



Özden Barım Öz

Fırat University, obarimoz@firat.edu.tr, Elazığ-Türkiye

Bünyamin Özdemir

Fırat University, 221128104@firat.edu.tr, Elazığ-Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2025.20.1.5A0225	
ORCID ID	0000-0003-2914-8167	0009-0007-7815-6821
Corresponding Author	Özden Barım Öz	

**TATLI SU İSTAKOZU (*Pontastacus leptodactylus* Esch. 1823)'NUN
OKSİDATİF STRESİ ÜZERİNE VİTAMİN A ve C'NİN ETKİSİ**

ÖZ

Bu araştırmada tatlı su istakozu (*Pontastacus leptodactylus*)'nun metabolik ihtiyacını karşılayan kontrol rasyonuna ilave edilen vitamin C (VC) ve A (VA)'nın hepatopankreas ve kas dokusunda oksidatif stres ve antioksidan savunma (süperoksit dismütaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px), redükte glutatyon (GSH)) üzerine etkileri belirlendi. Bu amaçla hazırlanan kontrol rasyonuna VC (200 mg kg⁻¹) ve VA (200 mg kg⁻¹) ilave edilerek araştırma grupları oluşturuldu. *P. leptodactylus* su sıcaklığına göre ayarlanan oranlarda bu rasyonlarla 30 gün süresince beslendi. Araştırma sonucunda *P. leptodactylus*'un rasyonuna VC ve VA ilave edilmesinin hepatopankreas (p<0.001) dokusundaki malondialdehit seviyesini istatistiksel açıdan önemli derecede azalttığı belirlendi. Ayrıca SOD, GSH-Px aktivitelerinin ve GSH düzeylerinin doku özelliğine göre değiştiği tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: *P. leptodactylus*, MDA, SOD, GSH-Px, GSH

**EFFECT OF VITAMIN A AND C ON OXIDATIVE STRESS IN FRESHWATER CRAYFISH
(*Pontastacus leptodactylus* Esch. 1823)**

ABSTRACT

In this study, the effects of vitamins C (VC) and A (VA) added to the control diet meeting the metabolic needs of freshwater crayfish (*Pontastacus leptodactylus*) on oxidative stress and antioxidant defense (superoxide dismutase (SOD), glutathione peroxidase (GSH-Px), reduced glutathione (GSH)) in hepatopankreas and muscle tissues were determined. For this purpose, VC (200 mg kg⁻¹) and VA (200 mg kg⁻¹) were added to the prepared control diet to form research groups. *P. leptodactylus* was fed with these diets at rates adjusted to water temperature for 30 days. As a result of the research, it was determined that the addition of VC and VA to the diet of *P. leptodactylus* prevented the malondialdehyde level in hepatopankreas (p<0.001) tissues at a statistically significant level. It was also determined that SOD, GSH-Px activities, and GSH levels changed according to tissue characteristics.

Keywords: *P. leptodactylus*, MDA, SOD, GSH-Px, GSH

How to Cite:

Barım Öz, Ö. ve Özdemir, B., (2025). Tatlı su istakozu (*pontastacus leptodactylus* esch. 1823)'nun oksidatif stresi üzerine vitamin A ve C'nin etkisi. Ecological Life Sciences, 20(1):1-9, DOI: 10.12739/NWSA.2025.20.1.5A0225.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Pontastacus leptodactylus Türkiye'nin yerel kerevit türüdür. Avrupa'da yüksek bir talebe sahip olan bu kerevit türünün iç tüketimi oldukça düşüktür. Bu nedenle pinter ağlarıyla avlanan kerevitlerin büyük bir çoğunluğu Avrupa'ya ihraç edilmektedir. Ancak yıllara göre değişmesine rağmen, kerevitin toplam yıllık hasadı aşırı avlanma, kirlilik ve kerevit vebası (*Aphanomyces astaci*) nedeniyle önemli ölçüde azaldığı gözlenmektedir. Bu canlılardaki büyüme kabuk değiştirme ile gelişen bir periyodu takip etmektedir. Oldukça stresli ve yoğun metabolik aktivitelerin belirlendiği bu dönemde, vücutta sentezlenemeyen ve dışarıdan alınması gereken bazı maddeler olduğu belirtilmektedir. Bu maddelerin büyük bir kısmının antioksidan özelliğe sahip olması ise dikkat çekicidir [1, 2 ve 3].

Metabolik aktiviteler esnasında doğal olarak oluşan reaktif oksijen türleri (ROS), biyolojik sistemdeki hücre fonksiyonunun fizyolojik kontrolünde önemli bir rol oynar. Son derece zararlı olan bu bileşikler, peroksil ve hidroperoksil radikalleri gibi molekülleri oluşturmak için hızla reaksiyona girebilir. Biyolojik sistemlerde sürekli ROS üretimiyle başa çıkmak için yeterli enzimatik ve enzimatik olmayan antioksidan mekanizmalar vardır. Bir organizma içinde antioksidan mekanizmalar tarafından ROS üretimi ve nötralizasyonu arasındaki denge, ROS'un aşırı bolluğuna doğru bozulduğunda, oksidatif stres (OS) meydana gelir [4, 5, 6 ve 7]. OS'nin en büyük göstergesi olan lipid peroksidasyonu, esas olarak doymamış yağ asitlerinin oksidasyonuna dayanan enzimatik olmayan bir zincir reaksiyonudur ve ROS'un varlığıyla ilişkilidir. Lipid peroksitler ve diğer ara maddelerin oluşumuna yol açar. Bu ara maddelerin en yaygın olanları malondialdehit (MDA) ve 4-hidroksinonenaldit [6, 8 ve 9]. ROS'a karşı savunma mekanizmaları düşük molekül ağırlıklı antioksidanlar glutatyon (GSH), A vitamini, E vitamini, C vitamini ve glutatyon peroksidaz, süperoksit dismutaz ve katalaz gibi antioksidan enzimlerden oluşur. Çoklu doymamış yağ asidi lipidleri açısından zengin bir kaynağa sahip olan balık ve kabuklular, diğer aerobik organizmalarla karşılaştırıldığında ROS saldırısına daha duyarlıdır. Bu nedenlerden dolayı, ROS'taki aşırı artış bu organizmaların besin kalitesinde de düşüşe yol açmıştır [5, 9 ve 10].

Genel olarak, tüm vitaminler organizmanın gelişiminde temel rol alırlar ve esas olarak enzimler için yardımcı faktör olarak hareket ederler. Koenzim işlevleri ve diğer özellikleri sayesinde, vitaminler normal metabolik işlevleri ve optimum sağlığı da korur. C vitamini de muhtemelen önemli besinlerden biridir. Çünkü balıklar/karidesler için güçlü bir antioksidan ve immünomodülatördür. Balık ve karideslerin vücudunun uygun sağlık durumunu koruyabilmesi için C vitaminine (askorbik asit veya askorbat) ihtiyacı vardır. C vitamininin, gelişmiş su hayvanı performansı ile ilişkili önemli bir mikro besin olduğu bilinmektedir. Birçok balık ve kabuklu türü, AA biyosentezinden sorumlu olan L-gulonolakton oksidazın yokluğu nedeniyle C vitamini sentezleme konusunda sınırlı bir yeteneğe sahiptir. Ayrıca bu vitamin, reaktif oksijen türlerini temizleme yeteneğine sahip güçlü bir antioksidandır [11 ve 12].

Geniş bir fizyolojik işlev yelpazesine sahip temel bir mikro besin olan A vitamini, uzun zamandır güçlü antioksidan özellikleriyle tanınmaktadır. Monaghan ve Schmitt tarafından 1932'de yürütülen öncü araştırmalar, retinolün düşük konsantrasyonlarda in vitro linoleik asidin oksijen alımını birkaç saat boyunca engelleyebileceğini ortaya koymuştur. Yapılan çalışmalarda, retinol ve analoglarının α -tokoferol de dahil olmak üzere bazı iyi bilinen antioksidanlardan daha güçlü antioksidan özelliklere sahip olabileceğini öne sürmesi dikkat çekicidir. Ancak, A vitamininin in vivo antioksidan aktivitesinin altında yatan mekanizma hala belirsizliğini korumakta ve yapısı ile

işlevi arasındaki ilişki şimdiye kadar tam olarak açıklanamamıştır. Son yıllarda, hayvanlarda A vitamini durumu ile oksidatif stres arasındaki ilişkiye olan ilgi artmaktadır [13, 14 ve 15].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

P.leptodactylus ülkemiz için ekonomik önem taşıyan kabuklu su ürünlerinden biridir [3]. Bu çalışmada; olgun *P.leptodactylus*'un kontrol rasyonuna farklı antioksidanlar (vitamin C, A) katılarak hepatopankreas, gonad, kas ve solungaç dokusundaki oksidatif stres (MDA), antioksidan savunma (süperoksit dismutaz (SOD), glutatyon peroksidaz (GSH-Px)) ve redükte glutatyon (GSH) seviyesi araştırıldı.

Önemli Noktalar (Highlights)

- *P.leptodactylus*'larda stresi önlemede antioksidan maddenin (vitamin C,A) etkinliği araştırıldı.
- Stres anında MDA'nın en yüksek olduğu doku tespit edildi.
- MDA ve antioksidan savunma ilişkisinde VC ve VA'nın etkinliği belirlendi.

3. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Bu araştırma 01 Ağustos-31 Ağustos (30 gün) tarihleri arasında Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Akvaryum Laboratuvarında yürütüldü. Çalışmada kullanılan kerevitler *P.leptodactylus*'un Keban Baraj Gölü popülasyonundan avlandı. Araştırmada kullanılmak üzere kerevitlerin ihtiyaçlarına yönelik olarak hazırlanan yem [1], analizleri yapılarak [16] +4°C'de depolandı. Kontrol rasyonu kuru ağırlık bazında yaklaşık %38.00 ham protein ve 3.31kcal/g brüt enerji içerecek şekilde formüle edildi. Araştırma; negatif kontrol (NE) grubu, kontrol yemi ile beslenen (KO) grup, kontrol yemine 200 mg kg⁻¹ VC ilave edilen yemle beslenen VC grubu, 200mg kg⁻¹ VA ilave edilen yemle beslenen VA grubu olmak üzere 4 grup olarak düzenlendi [17 ve 18]. Her bir grup üç tekrar olarak planlandı. Her tekrarda 12 adet kerevit olmak üzere toplamda 144 adet kerevit kullanıldı. Kerevitlerin boy ve ağırlıkları alınarak kaydedildi. Kerevitler 25x25x110cm boyutlarında 12 akvaryuma yerleştirildi. Akvaryumlara 15-25cm uzunluğunda ve 7cm çapında plastik borular yerleştirilerek, havalandırmalar çalıştırıldı. Bir hafta boyunca ortam koşullarına adepte olmaları sağlandı. Negatif kontrol grubu kerevitleri hemen ortamdan alınarak analiz için bekletildi. KO, VC ve VA grubu kerevitler ise hazırlanan yemlerle 30 gün boyunca su sıcaklığına oranlanarak belirlenen miktardaki yemlerle beslendi. Daha sonra biyokimyasal analizler için kerevitlerdeki hepatopankreas ve kas dokuları çıkarılarak kullanılıncaya kadar -80°C'de saklandı [1].

Lipid peroksidasyonunun bir belirteci olarak tespit edilen MDA seviyesi, tiyobarbiturik asit (TBA) ile reaksiyona dayanma prensibine göre oluşturulan [19] yöntem ile ölçüldü. SOD aktivitesi, ksantin ksantinoksidaz ile reaksiyona girerek süperoksit radikalleri oluşturması ve bu radikallerin nitroblue tetrazolyum ile reaksiyona girerek renkli bir formazan boyası oluşturması ilkesine dayanan [20] yöntemle göre belirlendi. GSH-Px seviyesi, Beutler [21] tarafından açıklanan prosedür kullanılarak tespit edildi. Bu prosedür, NADPH'nin 340 nm'deki absorbanşı yoluyla kaybolmasını kaydeder. Gerçekleştirilen analiz prosedürü, GSH'nin GSH-Px tarafından oksidasyonuna ve 37°C'de ölçülen glutatyon redüktaz tarafından NADPH'nin kaybolmasına dayanıyordu. Glutatyon konsantrasyonu, Ellman [22] tarafından açıklanan bir dithionitrobenzoik asit (DTNB) geri dönüşüm yöntemi kullanılarak kinetik bir testle belirlendi. Analizler spektrofotometrik olarak ölçüldü.

Araştırma sonunda elde edilen veriler ortalama $\pm$ S.E. olarak ifade edildi. Veriler Bağımsız Örnek T Testi ve Duncan Testi ile analiz edildi.

İstatistiksel analiz için Windows için SPSS 12.0 kullanıldı. Anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak belirlendi.

4. BULGULAR (FINDINGS)

Araştırma gruplarındaki kerevitlerin toplam uzunluğu ve ağırlığı (NE (1007 ± 0.56 mm, 30.07 ± 3.27 g), KO (10.32 ± 0.90 mm, 30.52 ± 2.70 g), VC (10.13 ± 0.19 mm, 30.69 ± 3.24 g) ve VA (10.50 ± 0.42 mm, 29.94 ± 3.40 g)) arasındaki farklılık istatistiksel açıdan önemli değildi ($p > 0.05$). Çalışma kapsamında NE, KO, VC ve VA gruplarına ait kerevit dokularının MDA, SOD, GSH-Px ve GSH ortalama değerleri istatistiksel açıdan değerlendirildi.

Tablo 1. *P. leptodactylus*'un 3 farklı rasyon grubuyla (KO, VC, VA) beslenmesi sonucunda hepatopankreas dokusundaki ortalama malondialdehit (MDA (nmol g⁻¹ doku)), süperoksit dismutaz (SOD (U ml⁻¹)), glutatyon peroksidaz ((GSH-Px (U g⁻¹)) ve glutatyon ((GSH) (μmol mL⁻¹)) düzeylerinin karşılaştırılması

Table 1. Comparison of the average malondialdehyde (MDA (nmol g⁻¹ tissue)), superoxide dismutase (SOD (U ml⁻¹)), glutathione peroxidase ((GSH-Px (U g⁻¹)) and glutathione ((GSH) (μmol mL⁻¹)) levels in hepatopankreas tissue after feeding *P. leptodactylus* with 3 different diet groups (KO, VC, VA)

Parametreler	NE	KO	VC	VE
MDA	1.13 ± 0.12	3.14 ± 0.31	1.02 ± 0.36	1.06 ± 0.30
P (NE-KO)	***			
P (KO-VC+VA)		***		
SOD	3.28 ± 0.12	6.34 ± 0.50	4.52 ± 0.34	4.50 ± 0.28
P (NE-KO)	***			
P (KO-VC+VA)		***		
GSH-Px	356 ± 1.36	526 ± 23.12	213.65 ± 16.51	229.67 ± 19.84
P (NE-KO)	***			
P (KO-VC+VA)		***		
GSH	36.21 ± 3.26	20.31 ± 3.54	10.34 ± 2.67	9.97 ± 3.01
P (NE-KO)	***			
P (KO-VC+VA)		***		
- = $p > 0.05$ * = $p < 0.05$ ** = $p < 0.01$ *** = $p < 0.001$				

Tablo 2. *P. leptodactylus*'un 3 farklı rasyon grubuyla (KO, VC, VA) beslenmesi sonucunda kas dokusundaki ortalama malondialdehit (MDA (nmol g⁻¹ doku)), süperoksit dismutaz (SOD (U ml⁻¹)), glutatyon peroksidaz ((GSH-Px (U g⁻¹)) ve glutatyon ((GSH) (μmol mL⁻¹)) düzeylerinin karşılaştırılması

Table 2. Comparison of the average malondialdehyde (MDA (nmol g⁻¹ tissue)), superoxide dismutase (SOD (U ml⁻¹)), glutathione peroxidase ((GSH-Px (U g⁻¹)) and glutathione ((GSH) (μmol mL⁻¹)) levels in muscle tissue after feeding *P. leptodactylus* with 3 different diet groups (KO, VC, VA)

Parametreler	NE	KO	VC	VE
MDA	0.75 ± 0.01	0.78 ± 0.01	0.71 ± 0.02	0.73 ± 0.01
P (NE-KO)	-			
P (KO-VC+VA)		-		
SOD	3.92 ± 0.12	3.66 ± 0.23	3.72 ± 0.34	3.56 ± 0.34
P (NE-KO)	-			
P (KO-VC+VA)		-		
GSH-Px	322.94 ± 10.11	329.21 ± 11.34	350.61 ± 10.99	358.91 ± 12.91
P (NE-KO)	-			
P (KO-VC+VA)		-		
GSH	40.55 ± 3.64	41.37 ± 2.61	40.91 ± 3.04	41.27 ± 2.99
P (NE-KO)	-			
P (KO-VC+VA)		-		
- = $p > 0.05$				

Hepatopankreas (Tablo 1) ve kas (Tablo 2) dokularına ait elde edilen veri değerlendirmeleri tablolar halinde sunulmuştur. Aynı satırda

farklı harflerle gösterilen değerler istatistiksel açıdan önemli derecede farklıdır ($p < 0.05$). Yapılan istatistiksel analizler sonunda; hepatopankreasdaki bütün biyokimyasal parametrelerde istatistiksel açıdan önemli derecede farklılıklar belirlenirken, kas dokusunda farklılıkların önemli olmadığı tespit edilmiştir.

5. TARTIŞMA (DISCUSSION)

Lipid radikallerinin etkileşimleri ve/veya ROO* tarafından radikal olmayan türlerin oluşumu sonucu meydana gelen lipid peroksidasyon, hücrel bileşenlerin oksidatif hasarının değerli bir göstergesi olarak kullanılmaktadır [5, 6, 23 ve 24]. Bu nedenle, yaptığımız laboratuvar çalışması sonunda elde edilen dokuların değerlendirilmesinde ikincil bir lipid peroksidasyon ürünü olan MDA düzeyleri araştırıldı. Biyokimyasal analizler sonunda elde ettiğimiz veriler kerevitlerin antioksidan savunma ve OS düzeylerindeki değişikliklerin genel olarak hepatopankreasta kas dokusuna kıyasla oldukça yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Bu bulgular, Paital ve Chainy [25] tarafından yapılan ve OS fizyoloji belirteçlerinin (SOD, CAT, GSH-Px, GR) *S. serrata*'nın solungaçlarına kıyasla tüm mevsimlerde hepatopankreasta daha yüksek olduğunu bulan önceki çalışmalarla uyumludur. Benzer şekilde, Verlecar ve ark., sindirim bezinin *P. viridis*'in H_2O_2 ve lipid proksidasyon gibi ROS düzeylerinin mevsimsel değişiminde spesifik dokular olduğunu belirlemiştir [26]. Sindirim bezinin ana yapısı olan krustasea hepatopankreası yağda eriyen vitaminleri içerdiği, vücudun metabolizmasını düzenlediği ve yüksek oksijen tüketimi gösterdiği bilinmektedir [27 ve 28]. Bu nedenle bu organda diğer organlara göre O_2^{*-} ve H_2O_2 üretimi nispeten daha fazla olabilmektedir.

Çalışmamızın sonuçları, KO diyeti gruplarındaki kerevitlerin hepatopankreasındaki MDA düzeyinin NE gruplarına göre önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu, kerevitlerin kabuk değişimine hazırlığının başlamasından kaynaklanıyor olabilir. Kabuk değiştirme, krustasea biyolojisinin tüm metabolik aktivitelerini (hücrel metabolizma, fizyoloji ve davranış) etkiler. Metabolizma, mineral madde miktarları, α -kitin proteini, gastrolit matris proteini ve dokulardaki (özellikle hepatopankreas) ve hemolenfteki ekdisteroidler gibi organik rezervlerin dönüştürülmesi ve salınması nedeniyle yükselir [28, 29 ve 31]. Aiken ve Waddy [29] doku metabolizmasının kabuk değişiminden önce oksijen tüketimini %1900'e kadar artırabileceğini bildirmiştir. MDA seviyesindeki bu artış, öncelikle kabuk değiştirme döneminde değişen metabolik aktivitenin neden olduğu fizyolojik aktivitedeki artışa bağlı olarak aşırı serbest radikal üretiminin biyolojik moleküllere ve dokulara doğrudan verdiği hasarla ilişkili olabilir.

Yapılan epidemiyolojik çalışmalar, endojen ve ekzojen antioksidan savunma sistemlerindeki genetik çeşitliliğin enzimatik antioksidan aktiviteyi etkileyebileceğini kanıtlamıştır. Mitokondriyal zarların ve protein yapısının hasar görmesinin, ekdisteroid seviyesindeki değişikliklerle oluşan antioksidan enzimleri kodlayan genlerdeki varyasyonun etkisiyle gerçekleştiği ve bunun da ROS'u artırabileceği belirlenmiştir [32 ve 33]. Çalışmamızda, hepatopankreasdaki oksidan ve antioksidan seviyelerinde dikkate değer artışlar ve azalışlar belirlenmiştir. Analiz edilen parametrelerin seviyelerindeki bu dalgalanmalar, büyük olasılıkla mitokondrilerdeki ROS türlerinin yönetilmesinde ve önlenmesinde başarısızlığa ve ekdisteroid seviyesindeki değişiklikler nedeniyle enzimlerin hedef hücrelere maruz kalma seviyesinin bozulmasına bağlanabilir [31, 32 ve 33]. ROS üretiminin biyobelirtici olarak kullanılan SOD, CAT ve GSH-Px enzimleri, oksidatif strese karşı ilk savunma hattıdır. SOD, O_2^{*-} 'nin H_2O_2 ve suya dönüşümünü katalize eder [34].

Vitamin C ve A gıda endüstrisinde kullanılan başlıca antioksidan katkı maddeleri arasında yer almaktadır ve hayvanlarda oksidatif stresi azalttığı belirlenmiştir. Askorbik asit birincil olarak bir elektron vericisi ve dolayısıyla ROS ve reaktif nitrojen türleri de dahil olmak üzere serbest radikalleri temizleyen ve hücrel bileşenleri radikal hasarlarından koruyan suda çözünür bir antioksidan olarak önemli bir rol oynayan bir indirgeyici ajan olarak işlev görür [11 ve 12]. Yaptığımız çalışmada KO grubuna göre VC grubundaki kerevitlerin hepatopankreasındaki MDA seviyesinin önemli ölçüde düşmesi bu vitaminin elektron verici özelliği nedeniyle OS'in azaltmasından kaynaklanabilir.

Son araştırmalar, A vitamininin antioksidan etkilerinin birincil aracısının metaboliti olan all-trans-retinoik asit (ATRA) olduğunu ileri sürmüştür. ATRA, sistronlarda bulunan retinoik asit tepki elementleri aracılığıyla yüzlerce genin ifade seviyelerini etkileyen güçlü bir transkripsiyonel düzenleyicidir. ATRA tarafından düzenlenen genlerin çoğu, glutatyon (GSH) metabolizması, süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesi ve oksidatif stres tepki yollarının düzenlenmesi gibi antioksidanla ilgili süreçlerde yer alır ve bu da bu A vitamini metabolitinin retinole kıyasla dolaylı bir etki mekanizmasına sahip olduğunu gösterir. GSH metabolizmasının hücrel redoks dengesinin korunmasında kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. ATRA'nın, glutatyon peroksidaz (GSH-Px) ve GSH redüktaz dahil olmak üzere GSH ile ilişkili genlerin ekspresyonunu yukarı düzenlediği ve hücrel antioksidan savunma mekanizmalarının güçlendirilmesine yol açtığı gösterilmiştir. Ayrıca, ATRA'nın süperoksit radikallerini nötralize eden kritik bir antioksidan enzim olan SOD aktivitesini artırdığı bulunmuştur. SOD aktivitesinin bu yukarı düzenlenmesi, ATRA'nın çeşitli hücrel sistemlerde gözlenen antioksidan etkilerinden sorumlu olabilir. Ek olarak, ATRA'nın oksidatif stres yollarında yer alan çeşitli genlerin ekspresyonunu düzenleyerek oksidatif stresi düzenlediği gösterilmiştir [35]. Yaptığımız besleme sonucunda VA grubuna ait kerevitlerin hepatopankreasındaki SOD, GSH-Px enzimleri ve GSH düzeyindeki farklılıklar ATRA'nın etkilediği metabolik sistem ürünlerinden kaynaklanabilir.

Mevcut çalışmada, hepatopankreasdaki SOD aktivitesi, NE grubuna göre KO grubundaki kerevit hepatopankreasında yükselirken, VC ve VA diyet grubundaki kerevit hepatopankreasında düşüşler belirlendi. Benzer bulgular Wilhelm Filho ve ark. [4] tarafından *P. perna*'da, Verlecar ve ark. [26] tarafından *P. viridis*'te ve Bayir ve ark. [28] tarafından *S. glanis*'te de belirlenmiştir. Barım ve ark. [2], hepatopankreastaki SOD aktivitesinin kabuk değiştirme ve üreme dönemlerinde diğer aylara göre daha yüksek olduğunu belirlemiştir. Metabolik aktivite esnasında oluşan yüksek H_2O_2 seviyesi, bu dönemde Fenton reaksiyonu ile OH^* üretimi yoluyla hücre fizyolojisini değiştirir [26]. Bu nedenle, SOD artışı peroksidasyon nedeniyle O_2^- anyonlarının ve H_2O_2 'nin aşırı üretimini nötralize etmekle ilişkili olabilir.

GSH-Px esas olarak organik peroksitlerin uzaklaştırılmasında rol oynar. Bu nedenle, GSH-Px'in MDA oluşumundan kaynaklanan hasardan membranları korumada çok önemli bir rol oynadığı düşünülmektedir [2, 5 ve 6]. Barım-Oz ve ark. [36] tarafından yürütülen çalışmada 2017 yılında, kerevitlerde GSH-Px aktivitesinin hepatopankreas ve solungaçlarda kabuk değiştirme ve çiftleşme aylarında önceki aylara göre daha yüksek olduğu baskılanmıştır. Bu gözlem, metabolik aktiviteler sırasında O_2^-* radikallerinin üretiminin arttığını bildiren daha önceki bir raporla [4, 26 ve 37] büyük ölçüde uyumaktadır. Hepatopankreastaki artmış GSH-Px aktivitesi, H_2O_2 seviyelerini azaltarak organı lipid peroksitlerin oluşumundan korumuş ve bu da OH^* oluşumunu zayıflatmıştır. Ayrıca, Barım-Öz ve Yılmaz [37] da *A. leptodactylus*'un hepatopankreas ve solungaç dokularındaki GSH-Px düzeyinin kabuk değiştirme döneminde arttığını

belirlenmiştir. Bu çalışmada da hepatopankreastaki GSH-Px düzeyinin NE grubuna göre KO grubunda daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, yüksek GSH-Px seviyesi kabuk değiştirme döneminde OS'i azaltmak için yeterli olmayabilir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Bu araştırmada finansal destek alınmamıştır.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan malzeme ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Barım, O., (2005). Keban Baraj Gölü'nde yaşayan Tatlısu istakozu (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823) rasyonuna farklı oranlarda ilave edilen vitamin E'nin etkileri. Fırat Üniversitesi. Doktora Tezi, 73s.
- [2] Barım, O., Benzer, F., Erisir, M., and Dorucu, M., (2009). Oxidant and antioxidant status of tissues of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch., 1823) from different stations in the Keban Dame Lake. Fresenius Environmental Bulletin. 18(6):948-954.
- [3] Mazlum, Y. ve Yılmaz, E., (2012). Kerevitlerin biyolojisi ve yetiştiriciliği. Mustafa Kemal Üniversitesi. Yayınları:34. İskenderun-Hatay, 120s.
- [4] Wilhelm Filho, D.V., Tribes, T., Gaspari, C., Claudio, F.D., Torres, M.A., and Magalhaes, A.R.M., (2001). Seasonal changes in antioxidant defenses of the digestive gland of the brown mussel (*Perna perna*). Aquaculture, 203:149-158.
- [5] Ayala, A., Munoz, M.F., and Argüelles, S., (2014). Lipid Peroxidation: Production, metabolism, and signaling mechanisms of malondialdehyde and 4-Hydroxy-0-Nonenal. Hindawi Publishing Corporation Oxidative Medicine and Cellular Longevity, pp. 31.
- [6] Regoli, F. and Giuliani, M.E., (2014). Oxidative pathways of chemical toxicity and oxidative stress biomarkers in marine organisms. Marine Environmental Research, 93:106-117.
- [7] Doğan, S. ve Barım Öz, Ö., (2024). Astaksantin ve su ürünlerinde kullanımı. Serüven Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-5955-82-1, ss:95-116.
- [8] Winston, G.W. and Guilio, R.T.D., (1991). Prooxidant and antioxidant mechanisms in aquatic organisms. Aquatic Toxicology, 19:137-161.
- [9] Barım, O. and Karatepe, M., (2010). The effects of pollution on the vitamins A, E, C, beta-carotene contents and oxidative stress of the freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus*. Ecotoxicol Environ Saf 73, 138-142.
- [10] Palace, V.P. and Werner, J., (2006). Vitamins A and E in the maternal diet influence egg quality and early life stage development in fish: a review. Scientia Marina 70S2, 41-57.
- [11] Ching, B., Chew, S.F., and Ip, Y.K., (2015). Ascorbate synthesis in fisheries: A review. International Journal of Biochemistry and Molecular Biology, 67:2:69-76.
- [12] Dawood, M.A.O. and Koshio, S., (2018). Vitamin C supplementation to optimize growth, health and stress resistance in aquatic animals. Reviews in Aquaculture, 10(3):34-350.

- [13] Barata, S., Şahin, H., and Köprücü, S., (2017). Determination of Oxidative Stress Vitamin A E C and B-caroten Levels in the Tissue of *Luciobarbus esocinus* (Heckel, 1843). Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6(2):476-482.
- [14] Hernandez, L.H. and Hardy, R.W., (2020). Vitamin A functions and requirements in fish. Aquaculture Research, 51:3061-3071.
- [15] Barım Öz, Ö. ve Doğan, S. (2024). Vitamin A'nın yapısı ve balıklardaki etkileri. Serüven Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-5955-44-9, ss:1-20.
- [16] AOAC (Association of Official Analytical Chemists), (1984). Official methods of analysis (14th Ed), Association of Official Analytical Chemists. Inc. Arlington 1141 p.
- [17] Barım, O. and Erisir, M., (2009). The effect of dietary antioxidants on the arginase activity and nitric oxide level of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus*, Esch. 1823). Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 15(5):745-750.
- [18] Barım-Oz, O. and Sahin H., (2016). Oxidative stress and some biochemical parameters during starvation and refeeding in *Astacus leptodactylus* (Esch., 1823). Cell and Molecular Biology, 62(13):35-43.
- [19] Ohkawa, H., Ohishi, N., and Yagi, K., (1979). Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. Anal Biochem, 95:351-358.
- [20] Sun, Y., Oberley, W.L., and Li, Y., (1988). A simple method for clinical assay of superoxide dismutase. Clin Chem, 34:97-500.
- [21] Beutler, E., Duron, O., and Kelly, B.M., (1975). Improved method for the determination of blood glutathione, Journal of Laboratory and Clinical Medicine, 61:882-888.
- [22] Ellman, G.L., (1959) Tissue sulfhydryl groups. Arch Biochem Biophys, 82(1):70-7.
- [23] Barım Öz, Ö. ve Barata, S., (2021). Effects of reproduction on oxidative stress and some antioxidant levels in tissues of *Capoeta umbla* Heckel 1843. Journal of Materials and Electronic Devices, 7-13.
- [24] Barım Öz, Ö. ve Barata, S., (2022). Taurin ve su ürünlerinde kullanımı. Eğitim Yayınevi, Basım sayısı:1, ISBN:978-625-6382-12-1, 151-165.
- [25] Paital, B. and Chainy, G.B.N., (2013). Seasonal variability of antioxidant biomarkers in mud crabs (*Scylla serrata*). Ecotoxicology and Environmental Safety, 87:33-41.
- [26] Verlecar, X.N., Jena K.B., and Chainy, G.B.N., (2008). Seasonal variation of oxidative biomarkers in gills and digestive gland of green-lipped mussel *Perna viridis* from Arabian Sea. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 76:745-752.
- [27] Borković, S.S., Pavlović, S.Z., Kovačević, T.B., Štajn, A.Š., Petrović, V.M., and Saičić, Z.S., (2008). Antioxidant defence enzyme activities in hepatopancreas, gills and muscle of Spiny cheek crayfish (in hepatopancreas, gills and muscle of Spiny cheek crayfish (*Orconectes limosus*) from the River Danube. Comprative Biochemistry and Physiology Part C, 147:122-128.
- [28] Bayir, A., Sirkecioglu, A.N., Haliloglu, H.I., Aksakal, E., Gunes, M., and Aras, N.M., (2011). Influence of season on antioxidant defense systems of *Silurus glanis* Linnaeus (Siluridae) and *Barbus capito capito* Gldenstdt (Cyprinidae). Fresenius Environmental Bulletin, 20(1):3-11.
- [29] Aiken, D.E. and Waddy, S.L., (1992). The Growth Process in Crayfish. Reviews in Aquatic Sciences 6(3-4):335-381.
- [30] Yudkovski, Y., Glazer, L., Shechter, A., Reinhardt, R., Chalifa-Caspi V., Sagi, A., and Tom, M., (2010). Multi-

- transcript expression patterns in the gastrolith disk and the hypodermis of the crayfish *Cherax quadricarinatus* at premoult. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 5(2):171-177.
- [31] Ghanawi, J. and Saoud, I.P., (2012). Moulting, reproductive biology, and hatchery management of redclaw crayfish *Cherax quadricarinatus* (von Martens 1868). *Aquaculture*, 18:358-359.
- [32] Da Costa, L.A., Badaw, A., and El-Sohemy, A., (2012) Nutrigenetics and Modulation of oxidative stres. *Ann. Nutr. Metab*, 60(3):27-36.
- [33] Pisoschi, A.M. and Pop, A., (2015). The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stres: A review. *European Journal of Medicinal Chemistry*, 97: 55-74.
- [34] Oost R., Beyer J., and Vermeulen, N.P.E., (2003). Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ. Toxicol. Pharmacol*, 13(2):57-149.
- [35] Shastak, Y., Gordillo, A., and Pelletier, W., (2023). The relationship between vitamin A status and oxidative stress in animal production. *Journal of Applied Animal Research*, 51:1,546-553.
- [36] Barım-Oz, O., Yılmaz, S., Şahin, H., and Benzer, F., (2017). Monthly variability of oxidant and antioxidant biomarkers of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch, 1823). *Fresenius Environmental Bulletin*, 26(4):3038-3047.
- [37] Barım-Oz, O. and Yılmaz, S., (2009). The determination of effects vitamin E, C, astaxanthin and β -carotene on oxidative stress in some tissues of freshwater crayfish (*Astacus leptodactylus* Esch. 1823) in moulting period. *E-Journal of New World Sciences Academy*, 4(3):39-46.