

Turkish Journal of Aquatic Sciences (TJAS)

Aquaculture - Fish Diseases
Fisheries Technology - Fisheries Management
Seafood Processing Technology - Seafood Safety
Marine Biology - Freshwater Biology



TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

ISSN: 2149-9659

E-ISSN: 2528-9462

Owner of Journal: Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

Dean: Prof. Dr. Meriç Albay

Chief Editor:

Prof. Dr. Devrim Memiş (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Co Editor in Chief:

Prof. Dr. Özkan Özden (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Cover Photo:

Prof. Dr. Devrim Memiş (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Editorial Board:

Prof. Dr. Reyhan Akçaalan (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Prof. Dr. Nuray Erkan (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Prof. Dr. Carsten Harms (Applied Univ. Bremerhaven, Germany)

Prof. Dr. Firdevs Saadet Karakulak (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Prof. Dr. Konstantinos Kormas (University of Thessaly, Greece)

Prof. Dr. Maya Petrova Stoyneva-Gaertner (Sofia University "St Kliment Ohridski", Bulgaria)

Prof. Dr. Harald Rosenthal (World Sturgeon Conservation Society, Germany)

Prof. Dr. Sühendan Mol Tokay (Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences, Turkey)

Assoc. Prof. Dr. Lukas Kalous (Czech University of Life Sciences, Czech)

Dr. Klaus Kohlmann (Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Germany)

Dr. Piero Addis (University of Cagliari, Italy)

Dr. Radu Suciú (Danube Delta National Institute Tulcea, Romania)

Turkish Journal of Aquatic Sciences

İstanbul: İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi, 1987-c.: şkl., tbl.; 24 cm. Yılda 4 sayı

ISSN 2149-9659

e-ISSN 2528-9462

Elektronik ortamda da yayınlanmaktadır:

<http://dergipark.gov.tr/tjas>

1. SU ÜRÜNLERİ. 2. BALIKÇILIK. 3. SU ÜRÜNLERİ YETİŞTİRİCİLİĞİ

İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi, Laleli Ordu Caddesi No. 8, 34134

Fatih/İSTANBUL

Elektronik Posta Adresi: tjas@istanbul.edu.tr

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

Aims & Scope

Our journal "Journal of Fisheries & Aquatic Sciences of Istanbul University (IUJFAS)" which was established in 1987 and had been publishing since, will continue its mission with its new name "Turkish Journal of Aquatic Sciences - TJAS starting from 2016.

"Turkish Journal of Aquatic Sciences" will publish peer-reviewed articles covering all aspects of **aquatic science** in the form of original articles, review articles, and short communications. Our journal will be published quarterly starting from 2017 in English or Turkish language. TJAS will not charge article submission or processing cost.

General topics for publication include, but are not limited to the following fields:

- Aquaculture Science/Aquaculture Diseases/Feeds/Genetics/
- Ecological Interactions/Sustainable Systems/Fisheries Development
- Fisheries Science/Fishery Hydrography
- Aquatic Ecosystem/Fisheries Management
- Fishery Biology/Wild Fisheries/Ocean Fisheries
- Biology/Taxonomy
- Stock Identification/Functional Morphology
- Freshwater, Brackish and Marine Environment
- Marine Biology
- Water conservation and sustainability
- Inland waters protection and management
- Seafood

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

Volume 32 Issue 4 Page 178-230 (2017)

Contents/İçerik

- ACCUMULATION OF CADMIUM AND LEAD IN COMMERCIALY IMPORTANT FISH SPECIES IN THE GULF OF GEMLİK, MARMARA SEA, TURKEY
Figen Esin KAYHAN, Nilüfer BÜYÜKURGANCI, Güllü KAYMAK 178-183
- LEVELS OF HEAVY METALS IN PSEUDOTOLITHUS ELONGATUS FROM BADAGRY MARKET, NIGERIA
Gabriel MEKULEYI, Olufemi JOSEPH 184-188
- DOĞU KARADENİZ'DE İŞLETMEYE AÇILAN BAZI NEHİR TİPİ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN SUCUL EKOSİSTEM VE KARADENİZ ALABALIĞI (*SALMO LABRAX*) POPULASYONLARI ÜZERİNE ETKİLERİ
IMPACT OF RUN-OF-RIVER HYDROPOWER PLANT OPERATION ON AQUATIC ECOSYSTEM AND TROUT (*SALMO LABRAX*) POPULATION IN THE EASTERN BLACK SEA REGION
Mustafa ZENGİN, Oğuz KURTOĞLU, Hatice ŞENGÜ, Eyüp ÇAKMAK 189-207
- KOI (*CYPRINUS CARPIO*) YAVRULARINDA FARKLI YEMLEME SIKLIĞININ BÜYÜMEYE OLAN ETKİSİ
EFFECTS OF DIFFERENT FEEDING FREQUENCIES ON THE GROWTH OF KOI CARP (*CYPRINUS CARPIO*) FRY
Meryem ÖZ, Orhan ARAL, Dilek ŞAHİN, Hatice ERİK 208-213
- YÜZEYSEL SULARDA AĞIR METALLERİN ETKİLERİ VE ÖTROFİKASYON İLE İLİŞKİSİ
THE EFFECT OF HEAVY METALS IN SURFACE WATER AND THEIR RELATIONSHIP WITH EUTROPHICATION
Emine METİN DERELİ, Ali ERTÜRK, Mehmet ÇAKMAKÇI 214-230

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

RESEARCH ARTICLE/ARAŞTIRMA MAKALESİ

ISSN: 2149-9659

E-ISSN: 2528-9462

ACCUMULATION OF CADMIUM AND LEAD IN COMMERCIALLY IMPORTANT FISH SPECIES IN THE GULF OF GEMLİK, MARMARA SEA, TURKEY

Figen Esin KAYHAN¹ ORCID ID: [0000-0001-7754-1356](https://orcid.org/0000-0001-7754-1356), Nilüfer BÜYÜKURGANCI¹ ORCID ID: [0000-0002-6699-9537](https://orcid.org/0000-0002-6699-9537),
Güllü KAYMAK² ORCID ID: [0000-0001-6309-0208](https://orcid.org/0000-0001-6309-0208)

¹Department of Biology, Marmara University Faculty of Arts and Sciences, İstanbul-Turkey

²Department of Biology, Sakarya University Faculty of Arts and Sciences, Sakarya-Turkey

ARTICLE INFO

Received: 05.05.2017

Accepted: 29.06.2017

Published online: 30.09.2017

Kayhan et al. 32(4): 178-183 (2017)

doi: [10.18864/TJAS201716](https://doi.org/10.18864/TJAS201716)

Corresponding author: Figen Esin KAYHAN, Department of Biology, Marmara University School of Arts and Sciences, Göztepe, 34722, İstanbul, Turkey

E-mail: figenesink@gmail.com

Keywords:

Aquatic pollution,
Heavy metals,
Fish muscle,
Gemlik Bay

Abstract

The aim of this study was to investigate the concentrations of cadmium (Cd) and lead (Pb) in gill and muscle tissues of ten commercial fish caught from the Gulf of Gemlik, Marmara Sea, Turkey. Ten commercially important marine fish species were obtained monthly from the local fishermen. The Cd and Pb levels in muscle and gill tissues of the fish samples were evaluated using atomic absorption spectrophotometer (Shimadzu 6701, Shimadzu, Tokyo, Japan). In July 2011, the highest concentrations of Cd were found in the gill tissue of *Sardinella maderensis*, *Solea vulgaris* and *Belone belone* (3.62, 3.46 and 3.05 µg g⁻¹, respectively). In March 2011, the highest concentrations of lead were observed in the gill tissues of *S. vulgaris* and *B. Belone* (9.48 and 6.74 µg g⁻¹, respectively), and the muscle tissue of *S. maderensis* (7.07 µg g⁻¹). Generally, the levels of Cd and Pb were found very high for the than the tolerance limits of Turkish Food Codex, European Union (EU) and the World Health Organization (WHO) standards.

INTRODUCTION

Fish are an important protein sources for human health because of having rich contents of essential minerals, vitamins and unsaturated fatty acids (Zaza et al. 2015). The concentrations of heavy metals in seawater, sediments and aquatic organisms such as fish, have been investigated all around the world. Heavy metals are present in the aquatic environment as results of industrial, agricultural and mining activities, etc. The heavy metals can accumulate in the living organisms and thus in the food chain. But the presence of heavy metals in seawater and aquatic products not only threatens aquatic organisms but also may affect human health via the food chain (Scudiero et al. 2014; Gu et al. 2015). The bioaccumulation of heavy metals occur in the various tissues in fish, therefore, may become toxic for public health. Cd and Pb are biologically non-essential metals for living organisms. On the contrary, these metals can damage gills and have negative effects on respiratory and osmoregulation functions of fish. Furthermore, their toxicity rises with increasing concentrations (Bat et al. 2012).

Gulfs of seas are considerable ecosystems of great ecological importance to aquatic habitats because of its biodiversity. Many migratory or nonmigratory aquatic species use gulfs as habitats during any part of their life cycles such as spawning, breeding, and feeding. But these ecologically and economically important aquatic habitats have been contaminated by various pollutants such as

heavy metals. The Gulf of Gemlik is located in the Southeastern part of the Marmara Sea. Four big Seaport and harbour areas are situated in the Gulf of Gemlik such as Gemport Harbour, Gemlik Harbour, Borusan Harbour and TUGSAS Harbour (Dogan and Burak, 2007; Guven et al. 2010). In addition to, there are agricultural and various industrial activities in Gemlik Gulf. The purpose of this work is a determination of cadmium and lead levels in muscle and gill tissues of ten commercially important fish species from the Gulf of Gemlik (Marmara Sea, Turkey).

MATERIAL AND METHOD

Study Area

The Marmara Sea and Gulf of Gemlik are semi-enclosed water. The Gulf of Gemlik is an inlet of the Marmara Sea in the Marmara Region, Turkey. The Gulf is located in the Southwestern side of the Marmara Sea (Figure 1). Four big Seaport and harbour area are situated in the Gulf of Gemlik such as Gemport Harbour, Gemlik Harbour, Borusan Harbour and TUGSAS Harbour. In addition to, there are various agricultural and industrial activities in Gemlik region.

Samples Collection and Experimental Design

Selected ten fish species are: *Mullus barbatus barbatus* (Red mullet), *Solea vulgaris* (Common sole), *Atherina boyeri* (Big-scale sand smelt), *Engraulis encrasicolus* (European anchovy), *Trachurus mediterraneus* (Atlantic horse mackerel),

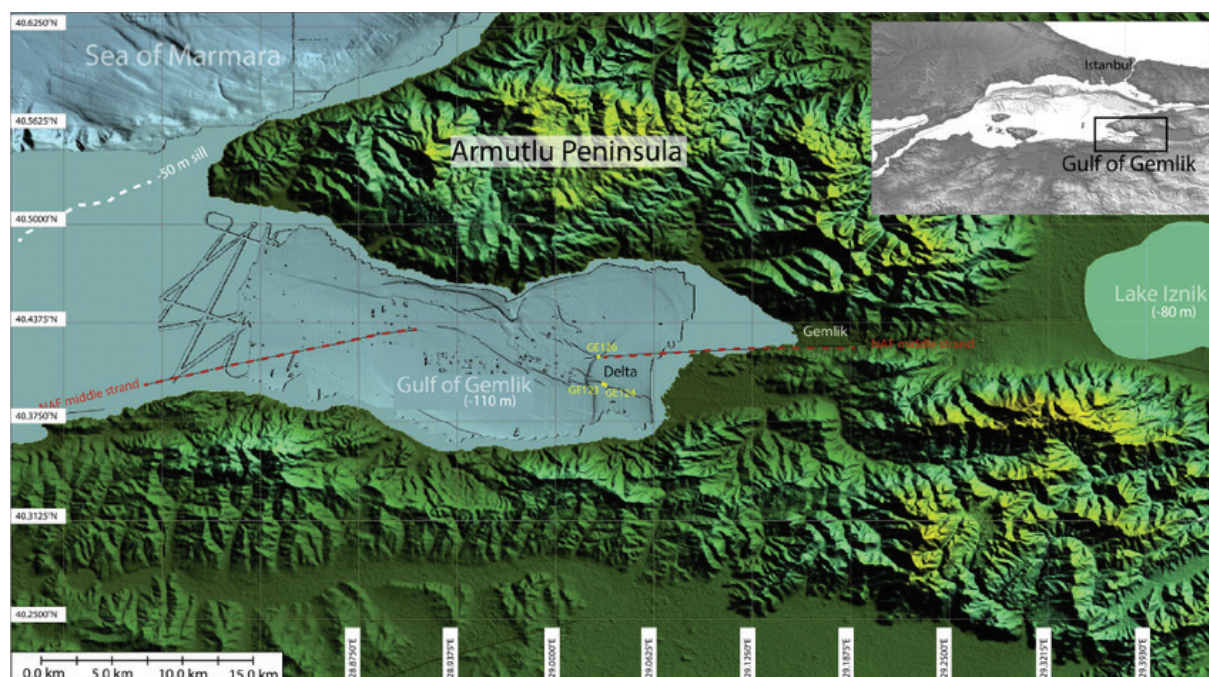


Figure 1. The study area of the Gulf of Gemlik, Marmara Sea, Turkey.

Spicara maena maena (Blotched picarel), *Trigla lucerna* (Tub gurnard), *Merlangius merlangius euxinus* (Black Sea whiting), *Sardinella maderensis* (Madeiran sardinella) and *Belone belone* (Garfish) (Fishbase, 2016). All fish collected randomly in March 2011 and March 2012 from Gulf of Gemlik of Marmara Sea. Fish samples were rinsed in clean water and labeled, packed in polyethylene bags and stored in freezers until heavy metal analysis. After collection, muscle and gill tissues of fish species dissected according to UNEP (UNEP 1991). The tissues homogenized in a blender. Approximately 6-8 g of homogenate digested with 5:3 HNO₃:H₂SO₄ in microwave digestion system. Then diluted to the last volume with 1N HNO₃. All analyses were studied using an atomic absorption spectrophotometer (AAS) (Shimadzu 6701; Shimadzu, Tokyo, Japan). In this study the detec-

tion limits for Cd and Pb were; Cd: 0.10 and Pb 0.10 mg l⁻¹ respectively according to Turkish Food Codex (Anonymous, 2006) and WHO (WHO, 1995). The reference materials for the accuracy and precision of tests (IAEA-MEL, IAEA436 and IAEA433) was given in Table 1. The analytical precision of the tests was better than 10% at 95% significance levels from five replicates.

Statistical Analysis

The Statistical Package for the Social Sciences 23.0 (IBM Corp.; Armonk, NY, USA) package program was used for statistic analysis, study data were given as arithmetic means and standard deviations. A value of p<0.05 was considered statistically significant.

RESULTS AND DISCUSSION

The mean levels of Cd and Pb in muscle and gill tissues of the selected commercial ten fish species are given in Table 2 for each heavy metal, respectively. In this study, Cd levels generally were determined as higher than the acceptable legal limits (Table 2) set by the Turkish Food Codex (0.1 µg g⁻¹) (Anonymous, 2006). Pb concentrations were found higher than the acceptable legal levels (Table 2) according to the TFC for Aquatic Products (1.0 µg g⁻¹) (Anonymous, 2006). Also, EU has set acceptable limits for cadmium and lead concentrations in the muscle tissue of fish intended for human consumption as 0.1 Cd and 1.0Pb µg g⁻¹ ww, respectively (Anonymous, 2008). Fish can absorb Cd and Pb mainly through gills, digestive

Table 1. Accuracy of AAS analyses used in this study as determined by analysis of reference materials (the RSD of measured values were ≤7%). (a,b*IAEA-MEL Reference samples for laboratory. AAS: atomic absorption spectrophotometry; Pb: lead; Cd: cadmium; IAEA-MEL: International Atomic Energy Agency-Monaco Environment Laboratoires).

Reference material	Element	Measured value (this study) (µg/g ⁻¹)	Certified value or range (µg/g ⁻¹)
*IAEA 433a	Pb	76.9	72.6-77
*IAEA 436b	Cd	0.153	0.145-0.161

Table 2. The mean values of Cd and Pb concentrations in the muscle and gill tissue of ten species from the Gulf of Gemlik. (Cd: Cadmium; Pb: lead; n: samples number; SD: standard deviation).

Species	n	Cd (Mean values±SD) µg g ⁻¹		Pb (Mean values±SD) µg g ⁻¹	
		Muscle	Gill	Muscle	Gill
<i>Mullus barbatus</i>	35	1.01±1.16	1.00±1.16	1.05±1.10	2.60±1.10
<i>Solea vulgaris</i>	28	1.01±1.01	3.50 ±1.10	1.15±1.16	9.48±1.16
<i>Atherina boyeri</i>	29	1.12±1.10	2.70±1.02	1.32±1.02	3.10±1.10
<i>Engraulis encrasicolus</i>	90	1.10±1.02	1.65±1.16	1.45±1.10	2.55±1.16
<i>Trachurus mediterraneus</i>	50	1.00±1.02	1.80±1.10	3.12±1.16	1.10±1.02
<i>Spicara maena</i>	33	1.10±1.02	1.50±1.10	1.40±1.02	3.50±1.05
<i>Tropheops lucerna</i>	25	1.00±1.15	1.35±1.02	2.11±1.10	7.47±1.16
<i>Merlangius euxinus</i>	37	1.00±1.15	1.00±1.16	2.80±1.16	1.30±1.16
<i>Sardinella maderensis</i>	25	1.15±1.02	3.70±1.16	7.80±1.16	2.41±1.10
<i>Belone belone</i>	31	1.00±1.01	3.00±1.10	2.50±1.10	6.80±1.16

Aquatic products directory

Cd: 0.1 µg g⁻¹

Pb: 1.0 µg g⁻¹

systems and skin thus Cd and Pb accumulate in the tissues and organs of fish. Among the metals that generate concern for their environmental exposure, via food, are found Pb, Cd and Hg. Pb which is persistent heavy metal has been characterized as a priority hazardous substance (IARC 1993). The most toxic form in water is evaluated to be the free Pb^{2+} ions (Monteiro et al. 2011). Although Pb is a naturally occurring substance, its environmental concentrations can significantly increase by anthropogenic activities such as mining, battery manufacturing etc. in the aquatic environments. Aquatic organisms can accumulate lead from seawater and also from their diet (Creti et al. 2010).

Aquatic pollution studies attract the attention of many investigators (Balkis et al. 2013; Chahid et al. 2014; Makedonski et al. 2015; Araujo and Cedeno-Macias 2016). Determination of trace metal accumulation in various fish species from seas, lakes, rivers, and reservoirs have largely been conducted in food safety studies. It is well known that heavy metals such as Cd and Pb, are potentially accumulated in marine organisms and sediments where they subsequently transferred to man through the food chain (Unlu et al 2008; Aksu et al. 2011; Jayaprakash et al. 2015). We found the levels of cadmium and lead in fish species were generally higher than Turkish legal standards (Anonymous, 2008). Chahid et al. (2014) determined the mean levels of Cd and Pb found in fish from Atlantic Sea (Morocco) as 0.009-0.036 $\mu\text{g g}^{-1}$ for Cd and 0.013-0.014 $\mu\text{g g}^{-1}$ for lead. Authors suggest that these values were below acceptable levels for human consumption and thus cause no health problems for consumers. For the fish samples from the Black Sea, Bat et al. (2012) had been detected Pb and Cd levels lower than the recommended legal limits for human consumption according to the Turkish Food Codex (Anonymous, 2008). We found the levels of cadmium and lead in fish tissues higher than Chahid's and Bat's studies. Atobatele et al. (2015), reported the concentrations of Cd and Pb levels in kidney, liver, gill, intestine, and muscle of fish species from Aiba Reservoir, Nigeria. Authors found that the levels of heavy metals; 0.001 to 0.100 $\mu\text{g g}^{-1}$ Cd and 0.001-0.125 $\mu\text{g g}^{-1}$ Pb for dry weight respectively (Atobatele et al. 2015). Our results didn't support these findings. We found high Cd and Pb levels in gills and muscle tissues of fish in our study. In a study by Frantzen et al. (2015) accumulation of heavy metal such as Cd and Pb

have been investigated in the muscle tissue of the *Clupea harengus* caught from the Norwegian Sea. It was reported that Cd and Pb levels in muscle tissue of fish were $0.010\pm 0.006 \mu\text{g g}^{-1}$ Cd and $<0.01\pm 0.10 \mu\text{g g}^{-1}$ respectively. At the same time, Cd and Pb concentration have been increased with increasing fish age in their study. Cd and Pb have evaluated threats to human health due to their highly toxic effects when absorbed by aquatic organisms. The risk of metal toxicity is detected by the levels of the heavy metals in edible tissues and amount of fish consumed (Ordiano-Flores et al. 2011). Araujo and Cedeno-Macias (2016) investigated Cd and Pb levels in liver and muscle tissue of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) caught from other areas of the Ecuadorian coasts. In the analysis of the samples for Cd, the average values they were found higher than the permitted limit but lead levels were found in acceptable limits in the muscle tissue of yellowfintuna. Olmedo et al. (2013) investigated the levels of cadmium and lead in the fish and shellfish samples from Andalusia (Southern Spain). They found in their study the levels of cadmium and lead levels were generally higher than the acceptable concentrations. Their conclusion conflict with our results. Tuzen (2009) reported higher Cd concentrations in fresh anchovy and scad (0.27 and 0.32 $\mu\text{g g}^{-1}$ ww, respectively) caught from the Black Sea, Turkey. We compared this study with the other studies and we found harmful effects for the gulf.

CONCLUSIONS

The levels of Cd and Pb in our commercial fish samples from four locations of the Gulf of Gemlik were determined by AAS for analysing cadmium and lead pollution. Cadmium and lead levels were found higher than the acceptable levels set by the Turkish Food Codex, EU and WHO for aquatic products in various aquatic species. Also, our results showed higher levels of Cd and Pb when compared with the present studies. From the human health point of view, the concentrations of cadmium and lead found in this work were usually higher than the permitted concentrations and those of previous studies.

ACKNOWLEDGEMENT

This project has been supported by Marmara University, Scientific Research Commission (BAPKO) with FEN-C-YLP-031110-0257 project number.

REFERENCES

- Aksu, A., Balkıs, N., Taskin, O.S., Ersan, M.S., (2011). Toxic metal (Pb, Cd, As And Hg) and organochlorine residue levels in *Merluccius merluccius* from the Marmara Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 182, 385-395.
- Anonymous, (2006). Official Journal of the European Union. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. Commission Regulation (EC) No. 1881/2006: 364: 5-24.
- Anonymous, (2008). Official Gazette of Republic of Turkey. Notifications about maximum levels for certain contaminants in foodstuffs (In Turkish). Turkish Food Codex No. 2008/26, Issue: 26879.
- Araujo, C.V.M., & Cedeno-Macias, L.A., (2016). Heavy metals in yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and common dolphin fish (*Coryphaena hippurus*) landed on the Ecuadorian coast. *Science of the Total Environment*, 54, 149-154.
- Atobatele, O.E., & Olutona, G.O., (2015). Distribution of three non-essential trace metals (Cd, Hg and Pb) in the organs of fish from Aiba Reservoir, Iwo, Nigeria. *Toxicology Reports*, 2, 896-903.
- Balkıs, N., Aksu, A., Hicsonmez, H., (2013). Pollution monitoring using *Mytilus galloprovincialis* and Fishes: A case study on the Southern Black Sea Shelf. *Asian Journal of Chemistry*, 25, 450-454.
- Bat, L., Sezgin, M., Ustun, F., Sahin, F., (2012). Heavy metal concentrations in ten species of fishes caught in Sinop coastal waters of the Black Sea, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 12, 371-376.
- Chahid, A., Hilali, M., Benlhachimi, A., Bouzid, T., (2014). Contents of cadmium, mercury and lead in fish from the Atlantic Sea (Morocco) determined by atomic absorption spectrometry. *Food Chemistry*, 147, 357-360.
- Creti, P., Trinchella, F., Scudiero, R., (2010). Heavy metal bioaccumulation and metallothionein content in tissues of the sea bream *Sparus aurata* from three different fish farming systems. *Environmental Monitoring*, 165, 321-329.
- Dogan, E. & S. Burak., (2007). Ship-originated pollution in the Istanbul Strait (Bosphorus) and Marmara Sea. *Journal of Coastal Research*, 23, 388-394.
- Fishbase, (2016). <http://www.fishbase.org/search.php>.
- Frantzen, S., Maage, A., Duinker, A., Julshamn K., Iversen SA., (2015). A baseline study of metals in herring (*Clupea harengus*) from the Norwegian Sea, with focus on mercury, cadmium, arsenic and lead. *Chemosphere*, 127, 164-170.
- Gu, Y.G., Lin, Q., Wang, X.H., Du, F.Y., Yu, Z.L., Huang, H.H., (2015). Heavy metal concentrations in wild fishes captured from the South China Sea and associated health risks. *Marine Pollution Bulletin*, 96, 508-512.
- Guyen, K.C., Nesimigil, F., Cumalı, S., Yalçın, A., Coban, B., (2010). Oil pollution level in seawater and sediments of Turkish Straights (Bosphorus, Marmara Sea, Dardanelles) and Golden Horn during 2004-2007. *J.Black Sea/Mediterranean Environment*, 16, 253-283.
- IARC, (1993). International Agency for Research on Cancer: Cadmium and certain cadmium compounds. In: IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man. Beryllium, Cadmium, Mercury and Exposures in the Glass Manufacturing Industry. IARC Monographs, Vol. 58. Lyon, France: World Health Organization 119-146, 210-236.
- Jayaprakash, M., Kumar, R.S., Giridharan, L., Sujitha, S.B., Sarkar, S.K., (2015). Bioaccumulation of metals in fish species from water and sediments in macrotidal Ennore creek Chennai, SE coast of India: A metropolitan city effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 120, 149-154.
- Makedonski, L., Peycheva, K., Stancheva, M., (2015). Determination of some heavy metal of selected Black Sea fish species. *Food Control*, 20, 1-6.
- Monteiro, V., Cavalcante, D.G.S.M., Viléla, M.B.F.A., Sofia, S.H., Martinez, C.B.R., (2011). In vivo and invitro exposures for the evaluation of the genotoxic effects of lead on the Neotropical freshwater fish *Prochilodus lineatus*. *Aquatic Toxicology*, 104, 291-298.
- Olmedo, P., Pla, A., Hernandez, A.F., Barbier, F., Ayouni, L., Gil, F., (2013). Determination of

- toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers. *Environment International*, 59, 63-72.
- Ordiano-Flores, A., Galvan-Magana, F., Rosiles-Martinez, R., (2011). Bioaccumulation of mercury in muscle tissue of yellowfin tuna, *Thunnus albacares* of the eastern Pacific Ocean. *Biological Trace Elements Research*, 144, 606-620.
- Scudiero, R., Creti, P., Trinchella, F., Esposito, M.G., (2014). Evaluation of cadmium, lead and metallothionein contents in the tissues of mussels (*Mytilus galloprovincialis*) from the Campania coast (Italy): Levels and seasonal trends. *Comptes Rendus Biologies*, 337, 451-458.
- Tuzen, M., (2009). Toxic and essential trace elemental contents in fish species from the Black Sea, Turkey. *Food Chemical Toxicology*, 47, 1785-1790.
- UNEP (United Nations Environment Programme), (1991). Determination of total Cd, Zn, Pb and Cu in selected marine organisms by flameless AAS. Reference Methods for Marine Pollution Studies. No.11. Rev.1.
- Unlu, S., Topcuoglu, S., Alpar, B., Kirbasoglu, C., Yilmaz, Y.Z., (2008). Heavy metal pollution in surface sediments and mussel samples in the Gulf of Gemlik. *Environmental Monitoring Assessment*, 144, 169-178.
- WHO (World Health Organization), (1995). Inorganic Lead, Environmental Health Criteria 165. International Labour Organization and the World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Zaza, S, de Balogh, K., Palmery, M., Pastorelli, A., Stacchini, P., (2015). Human exposure in Italy to lead, cadmium and mercury through fish and seafood product consumption from Eastern Central Atlantic Fishing Area. *Journal of Food Composition and Analysis*, 40, 148-153.

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

SHORT COMMUNICATION/İLETİŞİM YAZIŞMALARI ISSN: 2149-9659

E-ISSN: 2528-9462

LEVELS OF HEAVY METALS IN PSEUDOTOLITHUS ELONGATUS FROM BADAGRY MARKET, NIGERIA

Gabriel Olarinde MEKULEYI¹Orcid ID: 0000-0002-1030-2518 , Olufemi Olabode JOSEPH²Orcid ID: 0000-0003-0260-3182

¹Department of Fisheries, Lagos State University, Ojo, Lagos, Nigeria

²Department of Agric Education, Adeniran Ogunsanya College, Ijanikin, Lagos, Nigeria

ARTICLE INFO

Received: 14.08.2017

Accepted: 04.10.2017

Published online: 27.10.2017

Mekuleyi and Joseph 32(4): 184-188 (2017)

doi: 10.18864/TJAS201717

Corresponding author: Gabriel Olarinde MEKULEYI, Department of Fisheries, Lagos State University, Ojo, Lagos City, Nigeria

E-mail: tosingabriel76@yahoo.com

Keywords:

Heavy metals,
Fresh fish,
Market,
Nigeria,
Safety

Abstract

Fish plays a significant role in food and nutrition security across the world, especially in Nigeria, where the people consume fish as a major supplement to carbohydrate-based diets. Although the fish *Pseudotolithus elongatus* is present in Badagry coastal waters, it is one of the popular imported fish into Nigeria and has a high price in Badagry market because of its characterized good flavor and palatability. However, there are no recent reports on the safety of consuming this fish. In this study, 182 specimens of fresh *P. elongatus* purchased from Badagry market during October 2016 to April 2017 were examined for heavy metal composition (iron, copper, zinc, chromium, and lead) to assess their safety levels for human consumption. Samples were digested using the FAO and APHA procedures, while heavy metal concentrations were determined using an atomic absorption spectrophotometer. Statistical analysis was carried out using ANOVA. The average concentrations of iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr), and lead (Pb) detected in the entire content of *P. elongatus* were 14.55±1.17, 0.20±0.02, 3.92±0.61, 0.06±0.02, and 0.35±0.02 mgkg⁻¹, respectively. These concentrations were below the maximum limits recommended in fish and fishery products by the WHO and the FAO. Thus, this study confirms the safety of consumption of this fish from Badagry market. Nevertheless, sellers and processors must embrace hygienic practices to avoid contamination of the fish.

INTRODUCTION

Fish is a fundamental cheapest source of protein and other essential minerals such as omega -3 fatty acids which prevent cardio-related problems (Brawn, 2011). Globally, the concern about the quality of fish has increased. In Nigeria, several studies on heavy metals in fish have been carried out. Also, it has been reported that exposure to heavy metal could result into cancers, retardation in infant development and growth, kidney damage and even death (Ndimele and Kumolu-Johnson, 2012). However, metals such as chromium, zinc and nickel are beneficial in human diet but their concentration needed to be monitored (Abduljaleel and Shuhaimi-Othman, 2011). Although, the maximum permitted levels of metals in fish have been introduced in many parts of the world including Nigeria, however, the necessity to intensify studies on monitoring of heavy metal levels in fish cannot be overemphasized. In Nigeria, over 50% of the population obtained their fish in the market from fish mongers or fish retailer. Many at times, some of these fish are further contaminated by retailer through poor handling and processing. Sequel to the above, the present study aimed to assess heavy metals concentration (iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr) and lead (Pb)) in fresh *P. elongatus* from Badagry Market in Nigeria, with a view to ascertain its safety for human consumption.

MATERIAL AND METHOD

Study Area

The study site (Agbalata market) in Badagry, Lagos State, Nigeria is an international market being patronized by Nigerian and Republic of Benin. Badagry is one of the maritime towns of Lagos State, located 57km from Lagos on Longitude $2^{\circ}42'$ and $3^{\circ}23'$ E, and Latitude $6^{\circ}23'$ and $6^{\circ}28'$ N. It is bounded in the west by Seme-Border, and wholly bounded by the Atlantic Ocean in the south (Lawson et al., 2005).

Collection of Samples

Ten (10) samples of *Pseudotolithus elongatus* (popularly called Brown Croaker in Nigeria) were collected three times monthly from the fish retailers in Badagry market between October, 2016 and April, 2017. The samples were transported in polyethylene bags, previously cleaned and treated with 5% nitric acid and rinsed with distilled water (APHA, 2005). For each month, a total of 30 specimens of *P. elongatus* were sampled except

in April, 2017 when 32 specimens were sampled. The ranges of the fish weight and length measured by using weighing balance (Havard trip balance, USA, of capacity 10 kg) and measuring board respectively are 70.90 ± 4.52 g- 91.85 ± 4.80 g and 37.50 ± 0.74 cm- 40.40 ± 0.65 cm. After length and weight measurement, the fish were washed with tap water and stored in a freezer at -10°C for 96 hours.

Sample Treatment

All frozen samples were allowed to thaw at room temperature (approx. 28°C attained in 5-6 hours). 10 fish samples (in triplicate) were dried monthly, in a laboratory oven at $105\pm 20^{\circ}\text{C}$ for 24 hours to obtain a constant dry weight for each set. Then, dried samples were grounded to powder, using laboratory ceramic mortar and pestle (50mL capacity, Laura Ashley model, UK), and sieved with 2mm mesh sieve to remove coarse material. The powdered fish samples were digested (in triplicate) according to the methods described by American Public Health Association (APHA, 2005) and FAO/WHO (2011). One gram of the fish sample was digested in a mixture containing 70% perchloric acid (Perchloric acid, 69-72% Baker Analyzed[®] A.C.S. Reagent, USA), concentrated nitric acid (2.5 L Nitric acid, 70-71% Baker Instra-Analysed[®] Reagent, USA) and concentrated sulphuric acid (Sulphuric acid 95-97% for Analysis, EMSURE[®] ISO, Germany) in the ratio 1:5:1. The digestion was done at temperature of $80\pm 5^{\circ}\text{C}$ in a fume chamber (Lab-conco Fiberglass 30 fume, India) for 2 hours. The digestion continued until a colourless liquid was obtained. Atomic absorption spectrophotometer (Buck scientific 210 VGP model, USA) was used to analyse metal concentration in the digested fish samples. The analytical procedure was checked using reference material (DORM 1, Institute of Environmental Chemistry, NRC Canada). The levels of metal were expressed in mg kg^{-1} dry weight.

Statistical Analysis

Data were expressed as mean \pm standard deviation while the monthly variation of the metals in the samples was tested by one-way Analysis of Variance (ANOVA) (Statistical Package for the Social Sciences, windows version 17.0, Chicago, USA). Fisher's least significant difference was used to separate the means. The level of significance was set at $p=0.05$.

RESULTS AND DISCUSSION

The monthly concentrations of heavy metals-iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn), chromium (Cr) and

lead (Pb) detected in *Pseudotolithus elongatus* during this study was presented in Table 1, while the permissible limits of heavy metals in fish as recommended by world health organization (WHO) were shown in Table 2.

The highest and lowest concentrations of heavy metals recorded in the sample throughout the months were Fe and Cr respectively. However, there were no significant ($p>0.05$) differences in the monthly mean values of the metals except in Fe ($p<0.05$). There were significant differences ($p<0.05$) in Fe concentrations recorded between the months of November (16.80 ± 1.34) and December (15.80 ± 1.02), December (15.80 ± 1.02) and January (14.90 ± 1.08), and January (14.90 ± 1.08) and February (12.84 ± 0.98) respectively. Also, significant differences ($p<0.05$) existed between November (16.80 ± 1.34) and March (12.62 ± 1.20). In general terms, all the values of Fe (October-January) are significantly higher than values of Fe obtained in February, March and April respectively. This monthly variation in Fe affirmed the report of Ndimele and Kumolu-Johnson (2012) that fish can rapidly bio-accumulate iron in aquatic environment. The concentration of Fe ($12.40\pm 1.08\text{mgkg}^{-1}$ - $16.80\pm 1.34\text{mgkg}^{-1}$) recorded in this study were lower when compared with those detected in *Cynnothrissa mento* (Kumolu-Johnson et al., 2010), and *Gadus morhua* (Eze and Ogbuehi, 2015). This present findings could implies that the specimen accumulate little Fe in their body. Iron is an essential

component of haemoglobin which is responsible for oxygen transportation in the body. Severe iron deficiency in human causes anaemia (Mekuleyi et al., 2015). The Fe concentration obtained in this study was below 20.0mgkg^{-1} recommended maximum permissible limit in fish (WHO, 1985; FAO/WHO, 2011), but it was higher than those reported in *Clarias gariepinus* (Ugwu et al., 2012) and *Johnius belangeni* (Igwemmar et al., 2013). The Cu contents ($0.12\pm 0.04\text{mgkg}^{-1}$ - $0.28\pm 0.02\text{mgkg}^{-1}$) recorded in this study were lower than the values reported in previous studies such as Edet et al., (2014) in *Chrysichthys nigrodigitatus*, Oguzie (2009) in *Parachanna obscura* and Obasohan et al., (2006) in *C. nigrodigitatus*. The Cu content in the present study was lower than 0.40mgkg^{-1} maximum permissible limit of Cu in fish (WHO, 1985, FAO/WHO 2011). However, it was higher than Cu concentration reported in fish by Ugwu et al., (2012) and Igwemmar et al., (2013). The high Cu in this study could have resulted from discharge of untreated wastes into the water bodies from which the specimen are caught, and poor handling, transportation material and storage facilities.

The mean values of Zn ($2.98\pm 0.32\text{mgkg}^{-1}$ – $4.80\pm 0.65\text{mgkg}^{-1}$) recorded in this study was below the 5.0mgkg^{-1} WHO recommended maximum limit in fish. However, the values of Zn concentration in the present study is higher than Zn content reported by Ugwu et al., (2012) and Ndimele and Kumolu Johnson (2012). Zinc contamination

Table 1. Monthly levels of heavy metals (mg/kg) in *Pseudotolithus elongatus* from Badagry market in Nigeria (October 2016-April 2017). (Fe: iron; Cu: copper; Zn: zinc; Cr: chromium; Pb: lead).

Months	Fe	Cu	Zn	Cr	Pb
October	16.50 ± 1.50^a	0.12 ± 0.04^a	4.08 ± 0.75^a	0.05 ± 0.02^b	0.40 ± 0.05^{ab}
November	16.80 ± 1.34^a	0.19 ± 0.02^a	4.22 ± 0.57^a	0.07 ± 0.01^b	0.42 ± 0.04^{ab}
December	15.80 ± 1.02^b	0.28 ± 0.02^a	4.80 ± 0.65^a	0.06 ± 0.02^b	0.45 ± 0.02^{ab}
January	14.90 ± 1.08^c	0.26 ± 0.05^a	4.02 ± 0.68^a	0.09 ± 0.03^b	0.36 ± 0.05^{ab}
February	12.84 ± 0.98^d	0.25 ± 0.01^a	3.86 ± 0.82^a	0.06 ± 0.02^b	0.34 ± 0.02^{ab}
March	12.62 ± 1.20^{ab}	0.20 ± 0.01^a	3.45 ± 0.45^a	0.05 ± 0.01^b	0.25 ± 0.01^{ab}
April	12.40 ± 1.08^{ab}	0.16 ± 0.01^a	2.98 ± 0.32^a	0.04 ± 0.02^b	0.20 ± 0.01^{ab}

Results are expressed as mean±standard deviation (n=182).

Mean values bearing different superscripts within the column are significantly different ($p<0.05$).

Table 2. FAO/WHO (2011) Recommended Permissible limits of heavy metals in Fish (mg/kg). (Fe: iron; Cu: copper; Zn: zinc; Cr: chromium; Pb: lead).

WHO limits	Fe	Cu	Zn	Cr	Pb
Minimum	3.0	0.004	0.5	0.05	0.01
Maximum	20.0	0.40	5.0	0.10	0.48

has effect on the hepatic distribution of other trace metals in fish. The mean range of Cr (0.04 ± 0.02 mgkg⁻¹- 0.09 ± 0.03 mgkg⁻¹) in the present study was within the WHO and FAO recommended limit of 0.1 mgkg⁻¹. It was also lower than those reported by Ugwu et al. (2012), Oguzie (2009) and Ndimele and Kumolu-Johnson (2012). The low level of Cr in the sample could suggest that the samples might have been caught farther from industrial areas.

Pb (0.20 ± 0.01 mgkg⁻¹- 0.45 ± 0.02 mgkg⁻¹) concentration in this study did not exceed 0.48 mgkg⁻¹ recommended permissible limits (FAO/WHO, 2011). The low level content of lead in this study implies that the fish has no harmful lead effect. However, the Pb level in this study was higher than those reported by Jenyo-Oni and Oladele (2016) in *Oreochromis niloticus*. On the contrary, Pb content in the present study was lower than those recorded in *Scomber scombrus* by Abubakar et al., (2014) and Kareem et al., (2016). The presence of heavy metals in the fish samples is an indication that the fish is exposed to pollution whose sources could be either point or non-point sources.

CONCLUSION

It is evident from the study that fresh *P. elongatus* from Badagry market contained all the heavy metals (Fe, Cu, Zn, Cr and Pb) examined in this study, although their concentrations are still within the permissible limits. Therefore, it could be concluded that consumption of the fish samples from Badagry market is safe at present. However, sellers and processors should embrace hygienic practices to avert further contamination of the fish.

REFERENCES

Abduljaleel, S.A. & Shuhaimi-Othman, M. (2011). Metals concentrations in eggs of domestic avian and estimation of health risk from eggs consumption. *Journal of Biological Science*, 11, 448-453.

Abubakar, A., Uzairu, A., Ekwumemgbo, P.A., Okunola, O.J. (2014). Evaluation of heavy metals concentration in imported frozen fish (*Trachurus murphyi*) sold in Zaria market, Nigeria. *American Journal of Chemistry*, 4(5), 137-154.

APHA, (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition American Public Health Association. Washington DC, 1368 p.

Brawn, V.M. (2011). Reproductive Behaviour of the Cod (*Gadus morhua*). *Behaviour*, 18, 177-197.

Edet, O.A., Udoudo, M.E., Ekam, I.A., Ngozi, O.A. (2014). Levels of heavy metals in fish obtained from two fishing sites in Akwa Ibom State, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 8(7), 416-421.

Eze, S.O. & Ogbuehi, G.I. (2015). Assessment of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbon concentration in some stock fish species sold in five major markets of Aba south, Abia state, Nigeria. *European Journal of Pure and Applied Chemistry*, 2(1), 1-7.

FAO/WHO, (2011). Joint FAO/WHO food standards programme codex committee on contaminants in foods. 5th Session, The Hague Netherlands, 21-25 March, 2011, ftp://ftp.fao.org/codex/meetings/CCCF/cccf5/cf05_INF.pdf.

Igwemmar, N.C., Kolawole, S.A., Odunoku, S.O. (2013). Heavy metal concentration in fish species sold in Gwagwalada market, Abuja, Nigeria. *International Journal of Science and Research*, 2(11), 7-9.

Jenyo-Oni A. & Oladele, A.H. (2016). Heavy metals assessment in water, sediments and selected aquatic organisms in Lake Asejire, Nigeria. *European Science Journal*, 12(24), 339-351.

Kareem, O.K., Orisasona, O., Olanrewaju, N. (2016). Determination of heavy metal levels in some commonly consumed frozen fish in Ibadan, southwest, Nigeria. *Research Journal of Environmental Toxicology*, 10 (1): 82-87.

Kumolu-Johnson, C.A., Ndimele, P.E., Akintola, S.L., Jibuike, C.C. (2010). Copper, zinc and iron concentrations in water, sediment and *Cynothrissamento* (Regan 1917) from Ologe Lagoon, Lagos, Nigeria: A preliminary survey. *African Journal of Aquatic Science*, 35: 87-94.

Lawson, E.O., Kumolu-Johnson, C.A., Hamed, A.M, Jimoh, A.A., Kodaolu, F.B. (2005). A survey of fish fauna and fisheries of Badagry creek, Lagos, Nigeria. *Journal of Agriculture & Environmental Research Studies*, 1(1), 87-99.

Mekuleyi, G.O., Ayorinde, O.A., Lawson, E.O., Ndimele, P.E., Fakoya, K.A. (2015). Impacts

- of endocrine disruptors on economically viable Crustaceans in Nigeria: Overview and recommendations. *Proceedings of 30th FISON Annual Conference Held Between 22-27, 2015 at Asaba, Delta State, Nigeria.* p208-211.
- Ndimele, P.E. & Kumolu-Johnson, C.A. (2012). Some Aspects of the Physicochemistry and Heavy Metal Content of Water, Sediment and Cynothrissamento (Regan, 1917) from Badagry Creek, Lagos, Nigeria. *Trends in Applied Science Research*, 7, 724-736.
- Obasohan, E.E.J., Oronsaye A.O., Obano, E.E. (2006). Heavy metal concentration in *Malapteruruselectricus* and *Chrysichthysnigrodigitatus* from Ogba in Benin City, Nigeria. *African Journal of Biotechnology*, 5, 974-982.
- Oguzie, F.A. (2009). Bioaccumulation of heavy metals in three selected fish species of Ikpo-bariver in Nigeria. *Nigerian Journal of Fisheries*, 6, 77-86.
- Ugwu, A.I., Wakawa, R.J., La'ah, E., Olotu, A. (2012). Spatial distribution of heavy metals in river Usuma sediments and study of factors impacting the concentration. *IJRRAS*, 12(2), 294-303.
- World Health Organization (WHO), (1985). Recommended limit for metals in fin fish. Environmental health, Criteria 70. Principles for safety and assignment of food additive and contamination in food. Technical report series 505, Geneva, p309.

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

RESEARCH ARTICLE/ARAŞTIRMA MAKALESİ

ISSN: 2149-9659

E-ISSN: 2528-9462

DOĞU KARADENİZ'DE İŞLETMEYE AÇILAN BAZI NEHİR TİPİ HİDROELEKTRİK SANTRALLERİNİN SUCUL EKOSİSTEM VE KARADENİZ ALABALIĞI (*SALMO LABRAX*) POPULASYONLARI ÜZERİNE ETKİLERİ

Mustafa ZENGİN¹ ORCID ID: 0000-0002-0243-1432, Oğuz KURTOĞLU² ORCID ID: 0000-0002-1706-1542,
Hatice ŞENGÜ³ ORCID ID: 0000-0003-3851-4130, Eyüp ÇAKMAK¹ ORCID ID: 0000-0003-3075-9862

¹Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Trabzon, Türkiye

²Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

³Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

ARTICLE INFO

Received: 25.07.2017

Accepted: 05.10.2017

Published online: 27.10.2017

Zengin et al. 32(4): 189-207 (2017)

doi: 10.18864/TJAS201718

Corresponding author: Mustafa ZENGİN,
Su Ürünleri Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü,
Trabzon, Türkiye

E-mail: muze5961@gmail.com

Anahtar Kelimeler:

Doğu Karadeniz akarsuları,
Hidroelektrik santralleri,
Habitat kayıpları,
Telaflı suyu,
Karadeniz alabalığı,
Av çabası

Keywords:

Eastern Black Sea Rivers,
Hydropower plants,
Habitat deficiencies,
Critical water,
Black Sea trout,
Catch effort

Öz

Bu çalışmada; 2012 ve 2016 yılları arasında, Doğu Karadeniz'de işletmeye açılan HES'leri temsil edecek şekilde altı pilot bölge (Rize-Güneysu, Of-Solaklı, Sürmene-Köprübaşı, Arsin-Yanbolu, Maçka-Değirmendere ve Giresun-Gelevera dereleri) seçilmiştir. Çalışmanın temel verilerini; pilot bölgelerdeki akarsu ve su yapılarına ilişkin geriye dönük, uzun süreli hidrolojik veriler, biyo-ekolojik gözlemler ve dere yatakları üzerinde sürdürülen inceleme çalışmaları oluşturmaktadır. Bu süreçte her bir HES'e ait regülatör ile santral arasındaki dere yatağında, belirlenen referans istasyonlarında, coğrafik bilgi sistemi (CBS) temel alınarak, yaz ve kış periyotlarında habitat gözlemleri yapılmıştır. Aynı zamanda örnekleme yapılan hidroelektrik santralleri ve bu santrallere su sağlayan regülatörlerin işletmeye açıldıktan sonraki süreçte, akarsu sulcul ekosistemine; özellikle bölge akarsuları için baskın balık türü Karadeniz alabalığına (*Salmo labrax*; Pallas, 1814) etkileri bu dereler üzerindeki tüm yaşam döngüsü temel alınacak şekilde değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgulara göre; yetersiz telaflı suyu sonucunda akarsu yatağında habitat kayıplarının yanı sıra, omurgasız ve omurgalı fauna da negatif yönde etkilenmiştir. Su sıcaklığının yaz aylarındaki artışına ve debinin göreceli olarak düşüşüne bağlı olarak kuyruk suyu deşarj noktasından mansaba kadar olan lokalitelerde algal kolonizasyonlar oluşabilmektedir. Bu negatif etmenler akarsu sistemindeki su akış rejimini ve suyun kalitesini bozarak, bölge akarsularında yaşayan alabalık populasyonlarının azalmasına neden olmuştur. Bu çalışmada pilot akarsu olarak seçilen Solaklı Deresi'ndeki *S.labrax* populasyonu; aynı akarsuda yaklaşık 15 yıl önce gerçekleştirilen araştırma bulguları ile karşılaştırılmış ve Karadeniz alabalığına ilişkin birim çabadaki av miktarı (CPUE) 15 adet/saatten 0,5 adet/saate düşmüştür.

Abstract

IMPACT OF RUN-OF-RIVER HYDROPOWER PLANT OPERATION ON AQUATIC ECOSYSTEM AND TROUT (*SALMO LABRAX*) POPULATION IN THE EASTERN BLACK SEA REGION

In this study, six pilot regions (Rize-Güneysu, Of-Solaklı, Sürmene-Köprübaşı, Arsin-Yanbolu, Maçka-Değirmendere, and Giresun-Gelevera rivers) were selected to represent hydroelectric power plants (HPPs) whose operation started between 2012 and 2015. Long-

term hydrological data based on relation retroactively between water structures and rivers in the pilot regions, bio-ecological observations, and meta-studies on riverbeds are the essentials of this study. Riverbed habitats located between the regulator and HPPs were observed in reference stations using Geographical Information Systems in summer and winter. The impact of HPPs and their regulators, and changes in the aquatic ecosystem after they were up and running, on the aquatic ecosystem, especially on the life cycle of the dominant fish species Black Sea salmon (*Salmo labrax*) in the rivers of these pilot regions, were evaluated. According to the results, insufficient compensation of water due to HPPs caused habitat losses and negatively impacted both vertebrate and invertebrate fauna. Due to the increase in water temperature in summer and relative decrease in the discharge, algal colonization can be formed from tail water discharge point to downstream. These negative impacts caused quality losses in water flow regime and water quality, thus decreasing the salmon population in the region. In Solaklı Deresi, one of the pilot rivers selected for this study, compared with a study conducted 15 years ago on the same location, it was found that *S. labrax* population has decreased from 15 number/hour to 0.5 number/hour catch per unit effort (CPUE).

GİRİŞ

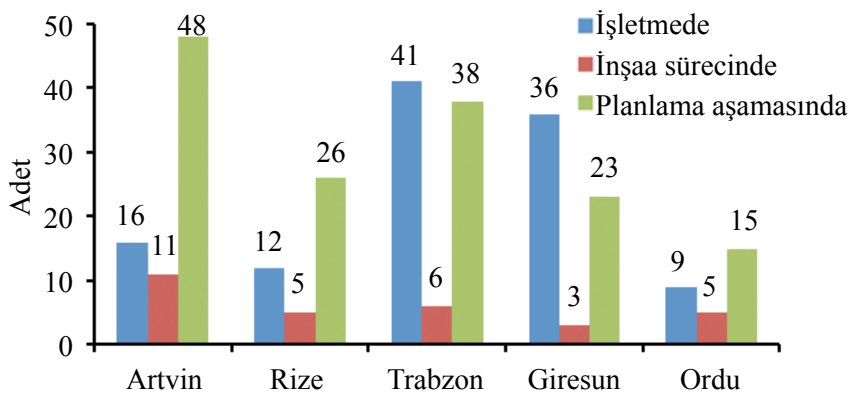
Akarsu potansiyeli bakımından Doğu Karadeniz ülkesimizin en önemli coğrafik alanlarının başında yer almaktadır. Toplam alanı 24077 km² olan havza, yılda ortalama 14,90 km³ yüzeysel su potansiyeli ile Türkiye potansiyelinin %8'ini sağlamaktadır (Karstarlı ve ark., 2011). Bölgedeki akarsuların debisi çok yüksek olmamakla birlikte, yağış dönemlerinde akışlar, periyodik olarak artış eğilimine girmektedir (Atalay, 2001). 2000'li yıllardan sonra ülkemizdeki enerji açığını kapatabilme politikalarında bölgedeki akarsular en önemli potansiyel kaynak olarak ele alınmış ve giderek yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Son yıllarda Doğu Karadeniz'de yaygınlaşan nehir tipi hidroelektrik santrallerinin maliyeti ucuz olmasına karşın, enerji üretimleri baraj tipi santrallerle mukayese edildiğinde oldukça düşüktür. Ancak bu akarsular üzerinde kurulan nehir tipi HES'ler ile ilgili şikâyetlerin artmasıyla yerel ve ulusal basında konu sıkça tartışılmakta ve çevreye ve sucul ekosisteme verdiği zararları konusunda tepkilerin arttığı görülmektedir (Erdoğan, 2010). Doğu Karadeniz'deki akarsulardan elde edilecek toplam hidroelektrik potansiyeli brüt 39910GWh olarak bildirilmektedir (Karstarlı ve ark., 2011). 2016 yılı itibarı ile Doğu Karadeniz'deki (Artvin, Rize, Trabzon, Giresun ve Ordu) akarsular üzerinde planlanan toplam 294 adet HES'in %38,8'i (114 adet) işletmede, %10,2'si (30

adet) inşa sürecinde ve %51'i (150 adet) ise henüz planlama aşamasındadır (DSİ, 2016) (Şekil 1).

Hidroelektrik Santrallerinin ekosistem üzerindeki olumsuz etkileri iki başlık altında toplanabilir. Bunlardan ilki yol, tünel, kanal, regülatör, yüklenme havuzu, cebri boru ve santral binası gibi yapıların inşaat sürecinde oluşan çevresel etkiler. Diğeri ise inşaatı sonrası oluşacak çevresel problemlerdir (Kurdoğlu ve Özalp, 2010). İşletme aşamasında Hidroelektrik Santralleri ve barajlar balık faunası için bir takım sorunlar oluşturmaktadır. Bu sorunlar sırasıyla: (1) aşağı ya da yukarı yönlü balık geçişlerinin engellenmesi ya da geciktirilmesi, (2) balıkların türbin ya da savaklardan geçişleri sırasında yaralanması ya da ölmesi, (3) balıkların avcı kuş ya da balıklar tarafından öldürülmesi ve (4) insanlar tarafından kolayca avlanmaları şeklinde sıralanabilir (Albayrak ve Boes, 2016).

Doğu Karadeniz akarsuları üzerinde planlanan nehir tipi hidroelektrik santrallerinden işletme sırasında ve sonrasındaki süreçte en fazla etkilenen balık türü Karadeniz alabalığı (*S. labrax*)'dır (Lelek, 1980; Chernitskii, 1988; Radchenko ve Aleyev, 1997; Solomon, 2000). Karadeniz alabalığı; Kuzeydoğu Karadeniz, Kırım ve Kafkasya bölgelerinde yayılım gösteren, bölgeye özgü, çok önemli bir anadrom balıktır (Lelek, 1980; Chernitskii, 1988; Radchenko ve Aleyev, 1997; Solomon,



Şekil 1. Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki akarsular üzerinde planlanan hidroelektrik santrali projelerinin dağılımı (DSİ, 2016).

Figure 1. Distribution of the planned of the hydropower plant projects on the rivers in the Eastern Black Sea region (DSİ, 2016).



Şekil 2. Çalışma alanı.
Figure 2. Study area.



Şekil 3. Solaklı deresi ve kolları üzerindeki alabalık örnekleme istasyonları (akarsuyun akış yönü kuzeydir).

Figure 3. *Salmo labrax* sampling stations in the Solaklı stream and its branches (flow direction of stream is the north).

2000; Nikandrov ve Shindavina, 2007; Vassilev ve Trichkova, 2007). Ülkemiz sularındaki stokları uzun yıllardır bilinçsiz avlanma ve yaşama alanlarının bozulması nedeniyle giderek kritik sınıra sınırına gelmiştir. Günümüzde popülasyonundaki büyük azalıştan dolayı ticari önemi kalmamıştır. Bu nedenle avcılığı tamamen yasaklanmış ve

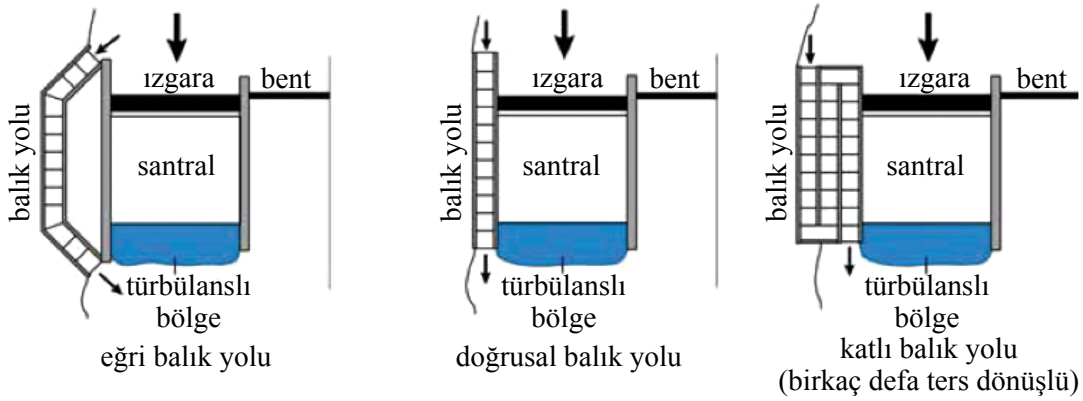


Şekil 4. a, b. Optik okuyuculu akım gözlem istasyonu (AGİ): Regülâtörden verilen telafi suyunu ölçmektedir (a) genel, (b) detay.

Figure 4. a, b. Flow observation station with optical reader: It is measure make-up water which is coming from regulatory (a) overall, (b) detail.

uluslararası anlaşmalar ile koruma altına alınmıştır (IUCN, 2016). Buna karşın balık üzerindeki yasadışı av baskısı ve çevresel/antropojenik faktörler artarak devam etmektedir (Zengin ve ark., 2001; Zengin ve Aksungur, 2008).

IUCN 'Kırmızı Liste' kapsamında bulunan *S. labrax* türü Doğu Karadeniz Bölgesi akarsularında doğal



Şekil 5. Havuzlu balık geçitleri (üstten görünüş) (Larinier, 2002).
Figure 5. Fish passages with pool (top view) (Larinier, 2002).

dağılım göstermektedir. Bu tür soğuk ve hızlı akan akarsuları tercih etmektedir. Karadeniz alabalığı popülasyonuna ait ergin bireyler yumurtlamak için nehrin üst kısımlarına göç ederken, gençler daha fazla besin bulabilmek ve denize çıkış yapabilmek için aşağı kısımlara doğru göç ederler. Bu durum daha sonra tersine devam etmektedir (Zengin ve Aksungur, 2009; Aksungur ve ark., 2011). Bu ters yönlü göçün sürdürülebilirliği için enerji üreten firmalar, resmi otoritenin direktifi doğrultusunda akarsu üzerine inşa ettikleri regülatörler ile kesilen dere yatağındaki balık göçünün sürekliliğinin sağlanabilmesi için bu hidrolojik yapılar üzerinde uygun ölçütlerdeki balık geçitlerini inşa etmektedirler.

Bu çalışma ile ülkemizin en önemli akarsu potansiyeline sahip Doğu Karadeniz Bölgesinde sayıları hızla artan hidroelektrik santrallerinin sucul ekosistem ve Karadeniz alabalığı stokları üzerindeki olası negatif etkileri ortaya konularak, gelecekte bu işletmelerden doğacak olası sorunlara ışık tutması hedeflenmiştir. Sucul habitata yönelik toplanan veriler ile de başlıca şu sorulara yanıt aranmıştır. (1) Karadeniz alabalığının örnek olarak seçilen deredeki (Solaklı deresi) popülasyonunun önceki ve şimdiki durum nedir? (2) Akarsudaki mevsimsel akış debisi akarsu sucul ekosistemi için yeterli midir? (3) HES işletme sonrası akarsu sucul habitatlarında ne gibi değişiklikler meydana gelmiştir? (4) İşletmeye açılan ve yeni planlanan HES'lerin akarsu su rejimine balık göçlerine etkisini azaltıcı önlemler alınabilir mi?

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma; 2012 ve 2016 yılları arasında, Doğu Karadeniz'de işletmeye açılan HES'leri temsil edecek şekilde altı pilot akarsu (Rize-Güneysu, Of-Solaklı, Sürmene-Köprübaşı, Arsin-Yanbolu, Maçka-Değirmendere ve Giresun-Gelevera dereleri) üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Çalışmanın temel verilerini; pilot bölgelerdeki akarsu ve su yapılarına ilişkin



Şekil 6. Trabzon, Sürmene, Köprübaşı Manahoz Deresi üzerinde 2009 yılında işletmeye açılan bir regülatör üzerinde 90° açıyla inşa edilen bir balık geçidinin genel görünüşü.

Figure 6. A fish passage which was designed with 90° angle on the regulatory in 2009, Köprübaşı, Manahoz Stream, Sürmene, Trabzon.

geriye dönük, uzun süreli hidrolojik veriler, habitat gözlemleri ve dere yatakları üzerinde sürdürülen inceleme/gözlem çalışmaları oluşturmaktadır. Örnek olarak seçilen akarsu yatakları üzerindeki çalışma dönemleri Tablo 1'de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Bu süreçte her bir HES'e ait regülatör ile santral arasındaki dere yatağında, belirlenen referans istasyonlarında, CBS temel alınarak, mevsimsel periyodik habitat sörveyleri gerçekleştirilmiştir. Örneklemeye yapılan hidroelektrik santralleri ve bu santrallere su sağlayan regülatörlerin işletmeye açıldıktan sonraki süreçte, bölge akarsuları için baskın balık türünü oluşturan Karadeniz alabalığının (*S.labrax*) bu dereler üzerindeki tüm yaşam döngüsü temel alınarak bir değerlendirme yapılmıştır. Bunun için pilot akarsu olarak Solaklı Deresi seçilmiştir (Şekil 3). Zira bu akarsu üzerinde 1990'lı yılların sonunda benzer ör-

nekleme yöntemi ile bu akarsu üzerindeki Karadeniz alabalığının bolluk-dağılımının tespitine yönelik çalışmalar yürütülmüştür (Tabak ve ark., 2001). Özellikle regülâtörün mansap ve membaidaki (bypass edilen akarsu yatağında) birim zamandaki (saat) balık yoğunluğunu (CPUE; birim çabadaki av miktarı) karşılaştırmak için elektroşok cihazı ile *S. labrax* populasyonunun nehir üzerindeki beslenme ve üreme göçü yaptığı; Ağustos, Ekim, 2015 ve Ocak, Nisan, 2016 dönemlerinde balık örnekleme yapılmıştır. Bu çalışmada balıkçılık yoğunluğunun bir göstergesi olarak birim çabadaki av miktarı (CPUE) indeksinden yararlanılmıştır (Phiri ve Shirakihara, 1999). Burada hesaplanan her bir CPUE (balık sayısı/saat), sayısal olarak balık miktarının avcılık çabasına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Buradaki av çabası; balık yakalamada kullanılan elektroşok cihazının akarsuda toplam etkin olduğu süredir.

Sucul habitat tanımlamalarına ve işletme-ekosistem ilişkilerine ait bulgular için santrallerin bulunduğu lokalitelerde alan uygulama çalışmaları yürütülmüştür. Alan çalışmalarında akarsuyun durumu ve işletmelerin su kullanım bütçeleri de birlikte ele alınarak metodolojik bir yaklaşım ile akarsu habitatında değişime uğramış tüm önemli noktalar incelenmiştir. Bu gözlem ve incelemeler belirli bir yöntem çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Akarsu vadisi boyunca HES işletmelerinin kurulu bulunduğu en üst ve en alt noktalar referans alınarak akarsuyun kullanım karakteristiğine bağlı olarak dere yatağı belli aralıklarla bölümlendirilmiştir. Bölümlendirilmiş bu her bir lokalitenin coğrafik koordinatları ölçülerek bölgenin büyük ölçekli haritalarına işaretlenmiştir.

Kurak dönemlerde Santralden dere yatağına tekrar bırakılan kuyruk suyundaki biyolojik kirlenmeyi belirlemek için Yanbolu, Selimoğlu HES binasının bulunduğu 121 m rakımda, deşarj sularının bırakıldığı dere yatağındaki yoğun alg kitleleri, Ağustos, 2011 tarihinde %70'lik etil alkol ile 250 ml'lik uygun plastik kaplarda fikse edilerek, cins düzeyindeki nitel tayinleri İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi'ndeki limnoloji uzmanları tarafından belirlenmiştir.

Regülâtörden sağlanan telafi suyu ihtiyacını belirlemede 'Tennant Metodu'ndan yararlanılmıştır. Tennant yöntemi kullanılarak belirlenen su ihtiyacında, ülkemizde genel olarak tercih edilen ölçüt ortalamasının %10'nun ekolojik su ihtiyacı olarak bırakılması şeklindedir. Tennant yöntemi ile akım hesaplama, habitatın doğal besin üretiminin en az 2/3 ünün sağlanması koşuluna dayalıdır. Küçük nehir ve derelerde habitat/akım ilişkisi lineerdir ve ortalama akımın %30'u doğal habitatın 2/3 oranında devamlılığını

sağlama potansiyeline sahiptir. Ancak bu koşullar akarsuyun ekolojik özelliklerine bağlı olarak yüksek su ihtiyacı da gösterebilir (Jowett, 1997; Richter ve ark., 2003). Tennant metoduna benzer ve uygulama kolaylığı olan bir diğer yöntem ise ABF (Sucul Akım Modeli)'dir. Bu modelde Tennant modeli gibi ortalama ve minimum akım değerleri temel alınmakta ve ortalamaya göre aylık minimum değer ekolojik su ihtiyacı olarak tanımlanmaktadır. Bu metotta balıkların yumurtlama ve kuluçka dönemleri için ekstra su bırakılması önerilmektedir (Richter ve ark., 2003).

Literatürde 'çevresel/ekosistem su ihtiyacı' olarak tanımlanan ve regülâtörlerden bypass edilen akarsu yatağına bırakılacak telafi suyu miktarının hesaplanmasında kullanılan bu metod ortalama akış yüzdeleri ve balıklar için farklı kalitedeki habitatlar temelinedir. Örneğin %10 (yıllık ortalama debinin %10'u) düşük kalitede (ancak yaşamaya uygun), %30 orta kalitede (yeterli, tatmin edici) ve %60 mükemmel bir habitatı garanti altına alan minimum akış olarak sınıflandırılmaktadır (Jowett, 1997; Richter ve ark., 2003). Tennant metodunun herhangi bir coğrafik bölgede de uygulanabilirliği bildirilmektedir. Ancak her yeni bölge için doğru göstergeler yeniden belirlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte, bu indisler uzlaşmanın gerekli olduğu yerlerdeki özel çalışmalar için tavsiye edilmemektedir (Jowett, 1997; Richter ve ark., 1997). Bu yöntemde akarsuya ilişkin uzun yılların akım/debi değerlerinden ve işletme sonrası regülâtörün membasına ve mansabına kurulan AGİ (akım gözleme istasyonu) aylık ortalama akış değerleri kullanılmıştır. Akarsu yatağının memba ve mansabındaki akım seviyelerini günlük-anlık periyotlarla seri olarak ölçmek için kurulan AGİ 'Optik Kodlu Limnigraf' (Şekil 4) DSİ tarafından işletilmekte ve kontrol edilmektedir. Dijital olarak kaydedilen bu verilerde regülâtörden (balık geçidinden) bırakılan kritik su miktarının seviyesi yükseklik (m) olarak kaydedilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Balık Geçitleri ve Telafi Suyu Miktarına İlişkin Bulgular

Bu çalışmada örnekleme olarak ele alınan HES işletmelerinin faaliyet gösterdiği dere yataklarındaki bypass edilen ortalama uzunluğu 5113,7 m olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Doğu Karadeniz Bölgesinde halen faaliyette, inşaat sürecinde ve planlama aşamasındaki işletme sayısı 294 olarak tespit edilmiştir (DSİ, 2016). Bu verilere göre Doğu Karadeniz'deki HES işletmelerinden ötürü olası risk altındaki toplam dere yataklarının toplam uzunluğu 1739,1 km olarak tahmin edilmiştir.



Şekil 7. a-c. Araştırma bölgesinde yaygın olarak uygulanan ‘havuzlu balık geçidi’ne ilişkin yapısal detaylar: (a) Mansapta balıkların geçide ilk giriş yaptığı, en düşük kottaki nokta. (b) Havuzu balık geçidi, (c) Balık geçidi perdeleri.

Figure 7. a-c. Structural detail of using of pooled fish passage in the study region: (a) minimum code in the lower course, (b) pooled fish passage, (c) shutters of fish passage.

Diğer taraftan örnekleme çalışmalarının yürütüldüğü her bir regülâtör için Karadeniz Bölgesi akarsularında yaygın olarak ‘havuzlu balık geçidi’ tipi uygulanmıştır (Tablo 1). Havuzlu balık geçidinde prensip; membadan mansaba kadar bütün kanal ardışık basamaklı havuzlar oluşturacak şekilde ‘perde duvarlar’ ile bölümlere ayrılmaktadır. Su genellikle perde duvarlarındaki açıklıklardan geçer ve sudaki potansiyel enerji, havuzlarda kademeli olarak kırılmaktadır. Balıklar, perde duvarlarda tabanda veya üstte bulunan açıklıkları kullanarak bir havuzdan diğerine geçebilirler. Göç eden balıklar sadece perde duvarlardan geçişte yüksek akış hızları ile karşılaşırken, hızın düşük olduğu havuzlarda sığınma ve dinlenme imkânı bulabilirler (DSİ, 2009; Armstrong ve ark., 2010). Bölgedeki havuzlu geçitlerin tasarımı çoğunlukla membadan mansaba kadar doğrusaldır (Şekil 5-7). Bununla birlikte, eğri geçitler veya yapı uzunluğunu kısaltan, 180° açıyla bir defa, ya da daha fazla dönüş yapan katlı geçitler de kullanılmaktadır (Larinier, 2002).

Havuz uzunluğu, genişliği ve derinliği, balık geçidi tipine, düşü yüksekliklerine, balık türüne, su hızı ve debisine göre değişmekle beraber, araştırmada ele alınan regülâtörler genel olarak 1,20-3,00 m uzunluğunda, 0,8-1,5 m genişliğinde ve 0,60-1,20 m derinliğinde inşa edilmiştir.

Bu çalışmada pilot olarak seçilen regülâtörler için Tennant yöntemine göre hesaplanan ve işletmeler tarafından taahhüt edilen telafi suyu miktarları Tablo 1’de verilmiştir. Bu su aynı zamanda regülâtörlerdeki balık geçitlerine bırakılan sudur. Bu çalışma sırasında işletme aşamasında taahhüt edilen

ve regülâtörün bypass edilen dere yatağı kısmına bırakılması gereken telafi suyu miktarlarının bu taahhütlerin altında kaldığı tespit edilmiştir.

Sürmene, Köprübaşı-Manahoz Deresi üzerinde 2009 yılında işletmeye açılan bir HES için Ekim 2010 ile Ağustos 2011 tarihleri arasında, regülâtörden bypass (akarsu yatağını atlama) edilen dere yatağına bırakılan telafi suyu miktarının tespiti için regülâtörün mansabında kurulan ‘Akım Gözlem İstasyonu’ndaki (AGİ) aylık ortalama akım (debi) değerleri incelenmiş ve regülâtörden bırakılan telafi suyunun; yağışlı dönemleri kapsayan Nisan ve Mayıs ayları hariç, şirketin taahhüt ettiği yıllık ortalama değer çok altında ($0,21 \text{ m}^3/\text{s}$) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8).

Yağışlı dönemler (Nisan-Mayıs) hariç işletme sürecindeki aylık ortalama telafi suyu miktarlarının bu çalışmada hesaplanan ortalama yıllık telafi suyu miktarı, DSİ (Devlet Su İşleri) ve DKMP (Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü) tarafından önerilen ortalama değerlere ulaşmadığı görülmüştür. Dere yatağına verilecek olan su miktarının, her iki dönem için de $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ çıkartılması gerekmektedir. Benzer tespitler ele alınan diğer HES (Hidro elektrik santrali) işletmeleri için de tespit edilmiştir edilmiştir (Tablo 1). Regülâtörün planlama aşamasında akarsu ortamındaki sucül yaşamın devamı için bırakılacak kritik su miktarı/can suyu miktarı $0,34 \text{ m}^3/\text{sn}$ ($340 \text{ lt}/\text{sn}$) olarak hesaplanmıştır. Mansaba bırakılacak su miktarı için deredeki son 10 yılın (1995-2004) yıllık ortalama debinin ($3,40 \text{ m}^3/\text{sn}$) %10’u esas alınmıştır.

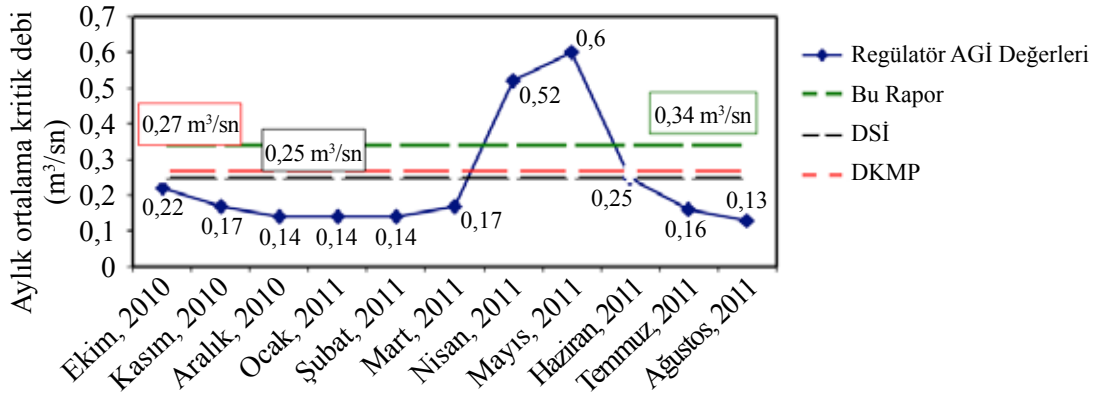
Tablo 1. Örnekleme alanındaki hidroelektrik santrallerine (regülatör) ilişkin bazı hidrolojik parametreler.
Table 1. Some hydrologic parameters about hydropower plants (regulatory) in the sampling area.

Yerleşim	Akarsuyun adı	Akarsu uzunluğu (km)	İşletmeye başlama yılı	Çalışmanın yapıldığı dönem	Balık geçidi tipi	Baypas edilen dere yatağının uzunluğu (m)	*Ortalama akarsu debisi (m ³ /s)	**İşletmenin sağladığı telafi suyu (m ³ /s)	***İhtiyaç duyulan asgari telafi suyu (m ³ /s)
Sürmene-Köprübaşı	Manahoz	40	2009	Ağustos-Eylül, 2011	Klasik havuzlu	2806	3,40	0,21	0,34
Rize-Güneysu	Potomya	50	2010	Temmuz, 2011	Klasik havuzlu	5347	2,80	0,22	0,35
Arsin	Yanbolu	56	2010	Ağustos, Eylül, 2011	Klasik havuzlu	5000	4,84	0,21	0,34
Maçka	Acısu/Larhan	65	2012 (ardışık iki HES)	Haziran, 2013	Klasik havuzlu	2893	3,50	0,14 0,20	0,19 0,21
Of-Çaykara	Solaklı/Ögene kolu	65	2012	Nisan, Ağustos, Ekim, 2015/16	Klasik havuzlu	2750	3,10	0,18	0,31
Maçka	Maden/Larhan	55	2014	Eylül, Ocak, 2015	Klasik havuzlu	4000	3,63	0,36 ıslak dönem 0,17 kuru dönem	0,36
Giresun	Gelevera	80	2014	Ekim, 2015	Klasik havuzlu	13000	2,03	0,19	0,26

*DSİ'den sağlanmıştır.

**DSİ tarafından önerilen ve akarsudaki son 10 yılın yıllık ortalama debinin %10'u esas alınarak tahmin edilen, ıslak ve kuru dönemlerde işletme tarafından balık geçidinden bırakılmaması taahhüt edilen telafi suyu miktarları.

***Mansaba bırakılacak telafi suyu miktarı (aynı zamanda balık geçidinden bırakılan su miktarı).



Şekil 8. Sürmene, Köprübaşı-Manahoz Deresi üzerinde 2009 yılında işletmeye açılan bir regülâtörün mansabında AGİ tarafından ölçülen telefi suyu miktarlarının aylık ortalama dağılımları ve optimum telefi suyu miktarının işletme öncesi iki kurum (DSİ ve DKMP) tarafından önerilen miktarlar ile işletme aşamasında gereksinim duyulan miktarlarının karşılaştırılması.

Figure 8. Distribution of monthly amount of average make-up water in the lower course measured by Flow Observation Station after run-off hydropower plant and its comparison to recommended optimal amount of make-up water by two official institutions (DSİ and DKMP) before run-off hydropower plant in 2009, Köprübaşı, Manahoz Stream, Sürmene, Trabzon.



Şekil 9. a-c. Solaklı deresi ve yan kolları (Haldizen ve Ögene) üzerinde elektroşok cihazı ile gerçekleştirilen Karadeniz alabalığı örnekleme çalışmaları (a) elektroşok cihazı ile balık örnekleme, (b, c) yakalanan balık örnekleri (Ocak, 2015-Nisan, Ekim, 2016).

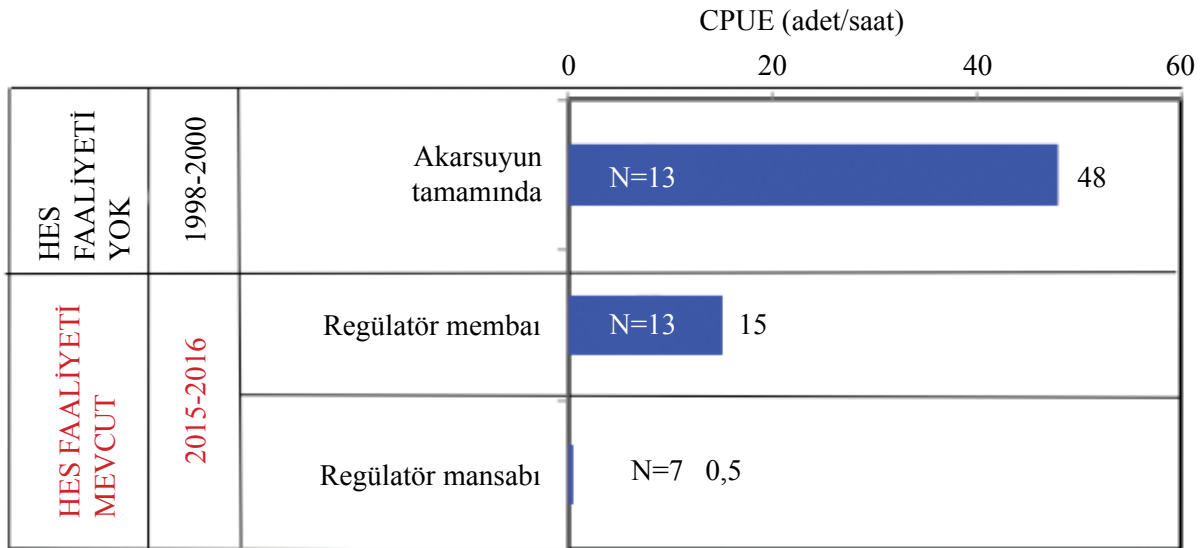
Figure 9. a-c. Black Sea trout sampling study with electro shocker in the Solaklı stream and its branches (Haldizen and Ögene) (a) fish sampling with electro shocker, (b, c) catching of fish samples (January, 2015-April, October, 2016).

Karadeniz alabalığı (*S.labrax*) populasyonunun durumu

Bu çalışmada Solaklı Deresi üzerinde faaliyette bulunan bir regülâtörün memba ve mansabında, 2015/16 döneminde; bypass edilen 2750 m'lik akarsu yatağında gerçekleştirilen balık örneklemlerinde (Şekil 9) regülâtörün membaındaki av çabası 15 adet/saat, mansabındaki av çabası ise 0,5 adet/saat olarak hesaplanmıştır (Şekil 10). İlgili HES'in inşaatına 2009'da başlanılmış ve 2012'de faaliyete geçmiştir. Hâlbuki aynı akarsu bölgesinde HES faaliyetlerinin henüz başlamadığı 1998-2000 yılları arasındaki dönemdeki av çabası 48 adet/saat olarak belirlenmiştir (Tabak ve ark., 2001). Aynı dere yatağında 15 yıl önce gerçekleştirilen araştırma ile karşılaştırıldığında Karadeniz alabalığı populasyonunun yaklaşık %75 oranında bir kayba uğradığı tespit edilmiştir.

Dere sucul ekosisteminin durumu

Doğu Karadeniz akarsuları akış rejimlerinden dolayı sucul omurgasızların (sucul böcekler, bentik yumuşakçalar, kabuklular, poliketler/solucanlar) yaşama alanlarını oluşturan ve sucul vejetasyonlar açısından zengin değildir. Buna karşın akarsu kıyı bölgelerindeki durgun gölcükler, mikro bataklık/sazlık habitatların varlığı balık populasyonlarının beslenmesi açısından son derece hayati (Şekil 11, Şekil 12). Ancak bu araştırmanın yürütüldüğü Doğu Karadeniz dereleri üzerinde; santral ile regülâtörlerin arasında kalan ve suyu bypass edilen dere yataklarının mikro habitatlar açısından bozulduğu ve doğal özelliklerini kaybettiği gözlenmiştir. Akarsuyun topoğrafik yapısı; dere yatağının çok dar ve dik olması, aşırı keskin eğim ve hızlı akış bu tür mikro alanların oluşmasını büyük



Şekil 10. Solaklı deresi üzerinde iki ayrı dönemde; HES (Hidro elektrik santrali) faaliyetlerinin başlamadığı 1990'lı yılların sonu ve HES faaliyetlerinin hayata geçirildiği 2010'lu yıllardaki *S. labrax* popülasyon yoğunluklarının dağılımı [N: örnekleme sayısı; CPUE (catch per unit Effort): 1 saate standardize edilmiş ortalama balık sayısı].

Figure 10. Distribution of *S. labrax* population density before (end of 1990s) and after (2010s) HES (Hydropower plant activities) in the Solaklı stream [N: number of sampling size; CPUE (catch per unit Effort): standardised average fish number in a hour].



Şekil 11. a, b. Bir akarsu kıyı habitatında örneklenen *S. labrax* smolt bireyleri. (a) Bir smolt balık sürüsü, (b) Bu bireylerin vücut uzunluğu yaklaşık 8-10 cm'dir (Güneysu Deresi, Rize, 01.07.2012).

Figure 11. a, b. Samples smolt *S. labrax* in the stream coastline habitat. (a) A smolt fish scholl, (b) The body length is about 8-10 cm (Güneysu Stream, Rize, 01.07.2012).

ölçüde engellemektedir. Diğer taraftan bu tip özel sucul habitatların varlığı büyük ölçüde akarsudaki suyun mevcudiyetine bağlıdır. Özellikle yaz ve erken sonbahar dönemlerinde yavru alabalıkların yaşama ortamını oluşturan bu mikro habitatların yetersiz su nedeniyle kuruma ve işlevlerini kaybetme olasılıkları yüksektir. Regülâtör yapılarının bypass edilmemiş üst/memba kısımlarındaki dere yatağının etkisi altındaki sucul alanlar; karakteristik olarak bölgeye özgü Karadeniz alabalığının dışında diğer makrofaunaya ait türlerin de önemli yaşam alanlarını oluşturmaktadır (Şekil 12).

HES'lerin inşa ve işletme sürecinde, özellikle regülâtörlerin mansap kısmında akarsu yatağına yapılan müdahaleler ve bypass edilen bölgelere kafi derecede suyun sağlanamaması sonucu önemli ölçülerde alan kayıpları meydana gelmiştir. Bu alanlar kaba taş molozları, kaya parçaları, iri çakıl ve yer yer kum-mil materyali birikintileri ile dolmuştur. Akarsudaki bu bozulmalar nedeniyle; akarsu kenarı ve içi sucul vejetasyonları gelişememiştir. Dere kenarında, erozyon/sel sonucu kil-mil yığıntıları birikmiştir (Şekil 13). Birikme zamanla kalıcı sübstrat tabakalarına dönüşmüştür. Akarsuyun sığ/kenar bölgelerinde, akıntının durağan olduğu bu kısımlarda, zayıf düzeyde kamış (*Phragmites australis*), hasır sazı (*Juncus effusus*), su teresi (*Nasturtium officinale*) ve yaş ot (*Commelina communis*) gibi bazı tipik makrofit toplulukları mevcuttur (Şekil 14).



Şekil 12. a-f. Doğu Karadeniz'deki akarsular alabalık popülasyonlarının yanısıra diğer makrofaunaya ilişkin önemli türlerin de yaşam alanlarını oluşturmaktadır. Bunlardan bazıları; (a) dere bir dere kurbağası (*Rana ridibunda*), (b) kurbağa larvaları, (c) Tricoptera pupa, larva ve nimfleri, (d) Sığırcıkgiller (*Sturnidae*) familyasına ait bir sığırcık kuşu, (e) bir ergin insecta bireyi ve (f) Lepidoptera familyasına ait bir kelebek türü (Rize-Güneysu, 2010; Maçka-Acısü, 2012; Solaklı-Ögene, 2015).

Figure 12. a-f. Besides *S. labrax* population other important macro faunal species are living in the Eastern Black sea rivers. Some of them: (a) A stream toad (*Rana ridibunda*), (b) toad larvae's, (c) Tricoptera pupa, larvae and nymph, (d) A bird from *Sturnidae* family, (e) An adult insecta species, and (f) A butterfly species which is belonging Lepidoptera family (Rize-Güneysu, 2010; Maçka-Acısü, 2012; Solaklı-Ögene, 2015).



Şekil 13. a, b. (a) Bypass edilen akarsu yatağının sığ bölgelerinde, akıntının durağan olduğu kısımlarda, makrofit toplulukları mevcuttur. (b) Dere yatağına inşa edilen seddenin oluşturduğu rezervuarda biriken kil-mil, zamanla kalıcı sübstrata dönüşmüştür (Rize, Güneysu, Temmuz, 2011).

Figure 13. a, b. There is macrophyte community in the shallow region of the performed in the bypass stream bed where the flow is stable, (b) Clay-alluvion accumulated in the reservoir constituted by bank constructed to stream bed into constant substrate in time (Rize, Güneysu July, 2011).

Bir diğer önemli bulgu; dere yatakları üzerindeki oldukça yüksek taşkın bentlerinin (yüksekliği 5 ile 8 m'ye ulaşan ve balık geçidi tasarlanmamış betonarme yapılar) varlığı nedeniyle özellikle alabalık popülasyonlarının beslenme ve yumurtlama göçü

gibi temel yaşamsal ihtiyaçlarını sağlayabilecek özellikleri büyük ölçüde kaybetmiş durumdadır. Dere yataklarına büyük ölçüde müdahale edilen bu lokaliteler için alabalık popülasyonları risk altındadır (Şekil 15).



Şekil 14. a-g. Bozulmamış dere yatağı kıyısı boyunca bölgeye karakteristik sucul bitkiler; (a) Solucan eğreltisi (*Dryopteris filix-mas*), (b) *Pteris cretica*, (c) Sıtma otu (*Eupatorium cannabinum*), (d) Hasır sazı (*Juncus effusus*), (e) Atkuyruğu (*Equisetum arvense*), (f) Eğrelti (*Blechnum spicant*), (g) Yaş ot (*Commelina communis*) (Arsin, Yanbolu, Ağustos-Eylül, 2011).

Figure 14. a-g. Characteristic aquatic flora along the undistributed stream bed in the Eastern Black Sea region: (a) Sword fern (*Dryopteris filix-mas*), (b) *Pteris cretica* (c) *Eupatorium cannabinum* (d) Scirpus (*Juncus effusus*), (e) Marsh horsetail (*Equisetum arvense*), (f) Pterophyta (*Blechnum spicant*), (g) Wet weed (*Commelina communis*) (Arsin, Yanbolu, August-September, 2011).



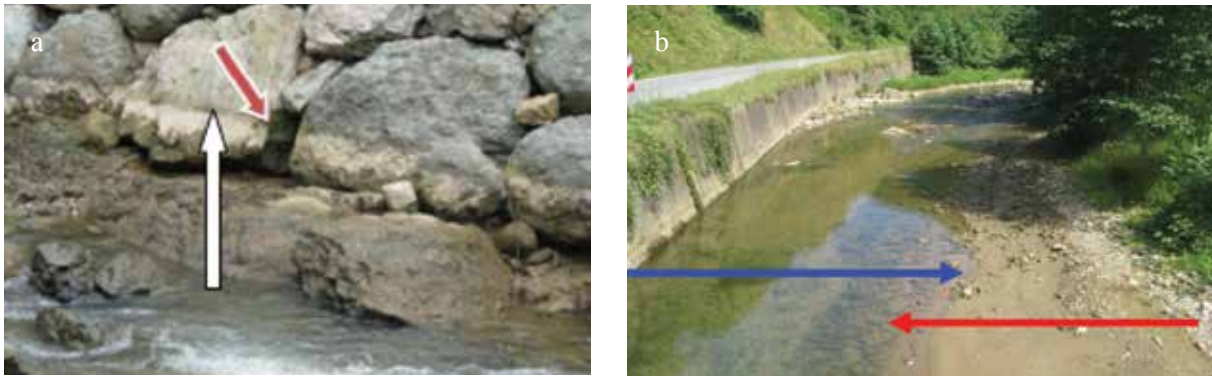
Şekil 15. a, b. Güneysu deresi üzerine inşa edilen sel taşkın bentleri. Bu bentlerin yüksekliği 8 m'dir. Beton malzemeden inşa edilen bu bentlerde balık geçidi bulunmamaktadır (Temmuz, 2011, Rize, Güneysu).

Figure 15. a, b. Constructed weirs for flood control on the Güneysu Stream. These weirs' high is 8 m. These weirs were constructed concrete material. They haven't fish passage (Rize, Güneysu, July, 2011).

Su kalitesine ilişkin göstergeler

Su sıcaklığının yaz aylarındaki artışına ve debinin göreceli olarak düşüşüne bağlı olarak kuyruk suyu deşarj noktasından mansaba kadar olan lokalitelerde algal kolonizasyonlar oluşabilmektedir. Bu negatif etmenler akarsu sistemindeki su akış rejimini ve suyun kalitesini (oksijen seviyesini düşürerek) bozarak, bölge akarsularında yaşayan balık popülasyonları üzerinde negatif etki yaratmaktadır.

Özellikle yaz periyodunda; Temmuz-Ağustos ayları arasında yetersiz su debisi nedeniyle santrallerdeki enerji üretimi periyodik aralıklarla yapılmaktadır. Yükleme havuzu yaklaşık üç saatlik bir sürede dolmakta ve bu kapasitedeki su ile bir saatlik bir üretim yapılabilmektedir. Bu çalışmanın gerçekleştirildiği yaz periyodundaki gözlemlerde (Ağustos-Eylül arasında) santralin devre dışı bırakıldığı saptanmıştır. Santrale suyun verilmediği; kısaca kuyruk suyunun kesildiği dönemlerde santral kuyruk suyu çıkış



Şekil 16. a, b. HES binasının mansabında kuyruk suyunun tekrar akarsuya deşarj edildiği bölgede; dönemlerinde tespit edilen su seviyeleri. (a) Su seviyesi santral çıkış noktasında yaklaşık 1,5 m seviyelere kadar düşmektedir. (b) Akarsu tabanında akış hızı çok düşüktür (Arsin, Yanbolu, Temmuz, Eylül 2011).
Figure 16. a, b. Determination of tail water levels discharge location at the lower course of hydropower plant. (a) Water level is decreasing about 1,5 m at the starting point of plant, (b) The flow rate is very low in the stream bed (Arsin, Yanbolu, September, 2011).



Şekil 17. a, b. Kurak dönemde Yanbolu Deresi, HES Santral binasının mansabında yoğun alg kolonileri tespit edilmiştir (Eylül, 2011).
Figure 17. a, b. It is determined mass algal colonies at the lower course of hydropower plant in the dry period, Yanbolu Stream (September, 2011).

noktasından itibaren akarsu deşarj noktasına kadar ki dere yatağı da tıpkı regülatör nedeniyle bypass edilen alan gibi telafi suyu ile yetinmek durumunda kalmaktadır. Halbuki HES su kullanım anlaşmalarında sadece regülatör ile santral arasındaki bypass edilen bölge için telafi suyu anlaşması yapılmaktadır. Diğer taraftan birçok HES'in yasal çalışma prosedürü 'depolamasız/sürekli akım prensibi'ne göre düzenlenmiştir.

Yükleme havuzunda yaz dönemindeki periyodik depolamalar sırasında akarsu yatağına deşarj edilen kuyruk suyunun kesilmesi sonucunda santralin mansabındaki su seviyesi; santral çıkış noktasında yaklaşık 1,5 m seviyelere kadar düşmektedir. Bu süreçlerde akarsu yatağına yukarıdan bırakılan telafi suyunun sucül yaşam için gerekli olan optimum ihtiyaçlarını yeterli ölçüde karşılayamadığı gözlenmiştir. HES'in mansabında dere yatağı

su debisinin yeterli olmadığı dönemlerde bypass bölgesinden gelen telafi suyu ile yetinilmekte ve akarsu tabanı yaklaşık %50 oranında kurumaktadır (Şekil 16). Bu nedenle yaz periyodunda santral kuyruk suyunun bırakıldığı noktadan itibaren ve regülatör mansabındaki bypass edilen akarsu tabanında alg biyomasları tespit edilmiştir (Şekil 17).

Araştırma kapsamında elde edilen örnekler mikroskobik düzeyde incelenmiş ve genus düzeyinde *Oscillatoriaspp.*, *Cymbella*, *Aulacoseira*, *Naviculaspp.*, *Cosmarium*, *Synedra*, *Achnanthes*, *Gyrosigma*, *Cocconeis* türleri tespit edilmiştir. Ayrıca, örnek içeriğinde Nematod ve çok sayıda Siliat'da gözlenmiştir. Çıkan türlerin büyük bir bölümü *Diatom*'lardan oluşmakta ve bunların önemli bir bölümü bağımlı ve göreceli olarak kirli ortamı seven türlerdir. Ayrıca görüntü alanında çok sayıda tespit edilen *Oscillatoria* filamentleri de bu ortamın kirletildiğine dair önemli bir göstergedir.

Algal kolonizasyonun aşırı derecede çoğalması; su sıcaklığının yaz aylarındaki artışından ve debinin göreceli olarak düşük olmasından ileri gelmektedir. Bu küçük ısı farkı bile sporların üremesi ve yoğun bir biyomasın oluşmasına sebep olabilmektedir. Eğer HES'e gelen suyun debisi azalıyor, giriş-çıkışlar su sıcaklığında fark yaratıyorsa (artışlar sağlıyorsa) ve su işleminden geçirirken bir miktar bekletiliyorsa bunların hepsinin ya da bir kısmının meydana geldiği durumlarda algal popülasyonlarda artışlar görülmektedir. Bunlardan başka akarsuya HES kadar dışarıdan organik atık yükü de giriş yapmakta ve suyun kalitesini düşürmektedir.

SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları başlıca üç başlık altında toplamak mümkündür. Bunlar sırasıyla; yetersiz su debisi, habitat kayıpları-alg biyomaslarında artışlar ve alabalık popülasyonlarındaki azalışlardır. Yetersiz telafi suyu sonucunda akarsu yatağında habitat kayıplarının yanısıra, omurgalı-omurgasız fauna ve sucul vejetasyonlar olumsuz etkilenmiştir. Su sıcaklığının yaz aylarındaki artışına ve debinin göreceli olarak düşüşüne bağlı olarak kuyruk suyu deşarj noktasından mansaba kadar olan lokalitelerde algal kolonizasyonlar oluşabilmektedir. Bu negatif etmenler akarsu sistemindeki su akış rejimini ve suyun kalitesini bozarak, bölge akarsularında yaşayan balık popülasyonlarının hızla azalmasına neden olmuştur.

Durağan ve sığ özellikteki akarsu kıyı habitatları alabalık balık popülasyonlarının larva, yavru ve genç birey dönemleri için çok uygun yaşama alanlarıdır. Yavru balıklar yuvadan ayrıldıktan sonra 5-7 cm büyüklüğe erişinceye kadar ki dönemlerini (0+ yaş) küçük derelerde veya büyük derelerin kıyı sularında, kaynağa yakın bölgelerde; 15-35 cm su derinliği olan sığ/durgun gölcüklerde, çakıllı, kumlu ve milli zemine sahip yerlerde geçirirler (Zengin ve Aksungur, 2009). Su içerisinde besin maddelerini oluşturan mikro habitatın, akıntıda sürüklenmesi ve karşı koymak için akarsu bentiğindeki bitki, taş ve diğer materyale tutunarak yaşamını sürdürmesi, yavru balıkların bu karaktere sahip alanları tercih etmesine neden olmaktadır (Neveu, 1999).

Özellikle son 15 yılda nehir tipi hidroelektrik santaller için alınan özendirici önlemler sonucu küçük debili dereler üzerinde birden fazla yapı inşa edilmiştir. Ekolojik bütünlük ve nehir sürekliliğinin dikkate alınmaması sonucunda gözlenen olumsuzluklar Türkiye'de de 'can suyu' kavramının gündeme gelmesine neden olmuştur. Bu kavramın nehir sürekliliğini sağlamasının mümkün olmadığı

anlaşılmış ve gelişmiş ülkelerde terk edilerek yeni yaklaşım arayışlarına girilmiştir. Bu süreçte, can suyu terimi yerine 'çevresel akış' veya 'ekolojik akış' kavramlarının daha anlamlı olduğu konusunda bir sonuca varılmıştır. Çevresel veya ekolojik akış kavramlarının temelinde, akarsuyun hidrolojik dinamikleri ve hidrolik yapısı, hidromorfolojik yapılar ve işlevleri ile ekolojik yapı ve işlevleri arasındaki ilişkilerin tanımlanması yer almaktadır. Ekolojik akış kavramı, Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi kapsamında tanımlanan çevresel hedeflere ulaşabilmek için hazırlanan rehber belgelerde de yer almıştır (Ekmekçi, 2016). 2011 yılı Ocak ayında revize edilen İsviçre Su Koruma Yasası ve Su Koruma Yönetmeliği'ne göre, 20 yıl içerisinde nehir bağlantılarının restore edilmesi ve HES'lerin balık göçleri üzerindeki negatif etkilerinin azaltılması önerilmektedir. Bununla birlikte hâlihazırda balık stoklarını koruma teknolojileri için herhangi bir tasarım standardının var olmaması nedeniyle, bu kanun ve yönetmelikler HES operatörleri ve sorumlu belediye veya devlet kuruluşları için sorun teşkil etmektedir (Albayrak ve Boes, 2016).

Kurdoğlu (2016); Türkiye'de faaliyette bulunan HES'lerin ekosistem üzerindeki negatif etkilerini tespiti üzerine gerçekleştirdiği bir çalışmada; farklı disiplinlerden, kendi alanında 60 uzman ile yapılan çalışma sonuçlarına göre; yetersiz minimum çevresel akış miktarının %75, dağ ve yamaçlar ile nehir kenarlarındaki ormanlık alanların bozulmasının %51,6; biyoçeşitlilik kaybının %61,7; turizm üzerindeki negatif etkilerin %60 ve doğal habitat üzerine olan olumsuz etkinin %31 olduğunu tespit etmiştir.

Akyüz ve Baydar (2016) tarafından Akdeniz bölgesinde balık geçidi sistemlerinin yapısal özellikleri ve etkin bir şekilde çalışabilmesinin koşulları üzerine yürütülen bir çalışmada, klasik havuzlu balık geçidi bulunan HES projelerinde ortaya çıkan hatalar sonucunda geçitlerin etkin kullanılmadığı belirlenmiştir. HES projelerine uygulanacak balık geçitlerinin uzman kişiler kontrolünde gerçekleştirilmesi; balık faunasının korunması açısından büyük önem taşıdığı altı çizilmiştir. Balık geçitleri planlanırken mümkün olan her yerde, ölü aç ve ölü nokta oluşmayacak şekilde su çıkışının, özellikle balık geçidinin mansap girişinin, bent veya türbin çıkışının altında olması gerekmektedir (DSİ, 2009; Armstrong ve ark., 2010). Ancak bölgedeki regülatöründe inşa edilen balık geçidinin mansap ile teması olmayıp, bırakılan su belli bir yükseklikten, yaklaşık 50-60 cm'lik bir yükseklikten dere yatağına bırakılmaktadır. Ayrıca havuzlardaki su hareketi de balık göçleri için çok önemlidir. Bu nedenle balıkların membaya

doğru yüzerken dinlenmesini ve güç kazanmalarını temin eden havuzlarda su hızı mümkün olduğu kadar az ve istenmeyen girdap ve akıntılar yok edilecek şekilde tasarlanmalıdır (maksimum hız: 2,4 m/sn ve su giriş hızı maksimum 1,2-2,4 m/sn) (DSİ, 2009).

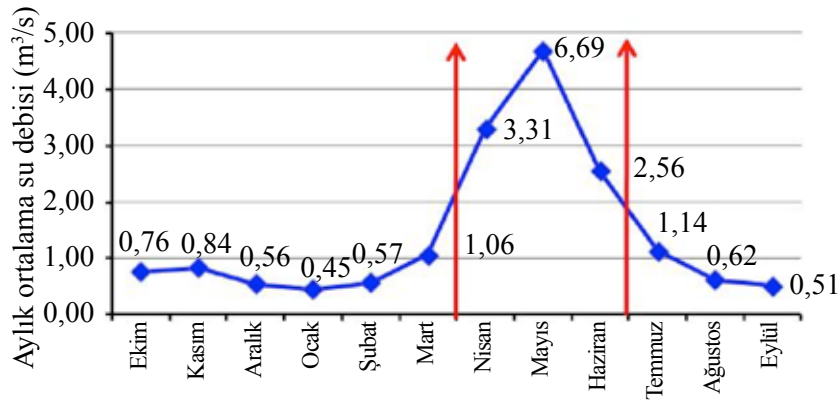
Bölgede; çok sınırlı da olsa balık geçitlerinin işlevi üzerine yürütülen araştırmalarda da; balık geçidi projelerinde çevresel akış debisinin biyolojik ihtiyaçları karşılayabilecek seviyede hesaplanmadığı, aynı zamanda göç yapan balıkların geçebileceği tipte, uygun eğimli ve boyutlarda geçit inşa edilmediği vurgulanmıştır (Üstündağ, 2013). Solaklı deresi, Ögene kolu üzerinde, işletme sürecindeki regülatörlerdeki balık geçitlerinin işlevselliği üzerine gerçekleştirilen bir çalışmada; mansaptan regülatöre doğru olan yaklaşık 500 metrelik alanda çok sayıda balık tespit edilmesi, balıkların geçidi aşmakta zorlandıklarına işaret ettiği rapor edilmiştir. Bu çalışmada balık geçidine verilen su kesilerek tesisi kullanan balık olup olmadığı kontrol edilmeye çalışılmıştır. Ekim ayında yapılan bu çalışmada iki adet Karadeniz alabalığı (*Salmolabrax*) yakalanmış olmasına rağmen, bu balıkların membaa göç eden balıklar mı yoksa mansaptaki balık geçidi girişindeki yüksek türbülans nedeniyle balık geçidine sürüklenen balıklar mı, olduğu konusunda kesin yargıya varılamamıştır. Benzer çalışmada Yanbolu Deresi üzerindeki işletmede *S. labrax* örneklerine rastlanmamıştır. Bu regülatörde havuzlu tip balık geçidi inşa edilmiş olup, balık geçidinin eğimi, taban yapısı, havuz boyutları, debi, su hızı, konumu ve giriş-çıkış yapıları bakımından uygun olmadığından balık geçişlerini sağlayamadığı rapor edilmiştir (Üstündağ, 2013). Yine Korkmaz ve ark., (2015) tarafından Yanbolu Deresi'nde faaliyette bulunan bir hidroelektrik santrallerinin balık göçleri üzerine olan etkisi konusunda yürütülen bir araştırmada bıyıklı balık popülasyonu (*Barbus tauricus*) HES regülatörünün alt kısımlarında (mansap) yoğun olarak örneklenirken, regülatörün üst (membra) kısımlarında hiçbir bireye rastlanamamıştır. Benzer durum Karadeniz alabalığı (*S. labrax*) için de tespit edilmiştir.

Doğu Karadeniz'deki akarsularda aşırı yağmurlar ve yüksek dağlardaki karların erimesi ile oluşan sellerin dere yatağında ve vadi yamaçlarında meydana getireceği erozyon ve heyelan gibi toprak, kaya, taş materyallerinin oluşturacağı zararı önlemek amacıyla inşa edilen beton 'taşkın seddeleri' derelerde yaşayan balık faunasının göçü için başka bir risktir. Bu bentlerin üst ve alt kısımlarında balıkların geçişini sağlayacak özel bir bağlantı borusunun, büz veya menfezin inşa edilmesi hayatidir. Dere yatağını enine kesecek şekilde; DSİ tarafından inşa edilen taşkın koruma seddesi bu açıdan önemli bir engel

oluşturmaktadır. Bu beton sedde balıkların göçü için herhangi bir balık geçidi planlanmamıştır. Yüksekliği yaklaşık 7-8 m arasında değişen bu koruma bentleri başta alabalık popülasyonları olmak üzere dereler üzerinde yaşayan diğer tüm balık türlerinin mansap-memba yönündeki geçişini engelleme riskine sahiptirler (Zengin ve ark., 2013). Özellikle stokları son derece yıpratılmış alabalık popülasyonlarının bu engelleri aşması mümkün görünmemektedir. Dere yatağındaki bu uzun mesafeli ters göçün sekteye uğraması balık popülasyonlarının uzun vadedeki yaşam döngülerini engelleme riski bulunmaktadır. Karadeniz alabalığı popülasyonlarının sürdürülebilirliği için bu bentlerin yeniden revize edilerek; balık popülasyonlarının akarsu yatağındaki çift yönlü göçünü güvenli bir şekilde sağlayacak, uygun tasarımda geçitlerin inşa edilmesi şarttır.

Bölgedeki akarsuların günlük ve aylık ortalama akımları incelendiğinde dere yatakları ile ilgili olarak, kuru ve ıslak dönem zamanlarının farklı olduğu görülmektedir. Karadeniz iklim ve yağış rejiminin etkisi altındaki akarsuların akış rejimi yıl içerisindeki mevsimsel sıcaklık koşullarına uygunluk göstermektedir. Yüksek akışlar; kar yağışının az, sıcaklığın yüksek olduğu bu nedenle de karların eridiği Nisan sonu ile Mayıs ayında görülmektedir (ıslak dönem). Düşük akışlar ise; yağış miktarının fazla olmasına karşılık, yağışın kar şeklinde yüksek kesimlerde biriktiği kış aylarında rastlanmaktadır. En az akış Ocak, Şubat ve Eylül aylarında (kuru dönem) ölçülmüştür (Şekil 18) (Zengin ve ark., 2013). Derelerin debileri Haziran ayında azalmaya başlayarak, bu azalış Ağustos ayına kadar artarak devam etmektedir. Bu azalışta yaz aylarındaki aşırı buharlaşmanın ve kar sularının azalmasının da rolü bulunmaktadır. Bu özellikler sonucunda Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki akarsular için en önemli doğal karakteristikleri şu şekilde özetlenebilir. (1) Dağlar kıyıya paralel ve yüksek eğimli, Karadeniz'e bakan taraflarında yer alan akarsuların boyları kısadır. (2) Yer şekillerinin etkisiyle akarsu yataklarındaki eğim yüksektir. Bu nedenle akış hızları artmaktadır (Hocaoğlu, 1996; Gültekin ve ark., 2005). Bu akarsuların sucul vejetasyonları; sahip oldukları jeolojik karakteristiklerinden ötürü zayıftır. Soğuk su akarsularının başlıca baskın balık faunasını *S. labrax* popülasyonları oluşturmaktadır ([http://fishbase.org/summary/salmo labrax.html](http://fishbase.org/summary/salmo%20labrax.html)).

Balık geçitlerinin göç eden nehir balıkları üzerindeki etkinliğini tespit etmek için Alp ve ark., (2015) tarafından Ceyhan Nehri üzerindeki gerçekleştirilen bir araştırmada *Capoeta angorae* ve *Alburnus kotschy* popülasyonlarının göç davranışlarını belirlemek için



Şekil 18. Doğu Karadeniz bölgesindeki akarsuların kuru ve ıslak dönemler için karakteristik aylık ortalama akımlarının zamansal değişimi.

Figure 18. For dry and wet period temporal change of the characteristic monthly average discharge in the Eastern Black Sea region stream.



Şekil 19. a-f. Trabzon, Maçka, Maden Deresi üzerinde faaliyet gösteren bir regülatörün giriş ve çıkışlarındaki akımları ölçen AGİ cihazlarına ait ardışık süreçlerdeki su seviyeleri. Yaklaşık bir haftalık süreçte giriş ve çıkış akımları ile balık geçidi havuzundaki su seviyesinde çok radikal bir azalma gözlenmiştir. 16 Haziran, 2012: (a) memba (b) mansap (c) balık geçidi/havuzu, 16 Haziran, 2012: (d) memba, (e) mansap, (f) balık geçidi/havuzu.

Figure 19. a-f. A regulatory which is activity on the Maden Stream, in Maçka, Trabzon. Its water levels sequential process in upstream and downstream locations measured by optical reader stations. It was observed the input and output flow levels decreased radically about in a week period in fish passage pools. 10 June, 2012: (a) upstream, (b) downstream, (c) fish passage (having pool), 16 June, 2012: (d) upstream, (e) downstream, (f) fish passage (having pool).

üç farklı yöntem (tuzaklar, plastik marka ve elektronik marka) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre havuz ve orifis tipi balık geçitlerinin bu türler için uy-

gun olmadığı görülmüştür. Zira her iki tip havuzda da balık örneği bulunamamıştır. Bunun çevresel akış debisi miktarının yetersizliğinden ve balık geçitlerinde-

ki farklı engellerden kaynaklandığı ileri sürülmüştür. Bu sebeplerden ötürü inşa edilecek depolama tesislerinden balık geçidi projelendirilmesi uygun görülenlerde; göç yapan balıkların geçebileceği tipte, uygun eğimli ve boyutlarda geçit inşa edilmesine katkı sağlayacak şekilde detaylandırılması gerekmektedir.

Ancak bölgedeki ‘balık geçidi’ projelerinde çevresel akış debisi biyolojik ihtiyaçlar hesaplanarak belirlenmemiştir (Şekil 19). Akarsu bir bütün olarak ele alınmalı ve çevresel akış debisi ihtiyaca göre tekrar belirlenmelidir. Projeler işletmeye alındıktan sonra dereye su azalacağından dere yataklarındaki doğal yapı, balıkların aşamayacağı engeller ortaya çıkmaktadır. HES Projeleri işletmeye alınmadan önce dere yatakları balık yaşamına uygun hale getirilmelidir.

1990’lı yılların başına kadar Doğu Karadeniz’deki akarsular üzerindeki HES projelerinin sayısı yok denecek kadar azdı. Ancak 2000’li yılların başından itibaren DPT’ce yapımı onaylanan ve enerji açığını gidermeye yönelik olarak birçok akarsu üzerinde DSİ tarafından planlanan hidroelektrik santrali projelerinin sayısı giderek artış göstermiştir (Tabak ve ark., 2001). Bugün bu akarsular üzerinde ardışık olarak birden fazla hidroelektrik santrali işletmeye açılmıştır. Bu çalışma kapsamında ele alınan Trabzon, Of, Solaklı Deresi üzerinde 2000’li yılların başına kadar herhangi bir HES işletmesi mevcut değilken; ilk olarak Solaklı Deresinin yan kollarını oluşturan ve doğrudan Uzungöl’e bağlantılı olan Haldizen ile Balkodu, Kavlatan ve Büyükdere üzerinde planlanan Of-Solaklı Hidroelektrik Santrali Projesinin 2000 yılında uygulamaya dönük etüt projeleri hazırlanmıştır. Geçen bu 15 yıllık süreçte Solaklı Deresi ve bu derenin iki ana kolunu oluşturan Haldizen ve Ovit kolları üzerinde birbirine ardışık olarak toplam 12 adet hidroelektrik santrali ve bu santralleri besleyen regülatör yapıları inşa edilmiştir. Bu akarsu sistemi üzerinde kurulu bulunan her bir regülatör bir üst noktadaki HES’in kuyruk suyundan ve yan derelerden beslenmektedir.

Bu projeler genel olarak tek tipte planlanmış olup, akarsu yatağının önü kesilmek suretiyle yönlendirilen suyun bir tünel vasıtasıyla santrale akıtılması prensibine dayanmaktadır. Su temininde en önemli nokta akarsu yatağının belli bir bölgesinde tünellere alınan bu suyun, başta akarsudaki balık faunası olmak üzere diğer sucul organizmaların yaşamını ne şekilde etkileyip etkilemeyeceği konusudur.

Bu güne kadar yapılan birçok araştırmada; alabalık popülasyonlarının yaşam döngüsünde, gerek akarsu ve gerekse de deniz ortamında yapılan göçler sırasında doğal yollardan ve insan aktiviteleri (av-

cılık, yaşam ortamının değiştirilmesi, kirlilik, vb.) neticesinde çok büyük sömürülmeye maruz kaldıkları ortaya koyulmuştur. Bir akarsudaki su kalitesi ile hidro mekanik ve hidrolojik özellikler arasında çok yakın bir ilişki bulunmaktadır. Akarsu debileri akarsudaki balıkların yaşam alanlarını için gerekli olan minimum su debisinin yanısıra; bu ortamlara verilen kirleticilerin seyreltilmesi ve taşınmasını sağlayarak, ortamlarda meydana gelecek kirletici birikimlerini azaltırlar (Baglinière ve Maise, 1999). Ekolojik olarak akıntı, balık habitatlarının korunmasını sağlayan fiziksel, biyolojik ve kimyasal yöntemlerin temelini oluşturmaktadır. Ekolojik akıntı rejimi sonucu oluşan bu bileşenler nehir sisteminin sağlıklı işlemesi için gerekli unsurlardır.

Doğu Karadeniz akarsularının baskın ve hassas balık türü *S. labrax*’dır. Bu değişimden en çabuk etkilenecek olan da bu türdür. Bu alabalık popülasyonu hızlı akıntılı, temiz ve soğuk su ortamlarını tercih eder. Baraj sonrasında bu türün varlığını sürdürebilmesi için eski koşulların minimum düzeyde devamlılığının sağlanması gerekmektedir. Dolayısı ile barajdan bırakılacak olan minimum su miktarı nehrin alt kısımlarındaki biyolojik yaşamı olumsuz etkilemeyecek bir düzeyde tutulmalıdır.

HES projesi uygulanan akarsularda sucul canlıların, regülatörün alt kısımlarında yaşamlarını sürdürebilmesi için gerekli olan ve biyolojik olarak ihtiyaç duyabileceği minimum suyun bırakılması bütün sorunu çözmektedir. Bu miktar, çeşitli yöntemlerle hesaplanmakla birlikte regülatörün alt kısımlarındaki toplam balık stoku ile yakından ilişkilidir. Suyun az verilmesi durumunda balıklar derin ve havuz oluşturmuş alanlarda toplanmaktadır. Toplam balık stokunun fazla olması durumunda bu küçük havuz sistemlerinin taşıyamayacağı yoğunlukta olması sebebiyle toplu balık ölümleri meydana gelebilecektir. Dere yatağının özelliği nedeniyle akarsu bağlantısı kesilmesi sonucu sıcaklık artışı, çözülmüş oksijen miktarındaki azalma, besin maddesi birikimi ve devamında ötrifikasyona yol açan olumsuz koşullar oluşacaktır. Bu açıdan bakıldığında Doğu Karadeniz Bölgesi akarsuları gibi dağ derelerinde indikatör bir tür olarak nitelendirilebilecek *S. labrax*’ın mevcudiyetini sürdürebilmesi, verilecek su miktarı ile yakından ilişkilidir. Çünkü bu tür, hızlı akıntılı, soğuk ve oksijen bakımından zengin sulara yaşayabilmektedir. Bu faktörler göz önüne alınarak hesaplanan su miktarı bırakılması dereye canlılığın devamını sağlamaya yetecektir.

Bunun yanısıra yukarı göçlerde oluşturulan balığın girişi ve hareketlenmesini sağlayan sistemler ve hidrolik

koşullar, aşağıya yapılan göçlerde aynı etkinliği göstermemektedir. Balık geçitlerinin dizayn edilmesinde regülatör üzerinde yer alan yönlendirme ekipmanları, tünel, havuz sistemleri, çöktürme ve çakıl düşürme yapılarının geometrik yapıları, engelleme, akış ve boşaltma durumları, su seviyeleri gibi teknik ve yapı elemanlar önem taşımaktadır (Larinier, 2002).

Bu araştırmada genel olarak HES'lerde işletme aşamasında tespit edilen sorunları şu şekilde özetlemek olasıdır:

Telafi/can suyuna ilişkin sorunlar: Firmalar tarafından akarsu yatağının bypass edilen bölümü için taahhüt edilen su miktarı düzenli olarak sağlanamamaktadır. Telafi suyunun düzenli verilmesine yönelik olarak HES işletmeleri rasyonel bir yönetim planı uygulayamamaktadır. Ayrıca bırakılacak telafi suyu miktarının da yukarıda açıklandığı gibi bölge hidrolojisi ve ekolojisine özgü daha rasyonel yöntemler dikkate alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Telafi suyu için yıl içerisindeki akarsu debisinin kapasitesine bağlı olarak farklı uygulamalara gidilmelidir. Kurak aylar ve yağışlı aylar olarak iki farklı telafi suyu kriteri hesaplanmalıdır. Su debisinin minimum seviyede seyrettiği Temmuz ile Ocak ayları arasındaki dönemde bypass edilen dere yatağı sadece üstten gelen can suyu ile takviye edilmektedir. Bu uygulama illegaldir ve sözleşmelerde bulunmamaktadır.

Habitat kayıpları: Regülatör ile santral arasındaki akarsu yatağı boyunca akarsu dere yatağı ve kıyı bentiği taşkın, sel, heyelan ve karayolu gibi altyapı tesisleri için gerçekleştirilen çalışmalar neticesinde ileri düzeyde bozulmuş ve doğal yapısından uzaklaştırılmıştır. Bu durum bypass edilen kısımda habitat kayıplarına yol açmaktadır. Aynı zamanda telafi suyunun rantabiletisini de azaltmaktadır. Bu nedenle ilerleyen süreçte akarsu yatağına düzensiz ve yetersiz bırakılan telafi suyu ile birlikte omurgasız ve omurgalı faunanın negatif yönde etkilenme olasılığı bulunmaktadır.

Balık geçidine ilişkin sorunlar: Balık geçidinin mansabındaki suyun son çıkış noktası ile dere yatağı arasında yaklaşık 50-60 cm'lik bir kot farkı bulunmaktadır. Bu durumda dereye yaşayan herhangi bir balık türünün bu yüksekliği aşip, geçide yönlenmesi zordur. Bu nedenle balık geçidinin mansaptaki son havuzunun çıkış kodu deredeki su seviyesinin altında olmalıdır. Balıkların üst havzaya göç için bu geçitleri kullanabilmesi için geçitlerin dere yatağı ile buluşma noktası bent ya da baraj gövdesinin sonlandığı, taşkın sularının boşaldığı bent önüne yakın ve dere yatağı zemini ile aynı seviyede olmalıdır. Başka bir ifade ile balık geçidi çıkış kodu ile dere kodu aynı olmalıdır ki balıklar

değişiklik yokmuş, dereye yüzmeye devam ediyormuş gibi yollarını kolaylıkla bulabilsinler.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar büyük olasılıkla Karadeniz alabalığı populasyonunun regülatör tarafından engellendiğini göstermektedir. Bu durumda iki önemli ihtimal bulunmaktadır. Bunlardan ilki; bypass (akarsu yatağını atlama) edilen dere yatağına bu türün ihtiyacı olan ve yaşam döngüsünü sağlayacak miktarda yeterli seviyede su bırakılmamaktadır (bu olgu Tablo 1'de gösterilmiştir). İkinci olasılık ise bölge için tasarlanan balık geçitleri işlevini yerine getirmemektedir.

Alabalık populasyonlarının sürekliliği: HES yapım aşamasında ve işletme sürecinde deredeki suyun kesilmesinden en fazla etkilenen balık türü Karadeniz alabalığıdır. Aynı zamanda bölge akarsuları için de en önemli indikatör tür olan Karadeniz alabalığının; başta göç olmak üzere biyoeolojik yaşam döngüsünü sağlayacak şekilde bypass edilen alana yeterli miktardaki telafi suyunun bırakılması sağlanmalıdır. Bunun için de işletmeler tarafından taahhüt edilen telafi suyu gerek miktar, gerekse de kalite açısından sürekli olarak izlenmelidir.

Rezervuar (baraj gölü) önündeki set yüzünden alt ve üst bölümler arasında biyolojik temas kesilmektedir. Rezervuarda biriken suyun sıcaklığı yükselmektedir. Rezervuarda biriken organik malzemelerin çürümesi sebebiyle suda oksijen azalmaktadır. Şüphesiz bu aşırı tükenişte HES olgusu (regülatördeki telafi suyunun yeterliliği ve balık geçidinin tasarımı/konumu) önemli bir etken olmasına karşın; illegal avcılık ve başka nedenler; taşkın koruma bentleri, dere ıslahı çalışmaları, yol yapımı, kentleşme-belediyelerin evsel ve endüstriyel deşarjları doğrudan akarsuya boşaltmaları doğal populasyonun geleceğini tehdit etmiştir.

İşletmeye ilişkin yönetsel sorumluluklar: Firma işletme aşamasında telafi suyunun takibi, bu takibi izlemek için kurulan AGİ'nin bakımı, nihayetinde regülatöre giriş ve çıkış suyunun takibi için gerekli olan ve taahhüt edilen iki adet AGİ'nin inşaa edilmesi ve süreç içerisinde uyarılara dikkat etmesi ve başta akım değerleri olmak üzere HES'e ilişkin tüm teknik bilgileri konuyla ilgili resmi ve tüzel taraflarla içtenlikle paylaşması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Akyüz, A., Baydar, Ş. (2016). Determination of structural properties of fish passage systems in the Eastern Mediterranean. Workshop on Fish Passages and Migration, 21-22 November 2016, İstanbul-Turkey, Symposium Abstract Book, s38-40.

- Alp, A., Akyüz, A., Özcan, M. (2015). Passages and Migratory Fish in River Ceyhan. International Conference on Engineering and Ecohydrology for Fish Passage. Paper 8. http://scholarworks.umass.edu/fishpassage_conference/2015/June24/8
- Albayrak, İ., Boes, R. (2016). Research on downstream fish passage technologies in Switzerland. Workshop on Fish Passages and Migration, 21-22 November 2016, İstanbul-Turkey, Symposium Abstract Book, s10-13.
- Aksungur, M., Zengin, M., Tabak, İ., Aksungur, N., Alkan, A. (2011). Migration characteristics of the black sea trout (*Salmo trutta labrax*, Pallas, 1814) in the eastern black sea coasts and streams. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 11: 623-630.
- Armstrong, G.S., Aprahamian, M.W., Fewings, G.A., Gough, P.J., Reader, N.A., Varallo, P.V. (2010). Environment agency fish pass manual: Guidance Notes on the legislation, selection and approval of fish passes in England and wales, 367 p.
- Atalay, İ. (2001). Türkiye'nin beşeri ve ekonomik coğrafyası 1, İnkılap Kitapevi, 184 s.
- Carolsfeld, J., Brian, H., Ross, C., Baer, A. (2003). Migratory fishes of South America: Biology, fisheries and conservation status. World Fisheries Trust, The World Bank International Development Research Centre, p373.
- Cebeci M.E., Tör, O. B., Yılmaz, O., Altın, M., Güner, E., Nadar, A. (2008). Nehir-Tipi hidroelektrik santrallerinde kararlı ve güvenli çalışma sınırlarını belirleyen faktörler, ELECO 2008, Bursa, Türkiye.
- Chernistkii, A.G. (1988). Black sea trout smolt (*Salmo trutta labrax*) in the Kodori River, Abkhaz SSR Georgian SSR USSR. *VoprIkhtiol*, 28(4), 657-663, UDC 134: 574.2.
- Cowx, I. G., Gould, R. A. (1989). Effects of stream regulation on Atlantic salmon *Salmo salar* L. and brown trout *Salmo trutta* L. in the upper Severn catchment, UK, *Regulated Rivers: Research and Management*, 3: 235-245.
- Davis, R., Hijri, R. (2003). Water resources and environment technical note c1, environmental flows: concepts and methods, *The World Bank*, Washington.
- DSİ (2009). Balık geçitleri: Tasarım, boyutlandırma ve izleme (Türkçe baskı), Çevre ve Orman Bakanlığı, s118.
- Ekmekçi, M. (2016). Effects of hydrotechnical structures on river continuum and the environmental flow concept. Workshop on Fish Passages and Migration, 21-22 November 2016, İstanbul-Turkey, Symposium Abstract Book, s14-16.
- Erdoğan, G. (2010). Doğu karadeniz bölgesinde başlanan ve planlanan nehir tipi hidroelektrik santrallerin çevresel ve sosyal etkileri. <http://glrnerdgn.blogspot.com.tr/2010/12/normal-0-21-false-false-false-tr-x-none.html>
- Gültekin, F., Dilek, R., Ersoy, A.F., Ersoy, H. (2005). Aşağı Değirmendere (Trabzon) havzasındaki suların kalitesi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 29(1), 200: 21-34.
- Güner, E., Altın, M., Nadar, A., Tör, O.B. (2010). Küçük hidrolik santrallerin projelendirilmesinde göz önünde bulundurulması gereken bazı temel hususlar. TÜBİTAK, KAMAG (1007 programı) Proje No: 105G124.
- Hocaoğlu, Ş. (1996). Türkiye fiziki coğrafyası. 18 Mart Üniversitesi, Çanakkale.
- IUCN (2016). IUCN Red List of Threatened Species. Version 2016. <http://dx.doi.org/>
- Jowett, L.G. (1997). Instream flow methods: A Comparison of approaches, Hamilton, New Zeland.
- Karstarlı, Ç., Kömürçü, M.İ., Akpınar, A., Uzlu, E., Kankal, M., Önsoy, H. (2011). Doğu karadeniz havzasındaki hidroelektrik potansiyelin analizi. II. Su Yapıları Sempozyumu. 16-18 Eylül 2011, Diyarbakır, Bildiriler Kitabı, s:129-138.
- Korkmaz, M., Mangıt, F., Yerli, S.V. (2015). The effect of hydroelectric power stations on fish migration: A case study at yanbolu stream. Fish passage, 2015: International Conference on River Connectivity Best Practices and Innovations, June 22-24, 205, Groningen, Nederland.
- Kurdoğlu, O., Özalp, M. (2010). Nehir tipi hidroelektrik santral yatırımlarının yasal süreç, çevresel etkiler, doğa koruma ve eko turizmin geleceği kapsamında değerlendirilmesi". III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010 Artvin Cilt: II s: 688-707.
- Kurdoğlu, O. (2016). Expert-based evaluation of the impacts of hydropower plant const-

- ruction on natural systems in Turkey. *Energy & Environment*, 27(6-7), 690-703. sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav. DOI: 10.1177/0958305X16667186, eae.sagepub.com
- Larinier, M. (2002). Location of fishways. In: M. Larinier, F. Travadeve J.P. Porcher (Eds). Fish ways: biological basis, design criteria and monitoring, *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 364:39-53.
- Lelek, A. (1980). The occurrence taxonomy and Future of trouts in North East Turkey, Report for European Committee for the Conservation of Nature and Natural Resources, 44 p.
- Neveu, A. (1999). Feeding strategy of the Brown trout (*Salmo trutta* L.) in running water. Baglinière, J.L. ve Maisse, G. (Eds) *Biology and Ecology of the Brown and Sea Trout*, Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK.
- Nikandrov, V., Shindavina, N.I. (2007). Characteristics of the hatchery-reared Black Sea salmon *Salmo trutta labrax*. *Journal of Ichthyology*, 47(2), 184-193. DOI: 10.1134/S0032945207020063
- Phiri, H., Shirakihara, K. (1999). Distribution and Seasonal Movement of Pelagic Fish in Southern Lake Tanganyika. *Fisheries Research* 41, 63-71.
- Radchenko, V.N., Aleyev, M.Y. (1997). Black Sea Salmon Hybridization and Spawning Sites Conservation. In: E. Özhan (Ed.), 11-14 November, MEDCOAST'97, Antalya.
- Richter, B. D., Baumgartner, J.V., Wigington, R., Braun, D.P. (1997). How much water does a river need?. *Freshwater Biology*, 37: 231-249. doi:10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x
- Solomon, D.J. (2000). The biology and status of the Black Sea Salmon *Salmo trutta labrax*, EU Tacis Black Sea Environmental Programme. Black Sea Salmon Project. Draft report, 24 pp
- Üstündağ, K. (2013). Balık geçitlerinin planlanmasında balık faunasının tespiti ve balık geçidi kriterlerinin belirlenmesi projesi: Solaklı ve Yanbolu dereleri sonuç raporu. Ar-Ge Proje No: 2011/2. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 52 s.
- Tabak, İ., Aksungur, M., Zengin, M., Alkan, A. (2001). Karadeniz alabalığının biyoekolojik özelliklerinin tespiti ve kültüre alınabilirliğinin araştırılması projesi. *TAGEM/HAY-SUD/98/12/01/2007*. Proje Sonuç Raporu. Trabzon, 193 s.
- Tahmircioğlu, M. S., Anul, N., Ekmekçi, F., Durmuş, N. (2014). Positive and Negative Impacts of Damson the Environment. <http://www.creditvalleyca.ca/wpcontent/uploads/2011/02/60.pdf>
- Vassilev, M., Trichkova, T. (2007). The Black Sea salmon is endemic *Salmo labrax* Pallas, 1811 (Pisces: Salmonidae)—a New Record for the Bulgarian Sector of the Danube River. *Acta Zoologica Bulgarica*, 59(1), 97-99.
- Zengin, M., Aksungur, M., Tabak, İ. (2002). Karadeniz kıyılarında dağılım gösteren Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*, PALLAS, 1811) populasyonunun gelişimini etkileyen faktörler. Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları IV. Ulusal Konferansı, 05-08 Kasım 2002, E. Özhan, N. Alparslan (Editörler), DESAM, İzmir.
- Zengin, M., Aksungur, M. (2008). Effects of environmental factors on the reproduction migration of the Black Sea trout (*Salmo trutta labrax*) in the Eastern Black Sea Region (Turkey). EIFAC (European Inland Fisheries Advisory Commission) Symposium on Interactions Between Social, Economic and Ecological Objectives of Inland Commercial and Recreational Fisheries and Aquaculture, 25th Session, 20-28 May, 2008, Antalya, Turkey.
- Zengin M., Aksungur, M. (2009). Karadeniz alabalığı (*Salmo trutta labrax*) populasyonun akarsu ve deniz ekosistemlerindeki göç mekanizması. Doğal Alabalık Çalıştay: Sürdürülebilir Yetiştiricilik, Koruma ve Balıklandırma Çalıştay, 22-23 Ekim 2009, Trabzon SÜMAE. Bildiriler Kitabı (Editörler: Aksungur, N., Çakmak, E.), s: 10-18.
- Zengin, M., Hacisalihoğlu, S., Gümüş, S., Akbulut, S. (2013). Doğu Karadeniz Bölgesinde faaliyette bulunan HES'lerden bırakılan telafi suyunun işletme sonrasında sucul ekosistem ve balık populasyonları üzerine olan etkileri: Trabzon, Arsin, Yanbolu Deresi örneği. FABA 2013 (Balıkçılık ve Akuatik Bilimler) Sempozyumu. 30 Mayıs-01 Haziran, 2013, Erzurum.

TURKISH JOURNAL OF AQUATIC SCIENCES

© Istanbul University Faculty of Aquatic Sciences

SHORT COMMUNICATION/İLETİŞİM YAZIŞMALARI ISSN: 2149-9659

E-ISSN: 2528-9462

KOI (*CYPRINUS CARPIO*) YAVRULARINDA FARKLI YEMLEME SIKLIĞININ BÜYÜMEYE OLAN ETKİSİ

Meryem ÖZ¹ ORCID ID: 0000-0002-7803-8207, Orhan ARAL¹ ORCID ID: 0000-0001-8550-9970,
Dilek ŞAHİN² ORCID ID: 0000-0003-4454-9030, Hatice ERİK³ ORCID ID: 0000-0001-8028-8726

¹Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Sinop, Türkiye

²Sinop Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, Sualtı Teknolojisi Programı, Sinop, Türkiye

³Yomra Gıda, Tarım ve Hayvancılık İlçe Müdürlüğü, Trabzon, Türkiye

ARTICLE INFO

Received: 12.06.2017

Accepted: 01.10.2017

Published online: 28.10.2017

Öz et al. 32(4): 208-213 (2017)

doi: 10.18864/TJAS201719

Corresponding author: Dilek ŞAHİN, Sinop
Üniversitesi Meslek Yüksekokulu Sualtı Teknolojisi
Programı, 57000 Sinop, Türkiye

E-mail: dilek_shn@hotmail.com

Anahtar Kelimeler:

Koi,
Cyprinus carpio,
Yemleme sıklığı,
Büyüme parametreleri

Keywords:

Koi,
Cyprinus carpio,
Feeding frequency,
Growth parameters

Öz

Bu çalışmada, farklı yemleme sıklığının (günde 2, 3, 5 defa) koi (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) yavrularının büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ortalama canlı ağırlıkları 0,015±0,001 g olan balıklar kullanılmıştır. 60 gün boyunca ticari akvaryum balık yemi ile canlı ağırlıklarının %18 oranında beslenmişlerdir.

Deneme sonunda ortalama canlı ağırlıklar ve ortalama canlı ağırlık artışı değerleri sırasıyla günde 2, 3 ve 5 defa yemlenen gruplar için 0,474±0,060 g, 0,494±0,090 g ve 0,579±0,050 g ve 0,459±0,055 g, 0,479±0,089 g, 0,564±0,046 g olarak tespit edilmiştir. Yem değerlendirme oranları sırasıyla 2,43±0,070, 2,89±0,340, 2,55±0,070, spesifik büyüme oranları sırasıyla 5,73±0,190, 5,77±0,300, 6,04±0,090; protein etkinlik oranları sırasıyla 0,89±0,02, 0,75±0,09, 0,81±0,02 ve yaşama oranları ise sırasıyla 70±11,5, 70±5,77, 66,66±3,33 olarak bulunmuştur. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda; ortalama canlı ağırlık artışı, yem değerlendirme oranları, spesifik büyüme oranları, protein etkinlik oranları ve yaşama oranları açısından gruplar arasındaki farkın önemsiz olduğu saptanmıştır (p>0,05).

Deneme verileri arasında istatistiksel bir fark olmamasına rağmen, büyüme değerleri (ortalama ağırlık kazancı ve spesifik büyüme oranı) yemleme sıklığı arttıkça artmıştır. En yüksek büyüme değerleri günde 5 defa yemlenen grupta elde edilirken, yem değerlendirme ve protein etkinlik oranlarının en ideal değerleri günde iki defa yemlenen grupta belirlenmiştir. Ayrıca yaşama oranı da en iyi değeri günde 2 ve 3 defa yemlenen grupta gösterirken en düşük değer günde 5 defa yemlenen grupta belirlenmiştir. Bundan dolayı günde iki defa yemleme yapılmasının yetiştiriciliğin ekonomikliğini bakımından önerilebileceği sonucuna varılmıştır.

Abstract

EFFECTS OF DIFFERENT FEEDING FREQUENCIES ON THE GROWTH OF KOI CARP (*CYPRINUS CARPIO*) FRY

This study was conducted to investigate the effects of feeding frequencies on the growth of koi carp. Juvenile (weight: 0.015±0.001 g) koi carp (*Cyprinus carpio*) were fed two, three, and five times per day with a ration comprising "granule fish feed" equivalent to 18% of their body weight during the entire experimental period of 60 days.

At the end of the experiment, the mean weight and the mean weight gain were 0.474±0.060, 0.494±0.090, 0.579±0.050 g; 0.459±0.055, 0.479±0.089, 0.564±0.046 g for the fish fed two, three, and five times per day, respectively. Feed conversion ratio, specific growth rate, protein efficiency ratio, and survival rate were found to be 2.43±0.070, 2.89±0.340, 2.55±0.070, 5.73±0.190, 5.77±0.300, 6.04±0.090, 0.89±0.02, 0.75±0.09; 0.81±0.02; 70±11.5, 70±5.77, and 66.66±3.33; respectively. No significant differences were observed among the fish groups fed with different frequencies in terms of weight gain, feed conversion ratio, specific growth rate, protein efficiency ratio, and survival rate (p>0.05).

Although no statistical difference was observed between the experimental data, growth values (mean weight gain and specific growth rate) were found to be increased with increasing feeding frequencies. In addition, despite the highest growth values in the group fed five times daily, the ideal values of feed conversion ratios and protein efficiency ratios were determined in the twice-daily fed group. The highest survival rate was observed in the fish group fed two or three times a day, whereas the lowest survival rate was found in the group fed five times a day. Therefore, the ideal feeding frequency would be twice a day in terms of the economy of aquaculture.

GİRİŞ

Koi balığı (*Cyprinus carpio*), tüm dünyada süs balıkları içerisinde oldukça tanınmış, ekonomik değeri yüksek türlerdir. Koi balığı, sazan balıklarının renkli bireyleridir. Sazan balıkları yavrularının ilk dönem yetiştiriciliğinde, balıkların beslenme (yem besin değeri, yemleme şekli) ve su koşulları (sıcaklık, O₂, pH vb.) en önemli iki faktördür. En iyi yem alımı ve değerlendirmesi 23-24°C'de olmaktadır. Genel olarak koi türünün %38-40 protein, %10-15 yağ, %8 selüloz içeren, suda uzun süre dağılmadan kalabilen pelet yemlerle beslenmeleri gerekmektedir (Akyıldız, 1992; Al-Noor ve ark., 2014; Hekimoğlu ve ark., 2014; Weerasingha ve ark., 2017; Khani ve ark., 2017).

Yavru balıkların ilk dönem beslenmesinde yeterli yem alabilmesi homojen bir büyüme için gereklidir. Aksi takdirde yetiştiriciliğin ilk aşamalarında yeterli yem alamayıp popülasyona oranla küçük kalan balıklar çeşitli nedenlerden dolayı (açlık, kanibalizm) ölmekte ve yetiştiricilik başarı oranı da düşmektedir. Balık yetiştiriciliğinde, özellikle de yavru ve larva aşamasında, çeşitli biyotik (stoklama yoğunluğu, boy farklılığı) ve abiyotik faktörler (su sıcaklığı, ışık yoğunluğu, yem kalitesi) bazı balık türlerinde kanibalizmi tetikleyen unsurlardır. Yem ve yemleme şekli yavruların ilk dönem yetiştiriciliğinde farklı oran ve boylarda büyümelerine neden olmakta, küçük kalan balıklar gerek yeterli yem alamamaları gerekse büyük balıklar tarafından av olarak görülmeleri sebebiyle bu dönemde balıklarda önemli kayıplar oluşmaktadır (Van Damme ve ark., 1989; Kestemont ve ark., 2003; Altaff ve Janakiraman, 2013; Öz ve ark., 2016).

Alpbaz (2005) *Cyprinus carpio* larvalarının ilk 3 aylık süreçte günde en az 5 defa yemleme yapılması gerektiğini, ayrıca bu türlerin suda geç dağılma özelliği gösteren yemlerle beslenmesi gerektiğini de belirtmiştir. Çünkü larvaların çok yoğun tutuldukları ortamlarda koşulların çok iyi olmayacağını, bazılarının yeterli gıdayı bulamayarak gelişemeyeceği bildirmektedir.

Roshanthini ve ark. (2016) ise koi türü ile yaptıkları bir çalışmada stok yoğunluğunu 0,5 balık/l (0,6 g/l) olarak uygulamışlardır. Al-Noor ve ark. (2014) 0,68 g'lık *Cyprinus carpio* yavrularını 57 l'lik akvaryumlara 30 adet olacak şekilde stoklamışlardır. Zaki ve ark. (1994) ise *Cyprinus carpio* yavrularını 1. denemede

105 l'lik akvaryumlara 10 adet, 2. denemede 35 l'lik akvaryumlara 10 adet olacak şekilde stoklamışlardır. Vasudhevan ve ark. (2014), 1,05 gramlık koi yavrularını 70 litrelik tanklara 10 adet olacak şekilde stoklamışlardır. Gümüş ve Aydın, (2013), 0,39 gramlık *Cyprinus carpio* yavrularını ile yürüttükleri çalışmada 65 litreye 20 adet (0,12 g/l) stoklama yapmışlardır.

Günlük verilen öğün sayısının, büyüme ve yemden yararlanma yeteneğini etkileyen en önemli faktörlerden olduğu bildirilmektedir. Yemleme sıklığının açlığı azalttığı, minimum yem artışı oluşturduğu ve homojen büyüme sağladığı belirtilmektedir. Genel olarak sazan balıklarında günlük yemleme; günde 4-6 öğün arasında değişmekle birlikte balık büyüdükçe öğün sayısının azaltılarak günde 1 ya da 2 öğüne kadar düşürülebildiği ve ön beslemesi yapılmış sazan yavrularına stoğun %12-20'si oranında yem verilebileceği bildirilmektedir (Bilgüven, 2002; Sultana ve ark., 2001). Al-Noor ve ark. (2014), 0,68 g'lık *Cyprinus carpio* yavrularını %42 ham proteinli yem ile vücut ağırlıklarının %10'u oranında günde 2 defa; Zaki ve ark. (1994) ise *Cyprinus carpio* yavrularını vücut ağırlıklarının %10'u oranında günde 2 defa; Weerasingha ve ark. (2017), 0,58 g'lık koileri vücut ağırlıklarının %4-10'u oranında günde 3 defa; Roshantini ve ark. (2016), 1,20 g'lık koi yavrularını günde 4 defa; Janakiraman ve Altaff (2014), 0,02 g'lık koileri günde 2 defa; Hekimoğlu ve ark. (2014), koi larvalarının canlı ağırlıklarının %10'u oranında; Sultana ve ark. (2001), 6,87 g'lık *Cyprinus carpio* yavrularını günde 2, 3, 4, 5 ve 6 defa canlı ağırlığın %5'i oranında beslemişlerdir.

Bu çalışmada, farklı yemleme sıklığının (günde 2, 3, 5 defa) koi (*Cyprinus carpio* Linnaeus, 1758) yavrularının büyümesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada ortalama canlı ağırlıkları 0,015±0,001 g olan balıklar litreye 1 adet balık (0,02 g/l) olacak şekilde stoklanmış ve 60 gün boyunca ticari akvaryum yemi ile canlı ağırlıklarının %18 oranında beslenmişlerdir.

MATERYAL VE METOT

Denemede aynı yumurtlama periyodundaki yumurtalardan çıkan ve kuru pelet yeme geçiş süreci tamamlanmış olan 2 aylık koi yavrularını kullanılmıştır. Yavrular Sinop Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Akvaryum Ünitesi'ndeki anaç balıklardan (1 dişi/1 erkek balık) elde edilmiştir. Balıklar, içerisinde su bulunan 120x120x50 cm ölçülerindeki

fiberglas tankta bulunan 10 l'lik (12 adet) deneme akvaryumlarına yerleştirilmiştir. Tanktaki su sıcaklığının sabit tutulması ($24\pm 1^\circ\text{C}$) amacıyla termostatlı ısıtıcı kullanılmıştır. Hava filtresi yardımıyla su sıcaklığının her tarafa homojen bir şekilde dağılması sağlanmıştır. Deneme başlangıcında tüm balıklar ve yemler 0,0001 g hassasiyetteki terazi kullanılarak tartılmıştır. Araştırma üç tekerrürlü üç farklı grupta gerçekleştirilmiştir. Her bir gruba stok yoğunluğu 0,02 g/l (1 balık/l) olacak şekilde ve ortalama ağırlığı $0,015\pm 0,001$ g olan toplam 30 adet koi yavrusu yerleştirilmiş ve deneme 60 gün devam etmiştir (Zaki ve ark., 1994; Sultana ve ark., 2001; Vasudhevan ve ark., 2014; Azap ve ark., 2016; Roshantini ve ark., 2016).

Denemede, balıklar 3 farklı yemleme sıklığında (günde 2, 3 ve 5 defa olacak şekilde) vücut ağırlıklarının %18'i oranında yemlenmişlerdir (Sultana ve ark., 2001; Bilgüven, 2002; Harpaz ve ark., 2005; Al-Noor ve ark., 2014). Yemleme saatleri; günde 2 defa yemlenen grup için 9.30 ve 16.30; günde 3 defa yemlenen grup için 9.30, 12.30 ve 16.30; günde 5 defa yemlenen grup için 9.30, 11.30, 13.00, 14.30 ve 16.30 olarak düzenlenmiştir. Yemleme oranı ve yemin büyüklüğü belirlenirken, balıkların alacağı yem miktarı ve yem boyutunun uygunluğu (0,5 mm) gözleme ile belirlenmiştir. Deneme yemi piyasadan temin edilen (Tetra marka) ve ürün etiketinde belirtilen kimyasal yapısının Tablo 1'de sunulduğu granül yemdir.

Akvaryum ve tank içerisindeki su sıcaklığı dijital termometre ile her gün ölçülmüş, sıcaklık etkisi ile oluşan su kayıpları aynı sıcaklıktaki dinlendirilmiş su ilavesiyle giderilmiştir.

İki aylık deneme süresi boyunca 15 günde bir olmak üzere balıkların ağırlıkları toplu tartım yapılarak alınmıştır. Deneme gruplarına ait verilerin değerlendirilmesinde tek yönlü varyans analizinden (ANOVA) yararlanılmıştır (Zar, 1984). Parametrik olmayan değerler için Kruskal-Wallis analizi kullanılmıştır. İstatistik analizler yapılırken hata payı 0,05 olarak seçilmiş ve Minitab firmasına ait 17.2.1 versiyon Minitab 17 paket programı kullanılmıştır.

Deneme süresi içerisinde elde edilen tüm verilerin ortalama değerleri hesaplanmış ve sonuçlara göre farklı yemleme sıklığı grupları arasındaki canlı ağırlık artışı (CAA), spesifik büyüme oranı (%) (SBO), toplam canlı ağırlık artışı (g) (TCAA), yem değerlendirme oranı (YDO), protein etkinlik oranı (PEO) ve yaşama oranı (%) (YO) değerleri ilgili literatürler ışığında değerlendirilmiştir (Düzgüneş ve ark., 1993; Weerasingha ve ark., 2017).

Tablo 1. Deneme yeminin kimyasal yapısı.

Table 1. Chemical ingredients of experimental diet.

Ham besin maddeleri	Miktarı (%)
Ham protein	47,5
Ham yağ	6,5
Ham kül	10,5
Ham selüloz	2,0
Nem	6,0

Tablo 2. Günde 2, 3 ve 5 defa 60 gün süre ile yemlenen koi (*Cyprinus carpio*) yavrularının deneme başı ve sonu ortalama canlı ağırlıkları (ort.±SH).

Table 2. Initial weight and final weight of koi (*Cyprinus carpio*) fry fed one, three and five times per day during 60 days rearing period (mean±SE).

Deneme grupları	Den. başı ort. canlı ağı. (g)	Den. sonu ort. canlı ağı. (g)
Günde 2 defa yem	0,015±0,001	0,474±0,060
Günde 3 defa yem	0,015±0,001	0,494±0,090
Günde 5 defa yem	0,015±0,001	0,579±0,050

Canlı Ağırlık Artışı (g)=Deneme Sonu Ortalama Ağırlık (g)-Deneme Başı Ortalama Ağırlık (g)....(1)

Spesifik Büyüme Oranı (SBO, %/gün⁻¹)= $\frac{\ln \text{Son Ağ. (g)} - \ln \text{İlk Ağ. (g)}}{t_2 - t_1 (\text{gün})} * 100$(2)

Toplam Canlı Ağırlık Artışı (g)=Ağırlık Artışı (g)+Ölen balıkların ağırlığı.....(3)

Yem Değerlendirme Oranı=Deneme Süresince Tüketilen Toplam Yem Miktarı (g)/Toplam Canlı Ağırlık Artışı (g).....(4)

Protein Etkinlik Oranı=Canlı Ağırlık artışı (g)/Protein Alımı (g).....(5)

Yaşama Oranı (%)=Deneme Sonu Balık Sayısı/Deneme Başı Balık Sayısı*100.....(6)

BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneme başında tüm balıkların ortalama ağırlıkları ($0,015\pm 0,001$ g) hesaplanmış ve deneme grupları arasında başlangıç ağırlıkları açısından önemli bir fark olmadığı tespit edilmiştir ($p>0,05$). 60 gün sonunda, vücut ağırlıklarının %18'i oranında günde 2, 3 ve 5 defa yemlenen gruplar için sırasıyla, vücut ağırlıkları ortalama $0,474\pm 0,060$ g, $0,494\pm 0,090$ g, $0,579\pm 0,050$ g (Tablo 2) ve ölü balık sayıları 9 adet, 9 adet, 10 adet olarak belirlenmiştir.

Tablo 3. Günde 2, 3 ve 5 defa 60 gün süre ile yemlenen koi (*Cyprinus carpio*) yavrularına ait ortalama CAA, SBO, YDO, PEO ve YO*. (CAA: canlı ağırlık artışı; SBO: spesifik büyüme oranı; YDO: yem değerlendirme oranı; PEO: protein etkinlik oranı; YO: yaşama oranı).

Table 3. WG, SGR, PER, FCR and SR of koi (*Cyprinus carpio*) fry fed one, three and five times per day during 60 days rearing period (mean±SE). (WG: weight gain; SGR: specific growth rate; PER: protein efficiency ratio; FCR: feed conversion ratio; SR: survival rate).

	2	3	5
Canlı ağırlık artışı (g)	0,459±0,055	0,479±0,089	0,564±0,046
Spesifik büyüme oranı (%/gün-1)	5,73±0,190	5,77±0,300	6,04±0,090
Protein etkinlik oranı	0,89±0,02	0,75±0,09	0,81±0,02
Yem değerlendirme oranı	2,43±0,070	2,89±0,340	2,55±0,070
Yaşama oranı (%)	70±11,5	70±5,77	66,66±3,33

*İstatistik analizler yapılırken hata payı 0,05 olarak seçilmiştir.

Deneme süresince su sıcaklık ortalaması, 22,76±0,09°C olarak belirlenmiştir. Balıklara ait ortalama canlı ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı (SBO, %/gün⁻¹), protein etkinlik oranı (PEO), yem değerlendirme oranı (YDO) ve yaşama oranları Tablo 3'de gösterilmiştir.

Yapılan bu çalışmada, aynı partide yumurtadan çıkmış iki aylık koi (*Cyprinus carpio*) yavrularının büyüme oranlarının optimum düzeylere ulaşabilmesi için farklı yemleme sıklıklarının etkisi incelenmiştir. 60 gün sonunda, vücut ağırlıklarının %18'i oranında günde 2, 3 ve 5 defa yemlenen gruplar için sırasıyla, spesifik büyüme oranları 5,73±0,190, 5,77±0,300, 6,04±0,090; protein etkinlik oranları 0,89±0,02, 0,75±0,09, 0,81±0,02, yem değerlendirme oranları 2,43±0,070, 2,89±0,340, 2,55±0,070 ve yaşama oranları ise 70±11,5, 70±5,77, 66,66±3,33 olarak bulunmuştur.

Al-Noor ve ark. (2014), 0,68 g'lık *Cyprinus carpio* yavrularını %42 ham proteinli ve %12 ham yağ içerikli yem ile vücut ağırlıklarının %10'u oranında günde 2 defa besledikleri ve su sıcaklığı 28°C olduğu çalışmada; SBO %3,18-3,22 arasında, YDO 2,10-2,15 arasında, PEO 1,18-1,47 arasında ve yaşama oranı ise %94,4-96,7 arasında belirlendiğini bildirmektedir.

Roshantini ve ark. (2016), 1,20 g'lık koi yavrularını günde 4 defa, farklı içeriklerdeki yem ile besledikleri 31 gün süreli çalışmada; su sıcaklık değerlerinin 27,4 ile 29,56°C arasında, SBO %5,986-6,332 arasında, YDO 0,043-0,049 arasında ve yaşama oranı ise %50-80 arasında belirlendiğini bildirmektedir.

Janakiraman ve Altaff (2014), koi larvalarını (0,02 gram) pelet yem ve 4 farklı canlı yem ile 35 gün süresince günde 2 defa yemledikleri çalışmada, su sıcaklık değerini 25°C olarak, SBO en yüksek %0,20 ile canlı yem ve en düşük % 0,08 ile pelet yem grubunda ve yaşama oranı yine benzer şekilde en yüksek %75 ile canlı yem, en düşük %35 ile

pelet yem grubunda belirlenmiştir. Kanibalizm oranı da canlı yem gruplarında %19,67-27,33 arasında iken, pelet yem grubunda %48,66 oranına kadar yükselmiştir.

Yeşilayer ve ark. (2011) deneme başlangıç ağırlıkları 0,12 g olan koi yavruları ile 65 gün süre ile yürüttükleri çalışmada farklı protein kaynakları ile hazırlanan yemler (protein içeriği %35,11-35,75 ve yağ içeriği %9,17-9,36) ile doyuncaya kadar günde 2 defa yemleme yapıldığını bildirmektedirler. Bu çalışmada, su sıcaklık değeri 24°C olarak, SBO %1,48-2,065 arasında, YDO 2,262-3,887 arasında, PEO 0,94-1,243 arasında belirlendiğini bildirmektedir.

Zaki ve ark. (1994) ise 0,92 gramlık *Cyprinus carpio* yavrularını vücut ağırlıklarının %4-%10 arasındaki oranlarda günde 2 defa besledikleri 98 gün sonunda; 2 denemenin birincisinde SBO 0,90-1,22 arasında, YDO 3,06-4,80 arasında ve PEO 0,73-1,02 arasında; ikincisinde SBO 0,69-0,91 arasında, YDO 5,12-6,42 arasında ve PEO 0,54-0,70 arasında belirlenmiştir.

Sultana ve ark. (2001), 6,87 g'lık *Cyprinus carpio* yavrularını günde 2, 3, 4, 5 ve 6 defa canlı ağırlığın %5'i oranında, %33,34 ham protein ve %11,53 yağ içerikli yemle, 45 gün süre ile beslemişlerdir. Araştırma sonunda SBO %2,53 (günde 6 defa) ve %3,24 (günde 4 defa) arasında, YDO 1,22 (günde 4 defa) -1,78 (günde 2 defa) arasında, PEO 1,68 (günde 2 defa) -2,48 (günde 4 defa) arasında belirlendiğini bildirmektedirler.

Bu araştırma sonunda elde edilen veriler, balık türü, balık büyüklüğü, yem içeriği, su koşulları, stoklama koşulları ve yemleme sayısı gibi koşullarla bu çalışmaya en yakın özellikteki (yukarıda özetlenen) çalışmalarda elde edilen verilere göre değerlendirilmiştir. Yukarıda özetlenen benzer çalışmalar ile bu denemenin verileri kıyaslandığında, yakın değerler

olduğu ve aradaki farklılıkların başlangıç balık büyüklüğü, su sıcaklığı ve yem içeriği gibi bazı çalışma koşullarının tam olarak birbiri ile örtüşmemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Su ürünleri yetiştiriciliğinde türe özgü yemleme stratejilerinin belirlenmesi başarıyı doğrudan etkileyen faktörlerdendir. Bu çalışmaya konu olan koi balığının ilk dönem yetiştiriciliğinde de beslenme stratejileri yetiştiricilik başarısını doğrudan etkilemektedir. Ekonomik değeri yüksek olan bu türün ilk dönem yetiştiriciliğinde karşılaşılan başta kanibalizm sorunu olmak üzere diğer sorunların aşılabilmesi için konuyla ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve bu araştırmalarda bulguların yeni araştırmalar ile detaylandırılması gerektiği vurgulanmıştır (Hekimoğlu ve ark. 2014; Jha ve ark. 2004; Altaff ve Janakiraman, 2013). Koi balığı ile yapılan bazı araştırmalarda da bildirildiği gibi, bu çalışmada belirlenen balık ölümlerinin doğal ölüm sebeplerine dayanmasının yanı sıra kanibalizm kaynaklı ölümlerinde yaşandığı gözlemlenmiştir (Van Damme ve ark., 1989; Altaff ve Janakiraman, 2013; Janakiraman ve Altaff 2014; Öz ve ark., 2016).

Bu araştırma sonucunda elde edilen veriler, yavru dönemindeki balıklarda yemleme sıklığının etkisinin araştırıldığı yakın çalışmalar ile karşılaştırıldığında; bazı araştırmalar ile farklılık gösterdiği yani yemleme sıklığının büyüme parametrelerini etkilediği (Sultana ve ark., 2001; Choudhury ve ark., 2002; Zhou ve ark., 2003; Gökçek ve ark., 2008; Daudpota ve ark., 2016); bazı araştırmalar ile benzerlik gösterdiği yaşama oranı ve boyut farklılığı (Zhou ve ark. 2003); yem değerlendirme oranı ve yaşama oranı (Gökçek ve ark., 2008; Eyo ve Ekarem, 2011) ve büyüme parametrelerinin (Carlos, 1988; Zakes ve ark., 2006) yemleme sıklığından etkilenmediği belirlenmiştir. Araştırmalar arasındaki bu farklılıkların başta balık türü olmak üzere, balık büyüklüğü, stoklama yoğunluğu, su ve yemleme koşulları gibi nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

SONUÇ

Sonuç olarak bu araştırmada; günde 2, 3 ve 5 defa yemleme yapılan deneme grupları arasında ortalama canlı ağırlık artışı, spesifik büyüme oranı, protein etkinlik oranı, yem değerlendirme oranı ve yaşama oranları bakımından istatistiksel olarak farklılıkların bulunmayışı ($p>0,05$), bu çalışmaya benzer kültür koşulları için balık büyümesi ve sağlığı, yetiştiriciliğin pratikliği-uygulanabilirliği, işçilik maliyetleri gibi faktörlerde göz önünde bulundurularak yemleme sıklığının günde 2 defa olarak uygulanmasının yeterli olacağı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Akyıldız, A.R. (1992). Balık yemleri ve teknolojisi. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ders Kitabı, Ankara, s192.
- Al-Noor, S.S., Jasim, B.M., Najim, S.M. (2014). Feeding and growth efficiency of common carp *Cyprinus carpio* l.fry feed fish biosilage as a partial alternative for fish meal. *Global Journal of Biology, Agriculture & Healty Sciences*, 3(2), 81-85.
- Alpbaz, A. (2005). Su ürünleri yetiştiriciliği. Alp Yayınları, İzmir, s548.
- Altaff, K. & Janakiraman, A. (2013). Impact of different feeds on cannibalism in early larval stages of koi carp (*Cyprinus carpio*). *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 1(4), 35-39.
- Azab, A.M., Khalaf-Allah, H.M.M, Maher, H. (2016). Effect of some food additives on growth performance of koi fish, *Cyprinus carpio* (Linnaeus, 1758). *International Journal of Environmental Sciences and Engineering (IJESE)*, 7, 73-83.
- Bilgüven, M. (2002). Yemler bilgisi, yem yeknolojisi ve balık besleme. Akademisyen Yayınevi, Rize, s446.
- Carlos, M.H. (1988). Growth and Survival of Big-head Carp (*Aristichthys nobilis*) Fry Fed at Different Intake Levels and Feeding Frequencies. *Aquaculture*, 68(3), 267-276.
- Choudhury, B.B.P., Das, D.R., Ibrahim, M.D., Chakraborty, S.C. (2002). Relation between feeding frequency and growth of one indian major carp *Labeo rohita* (Ham.) Fingerlings fed on different formulated diets. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 5(10), 1120-1122.
- Daudpota, A.M., Abbas, G., Kalhoro, I.B., Shah, S.S.A., Kalhoro, H., Hafeez-ur-Rehman, M., Ghaffar, A. (2016). Effect of Feeding frequency on growth performance, feed utilization and body composition of juvenile nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) reared in low salinity water. *Pakistan Journal of Zoology*, 48(1), 171-177.
- Düzgüneş, O., Kesici, T., Gürbüz, F. (1993). İstatistik Metodları, II. Baskı, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1291, Ankara, Ders Kitabı: 369.
- Eyo, V.O., Ekarem, A. (2011). Effect of feeding frequency on growth, food utilization and survival of african catfish (*Clarias gariepinus*) using locally formulated diet. *African Journal of Environmental Pollution and Health*, 9(2), 11-16.

- Gümüş, E., Aydın, B. (2013). Effect of poultry by-product meal on growth performance and fatty acid composition of carp (*Cyprinus carpio*) Fry. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 13, 827-834. Doi:10.4194/1303-2712-v13_5_06.
- Gökçek, C.K., Mazlum, Y., Akyurt, İ. (2008). Effect of Feeding Frequency on The Growth and Survival of Himri Barbel *Barbus luteus* (Hekkel, 1843), Fry under Laboratory Conditions. *Pakistan Journal of Nutrition*, 7(1), 66-69.
- Harpaz, S., Slosman, T., Segev, R. (2005). Effects of feeding guppy fish fry (*Poecilia reticulata*) diets in the form of powder versus flakes. *Aquaculture Research*, 36, 996-1000.
- Hekimoğlu, M.A., Suzer, C., Saka, Ş., Fırat, K. (2014). Enzymatic characteristics and growth parameters of ornamental koi carp (*Cyprinus carpio* var koi) Larvae Fed by *Artemia nauplii* and Cysts. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 14, 125-133. Doi:10.4194/1303-2712-v14_1_14.
- Janakiraman, A. & Altaff, K. (2014). Koi carp (*Cyprinus carpio*) larval rearing with different zooplankton life feeds to evaluate their suitability and growth performance. *International Journal of Research in Fisheries and Aquaculture*, 4(4), 181-185.
- Jha, P., Sarkar, K., Barat, S. (2004). Effect of Different Application rates of cowdung and poultry excreta on water quality and growth of ornamental carp, *Cyprinus carpio* var. Koi, in Concrete Tanks. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 4, 17-22.
- Kestemont, P., Jourdan, S., Houbart, M., Melard, C., Paspatis, M., Fontaine, P., Cuveir, A., Kentouri, M., Baras, E. (2003). Size heterogeneity, cannibalism and competition in cultured predatory fish larvae: biotic and abiotic influences. *Aquaculture*, 227, 333-356.
- Khani, M., Soltani, M., Shamsaie Mehrjan, M., Foroudi, F., Ghaeni, M. (2017). The effects of *Chlorella vulgaris* supplementation on growth performance, blood characteristics, and digestive enzymes in koi (*Cyprinus carpio*). *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 16(2), 832-843.
- Öz, M., Şahin, D., Karşlı, Z., Öz, Ü., Aral, O. (2016). Koi balığının (*Cyprinus carpio* L., 1758) ilk dönem yetiştiriciliğinde bazı morfometrik ölçümler, büyüme farklılığı ve kanibalizm. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 12, 92-100.
- Roshanthini, R., Vanmathi, S., Yuvaraj, D. (2016). Fortified feed for fresh water fish culture: A pilot study. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(5), 433-437.
- Sultana, S.M., Das, M., Chacrabarti, S.C. (2001). Effect of feeding frequency on the growth of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fry. *Bangladesh Journal of Fisheries Research*, 5(2), 149-154.
- Van Damme, P., Appelbaum, S., Hecht, T. (1989). Sibling Cannibalism in koi carp, *Cyprinus carpio* L., larvae and juveniles reared under controlled conditions. *Journal Fish Biology*, 34, 855-863.
- Vasudhevan, I., Asokan, K., Priya, S., Rakitha, K., Roja, V., Santhi, R. (2014). Effect of pH on growth and feeding in koi carp, *Cyprinus carpio* var. Koi. *International Journal of Research in Biological Sciences*, 4(1), 31-34.
- Weerasingha, R., Soorasena, W.G.C.U., Athukorala, D.A. (2017). Utilization of minor cyprinids (*Dawkinsia singhala* and *Puntius Chola*) from Reservoirs as protein sources for feeds of juvenile koi carp (*Cyprinus carpio*). *Sri Lanka Journal of Aquatic Sciences*, 22(1), 39-44.
- Yeşilayer, N., Oz, M., Karşlı, Z., Aral, A., Karacuha, A., Oz, U. (2011). Growth performance and feed utilization of koi carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). Fed partial or total replacement of fish meal with hazelnut meal and soybean meal. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 10(15), 1956-1961.
- Zakes, Z., Kowalska, A., Czerniak, S., Zakes, K.D. (2006). Effect of feeding frequency on growth and size variation in juvenile pikeperch, *Sander lucioperca* (L.). *Czech Journal of Animal Science* 51(2), 85-91.
- Zaki, M.A., Nour, A.M., Omar, E., El-Din, A.E.T. (1994). The use of seaweed meal in feeding common carp (*Cyprinus carpio* L.). *AJAS*, 7(2), 183-189.
- Zar, J.H. (1984). Biostatistical analysis, department of biological sciences, Northern Illinois University, p718.
- Zhou, Z., Cui, Y., Xie, S., Zhu, X., Lei, W., Xue, M., Yang, Y. (2003). Effect of feeding frequency on growth, feed utilization and size variation of juvenile gibel carp (*Carassius auratus gibelio*). *Journal Application of Ichthyology*, 19: 244-249.

YÜZEYSEL SULARDA AĞIR METALLERİN ETKİLERİ VE ÖTROFİKASYON İLE İLİŞKİSİ

Emine METİN DERELİ^{1,2} ORCID ID: 0000-0001-5073-3833, Ali ERTÜRK³ ORCID ID: 0000-0002-3532-2961, Mehmet ÇAKMAKÇI² ORCID ID: 0000-0003-4784-6006

¹TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye

²Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

³İstanbul Üniversitesi Su Bilimleri Fakültesi, Su Ürünleri Temel Bilimler Bölümü, İstanbul, Türkiye

ARTICLE INFO

Received: 03.08.2017

Accepted: 09.10.2017

Published online: 28.10.2017

Metin Dereli et al. 32(4): 214-130 (2017)

doi: 10.18864/TJAS201720

Corresponding author: Emine METİN DERELİ, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye

E-mail: emine.metin@tubitak.gov.tr

Anahtar Kelimeler:

Ağır metal,
Ötrofikasyon,
Biyoakümülyasyon,
Sediman,
Toksisite,
Su Kimyası

Keywords:

Heavy metal,
Eutrophication,
Bioaccumulation,
Sediment,
Toxicity,
Water chemistry

Öz

Ağır metaller sucul ekosistemlere doğal kaynakların yanı sıra artan antropojenik baskılar (kentsel ve endüstriyel baskılar, yayılı kaynaklı baskılar, jeotermal kaynaklı baskılar) ile ulaşmaktadır. Bu çalışmada, sucul canlılarda kanserojenik, birikimcilik ve toksik etki yapan ağır metallerin göllerde doğal bir süreç olan ötrofikasyon ile ilişkisi incelenmiştir. Ağır metallerin sucul ortamlardaki taşınım, çözünme, çökelme, kompleks oluşumu, adsorpsiyon ve biyoakümülyasyon mekanizmaları oldukça karmaşık süreçler olup, suyun fizikokimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Ötrofikasyon prosesi ise sucul ortamların birçok fizikokimyasal özelliğini etkilemektedir. Ağır metallerin sucul ortamlardaki davranışları ile ötrofikasyon prosesinin karşılıklı etkileşimi sucul ortamın fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalitesi üzerinde önemli etkilere sebep olmaktadır. Buna göre, ağır metal kirliliğine bağlı olarak sucul canlılarda tür sayısının azaldığı, bazı türlerin ortamdaki kaybolduğu ya da ağır metallerle toleransı yüksek olan türlerin ortamdaki baskın olduğu görülebilmektedir. Özellikle sucul canlıların karaciğer, solungaç gibi dokularında birikmekte ve besin zincirine girişim yapabilmektedir. Ayrıca sedimanda depolanan metaller, sedimanda gerçekleşen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedirler.

Abstract

THE EFFECT OF HEAVY METALS IN SURFACE WATER AND THEIR RELATIONSHIP WITH EUTROPHICATION

Heavy metals reach aquatic ecosystems from increasing anthropogenic pressures (urban and industrial pressure, diffuse sources, and geothermal-driven pressure) as well as natural sources. In this study, the relationship between heavy metals, which are carcinogenic, accumulating, and toxic to aquatic life, and eutrophication, which is a natural process that occurs in lakes, was investigated. The transport, dissolution, precipitation, complex formation, adsorption, and bioaccumulation mechanisms of heavy metals in aquatic environments are highly complex processes influenced by the physicochemical properties of the water. Eutrophication affects many physicochemical properties of the aquatic environment. The interactions between the behavior of heavy metals and eutrophication process have important effects on the physical, chemical and biological quality of water. Thus, the number of species decreases in aquatic ecosystems due to heavy metal pollution; some species disappear from the environment or species with high heavy metal tolerance become dominant in the environment. In particular, heavy metals accumulate in the liver and gill-like tissues of aquatic organisms and interfere with the food chain. In addition, the metals stored in sediments are directly or indirectly affected by oxidation/reduction reactions occurring in the sediments.

GİRİŞ

Metaller ve ağır metallerin birçoğu (kalsiyum, sodyum, potasyum, demir, çinko, kobalt, bakır, nikel, mangan) canlıların yaşamı için gerekli karbon, azot ve fosfor kadar önemli nutrientler (iz element) arasındadır. Ancak, ağır metallerin sucul ortamda yüksek konsantrasyonlarda bulunması, canlılarda oluşturdukları birikicilik, toksisite, kanserojen etkileri nedeni ile en önemli kirleticiler arasında değerlendirilmelerine de sebep olmaktadır. Rüzgar, akarsu, atmosferik taşınım yoluyla ve kayaç-su etkileşim sürecine bağlı olarak sucul ortama doğal olarak giren ağır metallerin, özellikle 19. yüzyıl sonlarında başlayan sanayi devrimi ile birlikte sucul ortamlara taşınımı ve sucul ekosistemlerindeki konsantrasyonu hızlı bir artış göstermiştir. Bu durum özellikle göl sedimanlarında biriken ağır metal konsantrasyonlarının incelenmesi ve sediman yaşını belirlemek için kullanılan paleontolojik analizler (^{14}C) ile bilimsel olarak ortaya koyulmuştur (Ra ve ark., 2011; Conaway ve ark., 2012). Thevenon ve ark. (2011), İsviçre'deki Lucerne ve Meidsee Gölleri'nden alınan sedimanlarda ağır metal birikimini tarih öncesi dönemlerden günümüze kadar incelemişlerdir. Bronz çağında bölgedeki madencilik faaliyetlerinin kurşun (Pb) ve civa (Hg) birikimini arttırdığını ancak insan kaynaklı birikimin doğal birikim ile karşılaştırıldığında çok büyük bir etkisinin olmadığını belirlemişlerdir. Antropojenik kaynaklı Pb ve Hg birikimi özellikle Roma İmparatorluğu (M.Ö. 300–M.S. 400), orta çağ dönemi (M.S. 1400), erken modern Avrupa (M.S. 1600) dönemlerinde artan madencilik faaliyetlerine bağlı olarak artmıştır. Ancak en önemli etkinin 1850'lerdeki sanayi devrimi ile gerçekleştiği ve 20. yüzyıl sanayi faaliyetlerinin göllere Pb ve Hg taşınımını doğal taşınımına kıyasla 10 kat arttırdığını belirlemişlerdir.

Barros de Oliveira ve ark. (2012), Brezilya'nın güneydoğusunda bulunan Lagoa Vermelha Gölü sedimanının dikey profilinde ağır metal birikimini incelemişlerdir. Sedimanda yapılan ^{14}C analizinde alınan sediman örneğinin yaşı 2430 olarak belirlenmiş ve özellikle son 180 yılda ağır metal konsantrasyonlarının önemli derecede değiştiği belirlenmiştir. Özellikle kurşun (Pb), çinko (Zn), gümüş (Ag), civa (Hg) ve nikel (Ni) birikiminin son 50 yılda arttığı ve bunun sebebinin gölün uzak çevresindeki madencilik ve taşımacılık faaliyetleri sonucu atmosfere salınan metallerin taşınım ile göle ulaşması olduğu belirlenmiştir. Benzer sonuçlar, Almanya'da madencilik ve demir çelik sanayisinin baskısı altındaki SüBer See Gölü için de

rapor edilmiştir (Becker ve ark., 2001). Göl sedimanındaki ağır metal birikim profili incelendiğinde 1950 – 2000 yılları arasında Pb, Zn, Cu miktarının 7,5–15 kat arttığı belirlenmiştir. Çin'in kuzey bölgesinde bulunan Baiyangdian Gölü'nde yapılan bir çalışmada sedimanın yaşı ^{210}Pb izotop tekniği kullanılarak belirlenmiş ve sedimandaki ağır metallerin 1859-2011 yılları arası değişimi incelenmiştir (Guo ve ark., 2015). Çalışmada, sedimandaki arsenik (As) konsantrasyonunun 1900-1910 ve 1960-1970 yılları arasında önemli derecede arttığı belirlenmiştir. Bunun sebebinin, bölgede açılan demir-çelik sanayi ve As içeren pestisitlerin kullanımını olduğu düşünülmektedir. Sedimandaki Cd, Pb ve Hg konsantrasyonlarının da sırasıyla 1970, 1990 ve 1958'den itibaren arttığı görülmüştür. Bu durum bölgede açılan makine endüstrisi, kömür ile çalışan termik santral ve kurşunlu benzinin kullanımını ile ilişkilendirilmiştir.

Yüzey ve yeraltısularındaki inorganik kirleticilerin en önemlilerinden olan ağır metallerin sucul ortamlardaki miktarları, taşınım ve birikim mekanizmaları birçok farklı parametreye bağlı olarak değişen karmaşık süreçlerdir. Doğal süreçler, evsel ve endüstriyel atıklarla sucul ortama giren ağır metaller, sedimanın bünyesine geçinceye kadar su içerisinde birçok fiziksel ve biyokimyasal döngüler içerisinde yer almaktadırlar. Zamanla metal içeriği bakımından doygun hale gelen sediman tabakası, bünyesinde bulundurduğu metalleri tekrar su kütlesine bırakma eğilimine geçer. Ayrıca sedimanda depolanan metaller, sedimanda gerçekleşen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedirler (Şener ve Şener, 2015).

Özellikle göllerde gerçekleşen ve doğal bir süreç olan ötrofikasyon, son yıllarda antropojenik baskılar nedeniyle oldukça hızlanmıştır. Ötrofikasyon süreci sucul ortamın birçok fizikokimyasal özelliğini etkilemektedir. Bu çalışmanın amacı, yüzeysel sularda ötrofikasyon ile ağır metal kirliliği arasındaki ilişkinin incelenmesidir. Bu amaçla, ağır metal kirliliğinin kaynakları, yüzeysel sulardaki etkileri güncel literatür bilgileri ışığında sunulmuştur. Ötrofikasyonun su kolonu, sediman ve sucul canlılardaki ağır metal değişim ve dönüşüm proseslerine etkileri irdelenmiştir.

AĞIR METALLERİN KAYNAKLARI

Yüzeysel sularda ağır metallerin kaynakları; atmosferik taşınım, akarsularla olan karasal girdiler, yüzeysel akışa geçen yağmur ve kar suları ile taşınım, hidrotermal ve volkanik aktiviteler, kayaç-su

etkileşimine bağlı olarak gerçekleşen doğal ve jeo-kimyasal olaylar ve insan aktiviteleri sonucunda meydana gelen antropojenik girdiler olarak sayılabilir.

Antropojenik

Yüzeysel akış

Ağır metallerin yüzeysel sulara taşınmasında rol oynayan önemli proseslerden biri yüzeysel akıştır. Yapılan birçok bilimsel çalışmada ağır metallerin, karayollarından, kentsel alanlardan yayılı kirletici kaynak olarak yüzeysel akış ile alıcı ortamlara ulaştığı tespit edilmiştir (Akdoğan ve ark., 2015; Uzun ve ark., 2014; Sisman ve ark., 2002). Bu çalışmalarda göl su kütlelerinde, su kolonunda ve sedimanda yapılan ölçüm ve izlemelerde genel olarak Cd, Pb, Ni, Zn, Hg ve Cu parametreleri incelenmiştir. Baekken (1994), karayollarından gelen kirleticilerin olası etkilerinin ortaya çıkarılması için karayoluna yakın küçük bir göl ekosistemini incelemiştir. Çözünmüş oksijen ve elektriksel iletkenlik parametrelerini değerlendirirken, gölün etrafındaki karayollarının inşasından önce ve sonra ölçülen değerleri karşılaştırmıştır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında önemli bir değişiklik görülmezken, elektriksel iletkenlik parametresinde önemli oranda artış olduğunu gözlemiştir. Karayollarının inşa edilmesinden sonra Cd ve Zn konsantrasyonlarının çift kabuklu yumuşakçalarda 2-3 kat arttığı belirlenmiştir. Levrek karaciğerinde tespit edilen Pb konsantrasyonunun sudaki konsantrasyondan yüksek olduğu belirlenmiştir. Bentik komünite içerisinde çeşitlilik ve bolluğun gölün karayollarına yakın olan kısımlarında azaldığı gözlemlenmiş olup, gölün karayollarından gelen yüzeysel akış içerisindeki kirleticilerden olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Byrne ve DeLeon (1987), Pontchartrain Gölü'nde sedimanda biriken ağır metallerin kaynaklarını incelemiştir. Gölün kuzey ve güney kesimlerinden alınan sediman örneklerinde bazı ağır metal (Ba, Cu, Ni, Pb ve Zn) analizleri yapılmıştır. Göl sedimanından alınan örneklerde gölün batısından doğusuna doğru ağır metal konsantrasyonunun arttığı ve bu durumun bu hat boyunca nüfusun ve kentleşmenin artmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ağır metallerin en önemli kaynaklarının kentsel bölgelerden gelen yüzeysel akış ve atıksu deşarjları olduğu belirlenmiştir.

Lindström ve Hakanson (2001), Stokholm'de bulunan 10 adet gölde ağır metalleri (Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb ve Zn) suda ve sedimanda incelemiştir.

Çalışmada bir kütle dengesi modeli kullanarak kentsel alanlardan kaynaklı yüzeysel akış ile göle gelen yıllık ağır metal yükünü hesaplamışlardır. Yüzeysel akışla gelen ağır metal yüklerinin özellikle yağışın ilk saatlerinde çok yüksek olduğunu, ancak ağır metal konsantrasyonlarının göl içerisinde önemli oranda seyredildiğini belirlemiştir. Metal birikimindeki en önemli faktörlerin biyoakümülyasyon, çökeltme ve sedimandan salınım ve su pH'sına bağlı olarak değişmekte olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuçta sedimanda en fazla Hg birikimi gözlemlenmiş olup, bunu Pb, Ni ve Cr'nin takip ettiği belirtilmiştir. Ayrıca metal birikimi ile sedimandaki azot ve fosfor birikimi arasında yüksek bir korelasyon olduğu görülmüştür. Bunun nedeninin biyoakümülyasyon sonucu alg kütlelerine alınan metallerin algin çökmesi ile sedimana taşınması olduğunu belirlemiştir.

Tang ve ark. (2010), Doğu Çin'de bulunan Chao-hu Gölü çevresinde göl kıyısına yakın seçilen 10 noktada tarım faaliyetlerinden kaynaklanan ve yüzeysel akış ile göle ulaşan ağır metallerin sedimanda birikimini çalışmışlardır. Göl çevresindeki noktaların tamamı değerlendirildiğinde, bölgede tarımda kullanılan gübrelerde As, Cd, Hg, Ni, Pb ve Zn ağır metallerinin bulunduğunu ve bu metallerin göle taşınması ile özellikle Cd, Pb ve Zn konsantrasyonunun arttığını belirlemiştir. Bu üç metalin konsantrasyonları sedimanın alt tabakalarında 0,21, 8,05 ve 73,76 mg/kg, üst tabakalarında ise 0,33, 17,20 ve 100,22 mg/kg olarak tespit edilmiştir.

Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları

Evsel ve endüstriyel atıksu deşarjları ile çöp sızıntı suları yüzeysel ve yeraltı sularındaki ağır metal kirliliğinin en önemli kaynaklarıdır (Bhuiyan ve ark., 2011). Özellikle metal kaplama endüstrisi (John ve ark., 2016; Lee ve ark., 2016), deri endüstrisi (Ozdemir ve ark., 2005), tekstil endüstrisi (Liang ve ark., 2013), boya üretimi sanayi (Gondala ve Hussain, 2007), demir çelik sanayi (Yuan ve ark., 2017), elektronik sanayi (Chen ve Huang, 2014) ve maden drenajları (Hu ve ark., 2014), Fe, Mn, Cu, Ni, Cd, Cu, krom (Cr), Zn, Pb, Mg, Ag, altın (Au), titanyum (Ti) gibi ağır metallerin en önemli kaynaklarıdır.

Evsel atıksulardaki ağır metallerin en önemli kaynağı özellikle meskun bölgelerde yağmur suyunun yüzeysel akışa geçerek kanalizasyon sistemine girmesidir (Gromaire-Mertz ve ark., 1999; Reddy ve ark., 2014). Bu durum, özellikle birleşik yağmur suyu ve kanalizasyon sistemlerinin olduğu bölge-

lerde evsel atıksu içerisindeki ağır metal konsantrasyonlarının artmasına neden olmaktadır. Ayrıca endüstriyel atıksu deşarjlarının yapıldığı kanalizasyon sistemleri de, endüstrinin faaliyet alanına göre farklı ağır metallerin evsel atıksuya karışmasına sebep olmaktadır. Evsel atıksuların arıtıldığı konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde ağır metallerin bir kısmı hiçbir değişikliğe uğramadan deşarj edilmekte, büyük kısmı ise mikroorganizma flokları üzerine adsorbe olarak, sistemden atılan arıtma çamurları ile birlikte uzaklaştırılmaktadır (Chiu ve ark., 2016). Bu durum arıtma çamurlarının tarımsal kullanımını ve evsel çöp ile birlikte depolanmasını sınırlandırmakta ve alternatif çamur bertaraf yöntemlerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır (Praspaliauskas ve Pedišius, 2017).

Vahşi ve düzenli katı atık depolama tesislerinde depolanan karışık katı atıklar birçok ağır metal barındıran malzemeler (piller, metal kutular, vb.) içermektedir. Depo sahasında depolanan atık kütlelerinin içerisinde sızan ve/veya özellikle açık sahaların üzerinden yüzeysel akışa geçen sular sızıntı suyu olarak adlandırılmakta ve yeraltı ve yüzeysel su kaynakları için önemli bir baskı unsuru haline gelmektedir. Depo sahası içerisinde organik atıkların oksijensiz ortamda biyolojik olarak ayrışması sonucu oluşan organik asitler ortamın pH'sını düşürmekte, ağır metallerin çözünerek sızıntı suyuna geçmesini kolaylaştırmakta ve hızlandırmaktadır. Organik asit oluşumu anaerobik biyolojik ayrışma süreçlerinin ilk aşaması olduğundan, ayrışmanın başlangıç fazında olan genç çöp sızıntı suları yaşlı sahalardan gelen sızıntı sularına göre çok daha yüksek konsantrasyonlarda ağır metal içermektedir (Öztürk, 2015).

Diez ve ark. (2017), İsviçre'de içme suyu kaynağı olarak kullanılan Geneva Gölü'ne yapılan arıtılmış atıksu deşarjının ağır metal konsantrasyonlarına etkisini incelemişlerdir. Atıksu arıtma tesisi deşarj hattına yakın bir noktadan alınan sediman örneğinde özellikle Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, Ni, Cr, Ag, bizmut (Bi) gibi ağır metallerin zenginleştiği ve nitrifikasyonsuz aktif çamur prosesi olarak çalıştırılan evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesisinin atıksudaki metalleri gidermede yetersiz kaldığı belirtilmiştir. 2001 yılında arıtma tesisi deşarj hattının farklı bir noktaya taşınması ve 1980'lerden itibaren evlerde kullanılan ağır metal içerikli malzemelerin azaltılması ile sedimandaki ağır metal konsantrasyonlarının arıtma tesisi yapılmadan önceki dönemlerde ölçülen konsantrasyonlara düştüğünü belirlemişlerdir.

Jeotermal atıksu deşarjları

Yüzeysel sulara ağır metallerin önemli kaynaklarından biri jeotermal atıksu deşarjlarıdır. Özellikle turizm faaliyetlerinde kullanılan jeotermal sular ile B, As ve Ni gibi kirleticiler yüzeysel sulara taşınmaktadır. Ülkemizde yapılan birçok çalışmada, jeotermal kaynaklı atıksuların yüzeysel su kütlelerine deşarjları ile sulara özellikle B konsantrasyonunun arttığı gözlemlenmiştir. Baba ve ark. (2006), Türkiye'de jeotermal enerji potansiyeli ve kullanımını incelemişlerdir. Jeotermal kaynaklı suların karakterizasyonu ile ilgili yapılan değerlendirmede, bu suların özellikle As, B, Cd ve Pb içerdikleri belirlenmiştir. Bu atıksuların reenjeksiyonu ile yüzeysel su ve toprakların söz konusu kirleticiler ile kontamine olduğu belirtilmiştir.

Minareci ve Öztürk (2011), Manisa ilinde bulunan Sevişler Baraj Gölü, Demirköprü Baraj Gölü, Avşar Baraj Gölü ve Marmara Gölü'nde belirlenen dört istasyondan alınan su örneklerinde B elementinin konsantrasyonunu belirlemişlerdir. Örneklemeler Haziran 2008–Mayıs 2009 tarihleri arasında mevsimlik periyotlar halinde yapılmış ve B konsantrasyonunun 0,008–3,066 mg/L arasında değiştiğini bulmuşlardır. Elde edilen ortalama değerler, “Çevre Mevzuatı”, “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği” ve “Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterleri”yle karşılaştırılmıştır. B konsantrasyonları, Sevişler Baraj Gölü, Demirköprü Baraj Gölü ve Marmara Gölü'nde inorganik kirlilik sınırı değerlerinin altında, Avşar Baraj Gölü'nde ise, inorganik kirlilik sınırı değerlerinin üzerinde olduğunu tespit etmişlerdir. Avşar Baraj Gölü suyunu B parametresi açısından IV. sınıf (çok kirlenmiş su) olarak belirlemişlerdir. Çakır ve Minareci (2015), Işıklı Gölü ve Işıklı Çayı'ndaki kirliliği belirlemek amacıyla Temmuz 2012 – Haziran 2013 tarihleri arasında bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen bulgulara göre, B konsantrasyonunu Işıklı Gölü'nde 0,147-1,283 mg/L, Işıklı Çayı'nda 0,032-1,285 mg/L değerleri arasında tespit etmişlerdir.

Demirel (2002), Türkiye'de jeotermal enerjinin yüksek oranda kullanıldığı Büyük Menderes Havzası'nda bulunan Kızılder'e yıllık ortalama 6 milyon ton jeotermal kaynaklı atıksuyun Büyük Menderes Nehri'ne deşarj edildiğini belirtmiştir. Deşarj edilen atıksuda 24 mg/L B bulunduğu belirlenmiştir. Dogdu (2005), Akarçay Havzası'nda jeotermal kaynaklı atıksu deşarjının yüzeysel ve yeraltı sularına etkilerini incelemiştir. Geçmiş yıllara ait su kalitesi verileri mevcut kirliliğin bölgede ısınma amaçlı kullanılan jeotermal kaynaklı atıksulardan

kaynaklı olduğunu göstermiştir. Mevcut durumda akarsu debilerinin %6'sını jeotermal atıksuların oluşturduğu belirlenmiş olup, Eber Gölü'ne ulaşan bu atıksuların gölün su kalitesini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Atmosferik taşınım

Ağır metallerin yüzeysel sulara taşınımında en önemli proseslerden biri atmosferik taşınım olup, bu konu ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır (Karaca ve ark., 2006; Ünlü ve ark., 2008). Göl ekosistemlerine önemli bir antropojenik baskı unsuru olan atmosferik taşınım ile gelen ağır metallerin su kolonunda, sedimanda ve çeşitli sucul canlılardaki miktar ve/veya mertebeleri ve etkileri bu çalışmalar ile değerlendirilmiştir.

Wong ve ark. (1984), Kanada'nın Ontario şehrinde 10 adet gölde suda ve sedimanda Pb, Zn, Cu, Ni ve Cd birikimini incelemişlerdir. Çalışmada, özellikle atmosferik taşınım ile göllere ulaşan Pb'nin son 100 yılda sedimandaki birikiminin arttığı belirtilmiştir. İncelenen yumuşak karakterli göl sularında Pb birikim hızının 0,5-2,9 mm/yıl (62-190 g/m².yıl) arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Buna karşılık Ni, Cu, Pb, Zn ve Cd birikim hızlarının sırasıyla; 0,6-8,4, 0,7-9,4, 3,7-43,5, 5,0-50,3 ve 0,007-0,74 g/m².yıl olarak tespit etmişlerdir. Genel olarak Ni, Cu, Zn ve Cd'nin sediman yüzeyinde 2 kat arttığı gözlemlenirken, Pb 25 kat artış göstermiştir.

Grant ve ark. (2014), Kuzey Amerika'da tatlı su kaynağı olarak kullanılan göllerde kapsamlı bir izleme ve model çalışması ile Hg konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Bu kapsamda, Çin üzerinden atmosferik taşınım ile gelen Hg emisyonlarının da göllere olan baskılarını değerlendirmişlerdir. 2005 yılında gölde toplamda 6,5±0,5 ton Hg birikimi olduğunu tespit etmişlerdir. Toplam birikimin Superior Gölü, Michigan Gölü, Huron Gölü, Eria Gölü ve Ontario Gölleri için sırasıyla 1906±203, 1645±203, 1511±107,837±107 ve 506±63 kg/yıl olduğunu belirlemişlerdir. Yaz dönemlerinde (Haziran-Kasım) Hg'nin ıslak ve kuru birikiminin kış dönemine göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Yapılan çalışmada yerel emisyon kaynaklarının Çin'e göre çok daha yüksek bir baskı unsuru olduğu sonucuna varılmıştır.

Kozak ve ark. (1993), 1987-1989 yılları arasında Leczna Gölü ve çevresinde yürüttükleri çalışmada yıllık ortalama metal birikimini araştırmışlardır. Söz konusu çalışmada atmosfer, toprak ve yer kabuğundaki ağır metal konsantrasyonları kar-

şılaştırılmıştır. Buna göre 1989 yılında ortalama Zn, Mn, Pb, Cu, Cd, Cr, V ve Ni birikimi sırasıyla 46,4, 13,2, 13,7, 10,1, 15,6, 3,1, 2,4 ve 1,6 kg/km² yıl olarak tespit etmişlerdir. Ayrıca ağır metal birikiminin kış dönemlerinde yaz dönemlerine oranla daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir.

Wong ve ark. (2003), tarafından Çin'de yapılan bir çalışmada Pearl Nehri deltasında 2001-2002 yılları arasında atmosferik taşınım ile kentsel, yarı kentsel ve kırsal bölgelerden (Hong Kong dahil olmak üzere) gelen emisyonları yaz ve kış dönemlerinde yapılan örneklemeler ile araştırmışlardır. İncelenen ağır metaller Cr, Cu, Pb ve Zn olup, bu metaller için belirlenen birikim miktarlarını sırasıyla 6,43±3,19, 18,6±7,88, 12,7±6,72 ve 104±36,4 mg/m²/yıl olarak belirlemişlerdir. Sonuçlar değerlendirildiğinde Cu, Cr ve Zn ağır metallerinin genel olarak yaz dönemlerinde kışa nazaran daha fazla biriktiğini tespit etmişlerdir. Elde edilen değerlerin kış dönemlerinden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Bu durumun, yarı tropikal bölgelerde toprağın yağışlı dönemlerde aşırı yıkanmasının doğal bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Buna karşın Pb birikiminin ise antropojenik kaynaklı olduğu belirlenmiştir.

Wagenet ve ark. (1979), termik santrallerde kullanılan kömür kaynaklı ağır metal (Zn, Cd, Cr, Pb ve Hg) emisyonlarının değişim ve dönüşümünü ağır metal taşınım modeli kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Kullanılan model atmosferik dispersiyon, çökelme, toprak kimyası ve toprak erozyonu proseslerini içermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nin güneybatısında bulunan yarı kurak bir bölgeden alınan veriler ile geliştirilen model iklimsel ve topografik kısıtlamalar dışında, bölgeye özgü değildir. Çalışılan bölgede model sonuçları değerlendirildiğinde Cd, Cr, Pb seviyelerinde bir artış olmayacağı, buna karşın Zn ve Hg konsantrasyonlarının alıcı gölde doğal değerleri aşacağı tahmin edilmiştir.

Moiseenko ve ark. (1995), Rusya Kola Peninsula'da demir çelik ve metal endüstrilerinden kaynaklı emisyonların atmosferik taşınım ile sucul ekosistemlerde birikimini araştırmışlardır. Göldeki Ni, Cu ve Al emisyonlarının endüstrilere yakın bölgelerde arttığını belirlemişlerdir. Özellikle bölgedeki asit yağmurlarının da etkisi ile gölün asidifiye olduğu ve su kolonundaki toksik metal türlerinin (Al, Ni ve Cu) arttığını tespit etmişlerdir. Buna ek olarak yapılan patolojilerde ağır metal birikiminin en çok balık organlarında olduğu ve balık organlarında işlev bozukluklarına ve ölümlere neden olduğunu belirlemişlerdir.

Larsen (1983), 17 ay süresince Danimarka'daki Hampen, Meldgaard, Sortesø ve Gødstrup Göllelerinde ağır metallerin (Zn, Cu, Pb ve Cd) atmosferik birikim hızını izlemiştir. Ortalama yıllık birikim hızını Cu için 1,81–2,77 mg/m², Pb için 4,09–8,73 mg/m² ve Cd için 0,21–0,37 mg/m² olarak bulmuştur. Zn için ortalama birikim hızı diğer metallere göre daha yüksek olup, 15 mg/m²/yıl olarak bulunmuştur. Oligotrofik bir göl olan Hampen Gölü sedimanında 2. Dünya Savaşı sonrası Pb konsantrasyonunun atmosferik birikim nedeni ile 180 kat arttığı tespit edilmiştir. Sedimanda Pb konsantrasyonunun benzin tüketimine bağlı olarak önemli oranlarda değişim gösterdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak Danimarka'daki oligotrofik göllerde ağır metal konsantrasyonlarının özellikle atmosferik taşınım prosesi ile arttığı gözlemlenmiştir.

Gjessing ve ark. (1984), Oslo'da karayollarına yakın küçük bir gölün su kalitesini incelemiştir. Çalışmada göl çevresinden kaynaklanan kirleticilerin (atmosferik taşınım ve yüzeysel akış) göl su kalitesine olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Pb, Cd, Zn ve PAH parametreleri incelenmiş ve sonuç olarak nehirler ile gelen sudaki mikrokirleticilerin mertebeye göre orta seviyede olduğu, ancak atmosferik taşınım ile birçok kirleticinin yüksek mertebelerde göle ulaştığı belirlenmiştir.

Maden Sahaları

Maden sahalarından pH'sı çok düşük fakat ağır metal içeriği oldukça yüksek drenaj suları oluşur. Yeraltı su seviyesinin altında yapılan kazı çalışmalarında metal-sülfür bileşikleri (FeS₂, CuS, Cu₂S, NiS, PbS, ZnS, FeAsS v.b.) içeren kayalar oksijen, yeraltı suyu ve mikroorganizmaların oksidasyon-redüksiyon etkilerine açık hale gelir. Maden içerisine sızan yeraltı suyu bu kayalar ile etkileşime geçerek asiditesi ve metal içeriği çok yüksek bir su oluşturur. Aktif madenlerde yer altı suyu sürekli olarak dışarı pompalandığından ve maden içerisinde birikmesine izin verilmediğinden bu durum sınırlı olarak gerçekleşir. Dışarıya pompalanan yeraltı suyu lagünlerde biriktirilir ya da doğrudan yüzeysel sulara verilir. Ancak maden sahası terk edildiğinde pompalama işlemi de durdurulduğundan, yer altı suyu ocağın içerisine dolar ve asiditesi yüksek maden drenaj sularını (asit kaya drenajı) oluşturur. Bu suların yüzeysel sulara ulaşması durumunda yüzeysel suların pH ve alkalitesi düşer ve ağır metal konsantrasyonları artar (Simate ve Ndlovu, 2014).

Shipp ve Zierenberg (2008), civa madeni drenaj sularının ulaştığı Clear Gölü'nden alınan sediman numunelerinin por suyunda yüksek sülfat

(SO₄²⁻) (≥197 mmol/L), Al (≥52 mmol/L), Fe (≥28 mmol/L) konsantrasyonları ve düşük pH (<4) ölçmüşlerdir. Özellikle gölün maden sahasına yakın bölgelerinden alınan sediman numunelerinde SO₄²⁻ konsantrasyonunun arttığı belirlenmiştir. Bu durumun SO₄²⁻ indirgeyen anaerobik bakterilerin ve demir bakterilerinin faaliyetlerini artırarak metil-Hg oluşumunu ve Hg'nin biyobirikimini arttıracığı belirtilmiştir. Sarmiento ve ark. (2009), İspanya'da asidik maden drenaj suları ile kirlenen iki baraj gölünde ağır metal ve SO₄²⁻ konsantrasyonlarını incelemiştir. Valdelamusa, Aguas Teñidas ve Cueva de la Mora maden sahalarından oluşan drenaj sularında 2,6–3,5 pH, 13–106 mg/L Al, 2–13 mg/L Cu, 12–338 mg/L Fe, 3–307 mg/L Zn, 448–3158 mg/L SO₄²⁻ konsantrasyonları ölçülmüştür. Tharsis ve El Carpio maden sahalarından oluşan drenaj sularında ise pH ~ 2,6 ve ~1 g/L Al, 2 g/L Fe, 412 mg/L Zn, 167 mg/L Cu, 3,6 mg/L As, 0,9 mg/L Pb, 6,4 mg/L Ni olarak ölçülmüştür. Her iki rezervuar gölünde yazın tabakalaşma olduğu ve anoksik koşullardaki hipolimnion tabakalarında ağır metal konsantrasyonlarının arttığı belirlenmiştir. Göllerden alınan örneklerde sedimanın gözeneklerinde bulunan suda Fe, Al, Zn, Pb ve As konsantrasyonları sırasıyla 25 mg/L, 4 mg/L, 1,3 mg/L, 170 µg/L ve 11 µg/L olarak ölçülmüştür. Martin ve ark. (2001), maden drenaj sularının ulaştığı Lago Junin Gölü'nde ağır metallerin özellikle sedimanda zenginleştiğini belirlemiştir. Özellikle sedimanın üst bölgelerindeki anoksik koşulların da etkisi ile metallerin (Fe, Zn, Cu ve Pb) çözünürlüğünün arttığı ancak sedimanın daha alt kısımlarındaki oksijensiz bölgelerde çözünürlüğü düşük metal-sülfür çökeleklerinin oluşması nedeniyle metal konsantrasyonunun önemli oranda azaldığı görülmüştür. Sedimanda biriken metal sülfür çökeleklerinin aynı zamanda ağır metaller için önemli bir kaynak olduğu belirtilmiştir. Sedimandaki pH, oksidasyon-redüksiyon potansiyeli, organik madde ve elektron alıcılara göre metallerin mobilize olarak su kolonuna geçtiği belirlenmiştir. Moncur ve ark. (2015), Kanada'da 70 yıldır terkedilmiş olan bir maden sahasından yüzeysel akış ve yeraltı suyu ile Camp Gölü'ne ulaşan ve yüksek konsantrasyonlarda sülfat ve ağır metal içeren suların etkisini incelemiştir. Asidik maden sularının göle ulaşmasında özellikle kurak mevsimlerde yeraltı suyu etkileşimi, yağışlı mevsimlerde ise yüzeysel akış etkili olmaktadır. Ayrıca, kışın gölün üst tabakası donduğunda gölün boşaldığı noktadaki ağır metal ve sülfat konsantrasyonlarının düştüğü, ancak buz kütlesi eridiğinde konsantrasyonların arttığı belirlenmiştir. Bu durumun, göl

içerisindeki karışım, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarının ve bu dönemde göle yüzeysel akış ile taşınan metal ve sülfat yüklerinin artması ile ilişkili olduğu belirtilmiştir.

Austin ve Deniseger (1985), Vancouver adasında 1966 yılından itibaren kurşun-çinko-bakır madeni kaynağından ağır metal girişi olan dar, uzun ve oligotrofik karakterdeki bir gölde ağır metallerin etkilerini araştırmışlardır. Besin elementlerinin seviyeleri sabit iken Zn, Cu ve Cd ağır metal konsantrasyonlarının arttığı ve çıkış suyu kalitesinin de Kanada İçme Suyu standartlarının üzerine çıktığını tespit etmişlerdir. Perifiton komünitesi içerisinde *Navicula cryptocephala* türünün Buttle ve Upper Campell göllerinde baskın olduğu, *Achnanthes microcephala*, *Synedra acus* ve *Synedra filiformis* diğer az bulunan türler olduğunu belirlemiştir. Maden sahasının yakınındaki bölgelerde tür çeşitliliğinin düştüğü, ancak madenden uzaklaştıkça arttığı belirtilmiştir. Bununla birlikte yalnızca maden kaynağı yakınında bulunan türlerde azalma olmadığını, ağır metallere hassas olan diatom türlerinin azaldığını ya da tamamen yok olduğunu tespit etmişlerdir.

Austin ve Munteanu (1984), bozulmamış büyük bir park gölünü 14 yıl boyunca maden kaynaklı ağır metal girdisi öncesinde ve sonrasında izlemiş ve fitoplankton ve zooplankton toplulukları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Ağır metal konsantrasyonlarının arttığını ve gölde esas olarak arkaplan seviyelerinin üstünde değerlere ulaştığını belirlemişlerdir. Çeşitli diatomlar ve desmid türleri de dahil olmak üzere ağır metal tolere edemeyen organizmalar ya kaybolmuş ya da çok nadir görülmüştür. *Navicula cryptocephala*, *Synedra acus*, *S. ulna*, *Cyclotella bodanica*, *C. glomerata* ve özellikle birkaç diatom türü olmak üzere diğer daha toleranslı formların önemli miktarda arttığını bulmuşlardır. Bu değişikliklere tür çeşitliliği ve tür sayılarında bir düşüş eşlik etmiştir.

Doğal Kaynaklar

Jeolojik yapı

Metaller, yer kabuğunun çeşitli katmanlarında ve litolojik birimlerinde doğal olarak bulunurlar. Buldukları kayaç ve toprakların özelliğine göre su ile etkileşime geçerek doğal süreçler (çözünme-çökme, adsorpsiyon, sürüklenme vb.) ile sucul ortamlara taşınırlar. Jeolojik yapıya bağlı olarak sucul ortamlara ulaşabilen metallerin başlıcaları Cu, Ni, Fe, Pb, Hg, Co, As, Fe, Mn olarak sıralanabilir. Söz konusu doğal kökenli ağır metaller, kırıntılı

alüminosilikatlar ve oksit mineraller, ikincil kil mineraller, ikincil Fe-Mn oksihidroksitler, metal sülfidler ve karbonatlar halinde, adsorpsiyon ve kimyasal bağlarla organik maddelerde birikirler (Güven ve Öztürk, 2005). Cu, yer kabuğunda magmatik kayaçlarda, şeyllerde ve mafik kayalarda sırasıyla 55, 45 ve 100 ppm seviyelerinde bulunur. Yer kabuğunda ortalama 12,5 ppm olarak bulunan Pb, şeyllerde ortalama 20 ppm olarak bulunur. Tortul kayalarda kurşunun en önemli kaynağı magmatik ve metamorfik kayaçlardaki potasyum feldispat ve mikaların bozunmasıdır (Şahinci, 1991). Zn, magmatik kayalarda ortalama 70 ppm olarak bulunur. Granitler 30-70 ppm, üst kıtasal kabuk 60 ppm, şeyller 95 ppm, kumtaşları 16 ppm, kireçtaşları ise 20 ppm Zn içermektedir. Ultrabazik ve bazik kayalarda ortalama 150 ppm, felsik kayaçlarda ise 0,5 ppm bulunmaktadır. Ni'nin yer kabuğu ortalaması 75 ppm olup, kumtaşları 2 ppm, karbonatlı kayaçlar ise 20 ppm civarında Ni içermektedirler (Şahinci, 1991). Co yer kabuğunda ve magmatik kayalarda ortalama 25 ppm olarak bulunur. Mafik kayalar, şeyller, kumtaşları ve kireçtaşlarında sırasıyla 50 ppm, 20 ppm, <1 ppm ve <1 ppm olarak bulunur. Yer kabuğunda 950 ppm, şeyllerde 850 ppm, kumtaşlarında 50 ppm, kireçtaşlarında ise 1100 ppm civarında Mn bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Fe yer kabuğunda oldukça yüksek miktarlarda (%5) bulunan elementlerden biri olup, şeyllerde %4,7, kumtaşlarında ise %0,9 gibi çok daha az miktarlarda bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Metal ile ametal arasında bir özelliğe sahip olan As elementi, magmatik kayaçlarda ve diyabazlarda 1,5 -2 ppm civarında bulunurken, fosfatlı kayalarda 21 ppm olarak bulunmaktadır. Yer kabuğunda 1,8 ppm, şeyllerde ise 13 ppm As bulunduğu belirlenmiştir (Mason ve Moore, 1982).

Volkanlar

Volkanik patlamalar, metallerin yeryüzüne taşınımında önemli rol oynamaktadır. Patlama sırasında Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Co, As, Se, Ti ve V gibi metaller metal klorür bileşikleri olarak atmosfere yayılmakta, uzun mesafeler boyunca taşınabilmekte ve çökelen toz partikülleri, yağmur ve kar ile yeryüzüne inmektedirler (Ragnarsdottir ve ark., 1994). İzlandadaki Hekla Yanardağı'nın 1991'deki patlaması sırasında bölgeden alınan kar, volkanik toz ve kayaç örneklerinin, yüksek miktarda ağır metal (Fe, Mn, Cu, Zn, Cr, Co, As, Se, Ti ve V) içerdiği ve yüzeysel sular ve canlılar için önemli bir baskı unsuru olduğu belirlenmiştir (Ragnarsdottir ve ark., 1994). 1977 yılında Havayideki volkanik patlamalar sırasında atmosferik Hg konsantras-

yonunun $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ arkaplan konsantrasyonundan $50\text{-}200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ seviyelerine ulaştığı belirlenmiştir (Siegel ve Siegel, 1978). Cimino ve Ziino (1983), Sicilya'daki Etna Yanardağı'nın çevresine yaydığı ağır metal kirliliğini incelemişlerdir. Yanardağdan 100 km uzakta kırsal bir bölgeden toplanan volkanik küllerin yüksek konsantrasyonda As, Cr, Cu, Fe, Mn, Pb, Sr ve Zn içerdiğini belirlemişlerdir. Küller ile yapılan metal sızma testlerinde birçok metalin katı fazda kaldığı ancak özellikle As, Sr ve Zn'nin %1-%20 oranında sıvı faza geçtiği belirlenmiştir. Bu bakımdan, bölgedeki içme suyu kaynaklarının yanardağın baskısı altında olmadığı belirlenmiştir. 2014 yılında İzlanda'daki Holuhraun Volkanı'nın toprak ve içmesuyu kaynakları üzerindeki etkilerini belirlemek için yapılan bir çalışmada, alınan toprak numunelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının arkaplan konsantrasyonlarına yakın olduğu belirlenmiştir. Ancak, özellikle içme suyu kaynağı olarak kullanılan yüzeysel su kaynaklarında (Vatnajökull buzulu ve Lagarfljót buzul nehri) oldukça yüksek ağır metal (Al, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn) kirliliği tespit edilmiştir (Jónsdóttir ve Smaradottir, 2015).

Ağır Metallerin Sucul Ortamda Değişim ve Dönüşümleri

Taşınım, çözünme, çökme, kompleks oluşumu ve adsorpsiyon

Metaller sucul ortamda çözünme-çökme, sorpsiyon-desorpsiyon gibi birçok değişim ve dönüşüm uğrarlar. Bu reaksiyonları etkileyen en önemli parametreler sucul ortamın redox potansiyeli (O_2 , NO_3^- ve SO_4^{2-} gibi elektron alıcıların varlığı) ve pH'sıdır. Metaller çökme ve sorpsiyon prosesleri ile sedimanda birikir, çözünme ve desorpsiyon prosesleri ile su kolonuna geri dönerler. Çözünmüş metaller suyun doğal hareketleri ile başka bölgelere taşınabilir ve biyolojik reaksiyonlara katılabilir. Metaller su ortamında genel olarak, elementel veya bileşik formdaki kolloidler veya partiküller halinde, çözünmüş katyonlar ya da bileşikler (kompleksler) halinde ve toprak ya da sediman yüzeyine adsorbe olmuş durumda bulunurlar (Weiner, 2008).

Metaller ve sudaki metal bileşiklerinin çözünürlüğü temelde ortamın pH ve oksidasyon redüksiyon potansiyeline (ORP) bağlı olup, kesin kuralları takip etmemektedir. Genellikle düşük pH'da metallerin çözünürlüğü artmakta, yüksek pH'larda ise azalmakta olup, belirli bir pH değerinden sonra oluşan komplekslere bağlı olarak çözünürlük yine artış eğilimine girmektedir. Benzer bir du-

rum ORP içinde geçerli olup, genel olarak düşük ORP'lerde metallerin çözünürlüğü yüksek iken, yüksek ORP'lerde çözünürlük azalmaktadır. Ancak bu durum suda metallerle reaksiyona girebilen diğer türlerin varlığına göre değişkenlik gösterebilir. Bu bakımdan metallerin sudaki çözünürlüğü değerlendirilirken diğer türlerle (S^{2-} , CO_3^{2-} ve OH^- gibi) oluşturdukları bileşikler ve kompleksler (hidroksi kompleksler, metal-organik asit kompleksleri gibi) dikkate alınmalıdır (Weiner, 2008). Suda güçlü kompleks yapıcı maddelerin olmaması durumunda bile ligand özellik gösteren OH^- iyonlarının varlığı özellikle yüksek pH'larda kompleks türlerin oluşumuna ve çözünürlüğün artmasına neden olmaktadır (Tünay, 1996).

Sudaki ORP değişimleri Cr, Cu, Fe, Mn, Hg, Mo gibi metallerin oksidasyon derecesini değiştirerek çözünürlüklerine etki etmektedir. Anaerobik şartlarda (düşük ORP) suda çözünür halde bulunan Fe^{2+} , oksijenli şartlarda (yüksek ORP) yükseltgenerek suda çözünürlüğü daha düşük olan Fe^{3+} yükseltgenmektedir. Buna karşın, Al, Ba, Cd, Pb, Ni ve Zn gibi metallerin çözünürlüğü ORP değişimine daha az hassastır. Ancak, düşük ORP şartlarında suda SO_4^{2-} ve organik madde bulunması halinde anaerobik mikroorganizmalar SO_4^{2-} 'ü elektron alıcı olarak kullanarak sülfid üretirler (Kikot ve ark., 2010). Bu durumda sülfid Al, Ba, Cd, Pb, Ni, ve Zn ile çözünürlüğü çok düşük bileşikler oluşturarak, bu metallerin çökmesine neden olmaktadır. Yani ORP direkt ya da indirekt olarak metallerin çözünürlüğünü etkileyebilmektedir (Weiner, 2008).

Göl sularındaki değişimleri en çok incelenen ağır metaller Fe ve Mn'dir. Zaw ve Chiswell (1999), Avustralya'daki Hinze Baraj Gölü'nde çözünmüş ve partiküler Fe ve Mn türlerinin mevsimsel değişimini farklı derinliklerden alınan numuneler ile izlemiştir. Özellikle önemli derecede tabaklaşmanın gözlemlendiği yaz mevsiminde yüksek oksijen konsantrasyonlarının ölçüldüğü epilimniyon tabakasında çözünmüş Fe ve Mn konsantrasyonlarının oldukça düşük olduğunu belirlemişlerdir. Buna karşın çözünmüş oksijenin $1 \text{ mg}/\text{L}$ 'ye düştüğü hipolimniyon tabakasında çözünmüş Fe ve Mn konsantrasyonlarının oldukça yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Samecka-Cymerman ve Kempers (2001), Polonya'da açık kazı yöntemiyle yapılan madencilik faaliyetleri sonucu oluşan göllerde, ağır metal konsantrasyonlarını incelemişlerdir. Farklı pH'lardaki göllerden alınan su numunelerinde yapılan analizlerde en yüksek ağır metal konsantrasyonları beklenildiği üzere düşük pH'lı göllerde gözlenmiştir.

Biyokümülyasyon

Fitoplankton, zooplankton

Ağır metaller sucul canlılar üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Fitoplankton, zooplankton ve makrofit gibi sucul canlıların hücrelerinde birikmekte ve toksik özellik göstermektedirler. Buna bağlı olarak sucul ekosistemde bu canlılarla birlikte diğer birçok canlıda beslenimleri dolayısıyla ağır metalleri biyokütlerine almaktadırlar. Yapılan bilimsel çalışmalarda ağır metallerin genel olarak suda, sedimanda ve sucul canlılarda miktar ve etkileri detaylı olarak değerlendirilmiştir (Austin ve Munteanu, 1984; Oberholster ve ark., 2010; Radwan ve ark., 1990).

Altındag ve Yigit (2005), içme, sulama ve turizm amaçlı kullanılan Beyşehir Gölü'nde ağır metallerin (Cd, Pb, Hg ve Cr) suda, sedimanda, plankton ve balık örneklerindeki birikimini incelemişlerdir. Gölden alınan su örneklerinde ağır metal konsantrasyonlarını sırasıyla Cd>Pb>Cr>Hg olarak tespit etmişlerdir. Buna karşın sedimandan ve plankton biyokütlesinden alınan örneklerde en yüksek birikimin Pb ve sonrasında Cd olduğunu belirlemişlerdir. Çalışmada incelenen ağır metallerin en fazla plankton biyokütlesinde sonrasında ise sediman ve balık dokusunda biriktiği belirlenmiştir. Ayrıca sudaki Cd ve Pb konsantrasyonlarının içme suyu standartlarının üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2012).

Tao ve ark. (2012), Taihu Gölü'nde farklı trofik seviyelerdeki su organizmalarından örneklemeler yaparak ağır metal birikimini incelemişlerdir. Çalışmada, fitoplankton, zooplankton, iki farklı zoobentos ve sekiz balık türünde, ayrıca su sütununda ve sedimanda bazı ağır metallerin (Cu, Zn, Cr, Ni, Cd, Pb) konsantrasyonlarını belirlemişlerdir. Sonuçlara göre, tüm organizmalarda Cu ve Zn'nin diğer metallere göre daha çok birikim yaptığını tespit etmişlerdir. Cd'nin tüm türlerde en düşük seviyede biriktiğini ve fitoplanktondaki ağır metal konsantrasyonlarının zooplanktondakinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Konumsal olarak değerlendirildiğinde, organizmalardaki metal konsantrasyonlarının kuzey ve batı Taihu Gölü'nde daha yüksek, güney ve doğu kısmında daha düşük olduğu ve bu durumun, antropojenik faaliyetlerden büyük oranda etkilenen nehir girdileri ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. Besin zincirindeki tüm sucul organizmalar için biyo-konsantrasyon faktörü (BCF), genellikle planktonlarda en yüksek, zoobentos ve balıkta en düşük seviyede olduğu tespit edilmiştir.

Vardanyan ve Ignole (2006), iki farklı bölgeden (36'sı Sevan Gölü (Ermenistan), 9'u Carambolim Gölü (Hindistan)) toplanan 8 aileye ait 45 makrofitte 14 adet ağır metalin (Ca, Fe, Al, Cr, Cu, Ba, Ti, Co, Mn, Zn, Mg, Pb, Co ve Ni) birikimini araştırmışlardır. İki farklı noktadan gelen temsili makrofitlerin, farklı metallerin birikiminde benzerlikler gösterdiğini belirlemişlerdir. İnceleme sonucunda, makrofit kök yapısında en yüksek Ca, Fe, Al, Cr, Cu, Ba, Ti, Co ve Pb bulunurken, saplarda Mn, Zn ve Mg ve yapraklarda Ca'nın birikim gösterdiğini tespit etmişlerdir. Örneklerde Cu'nun, köklerde $50 \pm 47,15$ mikrogram/g kuru madde (KM) ve çiçeklerde $9,52 \pm 3,97$ mikrogram/g (KM) birikim gösterdiğini belirlemişlerdir. Sevan Gölü'ndeki makrofit örneklerinde ağır metal birikiminin Carambolim Gölü'nden daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ağır metallerin birikim sıralaması, Ca>Mg>Fe>Al>Mn>Ba>Zn>Ti>Cu>Cr>Co>Ni>Pb>Cd olarak belirtilmiştir. Bu çalışma ile makrofitlerin, su ortamındaki farklı metallerin uzaklaştırılmasında önemli rol oynadığı ortaya konmuştur. Her iki göl sistemindeki tüm makrofitlerde Ca, Fe ve Mn gibi temel metallere kıyasla Cr, Cd, Pb ve Ni gibi oldukça toksik metallerin birikiminin düşük olduğu belirtilmiştir.

Deniseger (1990), Cu, Zn ve Pb madenciliği faaliyetleri kaynaklı ağır metal girişinin olduğu Buttle Gölü'nde fitoplankton, perifiton ve zooplanktonda ağır metallerin etkilerini araştırmıştır. Göl suyunda metal konsantrasyonlarındaki artış ile fitoplankton, perifiton ve zooplankton için hem tür çeşitliliği hem de popülasyonda azalma görülmüştür. Çalışmada, göl suyundaki metal konsantrasyonlarının 1980-1981 yıllarında en yüksek seviyelere ulaştığı belirtilmiştir. Maden sahasında gerçekleştirilen iyileştirilme ve atıksu toplama sistemleri ile göldeki ağır metal konsantrasyonlarının düştüğü belirtilmiştir. Ancak, metal konsantrasyonlarındaki azalma Buttle Gölü biyotasının eski haline dönüşmesini sağlayamamıştır. Metal konsantrasyonlarının azalmasıyla, fitoplankton yoğunluğunun 1983 yılından başlayarak 1985 yılına kadar değişmeye başladığını, *Rhizosolenia eriensis*'in monokültüründen oluşan sürekli bir fitoplankton bolluğunun olduğunu tespit etmiştir. Ancak, zooplankton miktarının oldukça düşük olduğunu belirlemiştir. Bununla birlikte, *R. eriensis* seviyeleri 1985'teki artış oranları ile zooplankton ve fitoplankton çeşitliliği ve tür sayısı, daha önce baskın olan türlerin yeniden ortaya çıkmasıyla gelişmeye devam ettiğini tespit etmiştir.

Balık

Ağır metallerin balıklarda birikimi ve toksik etkileri ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır (Kayhan ve ark., 2009; Karayakar ve ark., 2017; Göksu ve ark., 2003; Çelik, 2006). Amundsen ve ark. (1997), Norveç ve Rusya sınırları arasında yer alan 3 adet gölde alabalık, tatlısu levreği, turna balığı, kahverengi alabalık, morina balığı ve gümüş balığında Cd, Cu, Cr, Hg, Ni ve Zn'nin birikimini incelemişlerdir. Cd ve Ni'nin balık dokularında biriktiği, diğer ağır metallerin ise üç gölden alınan balık örneklerinde aynı seviyelerde olduğunu belirlemişlerdir. Ağır metallerin en fazla balık karaciğer veya solungaçlarında biriktiğini, balık kaslarında ise daha düşük miktarda bulunduğunu tespit etmişlerdir. Altındag ve Yigit (2005), Beyşehir Gölü'nde yaptıkları çalışmada, tatlı su kefali, sazan ve kiliz balığı kas ve solungaçlarında birikim yapan ağır metalleri sırasıyla Cd>Pb>Cr>Hg olarak tespit etmişlerdir. Levrek balığında ise Pb'nin Cd'ye göre daha fazla biriktiğini belirlemişlerdir. Tao ve ark. (2012), metal konsantrasyonlarının avcı balıklarda, (*Coilia ectenes* ve *Erythroculter ilishaeformis* gibi), otçul balıklardan daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Chandra Sekhar ve ark. (2004), Hindistan'da en büyük tatlı su kaynağı olan Kolleru Gölü'nde yaşayan üç farklı balık türü üzerinde ve sedimanda yapılan analiz çalışmaları ile ağır metal (Zn, Cu, Cd, Pb, Cr, Ni ve Co) birikimini araştırmışlardır. Ağır metal konsantrasyonlarının arkaplan seviyelerinden yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Buna göre Zn, Cd ve Cu metallerinin sedimandan kolay mobilize olmaları (çözünmüş faza geçmeleri) sebebiyle balıklarda daha yüksek miktarda biriktiğini, buna karşın Ni ve Co'nun ise sedimandan ayrışma hızının düşük olması nedeniyle birikiminin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Sonuç olarak ağır metaller ile kontamine olan gölden balık tüketiminin yapılmamasını önermişlerdir.

Chi ve Guang-wei (2007)'de Çin'de bulunan, büyük, sıg ve ötrofik bir göl olan Taihu Gölü'nde *Cyprinus carpio Linnaeus*, *Carassius auratus Linnaeus*, *Hypophthalmichthys molitrix* ve *Aristichthys nobilis* isimli balık türlerinde ağır metal (Cr, Zn, Cu, Cd, Pb) birikimini araştırmışlardır. Buna göre Cr, Cu, Pb, Cd birikiminin 4 balık türünde Çin Gıda Sağlığı Kriterlerine (1994) göre düşük oranlarda olduğunu, Zn birikiminin yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Cd'nin en yüksek oranda balık karaciğerinde, Pb'nin konsantrasyonunun ise tüm organlarda yaklaşık aynı olduğunu belirlemişlerdir. Buna ek olarak,

Cr'nin özellikle deri ve eşey bezlerinde biriktiğini gözlemlemişlerdir. Cu'nun ise karaciğerde en yüksek oranda bulunduğunu belirlemişlerdir. Sonuç olarak, toplam ağır metal birikiminin en yüksek oranda karaciğerde en düşük oranda ise kaslarda olduğunu tespit etmişlerdir. Gölden elde edilen su ürünlerindeki ağır metal içerikleri Çin Gıda Sağlığı Kriterlerine genel olarak uygun olmasına karşın, uzun süreli tüketimlerde özellikle Zn birikimine dikkat edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Kabuklular

Licata ve ark. (2004), Faro Gölü'nde (Sicilya, İtalya) belirledikleri beş istasyonda (kuzey, güney, doğu, batı ve orta) *Mytilus galloprovincialis* midye türünden üç yüz örnek alarak, klorlu organik bileşikler ve ağır metal (Cu, Se, Zn, As, Cd, Hg ve Pb) birikimini araştırmışlardır. Tüm örneklerde Zn birikiminin (11,0-18,5 mikrogram/g yaş ağırlık), Cu (188,3-396,0 ng/g yaş ağırlık) ve Se (93,5-288,9 ng/g yaş ağırlık) göre daha yüksek olduğu tespit etmişlerdir. Ayrıca, Cd (41,9-63,8 ng/g yaş ağırlık), Pb (64,8-93,0 ng/g yaş ağırlık) ve Hg (5,7-13,1 ng/g yaş ağırlık) arasında bulunmuştur. As seviyeleri, tüm midye numuneleri için tespit sınırlarının altında bulunmuştur.

Hoogenboom ve ark. (2015), Avrupada istilacı türler sınıfında olan Çin yengeci üzerinde ağır metal birikimini araştırmışlardır. Ağır metal kontaminasyonu tespit edilen alanlarda Cd ve Pb konsantrasyonlarının yengeçlerde yüksek olduğunu, Hg ve As birikiminde önemli bir fark olmadığını bulmuşlardır. Arockia ve ark. (2014), Bengal Denizi kıyısında bir lagün gölü olan Pulikat Gölü'nde yengeç (*Scylla serrata*) solungaçlarında, kaslarında ve pankreasında ağır metal (Fe, Mn, Zn, Cu, Cd, Pb) birikimi kaynaklı yapısal doku deformasyonlarını araştırmışlardır. Elde edilen veriler Bengal Denizi kıyısındaki Kovalam sahilinde yaşayan yengeçlerde bulunan değerler ile karşılaştırılmıştır. En yüksek ağır metal birikiminin Pulicat Gölü'ndeki yengeç pankreasında ve solungaçlarında olduğu, buna karşın Kovalam kıyısındaki yengeçlerde birikimin düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Yapısal doku deformasyonlarının ağır metal toksisitesinden kaynaklandığını ve deformasyon derecesinin metal konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu belirlemişlerdir.

Ağır Metallerin Göl Ekosistemlerinde Ötrofikasyon ile İlişkisi

Ötrofikasyon, Türkiye'de son 30 yılda iç sularda önemli bir sorun olmaya başlamıştır (Şengörür ve Demirel, 2002). Sucul ekosistemlere ulaşan besin

elementi yüklerinin artması sonucunda, alglerin aşırı büyümesi ile oluşan ötrofikasyon kapalı sucul ekosistemlerde (göl, baraj gölü v.b) su kalitesinin olumsuz yönde değişmesine neden olmaktadır. Birincil üretimin aşırı arttığı durumlarda gün içinde önemli su kalitesi salınımları (örneğin çözünmüş oksijen ve pH değişimleri) meydana gelebilmektedir. Derin göl ve baraj göllerinde ışığın ulaşmadığı bölgelerde, üst tabakadaki aşırı birincil üretimle üretilen organik maddenin biyokütle ölümleri nedeniyle dibe çökmesi sonucunda, sedimanda organik madde konsantrasyonu artmakta ve çözünmüş oksijen konsantrasyonu azalarak indirgeyici koşullar oluşmaktadır. Bu değişimlerin ötrofikasyona neden olan başlıca besin elementlerinden azot ve fosforun biyojeokimyasal döngülerini etkilediği bilinmektedir. Bununla birlikte bazıları hem kirletici hem de birincil üretimde az miktarda olsa da besin elementi (iz element) olarak kullanılan ağır metaller de, ötrofikasyonun aşırı ilerlemesi sonucu oluşan koşullardan etkilenebilmektedir. Diğer taraftan, bazı ağır metallerin hem ana besin elementlerinden biri olan fosfor ile tepkimeleri hem de ekosistemde birikme ve zehirlilik özellikleri de birincil üretime bağlı olarak değişebilmekte ve aynı zamanda da birincil üretimi etkileyebilmektedir.

Ağır metallerin ötrofik bir göldeki çevirimleri, gerçekleşen biyolojik reaksiyonlar ile çok yakından ilişkilidir (Rahman ve Hasegawa, 2012; Razavi ve ark., 2014; Webster ve ark., 2011). Birincil üretici olan alglerin çoğalması ve çökmesi sırasında ağır metaller gerek biyoakümülyasyon gerekse adsorpsiyon prosesleri ile su ortamından giderilirler. Ötrofik göllerdeki yüksek sediman oluşum hızına bağlı olarak çökelen ağır metaller sedimanda birikir. Bu nedenle genellikle su kolonundaki konsantrasyonları oldukça düşüktür. Birincil üretimdeki mevsimsel değişimler ve termal tabakalaşma ötrofik göllerde suyun pH ve ORP gibi fizikokimyasal özelliklerini önemli derecede değiştirir. Bu değişimler ağır metallerin partiküler maddeye (alg, inorganik sediman) adsorpsiyonunu ve kompleks oluşumunu etkiler (Sigg ve ark., 1995). Yu ve Wang (2004), çözünmüş fosfor konsantrasyonunun artması ile alglerin (*Scenedesmus obliquus*) hücre içine depoladığı Cd ve Zn konsantrasyonlarının arttığını belirlemişlerdir. Yuan ve ark. (2015), alglerin biyoakümülyasyon ve biyosorpsiyon prosesleri ile Pb, Cd, Ni ve Zn bakımından zenginleştiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, ötrofikasyon özellikle sediman-su kolonu ara kesitinde çevresel şartların (pH ve oksidasyon-redüksiyon potansiyeli) değişmesine neden olacağından ağır metallerin sedimandan

tekrar su kolonuna geçmesine yol açabilmektedir. Lin ve ark. (2016), güneybatı Çin'de ötrofik bir göl olan Erhai Gölü'nde sedimanda biriken ağır metal konsantrasyonlarını incelemiş ve alg patlamalarının ağır metal kaynaklı ekolojik riskleri arttırdığını belirlemişlerdir.

Ötrofikasyon ağır metallerin sudaki çevrimlerini önemli derecede etkilemektedir. Alg çoğalması sırasında suya salınan organik maddeler metaller ile kompleks oluşturarak metallerin çözünürlüğünü etkiler. Sigg ve ark. (1995), ötrofik bir göl olan Greifen Gölü'nde Zn ve Cu'nun tür dağılımını, ligand ve çökelen partiküller ile etkileşimini incelemişlerdir. Çalışmada Cu'nun alg çoğalması sırasında suya salınan organik maddeler ile güçlü kompleksler oluşturduğu, ancak Zn'nin suda zayıf kompleksler ve serbest iyonlar halinde bulunduğunu belirlemişlerdir. Özellikle yaz döneminde artan birincil üretimle Zn'nin epilimniyon tabakasından tamamen giderildiğini gözlemlemişlerdir. Bu durumun Zn'nin çökelen alg biyokütlesine adsorpsiyonu ile gerçekleştiği düşünülmektedir. Buna karşın yaz döneminde Cu'nun çökme ile gideriminin Zn'ye göre çok daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Zn ve Cu'nun aynı zamanda mangan oksitler ile birlikte çökebildiğini tespit etmişlerdir. Yaz döneminde çökelen partiküler madde Zn:Cu oranının oldukça düşük olduğunu, bu durumun Cu'nun alg tarafından suya salınan organik maddeler ile Zn'ye göre çok daha güçlü kompleksler yapmasından kaynaklandığını ortaya koymuşlardır. Benzer sonuçlar Windermere Gölü'nde de rapor edilmiş olup, diatom patlaması sırasında Zn giderimi Cu'ya göre çok daha yüksek olmuştur (Reynolds ve Hamilton-Taylor, 1992).

İngiltere'de Bala Gölü'nde yapılan bir çalışmada mavi-yeşil alg patlamaları ile sedimandaki fosfor ve ağır metal birikimi arasında pozitif korelasyon olduğu görülmüştür (Rowan ve ark., 2012). Shuchun ve Bin (2010) tarım, endüstri ve şehirleşme baskısı altındaki Taihu Gölü'nden alınan sediman numunelerinin ilk 5 cm'lik kısmında ağır metaller (Cu, Pb, Zn, Cr ve Ni), toplam organik karbon, toplam azot, toplam fosfor ve organik fosfor arasında pozitif korelasyon olduğunu belirlemişlerdir. Bu durum ağır metallerin biyoakümülyasyon ve adsorpsiyon prosesleri ile çökelen alg biyokütlesi ile birlikte sedimanda biriktiğini göstermektedir.

Fe ve Mn oksit floklarına diğer ağır metallerin adsorpsiyonu metallerin su ortamından gideriminde önemli bir procestir. Shuchun ve Bin (2010), sedimandaki Mn ve Zn arasında pozitif korelasyon ol-

duğunu bildirmiştir. Lu ve Cheng (2011) üç farklı ötrofik gölün sedimanlarında Cu ve Zn'nin fraksiyonlarını incelemiştir. Cu'nun %45-%75 oranında mineral halde, %15-%30 oranında organik maddeye bağlı olarak bulunduğunu belirlemiştir. Zn'nin de benzer şekilde %55-75 oranında mineral, %5-15 oranında organik maddeye bağlı, %20-30 oranında Fe-Mn floklarına bağlı olarak bulunduğunu gözlemiştir. Zn'nin Fe-Mn oksitlere oldukça güçlü bir şekilde adsorbe olarak çökelme belirlenmiştir.

Ötrofikasyonun su kolonundaki ağır metal konsantrasyonlarına etkisini gösteren en güncel ve detaylı çalışmalardan biri Pokrovsky ve Shirokova (2013) tarafından Svyatoye Gölü'nde yapılmıştır. Siyanobakteri patlamasının görüldüğü gölde iki gün boyunca üçer saat ara ile su yüzeyinin 0,5 m altından alınan numunelerde pH, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, temel elementler (Na, Mg, Cl, SO₄, K, Ca), organik ve inorganik karbon, ağır metaller ve iz elementler ölçülmüştür. Çalışmada, göl suyunun pH'sı ve çözülmüş oksijen konsantrasyonu gece-gündüz çevrimleri sırasında sırasıyla 7,4-8,5 ve 7-12 mg/L aralığında salınım yaptığı gözlenmiştir. Ti, Ni, Cu, Sr, Mo, Cr ve Pb gibi ağır metallerin konsantrasyonlarının birincil üretimden fazla etkilenmediği ve sudaki konsantrasyonlarının gün içerisinde sabit kaldığı belirlenmiştir. Ancak, Mn konsantrasyonunun fotosentezin gerçekleştiği gündüz saatlerinde 4 kat azaldığı, gece saatlerinde ise arttığı belirlenmiştir. Bu durum gündüz saatlerinde fotosentezin etkisi ile pH'nın 1 birim artması ve Mn'nin siyanobakteri hücrelerine adsorpsiyonu ile açıklanmıştır. Benzer bir durum Fe ve B için de gözlemlenmiştir. Geceleri Al ve Fe'nin yüksek molekül ağırlıklı alloktan organik maddelerle kompleksler oluşturarak koloidal halde bulunduğu, gündüzleri ise özellikle Al'nin alg çoğalması sırasında suya salınan düşük molekül ağırlıklı organik maddelerle kompleks oluşturduğu belirlenmiştir. Si, Na, K, Li, B, Mg, Ca ve Ba %85-90 oranında çözülmüş formda olup, gün içerisinde konsantrasyonları değişmemektedir. Zn konsantrasyonunun önemli salınımlar yaptığı belirlenmiş, ancak fotosentez kaynaklı pH ve O₂ değişimleri ile bir korelasyon kurulması mümkün olmamıştır. Sonuç olarak, incelenen 40 element arasından fitoplankton aktivitesine bağlı pH ve O₂ salınımlarından en çok etkilenen elementlerin Mn, Fe, Ba ve Zn olduğu ve bu elementlerin konsantrasyonlarının gün içerisinde sinüs fonsiyonuna benzer salınımlar yaptığı belirlenmiştir. İzlenen üç ve dört değerlikli kationların kolloidler ile güçlü kompleksler oluşturduğu ve suyun fizikokimyasal özelliklerinden fazla etkilenmediği gözlenmiştir.

Pawlik-Skowronska (2003), ağır metallerin biyoakümülyasyonunda mikroorganizma türü, pH ve ortofosfat konsantrasyonunun önemli olduğunu belirlemiştir. Özellikle yüksek Zn ve Pb konsantrasyonunun bulunduğu ortamlarda yaşamaya uyum sağlamış türlerin daha fazla ağır metali hücrelerinde biriktirebildiği bildirilmiştir. Ayrıca pH ve ortofosfat konsantrasyonu azaldığında Zn ve Pb biyoakümülyasyonunun arttığı gözlenmiştir. Diğer taraftan, yüksek Zn konsantrasyonunda yaşamaya uyum sağlamamış alg türleri üzerinde toksik etkisi olduğu, bu türlerin çoğalma hızlarının yavaşladığı ve klorofil içeriklerinin düştüğü belirtilmiştir.

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Antropojenik kaynaklı baskılar ağır metallerin sucul ortamlara ulaşımını arttırmıştır. Ağır metaller sucul ortamlardaki birikicilik, toksisite, kanserojen etkileri nedeniyle önemli kirleticiler olup, bu çalışma kapsamında detaylı olarak incelenmiştir. Ağır metal kirliliğine bağlı olarak sucul canlılarda tür sayısının azaldığı, bazı türlerin ortamdaki kaybolduğu ya da ağır metallerle toleransı yüksek olan türlerin ortamda baskın olduğu görülebilmektedir. Özellikle sucul canlıların karaciğer ve solungaç gibi dokularında birikmekte ve besin zincirine girişim yapmaktadırlar. Ağır metallerin sucul ortamlardaki taşınım, çözünme, çökme, kompleks oluşumu, adsorpsiyon ve biyoakümülyasyon mekanizmaları oldukça karmaşık süreçler olup, suyun fizikokimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Ayrıca sedimanda depolanan metaller, sedimanda gerçekleşen oksidasyon ve redüksiyon reaksiyonlarından doğrudan veya dolaylı olarak etkilenmektedirler.

Doğal bir süreç olan ötrofikasyon prosesi sucul ortamların birçok fizikokimyasal özelliğini etkilemektedir. Buna göre özellikle göl ekosistemlerinde ötrofikasyon ile ağır metal kirliliği arasındaki ilişkinin su kolonu, sedimanda gerçekleşen taşınım, çözünme, çökme, kompleks oluşumu, adsorpsiyon ve biyoakümülyasyon proselerinin etkileri göz önünde bulundurularak incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Göl ekosistemlerinde ağır metal konsantrasyon değişimlerinin ötrofikasyon ile ilişkili olduğu farklı çalışmalar ile ortaya konmuştur.

Ağır metallerin ötrofikasyon ile ilişkisinin belirlenmesi matematiksel modelleme çalışmaları ile desteklenmelidir. Bu konu ile ilgili literatürde çok az sayıda kaynak bulunmaktadır. Laboratuvar ve izleme çalışmalarının uzun ve zahmetli süreçler olduğu göz önünde bulundurulduğunda, göl

ekosistemlerine ağır metallerin taşınım, değişim ve dönüşümlerinin fizikokimyasal ve biyokimyasal prensiplere dayanılarak matematiksel olarak tahmin edilebilmesi için yapılacak matematiksel modellere ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

- Akdoğan Z., Küçükdoğan A., Güven B. (2015). Yayıllı kirleticilerin havzalardaki taşınım süreçleri: Antibiyotikler, ağır metaller ve besi maddeleri üzerine modelleme yaklaşımları. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 21-31.
- Altındag, A., Yigit, S. (2005). Assessment of heavy metal concentrations in the food web of lake Beyşehir, Turkey. *Chemosphere*, 60(4), 552-556.
- Amundsen, P.A., Staldivik, F.J., Lukin, A.A., Kasulin, N.A., Popova, O.A., Reshetnikov, Y.S. (1997). Heavy metal contamination in freshwater fish from the border region between Norway and Russia. *Science of the Total Environment*, 201(3), 211-224.
- Arockia V.L., Muruganandam, A., Revathi, P., Baskar, B., Jayapriyan, K., Baburajendran, R., Munuswamy, N. (2014). The application of histo-cytopathological biomarkers in the mud crab *Scylla serrata* (Forsk.) to assess heavy metal toxicity in Pulicat Lake, Chennai. *Marine Pollution Bulletin*, 81(1), 85-93.
- Austin, A., Deniseger, J. (1985). Periphyton community changes along a heavy metals gradient in a long narrow lake. *Environmental and Experimental Botany*, 25(1) 41-52.
- Austin, A., Munteanu, N. (1984). Evaluation of changes in a large oligotrophic wilderness park lake exposed to mine tailing effluent for 14 years: The phytoplankton. *Environmental Pollution Series A, Ecological and Biological*, 33(1) 39-62.
- Baba A., Ármannsson H. (2006). Environmental impact of the utilization of a geothermal area in Turkey. *Energy Sour*, 1, 267-278.
- Baekken, T. (1994). Effects of highway pollutants on a small Norwegian lake. *Science of The Total Environment*, 146-147, 131-139.
- Barros de Oliveira, S.M., Ruiz Pessenda, L.C., Teixeira Favaro, D.I., Babinski, M. (2012). A 2400-year record of trace metal loading in lake sediments of Lagoa Vermelha, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 33(1), 1-7.
- Becker, A., Klöck, W., Friese, K., Schreck, P., Treutler, H.-C., Spettel, B., Duff, M.C. (2001). Lake Süßer See as a natural sink for heavy metals from copper mining. *Journal of Geochemical Exploration*, 74(1-3), 205-217.
- Bhuiyan, M.A.H., Suruvi, N.I., Dampare, S.B., Islam, M.A., Quraishi, S.B., Ganyaglo, S., Suzuki, S. (2011). Investigation of the possible sources of heavy metal contamination in lagoon and canal water in the tannery industrial area in Dhaka, Bangladesh. *Environmental Monitoring and Assessment*, 175(1), 633-649.
- Byrne, C.J., DeLeon, I.R., (1987). Contributions of heavy metals from municipal runoff to the sediments of Lake Pontchartrain, Louisiana. *Chemosphere*, 16(10-12), 2579-2583.
- Chandra Sekhar, K., Chary, N.S., Kamala, C.T., Suman Raj, D.S., Sreenivasa Rao, A. (2004). Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru lake by edible fish. *Environment International*, 29(7), 1001-1008.
- Chen, S.Y., Huang, Q.Y. (2014). Heavy metals recovery from printed circuit board industry wastewater sludge by thermophilic bioleaching process. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 89(1), 158-164.
- CHI, Q., ZHU, G., Alan, L. (2007). Bioaccumulation of heavy metals in fishes from Taihu Lake, China. *Journal of Environmental Sciences*, 19, 12, 1500-1504.
- Chiu, J.M.Y., Degger, N., Leung, J.Y.S., Po, B.H.K., Zheng, G.J., Richardson, B.J., Lau, T.C., Wu, R.S.S. (2016). A novel approach for estimating the removal efficiencies of endocrine disrupting chemicals and heavy metals in wastewater treatment processes. *Marine Pollution Bulletin*, 112(1-2), 53-57.
- Cimino, G., Ziino, M., (1983). Heavy metal pollution, Part VII. Emissions from Mount Etna Volcano. *Geophysical Research Letters*, 75(1), 31-34.
- Conaway, C.H., Swarzenski, P.W., Cohen, A.S. (2012). Recent paleorecords document rising mercury contamination in Lake Tanganyika. *Applied Geochemistry*, 27, 352-359.

- Çakır M., Minareci O. (2015). Işıklı Gölü ve Işıklı Çayı'nda (Çivril-Denizli) deterjan, fosfat ve bor kirliliğinin araştırılması. İstanbul Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 30(1), 23-34.
- Çelik E. Ş. (2006). Balıkların kan parametreleri üzerine ağır metallerin etkisi. Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 23(1), 49-55.
- Demirel Z, Yildirim N., (2002). Boron pollution due to geothermal wastewater discharge into the Buyuk Menderes River, Turkey. *International Journal Environment Pollution*, 18, 602-608.
- Deniseger, J., Erickson, L.J., Austin, A., Roch, M., Clark, M.J.R. (1990). The effects of decreasing heavy metal concentrations on the biota of Buttle Lake, Vancouver Island, British Columbia. *Water Research*, 24(4), 403-416.
- Diez, E.G., Corella, J.P., Adate, T., Thevenon, F., Loizeau, J. (2017). High-resolution reconstruction of the 20th century history of trace metals, major elements, and organic matter in sediments in a contaminated area of Lake Geneva, Switzerland, *Applied Geochemistry*, 78, 1-11.
- Dogdu M.S., Bayari C.S. (2005). Environmental impact of geothermal fluids on surface water, groundwater and streambed sediments in the Akarcay Basin, Turkey. *Environmental Geology*, 47, 325-340.
- Karaca F., Alagha O., Elçi E. (2006). Büyükçekmece gölü havzasında havanın PM 2.5 ve PM 2.5-10 gruplarında krom derişimleri. *Ekoloji*, 15(61) 16-21.
- Gjessing, E., Lygren, E., Berglind, L., Gulbrandsen, T. Skanne, R. (1984). Effect of highway runoff on lake water quality, *Science of The Total Environment*, 33(1-4), 245-257.
- Gondala, M.A., Hussain, T., (2007). Determination of poisonous metals in wastewater collected from paint manufacturing plant using laser-induced breakdown spectroscopy. *Talanta*, 71(1), 73-80.
- Göksu M.Z.L., Çevik F., Fındık Ö., Sarıhan E. (2003). Seyhan Baraj Gölü'ndeki aynalı sazan (*Cyprinus carpio* L., 1758) ve sudak (*Stizostedion lucioperca* L., 1758)'larda Fe, Zn, Cd düzeylerinin belirlenmesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi*, 20(1-2) 69-74.
- Grant, S.L., Kim, M., Lin, P., Crist, K.C., Ghosh, S., Kotamarthi, V.R. (2014). A simulation study of atmospheric mercury and its deposition in the Great Lakes. *Atmospheric Environment*, 94, 164-172.
- Gromaire-Mertz, M.C., Garnaud, S., Gonzalez, A., Chebbo, G. (1999). Characterisation of urban runoff pollution in Paris. *Water Science and Technology*, 39(2), 1-8.
- Guo, W., Huo, S., Ding, W. (2015). Historical record of human impact in a lake of northern China: Magnetic susceptibility, nutrients, heavy metals and OCPs, *Ecological Indicators*, 57, 74-81.
- Güven, K.C., Öztürk, B. (2005). Deniz kirliliği. Tüda Yayınları, No: 21, İstanbul.
- Hoogenboom, R.L., Kotterman, M.J., Hoek-van Nieuwenhuizen, M., van der Lee, M.K., Mennes, W.C., Jeurissen, S.M., van Leeuwen, S.P. (2015). Dioxins, PCBs and heavy metals in Chinese mitten crabs from Dutch rivers and lakes. *Chemosphere*, 123, 1-8.
- Hu, X., Jiang, Y., Shu, Y., Hu, X., Liu, L., Luo, F. (2014). Effects of mining wastewater discharges on heavy metal pollution and soil enzyme activity of the paddy fields. *Journal of Geochemical Exploration*, 147, Part B, 139-150.
- John, M., Heuss-Aßbichler, S., Ullrich, A., Rettenwander, D. (2016). Purification of heavy metal loaded wastewater from electroplating industry under synthesis of delafossite (ABO₂) by "Lt-delafossite process". *Water Research*, 100, 98-104.
- Jónsdóttir, V., Smaradotti, B. (2015). Pollution in water and soil from the eruption in Holuhraun, Iceland: Metal concentration analysis. Chalmers University of Technology, Master Thesis, Gothenburg, Sweden.
- Karayakar, F., Bavbek, O., Cıçık, B. (2017). Mersin Körfezi'nde avlanan balık türlerindeki ağır metal düzeyleri. *Journal of Aquaculture Engineering and Fisheries Research*, 3(3), 141-150.
- Kayhan F.E., Muşlu M.N., Koç N.D. (2009). Bazı ağır metallerin sucul organizmalar üzerinde yarattığı stres ve biyolojik yanıtlar. *Journal of Fisheries Sciences*, 3(2) 153-162.
- Kikot, P., Viera, M., Mignone, C., Donati, E. (2010). Study of the effect of pH and dissolved heavy

- metals on the growth of sulfate-reducing bacteria by a fractional factorial design. *Hydrometallurgy*, 104(3-4), 494-500.
- Kozak Z., Niecko J., Kozak D. (1993). Precipitation of heavy metals in the Leczna-Wlodawa Lake Region. *The Science of Total Environment*, 133(1993), 183-192.
- Larsen, V.J. (1983). The significance of atmospheric deposition of heavy metals in four Danish lakes. *Science of The Total Environment*, 30, 111-127.
- Lee, C., Song, M.K., Ryu, J., Park, C., Choi, J., Lee, S. (2016). Application of carbon foam for heavy metal removal from industrial plating wastewater and toxicity evaluation of the adsorbent. *Chemosphere*, 153, 1-9.
- Liang, X., Ning, X., Chen, G., Lin, M., Liu, J., Wang, Y. (2013). Concentrations and speciation of heavy metals in sludge from nine textile dyeing plants. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 128-134.
- Licata, P., Trombetta, D., Cristani, M., Martino, D., Naccari, F. (2004). Organochlorine compounds and heavy metals in the soft tissue of the mussel *Mytilus galloprovincialis* collected from Lake Faro, Sicily, Italy. *Environment International*, 30(6), 805-810.
- Lin, Q., Liu, E., Zhang, E., Li, K., Shen, J. (2016). Spatial distribution, contamination and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of Erhai Lake, a large eutrophic plateau lake in southwest China. *Catena*, 145, 193-203.
- Lindström, M., Håkanson, L. (2001). A model to calculate heavy metal load to lakes dominated by urban runoff and diffuse inflow. *Ecological Modelling*, 137(1), 1-21.
- Lu C., Cheng J. (2011). Speciation of heavy metals in the sediments from different eutrophic lakes of China. *Elsevier Science*, 33, 71-79.
- Martin, A.J., McNee, J.J., Pedersen, T.F. (2001). The reactivity of sediments impacted by metal-mining in Lago Junin, Peru. *Journal of Geochemical Exploration*, 74, 175-187.
- Mason, B., Moore, C.B. (1982). Principles of geochemistry, fourth edition, John Wiley and Sons, New York, ABD.
- Minareci O., Öztürk M. (2011). Manisa ili baraj göllerinde bor kirliliğinin araştırılması, X. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 04-07 Ekim 2011, Çanakkale.
- Moiseenko, T.I., Kudryavtseva, L.P., Rodyushkin, I.V., Dauvalter, V.A., Lukin, A.A., Kashulin, N.A. (1995). Airborne contamination by heavy metals and aluminum in the freshwater ecosystems of the Kola Subarctic region (Russia). *Science of The Total Environment*, 160-161, 715-727.
- Moncur M. C., Ptacek C. J., Blowes. D. W. (2015). The Occurrence and implications of efflorescent sulfate minerals at the former sherritt-gordon zn-cu mine, sherridon, manitoba, Canada. *The Canadian Mineralogist*, 53, 961-977.
- Oberholster, P.J., Myburgh, J.G., Ashton, P.J., Botha, A.M., (2010). Responses of phytoplankton upon exposure to a mixture of acid mine drainage and high levels of nutrient pollution in Lake Loskop, South Africa. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(3), 326-335.
- Ozdemir, C., Karatas, M., Dursun, S., Argun, M.E., Dogan, S. (2005). Effect of $MnSO_4$ on the Chromium Removal from the Leather Industry Wastewater. *Environmental Technology*, 26(4), 397-400.
- Öztürk, İ. (2015) Katı atık yönetimi ve AB uyumlu uygulamaları. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi #2, İstanbul, Türkiye.
- Pawlik-Skowrońska, B. (2003). Resistance, accumulation and allocation of zinc in two ecotypes of the green alga *Stigeoclonium tenue* Kütz coming from habitats of different heavy metal concentrations. *Aquatic Botany*, 75(3), 189-198.
- Pokrovsky, O.S., Shirokova, L.S. (2013). Diurnal variations of dissolved and colloidal organic carbon and trace metals in a boreal lake during summer bloom. *Water Research*, 47(2), 922-932.
- Praspaliauskas, M., Pedišius, N., (2017). A review of sludge characteristics in Lithuania's wastewater treatment plants and perspectives of its usage in thermal processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 899-907.
- Ra, K., Bang, J.H., Lee, J.M., Kim, K.T., Kim, E.S. (2011). The extent and historical trend of me-

- tal pollution recorded in core sediments from the artificial Lake Shihwa, Korea, *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1814-1821.
- Radwan, S., Kowalik, W., Kowalczyk, C. (1990). Occurrence of heavy metals in water, phytoplankton and zooplankton of a mesotrophic lake in eastern Poland. *Science of The Total Environment*, 96(1-2), 115-120.
- Ragnarsdottir, K.V., Gislason, S. (1994). Heavy metal pollution from volcanic gases. In: American Geophysical Union Fall Meeting, San Francisco. *American Geophysical Union Transactions (EOS)*, 75(44), 717-717.
- Rahman, M.A., Hasegawa, H. (2012). Arsenic in freshwater systems: Influence of eutrophication on occurrence, distribution, speciation, and bioaccumulation. *Applied Geochemistry*, 27, 304-314.
- Razavi, N.R., Arts, M.T., Qu, M., Jin, B., Ren, W., Wang, Y., Campbell, L.M. (2014). Effect of eutrophication on mercury, selenium, and essential fatty acids in Bighead Carp (*Hypophthalmichthys nobilis*) from reservoirs of eastern China. *Science of the Total Environment*, 499, 36-46.
- Reddy, K.R., Xie, T., Dastgheibi, S. (2014). Removal of heavy metals from urban stormwater runoff using different filter materials, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 282-292.
- Reynolds, G.L., Hamilton-Taylor, J. (1992). The role of planktonic algae in the cycling of Zn and Cu in a productive soft-water lake. *Limnology and Oceanography*, 37(8), 1759-1769.
- Rowan, J.S., Black, S., Franks, S.W. (2012). Sediment fingerprinting as an environmental forensics tool explaining cyanobacteria blooms in lakes. *Applied Geography*, 32(2), 832-843.
- Samecka-Cymerman A., Kempers, A.J. (2001). Concentrations of heavy metals and plant nutrients in water, sediments and aquatic macrophytes of anthropogenic lakes (former open cut brown coal mines) differing in stage of acidification. *Science of Total Environment*, 281(1-3), 87-98.
- Sarmiento, A.M., Olías, M., Nieto, J.M., Cánovas, C.R., Delgado, J. (2009). Natural attenuation processes in two water reservoirs receiving acid mine drainage. *Science of the Total Environment*, 407, 2051-2062.
- Shipp, W.G., Zierenberg, R.A. (2008). Pathways of acid mine drainage to Clear Lake: implications for mercury cycling, *Ecological Application*, 18(8), A29-54.
- Shuchun, Y., Bin, X. (2010). Nutrients and heavy metals in multi-cores from Zhushan Bay at Taihu Lake, the largest shallow lake in the Yangtze Delta, China. *Quaternary International*, 226(1-2), 23-28.
- Siegel B., Siegel S. (1978). Mercury emission in Hawaii: Aerometric study of the Kalalua eruption of 1977. *Environment Science Technology*, 12, 1036-1039.
- Sigg, L., Kuhn, A., Xue, H., Kiefer, E., Kistler, D. (1995). Cycles of Trace Elements (Copper and Zinc) in a Eutrophic Lake. *Advances in Chemistry*, 244, 177-194.
- Simate, G.S., Ndlovu, S. (2014). Acid mine drainage: Challenges and opportunities, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(3) 1785-1803.
- Sisman, I., Imamoglu, M., Aydin A.O., (2002). Determination of heavy metals in roadside soil from Sapanca area highway, Turkey. *International Journal of Environmental and Pollution*, 17, 306-311.
- Şahinci, A.(1991). Doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir.
- Şener, Ş., Şener, E. (2015). Kovada Gölü (Isparta) dip sedimanlarında ağır metal dağılımı ve kirliliğinin değerlendirilmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(2), 86-96.
- Şengörür, B., Demirel, A. (2002). Akgöl'de (Gökent-Sakarya) ötrofikasyon ve su kalite sınıfının belirlenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(3), 1-8.
- Tang, W., Shan, B., Zhang, H., Mao, Z. (2010). Heavy metal sources and associated risk in response to agricultural intensification in the estuarine sediments of Chaohu Lake Valley, East China. *Journal of Hazardous Materials*, 176(1-3), 945-951.
- Tao, Y., Yuan, Z., Xiaona, H., Wei, M. (2012). Distribution and bioaccumulation of heavy metals in aquatic organisms of different trophic levels and potential health risk assessment from Taihu lake, China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 81, 55-64.

- Thevenon, F., Guédron, S., Chiaradia, M., Loizeau, J.L., Poté, J. (2011). (Pre-) historic changes in natural and anthropogenic heavy metals deposition inferred from two contrasting Swiss Alpine lakes. *Quaternary Science Reviews*, 30(1-2), 224-233.
- Uzun A., Keleş R., Bal İ. (2014). Sapanca gölü içme suyu havzasında otayol ve demiryolundan kaynaklanan kirliliğin yağmur suyu sulak alan metoduyla giderilmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 2(1), 9-15.
- Ünlü, A., Çoban F., Tunç, M.S. (2008). Hazar Gölü Su Kalitesinin Fiziksel ve İnorganik kimyasal Parametreler Açısından İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 119-127.
- Vardanyan, L.G., Ingole, B.S. (2006). Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. *Environment International*, 32(2), 208-218.
- Vasanthi A. L., Muruganandam A., Revathi P., Baskar B., Jayapriyan K., Baburajendran R., Munuswamy N. (2014). The application of histo-cytopathological biomarkers in the mud crab *Scylla serrata* (Forsk.) to assess heavy metal toxicity in Pulicat Lake, Chennai. *Marine Pollution*, 15, 81(1), 85-93.
- Tünay O., Kabdaşlı N.I. (1996). Physical Chemistry, İstanbul Technical University, Printing Office of Civil Engineering Faculty, ISBN 975-561-087-1. (in Turkish).
- Wagenet, R.J., Grenney, W.J., Wooldridge, G.L., Jurinak, J.J. (1979). An atmospheric -terrestrial heavy metal transport model. I. model theory, *Ecological Modelling*, 6(3), 253-272.
- Webster, R.E., Dean, A.P. (2011). Pittman, J.K., Cadmium exposure and phosphorus limitation increases metal content in the freshwater alga *Chlamydomonas reinhardtii*. *Environmental Science Technology*, 45, 7489-7496.
- Weiner E.R. (2008). Applications of Environmental Aquatic Chemistry: A Practical Guide, Second Edition, Chapter 4. Behavior of Metal Species in the Natural Environment, CRC Press, ISBN: 978-0-8493-9066-1.
- Wong, C.S.C., Li, X.D., Zhang, G., Qi, S.H., Peng, X.Z. (2003). Atmospheric deposition of heavy metals in the Pearl River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 37(6), 767-776.
- Wong, K.T.H. (1984). Atmospheric input of heavy metals chronicled in lake sediments of the Algonquin Provincial Park, Ontario, Canada, *Chemical Geology*, 44, 187-201.
- Yu, R., Wang, W. (2004). Biokinetics of cadmium, selenium, and zinc in freshwater alga *Scenedesmus obliquus* under different phosphorus and nitrogen conditions and metal transfer to *Daphnia magna*. *Environmental Pollution*, 129, 443-456.
- Yuan, H., Liu, E., Shen, J. (2015). The accumulation and potential ecological risk of heavy metals in microalgae from a eutrophic lake (Taihu Lake, China). *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 17123-17134.
- Yuan, Y., Xiang, M., Liu, C., Theng, B.K.G. (2017). Geochemical characteristics of heavy metal contamination induced by a sudden wastewater discharge from a smelter. *Journal of Geochemical Exploration*, 176, 33-41.
- Zaw, M., Chiswell, B. (1999). Iron and manganese dynamics in lake water. *Water Research*, 33(8), 1900-1910.