



Menba

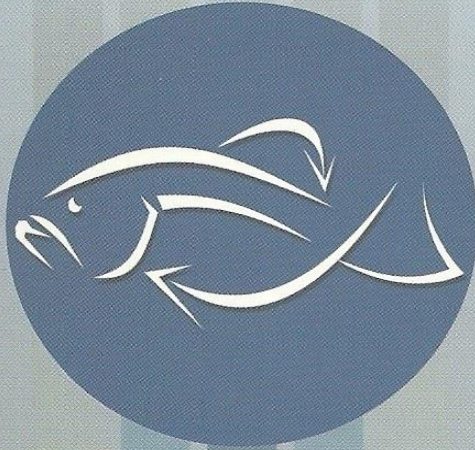
Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi
Menba Journal of Fisheries Faculty

Yıl/Year: 2023

Cilt/Volume: 9

Sayı/Issue: 2

ISSN: 2147-2254 | e-ISSN: 2667-8659





Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi

Menba Journal of Fisheries Faculty

Yıl/Year: 2023 Cilt/Volume: 9 Sayı/Issue: 2

ISSN: 2147-2254 | e-ISSN: 2667-8659

Yazışma adresi / Correspondence Address

Kastamonu Üniversitesi – KASTAMONU

Tel: 0366 280 23 00 | Fax: 0366 280 23 13

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/menba>

Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi yılda iki sayı olarak yayınlanır ve hakemli dergidir. Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi Uluslararası bir dergidir. Dergi içerisindeki makaleler, tablolar, şekiller ve resimler komple veya kısmen izinsiz olarak kullanılamaz. Dergi ve kitaplarda alıntı yapılması halinde referans gösterilmelidir.

Menba Journal of Fisheries Faculty is published twice in a year and refere journal. Menba Journal of Fisheries Faculty is an International. Any of the articles, tables, figures and pictures are not allowed to be copied completely or partially without authorisation. The journals and books which quote, have to indicate the journal as reference.

Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi **TR Dizin, CAB Direct, Google Scholar, Paperity, Asosindex, Academic Journal Index** dizinlerinde taranmaktadır.

Menba Journal of Fisheries Faculty is indexed in **TR Dizin, CAB Direct, Google Scholar, Paperity, Asosindex, Academic Journal Index**



Menba Journal of Fisheries Faculty

İmtiyaz Sahibi / Privilege Owner

Prof. Dr. Ahmet Hamdi TOPAL / Rektör (Rector)

Editör / Editor

Doç. Dr. Ekrem MUTLU

Dil Editörü

Albaris TAHILUDDIN

Yayın Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ATAR- Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye

Prof. Dr. Nuri BAŞUSTA- Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

Prof. Dr. Sajmir BEQIRAJ- University of Tirana

Dr. Gouranga BISWAS-Kakdwip Research Centre of Central Institute of Brackishwater Aquaculture (ICAR),
India

Prof. Dr. Yaşar DURMAZ - Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye

Prof. Dr. Hünkar Avni DUYAR- Sinop Üniversitesi, Sinop, Türkiye

Prof. Dr. Kenan GÜLLÜ- Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye

Prof. Dr. Şenol GÜZEL- Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur, Türkiye

Dr. Marina SAZYKINA- Scientific Research Institute of Biology of Southern Federal University, Russia

Prof. Dr. Fazıl ŞEN- Yüzüncüyıl Üniversitesi, Van, Türkiye

Dr. Sonya UZUNOVA- Institute of Fishing Resources, Bulgaria

Prof. Dr. Telat YANIK- Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye

YAZIM KURALLARI

Yazılar, dergiye yalnızca çevrimiçi gönderi sistemi ile elektronik versiyonda aşağıdaki talimatlara göre gönderilmelidir.

Yazı gönderi tipleri

Araştırma makaleler, derleme makaleler, kısa notlar ve raporlar, editöre mektup.

- Araştırma makaleler; Daha önce yayınlanmamış olan ve 7500 kelimeyi veya 25 sayfayı geçmemesi gerekir. Orijinal tam metin araştırma makaleleri (tablolar ve resimler dahil)
- Derleme makaleler; güncel konularda ve 10.000 kelimeye veya 25 sayfa (tablolar ve şekiller dahil)
- Kısa notlar ve raporlar; ön nitelikte olabilecek çalışmayı açıklayan (tercihen tablolar ve şekiller dahil 3000 veya 10 sayfadan fazla olmamalıdır).
- Editöre Mektuplar; güncel konulara dahil edilmeli ve 2000 kelimeyi veya tablolar ve şekiller dahil 10 sayfayı geçmemelidir.

Dergi ücreti

Derginin yayın ücreti yoktur.

Yazıların Hazırlanması

Çalışmalar Türkçe veya İngilizce hazırlanmalıdır. Metninizi bir kelime işlemci yazılımı kullanarak hazırlayın ve ".doc" veya ".docx" formatlarında kaydedin. Yazılar aşağıdaki sırayla hazırlanmalıdır;

- **Başlık sayfası**
 - o Başlık (Kısa ve bilgilendirici. Kısaltmalardan ve formüllerden kaçının)
 - o Yazar isimleri ve üyelik adresleri (Tam isimler verilmeli, kısaltma yapılmamalıdır. İlgili yazar bir yıldız işaretiyle belirtilmelidir. Her üyelik adresi kurum, fakülte / okul, bölüm, şehir ve ülkeyi içermelidir)
 - o Sorumlu yazarın e-postası, telefonu, faksı ve adresi
 - o Tüm yazarlar için ORCID numarası ve e-posta adresleri.
 - o Şekil sayısı
 - o Çizelge sayısı
 - o Teşekkür (Varsa. Mutlaka minimumda tutun)
- **Ana metin**
 - o Başlık
 - o Öz (150 ile 250 kelime arasında olmalı, kaynak ve kısaltmalardan kaçınılmalıdır)
 - o Anahtar Kelimeler (Minimum 3, Maksimum 6 anahtar kelime)
 - o Giriş
 - o Materyal ve Yöntemler
 - o Bulgular
 - o Tartışma (Uygunsa Bulgular bölümü ile birleştirilebilir)
 - o Sonuçlar
 - o Etik Standartlara Uyum
 - a) Yazarların Katkıları
 - b) Çıkar Çatışması
 - c) Hayvanların Refahına İlişkin Beyan
 - d) İnsan Hakları Beyanı
 - o Kaynaklar
 - o Çizelge(ler) (metinde uygun konumda)
 - o Şekiller (metinde uygun konumda)
 - o Ekler (varsa)

Makale Formatı

Makale boyunca A4 boyutundaki kağıdın tüm kenarlarında çift aralıklı ve 25 mm kenar boşluklu referanslar, tablo başlıkları ve şekil başlıkları dahil olmak üzere 12 puntoluk bir yazı tipi kullanın

(Times New Roman). Sayfanın bütün yönlerinde 25 mm'lik kenar boşlukları kullanın. Metin tek sütun formatında olmalıdır. Yazarların şablon dosyalarını aşağıdaki bağlantılardan indirmeleri önerilir:

- Her sayfa Arap rakamları ile numaralandırılmalı ve yazının başından sonuna kadar satırlar sürekli olarak numaralandırılmalıdır.
- Vurgu için italik kullanın.
- Yalnızca SI (uluslararası sistem) birimlerini kullanın.
- Ondalık basamaklar için "nokta" kullanın.
- Tür adı için italik kullanın.

Etik Standartlara Uyum

Sorumlu yazar, kaynak listesinden önce ayrı bir bölümde makale metnine bir özet açıklama ekleyecektir. Aşağıdaki açıklama örneklerine bakın:

a) Yazarların Katkıları

Lütfen makale için yazarların katkılarını sağlayın. Ad ve soyadlarının ilk harflerini kullanın (örneğin; Yazar MO çalışmayı tasarladı, MF makalenin ilk taslağını yazdı, AF istatistiksel analizleri gerçekleştirdi ve yönetti. Tüm yazarlar son makaleyi okudu ve onayladı.).

b) Çıkar Çatışması

Mevcut herhangi bir çıkar çatışması burada verilmelidir. Çatışma yoksa, yazarlar şunları belirtmelidir: Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

c) Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

Çalışmada hayvan kullanılmışsa; Araştırma için kullanılan hayvanların refahına saygı gösterilmelidir. Hayvanlar üzerindeki deneyleri bildirirken, yazarlar aşağıdaki ifadeyi belirtmelidir:

Etik onay: Hayvanların bakımı ve kullanımı için geçerli tüm uluslararası, ulusal ve / veya kurumsal yönergelere uyulmuştur. Veya geriye dönük çalışmalar için; makale metninde bir özet beyan aşağıdaki şekilde yer almalıdır:

Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

d) İnsan Hakları Beyanı

İnsan katılımcıları içeren çalışmaları bildirirken, yazarlar aşağıdaki ifadeyi eklemelidir:

Etik onay: Çalışmalar, uygun kurumsal ve / veya ulusal araştırma etik komitesi tarafından onaylanmış ve 1964 Helsinki Bildirgesi ve daha sonra yapılan değişiklikler veya karşılaştırılabilir etik standartlarda belirtilen etik standartlara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Veya geriye dönük çalışmalar için; makale metninde aşağıdaki gibi bir özet beyan yer almalıdır:

Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

KAYNAKLAR

Metinde Alıntı:

Lütfen metinde geçen her bir atfın kaynaklar listesinde de sunulduğundan emin olun. Metindeki literatürü kronolojik olarak, ardından bu örnekler gibi alfabetik sırayla belirtin "(Elp vd., 2018; Biswas vd., 2016; Elp ve Osmanoğlu, 2019)". Atıfta bulunulan kaynak bir cümlelin konusuysa, parantez içinde yalnızca tarih verilmelidir. Bu örnek gibi biçimlendirilmiştir: "Durmaz (2007) etkinliğini araştırmıştır".

- Tek yazar: yazarın soyadı ve yayın yılı (Elp, 2017)
- İki yazar: hem yazarların soyadları hem de yayın yılı (Adem ve Elp, 2017)

• Üç veya daha fazla yazar: birinci yazarın soyadı ve ardından "ve diğerleri". ve Elp et al., 2018 yayın yılı)

Kaynaklar Listesinde Alıntı:

Kaynaklar önce alfabetik olarak sıralanmalı ve daha sonra makalenin sonunda kronolojik olarak sıralanmalıdır. Aynı yazar (lar) dan aynı yıl içinde birden fazla kaynak yayın tarihinden (2016a) sonra yerleştirilen a, b, c vb. Harflerle belirtilmelidir. Çevrimiçi olarak yayınlanan makalelerin, kitapların, çok yazarlı kitapların ve makalelerin alıntıları aşağıdaki örneklere uygun olmalıdır:

Makale:

Adem, S. S., & Elp, M. (2017). Muscle spindle and comparison of fish muscle spindle with other vertebrates. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 32(2): 113-117

Durmaz, Y. (2007). Vitamin E (alpha-tocopherol) production by the marine microalgae *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) in nitrogen limitation. *Aquaculture*, 272(4): 717-722.

Elderwish, N., M., Taştan, Y. & Sönmez, A. Y., (2019). Türkiye'nin batı karadeniz kıyı sularındaki ağır metal birikiminin mevsimsel olarak incelenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2): 1-8.

Elp, M., Osmanoglu, M. İ., Kadak, A. E., & Turan, D., (2018). Characteristics of *Capoeta oguzelii*, a new species of cyprinid fish from the Ezine Stream, Black Sea basin, Turkey (Teleostei: Cyprinidae). *Zoology in the Middle East*. 64(2): 102-111. <https://doi.org/10.1080/09397140.2018.1442295>

Sönmez, A. Y., Kale, S., Özdemir, R. C. & Kadak, A. E. (2018). An adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to predict of cadmium (Cd) concentration in the Filyos River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(12): 1333-1343. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_12_01

Kitap:

Brown, C., Laland, K. & Krause, J. (Eds.) (2011). *Fish Cognition and Behavior*. 2nd ed. Oxford, UK: Wiley-Blackwell. 472p.

Kitap bölümü:

Langston, W. J. (1990). Toxic effects of metals and the incidence of marine ecosystems, pp. 102-122. In: Furness, R. W. (Ed.), *Rainbow Heavy Metals in the Marine Environment*. New York, USA: CRC Press. 256p.

Vassallo, A. I. & Mora, M. S. (2007). Interspecific scaling and ontogenetic growth patterns of the skull in living and fossil ctenomyid and octodontid rodents (Caviomorpha: Octodontoidea). pp. 945-968. In: Kelt, D. A., Lessa, E., Salazar-

Bravo, J. A., Patton, J. L. (Eds.), *The Quintessential Naturalist: Honoring the Life and Legacy of Oliver P. Pearson*. 1st ed. Berkeley, CA, USA: University of California Press. 981p.

Tez:

Elp, M. (2002). Koçköprü baraj gölü'nde (Van) yaşayan siraz (*Capoeta capoeta*, Guldensteadt, 1772) ve inci kefali (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas, 1811) populasyonları üzerine bir araştırma. Ph.D. Thesis. İstanbul University, İstanbul, Turkey.

Konferans bildirimleri:

Notev, E. & Uzunova, S. (2008). A new biological method for water quality improvement. *Proceedings of the 2nd Conference of Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment Plants, Greece*, pp. 487-492.

Enstitü yayınları:

FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all*. Rome. 200 pp.

Rapor:

FAO. (2018). Report of the ninth session of the Sub-Committee on Aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1188*. Rome, Italy.

İnternet kaynakları:

Froese, R. & Pauly, D. (Eds.) (2018). *FishBase*. World Wide Web electronic publication. Retrieved on January 11, 2018 from <http://www.fishbase.org>.

TurkStat. (2019). *Fishery Statistics*. Retrieved on December 28, 2019 from <http://www.turkstat.gov.tr/>

Çizelge(ler)

Arapça olarak numaralandırılmış çizelgeler, üstte kısa bir açıklayıcı başlık ile ayrı sayfalarda yer almalıdır. Dipnotları çizelge gövdesinin altındaki tablolara yerleştirin ve bunları küçük harflerle (veya anlamlılık değerleri ve diğer istatistiksel veriler için yıldız işaretleriyle) belirtin. Dikey kurallardan kaçınm. Çizelgelerde sunulan veriler, makalenin başka bir yerinde açıklanan sonuçları tekrar etmemelidir.

Şekil(ler)

Metinde tüm resimler 'Şekil' olarak etiketlenmeli ve ardışık Arapça rakamlarla, Şekil 1, Şekil 2 vb. İle numaralandırılmalıdır. Bir şeklin panelleri etiketlenmişse (a, b, vb.), Metinde bu panellere atıfta bulunurken aynı durumu kullanın. Şekillerin PNG, JPEG gibi elektronik formatlarda olması önerilir. TIFF (min. 300 dpi) de mevcut boyutlarda düzenlenmelidir. Tüm şekiller veya tablolar metin içinde sunulmalıdır. Yazı tipi boyutları 9 ila 11 punto arasında olmalıdır.

WRITING RULES

Manuscripts must be submitted to the journal in electronic version only via online submission system according to the guidelines below:

Types of Paper

Research articles, reviews articles, short communications, letters to the editor.

- Research articles: original full-length research papers which have not been published previously and should not exceed 7500 words or 25 manuscript pages (including tables and figures)
- Reviews article: on topical subjects and up to 10000 words or 25 manuscript pages (including tables and figures)
- Short communications: describing work that may be of a preliminary nature; preferably no more than 3000 words or 10 manuscript pages (including tables and figures).
- Letters to the editor: should be included on matters of topical interest and not exceeding 2000 words or 10 manuscript pages (including tables and figures)

Page charges

This journal has no page charges.

Preparation of Manuscripts

Papers must be written in Turkish and English. Prepare your text using a word-processing software and save in “.doc” or “.docx” formats. Manuscripts must be structured in the following order:

- **Title page file**
 - o Title (Concise and informative. Avoid abbreviations and formulae)
 - o Author names and affiliation addresses (Full names should be given, no abbreviations. The corresponding author should be identified with an asterisk. Each affiliation address should include institution, faculty/school, department, city, and country)
 - o Corresponding author’s e-mail, telephone, fax, and address
 - o ORCID number and e-mail addresses for all authors.
 - o Number of figures
 - o Number of tables
 - o Acknowledgements (If applicable. Keep these to the absolute minimum)
- **Main file**
 - o Title
 - o Abstract (Should be between 150 and 250 words. References and abbreviations should be avoided)
 - o Keywords (Minimum 3, Maximum 6 keywords)
 - o Introduction
 - o Material and Methods
 - o Results
 - o Discussion (Can be combined with Results section if appropriate)
 - o Conclusion
 - o Compliance with Ethical Standards
 - a) Authors' Contributions
 - b) Conflict of Interest
 - c) Statement on the Welfare of Animals
 - d) Statement of Human Rights
 - o References
 - o Table(s) with caption(s) (on appropriate location in the text)
 - o Figure(s) with caption(s) (on appropriate location in the text)
 - o And appendices (if any)

Manuscript formatting

Use a 12-point Times New Roman font, including the references, table headings and figure captions, double-spaced and with 25 mm margins on all sides of A4 size paper throughout the manuscript. The text should be in single-column format. The authors are encouraged to download the template files from the links below:

- Each page must be numbered with Arabic numerals, and lines must be continuously numbered from the start to the end of the manuscript.
- Use italics for emphasis
- Use only SI (international system) units.
- Use “dot” for decimal points.
- Use italics for species name.

Compliance with Ethical Standards

The corresponding author will include a summary statement in the text of the manuscript in a separate section before the reference list. See below examples of disclosures:

a) Authors’ Contributions

Please provide contributions of authors for the paper. Use first letters of name and surnames (e.g.; Author MO designed the study, MF wrote the first draft of the manuscript, AF performed and managed statistical analyses. All authors read and approved the final manuscript.).

b) Conflict of Interest

Any existing conflict of interest should be given here. If no conflict exists, the authors should state:

Conflict of Interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

c) Statement on the Welfare of Animals

If animals used in the study; The welfare of animals used for research must be respected. When reporting experiments on animals, authors should indicate the following statement: Ethical approval: All applicable international, national, and/or institutional guidelines for the care and use of animals were followed. Or, for retrospective studies; a summary statement in the text of the manuscript should be included as follow: Ethical approval: For this type of study, formal consent is not required.

d) Statement of Human Rights

When reporting studies that involve human participants, authors should include the following statement:

Ethical approval: The studies have been approved by the appropriate institutional and/or national research ethics committee and have been performed in accordance with the ethical standards as laid down in the 1964 Declaration of Helsinki and its later amendments or comparable ethical standards. Or, for retrospective studies; a summary statement in the text of the manuscript should be included as follow:

Ethical approval: For this type of study, formal consent is not required.

REFERENCES

Citation in text;

Please ensure that each reference cited in the text is also presented in the reference list. Cite literature in the text in chronological, followed by alphabetical order like these examples "(Elp et al., 2018; Biswas et al., 2016; Elp and Osmanoğlu, 2019)". If the cited reference is the subject of a sentence, only the date should be given in parentheses. Formatted like this example: “Durmaz (2007) investigated the efficacy of...”.

- Single author: the author's surname and the year of publication (Elp, 2017)
- Two authors: both authors' surnames and the year of publication (Adem and Elp, 2017)
- Three or more authors: first author's surname followed by "et al." and the year of publication (Elp et al., 2018)

Citation in the reference list:

References should be listed first alphabetically and then further sorted chronologically at the end of the article. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters a, b, c, etc. placed after the year of publication (2016a). The citation of articles, books, multi-author books and articles published online should conform to the following examples:

Article:

Adem, S. S., & Elp, M. (2017). Muscle spindle and comparison of fish muscle spindle with other vertebrates. *Alinteri Journal of Agriculture Sciences*, 32(2): 113-117

Durmaz, Y. (2007). Vitamin E (alpha-tocopherol) production by the marine microalgae *Nannochloropsis oculata* (Eustigmatophyceae) in nitrogen limitation. *Aquaculture*, 272(4): 717-722.

Elderwish, N., M., Taştan, Y. & Sönmez, A. Y., (2019). Türkiye'nin batı karadeniz kıyı sularındaki ağır metal birikiminin mevsimsel olarak incelenmesi. *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 5(2): 1-8.

Elp, M., Osmanoglu, M. İ., Kadak, A. E., & Turan, D., (2018). Characteristics of *Capoeta oguzelii*, a new species of cyprinid fish from the Ezine Stream, Black Sea basin, Turkey (Teleostei: Cyprinidae). *Zoology in the Middle East*. 64(2): 102–111. <https://doi.org/10.1080/09397140.2018.1442295>

Sönmez, A. Y., Kale, S., Özdemir, R. C. & Kadak, A. E. (2018). An adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to predict of cadmium (Cd) concentration in the Filyos River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(12): 1333-1343. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_12_01

Book:

Brown, C., Laland, K. & Krause, J. (Eds.) (2011). *Fish Cognition and Behavior*. 2nd ed. Oxford, UK: WileyBlackwell. 472p.

Chapter:

Langston, W. J. (1990). Toxic effects of metals and the incidence of marine ecosystems, pp. 102-122. In: Furness, R. W. (Eds.), *Rainbow Heavy Metals in the Marine Environment*. New York, USA: CRC Press. 256p.

Vassallo, A. I. & Mora, M. S. (2007). Interspecific scaling and ontogenetic growth patterns of the skull in living and fossil

ctenomyid and octodontid rodents (Caviomorpha: Octodontoidea). pp. 945-968. In: Kelt, D. A., Lessa, E., Salazar-Bravo, J. A., Patton, J. L. (Eds.), *The Quintessential Naturalist: Honoring the Life and Legacy of Oliver P. Pearson*. 1st ed. Berkeley, CA, USA: University of California Press. 981p.

Thesis:

Elp, M. (2002). Koçköprü baraj gölü'nde (Van) yaşayan siraz (*Capoeta capoeta*, Guldensteadt, 1772) ve inci kefali (*Chalcalburnus tarichi*, Pallas, 1811) populasyonları üzerine bir araştırma. Ph.D. Thesis. İstanbul University, İstanbul, Turkey.

Conference Proceedings:

Notev, E. & Uzunova, S. (2008). A new biological method for water quality improvement. *Proceedings of the 2nd Conference of Small and Decentralized Water and Wastewater Treatment Plants, Greece*, pp. 487-492.

Institution Publication:

FAO. (2016). *The State of World Fisheries and Aquaculture: Contributing to food security and nutrition for all*. Rome. 200 pp.

Report:

FAO. (2018). Report of the ninth session of the Sub-Committee on Aquaculture. *FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1188*. Rome, Italy.

Internet Source:

Froese, R. & Pauly, D. (Eds.) (2018). *FishBase*. World Wide Web electronic publication. Retrieved on January 11, 2018 from <http://www.fishbase.org>.

TurkStat. (2019). *Fishery Statistics*. Retrieved on December 28, 2019 from <http://www.turkstat.gov.tr/>

Table(s)

Tables, numbered in Arabic, should be in separate pages with a short descriptive title at the top. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters (or asterisks for significance values and other statistical data). Avoid vertical rules. The data presented in tables should not duplicate results described elsewhere in the article.

Figure(s)

All illustrations should be labelled as 'Figure' and numbered in consecutive Arabic numbers, Figure 1, Figure 2 etc. in the text. If panels of a figure are labelled (a, b, etc.) use the same case when referring to these panels in the text. Figures are recommended to be in electronic formats such as PNG, JPEG. TIFF (min. 300 dpi) should be also arranged in available dimensions. All figures or tables should be presented in the body of the text. Font sizes size should be from 9 to 11 points.

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARASTIRMA / RESEARCH

Gene Expression Analysis in Freshwater Mussels (*Unio stevenianus*) Collected from Pollutant-Associated Environment

Ertuğrul KANKAYA, Ataman Altuğ ATICI 1-7

Utilization of Fish By-Products for Sustainable Aquaculture: Nutritional Analysis of Fishmeal derived from the By-Products of *Oncorhynchus mykiss*

Barış BAYRAKLI..... 8-14

Farklı Su Sıcaklıklarında Gül Ağacı (*Aniba rosaeodora*) Esansiyel Yağının ve 2-fenoksietanolün Japon Balığı (*Carassius auratus*) Üzerindeki Anestezik Etkileri

Anaesthetic Effects of Rosewood (*Aniba rosaeodora*) Essential Oil and 2-phenoxyethanol on Goldfish (*Carassius auratus*) at Different Water Temperatures

Barış ŞAHİN, Volkan KIZAK 15-26

Karadeniz Kıyılarında Ticari Dip Trol Ağları ile Avlanan Hedef Tür, Hedef Dışı Av ve Iskartanın Birim Çabadaki Av Miktarının (BÇAM) Belirlenmesi

The Determination of Catch Per Unit Effort Catch (CPUE) of Target Species, By-catch and Discard Captured by Commercial Demersal Trawl Nets in Black Sea Shores

Hakan AKSU, Osman SAMSUN, Süleyman ÖZDEMİR..... 27-39

DERLEME / REVIEW

Effects of Cadmium and Nickel on Embryonic Development of Fish: A Review

Balıkların Embriyonik Gelişimi Üzerinde Kadmiyum ve Nikelin Etkileri: Bir Derleme

Saima NAZ, Ahmad Manan Mustafa CHATHA, Durah DANABAS 40-51



Gene Expression Analysis in Freshwater Mussels (*Unio stevenianus*) Collected from Pollutant-Associated Environment

Ertuğrul KANKAYA^{1*}, Ataman Altuğ ATICI²

¹ Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Fisheries, Department of Basic Sciences, Van/Türkiye

² Van Yuzuncu Yil University, Faculty of Fisheries, Department of Basic Sciences, Van/Türkiye

*E-mail: ekankaya@yyu.edu.tr

Article Info

Received:
12/09/2023
Accepted:
20/12/2023

Keywords:

- Cox Gene
- Karasu River
- Real-Time PCR
- Unionid Bivalves
- Van Lake Basin
- Bioindicator

Abstract

Common pollutants found in rivers include sewage, pesticides, heavy metals, nutrients from agricultural runoff, and pathogens. The resulting pollution can alter the physiological processes of living systems and cause environmental stress in aquatic environments. The need to monitor the effects of pollution in aquatic ecosystems has been driven by environmental and human health concerns. Freshwater mussels, which play an important role in freshwater ecosystems, are constantly exposed to a wide variety of contaminants as filter feeders. The sessile nature of mussels and their relatively long life span make them useful indicator species for monitoring and assessment of water quality. The aim of this study is to determine physiological stress in *Unio stevenianus* living in Karasu River, whose pollution level is increasing daily, by *Cox* gene expression. Real-time PCR analysis using β -actin as a reference gene was used for gene expression. The expression level of the *Cox* gene was higher in the Zeve Region than in the Arisu Region. The lower level in Arisu region indicates that water quality criteria are better in this region than in Zeve Region. Expression studies should be carried out in *U. stevenianus* by selecting different genes specific to certain pollutants.

Atf bilgisi/Cite as: Kankaya E. & Atıcı A.A. (2023). Gene Expression Analysis in Freshwater Mussels (*Unio stevenianus*) Collected from Pollutant-Associated Environment. Menba Journal of Fisheries Faculty, 9(2), 1-7. 10.58626/menba.1358877

INTRODUCTION

Mussels are invertebrate animals belonging to the class of molluscs. They are found all over the world in fresh and salt waters. The Unionidae family is rich in species diversity, with all members living in freshwater (Joyon, 2020). Freshwater mussels are an essential component of aquatic ecosystems and provide important ecosystem functions and services (Haukenes, 2013; Klishko et al., 2017). Mussels are sessile animals. As they are organisms that obtain their food by filtering the water, they play a role in the filtration of organic matter, bacteria and plankton from the water body (Çetinkaya, 1996; Acarlı et al., 2023). Mussels face persistent and widespread anthropogenic pressures in their aquatic environment. These include excessive nutrient inputs, exposure to toxic substances, sediment loads from agricultural activities, microplastics, changes in hydrological regime, and global climate change. Mussels have become an important indicator for assessing the impact of pollution on aquatic life due to their habitat, nutritional and physiological characteristics (Franzellitti et al., 2010; Haukenes, 2013; Atıcı et al., 2018; Atıcı, 2020; Atıcı, 2022). With their physiological adaptations, freshwater mussels are mostly able to reduce environmental stressors (Roznere et al., 2018). Important insights for ecological research are provided by the stress-specific expression of cellular proteins in response to exogenous stress and the resulting physiological change. Recently, ecological studies have begun to focus more on the monitoring of various bioindicators to minimize threats to aquatic ecosystem (Viarengo et al., 2007). In this context, the study of gene expression can be an effective method to understand the response of freshwater mussels to many environmental stressors at the biomolecular level (Joyon, 2020; Mehni, 2021).

There are studies that show that physiologically important genes of mussel species are significantly expressed in response to stress and exposure to pollutants. These studies were carried out on gene expression in *Mytilus edulis* held in a copper-polluted region (Dondero et al., 2006); expression of heavy metal-related genes in *Mytilus galloprovincialis* held in the Tunisia coastal region (Banni et al., 2007); expression of stress-related genes in *M. galloprovincialis* exposed to pollutants found on the northern Adriatic coast (Franzellitti et al., 2010).

The *Cox* gene, which was selected as the target gene in the current study, catalyzes the rate-limiting step in the production of prostaglandins, bioactive compounds that are involved in processes such as fever and pain sensitization. It is a target of aspirin-like drugs (Chandrasekharan and Simmons, 2004). There are studies done by different researchers to express *Cox* gene in mussels. These include freshwater mussel (*Elliptio complanata*) exposed to heavy metal contamination (Gagne et

al., 2007); gonads of *M. edulis* exposed to estrogenic contaminants (Cubero-Leon et al., 2010); *M. galloprovincialis* exposed to hypoxia (Woo et al., 2013); zebra mussel (*Dreissena polymorpha*) associated with metal bioaccumulation (Kerambrun et al., 2016); freshwater mussel (*D. polymorpha*) exposed to samarium and yttrium (Hanana et al., 2018).

This study aimed to determine physiological stress by *Cox* gene expression in freshwater mussels (*Unio stevenianus*, Krynicki 1837) living in the Karasu River, particularly exposed to domestic and agricultural waste load.

MATERIAL and METHOD

Mussel collection

A total of 12 mussel samples were collected from two different locations [Arisu (38°36'20.75" N, 43°14'48.61" E) and Zeve (38°35'45.13" N, 43°13'57.26" E)] of the Karasu River (Figure 1). Morphometric measurements were made on the live specimens brought to the laboratory (Figure 2). Then, a sample of 0.5 g was taken from the whole tissue of the mussel to be used in the gene expression analysis, and the isolation procedures were started.

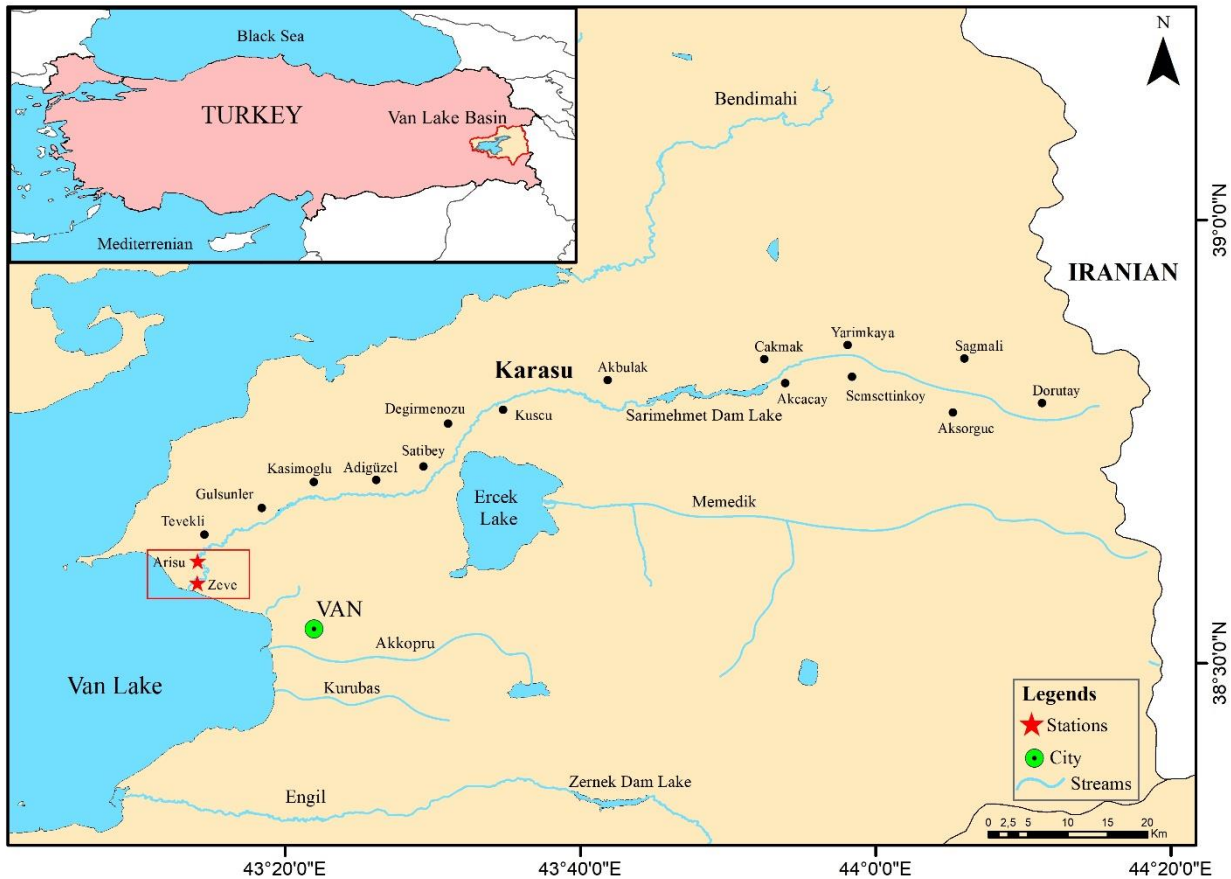


Figure 1. Karasu River and mussel sampling points



Figure 2. Mussel samples collected from Karasu River. (L: Shell length, H: Shell height, W: Shell width)

RNA isolation

A total of 25 mg of tissue was taken from the mussel samples and the isolation was performed using the RNeasy Mini Kit (Qiagen) in the QIAcube instrument. The protocol of the QIAcube instrument was optimized for RNA isolation during the elution stage. The isolation procedures were performed in the following order:

- Add 350 μ L RTL buffer to 25 mg tissue and homogenize in Tissue Lyser LT (Qiagen),
- Transfer the homogenate to a 2 mL eppendorf tube, add 600 μ L 70% ethanol and pipette,
- Centrifuge at 8000 x g for 15 seconds,
- Transfer the supernatant to spin columns,
- Add 700 μ L buffer RW1 and centrifuge at 8000 x g for 15 seconds,
- Add 500 μ L buffer RPE to the spin column and centrifuge at 8000 x g for 15 seconds,
- Add 500 μ L buffer to the RPE spin columns and centrifuge at 8000 x g for 2 minute,
- Add 30 μ L RNase free water and centrifuge at 8000 x g for 1 min,
- Obtaining RNA elutions (Önalın, 2019).

cDNA synthesis

All steps of cDNA synthesis were performed on a cold plate at +4 °C. RT² First Strand cDNA synthesis kit (Qiagen) was used for cDNA synthesis. The following procedures were carried out in the following order:

- Adjustment of isolated RNAs at 1 ng/ μ L in a nanospectrophotometer (QIAxpert, Qiagen),
- Completion of the total volume to 10 μ L with ultrapure water,
- Addition of 2 μ L GE Buffer,
- Incubation of the mixture in a thermal cycler at 42 °C for 5 min,
- After incubation, 5X Reaction Buffer 4 μ L, Primer 2 μ L, Reverse Transcriptase Mix 2 μ L were added,
- Keeping the samples at 42 °C for 15 minutes, followed by incubation in a thermal cycler at 95 °C for 5 min (Schwartz et al., 2020).

Gene expression analysis

Real-Time PCR analysis was performed using cDNA products, RotorGene Q 9000 (Qiagen) and RT² SYBRGreen qPCR Master Mix (Qiagen). In gene expression analysis, β -actin was selected as the reference gene. Cox gene was identified as the target gene by sequence data from NCBI gene bank and primers were synthesized. The primers used in the study and their properties are given in Table 1.

Table 1. Primers used in the study and their properties

Gene	Sequence F	tm	bp	Sequence R	bp	tm
<i>β-actin</i>	CTCTTGATTTTCGAGCAGGAAA	60	21	AGGATGGTTGGAATAATGATT	21	60
<i>Cox</i>	TTGGGCATCAGTGGTATTGA	60	20	GACCAGGAATGGCATCAACT	20	60

PCR mix was prepared by adding 12.5 μ L SYBRGreen qPCR Master Mix (Qiagen), 1 μ L Forward, 1 μ L Reverse Primer and 5.5 μ L ultrapure water. 5 μ L of cDNA was added. Under PCR cycling conditions, the Real-Time PCR protocol was completed with denaturation at 95 °C for 30 seconds and 40 cycles of 5 cycles at 95 °C and 30 seconds at 60 °C.

Statistical analysis

After PCR analysis, gene expression levels were determined with $2^{-\Delta\Delta ct}$ -log values using ct values. Normalized values were analyzed by one-way ANOVA, Duncan multiple comparison test to determine the significance of differences between mean values, and paired data differences were analyzed by Student *t*-test for test groups. Statistical difference level was used as $p < 0.05$ (Önalın and Çevik, 2020; Xie et al., 2023).

RESULTS AND DISCUSSION

Morphometric measurements

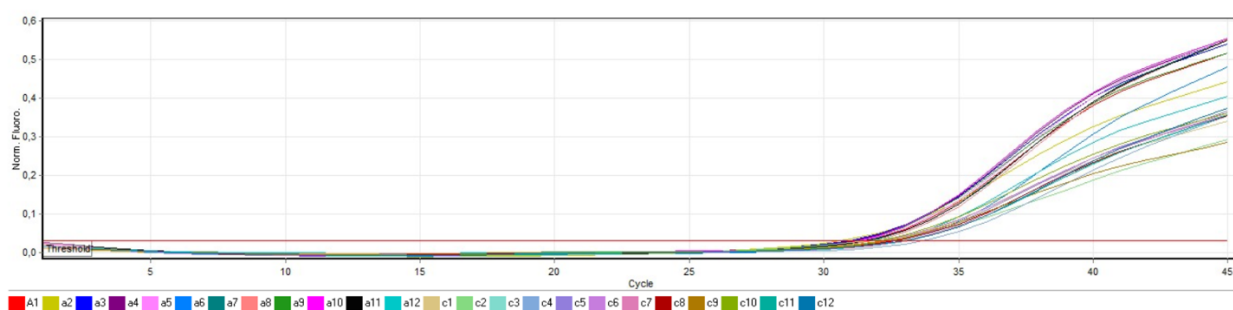
Morphometric values of the mussels collected from the sampling points are given in Table 2.

Table 2. Mean morphometric values±standard deviation of mussels collected from Arisu and Zeve stations (n=12)

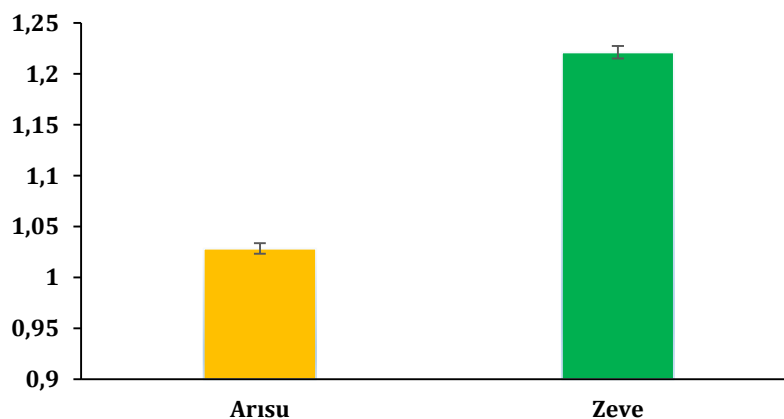
	Stations	
	Arisu	Zeve
Total weight (g)	43.1±3.8	42.3±5.6
Shell length (cm)	6.4±0.1	6.5±0.3
Shell height (cm)	3.4±0.1	3.3±0.1
Shell width (cm)	2.5±0.1	2.4±0.1
Shell weight (g)	26.7±2.4	26.5±4.6
Soft tissue weight (g)	6.9±0.5	7.9±1.2

Gene expression analysis

In the Real-Time PCR results of the β -actin gene, which was used as a housekeeping gene in the study, the automatic threshold value was determined by the device as 0.03. It was observed that all samples were above the threshold value and gave a ct value. *Cox* gene expression values were determined using housekeeping gene ct values. Real-Time PCR result of β -actin gene is given in Figure 3.

**Figure 3.** Real-Time PCR results of β -actin and *Cox* genes

The expression of *Cox* gene expression levels generated by fold values and $2^{-\Delta\Delta ct}$ -log values after normalization and formulation of ct values obtained from *Cox* gene Real-Time PCR results are given in Figure 4.

**Figure 4.** *Cox* gene expression levels observed as a result of gene expression analysis (n=12)

In the results of *Cox* gene expression, an up-regulation of 0.19 fold was observed in the Zeve samples compared to the Arisu group. According to β -actin reference gene, it was observed that there was a significant difference between *Cox* gene expression levels in Arisu and Zeve Regions. The expression ratio of 1.02 for Arisu samples was found to be 1.22 for Zeve samples.

The composition and quantity of wastes discharged into the aquatic environment without adequate treatment has increased due to the increasing number of settlements near rivers. These pollutant loads have adversely affected the Karasu River and its inhabitants (Atıcı, 2022; Kankaya and Atıcı, 2023). This study attempted to determine the effect of physiological stress on *Cox* gene expression in freshwater mussel (*U. stevenianus*) as a result of river pollution.

According to the results obtained, the expression level of *Cox* gene, which is reported to be strongly affected by environmental impacts and water quality criteria, was higher in the Zeve Region. Similar studies on *Cox* gene expression have

also been carried out on mussels found or kept in different geographical areas contaminated by specific pollutants. In these studies, it was reported that the gene activation increased in terms of both gene number and expression change and changed depending on the increase in copper pollution in the study conducted with *M. edulis* kept in the area where copper pollution was found (Dondero et al., 2006). The relationship of bioaccumulation of cadmium, copper, lead, nickel and zinc in *D. polymorpha* with *Cox* gene expression was studied and the gene was significantly expressed with bioaccumulation (Kerambrun et al., 2016). In addition, they reported that *Cox* gene expression was significantly suppressed in *M. galloprovincialis* experimentally maintained in hypoxic environment (Woo et al., 2013). *Cox* gene expression level decreased in *M. edulis* experimentally exposed to estrogenic contaminants (Cubero-Leon et al., 2010). It is observed that *Cox* gene expression tends to decrease or increase in mussels experimentally exposed to contaminants or selected chemicals in the aquatic environment. In clinging mussels, chemical accumulation in their tissues after chemical exposure causes physiological stresses that trigger gene expression (Joyon, 2020). The variability in expression levels is thought to be due to the difference in the target physiological mechanisms of the toxic effects of chemicals and the duration of exposure.

Many freshwater mussel populations are declining worldwide. Unionid species are either threatened or endangered (Klishko et al., 2017). Deteriorating water quality is one of the most important reasons for the decline of freshwater mussels. With growing interest in the effects of pollutant mixtures and emerging contaminants of concern, gene expression-based studies can increase our understanding of the mode of action and interactions of various chemical and biological pollutants (Roznere et al., 2018). The low expression level of *Cox* gene in Arisu Region indicates that water quality criteria in this region are better than in Zeve Region.

CONCLUSION

It is expected that this study on mussels, which are a model for determining both heavy metal levels and bioaccumulation of other pollutants, will be a reference for studies that will be evaluated with more comprehensive results by adding different geographical regions and genes. In addition, it could help future ecological research to identify marker genes for the assessment of water pollution.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Authors' Contributions

1. E. K.: Performed the mussels sample work, designed the study, carried out the laboratory work, interpreted data and prepared the article.

2. A. A. A.: Performed the mussels sample work, prepared the article.

Conflict of Interests

The authors declare that there is no conflict of interest.

Statement on the Welfare of Animals

Not applicable.

Statement of Human Rights

Not applicable.

Acknowledgements

We would like to thank İlknur Simge ÜNAL ATICI for field work and Assoc. Prof. Şükrü ÖNALAN for laboratory analysis.

REFERENCES

- Acarlı, S., Vural, P., & Yıldız, H. (2023). An assessment of the cultivation potential and suitability for human consumption of Mediterranean mussels (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck, 1819) from the Yalova coast of the Marmara Sea. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, 9(1), 12–24. <https://doi.org/10.58626/menba.1282775>
- Atıcı, A. A. (2020). A research on detergent, boron, chemical and biological oxygen demand with the levels of phosphorus and nitrogen compounds in Karasu Stream (Van). *International Engineering and Natural Sciences Conference (IENSC)*, Türkiye, pp. 43–46.
- Atıcı, A. A. (2022). The first evidence of microplastic uptake in natural freshwater mussel, *Unio stevenianus* from Karasu River, Turkey. *Biomarkers*, 27(2), 118–126. <https://doi.org/10.1080/1354750X.2021.2020335>
- Atıcı, A. A., Elp, M., & Şen, F. (2018). The effects of sand pits and sand extractions region on Karasu Stream (Van) to water quality criteria. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(10), 6583–6590.
- Banni, M., Dondero, F., Jebali, J., Guerbej, H., Boussetta, H., & Viarengo, A. (2007). Assessment of heavy metal contamination using real-time pcr analysis of mussel metallothionein *mt10* and *mt20* expression: A validation along the Tunisian Coast. *Biomarkers*, 12(4), 369–383. <https://doi.org/10.1080/13547500701217061>

- Çetinkaya, O. (1996). A freshwater mussel species *Unio stevenianus* Krynicky 1837 (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) from the River Karasu flowing into Lake Van, Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 20(2), 169–173.
- Chandrasekharan, N. V., & Simmons, D. L. (2004). The cyclooxygenases. *Genome Biology*, 5, 241. <https://doi.org/10.1186/gb-2004-5-9-241>
- Cubero-Leon, E., Ciocan, C. M., Hill, E. M., Osada, M., Kishida, M., Itoh, N., Kondo, R., Minier, C., & Rotchell, J. M. (2010). Estrogens disrupt serotonin receptor and cyclooxygenase mRNA expression in the gonads of mussels (*Mytilus edulis*). *Aquatic Toxicology*, 98(2), 178–187. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2010.02.007>
- Dondero, F., Dagnino, A., Jonsson, H., Capri, F., Gastaldi, L., & Viarengo, A. (2006). Assessing the occurrence of a stress syndrome in mussels (*Mytilus edulis*) using a combined biomarker/gene expression approach. *Aquatic Toxicology*, 78, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2006.02.025>
- Franzellitti, S., Buratti, S., Donnini, F., & Fabbri, E. (2010). Exposure of mussels to a polluted environment: insights into the stress syndrome development. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 154(1), 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2010.02.010>
- Gagne, F., Gagnon, C., Turcotte, P., & Blaise, C. (2007). Changes in metallothionein levels in freshwater mussels exposed to urban wastewaters: Effects from exposure to heavy metals? *Biomarker Insights*, 2, 107–116. <https://doi.org/10.1177/1177271907002000>
- Hanana, H., Turcotte, P., Dube, M., Gagnon, C., & Gagne, F. (2018). Response of the freshwater mussel, *Dreissena polymorpha* to sub-lethal concentrations of samarium and yttrium after chronic exposure. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 165, 662–670. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.047>
- Haukenes, K. (2013). Genotoxic effects of PFOA and fluoranthene on blue mussels (*Mytilus edulis*). Master Thesis. Oslo University, Oslo, Norway.
- Joyon, M. H. (2020). Transcriptomic analysis on freshwater mussels for identification of potential biomarkers to monitor water ecosystems. Master Thesis. Skövde University, Skövde, Sweden.
- Kankaya, E., & Atıcı, A. A. (2023). Biochemical effects of environmental pollutants in *Alburnus timarensis* (Kuru, 1980) and *Capoeta kosswigi* (Karaman, 1969) caught from the Karasu River (Van). 10th International Zeugma Conference on Scientific Research, Türkiye, p. 311.
- Kerambrun, E., Rioult, D., Delahaut, L., Evariste, L., Pain-Devin, S., Auffret, M., Geffard, A., & David, E. (2016). Variations in gene expression levels in four european zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, populations in relation to metal bioaccumulation: A field study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 134, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.08.018>
- Klishko, O., Lopes-Lima, M., Froufe, E., Bogan, A., Vasiliev, L., & Yanovich, L. (2017). Taxonomic reassessment of the freshwater mussel genus *Unio* (Bivalvia: Unionidae) in Russia and Ukraine based on morphological and molecular data. *Zootaxa*, 4286(1), 93–112. <https://doi.org/10.11646/ZOOTAXA.4286.1.4>
- Mehni, F. (2021). Genomic Sequencing of Freshwater Mussel *Unio tumidus* using the Minion. Master Thesis. Skövde University, Skövde, Sweden.
- Önalın, Ş. (2019). Expression differences of stress and immunity genes in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum 1792) with different bacterial fish diseases. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 71, 1–10.
- Önalın, Ş., Çevik, M. (2020). Investigation of the effects of some phytochemicals on *Yersinia ruckeri* and antimicrobial resistance. *Brazilian Journal of Biology*, 80(4), 934–942. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.234969>
- Roznere, I., Sinn, B. T., & Watters, G. T. (2018). The *Amblema plicata* transcriptome as a resource to assess environmental impacts on freshwater mussels. *Freshwater Mollusk Biology and Conservation*, 21(2), 57–64. <https://doi.org/10.31931/fmbc.v21i2.2018.57-64>
- Schwartz, K., Henzel, M. K., Ann Richmond, M., Zindle, J. K., Seton, J. M., Lemmer, D. P., Alvarado, N., & Bogie, K. M. (2020). Biomarkers for recurrent pressure injury risk in persons with spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 43(5), 696–703. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1645406>
- Viarengo, A., Lowe, D., Bolognesi, C., Fabbri, E., & Koehler, A. (2007). The use of biomarkers in biomonitoring: a 2-tier approach assessing the level of pollutant-induced stress syndrome in sentinel organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part C*, 146(3), 281–300. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2007.04.011>
- Woo, S., Denis, V., Won, H., Shin, K., Lee, G., Lee, T. K., & Yum, S. (2013). Expressions of oxidative stress-related genes and antioxidant enzyme activities in *Mytilus galloprovincialis* (Bivalvia, Mollusca) exposed to hypoxia. *Zoological Studies*, 52, 15. <https://doi.org/10.1186/1810-522X-52-15>

Xie, X., Huang, Z., Lv, W., Zhu, H., Hui, G., Li, R., Lei, X., & Li, Z. (2023). Influence of nitrogen application rate on the importance of NO_3^- -N and NH_4^+ -N transfer via extramycelia of *Arbuscular mycorrhiza* to tomato with expression of *LeNRT2.3* and *LeAMT1.1*. *Plants*, 12(2), 314. <https://doi.org/10.3390/plants12020314>



Utilization of Fish By-Products for Sustainable Aquaculture: Nutritional Analysis of Fishmeal derived from the By-Products of *Oncorhynchus mykiss*

Barış BAYRAKLI

Sinop University, Department of Fisheries, Vocational School, Sinop/Türkiye

E-mail: barisbayrakli@gmail.com

Article Info

Received:

15/09/2023

Accepted:

20/12/2023

Keywords:

- Fishmeal
- Sustainable Aquaculture
- Salmon By-Products
- Nutritional Composition
- Waste Management

Abstract

This study aims to investigate the nutritional composition of fishmeal derived from the by-products of *Oncorhynchus mykiss*, commonly known as Turkish Salmon, cultured in the Black Sea. The findings indicate that the obtained fishmeal possesses high crude protein content ($65.22 \pm 0.118\%$) and crude fat content ($9.28 \pm 0.139\%$). Additionally, the energy value of the fishmeal was determined to be 358.75 ± 3.633 kcal/g. Mineral substance analysis reveals significant levels of calcium, phosphorus, and magnesium in the fishmeal. Heavy metal analysis results indicate arsenic, lead, cadmium, and mercury contents of 3.51 ± 0.470 , 1.46 ± 0.136 , 0.15 ± 0.004 , and 0.007 ± 0.012 mg/kg, respectively. These findings suggest that fishmeal derived from processing residues of Turkish Salmon offers high nutritional value and could be considered as an alternative raw material for sustainable aquaculture. This study is expected to contribute significantly to waste management and sustainability efforts in the fish processing industry.

Atıf bilgisi/Cite as: Bayraklı B. (2023). Utilization of Fish By-Products for Sustainable Aquaculture: Nutritional Analysis of Fishmeal derived from the By-Products of *Oncorhynchus mykiss*. Menba Journal of Fisheries Faculty, 9(2), 8-14. <https://doi.org/10.58626/menba.1360875>

INTRODUCTION

As the world's population continues to grow, there is an anticipation of increased demand for seafood, but changing climatic conditions are expected to reduce fishing yields (Tacon, 2002). In this context, the aquaculture sector plays a critical role in ensuring the nutrition of the global population. According to data from the Food and Agriculture Organization (FAO, 2019), the aquaculture sector has become the fastest-growing food production sector worldwide, with an average annual growth rate of 6.6% in the last decade (Bayraklı et al., 2019; Bayraklı & Duyar, 2021b; Duyar & Bayraklı, 2023). Currently, half of the global seafood production is sourced from aquaculture, and it is expected that aquaculture will surpass wild-caught fisheries in the near future (FAO, 2019).

In Turkey, the aquaculture sector has also been rapidly expanding, reaching 515,000 tons in 2021, which is 1.54 times the quantity obtained from wild-caught fisheries (TÜİK, 2023). This growth has led to an increasing demand for fishmeal and fish oil, with inevitable price hikes due to production limitations (Bayraklı & Duyar, 2019a, 2019b; Kristofersson & Anderson, 2004). Consequently, the costs associated with farmed fish are closely tied to the prices of fishmeal (Bayraklı et al., 2019; Bayraklı & Duyar, 2005; Duyar & Bayraklı, 2023). Despite their high costs, fishmeal and fish oil are indispensable for fish nutrition, and suitable alternatives are limited (Bayraklı & Duyar, 2021a; Einarsson et al., 2019).

In Turkey, the fishmeal market cannot meet domestic demand due to insufficient raw material supply (Bayraklı & Duyar, 2021a). Therefore, the factories supplying feed to the aquaculture sector in our country need to import a significant portion of the required fishmeal. However, considering the growth trend in the aquaculture sector, an increase in fishmeal imports is anticipated. Thus, for the country's economy, it is crucial for Turkey to explore alternative raw materials in the fishmeal sector and adopt sustainable policies (Bayraklı & Duyar, 2021b).

While fishmeal production based on fishery catches is limited worldwide, the potential for using fish by-products and waste is significant as aquaculture production increases. According to TÜİK (2023) data, while the Black Sea Salmon produced on land and in the sea in Turkey was 123 089 tons in 2019, this production reached 191 500 tons in 2022. This upward trend in production, particularly in sea-based operations, leads to a proportional increase in by-products. These by-products encompass fish parts removed before reaching consumers to maintain fish quality, reduce transportation costs, or enhance the value of the main fish product. They contain substantial amounts of fat and protein, making them valuable resources for human consumption

and animal feed, from a nutritional and food safety perspective (Ramirez, 2007). The primary components of aquaculture discards include the head, internal organs, gills, bones, scales, fins, and sometimes skin. Depending on fish processing techniques and species, a substantial amount of waste (20-80%) is generated (Ghaly et al., 2013).

In 2019, the Republic of Turkey's Ministry of Agriculture and Forestry, specifically the General Directorate of Fisheries and Aquaculture, responded to a request from aquaculture producers and officially designated the Rainbow Trout as "Turkish Salmon" (Özal, 2021). Salmon farming and processing facilities located in the Black Sea region have become pivotal in meeting the increasing demand for these fish. Nevertheless, this expansion has resulted in the generation of diverse fish by-products within fish processing plants. Effectively harnessing the potential of these by-products is not only essential for ensuring the sustainability of the industry but also for the responsible conservation of natural resources.

Traditionally, such fish by-products are often considered waste and can contribute to environmental problems. However, recognizing the potential value of these by-products can be a significant step toward sustainability. Therefore, this study focuses on evaluating fish by-products produced by a fish processing facility in the Black Sea region. The main objective of the study is to investigate the process of obtaining fishmeal from these fish by-products and analyze the nutritional composition of this fishmeal. Specifically, the data obtained are examined to assess whether this fishmeal could serve as a potential alternative raw material for sustainable aquaculture.

The results of this study can provide crucial information to support waste management and sustainability efforts in the fish processing industry in the Black Sea region. Additionally, it may serve as an inspiration to other similar industries on how waste products can be effectively utilized to reduce environmental impacts and make more efficient use of natural resources. This article delves into the nutrient composition and elemental content of fishmeal derived from the by-products of farmed Black Sea Salmon (*Oncorhynchus mykiss*). By understanding the nutritional profile of fishmeal, we can identify potential alternative ingredients and develop sustainable aquaculture practices.

MATERIALS and METHODS

Samples were obtained from a fishmeal and oil factory located in Samsun in May 2022. Three sacks were opened from the factory's storage area, and samples of fishmeal derived from Salmon Processing By-Products (SBP-FM) were collected using a scoop and mixed in a plastic container. Three 1 kg samples were taken from the mixture, placed in nylon bags, and labeled.

For laboratory analysis, the samples were sent to Sinop University Scientific and Technological Research Application and Research Center. This center is equipped with a laboratory infrastructure that ensures reliable analysis procedures in compliance with standardized protocols.

Nutrient Composition Analysis

Nutrient composition analyses (moisture, crude protein, crude fat, and crude ash) were performed according to the standard AOAC method (AOAC 1990). Total carbohydrate content was calculated by subtracting the sum of crude protein, crude fat, moisture, and crude ash from 100 (Ferris et al., 1995; Anonymous, 2005). The energy content was expressed as kilocalories per gram (kcal/g) in fishmeal samples and was calculated from the percentages of crude protein, total carbohydrate, and crude fat. Conversion factors used were 4.0 kcal/g for protein and carbohydrates and 9.0 kcal/g for total fat (Ferris et al., 1995; Merrill and Watt, 1973). Total Energy = (Crude Protein * 4) + (Carbohydrate * 4) + (Crude Fat * 9).

Table 1: Nutrient Composition of SBP-FM

	SBP-FM	
Crude Protein (%)	65.22	± 0.118
Crude Fat (%)	9.28	± 0.139
Ash (%)	9.89	± 0.786
Moisture (%)	12.02	± 0.170
Carbohydrates (%)	3.58	± 1.102
Energy Content (kcal/g)	358.75	± 3.633

Elemental Analysis

For mineral substance analysis, homogenized fishmeal samples were weighed (1 g) in high-pressure-resistant Teflon containers (10 ml volume, 200 psi pressure-resistant). Then, 4 ml of nitric acid (65%) (Merck, 1.00452) was added to each container. Wet combustion was applied to the Teflon containers in a closed-system microwave oven. The temperature gradually reached 150°C within the first 15 minutes and was maintained at this temperature for 5 minutes. After the pressure dropped below 50 psi, the temperature was allowed to reach 250°C within 15 minutes, and it was maintained at this temperature for 5 minutes. After cooling at the end of wet combustion, the burned samples were washed with ultrapure water, transferred into 14 ml Falcon tubes, and filled with ultrapure water. Then, readings were taken using the Perkin Elmer ICP-OES Optima 2100 DV spectrometer following the EPA (1994) guidelines.

RESULTS and DISCUSSION

Fishmeal derived from the by-products of farmed Black Sea Salmon exhibited a high crude protein content, approximately $65.219 \pm 0.118\%$. This finding underscores fishmeal's significance as a rich source of essential amino acids, which play a pivotal role in the growth and development of farmed fish. Furthermore, the crude fat content of the fishmeal measured at

approximately $9.28 \pm 0.139\%$, indicating that it serves as a valuable source of energy for fish. The moderate carbohydrate content, approximately $3.58 \pm 1.103\%$, contributes to the overall nutritional profile of the feed.

An elemental content analysis of the fishmeal reveals the presence of several essential minerals and trace elements. The crude ash content, which represents the mineral content, is approximately $9.89 \pm 0.786\%$. This suggests that fishmeal may serve as a valuable source of minerals such as calcium, phosphorus, and magnesium, which are essential for the overall health and development of fish.

In this study, the carbohydrate content was found to be 3.58 ± 1.102 , and the energy value was determined as 358.75 ± 3.633 kcal/g. Bayraklı and Duyar (2021b) reported lower carbohydrate values for anchovy and sprat meal, namely 0.80 ± 0.085 and 0.96 ± 0.176 , respectively, while the energy values were found to be similar to the results of this study, measuring at 366.47 ± 2.237 kcal/g and 367.11 ± 1.824 kcal/g, respectively. It is observed that SBP-FM is as rich in energy as fishmeal derived from anchovy and sprat. The high carbohydrate content of fishmeal offers greater potential for various applications, but harnessing this potential to its fullest extent may require careful balancing of feed formulations.

Fishmeal is considered one of the most important protein sources, especially in animal husbandry (Chen et al., 2023). The crude protein content of fishmeal varies in many studies. Zarkadas et al. (1986) reported a crude protein content of 65.8 in fish by-products, De Koning (2002) found values ranging from 61.56 to 68.26 in fishmeals derived from various sources such as anchovy, mackerel, and fish by-products. De Koning (2005), in another study involving different raw materials, reported crude protein contents of $60-70$ in fishmeals. Moghaddam et al. (2007) reported a crude protein content of 59.1 ± 2.02 in kilka meal. They also stated that the crude protein content in the global fishmeal market was 64.2 for anchovy meal, 72.3 for herring meal, and 60.5 for menhaden meal. Duyar and Bayraklı (2005) reported that the crude protein content of samples obtained from factories in Sinop province, Turkey, ranged from 66.50 to 76.00 between 2000 and 2005. Bayraklı and Duyar (2019) reported crude protein contents of 72.56% and 66.68% for anchovy meal and sprat meal, respectively. Bayraklı and Duyar (2021a) indicated that crude protein values in anchovy meal ranged from 68.02% to 76.63% and that these values varied depending on the freshness of the raw materials and the processing factories. In this study, the values of SBP-FM were similar to those of other fishmeals except for anchovy meal. It can be said that the crude protein content in fishmeal varies depending on the type of raw material used.

In various fishmeals obtained from different raw materials, crude fat content was found to be 3.4 in fish by-products by Zarkadas (1986), $10.28-14.49$ in fishmeals from various sources by De Koning (2002), $10-15$ in fishmeals from different raw materials in another study by De Koning (2005), 7.44 in herring meal by Kausoulaki et al. (2009), and 10.6 in sardine meal by Bassompierre et al. (1998). Moghaddam et al. (2007) reported a crude fat content of 22.9 ± 1.91 in kilka meal. They also stated that in the global fishmeal market, crude fat content was 5.0 for anchovy meal, 10 for mackerel meal, and 9.4 for menhaden meal. Duyar and Bayraklı (2005) reported that the crude fat content of samples obtained from factories in Sinop province, Turkey, ranged from 7.70 to 14.20 . Bayraklı and Duyar (2019a) reported crude fat contents of 8.12% for anchovy meal and 10.73% for sprat meal. Bayraklı and Duyar (2021a) stated that crude fat values in anchovy meal ranged from 7.52% to 12.44% . The obtained crude fat values are in line with the values reported by other researchers.

To minimize bacterial growth in fishmeal, it is desired to have a moisture content of less than 10% (Bayraklı & Duyar, 2019a, 2019b). Kausoulaki et al. (2009) found a moisture content of 7.1 in herring meal, while De Koning (2005) found moisture content ranging from 5% to 10% in fishmeals obtained from various fish species. Moghaddam et al. (2007) reported a moisture content of 5.5 in kilka fishmeals produced in different factories in Iran. They also reported moisture contents of 8.0 in anchovy meal, 7.0 in mackerel meal, and 8.0 in menhaden meal in the global fishmeal market. Bayraklı and Duyar (2019a) reported moisture contents of 7.78% for anchovy meal and 6.41% for sprat meal. Bayraklı and Duyar (2021a) indicated that moisture values in anchovy meal ranged from 3.54% to 6.51% . In this study, although the moisture content of fishmeal obtained was among the reported values in other studies, it was higher than the values reported for anchovy meal.

The ash content in fishmeals obtained from various raw materials was reported to be $10-25$ by De Koning (2005), 10.34 in herring meal by Kausoulaki et al. (2009), 13.2 ± 0.98 in kilka meal by Moghaddam et al. (2007), and 9.7 in sardine meal by Bassompierre et al. (1998). Zarkadas (1986) reported an ash content of 20% in fish by-products, while Cho et al. (1987) reported ash contents of 15.7 in herring meal and 26.4 in shrimp meal. Duyar and Bayraklı (2005) reported that the ash content of samples obtained from factories in Sinop province, Turkey, ranged from 7.70 to 14.20 . Bayraklı and Duyar (2019a) reported ash contents of 10.75% for anchovy meal and 15.23% for sprat meal. Bayraklı and Duyar (2021a) stated that ash values in anchovy meal ranged from 10.73% to 11.73% . In this study, the obtained ash content was lower than the values reported for other types of fishmeal, similar to anchovy meal. It has been reported that the nutritional composition of fishmeal varies depending on the species of fish, whether it is made from the whole fish or fish by-products, and the processing method (Bayraklı & Duyar, 2021b). An elemental content analysis of SBP-FM is presented in Table 2. Macroelement concentrations were found to follow the order $Ca > P > K > Na > Mg$. Meanwhile, trace element concentrations were observed as follows: $Fe > Al > Zn > Mn > Ti > Cu > Ba > B > Cr > Ni > Se > Rb > V > Li > Si > Co > Mo > Ga > Sr > Sn > U > Gd > Sb > Be > Cs$. Heavy metal concentrations followed the sequence $As > Pb > Cd > Hg$.

Table 2. Element Concentrations in SBP-FM

Trace Elements (mg kg ⁻¹)			Macro Elements (g kg ⁻¹)			Heavy Metals (mg kg ⁻¹)		
Fe	4050.01	± 42.375	Ca	27.18	± 0.249	As	3.51	± 0.470
Al	698.13	± 16.118	P	23.28	± 0.055	Pb	1.46	± 0.136
Zn	179.94	± 2.029	K	5.04	± 0.086	Cd	0.15	± 0.004
Mn	56.08	± 1.415	Na	4.58	± 0.042	Hg	0.07	± 0.012
Ti	18.82	± 1.518	Mg	3.16	± 0.038			
Cu	11.67	± 0.025						
Ba	5.61	± 0.069						
B	4.87	± 0.087						
Cr	4.63	± 0.084						
Ni	4.46	± 0.077						
Se	2.28	± 0.739						
Rb	1.61	± 0.016						
V	1.54	± 0.023						
Li	1.14	± 0.013						
Si	0.86	± 0.007						
Co	0.58	± 0.004						
Mo	0.37	± 0.015						
Ga	0.32	± 0.064						
Sr	0.31	± 0.088						
Sn	0.14	± 0.008						
U	0.06	± 0.003						
Gd	0.05	± 0.004						
Sb	0.05	± 0.005						
Be	0.03	± 0.001						
Cs	0.03	± 0.005						

Table 3 displays the elemental contents of fishmeal obtained from various raw materials. Calcium (Ca) was found to be the most abundant element in fishmeal, with a concentration of 27.18 g kg⁻¹, falling within the reported range of 3.93-52.20 g kg⁻¹ in the literature. Phosphorus (P) content was determined as 23.28 g kg⁻¹ in this study, with literature values ranging from 4.40 to 29.30 g kg⁻¹. The potassium (K) content was relatively low at 5.04 g kg⁻¹ in this research, which was consistent with previous literature, including Bayraklı and Duyar (2021b), focused on herring meal. Sodium (Na) content was found to be 4.58 g kg⁻¹, lower than reported in most studies except for Irungu et al. (2018). Magnesium (Mg) and iron (Fe) values exceeded those reported in Table 3 by other research findings. Manganese (Mn) was determined at 56.08 mg kg⁻¹, surpassing values reported by all studies except Irungu et al. (2018). Copper (Cu) content was in line with Satoh et al. (1987) but higher than other studies except Irungu et al. (2018). It's important to note that variations in fishmeal mineral composition can be attributed to seasonal and biological factors (such as species, muscle type, sex, sexual maturity, breeding conditions, water chemistry, salinity, temperature), processing methods, and the source of fish used (Bayraklı & Duyar, 2021b).

Table 3. Elements detected in fishmeal and some literature (*g kg⁻¹, mg kg⁻¹)

	Fishmeal	Ca *	Na*	K*	P *	Mg *	Fe	Zn	Mn	Cu
Bayraklı ve Duyar (2021)	AM	4.58-7.11	8.09-10.94	26.77-29.46	23.98-26.64	0.26-0.32	2032-2525	232,76-253.04	16.78-20.12	2.21
Satoh, et al. (1987)	SA	44.30	3.20	3.50	27.30	2.00	239	141	11.1	5.4
	Fb-PM	52.20	8.40	3.10	29.30	2.80	97.3	71	5.2	11.5
	BHM	34.40	8.30	13.40	24.70	2.00	289	141	11.1	5.4
Moghaddam, et al. (2007)	SM	39.70	8.30	5.20	26.10	2.70	229	74.5	3.7	6.2
	HM	22.90	6.10	10.90	17.00	1.50	140	132	5	6
	AM	37.30	6.50	6.90	24.30	2.40	220	103	10	9
Storebakken, et al. (2000)	MFM	51.10	6.50	6.50	28.80	1.60	440	147	33	11
	HM	23.90	14.50	12.20	22.10	2.64	155	121	5	3.26
Cho, et al. (1987)	AM	6.77	20.63	7.14		2.22	3598	167		6
Zarkadas et al.(1986)	HM	19.50	4.20	12.00	15.00	1.10	100	100	30	
Irungu et al. (2018)	FWSM	3.93	21.25	10.06	4.40	2.19	922.2	454.9	1932.1	1512.5
This study		27.18	4.58	5.04	23.28	3.16	4050	179.9	56.08	11.67

In the case of SBP-FM, the concentrations of heavy metals As, Pb, Cd, and Hg were determined as 3.51 ± 0.470 , 1.46 ± 0.136 , 0.15 ± 0.004 , and 0.007 ± 0.012 mg kg⁻¹, respectively. No existing literature references were identified for heavy metal results in fishmeal. Therefore, the findings presented in this study could serve as valuable references for future research.

CONCLUSION

This research has examined the nutritional composition of fishmeal produced from fish by-products in seafood processing facilities and demonstrates that this fishmeal could serve as an alternative raw material for sustainable aquaculture. The findings highlight the importance of fishmeal as a significant source of protein for fish nutrition due to its high protein content. Additionally, the energy-providing potential and nutrient profile of fishmeal underline its relevance in the aquaculture sector.

Our study suggests that fishmeal production can be efficiently derived from by-products in seafood processing facilities, which can contribute to reducing environmental impacts and promoting sustainable waste management practices.

Seafood processing facilities should promote the more efficient utilization of fish by-products. This would represent a significant step towards sustainability. Diversifying the raw materials used in fishmeal production and exploring alternative sources can contribute to making the industry more sustainable. However, it's crucial to note that feeding fishmeal derived from salmon processing by-products to salmon may pose a potential risk of cannibalism in salmon populations. Further research is needed to carefully assess and mitigate this risk while considering the environmental impacts of fishmeal production for a more sustainable industry.

This research aims to contribute to the sustainability efforts of the seafood industry. Embracing such alternative approaches to fishmeal production on a larger scale could contribute to the more sustainable use of natural resources and meet the industry's future demands.

Acknowledgments

I would like to express my gratitude to Sinop University Scientific and Technological Research Application and Research Center for their contributions to the analysis of the samples.

COMPLIANCE WITH ETHICAL STANDARDS

Author Contributions

The author wrote the entirety of this article and conducted final revisions.

Funding

No funding was utilized for this study.

Declarations

Ethical approval was not required for this study.

Consent to Participate

As this is a single-authored article, no consent to participate is necessary.

Consent for Publication

Publication consent is not applicable to this study.

Competing Interests

The author declares no competing interests.

Availability of Data and Materials

The datasets used and/or analyzed during the current study are available from the corresponding author upon reasonable request.

REFERENCES

- AOAC (1990). Official Methods of Analysis of AOAC International, Edited Patricia Cunniff. Chapter 35, Fish and Other Marine Products, AOAC Official methods of analysis 938.08. Chapter 35, Chapter Editor James M. Hungerford. Published AOAC International, ISBN 0-935584-54-4 and ISSN 1080-0344.
- Anonymous (2005). Code of Federal Regulations. FDA, HHS, 21, part 101.9.
- Bassompierre, M., Larsen, K. L., Zimmermann, W., Mclean, E., Børresen, T., & Sandfeld, P. (1998). Comparison of chemical, electrophoretic and in vitro digestion methods for predicting fish meal nutritive quality. *Aquaculture Nutrition*, 4(4), 233–239. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1998.00073.x>
- Bayraklı, B., & Duyar, H. A. (2005). Sinop ilinde bulunan su ürünleri işleme tesislerinin durumu, sorunları ve çözüm önerileri. *Su Ürünleri Mühendisleri Dergisi*, 24(4), 53–56.
- Bayraklı, B., & Duyar, H. A. (2019a). Nutritional Composition of Fishmeal Obtained from Different Raw Materials in the Black Sea. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 545–550. <https://doi.org/10.35229/jaes.636806>
- Bayraklı, B., & Duyar, H. A. (2019b). The Effect of Raw Material Freshness on Fish Oil Quality Produced in Fish Meal & Oil Plant. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3), 473–479. <https://doi.org/10.35229/jaes.636002>
- Bayraklı, B., & Duyar, H. A. (2021a). Effect of Freshness on Fish Meal Quality; Anchovy Meal. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*. <https://doi.org/10.35229/jaes.824885>
- Bayraklı, B., & Duyar, H. A. (2021b). The Effect On Fishmeal Element Quality Of Different Processing Methods: Evaporator System. *Marine Science and Technology Bulletin*, 10, 251–257. <https://doi.org/10.33714/masteb.922865>
- Bayraklı, B., Özdemir, S., & Duyar, H. A. (2019). A Study on Fishing and Fish Meal-oil Processing Technology of Anchovy (*Engraulis encrasicolus*) and European Sprat (*Sprattus sprattus*) in the Black Sea. *Menba Journal of Fisheries Faculty*, 5(2), 9–16.
- Chen, Y., Mitra, A., Rahimnejad, S., Chi, S., Kumar, V., Tan, B., Niu, J., & Xie, S. (2023). Retrospect of fish meal substitution in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) feed: Alternatives, limitations and future prospects. *Reviews in Aquaculture*, May, 1–28. <https://doi.org/10.1111/raq.12843>
- Cho, H. O., Byun, M. W., Kwon, J. H., & Lee, J. W. (1987). Effects of Gamma Irradiation and Ethylene Oxide Fumigation on the Quality of Dried Marine Products (Shrimp, Anchovy). *The Korean Society of Food Hygiene and Safety*, 2(1), 21–27.
- De Koning, Adrianus J. (2002). Quantitative quality tests for fish meal. II: An investigation of the quality of South African fish meals and the validity of a number of chemical quality indices. *International Journal of Food Properties*, 5(3), 495–507. <https://doi.org/10.1081/JFP-120015487>
- De Koning, Adrianus Jan. (2005). Properties of South African fish meal: A review. *South African Journal of Science*, 101(1–2), 21–25.
- Duyar, H. A., & Bayraklı, B. (2023). Fatty Acid Profiles of Fish Oil Derived by Different Techniques from By-Products of Cultured Black Sea Salmon, *Oncorhynchus mykiss*. *Tarım Bilimleri Dergisi*, X, 1–14. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.1187017>
- Einarsson, M. I., Jokumsen, A., Bæk, A. M., Jacobsen, C., Pedersen, S. A., Samuelsen, T. A., Palsson, J., Eliassen, O., & Flesland, O. (2019). Nordic Centre of Excellence Network in Fishmeal and Fish oil. 119.
- FAO (2019). Fishery and aquaculture statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/3/ca5495t/CA5495T.pdf>

- Ferris, D.A., and C.W. Shanklin (1993). Cost of alternative methods of disposal of food waste in a university food service operation. *National Association of College and University Food Service Journal* 26 (10): 49–56.
- Ghaly, A. E., Ramakrishnan, V. V., Brooks, M. S., Budge, S. M., & Dave, D. (2013). Fish processing wastes as a potential source of proteins, amino acids and oils: A critical review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 5(4), 107–129. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>
- Irungu, F. G., Mutungi, C. M., Faraj, A. K., Affognon, H., Tanga, C., Ekesi, S., Nakimbugwe, D., & Fiaboe, K. K. M. (2018). Minerals content of extruded fish feeds containing cricket (*Acheta domesticus*) and black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fractions. *International Aquatic Research*, 10(2), 101–113. <https://doi.org/10.1007/s40071-018-0191-8>
- Kousoulaki, K., Albrektsen, S., Langmyhr, E., Olsen, H. J., Campbell, P., & Aksnes, A. (2009). The water soluble fraction in fish meal (stickwater) stimulates growth in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) given high plant protein diets. *Aquaculture*, 289(1–2), 74–83. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.12.034>
- Kristofersson, D., & Anderson, J. L. (2004). Structural Breaks in the Fishmeal - Soybean Meal Price Relationship **.
- Merrill, A.L. & Watt, B.K. (1973). Energy value of Foods,...basis and derivation. *Agriculture handbook No. 74*, p. 2. United States Department of Agriculture: Agriculture research service.
- Moghaddam, H. N., Mesgaran, M. D., Najafabadi, H. J., & Najafabadi, R. J. (2007). Determination of Chemical Composition, Mineral Contents, and Protein Quality of Iranian Kilka Fish Meal. *International Journal of Poultry Science*, 6(5), 354–361. <https://doi.org/10.3923/ijps.2007.354.361>
- Özal, E. (2021). Kasım Online / Çevrimiçi. Proceedings Book of 3rd International Congress on Agricultural and Food Ethics Agricultural and Food Ethics, 5-6 november, 327–332.
- Ramirez, A. (2007). Salmon by-product proteins. *FAO Fisheries Circular No.1027.FIU/C1027*, ISSN 0429-9329., 30.
- Storebakken, T., Shearer, K. D., Baeverfjord, G., Nielsen, B. G., Åsgård, T., Scott, T., & De Laporte, A. (2000). Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture*, 184(1–2), 115–132. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00316-6](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00316-6)
- Tacon, A. G. J. (2002). Thematic Review of Feeds and Feed Management Practices in Shrimp Aquaculture. In Report prepared under the World Bank, NACA, WWF and FAO Consortium Program on Shrimp Farming and the Environment. Work in Progress for Public Discussion. Published by the Consortium. <http://library.enaca.org/Shrimp/Case/Thematic/FinalFeed.pdf>
- TUIK (2023). Fishery Statistic. Turkish Statistical Institute, Ankara
- Zarkadas, C. G., Hulan, H. W., & Proudfoot, F. G. (1986). The amino acid and mineral composition of white fish meal containing enzyme-digested or untreated stickwater solids. *Animal Feed Science and Technology*, 14(3–4), 291–305. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(86\)90101-X](https://doi.org/10.1016/0377-8401(86)90101-X)

Farklı Su Sıcaklıklarında Gül Ağacı (*Aniba rosaeodora*) Esansiyel Yağının ve 2-fenoksietanolün Japon Balığı (*Carassius auratus*) Üzerindeki Anestezik Etkileri

Bariş ŞAHİN¹, Volkan KIZAK^{2*}

¹ Munzur Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Tunceli/Türkiye

² Munzur Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Su Ürünleri Yetiştiriciliği Bölümü, Tunceli/Türkiye

* E-mail: volkan.kizak@munzur.edu.tr

Makale Bilgisi

Geliş:

06/10/2023

Kabul Ediliş:

25/12/2023

Anahtar Kelimeler:

- Anestezi
- Su sıcaklığı
- Balık
- Bitkisel esansiyel yağ

Öz

Bu çalışmada, gül ağacı esansiyel yağının ve 2-fenoksietanolün farklı su sıcaklıklarında Japon balıkları üzerinde anestezik etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında anestezik denemeler gerçekleştirilmiştir. Gül ağacı esansiyel yağı için 250, 300 ve 350 µl/lit, 2-fenoksietanol için ise 600, 700 ve 800 µl/lit konsantrasyonlar denenmiştir. 14°C’de ideal Gül ağacı esansiyel yağı konsantrasyonu 300 µl/lit, 20°C’de ise 250 µl/lit olarak belirlenmiştir. 2-fenoksietanol için her iki su sıcaklığında da ideal konsantrasyon 800 µl/lit olarak tespit edilmiştir. Gül ağacı esansiyel yağı ve 2-fenoksietanolün yüksek konsantrasyonları daha kısa indüksiyon sürelerine ve daha uzun iyileşme sürelerine neden olmuştur. Anestezik ajanların konsantrasyonları indüksiyon süreleri ile negatif, iyileşme süreleri ile pozitif korelasyon göstermiştir. Gül ağacı esansiyel yağı için 14°C’de derin anestezisi ve tam iyileşme süreleri arasında zayıf negatif bir ilişki, 20°C’de ise negatif bir ilişki bulunmuştur. 14°C ve 20°C’lerde 2-fenoksietanol anestezisinde derin anestezisi ve tam iyileşme süreleri arasında negatif ilişki tespit edilmiştir. Gül ağacı esansiyel yağı derin anestezisi süreleri ve Gül ağacı esansiyel yağı konsantrasyonları arasında 14°C ve 20°C’lerde kuvvetli negatif bir ilişki vardır ve benzer bir ilişki 2-fenoksietanol için de bulunmuştur. Bununla birlikte, farklı su sıcaklıklarında her iki anestezik ajanda tam iyileşme süreleri ve konsantrasyonlar arasında kuvvetli pozitif ilişki tespit edilmiştir. Artan su sıcaklığının bir sonucu olarak her iki anestezik maddede anestezisi ve iyileşme sürelerinin kıaldığı görülmüştür. Gül ağacı esansiyel yağı ve 2-fenoksietanol için indüksiyon ve iyileşme sürelerinde su sıcaklığı ve anestezik konsantrasyon interaksyonunu önemli bulunmuştur.

Anaesthetic Effects of Rosewood (*Aniba rosaeodora*) Essential Oil and 2-phenoxyethanol on Goldfish (*Carassius auratus*) at Different Water Temperatures

Article Info

Received:

06/10/2023

Accepted:

25/12/2023

Keywords:

- Anesthesia
- Water temperature
- Fish
- Herbal essential oil

Abstract

In this study, it was aimed to investigate the anesthetic effects of rosewood essential oil and 2-phenoxyethanol in goldfish at different water temperatures. Anesthetic trials were carried out at water temperatures of 14°C and 20°C. Concentrations of 250, 300 and 350 µl·L⁻¹ for rosewood essential oil and 600, 700 and 800 µl·L⁻¹ for 2-phenoxyethanol were tested. The ideal rosewood essential oil concentration was determined as 300 µl·L⁻¹ at 14°C and 250 µl·L⁻¹ at 20°C. The ideal concentration for 2-phenoxyethanol was determined to be 800 µl·L⁻¹ at both water temperatures. Higher concentrations of rosewood essential oil and 2-phenoxyethanol caused shorter induction times and prolonged recovery times. Concentrations of anesthetic agents were negatively correlated with induction times and positively correlated with recovery times. A weak negative relationship was found between deep anesthesia and full recovery durations at 14°C and a negative relationship at 20°C for rosewood essential oil. A negative relationship was detected between deep anesthesia and full recovery times in 2-phenoxyethanol at 14°C and 20°C. There is a strong negative relationship between rosewood essential oil deep anesthesia times and rosewood essential oil concentrations at 14°C and 20°C, and a similar relationship was found for 2-phenoxyethanol. However, a strong positive relationship was detected between full recovery times and concentrations of both anesthetic agents at different water temperatures. As a result of increasing water temperature, anesthesia and recovery times were observed to be shortened for both anesthetic substances. The interaction of water temperature and anesthetic concentration was found to be important in the induction and recovery durations for rosewood essential oil and 2-phenoxyethanol.

Atf bilgisi/Cite as: Şahin B. & Kızak V. (2023). Farklı Su Sıcaklıklarında Gül Ağacı (*Aniba rosaeodora*) Esansiyel Yağının ve 2-fenoksietanolün Japon Balığı (*Carassius auratus*) Üzerindeki Anestezik Etkileri. Menba Journal of Fisheries Faculty, 9(2), 15-26. <https://doi.org/10.58626/menba.1372338>

GİRİŞ

Son yıllarda su ürünleri yetiştiriciliğinin kayda değer artışı balık refahını da beraberinde gündeme getirmektedir ve bu yönde gereken hassasiyetin göz ardı edilmemesi gerekliliği doğmaktadır. Akuakültür alanında yapılan birçok operasyonel uygulamalarda balık refahının gözetilmesi kaçınılmazdır. Bu uygulamalarda balıkların en az strese ve zarara maruz kalması için anestezik ajanlar ve teknikler ön plana çıkmaktadır. Balık refahı dikkate alınarak yapılacak bir üretim hem balık sağlığı hem de insan sağlığı açısından oldukça önemlidir.

Anestezik ilaçlar tarihsel olarak su ürünleri yetiştiriciliğinde, deneylerde ve veterinerlik uygulamalarında balıklar üzerinde kullanılmaktadır (Schoettger ve Julin, 1967). Kullanımları, özellikle tartım, aşılama, kan alma, markalama, deneysel cerrahi ve veterinerlik prosedürleri gibi rutin prosedürler sırasında ellemenin stresli etkilerini azaltır (Sneddon, 2012). Anestezik işlemi ile balıklar üzerinde bütün operasyonel faaliyetler balıklara zarar vermeden gerçekleştirilebilir. Anestezik ajanlar strese bağlı balıkta meydana gelebilecek zararları ve strese karşı fizyolojik tepkiyi azaltabilir (Weber vd., 2009).

Anestezik madde konsantrasyonu ve çeşitli biyolojik veya çevresel faktörler balıkların anestezisini önemli ölçüde etkiler. Sıcaklık, pH, yaş, boyut, cinsiyet ve bu faktörler arasındaki etkileşimler de balıklarda anesteziklerin etkinliğine tesir eder (Ross ve Ross, 2008; Zahl vd., 2009; Sneddon, 2012; Aydın vd., 2015; Santos vd., 2015; Mitjana vd., 2018; Aydın vd., 2019). Balıklar poikilotermiktir ve bu nedenle fizyolojileri ve metabolik hızları ortamdaki su sıcaklığına bağlıdır. Daha yüksek sıcaklıklar genellikle indüksiyon ve iyileşme sürelerini azaltır. Balıkların anesteziklere tepkileri farklı su sıcaklıklarında önemli ölçüde değişebilmektedir (Hamackova vd., 2004; Mylonas vd., 2005; Zahl vd., 2009; Kucuk, 2010; Aydın vd., 2015; Santos vd., 2015; Skâr vd., 2017; Park vd., 2018; Aydın vd., 2019). Farklı su sıcaklıklarında her balık türü için etkili anestezik konsantrasyonlarının belirlenmesi su ürünleri yetiştiriciliği açısından oldukça önemlidir.

Su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarında MS-222, 2-fenoksietanol ve benzokain gibi kimyasal özellikte anestezik maddelerin kullanımı yaygındır. Doğal olan bitkisel anestezik maddeler içerisinde ise en çok karanfil yağının su ürünleri yetiştiriciliği alanında kullanımının yaygın olduğu görülmektedir (Kızak vd., 2018a). Son yıllarda birbirinden farklı birçok bitkisel esansiyel yağın su ürünleri araştırmalarında anestezik ajan olarak etkinliği araştırılmıştır (Cunha vd., 2010; Can vd., 2017; Correia vd., 2018; Can vd., 2018; Kızak vd., 2018a; Kızak vd., 2018b; Can vd., 2019; Kızak vd., 2020; Yigit ve Kocaayan, 2023).

Gül ağacı (*Aniba rosaeodora*) türleri Brezilya, Guyana, Peru, Kolombiya, Venezuela ve Surinam'da dağılım göstermektedir. *A. rosaeodora* esansiyel yağı analjezik, antikonvülsan, antidepresan, antimikrobiyal, antiseptik, afrodisyak, bakterisidal, hücresele uyarıcı, sefalik, uyarıcı, doku yenileyici ve uykusuzluğu ve ağrıyı azaltmak için uygulanmaktadır (Sarrazin vd., 2016).

En yaygın kimyasal ajanlardan biri 2-fenoksietanoldür ve etkinliği birçok çalışmada farklı balık türleri üzerinde çalışılmıştır (Weyl vd., 1996; Mylonas vd., 2005; Velisek ve ark, 2007; Weber vd., 2009; Kızak vd., 2018a; Mitjana vd., 2018; Aydın vd., 2019; Kızak vd., 2020). 2-fenoksietanol nakiller sırasında balıkların sakinleştirilmesi için de yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, hipoventilasyon üretir, çok az analjezi sağlar ve bu ajana düzenli olarak maruz kalmak insanlarda nörofizyolojik bir sendroma neden olur (Fernandez-Parra vd., 2017).

Bu çalışmada Japon balıklarında gül ağacı esansiyel yağının ve kimyasal bir anestezik ajan olan 2-fenoksietanolün farklı su sıcaklıklarında anestezik etkilerinin incelenmesi ve optimal konsantrasyonlarının belirlenmesi, anestezik konsantrasyonu ile su sıcaklığı arasındaki interaksyonun anesteziklerin etkinliği üzerindeki tesirlerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Deneme Yeri ve Deneme Materyalleri

Çalışma, Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde gerçekleştirilmiştir. Denemelerde 500 lt hacimli balık tankları, cam akvaryumlar, 1 lt şeffaf anestezik kabı, kepçe ve mikropipet kullanılmıştır.

Deneme Balığı ve Su Koşulları

Denemeler ortalama canlı ağırlığı $8,33 \pm 0,07$ gr (n=84) olan Japon balıkları (*Carassius auratus*) ile gerçekleştirilmiştir. Balıklar Elazığ'daki bir evcil hayvan satış yerinden temin edilip Munzur Üniversitesi Su Ürünleri Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne transfer edilmiştir. Fiberglas tanklara stoklanan balıklar kademeli olarak suya alıştırmıştır. Günde iki kez doyana kadar (*ad libitum*) yemleme yapılmıştır ve denemelerin başlamasından 24 saat önce balıklar aç bırakılmıştır.

Su kalitesi parametrelerinden su sıcaklığı ve çözünmüş oksijen değerleri YSI marka portatif multi parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. 20°C su sıcaklığını sağlamak için 200 watt gücünde akvaryum su ısıtıcıları kullanılmıştır. Deneme balıklarının bir kısmı 14°C su sıcaklığında stoklanırken, bir kısmı da 20°C su sıcaklığına adapte edilip stoklanmıştır. Bu sayede aynı zaman diliminde aynı popülasyon için iki farklı su sıcaklığı oluşturulmuştur. $14,11 \pm 0,4$ °C ortalama su sıcaklığında çözülmüş O₂ değeri $7,06 \pm 0,11$ mg/lt iken, $20,07 \pm 0,8$ °C ortalama su sıcaklığında çözülmüş O₂ değeri $6,35 \pm 0,12$ mg/lt olarak kaydedilmiştir.

Anestezik Ajanlar

Gül ağacı (*A. rosaeodora*) esansiyel yağı ticari bir şirketten temin edilmiştir. Bu esansiyel yağın ana bileşeni %86,23 ile linalool maddesidir. Gül ağacı esansiyel yağı renksizdir ve karakteristik bir kokuya sahiptir. Kimyasal bileşimleri ve fiziksel özellikleri ticari üreticisi (Nu-Ka Defne Essencia) tarafından sağlanmıştır. Kimyasal anestezik ajan olarak 2-fenoksietanol (2-PE) (Sigma-Aldrich) kullanılmıştır.

Anestezik Uygulamalar

Gül ağacı esansiyel yağı ilk olarak etanol içinde çözülmüştür. Gül ağacı esansiyel yağı ve etanol karışımından ArEO anestezik ajanı oluşturulmuştur. Her anestezik konsantrasyon denemeye başlamadan birkaç dakika önce hazırlanmıştır. Esansiyel yağların homojenizasyonu Can vd. (2018)'na göre gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 15 ml hacimli plastik kapaklı bir tüpe istenilen konsantrasyonda esansiyel yağ aktarılmış, ardından tüpe 1:10 olacak şekilde %94 saflıkta etanol eklenmiştir. 5 sn çalkaladıktan sonra uçucu yağ+etanol solüsyonuna 10 ml saf su ilave edilerek tekrar çalkalanmıştır. Son olarak solüsyon 1 lt su ile doldurulmuş şeffaf anestezik kaba uygulanmıştır. 2-fenoksietanol anestezik ajanı (2-PE) ise doğrudan deneme suyunda çözülmüştür. Her iki anestezik ajan için üç farklı konsantrasyon seçilmiştir; ArEO için 250, 300 ve 350 µl/lt, 2-PE için 600, 700 ve 800 µl/lt konsantrasyonlar denenmiştir.

Anestezi (A_I : İlk İndüksiyon, A_D : Derin Anestezi) ve İyileşme (R_I : İlk İyileşme, R_F : Tam İyileşme) safhalarının tespitinde balık davranışları dikkate alınmıştır (Mylonas vd., 2005; Kızak vd., 2018a) ve saniye (sn) olarak süreler tespit edilerek kaydedilmiştir. Her bir konsantrasyon için 7 adet balık teker teker denenmiş ve her balık bir tekrür olarak kabul edilmiştir. Toplamda her bir konsantrasyon için 7 tekrarlı uygulama gerçekleştirilmiştir. Anestezi ve iyileşme safhalarının belirlenmesinde iki kişi tarafından gözlem yapılmıştır. Sürelerin ölçülmesinde kronometre kullanılmıştır. Kepçe yardımıyla alınan balık şeffaf anestezi kabına aktarıldıktan sonra denge kaybı, operküler hareket ve kuyruğa dış müdahaleye verdiği tepki yönünden gözlemlenmiştir. Anestezi kabında A_D safhasına ulaşan balık kepçe yardımıyla alınıp canlı ağırlık ölçümü yapıldıktan sonra iyileşmenin gerçekleşeceği anestezik maddenin bulunmadığı iyileşme (ayılma) kabına alınmıştır. R_F safhasına ulaşan balık stok tankına alınarak ölüm ve anormal davranışlar olup olmadığının tespiti amacıyla 24 saat gözlem altında tutulmuştur. Anestezi ve iyileşme esnasında deneme sularına hafif şiddette havalandırma uygulanmıştır.

İstatistiksel Analizler

Verilerin değerlendirilmesinde SPSS istatistik programı (20.0) ve Excel programı kullanılmıştır. Sonuçlar ortalama \pm standart hata olarak verilmiştir. Verilerin normalliği ve homojenliği ANOVA varsayımlarına uyacak şekilde kontrol edilmiştir. Ortalamalar arasındaki önemli farklılıklar ANOVA ve ardından Duncan post hoc testi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Anestezik konsantrasyonlar ve su sıcaklıkları arasında interaksiyonu belirlemek için iki yönlü varyans analizi (two-way ANOVA) kullanılmıştır. Anestezik konsantrasyonları ile indüksiyon/iyileşme süreleri ve ayrıca indüksiyon ve iyileşme süreleri arasındaki ilişkiyi açıklamak için regresyon denklemleri kullanılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

İki farklı su sıcaklığında bütün ArEO ve 2-PE konsantrasyonları için indüksiyon sağlanmıştır. Anestezi edilen balıklarda mortalite ve herhangi bir yan etki gözlemlenmemiştir. R_F safhasından yaklaşık 2 saat sonra balıklar yem almaya başlamıştır. 24 saatlik gözlem neticesinde balıklarda herhangi bir olumsuz durum görülmemiştir. Su sıcaklığı farkına bağlı olarak her iki anestezik ajanda indüksiyon ve iyileşme süreleri değişkenlik göstermiştir (Tablo 1 ve 2).

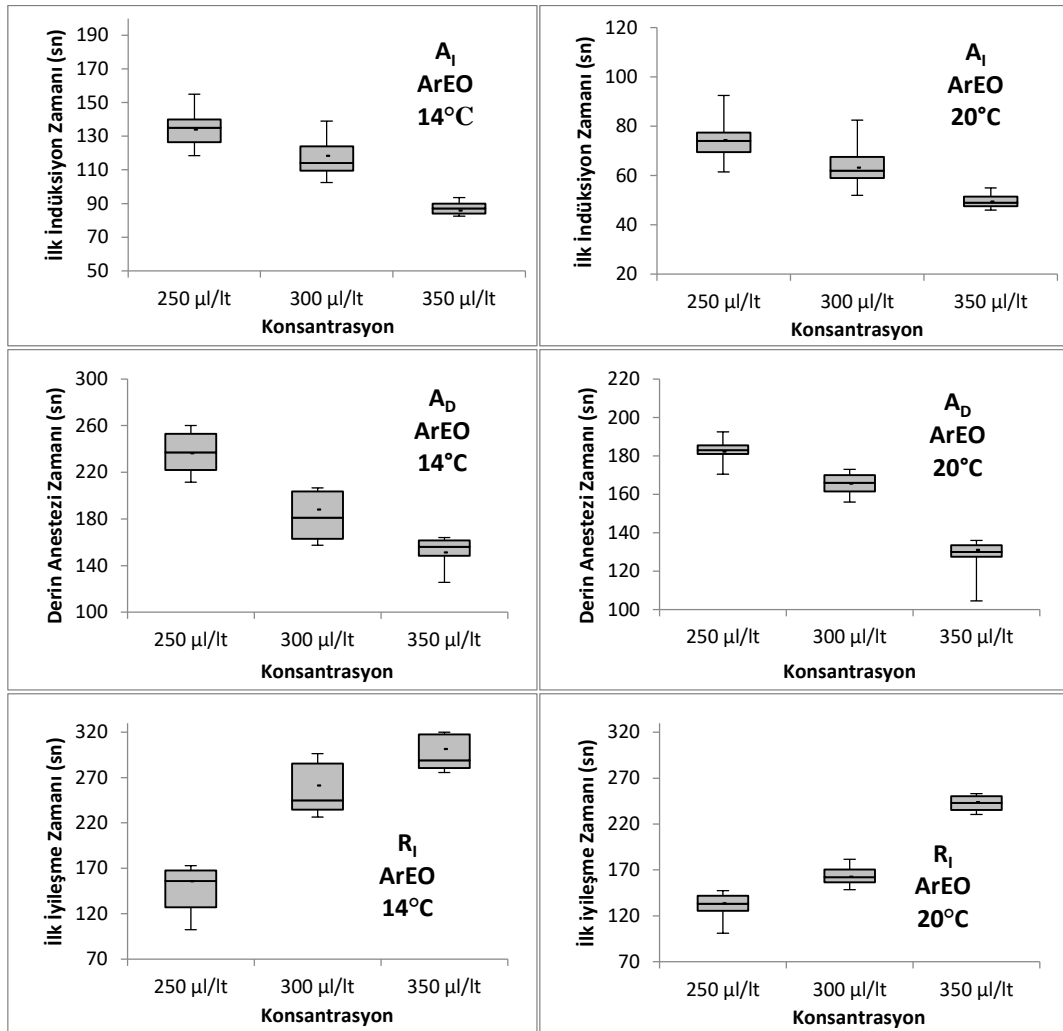
ArEO indüksiyon ve iyileşme süreleri

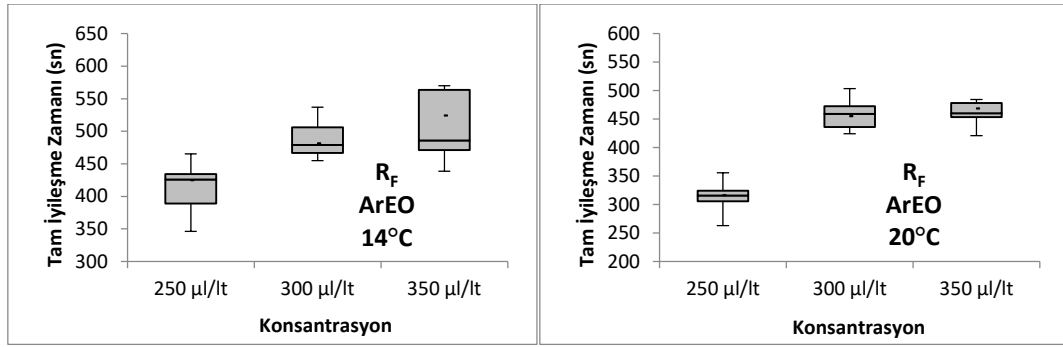
En etkili ArEO konsantrasyonu 14°C'de 350 µl/lt (A_D ; R_F →151 \pm 6,4 sn ; 524 \pm 32,6 sn) ve 20°C'de 350 µl/lt (A_D ; R_F →131 \pm 1,6 sn ; 468 \pm 11,1 sn) olarak tespit edilmiştir. Konsantrasyonlar arasında aynı safhalar bakımından önemli istatistiksel farklılıklar vardır ($p<0,05$). 14°C ve 20°C'lerde ArEO anestezik ajanında konsantrasyon arttıkça A_D safhasında süreleri kısılırken, R_F safhası süreleri uzamıştır (Tablo 1, Şekil 1). Su sıcaklığı farkına bağlı olarak ArEO'da indüksiyon ve iyileşme süreleri de farklılık göstermiştir. Düşük sıcaklıkta bütün indüksiyon (A_I ve A_D) ve iyileşme (R_I ve R_F) süreleri yüksek sıcaklığa göre uzun kaydedilmiştir.

Tablo 1. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında *C. auratus* türünde farklı konsantrasyonlardaki ArEO anestezi ajanına ait induksiyon (A_I ve A_D) ve iyileşme (R_I ve R_F) safhalarının süreleri (sn).

14°C Su Sıcaklığında				
Konsantrasyon ($\mu\text{l/l}$)	İndüksiyon Zamanı (sn)		İyileşme Zamanı (sn)	
	A_I	A_D	R_I	R_F
250	$134 \pm 3,9^c$	$236 \pm 12,8^c$	$156 \pm 15,7^a$	$425 \pm 25,6^a$
300	$118 \pm 4,7^b$	$188 \pm 13,9^b$	$261 \pm 15,9^b$	$481 \pm 16,1^{ab}$
350	$86 \pm 3,1^a$	$151 \pm 6,4^a$	$301 \pm 16,9^b$	$524 \pm 32,6^b$
20°C Su Sıcaklığında				
Konsantrasyon ($\mu\text{l/l}$)	İndüksiyon Zamanı (sn)		İyileşme Zamanı (sn)	
	A_I	A_D	R_I	R_F
250	$74 \pm 2,3^c$	$182 \pm 2,3^c$	$133 \pm 3,7^a$	$316 \pm 5,7^a$
300	$63 \pm 2,5^b$	$165 \pm 2,0^b$	$163 \pm 4,4^b$	$455 \pm 8,6^b$
350	$49 \pm 1,2^a$	$131 \pm 1,6^a$	$244 \pm 4,9^c$	$468 \pm 11,1^b$

*Aynı sütun içinde aynı su sıcaklığı için farklı üst simgelere sahip değerler (ortalama \pm sh) arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($p < 0,05$).





Şekil 1. 14°C ve 20°C’lerde farklı konsantrasyonlarda ArEO ile anestezi edilen *C. auratus* türünde A_I , A_D , R_I ve R_F safhaları sürelerine ait Box Plot grafiği.

14°C ve 20°C’lerde ArEO konsantrasyonu arttıkça A_I ve A_D safhaları süreleri kısalırken, R_I ve R_F safhalarının süreleri uzamaktadır (Tablo 1, Şekil 1) ($p < 0,05$). ArEO anestezi ajanında induksiyon ve iyileşme sürelerinin iki farklı su sıcaklığında da önemli derecede konsantrasyona bağlı olduğu görülmektedir ($p < 0,05$).

2-PE induksiyon ve iyileşme süreleri

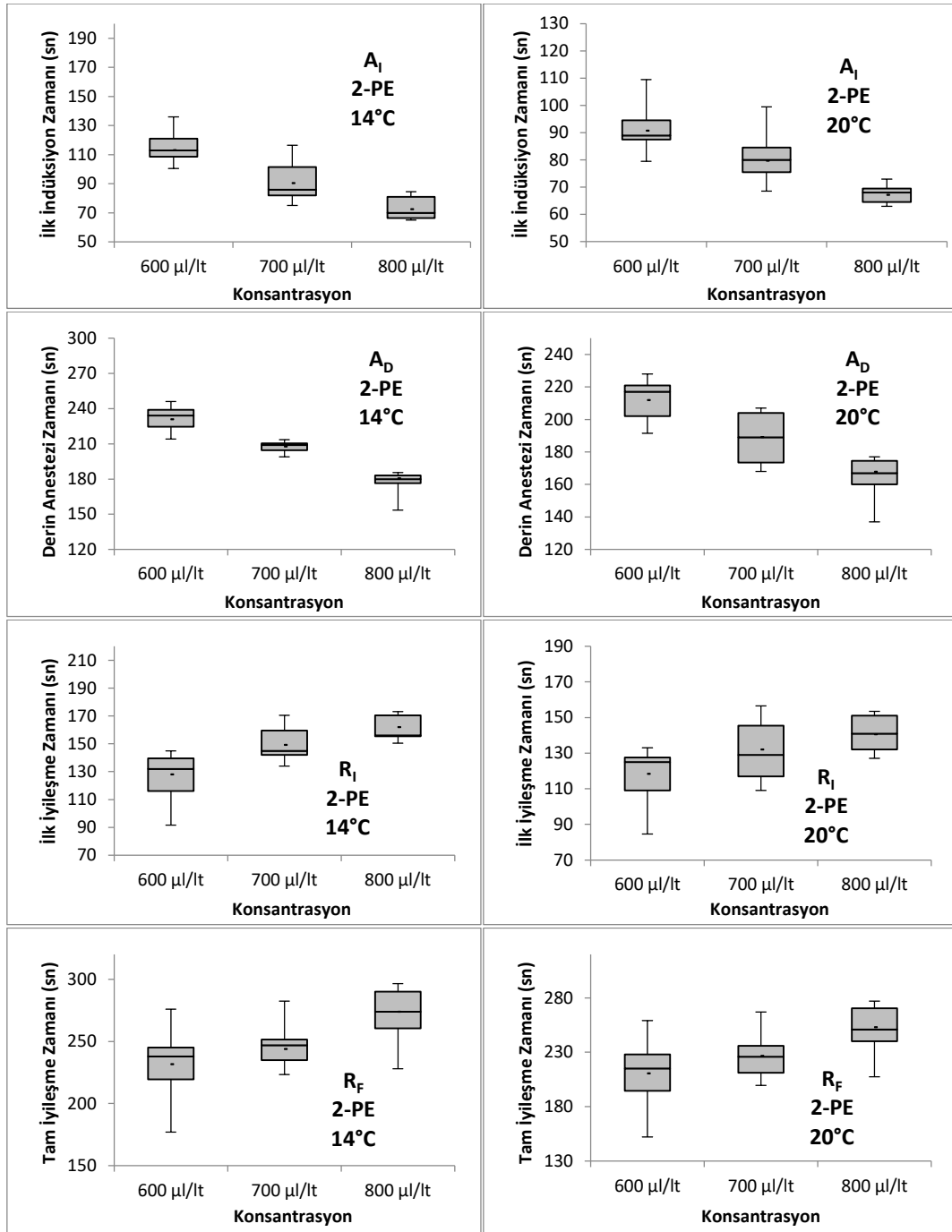
14°C’de en etkili 2-PE konsantrasyonu 800 µl/l (A_D ; $R_F \rightarrow 181 \pm 2,38$ sn ; $274 \pm 9,8$ sn) ve 20°C’de 800 µl/l (A_D ; $R_F \rightarrow 168 \pm 3,4$ sn ; $253 \pm 7,8$ sn) olarak belirlenmiştir. Konsantrasyonlar arasında aynı safhalar bakımından önemli istatistiksel farklılıklar vardır ($p < 0,05$). 14°C ve 20°C’lerde 2-PE anestezi ajanında konsantrasyon artışına bağlı olarak A_D safhası süreleri kısalmaktadır. Buna karşın 14°C ve 20°C’lerde konsantrasyon artışına bağlı olarak R_F sürelerinin uzadığı gözlemlenmiştir (Tablo 2, Şekil 2).

Su sıcaklığı farkına bağlı olarak 2-PE’de induksiyon ve iyileşme süreleri de farklılık göstermiştir. Düşük sıcaklıkta bütün induksiyon (A_I ve A_D) ve iyileşme (R_I ve R_F) süreleri yüksek sıcaklığa göre uzun kaydedilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında *C. auratus* türünde farklı konsantrasyonlardaki 2-PE anestezi ajanına ait induksiyon (A_I ve A_D) ve iyileşme (R_I ve R_F) safhalarının süreleri (sn).

14°C Su Sıcaklığında				
Konsantrasyon (µl/l)	İndüksiyon Zamanı (sn)		İyileşme Zamanı (sn)	
	A_I	A_D	R_I	R_F
600	$113 \pm 4,9^c$	$231 \pm 4,52^c$	$128 \pm 5,8^a$	$232 \pm 7,0^a$
700	$90 \pm 4,8^b$	$208 \pm 2,2^b$	$149 \pm 4,7^b$	$244 \pm 4,5^a$
800	$73 \pm 4,5^a$	$181 \pm 2,38^a$	$162 \pm 3,7^b$	$274 \pm 9,8^b$
20°C Su Sıcaklığında				
Konsantrasyon (µl/l)	İndüksiyon Zamanı (sn)		İyileşme Zamanı (sn)	
	A_I	A_D	R_I	R_F
600	$91 \pm 2,1^c$	$212 \pm 5,0^c$	$118 \pm 5,1^a$	$211 \pm 7,1^a$
700	$80 \pm 2,0^b$	$189 \pm 6,7^b$	$132 \pm 6,9^{ab}$	$227 \pm 6,7^a$
800	$67 \pm 1,4^a$	$168 \pm 3,4^a$	$141 \pm 6,2^b$	$253 \pm 7,8^b$

*Aynı sütun içinde aynı su sıcaklığı için farklı üst simgelere sahip değerler (ortalama \pm sh) arasında istatistiksel olarak önemli farklılık vardır ($p < 0,05$).

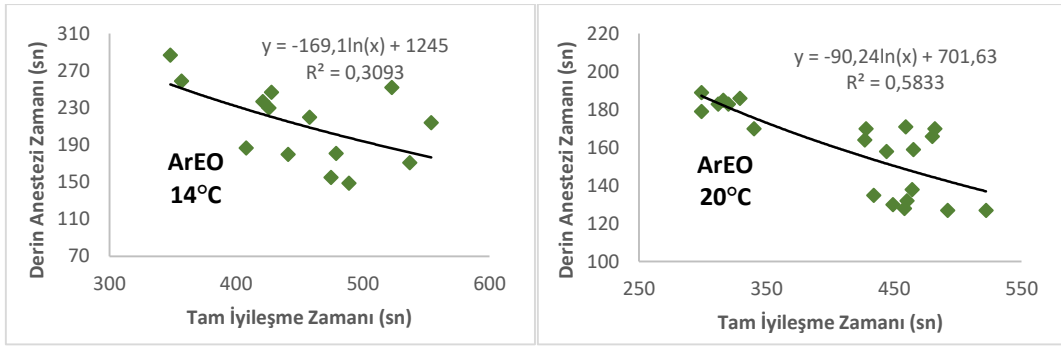


Şekil 2. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında farklı konsantrasyonlarda 2-PE ile anestezi edilen *C. auratus* türünde A_I, A_D, R_I ve R_F safhaları sürelerine ait Box Plot grafiği.

14°C ve 20°C’lerde 2-PE konsantrasyonu arttıkça A_I ve A_D safhaları süreleri azalmakta, R_I ve R_F safhalarının süreleri ise uzamaktadır (Tablo 2, Şekil 2) ($p < 0,05$). 2-PE anestezi maddesinde induksiyon ve iyileşme süreleri iki farklı su sıcaklığında da önemli derecede konsantrasyona bağlıdır ($p < 0,05$).

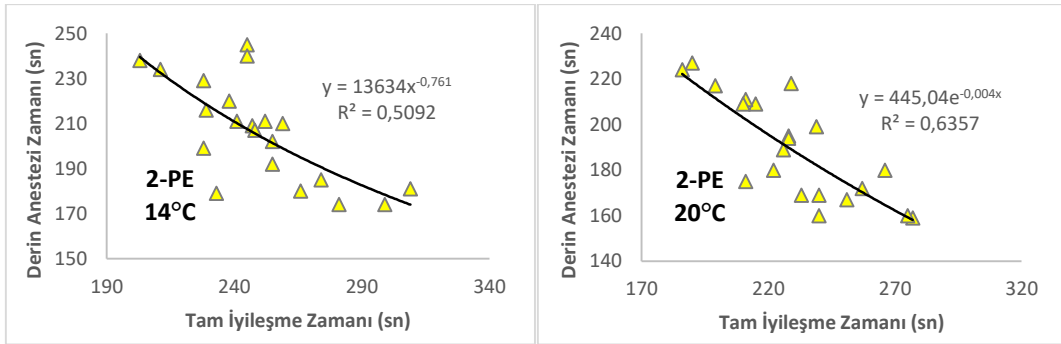
A_D ve R_F zamanları arasındaki ilişki

14°C’de arEO A_D ve R_F süreleri arasında zayıf negatif bir ilişki ($R^2 = 0,3093$), 20°C’de ise A_D ve R_F süreleri arasında negatif bir ilişki kaydedilmiştir ($R^2 = 0,5833$) (Şekil 3).



Şekil 3. 14°C su sıcaklığında farklı konsantrasyonlardaki ArEO ile anestezi edilen *C. auratus* türünde A_D ve R_F zamanları arasındaki ilişki.

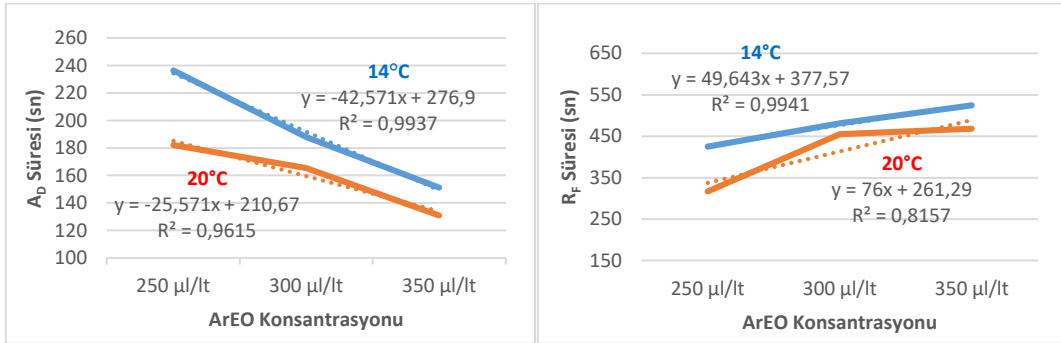
14°C'de 2-PE A_D ve R_F süreleri arasında negatif bir ilişki ($R^2=0,5092$), 20°C'de A_D ve R_F süreleri arasında negatif bir ilişki kaydedilmiştir ($R^2=0,6357$) (Şekil 4).



Şekil 4. 14°C su sıcaklığında farklı konsantrasyonlardaki 2-PE ile anestezi edilen *C. auratus* türünde A_D ve R_F zamanları arasındaki ilişki.

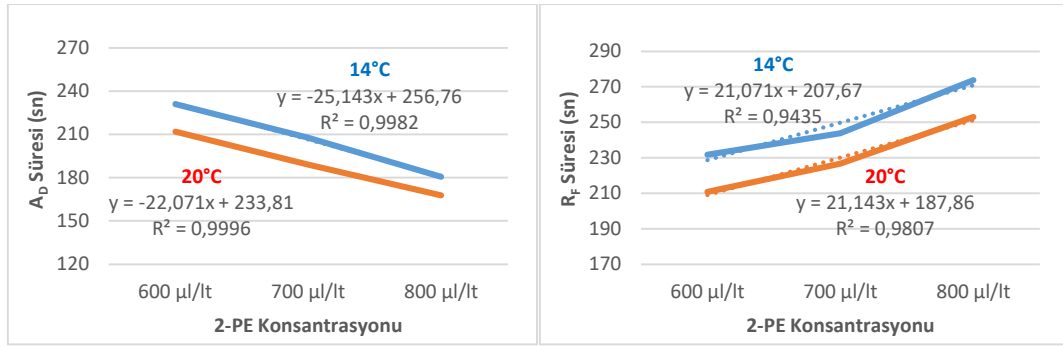
Farklı su sıcaklıklarında A_D/R_F zamanları ve konsantrasyonlar arasındaki ilişki

ArEO A_D süreleri ve konsantrasyonlar arasında 14°C'de kuvvetli negatif bir ilişki ($R^2=0,9937$) ve 20°C'de kuvvetli negatif bir ilişki tespit edilmiştir ($R^2=0,9615$). ArEO R_F süreleri ve konsantrasyonlar arasında 14°C'de kuvvetli pozitif bir ilişki ($R^2=0,9941$) ve 20°C'de kuvvetli pozitif bir ilişki bulunmuştur ($R^2=0,8157$) (Şekil 5).



Şekil 5. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında ArEO A_D zamanları / konsantrasyonları arasındaki ilişki ve ArEO R_F zamanları ve konsantrasyonları ilişkisi.

2-PE A_D süreleri ve konsantrasyonlar arasında 14°C'de kuvvetli negatif bir ilişki ($R^2=0,9982$) ve 20°C'de kuvvetli negatif bir ilişki bulunmuştur ($R^2=0,9996$). 2-PE R_F süreleri ve konsantrasyonlar arasında 14°C'de kuvvetli pozitif bir ilişki ($R^2=0,9435$) ve 20°C'de kuvvetli pozitif bir ilişki vardır ($R^2=0,9807$) (Şekil 6).



Şekil 6. 14°C ve 20°C su sıcaklıklarında 2-PE A_D zamanları / konsantrasyonları arasındaki ilişki ve 2-PE R_F zamanları / konsantrasyonları arasındaki ilişki.

Bu çalışmada, Japon balıkları iki farklı su sıcaklığında (14°C ve 20°C) farklı konsantrasyonlardaki gül ağacı (*A. rosaeodora*) esansiyel yağı (ArEO) ve kimyasal anestezi ajan 2- fenoksietanol (2-PE) ile anestezi edilmiştir. ArEO'nun ana bileşeni linalool olup anestezi etkisinin olduğu birkaç çalışmada bildirilmektedir (Heldwein vd., 2014; Mirghaed vd., 2016; Mazandarani vd., 2017; Silva vd., 2017). ArEO'nun Japon balıkları üzerinde anestezi etkisi göstermesinde başlıca unsur linalool bileşenidir (Kızak vd., 2018a).

Ross ve Ross (2008)'a göre, derin anestezi (A_D) safhası 3 dk'dan az bir sürede gerçekleşmelidir. Tam iyileşme (R_F) safhası da 5 dk'yı aşmamalıdır. Weber vd. (2009)'ne göre bu süreler balıklar üzerinde yapılacak operasyonel faaliyetler için yeterlidir. 14°C'de Japon balıklarının anestezi (A_D) edilmesinde en etkin ArEO konsantrasyonu 350 µl/Lt (A_D→151 ± 6,4 sn) iken, iyileşme (R_F) bakımından en ideal konsantrasyon 250 µl/Lt (R_F→425 ± 25,6 sn) olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, 14°C'de ideal süreler yakınlık açısından A_D ve R_F birlikte dikkate alındığında ideal konsantrasyonun 300 µl/Lt (A_D ; R_F→188 ± 13,9 sn ; 481 ± 16,1 sn) olduğunu söyleyebiliriz. 20°C'de Japon balıklarının anestezi (A_D) edilmesinde en etkin ArEO konsantrasyonu 350 µl/Lt (A_D→131 ± 1,6 sn) iken, iyileşme (R_F) bakımından en ideal konsantrasyon 250 µl/Lt (R_F→316 ± 5,7 sn) olarak kaydedilmiştir. 20°C'de ideal süreler yakınlık açısından A_D ve R_F beraber ele alındığında ideal konsantrasyonun 250 µl/Lt (A_D ; R_F→182 ± 2,3 sn ; 316 ± 5,7 sn) olduğu görülmektedir. Bu verilere göre, balıklarda anestezi için süre kriterleri dikkate alındığında ArEO maddesinin ideal bir anestezi ajan olduğu ortaya çıkmaktadır. 14°C'de A_D için en etkin 2-PE konsantrasyonu 800 µl/Lt (A_D→181 ± 2,38 sn) ve R_F bakımından en ideal 2-PE konsantrasyonu 600 µl/Lt (R_F→232 ± 7,0 sn) olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, 14°C'de ideal süreler yakınlık açısından A_D ve R_F birlikte dikkate alındığında ideal 2-PE konsantrasyonunun 800 µl/Lt (A_D ; R_F→181 ± 2,38 sn ; 274 ± 9,8 sn) olduğu görülmektedir. 20°C'de A_D için en etkin 2-PE konsantrasyonu 800 µl/Lt iken (A_D→168 ± 3,4 sn), R_F bakımından en ideal konsantrasyon 600 µl/Lt (R_F→211 ± 7,1 sn) olarak bulunmuştur. 20°C'de ideal süreler yakınlık açısından A_D ve R_F beraber dikkate alındığında ideal konsantrasyonun 800 µl/Lt (A_D ; R_F→168 ± 3,4 sn ; 253 ± 7,8 sn) olduğu söylenebilir. 14°C ve 20°C'lerde ArEO ve 2-PE konsantrasyonları arttıkça A_D süreleri kısalmışken R_F süreleri artış eğilimi göstermektedir (p<0,05). ArEO ve 2-PE için benzer bulgular 23°C su sıcaklığında Kızak vd. (2018a) tarafından da bildirilmektedir. Weyl vd. (1996) balıkların anestezi süresinin konsantrasyona bağlı olduğunu, en yüksek konsantrasyonda anestezi uygulanan balıkların daha düşük konsantrasyonlarda anestezi uygulananlardan daha geç iyileştiğini belirtmiştir. Bu çalışmada anestezi ajanlarının konsantrasyonları indüksiyon süreleri ile negatif, iyileşme süreleri ile pozitif korelasyon göstermiştir.

Genel olarak anestezi süresinin iyileşme durumuna geçme anestezi süresine bağlıdır (Weyl vd., 1996) ve bu durum anestezi ajan tipine ve balık türüne bağlı olarak indüksiyon ve iyileşme arasında pozitif veya negatif bir ilişkiye sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, 14°C'de ArEO anestezi ajanında A_D ve R_F süreleri arasında zayıf negatif bir ilişki (R²= 0,3093), 20°C'de A_D ve R_F süreleri arasında negatif bir ilişki bulunmuştur (R²= 0,5833). Yine benzer şekilde, 14°C ve 20°C'lerde 2-PE anestezi maddesinde A_D ve R_F süreleri arasında negatif ilişki tespit edilmiştir (sırasıyla, R²= 0,5092 ve R²= 0,6357). İndüksiyon ve iyileşme süreleri arasındaki negatif ilişki birçok çalışmada bildirilmektedir (Weyl vd., 1996; Hoseini vd., 2015; Mazandarani vd., 2017; Can vd., 2018a; Kızak vd., 2018a; Kızak vd., 2018b; Kızak vd., 2020).

ArEO ve 2-PE anestezi maddelerinde konsantrasyon ve indüksiyon süresi arasında önemli derecede negatif bir ilişki olduğu görülmektedir. 14°C ve 20°C'lerde ArEO A_D süreleri ve konsantrasyonlar arasında kuvvetli negatif bir ilişki (sırasıyla, R²= 0,9937 ve R²= 0,9615) bulunmuştur. 14°C ve 20°C'lerde 2-PE A_D süreleri ve konsantrasyonları arasında da kuvvetli negatif bir ilişki (sırasıyla, R²= 0,9982 ve R²= 0,9996) kaydedilmiştir. Konsantrasyon ve indüksiyon süresi arasındaki bu negatif ilişki durumu diğer anestezi maddelerle yapılan çalışmalarda da karşılaşılan bir olgudur (Cunha vd., 2010; Kızak vd., 2018a; Kızak vd., 2018b; Aydın vd., 2015; Aydın vd., 2019; Can vd., 2019; Kızak vd., 2020; Silva vd., 2020). ArEO ve 2-PE'de konsantrasyon artışına bağlı olarak A_D süreleri kısalmış olsa da R_F sürelerinde durum farklı olmuştur. Her iki su sıcaklığında da ArEO ve 2-PE'de R_F süreleri konsantrasyon artışına bağlı olarak uzamıştır. 14°C ve 20°C'lerde ArEO R_F süreleri ve konsantrasyonlar arasında kuvvetli pozitif ilişki (sırasıyla, R²= 0,9941 ve R²= 0,8157) vardır. 14°C ve 20°C'lerde 2-PE R_F süreleri ve konsantrasyonları arasında kuvvetli pozitif ilişki (sırasıyla, R²= 0,9435 ve R²= 0,9807) bulunmuştur. Anestezi konsantrasyonu ile iyileşme süresi arasındaki bu pozitif ilişki farklı anestezi ajanlar ve farklı balık türleriyle yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir (Aydın vd., 2015; Kızak vd., 2018a; Kızak vd., 2018b; Can vd., 2019; Aydın vd., 2019). Bununla birlikte, Kızak vd. (2020) defne yaprağı esansiyel yağı ve 2-PE ile yaptıkları çalışmada, 2-PE konsantrasyonları ile iyileşme süreleri arasında pozitif, defne yaprağı esansiyel yağı konsantrasyonları ile iyileşme süreleri arasında negatif ilişki kaydetmiştir. Benzer negatif ilişkiler birkaç

çalışmada da bildirilmiştir (Sena vd., 2016; Limma-Netto vd., 2016). Uygulanan anestezi ajanları, su sıcaklığı ve balık türleri iyileşme sürelerini etkileyebilir (Mylonas vd., 2005; Limma-Netto vd., 2016).

Su sıcaklığı farkının indüksiyon ve iyileşme sürelerine olan etkisi barizdir. Su sıcaklığı yükseldikçe anestezi ve iyileşme sürelerinin azalması olgusu (Sneddon, 2012), bu çalışmada elde edilen bulgular ile teyit edilmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda daha hızlı indüksiyon ve iyileşme sürelerinin gerçekleşmesi, sıcaklık ve balık metabolizması arasındaki pozitif ilişkiye bağlanmaktadır (Mylonas vd., 2005). *Psetta maxima* türünde karanfil yağı ile yapılan bir çalışmada, balık boyutu ve konsantrasyonları fark etmeksizin, su sıcaklığının 10°C'den 20°C'ye çıkarılmasıyla indüksiyon ve iyileşme sürelerinin yarı yarıya azaldığı bildirilmektedir (Aydın vd., 2015). Su sıcaklığındaki değişiklik nedeniyle balık fizyolojisinde meydana gelen değişimler, anestezi ve iyileşme sürelerini önemli ölçüde etkiler (Aydın vd., 2019). Olasılıkla daha yüksek oksijen talebi gerektiren artan bazal metabolik hız ile ilişkili olarak bu durum artan solunum ve dolaşıma yol açmaktadır (Schurmann ve Steffensen, 1997; Clarke ve Johnston, 1999). Farklı balık türlerinde farklı anestezi maddeleriyle yapılan araştırmalarda artan su sıcaklığının bir sonucu olarak anestezi ve iyileşme sürelerinin kısaldığı bildirilmektedir (Hamackova vd., 2004; Hoskonen ve Pirhonen, 2004; Mylonas vd., 2005; Zahl vd., 2009; Aydın vd., 2015; Santos ve ark, 2015; Skår vd., 2017; Park vd., 2018; Aydın vd., 2019).

Sıcaklık, pH, yaş, boyut, cinsiyet ve bu faktörler arasındaki etkileşimler anestezi ajanlarının balıklardaki etkinliğini etkiler (Ross ve Ross, 2008; Zahl vd., 2009; Aydın vd., 2015; Mitjana vd., 2018; Aydın vd., 2019). Bununla birlikte, etkileşim ile ilgili farklı sonuçlar da ortaya çıkabilmektedir. Skår vd. (2017) *Cyclopterus lumpus* türü üzerine yaptıkları çalışmada, anestezi konsantrasyonlarının, sıcaklığın ve balık boyutunun etkisinin ve bunların birleşik etkilerinin istatistiksel analizleri, her bir parametrenin ayrı ayrı ve anestezi konsantrasyonunun sıcaklık ve balık boyutu ile birlikte önemli bir etkiye sahip olduğunu belirtmiş, ancak sıcaklık ve balık boyutu arasında veya konsantrasyon, sıcaklık ve balık boyutu arasında herhangi bir etkileşim olmadığını bildirmiştir. Aydın vd. (2019) *Garra rufa* türünde farklı konsantrasyonlarda karanfil yağını ve 2-PE'ü farklı su sıcaklıklarında denemiş, su sıcaklığı ve anestezi konsantrasyonu arasında istatistiksel olarak anlamlı etkileşimler tespit etmiştir. ArEO ve 2-PE için indüksiyon ve iyileşme sürelerinde su sıcaklığı ve anestezi konsantrasyon etkileşimi önemli bulunmuştur ($p < 0,001$).

Bitkisel esansiyel yağlar ve bunların etken maddeleri ile yapılan anestezi çalışmalarında, balıklarda anormal yüzme davranışları, kas kasilması, öksürme, solunum kesme, lateral bölgede siyah bant oluşumları gibi bir takım yan etkilerden bahsedilmektedir (Mazandarani ve Hoseini, 2017; Mirghaed vd., 2018; Kızak vd., 2020). Başka bir çalışmada istemsiz kas kasilmaları ve ayrıca mortalite nedeniyle fesleğen yağı önerilmemiştir (Correia vd., 2018). Deri renginde ve desenlerde, siyah ve hafif gölgelenme şeklindeki bant oluşumları ile meydana gelen değişimler balıklarda stresi işaret etmektedir (Van der Salm vd., 2006; Rezende vd., 2017). Çalışmada, Japon balıkları üzerinde ArEO ve 2-PE anestezi ajanlarının herhangi bir yan etkisi gözlemlenmemiştir. Konsantrasyon artışına bağlı olarak ArEO'nun karakteristik kokusu artmasına rağmen uygulayanlar üzerinde rahatsız edici bir tesire sahip değildir. Gül ağacı esansiyel yağının etanol ile olan karışımı suda herhangi bir bulanıklığa sebep olmamakta, dolayısıyla balık davranışlarını gözlemlemek açısından bir zorlukla karşılaşılmamaktadır.

SONUÇ

Sonuç olarak, ArEO anestezi ajanının her iki su sıcaklığında da etkili olduğu kanaatine varılmıştır. Uygulayanlarda koku ve gözlem açısından herhangi bir olumsuz etkisinin olmaması, balıklar üzerinde herhangi bir yan etkisinin olmaması, anestezi ve iyileşme süreleri bakımından ideal süreler içinde olması, anesteziyi sağlayabilmek için yüksek konsantrasyonlarda esansiyel yağ kullanılmasına gerek olmaması gibi makul özellikleri sebebiyle ArEO maddesi anestezi ajanı karakteristikleri sergilemektedir. Bununla birlikte, ArEO anestezi ajanının farklı balık türleri üzerinde, farklı balık büyüklüklerinde ve farklı su koşullarında test edilmesi faydalı olacaktır.

ETİK STANDARTLARA UYUM

Yazarların katkıları

B.Ş.: Literatür taraması yaptı, çalışmayı gerçekleştirdi, verileri yorumladı, makaleyi yazdı.

V.K.: Çalışmayı tasarladı, verileri yorumladı, makaleyi kontrol etti.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler

Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

T.C. Munzur Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu'nun E-63614754-050.01.04-2300006839 sayılı kararı (Toplantı sayısı 2022-21 / Karar no. 21-01) ile etik kurallar çerçevesinde bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

İnsan Hakları Beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

KAYNAKLAR

- Aydın, İ., Akbulut, B., Küçük, E. & Kumlu, M. (2015). Effects of temperature, fish size and dosage of clove oil on anaesthesia in turbot (*Psetta maxima* Linnaeus, 1758). Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 15:899-904. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v15_4_13
- Aydın, A., Akhan, S., Gümüş, E. & Özbaş, M. (2019). Anesthetic efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol on Doctor fish, *Garra rufa* (Heckel, 1843). Boletim Do Instituto De Pesca, 45(4):e506. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2019.45.4.506>
- Can, E., Kızak, V., Özçiçek, E. & Can, S. S. (2017). The efficacy of chamomile (*Matricaria chamomilla*) oil as a promising anesthetic agent for two freshwater aquarium fish species. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 1437(69):1-8.
- Can, E., Kızak, V., Özçiçek, E. & Can S. S. (2018). Anesthetic potential of geranium (*Pelargonium graveolens*) oil for two cichlid species, *Sciaenochromis fryeri* and *Labidochromis caeruleus*. Aquaculture, 491:59-64. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.03.013>
- Can, E., Kızak, V., Özçiçek, E. & Can, S. S. (2019). Anesthetic Efficiency of Three Medicinal Plant Oils for Aquatic Species: Coriander *Coriandrum sativum*, Linaloe Tree *Bursera delpechiana*, and Lavender *Lavandula hybrida*. Journal of Aquatic Animal Health, 31:266-273. <https://doi.org/10.1002/aah.10081>
- Clarke, A. & Johnston, N. M. (1999). Scaling of metabolic rate with body mass and temperature in teleost fish. Journal of Americal Ecology, 68:893-905.
- Correia, A. M., Pedrazzani, A. S., Mendonca, R. C., Massucatto, A., Ozorio, R. A. & Tsuzuki, M. Y. (2018). Basil, tea tree and clove essential oils as analgesics and anaesthetics in *Amphiprion clarkii* (Bennett, 1830). Brazilian Journal of Biology, 78(3):436-442. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.166695>
- Cunha, M. A., Barros, F. M. C., Oliveira Garcia, L., Lima Veeck, A. P., Heinzmann, B. M., Loro, V. L., & Baldisserotto, B. (2010). Essential oil of *Lippia alba*: A new anesthetic for silver catfish, *Rhamdia quelen*. Aquaculture, 306:403-406. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.06.014>
- Fernandez-Parra, R., Donnelly, T. M., Pignon, C., Noirault, A. & Zilberstein, L. (2017). Immersion anesthesia with alfaxalone in a goldfish (*Carassius auratus*). Journal of Exotic Pet Medicine, 26:276-282. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2017.08.003>
- Hamackova, J., Lepicova, A., Kozak, P., Stupka, Z., Kouril, J. & Lepic, P. (2004). The efficacy of various anaesthetics in tench (*Tinca tinca* L.) related to water temperature. Veterinarni Medicina, 49:467-472.
- Heldwein, C. G., Silva, L. L., Gai, E. Z., Roman, C., Parodi, T. V., Bürger, M. E., Baldisserotto, B., Flores, E. M. & Heinzmann, B. M. (2014). S-(+)-Linalool from *Lippia alba*: sedative and anesthetic for silver catfish (*Rhamdia quelen*). Veterinary Anaesthesia and Analgesia, 41:621-629. <https://doi.org/10.1111/vaa.12146>
- Hoseini, S. M., Rajabiesterabadi, H. & Tarkhani, R. (2015). Anaesthetic efficacy of eugenol on iridescent shark, *Pangasius hypophthalmus* (Sauvage, 1878) in different size classes. Aquaculture Research, 46:405-412. <https://doi.org/10.1111/are.12188>
- Hoskonen, P. & Pirhonen, J. (2004). Temperature effects on anaesthesia with clove oil in six temperate-zone fishes. Journal of Fish Biology, 64:1136-1142.
- Kızak, V., Can, E., Danabaş, D. & Seyhaneyıldız Can, S. (2018a). Evaluation of anesthetic potential of rosewood (*Aniba rosaodora*) oil as a new anesthetic agent for goldfish (*Carassius auratus*). Aquaculture, 493:296-301. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.05.013>
- Kızak, V., Can, E., Can, Ş. S. & Özçiçek, E. (2018b). Anesthetic efficacy of *Cymbopogon citratus* essential oil as a herbal agent in two ornamental fish species. The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 70:1-8.
- Kızak, V., Can, E. & Seyhaneyıldız Can, S. (2020). [Potential anesthetic properties of Bay Leaf \(*Laurus nobilis*\) essential oil compared with 2-phenoxyethanol on Blue Dolphin Cichlid, *Cyrtocara moorii*](http://doi.org/10.46989/IJA.72.2020.961461). The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh, 72:1-9. <http://doi.org/10.46989/IJA.72.2020.961461>
- Kucuk, S. (2010). Efficacy of tricaine on *Peocilia latipinna* at different temperatures and concentrations. African Journal of Biotechnology, 9(5):755-759. <https://doi.org/10.5897/AJB09.1353>
- Limma-Netto, J. D., Sena, A. C. & Copatti, C. E. (2016). Essential oils of *Ocimum basilicum* and *Cymbopogon flexuosus* in the sedation, anesthesia and recovery of tambacu (*Piaractus mesopotamicus* male x *Colossoma macropomum* Female). Boletim do Instituto de Pesca, 42(3):727-733. <https://doi.org/10.20950/1678-2305.2016v42n3p727>
- Mazandarani, M., Hoseini, S. M. & Ghomshani, M. D. (2017). Effects of linalool on physiological responses of *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758) and water physico-chemical parameters during transportation. Aquaculture Research, 48:5775-5781. <https://doi.org/10.1111/are.13400>
- Mazandarani, M. & Hoseini, S. M. (2017). Menthol and 1,8-cineole as new anaesthetics in common carp, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). Aquaculture Research, 48:3041-3051. <https://doi.org/10.1111/are.13136>

- Mirghaed, A. T., Ghelichpour, M. & Hoseini, S. M. (2016). Myrcene and linalool as new anesthetic and sedative agents in common carp, *Cyprinus carpio*- comparison with eugenol. *Aquaculture*, 464:165-170. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.06.028>
- Mirghaed, A. T., Yasari, M., Mirzargar, S. S. & Hoseini, S. M. (2018). Rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) anesthesia with myrcene: efficacy and physiological responses in comparison with eugenol. *Fish Physiology and Biochemistry*, 44:919-926. <https://doi.org/10.1007/s10695-018-0481-5>
- Mitjana, O., Bonastre, C., Tejedor, M. T., Garza, L., Esteban, J. & Falceto, M. V. (2018). Simultaneous effect of sex and dose on efficacy of clove oil, tricaine methanesulfonate, 2-phenoxyethanol and propofol as anaesthetics in guppies, *Poecilia reticulata* (Peters). *Aquaculture Research*, 49:2140-2146. <https://doi.org/10.1111/are.13668>
- Mylonas, C. C., Cardinaletti, G., Sigelaki, I. & Polzonetti-Magni, A. (2005). Comparative efficacy of clove oil and 2-phenoxyethanol as anesthetics in the aquaculture of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) and gilthead sea bream (*Sparus auratus*) at different temperature. *Aquaculture*, 246:467-481. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.02.046>
- Park, I. S., Lee, T. H. & Lim, S. G. (2018). Anesthetic efficacy and physiological responses of clove oil on juvenile and adult red spotted grouper, *Epinephelus akarra*. *Fisheries and Aquatic Sciences*, 21:1-6. <https://doi.org/10.1186/s41240-018-0100-5>
- Rezende, F. P., Pascoal, L. M., Vianna, R. A. & Lanna, E. A. T. (2017). Sedation of Nile tilapia with essential oils: Tea tree, clove, eucalyptus, and mint oils. *Revista Caatinga*, 30(2):479-486. <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n223rc>
- Ross, L. G. & Ross, B. (2008). Anaesthetic and sedative techniques for aquatic animals, 3rd edition. Wiley-Blackwell Publishing, Oxford, İngiltere, 240s.
- Santos, S., Ghanawi, J. & Saoud, I. P. (2015). Effects of water temperature and body weight on anaesthetic efficiency in marbled rabbitfish (*Siganus rivulatus*). *Aquaculture Research*, 46:928-936. <https://doi.org/10.1111/are.12249>
- Sarrazin, S. L. F., Oliveira, R. B., Maia, J. G. S. & Mourao, R. H. V. (2016). Antibacterial activity of the rosewood (*Aniba rosaedora* and *A. parviflora*) linalool-rich oils from the Amazon. *European Journal of Medicinal Plants*, 12:1-9. <https://doi.org/10.9734/EJMP/2016/22901>
- Schoettger, R. A. & Julin, A. M. (1967). Efficacy of MS-222 as an anesthetic on four salmonids. *Investigations in Fish Control 13, Report-Federal Government Series, U.S. Fish and Wildlife Service, A.B.D, 15s.*
- [Schurmann, H. & Steffensen, J. F. \(1997\). Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 50:1166-80.](#)
- Sena, A. C., Teixeira, R. R., Ferreira, E. L., Heinzmann, B. M., Baldisserotto, B., Caron, B. O., Schmidt, D., Couto, R. D. & Copatti, C.E. (2016). Essential oil from *Lippia alba* has anaesthetic activity and is effective in reducing handling and transport stress in tambacu (*Piaractus mesopotamicus* X *Colossoma macropomum*). *Aquaculture*, 465:374-379. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.09.033>
- Silva, L. L., Balconi, L. S., Gressler, L. T., Garlet, Q. I., Sutili, F. J., Vargas, A. P. C., Baldisserotto, B., Morel, A. F. & Heinzmann, B. M. (2017). S-(+)- and R-(-)-linalool: a comparison of the in vitro anti-*Aeromonas hydrophila* activity and anesthetic properties in fish. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 89:203-212. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720150643>
- Silva, L. A., Martins, M. A., Santo, F. E., Oliveira, F. C., Chaves, F. C. M., Chagas, E. C., Martins, M. L. & Campos, C. M. (2020). Essential oils of *Ocimum gratissimum* and *Zingiber officinale* as anesthetics for the South American catfish *Pseudoplatystoma reticulatum*. *Aquaculture*, 528:735595. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735595>
- Skår, M. W., Haugland, G. T., Powell, M. D., Wergeland, H. I. & Samuelson, O. B. (2017). Development of anaesthetic protocols for lumpfish (*Cyclopterus lumpus* L.): Effect of anaesthetic concentrations, sea water temperature and body weight. *PLoS ONE*, 12(7):e0179344. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179344>
- Sneddon, L. U. (2012). Clinical anesthesia and analgesia in fish. *Journal of Exotic Pet Medicine*, 21:32-43. <https://doi.org/10.1053/j.jepm.2011.11.009>
- Van der Salm, A. L., Pavlidis, M., Flik G. & Wendelaar Bonga, S. E. (2006). The acute stress response of red porgy, *Pagrus pagrus*, kept on a red or white background. *General and Comparative Endocrinology*, 145:247-253. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2005.09.010>
- Velisek, J., Wlasow, T., Gomulka, P., Svobodova, Z. & Novotny, L. (2007). Effects of 2-phenoxyethanol anaesthesia on sheatfish (*Silurus glanis* L.). *Veterinární medicína*, 52:103-110.
- Weber, R. A., Peleteiro, J. B., García Martín, L. O. & Aldegunde, M. (2009). The efficacy of 2-phenoxyethanol, metomidate, clove oil and MS-222 as anaesthetic agents in the Senegalese sole (*Solea senegalensis* Kaup, 1858). *Aquaculture*, 288:147-150. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.11.024>

- Weyl, O., Kaiser, H. & Hecht, T. (1996). On the efficacy and mode of action of 2- phenoxyethanol as an anaesthetic for goldfish (*Carassius auratus*), at different temperatures and concentrations. *Aquaculture Research*, 27:757-764.
- Yigit, N. O. & Kocaayan, H. (2023). Efficiency of thyme (*Origanum onites*) and coriander (*Coriandrum sativum*) essential oils on anesthesia and histopathology of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 562:738813. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738813>
- Zahl, I. H., Kissling, A., Samuelsen, O. B. & Hansen, M.K. (2009). Anaesthesia of Atlantic cod (*Gadus morhua*) - Effect of pre-anaesthetic sedation, and importance body weight, temperature and stress. *Aquaculture*, 295:52-59. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.019>



Karadeniz Kıyılarında Ticari Dip Trol Ağları ile Avlanan Hedef Tür, Hedef Dışı Av ve Iskartanın Birim Çabadaki Av Miktarının (BÇAM) Belirlenmesi

Hakan AKSU^{1*}, Osman SAMSUN², Süleyman ÖZDEMİR²

¹ Sinop Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Su Ürünleri Bölümü, Sinop/Türkiye

² Sinop Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, Avlama Bölümü, Sinop/Türkiye

*E-mail: aksuhakan@hotmail.com

Makale Bilgisi

Alınış tarihi:
10/10/2023

Kabul tarihi:
26/12/2023

Anahtar Kelimeler:

- Demersal Trol Balıkçılığı
- Birim Çabadaki Av Miktarı (BÇAM)
- Tür Kompozisyonu
- Karadeniz

Öz

Bu çalışmada, Karadeniz'in Sinop (İnceburun) kıyılarında ticari olarak kullanılan dip trol ağlarının Birim Çabadaki Av Miktarları (BÇAM) ve av kompozisyonu belirlenmiştir. Deniz çalışmaları 2009-2010 av sezonunda 40 gün süre ve toplam 195 avcılık operasyonu ile tamamlanmıştır. Çalışmada dip trol ağları ile toplam 22063,8 kg ürün elde edilirken, 11 kemikli balık, 3 kıkırdaklı balık, 2 eklembacaklı, 1 yumuşakça ve tesadüfi olarak yakalanan 1 deniz memelisi olmak üzere toplam 18 türün avlandığı tespit edilmiştir. En fazla avlanan grup %99,18 ile kemikli balıklar olurken bunu %0,55 ile kıkırdaklı balıklar izlemiştir. Avlanan kemikli balıklardan mezgit balığı (*Merlangius merlangus*, Nordmann 1840) %95,79 oranı ile ilk sırada yer alırken, bu türü sırasıyla barbunya (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927) tirsisi (*Alosa immaculata Bennett, 1835*), çaça ve kalkan (*Scophthalmus maeoticus* Pallas, 1811) balıkları izlemiştir. En düşük av oranı ise kum karidesi (*Palaemon adspersus* Rathke, 1837) türünde (%0,01) görülmüştür. Ekonomik olarak değerlendirilen avın BÇAM en yüksek değeri Eylül ayında (70,59 kg/s), en düşük değeri ise Nisan ayında (29,55kg/s) hesaplanmıştır. Ayrıca, bölgede yapılan dip trol balıkçılığında avlanan tüm türler için BÇAM ve av kompozisyonunun aylık olarak değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

The Determination of Catch Per Unit Effort Catch (CPUE) of Target Species, By-catch and Discard Captured by Commercial Demersal Trawl Nets in Black Sea Shores

Article Info

Received:
10/10/2023
Accepted:
26/12/2023

Keywords:

- Demersal Fisheries
- Bottom Trawl Fishing
- Catch Per Unit Effort (CPUE)
- Species Composition
- Black Sea

Abstract

In this study, Catch Per Unit Effort (CPUE) and catch composition of bottom trawl nets commercially used in the Sinop (İnceburun) coasts of the Black Sea were determined. Sea trials were completed in 2009-2010 fishing season with a duration of 40 days and a total of 195 fishing operations. A total of 22063.8 kg catch was obtained with the bottom trawl nets in the study. It was determined that a total of 18 species, including 11 teleost, 3 chondrostei, 2 crustaceans, 1 mollusca and incidentally 1 marine mammal were caught. The most caught group was teleost with 99.18%, followed by chondrostei with 0.55%. Among the teleost caught, whiting (*Merlangius merlangus*, Nordmann 1840) first placed with a rate of 95.79%, followed by red mullet (*Mullus barbatus ponticus* Essipov, 1927), shad (*Alosa immaculata* Bennett, 1835), sprat and turbot (*Scophthalmus maximus* Linnaeus, 1758). The lowest catch rate (0.01 %) was in the sand shrimp (*Palaemon adspersus* Rathke, 1837). The highest value of CPUE of the economically evaluated catch was calculated in September (70.59 kg/h) and the lowest value was calculated in April (29.55 kg/h). In addition, it has been determined that the CPUE and catch composition change monthly for all species caught in bottom trawling in the region.

Atf bilgisi/Cite as: Aksu H., Samsun O., Özdemir S. (2023). Karadeniz Kıyılarında Ticari Dip Trol Ağları ile Avlanan Hedef Tür, Hedef Dışı Av ve Iskartanın Birim Çabadaki Av Miktarının (BÇAM) Belirlenmesi. Menba Journal of Fisheries Faculty, 9(2), 27-39. <https://doi.org/10.58626/menba.1373906>

GİRİŞ

Deniz ekosistemindeki türler küçük ya da büyük gruplar oluşturarak, üreme, beslenme, korunma, sığınma amaçlı birbirleriyle etkileşim içerisinde bulunmaktadır. Bu nedenle hedef türün avcılığı esasında av aracıyla birçok tür avlanmaktadır. Hedef türler dışında avlanan diğer türler hedef dışı av (by-catch) olarak adlandırılmaktadır. Avcılığı istenmeyen organizmaların orantısız bir şekilde yakalanması ve genellikle hedef türün yavruları ve avcılık esnasında zarar görmüşleri de dahil olmak üzere

çeşitli hedef olmayan bireylerin avcılığı hedef dışı av ile sonuçlanır (Andrew ve Pepperel, 1992; Alverson vd., 1994; Kelleher, 2005; Pascoe, 1997; Clucas, 1997; Broadhurst vd., 2006; FAO, 2018; FAO, 2019).

Hedef dışı avın bileşenleri ekonomik olarak ayrılan ve karaya çıkarılan yan av ve ıskarta olarak denize atılan kısımdır. Hedef dışı av türleri hedef tür dışında avlanan diğer ekonomik türlerdir. ıskarta ise denize dökülen ve ekonomik değeri olmayan tüm bireyleri içerir (Andrew ve Pepperel, 1992; Alverson vd., 1994; Kınacıgil vd., 1999; Kelleher, 2005; Broadhurst vd., 2006; Özdemir vd., 2006). Dünya avcılık üretiminin %22'si trol ağlarıyla gerçekleşmektedir. Dünyada kullanılan tüm av araçları içerisinde trol ağlarının hedef dışı av oranı ise %50 seviyesindedir (Kelleher, 2005).

Hedef avın içerisindeki hedef dışı türlerin av miktarındaki artış hem balıkçılık endüstrisini hem de tüm deniz canlılarını etkilemektedir (Alverson vd., 1994; Hall., 1996; Kınacıgil vd., 1999; Kelleher, 2005; Dalyan, 2020). Hedef dışı av olarak adlandırılan istenmeyen türlerin avlanması problemi dünya çapındaki tüm avcılık sistemleri için ciddi bir problem teşkil etmektedir (Alverson vd. 1994; Kelleher, 2005; Pascoe, 1997). Son zamanlarda ülkemiz balıkçılığı üzerinde de etkileri görülmeye başlamıştır (Ceylan vd., 2013; FAO, 2018). Trol ağları ile büyük miktarda su ürünü avlandığından deniz ekosistemi trol balıkçılığının doğrudan veya dolaylı olarak etkilerine maruz kalmaktadır. Bu olumsuz etkileri belirlemek ve ekosisteme dayalı sürdürülebilir bir balıkçılık endüstrisini sağlamak için ıskarta oranlarının tahmin edilmesi esastır. Dünyadaki birçok ülke bu problemi halen çözmeye çalışmaktadır. Ancak genellikle politik, ekonomik, teknik ve balıkçılık yönetimleri açısından sorunlarla karşılaşmaktadır (Kelleher, 2005).

Karadeniz dip trol balıkçılığının av kompozisyonu birçok balık, omurgasız ve yumuşakça türünü içermekte olup hedef türün yanında birçok tür avlanmaktadır. Kullanılan dip trol ağı geleneksel yapıya sahiptir (Erdem vd., 2019; Erdem vd., 2020). Dip trol ağları Karadeniz ve Akdeniz havzası balıkçılığında yaygın olarak kullanılmaları, avcılık özelliği ve istenmeyen türleri avlaması nedeniyle sürekli tartışmalı bir av aracı olmaktadır (Özdemir, 2006; Yıldız & Karakulak, 2018; Ögreden & Yağlıoğlu, 2017).

Batı Karadeniz, dip trol balıkçılığı için çok önemli bir balıkçılık sahasıdır ve avcılık yapılabilen sahalar oldukça dar bantlar şeklindedir. Bölgede İğneada'dan Sinop'a kadar 322 dip trol balıkçı teknesi avcılık yapmaktadır. Batı Karadeniz'de ıskarta olarak etkilenen tür sayısı 18 ile 24 arasından değişim göstermektedir. Karadeniz'de ıskarta olarak etkilenen tür sayısının az olmasının nedeni diğer denizlerimize göre tür çeşitliliğinin daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır (Kaykaç vd. 2014; Yıldız & Karakulak, 2017).

Türkiye balıkçılığı 2022 yılı av miktarı 335003 ton olarak gerçekleşmiş ve bunun büyük kısmı Karadeniz'den sağlanmıştır. Av miktarı üretiminde sırasıyla gırgır ağları, orta su trolleri ve dip trolleri gelmektedir (TÜİK, 2022). Ülkemiz avcılığında dip trollerin av miktarı üretimi az olsa bile bu av ekonomik değeri oldukça yüksek türlerden oluşmaktadır (Genç, 2000) Dip trolleri demersal ve semi-pelajik türlerin avcılığında kullanılan en modern av araçlarıdır (Erdem, 2000; Demirci, 2009; Özdemir, 2006). Bu nedenle bu av aracının kullanımı zaman içerisinde gelişmiş ve kullanımı yaygınlaşmıştır (Aydm vd. 2005).

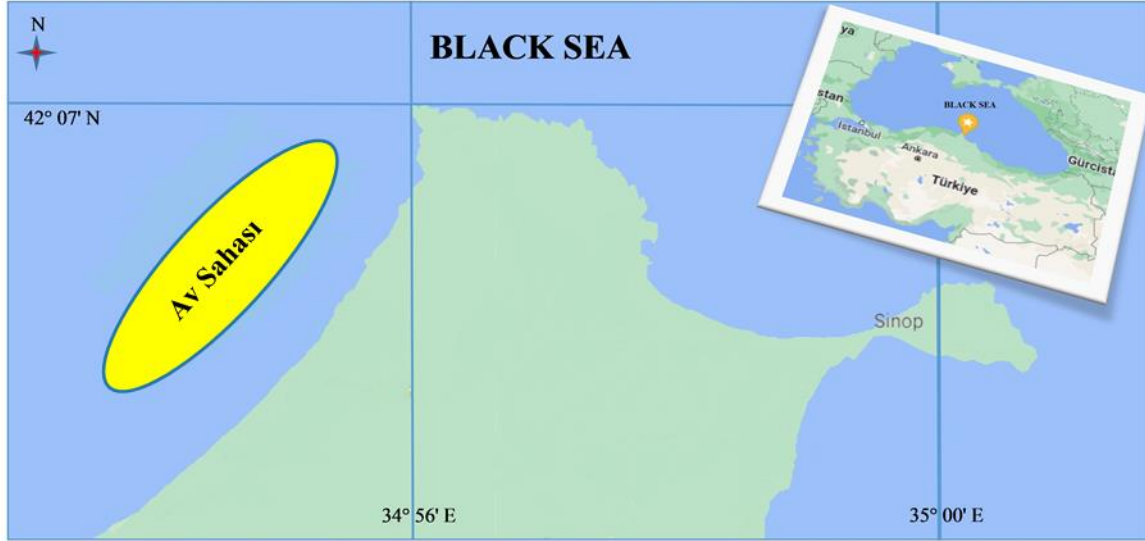
Türkiye kıyılarında dip trol ağları ile yakalanan tür sayısı 50'den fazladır (Tosunoğlu vd., 2003). Karadeniz dip trol avcılığının hedef türü mezgit olup en çok avlanan tür olmakla birlikte barbunyada dip trol ağlarıyla önemli miktarda avlanabilmektedir (Erdem & Erkoyuncu 2000; Zengin vd. 1997; Gönener & Özdemir, 2012; Özdemir & Erdem, 2011; Erdem vd., 2008). Ayrıca kalkan ve kırlangıç (*Chelidonichthys lucerna* Linnaeus, 1758) gibi demersal türler ile lüfer (*Pomatomus saltatrix* Linnaeus, 1766) ve istavrit gibi semi-pelajik türler yan avı oluşturmaktadır (Gönener ve Erkoyuncu, 2005; Özdemir vd., 2009a; Özdemir vd., 2009b; Başkaya, 2012; Yıldız, 2016; Özdemir ve Erdem, 2018). Batı Karadeniz'de demersal balık stoklarının yıllık olarak karaya çıkarılan miktarının yaklaşık %96'sını oluşturan mezgit ve barbunya balıklarının büyük çoğunluğunu (%90) dip trol ağları avlamaktadır (TÜİK, 2022). Dip trol gemilerinin kapasitesinin fazlalığı, yasa dışı yaklaşımlarla (mil sınırlamasına uyulmaması, küçük gözlü torba kullanımı, çift torba uygulanması) ve işleyişleri ile ilgili sorunlar birleşince Karadeniz'deki demersal balık kaynaklarının büyük bölümünün ıskarta olmasında en büyük katkıyı trol ağları sağlamaktadır (Ceylan vd., 2013; Yıldız, 2016; Yıldız & Karakulak, 2017).

Karadeniz Bölgesi balıkçılığının verimini etkileyen temel problemleri deniz kirliliği, kontrolsüz ve bilinçsiz balıkçılık aktiviteleri, aşırı av baskısı ve balık stoklarına avcılığın etkisi hakkında bilimsel veri eksikliği olarak sıralayabiliriz. Dip trolü av aracının hedef ve hedef dışı türlerin av kompozisyonun belirlenmesi, av aracının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi yanında ekosistem üzerindeki olumsuz etkilerin de azaltılmasına katkılar sunacaktır.

Yapılan bu çalışmada, demersal balık avcılığında kullanılan en etkin av aracı olan dip trol ağlarının av ve tür kompozisyonun belirlenmesi amaçlanmıştır. Karadeniz'in önemli bir balıkçılık merkezi konumundaki Sinop kıyılarında, ticari olarak yapılan dip trol balıkçılığında avlanan hedef ve hedef dışı türlerin Birim Çabadaki Av Miktarı (BÇAM) ve av kompozisyonu ile ilgili bilimsel verilerin oluşturulması hedeflenmiştir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Araştırma, Karadeniz'in Sinop kıyılarında, ticari olarak avcılık yapan trol gemileri ile 42° 05,959' N-34° 56,695' E ile 42° 04,440 N-34°41,000 E koordinatları arasında yürütülmüştür (Şekil 1). Araştırma verileri 15 Eylül 2009 ile 14 Nisan 2010 tarihleri arasında toplam 40 gün deniz seferine çıkmıştır. Avcılık operasyonları 45-117 metre arasındaki derinliklerde yapılmıştır.



Şekil 1. Araştırma Sahası

Araştırma, bölgede aktif olarak faaliyet gösteren iki ticari trol gemisinde yürütülmüştür. Araştırmada kullanılan ağlar, bölgede demersal balıkların avcılığında kullanılmakta olan, herhangi bir kesim faktörü uygulanmayıp paket ağların boyuna kesimi ve küpe donanı ile yapılan, büyüklükleri göz hesabına göre 600 göz olan kanatlarda 55 mm'den başlayıp torbada 22 mm'ye kadar düşen klasik geleneksel dip trolü ağlarıdır. Araştırmada kullanılan geleneksel dip trolü ağının teknik özellikleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Ağ çekim süresi avcılık yapılan av sahanın zemin yapısı ve özelliklerine göre değişiklik göstermekle birlikte genellikle 60-180 dakika arasında değişmiştir. Ağ çekimi tamamlanarak torbanın güverteye alınmasından sonra avlanan türler hedef tür, hedef dışı tür ve ıskarta olarak sınıflandırılarak kasalara ayrılmıştır. Avlanan türlerin av miktarının tespitinde 0,5 kg hassasiyetli terazi ile kasalar tartılarak her grup için ağırlıklar kaydedilmiştir. Vatoz, köpekbalığı, rina ve kalkan gibi büyük balıklar ile daha az miktarda yakalanan kabuklu ve eklem bacaklılar ise 0,5 g hassasiyetle bireysel ağırlık ölçümü yapılarak toplam av miktarı belirlenmiştir. Tartım işlemi tamamlandıktan sonra ıskarta balıklar denize dökülmüştür.

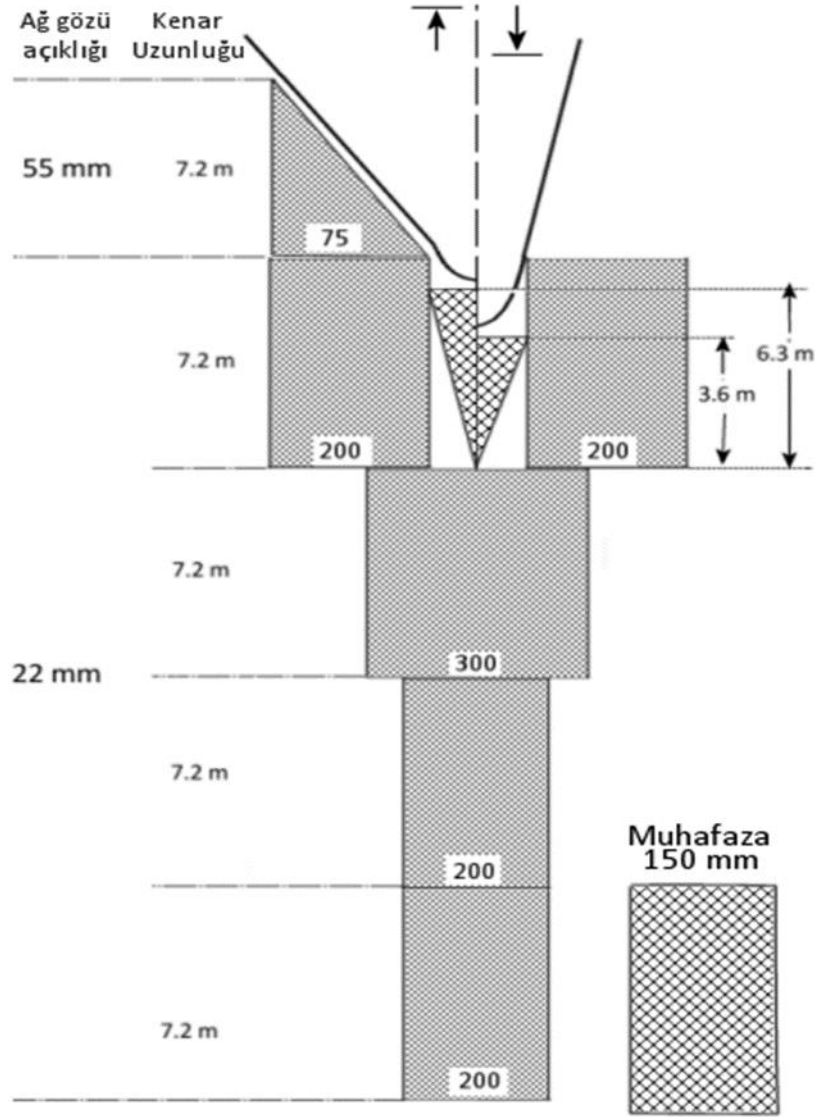
Ekonomik türlerden oluşan av ile ıskarta avın Birim Çabadaki Av Miktarları (BÇAM) hesaplanarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Birim çabadaki av miktarı (BÇAM), aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır (Gulland, 1983; Erkoyuncu, 1995):

$$U = \frac{\Sigma C}{\Sigma f}$$

Formülde,

U birim çabadaki av miktarı (BÇAM), C av miktarı (kg) ve F av çabası (saat) olarak ifade edilmektedir. (Hoof ve Salz, 2001).

Verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesinde, iki grup arasındaki farkın önem kontrolü için t-testi kullanılmıştır. İki den fazla gruplar için farkın önem kontrolünde ise tek yönlü varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır.



Şekil 2. Araştırmada Kullanılan Trol Ağı (Orijinal)

BULGULAR

Araştırmada toplam 323 saat süre ile 1690,38 km uzunluğunda trol ağı çekimi yapılmıştır. Bu ağı çekimlerinde 5 farklı gruba ait 18 türün avlandığı tespit edilmiştir (Tablo 1 ve Tablo 2).

Operasyonlar sonucunda avlanan 22063,8 kg avın %99,18'ini kemikli balıklar (BÇAM), %0,55'ini kıkırdaklı balıklar (120,5 kg), %0,03'ünü de eklem bacaklılar (7,0 kg), %0,11'ini memeliler (24,0 kg) ve %0,14'ünü de yumuşakçalar (30,0 kg) oluşturmuştur.

Avlanan 18 türün 11'ini kemikli balıklar, 3'ünü kıkırdaklı balıklar, 1'ini memeliler, 1'ini yumuşakçalar ve 2'sini eklem bacaklılar oluşturmuştur. En fazla av veren grup kemikli balıklar olmuştur. Mezgıt toplam avın %95,79'unu oluşturmuş, bunu barbunya balığı (%1,28), tirsi (%0,60), çaça (*Spratus spratus* Linnaeus, 1758) (%0,58) ve kalkan (%0,37) izlemiştir. Kemikli balıkları kıkırdaklı balıklardan köpek balığı (*Squalus acanthias* Linnaeus, 1758) (%0,30) takip etmiştir.

Tablo 1. Avcılığı Yapılan Türler, Av Miktarları (kg) ve % Değerleri

Gruplar	Türler	Av Miktarı	%
Kemikli Balıklar	Mezgit (<i>Merlangius merlangus</i> Nordman, 1840)	21134,8	95,79
	Barbunya (<i>Mullus barbatus ponticus</i> Essipov, 1927)	283	1,28
	Çaça (<i>Spratus spratus</i> Linneaus, 1758)	127,5	0,58
	İstavrit (<i>Trachurus trachurus</i> Linneaus, 1758)	15	0,07
	Lüfer (<i>Pomatampus saltatrix</i> Linneaus, 1766)	47	0,21
	Kalkan (<i>Scophthalmus maeoticus</i> Pallas, 1811)	82,5	0,37
	Tirsi (<i>Alosa tanaica</i> Grimm, 1901)	132	0,60
	İskorpit (<i>Scorpaena porcus</i> Linneaus, 1758)	22,5	0,10
	Gelincik (<i>Gaidropsarus mediterraneus</i> Linneaus, 1758)	3	0,01
	Kaya Balığı (<i>Gobius</i> sp)	30	0,14
Kıkırdaklı Balıklar	Trakonya (<i>Trachinus draco</i> Linneaus, 1758)	5	0,02
	Köpek Balığı (<i>Squalus acanthias</i> Linneaus, 1758)	65,3	0,30
	Vatoz (<i>Raja clavata</i> Linneaus, 1758)	43,7	0,20
Eklem Bacaklılar	Rina (<i>Dasyatis pastinaca</i> Linneaus, 1758)	11,5	0,05
	Kum Karidesi (<i>Palaemon adspersus</i> Rathke, 1837)	2	0,01
Deniz Memelisi	Yengeç (<i>Liocarcinus depurator</i> Linnaeus, 1758)	5	0,02
	Şişeburun Yunus (<i>Tursiops truncatus</i> Montagu, 1821)	24	0,11
Yumuşakçalar	D. Salyangozu (<i>Rapana venosa</i> Valenciennes, 1846)	30	0,14
Toplam		22063,8	100,00

Tablo 2. Gruplara Göre Ağırlıklar ve % Değerleri

Gruplar	Ağırlık (kg)	%	BÇAM
Kemikli Balıklar	21882,3	99,18	67,75
Kıkırdaklı Balıklar	120,5	0,55	0,37
Yumuşakçalar	30,0	0,14	0,09
Deniz Memelisi	24,0	0,11	0,07
Eklem Bacaklılar	7,0	0,03	0,02
Toplam	22063,8	100	68,31

Avlanan 11 kemikli balık türünün 6'sı ekonomik, 5'i ise iskarta türlerden oluşmaktadır. Bölgede trol avcılığının hedef türü olan mezgit en fazla avı veren tür (%96,58) olmuştur. Bölge avcılığının diğer hedef türleri olan barbunya ve kalkan, daha az av vermiş hedef dışı av türleri olan istavrit, lüfer ve tirsi gibi türler ise hedef dışı av olarak av aracında gözlenmişlerdir. Çaça, gelincik (*Gaidropsarus mediterraneus* Linneaus, 1758), kaya balığı (*Gobius* sp), iskorpit (*Scorpaena porcus* Linneaus, 1758) ve trakonya (*Trachinus draco* Linneaus, 1758) türleri iskarta türlerdir. Avlanan kemikli balıkların BÇAM değerleri Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Kemikli Balıkların Av Miktarı, Av Oranı ve BÇAM (kg/saat)

	Türler	Av Miktarı (kg)	%	BÇAM
Ekonomik	Mezgit	21134,8	96,58	65,43
	Barbunya	283	1,29	0,88
	İstavrit	15	0,07	0,05
	Lüfer	47	0,21	0,15
	Kalkan	82,5	0,38	0,26
	Tirsi	132	0,60	0,41
İskarta	Çaça	127,5	0,58	0,39
	İskorpit	22,5	0,10	0,07
	Kaya Balığı	30	0,14	0,09
	Gelincik	3	0,01	0,01
	Trakonya	5	0,02	0,02
Toplam		21882,3	100,00	67,75

Avcılığın hedef türleri olan mezigit ve barbunya balıkları avının değerlendirilen ve değerlendirilmeyen miktarları ile ilgili veriler Tablo 4'te görülmektedir. Avlanan mezigitin %28'i, barbunya'nın ise %14'ü ıskarta edilmiştir.

Tablo 4. Mezigit ve Barbunya Balıkları için Ekonomik ve İskarta Av Miktarları (kg)

Türler	Ekonomik (kg)	%	İskarta (kg)	%	Toplam (kg)
Mezigit (Hedef Tür)	15189	71,87	5945,8	28,23	21134,8
Barbunya (Yan Av)	243	85,87	40	14,13	283

Tablo 5'te avlanan mezigit balığının aylara göre av miktarları görülmektedir. En fazla toplam avın Ekim ayında (5453 kg), en az ise Nisan ayında (903 kg) olduğu görüldüğü de BÇAM miktarlarına bakıldığında en fazla avın Eylül (80,69 kg/s) en az ise Nisan ayında (47,32 kg/s) avlandığı görülmektedir. Mezigit avının sezon sonuna doğru hem oranı hem BÇAM değeri düşmekte, ıskarta miktarları ise artmaktadır. Mezigit avının değerlendirilen ve ıskarta olan kısımları arasında yapılan t-testi sonucunda farkın önemli olduğu bulunmuştur ($p < 0,004$; $t = 1,943$).

Tablo 5. Mezigit Balığı Aylık Av Miktarı

Aylar	Ekonomik	%	BÇAM	İskarta	%	BÇAM	Toplam	BÇAM
Eylül	3326	86,02	69,41	540,4	13,98	11,28	3866,4	80,69
Ekim	4088	74,97	56,84	1365	25,03	18,98	5453	75,82
Kasım	2338	80,44	45,18	568,4	19,56	10,98	2906,4	56,16
Aralık	1888,4	69,21	38,67	840	30,79	17,20	2728,4	55,87
Ocak	1180	60,08	46,27	784	39,92	30,75	1964	77,02
Şubat	1162	50,92	29,11	1120	49,08	28,06	2282	57,17
Mart	681,6	66,07	37,69	350	33,93	19,35	1031,6	57,05
Nisan	525	58,14	27,51	378	41,86	19,81	903	47,32
Toplam	15189	71,87	47,02	5945,8	28,13	18,41	21134,8	65,43

Tablo 6'da avlanan barbunya balığının aylara göre av miktarları görülmektedir. Barbunya balığı av miktarı bir standart göstermemektedir.

Tablo 6. Barbunya Balığı Aylık Av Miktarına İlişkin Veriler

Aylar	Ekonomik	%	BÇAM	İskarta	%	BÇAM	Toplam	%	BÇAM
Eylül	10	33,33	0,21	20	66,67	0,42	30	10,60	0,63
Ekim	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kasım	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aralık	104	83,87	2,13	20	16,13	0,41	124	43,82	2,54
Ocak	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Şubat	111	100,0	2,78	-	-	-	111	39,22	2,78
Mart	6	100,0	0,33	-	-	-	6	2,12	0,33
Nisan	12	100,0	0,63	-	-	-	12	4,24	0,63
Toplam	243	85,87	0,75	40	14,13	0,12	283	100,0	0,88

Üç tür kıkırdaklı balık toplam 120,5 kg avlanmış en fazla avlanan 65,3 kg (%54,19) ile köpek balığı olmuştur. Köpek balığı ve vatoz (*Raja clavata* Linnaeus, 1758 ve *Dasyatis pastinaca* Linnaeus, 1758) türleri denize atılmışlardır (Tablo 7).

Tablo 7. Kıkırdaklı Balık Av Miktarları (kg) ve % Değerleri

Türler	Ağırlık (kg)	%	BÇAM
Köpek Balığı	65,3	54,19	0,20
Vatoz	43,7	36,27	0,14
Rina	11,5	9,54	0,04
Toplam	120,5	100,00	0,37

İki eklem bacaklı türünden 7 kg avlanmıştır. Bunun 5 kg'ını yengeç (*Liocarcinus depurator* Linnaeus, 1758) (%71,43), 2 kg'ını ise kum karidesi (*Palaemon adspersus* Rathke, 1837) (%28,57) türleri oluşturmuştur. Eklem bacaklı türleri bölgede ekonomik olarak değerlendirilmemektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Eklem Bacaklılar Av Miktarları (kg) ve % Değerleri

Türler	Ağırlık (kg)	%	BÇAM
Kum Karidesi	2	28,57	0,01
Yengeç	5	71,43	0,01
Toplam	7	100,00	0,02

Araştırmada toplam avın büyük kısmını kemikli balıklar oluşturmaktadır. Kemikli balıkların BÇAM en yüksek Ekim ayında, en düşük ise Nisan ayında elde edilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9. Aylara Göre Grupların Av Miktarları Dağılımı (kg)

Aylar	Gruplar								
	Kemikli Balıklar	%	M	BÇA	Kıkırdaklı Balıklar	%	BÇA	Toplam BÇA	
Eylül	3942,7	18,0	82,28	23,9	19,8	0,50	3966,6	82,78	
Ekim	5580,5	25,5	77,60	27,8	23,0	0,39	5608,3	77,98	
Kasım	2906,4	13,2	56,16	32,7	27,1	0,63	2939,1	56,79	
Aralık	2978,6	13,6	61,00	6,9	5,73	0,14	2985,5	61,14	
Ocak	1965,5	8,98	77,08	7,4	6,14	0,29	1972,9	77,37	
Şubat	2517	11,5	63,06	13,8	11,4	0,35	2530,8	63,4	
Mart	1049,6	4,80	58,04	5,8	4,81	0,32	1055,4	58,36	
Nisan	942	4,30	49,36	2,2	1,83	0,12	944,2	49,48	
m	Toplam	21882,3	100,	67,75	120,5	100,	0,37	22002,8	68,12

Ekonomik türlerin av miktarının 8 ay ortalaması 1961,7 kg olarak hesaplanırken, en yüksek değere 4088 kg ile Ekim ayında, en düşük değere ise 564 kg ile Nisan ayında ulaşmıştır. İskartada ise 8 ay ortalaması 796,29 kg olarak hesaplanmıştır. İskarta için en yüksek av miktarı Ekim ayında (1520,3 kg), en düşük ise mart ayında (355,8) tespit edilmiştir.

Aylara göre ekonomik av ve ıskarta av miktarı arasındaki fark istatistiksel olarak önemli ($p < 0,002$; $t = 1,943$) bulunmuştur. Ayrıca ekonomik türlerin av miktarının aylara göre değişimi de istatistiksel olarak önemli ($p < 0,0073$), ıskartanın ise önemsiz olduğu tespit edilmiştir ($p > 0,05$). Ekonomik av en yüksek BÇAM değerini Eylül (70,59 kg/s) en düşük BÇAM değerini ise Nisan ayında (29,55 kg/s) vermiştir. Ekonomik av BÇAM değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,004$; $F = 2,69$). En düşük ıskarta BÇAM değeri Kasım ayında tespit edilmiştir. İskarta BÇAM değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,001$; $F = 2,324$). Ekonomik av ve ıskartanın aylık verileri Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10. Aylara Göre Ekonomik Avın ve Iskartanın BÇAM

Aylar	Ekonomik Av			Iskarta			Toplam (BÇAM)
	Av Miktarı (kg)	BÇAM (kg/s)	%	Av Miktarı (kg)	BÇAM (kg/s)	%	
Eylül	3382,3	70,59	84,88	602,3	12,57	15,12	83,16
Ekim	4088	56,84	72,89	1520,3	21,14	27,11	77,98
Kasım	2338	45,18	79,55	601,1	11,62	20,45	56,79
Aralık	2081,1	42,62	69,19	926,9	18,98	30,81	61,6
Ocak	1181,5	46,33	59,89	791,4	31,04	40,11	77,37
Şubat	1359	34,05	53,39	1186,3	29,72	46,61	63,77
Mart	699,6	38,69	66,29	355,8	19,68	33,71	58,36
Nisan	564	29,55	59,36	386,2	20,24	40,64	49,79
Toplam	15693,5	48,59	71,13	6370,3	19,72	28,87	68,31

TARTIŞMA

Araştırmada, dip trol ağları ile avlanan beş tür grubundan kemikli balık grubu 11 tür ile toplam 21.882,3 kg av elde edilmiş, hedef tür olan mezgit bu avın %96,58'ini oluşturmuştur. Avlanan 11 kemikli balık türünün 9'u ekonomik, 2'si ise ıskartadır. Dip trol balıkçılığında, barbunya, istavrit, lüfer, kalkan, tirsi ve bazen iskorpit ve kaya balığı hedef dışı av olarak avlanırken, gelincik ve trakonya ise her zaman ıskarta olan türlerdir. Barbunya balığı Karadeniz Bölgesi trol avcılığında diğer önemli bir tür olup toplam av içindeki oranı %1,29 olmuştur.

Çalışmada, toplam av içerisinde yer alan kemikli balıklar en fazla Ekim ayında, en az ise Nisan ayında avlanmıştır. Diğer taraftan, kıkırdaklı balıkların av miktarı en yüksek Kasım ayında, en düşük Nisan ayında elde edilmiştir. Eklembacaklılar sadece şubat ayında, yumuşakçalar aralık ve şubat aylarında av aracına yakalanmıştır.

Kemikli balıklar en yüksek BÇAM değerini Eylül (82,28 kg/s) en düşük ise Nisan (49,36 kg/s) ayında vermiştir. Ortalama BÇAM değeri 67,75±4,208 kg/s olarak hesaplanmıştır. Sezonun başından sonuna kadar birim çabada av miktarında neredeyse yarı yarıya bir azalma olduğu görülmekte ve bu azalmanın nedeninin stoklardaki aşırı av baskısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Araştırmada, 3 türden oluşan kıkırdaklı balık avlanmış, avın %54,19 köpek balığı (65,3 kg), %36,27'si vatoz (43,7 kg) ve %9,54'ünü rina (11,5 kg) türlerinden oluşmuş, en yüksek BÇAM değeri Kasım (0,63 kg/s), en düşük ise Nisan (0,12 kg/s) ayında hesaplanmıştır. Ortalama BÇAM değeri 0,37±0,061 kg/s olarak ölçülmüştür. Eklem bacaklıların şubat ayı BÇAM değeri 0,18 kg/s olarak ölçülmüştür. Yumuşakçalar sadece Aralık (0,46 kg/s) ve Şubat (0,19 kg/s) aylarında avlanmıştır.

Benzer çalışmada Çiçek (2006), aylar itibarıyla en yüksek BÇAM değerine Eylül ayında (66,76 kg/s) rastlandığını; bu değer Eylül ayında itibaren sürekli düşüş göstererek, en düşük değer 12,48 kg/s ile mart ayından elde edildiğini bildirmiştir. Hedef dışı av içerisinde %19,48'lik bir değerle *Mullus barbatus*'un ilk sırada yer aldığı; bunu sırasıyla *Charybdis longicollis* (%15,98) ve *Saurida undosquamis*'in (%15,56) izlediğini belirlemiştir. Bazı türler için belirlenmiş olan seçicilik parametreleri sonucunda araştırmamızla benzer olarak bölge türlerinde aşırı avcılık görüldüğü bildirilmiştir. BÇAM değerlerinin belirlendiği grup kemikli balıklar olup diğer tür ve gruplar çok az miktarlarda avlanmıştır.

Dip trol ağları ile çok türe (multispecies) dayalı avcılık yapılmaktadır. Av sahasının derinliğine göre barbunya ve mezgit balıklarının avcılığın hedef türünü oluştururken, istavrit, lüfer, kalkan, tirsi, kırlangıç, pisi ve kaya balıklarının yan avı oluşturduğu ayrıca bu balıkların av veriminin ve kompozisyonunun mevsime ve sahaya göre değişiklik gösterdiği bildirilmektedir (Erdem, 2000; Özdemir vd., 2006).

Çalışmada elde edilen tür kompozisyonu ve av oranları Karadeniz'de yapılan diğer çalışmalarla benzerlik gösterirken (Erdem ve Erkoyuncu, 2000; Özdemir vd., 2006; Gönener ve Özdemir, 2012; Kasapoğlu ve Düzgüneş, 2021), Ege ve Akdeniz'de kullanılan dip trol ağlarından farklı bulunmuştur (Çiçek vd., 2014; Acarlı vd., 2022). Karadeniz'de tür çeşitliğinin diğer denizlerimizden az olması av kompozisyonu ve oranını etkileyen bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Aşıkoğlu (2006) da benzer tür çeşitliliğinin ve av oranının av araçları üzerinde etkili olduğunu ifade etmektedir. Araştırmamızdaki av miktarları farklılıkları aylara göre denize çıkılan gün ve operasyon sayısındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.

Yine bölgede yapılan benzer çalışmada Ak vd. (2011), avlanan toplam su ürününün 3,571 kg'ını kemikli balık (%59,24), 2,419 kg'ını kıkırdaklı balık (%40,12), 6 kg'ını kabuklu (%0,10) ve 32,5 kg'ını de yumuşakçaların (%0,54) oluşturduğunu tespit etmiştir. Benzer şekilde Ceylan vd. (2013), Güneybatı Karadeniz av sahalarında yaptığı çalışma sırasında 22 balık türü, 2 eklembacaklı türü, 1 gastropod ve 1 çift kabuklu olmak üzere 26 tür avlamıştır. Avcılık esnasında bölgenin trol avcılığının hedef türleri olan *Mullus barbatus*, *Merganliius merlangus* türlerini hedef almış ve bunlar en çok av veren iki tür olmuştur. Yirmi beş tür ıskarta olarak tanımlanmıştır. Toplam biyokütle 2142,77 kg olup, bunun %46,01'i (985,86 kg) hedef, %53,99'u (1156,91) hedef dışı av olarak belirlenmiş ve ağırlıklı ıskarta oranı %42,06 olarak belirlenmiştir. Hedef dışı avlanma içinde ıskarta oranı %77,89 (901,21 kg) olarak belirlenmiş olup, bunun %83,62'sini ticari boyutun altındaki *M. merlangus* oluşturmaktadır. Yakalanan en bol hedef, ticari yan av ve ıskarta tür bu çalışmada da olduğu gibi *M. merlangus*'tur.

Akdeniz'de yumurtalık koyunda dip trolüyle yapılan bir çalışmada ise 25 familyaya ait, 4'ü lesepseyen tür olmak üzere toplam 29 kemikli balık, 4 kıkırdaklı balık ve 7 omurgasız türünün yakalandığı ve kıkırdaklı balık av oranının %45,5 olup, bunu kemikli balık (%42,24) ve omurgasızların (%12,26) izlediği bildirilmektedir (Başusta vd., 2002). Bu sonuç Akdeniz, Ege Denizi ve Marmara Denizi ile Karadeniz arasındaki tür çeşitliliğinin farklılığını ortaya koymaktadır.

Malal (2006), Mersin-Anamur avlama bölgesinde dip trol ağı ile avcılıkta hedef dışı ve ıskarta av oranlarını belirlemek için yaptığı çalışmada hedef türün toplam av içinde ağırlık olarak oranını %44,08, hedef dışı avın oranını %44,31, ıskarta avın oranını ise %11,6 olarak rapor etmiştir. Aynı çalışmada yazar BÇAM değerlerini hedef tür, hedef dışı av ve ıskarta av için sırasıyla 14,51 kg/s, 17,69 kg/s ve 3,90 kg/s olarak hesaplamıştır.

Toplam 22063,8 kg'lık av elde edilmiş olup bunun %95,79'unu mezzit balığı oluşturmuş, bu oranı %1,28 ile barbunya balığı ve %0,60 ile tirsiz izlemiştir. Avlanan türlerden mezzit hedef tür, barbunya, kalkan, lüfer ve tirsiz hedef dışı av olmuş diğer türler ıskarta edilmiştir. Ayrıca hedef tür olan mezzit ve hedef dışı av olarak avlanan barbunya balığının bir kısmı ekonomik boydan küçük olduğu ya da avcılık esnasında zarar görmüş ve ıskarta olmuştur. Avlanan 20801,2 kg mezzit balığının %73,02'si değerlendirilmiş, %26,98'i ıskarta olmuştur. Aynı şekilde barbunya balıklarının %85,87'si değerlendirilmiş, %14,13'si ise ıskarta olmuştur. Toplam avın 15693,5 kg'ı değerlendirilmiş ve %96,78'ini mezzit, %1,55'ini barbunya, %0,84'ünü tirsiz, %0,53'ünü kalkan, %0,30'unu ise lüfer oluşturmuştur. BÇAM değerleri mezzit için 47,02 kg/s, barbunya için 0,75 kg/s, tirsiz için 0,41 kg/s ve kalkan için ise 0,26 kg/s olarak gerçekleşmiştir.

ıskarta edilen 6370,3 kg avın 5945,8 kg'ı mezzittir. Mezzit en yüksek ıskartayı Ekim (1365 kg), en düşük ise mart ayında (350 kg) vermiş ve en yüksek ıskarta BÇAM değerini Ocak (30,75 kg/s) ayında vermiştir. Mezzit av miktarının sezon sonuna doğru hem oranı hem de BÇAM değeri düşmekte, ıskarta miktarı ise artmaktadır. Barbunya sadece iki ay ıskarta vermiştir (Eylül 0,42 kg/s, Aralık 0,41 kg/s). Barbunya av miktarının düşük olması ve her ay avlanamamasının sebebinin bölgesel ve derinlikle alakalı olduğu düşünülmektedir. Kıkırdaklı balıklardan Vatoz en fazla mart ayında (0,32 kg/s) avlanmıştır. Rina sadece Kasım ayında (0,22 kg/s) avlanırken, Köpek balığı en düşük BÇAM değerine şubat ayında (0,17 kg/s) en yüksek ise Eylül (0,50 kg/s) ayında ulaşmıştır. Ayrıca eklembacaklı türleri bölgede ekonomik olarak değerlendirilmediği için her zaman ıskarta olarak değer görmektedir.

Başkaya (2012), 2010-2011 balıkçılık sezonunda Batı Karadeniz'de yürüttüğü çalışmada 34 trol operasyonunda 5 taksonomik gruba ait 25 kemikli balık (osteichthyes), 2 kıkırdaklı balık (chondrichthyes, 4 kabuklu (crustacea), 2 derisi dikenli (echinodermata) ve 1 yumuşakça (mollusca) türü avlamıştır. Avcılığın hedef türünün tekir (*Mullus barbatus*) ve mezzit (*Merlangius merlangus*) balıkları olduğu bildirilmiştir. Hedef dışı avın 10 adedi yan av, 20 adedi ıskarta ve iki adedi de tehlike altındaki türlerden oluşmuştur. Sayıca ve ağırlıkça en baskın türler *Mullus barbatus* ve *Merlangius merlangus*'tur. Avın sayıca %98,38'i ve ağırlıkça %95,94'ü hedef türler oluşmuştur. Hedef dışı avın oranı ise sayıca %1,62 ve ağırlıkça %4,06 olarak hesaplanmıştır.

Gönener ve Bilgin (2010), Karadeniz'de iki avlanma sezonunu kapsayan verilere göre barbunya, mezzit ve kalkanın stok büyüklüklerinde ilk sırada yer aldığını bildirmiştir. Ticari trol balıkçılığı alanlarındaki balık stok yoğunluğundaki değişikliklerin günlük, aylık veya mevsimsel olarak değişebileceğini ve avlanma alanındaki diğer türlerin avlanma yoğunlukları ile suların biyoekolojik ve fizikokimyasal özelliklerinin bu değişikliği etkileyebileceğini belirtmişlerdir.

Emecan vd. (2023), Batı Karadeniz Bölgesinde trol ağlarının standartlarını ortaya koymayı amaçladıkları çalışmada 33 türe ait 64104 birey avlamıştır. Birey sayılarına göre en fazla avı kum yengeci (*Liocarcinus depurator*) (%55,5) oluştururken, bu türü sırasıyla mezzit (%23,42), kara midye (%8,78), barbunya (%3,63), çaça balığı (%3,02) ve tiryaki balığı (%1,46) izlemiştir.

Avlanan ekonomik türlerin yanı sıra hedef türlerin küçük boyları ıskarta olarak denize dökülmektedir. Ayrıca bazı ekonomik olmayan türler de Karadeniz dip trol balıkçılığında her zaman ıskarta durumundadır. Hedef türlerin av miktarlarında görülen farklılıklar ıskarta miktarlarında da gözlenmektedir. Avcılık verilerinde görülen değişikliklerin sebebi; göç, beslenme, üreme gibi türün yaşam faaliyetlerini sürdürmek için yer değiştirmesi olabileceği gibi, ortamın fiziksel şartları da (besin miktarı, su kirliliği, sıcaklık, bulanıklık vs.) olabilir (Wieland, 1998). Ayrıca küçük bireylerin artması ve istenmeyen türlerin bölgede görmeye başlaması da yapılan avcılığın stoklara zarar verdiği olarak yorumlanabilmektedir (Erkoyuncu, 1995).

Karadeniz'de sürdürülen dip trol balıkçılığı, demersal türlerin avcılığı ile su ürünleri üretimimize olumlu katkılar sunarken, sektörün en önemli paydaşı olan balıkçılarımıza da önemli bir gelir kaynağı olmaktadır. Av sezonunun kapanması ile yeni sezonun açılışına kadar kendini yenileyebilen başta mezzit stokları ve diğer demersal türler, sezon başında önemli miktarda avlanarak ekonomik olarak yüksek değerlere ulaşabilmektedir. Av sezonunun ortasında hamsi, istavrit ve lüfer balıklarının

Karadeniz'in Türkiye kıyılarındaki avcılığının artması ile mezgit balığı bu konumunu ve pazardaki değerini kaybedebilmektedir. Ancak pelajik türlerin bölgeden göç etmesi ile av sezonun sonuna doğru mezgit balığı ve diğer demersal balıklar tekrar pazardaki payını artırarak ekonomik değerini geri kazanabilmektedir.

SONUÇ

Sonuç olarak, tüm dünyada olduğu gibi Türkiye denizlerinde de dip trol ağları demersal türlerin avcılığında kullanılan etkin ve seçiciliği yüksek bir av aracıdır (Özdemir vd., 2006; Erdem vd., 2007). Ancak sürdürülebilir balıkçılığın sağlanması ve maksimum ürün elde edilebilmesi için av aracının tür ve boy seçiciliğinin daha da geliştirilmesi, ağ göz açıklığının avlanılacak türe göre sınırlandırılması, zaman ve yer yasakları gibi bazı yasal düzenlemeler yapılması gerekmektedir. Hedef türlerin av miktarı ve kalitesi artırılırken, yan av ve ıskarta miktarının azaltılması için av araçlarının iyileştirilmesinde yapılabilecek değişiklikler kare gözlü torba, kare gözlü pencere panel, ızgara sistemler, kaçış pencerelerinin kullanılması önerilmektedir (Metin, 1995; Özdemir vd., 2012, Özdemir vd., 2014; Eryaşar ve Özbilgin, 2015). Balıkçılık otoriteleri ve yönetimi yönünden ise ağ göz açıklığı düzenlemeleri, mevcut büyük ölçekli balıkçı gemisindeki sayının düşürülmesi, gemi ve av aracı boyutlarının sınırlandırılması, av sahası ve av mevsiminde yapılacak düzenlemeler olabilir.

Ülkemiz balıkçılığının ve denizel ekosistemlerimizin sağlıklı bir şekilde devamlılığı için, bahsedilen düzenlemeler yanında ıskarta ve hedef dışı avcılığın önlenmesine yönelik tedbir ve kurallara gereksinim duyulmaktadır. Batı Karadeniz Bölgesinde yapılan bu çalışmada elde edilen veriler ve sonuçlarının, demersal trol balıkçılığı üzerine hazırlanacak yeni bilimsel çalışmalara, balıkçılık yönetimine ve balıkçılık sektörüne katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Araştırma verilerinin alınmasına her türlü desteği vererek, zorlu deniz koşullarında, çalışmamıza sağladıkları büyük katkılar ve çabalarından dolayı Sinop ili kıyılarında dip trol avcılığı yapan tüm balıkçılara çok teşekkür ederiz.

Etik Standartlara Uyum

Yazarların katkıları

H.A.: Çalışmayı tasarladı, deniz denemelerini yürüttü, verileri topladı, laboratuvar çalışmasını gerçekleştirdi, verileri yorumladı, ilk taslağını yazdı, son kontrolünü yaptı.

O.S.: Çalışmayı tasarladı, verilerin analizini yaptı, ilk taslağın yazımına katkı sağladı, son kontrolünü yaptı.

S.Ö.: Verilerin değerlendirmesini ve yorumunu yaptı, makalenin ilk yazımına katkı sağladı, son kontrolünü yaptı.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan ettiler.

Hayvanların Refahına İlişkin Beyan

Etik onay: Bu tür bir çalışma için resmi onay gerekli değildir.

İnsan Hakları Beyanı

Bu çalışma insan katılımcıları kapsamamaktadır.

KAYNAKLAR

- Acarlı, D., Kale, S. & Cakir, K., (2022). Length-Weight Relationships of Eighteen Fishes and a Cephalopod from Gokceada Island, Northern Aegean Sea, Turkey, "THALASSAS", vol.38, no.1, pp.479-486.
- Ak O., Kutlu S. & Z. Aydın İ. (2011). Trabzon Kıyılarında Demersal Tür Dağılımı ve Ekonomik Balıkların Yoğunluk Miktarı. Journal of Fisheries Sciences, 5(2),99-106.
- Alverson D.L., Freeber M.H., Murawski S. & Pope J.P., (1994). A global assessment of fisheries bycatch and discards, FAO Fisheries Technical Paper, No.339., FAO, Rome, 233 p.
- Andrew N.L. & Pepperell J.P., (1992). The bycatch of shrimp trawl fisheries. Oceanogr, *Marine Biology*, Annual Review, 30: 527-565.
- Aşıkoğlu N.E., (2006). Ege Denizinde Trol Av Kompozisyonundaki Değişimler. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Canlı Deniz Kaynakları Bölümü, Deniz Bilimleri ve Teknoloji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İzmir, 185 s.
- Aydın, C., Gurbet, R., Ulaş, A., (2005). Algarna Takımlarının Av Kompozisyonu ve Balıkçılık Ortamına Etkileri, E.Ü. Su Ürünleri Dergisi, 22(1-2), İzmir, 39s.




- Başkaya A., (2012). Batı Karadeniz’de dip trol ağlarının av kompozisyonu ve hedef dışı avın belirlenmesi. İstanbul Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Avlama Teknolojisi Programı Yüksek Lisans Tezi. 81 s.
- Başusta N., Kumlu M., Gökçe M.A. & Göçer M., (2002). Yumurtalık Koyunda Dip Trolü ile Yakalanan Türlerin Mevsimsel Değişimi ve Verimlilik İndeksi. Ege Üniv., Su Ürünleri Dergisi, Cilt: 19, Sayı (1-2): 29-34.
- Broadhurst M.K., Suuronen P. & Hulme A., (2006). Estimating collateral mortality from towed fishing gear. Fish and Fisheries, 2006, 7, 180-218.
- Ceylan Y., Şahin C. & Kalaycı F. (2013). Bottom trawl fishery discards in the Black Sea coast of Turkey. Mediterranean Marine Science, 15(1), 156–164. <https://doi.org/10.12681/mms.421>.
- Clucas I., (1997). A Study of the Options for Utilisation of Bycatch and Discards from Marine Capture Fisheries FAO Fisheries Circular no. 928 FIIU/C 928.
- Çiçek E., (2006). Karataş (Adana) Açıklarında Dip Trolleriyle Avlanan Ekonomik Potansiyele Sahip Türlerin İncelenmesi. Çukurova Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 162 s.
- Çiçek E, Karataş M, Avşar D & Moradi M, (2014). Catch Composition of the bottom trawl fishery along the coasts of Karataş-Adana (Northeastern Mediterranean Sea). Int. J. Aquat. Biol. 2(5): 229-237.
- Dalyan C., (2020). The Commercial and Discard Catch Rates of the Trawl Fishery in the İskenderun Bay (Northeastern Levantine Sea). Trakya Univ J Nat Sci, 21(2): 123-129, DOI: 10.23902/trkjnat.773435.
- Demirci S., (2009). Kuzeydoğu Akdeniz’deki Bazı Balık Türleri İçin Kare ve Rombik Gözlü Trol Torbalarının Boy Seçiciliği. Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Su Ürünleri Anabilim Dalı, Doktora Tezi. Hatay, 101 s.
- Emecan I.T. Yildiz T., Uzer U., Catal A., Moussa H., Aydin C. & Karakulak F.S., (2023). Catch composition of different bottom trawl cod-ends in the western Black Sea. *Aquatic Sciences and Engineering*, 38(1), 53-61. DOI: <https://doi.org/10.26650/ASE20221187355>.
- Erdem Y., (2000). Karadeniz Şartlarında Yerli Dip Trolü ile İtalyan Dip Trolünün Av Verimi ve Seçicilik Gücü Yönünden Karşılaştırılması, XI. Su Ürünleri Sempozyumu-Sinop, Bildiriler Kitabı, 1: 316–236.
- Erdem, Y. & Erkoyuncu, İ., (2000). Dip Trollerinde Çeşitli Çekim Hızlarının Av Verimi Üzerindeki Etkisi. XI. Su Ürünleri Sempozyumu-Sinop, Bildiriler Kitabı, 1: 556-564.
- Erdem, Y., Özdemir, S., Erdem, E., & Özdemir, Z.B. (2007). Dip trolü ile iki farklı derinlikte avlanan mezgit (*Gadus merlangus euxinus* N. 1840) balığının av ve boy kompozisyonunun değişimi. Türk Sucul Yaşam Dergisi, 3-5(3-4): 395-400.
- Erdem, Y., Özdemir, S., Satılmış, H.H., & Özdemir-Birinci, Z. (2008). Ortasu Trolü ile Gündüz İki Farklı Periyotta Avlanan Hamsi (*Engraulis encrasicolus* L.)’ nin Av Verimi ve Boy Kompozisyonu. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 9(1):17-23.
- Erdem, Y., Özdemir, S., Özsandıkçı, U., & Büyükdeveci, F., (2019). Technical Features of Nets used Industrial Fisheries in the Western Black Sea (Sinop Province). Turkish Journal of Maritime and Marine Sciences, 5(2): 74-87.
- Erdem, Y., Özdemir, S., Özsandıkçı, U., & Büyükdeveci, F., (2020). Technical plans of fishing gears used in the central Black Sea coastal fisheries (Sinop-Samsun). Marine and Life Sciences, 2(2): 85–96.
- Erkoyuncu, İ., (1995). Balıkçılık Biyolojisi ve Populasyon Dinamiği Ders Kitabı. OMÜ Yayınları, Yayın No: 95, Samsun, 265 s.
- Eryaşar, A.R. & Özbilgin, H. (2015). Implications for catch composition and revenue in changing from diamond to square mesh codends in the northeastern Mediterranean. Journal of Applied Ichthyology, 31(2): 282–289. doi: 10.1111/jai.12643
- FAO (2018). The State of Mediterranean and Black Sea Fisheries. Food and Agriculture Organization, General Fisheries Commission for the Mediterranean. Rome. 172 pp.
- FAO (2019). Monitoring discards in Mediterranean and Black Sea fisheries: Methodology for data collection. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 639. Rome.
- Genç, Y., (2000). Bio-Ecological and Population Parameters for Red Mullet (*Mullus barbatus ponticus*, Ess. 1927) in the Eastern Black Sea Coastal Ph.D. Thesis. Black Sea Technical University, Department of Fisheries Technology Engineering, Trabzon.
- Gönener, S. & Bilgin S., (2010). Karadeniz’de (Sinop-İnceburun) Ticari Dip Trolü ile Avlanabilir Balık Biyokütle ve Yoğunluk Dağılımları. Journal of Fisheriesciences.com. 4(3): 195–208. DOI: 10.3153/jfscom.2010021.
- Gönener, S., & Erkoyuncu, İ. (2005). Orta Karadeniz’de Dip Trolünün Av Kompozisyonu ve Etkileyen Faktörler. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 36(1): 45–52

- Gönener, S. & Özdemir, S., (2012). Investigation of the interaction between bottom gillnet fishery (Sinop, Black sea) and bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in terms of economy. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12: 115–126.
- Gulland, J.A. (1983) *Fish Stock Assessment. A Manual of Basic Method*. FAO/Wiley Series on Food and Agriculture, Rome, 241 p.
- Hall M.A. (1996). On bycatches. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* 6: 319–352.
- Hoof, L.v. & Salz, P. (2001). Applying CPUE as Management Tool. *Proceedings of the Conference of the European Association of Fisheries Economists (EAFE)*, 1–10 p.
- Kasapoğlu, N., & Düzgüneş, E. (2021). Experimental Bycatch Study of Bottom Trawl and Gillnets in the Black Sea Fisheries. *Acta Zoologica Bulgarica*, 73(3):463–470. <http://www.acta-zoologicabulgarica.eu/2021/002441>.
- Kaykaç, M.H., Zengin, M., Özcan, A.İ. & Tosunoğlu, Z., (2014). Structural characteristics of towed fishing gears used in the Samsun coast (Black Sea). *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 31(2), 87-96. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2014.31.2.05>
- Kelleher K., (2005). Discards in the world's marine fisheries, An update, FAO Fisheries Technical Paper, 470 p.
- Kınacıgil H.T., Çıra E. & İlkyaz A.T., (1999). Balıkçılıkta Hedeflenmeden Avlanan Türler Sorunu. *Ege Üniv., Su Ürünleri Dergisi*, Cilt: 16, Sayı: 3-4, s. 437-444, Bornova, İzmir.
- Malal S., (2006). Mersin-Anamur Avlama Bölgesinde Dip Trol Ağı ile Avcılıkta Hedef Dışı ve Iskarta Av Oranlarının Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Su Ürünleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 49 s.
- Metin C., (1995). Modern Dip Trollerinin Torbalarında Kare Gözlü Ağ Kullanımının Seçiciliğe Etkileri Üzerine Araştırmalar. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Avlama ve İşleme Teknolojisi Anabilim Dalı, Doktora Tezi. İzmir, 85 s.
- Öğreden T. & Yağlıoğlu D. (2017). Catch Composition of Bottom Trawl Fisheries in Düzce Coast, southwestern Black Sea. *Natural and Engineering Sciences*, 2(3), 158-167. <https://doi.org/10.28978/nesciences.368342>.
- Özdemir, S., (2006). Dip Trolünde Uygulanan Kare Gözlü Pencerenin Konumu ve Göz Açıklığının Farklı Türlerin Yakalanabilirliği Üzerindeki Etkisi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 162 s. Samsun.
- Özdemir, S., Erdem, E., & Erdem, Y., (2006). Karadeniz'de Dip Trolü Avcılığında Toplam Avın Bileşenleri ve Tür Seçiciliği Açısından Değerlendirilmesi. *İstanbul Üniversitesi, Su Ürünleri Dergisi*, 20(22): 9–19.
- Özdemir, S., Erdem, Y., Özdemir-Birinci, Z., & Erdem, E. (2009a). Karadeniz'de Dip Trolü İle Ekim ve Kasım Aylarında Avlanan Lüfer (*Pomatomus saltatrix*, L.) Balığının Av Verimi ve Boy Kompozisyonunun Karşılaştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 25 (1-2): 400–408.
- Özdemir, S., Erdem, Y., Erdem, E., & Özdemir-Birinci, Z. (2009b). Dip Trolü İle Farklı Av Sahalarından Avlanan Karagöz İstavrit (*Trachurus trachurus*, L.) ve Lüfer (*Pomatomus saltatrix*, L.) Balıklarının Av Verimi ve Boy Kompozisyonlarının Karşılaştırılması. *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1):19–26.
- Özdemir S. & Erdem E., (2011). Karadeniz'in farklı av sahalarında demersal trol ile avlanan mezgit (*Merlangius merlangus*, N.) ve barbunya (*Mullus barbatus ponticus*, E.) balıklarının av miktarları ve boy kompozisyonlarının karşılaştırılması. *Journal of FisheriesSciences.com*. 5(3): 196-204. DOI: 10.3153/jfsc.com.2011023.
- Özdemir, S., & Erdem, E. (2018). Monitoring of Weekly Catch Per Unit Effort (CPUE) and Some Biological Features of Bluefish (*Pomatomus saltatrix* Linnaeus, 1766) Captured from Southern Black Sea Coasts of Turkey. *Marine Science and Technology Bulletin*, 7(2): 68-73.
- Özdemir, S., Erdem, Y. & Erdem, E., (2012). The Determination of Size Selection of Whiting (*Merlangius merlangus*) by Square Mesh Panel and Diamond Mesh Codends of Demersal Trawl in the Southern Part of Black Sea. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 12: 407-410. ISSN 1303-2712. DOI: 10.4194/1303-2712-v12_2_29.
- Özdemir, S., Erdem, Y., Erdem, E. & Özdemir, Z.B. (2014). Effects of square mesh panels position of bottom trawls on by-catch bluefish (*Pomatomus saltatrix*, Linnaeus, 1776) selectivity in the Southern Coast of the Black Sea, Turkey. *Cahiers De Biologie Marine*, 55, 315–321. <https://doi.org/10.3923/javaa.2010.436.440>
- Pascoe, S., (1997). Bycatch management and the economics of discarding, FAO Fish. Tech.
- Tosunoğlu Z., Özbilgin Y.D. & Özbilgin H. (2003). Body Shape and Trawl Codend Selectivity for Nine Commercial Fish Species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(6): 1309- 1313. <https://doi.org/10.1017/S0025315403008737>
- TÜİK (2022). Fisheries statistics. Turkish Statistical Institute. <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr>

- Wieland K., (1998). Spatial Distribution Pattern Generating Processes in the International Bottom Trawl Survey in the, North Sea. Danish Institute for Fisheries Research Department of Fish Biology North Sea Center, Hirtshals, Denmark. ISBN: 87-88047-90-3 DFU-Rapport nr. 60-98. 80 s.
- Yıldız T. (2016). Batı Karadeniz’de Ticari Demersal Balık Stokları Üzerine Trol Balıkçılığının Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yıldız T. & Karakulak F.S. (2018). General characteristics of bottom trawl fishery and effect of haul duration and total catch on discard in the Western Black Sea. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 35(1), 19-26. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2018.35.1.04>
- Yıldız T. & Karakulak F.S., (2017). Discard in Bottom-Trawl Fishery in the Western Black Sea (Turkey). *Journal of Applied Ichthyology*, 33(4), 689-698. <https://doi.org/10.1111/jai.13362>
- Zengin M., Düzgüneş, E. Genç, Y. & Tabak İ., (1997). Dip Trol Ağlarında Seçiciliğin Belirlenmesi. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı, Proje Sonuç Raporu. TAGEM/TY/96/12/004. Trabzon, 52 s.



Effects of Cadmium and Nickel on Embryonic Development of Fish: A Review

Saima NAZ¹, Ahmad Manan Mustafa CHATHA², Duralı DANABAS^{3*}

¹Department of Zoology, Government Sadiq College Women University, Bahawalpur, Punjab/Pakistan

²Department of Entomology, Faculty of Agriculture and Environment, The Islamia University of Bahawalpur, Bahawalpur, Punjab/Pakistan

³Munzur University, Fisheries Faculty, Tunceli/Türkiye

*E-mail: dalid07@gmail.com

Article Info

Received:
17/03/2023
Accepted:
20/12/2023

Keywords:

- Embryonic studies
- Abnormalities
- Fish larvae
- Toxic effects
- Heavy metals

Abstract

In fish embryos, a variety of abnormalities have been found, including stunted growth, a reduced survival rate, and aberrant development. One plausible explanation is that early embryonic stages are more sensitive. Embryonic studies provide additional information regarding the various impacts of heavy metals on fish, but information on larval abnormalities caused by waterborne metals is lacking. It is found that cadmium (Cd) causes a decrease in thyroid hormone levels as well as a disruption in fish growth hormone expression. Similarly, negative health effects have been documented as a result of nickel (Ni) exposure. Some toxic effects on organs, skin irritation, skin itches or blisters and allergic reactions may occur as a result of Ni exposure. This review study focuses on the impacts of Cd and Ni, on the embryonic development of different fish species. The evidence on abnormalities in fish larvae caused by Cd and Ni was also provided in text.

Balıkların Embriyonik Gelişimi Üzerinde Kadmiyum ve Nikelin Etkileri: Bir Derleme

Makale Bilgisi

Alınış tarihi:
17/03/2023
Kabul tarihi:
20/12/2023

Anahtar Kelimeler:

- Embriyonik çalışmalar
- Abnormaliteler
- Balık larvası
- Toksik etkiler
- Ağır metaller

Öz

Balık embriyolarında, büyümenin engellenmesi, düşük yaşama oranı ve anormal gelişmenin de dahil olduğu çeşitli anormallikler bulunmuştur. Bunun makul bir açıklaması ise, erken embriyonik aşamaların daha hassas olması olabilir. Embriyonik çalışmalar, ağır metallerin balıklar üzerindeki çeşitli etkileri hakkında bilgi sağlamaktadır, ancak suda taşınan metallerin neden olduğu larva anormallikleri hakkında bilgiler eksik kalmıştır. Kadmiyumun (Cd) balık büyüme hormonu ekspresyonunda bozulmaya ek olarak tiroid hormon düzeylerinde azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde, nikel (Ni) maruz kalmanın bir sonucu olarak olumsuz sağlık etkileri de belgelenmiştir. Ni'ye maruz kalmanın bir sonucu olarak organlar üzerinde, cilt tahrişi, cilt kaşıntıları veya kabarcıkları ile alerjik reaksiyonlar gibi bazı toksik etkiler meydana gelebilmektedir. Bu derleme çalışması, Cd ve Ni'nin farklı balık türlerinin embriyonik gelişimi üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır. Cd ve Ni'nin neden olduğu balık larvalarındaki anormalliklere ilişkin kanıtlar da

Atf bilgisi/Cite as: Naz S., Chatha A.M.M., Danabas D. (2023). Effects of Cadmium and Nickel on Embryonic Development of Fish: A Review. Menba Journal of Fisheries Faculty, 9(2), 40-51. <https://doi.org/10.58626/menba.1266952>

INTRODUCTION

Contamination of fresh and salt water due to various heavy metals such as mercury (Hg), lead (Pb), cadmium (Cd), and nickel (Ni) is a rising concern, posing a serious hazard to the aquatic ecosystem even in miserable concentrations (Aldavood et al. 2020). Many toxicants cause more harm during embryonic development than they do in adulthood. Such hazardous substances (Cd, Ni, and other heavy metals) are exposed to fish in aquaculture during the culture period. Excessive use of feed, pesticides, fertilizers, and medicines, as well as the discharge of effluents containing inorganic components like Cd and copper (Cu) that can build in the sediment, are serious issues for farming systems (Pinto et al. 2021). Metals from skin and/or gills diffuse into tissues after being taken up by diet, interfering with both traditional primary targets like kidney and liver and unconventional ones including muscles, retina, and the lateral line (Motta et al. 2021).

Cadmium and chromium (Cr) are the major environmental pollutants that pose substantial health hazards (Jin et al. 2015). Cadmium is a non-essential trace element having no role in human metabolism, but is slowly released in the body and is easily stored in internal organ owing to 10-30 years half-life (Kumar and Sharma 2019). Long term Cd exposure via water, soil, air and contaminated foods can affect urinary and reproductive system, central and peripheral nervous systems, liver, respiratory and cardiovascular system, causing serious cancers (Puangprasert and Prueksasit 2019). Owing to negative effects on both organisms and environment, the International Agency for Research on Cancer (IARC) has declared Cd as a carcinogenic metal for human consumption. Recent studies indicated that Cd concentration in water can reach 0.1–0.3 $\mu\text{g L}^{-1}$, and can also reach 30 $\mu\text{g L}^{-1}$ in the wastewater discharge of numerous factories (Ahmed and Mokhtar 2020). In ecotoxicology, sensitive warnings are important to monitor aquatic ecosystems (Hani et al., 2018).

Although most aquatic organisms need Ni as a necessary trace element (Bielmyer et al. 2013), large amounts can be hazardous to fish, amphibians, and invertebrates (Eisler 1998; Brix et al. 2017). So many parameters like environmental Ni concentrations, physico-chemical characteristics of water (e.g., pH, dissolved organic carbon, water hardness), and biological / physiological functions, influence Ni bioavailability and toxicity in freshwater (FW) species (Bielmyer et al. 2013; Custer et al. 2016). Human industrial activities can cause Ni quantities in the environment to increase (Alsop et al. 2014). Natural processes and human actions, such as rock weathering, industrial effluent discharge, and resource extraction, can also introduce Ni into aquatic ecosystems. To measure the chemical's toxicity, embryonic morphological, physiological, and behavioural endpoints of various fishes are frequently used (Liu et al. 2021). In aquatic toxicology, zebrafish have great value as they exhibit a short-term reproductive cycle and strong progeny breeding ability, drug treatments, and toxin-induced phenotypic changes can be easily observed (Tian et al. 2020). Scheil et al. (2010) found that Ni exposure hindered zebrafish embryo hatching. Exposure to Ni with vanadium (V) caused heart developmental damage in exposed zebrafish embryos, according to Kim et al (2019).

Fish embryos are increasingly being used in aquatic toxicity testing, as indicated by the approval of the fish embryo acute toxicity (FET) test by the Organization for Economic Cooperation and Development (Krzykwa et al. 2019). There is a pressing need for impressive methodologies to assess the neurotoxic potential of contaminants being in the environment in ecotoxicology (Zindler et al. 2019).

Aquatic sediments are regarded as a long-term source of contamination for aquatic species due to their great potential to absorb toxins such as persistent organic pollutants and heavy metals (Barjhoux et al. 2012). Low-level metal pollution is a common problem with often-unknown health and environmental implications (Sonnack et al. 2015). Multiple contaminants coexist and interact in the ecosystem, usually at low levels. However, most of the published research either looked at single toxicant exposures rather than combinations, or looked at many toxicant combinations, making it difficult to deduce the underlying individual mechanisms of action. To assess the possible ecological risk, it is necessary to assess the toxicity of combinations of coexisting substances (Ku et al. 2015). This review focussed on the effects of some metals on developments in the embryonic stages of different fish species.

MATERIAL and METHOD

Fish embryos are increasingly being used in aquatic toxicity testing, as indicated by the approval of the fish embryo acute toxicity (FET) test by the Organization for Economic Cooperation and Development. Embryos were checked daily for standard signs of death (coagulation, lack of tail separation, lack of so mite development, and lack of heartbeat) until the test was completed at 120 hours (Krzykwa et al. 2019).

Present study was designed to review the studies from 2000-2020, based on the embryonic developmental alterations in fish due to the impact of Cd and/or Ni. Effect of Cd and Ni on larval and embryonic development of fish was reviewed from different research papers. It was used a number of keywords such as heavy metals, deformities, survival rate, fish growth, embryonic development, toxic effects in reference to both Ni and Cd. All the articles studied were further explored by using their references for more detailed information. This search work was completed by October 10, 2021.

A study design was prepared to select a limited number of articles to be included in this paper. The searching process was started from reading titles and abstracts of potentially relevant research articles, then irrelevant articles were removed from the list. The remaining articles were scrutinized further for their relevance to Cd and Ni having adverse effect to the focused subjects. After that, the remaining articles were studied in detail (Table 1 and 2). However, some of these articles were not included in this paper for providing repeated or less valuable information regarding studied heavy metals.

Table 1. Different studies reviewed on the effects of Nickel on embryonic development of different fish species

Study No.	Heavy metals	Fish species	Concentration	Duration	Stages	Effect	References
1	Ni	<i>Pimephales promelas</i>	13.87 mg g ⁻¹	21 days after hatching	24 hpf*	Decreased hatching time and elevated CCO* and NDPK* activity	Lapointe and Couture (2010)
2	Ni /graphene nanocomposites	<i>Danio rerio</i>	0-1000 µg L ⁻¹	96 h	3 hpf	Reduced locomotion	Almeida et al. (2019)
3	NiSO ₄	<i>Danio rerio</i>	5-100 mg L ⁻¹	24 h	24 hpf	Increased mortality with Synergetic toxicity	Ku et al. (2015)
4	NiCl ₂	<i>Danio rerio</i>	Acute 7.5-15 mg L ⁻¹	2 h	5-days old larvae	Decreased locomotory activity	Kienle et al. (2008)
			Sub chronic ≥10 mg L ⁻¹	After fertilization to 11 days	11 days old	Delayed hatching at 96h, decreased locomotory and increased mortality at age of 5 and 11 days, respectively.	
5	NiCl ₂	<i>Danio rerio</i>	0.5 – 15 mg L ⁻¹	From fertilization to 168 h	168 hpf	Reduced hatching success, increased Hsp70* levels in larvae when exposed to 1 mgL ⁻¹ of Ni, Strong histopathological effect on different organs (gut, liver, pancreas, kidney, skin) including necrosis, caryolysis, hypertrophy.	Scheil et al. (2010)
6	Ni	<i>Danio rerio</i>	100 ppm	Until 96 hpf	6 hpf	Increased mortality, delayed development of yolk sac, pericardial oedema, reduced heart rate, negative effects on heart chamber and reduced regulation of <i>amhc</i> and <i>nppa</i> genes	Kimáková et al. (2018)
7	NiCl ₂	<i>Pimephales promelas</i>	0-2 mg L ⁻¹	120 h	≤2 hpf to 120 hpf	Coagulation, lack of tail detachment, lack of somite development, absence of heart beat, and non-significant effect on weight	Krzykwa et al. (2019)
8	NOM* (Ni)	<i>Pimephales promelas</i>	1.5-3 mg L ⁻¹	21 days	Breeding pairs	Decreased egg production and tissue specific accumulation in gonads and gills.	Ouellet et al. (2013)
9	Ni	<i>Danio rerio</i>	3.7 mg L ⁻¹	144 h	0.5 hpf	Egg coagulation, Lack of somite development, no tail detachment, Lack of heart beat and blood circulation, Gross morphological malformation, oedema, Growth retardation, and decreased pigmentation	Bartzke et al. (2010)
10	Ni	<i>Danio rerio</i>	116 µg g ⁻¹	82 days	0.2 -0.3g of fish weight	Significant decrease in egg production, decreased growth of male fish, and increased mortality	Alsop et al. (2014)
11	Ni- Cr alloy	<i>Danio rerio</i>	33.65% of alloy	4-7 week	4-144 hpf	Decreased heart-beat rate and altered swimming behaviour, decreased body length of larvae, eye	Zhao et al. (2018)

						deformation, pericardial oedema, spine flexion, tail deformity, and yolk sac oedema	
12	Ni	<i>Danio rerio</i>	7.7-240 µM	0-78 hpf	0-78 hpf	Observed effects on Epigenetic	Bouwmeester et al. (2016)
13	Ni	<i>Oryzias melastigma</i>	0.13–65.80 mg L ⁻¹	3–4 hpf	Newly hatched larvae (1-day post-hatch)	Changed the egg size and heart rate of the embryos, lowered the hatchability, increased the deformity rate, and shortened the total body length of newly hatched larvae	Liu et al., 2021
14	Ni	<i>Danio rerio</i>	5.2, 6.2, 7.4, 8.9, and 10.7 mg L ⁻¹	4 hpf	4 h (late blastula stage)	Impact on alterations of mortality, hatching rate, malformation rate, body length, heartbeat rates, and gene expressions	Yang et al., 2021
15	Ni	<i>Danio rerio</i>	0.4, 2.1, 10.5, and 21.0 µM	2 hpf	48,72 hpf	Decreased spontaneous movement and myosin expression	Aldavood et al., 2020

* **hpf** = Hours post fertilization, **CCO**= Cytochrome C oxidase, **NDPK**= Nucleoside diphosphate kinase, **Hsp70**= Heat shock protein 70, **NOM**= Natural organic matter

Table 2. Different studies reviewed on the effects of Cadmium on embryonic development of different fish species

Study No.	Fish species	Concentration	Duration	Stages	Effect	References
1	<i>Danio rerio</i>	0.032-32.4 mgL ⁻¹	24 hpf	Late pharyngula stage	Increased the frequency of tail coiling and delayed embryonic development	Zindler et al. (2019)
2	<i>Pagrus major</i>	9.8,6.6 mgL ⁻¹	96 hpf	3 hpf	Reduced hatchability, delayed hatching time, increased mortality, reduced length in embryo and larvae, inhibited heart beat and yolk absorption	Cao et al. (2009)
3	<i>Alopias vulpinus</i>	0.006 µgg ⁻¹ BDL*	-	Embryo FL* (73 cm)	No significant effects	Dutton and Venuti (2019)
4	<i>Oryzias latipes</i>	5g d. w	10 days	Pre- blastula stage	Spinal and cardiovascular deformities, tachycardia, Significant increase in DNA damage	Barjhoux et al. (2012)
5	<i>Danio rerio</i>	2-34.8 mg L ⁻¹	72 h	72 hpf	Neuromast damage, coagulated egg, increased mortality rate	Sonnack et al. (2015)
6	<i>Danio rerio</i>	10 µM	96 h	96 hpf	Oxidative stress, increased MDA* level, decreased GSH* level	Jin et al. (2015)
7	<i>Danio rerio</i>	1.0 µM	30 days	Embryo	Affects gene expression level, hepatotoxicity, altered liver size, abnormal expression of gene	Duan et al. (2017)
8	<i>Pimephales promelas</i>	0-100 µg L ⁻¹	-	Embryo/ larvae	Alteration in length, reduced eye size, significant decreased in snout- vent length, increased pericardial area	Krzykwa et al. (2019)
9	<i>Danio rerio</i>	0-5 µg L ⁻¹	15 Weeks	24 hpf – sexual maturity	Declined NO* level in liver and spleen, m RNA level sharply increased and decreased immunity	Guo et al. (2017)
10	<i>Danio rerio</i>	-	72 h	3-days old embryo	Decreased regulation of gene expression	Chouchene et al. (2016)
11	<i>Danio rerio</i>	0-5 µg L ⁻¹	15 Weeks	Embryo	Reduced GSH, no significant changes in cellular organelles	Zhu et al. (2018)
12	<i>Danio rerio</i>	9 µM	24 h	-	Increased apoptotic event and induced cell death in brain of embryo	Monaco et al. (2017)
13	<i>Gobiocypris rarus</i>	0.1-100 µg L ⁻¹	24 h	Newly hatched larvae	Increased mortality of the embryo	Zhu et al. (2011)
14	<i>Leuciscus idus</i>	100 µg L ⁻¹	21 Days	Embryonic and larval	Reduced embryonic survival, increased frequency of malformation and delayed hatching	Witeska et al. (2014)
15	<i>Danio rerio</i>	0-10 µM	24-96 hpf	Embryonic and larval	Increased heart beat rate of larvae and decreased brain size	Wold et al. (2017)
16	<i>Leuciscus idus L.</i>	0.1 mg dm ³	2 h	Embryos and newly hatched larvae	Reduced egg swelling, slowed the rate of development (especially body movements), and delayed hatching	Ługowska and Kondera, 2020

17	<i>Odontesthes bonariensis</i>	0.25 ugL-1	10 Days	Advanced stage embryos and recently hatched larvae	Decreased hatching rate and the survival of embryo and larvae	Gárriz and Miranda, 2020
18	<i>Trematomus bernacchii</i>	0.890 Mm (CdCl ₂)	10 days	Adult stage	Reduce fecundity by increasing degeneration among previtellogenic oocytes. Induces changes in the localization of progesterone and beta-estrogen receptors. Alter carbohydrates composition of chorion and cytosol and the alveolar content.	Motta et al., 2021
19	Zebrafish	0.01-1 μmol L ⁻¹ (CdCl ₂)	48, 60 and 72 hpf	Sexually mature	Reduced egg production and fertilization rates. Increased occurrence of various malformations and organ toxicity effects and developmental toxicity in the thyroid endocrine system.	Tian et al., 2020
20	Zebrafish	0.01-1 μmol L ⁻¹ (CdCl ₂)	14-h/10-h	Sexually-mature	Reduced swimming speed and levels of neurotransmitters such as dopamine, serotonin, and AChE in offspring; disrupted neurotransmitter metabolism; and deregulated the expression of genes related to neuronal development, thereby inducing developmental neurotoxicity in off springs	Tian et al., 2021
21	Zebrafish	0.0089, 0.089, and 0.89 μM	24 hours post-fertilization	8-cell stage	Cadmium caused up-regulation and downregulation in the DNA methylation levels and DNA methylation reflects the carcinogenicity of Cd through the regulation of proliferation, differentiation, apoptosis, and transcriptional protein expression.	Bian and Gao,2021
22	<i>Gobiocypris rarus</i>	-	3hpf	3-h post-fertilization (hpf)	Antagonistic and synergistic responses were detected	Li et al., 2020
24	<i>Danio rerio</i>	0.07, 0.7, 3.1, and 6.6 μM	2 hpf	48,72 hpf	Increased yolk sac area, an index of metabolic rate	Aldavood et al., 2020

EFFECTS OF CADMIUM ON FISH EMBRYO

The frequency of tail coiling predominantly increased by Cd at late pharyngeal stage. Dichlorvos played an effective role in delaying embryonic development, causing convulsive movements of tail, which in turn extends the duration of tail coils. At 24 h post-fertilization period (hpf), embryos showed absence of spontaneous tail movements, when exposed to citalopram and fluoxetine teratogenic concentrations. In 10 to 50 % of embryos during development, hindrance along with incomplete detachment of tail ($\geq 5.93 \text{ mgL}^{-1}$ concentration) and set back of coiling activity ($\geq 5.93 \text{ mgL}^{-1}$; visual assessment) at 24 hpf was observed respectively. From 72 hpf, developmental slows down as reduced growth in 20% of embryos at concentration value $\geq 5.93 \text{ mgL}^{-1}$ (Zinder et al. 2019).

In a study reported by Cao et al. (2009), it was found that LC_{50} values of Cd at 24 and 48 h were 9.8 and 6.6 mgL^{-1} while LC_{50} values at 24, 48, 72, and 96 h were 18.9, 16.2, 8.0, and 5.6 mgL^{-1} for red sea bream (*Pagrus major*) embryo and larvae, respectively showing larvae are less susceptible to Cd toxicity than embryos. Cadmium concentration at 0.8 mgL^{-1} led to many changes including abnormalities in morphology (42–100% vs. 1–10%), highest mortality rate (38–100% vs. 1–10%), reduced hatchability (0–90% in 0.8 mgL^{-1} solutions vs. 97–100% in lower ones), slow down hatching time and major reduction in length (3.55–3.60 vs. 3.71–3.72 mm) in both larvae and embryos. They were considered an important endpoint of biological significance helpful in assessment of Cd risk factor for aquatic organisms. Moreover, yolk absorption and heart beat rate somehow inhibited at higher concentrations, but not serve as much sensitive endpoints to Cd exposure.

Heavy metals have predominant role in aquatic environment species throughout their developmental period. Medaka (*Oryzias latipes*) embryos in their pre-blastula stage and 10th day of their development were exposed to 2 heavy metals namely Cu and Cd via static sediments contact. By keeping deadly toxicity and phenotypic restraints in consideration, some outcomes as lethal and sub-lethal were monitored in embryos and larvae for post fertilization of 20 days (dpf).

Above mentioned metals incite significantly spinal and cardiovascular distortion as well as increase in DNA damage at all tested concentrations (Barjhoux et al. 2012).

Out of heavy metals, Cr and Cd are considered major environmental contaminants posing noxious risks for healthy life. Cadmium-exposed embryos having excessive conc. 34.8 mgL^{-1} (309 μM) showed maximum mortality (90%) mainly caused by concentration-dependent rise in coagulated eggs in zebra fish. Similarly, hatchability reduced remarkably, when 10 μM Cd was given during 60 and 96 hpf. Sonnack et al. (2015) demonstrated that if Cd was exposed as CdCl_2 leads to some changes in neuromast cells showing more sensitivity towards metal exposure than motor neuron damaging and tactile stimulation effect.

Reactive oxygen species and oxidative stress levels significantly affect metabolism and organs functioning of aquatic organism, and rise in toxicity levels. Cadmium and Cr induced the changes in oxidative stress zebrafish in its larval stage. The exposure of both these metals for 96 hpf rise MDA levels which in turn decreased GSH contents (Jin et al. 2015). In a reported study, transgenic zebrafish (*Danio rerio*) and wild-type were selected to investigate acute toxicity together with single and joint hepatotoxicity of Cd and 1-H-benzotriazole (1H-BTR). The exposure of 5.0 μM of 1H-BTR in transgenic zebra fish for a period of one month elevated liver-specific fatty acid binding protein expression while acute toxicity was significantly low. Apart from, co-exposure to 1H-BTR diminished not only acute toxic outcomes but also highlighted Cd-induced atrophy in liver of transgenic fish. Correspondingly, how combined exposure to 1H-BTR effects Cd-induced expressions of various genes related signalling pathways, glutathione-s-transferase proteins and SOD were also studied (Duan et al. 2017).

Following method of OECD TG 236 (OECD Guidelines for Testing of Chemicals, Test No.236: Fish Embryo Acute Toxicity Test), 5.0 μM of 1H-BTR and 1.0 mM Cd concentrations both singly or jointly using 24 well multi plates were exposed to wide-type developing embryo. This exposure influence expressing level of gene, up-regulating expression of TNF and SERP mRNA dramatically reduced ($p < 0.01$). Even though, 1H-BTR acute toxicity was verified to be low. Hepatotoxicity comprising variations in liver size due to abnormal genes and enzymes functioning was observed in zebrafish (Duan et al. 2017).

Procedures incorporating fathead minnows were performed with Texas Christian University (TCU) IACUC-approved methods (Protocol 14/05). Different exposures were carried out over course of one and half year. For, proper maintenance of reproductive activity of breeding colonies numerous cohorts look after larvae/embryos utilized in each set of exposures. Cadmium exposure (ANOVA, $p < 0.01$) results in a remarkable increase in pericardial area. There was a significant decrease in snout-vent length in Cd treated embryos as well as in all other Cd groups confirmed by performing ANOVA at $p < 0.01$. However, there was a threshold response with no significant variations among Cd groups. It was investigated in a report that sub lethal endpoints showed variations only during Cd exposure. Embryos/eleuthero embryos when treated with heavy metal Cd present changes in length, pericardial area and eye size if observed at five-fold less concentrations than estimated LC_{50} value, demonstrating that for Cd the incorporation of above sublethal endpoints may helpful in improving sensitivity offish embryo acute toxicity (FET) test (Krzykwa et al. 2019).

The immune responses in organs of zebrafish (i.e., spleen and liver) was investigated at environmental levels of Cd (0, 2.5 and 5 μgL^{-1}) for 15 weeks from embryos to their sexually maturity period. When liver and spleen were exposed to 5 μgL^{-1} Cd the NO and iNOS activities lessened showing immune suppressive effect. In spleen, an increase in levels of mRNA of these cytokines was seen (Guo et al. 2017). By using Real-Time Quantitative PCR (RT-qPCR) experimental techniques, mRNA levels of CYP19A1B gene were assessed in zebrafish embryos after given treatment of Cd, E2 and/or Zn. In this case, remarkable effect of Zn or Cd alone was not prominent. However, E2 revitalize CYP19A1B gene expression, results in 38 times more fold

induction on comparison with control condition (EtOH). In addition to that, E2 and Cd co-treatment caused inhibition of E2-induced CYP19A1B mRNA levels. Surprisingly, Zn alone represent zero effect confirmed by (Chouchene et al. 2016).

Examined after effects of waterborne Cd was also evaluated at (0, 2.5, and 5 mgL⁻¹) concentrations in zebrafish female for various responses such as histology, survival chances, metal homeostasis plus antioxidant effects (Zhu et al. 2018). This study was carried out with the help of cytochemical staining. Six hours post fertilization embryos of zebrafish were given treatment of 9 µM Cd for one day followed by Acridine orange stain in whole mount for brain apoptosis detection which showed an elevation in apoptotic events. This gives a clear cut idea that Cd even at its sub-lethal concentration induces cell death in brain of zebrafish embryos and adults (Monaco et al. 2017).

Copper, Zn, and Cd acute toxicity levels were evaluated both singly and in mixtures on Chinese rare minnow (*Gobio cyprisrarus*) in larvae and embryos during their early developmental stages. Mainly 3 hpf larvae (newly hatched) and normal embryos were selected for this purpose. Metal solution exposure were given to embryos which lasts for 24h and studied up to different developing stages including detachment of tail (25 h 10 min), so mite formation (15h), heart-beat (34 h 10 min), hatching (75h) and appearance of pectoral fin bud (47 h 40 min) respectively. Single toxicity tests confirmed that with increasing exposure duration, the mortality rate of embryos also increases (Zhu et al. 2011). Hatching time, size of larvae newly hatched and embryos survival were checked when the embryonic period was ended. The outcomes revealed the significant decrease in embryonic survival, larvae death and delay in hatching time. In addition, body malformations became more as reported by a study confirmed by Witeska et al. (2014).

We check out that what would be the longitudinal effects (long lasting) from Cd exposure in early stages of development (between 24 and 96 hpf) having a range in which larvae might experience living a top typical Cd containing surface sediments (0, 0.01, 0.1, 1.0, and 10 µM CdCl₂: 1.124, 11.24, 112.4, and 1124 µg CdL⁻¹). The aim was to target cardiovascular development, secondary neurogenesis and monoaminergic differentiation without affecting initial patterning activities. Major development based abnormalities in central nervous system morphology along with body size increased with concentration, but significantly at highest concentration (10 µM). Furthermore, Cd reduces brain size and elevates acridine orange-positive (AO +) cell number in forebrain of treated larvae. Telencephalic area showed a significant reduction in given 10 µM CdCl₂ (Wold et al. 2017).

NICKEL METAL EFFECTS ON FISH EMBRYO

Early-life fathead minnows were subjected to environmentally relevant quantities of aqueous and dietary Ni and thallium (Tl), and metal build up was tracked from the embryo to 21 days after hatching. Aqueous Ni exposure shortened the time to hatch and boosted aerobic and biosynthetic capacity (as demonstrated by higher cytochrome C oxidase (CCO) and Nucleoside-diphosphate kinase (NDPK) activity, respectively), implying that aqueous Ni stimulates metabolism in fathead minnows in their early life stages (Lapointe and Couture 2010).

Zebrafish embryos were given various doses of the two nanocomposites: 0, 0.024, 0.12, 0.6, 3.0, and 15.0 mg L⁻¹ of G/Ni1 and 0, 0.016, 0.08, 0.4, 2.0, and 10.0 mg L⁻¹ of G/Ni2. GO was also analyzed at concentrations of 0.016, 0.08, 0.4, 2.0, and 10.0 mg L⁻¹, as well as Ni at values of 0, 1.4, 4.1, 12.3, 37, 11.1, 333.3, and 1000.0 g L⁻¹ (nickel sulfate hexahydrate was used as a source of the Ni ions). The purpose of this study was to determine the toxicity of two nickel/graphene nanocomposites (G/Ni1 and G/Ni2) to *Danio rerio* embryos, that differed in size and shape. Both nanocomposites, however, had behavioural impacts, reducing swimming distances. The G/Ni1 nanocomposite, on the other hand, showed this action at lower concentrations. Only the G/Ni1 nanocomposite interfered with the observed parameters at the biochemical level, raising the activities of ChE, CAT, and GST (Almeida et al. 2019).

The combined effects of the heavy metal Ni(NiSO₄) and the insect growth regulator buprofezin on zebrafish embryo toxicity were investigated in this study. We randomly subjected normally developed embryos to Ni at 10.0, 20.0, 40.0, 80.0, 200.0, 300.0, 400.0, 500.0, and 600.0 mg L⁻¹ or buprofezin at 2.5, 10.0, 40.0, 200.0, 300.0, 400.0, 500.0, and 600.0 mg L⁻¹ respectively at 24 h postfertilization (hpf). 294.0 mg L⁻¹ CaCl₂·2H₂O, 123.3 mg L⁻¹ MgSO₄·7H₂O, 63.0 mg L⁻¹ NaHCO₃, and 5.5 mg L⁻¹ KCl, were present in exposure solutions. Ni- and buprofezin levels were 5.0, 10.0, 20.0, 40.0, 80.0, and 100.0 mgL⁻¹ in co-exposure treatment, that combined exposure to Ni and buprofezin at low doses generates synergistic toxicity that would not have generated detectable effects from such levels of both chemicals alone, and that their coexistence in various habitats poses an ecological and health danger (Ku et. al. 2015).

The effects of NiCl₂·6H₂O on zebrafish (*Danio rerio*) both of embryos and larvae were studied in both acute (2 h exposure of 5-day-old larvae) and sub-chronic (exposure from fertilization to age of 11 days) conditions, both alone and in conjunction with oxygen deprivation. In the sub-chronic examination exposure to 10.0 mg NiL⁻¹ resulted in delayed hatching at 96 h, locomotive activity decreased at 5 days and mortality increased at 11 days of age (LC20 1/4 9.5 mg NiL⁻¹) (Kienle et al. 2008).

Another study used a multilevel strategy to examine two separate groups of chemicals: NiCl₂ as a heavy metal representative and chlorpyrifos, a pesticide. The effects of single chemicals and mixtures of them on embryonic development, histological changes, and the stress protein (Hsp70) response in the zebrafish, *Danio rerio* were studied. Depending on the endpoint studied, fishes were exposed from egg fertilization to a maximum of 168 hours after fertilization. When larvae are exposed to 1.0 mgL⁻¹ of Ni, they have a lower hatching success and have higher hsp70 levels. Strong histopathological effects include necrosis, caryolysis, and hypertrophy in several organs (gut, liver, pancreas, kidney, skin) (Scheil et al. 2010).

The developmental toxicity of water-soluble carbon black wastes (CBW) extract (1:5, w/v) in zebrafish embryos (*D. rerio*) was investigated in this work. The OECD guideline 236 for acute embryonic toxicity was followed. ICP-OES analysis found that nickel (Ni) and V were the most abundant elements in CBW. CBW-exposed embryos showed developmental delays as well as pericardial and yolk sac edemas. CBW-exposed embryos had malformed heart chambers, and significantly lower heart rates were obtained for post-fertilization of 48 h (hpf). Two cardiac forming-related genes, AMHC and NPPA, which are important for atrial cardiac myofibril assembly and cardiac muscle cell proliferation, were up-regulated after 96 hpf, according to RT-qPCR research. An increasing mortality rate and more slowly yolk-sac development obtained to be linked to a pH drop to around 5.5 caused by CBW. Individual Ni and V treatments did not have the same harmful effects as CBW. Vanadium had a pH of about 5.5 at 100 ppm, which caused developmental delays and pericardial edema in zebrafish embryos. At the same pH, combined Ni and V caused morphological abnormalities and decreased heart rates in embryos that had been exposed to CBW (Kimáková et al. 2018)

The fish teratogenicity index (FTI), a new evaluation scheme that allows for sediment classifications into quality classes of ecologic fields consistent with the WFD, was created for the ecotoxicological researches (toxicity test for fish embryo with *Danio rerio*). Viable eggs were individually picked using an inverted microscope 30 minutes after fertilization and then put into the sediment-containing cavities of the 24-well plates. Each experiment included ten duplicates per sediment sample. At a final test concentration of 3.7 mgL⁻¹, 3,4-dichloraniline solution was used as a positive control. Negative controls were reconstituted water (standard water according to DIN 38415-6) and native reference sediment from the Elbrighäuserbach. An inverse microscope was used to examine embryos after 24, 48, 72, and 144 hours. Egg coagulation, absence of so mite development, no tail separation, lack of heartbeat and blood circulation, gross morphological deformities, edema, growth retardation, and diminished or missing pigmentation were all observed during the inspections (Bartzke et al. 2010).

In a study on zebrafish, they were fed with two different concentrations of Ni (control and exposure including 116 g Ni/g feed). At 80 days, males fish exposure to Ni were considerably smaller (26%) than controls. Furthermore, by 75–78 days of the trial, reduced overall egg productions were observed in the Ni exposure group (65%). Zebrafish (*Danio rerio*; 0.2 to 0.3 g) were acquired from a commercial supplier and housed in six 40-L tanks, each holding 40 fish (3 control and 3 Ni-exposed). The absorption rates of waterborne Ni in the two treatments were compared after 82 days of exposure. After 80 days of exposure to Ni, growth of male zebrafish was slowed. These include population-level consequences including reproductive capacity, male growth, and physiological changes in progeny (Alsop et al. 2014).

The leach solution was collected and used to treat zebrafish embryos at 4–144 h PFM. Gold palladium (Au-Pd), silver palladium (Ag-Pd), nickel chromium (Ni-Cr), cobalt chromium (Co-Cr), and titanium (Ti) alloy porcelain crowns were immersed in artificial saliva for 1, 4, and 7 weeks. For 4- and 7-week leachates, the Ni-Cr alloy group had higher rates of death and malformation, but spontaneous movement, heart rate, and swimming behaviour were lower. In comparison to the control group (3.61 mm), the body length of larvae in the 7-week Ti alloy (3.193 mm), Ag-Pd alloy (3.164 mm), Co-Cr alloy (3.193 mm), and Ni-Cr alloy (2.878 mm) leach solution treatment groups was reduced (Zhao et al. 2018).

The zebrafish embryo's suitability as a screening model for DNA methylation alterations is enough. Bisphenol-A (BPA), diethylstilbestrol, 17 α -ethynylestradiol, Ni, Cd, tributyltin, arsenite, perfluorooctanoic acid, valproic acid, flusilazole, and 5-azacytidine (5AC) were given to embryos in subtoxic quantities from 0 to 72 hours post fertilization (hpf). Epigenetic effects have been observed (Bouwmeester et al. 2016).

CONCLUSION

We concluded that Cd and Ni are among the most toxic metals at different developmental stages of fish species including embryonic and larval. Exposure to these metals even at very low concentration can cause severe deformities and abnormal growth and development of fish embryo and larvae. The effect of heavy metal exposure at these developmental stages is also reflected at later stages of fish. Furthermore, fish embryo and larvae are among excellent bio indicators to study level of pollutant in any aquatic ecosystem.

STATEMENTS AND DECLERATIONS

Declaration of Competing Interest

The authors declare that there is no conflict of interest among authors of this manuscript.

Ethics Approval and Consent to Participate

This manuscript is a review and contains any animal experiments. So, it isn't need an ethics approval.

Funding

This study was no funded by any agency or organisations.

Authors' Contributions

SN had the initial idea for the manuscript and was involved in the literature search, data analysis, and writing and development of the article, as well as the final proof stage. AMMC and DD were involved in the writing and development of the article, and also in the final proof stage. In addition, DD assumed the responsibility of the corresponding author. All authors have read and approved the final manuscript.

Data Availability Statement

All data used in the manuscript was given in the text of manuscript. There were no additional data sources.

Statement of Human Rights

For this type of study, formal consent is not required.

REFERENCES

- Ahmed, M.F., & Mokhtar, M.B. (2020). Assessing cadmium and chromium concentrations in drinking water to predict health risk in Malaysia. *Int. J. Environ. Res.* 17(8): 2966, DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17082966>.
- Aldavood, S.J., Abbott, L.C., Evans, Z.R., Griffin, D.J., Lee, M.D., Quintero-Arevalo, N.M., & Villalobos, A.R. (2020). Effect of cadmium and nickel exposure on early development in zebrafish (*Danio rerio*) embryos. *Water*. 12(11): 3005. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12113005>.
- Almeida, A.R., Salimian, M., Ferro, M., Marques, P.A., Goncalves, G., Titus, E., & Domingues, I. (2019). Biochemical and behavioral responses of zebrafish embryos to magnetic graphene/nickel nanocomposites. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 186: 109760, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109760>.
- Alsop, D., Lall, S.P., & Wood, C.M. (2014). Reproductive impacts and physiological adaptations of zebrafish to elevated dietary nickel. *Comp. Biochem. Physiol. Part C: Toxicol. Pharmacol.* 165: 67-75, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2014.05.001>.
- Barjhoux, I., Baudrimont, M., Morin, B., Landi, L., Gonzalez, P., & Cachot, J. (2012). Effects of copper and cadmium spiked-sediments on embryonic development of Japanese medaka (*Oryzias latipes*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 79: 272–282, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2012.01.011>.
- Bartzke, M., Delov, V., Stahlschmidt-Allner, P., Allner, B., & Oehlmann, J. (2010). Integrating the fish embryo toxicity test as triad element for sediment toxicity assessment based on the Water Framework Directive approach. *J Soils Sediments*. 10(3): 389–399, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-009-0170-1>.
- Bian, X., & Gao, Y. (2021). DNA methylation and gene expression alterations in zebrafish embryos exposed to cadmium. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 28(23): 30101-30110, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12691-6>.
- Bielmyer, G.K., DeCarlo, C., Morris, C., & Carrigan, T. (2013). The influence of salinity on acute nickel toxicity to the two euryhaline fish species, *Fundulus heteroclitus* and *Kryptolebias marmoratus*. *Environ. Toxicol. Chem.* 32: 1354-1359, DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.2185>
- Bouwmeester, M.C., Ruiter, S., Lommelaars, T., Sippel, J., Hodemaekers, H.M., van den Brandhof, E.J., Pennings, J.L.A., Kamstra, J.H., Jelinek, J., Issa, J.P.J., Legler, J., & van der Ven, L.T.M. (2016). Zebrafish embryos as a screen for DNA methylation modifications after compound exposure. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 291: 84–96, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.taap.2015.12.012>.
- Brix, K.V., Schlekot, C.E., & Garman, E.R. (2017). The mechanisms of nickel toxicity in aquatic environments: An adverse outcome pathway analysis. *Environ. Toxicol. Chem.* 36: 1128-1137, DOI: <https://doi.org/10.1002/etc.3706>.
- Cao, L., Huang, W., Shan, X., Xiao, Z., Wang, Q., & Dou, S. (2009). Cadmium toxicity to embryonic-larval development and survival in red sea bream *Pagrus major*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 72(7): 1966–1974, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2009.06.002>.
- Chouchene, L., Pellegrini, E., Gueguen, M.M., Hinfray, N., Brion, F., Piccini, B., Kah, O., Saïd, K., Messaoudi, I., & Pakdel, F. (2016). Inhibitory effect of cadmium on estrogen signaling in zebrafish brain and protection by zinc: Cadmium effect on estrogen signaling in zebrafish brain. *J. Appl. Toxicol.* 36(6): 863–871, DOI: <https://doi.org/10.1002/jat.3285>.
- Custer, K.W., Hammerschmidt, C.R., & Burton, G.A. (2016). Nickel toxicity to benthic organisms: The role of dissolved organic carbon, suspended solids, and route of exposure. *Environ. Pollut.* 208: 309-317, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.09.045>.
- Duan, Z., Xing, Y., Feng, Z., Zhang, H., Li, C., Gong, Z., Wang, L., & Sun, H. (2017). Hepatotoxicity of benzotriazole and its effect on the cadmium induced toxicity in zebrafish *Danio rerio*. *Environ. Pollut.* 224: 706–713, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.055>.
- Dutton, J., & Venuti, V.M. (2019). Comparison of maternal and embryonic trace element concentrations in common thresher shark (*Alopias vulpinus*) muscle tissue. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 103(3): 380–384, DOI: <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02667-1>.
- Eisler, R. (1998). Nickel hazards to fish, wildlife, and invertebrates: A synoptic review. US Department of the Interior, US Geological Survey, Patuxent Wildlife Research Center.

- Gárriz, Á., & Miranda, L.A. (2020). Effects of metals on sperm quality, fertilization and hatching rates, and embryo and larval survival of pejerrey fish (*Odontesthes bonariensis*). *Ecotoxicology*. 29(7): 1072–1082, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02245-w>.
- Guo, S.N., Zheng, J.L., Yuan, S.S., Zhu, Q.L., & Wu, C.W. (2017). Immunosuppressive effects and associated compensatory responses in zebrafish after full life-cycle exposure to environmentally relevant concentrations of cadmium. *Aquat. Toxicol.* 188: 64–71, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.04.014>.
- Hani, Y.M.I., Turies, C., Palluel, O., Delahaut, L., Gaillet, V., Bado-nilles, A., Porcher, J.M., Geffard, A., & Dedourge-geffard, O. (2018). Effects of chronic exposure to cadmium and temperature, alone or combined, on the three spine stickleback (*Gasterosteus aculeatus*): Interest of digestive enzymes as biomarkers. *Aquat. Toxicol.* 199: 252-262, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.04.006>.
- Jin, Y., Liu, Z., Liu, F., Ye, Y., Peng, T., & Fu, Z. (2015). Embryonic exposure to cadmium (II) and chromium (VI) induce behavioral alterations, oxidative stress and immunotoxicity in zebrafish (*Danio rerio*). *Neurotoxicol. Teratol.* 48: 9–17, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2015.01.002>.
- Kienle, C., Köhler, H.R., Filser, J., & Gerhardt, A. (2008). Effects of nickel chloride and oxygen depletion on behaviour and vitality of zebrafish (*Danio rerio*, Hamilton, 1822) (Pisces, Cypriniformes) embryos and larvae. *Environ. Pollut.* 152(3): 612–620, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.069>.
- Kim, K. Wang, C.H., Ok, Y.S., & Lee, S.E. (2019). Heart developmental toxicity by carbon black waste generated from oil refinery on zebrafish embryos (*Danio rerio*): Combined toxicity on heart function by nickel and vanadium. *J. Hazard. Mater.* 363: 127-137, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.089>.
- Kimáková, T., Kuzmová, L., Nevolná, Z., & Bencko, V. (2018). Fish and fish products as risk factors of mercury exposure. *Ann. Agric. Environ. Med.* 25(3): 488–493, DOI: <https://doi.org/10.26444/aaem/84934>.
- Krzykwa, J.C., Saeid, A., & Jeffries, M.K.S. (2019). Identifying sublethal endpoints for evaluating neurotoxic compounds utilizing the fish embryo toxicity test. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 170: 521–529, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.118>.
- Ku, T., Yan, W., Jia, W., Yun, Y., Zhu, N., Li, G., & Sang, N. (2015). Characterization of synergistic embryotoxicity of nickel and bupropion in zebrafish. *Environ. Sci. Technol.* 49(7): 4600–4608, DOI: <https://doi.org/10.1021/es506293t>.
- Kumar, S., & Sharma, A. (2019). Cadmium toxicity: Effects on human reproduction and fertility. *Rev. Environ. Health.* 34: 327-338, DOI: <https://doi.org/10.1515/reveh-2019-0016>.
- Lapointe, D., & Couture, P. (2010). Accumulation and effects of nickel and thallium in early-life stages of fathead minnows (*Pimephales promelas*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 73(4): 572–578, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.01.004>.
- Li, X., Mao, L., Zhang, Y., Wang, X., Wang, Y., & Wu, X. (2020). Joint toxic impacts of cadmium and three pesticides on embryonic development of rare minnow (*Gobiocypris rarus*). *Environ. Sci. Pollut. Res.* 27(29): 36596–36604, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09769-y>.
- Liu, K., Song, J., Chi, W., Liu, H., Ge, S., & Yu, D. (2021). Developmental toxicity in marine medaka (*Oryzias melastigma*) embryos and larvae exposed to nickel. *Comp. Biochem. Physiol. Part - C: Toxicol. Pharmacol.* 248: 109082, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2021.109082>.
- Lugowska, K., & Kondera, E. (2020). Developmental anomalies in ide (*Leuciscus idus* L.) larvae caused by copper and cadmium. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 16(3): 37-51, DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0014.3996>.
- Monaco, A., Capriello, T., Grimaldi, M.C., Schiano, V., & Ferrandino, I. (2017). Neurodegeneration in zebrafish embryos and adults after cadmium exposure. *Eur. J. Histochem.* 61(4): 2833 DOI: <https://doi.org/10.4081/ejh.2017.2833>.
- Motta, C.M., Simoniello, P., Di Lorenzo, M., Migliaccio, V., Panzuto, R., Califano, E., & Santovito, G. (2021). Endocrine disrupting effects of copper and cadmium in the oocytes of the Antarctic Emerald rockcod *Trematomus bernacchii*. *Chemosphere.* 268: 129282, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129282>.
- Ouellet, J.D., Dubé, M.G., & Niyogi, S. (2013). Influence of elevated alkalinity and natural organic matter (NOM) on tissue-specific metal accumulation and reproductive performance in fathead minnows during chronic, multi-trophic exposures to a metal mine effluent. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 95: 104–112, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.05.027>.
- Pinto, G.L., da Silva Castro, J., & Val, A.L. (2021). Copper and cadmium impair sperm performance, fertilization and hatching of oocytes from Amazonian fish *Colossoma macropomum*. *Chemosphere.* 266: 128957, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128957>.
- Puangprasert, S., & Prueksasit, T. (2019). Health risk assessment of airborne Cd, Cu, Ni and Pb for electronic waste dismantling workers in Buriram Province, Thailand. *J. Environ. Manag.* 252: 109601, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109601>.

- Scheil, V., Zürn, A., Köhler, H.R., & Triebkorn, R. (2010). Embryo development, stress protein (Hsp70) responses, and histopathology in zebrafish (*Danio rerio*) following exposure to nickel chloride, chlorpyrifos, and binary mixtures of them. *Environ. Toxicol.* 25(1): 83–93, DOI: <https://doi.org/10.1002/tox.20477>.
- Sonnack, L., Kampe, S., Muth-Köhne, E., Erdinger, L., Henny, N., Hollert, H., Schäfers, C., & Fenske, M. (2015). Effects of metal exposure on motor neuron development, neuromasts and the escape response of zebrafish embryos. *Neurotoxicol. Teratol.* 50: 33–42, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ntt.2015.05.006>.
- Tian, J., Hu, J., He, W., Zhou, L., & Huang, Y. (2020). Parental exposure to cadmium chloride causes developmental toxicity and thyroid endocrine disruption in zebrafish offspring. *Comp. Biochem. Physiol. Part - C: Toxicol. Pharmacol.* 234: 108782, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108782>.
- Tian, J., Hu, J., Liu, D., Yin, J., Chen, M., Zhou, L., & Yin, H. (2021). Cadmium chloride-induced transgenerational neurotoxicity in zebrafish development. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 81: 103545, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.etap.2020.103545>.
- Witeska, M., Sarnowski, P., Ługowska, K., & Kowal, E. (2014). The effects of cadmium and copper on embryonic and larval development of ide *Leuciscus idus* L. *Fish Physiol. Biochem.* 40(1): 151–163, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10695-013-9832-4>.
- Wold, M., Beckmann, M., Poitra, S., Espinoza, A., Longie, R., Mersereau, E., Darland, D.C., & Darland, T. (2017). The longitudinal effects of early developmental cadmium exposure on conditioned place preference and cardiovascular physiology in zebrafish. *Aquat. Toxicol.* 191: 73–84, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2017.07.017>.
- Yang, Y., Yu, Y., Zhou, R., Yang, Y., & Bu, Y. (2021). The effect of combined exposure of zinc and nickel on the development of zebrafish. *J. Appl. Toxicol.* 41(11): 1765–1778, DOI: <https://doi.org/10.1002/jat.4159>.
- Zhao, L., Si, J., Wei, Y., Li, S., Jiang, Y., Zhou, R., Liu, B., & Zhang, H. (2018). Toxicity of porcelain-fused-to-metal substrate to zebrafish (*Danio rerio*) embryos and larvae. *Life Sci.* 203: 66–71, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2018.04.019>.
- Zhu, B., Wu, Z.F., Li, J., & Wang, G.X. (2011). Single and joint action toxicity of heavy metals on early developmental stages of Chinese rare minnow (*Gobiocypris rarus*). *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 74(8): 2193–2202, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.07.033>.
- Zhu, Q.L., Li, W.Y., & Zheng, J.L. (2018). Life-cycle exposure to cadmium induced compensatory responses towards oxidative stress in the liver of female zebrafish. *Chemosphere.* 210: 949–957, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.095>.
- Zindler, F., Beedgen, F., Brandt, D., Steiner, M., Stengel, D., Baumann, L., & Braunbeck, T. (2019). Analysis of tail coiling activity of zebrafish (*Danio rerio*) embryos allows for the differentiation of neurotoxicants with different modes of action. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 186: 109754, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109754>.