

## Ağır Metal Kirliliğinde Kerevitlerin Biyoindikatör Olarak Kullanımı

Evren TUNCA

Ankara Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Beşevler, Ankara

Geliş Tarihi (Received) : 16.01.2012

Kabul Tarihi (Accepted) : 26.03.2012

**Özet:** Ağır metal kirliliği ekosistemler üzerinde her geçen gün daha büyük baskı oluşturmakta, dahası tüm canlıların hayatlarını tehdit eder bir hal almaktadır. Ağır metal kirliliğinin ekosistemlerdeki boyutunu anlamak, yarattığı tehditin büyüklüğünü düzünülecek olunduğunda her geçen gün daha da önem kazanmaktadır. Ağır metal akümüleyonunu anlamamanın en doğru ve hassas yöntemlerinden biride de biyoindikatör türlerin kullanılmasıdır. Kerevitler yürütülen pek çok çalışmada görülmüştür ki, önemli miktarlarda ağır metal akümüleye edebilme yeteneğine sahiptirler ve akümüleye ettikleri ağır metal miktarları ortamdaki ağır metal miktarının deyimine göre deyimlilik gösterebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı kerevitler gerçekleştirilen çalışmalarda biyoindikatör olarak kullanılmaktadırlar. Bu derlemenin amacı biyoindikatör tür olarak kerevitin bu konudaki başarısını araştırmaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Kerevit, Biyoindikatör, Biyomonitör, Ağır Metal, Kirlilik

### The Use of Crayfish as a Bioindicator at the Heavy Metal Pollution

**Abstract:** Heavy metal pollution continues to subject the ecosystem to increasing amounts of environmental stress and constitutes a health hazard for a large variety of species. Taking into consideration the scale of the potential threat posed by those pollutants, it is vital to gain a greater understanding of their impact on the environment. The use of bioindicator species is one of the most precise and accurate methods available for the study of heavy metal pollution and its effects. Prior studies indicate that crayfish are capable of accumulating heavy metals with rates dependent on the external concentration of the metal in question. As such, crayfish have long been in use as bioindicator species, and it is the purpose of this review to investigate the success of this taxon as bioindicators.

**Keywords:** Crayfish, Bioindicator, Biomonitor, Heavy Metal, Pollution

#### GİRİ

Sucul çevrelerin ağır metallerce kontaminasyonları; ağır metallerin toksik etkileri, sıklıkla karışılabilen bir problem olmaları, çevresel artılara karşı dirençli olmaları ve birikme eğilimlerinden dolayı son derece önemlidir (Barlas ve ark., 2005). Ayrıca ağır metaller vücutta birikim özelliği de göstermektedir (Erdül ve ark., 2005). Bu sorun dünya genelinde her geçen gün daha da önem kazanmaktadır (Kouba ve ark., 2009). Fe, Cu, Mn, Zn gibi ağır metaller biyolojik sistemlerde önemli rol oynamalarından dolayı esansiyeldirler. Hg, Pb, Cd gibi ağır metaller ise nonesansiyeldirler ve düşük konsantrasyonlarda dahi toksik etki yapmaktadırlar (Çevik ve ark., 2008). Esansiyel olsun ister olmasın, tüm metaller, belli bir eylemin üzerinde toksik etki göstermektedirler (Anton ve ark., 2000). Ağır metal kirliliğinin daha etkin yollarla temizlenmesi için son zamanlarda pek çok çalışmada gerçekleştirilmiştir (Kara ve Zeytinluoglu, 2007; Peng ve ark., 2008; Üçüncü, 2011).

Sucul ekosistemlerde ortamdaki ağır metal miktarının saptanması, su sediment ve canlıları da kapsayacak şekilde gerçekleştirilen bir dizi analizi gerektirir (Alhas ve ark., 2008; Arain ve ark., 2008). Ağır metallerce kontamine olmuş alanlarda yavaş yavaş sucul canlılarda yüksek metal konsantrasyonları görülür (Altındag ve Yigit, 2005). Çok iyi bilinmektedir ki canlıların dokularında biriken ağır metaller araştırılıp ölçüldüğünde geçmiş zamana ait kirlilik

yanıtlanmaktadır (Yılmaz ve Yılmaz, 2007). Bu tür durumlarda biyoindikatör canlılar kullanılmaktadır. Biyoindikatör canlılar, bu toksik maddeleri akümüleye edebilme yeteneğine sahiptirler (Alexopoulos ve ark., 2003). Ayrıca ortamdaki bu toksik maddenin deyimine göre de, akümüleye ettikleri toksik madde miktarlarında deyimlilik görülebilmektedir (BriggsReed ve Heagler, 1997).

Yürütülen pek çok çalışmada görülmüştür ki kerevitler önemli miktarlarda ağır metal akümüleye edebilme yeteneğine sahiptirler ve akümüleye ettikleri ağır metal miktarları, ortamdaki ağır metalin miktarının deyimine göre deyimlilik gösterebilmektedir (Guner, 2007; Hagen ve Sneddon, 2009; Guner, 2010). Ayrıca kerevitin bentik ve soliter bir yaşam ekline sahip olması, objelerle sürekli temas halinde bulunması, omnivor beslenme tarzı, uzun yaşamı, yavaş hareket etmesi, yaşam alanının geni olmaması, farklı vücut dokularından rahatlıkla örnek alınabilecek kadar büyük olması ve ağır metalleri bünyesinde biriktirebilme yeteneği bu canlının indikatör tür olarak değerlendirilmekte (Tunca, 2011).

Bu derlemenin amacı ağır metal biyoindikatörü olarak çok önemli olduğu düşünülen kerevitlerin, ağır metallerce kirlenmiş ekosistemlerde, kirliliğin tespitindeki rolünü anlamak, bu konuda daha önceden yürütülen çalışmaları ortaya koymak ve biyoindikatör tür olarak kerevitin bu konudaki başarısını araştırmaktır.

### Ekosistemlerde, kerevitlerin ağır metal biyoindikatörü olarak kullanılması

Ağır metallerce kirletilmiş ekosistemlerde, kirliliğin boyutunu anlamak için kerevitler, birçok çalılık maddede kullanılmaktadır. Ortamdaki yaygın kerevitlerin araştırıldığı çalılık maddelerde olduğu gibi, ortamda olmadığı halde kafeslerle ortama bırakılıp, bir süre sonra tekrar toplanarak kerevitlerin ortamdaki ağır metalleri akümüle etmesini sağlamak amacıyla çalılık maddelerde de al ortamlarda yürütülmüştür.

İspanya'da 1998 yılında meydana gelen kazada Aznalcollar Madeni'nin ağır metal yüklü  $6 \text{ hm}^3$  atık suyu Guadiamar Nehri'ne karışması, nehir yoluyla Donana Ulusal Parkı'na kadar ulaşmıştır. Bütün flora, fauna ve besin zincirinin etkilendiği bu kazadan sonra 2006 yılında Guadiamar Nehri'nde yürütülen çalılık maddelerde, kerevitler (*Procambarus clarkii*), nehirdeki ağır metal içeriğinin araştırılması için kullanılan canlılardan bir tanesidir. Zamana bağlı olarak Cd, Cu, Zn, As ve Pb miktarları 6 gün ve 12 gün olarak 3 farklı istasyonda araştırılmış, diüskel (solungaç ile beraber), kas, ve hepatopankreastaki birikimler saptanmıştır. Çalılık maddenin sonucu, kerevitlerin zamana bağlı olarak farklı konsantrasyonlarda ağır metal depolama özelliğini ortaya koymaktadır. Çalılık maddenin sonucunda tüm ağır metallerin en fazla hepatopankreasta biriktiği görülmektedir. Elde edilen doku örneklerinden kas dokular (kerevitin tüketilen kısmı kas dokusu olduğu için) Avrupa Birliği EC normları ve İspanyol yasal limitleriyle kıyaslanmıştır. As, Zn ve Cu bütün durumlarda bu yasal limitlerin üstünde bulunmuştur (Alcorlo ve ark., 2006).

Donana Ulusal Parkında yürütülen başka bir çalılık maddede tarımsal ve Aznalcollar maden kazasından kaynaklı ağır metallerin ve pestisitlerin, kerevitlerde (*P. clarkii*), karboksilesteraz ve asetilkolinesteraz inhibisyonu üzerine kombine etkisi çalılmıştır. Asetilkolin çizgili kas liflerindeki asetilkolin reseptörlerine bağlanarak, lifin kasılmasına neden olur. Asetilkolinin öğrenme ve hafıza ile de derin bir ilişki bulunur. Asetilkolinesteraz; sinaptik boşluğu salınarak görevini tamamlayan asetilkolini, kolin ve asetata yıkar. Karboksilesteraz ise geni bir yelpazedeki karboksilik asit esterlerini hidroliz etmeye yarayan bir enzimdir. Bu bölgelerdeki kerevitlerdeki karboksilesteraz ve asetilkolinesteraz aktiviteleri referans bölgelerdekine göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Ancak pestisit konsantrasyonu ile inhibisyon boyutu arasında korelasyona rastlanmamıştır (Vioquefernandez ve ark., 2007).

Aznalcollar maden kazasından sonra İspanya'da yürütülen başka bir çalılık maddede, Guadiamar Nehri üzerinde kazadan etkilenmiş 9 ve kazadan direkt olarak etkilenmemiş 2 istasyon olmak üzere (bu 2 istasyon referans istasyonları) toplam 11 farklı istasyonda yürütülen çalılık maddede kerevit (*P. clarkii*) kullanılmıştır. Çalılık maddede kerevitler dokulara ayrılmamış ve bütün olarak değerlendirilmeye alınmıştır. Bu istasyonlarda elde edilen veriler PCA (Principal Component

Analysis), CA (Cluster Analysis) ve diskriminant analizi ile incelenmiş ve ağır metal kirliliğinin Guadiamar Nehri'ndeki modellenmesi çıkarılmıştır. Bu sayede örnek alınmayan noktalardaki kirlilik miktarında yaklaşık olarak tahmin edilebilir olmuştur. Ancak çalılık maddede hata payı ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemiştir. Oluşturulan bu modellemenin analiz maliyetini çok azaltan bir çevre erken uyarı sistemi gibi farklı ekolojik çalılık maddelerde kullanılabileceği belirtilmiştir (Lopez ve ark., 2004).

İspanya'da, Bizkaia Nehir Sisteminde gerçekleştirilen bir diğer çalılık maddede 2 farklı tür (*Austropotamobius pallipes*, *Pacifastacus leniusculus*) kerevit biyoindikatör olarak kullanılmıştır. Bu çalılık maddede 4 farklı istasyonda, suda; Cd, Cr, Cu, Ca, K, sertlik,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{ClO}_2^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SiO}_2$ , QOD, pH, TSS,  $\text{O}_2$  ve sıcaklık değerleri, sedimentte; Cd, Cr, Cu organik madde ve granül büyüklüğü, kerevitte (solungaçlar, salgı bezi, kas) ise; Cd, Cr, Cu ağır metallerinin miktarları çalılmış, ayrıca ağır metal içeriğinin hücre ve doku biyomarkörleri ve çevrenin fiziko-kimyasal karakteriyle olan ilişkisi de araştırılmıştır. Sonuçlara bakılacak olursa kerevitlerdeki Cr; sudaki  $\text{HCO}_3^-$ , K,  $\text{SiO}_2$  ve alkalinite, ile sedimentteki Cu ve organik madde ile pozitif korelasyonlu,  $\text{NH}_4^+$ , klay ve loam ile negatif yönde korelasyonlu olarak bulunmuştur. Kerevitteki Cu'nun ise sudaki K, Si ve  $\text{SiO}_2$  ile sedimentteki Cu, organik madde ve sedimentin iri taneli kısmı ile pozitif; Ca, Mg, sertlik ve iri taneli kum ile negatif yönlü korelasyon içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Cd miktarı kerevitlerde çok az düzeyde bulunmuştur. Tüm veriler PCA Analizi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca kerevitteki doku örnekleri ile ekolojik doku örnekleri Tomlinson kirlilik yüklemeye indeksine göre kıyaslanmıştır ve fark bulunmamıştır (Anton ve ark., 2000). Buradan çıkarılacak sonuç kerevitin biyoindikatör olarak kullanılabilecek bir canlı olduğuudur.

İspanya'da, en geni nehir olan Ebro Nehri'nin havzasında yürütülen çalılık maddede, hem noktasal hemde noktasal olmayan (yayılmış) kirliliğin araştırılmasında kerevit (*P. clarkii*) kullanılmıştır. Noktasal kirlilik kaynağı olarak endüstri, yayılmış kirlilik kaynağı olarak tarımsal faaliyetler üzerinde duran çalılık maddede 11 farklı istasyonda, toplamda 29 örnekle 7 farklı ağır metal üzerinden yürütülmüştür. Çalılık maddede PCA Analizi one way-ANOVA, one way-MANOVA, regresyon ve korelasyon analizleri kullanılmıştır. Kirliliğin kaynağına olan uzaklık tahminleri GIS programları ile hesaplanan çalılık maddede, sonuçlar net bir şekilde 2 farklı kirliletinin nehirde kirliletmekte olduğunu ortaya koymuştur. Hg, Pb'nun noktasal kirlilik kaynağı tarafından, Cr, Cu, Zn'nun ise yayılmış kirlilik kaynağı tarafından As ise her 2 ekilde nehre karışmakta olduğu tespit edilmiştir. Kerevitin kas dokusundaki Hg'nun Avrupa Birliği limit değerlerinin üstünde olduğu saptanmıştır. Ayrıca kerevitin metal akümüle etme yeteneğinden dolayı hem noktasal kaynaklarda, hemde yaygın kaynaklarda biyoindikatör olarak son derece yararlı olduğu belirtilmiştir, ancak,

akümüle etti i metalleri besin zincirinin daha üst seviyelerine taşıma riskinden bahsedilmiştir (Suárez-Serrano ve ark., 2010).

California'da yapılan bir di er çalı mada ise Cache ve Putah derelerinden toplanan 2 farklı tür kerevitte (*P. leniusculus* ve *P. clarkii*) civa konsantrasyonu ve iz element miktarları araştırılmıştır. Her istasyondan 10 olmak üzere 4 farklı istasyon için toplam 40 kerevitte çalı ma yürütülmü tür. Di i ve erkek bireyler ayrı ayrı ele alınmış ve aralarında birikim farkı olup o

lmadı da araştırılmıştır. Sonuç olarak kerevitin boyunun, akümüle edilen Hg ve MeHg ile güçlü bir ili kide oldu u saptanmıştır. Cinsiyete göre akümülyasyon da bir fark görülmedi i, ancak di i bireylerin daha büyük oldu u bir istasyonda kuyruktaki MeHg'nin erkek bireylerde akümüle olan miktara göre anlamlı ekilde daha fazla oldu u, bunun sebebinde cinsiyet olmadığı , büyüklük oldu u belirlenmiştir. z elementler gövde dı iskeletinde 40 bireyde, kuyruktaki ise 5 bireyde limitlerin üstünde 35 bireydeyse limitlerde çıkmıştır. Hg ve MeHg konsantrasyonu ise tür ve cinsiyet gözetmeksizin her durumda kuyruktaki limitlerin üzerinde çıkmıştır (Hothem ve ark., 2007).

Amerika Birle ik Devletleri'nde, Louisiana'da yürütülen ba ka bir çalı mada petrol kirlili ine maruz kalmı Trepagnier Bataklı nda; suda, sedimentte ve kerevitte (*P. clarkii*) Pb, Cr, As, Cd, Cu miktarları araştırılmıştır. Çalı mada kafesler içinde 180'e yakın kerevit sediment ile temas edecek ekilde suya yerleştirilmiştir. 0, 1, 2, 4 ve 7. günler 10'ar adet kerevit kafeslerden alınıp, solungaçlar, hepatopankreas, kas ve kan dokular üzerinde akümülyasyon miktarları araştırılmıştır. Ayrıca çalı ma süresince a ır metallere kerevitler üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılması için çalı ma süresince sindirim sıvısının pH'sı ölçülmü , kan glukoz konsantrasyonu ile hepatopankreatik ve ovarian indisler takip edilmiştir. Çalı manın sonunda sindirim sıvısında pH'da 1 derece artı görülmü bu artı hepatopankreas'ın i levinde a ır metal miktarındaki artı tan kaynaklı çalı ma bozuklu unun sonucu olarak yorumlanmıştır. Kan glukoz konsantrasyonu, hepatopankreatik ve ovarian indislerde herhangi bir de i im gözlenmemiştir. Çalı manın sonucunda Pb solungaçlarda ve hepatopankreasta, Cr solungaçlarda ve kanda, As, Cu ve Cd birikimi hepatopankreasta daha yo un gözlenmiştir. Kerevitin dokularında akümüle olan nonesansiyel metallere sedimentteki konsantrasyonları yansıttı ve kerevitin özellikle solungaç ve hepatopankreas dokularının, kirlilikte biomarker olarak kullanılmaya uygun oldu u belirtilmiştir (Anderson ve ark., 1997b).

Louisiana'da birbirlerini takiben yürütülen 2 farklı çalı mada biyoindikatör olarak kerevit (*P. clarkii*) kullanılmıştır. Bu çalı maların ilki 2007 yılında ikincisi ise 2009 yılında güneybatı Louisiana'da bir çiftli in yakınında gerçekleştirilmiştir. Çalı ma alanları yakın olmakla beraber aynı lokalite de ildir. İlk çalı mada 4 ay içinde yaklaşık olarak ayda bir defa olmak üzere 4 farklı noktadan 4 farklı zamanda kerevit (*P. clarkii*) ve

toprak örnekleme yapılmıştır. İkinci çalı mada ise aynı zaman dilimlerinde ancak haftalık örnekleme yapılmıştır. İlk çalı mada kuyruk ve tüm kerevitte, ayrıca bölgeden alınan toprak örneklerinde, ikinci çalı mada ise tüm kerevit, toprak ve su örnekleri çalı ılmıştır; Cd, Cu, Ni, Pb, Fe ve Zn akümülyasyonları araştırılmıştır. İlk çalı mada, sonuç olarak, kerevit kuyruk ve tüm vücut örneklerinde Fe, Cu ve Zn ölçülebilir limitler içinde çıkmıştır. Pb ve Cd hiç bir durumda görülmemi Ni ise sınırlı sayıda örnekte gözlenmiştir. Toprak sonuçlarına bakılacak olunursa Fe, Zn ve Pb akümülyasyonları saptanmış ancak Cd, Ni ve Cu hiç bir durumda bulunmamıştır. Fe ve Cu metallere genel olarak artan su sıcaklığıyla akümülyasyonlarında artı görülmü , bu durumun, su sıcaklığındaki artı mın kerevit metabolizmasında hızlanmaya yol açtı ı için görülebilece i ileri sürülmü tür. Zn miktarında da su sıcaklığına ba lı olarak artı saptanmış ancak bu artı anlamlı olarak görülmemiştir. Çalı mada ayrıca kerevitlerin dü ük konsantrasyonlardaki Cd, Ni ve Pb için iyi bir biyoindikatör olamayabilece i sonucuna da varılmıştır. İkinci çalı mada ise sonuçlar genel olarak ilk çalı ma ile kıyaslanmış ve kerevitlerin hasat edildi i bu 4 aylık zaman diliminde çalı ılan 6 a ır metal için sonuçların bir farklılık göstermedi i bildirilmiştir (Richert ve Sneddon, 2008; Moss ve ark., 2010).

Aras barajı (ran)'ndan toplanan *Astacus leptodactylus* türü kerevitler ile yürütülen ba ka bir çalı mada, kerevitlerin dı iskeletlerinde, solungaçlarında hepatopankreaslarında ve hem karın hemde kısıkaç kaslarında Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Co, Cr ve Cd çalı ılmıştır. Sonuçlar di i ve erkek bireylerde ayrı ayrı de erlendirilmiştir. Ara tırmaya göre Ni deteksiyon limitlerinin altında kalmı Co ve Cr hiç bir durumda kerevitlerde gözlenmemiştir. A ır metallere miktarları sırasıyla Zn>Cu>Fe>Mn>Pb>Cd>Ni>Co=Cr eklinde bulunmu tur. Zn en fazla hepatopankreasta en az ise dı iskelette görülmü tür. Solungaçtaki Zn miktarı kasa göre daha fazla olarak bulunmu tur. Cu genel olarak hepatopankreas ve solungaçlarda yüksek tespit edilmiştir. Kas ise Cu'nun en az tespit edildi i dokudur. Fe en fazla dı iskelette en az ise kas dokuda tespit edilmiştir , solungaçların hepatopankreasta göre daha fazla Fe akümüle etti i, di i ve erkek bireyler arasında ise hepatopankreasta akümüle edilen Fe miktarında farklılık oldu u saptanmıştır. Pb ve Cd di i ve erkeklerde farklılık gösterdi i de tespit edilmiştir. Her 2 a ır metalde di ilerde sırasıyla solungaç>iskelet>hepatopankreas>kas olarak tespit edilirken erkek bireylerde her 2 a ır metalde en fazla dı iskelette en az ise kas dokuda bulunmu tur. Pb için solungaçın hepatopankreasta göre daha fazla akümülyasyon yaptı ı ancak bu durumun Cd'da tersine oldu u yapılan bu çalı mada gözlenmiştir. Mn miktarı ise hem di ilerde hem erkeklerde en yüksek dı iskelette en az ise kas dokuda tespit edilmiştir , erkeklerde hepatopankreastaki Mn akümülyasyonu solungaçlardakine göre daha yüksek bulunurken bu

durum di ilerde tam ters olarak tespit edilmi tir (Naghshbandi ve ark., 2007).

Terkos Gölü ( İstanbul-Türkiye)'nde Mayıs 2008'de yürütülen ba ka bir çalı mada göldeki a ır metal durumunun tespiti için 4 farklı istasyondan su sediment ve kerevit (*A. leptodactylus*) örnekleri toplanmı , su parametreleri ölçülmü tür. Kerevit örnekleri 50 erkek 50 di i birey olarak, di i bireyler 10-13 cm erkek bireyler ise 10-14 cm arasında seçilmi tir. Çalı mada di i ve erkek bireyler ayrı ayrı de erlendirilmi , kas, solungaç, hepatopankreas, yumurtalık, testis ve yumurtalar analiz edilmi tir. Kerevitlerde ta ıyıcı protein olan hemosiyaninin yapısında son derece önemli bir role sahip olan Cu, en fazla hepatopankreas da görülmü tür. Bunun sebebi olaraksa hepatopankreasın Cu ekskresyonunda görevli olması olabilece i olarak açıklanmı tir. Fe, Mn ve Al söz edilen bu çalı mada en fazla solungaçlarda görülmü bunun nedeni olarak ise solungaçların dı ortam ile sürekli ili ki içinde olmaları ve iyonların geçi lerinin solungaç tarafından düzenlenmesi olabilece i ileri sürülmü tür. Cd en fazla hepatopankreaslarda saptanmı , dokulardaki Cd miktarlarının kirlenmemi ekosistemlerden toplanan canlıların bünyelerinde tespit edilen Cd sonuçlarına çok yakın oldu u belirtilmi tir. Saptanan kur un düzeyleri literatürle kıyaslanmı , gerçekte tirilen çalı mada elde edilen Pb de erlerinin literatürdeki çalı malara göre daha az oldu u gösterilmi , Pb miktarının önemsiz seviyelerde oldu u anlatılmak istenmi tir. Sonuçlar regresyon analizi ile de erlendirilmi ve Fe ile Mn, Fe ile Al ve Mn ile Al arasında güçlü korelasyonlar tespit edilmi , elde edilen de erler hem ulusal hemde uluslar arası limit de erler ile kıyaslanmı tir. Buna göre Cu de erleri tüm limit de erlerin üzerinde olarak tespit edilmi tir. Cd de erleri daha yüksek limit de ere sahip Türk Gıda Kodeksi için uygun aralıklardayken, Avustralya ve ngiltere tarafından belirlenen de erlerin üzerinde oldu u belirtilmi tir (Kurun ve ark., 2009).

Ülkemizde yürütülen bir ba ka çalı mada ise Yeniça a (Bolu) Gölü'nde gerçekte tirilmi tir. Bu çalı ma 2010-2011 yılları arasında mevsimsel olarak sürdürülmü , su, sediment ve kerevit (*A. leptodactylus*) örneklerinde Cd, Cr, Mn, Pb ve Hg akümülyasyonları ara tırılmı ve su parametreleri takip edilmi tir. Çalı mada mevsimsel örneklerde, kerevit dokuları arasındaki a ır metal birikim farklılıkları, ANOVA, KRUSKAL-WALLIS ve MANN-WHITNEY U testi ile incelenmi tir. Elde edilen veriler Tarım Bakanlığı'nın yayınladı ı Türk Gıda Kodeksi'ndeki kerevit eti ve kabuklular sınıfı için belirlenmi üst limitlerle ve Avrupa Birli i EC normları, ile kıyaslanmı tir. Ayrıca bu a ır metaller için göl suyu; Orman ve Su leri Bakanlığı'nın su kirlili i kontrolü yönetmeli i ile de kar ıla tırılmı tir. Elde edilen sonuçlara göre dokularda en fazla birikim yapan a ır metal Mn olarak tespit edilmi ve en fazla birikim ise genel olarak solungaçlarda görülmü tür. Kas dokusundaki Cd ve Pb birikim seviyeleri her mevsim yasal limitlerin üzerinde bulunmu tur. Bu bulgular ı ı nda gölden çıkarılan

kerevitlerin insan sa lı ı için tehdit olu turabilece ini öngörülmü tür. Göl suyundaki Mn seviyesi içme suyu kriterlerinin oldukça üstünde tespit edilmi tir. Yeniça a Gölü'nün Cd bakımından tüm sene boyunca 4. sınıf su kalitesi, Cr bakımından tüm sene boyunca 2. sınıf su kalitesi, Mn bakımından 1. sınıf ile 3. sınıf arasında de i en su kalitesi, Pb bakımından 1. sınıf ve 2. sınıf su kalitesi de erlerine sahip oldu u görülmü tür. Suda ve kerevit dokularındaki Hg miktarı ICP-OES 'in ölçüm limitlerinin altında kalmı tir (Tunca, 2011).

Farklı bir çalı mada Avusturalya'da ka ıt fabrikasının atık sularındaki Mn miktarı kerevit (*Cherax destructor*) kullanılarak ara tırılmı tir. 5 sene sürdürülen bu çalı manın sonuçları yıllık bazda de erlendirilmi ve fabrika atık suyunda bulunan kerevitler ile temiz suda bulunan kerevitlerde Mn farkı ortaya konmu tur. Bu çalı mada ayrıca Mn'in en fazla dı iskelette akümüle oldu u, bununda temel sebebinin dı iskelet üzerinde biyofilm olu turan Mn okside edici bakteriler oldu u belirtilmi ve akümüle olan Mn için; Mn okside edici bakterilerin rolünün dı iskelet tarafından aktif olarak alınandan daha fazla oldu u saptanmı tir (King ve ark., 1999).

Batı Avrupa'da bulunan ve Hollanda için içme suyu kayna ı olarak kullanılması sebebiyle hayati önem ta ıyan Meuse Nehri'nde yürütülen ara tırma, kerevitlerin (*Orconectus limosus*) biyomonitör olarak kullanıldı ı bir ba ka çalı madır. Bu çalı mada 4 istasyondan elde edilen su, sediment ve kerevit örnekleri (hepatopankreas) kullanılmı tir. A ır metaller bu çalı manın bir kısmını te kil etmektedir. Kerevitlerin hepatopankreaslarındaki aromatik DNA eklentilerinin seviyesi, poliklorinat bifenil ve organoklorik pestisitler de çalı ılmı , ayrıca su ve sediment örneklerinde polisiklik aromatik hidrokarbonlar, a ır metaller ve organoklorik içerik de ara tırılmı tir. Bu çalı ma için kerevit, hem organik hem de inorganik bile ikleri zamana ba lı olarak akümüle edebildi i için özellikle seçilmi tir. Çalı manın sonucunda kerevitin hepatopankreasında çalı ılan a ır metaller Pb<Cd<Zn<Cu olarak sıralanırken bu durum su ve sediment örneklerinde farklılık göstermi tir. Su örneklerinde sıra Cd<Pb<Cu<Zn ekinde, sediment örneklerinde ise Cd<Pb yada Cu<Zn ekinde bulunmu tur. Elde edilen sonuçlara göre Meuse Nehri'ndeki iz metallerin ve organik mikro kirleticilerin, Avrupa Birli i içme suyu standartlarının oldukça üstünde oldu u saptanmı tir (Schilderman ve ark., 1999).

Yürütülen çalı maların bir kısmında kerevitler tek ba larına kullanılırken, farklı çalı malarda ortamdaki di er biyoindikatör türlerle beraber olarak kullanılmı lardır. Besin zincirindeki farklı konumları, omurgasız olmaları ve çalı manın laboratuvar a amasının benzer olması balık çalı malarında kerevitleri popüler yapmaktadır.

Oklahoma (A.B.D.)'da Tri-States adlı maden bölgesinden gelen 2 nehirden alınan (Spring River ve Neosho River) 6 tür balık (*Cyprinus carpio*, *Ictalurus*

*punctatus*, *Pylodictis olivaris*, *Micropterus salmoides*, *M. punctulatus*, *Pomoxis annularis*) ve kerevit (*Orconectes* spp.) örnekleri gene maden bölgesi olan do u Missouri ve referans bölgesinden gelen örneklerle karşılaştırılmıştır. A ır metallere daha fazla kirletilmiş bölgelerdeki örneklerdeki a ır metal miktarları daha yo un bulunurken, en az a ır metal miktarlarına ise referans bölgelerinden gelen örneklerde rastlanılmıştır. Canlılar içinde en fazla a ır metal miktarı ise kerevitte (*Orconectes* spp.) ve sazan (*Cyprinus carpio*) da görülmüştür. Sonuçlar ı ı nda bu bölgeden çıkan sazan ve kerevitlerin tüketiminin Pb, Cd ve Zn miktarlarının çok yüksek olması, kanal kedi bal ının (*Ictalurus punctatus*) ise yüksek Pb seviyesi sebebiyle yasaklanması gereklili i ı çalı mada belirtilmiştir (Schmitt ve ark., 2006).

Amerikada kerevitlerle balıkların biyoindikatör olarak ortak kullanıldı ı bir di er ı çalı mada 257 kedi bal ı (*Ictalurus punctatus*) (196'sı üretim sahasından, 61 tanesi i leme tesislerinden) 33 alabalık (*Oncorhynchus mykiss*) ve 38 adet kerevit (*P. clarkii*), 3 sene içinde 4 e it zaman aralı mda toplanmış ve Ba, Cd, Cu, Cr, Ag, Pb, As, Se ve Hg akümülyasyonunun belirlenmesinde kullanılmışlardır. Elde edilen bulgulara göre Hg miktarı, FDA'in limitlerinin altında bulunmuştur. Kerevitteki Ba, Cu ve Hg miktarlarının balık örneklerine göre daha fazla oldu u saptanmıştır. Ayrıca araziden elde edilerek ı çalı lı balıklardaki mikronutrientlerin, vah i do adaki balıklara göre daha az oldu u görülmü ve elde edilen bulguların, vah i do adan yakalanarak i lenen balıklarla, üretim tesislerinden alınarak i lenen balıkların ayrılmasının gerekli oldu u fikrini destekledi ini savunmuştur (Santerre ve ark., 2001).

Zambiya'da gene balıklarla ortak yürütülen ba ka bir ı çalı mada Itezhi-tezhi (ITT) Gölü ile Kariba Göllelerinde otçul (*Oreochromis niloticus*) ve etçil (*Serranochromis thumbergi*) 2 farklı balık türü ve kerevit (*Cherax quadricarinatus*) kullanılarak ortamdaki a ır metalin kıyaslanması yapılmıştır. Balık ve kerevitin kas ve karaci er (kerevitte hepatopankreas) dokuları kullanılmıştır. ITT Gölünü'nün 450 km yukarısında bakır eritme tesislerinin olması, göldeki ekosistem açısından tehdit unsuru olarak görülmüştür. Gerçekle tirilen ı çalı mada Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Pb ve Ni akümülyasyonu araştırılmıştır. Ayrıca ortam artları ile a ır metal korelasyonlarına bakılmış ve biyota-sediment akümülyasyon faktörü belirlenmiştir. Sonuçlara göre Kariba Gölü'ndeki Cr, Ni ve Pb seviyeleri ITT Gölü'ne göre daha yüksek saptanmıştır. Bunun sebebinin kur unlu benzin kullanılması ve çürüme kar ıtı boyalar olarak ara tırmacılar tarafından açıklanmıştır. ITT Gölü'nde ise beklenildi i üzere daha yüksek seviyelerde Cu tespit edilmiştir. Kerevitin hepatopankreasındaki Ni ile ortam artları arasında negatif korelasyon görülmüştür. (Nakayama ve ark., 2010).

A.B.D. Missouri'de Vibirnum Trend maden bölgesinde dünyadaki en büyük Pb-Zn yataklarından biri bulunur. Bu bölgede, önceden yapılan ı çalı malar,

bölgede metal konsantrasyonunun artmakta oldu unun belirlenmesi ve kerevit (*Orconectes hylas*) popülyasyonunu unlu unun bölgenin yakınlarında azalmakta oldu unun tespit etmiştir. 28 günlük ı çalı mada 7 istasyon belirlenmiş, suda, detritusda, makro-omurgasızlarda, balıklarda ve kerevitlerde a ır metal akümülyasyonu araştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki birikim farklılıklarının anlamlı olup olmadığı na ANOVA ile bakılmış, artan metal miktarı ile ya ayan kerevit arasındaki korelasyonu ara tırmak içinse Spearman Korelasyon Analizi kullanılmıştır. Ayrıca su kalitesi, besin miktarı ve a ır metal konsantrasyonu arasındaki korelasyonlar içinde gene Spearman Korelasyon Analizinden yararlanılmıştır. Ölen birey sayısındaki farklılıklar, kerevitlerin büyüklükleri, su kalitesi, besin miktarı ve a ır metal konsantrasyonları arasındaki farka ise Kruskal-Wallis Testi kullanılarak bakılmıştır. Sonuçlara göre suda, detritusda, makro-omurgasızlarda, balıklarda ve kerevitlerde a ır metal akümülyasyonu maden bölgesinde anlamlı ekilde yüksek oldu u tespit edilmiştir. Bu bölgedeki metal konsantrasyonu ile kafeslerde ya ayan kerevitlerin sayısı negatif korelasyonlu olarak bulunmuş, yani maden bölgesine yakla tıkça kerevit popülyasyonunda azalma tespit edilmiştir. Maden bölgesinin kerevit popülyasyonunu olumsuz yönde etkiledi i saptanmıştır. Kerevit popülyasyonunun maden bölgesinden yakla ık olarak 10 km uzakta kendisini yenileyebilece i öngörüsünde bulunulmuş ve a ır metal kirlenmesinin hem vah i do aya hemde insan sa lı na tehdit olu turabilecek seviyelerde oldu u belirtilmiştir (Allert ve ark., 2009).

Ülkemizde yürütülen kerevitte dahil birçok canlının biyoindikatör olarak kullanıldı ı ı çalı malardan biri Sapanca Gölünde gerçekle miştir. ı çalı mada balık türleri (*Blicca bjoerkna*, *Rutilus rutilus*, *Scardinius erythrophthalmus*, *Cyprinus carpio*, *Tinca tinca*, *Esox lucius*) tatlı su midyeleri (*Anodonta cygnea*, *Dreissena polymorpha*), ve kerevit (*A. leptodactylus*) kullanılmış ve Zn, Pb, Cu ve Cd a ır metalleri ı çalı lı mıştır. ı çalı lı an a ır metal de erleri FAO ve WHO 'ın balıklar için belirlenmiş oldu u limit de erlerinin altında çıkmıştır. Sediment yüzeyi ile balık örnekleri arasında a ır metal akümülyasyonu bakımından önemli fark bulunmuş, sediment örneklerinin a ır metal içeriklerinin balıklara göre daha fazla oldu u tespit edilmiştir. Ayrıca balık kas dokusundaki a ır metal miktarlarında balıkların karaci erine göre ve midyelere göre daha az oldu u da görülmüştür. Sedimentteki a ır metal birikimi, izin verilen yasal limitlerin üstünde oldu u da bu ı çalı mada ortaya konmuştur (Altug ve Okgerman, 2008).

Farklı ı çalı malarda görüldü ü üzere; aynı tür kerevitte dahi, aynı a ır metaller farklı dokularda daha yüksek oranlarda birikim yapabilmektedirler. Bunun sebebinin, a ır metallerin konsantrasyonu ve canlının bu a ır metallerle maruz kalma süresindeki farklar oldu u dü ünülmektedir (Anderson ve ark., 1997a; Bollinger ve ark., 1997). Gerçekle tirilen bu ı çalı malar Çizelge 1 de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kerevitin Ağırlık Metal Biyoidikatörü Olarak Kullanıldığı Çalışmalar

Yer	Tür	Çalışılan Ağırlık Metal	Yazar
Guadamar Nehri İspanya	<i>P. clarkii</i>	Cd, Cu, Zn, As, Pb	(Alcorlo ve ark., 2006)
Guadamar Nehri İspanya	<i>P. clarkii</i>	Cu, Zn, Cd, Pb	(Lopez ve ark., 2004)
Bizkaia Nehir Sistemi İspanya	<i>A. pallipes</i> , <i>P. leniusculus</i>	Cd, Cr, Cu	(Anton ve ark., 2000)
Ebro Nehir havzası İspanya	<i>P. clarkii</i>	Hg, Pb, Cr, Cu, Zn, As, Cd	(Suárez-Serrano ve ark., 2010)
Cache ve Putah dereleri A.B.D.	<i>P. leniusculus</i> <i>P. clarkii</i>	Hg ve MeHg	(Hothem ve ark., 2007)
Louisiana A.B.D.	<i>P. clarkii</i>	Pb, Cr, As, Cd, Cu	(Anderson ve ark., 1997b)
Louisiana A.B.D.	<i>P. clarkii</i>	Cd, Cu, Ni, Pb, Fe, Zn	(Richert ve Sneddon, 2008; Moss ve ark., 2010)
Aras Barajı İran	<i>A. leptodactylus</i>	Fe, Cu, Zn, Mn, Pb, Ni, Co, Cr, Cd	(Naghshbandi ve ark., 2007)
Terkos Gölü Türkiye	<i>A. leptodactylus</i>	Cu, Pb, Cd, Fe, Mn, Al	(Kurun ve ark., 2009)
Yeniçağa Gölü Türkiye	<i>A. leptodactylus</i>	Cd, Cr, Mn, Pb, Hg	(Tunca, 2011)
Albury Avustralya	<i>C. destructor</i>	Mn	(King ve ark., 1999)
Meuse Nehri Hollanda	<i>O. limosus</i>	Pb, Zn, Cd, Cu	(Schilderman ve ark., 1999)
Oklahoma A.B.D.	<i>Orconectes</i> spp.	Pb, Cd, Zn	(Schmitt ve ark., 2006)
Güney A.B.D.	<i>P. clarkii</i>	Ba, Cd, Cu, Cr, Ag, Pb, As, Se, Hg	(Santerre ve ark., 2001)
ITT Gölü Zambiya	<i>C. quadricarinatus</i>	Cr, Co, Cu, Zn, Cd, Pb, Ni	(Nakayama ve ark., 2010)
Missouri A.B.D.	<i>O. hylas</i>	Zn, Ni, Pb, Cd	(Allert ve ark., 2009)
Sapanca Türkiye	<i>A. leptodactylus</i>	Zn, Pb, Cu, Cd	(Altug ve Okgerman, 2008)

Yakın geçmişte gerçekleştirilen bu çalışmaların dışında kerevitler doğal ve yapay ekosistemlerde ağırlık metal biyoidikatörü olarak uzun yıllardır oldukça popüler canlılardır. Geçmişte bu konu ile ilgili pek çok çalışma yapılmıştır. Khan ve ark. (1995) Tuskegee ve Ulusal Forest Creek Gölü'nde ağırlık metal araştırmalarında, Dickson ve ark. (1979) Tennessee Mağara sistemlerinde ağırlık metal araştırmalarında, Taylor ve ark. (1995) asidik metal kirlenmesine maruz kalmış göl ile kirlenmemiş gölden alınan kerevitler arasında letal ve subletal bakır toksisitesi çalışmasında, Rinconleon ve ark. (1988) Guadalquivir Bataklıklarında Pb ve Cd araştırmasında, Young ve Harvey (1991) kerevit dokularındaki metal birikiminin gölün pH'sı, su ve sedimentteki metal ile olan ilişkisinin araştırılmasında, Madigosky ve ark. (1991) yol kenarındaki bir sulak alanla, yoldan uzak bir sulak alanın ağırlık metal akümülyasyonu açısından karşılaştırılmasında, Stinson ve Eaton (1983) kentsel bölgeden gelen akarsuyla beslenen gölde, Pb, Cd, Hg ve Cu konsantrasyonunun araştırılmasında, Alikhan ve ark. (1990) Ontario bölgesinde 3 farklı gölde Cu, Cd, Mn, Mg ve Ni akümülyasyonunun araştırılmasında, Bagatto ve Alikhan (1987a) Kanada, Sudbury yakınlarında, bakır nikel madeni civarında Cu, Cd ve Ni birikiminin araştırılmasında, Finerty ve ark. (1990) Louisianada çevre ve deşim etkisi altında metal miktarının araştırılmasında, Morales ve Shrestha (1977) Venezuela'da Margarita bölgesinde Cu, Fe ve Zn miktarının araştırılmasında, Bagatto ve Alikhan (1987b)

nötrale edilmiş asidik ve asidik olmayan göllerdeki metal miktarının araştırılmasında kerevitleri biyoidikatör olarak kullanmışlardır.

## SONUÇ

Ekosistemlerde, ağırlık metal kirliliğinin araştırılması için pek çok çalışma yapılmıştır, kerevitlerin biyoidikatör türü olarak seçildiği görülmüştür. Bu çalışmaların bazıları kerevitler doğal olarak ortamda bulunurken, bazıları ise araştırma amaçlı olarak ortama araştırmacılar tarafından dahil edilmiştir. Yürütülen çalışmaların bir kısmında biyoidikatör olarak kullanılan tek tür iken, bir kısmında farklı türlerle beraber olarak kullanılmışlardır. Noktasal ve yaygın kaynaklı kirlilikte ya da kazalar sonucu oluşan ağırlık metal kirliliğinin tespitinde de kerevitlerden yararlanılmıştır. Ağırlık metaller ile beraber farklı kirliliklerin kombine etkisinin araştırılmasında da önemli rol oynamışlardır. Yapılan araştırmaların büyük çoğunluğunda, özellikle esansiyel olmayan ağırlık metal kirliliğinde kerevitler, ortam koşullarının daha iyi anlaşılması amacıyla kullanılmışlardır. Cu gibi Zn gibi esansiyel olan ağırlık metalleri ise ortam konsantrasyonlarından bağımsız olarak yüksek oranda akümüle etmektedirler. Her ne kadar bu durum biyoidikatör türlerin pek çoğunda da görülen ve türlerin biyoidikatör olarak değerlendirilmesinde bir faktörde olsa kerevitler biyoidikatör olarak kullanılmaya uygun canlılardır.

**KAYNAKLAR**

- Alcorlo, P., Otero, M., Crehuet, M., Baltanás, A., Montes, C. 2006. The Use of the Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*, Girard) as Indicator of the Bioavailability of Heavy Metals in Environmental Monitoring in the River Guadiamar (Sw, Spain). *Science of The Total Environment*, 366(1): 380-390.
- Alexopoulos, E., McCrohan, C. R., Powell, J. J., Jugdaohsingh, R., White, K. N. 2003. Bioavailability and Toxicity of Freshly Neutralized Aluminium to the Freshwater Crayfish *Pacifastacus leniusculus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 45(4): 509-514.
- Alhas, E., Oymak, S. A., Karadede Akin, H. 2008. Heavy Metal Concentrations in Two Barb, *Barbus xanthopterus* and *Barbus rajanorum* Mystaceus from Atatürk Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 148(1-4): 11-18.
- Alikhan, M. A., Bagatto, G., Zia, S. 1990. The Crayfish as a Biological Indicator of Aquatic Contamination by Heavy-Metals. *Water Research*, 24(9): 1069-1076.
- Allert, A. L., Fairchild, J. F., DiStefano, R. J., Schmitt, C. J., Brumbaugh, W. G., Besser, J. M. 2009. Ecological Effects of Lead Mining on Ozark Streams: In-Situ Toxicity to Woodland Crayfish (*Orconectes hylas*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(4): 1207-1219.
- Altindag, A., Yigit, S. 2005. Assessment of Heavy Metal Concentrations in the Food Web of Lake Beyehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4): 552-556.
- Altug, G., Okgerman, H. 2008. Levels of Some Toxic Elements in the Surface Sediment and Some Biota from the Sapanca Lake, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 17(1): 24-28.
- Anderson, M. B., Preslan, J. E., Jolibois, L., Bollinger, J. E., George, W. J. 1997a. Bioaccumulation of Lead Nitrate in Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*). *Journal of Hazardous Materials*, 54(1-2): 15-29.
- Anderson, M. B., Reddy, P., Preslan, J. E., Fingerman, M., Bollinger, J., Jolibois, L., Maheshwarudu, G., George, W. J. 1997b. Metal Accumulation in Crayfish, *Procambarus clarkii*, Exposed to a Petroleum-Contaminated Bayou in Louisiana. *ecotoxicology and environmental Safety*, 37: 267-272.
- 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.
- Arain, M. B., Kazi, T. G., Jamali, M. K., Jalbani, N., Afridi, H. I., Shah, A. 2008. Total Dissolved and Bioavailable Elements in Water and Sediment Samples and Their Accumulation in *Oreochromis mossambicus* of Polluted Manchar Lake. *Chemosphere*, 70(10): 1845-1856.
- Bagatto, G., Alikhan, M. A. 1987a. Copper, Cadmium, and Nickel Accumulation in Crayfish Populations near Copper Nickel Smelters at Sudbury, Ontario, Canada. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 38(3): 540-545.
- Bagatto, G., Alikhan, M. A. 1987b. Metals in Crayfish from Neutralized Acidic and Nonacidic Lakes. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(3): 401-405.
- Barlas, N., Akbulut, N., Aydo an, M. 2005. Assessment of Heavy Metal Residues in the Sediment and Water Samples of Uluabat Lake, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 74(2): 286-293.
- Bollinger, J. E., Bundy, K., Anderson, M. B., Millet, L., Preslan, J. E., Jolibois, L., Chen, H. L., Kamath, B., JGeorge, W. 1997. Bioaccumulation of Chromium in Red Swamp Crayfish (*Procambarus clarkii*) *Journal of Hazardous Materials*, 54: 1-13
- BriggsReed, L. M., Heagler, M. G. 1997. A Comparative Analysis of Lead Concentrations in Purged and Unpurged Crayfish (*Procambarus clarkii*): The Significance of Digestive Tract Removal Prior to Consumption by Humans. *Microchemical Journal*, 55(1): 122-128.
- Çevik, U., Damla, N., Kobya, A. I., Bulut, V. N., Duran, C., Dalgıç, G., Bozacı, R. 2008. Assessment of Metal Element Concentrations in Mussel (*M. galloprovincialis*) in Eastern Black Sea, Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 160(2-3): 396-401.
- Dickson, G. W., Briese, L. A., Giesy, J. P. 1979. Tissue Metal Concentrations in 2 Crayfish Species Cohabiting a Tennessee Cave Stream. *Oecologia*, 44(1): 8-12.
- Erdo rul, Ö., Tosyalı, C., Erbilir, F. 2005. Kahramanmara ' ta Yeti en Bazı Sebzelerde Demir, Bakır, Mangan, Kadmiyum ve Nikel Düzeyleri. *KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2): 27-29.
- Finerty, M. W., Madden, J. D., Feagley, S. E., Grodner, R. M. 1990. Effect of Environs and Seasonality on Metal Residues in Tissues of Wild and Pond-Raised Crayfish in Southern Louisiana. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 19(1): 94-100.
- Guner, U. 2007. Freshwater Crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) Accumulates and Depurates Copper. *Environmental Monitoring and Assessment*, 133(1-3): 365-369.
- Guner, U. 2010. Cadmium Bioaccumulation and Depuration by Freshwater Crayfish, *Astacus leptodactylus*. *Ekoloji*, 19(77): 23-28.
- Hagen, J. P., Sneddon, J. 2009. Determination of Copper, Iron, and Zinc in Crayfish (*Procambrus clarkii*) by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry. *Spectroscopy Letters*, 42(1): 58-61.

- Hothem, R. L., Bergen, D. R., Bauer, M. L., Crayon, J. J., Meckstroth, A. M. 2007. Mercury and Trace Elements in Crayfish from Northern California. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(6): 628-632.
- Kara, Y., Zeytunluoglu, A. 2007. Bioaccumulation of Toxic Metals (Cd and Cu) by *Groenlandia densa* (L.) Fourr. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(6): 609-612.
- Khan, A. T., Forester, D. M., Mielke, H. W. 1995. Heavy-Metal Concentrations in 2 Populations of Crayfish. *Veterinary and Human Toxicology*, 37(5): 426-428.
- King, H. M., Baldwin, D. S., Rees, G. N., McDonald, S. 1999. Apparent Bioaccumulation of Mn Derived from Paper-Mill Effluent by the Freshwater Crayfish *Cherax destructor* the Role of Mn Oxidising Bacteria. *The Science of the Total Environment* 226: 261-267.
- Kouba, A., Bu i , M., Kozák, P. 2009. Bioaccumulation and Effects of Heavy Metals in Crayfish: A Review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 211(1-4): 5-16.
- Kurun, A., Balkis, N., Erkan, M., Balkis, H., Aksu, A., Er an, M. S. 2009. Total Metal Levels in Crayfish *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823), and Surface Sediments in Lake Terkos, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 169(1-4): 385-395.
- Lopez, F. J. S., Garcia, M. D. G., Vidal, J. L. M., Aguilera, P. A., GarridoFrenich, A. 2004. Assessment of Metal Contamination in Doñana National Park (Spain) Using Crayfish (*Procambarus clarkii*). *Environmental Monitoring and Assessment*, 93: 17-29.
- Madigosky, S., Alvarezhernandez, X., Glass, J. 1991. Lead, Cadmium, and Aluminum Accumulation in the Red Swamp Crayfish *Procambarus clarkii* G. Collected from Roadside Drainage Ditches in Louisiana. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 20(2): 253-258.
- Morales, E., Shrestha, K. 1977. Copper, Iron and Zinc Levels in Crayfish, *Penaeus-brasiliensis*, of Caribbean Sea, Northeast of Margarita, Venezuela. *Acta Cientifica Venezolana*, 28: 150-150.
- Moss, J. C., Hardaway, C. J., Richert, J. C., Sneddon, J. 2010. Determination of Cadmium, Copper, Iron, Nickel, Lead and Zinc in Crawfish (*Procambarus clarkii*) by Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry: A Study over the 2009 Season in Southwest Louisiana. *Microchemical Journal*, 95(1): 5-10.
- Naghshbandi, N., Zare, S., Heidari, R., Razzaghzadeh, S. 2007. Concentration of Heavy Metal in Different Tissues of *Astacus leptodactylus* from Aras Dam of Iran. *Pakistan Journal of Biological Science*, 10(21): 3956-3959.
- Nakayama, S. M. M., Ikenaka, Y., Muzandu, K., Choongo, K., Oroszlany, B., Teraoka, H., Mizuno, N., Ishizuka, M. 2010. Heavy Metal Accumulation in Lake Sediments, Fish (*Oreochromis niloticus* and *Serranochromis thumbergi*), and Crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in Lake Itzhi-Tezhi and Lake Kariba, Zambia. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 59(2): 291-300.
- Peng, K., Luo, C., Lou, L., Li, X., Shen, Z. 2008. Bioaccumulation of Heavy Metals by the Aquatic Plants *Potamogeton pectinatus* L. And *Potamogeton malaiianus miq.* And Their Potential Use for Contamination Indicators and in Wastewater Treatment. *Science of The Total Environment*, 392(1): 22-29.
- Richert, J. C., Sneddon, J. 2008. Determination of Heavy Metals in Crawfish (*Procambarus clarkii*) by Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry: A Study over the Season in Southwest Louisiana. *Analytical Letters*, 41(17): 3198-3209.
- Rinconleon, F., Zureracosano, G., Pozolora, R. 1988. Lead and Cadmium Concentrations in Red Crayfish (*Procambarus clarkii*, G) in the Guadalquivir River Marshes (Spain). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 17(2): 251-256.
- Santerre, C. R., Bush, P. B., Xu, D. H., Levis, G. W., Davis, J. T., Grodner, R. M., Ingram, R., Wei, C. I., Hinshaw, J. M. 2001. Metal Residues in Farm-Raised Channel Catfish, Rainbow Trout and Red Swamp Crayfish from the Southern U.S. *Journal of Food Science*, 66(2) : 270-273.
- Schilderman, P. A. E. L., Moonen, E. J. C., Maas, L. M., Welle, I., Kleinjans, J. C. S. 1999. Use of Crayfish in Biomonitoring Studies of Environmental Pollution of the River Meuse. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 44: 241-252.
- Schmitt, C. J., Brumbaugh, W. G., Linder, G. L., Hinck, J. E. 2006. A Screening-Level Assessment of Lead, Cadmium, and Zinc in Fish and Crayfish from Northeastern Oklahoma, USA. *Environmental Geochemistry and Health*, 28(5): 445-471.
- Stinson, M. D., Eaton, D. L. 1983. Concentrations of Lead, Cadmium, Mercury, and Copper in the Crayfish (*Pacifastacus-leniusculus*) Obtained from a Lake Receiving Urban Runoff. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 12(6): 693-700.
- Suárez-Serrano, A., Alcaraz, C., Ibáñez, C., Trobajo, R., Barata, C. 2010. *Procambarus clarkii* as a Bioindicator of Heavy Metal Pollution Sources in the Lower Ebro River and Delta. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(3): 280-286.



- Taylor, R. M., Watson, G. D., Alikhan, M. A. 1995. Comparative Sublethal and Lethal Acute Toxicity of Copper to the Fresh-Water Crayfish, *Cambarus robustus* (Cambaridae, Decapoda, Crustacea) from an Acidic Metal-Contaminated Lake and a Circumneutral Uncontaminated Stream. *Water Research*, 29(2): 401-408.
- Tunca, E. 2011. Yeniçağ (Bolu) Gölü Su, Sediment ve Tatlısu İstakozunda (*Astacus leptodactylus*, Eschscholtz, 1823) Bazı Aşırı Metal Birikimlerinin Mevsimsel Değişimi. Ankara Üniversitesi, Fen. Bil. Ens., Hidrobiyoloji ABD, Doktora Tezi 72 s.
- Üçüncü, E. 2011. Su Mercimeği (*Lemna minor* Linnaeus 1753) Kullanarak Farklı Konsantrasyonlardaki Aşırı Metal (Cu, Cr, Pb) Karışımlarının Laboratuvar Ortamında Biyoremediasyonu. Ankara Üniversitesi, Fen. Bil. Ens., Hidrobiyoloji ABD, Yüksek Lisans Tezi 84 s.
- Vioquefernandez, A., Dealmeida, E., Ballesteros, J., Garciabarrera, T., Gomezariza, J., Lopezbarea, J. 2007. Doñana National Park Survey Using Crayfish (*Procambarus clarkii*) as Bioindicator: Esterase Inhibition and Pollutant Levels. *Toxicology Letters*, 168(3): 260-268.
- Yilmaz, A., Yilmaz, L. 2007. Influences of Sex and Seasons on Levels of Heavy Metals in Tissues of Green Tiger Shrimp (*Penaeus semisulcatus* De Hann, 1844). *Food Chemistry*, 101(4): 1664-1669.
- Young, L. B., Harvey, H. H. 1991. Metal Concentrations in Crayfish Tissues in Relation to Lake Ph and Metal Concentrations in Water and Sediments. *Canadian Journal of Zoology-Revue Canadienne De Zoologie*, 69(4): 1076-1082.