

Research Article

Cichlidae Ailesinden Üç Türün İki Alıştırma Sıcaklığında Termal Tolerans Parametreleri ve Bunların Vücut Büyüklüğüne Göre Değişimi

Ece EVLİAYOĞLU¹, Serdar KİLERCİOĞLU*^{1,2}, Bilge Kaan TEKELİOĞLU³, Şefik Surhan TABAKOĞLU¹, Mahmut YANAR¹, Ali ÖZDEŞ¹

¹ Çukurova Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Yetiştiricilik Bölümü, Adana, Türkiye

² Çukurova Üniversitesi, Biyoteknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi, Adana, Türkiye

³ Çukurova Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Viroloji Anabilim Dalı, Adana, Türkiye

*Corresponding author: skilercioğlu@cu.edu.tr

Ö Z E T

ARTICLE
INFO

Geliş:
02.10.2024
Kabul:
06.03.2025

Çalışmada Cichlidae ailesinden sarı prenses (*Labidochromis caeruleus*), şeker pembe (*Aulonocara stuartgranti*) ve yunus ciklit (*Cyrtocara moorii*)'in 20 ve 28 °C alıştırma sıcaklığında (AT) termal tolerans parametreleri ve bunların vücut büyüklüğüne göre değişimleri belirlenmiştir. Balık türleri arasında sıcaklık tolerans değerleri birbirine yakın olup, AT'ye bağlı olarak kritik düşük sıcaklık (CT_{min}) 9,40 – 12,79 °C, kritik yüksek sıcaklık (CT_{max}) 35,40 – 39,87 °C arasında saptanmıştır. Bu verilere göre 208 - 220 °C olarak hesaplanan TTP (thermal tolerance polygon) değeri, bu türlerin ait oldukları ailenin karakterine uygun olarak dar bir sıcaklık aralığına (stenothermik) sahip olduğunu göstermektedir. Üç ciklit türünde AT ile CTM değerleri arasında pozitif bir ilişki gözlenmiştir (P<0.05). AT'nin 20°C'den 28 °C'ye çıkması, balıkların CT_{min} değerlerinde 2,56 ile 3,39 °C, CT_{max} değerlerinde 2,42 ile 3,17 °C arasında bir artışa neden olmuştur. Bu değişime bağlı olarak ARR (alıştırma tepki oranı) değerleri türler arasında CT_{min}'de 0,32 ile 0,42, CT_{max}'da 0,30 ile 0,40 arasında bulunmuştur. Nispeten düşük sayılabilecek bu değerler, bu türlerin sıcaklık dalgalanmalarına karşı duyarlı olduğuna işaret etmektedir. Üç ciklit türünde 7-8 kat bir ağırlık farkının her iki AT'de balıkların ne düşük ne de yüksek sıcaklık toleransı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir (P > 0,05). Dolayısıyla, sucul poikiloterm hayvanların küçük boyutlu bireylerinin yüksek sıcaklıklarla baş etmede avantajlı olduklarına dair sav, bu üç ciklit türü üzerinde yapılan gözlemlerde doğrulanmamıştır.

Keywords: *Labidochromis caeruleus*, *Aulonocara stuartgranti*, *Cyrtocara moorii*, termal tolerans, balık büyüklüğü

Thermal Tolerance Parameters of Three Species from the Cichlidae Family at Two Acclimation Temperatures and Their Changes According to Body Size

ABSTRACT

Thermal tolerance parameters of electric yellow cichlid (*Labidochromis caeruleus*), peacock cichlid (*Aulonocara stuartgranti*) and blue dolphin cichlid (*Cyrtocara moorii*) at 20 and 28 °C acclimation temperatures (AT) and their changes according to body size were determined in this study. Depending on AT, the critical low (CT_{min}) and high (CT_{max}) temperatures ranged from 9,40 to 12,79 °C and 35,40 to 39,87 °C, respectively. TTP (thermal tolerance polygon) value calculated as 208 - 220 °C shows that these species have a narrow temperature range (stenothermic). A positive relationship was observed between AT and CTM values (P < 0.05). Increasing the AT from 20 to 28 °C caused an increase in the CT_{min} values of the species between 2.56 and 3.39 °C, and in the CT_{max} values between 2.42 and 3.17 °C. Depending on this change, the ARR (acclimation response rate) values were found between 0.32 and 0.42 in CT_{min} and 0.30 and 0.40 in CT_{max} among species. A 7-8 fold weight difference in three cichlid species did not affect either low or high-temperature tolerance of fish at both AT (P > 0.05). Therefore, the argument that small-sized individuals of aquatic poikilotherms have an advantage in coping with high temperatures was not observed in these three species.

Key words: *Labidochromis caeruleus*, *Aulonocara stuartgranti*, *Cyrtocara moorii*, thermal tolerance, fish size

Received:
02.10.2024
Accepted:
06.03.2025

Cite this article as: Evliyaoğlu, E., Kilercioğlu, S., Tekelioğlu, B.K., Tabakoğlu, Ş.S., Yanar, M., & Özdeş, A., (2025). Cichlidae ailesinden üç türün iki alıştırma sıcaklığında termal tolerans parametreleri ve bunların vücut büyüklüğüne göre değişimi. *Manas Journal of Agriculture Veterinary and Life Sciences*, 15(1), 44-52. <https://doi.org/10.53518/mjavl.1559950>

GİRİŞ

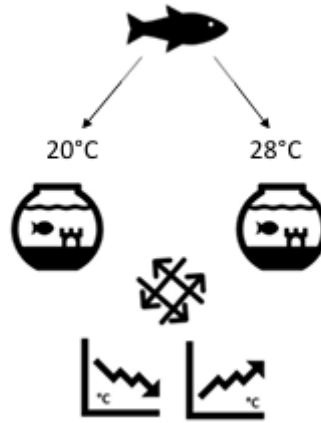
Balık gibi poikloterm hayvanlarda sıcak önemli bir çevresel etmendir (Yoldaş ve Erişmiş, 2022). Sıcaklığa karşı fazla bağımlı olan bu hayvanların sıcaklık tolerans parametrelerinin bilinmesi, bunların yaşamlarında maruz kalacakları ekstrem sıcaklıklara karşı gösterecekleri tepkilerin öngörülmesi, yeni habitatlara adaptasyonları veya iklim değişikliğine karşı gösterebilecekleri hayatta kalma stratejileri ve taktiklerinin kestirilmesi bakımından önemlidir (Yanar ve ark., 2023). Bu bilgiler, yerli habitatlara bulaşmış süs balıkları gibi egzotik türlerin mevcut sıcaklık bariyerlerini aşabilme ve üreme becerileri gösterebilmelerinin öngörülmesi, ayrıca olası ekolojik risklerin tespiti konusunda sağlıklı bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlar. Özellikle süs balıkları, küresel çaptaki yoğun ticaretleri nedeniyle yerli habitatlar için potansiyel egzotik türlerdir ve bu balıkların sıcaklık tolerans parametrelerinin tespiti bu açıdan önemlidir. Diğer yandan, sıcaklık tolerans parametreleri balık yetiştiriciliğinde tür tercihi yapılırken dikkate alınan en önemli kriterlerden biridir. Özellikle sıcaklık değişiminin fazla olduğu subtropikal bölgelerdeki tropik balık yetiştiriciliğinde bu parametrelerin bilinmesi önemli fayda sağlar. Bu nedenle gerek sucul ekosistem gerek balık yetiştiriciliği bakımından balık türlerinin sıcaklık toleransı ile ilgili bir veri tabanına gereksinim vardır. Buna ilaveten, hayvanların sıcaklık toleranslarının, diğer çevresel veya içsel etmenlerden nasıl etkilendiğinin de bu veri setine eklenmesi gerekir. Giderek hızla artan endüstrileşme ve kentleşmenin küresel ısınmayı artırdığı bilinmektedir. Bu sıcaklık değişimlerine karşı türlerin vücut boyutlarında geçirecekleri adaptif evrimsel değişiklikler önemli bir araştırma konusu olmuştur. Vücut sıcaklıklarını düzenleme yeteneklerinden yoksun ve çevresel sıcaklığa fazla bağımlı olan poikloterm hayvanların sıcaklık tolerans limitlerinin belirlenmesi, her geçen gün artma eğiliminde olan küresel ısınmaya karşı verebilecekleri yanıtların kestirimi açısından önemlidir. Küresel ısınmanın getirdiği doğal seçim baskısının poikloterm hayvanların vücut boyutunu küçültmeye zorladığı iddia edilmektedir (Angilletta ve Dunham, 2003; Daufresne ve ark., 2009; Sheridan ve Bickford, 2011; Horne ve ark., 2015). Bunun nedeni, daha küçük boyutlu olma, dolayısıyla daha dar bir yüzey alanına sahip olmanın hayvanın oksijen gereksinimini azaltacağı için, bu formasyonun kritik yüksek sıcaklıklarda bir avantaj olacağına dayandırılmıştır (Atkinson ve ark., 2006; Pouly, 2010; Verberk ve ark., 2011; Leiva ve ark., 2019). Nitekim, sucul poikloterm hayvanlarda yapılan bazı çalışmalarda küçük boyutlu olmanın hayvanın yüksek sıcaklıkla baş etme şansını artırdığını ileri sürülmüştür (Di Santo ve Lobel, 2016; Brans ve ark., 2017; Turko ve ark., 2020). Ancak bu konu henüz tartışmalı olup, sıcaklık ile vücut büyüklüğü arasındaki negatif ilişki bazı poikloterm hayvanlarda doğrulanmamıştır (Barrionuevo ve Fernades, 1995; Ospinaand Mora, 2004; Recsetar ve ark., 2012). Dolayısıyla bu konunun daha pek çok poikloterm hayvanlarda test edilmesine gereksinim vardır.

Akuatik poikilothermik hayvanların alt (CT_{min}) ve üst (CT_{max}) sıcaklık toleranslar limitlerinin belirlenmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri, kritik termal metodolojidir (CTM). İlk olarak Cowles ve Bogert (1944) tarafından çöl reptillerinin sıcaklık tolerans limitlerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan bu metod, daha sonra çeşitli araştırmacılar tarafından (Cox, 1974; Spotila ve ark., 1979; Lutterschmidt ve Hutchison, 1997; Beitinger ve ark., 2000) geliştirilerek balıklara ve diğer poikloterm akuatik hayvanlara uygulanmıştır. CTM verileri hayvanların ekstrem sıcaklık toleransları konusunda mutlak bilgiler vermekten ziyade (Selong ve ark., 2001), bu konuda göreceli olarak türler arasında bir karşılaştırma olanağı sağlar (Becker ve Genoway 1979; Beitinger ve ark., 2000). Farklı alıştırma sıcaklıklarında elde edilen CT_{min} ve CT_{max} verilerinden üretilen ARR (alıştırma tepki oranı), hayvanın sıcaklık dalgalanmalarına karşı verdiği tepkiyi (Claussen, 1977; Diaz-Herrera ve ark., 1998), TTP (termal tolerans poligonu) ise hayvanın yaşadığı sıcaklık aralığının genişliğini ifade eder (Bennett ve Beitinger, 1997). Bu parametreler özellikle hayvanların ekolojisi ve yayılışları konusunda sağlıklı bir öngörü ve kavrayış sağlar.

Bu konuda tanınmış süs balığı türlerine ilişkin melek balığı (Pérez vd., 2003), japon balığı (Ford ve Beitinger, 2005), zebra balığını (Cortemeglia ve Beitinger, 2005) içeren az sayıda çalışma literatürde mevcuttur. Termal tolerans parametrelerinin balık büyüklüğüne bağlı değişimleri Cichlid türlerinde çalışılmamıştır. Bu çalışmada termal tolerans parametrelerinin, Cichlidae ailesinden sarı prenses (*L. caeruleus*), şeker pembe (*A. stuartgranti*) ve yunus ciklit (*C. moorii*) türlerinde 20 ve 28 °C alıştırma sıcaklığında termal tolerans parametreleri ve bunların vücut büyüklüğüne göre değişimi belirlenmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada deneysel kurgu Cichlidae ailesinden sarı prenses (*L. caeruleus*), şeker pembe (*A. stuartgranti*) ve yunus ciklit (*C. moorii*) türleri ile gerçekleştirilmiştir. Çalışma Çukurova Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dr. Nazmi Tekelioğlu Tatlı Su İşletmesinde yürütülmüştür. Her balık türü, aralarında 7 - 8 kat ağırlık farkı olan iki büyüklük grubu ayrılmış (Tablo 1) ve her grup için 20 ve 28 °C olmak üzere iki alıştırma sıcaklığı temel alınarak balıkların CT_{min} , CT_{max} , ARR ve TTP değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 1. Deneme dizaynı görseli

Balıkların aklımasyonu

Türlerine ve büyüklüklerine göre ayrılan balıklar 20 ve 28°C sıcaklığına sahip 100 L'lik akvaryumlara kademeli olarak (günde 1°C) alıştırlarak burada 35 gün aklımasyonları (alıştırılmaları) sağlandı. Bu süreçte balıklar günde üç kez serbest yemleme yöntemiyle akvaryum balıklarına özel bir yemle (Tetra - Minflake) beslenmişlerdir. Akvaryumların suları merkezi bir hava motoruyla sürekli havalandırılarak oksijenlendirilmiş, sudaki oksijen düzeyi 6,4 mg / L – 7 mg / L aralığında ölçülmüştür. Akvaryum suları her gün sifonlanarak yem artıkları ve dışkılar ortamdaki uzaklaştırılmıştır. Suyun pH değeri 7,7 – 7,9, sertliği ise 305 mg / L $CaCO_3$ olarak ölçülmüştür. Aklımasyon boyunca balıklara 12 saat aydınlık ve 12 saat karanlık periyot uygulanmış, aklımasyon periyodunun sonunda her büyüklük grubundan rasgele 15 adet balık alınarak ortalama boy ve ağırlıkları ölçülerek deneme aşamasına geçilmiştir.

CT_{min} ve CT_{max} denemesi

Aklımasyonun ardından balıklar 24 saat aç bırakılarak denemelerin gerçekleştirileceği, aynı sıcaklıklara sahip 10 L'lik akvaryumlara transfer edilmiştir. CT_{min} ve CT_{max} denemelerinde her bir balık türünden, her bir aklımasyon sıcaklığı ve her bir boy grubu için 5 adet balık kullanılmış ve denemeler üç tekerrürlü yürütülmüştür. Böylece çalışma her bir balık türü için 120, toplam 360 adet balıkla tamamlanmıştır.

Balıkların CT_{min} ve CT_{max} değerleri kritik termal metodoloji (CTM) uygulanarak belirlenmiştir. Akvaryum balıkları küçük boyutlu oldukları için, çalışma Becker ve Genewoy (1979) tarafından küçük balıklar için önerilen 0,3 °C / dk su değişim oranı yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Su balığın motor aktivitesi ve koordinasyonunu yitirdiği ve denge kaybının olduğu (LOE) ana kadar ısıtılmış (CT_{max}) ve soğutulmuştur (CT_{min}). Denge kaybı için balıkların 1 dakikadan fazla dorso - ventral oryantasyonunu sürdürememesi esas alınmıştır (Bennett ve Beitinger, 1997). Test akvaryumsularının sıcaklık seviyeleri, termostatlı su ısıtıcısı (Xilong AT - 700 / China) ve su soğutucusu (Resun 650 – CL / China) cihazlarıyla düzenlenmiştir.

Balıkların bireysel olarak kaydedilen termal tolerans limitlerinin aritmetik ortalaması, grupların termal tolerans limitleri olarak not edilmiştir. CT_{min} veya CT_{max} denemelerinden hemen sonra balıklar bulundukları akvaryumlardan alınıp tekrar aklımasyon akvaryumlarına aktarılmış ve 96 saatlik yaşama oranları kaydedilmiştir. ARR değerlerinin hesaplanmasında $\Delta CTM / \Delta AT$ formülünden yararlanılmıştır (Claussen, 1977). Bennett ve Beitinger (1997) ve Eme ve Bennett (2009) tarafından geliştirilen TTP, Yanar ve ark. (2019) tarafından önerilen, koordinat sisteminde horizontal (Alıştırma su sıcaklıkları) ve vertikal (CT_{min} ve CT_{max}) aksisler arasında kalan yamuk alan formülüne $[(a + c) / 2 \times h]$ göre hesaplanmıştır. Burada "a" ve "c" yamuğun

paralel kenarlarını, "h" yamuğun yüksekliğini sembolize etmektedir. Bu yamuk formülüne göre TTP hesabı " $(CT_{Max1} - CT_{Min1})^a + (CT_{Max2} - CT_{Min2})^c / 2 \times (\Delta AT)^b / 2$ " formülü ile hesaplanmaktadır.

İstatistiksel Analiz

Balık türlerinin büyüklük grupları ve termal tolerans değerleri arasındaki istatistiksel farklılıkları SPSS (versiyon 20.0) programında, %5 önem seviyesinde bağımsız t-testi kullanılarak belirlenmiştir. Ayrıca sıcaklık ve CTM değerleri arasındaki korelasyon Pearson testi ile değerlendirilmiştir. Makale metnindeki tüm veriler ortalama $\pm$ standart sapma (SD) olarak ifade edilmiştir.

BULGULAR

Test sonrası balıklar tekrar alıştırma su sıcaklığına alındığında yaşama oranı CT_{min} testi sonrasında %100, CT_{max} testi sonrasında ise % 86 – 93 arasında gerçekleşti. Balık türü ve büyüklüğüne bakılmaksızın CTM değerleri AT'den önemli derecede etkilenmiş ve aralarında pozitif bir ilişki gözlenmiştir ($P < 0,05$). AT'nin 20°C'den 28 °C'ye çıkması, türlerin CT_{min} değerlerinde 2,56 ile 3,39 °C, CT_{max} değerlerinde 2,42 ile 3,17 °C arasında bir artışa neden olmuştur (Tablo 1). Alıştırma sıcaklığı ile CT_{min} ve CT_{max} değerleri arasında yapılan korelasyon testi anlamlı bulunmuştur (Pearson, $P < 0,05$). AT'ye bağlı CTM değerlerindeki bu değişimin matematiksel ifadesi olan ARR değerleri de bu artışa göre oluşmuştur. ARR değerleri türler arasında CT_{min} 'de 0,32 ile 0,42, CT_{max} 'da 0,30 ile 0,40 arası gerçekleşmiştir (Tablo 1).

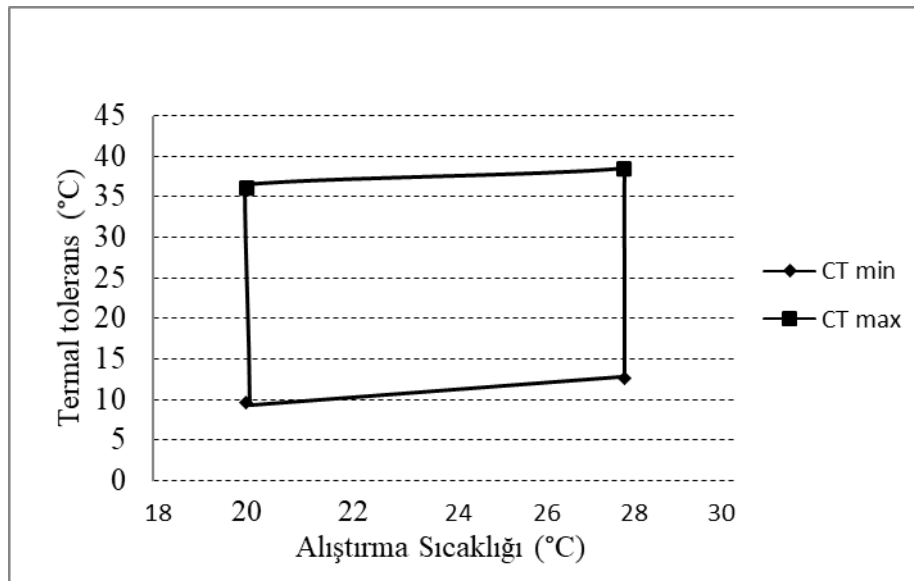
Tablo 1. Balık büyüklüğü ve alıştırma sıcaklığına bağlı termal tolerans parametreleri

Türler	Büyüklük grupları	CT_{min}		CT_{max}		ARR		TTP (°C)
		20 °C	28 °C	20 °C	28 °C	CT_{min}	CT_{max}	
<i>A. stuartgranti</i>	<u>Küçük</u>							
	6,26 $\pm$ 0,28 cm	9.59	12.76	35,96	38,41	0,40	0,31	208,08
	3,63 $\pm$ 0,49 g	$\pm$	$\pm$ 0,70 ^b	$\pm$	$\pm$			
		0,62 ^a		0,80 ^a	0,72 ^b			
	<u>Büyük</u>					0,36	0,30	209,72
	11,59 $\pm$ 0,49cm	9.81	12.69	36,27	38,66			
<i>L. caeruleus</i>	28,30 $\pm$ 2,81 g	$\pm$	$\pm$ 0,67 ^b	$\pm$	$\pm$			
		0,66 ^a		0,74 ^a	0,84 ^b			
	ortalama	9,70	12,72	36,12	38,54	0,38	0,30	208,96
	<u>Küçük</u>					0,40	0,33	220,36
	5,97 $\pm$ 0,33cm	9.43	12.65	37.28	39.89			
	3,79 $\pm$ 0,44 g	$\pm$	$\pm$ 0,65 ^b	$\pm$	$\pm$			
<i>C. moorii</i>		0,74 ^a		0,73 ^a	0,90 ^b			
	<u>Büyük</u>					0,45	0,28	220,68
	10,78 $\pm$ 0,32cm	9,37	12,93	37,62	39,85			
	25,39 $\pm$ 1,75 g	$\pm$	$\pm$ 0,87 ^b	$\pm$	$\pm$			
		0,77 ^a		0,92 ^a	0,84 ^b			
	ortalama	9,40	12,79	37,45	39,87	0,42	0,30	220,52
<i>C. moorii</i>	<u>Küçük</u>					0,34	0,40	208,24
	6,10 $\pm$ 0,18 cm	9.48	12.22	35,27	38,49			
	3,58 $\pm$ 0,24 g	$\pm$	$\pm$ 0,84 ^b	$\pm$	$\pm$			
		0,66 ^a		0,61 ^a	0,84 ^b			
	<u>Büyük</u>					0,30	0,39	208,64
	11,94 $\pm$ 0,55 cm	9,83	12,19	35,53	38,65			
<i>C. moorii</i>	29,21 $\pm$ 3,52 g	$\pm$	$\pm$	$\pm$	$\pm$			
		0,65 ^a	0,59 ^b	0,70 ^a	0,82 ^b			
	ortalama	9,65	12,21	35,40	38,57	0,32	0,40	209,24

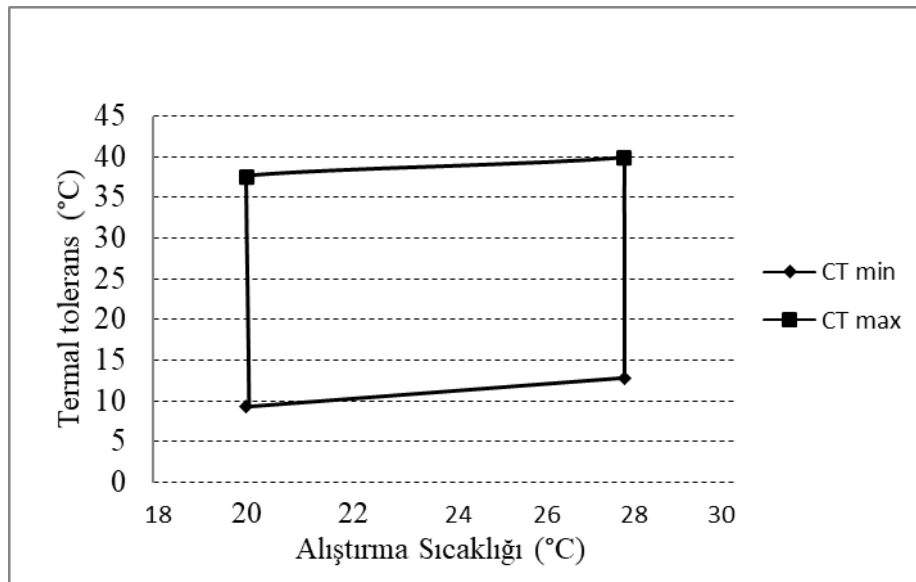
Her satırda her büyüklük grubunun alıştırma sıcaklıkları arasındaki termal tolerans farklılıkları ve her sütunda büyüklük gruplarının arasındaki termal tolerans farklılıkları farklı harflerle gösterilmiştir ($p < 0,05$).

TARTIŞMA

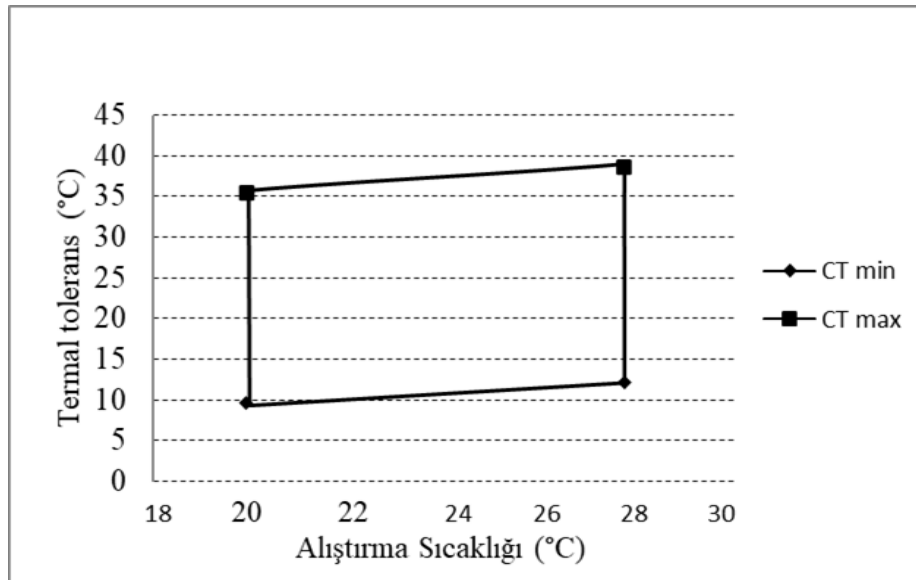
Balıklar CT_{min} ve CT_{max} testlerine benzer olduğu kadar farklı tepkiler de gösterdi. CT_{min} testinde su sıcaklığı düşüktü balıkların hareketlerinde önce yavaşlama ve koordinasyonsuzluk, sonra denge kaybı olurken, CT_{max} testinde su sıcaklığı arttıkça balıklarda hareketlilik arttı, ardından koordinasyonsuz hareketler ve denge kaybı oluşmuştur. Dolayısıyla, ekstrem düşük sıcaklıklara kıyasla, ekstrem yüksek sıcaklıklara maruz kalma daha öldürücü olmuştur. Üst termal limitlerin öldürücü olmalarının mekanizması canlının homeostatik durumundaki kararlılığın bozulması olarak açıklanmaktadır. Bu duruma göre ısı stresi nedeniyle canlı homeostazisinin bozulma hızı ile canlı homeostazisini korumak eyleme geçen biyolojik süreçlerin hızı arasında denge bozulmakta ve organizma ısı stresine karşı kendini koruyamaz hale gelmektedir (Ern ve ark., 2023; Jørgensen ve ark., 2021; Ørsted, 2022). ARR, balığın sıcaklık dalgalanmalarına karşı dayanıklılığını ifade ettiği için, sarı prenses türünün soğuk sulardaki dalgalanmalara (CT_{min} 'de ARR, 0,42), yunus ciklit türünün ise sıcak sulardaki dalgalanmalara (CT_{max} 'da ARR, 0,40) karşı diğer ciklit türlerine kıyasla görece daha esnek yanıtlar vermeleri beklenir. Bu üç ciklit türünün ARR değerleri diğer balık türlerine göre nispeten düşük seviyededir. Örneğin, farklı ailelerden 13 balık türü üzerinde yapılan bir çalışmada (Yanar ve ark., 2019) ARR değerleri CT_{min} 'de 0,18 (*Hypostomus plecostomus*) ile 0,63 (*Branchydanio rerio*), CT_{max} 'da ise 0,17 (*Garra rufa*) ile 0,67 (*Puntius tetrazona*) arasında bulunmuştur. Tropik balıklar subtropik balıklara göre bulundukları ortamın iklimik koşullarının bir gereği olarak daha az sıcaklık dalgalanmalarına maruz kaldıkları için daha düşük bir ARR değerine sahip olmaları (Diaz-Herrera ve ark., 1998; Diaz ve ark., 2004; Re ve ark., 2005; Yanar ve ark., 2019) beklenen bir durumdur. Dolayısıyla, ciklit gibi tropik balıkların ARR değerleri nispeten daha düşük olduğu için, subtropikal bölgelerde mevsim geçişlerindeki sıcaklık dalgalanmalarından fazla etkileneceği dikkate alınmalıdır.



Şekil 2. *A. stuartgranti*'nin termal tolerans poligon alanı (TTP)



Şekil 3. *L. caeruleus*'un termal tolerans poligon alanı (TTP)



Şekil 4. *C. moorii*'nin termal tolerans poligon alanı (TTP)

Balık türleri arasındaki sıcaklık tolerans değerleri birbirlerine yakın olup CT_{min} , 20°C AT'de 9,40 – 9,70, 28 °C AT'de 12,21 – 12,79 iken, CT_{max} , 20 °C de 35,40 – 37,45, 28 AT'de 38,54 – 39,87 arasında gerçekleşmiştir. Şeker pembe türünün CTM değerleri ilk olarak bu çalışmada gösterilmiştir. Balıkların CT_{min} ve CT_{max} değerlerinin görece yüksek çıkması, diğer bir ifadeyle yüksek sıcaklıklara karşı dayanıklı, düşük sıcaklıklara karşı dayanıksız olmaları, ciklit gibi tropik balık türlerinde beklenen bir sonuçtur. Benzer koşullarında yapılan bir çalışmada (Yanar ve ark., 2019), 20 ve 28 °C AT'de yunus ciklit türünde CT_{min} sırasıyla 9.20 ve 12,22 °C, CT_{max} 35,75 ve 38,95 °C; sarı prenses türünde CT_{min} 9,77 ve 13,06°C, CT_{max} 37,96 ve 40,00 °C olarak tespit edilmiş olup, bizim bulgularımız bu araştırmanın bulgularına yakındır. En geniş sıcaklık aralığına sahip balık türleri ise 1 – 3 °C CT_{min} ve 40 – 45 °C CT_{max} değerleri ile Cyprinodon'lara aittir (Beitinger ve ark., 2000).

Hayvanın yaşayacağı sıcaklık aralığının genişliğini ifade eden TTP değeri, bu çalışmada türler arasında 208 ile 220 °C arasında hesaplanmıştır (Tablo 1). Bu değerler, özellikle subtropikal balık türleriyle karşılaştırılırsa oldukça düşük seviyededir. Örneğin, Cyprinidlerden japon balığında 281 °C, koi'de 267,2 °C, zebra'da 261,3 °C olarak belirlenmiştir (Yanar ve ark., 2019). Dolayısıyla çalışmamızda da görüldüğü gibi üç ciklit türünün

de sıcaklık aralıkları dar (Şekil 2, 3 ve 4), diğer bir ifadeyle termal plastisiteleri düşük (stenotermal) olduğu için, dünyadaki yayılımları da sınırlı olacaktır.

Bu çalışmanın ana konusu balığın vücut büyüklüğü ile sıcaklık toleransı arasındaki ilişkidir. Her üç ciklit türünde, 7 - 8 kata varan ağırlık farkının her iki AT'de balığın gerek düşük sıcaklık (CT_{min}) gerek yüksek sıcaklık (CT_{max}) toleransı üzerine bir etkisi olmamıştır ($P > 0,05$) (Tablo 1). Cichlidae ailesi türleri üzerinde bu konu ilk defa bu çalışmada araştırılmıştır. Poikloterm hayvanlarda vücut büyüklüğü ile yüksek sıcaklık toleransı arasındaki negatif bir ilişki olduğu iddia edilse de (Kraskura ve ark., 2023) bu konu tartışmalı olup, tüm türlerde henüz kanıtlanmamıştır. Daha dar bir yüzey alana sahip olma hayvanda oksijen tasarrufu sağladığı için (Atkinson ve ark., 2006; Pouly, 2010; Verberk ve ark., 2011; Leiva ve ark., 2019), küresel ısınmanın etkisiyle poikloterm hayvanların vücut boyutunda değişiklikler meydana geldiği, hayvanların boyutlarının küçülme eğiliminde olduğu bildirilmiştir (Angilletta ve Dunham, 2003; Daufresne ve ark., 2009; Sheridan ve Bickford, 2011; Horne ve ark., 2015). Di Santo ve Lobel (2017), *Elacatinus oceanops* ve *E. lobeli* türlerinde küçük boyutlu olmanın hayvanın yüksek sıcaklıkla baş etme şansını artırdığını ileri sürmüşlerdir. Keza Brans ve ark. (2017), kentsel yaşam alanlarında yaşayan su pirelerinin (*Daphnia magna*) sıcaklığın artmasıyla boyutlarını küçülterek yüksek sıcaklığa karşı toleranslarını yükselttiklerini gözlemlemişlerdir. Turko ve ark. (2020), *Clinostomu selongatus* balık türleri yavruların yetişkinlere göre düşük ve yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olduğunu bildirmişlerdir. Ancak, yukarıda kısaca değinilen yüksek sıcaklık ile vücut büyüklüğü arasındaki negatif ilişki, bizim üç ciklit türünde vardığımız sonuçlara benzer şekilde bazı araştırmacılar tarafından bazı akuatik poikloterm türlerde doğrulanmamıştır. Barrionuevo ve Fernades (1995), *Prochilodus scrofa*'da vücut boyutunun CT_{min} üzerinde etkili olduğu, fakat CT_{max} üzerinde etkili olmadığını rapor etmişlerdir. Ospina ve Mora (2004) tarafından Gorgona adasına ait (tropik doğu pasifik okyanusu) 7 resif balık türünde yapılan bir çalışmada, vücut büyüklüğü ile termal tolerans arasında bir ilişki bulunmamıştır. Diğer yandan, Recsetar ve ark., (2012), *Oreochromis niloticus* (35–206-mm), *Ictalurus punctatus* (62–264 mm), *Oncorhynchus mykiss* (41–200 mm) ve *Micropterus salmoides* (72–266 mm) türlerinde balık boyutu ile CT_{max} arasında anlamlı bir ilişki bulamazken, *O.clarkii*virginalis (36–181 mm) ile *O.gilaeapache* (40–220-mm) alt türlerinde negatif bir ilişki bulmuşlardır. Ancak bu farklılığın oldukça küçük (yaklaşık 1 °C) olduğu not edilmiştir.

SONUÇ

Sarı prenses, şeker pembe ve yunus ciklit türlerinin sıcaklık tolerans değerleri birbirlerine yakın olup, AT'ye bağlı olarak kritik düşük sıcaklık (CT_{min}) 9,40 - 12,79 °C (CT_{min}), kritik yüksek sıcaklık 35,40 - 39,87 °C civarındadır. CTM verilerine göre hesaplanan termal tolerans poligonu (TTP) nispeten düşük olup (208 - 220 °C), her üç balık türü ait olduğu ailenin karakterine uygun olarak, kısmen dar bir sıcaklık aralığına (stenotermik) sahiptir. Bu balıklar subtropikal bölgelerde sıcaklığın 8 - 10 °C ye kadar düştüğü kış mevsimini ilave bir ısıtma desteği olmadan atlatamazlar. Balık yetiştiricileri tür tercihinde bulunurken balıkların bu düşük sıcaklık tolerans değerlerini göz önünde bulundurmalı veya gerekli ısıtma önlemlerini almalıdırlar.

Üç ciklit türünde AT ile CTM değerleri arasında pozitif bir ilişki gözlenmiş olup, AT'nin 20°C'den 28 °C'ye çıkması, türlerin CT_{min} değerlerinde 2,56 ile 3,39 °C, CT_{max} değerlerinde 2,42 ile 3,17 °C arasında bir artışa neden olmuştur. Bu değerlere göre hesaplanan alıştırma tepki oranlarının (ARR) görece düşük olması (0,30 - 0,42), bu türlerin sıcaklık dalgalanmalarına karşı hassas olduğuna göstermektedir. Dolayısıyla bu türler mevsim geçişlerindeki sıcaklık dalgalanmalarından fazla etkilenirler.

Üç ciklit türünde 7 - 8 kata varan ağırlık farkının her iki AT'de balıkların gerek düşük sıcaklık, gerek yüksek sıcaklık toleransı üzerinde bir etkisi olmamıştır ($P > 0,05$). Dolayısıyla, sucul poikloterm hayvanlarda yüksek sıcaklıklarla baş etmede vücut boyutunun küçük olmasının bir avantaj sağlaması savı, bu türlerde görülmemiştir. Sonuç olarak, vücut büyüklüğü ile sıcaklık toleransı arasındaki ilişkinin aydınlatılması için daha pek çok tür üzerinde çalışmalara gereksinim vardır.

Etik Standart ile Uyumluluk Çıkar çatışması

Bu araştırma çalışması araştırma ve yayın etiğine uygundur.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar bu yazı için gerçek, potansiyel veya algılanan çıkar çatışması olmadığını beyan etmişlerdir.

YAZAR KATKISI

Tüm yazarlar eşit katkı sağlamıştır.

ETİK ONAY

Tüm prosedürler Çukurova Üniversitesi Hayvan Deneyleri Etik Kurulu tarafından 270123-2 numaralı belge ile onaylanmıştır.

Finansal destek

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından FBA-2023-15727 kodlu proje kapsamında desteklenmiştir.

Veri erişilebilirliği

Veriler istek üzerine sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- Angilletta, M.J., Dunham, A.E. (2003). The temperature size rule in ectotherms: simple evolutionary explanations may not be general. *American Society of Naturalist*, 162(3), 332-342.
- Atkinson, D., Morley, S.A., Hughes, R.N. (2006). From cellstocolonies: at whatlevels of body does the ‘temperature-size rule’ apply? *Evolution & Development*, 8(2), 202-214. <https://doi.org/10.1111/j.1525-142X.2006.00090.x>
- Becker, C.D., Genoway, R.G. (1979). Evaluation of the critical thermal maximum for determining thermal tolerance of fresh water fish. *Environmental Biology of Fishes*, 4, 245-256.
- Barrionuevo, W.R., Fernandes, M.N. (1995). Critical thermal maxima and minima for curimbata, *Prochilodus scrofa steindachneri*, of two different sizes. *Aquaculture Research*, 26: 447-45. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.1995.tb00934.x>
- Beitinger, T.L., Bennett, W.A., Mccauley, R.W. (2000). Temperature tolerances of North American fresh water fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes*, 58, 237-275.
- Bennett, W.A., Beitinger, T.L. (1997). Temperature Tolerance of the sheeps head Minnow, *Cyprinodon variegatus*. *Copeia*, 1, 77-87. <https://doi.org/10.2307/1447842>
- Brans, K.I., Jansen.M., Vanoverbeke, J., Tuzun, N., Stoks, R., De Meester, L. (2017). The heat is on: Genetic adaptation to urbanization mediated by thermal tolerance and body size, *Global Change Biology*, 23, 5218-5227. <https://doi.org/10.1111/gcb.13784>
- Claussen, D.L. (1977). Thermal acclimation in ambystomatid salamanders. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 58, 333-340. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(77\)90150-5](https://doi.org/10.1016/0300-9629(77)90150-5)
- Cortemeglia, C., & Beitinger, T. L. (2005). Temperature tolerances of wild-type and red transgenic zebra danios. *Transactions of the American Fisheries Society*, 134(6), 1431-1437.
- Cox, D.K. (1974). Effects of three heating rates on the critical thermal maximum of blue gill.. In: J.W. Gibbons& R.R. Sharitz (ed.) *Thermal Ecology, Nat. Tech. Inform. Service., Springfield*, 158-163.
- Cowles, R.B., Bogert, C.M. (1944). A preliminary study of the thermal requirements a desert reptiles. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 13(1), 53-60.
- Daufresne, M., Lengfellner, K., Sommer, U. (2009). Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *The Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(31), 788– 12 793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902080106>
- Di Santo, V., Lobel, P.S. (2016). Size affects digestive responses to increasing temperature in fishes: physiological implications of being small under climate change. *Marine Ecology*, 37, 813-820. <https://doi.org/10.1111/maec.12358>
- Di Santo,V., Lobel, P.S. (2017). Body size and thermal tolerance in tropical gobies, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 487, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2016.11.007>
- Diaz, F., Re, A.D., Sierra, E., Amador, G. (2004). Behavioral thermoregulation and critical limits applied to culture of red claw crayfish, *Cherax quadricarinatus* (VonMartens). *Freshwater Crayfish*, 14, 90–98.
- Diaz-Herrera, F., Uribe, S.E., Ramirez, B.L.F., Mora, G.A. (1998). Critical thermal maxima and minima of *Macrobrachium rosenbergii* (Decapoda: Palemonidae). *Journal of Thermal Biology*, 23(6), 381–385. [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(98\)00029-1](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(98)00029-1)

- Eme, J., Bennett, W.A. (2009). Critical Thermal Tolerance Polygons of Tropical Marine Fishes from Sulawesi, Indonesia. *Journal of Thermal Biology*, 34(5), 220-225. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2009.02.005>
- Ern, R., Andreassen, A. H., Jutfelt, F. (2023). Physiological mechanisms of acute upper thermal tolerance in fish. *Physiology*, 38(3), 141-158. <https://doi.org/10.1152/physiol.00027.2022>
- Ford, T., Beiting, T. L. (2005). Temperature tolerance in the goldfish, *Carassius auratus*. *Journal of Thermal Biology*, 30(2), 147-152.
- Horne, C.R., Hirst, A. And Atkinson, D. (2015). Temperature size responses match latitudinal-size clines in arthropods, revealing critical differences between aquatic and terrestrial species. *Ecology Letters*, 18, 327- 335. <https://doi.org/10.1111/ele.12413>
- Jørgensen L. B., Malte H., Ørsted M., Klahn N.A., Overgaard J. (2021). A unifying model to estimate thermal tolerance limits in ectotherms across static, dynamic and fluctuating exposures to thermal stress. *Scientific Reports*, 11: 12840. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92004-6>
- Kraskura, K., Hardison, E. A., Eliason, E. J. (2023). Body size and temperature affect metabolic and cardiac thermal tolerance in fish. *Scientific Reports*, 13, 17900. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44574-w>
- Lutterschmidt, W.I., Hutchison, V.H. (1997). The critical thermal maximum: history and critique. *Canadian Journal of Zoology*, 75(10), 1561-1574. <https://doi.org/10.1139/z97-783>
- Leiva, P.L., Calosi, P., Verberk, W.C.E.P. (2019). Scaling of thermal tolerance with body mass and genome size in ectotherms: a comparison between water- and air-breathers, 374, 20190035. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2019.0035>
- Lutterschmidt, W.I., Hutchison, V.H. (1997). The critical thermal maximum: history and critique. *Canadian Journal of Zoology*, 75(10), 1561-1574. <https://doi.org/10.1139/z97-783>
- Ørsted, M., Jørgensen, L.B., Overgaard, J. (2022). Finding the right thermal limit: a frame work to reconcile ecological, physiological and methodological aspects of (CTmax) in ectotherms. *Journal of Experimental Biology*, 225(19), jeb244514. <https://doi.org/10.1242/jeb.244514>
- Ospina, A.F., Mora, C. (2004). Effect of body size on reef fish tolerance to extreme low and high temperatures, *Environmental Biology of Fishes* 70, 339-343.
- Pauly, D. (2010). Gasping fish and panting squids: oxygen, temperature and the growth of water breathing animals. *Excellence in Ecology Series, International Ecology Institute*, 22.
- Pérez, E., Díaz, F., & Espina, S. (2003). Thermoregulatory behavior and critical thermal limits of the angelfish *Pterophyllum scalare* (Lichtenstein)(Pisces: Cichlidae). *Journal of Thermal Biology*, 28(8), 531-537.
- Re, A.D., Diaz, F., Sierra, E., Rodriguez, J., Perez, E. (2005). Effect of salinity and temperature on thermal tolerance of Brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* (Ives) (Crustacea, Penaeidae). *Journal of Thermal Biology*, 30(8), 618–622. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2005.09.004>
- Recsetar, M.S., Zeigler, M.P., Ward, D.L., Bonar, S.A. And Caldwell, C.A. (2012). Relationship between Fish Size and Upper Thermal Tolerance. *Transactions of the American Fisheries Society*, 141(6), 1433-1438. <https://doi.org/10.1080/00028487.2012.694830>
- Selong, J.H., McMahon, T.E., Zale, A.V., Barrows, F.T. (2001). Effect of temperature on growth and survival of bull trout, with application of an improved method for determining thermal tolerance in fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 130(6), 1026-1037. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(2001\)130<1026:EOTOGA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(2001)130<1026:EOTOGA>2.0.CO;2)
- Sheridan, J.A., Bickford, D. (2011). Shrinking body size as an ecological response to climate change. *Nature Climate Change*, 1:401-406. <https://doi.org/10.1038/NCLIMATE1259>
- Spotila, J.R., Terpin, K.M., Koons, R.R., Bonati, R.L. (1979). Temperature requirements of fishes from eastern Lake Erie and the upper Niagara River: a review of the literature. *Environmental Biology of Fish.* 4(3), 281–307.
- Turko, A.J., Nolan, C.B., Balshine, S., Scott, G.R., Pitcher, T.E. (2020). Thermal tolerance depends on season, age and body condition in imperilled redbreast dace *Clinostomus elongatus*. *Conservative Physiology*, 8(1), 1-15. <https://doi.org/10.1093/conphys/coaa062>
- Verberk, W.C.E.P., Bilton, D.T., Calosi, P., Spicer, J.I. (2011). Oxygen supply in aquatic ectotherms: partial pressure and solubility together explain biodiversity and size patterns. *Ecology* 92, 1565-1572. <https://doi.org/10.1890/10-2369.1>
- Yanar, M., Erdoğan, E., Kumlu, M. (2019). Thermal tolerance of thirteen popular ornamental fish species. *Aquaculture*, 501, 382-386. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.11.041>
- Yanar, M., Evliyaoğlu, E., & Tekelioğlu, B. K. (2023). Sex Differences in Thermal Tolerance of Nine Ornamental Fish Species from the Poeciliidae, Cichlidae and Cyprinidae Family. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 23(6).
- Yoldaş, T., Erişmiş, U. C. (2022). Cold Hardiness in Animals: The Cryobiology of Amphibians. *Commagene Journal of Biology*, 6(2), 242-253.

