Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi
Afyon Kocatepe University – Journal of Science and Engineering
https://dergipark.org.tr/tr/pub/akufemubid

Araştırma Makalesi / Research Article
e-ISSN: 2149-3367
DOI: https://doi.org/10.35414/akufemubid.1514464
AKÜ FEMÜBİD 25 (2025) 021003 (245-252)
AKU J. Sci. Eng. 25 (2025) 021003 (245-252)

Tuzluluğa maruz bırakılan *Pseudotropheus acei* balığının solungaç mukus hücrelerinin incelenmesi

*Makale Bilgisi / Article Info
Alındı/Received: 11.07.2024
Kabul/Accepted: 09.11.2024
Yayımlandı/Published: 11.04.2025

Examination of gill mucus cells of *Pseudotropheus acei* fish exposed to salinity

Bahar Öner, Ahmet Regaib Oğuz, Zehra Alkan Çekiç*

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Van, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi
© 2025 The Authors | Creative Commons Attribution-Noncommercial 4.0 (CC BY-NC) International License

Öz

Balıklar içinde bulundukları suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Bu değişimler davranışsal, histolojik ve moleküller düzeyde olabilmektedir. Solungaçlar suyla direkt temas halinde oldukları için zararlı etkenlere karşı değişimlerin başladığı ilk organlardan biridir. Bu nedenle balıklarda solungaçlar çevresel farklılıkların belirlenmesinde biyoindiktör dokular olarak kullanılır. Balıklarda solungaçlar osmoregülasyon, pH düzenlenmesi, azotlu atıkların dışarı atılması, iyon düzenlenmesi gibi pek çok görevleri vardır. Bu çalışmada *Pseudotropheus acei* balıklarına artan tuz konsantrasyonu uygulandı. Çalışma sonunda balıkların en fazla 27 ppt tuzluluğa adapte olduğu daha yüksek tuzluluklarda ise öldüğü gözlendi. Kontrol ve tuzluluğa adapte olan balıklardaki solungaç dokuları histolojik olarak incelendi. Tuzluluğun balık solungaçlarında oluşturduğu zararlı etkileri ve adaptasyon yanıtları belirlemek için nekroz ve hiperplazi gibi histopatolojik değişimler gözlendi. Tuz stresine maruz kalan *Pseudotropheus acei* balığı solungaçlarında bulunan mukus hücrelerinin içeriğinde ve hücre yoğunluklarında farklılıklar olduğu görüldü. Nötral glikokonjugat içeren mukus hücrelerin kontrol grubunda sınırlı olduğu tuz maruziyeti sonucunda ise arttığı gözlendi. Karboksillenmiş glikokonjugat içeren mukus hücrelerin tuz maruziyeti sonucu 27 ppt'de daha yoğun olduğu belirlendi. O-sülfat esterli glikokonjugatları içeren mukus hücrelerinin kontrol grubunda işaretlenmediği tuz maruziyeti sonucunda ise arttığı görüldü. Güçlü sülfatlanmış glikokonjugat içeren mukus hücrelerin kontrol grubunda işaretlenmediği, tuzluluğa bağlı artış gösterdiği belirlendi. Nötr ve güçlü asidik glikokonjugatların karşılaştırılması sonucunda asidik glikokonjugatların daha yoğun işaretlendiği ve tuz maruziyetine bağlı olarak artış gösterdiği belirlendi. Sülfatlanmış ve karboksillenmiş glikokonjugatları karşılaştırması sonucunda karboksillenmiş glikokonjugatların sülfatlanmış glikokonjugatlara oranla daha yoğun olduğu ve mukus hücre yoğunluğunda tuzluluğa bağlı artış gösterdiği gözlendi. Yapılan boyama sonucunda tuz artışına bağlı olarak mukus hücrelerinin sayısında yarı kantitatif bir artış olduğu gözlendi.

Anahtar Kelimeler: Mukus; Osmoregülasyon; Solungaç; Tuz.

Abstract

Fish are affected by the physical and chemical properties of the waters they live in. These changes can be at behavioral, histological and molecular levels. Since gills are in direct contact with water, they are one of the first organs where changes against harmful factors begin. For this reason, gills in fish are used as bioindicator tissues in determining environmental differences. Gills in fish have many functions such as osmoregulation, pH regulation, removal of nitrogenous waste, and ion regulation. In our experimental study, increasing salt concentration was applied to *Pseudotropheus acei* fish. As a result of the application, it was observed that the fish adapted to a maximum salinity of 27 ppt and died in higher salinities. Gill tissues of control and salinity-adapted fish were examined histologically. To determine the harmful effects of salinity on fish gills and the adaptive responses, histopathological changes such as necrosis and hyperplasia were observed. In *Pseudotropheus acei* fish exposed to salt stress, differences were noted in the content and density of mucus cells in their gills. It was observed that mucus cells containing neutral glycoconjugate increased as a result of salt exposure, which was limited in the control group. It was determined that mucus cells containing carboxylated glycoconjugate were denser at 27 ppt as a result of salt exposure. It was observed that mucus cells containing O-sulfate ester glycoconjugates increased as a result of salt exposure, while they were not marked in the control group. It was determined that mucus cells containing strong sulfated glycoconjugate were not marked in the control group and increased depending on salinity. As a result of the comparison of neutral and strongly acidic glycoconjugates, it was determined that acidic glycoconjugates were marked more intensely and increased depending on salt exposure. As a result of the comparison of sulfated and carboxylated glycoconjugates, it was observed that carboxylated glycoconjugates were more dense than sulfated glycoconjugates and showed an increase in mucus cell density depending on salinity. As a result of the staining, it was observed that there was a semi-quantitative increase in the number of mucus cells due to the increase in salt.

Keywords: Gill; Osmoregulation; Mucus; Salt.

1. Giriş

Sıcaklık, pH, oksijen ve tuzluluk gibi çeşitli değişkenlik gösteren çevresel faktörlere maruz kalma, suda yaşayan organizmalar için hayati öneme sahiptir. Sudaki tuz seviyesindeki artışa, buharlaşma oranlarını hızlandıran küresel ısınma ve yağışlardaki azalma neden olmaktadır (Sellner ve ark., 1988). Tuzluluk, suyun termodinamik özelliklerini (örneğin yoğunluk, ısı kapasitesi, katılar ve

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Zehra ALKAN ÇEKİÇ e-posta/e-mail: zhra.alkan@hotmail.com

gazlar için çözücü kapasitesi ve buhar basıncı) etkileyerek balıklar ve diğer suda yaşayan organizmalar için habitat özelliklerinin tanımlanmasına büyük ölçüde katkıda bulunur (Jeppesen ve ark., 2015). Ayrıca hücre içindeki ve dışındaki biyokimyasal süreçler tuzluluktan büyük ölçüde etkilenir (Komoroske ve ark., 2016). Tuzluluk, balıklarının büyümesini, metabolizmasını ve diğer fizyolojik aktivitelerini etkileyen tüm çevresel parametreler arasında en önemlilerden biridir (Ruiz-Jarabo ve ark., 2019; Pourmozaffar ve ark., 2020).

Suda yaşayan canlılar için sıcaklık, tuzluluk, oksijen ve pH gibi çeşitli çevresel faktörler oldukça önemlidir. Balıklarda çevresel tuzluluk değişiklikleri ozmoregülasyonu, hormonal kontrolü, enerji metabolizmasını ve büyümeyi etkiler (Makrinos ve Bowden, 2016; Ruiz-Jarabo ve ark., 2019). Ayrıca, hücrelerin içindeki ve dışındaki biyokimyasal süreçler tuzluluktan büyük ölçüde etkilenir. Balıklar, aktif tuz absorpsiyonundan tuz salgılanmasına ve su atılımından su tutulmasına kadar ozmoregülasyon stratejisindeki dinamik değişiklikleri kontrol eden mekanizmaları barındırır (Kültz, 2015). Çevresel tuzluluk sadece ozmoregülasyon, iyon taşıma ve hormonal kontrolde rol almakla kalmayıp ayrıca balık dokularında hasarlara da neden olmaktadır (Evans, 2010). Hatta yüksek tuzluluk balığın ölümüne neden olmaktadır (Edwards ve Marshall, 2012). Balıklarda tuz tüm fizyolojik, biyokimyasal ve yaşam faaliyetlerini etkilemektedir. Sudaki tuzluluk oranı değiştikçe balıklarda hem fiziksel hem de moleküller düzeyde değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerin ilk etkileri sucul ortam ile direkt temas halinde olan solungaç dokusunda meydana gelmektedir (Xu ve ark., 2015).

Balıkların solungaç dokusu başın yan tarafında kendisini koruyan operkulum kapakları altında bulunur. Solungaç dokusu solungaç dikeni, filamentler ve sekonder lamellerden oluşmaktadır. Solungaç filamentleri, birincil lamel yapıları ve ikincil lamelleri oluşturur. Birincil lamel ve ikincil lamel, balığın vücudu ile sucul alanlar arasında bir sınır oluşturur. Solungaç dokusu iyon regülasyonunda önemli rol oynar. Solungaç dokusunda iyon regülasyonunda rol oynayan bazı hücre tipleri bulunmaktadır (Wilson ve Laurent, 2002). Bu hücrelerden biri mukus hücresidir. Mukus hücrelerinden salgılanan mukus, patojen mikroorganizmalara karşı fiziksel bir bariyer oluşturmasının yanı sıra lubrikasyon, solunum, iyon regülasyonu ve difüzyon gibi fonksiyonlardan da sorumludur (Shephard, 1994; Domeneghini ve ark., 1998; Zayed ve Mohamed, 2004). Solungaç epitelinde bulunan mukus üreten hücreler tuzluluk, sıcaklık, pH, yüksek amonyak konsantrasyonu ve ağır metaller gibi farklı ortam şartlarına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu hücreler, solungaçların korunması ve çeşitli stres faktörlerine karşı adaptasyon sağlanması açısından kritik bir rol oynar. Salgılanan mukusun kimyasal içeriği değişiklik gösterebilmektedir. Bu içerikler asidik glikokonjugatlar, nötral glikokonjugatlar ve bazik glikokonjugatlar olarak sınıflandırılabilir. Mukusun görevleri, farklı kimyasal içeriğe sahip mukus hücreleri tarafından yerine getirilir. Bu nedenle, bir balık türünde çeşitli kimyasal içeriğe sahip mukus hücreleri bulunabilir. Her bir mukus hücresi tipi, belirli bir işlevi yerine getirmek için özelleşmiş olabilir ve bu, balığın çeşitli çevresel koşullara ve stres faktörlerine yanıtını optimize eder (Boat ve Cheng 1980; Dekker ve ark., 2002).

Bu çalışma ile *Pseudotropheus acei* balığının farklı tuzluluk oranlarına maruz bırakılması sonucu tuzluluğun mukus hücreleri üzerine etkileri incelenerek konu hakkında bilgi birikimine katkı sunulacaktır.

2. Materyal ve Metot

Tüm hayvan deney işlemleri Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu tarafından onaylanan hayvan çalışma protokollerine (YUHADYEK 2023/05-36) uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada bir cichlid türü olan *Pseudotropheus acei* balığı kullanıldı. Ergin bireyleri boy uzunlukları ortalama 10-15 cm'dir. Ortalama 24-28°C sıcaklık ve 7.8 – 8.6 değerlere sahip tatlı sularda yaşayan akvaryum balıklarıdır. Balıklar, kontrol, 20, 30, 40 ve 50 ppt tuzluluk olmak üzere gruplandırıldı. Suyun tuzluluk oranı günlük olarak 1 ppt olarak artırıldı. Balıklara, günde iki kez toplam vücut ağırlığının %4'ü kadar Tetra Discus Granule yem verildi. Fotoperiyot 12 saat aydınlık, 12 saat karanlık olarak düzenlendi. Deney süreci tamamlandıktan sonra balıklar, Fenoksi Etanol (0,2 mL/L) ile anestezi edilerek, solungaç dokuları histolojik inceleme için Bouin fiksatifi içine alındı. Balıkların deney süresince adapte olduğu tuzluluğun maksimum 27 ppt olduğu belirlendi. Daha sonra anestezi edilerek diseke edilen balıkların solungaç dokuları alındı ve histolojik çalışmalar için Bouin fiksatifi içerisine alındı.

2.2. Histoloji

Dokular 24 saat boyunca oda sıcaklığında fiksatiflerde tutuldu ve daha sonra %70 etanole aktarıldı. Dokular artan etanol konsantrasyonlarından (%70, %80, %90, %95 ve %100) geçirildi ve ksilen içinde alındı. Daha sonra parafin içine gömüldü. Parafin bloklardan mikrotom (Microm, International GmbH, Almanya) yardımıyla 5µm kalınlığında kesitler alındı. Adhesiv lamlara alınan kesitler Hematoksilen&Eozin, Periyodik Asit – Schiff (PAS), Alcian

Blue pH 2.5, Alcian Blue pH 1.0, Alcian Blue pH 0.5, PAS/AB pH 2.5, AF/AB 2.5 ile boyandı. Kesitler ışık mikroskobu (Leica DMI 6000B, Almanya) ile incelendi ve fotoğrafları çekildi.

Çizelge 1.Histolojik boyamalar içim kullanılan boyalar

Boyama Yöntemi	Spesifitesi
Periyodik asit-Shiff (PAS)	Nötral glikonkonjugatların belirlenmesi
Alcian Blue (AB) pH 2.5	Karboksilatlı glikokonjugatların belirlenmesi
PAS/ AB pH 2.5	Nötral ve güçlü asidik glikokonjugatların karşılaştırılması
AB pH 1.0	O-sülfat esterli glikokonjugatların belirlenmesi
AB pH 0.5	Güçlü sülfatlı glikokonjugatların belirlenmesi
AF/ AB pH 2.5	Sülfatlı ve karboksilatlı glikokonjugatların karşılaştırılması

2.3. Mukus hücre analizi

Mukus hücre yoğunlukları belirlemek için PAS ile boyanan kesitlerden 15 farklı bölgeden analiz yapıldı. Mukus hücre yoğunluğu, 100 µm uzunluğunda filamentlerindeki hücrelerin sayımı ile gerçekleştirildi.

2.4. İstatistiksel analiz

Veriler, ortalama ± standart hata olarak ifade edildi. gruplar arasındaki fark tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile gruplar arasındaki farkın derecesi ise Duncan'ın post hoc testi ile belirlendi. Gruplar arasındaki farklılıklar $p<0,05$'te anlamlı kabul edildi.

3. Bulgular

Deneysel çalışma sonucunda farklı tuz konsantarsyonlarına maruz bırakılan *Pseudotropheus acei* balığının maksimum 27 ppt'ye adapte olduğu belirlendi. Rutin histolojik boyamalar sonucunda *Pseudotropheus acei* balığı solungaç dokusunun diğer teleost balıklara benzerlik gösterdiği görüldü. Solungaç dokusunun histolojik olarak sekonder lamel ve primer filamentlerden meydana geldiği gözlendi. Ayrıca artan tuz stresine bağlı olarak bir takım histopatolojik hasarlar tespit edildi. Bu hasarlar nekroz ve hiperplazi olarak tanımlandı (Şekil 3.1). Periyodik Asit/Schiff (PAS) boyaması sonucunda *Pseudotropheus acei* balığı solungaç dokusunda nötral glikokonjugat içeren mukus hücre dağılımının yoğun olarak sekonder lamellerde olduğu görüldü. *Pseudotropheus acei* balığı kontrol gruplarında nötral glikokonjugat içeren mukus hücrelerin işaretlenmediği gözlendi. Yapılan istatiksel analiz sonucunda tuzluluk maruziyetinin ilk grubu olan 20 ppt de işaretlemenin sınırlı olduğu görüldü. Tuz stresi artışıyla beraber 27 ppt ye maruz bırakılan balık solungaç dokularında mukus içeren hücre yoğunları ve sayılarında gözleme bağlı artış olduğu tespit edildi (Şekil 3.2; 3.8).

Karboksillenmiş glikokonjugat içeren mukus hücrelerinin işaretlenmesi için Alcian Blue pH 2.5 boyama yöntemi kullanıldı. Yapılan histolojik boyama sonucunda, *Pseudotropheus acei* balığının solungaç dokusunda asidik glikokonjugatların genel olarak pozitif reaksiyon verdiği gözlemlendi. Mukus hücrelerinin solungaç sekonder lamellerde konumlandığı gözlendi. İşaretleme sonucunda kontrol grubu balıklarında işaretlemenin 20 ppt ve 27 ppt'ye oranla sınırlı olduğu görüldü. Tuzluluğa maruz bırakılan grupları karşılaştırdığımızda ise hücre yoğunluğunun 27 ppt de daha fazla olduğu tespit edildi (Şekil 3.3).

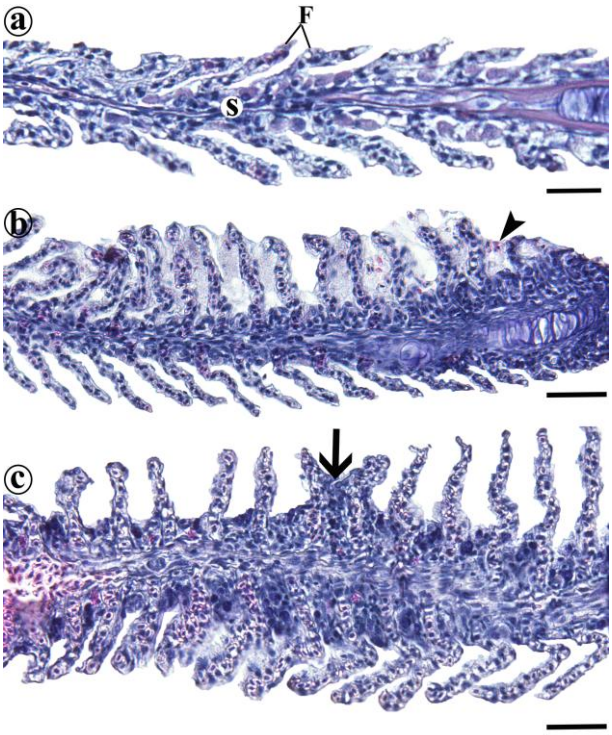
O-sülfat esterli glikokonjugatları içeren mukus hücrelerinin belirlemek için Alcian Blue pH 1.0'da boyası kullanıldı. Kontrol grubunda işaretlenmenin olmadığı görüldü. Ancak 20 ppt ve 27 ppt tamamının pozitif boyandığı gözlendi. Boyanma yoğunluğu açısından incelendiğinde farklı tuz konsantrasyonları arasında fark olduğu görüldü. İşaretlenen mukus hücrelerinin solungaç sekonder lamellerinde olduğu belirlendi (Şekil 3.4).

Mukus hücrelerinde güçlü sülfatlanmış glikokonjugatları tanımlamak için Alcian Blue 0.5 pH boyası kullanıldı. Yapılan boyama sonucunda kontrol grubunda işaretlemenin olmadığı görüldü. Bu çalışma sonucunda işaretlenme yoğunluğunun tuzluluk konsantrasyonları arasında farklılık gösterdiği belirlendi. Tuz maruziyetine bağlı olarak yoğunluklarda artış olduğu tespit edildi. Ayrıca boyama yoğunluğunun solungaç sekonder lamellerinde olduğu fakat 20 ppt de ise primer filamentlerde de işaretlenme belirlendi (Şekil 3.5).

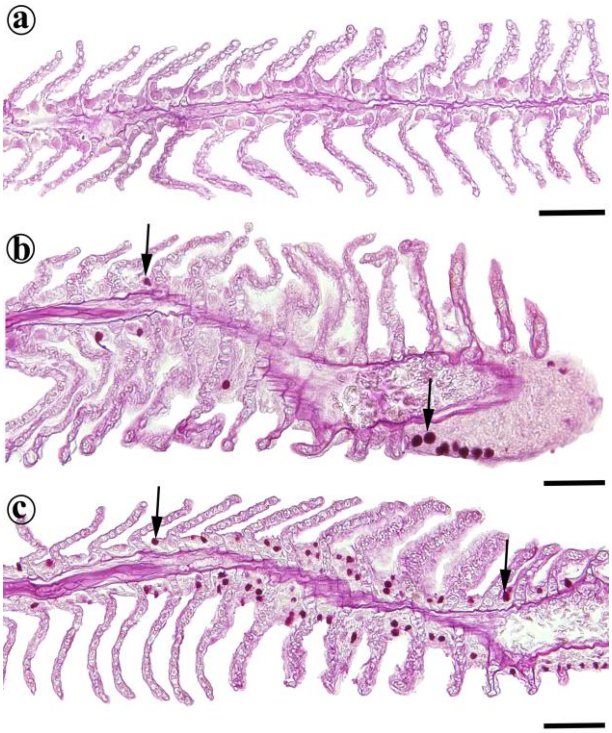
Nötr ve güçlü asidik glikokonjugatları karşılaştırmak için PAS/AB pH 2.5 boyaması kullanıldı. Boyama sonucunda güçlü asidik glikokonjugatların nötral glikokonjugatlara göre daha baskın olduğu görüldü. Gruplar arasında farklılıklar olduğu tespit edildi. Kontrol grubunda işaretlemenin olmadığı, tuz maruziyeti artışına bağlı olarak hücre yoğunluğunda artış olduğu semikantitatif olarak belirlendi. İşaretlenen mukus hücrelerin solungaç sekonder lamellerde olduğu görüldü (Şekil 3.6).

Sülfatlanmış ve karboksillenmiş glikokonjugatları karşılaştırmak için Aldehit Fuksin/Alcian Blue 2.5 pH boyaması kullanıldı. Yapılan boyama sonucunda karboksillenmiş glikokonjugatların sülfatlanmış glikokonjugatlara oranla daha yoğun olduğu görüldü. Kontrol grubu solungaç dokusunda işaretlenme olmadığı görüldü. Tuzluluğa maruz bırakılan gruplarda pozitif reaksiyon olduğu ve tuz artışına bağlı olarak hücre

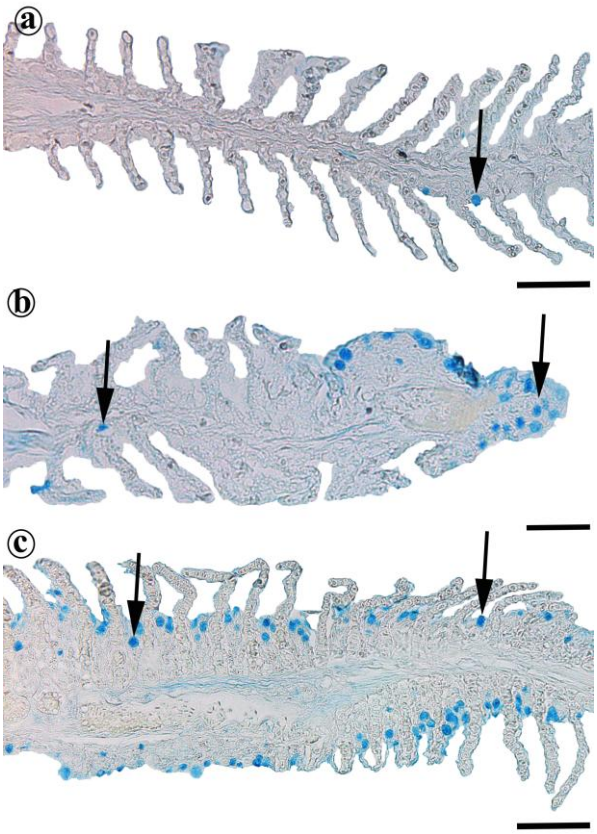
yoğunluğunda artış olduğu semikantitatif olarak belirlendi. Solungaç dokusunda mukus hücrelerin yoğun olarak sekonder lamellerde ve sınırlı da olsa primer filamentlerde işaretlendiği görüldü (Şekil 3.7).



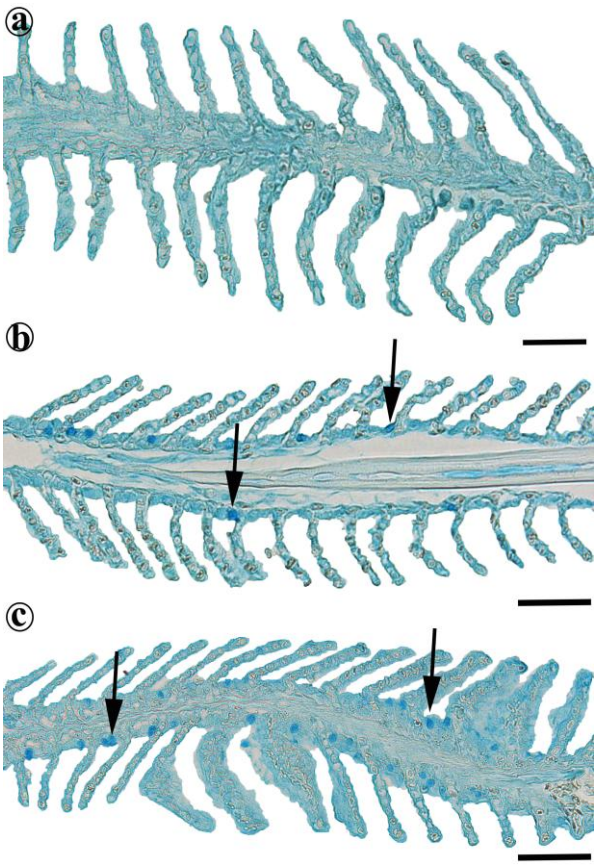
Şekil 3.1. *Pseudotropheus acei* balığı solungaç dokusu genel görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt; F, primer filament, S, sekonder lamel; ok başı, nekroz; ok, hiperplazi), bar 100µm



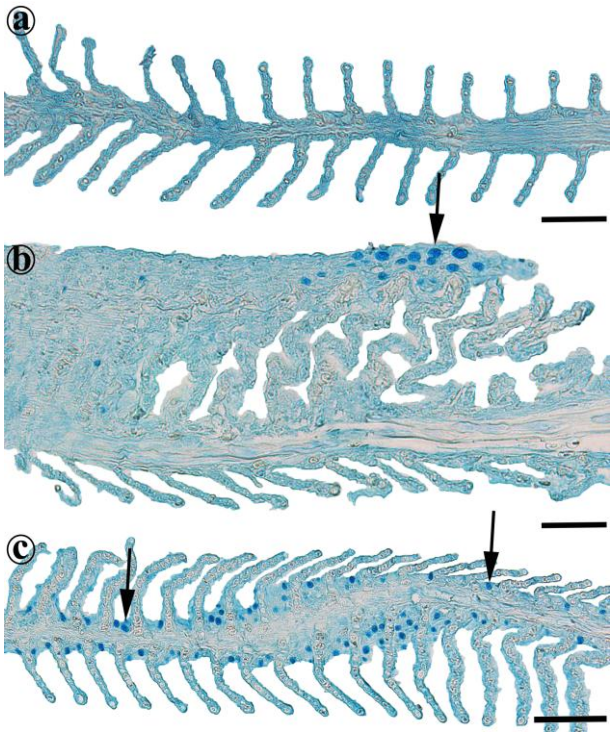
Şekil 3.2. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Periyodik Asit/Schiff ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



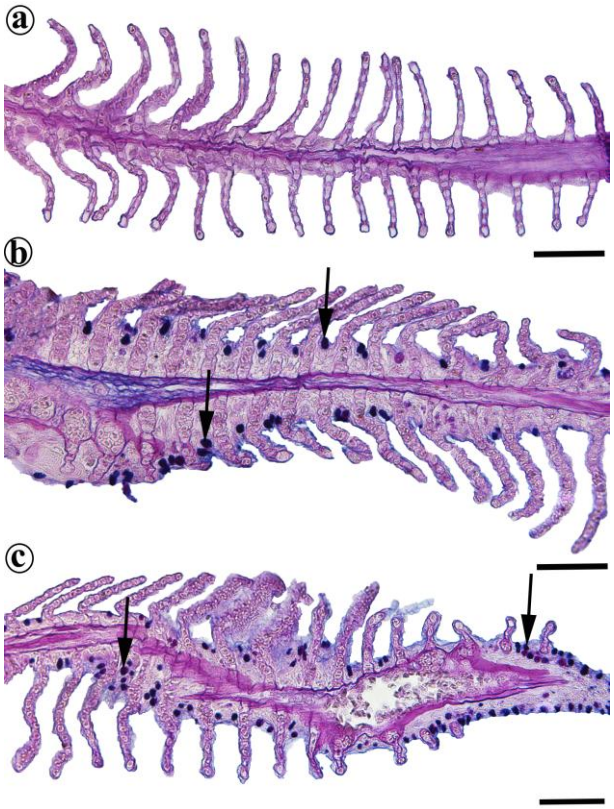
Şekil 3.3. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Alcian Blue pH 2.5 ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



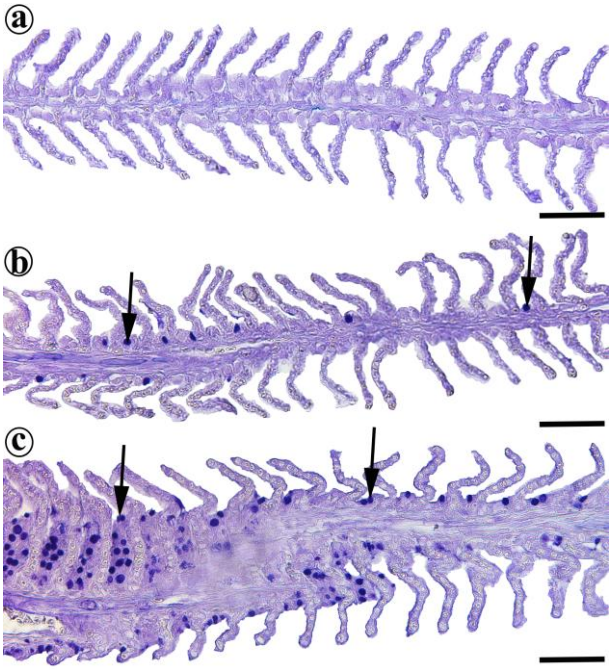
Şekil 3.4. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Alcian Blue pH 1.0 ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



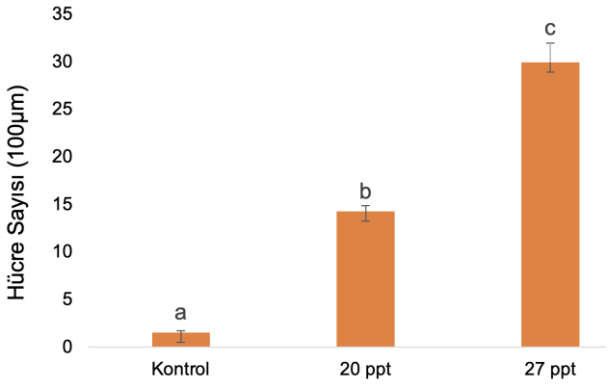
Şekil 3.5. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Alcian Blue pH 0.5 ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



Şekil 3.6. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Periyodik Asit/Schiff ve Alcian Blue pH 2.5 kombinasyonu ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



Şekil 3.7. *Pseudotropheus acei* solungaç dokusunda Aldehit Fuksin & Alcian Blue pH 2.5 ile işaretlenen mukus hücrelerin görünümü (a, kontrol; b, 20 ppt; c, 27 ppt), bar 100µm



3.8. Tuzluluğa maruz bırakılan *Pseudotropheus acei* solungaç dokusundaki nötr glikokonjugat salgılayan mukus hücre sayıları. Farklı harfler gruplar arasındaki istatistiksel olarak anlamlı farklılıkları gösterir (değerler ortalama ± SEM'dir)

4. Sonuçlar ve Tartışma

Solungaçlar, dış ortam ile direkt temas halinde olup geniş bir yüzey alanına sahip organlardır (Rodriguez ve ark., 2019). Solungaçlar, suyun fiziko-kimyasal şartlarından ve zararlı etkenlerden doğrudan etkilenirler. Bu nedenle balık solungaç dokuları meydana gelen çevresel farklılıkların belirlenmesinde biyoindikatör dokular olarak kullanılabilir (Nero ve ark., 2006; Oğuz ve Kaval Oğuz, 2022).

Çevresel kirleticilere yanıt olarak meydana gelen morfolojik değişiklikler, belirli fizyolojik işlevleri yerine getirmek için zorunlu mekanizmalardır. Yapılan farklı çalışmalarda bazı balık türlerinde tuz stresine karşı histopatolojik birtakım değişikliklerin olduğu bildirilmiştir

(Roberts ve Powell, 2003; Nero ve ark., 2006; Handayani ve ark., 2020). *Pseudotropheus acei* balığı solungaç dokusunda da tuz stresine bağlı geri dönüşü olmayan nekroz ve dokuyu hipoozmotik ortamdan korumak için hiperplazya gibi histopatolojik hasarlar gözlendi.

Balıklarda mukus tabakası su ortamı ile balık arasındaki birincil bariyer görevi görür. Mukus yüzeyleri karmaşık matrislerdir ve su sıcaklığı, pH, stres ve enfeksiyonlar gibi eksojen faktörlerin bileşimleri balık türleri arasında farklılık gösterir (Dash ve ark., 2018; Reverter ve ark. 2018). Mukus salgısı aynı zamanda iyon bakımından fakir sularda iyon kaybını da önler (Clunes ve Boucher, 2007). Mukus hücrelerinden salgılanan farklı glikokonjugat içerikleri balıklarda farklı özelliklere sahiptir. Nötr glikokonjugatlar, sülfatlanmış ve asidik glikokonjugat içerikleriyle karşılaştırıldığında düşük viskoziteye sahiptir. Nötr glikokonjugatlar yağlanmayı kolaylaştırarak dokuyu fiziksel hasarlardan korur (Moron ve ark. 2009; Bosi ve ark., 2015).

Yapılan farklı çalışmalar sonucunda tuzluluğun balık solungaç mukus hücreleri üzerinde etkili çevresel faktör olduğu bildirilmiştir (Jensen ve ark., 1998; Gonzalez, 2012; Shirangi ve ark., 2016; Alkan ve Oğuz, 2021). Farklı tuz konsantrasyonlarına maruz bırakılan Velifera (*Poecilia sphenops*) balığının solungaç mukus hücre yoğunluğunda ve hücre sayısında artışlar olduğu ve bu artışın ozmoregülasyondan kaynaklı olduğu bildirilmiştir (Oğuz ve ark., 2023). *Shortfin molly* balığının farklı tuz maruziyeti sonucu mukus salgılayan hücrenin ortalama yoğunluğu yüksek tuzluluk seviyelerinde önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir. Bu artışın osmoregülatör mekanizmadan kaynaklı olabileceği bildirilmiştir (Sathorn ve ark., 2021). Avrupa Levrek balığı solungaç dokusunda bulunan asidik ve nötr mukus hücrelerin tuzluluk maruziyeti sonucu önemli ölçüde arttığı ifade edilmiştir. Bu artışın hipoozmotik koşullarda iyon dengesini sağlayan ozmoregülasyon fonksiyonundan kaynaklı olabileceğini bildirilmiştir (Ordóñez-Grande ve ark., 2021).

Sonuç olarak *Pseudotropheus acei* balıklarının solungaçlarında mukus hücre glikokonjugatları çeşitlilik göstermektedir. Farklı fizikokimyasal suya (pH, tuzluluk, sıcaklık, çözünmüş O_2 ve iletkenlik) ve ilişkili stres etkenlerine (mikrobiyal ve paraziter enfeksiyonlar) maruz kalma, solungaçta çeşitli hızlı hücresel değişikliklere neden olur. Bu değişimler tuz artışına bağlı değişkenlik göstermektedir. Bu çalışma, *Pseudotropheus acei* solungaçlarındaki mukus içeriği ve yoğunluğunun farklı tuz konsantrasyonlarında değişkenlik gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu değişimlerin farklı su ortamlarına adaptasyondan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

Etik Standartlar Bildirgesi
Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı
Yazar 1: Kaynaklar, Araştırma, Analiz, Yazma
Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Analiz, Yazma
Yazar 3: Proje yöneticisi, Fikir sahibi, Araştırma, Analiz, Yazma

Çıkar Çatışması Beyanı
Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği
Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

Teşekkür

Çalışmaya maddi destek sağlayan TÜBİTAK 2209-A üniversite öğrencileri araştırma destek programına (1919B012215185 no'lu proje) teşekkürlerimi sunarım.

5. Kaynaklar

Alkan, Z., and Oğuz, A. R., 2021. Investigation of gill mucus cells of Lake Van fish (*Alburnus tarichi*) during reproductive migration. *Fish Physiology and Biochemistry*, **47**(2), 409-419. https://doi.org/10.1007/s10695-020-00921-6

Boat, T. F., and Cheng, P.W., 1980. Biochemistry of airway mucus secretions. *In Federation Proceedings* **39**(13), 3067-3074.

Bosi, G., Shinn, A. P., Giari, L., and Sayyaf Dezfuli, B., 2015. Enteric neuromodulators and mucus discharge in a fish infected with the intestinal helminth *Pomphorhynchus laevis*. *Parasites & Vectors*, **8**(1), 1-13. https://doi.org/10.1186/s13071-015-0970-7

Clunes, M. T., and Boucher, R. C., 2007. Cystic fibrosis: the mechanisms of pathogenesis of an inherited lung disorder. *Drug Discovery Today: Disease Mechanisms*, **4**(2), 63-72. https://doi.org/10.1016/j.ddmec.2007.09.001

Dash, S., Das, S. K., Samal, J., and Thatoi, H. N., 2018. Epidermal mucus, a major determinant in fish health: a review. *Iranian journal of veterinary research*, **19**(2), 72.

Dekker, J., Rossen, J. W., Büller, H. A., and Einerhand, A. W., 2002. The MUC family: an obituary. *Trends in biochemical sciences*, **27**(3), 126-131. https://doi.org/10.1016/S0968-0004(01)02052-7

Domeneghini, C., Straini, R. P., and Veggetti, A., 1998. Gut glycoconjugates in *Sparus aurata* L. (Pisces, Teleostei). A comparative histochemical study in larval and adult ages. *Histology and Histopathology*, **13**(2), 359-372.

Edwards, S. L., and Marshall, W.S., 2012. Principles and patterns of osmoregulation and euryhalinity in fishes. *In Fish physiology*, **32**, 1-44. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396951-4.00001-3

Evans, T.G., 2010. Co-ordination of osmotic stress responses through osmosensing and signal transduction events in fishes. *Journal of Fish Biology,* **76**(8), 1903-1925. https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2010.02590.x

Gonzalez, R. J., 2012. The physiology of hyper-salinity tolerance in teleost fish: a review. *Journal of Comparative Physiology B*, **182**, 321-329. https://doi.org/10.1007/s00360-011-0624-9

Handayani, K. S., Soegianto, A., and Chang, C. F., 2020. Effect of salinity on osmoregulation and histopathology in gills of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Asian Journal of Water, Environment and Pollution*, **17**(3), 7-11. https://doi.org/10.3233/AJW200028

Jensen, M. K., Madsen, S. S., and Kristiansen, K., 1998. Osmoregulation and salinity effects on the expression and activity of Na+, K+-ATPase in the gills of European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.). *Journal of Experimental Zoology*, **282**(3), 290-300. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-010X(19981015)282:3<290::AID-JEZ2>3.0.CO;2-H

Jeppesen, E., Brucet, S., Naselli-Flores, L., Papastergiadou, E., Stefanidis, K., Noges, T., and Beklioğlu, M., 2015. Ecological impacts of global warming and water abstraction on lakes and reservoirs due to changes in water level and related changes in salinity. Hydrobiologia, **750**, 201-227. https://doi.org/10.1007/s10750-014-2169-x

Komoroske, L. M., Jeffries, K. M., Connon, R. E., Dexter, J., Hasenbein, M., Verhille, C., and Fangue, N. A., 2016. Sublethal salinity stress contributes to habitat limitation in an endangered estuarine fish. Evolutionary Applications, **9**(8), 963-981. https://doi.org/10.1242/jeb.118695

Kültz, D., 2015. Physiological mechanisms used by fish to cope with salinity stress. *The Journal of Experimental Biology*, **218**(12), 1907-1914. https://doi.org/10.1242/jeb.118695

Makrinos, D. L., and Bowden, T.J., 2016. Natural environmental impacts on teleost immune function. *Fish & Shellfish Immunology*, **53**, 50-57. https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.03.008

Moron, S. E, Andrade C. A. D, and Fernandes, M. N., 2009. Response of mucous cells of the gills of traíra (*Hoplias malabaricus*) and jeju (*Hoplerythrinus unitaeniatus*) (Teleostei: Erythrinidae) to hypo-and hyper-osmotic ion stress. *Neotrop Ichthyol* **7**(3): 491–498. https://doi.org/10.1590/S1679-62252009000300017

Nero, V., Farwell, A., Lee, L. E. J., Van Meer, T., MacKinnon, M. D., and Dixon, D. G., 2006. The effects of salinity on naphthenic acid toxicity to yellow perch: Gill and liver histopathology. Ecotoxicology and environmental safety, **65**(2), 252-264. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2005.07.009

Oguz, A. R., Sepil, A., Alkan, Z., Ergoz Azizoglu, B., Şen, F., and Kaval Oguz, E., 2023. Effects of salinity on gill histology in sailfin velifera (*Poecilia velifera*). *Aquaculture International*, 1-13. https://doi.org/10.1007/s10499-023-01286-2

Oğuz, A. R., and Kaval Oğuz, E., 2020. Histopathology and immunohistochemistry of gills of Van fish (*Alburnus tarichi*, Güldenstädt, 1814) infected with myxosporean parasites. *Journal of histotechnology*, **43**(2), 76-82. https://doi.org/10.1080/01478885.2019.1686848

Ordóñez-Grande, B., Guerreiro, P. M., Sanahuja, I., Fernández-Alacid, L., and Ibarz, A., 2021. Environmental salinity modifies mucus exudation and energy use in European sea bass juveniles. *Animals*, **11**(6), 1580. https://doi.org/10.3390/ani11061580

Pourmozaffar, S., Tamadoni Jahromi, S., Rameshi, H., Sadeghi, A., Bagheri, T., Behzadi, S., and Abrari Lazarjani, S., 2020. The role of salinity in physiological responses of bivalves. *Reviews in Aquaculture*, **12**(3), 1548-1566. https://doi.org/10.1111/raq.12397

Reverter, M., Tapissier-Bontemps, N., Lecchini, D., Banaigs, B., Sasal, P., 2018. Biological and ecological roles of external fish mucus: a review. *Fishes,* **3**(4):41. https://doi.org/10.3390/fishes3040041

Roberts, S. D., and Powell, M. D., 2003. Comparative ionic flux and gill mucous cell histochemistry: effects of salinity and disease status in Atlantic salmon (*Salmo salar L.). Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, **134**(3), 525-537. https://doi.org/10.1016/S1095-6433(02)00327-6

Rodriguez, C., Prieto, G. I., Vega, I. A., and Castro-Vazquez, A., 2019. Functional and evolutionary perspectives on gill structures of an obligate air-breathing, aquatic snail. *PeerJ*, **7**, 7342-7363.

Ruiz-Jarabo, I., Tinoco, A. B., Vargas-Chacoff, L., Martos-Sitcha, J. A., Rodríguez-Rúa, A., Cárdenas, S., and Mancera, J. M., 2019. Environmental salinity affects growth and metabolism in fingerling meagre (*Argyrosomus regius*). *Fishes,* **4**(1), 6. https://doi.org/10.3390/fishes4010006

Sathorn, S., Senarat, S., Kettratad, J., Kaneko, G., Jiraungkoorskul, W., and Wongkamhaeng, K., 2021. Effects of salinity level on the activity of chloride cell and mucus secreting cell in the gill of the female Shortfin molly, *Poecilia mexicana* Steindachner, *Veterinary Integrative Sciences,* **19**(2), 173-184.

Sellner, K. G., Lacouture, B. R., and Parrish, C. R., 1988. Effects of increasing salinity on a cyanobacteria bloom in the Potomac River estuary. Journal of Plankton Research, **10**(1), 49-61. https://doi.org/10.1093/plankt/10.1.49

Shephard, K. L., 1994. Functions for fish mucus. *Reviews in fish biology and fisheries*, **4**, 401-429. https://doi.org/10.1007/BF00042888

Shirangi, S. A., Kalbassi, M. R., Khodabandeh, S., Jafarian, H., Lorin-Nebel, C., Farcy, E., and Lignot, J. H., 2016. Salinity effects on osmoregulation and gill morphology in juvenile Persian sturgeon (*Acipenser persicus*). *Fish physiology and biochemistry*, **42**, 1741-1754. https://doi.org/10.1007/s10695-016-0254-y

Wilson, J. M., and Laurent, P., 2002. Fish gill morphology: inside out. *Journal of experimental Zoology*, **293**(3), 192-213. https://doi.org/10.1002/jez.10124

Xu, Z., Gan, L., Li, T., Xu, C., Chen, K., Wang, X., and Li, E., 2015. Transcriptome profiling and molecular pathway analysis of genes in association with salinity adaptation in Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *PLoS One*, **10**(8), 0136506. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0136506

Zayed, A. E., and Mohamed, S. A., 2004. Morphological study on the gills of two species of fresh water fishes: Oreochromis niloticus and Clarias gariepinus. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, **186**(4), 295-304. https://doi.org/10.1016/S0940-9602(04)80044-X