticiler tarafından kontaminasyona uğrayan sucul ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik karakteri de hızla değişir. Antropojenik ve doğal emisyonlar nedeniyle, toksik ağır metaller ekosistemlerde en fazla bulunan kirletici olarak kabul edilmektedir (Mülayim ve Balkıs, 2015). Elementler, elbette ki su ortamının doğal bileşenleridir, ancak endüstriyel, tarım ve madencilik faaliyetleri nedeniyle seviyeleri oldukça fazla artmıştır (Özden ve Tunçer, 2015; Renieri ve ark., 2019). Ağır metaller, çevresel kirleticilerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ağır metaller; göller, akarsular, körfezler, denizler ve okyanuslarda bile farklı konsantrasyonlarda bulunurlar. Sucul organizmalar ağır metalleri besin yoluyla, solungaç ve vücut yüzeyleri ile alırlar. Bu nedenle yaşadıkları ortamın değişikliklerini yansıtır. Su kolonu ve sediment de sucul ekosistem içindeki besin döngüsü için kirletici depoları ve ilişkili oldukları sucul biota için önemli toksik kirlilik kaynaklarıdır (Topcuoğlu ve ark., 2002; Benson ve ark., 2018). Tüm canlılar özellikle enzimatik faaliyetlerinde bazı metalleri kullanırlar. Yine de organizmalar için toksik birer ajan sayılırlar. Ancak kurşun, kadmiyum veya arsenik gibi bazı ağır metaller doku ve organlarda yaşamsal faaliyetlerde kullanılmazlar. Üstelik bu elementlerin seviyeleri kabul edilebilir değerleri aştığı zaman enzim inhibisyonuna neden olabilirler (Orren ve ark., 1980; Aslan ve ark., 2018; Firth ve ark., 2019). Balık, kabuklu türler ve midyelerde dahil olmak üzere kurşunun neden olduğu hücresel hasarlar, genellikle hücresel antioksidan havuzunu oluşturan temel enzimlerin inhibe edilmesiyle kendini gösterir. Bu nedenle, reaktif oksijen türlerinin antioksidan enzimler tarafından bertaraf edilememesi hücre zarlarının lipid peroksidasyonuna yol açabilir (Pirone ve ark., 2019). Pb, özellikle sinir sistemi ve böbrek sistemleri için daha toksiktir (Söğüt ve Perçin, 2011). Kurşun kontaminasyonu, nükleik asit ve protein oluşumunu, antioksidan enzim aktivitesini ve canlı organizmalarda hücre membran işlevine zarar verir (Chen ve ark., 2019). Sularda bulunan metallerin büyük kısmı su kolonunda partiküllerde ve sedimentte bulunur (Balkıs ve ark., 2009). Bu nedenle filtrasyonla beslenen türler ve bentik türler, pelajik türlere göre daha fazla metali bünyelerinde biriktirirler (Bat ve Oztekin, 2016). Sucul türler metalleri en fazla solungaçları, vücut yüzeyleri ve sindirim yolları ile alırlar. Su ürünlerinin ağır metallerle kirlenmesi halk sağlığı açısından da büyük bir sorundur. besin zinciri yoluyla alınan ağır metaller hayati organlarda birikir. Ağır metallere aşırı derecede maruz kalınması kanserojen etkiye neden olabilir (Sobihah ve ark., 2018). Ülkemizde su ürünleri yönetmeliğine göre su ürünlerinde kabul edilebilir kurşun seviyeleri 1 mg/l'dir (Su Ürünleri Yönetmeliği, 2004).

## 1.2. Sucul organizmalarda kurşunun biyobirikimi

Kurşun, organizmalara besin, deri ve solungaçlar yoluyla alınırken absorpsiyonu kimyasal yapısı ile ilgilidir. Organik kurşun bileşikleri deride hızla penetre olur. Ayrıca, yağda çözünürlüğü yüksek olduğu için sinir dokulara hızla geçmesi söz konusudur. Kana karışan kurşunun % 95'i ise eritrositlerdeki hemoglobine bağlanır. Kurşun sırasıyla; eritrositlerden plazmaya, ekstrasellüler sıvıya, intrasellüler boşluğa ve doku hücrelerine diffüze olur. Pb, eritrositler ile ekstrasellüler sıvı arasındaki su-iyon dengesini bozar ve eritrositlerin su ve potasyum kaybetmesine neden olur. Bu durumda eritrositlerin zar bütünlüğü zarar görür. Pb ayrıca sitoplazmadaki Fe<sup>+2</sup>'nin (Ferro iyonu) mitokondriye girmesini engelleyerek "hem

molekölü” sentezini inhibe eder. Böbrekler ve karaciğer en fazla birikimin görüldüğü organlardır. Kemik dokularda birikime daha meyilli olan kurşunun geri kalan kısmı vücut sıvılarıyla atılır. Kurşun kirliliği, organizmalarda nükleik asit ve protein oluşumunu, enzim aktivitesini ve hücrelerin membran işlevini tahrip edebilir (Chen ve ark., 2019). Kurşun, kadmiyum, civa, bakır ve çinko gibi ağır metaller canlılarda uzun yıllar birikirler (Özbolet ve Tuli, 2016; Plessl ve ark., 2019). Ağır metal birikim düzeylerinin canlıların beslenme rejimleri ile ilgisi olabilmektedir. Su Piresi (*Daphnia magna*) türü ile yapılan bir çalışmada türün beslenme rejimine bağlı olarak Pb biriktirebilme kapasitesi ölçülmüştür. Besin ortamında bolluk olduğu zamanlarda aha hızlı Pb biriktirebildiği, azaldığı zamanlarda ise kademeli bir birikim gösterdiği rapor edilmiştir (Araujo ve ark., 2019). Kurşun, EPA’ya göre canlılarda karsinojen etkiler gösterebilen bir ağır metaldir (EPA-Environmental Protection Agency, 2004). Besin zincirine girdiği zaman insanlar dahil olmak üzere tüm canlılara geçer ve daha çok yumuşak dokularda ve organlarda birikmeye meyillidir (Tüzen, 2009). Kurşunun da diğer ağır metaller gibi sülfüre affinitesi vardır. Kurşun aktivitesini genellikle sülfidril inhibisyonu ile gerçekleştirir. Kurşunun kandan atılması kırk gün sürerken iskelet dokuda biriken kurşunun yarılanma ömrü yaklaşık yirmi yıl sürer.

### 1.3. Kurşunun detoksifikasyon mekanizması

Ağır metaller, çevresel kirleticilerin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Ağır metaller; göller, akarsular, körfezler, denizler ve okyanuslarda bile farklı konsantrasyonlarda bulunurlar. Balıklar ağır metalleri sırasıyla, besin, solungaç ve vücut yüzeyleri ile alırlar. Metalloitiyonein (MT) ağır metal kontaminasyonunda önemli bir biyobelirteçtir. Ağır metaller sucul organizmalarda MT sentezini artırırlar. MT, tiyol grupları içeren ve metalleri bağlayan düşük molekül ağırlığına sahip bir proteindir. Bu sayede bünyeye giren metalleri kendine bağlayarak organik moleküllü bileşikler meydana getirirler ve potansiyel toksisite riskini en aza indirgerler. MT’lerin metal bağlama özelliklerinin saptanması sonrası esansiyel olmayan metallerin hücresel detoksifikasyonundaki önemli rolleri de anlaşılmıştır. Serbest radikaller, biyolojik sistemlerde hastalığa yatkınlık ve hızlı yaşlanmaya neden olurlar. Tüm organizmalarda olduğu gibi balıklarda da oksijen hayati öneme sahiptir. Ancak oksijen toksik formlar olan serbest radikallere dönüşebilmektedir. Serbest radikaller, hücrede mutasyonlara, kansere ve biyolojik yaşlanmaya neden olur (Akbulut ve ark., 2014). Balıklarda ağır metallerin toksik etkilerini azaltma görevi gören Glutatyon (GSH) ve MT gibi metal bağlayıcı proteinlerin sentez yeri karaciğerdir (Kırıcı ve ark., 2017). MT’ler, ağır metaller, pestisitler gibi çevresel kirleticiler ve oksidatif strese neden olan faktörler sebebiyle doku ve hücrelerde indüklenirler. MT’ler bazı balık türlerinden de izole edilmiştir. Ağır metallerle kontamine olmuş sularda balık karaciğerinden elde edilen Cu-MT’lerin seviyeleri temiz sulardaki balıklarla karşılaştırıldığında daha yüksek bulunduğu rapor edilmiştir (Aktay ve Söylemezoğlu, 2001). MT’ler dokularda stres faktörlerine karşı koruyucu bir rol üstlenirler. Özellikle hepatositlerde bulunan Glutatyon’da (GSH) sülfidril içeren majör proteinlerdendir. GSH, hücreleri lipid peroksidasyonun yıkıcı etkilerine karşı korur (Bhattacharjee, 2014). Aynı zamanda ağır metaller, ilaçlar ve çeşitli kimyasalların metabolizmasında önemli rol oynar. Metalloitiyonein ve glutatyon, sistein deposu gibi görev yaparlar. Sisteinin metal bağlama kapasitesi çok yüksektir. Metalloitiyoneinlerin antioksidan etkileri bu nedenle görülür. MT’lerin serbest radikalleri temizledikten sonra tekrar dolaşıma katıldığı, lizozomlarda yıkıma uğradığı, veya metal bağlama kapasitesinin değiştiği ileri sürülmektedir (Kayhan ve ark., 2009). Glutatyon S-transferazlar (GST) indirgeme özelliğine sahiptirler. Bu

nedenle membran bileşenlerini, lipid peroksidasyonunun zararlı etkilerinden korur. Ayrıca lipid peroksidasyonunun aldehit yapıda ürünleri olan 4-hidroksi alkenaller, GSH ile konjuge olurlar. Mikrozomal fraksiyonda bulunan GST'ler de peroksidaz aktivitesiyle lipid peroksitlere karşı koruma sağlar. Doğal koruyucu sistemlerden biri olarak da kabul edilen GST'ler pestisidler, antikanser ilaçlar, kimyasal kanserojenler ve ağır metaller gibi çevresel kirliliklerin detoksifikasyonunda önemli bir role sahiptir. Kurşun, canlılarda fizyolojik fonksiyonların hiçbirinde kullanılmaz. Kurşun, vücuda girdiği zaman kalsiyum (Ca) gibi bivalent katyonların biyolojik yollarını izler. Kurşun bu katyonlarla absorpsiyon ve protein bağlanma yerleri için kompetitif (yarışmalı) bir davranış gösterir. Ca rezervleri azaldığı veya bittiği zaman, hücrelere kurşun girişi artar. Benzer şekilde ortamda kalsiyum azaldığı zaman, kalsiyum bağlayıcı proteine affinitesi olan kurşun derhal onun yerine bağlanır (Kerper ve Hinkle, 1997). Midyeler sucül toksikolojide sıklıkla kullanılan biyoindikatör türlerdir (Taylan ve Böke, 2007). Filtrasyonla beslendikleri için yüksek oranda kadmiyum, kurşun, arsenik, poliklorlu bifeniller ve pestisit kalıntıları vb. gibi toksik maddelere maruz kalırlar. Bu toksik kirleticilerin ortamdaki konsantrasyonlarının artması bu türlerde bazı biyokimyasal ve fizyolojik değişikliklere ve oksidatif strese yol açar. Midyeler; her coğrafyada yaygın bulunan, tuzluluğa toleranslı, habitatlarında baskın olan sesil türlerdir (Firth ve ark., 2019; Özden ve Tunçer, 2015).

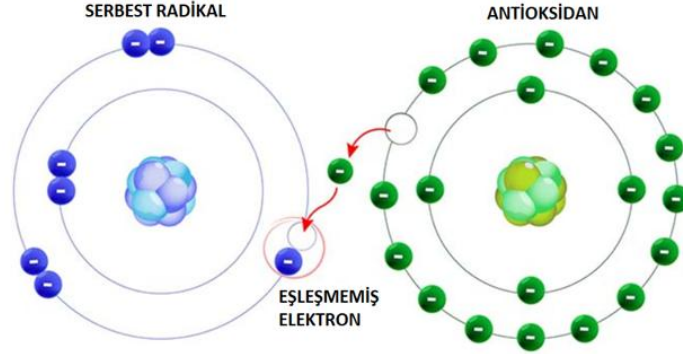
#### **1.4. Sucul sistemde kurşun bileşikleri**

Ağır metaller doğal sularda serbest iyonlar, inorganik veya organik bileşikler ve çeşitli maddelerde absorbe halde bulunurlar. Kadmiyum, civa ve kurşun gibi ağır metaller ise düşük konsantrasyonlarda bile zararlıdır. Ancak demir, magnezyum, bakır gibi bazı ağır metaller enzimlerin ve kofaktörlerin yapısında buldukları için yaşam için gereklidir. Besin zincirinde düşük oranda bulunmaları bile tehlikelidir. Su habitatlarında bulunan kurşun genellikle doğrudan atmosferik yağıştan, tektonik hareketlerden ve tarımsal, kentsel veya endüstriyel atık sulardan kaynaklanabilir (Espejo ve ark., 2019). Kurşun, akut toksisitesi ve yüksek biyobirikim eğilimi nedeniyle çevre için en endişe verici toksik kirleticilerden biridir. Sınırlama çabalarına rağmen kurşun üretimi 1970'li yılların başından 2016'ya kadar iki kattan fazla artmıştır. Sucül türlerin solungaçları, gaz değişimi, osmoregülasyon ve atık maddelerin atılımı gibi birçok önemli fizyolojik fonksiyonda rol oynarlar ve kurşunun esas olarak ilk biriktiği organlardır. Solungaçlarda bulunan klorür hücreleri genellikle iyonları emme yeteneklerinden dolayı ağır metal toksisitesinin hedefidir. 2019 yılında yapılan bir araştırmada deniz balıklarının solungaçlarında kurşunun neden olduğu etkileri araştırılmıştır. Kurşunun akut etkisine maruz kalan balıkların solungaçlarında hem epitel hem de vasküler düzeyde hasar oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu hasarlar epitellerin parçalanması, lamellerde ödem ve apikal uçlarda balonlanma olarak rapor edilmiştir (Macirella ve ark., 2019). Sularda yüksek derişimlerde bulunan Pb balıklarda aşırı mukus üretimine neden olur. Fazla mukus üretimi balıkların solunum sistemine zarar verdiği için anoksik duruma yol açar. Sucül organizmalarda iz metallerin birikim hızları, su sıcaklığı ve ortamdaki besin miktarı ile de ilgilidir. Bu nedenle midyeler yumurtlama sonrası durumdayken, nispi ağır metal konsantrasyonları artar. Ağır metaller genellikle midyelerin somatik hücrelerinde birikirler. Besin azlığı ve yüksek sıcaklıklar daha yüksek metabolik atılım oranlarına neden olurlar. Midyelerin Pb konsantrasyonları, kış dönemlerinde daha fazla arttığı gerçeğinden dolayı atmosferik girdi, otoyollara

yakınlık, yağmurlu aylar sonrası gibi çevresel değişiklikler ile bağlantılıdır (Kurt-Karakus, 2012; Aslan ve ark., 2018; Yabancı ve ark., 2016). Su ortamındaki çevresel kirleticileri izlemede sadece suyun kimyasal analizlerinin yapılması yeterli değildir. Çünkü bu analizler, sucul organizmaların organ ve dokularındaki toksik etkileri göstermeye yetmez. Bu yüzden bazı organizmalar buldukları ortamın kalitesini yansıtabilmelerinden dolayı “biyoindikatör türler” olarak kullanılırlar (Bosch ve ark., 2016). Sucul ortamdaki biyoindikatör türler midyeler gibi omurgasızlar başta olmak üzere tüm balık türleri olabilir. Örneğin; Sanches Filho ve arkadaşları 2017 yılında *Phalloceros caudimaculatus* (Sivrisinek balığı) ile yaptıkları araştırmada Zn, Pb, Cd ve Cr metallerinin biyobirikimi açısından bu türün iyi bir biyoindikatör olup olmayacağını test etmişlerdir. Araştırmacılara göre, özellikle Pb balığın karaciğer ve kan dokularında yüksek biyobirikim oranı gösterdi. Araştırmacılar ağır metallerin izlenmesinde bu türün uygun bir biyoindikatör organizma olduğunu rapor etmişlerdir (Sanches Filho ve ark., 2017). Liu ve arkadaşlarının 2019 yılında yaptıkları araştırmada biyoindikatör türler olarak yedi balık, üç kabuklu, iki karides ve bir yengeç türünü seçilmiştir. Araştırmacılar çalışmalarında Çin’in Kuzey bölgesinde bulunan Laizhou Körfezi’nde Cu, Zn, Pb, Cr, Cd, Fe, Mn ve Ni konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Organizmalardaki ağır metal konsantrasyonları su ortamı ve lokasyonlara bağlı olarak değişiklikler göstermiştir. Sonuç olarak sucul organizmalardaki tüm metallerin ulusal veya uluslararası kabul edilebilirlik sınırları içerisinde bulduklarını rapor etmişlerdir (Liu ve ark., 2019). Balıklar, kaliteli bir protein kaynağıdır ve besin zincirinde önemli bir yeri vardır. Bu nedenle ağır metal seviyelerinin bilinmesi çok önemlidir. Ağır metallerin toksik etkileri, metalin cinsi ve konsantrasyonuna, suyun kimyasal kalitesine, balığın türüne, yaşına ve beslenme şekline bağlıdır (Bat ve Oztekin, 2016). Aynı zamanda metallerin toksisitesi, küçük boyutları ve doymamış kimyasal bağları nedeniyle enzimatik işlemlere müdahale etme kabiliyetleri ve organizmadaki düşük hareketlilikleriyle de ilgilidir (Morcillo ve ark., 2018). Balıklarda karaciğer ve böbrekler çevresel kirleticiler açısından hedef organlardır. Kas doku ağır metal birikiminde fazla aktif değildir. Bunun sebebi kas dokunun, karaciğer ve böbrekler gibi metabolik olarak aktif olmamasıdır. Solungaçlarda ağır metal birikimi eğer mortaliteye sebep olmaz ise zaman içinde konsantrasyonları azalır. Sucul türlerin yumurta ve larvalarının ağır metallere karşı daha hassas oldukları bilinmektedir (Orren ve ark., 1980; Demir ve Akkuş, 2018). Mikroalglerde sucul ekosistemde önemli bir rol oynarlar. Sucul ortamdaki gıda zincirinin bileşenleri olmaları nedeniyle azot ve fosfor döngüsüne temel katılımları için kritik öneme sahip olan türlerdir. Toksik metallerin tatlısu bentik diatomları üzerindeki zararlı etkilerinin araştırıldığı bir makalede *Surirella crumena* türünün kadmiyum ve kurşun maruziyetinden sonra hücre büyümesi, klorofil içeriği SOD (süperoksit dismutaz) aktiviteleri incelenmiştir. Günümüzde diatomlar, kozmopolit yapıları, kısa ömürleri ve antropojenik etkilerle bozulmaları nedeniyle akıntılı ekosistemlerin fiziksel ve kimyasal durumunu göstermek için araştırılmaktadır. Bentik diatomlar, sucul ekosistemlerdeki ana üreticilerden biridir ve böylece su kalitesini değerlendirmek için önemli bir biyoindikatör canlılardır (Mu ve ark., 2018).

### 1.5. Antioksidan enzimler üzerine kurşunun etkileri ve oksidatif stres

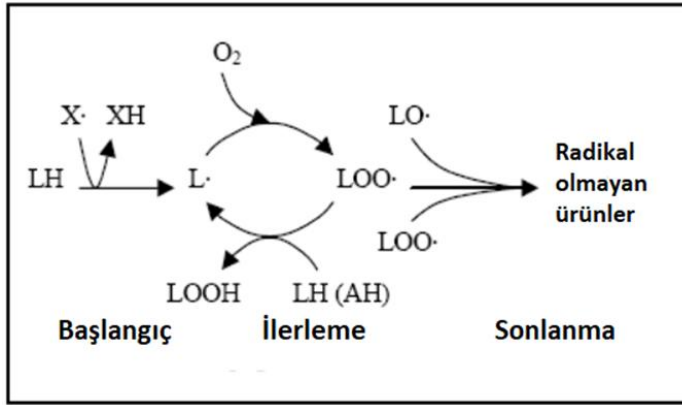
Doku ve organlarda biriken kurşunun toksisitesi, oksidatif strese (OS) neden olur. Ağır metaller aşırı maruziyet sonucu dokularda oksidan-antioksidan dengesi bozulur. Kurşun toksisitesi, organizmalarda kendini iki şekilde gösterir. Bunlar; dokularda reaktif oksijen türlerinin (ROS) oluşması ve dokulardaki antioksidan rezervlerinin boşalması olarak açıklanabilir. Her iki durumda da oksidatif stres oluşur. OS sırasında dokularda serbest radikaller artar ve reaktif ara ürünler dokularda birikir. Serbest radikaller dış atomik yörüngelerinde bir veya daha fazla sayıda çift oluşturmamış elektron bulunduran kararsız bileşiklerdir (Kayhan ve ark., 2009).



**Şekil 1.** Dış atomik yörüngede elektron eşleşmesi. (<https://www.medicalnewstoday.com/articles/318652.php>).

**Figure 1.** Electron match in external atomic orbit. (<https://www.medicalnewstoday.com/articles/318652.php>).

Reaktif Oksijen Bileşikleri (ROS) hücre ve dokuların normal işleyişi ve biyokimyasal reaksiyonları sırasında ortaya çıkan toksik bileşiklerdir. ROS'lar, DNA, protein ve lipid gibi makromolekülleri okside ederek zarar verirler. Bilinen başlıca serbest radikaller; tekli oksijen, süperoksitler, hidroksi peroksi radikalleri ve alkoksi radikalleridir. Ağır metaller ve pestisit kalıntıları gibi çevresel kirleticiler aynı yolla canlı dokularına zarar verirler (Griboff ve ark., 2017; Yorulmaz ve Ay., 2010). Özellikle hücre zarlarında bulunan yağ asitleri oksidasyon reaksiyonlarına çok hassastır. Doymamış yağ asitlerinin oksidasyonu sonucu lipid peroksidasyonu (LPO) zincir reaksiyonları başlar. En önemli lipid peroksidasyon ürünü malondialdehit (MDA)'dir. MDA hücrelerin membranlarında iyon alışverişine etki eder ve bileşiklerin çapraz bağlanmasına neden olur. Bu da iyon geçirgenliği ve enzim aktivitelerinin bozulmasına yol açar. LPO, balıklarda da oksidatif stresin belirlenmesinde kullanılan önemli bir parametredir. Proteinlerin oksidatif strese en duyarlı bölgeleri - sülfidril gruplarıdır. Proteinler, ROS'a karşı lipidlere oranla daha az duyarlıdır ve aminoasit dizilerine bağlı olarak etkilenirler. Canlılarda bulunan antioksidan savunma sistemi, ROS oluşumunu kontrol etmeye ve önlemeye çalışır. Antioksidanlar, ROS'ların sebep olduğu oksidasyonu önler ve serbest radikalleri yakalayarak kararlı bileşikler haline getirmeye çalışırlar (Karabulut ve Gülay, 2016).



**Şekil 2.** Lipid peroksidasyon süreci. (LH: Doymamış lipid, X•: Başlangıç molekülü, L•: Alkil radikali, LO•: Alkoxi radikali, LOO•, Peroksi radikali, LOOH: Hidroperoksit, AH: Antioksidan) (Bhattacharjee, S., 2014).

**Figure 1.** Lipid peroxidation process. (LH: Unsaturated lipid, X•: Initial molecule, L•: Alkil radical, LO•: Alkoxi radical, LOO•, Peroxi radical, LOOH: Hydroperoksit, AH: Antioxidant) (Bhattacharjee, S., 2014).

Antioksidan enzimler, enzimatik ve nonenzimatik olmak üzere ikiye ayrılır. Enzimatik antioksidanlar, serbest radikaller ile reaksiyona girerek bunların zararlı forma girmelerini önlerler. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) enzim sistemleri ROS'ları yok etme yeteneğinde olan enzimlerdir. DNA, lipid ve protein gibi biyolojik moleküllere zarar veren serbest radikallerin aktivitelerini sınırlandırır ve hatta önlerler. GSH-Px enzimi, selenyum (Se) içeren bir enzimdir. Se, GSH-Px'in aktif merkezinde yer alan bir kofaktördür (Mok ve ark., 2015). Enzim, aktivasyonu sırasında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'yi su ve lipid hidrojen peroksitlere detoksifiye eder. Kurşun ise canlılarda selenyum ile yer değiştirir ve enzimin -SH grubuna geri dönüşümsüz olarak bağlanarak GSH-Px'in inaktivasyonuna neden olur. Nonenzimatik antioksidanlar ise C ve E vitaminleri, ürik asit, bilirubin ve bazı polifenollerdir. Bu maddeler serbest oksijen radikallerini yakalamakla ve zincir reaksiyonlarını kırmakla görevlidirler (Özkan-Yılmaz ve ark., 2018). GSH; yapısındaki sistein kalıntısının içerdiği -tiyol grubu aracılığıyla hücre içinde redoks potansiyeli yüksek bir ortam sağlayarak hücreyi oksidatif hasarlara karşı korur. Süperoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve glutatyon peroksidaz (GSH-Px) gibi enzim sistemleri hem ROS'a karşı enzimatik korumayı sağlar hem de protein oksidasyonu ve DNA hasarını önler (Erişir ve ark. 2018; Jan ve ark., 2015; Akay, 2004). Venüs istiridyesi (*Ruditapes philippinarum*), istiridyeye (*Crassostrea madrasensis*) ve oluklu istiridyeye (*Ruditapes decussatus*) gibi bazı bivalve türlerinde triclosan ve Pb maruziyetinden sonra oksidatif stres tepkilerinin gözlemlendiği bir araştırmada, SOD (süperoksit dismutaz) aktivitesinde anlamlı artış belirlemişlerdir. Bu artışın özellikle triklosan ve kurşunun beraberce maruziyetinin, tek tek maruziyetlerinden daha fazla olduğunu rapor etmişlerdir (Pirone ve ark., 2019). Oksidatif stres, serbest radikal üretimi ve antioksidan kapasitesi arasındaki bozulmuş dengenin oksidatif ürün birikimi ile sonuçlanması olarak tanımlanabilir (Wook ve ark., 2019). Meydana gelen ROS'lar lipid peroksidasyona ve membran hasarının gelişmesine yol açar. Antioksidan savunma sisteminin görevi canlılarda ROS'un zararlı etkilerinden vücudu korumak ve dengeyi tekrar sağlamaktır. İlkbaharda su sıcaklığının artması balıklar için oksidatif stresin artan sıcaklıklar ile gerçekleştiğini ve termal stres ile oksidatif stres arasında bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Rodney ve ark., 2016; McEneff ve ark., 2017). Farklı araştırmacılar tarafından çeşitli sucül türler üzerinde kurşun konsantrasyonlarının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar Tablo.1'de toplanmıştır.

Tablo 1. Farklı araştırmalarda çeşitli sucul organizmalarda bulunan kurşun (Pb) konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Table 1. Comparison of Pb (lead) levels in various aquatic organisms from different studies.

Ülke/Bölge	Alan	Sucul Tür	Pb düzeyleri (ppm)	Kaynak/Yıl
Avrupa	Akdeniz	<i>Sparus aurata</i>	5.54	Canlı ve Atlı (2003)
Mısır	Nil Nehri	<i>Bagrus docmak</i>	0.65	Castro-Gonzales (2008)
İspanya	Huelva Haliçi	<i>Sparus aurata</i>	0.32	Vicente Marto (2009)
Güney Çin Denizi	Daya Körfezi	<i>Trachinotus carolinus</i>	3,8	Qui ve ark., (2011)
		<i>Lutjanus argentimaculatus</i>	2,2	
Türkiye	Karadeniz	<i>Rapana venosa</i>	<0.05	Topçuoğlu ve ark., (2002)
Türkiye	Karadeniz	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	<0.05	Topçuoğlu ve ark., (2002)
Türkiye	Karadeniz	<i>Engraulis encrasicolus</i>	<0.05	Topçuoğlu ve ark., (2002)
Türkiye	Karadeniz	<i>Dicentrarchus labrax</i>	<0.05	Topçuoğlu ve ark., (2002)
Türkiye	Tuzla, İstanbul	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	9.00	Kayhan ve ark., (2016)
Türkiye	Gemlik, Bursa	<i>Solea vulgaris</i>	9.48	Kayhan ve ark., (2017)
		<i>Belone belone</i>	9.48	
		<i>Sardinella maderensis</i>	7.07	
Türkiye	Pendik, İstanbul	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	6.64	Güner ve ark., (2016)
Türkiye	İstanbul Boğazı	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	6.90	Kayhan ve ark., (2007)
Türkiye	Antalya Körfezi	<i>Thunnus thynnus (kas doku)</i>	1.18	Kayhan ve ark., (2010)
		<i>Thunnus thynnus (karaciğer)</i>	1.10	
Türkiye	Marmara denizi	<i>Sparus aurata</i>	4.49	Türkmen ve ark., (2008)
Türkiye	Karadeniz, Rize	<i>Engraulis encrasicolus</i>	0.02	Baltaş ve ark., (2017)
Meksika	Sinaloa lagünü	<i>Mytella charruana</i>	0.26	Astorga-Rodriguez ve ark., (2018)
		<i>Mugil curema</i>	0.013	
İtalya	Roma	<i>Ruditapes decussatus</i>	48	Pastorelli ve ark., 2012
		<i>Mullus barbatus</i>	49	
		<i>Dicentrarchus labrax</i>	43	
		<i>Sparus aurata</i>	60	
		<i>Merluccius merluccius</i>	22	
		<i>Thunnus thynnus</i>	53	
İspanya	Andalusia kıyıları	<i>Solea vulgaris</i>	0.52	Olmedo ve ark., (2013)
		<i>Sepia officinalis</i>	1.17	
		<i>Scomber scombrus</i>	0.40	
		<i>Lepidorhombus boscii</i>	0.40	

Sucul organizmaların kirletici maddelere maruz kalmasının ROS oluşumunu arttırabileceği, bu durumun antioksidan savunmada dengesizliğe neden olabileceği, oksidatif stresi arttıracağı ve LPO üretebileceği bilinmektedir (Gonzalez-Fernandez ve ark., 2015; Jitar ve ark., 2015). Rodney ve ark. (2016) bir gastropod türü olan *Bembicium nanum*'da bazı ağır metallerin konsantrasyonunu araştırmışlardır. Antropojenik ve endüstriyel kirliliğin izlerini takip etmede etkin bir biyoindikatör organizma olan *B. nanum*'da antioksidan kapasiteyi de incelemişlerdir. Bakır, kadmiyum ve kurşun gibi bazı ağır metallerin konsantrasyonunu yüksek bulduklarını rapor etmişlerdir (Rodney ve ark., 2016). Ağır metal kirliliğinde oksidatif stresi etkileyen faktörler arasında besin miktarı, sıcaklık ve tuzluluk olduğu belirtilmiştir (Wang ve ark., 2018b). Bu nedenle yaş, kondüsyon veya üreme zamanı gibi intrensik faktörlere de odaklanılması gerekir (Gonzalez-Fernandez ve ark., 2015; Birnie-Gauvin ve ark., 2017).



### 1.5. Pb maruziyeti ve sucul organizmalarda toksik etkileri

Sularda ağır metal seviyeleri araştırmaları tüm dnyada sıklıkla yapılan çevre kirliliği araştırmaları arasındadır. Clark ve ark., 2014 yılında Saldahha körfezinde *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerle yaptıkları bir çalışmada midyeleri ağır metaller açısından besin olarak güvenli su ürünleri olduğunu rapor etmişlerdir (Clark ve ark., 2014). Su ürünleri faaliyetlerinin ve üretiminin kaliteli ve sürdürülebilir şekilde artması isteniyorsa deniz kirliliğinin çok yönlü olarak sürekli izlenmesi gerekir (Sunlu, 2006; Liu ve ark., 2019). Zhelyazkov ve arkadaşlarının 2018 yılında Karadeniz’de (Bulgaristan kıyıları) *Rapana venosa* (Deniz salyangozu) ve *Mytilus galloprovincialis* (Akdeniz midyesi) türlerindeki ağır metal seviyelerini araştırdıkları çalışmalarında kurşun değerlerinin kabul edilebilir sınırlarda olduğunu rapor etmişlerdir. Varol ve Sünbül (2017) Fırat nehrinden avladıkları çeşitli bivalve, kabuklu ve balık türlerinin kas ve solungaçlarında bazı ağır metallerin düzeylerini araştırmışlar ve kurşun seviyelerinin EC (2006) kriterlerine göre kabul edilebilir değerler arasında olduğunu belirtmişlerdir (Varol ve Sünbül, 2017; EC, 2006). Renieri ve arkadaşları (2019), Ege Denizi ve Girit Denizi’nde toplam 101 levrek (*Dicentrarchus labrax*) ve çipura (*Sparus aurata*) türlerinde bazı ağır metallerin seviyelerini araştırmışlardır. Çalışmalarında her iki türün balık kas dokusunda tespit edilen ağır metal seviyelerinin gıda olarak tüketimi açısından güvenli sınırların altında olduğunu rapor etmişlerdir (Renieri ve ark., 2019). Buna karşın Fazio ve arkadaşları 2014 yılında İtalya’da Faro ve Ganzirri göllerinde suda ve sedimentte ölçülen yüksek miktardaki kurşunun kefal (*Mugil cephalus*) türü balıkların kas dokusunda da yüksek seviyelerde bulunduğunu rapor etmişlerdir (Fazio ve ark., 2014). Galimberti ve arkadaşları (2016) 94 adet predatör balık, 66 adet predatör olmayan balık, 36 mollusk ve 55 krustase olmak üzere toplam 251 sucul canlıda ağır metal analizleri yapmışlardır. Civa, kadmiyum ve kurşun konsantrasyonlarının ölçüldüğü araştırmada sadece iki kılıç balığı (*Xiphias gladius*) örneğinde civa değerlerinin yüksek, diğer tüm örneklerde EC (2004) normlarına uygun konsantrasyonlar bulduklarını rapor etmişlerdir (Galimberti ve ark., 2016). Pb maruziyeti suda yaşayan organizmaların hücre membranlarına zarar verebilir ve enzimlerin aktivitesini inhibe edebilir. 2018 yılında yapılan bir araştırmada kumlu-çamurlu zeminde yaşayan ve filtrasyon yoluyla beslenen Deniz tarağı (*Ruditapes philippinarum*) örneklerinin sindirim bezi ve solungaçlarındaki Pb alım seviyeleri belirlenmiştir. Pb konsantrasyonlarının (10 ve 100 µg/L), akut maruziyetten sonra deniz tarağlarında hücresel hasara yol açtığı bildirilmiştir. 7 ve 14 günlük kronik Pb maruziyetinden sonra antioksidan savunma sistemleri oksidatif strese karşı aktif hale geldiği belirlenmiştir. *R. philippinarum* türü ekotoksikolojik biyoizleme çalışmalarında sıklıkla kullanılan, ekonomik değeri yüksek olan bir türdür. Solungaçların, sindirim bezinden daha fazla Pb biriktirdiği rapor edilmiştir. Organlar arasındaki Pb alım oranındaki farkın, metabolik aktivite farklılıklarından ve dokuların özelliklerine göre farklı davranış gösteren granüllerin dağılımından kaynaklanabileceği rapor edilmiştir (Aouini ve ark., 2018). Ülkemizde Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı, Su Ürünleri Yönetmeliği (2004) ve tebliğine göre su ürünlerinde kabul edilen en yüksek değer kurşun için 1,0 mg/l’dir. Yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda bakır uygulanan *Unio terminalis*’te bakır birikim düzeylerinin kontrol grubuna oranla önemli düzeyde artış gösterdiği rapor edilmiştir (Ay ve ark. 2014). Çanakkale Kepez kıyılarında 11 ağır metalin (Al, As, Cd, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Pb, Ni ve Zn) konsantrasyonlarını araştırmak amacıyla Akdeniz Midyesi’nin (*Mytilus galloprovincialis*) solungaç, hepatopankreas ve kas dokularında süperoksit dismutaz, katalaz, malondialdehit ve total protein düzeylerindeki değişimler incelemiştir. Midye örneklerinde bulunan değerler Avrupa Komisyonu (2006) tarafından kabul edilen değerlerin üstünde olduğu rapor edilmiştir. Çalışmada aynı zamanda mevsimlere bağlı enzim aktivitelerinde değişim

olduğu tespit edilmiştir (Akkuş ve ark. 2016; EC, 2006). *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerle yapılan bir ağır metal izlemesi çalışmasında Bartın ve İnebolu limanlarından örnekler toplanmıştır. Araştırmacılar özellikle Bartın limanı ve çevresi kıyılardan toplanan örneklerde kurşun konsantrasyonlarının yüksek olduğunu rapor etmişlerdir (Gökkuş, 2015). Marmara Denizi'nden avlanan *Chamelea gallina* türü beyaz kum midyelerinde bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını araştıran Çolakoğlu ve ark. (2010) kurşun oranlarını kabul edilebilir değerlerin üzerinde tespit etmişlerdir (Çolakoğlu ve ark., 2010). Mülayim ve Balkıs 2015 yılında yaptıkları bir araştırmada Karadeniz'de *Rapana venosa* (Deniz salyangozu) ve *Eriphia verrucosa* (Pavurya) sucul türlerinin dokularında Hg, Cr, Cd ve Pb birikimini incelemişlerdir. Kurşun birikiminin her istasyonda limite çok yakın olduğunu ve bir istasyonda limiti aştığını rapor etmişlerdir (Mülayim ve Balkıs, 2015). Türk Çulha ve arkadaşlarının 2011 yılında yaptıkları biyoizleme çalışmalarında *Mytilus galloprovincialis* türü Akdeniz midyelerinde kurşun değerlerini yüksek bulduklarını rapor etmişlerdir (Türk Çulha ve ark., 2011). Kaliteli protein arayışındaki toplumlar için sucul ortamlar ve sucul organizmalar vazgeçilmez bir gıda deposudur. Su ortamındaki çevresel kirleticileri izlemede sadece suyun kimyasal analizlerinin yapılması yeterli değildir. Çünkü bu analizler sucul organizmaların üzerindeki toksik etkileri göstermeye yetmez. Hızla endüstrileşen dünyamızda yaşam kalitemizi ve sağlıklı beslenme kaynaklarımızı korumak ve gelecek yıllara taşımak tüm toplumların görevidir.

### 1.7 Sucul Ortamda Kurşun Kirliliği ile ilgili Ülkemizde Yapılan Bazı Araştırmalar

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çeşitli sucul organizmalarda, deniz, göl, akarsu gibi su çevresinde, ayrıca su ve sedimente ağır metal birikimi hakkında pek çok değerli araştırma mevcuttur. Baltaş ve arkadaşları tarafından Karadeniz'de (Rize) yapılan bir araştırmada sediment ve hamsi balığında (*Engraulis encrasicolus*) Pb, Cd, Zn, Cu ve Ni konsantrasyonlarının Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından verilen sınır değerlerden düşük olduğunu belirlemişlerdir (Baltaş ve ark., 2017). Varol ve Sünbül (2017) Fırat Nehri'ndeki bazı midye, kerevit ve balık türlerinde bazı ağır metallerin seviyelerini araştırmışlardır. Midyelerde yüksek Pb seviyeleri bulunmakla birlikte genellikle ağır metal seviyelerinin gıda kodeksine uygun değerler aralığında bulunduğunu ve tüketilmesinde herhangi bir sakıncanın olmadığını rapor etmişlerdir (Varol ve Sünbül, 2017). Türkmen ve arkadaşları, Marmara Denizi, Ege Denizi ve Akdeniz'den avlanan balık türlerinin karaciğer ve kas dokularındaki bazı ağır metallerin seviyelerini araştırmışlardır. Araştırmaya göre tüm metallerin konsantrasyonları karaciğerde, kas dokuya göre daha yüksek bulunmuştur. Bazı istasyonlarda ise izin verilen değerlerin çok üzerinde ve insan tüketimine uygun olmayan ölçülerde kurşun konsantrasyonları bulduklarını rapor etmişlerdir (Türkmen ve ark., 2008). İstanbul, Tuzla Limanı'nda yapılan bir araştırmada *Mytilus galloprovincialis* türü midyelerde yüksek seviyede kurşun kirlenmesine rastlanmıştır. Endüstriyel açıdan yoğun iş kollarının ve gemi trafiği nedeniyle kirlenen bölgede tüm midye örneklerinde yüksek kurşun seviyelerinin belirlendiği rapor edilmiştir (Kayhan ve ark., 2016). Uysal ve arkadaşının (2008) yapmış oldukları çalışmada Beymelek Lagünü'nden (Antalya) yakaladıkları bazı ekonomik balık türlerinin (*Chelon labrasus*, *Mugil cephalus*, *Sparus aurata*, *Liza ramada*) kas, deri ve solungaç dokularındaki Cr, Cu, Fe, Mn ve Zn ağır metallerinin birikim düzeyleri araştırılmıştır. Araştırmaya göre, yakalanan balık türlerinin kas ve solungaç dokularındaki ağır metal birikimi insan sağlığını tehdit edecek düzeyde olmadığını rapor etmişlerdir (Uysal ve ark., 2008). Topçuoğlu ve arkadaşları (2002) yaptıkları bir araştırmada, Karadeniz kıyılarından farklı sucul türleri toplamışlardır. Toplanan türler arasında olan deniz salyangozu, midye, balık ve sediment örneklerinin ağır metal konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, Türk Karadeniz kıyılarının

önemli ölçüde ağır metal kirliliği ile karşı karşıya olduğunu rapor etmişlerdir (Topçuoğlu ve ark., 2002). Gemlik Körfezi'nde yapılan bir çalışmada ekonomik öneme sahip balık türlerinde kadmiyum ve kurşun ağır metallerinin konsantrasyonları araştırılmıştır. Aylık olarak körfezden toplanan balıkların AAS ile analizleri sonucunda balıklarda belirlenen Pb içeriğinin Türk Gıda Kodeksi limitlerinin çok üzerinde olduğu rapor edilmiştir (Kayhan ve ark., 2017). Tüzen (2003) Orta Karadeniz bölgesinde yakalanan balık örneklerindeki (*T. trachurus*, *E. encrasicholus*, *S. sarda*, *A. caspia*, *C. sprattus*) bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını belirlemeye yönelik bir araştırma yapmıştır. Kurşun açısından ağır metal düzeylerini izin verilen değerler arasında olduğunu belirtmiştir (Tüzen, 2003). İstanbul, Pendik ilçesi kıyılarından toplanan midye (*Mytilus galloprovincialis*) türlerinde Pb konsantrasyonları AAS ile belirlenmiştir. Çalışmaya göre midye türlerinin kurşun konsantrasyonları kabul edilebilir değerlerin üzerinde bulunmuştur (Güner ve ark., 2016). Marmara Denizi, İstanbul Boğazı'nda yapılan bir çalışmada *Mytilus galloprovincialis* türü kara midyelerde kurşun ve kadmiyum seviyeleri incelenmiştir. İstanbul Boğazı'nda altı istasyondan alınan midye örneklerinde kurşun konsantrasyonları kabul edilebilir değerlerin çok üzerinde bulunmuştur (Kayhan ve ark., 2007). Akgün ve arkadaşlarının (2007) yapmış oldukları çalışmada Sakarya Nehri Çeltik Çayında yaşayan *Leuciscus cephalus* balığının kas, karaciğer ve solungaç dokularındaki Zn, Cd, Pb ve Cu'nun ağır metallerinin birikim düzeyleri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre *L.cephalus* balığının dokularındaki Zn, Cd ve Pb düzeylerinin kabul edilebilir limit değerlerin üstünde, Cu'nun ise kabul edilebilir limit değerlerin altında olduğu tespit edilmiştir (Akgün ve ark., 2012). Bat ve arkadaşları (2012) yapmış oldukları çalışmada Karadeniz'in Sinop kıyılarından yakalanan bazı balık örneklerinde bazı ağır metallerin konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda ağır metal düzeyleri µg/g olarak (yaş ağırlık) *Trachurus mediterraneus*'da Pb: 0.17, *Mullus surmelutus*'da Pb: 0.05, *Sprattus sprattus*'da Pb: 0.24, *Mugil cephalus*'da Pb: 0.09 µg/g olarak tespit edilmiştir. Türk Gıda Kodeksi Tebliği, Avrupa Birliği Komisyon Tüzüğüne belirlenen gıda maddelerindeki kontaminantların kabul edilebilir düzeylerde olduğu rapor edilmiştir (Bat ve ark., 2012). Antalya Körfezi'nde 2010 yılında yapılan bir çalışmada mavi yüzgeçli orkinosların (*Thunnus thynnus*) karaciğer ve kas dokularında kurşun seviyeleri incelenmiştir. Bütün dokulardaki Pb konsantrasyonları Türk Gıda Kodeksi ve E.C. kriterlerine göre kabul edilebilir değerler içinde olduğu rapor edilmiştir (Kayhan ve ark., 2010). Sucul organizma doku ve organları üzerinde ağır metal birikiminin saptanması kadar sucul ortamda su kolonu ve sediment gibi ortamlarda da kurşun gibi ağır metallerin araştırılması çok önemlidir. Balkıs ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada İstanbul Boğazı'nda hem Avrupa yakasında hem de Anadolu yakasında sedimentte bazı ağır metallerin seviyelerini belirlemişlerdir. Kadmiyum ve kurşun ağır metalleri, civaya oranla daha yüksek oranda bulunmuştur (Balkıs ve ark., 2012). Türkiye'de konserve olarak satılan ve tüketilen ton balığındaki ağır metal seviyelerinin belirlendiği bir çalışmaya göre, bazı örneklerin sağlık otoriteleri tarafından belirlenen yasal sınırların üzerinde demir, kurşun ve cıva içerebileceği belirlenmiştir. Konserve ton balığı içerisindeki eser metallerin tüketici sağlığı açısından kapsamlı ve periyodik olarak izlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır (Mol, 2011).

## 2. Kaynaklar

- Akay, C., 2004. Biyomarkörlerin toksikolojide kullanımı. *Gülhane Tıp Dergisi*. 46(1):73-83.
- Akbulut, C., Kaymak, G., Esmer, H.E., Yön, N.D., Kayhan, F.E. 2014. Balıklarda ağır metal ve pestisitler tarafından indüklenen oksidatif stres mekanizmaları. *Ege J Fish Sci*. 31(3):155-160.
- Aktay, G., ve Söylemezoğlu, T., 2001. Metalotiyoneinlerin toksikolojik önemi. *FABAD Journal of Pharmaceutical Sciences*. 26:197-203.

- Aouini, F., Trombini, C., Volland, M., Elcafsi, M., Blasco, L. 2018. Assessing lead toxicity in the clam *Ruditapes philippinarum*: Bioaccumulation and biological responses. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 158:193-2003. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.04.033>
- Araujo, G.S., Pavlaki, M.D., Soares, A.M.V.M., Abessa, D.M.S., Loureiro, S. 2019. Bioaccumulation and morphological traits in a multigeneration test two *Daphnia* species exposed to lead. *Chemosphere*. 219:636-644. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.12.049>
- Aslan, E, Görgün, A.U., Katalay, S., Filizok, I., Becerik, S., and Aydemir, T., 2018. An investigation of the seasonal variations of the biomarkers of oxidative stress and their correlations to Polonium-210 in mussel (*Mytilus galloprovincialis*) and common sole (*Solea solea*) from Izmir Bay, Turkey. *Journals of Environmental Biology*. 189:103-108. DOI:10.1016/j.jenvrad.2018.03.018
- Astorga-Rodriguez, J.E., Martinez-Rodriguez, I.E., Garcia de la Parra, L.M., Betancourt-Lozano, M., Venegas-Perez, R.C., Ponce de Leon-Hill, C.A., Ruelas-Inzunza, J. 2018. Lead and cadmium levels in mussels and fishes from three coastal ecosystems of NW Mexico and its potential risk due to fish and seafood consumption. *Toxicol. Environ. Health. Sci.* 10(3):203-211. DOI 10.1007/s13530-018-0365-1
- Ay, Ö., Korkmaz C. ve Ak, M.H., 2014. Tatlısu Midyesi *Unio terminalis*'te Bakırın 96 Saatlik LC50 Değeri İle Birikim Düzeylerinin Belirlenmesi. *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*. 10:2, 29-34. <http://edergi.sdu.edu.tr/index.php/esufd/>
- Balkis, N., Aktan, Y., Balkis, N. 2012. Toxic metal (Pb, Cd and Hg) levels in the nearshore surface sediments from the European and Anatolian shores of Bosphorus, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. 64:1938-1939. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.04.012
- Balkis, N., Aksu, A., Okuş, E., Apak, R. 2009. Heavy metal concentrations in water, suspended mater, and sediment from Gökova Bay, Turkey. *Environmental Monitoring Assessment*. DOI 10.1007/s10661-009-1055-x
- Baltaş, H., Kiriş, E., Şirin, M. 2017. Determination of radioactivity and heavy metals concentrations in seawater, sediment and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) from the Black Sea in Rize, Turkey. *Marine Pollution Bulletin*. 116:528-533. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.01.016
- Bat, L., and Oztekin, H.C., 2016. Heavy metals in *Mytilus galloprovincialis*, *Rapana venosa* and *Eriphia verrucosa* from the Black Sea coasts of Turkey as bioindicators of pollution. *Walailak Journal of Science and Technology*. 13: 715–728. ISSN: 2228-835X
- Benson, N.U., Adedapo, A.E, Fred-Ahmadu, O.H., Williams A.B., Udosen, E.D. Ayejuyo, O.O., Olajire, A.A. 2018. New ecological risk indices for evaluating heavy metals contamination in aquatic sediment: A case study of the Gulf of Guinea. *Regional Studies in Marine Science*. 18:44-56. <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2018.01.004>
- Bhattacharjee, S., 2014. Membrane lipid peroxidation and its conflict of interest: the two faces of oxidative stress. *Current Science*. 107(11):1811-1823. DOI:10.18520/cs/v107/i11/1811-1823
- Birnie-Gauvin, K., Costantini, D., Cooke, S.J., Willmore, W.G., 2017. A comparative and evolutionary approach to oxidative stress in fish: A review. *Wiley Fish and Fisheries*. 10:1-15. <https://doi.org/10.1111/faf.12215>
- Bosch, A.C., O'Neill, B., Sigge, G.O., Kerwath, S.E., and Hoffman, L.C., 2016. Heavy metals in marine fish meat and consumer health: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 96:32-48. DOI:10.1002/jsfa.7360
- Chen, M., Ding, S., Lin, J., Fu, Z., Tang, W., Fan, X., Gong, M., Wang, Y. 2019. Seasonal changes of lead mobility in sediments in algae and macrophyte dominated zones of the lake. *Science of the Total Environment*. 660:484-492. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.010>
- Clark, B.M., Laird, M., Hutchings, K., Liebau, V., Biccard, A., Turpie, J. and Parker-Mallick, N., 2014. The state of Saldanha Bay and Langebaan Lagoon 2013/2014. Technical Report. Report no. 1581/1 Prepared by Anchor Environmental Consultants for the Saldanha Bay Water Quality Trust.
- Çolakoğlu, F.A, Ormançı, H.B., Kunili, İ.E., and Çolakoğlu, S., 2010. Chemical and Microbiological Quality of the *Chamelea gallina* from the Southern Coast of the Marmara Sea in Turkey. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi-A*. 16: 153-158. DOI : 10.9775/kvfd.2010.2654
- Demir, N., ve Akkuş, G., 2018. Çanakkale Boğazı (Kepez) Midye (*Mytilus galloprovincialis* L. 1819) örneklerinde ağır metal (Cd, Cu, Pb, Fe, Zn) ve temel antioksidan enzim düzeylerinin mevsimsel değişimi. *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 5(4):659-666. DOI: 10.30910/turkjans.471502
- EPA (Environmental Protection Agency), 2004. Update: National listing of fish and wildlife consumption advisories. Cincinnati, Ohio, US Environmental Protection Agency, available at [vysiwyg//104/http://www.epa.gov/ost/fish/advisories/general.html](https://www.epa.gov/ost/fish/advisories/general.html)
- Erişir, M., Benzer, F., Özkaya, A., ve Dağ, Ü., 2018. Kurşun uygulanan ratların bazı dokularında (kalp, akciğer, beyin, dalak, kas) oksidatif stres üzerine naringenin etkisi. *Atatürk Üniversitesi Veteriner Bilimleri Dergisi*. 13(1):34-41. DOI:10.17094/ataunivbd.417125

- Espejo, W., Padilha, J.A., Gonçalves, R.A., Dorneles, P.R., Barra, R., Oliveira, D., Malm, O., Chiang, G., Celis, J.E. 2019. Accumulation and potential sources of lead in marine organisms from coastal ecosystems of the Chilean Patagonia and Antarctic Peninsula area. *Marine Pollution Bulletin*. 140:60-64. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.026>
- Fazio, F., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Panzera, M., and Faggio, C. 2013. Haematological and serum protein profiles of *Mugil cephalus*, effect of two different habitat. *Ichthyological Research*. 60:36-42. DOI 10.1007/s10228-012-0303-1
- Firth, D.C., Salie, K., O'Neill, B., and Hoffman, L.C. 2019. Monitoring of trace metal accumulation in two South African farmed mussel species, *Mytilus galloprovincialis* and *Choromytilus meridionalis*. *Marine Pollution Bulletin*. 14:529-534. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.03.007
- Galimberti, C., Corti, I, Cressoni, M., Moretti, V.M., Menotta, S., Galli, U., and Cambiaghi, D. 2016. Evaluation of mercury, cadmium and lead levels in fish and fishery products imported by air in North Italy from extra-European Union Countries. *Food Control*. 60:329-337. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.009>
- Gonzalez-Fernandez, C., Albensota, M., Campillo, J.A., Vinas, L., Fumega, J., Franco, A., Besada, V., Gonzalez-Quijano, A., and Bellas, J., 2015. Influence of mussel biological variability on pollution biomarkers. *Environmental Research*. 137:14-31. DOI:10.1016/j.envres.2014.11.015
- Gökkuş, K. 2015. İnebolu ve Bartın Limanlarındaki Ağır Metal Kirliliği Boyutlarının Belirlenmesi. Doktora tezi. Çanakkale 18 Mart Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü. Temel Bilimler Ana Bilim Dalı. Sayfa: 127, Çanakkale-Türkiye (in Turkish).
- Griboff, J., Wunderlin, D.A., and Monferran, M.V., 2017. Metals, As and Se determination by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) in edible fish collected from three eutrophic reservoirs. Their consumption represents a risk for human health? *Microchemical Journal*. 130:236-244. <http://dx.doi.org/10.1016/m.j.microc.2016.09.013>
- Gu, Y.G., Huang, H.H., Liu, Y., Gong, X.Y., Liao, X.L., 2018b. Non-metric multidimensional scaling and human risks of heavy metal concentrations in wild marine organisms from the Maowei Sea, the Beibu Gulf, South China Sea. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 59, 119-124. PMID:29571006
- Güner, Y., Kayhan, F.E., Balkıs, N., Aksu, A., Kaymak, G. 2016. Cd and Pb levels in the soft tissue of Black mussel (*Mytilus galloprovincialis*) collected from Marmara Sea, Pendik District area, Istanbul, Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*. 48(2):605-607.
- Hu, S., Su, Z., Jiang, J., Huang, W., Liang, X., Hu, J., Chen, M., Cai, W., Wang, J., Zhang, X. 2016. Lead, cadmium pollution of seafood and human health risk assessment in the coastline of the southern China. *Stoch. Env. Res. Risk A*. 30, 1379-1386. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1139-9>.
- Jan, A.T., Azam, M., Siddiqui, K., Ali, A., Choi, I., and Haq, Q.M.R., 2015. Heavy metals and human health: Mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. *International Journal of Molecular Sciences*. 16: 29592-29630. <https://doi.org/10.3390/ijms161226183>
- Jitar, O., Teodosiu, C., Oros, A., Plavan, G., and Nicoara, M., 2015. Bioaccumulation of heavy metals in marine organisms from the Romanian sector of the Black Sea. *New Biotechnology*. 32:369-378. doi: 10.1016/j.nbt.2014.11.004
- Karabulut, H., ve Gülay, M.Ş., 2016. Antioksidanlar. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi. 1(1):65-76. <https://doi.org/10.24880/maeuvsfd.260790>
- Kayhan, F.E., Gülsoy, N., Balkıs, N., Yüce, R. 2007. Cadmium (Cd) and lead (Pb) levels of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) from Bosphorus, Istanbul, Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10(6):915-919.
- Kayhan, F.E., Muşlu, M.N., ve Yön, N.D., 2009. Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences*. 3(2):153-162. DOI: 10.3153/jfscom.2009019
- Kayhan, F.E., Muşlu, M.N., Koç, N.D. 2009. Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences*. 3(2):153-162.
- Kayhan, F.E., Muşlu, M.N., Çolak, S., Koç, N.D., Çolak, A. 2010. Antalya Körfezi'nde yetiştiriciliği yapılan mavi yüzgeçli orkinosların (*Thunnus thynnus*) karaciğer ve kas dokusunda kurşun (Pb) düzeyleri. *Ekoloji*. 19(76):65-70. doi 10.5053/ekoloji.2010.767
- Kayhan, F.E., Balkıs, N., Aksu, A., Yön Ertuğ, N.D., Sesal, C. 2016. Trace metal concentration and sea water quality of Tuzla Shipyard area, Istanbul, Turkey using Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) for monitoring aquatic pollution. *Pakistan Journal of Zoology*. 48(2):597-600.
- Kayhan, F.E., Büyükurgancı, N., Kaymak, G. 2017. Accumulation of cadmium and lead in commercially important fish species in the Gulf of Gemlik, Marmara Sea, Turkey. *Turkish Journal of Aquatic Sciences*. 32(4):178-183.

- Kırıcı, M., Atamanalp, M., Kırıcı, M., Beydemir, Ş. 2017. In vitro effects of some metal ions on glutathione reductase in the gills and liver of Capoeta trutta. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 18:1-5. DOI:<https://doi.org/10.15421/021712>
- Kurt-Karakus, P.B., 2012. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: Estimation of the health risk. *Environ. Int.* 50, 47–55. DOI: 10.1016/j.envint.2012.09.011
- Liu, H., Liu, G., Yuan, Z., Wang, S., Liu, Y., Da, C., 2019. Occurrence, potential health risk of heavy metals in aquatic organisms from Laizhou Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*. 140:388-394. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.01.067>
- Macirella, R., Sesti, S., Bernabo, I., Tripepi, M., Godbert, N., Brunelli, E., 2019. Lead toxicity in seawater teleosts: A morphological and ultrastructural study on the gills of the Ornate wrasse (*Thalassoma pavo* L.). *Aquatic Toxicology*. 211:193-201. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2019.04.009>
- McEneff, G., Quinn, B., Bennion, M., Dolan, S., O'Rourke, K., and Morrison, L., 2017. Bioaccumulation of metals in juvenile rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) via dietary exposure to blue mussels. *Chemosphere*. 188:548-556. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.08.141
- Mok, J.S., Kwon, J.Y., Son, K.T., Choi, W.S., Kim, P.H., Lee, T.S., and Kim, J.H., 2015. Distribution of heavy metals in internal organs and tissues of Korean molluscan shellfish and potential risk to human health. *Journal of Environmental Biology*. 36:1161–1167. PMID: 26521561
- Mol, S. 2011. Levels of selected trace metals in canned tuna fish produced in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*. 24:60-69. DOI:10.1016/j.jfca.2010.04.009
- Morcillo, P., Esteban, M.A., and Cuesta, A., 2018. Metal detoxification in the marine teleost fish *Sparus aurata* L. and *Dicentrarchus labrax* L. *Marine Pollution Bulletin*. 133:385-340. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.043>
- Mu, W., Chen, Y., Liu, Y., Pan, X., Fan, Y. 2018. Toxicological effects of cadmium and lead on two freshwater diatoms. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. 59:152-162. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2018.03.013>
- Mülayim, A., and Balkis, H., 2015. Toxic metal (Pb, Cd, Cr, and Hg) levels in *Rapana venosa* (Valenciennes, 1846), *Eriphia verrucosa* (Forsk., 1775), and sediment samples from the Black Sea littoral (Thrace, Turkey). *Marine Pollution Bulletin*. 95:215–222. DOI:10.1016/j.marpolbul.2015.04.016
- Olmedo, P., Pla, A., Hernández, A.F., Barbier, F., Ayouni, L., Gil, F. 2013. Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*. 59:63-72. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2013.05.005>
- Orren, M.J., Eagle, G.A., Hennig, H.F.K.O., and Green, A., 1980. Variations in the trace metals content of the mussel *Choromytilus meridionalis* (Kr.) with season and sex. *Marine Pollution Bulletin*. 11:253-257.
- Özbolat, G., ve Tuli, A., 2016. Ağır metal toksisitesinin insan sağlığına etkileri. *Arşiv Kaynak Tarama Dergisi*. *Archives Medical Review Journal*. 25(4):502-521. doi:10.17827/aktd.253562
- Özden, S and Tunçer, S., 2015. Heavy metal concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from Çanakkale Strait, NW Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 24(9):2725-2730.
- Özkan-Yılmaz, F., Su, Z., Özlüer-Hunt, A., Yıldırım, M., ve Yalın, S., 2018. Nil Tilapyağı, *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758) karaciğer dokusunda kurşunun neden olduğu oksidatif strese karşı humik maddelerin koruyucu etkisi. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 6(8):1015-1021. DOI: 10.24925/turjaf.v6i8.1015-1021.1914
- Pastorelli, A.A., Baldini, M., Stacchini, P., Baldini, G., Morelli, S., Sagratella, E., Zaza, S., Ciardullo, S. 2012. Human exposure to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption in Italy: a pilot evaluation. *Food Addit Contam Chem Anal Control Expo Risk Assess*. 29(12):1913-1921. doi: 10.1080/19440049.2012.719644
- Pirone, G., Coppola, F., Pretti, C., Soares, A.M.V.M., Sole, M., Freitas, R. 2019. The effect of temperature on triclosan and lead exposed mussels. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*. 232: 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2019.02.007>
- Plessl, C., Gilbert, G.M., Sigmund, M.F., Theiner, S., Avenant-Oldewage, A., Keppler, B.K., and Jirsa, F., 2019. Mercury, silver, selenium and other trace elements in three cyprinid fish species from the Vaal Dam, South Africa, including implications for fish consumers. *Science of the Total Environment*. 659:1158–1167. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.12.442
- Renieri, E.A., Safenkova, I.V., Alegakis, A.K., Slutskaya, E.S., Kokaraki, V., Kentouri, M., Dzantiev, B.B., and Tsatsakis, A.M., 2019. Cadmium, lead and mercury in muscle tissue of gilthead seabream and seabass: Risk evaluation for consumers. *Food and Chemical Toxicology*. 124:439–449. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.12.020>
- Rodney, P., Ubrihien, A.B, Anne, M., Taylor, A., William, A., and Maher, A., Bioaccumulation, oxidative stress and cellular damage in the intertidal gastropod *Bembicium nanum* exposed to a metal

- contamination gradient. *Marine and Freshwater Research*. 68(5):922-930  
<https://doi.org/10.1071/MF16026>
- Sanches Filho, P.J., Caldas, J.S., Nunes da Rosa, N., Peres Pereira, F.O., 2017. Toxicity test and Cd, Cr, Pb and Zn bioaccumulation in *Phallocceros caudimaculatus*. *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences*. 4:200-211. DOI: 10.1016/j.ejbas.2017.06.001
- Sobihah, N.N., Zaharin, A.A., Nizam, M.K., Juen, L.L., Kyoung-Woong, K. 2018. Bioaccumulation of heavy metals in maricultured fish, *Lates calcarifer* (Barramudi), *Lutjanus campechanus* (red snapper) and *Lutjanus griseus* (grey snapper). *Chemosphere*. 197:318-324.  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.187>
- Söğüt, O., and Perçin, F. 2011. Trace elements in the kidney tissue of bluefin tuna (*Thunnus thynnus* L.1758) in Turkish seas. *African Journal of Biotechnology*. 10(7): 1252-1259.
- Sunlu, U., 2006. Trace metal levels in mussels (*Mytilus galloprovincialis* L. 1758) from Turkish Aegean sea coast. *Environmental Monitoring and Assessment*. 114, 273–286.
- Su Ürünleri Yönetmeliği. 2004. Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı. <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.4988&sourceXmlSearch=&MevzuatIlski=0>.
- Taylan, Z.S., Böke Özkoç H., 2007. Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 9(2):17-33.
- Topçuoğlu, S., Kırbaşoğlu, C., Güngör, N., 2002. Heavy metals in organisms and sediments from Turkish Coast of the Black Sea, 1997–1998. *Environmental International*. 27, 521–526. PII:S0160-4120(01)00099-X
- Turkish Food Codex. (2011). Turkish food codex regulation on contaminants. In: Official Gazette 5996. Ankara: Turkey.
- Tüzen, M., 2009. Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food Chem. Toxicol*. 47, 1785–1790. PMID:19406195
- Tüzen, M. 2003. Determination of heavy metals in fish samples of the Middle Black Sea (Turkey) by graphite furnace atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*. 80:119-123.
- Türk Çulha, S., Koçbaş, F., Gündoğdu, A., Baki, B., Çulha, M. and Topcuoğlu, S., 2011. The Seasonal distribution of heavy metals in mussel sample from Yalova in the Marmara Sea, 2008-2009. *Environmental Monitoring and Assessment*. 183(1-4):525-9 DOI: 10.1007/s10661-011-1937-6
- Türkmen, M., Türkmen, A., Tepe, Y., Ateş, A., Gökkuş, A. 2008. Determination of metal contaminations in sea food from Marmara, Aegean and Mediterranean seas: Twelve fish species. *Food Chemistry*. 108:794-800. DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.11.025
- Uysal, K., Emre, Y., Köse, E. 2008. The determination of heavy metal accumulation ratios in muscle, skin and gills of some migratory fish species by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES) in Beymelek Lagoon (Antalya, Turkey). *Microchemical Journal*. 90:67-70. doi:10.1016/j.microc.2008.03.005
- Varol, M., and Sünbül, M.R., 2017. Organochlorine pesticide, antibiotic and heavy metal residues in mussel, crayfish and fish species from a reservoir on the Euphrates River, Turkey. *Environmental Pollution*. 230:311-319. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.066>
- Wang, X.N., Gu, Y.G., Wang, Z.H., Ke, C.L., Mo, M.S., 2018b. Biological risk assessment of heavy metals in sediments and health risk assessment in bivalve mollusks from Kaozhouyang Bay, South China. *Marine Pollution Bulletin*. 133, 312–319. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.059
- Wook, L.J., Choi H, Hwang U-Ki, Kang J-Chan, Kang Y.J., Kim K.I., and Kim J-Hwan., 2019. Toxic effects of lead exposure on bioaccumulation, oxidative stress, neurotoxicity, and immune responses in fish: A review. *Environmental Toxicology and Pharmacology*. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.010>
- Yabanlı, M., Tay, S., and Giannetto, D., 2016. Human health risk assessment from arsenic exposure after sea bream (*Sparus aurata*) consumption in Aegean region, Turkey. *Bulgarian Journal of Veterinary Medicine*. 19:127–136. DOI: 10.15547/bjvm.905
- Yorulmaz, S., ve Ay, R., 2010. Akar ve böceklerde pestisitlerin detoksifikasyonunda rol oynayan enzimler. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 24(2):137-148.
- Zhelyazkov, G., Yankovska-Stefanova, T., Mineva, E., Stratev, D., Vashin, I., Dospatiev, L., Valkova, E., and Popova, T., 2018. Risk assessment of some heavy metals in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) and veined rapa whelks (*Rapana venosa*) for human health. *Marine Pollution Bulletin*. 128, 197-201. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.024>