



Marmara Denizi'nde Doğal Ortamdan ve Yetiştiricilik Tesislerinden Toplanan Akdeniz Midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Dokularında İz Elementlerin Konsantrasyonlarının Karşılaştırılması

Tolga AKDEMİR*

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, 53100, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 11.10.2024

Kabul Tarihi: 02.01.2025

Basım Tarihi: 31.01.2025

Atıf yapmak için: Akdemir, T. (2025), Marmara Denizi'nde doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden toplanan Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) dokularında iz elementlerin konsantrasyonlarının karşılaştırılması. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, **10**(1), 25-33. <https://doi.org/10.35229/jaes.1565128>

How to cite: Akdemir, T. (2025). Comparison of trace element concentrations in tissues of Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) collected from natural environment and aquaculture facilities in the sea of Marmara. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, **10**(1), 25-33. <https://doi.org/10.35229/jaes.1565128>

 <https://orcid.org/0000-0001-8994-6406>

***Sorumlu yazarın:**

Tolga AKDEMİR
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Teknik
Bilimler Meslek Yüksekokulu, 53100, Rize,
Türkiye
✉: tolga.akdemir@erdogan.edu.tr

Öz: Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*), son yıllarda tüketimi gittikçe artan çevresel, ekonomik ve ekolojik açıdan önemli bir türdür. Bununla birlikte çeşitli kirleticilerin etkisi altında olduğu bilinen Marmara Denizi, bu türün hem yetiştiriciliğinin yapıldığı hem de doğal olarak elde edilebildiği önemli bir iç denizimizdir. Bu çalışma kapsamında Marmara Denizi'nde iki farklı bölgeden örneklenen Akdeniz midyelerinin yumuşak dokularında Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Atomik Emisyon Spektroskopisi ile ölçülmüştür. Bulgular bazı iz elementlerin konsantrasyonlarının Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen limit değerlerin üzerinde olduğunu ve arındırma sürecinin önemini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak kirleticileri bünyesinde biriktirme eğiliminde olan bu türün ister yetiştiricilik yoluyla ister avlama yoluyla elde edilsin, önemli bir besin kaynağı olarak insan sağlığı açısından çeşitli riskler taşıyabileceği ortaya koyulmuştur.

Anahtar kelimeler: Akdeniz midyesi, ağır metal, midye yetiştiriciliği.

Comparison of Trace Element Concentrations in Tissues of Mediterranean Mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Collected from Natural Environment and Aquaculture Facilities in the Sea of Marmara

Abstract: Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) is an environmentally, economically and ecologically important species whose consumption has been increasing in recent years. However, the Marmara Sea, which is known to be under the influence of various pollutants, is an important inland sea where this species is both cultivated and can be obtained naturally. In this study, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels sampled from two different regions of the Marmara Sea were measured by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy. The results show that the concentrations of some trace elements are above the limit values set by the Turkish Ministry of Agriculture and Forestry (2002) and reveal the importance of the decontamination process. As a result, it has been revealed that this species, which tends to accumulate pollutants, may carry various risks for human health as an important food source, whether it is obtained through aquaculture or fishing.

Keywords: Mediterranean mussel, heavy metal, mussel farming.

GİRİŞ

Birleşmiş Milletler'in 2024 Dünya Nüfus Raporu'nda belirtildiği üzere, küresel nüfusun 2050 yılında 10,5 milyara ulaşabileceği öngörülmektedir (BM 2024). Hızlı nüfus artışı nedeniyle besin ihtiyacı tüm dünyada giderek artmaktadır. Su ürünlerinin bütününün dünya

genelinde gıda arzında önemli bir kaynak olduğu bilinmektedir. Kıyı bölgelerinde avlanmakta ve yetiştirilmekte olan yumuşakçalar bu besin ihtiyacının giderilmesinde her geçen yıl daha da artan bir öneme sahiptirler. Diğer protein kaynakları ve diğer deniz ürünleri ile kıyaslandığında yumuşakçalar daha sürdürülebilir ve verimli üretim süreçlerine sahiptirler. Ülkemizde

yetiştiriciliği yapılan çift kabuklu yumuşakça türlerinin başında *Mytilus galloprovincialis* (mavi midye veya Akdeniz midyesi) gelmektedir.

Mytilus galloprovincialis, Akdeniz, Karadeniz ve Adriyatik Denizi kıyıları boyunca dağılım gösteren ve neredeyse tüm ılıman bölgeleri ve büyük nakliye limanlarını kapsayacak şekilde dünya genelinde çok çeşitli habitatlarda başarılı bir şekilde kolonileşmeyi başarmış bir türdür (Branch and Stephanni, 2004). Akdeniz midyesi proteince zengin yapısı ve sağlıklı doymamış yağ asitleri ile tüketilebilir su ürünleri arasında önemli bir yere sahiptir. Akdeniz midyesi deniz suyundan organik partikülleri filtreleyerek beslendikleri için biyolojik ve kimyasal kirleticileri dokularında biriktirme riski taşırlar (Bayne vd., 1976; Alpbaz, 1993; Çolakoğlu vd., 2003; Çolakoğlu vd., 2010) ve bu özellikleriyle dünyada kıyı sularının kalitesinin takibi için biyolojik indikatör olarak kullanılmaktadır (Bat vd., 1999; Balcıoğlu ve Gönülal, 2017).

Son yıllarda ülkemizde Akdeniz midyesi ekonomik ve gastronomik anlamda ciddi şekilde değerlendirilmektedir. Akdeniz midyesine özel olarak açılan restoran zincirleri yanı sıra bu türün taze ya da pişmiş şekilde tezgâhta sürekli yer bulduğu satış noktaları hatta zincir mağaza ağları dahi oluşmuştur. İhracat ve doğrudan tüketim ürünü olarak talep ve arz dengesinin sağlanması amacıyla devlet tarafından bu türün yetiştiriciliği için de önemli destekler verilmektedir. Akdeniz midyesinin 2023 yılı üretim miktarı bir önceki yıla göre %21,6 azalarak 2526,7 ton olarak kayıtlara geçse de diğer deniz ürünleri üretimindeki %0,7 yükselerek payı %7,6'ya yükselmiştir (TUIK 2024).

Ayrıca *Mytilus galloprovincialis* türü hem ekolojik hem de bilimsel olarak da büyük önem arz etmektedir. Besin zincirinin hayati bir bileşeni olma rolünün yanı sıra, deniz suyunun filtrelenmesi, diğer deniz canlılarına habitat sağlanması ve denizel erozyonun önlenmesi de dahil olmak üzere bir dizi temel 'ekolojik işlev' aracılığıyla deniz ekosistemlerinin sağlığının korunmasında da etkili bir rol oynamaktadır. Akdeniz midyesi yine deniz kirliliği, kalıtım-çevrim ve ekosistem modelleme gibi çalışmalar içinde biyo-indikatör tür olarak kullanılmaktadır (Bat vd., 1999; Kroeker vd., 2014; Ştambuk vd., 2013; Veiga vd., 2020)

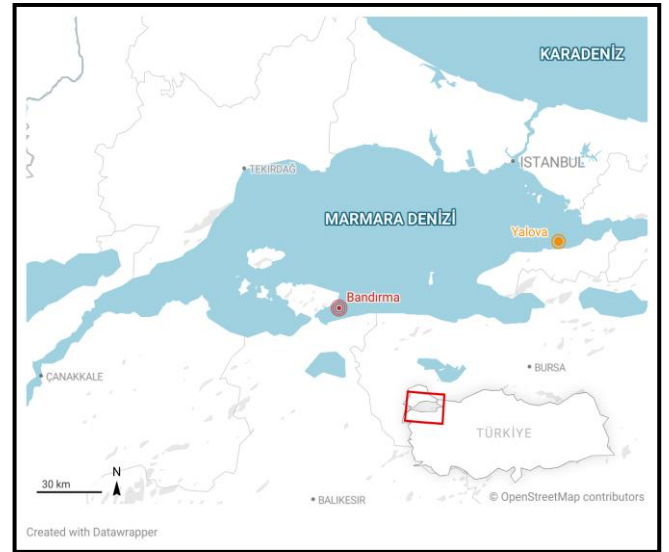
Tüm bu ekonomik ve ekolojik değerine rağmen Akdeniz midyesi gibi deniz ürünleri tüketici sağlığı açısından risk teşkil edebilecek ağır metallerin kaynağı olabilirler (US EPA 2000; EFSA 2012; Turanlı & Gedik, 2021). Ağır metaller biyolojik olarak parçalanmazlar, bu özellikleri ile hem çevrede birikme eğilimindedirler hem de canlı organizmalar üzerinde toksik etkilere sahiptirler (Matta vd., 1999) üstelik canlı dokularda birikerek potansiyel olarak besin zincirinin üst seviyelerine kadar ulaşabilirler (Wang & Ren, 2014).

Bu çalışmanın temel amacı doğal ortamından ve yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgelerden toplanan Akdeniz

midyesi yumuşak dokularında Kadmiyum (Cd), Krom (Cr), Bakır (Cu), Nikel (Ni), Kurşun (Pb) ve Çinko (Zn) iz elementlerin miktarının belirlenerek karşılaştırılması ve aralarındaki farkların belirlenmesidir.

MATERYAL VE METOT

Çalışma materyali ve çalışma sahası: Çalışma materyalini Akdeniz midyesi oluşturmaktadır. Örnekleme bölgesi olarak türün hem doğal ortamdan toplanabildiği hem de yetiştiriciliğinin yapıldığı Marmara Denizi Bandırma ve Yalova kıyıları tercih edilmiştir (Şekil 1). Yalova istasyonundan alınan örnekler doğal ortamdan toplanırken, Bandırma istasyonundan toplanan örnekler ise türün yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı bir bölgede yetiştiricilik tesisinden alınmıştır. Akdeniz midyesi örnekleri hem doğal ortamından hem de yetiştiriciliğinin yapıldığı bölgeden Temmuz, 2021 tarihinde, dalgıç marifeti ile SCUBA dalış yöntemi ile toplanmıştır. Örneklerde boy ölçümü yapılmış ve bireyler 4 gruba ayrılmıştır. Minimum pazar boyu 56 mm referans alınarak (Lök vd., 2007), 56 mm ve üzeri bireyler 'XL', 55 mm-47 mm 'L', 46 mm-30 mm 'M' ve 29 mm ile 18 mm arası olan bireyler 'S' olarak sınıflandırılmıştır. Her boy grubundan 12 toplamda 96 birey kullanılmıştır.



Şekil 1. Akdeniz midyesi (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) örnekleme sahası.

Figure 1. Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) sampling site.

Örneklerin Parçalanması: Örneklerin boyları ölçüldükten hemen sonra, yumuşak dokular doku diseksiyonu ile çıkarılmıştır. Belirli boy gruplarına ait bireylere ait çıkarılan dokular ayrı ayrı homojenize edilmiş ve her birinden yaklaşık 2,5 g (taze ağırlık) örnek 5 mL HNO₃ (%65 Suprapur, Merck) içeren farklı sindirim tüplerine yerleştirilmiş ve tüpler polipropilen kapaklarla kapatılarak bir gece bekletilmiştir. Tüpler daha sonra bir blok ısıtıcıya (Velp, İtalya) aktarılmış ve 2,5 saat boyunca

95±3 °C'de (çözelti sıcaklığı) inkübe edilmiştir. Daha sonra, tüplerin oda sıcaklığına kadar soğuması sağlanmıştır ve 2,5 mL ekstra H₂O₂ (%30 Suprapur, Merck) ile 2 saat daha 95±3 °C'de inkübe edilmeye devam edilmiştir. Kapaklar çıkarılmış ve tüpler çözelti hacimleri yaklaşık 2 mL olana kadar blok ısıtıcıda tutulmuştur. Son olarak, çözelti ultra saf su ile 50 mL'ye seyreltilmiş ve politetrafloroetilen, 0,45-µm gözenek boyutlu şırınga filtresinden (US EPA 1996) süzülümüş, ardından analizlere kadar +4 °C'de saklanmıştır (Turanlı & Gedik, 2021).

İz elementlerin belirlenmesi ve Kalite Kontrol:

Örneklerden Cd, Cr, Cu, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonları İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES) kullanılarak ölçülmüştür. Kalite kontrolü için boş numuneler kullanılmış ve analizler 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca sindirim işlemlerini kontrol etmek ve denetlemek için numunelere uygulanan yöntemin aynı sertifikalı referans malzemeye de (ERM-BB422 Balık Doku) uygulanmış, sonuçlar karşılaştırılmış ve ardından işlemin doğruluğu belirlenmiştir. ERM-BB422 Balık Doku, Avrupa Komisyonu, Avrupa Referans Malzemeleri, içeriğinde bulunan metaller için geri kazanım oranı %95,17-%107,34 aralığında bulunmuştur. Birimler ıslak ağırlık olarak mg/kg olarak verilmiştir.

Sağlık riski değerlendirilmesi

Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI):

Gıdalardaki metallere maruziyetin insan sağlığı üzerindeki etkileri, Tahmini Günlük Alım Miktarı (EDI) kullanılarak değerlendirilmektedir. EDI, metallerin konsantrasyonu, günlük tüketim miktarı, maruziyet sıklığı ve süresi dikkate alınarak aşağıdaki formül ile hesaplanır (Traina vd., 2019):

$$EDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT}$$

Burada C, metal konsantrasyonunu; IR, günlük tüketim miktarını (0,020 kg/gün); EF, maruziyet sıklığını (365 gün/yıl); ED, yıl cinsinden maruziyet süresini (70 yıl); BW, vücut ağırlığını (70 kg); AT ise ortalama maruziyet süresini ifade eder (365 gün/yıl × ED) (Ezemonye vd., 2019; Varol vd., 2017; Mol vd., 2017).

Kanserojen olmayan sağlık riski değerlendirilmesi:

Hedef Tehlike Katsayısı (THQ), kirleticilere maruziyetten kaynaklanabilecek kanserojen olmayan sağlık risklerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu metodoloji, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından onaylanmıştır (US EPA 2011a). THQ, belirli bir kimyasal maddeye maruziyetin referans doz (RfD) ile karşılaştırılması yoluyla hesaplanır ve olası sağlık risklerini belirlemede kullanılır.

$$THQ = \frac{EDI}{RfD}$$

Burada, THQ hedef tehlike katsayısını, EDI tahmini günlük alım miktarını ve RfD referans dozu ifade

etmektedir. Oral referans doz (RfD) değerleri mg/kg/gün cinsinden verilmiştir ve Cd: 0.001, Cr: 0.003, Cu: 0.04, Ni: 0.02, Pb: 0.0035, Zn: 0.3 şeklindedir. THQ < 1.0 durumunda Olası olumsuz bir sağlık etkisi beklenmezken; THQ ≥ 1.0 değeri potansiyel bir olumsuz sağlık etkisinin varlığına işaret eder (Yin vd., 2020).

Kanserojen sağlık riski değerlendirilmesi:

Kanserojen risk hesaplaması, bir metalin uzun vadede kanser gelişimine neden olma potansiyelini değerlendirmek için kullanılır. Akdeniz midyesi gibi deniz ürünleri, çevresel kirlilik nedeniyle ağır metaller ve diğer kanserojen maddeler içerebilir. Bu risk, tüketim miktarına ve metal konsantrasyonlarına bağlı olarak değişir ve bu riski değerlendirmek için kullanılan formül aşağıda tanımlanmıştır (Zeng vd., 2015; US EPA 2011b):

$$CRI = EDI \times CSF$$

Burada EDI beklenen günlük ağır metal alımını ifade eder. CSF (Slope Factor - Eğim Faktörü), Entegre Risk Bilgi Sistemi veri tabanından alınmıştır (Traina vd., 2019). CSF değerleri mg/kg/gün olarak ifade edilmiştir ve Cd: 6.3, Cr: 0.041, Ni:0.0017 ve Pb 0.0085 şeklindedir (Wahiduzzaman vd., 2022). Kanserojen Risk İndeksi (CRI), CRI < 10⁻⁶: İhmal edilebilir risk, 10⁻⁶ < CRI < 10⁻⁴: Kabul edilebilir veya katlanılabilir risk ve CRI > 10⁻⁴: Önemli derecede risk olarak sınıflandırılmıştır (Mutlu, 2024). Ayrıca tüm elementler için kronik maruziyet riskini değerlendirmek için günlük tolere edilebilir alım miktarı (TDI) ile kıyaslamalar gerçekleştirilmiştir. TDI değerleri mg/kg/gün olarak ifade edilmiştir ve Cd: 0.0008, Cr: 0,3, Cu: 0,5, Ni: 0,012, Pb: 0,0015 ve Zn: 0,3 şeklindedir (Varol & Sünbül, 2018). **İstatistiksel analizler:** Veri setinin istatistiksel analizi ve grafikler Origin(Pro), 2024b. OriginLab Corporation, Northampton, MA, USA kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklı istasyonlardan elde edilen aynı boy grubuna ait bireylerin iz element konsantrasyonlarını karşılaştırmak için bağımsız iki örneklem t-testi gerçekleştirilmiştir. Aynı istasyondan elde edilen tüm boy gruplarına ait bireylerin iz element konsantrasyonlarını karşılaştırarak değerlendirmek için ise yine tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve TUKEY testi kullanılmıştır ve anlamlılık düzeyi p<0,05 olarak belirlenmiştir.

BULGULAR

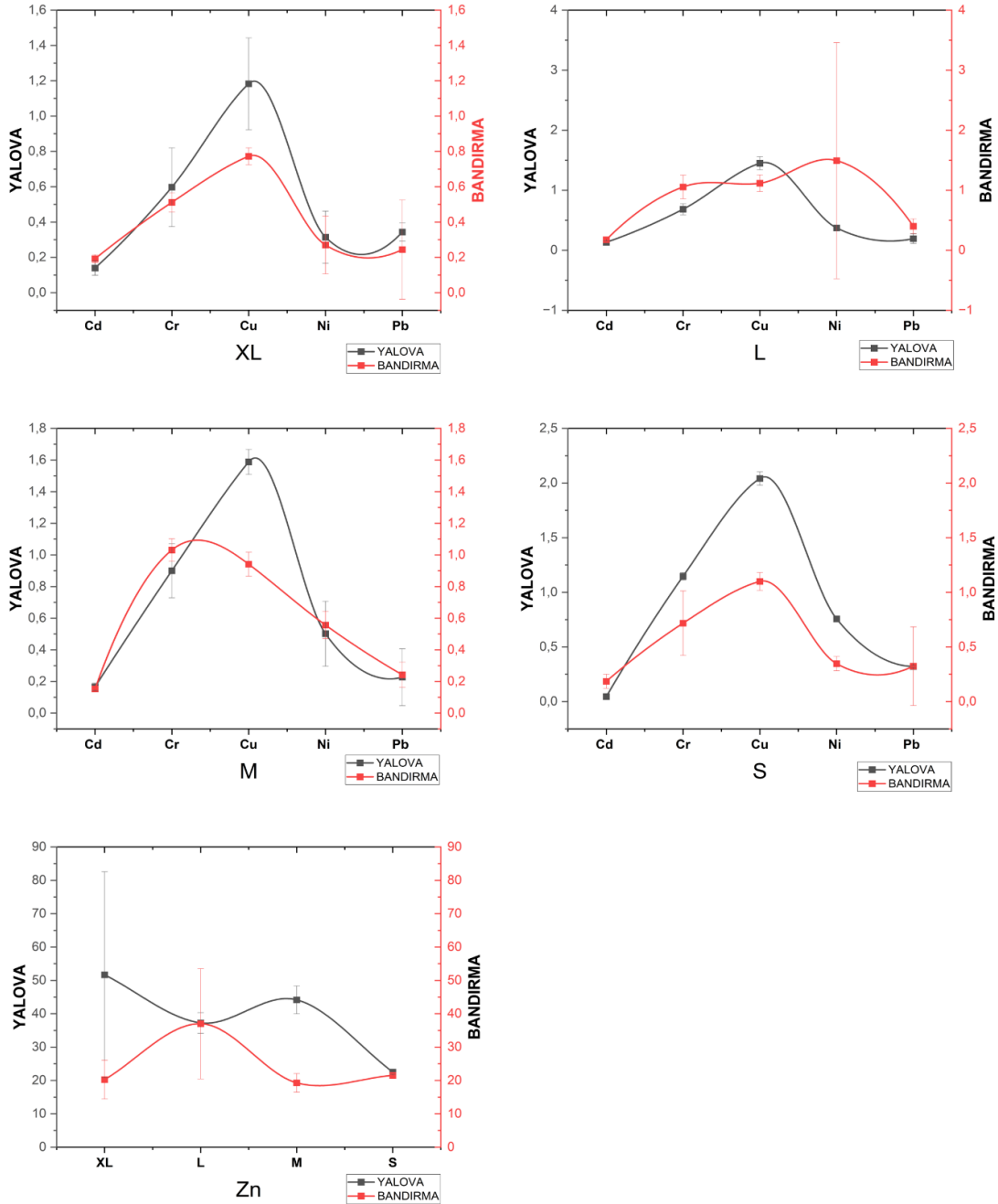
Hem Yalova istasyonunda (doğal ortamdan) hem de Bandırma istasyonundan (yetiştiricilik tesislerinden) toplanan örneklerde iz element konsantrasyonları Cd için 0,05-0,19 mg/kg, Cr için 0,51-1,15 mg/kg, Cu için 0,77-2,04 mg/kg, Ni için 0,27-1,49 mg/kg, Pb için 0,19-0,40 mg/kg ve Zn için 19,27-51,68 mg/kg aralığında ölçülmüştür. Ölçülen değerlere ait detaylar Tablo 1'de ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden örneklenen Akdeniz midyesinin (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) yumuşak dokularındaki metal konsantrasyonları (ortalama \pm standart hata; mg L⁻¹)**Table 1.** Metal concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) sampled from the natural environment

İz elenimler	YALOVA				BANDIRMA			
	XL	L	M	S	XL	L	M	S
Cd	0,14 \pm 0,04Aa	0,13 \pm 0,02Ba	0,17 \pm 0,02Ba	0,05 \pm 0,00Ca	0,19 \pm 0,02b	0,18 \pm 0,03b	0,15 \pm 0,02b	0,19 \pm 0,07b
Cr	0,60 \pm 0,22Aa	0,68 \pm 0,09Ba	0,90 \pm 0,17Ba	1,15 \pm 0,03Ca	0,51 \pm 0,05Ab	1,05 \pm 0,20Bb	1,03 \pm 0,07Cb	0,72 \pm 0,29Db
Cu	1,18 \pm 0,26Aa	1,45 \pm 0,11Ba	1,59 \pm 0,08Ba	2,04 \pm 0,06Ca	0,77 \pm 0,05Ab	1,12 \pm 0,14Bb	0,94 \pm 0,08Cb	1,10 \pm 0,08Db
Ni	0,31 \pm 0,15A	0,37 \pm 0,03Ba	0,50 \pm 0,21B	0,76 \pm 0,02Ca	0,27 \pm 0,16	1,49 \pm 1,97b	0,56 \pm 0,09	0,35 \pm 0,07b
Pb	0,34 \pm 0,05	0,19 \pm 0,08a	0,23 \pm 0,18	0,32 \pm 0,01	0,24 \pm 0,28	0,40 \pm 0,12b	0,24 \pm 0,08	0,32 \pm 0,36
Zn	51,68 \pm 30,88a	37,25 \pm 3,09	44,17 \pm 4,18a	22,52 \pm 0,68a	20,24 \pm 5,79b	36,99 \pm 16,52	19,27 \pm 2,79b	21,52 \pm 0,47b

*Büyük harfler aynı istasyondan elde edilen örnekler için boy grupları arasındaki istatistiksel farkı ortaya koyarken küçük harfler farklı iki istasyondan elde edilen örnekler için aynı boy grupları arasındaki istatistiksel farkı ifade eder (p<0.05).

*Uppercase letters indicate the statistical difference between height groups for samples obtained from the same station, while lowercase letters indicate the statistical difference between the same height groups for samples obtained from two different stations (p<0.05).

**Şekil 2.** Doğal ortamdan ve yetiştiricilik tesislerinden örneklenen Akdeniz midyesinin (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) yumuşak dokularında metal konsantrasyonlarının boy gruplarına göre dağılımı (mg kg⁻¹)**Figure 2.** Distribution of metal concentrations in soft tissues of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) sampled from natural environment and aquaculture facilities according to size groups (mg kg⁻¹)

Daha önceki çalışmalarda kirli kıyı bölgelerinden alınan midye örneklerinin, temiz bölgelerden alınan midye örneklerine göre dokularında daha fazla miktarda metal biriktiği tespit edilmiştir (Guendouzi et al. 2020; Yuan et al. 2020; Bajt et al. 2019). Metallerin insanlar için toksik etki düzeyleri $Co < Al < Cr < Pb < Ni < Zn < Cu < Cd < Hg$ şeklinde sıralanmaktadır (Mansourri & Madani, 2016). Elde ettiğimiz bulgulara göre Cd değeri en yüksek 0,19 mg/kg olarak S ve XL boy gruplarındaki Bandırma örneklerinde tespit edilmiştir. Bu değer Yalova örneklerinde ise en yüksek 0,17 mg/kg olarak M boy grubunda ölçülmüştür. Bu bilgiler ışığında tüm boy grupları için Cd konsantrasyonlarında yetiştiricilik tesisleri ve doğal ortamdan toplanan örnekler arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalarda araştırmacılar, Bandırma için Cd değerini ortalama 0.227 ± 0.093 mg/kg olarak (Doğruyol vd., 2024) ve Yalova için farklı istasyonlarda 0,11 ile 0,19 mg/kg arasında değiştiğini (Acarlı vd., 2023) rapor etmişlerdir. Elde edilen ölçümler bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu görünmektedir. Peycheva vd. (2021) Karadeniz’de yaptıkları çalışmalarında yetiştiricilik tesislerinden elde ettikleri örneklerde Cd seviyesini doğal ortamdan toplanan örneklerden daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu durum da bu çalışmanın sonuçları ile uyumlu görünmektedir. Kabuklu deniz ürünlerinde bulunması muhtemel metallerin gıdalarda kabul edilebilir maksimum seviyeleri Avrupa Komisyonu (EC) No 2023/915 düzenlemeleri ile belirlenmiştir ve Cd için limit değer 1,00 mg/kg’dır (Avrupa Komisyonu, 2023). Bu çalışmada her iki istasyondan toplanan örneklerden ölçülen değerler Avrupa komisyonu tarafından belirlenen limit değerlerin altındadır. Arındırılmamış hali ile ölçülen bu değer Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 0,1 mg/kg limit değerlerin ise üzerindedir. Çocuklarda Cd kronik toksisitesi, solunum, böbrek, iskelet ve kardiyovasküler sistemlerde hasarın yanı sıra akciğer, böbrek, prostat ve mide kanseri gelişme riskinde artış da dahil olmak üzere bir dizi olumsuz etkiyi kapsamaktadır (US EPA, 2010; WHO, 2011). İnsanlarda Cd maruziyetinin başlıca kaynakları kontamine gıdaların tüketilmesi, sigara-tütün kullanımı ve metal endüstrilerinde (Cd ile kirlenmiş) işyerlerinde mesleki maruziyettir (Paschal vd., 2000). Hızlı kentleşmenin getirdiği yük ile evsel atıklar, denizcilik, otomotiv ve kimya endüstrisi gibi sanayi kuruluşları ve tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübre ve pestisitlerin denizel ortama taşınması bölgedeki kirliliğin muhtemel en önemli kaynakları arasındadır.

Cr için en yüksek değer S boy grubunda, 1,15 mg/kg ile Yalova istasyonundan elde edilen örneklerden ölçülmüştür. Bandırma istasyonunda ölçülen değer ise L

boy grubunda 1.05 mg/kg’dır. Tüm boy grupları için Cr konsantrasyonlarında istasyonlar arasında önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Belivermiş vd. (2016) Karamürsel (Yalova yakınları) ve Bandırma istasyonlarında kuru ağırlık bazında Cr konsantrasyonlarını sırasıyla 1,06 ile 2,12 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Guendouzi vd. (2024) tarafından Cr midye tüketiminde (< 2 kg/gün) sınırlayıcı metal olarak kabul edilmiştir. Cr, metalurji, elektro-kaplama ve boya, pigment, koruyucu, kağıt hamuru ve kağıt üretimi dahil olmak üzere çeşitli endüstriyel ve imalat süreçlerinde yaygın olarak kullanılan bir elementtir (Jaishankar vd., 2014). Potansiyel kaynaklar tek tek ve ayrıntılı olarak ele alındığında bölgedeki kirlilik hakkında fikir vermektedir.

Cu için en yüksek değer S boy grubunda, 2,04 mg/kg ile Yalova örneklerinde ölçülürken, Bandırma istasyonunda en yüksek değer L boy grubunda 1,12 mg/kg olarak ölçülmüştür. Tüm boy grupları için istasyonlar arasında Cu konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Cu, insan vücudu için esansiyel bir iz element olup biyokimyasal süreçlerde önemli rol oynar. Akdeniz midyesinin tüketimi yoluyla insan vücuduna alınan Cu, kanserojen olarak kabul edilmemekle birlikte aşırı miktarda alındığında toksik etkiler gösterebilir (Gorell vd. 1997; Baltas vd. 2016). Yalova özelinde gerçekleştirilen çalışmalarında Acarlı vd. (2023) en yüksek Cu düzeyini *M. Galloprovincialis* için 0.99 ± 0.05 mg/kg olarak tespit etmişlerdir. Belivermiş vd. (2016) ise Bandırma bölgesinde 89.4 mg/kg (kuru ağırlık) olarak tespit etmişlerdir. Bu çalışmada ölçülen değerler Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 20 mg/kg limit değerinin oldukça altındadır.

Ni için en yüksek değer L boy grubunda, 1,49 mg/kg ile Bandırma örneklerinde ölçülürken, Yalova istasyonunda en yüksek değer S boy grubunda 0,76 mg/kg olarak ölçülmüştür. L ve S boy grubu özelinde istasyonlar arasında Ni konsantrasyonlarında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir.

Pb için en yüksek değer L boy grubunda, 0,40 mg/kg ile Bandırma örneklerinde ölçülürken, Yalova istasyonunda en yüksek değer XL boy grubunda 0,34 mg/kg olarak ölçülmüştür. Sadece L boy grubu için Pb konsantrasyonlarında istasyonlar arasında istatistiki olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$) olduğu belirlenmiştir. Bandırma için Pb değerini ortalama 0.096 ± 0.028 mg/kg olarak (Doğruyol vd., 2024) ve Yalova için farklı istasyonlarda 0.11–0.72 mg/kg arasında değiştiğini (Acarlı vd., 2023) rapor etmişlerdir. Bu çalışmada ölçülen değerler Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 1 mg/kg limit değerinin altındadır.

Zn 51,68 mg/kg ile XL boyda ve Yalova örneklerinde daha yüksek çıkarken Bandırma örneklerinde

XL ve L boylarda sırasıyla 20,24 mg/kg ve 36,99 mg/kg olarak ölçülmüştür. L boy grubu hariç tüm boy grupları için istasyonlar arasında Zn konsantrasyonlarında istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p < 0,05$ olduğu belirlenmiştir). Bu çalışmada ölçülen değerler Bandırma için Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002) tarafından belirlenen 50 mg/kg limit değerinin altındadır. Buna karşılık Yalova istasyonunda ve XL boyda tespit edilen değer dikkate alındığında herhangi bir şekilde arındırma işlemine tabi tutulmayan, doğal ortamdan toplanan midyelerin doğrudan tüketilmesi durumunda insan sağlığı için risk taşıyabileceğini göz önüne sermektedir.

Öte yandan boy grupları ile mide dokularındaki metal konsantrasyonları arasında bir ilişki olduğu araştırmacılar tarafından bildirilmiştir. Bazı araştırmacılar küçük boyutlu midyelerde metal konsantrasyonlarının

daha yoğun olduğundan bahsetmişlerdir (Mubiana vd., 2006; Yap vd., 2009; Turanlı & Gedik, 2021). Bu çalışmada Cu ve Cr için küçük boylarda konsantrasyonun daha yüksek olduğu ve boy büyüdükçe konsantrasyonun azaldığı şeklinde bir trend izleniyor olsa da diğer metaller için sabit bir trend söz konusu değildir. Mevcut örnek sayısı ile yapılacak bir regresyon analizi yanıltıcı olacaktır. Bu bölge açısından böyle bir çıkarım yapmak için daha fazla örneğin detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

Sağlık riski değerlendirmesi, belirlenen maruz kalma süreleri boyunca hem kanserojen hem de kanserojen olmayan riskleri dikkate alarak kirlenmeye maruz kalmanın insan sağlığı üzerindeki potansiyel zararlı etkilerini analiz etmek için kullanılan metodik bir prosedürdür. Tablo 2'de hem Yalova hem de Bandırma istasyonları için sağlık riski değerlendirmelerine ilişkin veriler sunulmaktadır.

Tablo 2. Akdeniz midyesi'nde metaller için, Tahmini günlük alım miktarı (EDI), hedef tehlike katsayısı (THQ), kanserojen risk (CRI) ve günlük tolere edilebilir alım miktarı (TDI) değerleri (mg/kg/gün).

Table 2. Estimated daily intake (EDI), target hazard quotient (THQ), carcinogenic risk (CRI) and tolerable daily intake (TDI) values of metals in Mediterranean mussel (mg/kg/day).

İz elementler	YALOVA												
	XL			L			M			S			TDI
	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	
Cd	3,99E-05	0,040	2,51E-04	3,80E-05	0,0380	2,39E-04	4,73E-05	0,0473	2,98E-04	1,31E-05	0,0131	8,26E-05	8,00E-04
Cr	1,71E-04	0,057	7,00E-06	1,95E-04	0,0652	8,01E-06	2,57E-04	0,0857	1,05E-05	3,28E-04	0,1092	1,34E-05	3,00E-01
Cu	3,38E-04	0,008		4,14E-04	0,0104		4,54E-04	0,0113		5,83E-04	0,0146		5,00E-01
Ni	8,97E-05	0,004	1,53E-07	1,06E-04	0,0053	1,81E-07	1,43E-04	0,0072	2,44E-07	2,16E-04	0,0108	3,68E-07	1,20E-02
Pb	9,81E-05	0,028	8,34E-07	5,54E-05	0,0158	4,71E-07	6,47E-05	0,0185	5,50E-07	9,17E-05	0,0262	7,80E-07	1,50E-03
Zn	1,48E-02	0,049		1,06E-02	0,0355		1,26E-02	0,0421		6,44E-03	0,0215		3,00E-01
İz elementler	BANDIRMA												
	XL			L			M			S			TDI
	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	EDI	THQ	CRi	
Cd	5,48E-05	0,055	3,45E-04	5,03E-05	0,0503	3,17E-04	4,36E-05	0,0436	2,74E-04	5,29E-05	0,0529	3,33E-04	8,00E-04
Cr	1,46E-04	0,049	5,99E-06	3,01E-04	0,1004	1,23E-05	2,95E-04	0,0982	1,21E-05	2,05E-04	0,0683	8,41E-06	3,00E-01
Cu	2,21E-04	0,006		3,19E-04	0,0080		2,69E-04	0,0067		3,14E-04	0,0079		5,00E-01
Ni	7,71E-05	0,004	1,31E-07	4,26E-04	0,0213	7,25E-07	1,59E-04	0,0080	2,70E-07	9,92E-05	0,0050	1,69E-07	1,20E-02
Pb	6,97E-05	0,020	5,93E-07	1,15E-04	0,0327	9,74E-07	6,92E-05	0,0198	5,88E-07	9,26E-05	0,0265	7,87E-07	1,50E-03
Zn	5,78E-03	0,019		1,06E-02	0,0352		5,51E-03	0,0184		6,15E-03	0,0205		3,00E-01

Genel olarak, her metal için hesaplanan EDI değerlerinin TDI değerlerinin altında olduğu THQ değerlerinin 1'den küçük olduğu ve CRi değerlerinin kabul edilebilir risk teşkil ettiği gözlemlendi. Bu durum, her iki istasyonda da bu metallerin kabul edilen dozlarda günlük alımının halk sağlığı üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye neden olmadığı anlamına gelir.

Ayrıca metallerin antropojenik kaynakların yanı sıra jeojenik kaynaklardan geldiği de bilinmektedir (Bradl, 2005). Marmara Denizi'nin güney kıyısı, maden yataklarının kaynağı olarak tanımlanan kendine özgü bir jeolojik yapıdadır. Pb (kurşun), Zn (çinko), Cu (bakır), Mo (molibden) ve As (arsenik) gibi minerallerin yanı sıra Ni (nikel), Co (kobalt) ve Cr (krom) gibi minerallerin yüksek konsantrasyonlarını içeren mineralizasyon bölgeleri ve bir dizi mafik ve ultramafik kayalar bulunmaktadır (Pehlivan, 2017). Fakat bu çalışmada elde edilen veriler ölçülen konsantrasyonların sadece doğal süreçlerle ilişkilendirilemeyeceğini bunun yanı sıra hem doğal ortamdan toplanan hem de yetiştiricilik sahasından alınan Akdeniz midyesi örneklerinde antropojenik kökenli

kirlenmelerin etkisinin de bariz şekilde görüldüğünü ortaya koymaktadır.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın bulguları, Marmara Denizi'nin Yalova açıklarındaki doğal yaşam alanlarından toplanan midyeler ile Bandırma açıklarındaki kültür bölgelerinden elde edilen midyeler arasında, özellikle farklı boy grupları dikkate alındığında, metal kirlenmelerin konsantrasyonlarında önemli farklılıklar olduğunu göstermektedir.

Doğal ortamdan toplanan midyelerin, çevresel kirlenmelerin etkisine atfedilebilecek yüksek ağır metal seviyeleri gösterebileceği ileri sürülebilir. Bu kirliliğin başlıca kaynakları evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkların yanı sıra deniz trafiği olduğu düşünülebilir. Buna karşılık, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından belirlenen kriterlere uygun olarak nispeten kirlenmemiş sularda kontrollü ortamlarda yetiştirilmeleri nedeniyle çiftlik midyeleri yumuşak dokuları genel olarak daha düşük metal

konsantrasyonları içerseler de bu her metal için mutlak geçerli bir durum değildir. Bununla birlikte, yetiştirme ortamlarının kalitesi ve çevresel yönetim uygulamaları metal kirleticilerin seviyelerini etkileyebilir. Bu çalışmanın bulguları ayrıca arındırma sürecinin önemini de ortaya koymaktadır. Yetiştiricilik tesislerinden alınan örnekler özelinde bulgular değerlendirildiğinde arındırma işlemi öncesi ölçülen değerlerin bazı elementler için nihai tüketici için uygun olmadığı görülürken, doğal ortamdan toplanan örneklerin de arındırma süreci olmadığı için tüketilmesinin sağlık riskleri doğuracağı aşıkardır. Sonuç olarak hem doğal hem de çiftlik midyelerinin düzenli olarak izlenmesi ile ilgili çalışmalar ve yetiştiricilik süreçlerinin standartlara uygun ve doğru yönetilmesi, tüketici sağlığının korunması ve çevre kirliliğinin etkilerinin azaltılması ve takip edilebilmesi için gereklidir.

KAYNAKLAR

- Acarlı, S., Vural, P. & Yıldız, H. (2023).** An Assessment of the Cultivation Potential and Suitability for Human Consumption of Mediterranean Mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) from the Yalova Coast of the Marmara Sea. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, **9**(1), 12-24. DOI: [10.58626/menba.1282775](https://doi.org/10.58626/menba.1282775)
- Alpbaz, A. (1993).** *Kabuklu ve Eklem Bacaklılar Yetiştiriciliği Ders Kitabı*. Ege Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 26-82.
- Avrupa Komisyonu. (2023).** Gıdalardaki Belirli Bulaşanlar için Maksimum Seviyelere İlişkin ve 1881/2006 sayılı Tüzüğü (EC) Yürürlükten Kaldıran 25 Nisan 2023 tarihli ve 2023/915 sayılı Komisyon Tüzüğü (EU). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R0915>.
- Balcıoğlu, E.B. & Gönülal, O. (2017).** Marmara Denizi'nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Midyelerin (*Mytilus galloprovincialis*, Lamarck, 1819) Biyometrisi Üzerine Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **21**(2), 397-400. DOI: [10.19113/sdufbed.56809](https://doi.org/10.19113/sdufbed.56809)
- Baltas, H., Dalgic, G., Bayrak, E.Y. et al. (2016).** Experimental study on copper uptake capacity in the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*). *Environ Sci Pollut Res.*, **23**, 10983-10989. DOI: [10.1007/s11356-016-6306-0](https://doi.org/10.1007/s11356-016-6306-0)
- Bat, L., Gündoğdu, A., Öztürk, M. & Öztürk, M. (1999).** Copper, zinc, lead and cadmium concentrations in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* (L. 1718) from the Sinop coast of the Black Sea. *Turk J Zool.*, **23**, 321-326.
- Bajt, O., Ramšak, A., Milun, V., Andral, B., Romanelli, G., Scarpato, A., Mitrić, M., Kupusović, T., Kljajić, Z., Angelidis, M., Ullaj, A. & Galgani, F. (2019).** Assessing chemical contamination in the coastal waters of the Adriatic Sea using active mussel biomonitoring with *Mytilus galloprovincialis*. *Mar Pollut Bull.*, **141**, 283-298. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.02.007](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.02.007)
- Bayne, B.L., Widdows, J. & Thompson, R.J. (1976).** Physiology: I. In: Bayne, B.L.(ed.). *Marine mussels: Their ecology and physiology*. Cambridge University Press. pp. 122-159.
- Belivermiş, M., Kılıç, Ö. & Çotuk, Y. (2016).** Assessment of metal concentrations in indigenous and caged mussels (*Mytilus galloprovincialis*) on entire Turkish coastline. *Chemosphere*, **144**, 1980-1987. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2015.10.098](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.098)
- Bradl, H.B. (2005)** Chapter 1 Sources and origins of heavy metals, Editor(s): H.B. Bradl, *Interface science and technology*, Elsevier, **6**, 2005, Pages 1-27, ISSN 1573-4285, ISBN 9780120883813, DOI: [10.1016/S1573-4285\(05\)80020-1](https://doi.org/10.1016/S1573-4285(05)80020-1)
- Branch, G.M. & Steffani, C.N. (2004).** Can we predict the effects of alien species? A case-history of the invasion of South Africa by *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. **300**, 189-215.
- BM. (2024).** "Dünya Nüfus Beklentileri 2024". *Birleşmiş Milletler Dünya Nüfus Beklentileri*. <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>
- Çolakoğlu, F.A., Cardak, M. & Cakır, F. (2003).** An investigation on microbiological quality of stuffed mussels sold in Canakkale. *Gıda*, **9**, 86-89.
- Çolakoğlu, A.F., Ormanci, B.H., Künili, E.İ. & Çolakoğlu, S. (2010).** Chemical and microbiological quality of the *Chamelea gallina* from the Southern Coast of the Marmara Sea in Turkey. *Kafkas Univ. Vet. Fak. Derg.*, **16**, 153-158.
- Doğruyol, H., Ulusoy, Ş., Erkan, N., Mol, S., Özden, Ö., Tunçelli, İ.C., Tosun Ş.Y., Üçok, D., Dağsuyu, E. & Yanardağ, R. (2024).** Evaluation of biotoxins and toxic metal risks in mussels from the Sea of Marmara following marine mucilage, *Food and Chemical Toxicology*, **186**, 2024, 114558, ISSN 0278-6915, DOI: [10.1016/j.fct.2024.114558](https://doi.org/10.1016/j.fct.2024.114558)

- EFSA. (2012). Cadmium dietary exposure in the European population. *EFSA J.*, **10**(1), 2551-2537. DOI: [10.2903/j.efsa.2012.2551](https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2551)
- Ezemonye, L.I., Adebayo, P.O., Enuneku, A.A., Tongo, I. & Ogbomida, E. (2019). Potential health risk consequences of heavy metal concentrations in surface water, shrimp (*Macrobrachium macrobrachion*), and fish (*Brycinus longipinnis*) from Benin River, Nigeria. *Toxicology Reports*, **6**, 1-9. DOI: [10.1016/j.toxrep.2018.11.010](https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.11.010)
- Gorell, J.M., Johnson, C.C., Rybicki, B.A., Peterson, E.L., Kortsha, G.X. & Brown, G.G. (1997). Occupational exposures to metals as risk factors for Parkinson's disease. *Neurology*, **48**, 650-658. DOI: [10.1212/WNL.48.3.650](https://doi.org/10.1212/WNL.48.3.650)
- Guendouzi, Y., Soualili, D.L., Fowler, S.W. & Boulahdid, M. (2020). Environmental and human health risk assessment of trace metals in the mussel ecosystem from the Southwestern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, **151**, 110820. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110820](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110820)
- Guendouzi, Y., Benhalima, M., Serbah, I., Fara, M., Fowler, S.W., Boulahdid, M. & Soualili, D.L. (2024). A novel approach to assess temporal baseline levels of trace metal contamination in the mussel *M. galloprovincialis* in the Mediterranean, Marmara and Black Seas. *Marine pollution bulletin*, **202**, 116367. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2024.116367](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.116367)
- Jaishankar, M., Tseten, T., Anbalagan, N., Mathew, B. B., & Beeregowda, K. N. (2014). Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisciplinary Toxicology*, **7**(2), 60-72. DOI: [10.2478/intox-2014-0009](https://doi.org/10.2478/intox-2014-0009)
- Yin, J., Wang, L., Liu, Q., Li, S., Li, J. & Zhang, X. (2020). Metal concentrations in fish from nine lakes of Anhui Province and the health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, **27**, 20117-20124. DOI: [10.1007/s11356-020-08368-1](https://doi.org/10.1007/s11356-020-08368-1)
- Kroeker, K.J., Gaylord, B., Hill, T.M., Hoffelt, J.D., Miller, S.H. & Sanford, E. (2014). The Role of Temperature in Determining Species' Vulnerability to Ocean Acidification: A Case Study Using *Mytilus galloprovincialis*. *PLoS ONE*, **9**(7): e100353. DOI: [10.1371/journal.pone.0100353](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100353)
- Lök, A., Acarlı, S., Serdar, S., Köse, A. & Yıldız, H. (2007). Growth and mortality of Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* Lam., 1819, in relation to size on longline in Mersin Bay, Izmir (Turkey-Aegean Sea). *Aquaculture Research*, **38**, 819-826. DOI: [10.1111/j.1365-2109.2007.01717.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2007.01717.x)
- Mansourri, G. & Madani, M. (2016). Examination of the Level of Heavy Metals in Wastewater of Bandar Abbas Wastewater Treatment Plant. *Open Journal of Ecology*, **6**, 55-61. DOI: [10.4236/oje.2016.62006](https://doi.org/10.4236/oje.2016.62006)
- Matta, J., Milad, M., Manger, R. & Tosteson, T. (1999). Heavy metals, lipid peroxidation, and ciguatera toxicity in the liver of the Caribbean barracuda (*Sphyrna barracuda*). *Biological trace element research*, **70**(1), 69-79. DOI: [10.1007/BF02783850](https://doi.org/10.1007/BF02783850)
- Mol, S., Karakulak, F.S. & Ulusoy, S. (2017). Some new records for marine diatom flora of Turkey from Aklıman, Sinop (Black Sea). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **17**, 1387-1395. DOI: [10.4194/1303-2712-v17](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17)
- Mubiana, V.K., Vercauteren, K. & Blust, R. (2006). The influence of body size, condition index and tidal exposure on the variability in metal bioaccumulation in *Mytilus edulis*. *Environmental Pollution*, **144**, 272-279. DOI: [10.1016/j.envpol.2005.12.017](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.12.017)
- Mutlu, T. (2024). Distribution of toxic and trace metals in fish from the Black Sea: Implications for human health risks. *Emerging Contaminants*, **10**(2), 100295. DOI: [10.1016/j.emcon.2023.100295](https://doi.org/10.1016/j.emcon.2023.100295)
- Pehlivan, H. (2017). *Investigation of heavy metal pollution in the sediments of the south of the Marmara Sea (Kocasu Delta)*, Master Thesis, Hacettepe University, Institute of Science and Technology, Ankara, 2017.
- Peycheva, K., Panayotova, V., Stancheva, R., Makedonski, L., Merdzhanova, A., Cicero, N., Parrino, V. & Fazio, F. (2021). Trace Elements and Omega-3 Fatty Acids of Wild and Farmed Mussels (*Mytilus galloprovincialis*) Consumed in Bulgaria: Human Health Risks. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **18**, 10023. DOI: [10.3390/ijerph181910023](https://doi.org/10.3390/ijerph181910023)
- Paschal, D.C. et al. (2000). Exposure of the U.S. population aged 6 years and older to cadmium: 1988-1994. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **38**(3), 377-383.
- Štambuk, A., Šrut, M., Šatović, Z., Tkalec, M. & Klobučar, G.I. (2013). Gene flow vs. pollution pressure: genetic diversity of *Mytilus galloprovincialis* in eastern Adriatic. *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)*, **136-137**, 22-31. DOI: [10.1016/j.aquatox.2013.03.017](https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2013.03.017)
- TUIK. (2024). *2023 Yılı Su Ürünleri İstatistikleri*. Türkiye İstatistik Kurumu. 53702. 04 Haziran 2024.

- <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2023-53702>
- Turanlı, N. & Gedik, K. (2021).** Spatial trace element bioaccumulation along with consumer risk simulations of Mediterranean mussels in coastal waters of Turkey. *Environ Sci Pollut Res.*, **28**, 41746-41759. DOI: [10.1007/s11356-021-13506-4](https://doi.org/10.1007/s11356-021-13506-4)
- Türkiye Cumhuriyeti Tarım ve Orman Bakanlığı (2002).** Canlı çift kabuklu yumuşakçaların arındırılması ilişkin genelge. Genelge No: 2001/02.
- Traina, A., Bono, G., Bonsignore, M., Falco, F., Giuga, M., Quinci, E. M., Vitale, S. & Sprovieri, M. (2019).** Heavy metals concentrations in some commercially key species from Sicilian coasts (Mediterranean Sea): Potential human health risk estimation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **168**, 466-478. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2018.10.056](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.056)
- US EPA. (1996).** Acid digestion of sediments, sludges, and soils. US Environmental Protection Agency. EPA Method 3050B. Washington, DC, USA
- US EPA. (2000).** Guidance for assessing chemical contaminant data for use in fish advisories volume 2 risk assessment and fish consumption limits Third Edition. US Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2010).** Toxic Release Inventory (TRI), TRI Explorer; Releases: Chemical Report 2009 – Cadmium and Cadmium compounds. Minnesota
- US EPA. (2011a).** United States Environmental Protection Agency, Regional screening level (RSL) resident fish table. Washington, DC.
- US EPA. (2011b).** Environmental Protection Agency, Risk assessment guidance for Superfund: Part E, Part F. Washington, DC.
- Varol, M., Kurt Kaya, G. & Alp, A. (2017).** Heavy metal and arsenic concentrations in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) farmed in a dam reservoir on the Fırat (Euphrates) River: Risk-based consumption advisories. *Science of the Total Environment*, **599-600**, 1288-1296. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2017.05.052](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.052)
- Varol, M. & Sünbül, M.R. (2018).** Multiple approaches to assess human health risks from carcinogenic and non-carcinogenic metals via consumption of five fish species from a large reservoir in Turkey. *Science of The Total Environment*, **633**, 684-694. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.03.218](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.218)
- Veiga, P., Ramos-Oliveira, C., Sampaio, L., & Rubal, M. (2020).** The role of urbanisation in affecting *Mytilus galloprovincialis*. *PLoS one*, **15**(5), e0232797. DOI: [10.1371/journal.pone.0232797](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232797)
- Wahiduzzaman, M., Islam, M.M., Sikder, A.H.F. & Parveen, Z. (2022).** Bioaccumulation and heavy metal contamination in fish species of the Dhaleswari River of Bangladesh and related human health implications. *Biological Trace Element Research*, **200**, 3854-3866. DOI: [10.1007/s12011-021-02963-0](https://doi.org/10.1007/s12011-021-02963-0)
- Wang, H. & Ren, Z.J. (2014).** Bioelectrochemical metal recovery from wastewater: A review. *Water Research*, **66**, 219-232, DOI: [10.1016/j.watres.2014.08.013](https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.013).
- WHO. (2011).** *Adverse Health Effects of heavy Metals in Children*. Children's Health and the Environment; WHO Training Package for the Health Sector, October (2011a).
- Yap, C.K., Ismail, A. & Tan, S.G. (2009).** Effect of body size on heavy metal contents and concentrations in green-lipped mussel *Perna viridis* (Linnaeus) from Malaysian coastal waters. *Pertanika Journal of Science and Technology*, **17**, 61-68.
- Yuan, Y., Sun, T., Wang, H., Liu, Y., Pan, Y., Xie, Y., Huang, H. & Fan, Z. (2020).** Bioaccumulation and health risk assessment of heavy metals to bivalve species in Daya Bay (South China Sea): Consumption advisory. *Marine Pollution Bulletin*, **150**, 110717. DOI: [10.1016/j.marpolbul.2019.110717](https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110717)
- Zeng, F., Wei, W., Li, M., Huang, R., Yang, F. & Duan, Y. (2015).** Heavy metal contamination in rice-producing soils of Hunan Province, China and potential health risks. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **12**, 15584-15593. DOI: [10.3390/ijerph121215005](https://doi.org/10.3390/ijerph121215005)