



Kontrollü Koşullarda Yetiştirilen Farklı Tathısu Balıklarında Kan Biyokimyasal Parametre Değerleri: Üre, Glukoz, Kreatinin, ALT, AST ve ALP

Mert Minaz^{1*} Akif Er¹ Kübra Ak¹ İlker Zeki Kurtoglu¹ Şevki Kayış¹

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Rize, Türkiye

Geliş Tarihi: 20.04.2025

Kabul Tarihi: 06.07.2025

Basım Tarihi: 31.07.2025

Atıf yapmak için: Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoglu, İ.Z., & Kayış, Ş. (2025). Kontrollü Koşullarda Yetiştirilen Farklı Tathısu Balıklarında Kan Biyokimyasal Parametre Değerleri: Üre, Glukoz, Kreatinin, ALT, AST ve ALP. *Anadolu Çev. Hay. Bil. Derg.*, 10(4), 443-451. <https://doi.org/10.35229/jaes.1680313>

How to cite: Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoglu, İ.Z., & Kayış, Ş. (2025). Serum Biochemical Parameter Levels in Different Freshwater Fish Species Cultured Under Controlled Conditions: Urea, Glucose, Creatinine, ALT, AST and ALP. *J. Anatol. Env. Anim. Sci.*, 10(4), 443-451. <https://doi.org/10.35229/jaes.1680313>

*<https://orcid.org/0000-0003-1894-9807>
<https://orcid.org/0000-0002-0052-5590>
<https://orcid.org/0000-0001-6809-2659>
<https://orcid.org/0000-0002-4214-7997>
<https://orcid.org/0000-0002-9391-7613>

***Sorumlu yazar:**

Mert Minaz
Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Su
Ürünleri Fakültesi, Rize, Türkiye
✉: mert.minaz@erdogan.edu.tr

Öz: Su ürünleri yetiştiriciliği, giderek büyüyen ve gelişen bir sektör haline gelmiştir. Bu büyümenin sürdürülebilirliği, sağlıklı balıkların yetiştirilmesiyle mümkündür. Bu bağlamda, üretim tesislerinde sağlıklı bireylerin fizyolojik durumlarının değerlendirilmesi vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Bu değerlendirmelerin yapılabilmesi için türlere özgü biyokimyasal referans değerlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma, önemli ticari değere sahip üç balık türü olan sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*), yetişkin bireylerden elde edilen üre, glukoz, kreatinin, alanin aminotransferaz (ALT), aspartat aminotransferaz (AST) ve alkalen fosfataz (ALP) gibi temel biyokimyasal parametrelerin referans değerlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Balıkların sağlıklı bireyler olduğu ise mikrobiyolojik ve hematolojik testlerle doğrulanmıştır. Elde edilen veriler, türler arasında bazı parametrelerde istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, yetiştiricilik faaliyetlerinde biyokimyasal izlemeye dayalı sağlık değerlendirmeleri için temel bir referans sunmaktadır. Ayrıca, gelecekte yapılacak çalışmaların bu türlerin farklı yaşam evrelerine odaklanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sazan, mersin balığı, alabalık, biyokimya, enzim.

Serum Biochemical Parameter Levels in Different Freshwater Fish Species Cultured Under Controlled Conditions: Urea, Glucose, Creatinine, ALT, AST and ALP

Abstract: Aquaculture has emerged as one of the fastest-growing sectors within food production. The long-term sustainability of this growth relies heavily on the ability to cultivate healthy fish. In this regard, monitoring the physiological condition of fish is critical for effective management in aquaculture facilities. Accurate health assessments require species-specific biochemical reference values. This study aimed to establish reference ranges for key blood biochemical parameters-urea, glucose, creatinine, alanine aminotransferase (ALT), aspartate aminotransferase (AST), and alkaline phosphatase (ALP) in adult individuals of three economically important freshwater fish species: common carp (*Cyprinus carpio*), Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*), and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The health status of the sampled individuals was verified through microbiological and hematological evaluations. The results revealed statistically significant interspecies differences for several parameters. These findings provide a valuable biochemical baseline for health monitoring and disease management in aquaculture operations. Future studies are recommended to investigate individuals at different developmental stages to enhance the generalizability and practical application of these reference values.

Keywords: Common carp, sturgeon, trout, biochemistry, enzyme.

***Corresponding author's:**

Mert Minaz
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of
Fisheries, Rize, Türkiye
✉: mert.minaz@erdogan.edu.tr

GİRİŞ

Su ürünleri yetiştiriciliği, günümüzde küresel su ürünleri üretiminin %50'sinden fazlasını karşılamakta olup, 2030 yılı itibarıyla daha da büyük bir paya ulaşması beklenmektedir (FAO, 2018). Su ürünleri yetiştiriciliğindeki bu büyüme avcılıktan gelen doğal stokların azalması, iklim değişikliğinin sektör üzerindeki olumsuz etkileri, sürdürülebilir kalkınma prensipleri ve yetiştiriciler üzerinde oluşturulan farkındalık çalışmaları ile ilişkilidir. Bu doğrultuda, yoğun üretim yapılan tesislerde balık sağlığı ve yönetim uygulamaları ticari başarı açısından kritik rol oynamaktadır. Bu nedenle, balık sağlığının hızlı, non-invaziv ve maliyet etkin yöntemlerle izlenmesi gereklidir (Hrubec vd., 2000). Hematolojik ve biyokimyasal analizler balıklarda beslenme, hastalık ve su kalitesine bağlı stres durumlarını değerlendirmek için güvenilir analizlerdir (Fazio, 2019; Satheeshkumar vd., 2012).

Hematolojik profil; kirlilik, hipoksi, taşıma ve anestezi gibi çeşitli olumsuz çevresel süreçlere maruz kalmanın etkilerini gösterebilir (Minaz vd., 2022a; Sayed and Moneeb, 2015). Kan parametreleri, balıkların iç fizyolojik durumunu hastalık klinik olarak ortaya çıkmadan önce gösterebildiğinden, kültür ortamında yetiştirilen sucul organizmaların sağlık durumunu belirlemede güvenilir biyogöstergelerdir (Elahee and Bhagwant, 2007; Fazio vd., 2017; Gabriel vd., 2011; Minaz vd., 2022b; Tavares-Dias and De Moraes, 2007). Bu nedenle hematolojik parametreler, su ürünleri yetiştiriciliğinde stres koşullarının tespiti için rutin analizlerle birlikte kullanılabilir (Pavlidis vd., 2007).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde, balık sağlığının izlenmesi ve üretim verimliliğinin artırılması açısından karaciğer enzimlerinin (özellikle ALT, AST ve ALP) takibi büyük önem taşımaktadır. Bu enzimler, hepatik fonksiyon bozukluklarının erken teşhisinde biyokimyasal belirteçler olarak kullanılmakta ve karaciğer dokusundaki hasarları ortaya koymaktadır (Hrubec vd., 2000). Kan örneklerinden non-invaziv yöntemlerle elde edilen serumlar kullanılarak gerçekleştirilen bu analizler, balıkların fizyolojik durumu, toksik madde maruziyeti, beslenme kalitesi ve enfeksiyöz hastalıkların varlığı hakkında kapsamlı bilgiler sunar (Martínez-Porchas vd., 2009). Bu yönüyle, serum biyokimyası analizleri; pratik, ekonomik ve güvenilir olmaları nedeniyle su ürünleri yetiştiriciliğinde rutin sağlık taramalarında yaygın olarak kullanılan temel bir yaklaşımdır (Blahova vd., 2025). Özellikle sürdürülebilir ve çevresel olarak kontrollü üretim sistemlerinde, bu tür non-invaziv biyogöstergelerin kullanımı, balık refahının korunmasına ve üretim kayıplarının en aza indirilmesine katkı sağlamaktadır.

Referans aralıklarının belirlenmesi, yetiştiricilikte sağlık yönetiminin temeli olarak kabul edilmekte ve üretim sürecinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem

taşımaktadır (Ak vd., 2023). Türler özgü biyokimyasal referans değerler, balıkların fizyolojik durumunun normal sınırlar içerisinde olup olmadığının değerlendirilmesine olanak tanır. Bu sayede hastalıkların erken tanısı, besleme rejimlerinin fizyolojik etkilerinin takibi ve çevresel stres faktörlerinin zamanında tespiti mümkün hale gelmektedir. Özellikle ticari ölçekte üretim yapan işletmelerde, bu tür parametrelerin rutin olarak izlenmesi, kayıpların azaltılması ve hayvan refahının korunması açısından stratejik bir öneme sahiptir. Ayrıca, referans değerlerin varlığı, veteriner hekimler ve su ürünleri uzmanlarının klinik karar alma süreçlerini destekleyerek, tedavi ve müdahale yaklaşımlarının bilimsel temellere dayanmasını sağlar.

Farklı balık türlerinde yapılan çalışmalarda türler arasında hatta aynı türün farklı kültür koşullarında yetiştirilmesine bağlı hematolojik ve biyokimyasal değerlerin değişebileceği rapor edilmiştir (Fazio vd., 2013). Dolayısıyla referans aralığı değerlerinin belirlenmesi için türe özgü çalışmalar yapılması gerekmektedir (Ak vd., 2023; Witeska vd., 2016). Mevcut çalışma bu kapsamda üç farklı balık türüne odaklanmıştır: Sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*). Dünya su ürünleri yetiştiriciliğinde en büyük paya sahip balıklardan biri olan sazan düşük trofik seviyeli bir sıcak su balığıdır (Minaz vd., 2024b). Sazan balığı, birçok Avrupa ülkesinde toplam balık üretiminin %80'inden fazlasını oluşturmaktadır (Anton-Pardo vd., 2014). Çevresel koşullara yüksek uyum sağlamasıyla su ürünleri yetiştiriciliği için potansiyel bir adaydır (Manjappa vd., 2011). Diğer taraftan Karaca mersin balığı da sazan balığı gibi çevresel mekanizmalara karşı yüksek direnç gösterebilen bir türdür. Karaca mersin balıkları, yüksek pazarlanabilirliği ve havyar üretim potansiyeli sayesinde ekonomik açıdan değerli bir türdür (Bronzi vd., 2011). Ayrıca Tuna mersini, IUCN tarafından Tehdit Altındaki Türlerin Kırmızı Listesi'nde yer alan savunmasız balık türlerinden biridir (Friedrich vd., 2019). Bu iki türe göre daha yüksek bir trofik seviyede yaşayan gökkuşağı alabalığı ise besin bileşimi ve ticari değeri bakımından en çok tercih edilen soğuk su balıklarındandır (Rahimi vd., 2022). Çevresel koşullara diğer iki türe göre daha hassas olan bu tür daha yüksek çözünmüş oksijen (DO) ister. Bu üç tür için yetiştiricilik durumları incelendiğinde Türkiye'de yaygın olarak en fazla yetiştiriciliği yapılan tür gökkuşağı alabalığı olup, bu tür 73 ilde üretim görmektedir. Buna karşın, çalışmada yer alan aynalı sazan 14 ilde, Karaca mersin balığı ise yalnızca 1 ilde yetiştiricilik faaliyetleri kapsamında bulunmaktadır (Yıldırım, 2025). Sonuç olarak, bu üç tür; ekonomik değerleri, fizyolojik özellikleri ve üretim potansiyelleri açısından önemli kültür türleri arasında yer almaktadır. Bu kapsamda mevcut çalışma, sazan (*Cyprinus carpio*), Karaca mersin balığı (*Acipenser gueldenstaedtii*) ve gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus*

mykiss) türlerinde üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST ve ALP parametrelerinin referans aralıklarını karşılaştırmalı olarak belirlemeyi amaçlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Kullanılan balıklar ve çalışma tasarımı: Tüm deneysel çalışmalar Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezinde gerçekleştirilmiştir. Mevcut çalışma Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Yerel Etik Kurulu tarafından kontrol edilmiş ve onaylanmıştır (Karar No: 2024/46). Çalışmada kullanılan balıkların ağırlıkları şu şekildedir: sazan balığı: 1485,7±103 g, Karaca mersin balığı: 3544,8±582 g ve gökkuşağı alabalığı: 284,8±21 g. Biyokimyasal testler ve hematolojik çalışmalar için her bir balık türünden 30'ar balık örneklenmiştir. Çalışmada kullanılacak balıklar sazan balıkları 2014 yılında Keban Barajından fakültemize getirilmiş yaklaşık 12 yaşındaki bireylerdir. Karaca mersin balıkları ise 2011 yılında Almanya'da özel bir işletmeden satın alınan yumurtalardan elde edilen yaklaşık 14 yaşındaki bireylerdir. Son olarak gökkuşağı alabalıkları ise senelik olarak rutin üretimi yapılan Su ürünleri Araştırma ve Uygulama Merkezine ait bireylerdir. Tüm balıklar kan alınmadan 15 gün öncesinde yüksek havalandırmalı kuyu suyunda 15 kg/m³ stok yoğunluğunda tutulmuşlardır ve son 2 gün boyunca yemlenmemişlerdir. Tanklardaki su sıcaklığı: 18±0,8 °C, çözünmüş oksijen (DO): 7,1±1,1 mg/L ve pH ise 7,22±0,14 olarak ölçülmüştür. Tüm bu su kalite parametreleri portatif bir multiparametrelili ölçüm cihazıyla ölçülmüştür (Hach HQ40d 58258-00, Loveland, CO).

Üç farklı balık türünden beşer adet alınarak balık sağlığı açısından bakteriyel, paraziter ve fungal olarak incelenmiştir. Öncelikle balıkların solungaç ve derilerinden sürüntü yoluyla, bağırsaklarından ise dışkı ile preparat örnekleri alınmıştır. Diğer taraftan balıkların dalak, böbrek, karaciğer ve kanından genel besi (TSA) yerine ekim yapılarak bakteriyel patojen kontrolü sağlanmıştır. Balık sağlığı açısından incelenen bireylerde bakteriyel, paraziter ve fungal bir patojen tespit edilmemiştir. Ayrıca balıklarda herhangi bir fizyolojik ve davranışsal anormallik rastlanmamıştır.

Hematolojik çalışmalar: Anestezi için karanfil yağına (100 mg/L) maruz bırakılan bireylerin kuyruk venasından 2,5 ml'lik bir enjektör yardımıyla kan örnekleri alınmıştır. Alınan kan numuneleri pıhtılaşmasının önlenmesi için EDTA K3 kan tüplerine alınır. Daha sonra sırasıyla kırmızı kan hücreleri (RBC) ve beyaz kan hücreleri (WBC), hematokrit oranı (HCT), hemoglobin konsantrasyonu (HGB) otomatik hematolojik kan sayıcı (Prokan-6800VET, Shenzhen, Çin) ile takip edilmiştir. Ayrıca eritrosit indeksleri olarak ortalama eritrosit hacmi (MCV), ortalama eritrosit hemoglobin (MCH) ve ortalama eritrosit hemoglobin konsantrasyonu (MCHC) dikkate alınmıştır.

Otomatik hemogram testi, kan hücrelerini elektriksel empedans yöntemine göre sayar ve boyutlandırır. Ayrıca kolorimetrik yöntemle HGB'yi saptar. Cihazdaki WBC ve RBC'nin sayım prensibi, bir açıklık sensöründen geçen bir parçacığın ürettiği elektrik direncindeki değişikliklerin ölçülmesine dayanır. Öte yandan, kana lizis ekleyerek, kırmızı kan hücresi hızla parçalanır ve hemoglobini serbest bırakır. Cihaz diğer hematolojik parametreleri MCV, RBC, HGB ve HCT'ye göre hesaplar.

Biyokimyasal analizler: Hematolojik parametreler için alınan kan numuneleri hematolojik ölçümler sonrasında biyokimyasal işlemler için santrifüj edilmiş ve plazma çıkarılmıştır. Bu amaçla 5000 g dönme hızında 10 dakika süreyle santrifüjleme yapılmıştır. Çıkan plazmalar bir otomatik mikro pipet ile endorf tüplerine alınmış ve hemen çalışmayacağı için -80°C'de saklanmıştır. Biyokimya testleri Alanine Aminotransferase (ALT), Aspartate Aminotransferase (AST), Alkaline Phosphatase (ALP), trigliserit, kreatinin, üre ve glukoz için kitler ile gerçekleştirilmiştir. Biyokimya cihazı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Bünyesinde bulunan LT406-RX model Randox marka bir biyokimya cihazıdır. RX monaco, Randox Laboratories tarafından üretilen tam otomatik, rastgele erişimli bir klinik kimya analizörüdür. Bu cihaz, rutin ve özel testlerin yanı sıra acil (STAT) örneklemeyi de gerçekleştirebilir. Optimum konfigürasyonda, RX monaco saatte 170 fotometrik test yapabilme kapasitesine sahiptir. RX monaco, fotometrik ölçüm prensibiyle çalışır. Cihaz, 340 nm ile 800 nm arasında 12 farklı dalga boyunda ölçüm yapabilen bir difraksiyon ızgarası kullanır. Bu geniş dalga boyu aralığı, çeşitli kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Grafiksel analizler: Hematolojik parametrelere ait tüm veriler ortalama ± standart sapma olarak verilmiştir. Grafikler Origin Pro 2025 (Learning Edition) programı ile çizilmiştir. Box-plot grafiklerinde kutuların alt noktası %25'inci, üst noktaları ise %75'inci değeri göstermektedir. İpliklerin üst noktası maksimum, alt noktası minimum ve kutu içerisindeki çizgi ise medyan değerini göstermektedir. Kutu içerisindeki yıldız (*) veri setindeki ortalama değeri göstermektedir. Referans değerler verildiği için gruplar arasında herhangi bir istatistiksel karşılaştırma yapılmamıştır.

BULGULAR

Çalışmada incelenen balıkların sağlıklı bireyler olduğunu ve çalışma dönemi içerisinde stres altında olmadıklarının kanıtı olarak mikrobiyolojik araştırmalara ek olarak hematolojik çalışmalar yapılmıştır. Tablo 1 üç farklı balık türü için hematolojik parametreleri göstermektedir. Buna göre WBC, LYM, MCV ve MCH değerleri türler arasında farklılık gösterirken en yüksek değerler sırasıyla mersin balığı, alabalık ve sazanda gözlenmiştir. RBC ise tam

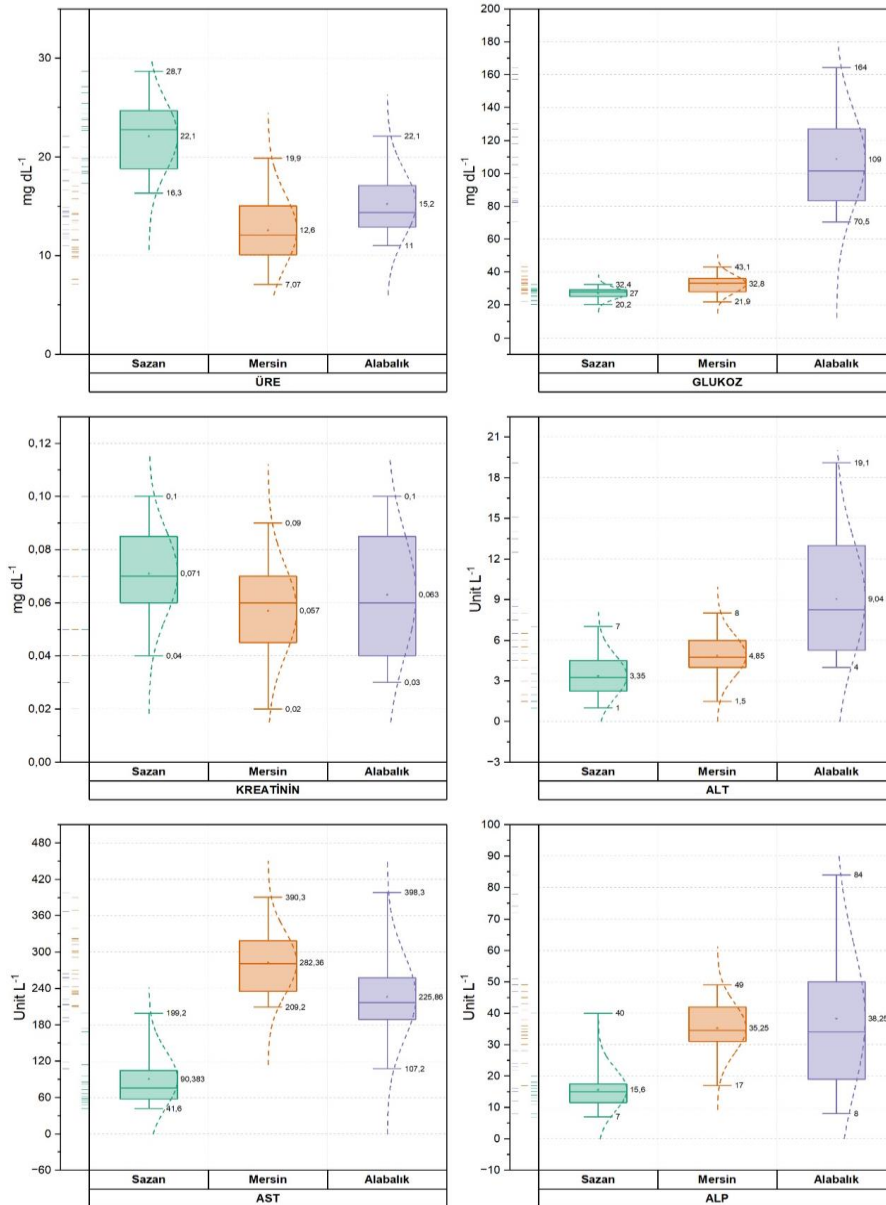
tersi senaryo ile sazan balıklarında diğer türlere göre daha yüksektir. Diğer kan parametreleri ise birbirine yakın değerlerde seyretmiştir.

Tablo 1. Üç farklı balık türü için gözlemlenen hematolojik parametreler.
Table 1. Hematological parameters observed for three different fish species.

	Sazan	Mersin	Alabalık
WBC ($10^3/\mu\text{L}$)	6,10 $\pm$ 3,2	44,75 $\pm$ 4,1	21,24 $\pm$ 4,6
LYM ($10^3/\mu\text{L}$)	6,34 $\pm$ 2,9	41,22 $\pm$ 3,5	20,79 $\pm$ 4,3
RBC ($10^6/\mu\text{L}$)	1,54 $\pm$ 0,3	0,81 $\pm$ 0,1	1,23 $\pm$ 0,1
HGB (g/dL)	9,56 $\pm$ 1,8	10,74 $\pm$ 1,0	10,35 $\pm$ 1,3
HCT (%)	17,86 $\pm$ 3,8	15,84 $\pm$ 1,6	20,15 $\pm$ 3,6
MCV (fL)	172,34 $\pm$ 8,4	199,42 $\pm$ 9,3	184,62 $\pm$ 57,4
MCH (pg)	52,16 $\pm$ 3,8	149,57 $\pm$ 8,9	83,42 $\pm$ 5,9
MCHC (g/dL)	54,24 $\pm$ 2,1	66,42 $\pm$ 4,2	47,37 $\pm$ 3,6

Kan plazmasındaki biyokimyasal testlere dayanarak (Şekil 1), üre sazan balıklarında (14,6-27,6 mg/dL), mersin (7,07-19,8 mg/dL) ve alabalığa (11,0-22,1 mg/dL) göre biraz daha yüksek gözlenmiştir. Glukoz

değerleri alabalıkta (73,6-164 mg/dL) daha yüksek, sazan (20,4-32,1 mg/dL) ve mersinde (24,8-43,1 mg/dL) ise daha dar varyans aralığı ile düşüktür. Kreatinin sazan (0,04-0,10 mg/dL), mersin (0,02-0,09 mg/dL) ve alabalık (0,03-0,10 mg/dL) için birbirine benzer referans değer aralığı göstermiştir. ALT, alabalıklar (4-19,1 Unit/L) için geniş bir referans aralığı sunarken, sazan (1-7 Unit/L) ve mersinler (1,5-8 Unit/L) için daha dar bir varyasyon göstermiştir. Benzer bir durum AST ve ALP için de geçerlidir. Alabalık (AST:55,3-475,8 Unit/L ve ALP:4-84 Unit/L) referans değerleri geniş aralıkta yer alırken, sazan (AST:41,6-199,2 Unit/L ve ALP:3-40 Unit/L) ve mersin (AST:209,2-390,3 Unit/L ve ALP:17-49 Unit/L) balıklarına ait değerler daha küçük bir aralıktadır.



Şekil 1. Üç farklı balık türü için biyokimyasal parametrelerin (üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST, ALP) referans aralıkları

Figure 1. Reference ranges of biochemical parameters (urea, glucose, creatinine, ALT, AST, ALP) for three different fish species.

TARTIŞMA

Balıklarda hematolojik parametreler, stresin belirteci olarak değerlendirilmektedir (Elahee and Bhagwant, 2007; Fazio vd., 2017). Çünkü kan parametreleri, klinik bulgular ortaya çıkmadan önce balığın fizyolojik durumuna ilişkin bilgi verebilmektedir (Gabriel vd., 2011). Bu nedenle, bu parametreler diğer rutin analizlerle birlikte su ürünleri yetiştiriciliğinde stres koşullarını tespit etmek için kullanılabilir (Pavlidis vd., 2007). Balıklardaki olası hastalık durumlarının değerlendirilmesi, kan parametrelerinin tür ve yaşa özgü referans değerlerle karşılaştırılmasını gerektirir. Bu kapsamda mevcut çalışmada ölçülen kan parametrelerinin asıl amacı çalışmada kullanılan balıkların sağlıklı ve stres altında olmadığını kanıtlamaktır (Minaz vd., 2023; Minaz and Kurtoglu, 2024). Bu çalışmada sazan balıklarına ait hematolojik değerler, önceki araştırmalarda bildirilen kontrol grubu verileriyle büyük ölçüde örtüşmektedir (Ghanbari vd., 2012; Harikrishnan vd., 2003). Bununla birlikte, mevsimsel değişimlerin sazan kan parametrelerine etkisini inceleyen bir çalışmada, mevsimler arası anlamlı fark saptanmamıştır (Kondera vd., 2019). Mevcut çalışma da bu çalışmadaki tüm kan parametrelerine benzer sonuçlar gözlenmiştir. Karaca mersin balığı için hematolojik parametreleri gösteren bir referans belirleme çalışmasına göre mevcut çalışmadaki kan değerleri sağlıklı balıklar için belirlenen kabul edilebilir sınır değerler içindedir (Ak vd., 2023). Alabalıklar üzerine yapılan diğer çalışmalarda bildirilen kontrol grubu verileri, balık boyutlarına bağlı bazı farklılıklar gösterse de, genel eğilim açısından bu çalışmadaki bulgularla benzerlik göstermektedir (Er vd., 2023; Minaz vd., 2025, 2024a, 2022b; Talas and Gulhan, 2009). En nihayetinde mevcut çalışmada kullanılan balıkların gerek mikrobiyolojik analizleri (patojen muhtevası) gerekse hematolojik parametreler açısından sağlıklı bireyler olduğu kanıtlanmıştır.

Balıklarda protein metabolizmasının bir ürünü olarak azotlu atıklar üretilmektedir (Wilkie, 2002). Bu atıklar başlıca olarak amonyak, üre ve ürik asit formundadır (Mommensen and Walsh, 1992). Tatlı su balıklarında azotlu atıklar amonyak formunda atılırken bazı stresli durumlarda üre seviyesinde bir artış gözlenir. Bunun temel nedeni fizyolojik strese neden olan stresörlerin balıklarda protein katabolizmasını arttırmasıdır (De Smet and Blust, 2001). Böylece kandaki üre seviyesi artar ve bir stres indikatörü olarak değerlendirilir. Kandaki üre konsantrasyonu bunların dışında beslenme düzeyi, metabolik durumu, karaciğer sağlığı ve böbrek fonksiyonu hakkında da bilgi verir. Özellikle böbrek fonksiyon bozuklukları, dehidrasyon, aşırı protein yıkımı veya beslenme bozuklukları gibi durumlarda üre seviyelerinde değişimler gözlenir (Hamed, 2019). Balıklarda plazma

glukoz düzeyi, akut ve kronik stres durumlarında hızla yükselen temel göstergelerden biridir. Stres durumlarında (örn. taşıma, aşırı stok yoğunluğu, elleme vb.), kortizol gibi stres hormonları salgınır.

Kortizol, glukoneogenez ve glikojenolizi artırarak karaciğerde glukoz sentezine neden olur (Barton, 2002; Pavlidis vd., 2015; Wendelaar Bonga, 1997). Bu süreç sonucunda kan plazmasındaki glukoz düzeyi artar. Bu nedenle glukoz, stres düzeyinin objektif ölçümü için güvenilir bir biyokimyasal göstergedir. Glukoz, başta beyin, kaslar ve eritrositler olmak üzere birçok dokunun birincil enerji kaynağıdır (Polakof vd., 2012). Özellikle anaerobik egzersiz veya oksijen yetersizliği durumlarında, glukoz metabolizması balığın hayatta kalmasında önemli rol oynar (Sprague and Arbeláez, 2011). Yetersiz veya dengesiz beslenme, açlık gibi durumlarda plazma glukoz seviyeleri düşebilir (hipoglisemi). Aşırı besleme veya metabolik hastalıklarda ise glukoz seviyesi yükselerek hiperglisemiye neden olabilir (Li vd., 2022). Glukoz düzeyleri; paraziter, bakteriyel ya da viral enfeksiyonlar sırasında da değişkenlik gösterebilir. Örneğin bir çalışmada *Aeromonas hydrophila* ile enfekte sazanlarda glukoz seviyesi kontrol gruplarına göre daha da artmıştır (Harikrishnan vd., 2003).

Kreatinin, kas hücrelerinde bulunan kreatin ve kreatin fosfatın yıkımı sonucu ortaya çıkan bir atık üründür (Wyss and Kaddurah-Daouk, 2000). Kas aktivitesi yüksek olan balıklarda, plazma kreatinin düzeyi bazal olarak biraz daha yüksek olabilir (Ajeniyi and Solomon, 2014). Fiziksel travma, yoğun yüzme aktivitesi, stres veya kas hasarı gibi durumlar da kreatinin düzeylerini etkileyebilir. Kreatinin, balıkların böbrekleri tarafından glomerüler filtrasyon yoluyla atılır (Beyenbach, 2004). Dolayısıyla, plazma kreatinin düzeyi, böbrek fonksiyonunun dolaylı bir göstergesidir. Balıkta böbrek hasarı, dehidratasyon, osmoregülasyon bozuklukları gibi durumlarda kreatinin seviyesi yükselir (Greenwell vd., 2003). Ağır metal maruziyeti (örneğin kurşun, kadmiyum) veya çevresel toksinler, balıklarda böbrek hasarına neden olabilir. Bu durum, kreatinin düzeyinde artış ile kendini gösterir (Balali-Mood vd., 2021; Soderland vd., 2010). Glukoz ve üre ile birlikte değerlendirildiğinde kreatinin, balığın metabolik sağlığı ve su kalitesine adaptasyon durumu hakkında bütüncül bilgi verir (Ding vd., 2023).

ALT ve AST protein ve amino asit metabolizmasında önemli bir rol oynarken (Kobayashi vd., 2020) ALP proteinlerden ve nükleotidlerden fosfat grubunu çıkaran bir hidrolazdır ve balık doğuştan bağışıklığında önemli bir rol oynar (Lallès, 2019). Sonuç olarak bu enzimler, karaciğer fonksiyonunun biyokimyasal göstergeleri olup; hücre zar bütünlüğü bozulduğunda kana geçmektedir (Bavia vd., 2024). ALT, esas olarak karaciğerde bulunan bir enzimdir. Karaciğerdeki hücre

hasarlar (enfeksiyon, toksin maruziyeti, oksidatif stres gibi durumlar) ALT seviyelerinde artışa neden olur (Li vd., 2015). Bu nedenle, ALT'deki artış hepatoselüler hasarın bir göstergesidir (Kew, 2000). ALP enzimi, karaciğer hücreleri ve safra yollarında yoğun olarak bulunur. Safra akımında tıkanıklık ya da hepatobiliyer stres durumlarında ALP seviyesi artar. AST, başta karaciğer, kalp, böbrek, iskelet kası ve eritrositlerde bulunan bir enzimdir. Bu nedenle AST artışı, karaciğerin yanı sıra kas ve diğer organlarda da doku hasarını gösterebilir (Radi vd., 2011).

Bu çalışmada incelenen bireyler, her üç türde de yetişkin yaş grubuna aittir. Balıkların yaşlarının ilerlemesiyle birlikte metabolik hızda meydana gelen değişikliklerin, bazı biyokimyasal parametrelerin plazma düzeylerinde dalgalanmalara yol açtığı bilinmektedir. Özellikle karaciğer enzim aktiviteleri (ALT, AST ve ALP), glukoz metabolizması ve azotlu bileşiklerin (üre, kreatinin) vücutta taşınma ve atılım mekanizmaları yaşa bağlı olarak farklılık gösterebilmektedir. Bu durum, referans değerlerin yorumlanmasında yaş faktörünün mutlaka dikkate alınmasını gerektirir. Literatürde de benzer şekilde, farklı yaş gruplarında elde edilen biyokimyasal veriler arasında anlamlı farklılıklar bildirilmektedir (Fazio et al., 2013; Witeska et al., 2016). Dolayısıyla, bu çalışmada sunulan verilerin yaşa özgü bir biyofizyolojik durumu yansıttığı göz önünde bulundurulmalı ve elde edilen değerlerin yalnızca aynı yaş düzeyindeki bireyler için geçerli olduğu dikkate alınmalıdır.

SONUÇLAR

Bu çalışma, kültür ortamında yetiştirilen sazan, Karaca mersin balığı ve gökkuşağı alabalığı türleri için üre, glukoz, kreatinin, ALT, AST ve ALP parametrelerine ait referans aralıklarını ortaya koymuştur. Bu referans değerler, hem bilimsel araştırmalar hem de özel sektör yetiştiriciliğinde balık sağlığının ve refahının izlenmesi açısından önemli bir biyokimyasal temel oluşturmaktadır. Elde edilen referans değerler, balık besleme, toksikoloji ve enfeksiyonlara karşı dirençle ilgili deneysel çalışmalarda güvenilir bir karşılaştırma temeli olarak değerlendirilebilir. Ayrıca çalışma, biyokimyasal parametrelerin türler arasında anlamlı farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymuştur. Ek olarak özellikle alabalıktaki biyokimyasal parametreler için dikkat çeken geniş varyans aralığı biyokimyasal parametrelerin metabolik farklılıklar, yaş ve çevresel etkenlerden etkilenebildiğinin bir göstergesidir. Çalışmanın en büyük sınırlaması olarak sadece yetişkin bireylerde çalışılması ilerleyen dönemlerde farklı büyüklükteki balıklar için de referans değerlerinin belirlenmesi hususunda motivasyon sağlamaktadır. Ayrıca mevcut sonuçlar kapsamlı araştırmalar için temel oluşturabilecek nitelikte bir ön çalışma (pilot çalışma) olup, elde edilen bulgular ileride daha büyük örneklem

büyüklükleriyle yapılacak çalışmalar için önemli bir referans teşkil etmektedir. Literatürde de yaygın şekilde kabul gördüğü üzere, örneklem büyüklüğünün artırılması, biyokimyasal parametrelerin referans aralıklarının daha güvenilir biçimde tanımlanmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Balıklara ait bazı biyokimyasal parametrelerin referans aralıklarının belirlendiği bu çalışmada analizlerin yapıldığı LT406-RX model Randox marka biyokimya cihazı Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Geliştirme Vakfı tarafından birimize kazandırılmıştır. Bu kapsamda Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Geliştirme Vakfına teşekkürlerimizi sunarız.

Mali Destek

Mevcut çalışma için herhangi bir mali destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarların açıklayacakları herhangi bir mali veya mali olmayan çıkarları yoktur.

Yazar Katkısı

Mert Minaz: Orjinal metin yazarlığı, görselleştirme, laboratuvar çalışması, çalışma tasarımı.

Akif Er: Metin düzenleme, laboratuvar çalışmaları, çalışma tasarımı.

Kübra Ak: Laboratuvar çalışmaları, metin düzenleme.

İlker Zeki Kurtoglu: Kaynak temini, danışmanlık.

Şevki Kayış: Kaynak temini, danışmanlık.

KAYNAKLAR

- Ajeniye, S., & Solomon, R. (2014).** Urea And Creatinine Of Clarias Gariepinus In Three Different Commercial Ponds. *Nature and Science*, **12**(10). Retrieved from <http://www.sciencepub.net/nature>
- Ak, K., Er, A., & Minaz, M. (2023).** Kültür Kökenli Karaca Mersin Balığı (Acipenser gueldenstaedtii)'nın Hematolojik Parametrelerinin Referans Değerlerinin Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, **8**(1), 88-94. DOI: [10.35229/JAES.1231567](https://doi.org/10.35229/JAES.1231567)
- Anton-Pardo, M., Hlaváč, D., Másilko, J., Hartman, P., & Adámek, Z. (2014).** Natural diet of mirror and scaly carp (*Cyprinus carpio*) phenotypes in earth ponds. *Folia Zoologica*, **63**(4), 229-237. DOI: [10.25225/FOZO.V63.I4.A1.2014](https://doi.org/10.25225/FOZO.V63.I4.A1.2014)
- Balali-Mood, M., Naseri, K., Tahergorabi, Z., Khazdair, M.R., & Sadeghi, M. (2021).** Toxic Mechanisms of Five Heavy Metals: Mercury, Lead, Chromium, Cadmium, and Arsenic.

- Frontiers in Pharmacology*, **12**, 643972. DOI: [10.3389/FPHAR.2021.643972](https://doi.org/10.3389/FPHAR.2021.643972)
- Barton, B.A. (2002).** Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, **42**(3), 517-525. DOI: [10.1093/ICB/42.3.517](https://doi.org/10.1093/ICB/42.3.517)
- Bavia, L., da Silva, A.P., Carneiro, M.C., Kmecick, M., Pozzan, R., Esquivel-Muelbert, J., ..., & Prodocimo, M.M. (2024).** Health status biomarkers and hemato-biochemical indices in Nile tilapia. *Comparative Immunology Reports*, **7**, 200168. DOI: [10.1016/J.CIREP.2024.200168](https://doi.org/10.1016/J.CIREP.2024.200168)
- Beyenbach, K.W. (2004).** Kidneys sans glomeruli. *American Journal of Physiology - Renal Physiology*, **286**(5), 811-827. DOI: [10.1152/AJPRENAL.00351.2003](https://doi.org/10.1152/AJPRENAL.00351.2003)
- Blahova, J., Mikula, P., Marsalek, P., & Svobodova, Z. (2025).** Biochemical and antioxidant responses of common carp (*Cyprinus carpio*) exposed to sublethal concentrations of the antiepileptic and analgesic drug gabapentin. *Veterinárni Medicina*, **70**(1), 20. DOI: [10.17221/75/2024-VETMED](https://doi.org/10.17221/75/2024-VETMED)
- Bronzi, P., Rosenthal, H., & Gessner, J. (2011).** Global sturgeon aquaculture production: an overview. *Journal of Applied Ichthyology*, **27**(2), 169-175. DOI: [10.1111/J.1439-0426.2011.01757.X](https://doi.org/10.1111/J.1439-0426.2011.01757.X)
- De Smet, H., & Blust, R. (2001).** Stress Responses and Changes in Protein Metabolism in Carp *Cyprinus carpio* during Cadmium Exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **48**(3), 255-262. DOI: [10.1006/EESA.2000.2011](https://doi.org/10.1006/EESA.2000.2011)
- Ding, L., Liu, Y., Wei, X., Geng, C., Liu, W., Han, L., ..., & Sun, Y. (2023).** Effects of Saline-Alkaline Stress on Metabolome, Biochemical Parameters, and Histopathology in the Kidney of Crucian Carp (*Carassius auratus*). *Metabolites*, **13**(2), 159. DOI: [10.3390/METABO13020159/S1](https://doi.org/10.3390/METABO13020159/S1)
- Elahee, K.B., & Bhagwant, S. (2007).** Hematological and gill histopathological parameters of three tropical fish species from a polluted lagoon on the west coast of Mauritius. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **68**(3), 361-371. DOI: [10.1016/J.ECOENV.2006.06.003](https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2006.06.003)
- Er, A., Minaz, M., İpek, Z. Z., Ak, K., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2023).** Assessment of hematological indicators, histological alterations, and DNA damage in Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) exposed to the organophosphate malathion. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, **104**, 104304. DOI: [10.1016/J.ETAP.2023.104304](https://doi.org/10.1016/J.ETAP.2023.104304)
- FAO. (2018).** *The State of World Fisheries and Aquaculture: Meeting the Sustainable Development Goals*. Rome. Retrieved from www.fao.org/publications
- Fazio, F., Ferrantelli, V., Saoca, C., Giangrosso, G., & Piccione, G. (2017).** Stability of haematological parameters in stored blood samples of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792). *Veterinárni Medicina*, **62**, 401-405. DOI: [10.17221/51/2017-VETMED](https://doi.org/10.17221/51/2017-VETMED)
- Fazio, F. (2019).** Fish hematology analysis as an important tool of aquaculture: A review. *Aquaculture*, **500**, 237-242. DOI: [10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.030](https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2018.10.030)
- Fazio, F., Marafioti, S., Torre, A., Sanfilippo, M., Panzera, M., & Faggio, C. (2013).** Haematological and serum protein profiles of *Mugil cephalus*: Effect of two different habitats. *Ichthyological Research*, **60**(1), 36-42. DOI: [10.1007/S10228-012-0303-1](https://doi.org/10.1007/S10228-012-0303-1)
- Friedrich, T., Reinartz, R., & Gessner, J. (2019).** Sturgeon re-introduction in the Upper and Middle Danube River Basin. *Journal of Applied Ichthyology*, **35**(5), 1059-1068. DOI: [10.1111/JAI.13966](https://doi.org/10.1111/JAI.13966)
- Gabriel, U.U., Akinrotimi, O.A., & Eseimokumo, F. (2011).** Haematological Responses of Wild Nile Tilapia *Oreochromis niloticus* after Acclimation to Captivity. *Jordan Journal of Biological Sciences*, **4**(4), 225-230.
- Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K.J., & Kneifel, W. (2012).** Long-term effects of water pH changes on hematological parameters in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). *African Journal of Biotechnology*, **11**(13), 3153-3159. DOI: [10.5897/AJB10.1244](https://doi.org/10.5897/AJB10.1244)
- Greenwell, M.G., Sherrill, J., & Clayton, L.A. (2003).** Osmoregulation in fish mechanisms and clinical implications. *Veterinary Clinics of North America - Exotic Animal Practice*, **6**(1), 169-189. DOI: [10.1016/S1094-9194\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S1094-9194(02)00021-X)
- Hamed, S.A. (2019).** Neurologic conditions and disorders of uremic syndrome of chronic kidney disease: presentations, causes, and treatment strategies. *Expert Review of Clinical Pharmacology*, **12**(1), 61-90. DOI: [10.1080/17512433.2019.1555468](https://doi.org/10.1080/17512433.2019.1555468)
- Harikrishnan, R., Rani, M.N., & Balasundaram, C. (2003).** Hematological and biochemical parameters in common carp, *Cyprinus carpio*, following herbal treatment for *Aeromonas hydrophila* infection. *Aquaculture*, **221**(1-4), 41-50. DOI: [10.1016/S0044-8486\(03\)00023-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00023-1)
- Hrubec, T.C., Cardinale, J.L., & Smith, S.A. (2000).** Hematology and plasma chemistry reference intervals for cultured tilapia (*Oreochromis Hybrid*). *Veterinary Clinical Pathology*, **29**(1), 7-12. DOI: [10.1111/J.1939-165X.2000.TB00389.X](https://doi.org/10.1111/J.1939-165X.2000.TB00389.X)
- Kew, M.C. (2000).** Serum aminotransferase concentration as evidence of hepatocellular damage. *Lancet*, **355**(9204), 591-592. DOI: [10.1016/S0140-6736\(99\)00219-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(99)00219-6)
- Kobayashi, A., Suzuki, Y., & Sugai, S. (2020).** Specificity of transaminase activities in the prediction of drug-induced hepatotoxicity. *The Journal of Toxicological Sciences*, **45**(9), 515-537. DOI: [10.2131/JTS.45.515](https://doi.org/10.2131/JTS.45.515)
- Kondera, E., Ługowska, K., & Witeska, M. (2019).** Annual changes in hematological parameters of common carp juveniles under laboratory

- conditions. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW. Animal Science*, **58**(2), 143-151. DOI: [10.22630/AAS.2019.58.2.15](https://doi.org/10.22630/AAS.2019.58.2.15)
- Lallès, J.P. (2019). Biology, environmental and nutritional modulation of skin mucus alkaline phosphatase in fish: A review. *Fish & Shellfish Immunology*, **89**, 179-186. DOI: [10.1016/J.FSI.2019.03.053](https://doi.org/10.1016/J.FSI.2019.03.053)
- Li, S., Tan, H.Y., Wang, N., Zhang, Z.J., Lao, L., Wong, C.W., & Feng, Y. (2015). The Role of Oxidative Stress and Antioxidants in Liver Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **16**(11), 26087-26124. DOI: [10.3390/IJMS161125942](https://doi.org/10.3390/IJMS161125942)
- Li, X., Han, T., Zheng, S., & Wu, G. (2022). Hepatic Glucose Metabolism and Its Disorders in Fish. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, **1354**, 207-236. DOI: [10.1007/978-3-030-85686-1_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_11)
- Manjappa, K., Keshavanath, P., & Gangadhara, B. (2011). Influence of sardine oil supplemented fish meal free diets on common carp (*Cyprinus carpio*) growth, carcass composition and digestive enzyme activity. *Journal of Fisheries and Aquatic Science*, **6**(6), 604-613. DOI: [10.3923/JFAS.2011.604.613](https://doi.org/10.3923/JFAS.2011.604.613)
- Martínez-Porchas, M., Rafael Martínez-Córdova, L., & Ramos-Enriquez, R. (2009). Cortisol and Glucose: Reliable indicators of fish stress? *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, **4**(2), 158-178.
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2024). Determining the appropriate concentration of an anesthetic mixture in three different fish species with the PROMETHEE decision model. *Frontiers in Veterinary Science*, **11**, 1492769. DOI: [10.3389/FVETS.2024.1492769](https://doi.org/10.3389/FVETS.2024.1492769)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ. D., İpek, Z. Z., & Aslankoç, R. (2023). Bisphenol A Used in Plastic Industry Negatively Affects Wild Vimba Bream (*Vimba vimba*). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **23**(8). DOI: [10.4194/TRJFAS22598](https://doi.org/10.4194/TRJFAS22598)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ.D., İpek, Z.Z., Kurtoğlu, İ. Z., & Kayış, Ş. (2022). Short-term Exposure to Bisphenol A (BPA) as a Plastic Precursor: Hematological and Behavioral Effects on *Oncorhynchus mykiss* and *Vimba vimba*. *Water, Air, & Soil Pollution*, **233**(122), 1-12. DOI: [10.1007/S11270-022-05585-X](https://doi.org/10.1007/S11270-022-05585-X)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., Nane, İ.D., İpek, Z.Z., Yalcın, A., Kurtoğlu, İ.Z., & Kayış, S. (2022). Investigation of long-term bisphenol A exposure on rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*): Hematological parameters, biochemical indicator, antioxidant activity, and histopathological examination. *Chemosphere*, **303**, 135136. DOI: [10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135136](https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2022.135136)
- Minaz, M., Er, A., Ak, K., & Serdar, O. (2025). Unlocking the potential of nutmeg oil: A sustainable alternative for rainbow trout anesthesia in aquaculture. *Aquaculture Reports*, **42**, 102773. DOI: [10.1016/J.AQREP.2025.102773](https://doi.org/10.1016/J.AQREP.2025.102773)
- Minaz, M., & Kurtoğlu, İ.Z. (2024). Long-term exposure of endangered Danube sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*) to bisphenol A (BPA): growth, behavioral, histological, genotoxic, and hematological evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, **31**(21), 30836-30848. DOI: [10.1007/s11356-024-33168-2](https://doi.org/10.1007/s11356-024-33168-2)
- Mommsen, T.P., & Walsh, P.J. (1992). Biochemical and environmental perspectives on nitrogen metabolism in fishes. *Experientia*, **48**(6), 583-593. DOI: [10.1007/BF01920243](https://doi.org/10.1007/BF01920243)
- Pavlidis, M., Futter, W. C., Katharios, P., & Divanach, P. (2007). Blood cell profile of six Mediterranean mariculture fish species. *Journal of Applied Ichthyology*, **23**(1), 70-73. DOI: [10.1111/J.1439-0426.2006.00771.X](https://doi.org/10.1111/J.1439-0426.2006.00771.X)
- Pavlidis, M., Theodoridi, A., & Tsalafouta, A. (2015). Neuroendocrine regulation of the stress response in adult zebrafish, *Danio rerio*. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*, **60**, 121-131. DOI: [10.1016/J.PNPBP.2015.02.014](https://doi.org/10.1016/J.PNPBP.2015.02.014)
- Polakof, S., Panserat, S., Soengas, J.L., & Moon, T.W. (2012). Glucose metabolism in fish: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, **182**(8), 1015-1045. DOI: [10.1007/S00360-012-0658-7](https://doi.org/10.1007/S00360-012-0658-7)
- Radi, Z.A., Koza-Taylor, P.H., Bell, R.R., Obert, L.A., Runnels, H.A., Beebe, J.S., ..., & Sadis, S. (2011). Increased Serum Enzyme Levels Associated with Kupffer Cell Reduction with No Signs of Hepatic or Skeletal Muscle Injury. *The American Journal of Pathology*, **179**(1), 240-247. DOI: [10.1016/J.AJP.2011.03.029](https://doi.org/10.1016/J.AJP.2011.03.029)
- Rahimi, R., Mirahmadi, S.A., Hajirezaee, S., & Fallah, A.A. (2022). How probiotics impact on immunological parameters in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)? A systematic review and meta-analysis. *Reviews in Aquaculture*, **14**(1), 27-53. DOI: [10.1111/RAQ.12582](https://doi.org/10.1111/RAQ.12582)
- Satheeshkumar, P., Ananthan, G., Senthilkumar, D., Khan, A.B., & Jeevanantham, K. (2012). Comparative investigation on haematological and biochemical studies on wild marine teleost fishes from Vellar estuary, southeast coast of India. *Comparative Clinical Pathology*, **21**(3), 275-281. DOI: [10.1007/S00580-010-1091-5](https://doi.org/10.1007/S00580-010-1091-5)
- Sayed, A.E.-D.H., & Moneeb, R.H. (2015). Hematological and biochemical characters of monosex tilapia (*Oreochromis niloticus*, Linnaeus, 1758) cultivated using methyltestosterone. *The Journal of Basic & Applied Zoology*, **72**, 36-42. DOI: [10.1016/J.JOBAZ.2015.03.002](https://doi.org/10.1016/J.JOBAZ.2015.03.002)
- Soderland, P., Lovekar, S., Weiner, D.E., Brooks, D. R., & Kaufman, J.S. (2010). Chronic Kidney Disease Associated With Environmental Toxins and Exposures. *Advances in Chronic Kidney Disease*, **17**(3), 254-264. DOI: [10.1053/J.ACKD.2010.03.011](https://doi.org/10.1053/J.ACKD.2010.03.011)

- Sprague, J.E., & Arbeláez, A.M. (2011).** Glucose Counterregulatory Responses to Hypoglycemia. *Pediatric Endocrinology Reviews*, 9(1), 463. Retrieved from <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3755377/>
- Talas, Z. S., & Gulhan, M.F. (2009).** Effects of various propolis concentrations on biochemical and hematological parameters of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72(7), 1994-1998. DOI: [10.1016/J.ECOENV.2009.04.011](https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2009.04.011)
- Tavares-Dias, M., & De Moraes, F.R. (2007).** Leukocyte and thrombocyte reference values for channel catfish (*Ictalurus punctatus* Raf), with an assessment of morphologic, cytochemical, and ultrastructural features. *Veterinary Clinical Pathology*, 36(1), 49-54. DOI: [10.1111/J.1939-165X.2007.TB00181.X](https://doi.org/10.1111/J.1939-165X.2007.TB00181.X)
- Wendelaar Bonga, S.E. (1997).** The stress response in fish. *Physiological Reviews*, 77(3), 591-625. DOI: [10.1152/PHYSREV.1997.77.3.591](https://doi.org/10.1152/PHYSREV.1997.77.3.591)
- Wilkie, M.P. (2002).** Ammonia excretion and urea handling by fish gills: present understanding and future research challenges. *Journal of Experimental Zoology*, 293(3), 284-301. DOI: [10.1002/JEZ.10123](https://doi.org/10.1002/JEZ.10123)
- Witeska, M., Lugowska, K., & Kondera, E. (2016).** Reference values of hematological parameters for juvenile *Cyprinus carpio*. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 36(4), 169-180.
- Wyss, M., & Kaddurah-Daouk, R. (2000).** Creatine and creatinine metabolism. *Physiological Reviews*, 80(3), 1107-1213. DOI: [10.1152/PHYSREV.2000.80.3.1107](https://doi.org/10.1152/PHYSREV.2000.80.3.1107)
- Yıldırım, Ö. (2025).** Su ürünleri yetiştiriciliğinin üretim ve ekonomik göstergelerinin Ege Bölgesi özelinde irdelenmesi. In: Aydın, M. E. & Ercişli, S. (Ed), Ege Bölgesinde Sucul ve Karasal Ekosistemlerde Flora-Fauna Biyoçeşitliliği, 1. ed., 476s, Türkiye Bilimler Akademisi, Ankara, TR.