

Antioksidan Parametrelere Fenolün Etkisinin Pullu Sazan (*Cyprinus carpio*)'da Araştırılması

Makale Türü
Araştırma

Geliş Tarihi
5 Kasım 2024

Kabul Tarihi
2 Aralık 2024

Serpil MİŞE YONAR¹
Muhammet Enis YONAR²

Özet: Evsel ve endüstriyel atıklarda yaygın olarak bulunan aromatik bir kimyasal olan fenol, su ekosistemlerine girdiğinde omurgasız ve omurgalıları olumsuz etkilemektedir. Tarımsal kimyasallara olan talebin artmasıyla birlikte, büyük miktarda fenol doğrudan bir yan ürün olarak çevreye salınmaktadır. Fenol ve türevleri çevrede daha uzun süre kalma eğilimindedir ve bu da hem insanlar hem de su ekosistemi için bir tehdit oluşturmaktadır. Bu çalışmada farklı konsantrasyonlardaki fenolün pullu sazanda (*Cyprinus carpio*) oksidatif stres ve bazı antioksidan parametreler üzerine etkisini araştırmak amaçlandı. Üç farklı konsantrasyonda fenol (0,10, 0,25 ve 0,50 ppm) 48 saat süreyle balıklara uygulandı. Deneme sonunda balıklardan alınan dalak örneklerinde oksidatif stresin bir göstergesi olarak malondialdehit düzeyleri ile antioksidan parametreler (katalaz, glutatyon peroksidaz, glutatyon-S-transferaz aktiviteleri ve redükte glutatyon düzeyi) analiz edildi. Fenol verilen grupların doku malondialdehit düzeylerinin kontrol grubuna göre istatistiksel olarak yükseldiği belirlendi ($p < 0,05$). Fenol uygulanan gruplarda doku katalaz ve glutatyon peroksidaz aktiviteleri ve redükte glutatyon düzeylerinin kontrol grubuna göre anlamlı olarak azaldığı tespit edilirken, doku glutatyon-S-transferaz aktivitelerinin istatistiksel olarak önemli düzeyde arttığı belirlendi ($p < 0,05$).

Anahtar kelimeler: antioksidan, balık, doku, fenol, oksidatif stres

Investigation of Effect of Phenol on Antioxidant Parameters in Scaly Carp (*Cyprinus Carpio*)

Abstract: Phenol, an aromatic chemical commonly found in domestic and industrial waste, adversely affects invertebrates and vertebrates when it enters aquatic ecosystems. With the increasing demand for agricultural chemicals, large amounts of phenol are released directly into the environment as a by-product. Phenol and its derivatives tend to persist in the environment for longer periods of time, posing a threat to both humans and the aquatic ecosystems. The aim of this study was to investigate the effects of different concentrations of phenol on oxidative stress and some antioxidant parameters in scaly carp (*Cyprinus carpio*). Three different concentrations of phenol (0.10, 0.25 and 0.50 ppm) were applied to the fish for 48 hours. At the end of the experiment, malondialdehyde levels as an indicator of oxidative stress and antioxidant parameters (catalase, glutathione peroxidase and glutathione-S-transferase activities and reduced glutathione levels) were analyzed in spleen samples taken from fish. It was found that tissue malondialdehyde levels of the phenol-administered groups were statistically increased compared to the control group ($p < 0.05$). While tissue catalase and glutathione peroxidase activities and reduced glutathione levels were found to be significantly decreased in the phenol-treated groups

¹  Corresponding author, serpilmise@gmail.com; Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 23119, Elazığ, Türkiye

²  meyonar@gmail.com; Fırat Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, 23119, Elazığ, Türkiye

compared with the control group, tissue glutathione-S-transferase activities were found to be statistically significantly increased ($p < 0.05$).

Keywords: antioxidant, fish, oxidative stress, phenol, tissue

GİRİŞ

Yetiştiricilikte diğer birçok dezenfektanın yanı sıra en önemlilerinden biri de fenoldür. Fenolik bileşikler, çeşitli sektörlerde yaygın uygulamaları, atık sularındaki yaygınlıkları ve canlılar için tehlikeli yapıları nedeniyle çevresel olarak önemli bileşikler olarak kabul edilirler. İnsanlar ve sudaki canlılar üzerindeki toksisiteleri nedeniyle, sudaki fenol miktarı giderek daha önem arz etmektedir (Muthukumaravel vd., 2023a). Fenol, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından toksik olarak tanımlanan ilk bileşiklerden biridir ve bir ekotoksin olarak önemi nedeniyle öncelik listesinde tutulmuştur. EPA'nın Güncel Ulusal Önerilen Su Kalitesi Kriterleri, sucul organizmaları korumak için 300 µg/L'den düşük fenol konsantrasyonları veya balık etinin korunması için 1 µg/L'den düşük konsantrasyonlar önermektedir. Fenol yüksek derecede lipofiliktir ve balık dokularında birikme potansiyeli yüksektir (Avilez vd., 2008).

Çeşitli tarımsal kimyasalların üretiminde kullanılan fenol ve türevleri, endüstriyel atık sularda ve spesifik olmayan pestisitlerde, herbisitlerde, bakterisitlerde ve fungusitlerde bulunan en yaygın ksenobiyotiklerdir. Bir ksenobiyotik olarak hareket eden fenol, su ortamına girdikten sonra sudaki organizmalara ulaşır ve toksik maddeler için bir havza görevi görür (Muthukumaravel vd., 2023b). Su ortamları da evsel ve endüstriyel atıklardan kaynaklanan fenol kirliliğine karşı hassastır. Fenol ve türevleri balık sağlığına önemli zararlar verebilir. Bunlara hematolojik değişiklikler, genotoksisitenin indüksiyonu, karsinogenez ve mutagenез, endokrin bozulması ve metabolizma dengesizliği, bağışıklık sisteminin baskılanması, ağırlık ve doğurganlığın azalması örnek verilebilir (De Moraes vd., 2015). Deri, solungaçlar ve bağırsaklar balıklar için fenolden etkilenen ilk yapılardır. Fenol, doğal çevre ve su canlıları için önemli bir tehdit oluşturmasının yanı sıra, etkilenen balıkların tüketilmesi durumunda insan sağlığını da riske atmaktadır (Hori vd., 2006). Yüksek konsantrasyonlardaki fenol ve fenol türevlerinin sucul canlılarda akut ya da kronik seyirli toksisite oluşturabildiği ifade edilmektedir (Faggio vd., 2016; Malathi ve Anuradha, 2020; Muthukumaravel vd., 2023a).

Oksidatif stres, süperoksit iyonu, hidrojen peroksit, hidroksil radikali ve singlet oksijen gibi reaktif oksijen türleri (ROS)'nin lipitler, proteinler veya nükleik asitlerle reaksiyona girmesiyle oluşur ve çeşitli biyokimyasal hasarlara neden olur (Yu ve Anderson, 1997; Pinchuk ve Lichtenberg, 2002; Valvanidis vd., 2006). ROS'nin detoksifikasyonu aerobik yaşamın ön koşullarından biridir (McCord, 2000) ve birçok savunma, hasarları önleyebilen, durdurabilen ve onarabilen bir antioksidan sistemin varlığında mümkün olmaktadır. Antioksidan savunma askorbik asit, indirgenmiş glutatyon, α-tokoferol, flavonoidler, β-karoten ve urat gibi enzimatik olmayan ROS temizleyicilerinden ve ayrıca süperoksit dismutaz, glutatyon peroksidaz, katalaz, peroksidaz, glikoz-6-fosfat dehidrogenaz ve birkaç konjugasyon enzimini içeren bir enzimatik sistemden oluşur (Sies, 1991; Valvanidis vd., 2006).

Fenol gibi birçok ksenobiyotik, ROS'nin üretimini indükleyerek suda yaşayan organizmalarda oksidatif strese neden olabilirler (Sayeed vd., 2003; Oruc vd., 2004). Antioksidan enzim aktivitesindeki değişiklikler, hücrelerdeki ROS'nin yol açtığı hasarı gösterebilir. Bu nedenle, bu enzimler oksidatif stres için biyobelirteç olarak kullanılabilir (Roche ve Boge, 2000; Valvanidis vd., 2006). Fenolün toksik etkilerini oksidan ve antioksidan parametreler kullanarak araştıran herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada balıklarda fenol toksisitesinin antioksidan parametreler kullanılarak araştırılması konu olarak seçilmiştir.

MATERYAL ve METOT

Çalışma, Fırat Üniversitesi Deneysel Araştırma Merkezi Müdürlüğü (FÜDAM) Su Ürünleri Araştırma Merkezi' nde Fırat Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu' nun 22/03/2023 tarih ve 2023/05-01 sayılı izni ile yürütüldü. Araştırmada, 120 adet 30 gram ortalama ağırlığa sahip olan pullu sazan (*Cyprinus carpio*) kullanıldı. Balıklar 12 adet cam akvaryuma her birinde 10 tane olacak şekilde yerleştirildi. Çalışma 3 tekrarlı yürütüldü (Her bir tekrar için 4, toplamda 12 adet akvaryum; her bir tekrar için 40, toplamda 120 adet balık). Balıklar 4 gruba (C: Kontrol grubu; E-0,10: 0,10 ppm konsantrasyonunda 48 saat fenol uygulanan grup; E-0,25: 0,25 ppm konsantrasyonunda 48 saat fenol uygulanan grup; E-0,5: 0,50 ppm konsantrasyonunda 48 saat fenol uygulanan grup) ayrıldı. Çalışmanın sonunda balıklar benzokain (25 mg/L) ile anestezi edilerek tekniğine uygun bir şekilde otopsi edildi (Arda vd., 2017). Otopsi edilen balıkların dalağı çıkarıldı ve folyolara sarılarak - 20 °C' de saklandı.

Oksidan/antioksidan parametrelerin belirlenmesi için öncelikle çıkarılan dalak örneklerinden homojenatlar hazırlandı. Bunun için dalak örnekleri serum fizyolojik (% 0,09 NaCl) ile yıkandıktan sonra iki süzgeç kağıdı arasında suyu alındı ve % 1,15'lik potasyum klorür (KCl)' de 1:10 oranında sulandırılıp homojenize edildi. Homojenatlar propilen tüpler içerisinde 3200 rpm' de +4 °C' de soğutmalı santrifüjde 10 dakika santrifüj edildikten sonra süpernatantlar alındı. Süpernatantlarda oksidatif stresin bir göstergesi olarak malondialdehit (MDA) düzeyi (Placer vd., 1966), katalaz (CAT) aktivitesi (Aebi, 1983), glutatyon peroksidaz (GSH-Px) aktivitesi (Beutler, 1975) ve glutatyon-S-transferaz (GST) aktivitesi (Habig vd., 1974) ile redükte glutatyon (GSH) düzeyi (Ellman, 1959) ölçüldü. Dokulardaki CAT, GSH-Px ve GST spesifik enzim aktivitesi ile MDA ve GSH düzeylerini hesaplamak için doku protein düzeyleri Lowry vd. (1951) tarafından bildirilen yöntemle göre belirlendi.

Denemede elde edilen sonuçların istatistiksel analizlerini yapmak için SPSS 21.0 paket istatistik programı kullanıldı. Kontrol ve deneme grubu balıklarının incelenen parametrelerinde meydana gelen değişimler $p < 0,05$ düzeyinde tek yönlü varyans analizi (ONEWAY-ANOVA) ile test edildi. Sonuçlar ortalama \pm standart hata olarak verildi.

BULGULAR

Kontrol ve fenol uygulanan deneme grubu balıklarının dalak dokusunda oksidatif stres ve bazı antioksidan parametrelerinde meydana gelen değişimler Tablo 1' de verilmiştir.

Kontrol grubuna göre fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak MDA düzeylerinin azaldığı belirlendi. Bu azalma istatistiksel olarak önemli bulundu ($p < 0,05$). Ayrıca fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak MDA düzeyi birbiriyle karşılaştırıldığında da istatistiksel olarak birbirinden önemli düzeyde farklılık gösterdiği tespit edildi ($p < 0,05$).

Kontrol grubuna göre fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak CAT aktivitelerinin azaldığı belirlendi. Bu azalma istatistiksel olarak önemli bulundu ($p < 0,05$). Ayrıca fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak CAT aktiviteleri birbiriyle karşılaştırıldığında da istatistiksel olarak birbirinden önemli düzeyde farklılık gösterdiği tespit edildi ($p < 0,05$).

Kontrol grubuna göre fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak GSH-Px aktivitelerinin azaldığı belirlendi. Bu azalma istatistiksel olarak önemli bulundu ($p < 0,05$). Yine fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak GSH-Px aktiviteleri birbiriyle karşılaştırıldığında da istatistiksel olarak birbirinden önemli farklılıklar gösterdiği tespit edildi ($p > 0,05$).

Fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak GST aktivitelerinin kontrol grubuna kıyasla önemli düzeyde arttığı saptandı ($p < 0,05$). Yine fenol uygulanan tüm deneme gruplarının GST aktivitelerinin

birbiriyle karşılaştırıldığında da istatistiksel olarak birbirinden farklılık gösterdiği tespit edildi ($p < 0,05$).

Kontrol grubuna göre fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak GSH düzeylerinin azaldığı belirlendi. Bu azalma istatistiksel olarak önemli bulundu ($p < 0,05$). Yine fenol uygulanan tüm deneme gruplarının dalak GSH aktiviteleri birbiriyle karşılaştırıldığında da istatistiksel olarak birbirinden önemli farklılıklar gösterdiği tespit edildi ($p > 0,05$).

Tablo 1. Fenol uygulanan grupların dalağında MDA (nmol/g protein) düzeyi, CAT (U/mg protein), GSH-Px (U/mg protein) ve GST (U/mg protein) aktiviteleri ile GSH ($\mu\text{mol/g}$ protein) düzeyindeki değişimler.

Parametreler	Deneysel Gruplar			
	C	E-0.10	E-0.25	E-0.50
MDA	3,59 \pm 0,21 A	4,02 \pm 0,17 B	6,66 \pm 0,42 C	8,10 \pm 0,13 D
CAT	3,33 \pm 0,11 D	2,89 \pm 0,14 C	2,28 \pm 0,15 B	1,97 \pm 0,16 A
GSH-Px	3,02 \pm 0,18 D	2,55 \pm 0,11 C	2,07 \pm 0,13 B	1,76 \pm 0,14 A
GST	81,37 \pm 8,14 A	102,04 \pm 6,14 B	128,69 \pm 10,86 C	144,16 \pm 15,20 D
GSH	64,07 \pm 5,26 D	49,51 \pm 4,03 C	41,67 \pm 3,41 B	35,92 \pm 6,08 A

C: Kontrol, E-0,10: 0,10 ppm fenol, E-0,25: 0,25 ppm fenol, E-0,50: 0,50 ppm fenol

A, B, C, D: Aynı satırdaki farklı harfler istatistiksel olarak farkı göstermektedir ($p < 0,05$).

TARTIŞMA

Serbest radikallerin etkisiyle lipit peroksidasyon sonucu açığa çıkan aldehitlerden birisi olan MDA, oksidatif zararın belirlenmesinde kullanılan en önemli belirteçlerden bir tanesidir (Morales vd., 2004; Fontagné vd., 2006). Das vd. (2016) 0,26 mg/L, 0,8 mg/L ve 8 mg/L konsantrasyonlarında 15 gün boyunca fenole maruz bırakılan sazan (*Cyprinus carpio*)'larda *in vivo* olarak serum, ovaryum ve karaciğerde ROS' den hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerinin üretiminin 1. günden 7. güne kadar önemli ölçüde arttığını ancak bu değerlerin 7. ve 15. günde istatistiksel olarak herhangi bir artış göstermediğini ifade etmişlerdir. Benzer şekilde *Gobiocypris rarus* türü balıkların döllenmemiş yumurtalarında 1 ve 200 microgram/L konsantrasyonlarında ve 21 gün için uygulanan nonilfenolün ROS üretimini arttırdığı belirlenmiştir (Zhang vd. 2008). Bu çalışmada da yukarıda açıklanan çalışmalarla uyumlu olarak üç farklı konsantrasyonda fenol uygulanan balıkların dalak MDA düzeylerinin arttığı görülmüştür. Bu artış fenol toksisitesine bağlı olarak ROS' nin üretiminin artmasıyla oluşan lipit peroksidasyonun bir neticesi olabilir.

Balıklarda da bulunan en önemli antioksidan enzimler, süperoksit radikali ($\text{O}_2^{\cdot-}$)' ni hidrojen peroksid (H_2O_2)' e indirgeyen süperoksit dismutaz (SOD), H_2O_2 ' i temizleyen CAT ve GSH-Px' dir (Droge, 2002; Storey, 1996). CAT enziminin temel görevi H_2O_2 radikalini sitoplazmadan uzaklaştırmaktır. Hücreleri H_2O_2 birikiminden korumak için bunu H_2O_2 ' i su (H_2O) ve oksijen (O_2)' ne dönüştürerek veya peroksidaz gibi çalışan bir antioksidan olarak H_2O_2 ' yi kullanarak yapar. H_2O_2 ' nin CAT tarafından metabolize edildiği ve CAT aktivitesinin doğrudan H_2O_2 konsantrasyonuyla ilişkili olduğu ifade edilmiştir (Fornazier vd., 2002). GSH-Px de CAT gibi hücreleri H_2O_2 hasarından korumakla görevlidir ve bu enzim, hidroperoksitlerin ve H_2O_2 ' in glutatyona bağlı indirgenmesini katalize eder. Bununla birlikte enzim olmayan ancak çok önemli bir antioksidan olan tripeptit yapısındaki GSH, serbest radikallerle reaksiyona girerek hücreleri oksidatif hasardan korur. Ayrıca glutatyona bağlı enzimlerin fonksiyonları için de mutlaka gerekli olan GSH' ın varlığında ancak GSH-Px H_2O_2 'yi suya

dönüştürebilmektedir. 96 saat boyunca fenol uygulandıktan sonra 2 hafta süresince *Brycon amazonicus* türü balıkların iyileşmeleri eritrosit ve karaciğerde incelenmiştir. Fenol uygulanan balıklarda CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri ile GSH düzeyinin karaciğer ve eritrositlerde azaldığı gözlemlenmiştir (Avilez vd., 2008). Diğer fenolik bileşiklerin de CAT aktivitesini azalttığı bildirilmiştir (Roche ve Bogé, 1996). Araştırmacılar levrek kanında farklı konsantrasyonlarda polifenol uygulaması sonrasında kontrol grubuna göre düşük bir CAT aktivitesinin belirlendiğini ifade etmişlerdir. Gaur ve Mathur vd. (2017) tarafından *Labeo rohita* türü balıklarda yapılan bir çalışmada fenol uygulamasıyla solungaç, karaciğer ve böbrek örneklerinin tamamında GSH-Px enzim aktivitesinin azaldığı kas GSH-Px enzim aktivitesinin ise arttığı belirlenmiştir. Ancak aynı çalışmada solungaç ve karaciğer GSH düzeyinin kontrol grubuna göre arttığı, böbrek ve kas GSH düzeylerinin ise azaldığı da tespit edilmiştir. Bu çalışmada ise fenol uygulanan grupların CAT ve GSH-Px enzim aktiviteleri ile GSH düzeyinin azaldığı görülmüştür. Bu sonuç, yukarıda açıklanan çalışmalardan elde edilen sonuçlardan bazıları ile uyumlu iken bazıları ile farklılık oluşturmaktadır ve bu farklılık deney hayvanının türü, incelenen dokular ile birlikte fenolün uygulama yöntemi, miktarı ve süresi ile açıklanabilir. Ayrıca bu çalışmadan elde edilen düşük enzim aktivitelerinin nedeni fenolün toksik etkisi olabilir.

GST enzimi, ksenobiyotiklerin ve endojen bileşiklerin detoksifikasyonu ve biyotransformasyonunda görev almaktadır. Bu enzim GSH ile elektrofilik gruplar taşıyan bileşikler arasındaki konjugasyonu katalizler ve çok fonksiyonlu faz II enzim ailesinin bir üyesidir (Hamed vd. 2003). Gaur ve Mathur vd. (2017) tarafından *Labeo rohita* türü balıklarda yapılan ve fenolün LC₅₀ değerinin 1/10' nun uygulandığı bir çalışmada fenolün solungaç ve karaciğer GST aktivitesini düşürdüğü, böbrek ve kas GST enzim aktivitesini ise arttırdığı tespit edilmiştir. Üç farklı konsantrasyonda ve 48 saat süreyle fenolün uygulandığı bu çalışmada ise kontrol grubuna göre deneysel gruplarda doku GST enzim aktivitelerinin arttığı görülmüştür. Fenol uygulanan grupların doku GST aktivitelerinde belirlenen bu artış, fenolün toksik etkisine bağlı olarak bir detoksifikasyon enzimi olan GST' nin yüksek aktivite göstermesiyle ilgili olabilir.

SONUÇ

Sonuç olarak; 0,10, 0,25 ve 0,50 ppm konsantrasyonlarında fenol uygulanan balıklarda oksidatif stresin bir göstergesi olarak doku MDA düzeylerinin arttığı dolayısıyla fenolün oksidatif strese yol açtığı görülmüştür. Farklı konsantrasyonlarda fenol uygulanan balıkların doku CAT ve GSH-Px aktiviteleri ile GSH düzeylerinin azaldığı, GST aktivitesinin ise arttığı tespit edilmiştir. Bu sonuç fenolün balıklar için toksik olduğunu göstermektedir. Bu nedenle yetiştiricilikte dezenfektan olarak oldukça fazla tercih edilen fenol kullanılırken dikkatli olunmalıdır. Fakat farklı balık türlerinde, farklı doz ve süreler için ve farklı parametreler kullanılarak fenol uygulamasının sonuçlarına ihtiyaç vardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar, bu makale ile ilgili başka kişi veya kurumlar ile çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Aebi, H. (1983). Catalase, (Ed. H.U. Bergmeyer), Methods in Enzymatic Analysis, Academic Press.
- Arda, M., Seçer, S. & Sarıyüpoğlu, M. (2017). Balık Hastalıkları. Medisan Yayınevi.
- Avilez, I. M., Hori, T. S. F., de Almeida, L. C., Hackbarth, A., Neto, J. C. B. ..., Moraes, G., (2008). Effects of phenol in antioxidant metabolism in matrinxã, *Brycon amazonicus* (Teleostei; Characidae). *Comparative Biochemistry and Physiology C* 148, 136-142.

- Beutler, E. (1975). Red cell metabolism. (Ed. E. Beutler), A Manual of Biochemical Methods, Grune Strottan, Inc.
- Das, S., Majumder, S., Gupta, S., Dutta, S., & Mukherjee, D. (2016). Effects of phenol on ovarian P450arom gene expression and aromatase activity *in vivo* and antioxidant metabolism in common carp *Cyprinus carpio*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 42, 275-286.
- De Moraes, F. D., de Figueiredo, J. S. L., Rossi, P. A., Venturini, F. P., & Moraes, G. (2015). Acute toxicity and sublethal effects of phenol on hematological parameters of channel catfish *Ictalurus punctatus* and pacu *Piaractus mesopotamicus*. *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, 10 (1), 31-36.
- Droge, W. (2002). Free radicals in the physiological control of cell function. *Physiological Reviews*, 82, 47-95.
- Ellman, G. L. (1959). Tissue sulphhydryl groups. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 82, 70-77
- Faggio, C., Pagano, M., Alampi, R., Vazzana, I., & Felice, M. R. (2016). Cytotoxicity, haemolymphatic parameters, and oxidative stress following exposure to sub-lethal concentrations of quaternium-15 in *Mytilus galloprovincialis*. *Aquatic Toxicology*, 180, 258-265.
- Fontagné, S., Bazin, D., Brèque, J., Vachot, C., Bernarde, C., Rouault, T. ... Bergot, P. (2006). Effects of dietary oxidized lipid and vitamin A on the early development and antioxidant status of Siberian sturgeon (*Acipenser baeri*) larvae. *Aquaculture*, 257, 400-411
- Fornazier, R. F., Ferreira, R. R., Vitoria, A. P., Molina, S. M. G., Lea, P. J., & Azevedo, R. A. (2002). Effects of cadmium on antioxidant enzyme activities in sugar cane. *Biologia Plantarum*, 45(1), 91-97
- Gaur, V., & Mathur, A. (2017). Evaluation of Antioxidant profile of *Labeo rohita* in stress condition after exposure to phenolic compounds. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 7(6), 423-434.
- Habig, W. H., Pabst, M. J., & Jakoby, W. B. (1974). Glutathione S-transferases. The first enzymatic step in mercapturic acid formation, *The Journal of Biological Chemistry*, 249 (22), 7130-7139.
- Hamed, R. R., Farid, N. M., Elowa, S. H. E., & Abdalla, A. M. (2003). Glutathione related enzyme levels of freshwater fish as bioindicators of pollution, *The Environmentalist*, 23, 313-322.
- Hori, T. S. F., Avilez, I. M., Inoue, L. K., & Moraes, G. (2006). Metabolical changes induced by chronic phenol exposure in matrinxã *Brycon cephalus* (teleostei: characidae) juveniles. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 143, 67-72.
- Lowry, O. H., Rosenberough, N. J., Farr, A. L., & Randal, R. J. (1951). Protein measurement with folinphenol reagent. *Journal of Biochemistry*, 193, 265-275.
- Malathi, S. T., & Anuradhaf, V. (2020). Lithium induced toxicity profile of oxygen consumption, haematological parameters and biochemical profiles of *Channa punctatus* and *Oreochromis niloticus*. *Nature Environment and Pollution Technology*, 19(2), 677-685.
- McCord, J. (2000). The evolution of free radicals and oxidative stress. *The American Journal of Medicine*, 108(8), 652-659.

- Morales, A. E., Pérez-Jiménez, A., Hidalgo, M. C., Abellán, E., & Gabriel C. G. (2004). Oxidative stress and antioxidant defenses after prolonged starvation in *Dentex dentex* liver. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 139(1-3), 153-161.
- Muthukumaravel, K., Kanagavalli, V., Pradhoshini, K. P., Vasanthi, N., Santhanabharathi, B., Lubna Alam, L. ... Faggio, C. (2023a). Potential biomarker of phenol toxicity in freshwater fish *C. mrigala*: Serum cortisol, enzyme acetylcholine esterase and survival organ gill. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 263, 109492.
- Muthukumaravel, K., Pradhoshini, K.P., Kanagavalli, V., Vasanthi, N., Ahmed, M.S., Musthafa, M. S. ... Rayindran, B. (2023b). Impact of sublethal phenol in freshwater fish *Labeo rohita* on biochemical and haematological parameters. *Environmental Monitoring Assessment*, 195, 10.
- Oruc, E. O., Sevgiler, Y., & Uner, N. (2004). Tissue-specific oxidative stress responses in fish exposed to 2,4-D and azinphosmethyl. *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 137, 43-51.
- Pinchuk, I., & Lichtenberg, D. (2002). The mechanism of action of antioxidants against lipoprotein peroxidation, evaluation based on kinetic experiments. *Progress in Lipid Research*, 41, 279-314.
- Placer, Z. A., Cushman, L., & Johnson, B. C. (1966). Estimation of products of lipid peroxidation (Malonyldialdehyde) in biological fluids. *Analytical Biochemistry*, 16, 359-364.
- Roche, H., & Bogé, G. (2000). In vivo effects of phenolic compounds on blood parameters of marine fish (*Dicentrarchus labrax*). *Comparative Biochemistry and Physiology C*, 125, 345-353.
- Roche, H., & Bogé, G. (1996). Fish blood parameters as a potential tool for identification of stress caused by environmental factors and chemical intoxication. *Marine Environmental Research*, 41, 27-43.
- Sayeed, I., Parvez, S., Pandey, S., Bin-Hafeez, B., Haque, R., & Raisuddin, S. (2003). Oxidative stress biomarkers of exposure to deltamethrin in freshwater fish, *Channa punctatus* Bloch. *Ecotoxicology Environmental Safety*, 56, 295-301.
- Sies, H. (1991). Oxidative stress: from basic research to clinical application. *The American Journal of Medicine*, 91, 31-38.
- Storey, K. B. (1996). Oxidative stress: animal adaptations in nature. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 29, 1715-1733.
- Valvanidis, A., Vlahogianni, T., Dassenakis, M., & Scoullou, M. (2006). Molecular biomarkers of oxidative stress in aquatic organisms in relation to toxic environmental pollutants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 64, 178-189.
- Yu, T. W., & Anderson, D. (1997). Reactive oxygen species-induced DNA damage and its modification: a chemical investigation. *Mutation Research*, 379, 201-210.
- Zhang, X., Yang, F., Ya, C. Q., & Ying, X. (2008). Oxidative damage in unfertilized eggs of Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*) exposed to nonylphenol. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(1), 213-219.

How to cite this article/Bu makaleye atf için:

Mişe Yonar, S., & Yonar, M. E. (2024). Antioksidan parametrelere fenolün etkisinin Pullu sazan (*Cyprinus carpio*)' da araştırılması. *DÜSTAD-Dünya Sağlık ve Tabiat Bilimleri Dergisi*, 7(2), 144-150. <https://doi.org/10.56728/dustad.1579642>