

COMU Journal of Marine Sciences and Fisheries

Journal Home-Page: <http://jmsf.dergi.comu.edu.tr> Online Submission: <http://dergipark.org.tr/jmsf>



REVIEW

An Investigation of the Researches on the Heavy Metal Contents of Bivalve Species on the Shores of the Dardanelles (Çanakkale) Strait Between 2000-2022

Elif Çağrı Taş

Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 35100 Bornova, İzmir, Türkiye

<https://orcid.org/0000-0001-6478-9205>

Received: 21.07.2022 / Accepted: 26.09.2022 / Published online: 25.10.2022

Key words:

Heavy metal
Element
Accumulation
Bivalve
Dardanelles
Çanakkale

Abstract: Monitoring physicochemical and biological parameters at regular intervals in marine ecosystems is necessary to protect water quality and prevent pollution. This study aims to review the scientific research articles published between 2000-2022 on the heavy metal contents of mollusc species in the Dardanelles region. Levels of heavy metals were also discussed for human consumption by comparing the existing data on edible tissues with various food codices to establish references for future studies in this region.

Anahtar kelimeler:

Ağır metal
Element
Birikim
Bivalv
Çanakkale
Dardanelles

Çanakkale (Dardanelles) Boğazı Kıyılarındaki Bivalv Türlerinin Ağır Metal İçerikleri Üzerine 2000-2022 Yılları Arasında Yapılan Araştırmaların İncelenmesi

Öz: Su kalitesinin korunması ve kirliliğin önlenmesi amacıyla deniz ekosistemlerinde, fizikokimyasal ve biyolojik parametrelerin belli aralıklarla izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma, Çanakkale Boğazı bölgesindeki yumuşakça türlerinin ağır metal içerikleri hakkında 2000-2022 yılları arasında yayımlanmış bilimsel araştırma makalelerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bölgede gelecekteki çalışmalar için referans oluşturmak amacıyla yenilebilir dokularla ilgili mevcut veriler çeşitli gıda kodları ile karşılaştırılarak insan tüketimi için ağır metal seviyeleri tartışılmıştır.

Giriş

Çağımızda doğal dengeyi bozan, insan ve hayvan sağlığını tehdit eden en önemli tehlikelerin başında çevre sorunları gelmektedir ve sorunlar her geçen gün gittikçe büyüyen boyutlara ulaşmaktadır (Şanlı vd., 1990). Deniz ekosistemlerinin kirlenmesi ise, çevre kirliliğinin en temel konu başlıklarından birisidir. Endüstriyel gelişim sırasında yan ürün olarak ortaya çıkan ağır metaller ekolojik dengeyi bozan, kanserojenik ve mutajenik olan, en önemli çevresel kirleticilerdendir (Küçüksezgin vd., 2013). Ağır metal terimi, literatüre çevre kirliliği ile dahil olmuştur. Ağır metalin spesifik bir tanımı olmamasına rağmen literatürde, özgül ağırlığı 3 mg/cm^3 ya da 5 g/cm^3 'ten fazla olan metaller ağır metal olarak adlandırılmaktadır. Normal koşullarda ağır metallerin doğadaki oranı düşüktür. Ağır metaller genellikle doğal sulara eser miktarlarda bulunur, ancak çoğu çok düşük konsantrasyonlarda bile toksik olan yapıdadır (Masindi ve Muedi, 2018). Ağır metallerin yarılanma ömürleri oldukça uzundur ve doğada

parçalanmamaktadır (Tripathi ve Ranjan, 2015). İster Fe, Cu, Mn, Zn gibi biyolojik sistemlerde önemli rol oynayan esansiyel elementler olsun ister Hg, Pb, Cd gibi non-esansiyel elementler olsun, tüm metaller, belli bir eşik değerinin üzerinde toksik etki göstermektedirler (Anton vd., 2000; Berik ve Kahraman, 2012). Sucul ortamda antropojenik aktivitelerden kaynaklanan toksik metal kontaminasyonlarının başında kadmiyum (Cd), krom (Cr), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb), cıva (Hg), nikel (Ni), gümüş (Ag), kalay (Sn), çinko (Zn) ve arsenik (As) gelmektedir (Yücel ve Yücel, 2013; Vane vd., 2020). Doğal ortamdaki konsantrasyon oranı arttığında cıva, bakır, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metaller özellikle organizmalar üzerinde toksik etki yapmakta ve enzimleri inhibe etmektedir. Su ve besin yolu ile doğrudan ya da dolaylı olarak vücuda alınan, inorganik kirleticiler ağır metaller taşıyıcı proteinlere bağlı bir şekilde dokulara taşınmaktadır (Olsson vd., 1998).

Son yıllarda kıyı sularının çevresel kalitesinin değerlendirilmesinde deniz organizmalarının kullanımı yaygınlaşmıştır. Çift kabuklular sudaki organik ve inorganik parçacıkları filtre ederek beslenen organizmalardır, bu nedenle su sütununda ve sedimentte biyolojik olarak mevcut olan kimyasallar hakkında tamamlayıcı bilgi verdikleri için kıyı kirliliğinin uygun gösterge türleri olarak seçilir (Sunlu, 2006). Bivalv türleri, kirleticilerin çoğunu su sütununda bulunanlardan daha yüksek seviyelerde biriktirme yetenekleri nedeniyle kıyı bölgelerinde ağır metal kirliliğinin biyoindikatörü olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Mevsimsel, ekolojik ve antropojenik baskıların bir sonucu olarak, midyeler ortam kirliliğine uyum sağlamak için bazen fizyolojik olarak değişebilmekte (Karafistan ve Ormancı, 2010) veya kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak doku hasarları ile hassasiyetleri artarak olumsuz etkilenmekte ve bu olumsuz etkiler bazen bu canlıların ölümü ile sonuçlanabilmektedir (Atamanalp ve Yanık, 2001). Ayrıca bivalv türleri yüksek biyolojik değere sahip olmaları ve ucuz iyi bir protein kaynağı olmaları nedeniyle ticari olarak değerli türlerdir ve insan gıdası olarak yaygın şekilde tüketilmektedir. Bivalv türleri mükemmel bir besin kaynağı olmasına rağmen, doğal olarak deniz kıyılarında yaşayan bireyler karasal faaliyetlerden kaynaklanan kirlenmeye maruz kalırlar. Deniz kıyısına yakın bölgelerde bulunan kontamine midyelerin tüketilmesi, metallerin yenilebilir kısmında uzun süre birikmesi nedeniyle insanlarda sağlık sorunlarına neden olabilir (Yiğit vd., 2018). Bu nedenle, besin zincirinde biyoyararlanımı insan sağlığı için olası bir risk olduğundan, organizmalardaki seviyelerini doğru bir şekilde değerlendirmek önemlidir (Scoging, 1991).

Çanakkale Boğazı; 40°00' - 41°10' N ve 26°15' - 29°55' E koordinatları arasındaki deniz ve kıyı alanlarını kapsamaktadır. Çanakkale Boğazı, 74,1 km uzunluğunda ve 1,3-7,5 km genişliğinde, maksimum su derinliği 113 m olan bir su kanalıdır (Aközcan ve Külahcı, 2018). Uluslararası deniz taşımacılığında kullanılan en dar boğazlardan biri olan Çanakkale Boğazı (Dardanel), Asya ile Avrupa kıtalarını birbirinden ayıran ve Ege Denizi ile Marmara Denizi'ni birbirine bağlayan bir boğaz ve uluslararası su yoludur. Sınırlarını Avrupa yakasında Gelibolu Feneri'nden, Seddülbahir'deki İlyas Burnu arası (78 km); Anadolu yakasında ise Çardak'tan, Kum Burnu arası (94 km) oluşturmaktadır ve Çanakkale Boğazı'nın deniz yüzeyinden uzunluğu 68 kilometredir (İlgar, 2017). Tuzluluk farklılıklarından dolayı Çanakkale Boğazı'nda Karadeniz'den Ege Denizi'ne doğru akan yüzey akıntısı ile Ege Denizi'nden Karadeniz'e doğru akan dip akıntısı olmak üzere birbirine zıt yönlü iki büyük akıntı mevcuttur (Altuğ vd., 2009). Geçiş konumu ve iki akıntı nedeniyle Çanakkale Boğazı'ndaki suyun kalitesi doğrudan etkilenir. Türkiye denizel ekosistemi açısından Çanakkale Boğazı, pek çok omurgalı ve omurgasız organizmanın, yoğun gemi trafiği, gemilerin balast suları, evsel, tarımsal ve endüstriyel atıklar nedeniyle tehlikede olabileceği önemli bir geçiş noktasıdır (Çayır vd., 2012). Ayrıca bir kıyı kenti olan Çanakkale, sınırları içinde faaliyet gösteren bazı

sanayi tesislerinin atık suları ile yerleşim yerlerinden kaynaklanan evsel atık suları, alıcı ortam olarak görülen Çanakkale Boğazı'na deşarj edilmektedir (Kelkit, 2003). Mollusk türleri suyun kimyasal yapısına karşı çok duyarlıdır (Kayhan vd., 2009).

Aşağıda 2000'li yıllardan itibaren günümüze kadar olan dönemde, Çanakkale Boğazı (Dardanelles) bölgesindeki deniz ekosisteminden örneklenen bivalv türlerinin ağır metal içeriklerinin araştırıldığı ulusal ve uluslararası dergilerde yayımlanan bilimsel makaleler özetlenmiştir.

Tartışma

Çanakkale kıyılarında yaygın olarak bulunan ve insan gıdası olarak sıklıkla tüketilen *Mytilus galloprovincialis* bireyleri Eylül 2006'da beş örnekleme yerinden (Kilye, Akbaş, Suluca, Kepez, Karacaören) yabancı ortamdan toplanmıştır. Çanakkale Boğazı'nda seçilen bu istasyonlar, *M. galloprovincialis*'in özellikle büyümesi için uygundur ve bu da onu araştırılan bölgenin biyomonitörü için iyi bir seçim haline getirmiştir. Midyelerde sekiz ağır metalin (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) konsantrasyonları belirlenmiştir. Tüm ölçümler Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde (AAS) yapılmış ve ağır metal seviyeleri 0,032-0,048 µg As/g, 0,101-0,520 µg Cd/g, 0,141-0,78 µg Cr/g, 0,542-0,661 µg Cu/g, 0,005-0,034 µg Hg/g, 0,081-0,383 µg Ni/g, 0,220-18,474 µg Pb/g ve 32,549-65,612 µg Zn/g yaş ağırlık olarak bildirilmiştir. Biyoizleme ajanı olarak *M. galloprovincialis* kullanıldığında, Çanakkale Boğazı'nda As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni kontaminasyonu ciddi sınırlarda bulunmamıştır. İnsan halk sağlığı açısından bakıldığında, bu sonuçlar, midyelerin tüketilmesi halinde As, Cd, Cr, Cu, Hg ve Ni'nin akut toksisite olasılığını göstermemektedir. Ancak Kilye ve Akbaş'tan alınan örneklerdeki Zn ve Pb seviyeleri, Türk Hükümetlerinin ulusal standartları tarafından belirlenen yasal sınırların üzerinde olduğu tespit edilmiş ve gelecekteki çalışmaların, midyeler tarafından metal birikimindeki önemine odaklanması önerilmiştir (Lök vd., 2010).

Çanakkale Boğazı'nın güney kıyı bölgesinden örneklenen *M. galloprovincialis* bireylerinin yumuşak dokularında Pb, Cu, Cd, Ni, Zn ve Al'in biyoyararlanımı araştırılmıştır. Örnekleme istasyonları, Pb, Zn çıkarma madeninden yaklaşık 65 kilometrelik bir etki bölgesini kapsayacak biçimde 10 noktadan seçilmiştir. İstasyon numaralandırması en yakın deşarj noktasından başlayarak ve diğer yerel endüstrilerin atıklarını doğrudan denize bırakarak ayrıca kirlettiği Çanakkale şehrine doğru devam etmiştir. Ayrıca Gelibolu Yarımadası'nda seçilen istasyonda ihracat ve yerel tüketim için kafeslerde midye yetiştirilmektedir. Örnekleme stratejisinde bu istasyonlar madenden olan uzaklıklarına göre dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Madencilik endüstrisinden 18 km uzaklıkta bulunan istasyondan toplanan midyelerdeki kurşun oranının son derece yüksek olduğu ve kirletici kaynaktan uzaklaştıkça kademeli olarak azaldığı belirtilmiştir. Benzer şekilde, Cd konsantrasyonlarının

çoğunlukla kabul edilebilir kodeks değerinden yüksek olduğu bildirilmiştir. Cu ve diğer metallerde de kaynaktan uzaklaştıkça azalma eğilimi gösterdiği belirtilmiştir. Metal konsantrasyonları, TFC'nin Food Codex yasası ve CE standartları ile karşılaştırıldığında özellikle, kurşun ve çinko madenciliğine 18 km uzaklıkta, en yakın deşarj noktasında bulunan istasyondan toplanan midyelerin Pb içeriğinin 80 µg/g tespit edilmiş olup bu değer izin verilen gıda kodeksinden çok daha büyük (1,5 µg/g) olduğu bildirilmiştir (Karafistan ve Ormancı, 2010).

Beyaz kum midyesi olarak bilinen *Chamelea gallina*'nın, ağır metal seviyelerinin yanı sıra biyotoksin ve mikrobiyolojik içeriklerinin de tespit edildiği çalışma, Güney Marmara Denizi'nde yürütülmüştür. Örnekler Şubat 2008-Ocak 2009 tarihleri arasında doğal yatakların bulunduğu toplam 5 istasyondan (Gelibolu, Bolayıraltı, Karabiga, Kemer ve Şevketiye) mevsimsel olarak toplanmıştır. *C. gallina* dokularındaki ortalama metal konsantrasyonları Cd, 0,04-0,69; Cu, 0,71-5,30; Pb, 0,18-3,24; Zn, 13,08-77,76; Fe, 2,46-89,73; Cr, 0,08-1,25 mg kg⁻¹ yaş ağırlık olarak tespit edilmiştir. Örneklerin ağır metal içeriklerinin, mevsimler ve istasyonlar arasında istatistiksel olarak önemli derecede farklılık göstermiş olduğu (P<0,05) iki istasyonda, Pb ve Zn düzeylerinin Türkiye Su Ürünleri Yönetmeliği ve AB Kabuklu Hijyen Direktifi (91/492/EEC)'ne göre, limit değerlerin üzerinde olduğu belirtilmiştir. Marmara Denizi'nin güneyinden toplanan beyaz kum midyeleri, Gelibolu ve Karabiga istasyonları hariç, tüm istasyonlarda insan tüketimine uygun bulunmuştur. Özellikle Çanakkale bölgesinde yer alan Gelibolu istasyonundan toplanan çift kabukluların etlerindeki kurşun miktarları her mevsim için, hem Türkiye Su Ürünleri Yönetmeliği hem de Avrupa Komisyonu tarafından konulan yasal limitlerin üzerinde (1,5 mg kg⁻¹) bulunduğu bildirilmiştir (Çolakoğlu vd., 2010).

Gelibolu Bölgesi de dahil olmak üzere Marmara Denizi'ndeki on avlanma alanından toplanan midyelerde (*M. galloprovincialis*) yürütülen bir başka çalışmada, Zn, Cu, Cd, Hg ve Pb düzeyleri, midye tüketimi ile ilişkili sağlık risklerini araştırmak için analiz edilmiştir. Bu amaçla Mart ve Ekim 2009'da her istasyondan 50 birey toplanmıştır. Araştırma tüketicinin ne yediğini görmek amacıyla planlandığı için Türkiye'deki midye tüketim alışkanlığına bağlı olarak midyeler, bağırsak içeriği ile birlikte analiz edilmiştir. Numunelerin hiçbirinde cıva tespit edilmemiştir (<0,15 ppb). En yüksek Cu ve Cd konsantrasyonları sırasıyla 3.473 ve 0.740 mg kg⁻¹ yaş ağırlık olup, izin verilen maksimum seviyelerin oldukça altında olduğu bildirilmiştir. Ayrıca tüm örnekler 50 mg kg⁻¹'den yüksek Zn içerirken, Gelibolu istasyonu da dahil olmak üzere toplam 4 istasyonlardan alınan örnekler Pb konsantrasyonlarının FAO/WHO ve ATSDR tarafından önerilen limitlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Marmara Denizi'nden *M. galloprovincialis*' in Cu, Cd ve Hg açısından güvenli olduğu ancak sınırların üzerinde Zn ve Pb içerebileceği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle ağır metal konsantrasyonlarının midye tüketici

sağlığı açısından periyodik olarak izlenmesi önerilmiştir (Mol ve Alakavuk, 2011).

Çanakkale Boğazı'nın deniz ortamındaki ağır metal konsantrasyonunu belirlemek için altı farklı lokasyondan *M. galloprovincialis* örnekleri 2007, 2008 ve 2009 yıllarında alınmıştır. Çanakkale Boğazı kıyı şeridi boyunca dört örnekleme alanı Boğazın Anadolu yakasında; İskele-Çanakkale şehir limanı, Sarıçay Deresi ağızı, Liman - Kepez limanı, Dardanos tatil plaj tesisleri, ikisi ise boğazın Avrupa yakasında ; Eceabat limanı ve Kilitbahir'e yakın konumda seçilmiştir. Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe ve Ni konsantrasyonları ICP-AES kullanılarak belirlenmiştir. Sonuç olarak 2007-2009 yılları arasında elde edilen *M. galloprovincialis*'teki değerlendirilen elementlerin konsantrasyonları, insan tüketimi için izin verilen (ortalama 60 kg ağırlığındaki yetişkinler için) güvenli sınırlar içinde olduğu ve önceki çalışmalarda bildirilenlerle uyum içinde olduğu veya daha düşük değerlerde bulunduğu bildirilmiştir (Çayır vd., 2012).

Bir biyoindikatör tür olan *M. galloprovincialis*, Çanakkale Boğazı'nın kontaminasyonla ilgili ağır metal konsantrasyonlarını araştırmak amacıyla Hamzaköy, Gelibolu Tersanesi, Kilya Koyu, Eceabat Çam Burnu, Kilitbahir ve Büyük Kemikli Burnu olmak üzere toplam 6 istasyondan 2009, 2010, 2012-2013 yıllarında kış, ilkbahar, yaz ve sonbahar mevsimlerinde altı kez olmak üzere toplanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre *M. galloprovincialis*'e ait veriler dikkate alındığında en yüksek konsantrasyonlar (Pb için 0,56 µg/g k.a.; Cu için 1,52 µg/g k.a.; Zn için 19,15 µg/g k.a.; Fe için 17,06 µg/g k.a.) Gelibolu Tersanesi'nde seçilen istasyonda bulunurken, minimum değerler Büyük Kemikli Burnu istasyonunda gözlemlenmiştir. Bunun en önemli nedeninin, ilkbahar ve yaz aylarında hem gemi bakım, yapım ve onarım oranlarının artması, hem de boğazlardaki trafiğin yoğunluğu ile liman faaliyetleri olduğu belirtilmiştir. Ancak sonuç olarak, bu çalışmada tespit edilen ağır metal seviyelerinin FAO, WHO/FAO, EPA, TME verileri ve bölgede daha önce yapılan çalışmalara dayalı olarak, Çanakkale Boğazı'nda çevresel bir risk oluşturmadığı ileri sürülmüştür (Özden ve Tunçer, 2015).

Çanakkale Boğazı'nda bakır alaşımına ağ kafesli bir açık deniz balık çiftliği çevresinden toplanan Akdeniz midyelerinin (*M. galloprovincialis*) kas dokusu, sindirim kesesi ve solungaçlarında eser metal konsantrasyonları belirlenmiştir. Çiftliğe uzak bölgeden toplanan midyelerin yenen kısmında bakır (Cu), çinko (Zn), manganez (Mn) ve demir (Fe) seviyeleri (yukarı akış Zn 7,33 > Fe 2,8 > Cu 0,13 > Mn 0,07 ve aşağı akış Zn 9,9 > Fe 5,67 > Cu 0,18 > Mn 0,17 mg/kg yaş ağırlık) kafes bölgesinden örneklenenlere göre (alt panel Zn 22,25 > Fe 13,75 > Cu 2,39 > Mn 0,85 mg/kg yaş ağırlık ve kafes çerçeve Zn 17,1 > Fe 8,74 > Cu 1,39 > Mn 0,26 mg/kg yaş ağırlık) önemli ölçüde (P< 0,05) daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Midyelerdeki eser metal konsantrasyonları, bakır alaşımına ağ kafesin çerçevesinden ve alt panelinden alınan numunelerde, uzak bölgelerden, yani çiftlikte aşağı havzadan etkilenen ve etkilenmeyen yukarı akış konumlarından gelenlere kıyasla önemli ölçüde daha

yüksek olduğu bildirilmiştir ($P < 0,05$). Ancak, bu çalışmadaki tüm lokasyonlardan test edilen tüm eser metaller için hedef tehlike oranları (THQ) oranları “bir”den ($THQ < 1$) daha küçük bulunmuş ve bakır alaşımlı ağ kafeslerle kafes çiftlik çevresinde yetiştirilen midye tüketiminin güvenli sınırlar içinde olduğu ve ABD Gıda ve İlaç Dairesi (USFDA) ve Avrupa Birliği (AB) deniz ürünleri tüketimine yönelik düzenlemelerinin önerdiği maksimum seviyeleri aşmadığı belirtilmiştir (Yiğit vd., 2018).

Çanakkale Çardak Lagünü’nde, Eylül 2011-Ağustos 2012 tarihleri arasında, mevsimsel olarak yapılan örneklemeler yoluyla *Flexopecten glaber* türünün incelendiği çalışmada, bu türün element içeriğini ve yaklaşık kompozisyonunu belirleyerek, mevsimsel değişimlerini ortaya çıkarmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada *F. glaber*’ı değerli bir gıda kaynağı ve deniz ürünleri işleme sektörü ve su ürünleri yetiştiriciliği için potansiyel aday olarak öne çıkarmak amacıyla besin değeri ve temel verileri değerlendirilmiştir. Her mevsimde yapılan analizlerde addüktör kası ile kas ve organları dahil olmak üzere bütün yenilebilir tarak eti kullanılmıştır. Deniz taraklarının mevsimsel bileşim değişiminin belirlenmesi için toplam su, ham protein, ham yağ ve ham kül içerikleri belirlenmiştir. Ayrıca addüktör kas ve sindirim kesesi dokuları analize alınmış ve bu dokularda Al, B, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb ve Zn elementleri analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre, deniz tarağının, yumurtlamadan hemen önce faydalı mikro ve makro mineraller, yağ ve karbonhidrat içerdiği, sonbahardan yaz mevsimine kadar protein, kül ve su oranları azalırken, ham yağ oranı ilkbahar sonlarında üreme mevsimine kadar arttığı ve yaz aylarında azaldığı ($P < 0,05$) bildirilmiştir. Sindirim kesesinde alüminyum, brom, kadmiyum, kalsiyum, krom, bakır, demir, manganez, nikel ve çinko addüktör kaslara göre daha fazla saptanmıştır ($P < 0,05$). Bor, magnezyum ve potasyum addüktör kaslarda daha fazla bulunduğu ($P < 0,05$) ve kobalt ve kurşunda istatistiksel olarak anlamlı fark olmadığı bildirilmiştir ($P > 0,05$). Öte yandan, en zehirli metallerden ikisi olan kadmiyum ve alüminyumun yanı sıra aşırı derecelerde tehlikeli olabilecek olan manganezin çoğunlukla deniz tarağının sindirim kesesinde biriktiği belirtilmiştir. Bu nedenle, deniz taraklarının gıda güvenliği açısından tüketilmeden önce sindirim keselerinin çıkarılması gerektiği tavsiye edilmiştir (Berik vd., 2017).

Çanakkale Boğazı Kepez kıyılarındaki ağır metal kirliliğinin Akdeniz midyesi (*M. galloprovincialis*) üzerindeki etkileri araştırılan diğer bir çalışmada, solungaç, hepatopankreas ve kas dokularındaki kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) birikimlerinin mevsimsel farklılıkları değerlendirilmiştir. 2015 yılında ilkbahar ve sonbahar olarak iki mevsimde gerçekleştirilen çalışma sonucunda, kas dokusunda Cd, Pb ve Cu konsantrasyonları sonbahar örneklerinde daha yüksek görülürken (Cd: 0,125, Pb: 0,06, Cu: 0,411; ilkbahar Cd:0,114, Pb: 0,038, Cu: 0,341 mg kg⁻¹ yağ ağırlık), Fe ve Zn miktarlarında sonbahar mevsiminde azalma görüldüğünü (Fe:22,121, Zn:1,094; ilkbahar

Fe:24,039, Zn:1,449 mg kg⁻¹ yağ ağırlık) bildirmişlerdir. Tespit edilen değerlerin EFSA (2015) tarafından verilen kabul edilebilir değerlerden düşük olduğu belirtilmiştir. Ancak sonbahar mevsiminde hepatopankreasta ölçülen Pb değeri hariç tüm ağır metal düzeylerinin kabul edilebilir değerlerin altında olduğu vurgulanmıştır (Demir ve Akkuş, 2018).

Çardak Lagünü’nden (Çanakkale Boğazı, Türkiye) başka bir bivalv türü olan *F. glaber* 2017- 2018 tarihleri arasında bir yıl boyunca aylık olarak toplanmıştır. Bu türün etinin toplam element kompozisyonunun (Fe, Cu, Mn, Zn, Al, Se, B, Na, Mg, K, Ca, P, S) belirlendiği bu çalışmada yıl içindeki dağılımının S> Na> K> P> Mg> Ca> Fe> Zn> Mn> Al> B> Cu> Se sıralamasında olduğu, ağır metallerin ise deteksiyon limitinin altında kaldığı bildirilmiştir. Sonbahar ve yaz döneminde elementlerin en yüksek değerde bulunduğu, ilkbahar ve kış döneminde ise en düşük değerlerde olduğu saptanmıştır. Çalışmada istatistiksel olarak Fe, Mn, Mg ve Ca elementlerinde aylar arasındaki farkların önemli olduğu vurgulanmıştır ($P < 0,05$). Araştırma sonuçlarına göre *F. glaber* dokusundaki ortalama metal konsantrasyonları Fe için 0,08 mg/g y.a.; Zn için 0,03 mg/g y.a.; Al için 0,01 mg/g y.a.; Cu için 1,01 µg/g y.a. olarak bildirilmiştir. Çardak Lagünü’nden toplanan deniz tarağı etinin element kompozisyonunun FAO/WHO, tarafından tavsiye edilen miktarlarda tüketildiğinde sağlık için uygun olduğu tespit edilmiştir. Hedef Tehlike Katsayısı (THQ) ve Tehlike İndeksi (HI) gibi indeksler kullanılarak deniz tarağı tüketmenin sağlık açısından riskleri değerlendirilmiş ve sonuç olarak, tüm aylarda risk düzeyleri 1’in altında bulunmuştur. Bu indeks neticesine göre bölgedeki deniz tarağı tüketiminin insan sağlığına olumsuz etkisi bulunmayacağı öngörülmüştür (Vural ve Acarlı, 2021).

Nisan-Mayıs 2019 tarihlerinde Çanakkale Boğazı’nda belirlenen 3 istasyondan (Çamburnu, Yenikordon ve Çardak) aynı boyda *M. galloprovincialis*’in dalış yaparak toplandığı bir başka çalışmada, midyeler kabuklu olarak kaynatılıp suları fırınlanarak uzaklaştırıldıktan sonra pelet haline getirilmiştir. Bu şekilde midyenin kas dokularıyla hazırlanan pelet yemler ile 24 adet erkek Wistar albino türü rat beslenmiştir. Birinci grup (kontrol): standart sıçan yemi ile , ikinci grup (deney 1): hergün 4/5 midye + 1/5 standart sıçan yemi; üçüncü grup (deney 2): 4/5 midye + 1/5 standart sıçan yemi 2 günde bir, dördüncü grup (deney 3): gruplar 4/5 midye + 1/5 standart sıçan yemi ile her üç günde bir oluşturularak beslenmiştir. Bu midyeler ile beslenen deney gruplarının sindirim sisteminin önemli bir bezi olan karaciğer parankimindeki histopatolojik etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Deney ve kontrol gruplarından alınan tüm karaciğer doku örnekleri, histopatolojik takipten sonra rutin hematoksilin-eozin ve enflamatuar belirteç olan TNF-α ve NF-κB ile immünohistokimyasal boyama yapılmış ve ışık mikroskobu görüntü analiz sistemi ile analiz edilmiştir. Mononükleer hücrelerin portal alanlarda yangıya sebep olduğu, karaciğer parankimindeki hepatositlerde vakuolizasyonun dejenerasyon sonucu meydana geldiği, santral ven ve sinüzoidal dilatasyon ve konjesyonun

olduğu gözlemlendiği belirtilmiştir. Ek olarak, özellikle ikinci sıçan grubunun karaciğer hücrelerinde immünohistokimyasal boyama, TNF- α ve NF κ B şiddetli immünoreaktivitesi gözlemlendiği bildirilmiştir. Sonuç olarak, çevre kirliliği dikkate alınmadan elde edilen ve pazarlanan

midye tüketiminin sindirim sisteminin önemli bir organı olan karaciğer hastalıklarını tetikleyebileceği gösterilmiştir (İrkin vd., 2021). Çanakkale (Dardanelles) Boğazı kıyılarında gerçekleştirilen bu çalışmalar Tablo 1’de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çanakkale (Dardanelles) Boğazı kıyılarından örneklenen bivalv türlerinin ağır metal düzeylerini inceleyen çalışmalar

Çalışılan Tür	Çalışılan Metaller	İstasyon Adedi	Örnekleme Zamanı	Çalışılan Doku Tipi	Referanslar
<i>M. galloprovincialis</i>	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn	5	Eylül 2006	Kas	Lök vd. (2010)
<i>M. galloprovincialis</i>	Pb, Cu, Cd, Ni, Zn, Al	10	Yaz 2005	Kas	Karafistan ve Ormancı (2010)
<i>Chamelea gallina</i>	Cd, Cu, Pb, Zn, Fe, Cr	5	Şubat 2008, Ocak 2009	Kas	Çolakoğlu vd. (2010)
<i>M. galloprovincialis</i>	Zn, Cu, Cd, Hg, Pb	10	Mart-Ekim2009	Kas	Mol ve Alakavuk (2011)
<i>M. galloprovincialis</i>	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn, Fe, Ni	6	2007-2009	Kas	Çayır vd. (2012)
<i>M. galloprovincialis</i>	Pb, Cu, Zn, Fe	6	2009-2010, 2012-2013	Kas	Özden ve Tunçer (2015)
<i>Flexopecten glaber</i>	Al, B, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn	1	Eylül 2011- Ağustos 2012	Addüktör kası, Sindirim kesesi	Berik vd. (2017)
<i>M. galloprovincialis</i>	Cu, Zn, Mn, Fe	4	2010-2014	Kas, Solungaç, Sindirim kesesi	Yiğit vd. (2018)
<i>M. galloprovincialis</i>	Cd, Cu, Fe, Pb, Zn	1	2015	Kas, Hepatopankreas, Solungaç	Demir ve Akkuş (2018)
<i>Flexopecten glaber</i>	Fe, Cu, Mn, Zn, Al, Se, B, Na, Mg, K, Ca, P, S	3	2017-2018	Kas	Vural ve Acarlı (2021)
<i>M. galloprovincialis</i>	Cd, Pb, Cu, Zn	3	Nisan-Mayıs 2019	Kas	İrkin vd. (2021)

Çanakkale (Dardanelles) Boğazı deniz ekosistemindeki bivalv türlerinin ağır metal içerikleri konu alan bilimsel çalışmalar araştırıldığında, bu bölgede en yaygın olarak bulunan *M. galloprovincialis*’in örneklendiği dikkat çekmiştir. Bu çalışmalarda incelenen bivalv türlerinin başta yenilebilir kas dokusu olmak üzere, solungaç, sindirim kesesi ve hepatopankreas dokusundaki çeşitli ağır metal birikimleri araştırılmış, doku tiplerine ve çalışılan metallere göre dağılımları Tablo 2’de verilmiştir. Çanakkale Boğazı’ndan elde edilen bivalv türlerinin yenilebilir dokularında Türk Gıda Kodeksi (TGK), Tarım, Balıkçılık ve Gıda Bakanlığı (MAFF, İngiltere), Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) gibi yetkili kurumlar tarafından önerilen ağır metal konsantrasyonlarının güvenlik sınırlarını bilmek ve insan tüketimi için bu ağır metallerle kontaminasyon düzeylerini belirlemek önemlidir. Çeşitli uluslararası standartlar

tarafından deniz ürünlerinde izin verilen ağır metallerin (ppm) üst limitleri Tablo 3’te belirtilmiştir. Lök vd. (2010) ve Karafistan ve Ormancı (2010) tarafından yürütülen araştırmalarda, *M. galloprovincialis*’in kas dokusunda tespit ettikleri Pb düzeyleri tüm gıda kodekslerine göre yüksek bulunmuştur. Ayrıca Lök vd. (2010)’daki çalışmada ölçülen Zn değeri, Türk Gıda Kodeksine göre yüksek düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Yine Karafistan ve Ormancı (2010) tarafından midyenin kas dokusunda tespit ettikleri Cd düzeyinin, tüm kodekslerde belirtilen üst limitleri aştığı belirlenmiştir. Benzer şekilde *C. gallina*’daki ağır metal düzeylerinin Çolakoğlu vd. (2010) tarafından incelendiği başka bir araştırmada, Pb konsantrasyonu 1,5 ppm olarak tespit edilmiştir.

Tablo 2. Çanakkale (Dardanelles) Boğazı kıyılarından örneklenen bivalv türlerinin farklı dokularındaki ağır metal düzeyleri (ppm yaş ağırlık; *ppm kuru ağırlık)

Doku tipi	As	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	Al	Fe	Mn	Referanslar
Kas	0,032-0,048	0,10-0,52	0,14-0,78	0,54-0,66	0,005-0,034	0,08-0,38	0,22-18,47	32,54-65,61	-	-	-	Lök vd. (2010)
Kas	-	0,12-5,79	-	1,20-2,75	-	0,16-1,23	0,59-82,51	8,97-34,12	52,16-64,88	-	-	Karafistan ve Ormancı (2010)
Kas	-	0,04-0,69	0,08-1,25	0,71-5,30	-	-	0,18-3,24	13,08-77,76	-	2,46-89,73	-	Çolakoğlu vd. (2010)
Kas	-	0,46	-	2,36	ND	-	0,56	97,13	-	-	-	Mol ve Alakavuk (2011)
Kas*	-	0,20-1,59	0,45-6,04	4,23-12,01	-	1,70-3,52	1,84-6,03	139,03-319,60	-	134,49-402,79	-	Çayır vd. (2012)
Kas*	-	-	-	0,18-1,52	-	-	0,05-0,56	2,28-19,15	-	2,23-17,06	-	Özden ve Tunçer (2015)
Adüktör kası	-	≥0,003	0,01-0,02	0,06-0,07	-	0,02-0,03	0,01-0,02	2,73-2,98	0,37-0,40	1,004-1,093	0,21-0,29	Berik vd. (2017)
Sindirim kesesi	-	0,34-0,35	0,040-0,044	0,21-0,24	-	0,10-0,11	0,030-0,039	2,87-3,13	16,41-15,74	38,14-41,79	2,37-2,55	
Kas	-	-	-	0,01-0,51	-	-	-	2,16-6,74	-	1,69-4,41	0,01-0,29	
Solungaç	-	-	-	0,01-1,01	-	-	-	0,94-5,89	-	0,96-4,95	0,01-0,31	Yiğit vd. (2018)
Sindirim kesesi	-	-	-	0,09-0,87	-	-	-	4,23-9,62	-	0,13-4,39	0,007-0,244	
Kas	-	0,114-0,125	-	0,34-0,41	-	-	0,03-0,06	1,09-1,44	-	22,12-24,03	-	
Solungaç	-	0,451-0,515	-	0,74-0,83	-	-	0,22-0,25	7,87-14,51	-	37,88-43,20	-	Demir ve Akkuş (2018)
Hepatopankreas	-	0,170-0,179	-	0,12-0,49	-	-	0,13-0,52	2,25-10,49	-	15,37-18,63	-	
Kas	-	-	-	1,01	-	-	-	30	10	80	50	Vural ve Acarlı (2021)
Kas*	-	1,05	-	1,05	-	-	0,47	17,28	-	-	-	İrkin vd. (2021)

Dolayısıyla hem Türk Gıda Kodeksine göre hem de Gıda ve Tarım Örgütü ve Avrupa Komisyonu tarafından konulan yasal limitlerin üzerinde bulunmuştur. Gelibolu Bölgesi de dahil olmak üzere Marmara Denizi'nde Mol ve Alakavuk (2011) tarafından yürütülen bir diğer çalışmada, *M. galloprovincialis* bireylerinin Zn düzeyleri tüm istasyonlarda FAO ve TGK tarafından önerilen sınır değerlerin üzerinde saptanmıştır. Ayrıca bu metale ait en yüksek değerin 97,13 ppm ile Gelibolu İstasyonu'nda tespit edildiği bildirilmiştir. Aynı çalışmada yine belirlenen Pb düzeylerinin, Gelibolu istasyonunu da içeren toplam 4 istasyonda gıda kodeksleri tarafından önerilen değerleri aştığı bildirilmiştir (Tablo 3).

Deniz organizmaları, deniz ekosistemlerindeki kirliliği izlemek için önemli biyo-göstergeler olarak kabul edilir

(Ayas ve Köşker, 2018). Bir organizmanın biyo-gösterge olarak değerlendirilmesi, yaşadığı ortam ile bu ortamdan bünyesine aldığı kirletici düzeyine bağlıdır ve değişik omurgasız türleri, farklı ağır metal birikim modelleri sergiler (Rainbow, 1997).

Yakın geçmişte Çanakkale Boğazı kıyılarında gerçekleştirilen bu çalışmaların dışında, farklı denizel ekosistemlerde çeşitli bivalv türlerinin ağır metal biyoindikatörü olarak kullanıldığı ve tüketilmeleri halinde insan sağlığı üzerine etkilerinin araştırıldığı pek çok çalışmaya (Bilgin ve Uluturhan-Suzer, 2017; Taş ve Sunlu, 2019; Sevgi ve Suzer-Uluturhan, 2019) rastlamak mümkündür.

Tablo 3. Çeşitli uluslararası standartlara göre deniz ürünlerinde izin verilen ağır metallerin üst limitleri (ppm)

Metaller	FAO (1983)	FAO/WHO (1989)	WHO (1989)	MAFF (1995)	TGK (2002)	FAO (2003)	EC (2006)	TGK (2009)
As	1	-	-	-	1	-	-	-
Cd	2	-	-	< 0,2	0,5	0,05	0,05	0,05
Cu	20	30	30	20	20	-	-	-
Hg	1	-	-	-	0,5	0,5	0,5	0,5
Pb	2,5	-	-	2	0,5	0,2	0,3	0,3
Fe	-	-	100	-	-	-	-	-
Zn	50	40	100	50	50	-	-	-

Sonuç

Çanakkale, gerek sahip olduğu doğal, kültürel ve tarihi kaynaklar itibarıyla gerekse uluslararası gemi trafiğinde yoğun bir lokasyon olan Çanakkale Boğazı nedeniyle önemli bir potansiyele sahiptir. Ege ve Marmara bağlantılı olarak Karadeniz arasındaki bağlantıyı sağlayan alternatif olmayan tek ulaşım yolu olması nedeniyle deniz trafiği yoğun olmakta, bu da can, mal ve çevre güvenliği bakımından büyük riskleri barındırmaktadır (İlgar, 2017). Evsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetler nedeniyle farklı kimyasalları taşıyan karasal atıklar ve gemi trafiğinden kaynaklanan girdiler aracılığıyla başta ağır metaller olmak üzere çeşitli tehlikeli ve toksik maddeler sucul ortamda birikim yapmaktadır (Bakan ve Özkoç, 2007). Denizel ekosistemlerde, ağır metal kirliliğinin araştırıldığı pek çok çalışmada, mollusk türlerinin biyoindikatör ve biyomonitör organizma olarak seçildiği (Dökmeci vd., 2012) özellikle yaygın olarak *M. galloprovincialis* 'in tüm dünya kıyı sularında ağır metal kirliliği için kullanıldığı bilinmektedir (Bat ve Arıcı, 2018). Önemli kirletici parametrelerden olan ağır metaller, küresel kirlilik faktörleri olarak tüm sucul canlı yaşamında ve besin zincirinin son halkasını oluşturan insanların sağlığı üzerinde tehlike ve risk oluşturmaktadır. Bu nedenle, akademik çalışmaların takibi ve değerlendirilmesi, tüm ülkelerde önem arz etmektedir (Cole, 2003).

Çıkar Çatışması

Yazar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Yazar Katkıları

Çalışmanın veri toplama, yazımı ve düzenlemesi Elif Çağrı Taş tarafından yapılmıştır.

Etik Onay

Bu çalışma için etik kurul onayına gerek yoktur.

Kaynaklar

- Aközcan, S., & Külahcı, F. (2018) Descriptive statistics and risk assessment for the control of seasonal pollutant effects of 210Po and 210Pb in coastal waters (Çanakkale, Turkey), *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 315: 285 – 292. doi:10.1007/s10967-017-5670-7(0123456789(),-volV)(012345
- Altug, G., Cardak, M., Ciftci, P., & Gurun, S. (2009) An important water route between mediterranean and black seas and bacterial pollution (Canakkale and Istanbul Straits, Turkey). Paper presented at the proceedings of the 3rd WSEAS international conference on waste management, water pollution, air pollution, indoor climate, Canary Islands, Spain

- Anton, A., Serrano, T., Angulo, E., Ferrero, G., & Rallo, A. (2000). The use of two species of crayfish as environmental quality sentinels: the relationship between heavy metal content, cell and tissue biomarkers and physico-chemical characteristics of the environment. *Science of The Total Environment*, 247(2-3): 239-251.
- Atamanalp, M., & Yanık, T. (2001) Pestisitlerin Cyprinidae'lere toksik etkileri. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, (3-4), 555-563.
- Ayas, D., & Köşker, A.R. (2018). The effects of age and individual size on metal accumulation of *Lagocephalus sceleratus* (Gmelin, 1789) from Mersin Bay, Turkey. *Natural and Engineering Sciences*, 3 (1): 45-53.
- Bakan, G., & Özkoç, H.B. (2007) An ecological risk assessment of the impact of heavy metals in surface sediments on biota from the mid-Black Sea coast of Turkey, *International Journal of Environmental Studies*, 64:1, 45-57.
doi: 10.1080/00207230601125069
- Bat, L., & Arıcı, E. (2018). Chapter 5. Heavy metal levels in fish, molluscs, and crustacea from Turkish seas and potential risk of human health. *Handbook of Food Bioengineering*, Volume 13, Food Quality: Balancing Health and Disease (pp. 159-196), Elsevier, Academic Press.
- Berik, N., & Kahraman, D. (2012). Element contents of spiny dogfish (*Squalus acanthias* L., 1758) from the Marmara Sea (Turkey). *Fresenius Environ Bulletin*. 21(2):276–281.
- Berik, N., Çankırlıgil, E.C., & Gül, G. (2017). Mineral content of smooth scallop (*Flexopecten glaber*) caught Canakkale, Turkey and evaluation in terms of food safety. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 42: 97-102.
doi: 10.1016/j.jtemb.2017.04.011
- Bilgin, M., & Uluturhan-Suzer, E. (2017). Assessment of trace metal concentrations and human health risk in clam (*Tapes decussatus*) and mussel (*Mytilus galloprovincialis*) from the Homa Lagoon (Eastern Aegean Sea). *Environmental Science and Pollution Research International*. 24(4):4174-4184.
doi: 10.1007/s11356-016-8163-2
- Cole, J.J. (2003). Interactions between bacteria and algae in aquatic ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 291-314 doi: 10.1146/annurev.es.33.110182.001451
- Çayır, A., Coşkun, M., & Coşkun, M. (2012). Evaluation of metal concentrations in mussel *M. galloprovincialis* in the Dardanelles Strait, Turkey in regard of safe human consumption. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 89(1): 91-95.
- Çolakoğlu, F.A., Ormancı, H.B., Künili, İ.E., & Çolakoğlu, S. (2010). Chemical and microbiological quality of the *Chamelea gallina* from the southern coast of the Marmara Sea in Turkey. *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi* 16 (Suppl-A): S153-S158. doi:10.9775/kvfd.2010.2654
- Demir, N., & Akkuş, G. (2018). Çanakkale Boğazı (Kepez) midye (*Mytilus galloprovincialis* L., 1819) örneklerinde ağır metal ve antioksidan enzim düzeylerinin mevsimsel değişimi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 5(4): 659–666.
- Dökmeci, A. H., Yıldız, T., Sivri, N., & Öngen, A. (2012). Tekirdağ kıyı sularından toplanan karideslerin ağır metal seviyelerinin belirlenmesi ve insan sağlığına olan toksit etkileri. <http://hdl.handle.net/20.500.11776/3197>
- EC (Commission Regulation) (2006). Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs, no. 1881.
- FAO (1983). Compilation of legal limits for hazardous substances in fish and fishery products, FAO Fishery Circular, 464, 5–100.
- FAO (2003). Heavy metals regulations legal notice No 66/2003.FAO, Rome.
- FAO/WHO (Food and Agriculture Organization/World Health Organization) (1989). National Research Council Recommended Dietary Allowances (10th ed). National Academy Press, Washington, DC, US.
- İlgar, R. (2017). Çanakkale Boğazında geçiş istatistiklerine bağlı gemi atık yönetimi ve değerlendirmesi, *Marmara Coğrafya Dergisi*, 35, 185-194.
- İrkin, L. C., Çakına, S., Özdemir, İ., & Öztürk, Ş. (2021). Effect of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from polluted areas on hepatotoxicity in rats by immunohistochemical method. *Acta Aquatica Turcica*, 17 (1), 108-118.
doi: <https://doi.org/10.22392/actaquatr.762038>
- Karafistan, A., & Ormancı, H.B. (2010). Metal concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from southern Dardanelles, Turkey, *Environmental Science An Indian Journal*, 5(3) 201-204.
- Kayhan, F.E., Muşlu, M.N., & Koç, N.D. (2009). Bazı ağır metallerin sucül organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences.com* 3(2): 153-162. doi: 10.3153/jfsc.com.2009019
- Kelkit, A. (2003). Çanakkale ilinde sanayi ve çevre ilişkisi üzerinde bir araştırma, *Atatürk Üniv. Ziraat Fakültesi Dergisi* 34 (2), 179-186.
- Küçüksezgin, F., Pazi, I., Yucel-Gier, G., Akcalı, B., & Galgani, F. (2013). Monitoring of heavy metal and organic compound levels along the Eastern Aegean coast with transplanted mussels, *Chemosphere*, Volume 93, Issue 8.
- Lök, A., Çolakoğlu, S., Acarlı, S., Serdar, S., Küçükdermenci, A., Yigitkurt, S., Kirtik, A., & Güler, M. (2010). Heavy metal concentrations in the Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*)

- collected from the Dardanelles *Rapp. Comm. int. Mer Médit.*, 39.
- Masindi, V. & Muedi, K.L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10, 115-132. IntechOpen, London. doi:10.5772/intechopen.76082
- MAFF (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries) (1995). Monitoring and surveillance of nonradioactive contaminants in the aquatic environment and activities regulating the disposal wastes at sea, of 1993. *Directorate of Fisheries research, Lowestoft, Aquatic Environment Monitoring Report no.44*.
- Mol, S., & Alakavuk, D.Ü. (2011). Heavy Metals in mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from Marmara Sea, Turkey. *Biological Trace Element Research* 141, 184-191 <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8721-2>
- Olsson, P.E., Kling, P., & Hogstrand, C. (1998). Mechanisms of heavy metal accumulation and toxicity in fish. *Metal metabolism in aquatic environments*. London, UK. pp. 321- 337.
- Özden, S., & Tunçer, S. (2015). Heavy metal concentrations in *Mytilus galloprovincialis* from Çanakkale Strait, NW. Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, Volume 24 – No 9, pp 2725-2731.
- Rainbow, P.S. (1997). Trace metal accumulation in marine invertebrates: Marine biology or marine chemistry? *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 77, 195-210.
- Scoging, A.C. (1991). Illnesses associated with seafood, *CDR (London England .Review)*, 1(11), 117-122.
- Sevgi, S., & Suzer- Uluturhan, E. (2019). Assessment of Hg, Cd, Pb and Cr accumulations in razor clam (*Solen marginatus*) from the Homa Lagoon. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(1), 31-39. doi: 10.12714/egejfas.2019.36.1.04
- Sunlu, U. (2006). Trace metal levels in mussels (*Mytilus galloprovincialis* L. 1758) from Turkish Aegean Sea coast. *Environmental Monitoring and Assessment* 114(1-3):273-286.
- Şanlı, Y., Demet, Ö., Akar, F., Yavuz, H., Bilgili, A., Liman, C. B. & Doğan, A. (1990). Buldan Barajı suyunun doğal kalitesi ve buradan avlanan sazan balığı örneklerinde bazı ağır metal artıkları üzerine araştırmalar. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 37 (1) : 56-73s.
- Taş, E. Ç., & Sunlu, U. (2019). Heavy metal concentrations in razor clam (*Solen marginatus*, Pulteney, 1799) and sediments from Izmir Bay, Aegean Sea, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture Food Science and Technology*, 7(2): 306-313, 2019 doi: <https://doi.org/10.24925/turjaf.v7i2.306-313.2284>
- TGK (2002). Official gazette of republic of Turkey. Notifications about determination of the maximum levels for certain contaminants in foodstuffs of Turkish Food Codex (in Turkish). (Notification No: 2002/63), Issue: 24885.
- TGK (2009). Official gazette of republic of Turkey. Notifications changes to the maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (in Turkish). (Notification No: 2009/22), Issue: 27143.
- Tripathi, A., & Ranjan, M.R. (2015). Heavy metal removal from wastewater using low cost adsorbents. *Journal of Bioremediation and Biodegradation*, 6: 315. doi:10.4172/2155-6199.1000315
- Vane, C., Turner, G.H., Chenery, S.R., Richardson, M., Cave, M.C., Terrington, R., Gowing C.J.B., & Moss-Hayes, V. (2020). Trends in heavy metals, polychlorinated biphenyls and toxicity from sediment cores of the inner Thames Estuary, London, UK. *Environmental Science: Processes and Impacts*, 22, 364-380. doi:<https://doi.org/10.1039/C9EM00430K>
- Vural, P., & Acarlı, S. (2021) Monthly variation of micro- and macro-element composition in smooth scallop, *Flexopecten glaber* (Linnaeus, 1758), from the Çardak Lagoon (Çanakkale Strait, Turkey). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 38(4), 449-459, doi: 10.12714/egejfas.38.4.06
- WHO (World Health Organization) (1989). Heavy metals environmental aspects. *Environment health criteria*. No. 85. Geneva, Switzerland.
- Yigit, M., Celikkol, B., Yilmaz, S., Bulut, M., Ozalp, B., Dwyer, R.L., Maita, M., Kizilkaya, B., Yigit, Ü., Ergün, S., Gürses, K., & Buyukates, Y. (2018) Bioaccumulation of trace metals in Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from a fish farm with copper-alloy mesh pens and potential risk assessment, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 24:2, 465-481, doi: 10.1080/10807039.2017.1387476
- Yücel, M., & Yücel, E. (2013). On the ecotoxicological effects of heavy metal pollution of industrial origin determination of wheat varieties. *Biological Diversity and Conservation*, 6 (13) 6-11.