
SU ÜRÜNLERİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

Editör: Prof.Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

Su Ürünlerinde İleri Araştırmalar

Editör

Prof. Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

yaz
yayınları

2024

Su Ürünlerinde İleri Araştırmalar

Editör: Prof. Dr. Mustafa DÖRÜCÜ

© YAZ Yayınları

Bu kitabın her türlü yayın hakkı Yaz Yayınları'na aittir, tüm hakları saklıdır. Kitabın tamamı ya da bir kısmı 5846 sayılı Kanun'un hükümlerine göre, kitabı yayınlayan firmanın önceden izni alınmaksızın elektronik, mekanik, fotokopi ya da herhangi bir kayıt sistemiyle çoğaltılamaz, yayınlanamaz, depolanamaz.

E_ISBN 978-625-5547-12-5

Aralık 2024 – Afyonkarahisar

Dizgi/Mizanpaj: YAZ Yayınları

Kapak Tasarım: YAZ Yayınları

YAZ Yayınları. Yayıncı Sertifika No: 73086

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3
İscehisar/AFYONKARAHİSAR

www.yazyayinlari.com

yazyayinlari@gmail.com

info@yazyayinlari.com

İÇİNDEKİLER

Transboundary Waters; Water Quality and Zooplankton Structure of The Asi-Orontes River	1
<i>Ahmet BOZKURT</i>	
Balıklarda Beslenme ve Metabolizma Bozuklukları.....	42
<i>Mustafa DÖRÜCÜ</i>	
Balık Hastalıklarında Etkin Tedavi Yöntemleri	111
<i>Azime KÜÇÜKGÜL, Altuğ KÜÇÜKGÜL</i>	
Effects Of Global Warming on Sea Surface Temperature, Ph, And Dissolved Oxygen in The Eastern Mediterranean (Mersin) and Western Mediterranean (Muğla) Regions of Turkey	129
<i>Mehmet Fatih CAN, Yavuz MAZLUM</i>	
Innovative Barotrauma Treatment Researches in Fisheries.....	156
<i>Emrah ŞİMŞEK, Sevil DEMİRCİ</i>	
The Use of Algae as a Feed Ingredient in Aquaculture within the Scope of One Health.....	167
<i>Metin YAZICI, Mehmet NAZ, Yavuz MAZLUM</i>	
Strategies to Reduce the Carbon Footprint in Trawl Fishing	190
<i>Özkan AKAR, Aydın DEMİRCİ</i>	

"Bu kitapta yer alan bölümlerde kullanılan kaynakların, görüşlerin, bulguların, sonuçların, tablo, şekil, resim ve her türlü içeriğin sorumluluğu yazar veya yazarlarına ait olup ulusal ve uluslararası telif haklarına konu olabilecek mali ve hukuki sorumluluk da yazarlara aittir."

TRANSBOUNDARY WATERS; WATER QUALITY AND ZOOPLANKTON STRUCTURE OF THE ASI-ORONTES RIVER

Ahmet BOZKURT¹

1. INTRODUCTION

The Asi-Orontes is a transboundary river that rises from karst springs at an altitude of 690 meters near Labweh on the eastern bank of the Bekaa Valley in Lebanon. This region lies between the Lebanon Mountains to the west and the Anti-Lebanon Mountains to the east, not far from the source of the Litani. A large part of the river's water resources also come from the Gab Valley (Sofer, 1999). With a total length of 571 kilometers, the Orontes is the largest river in the Levant and flows north through western Asia before flowing into the Mediterranean Sea. It is mainly fed by groundwater (FAO, 2016; UN-ESCWA and BGR, 2013).

The river rises in Lebanon and flows into Lake Humus, also known as Lake Qattinah, in the Humus governorate in Syria. After leaving the lake, it crosses the city of Humus (or Hims). It continues to flow through the governorate of Hama with its capital Hamah (Hamaih-Epiphaneia) and the ancient site of Larissa (Shaizar). The river then flows into the Ghab plain. Further downstream, on the eastern edge of the Ghab, lies the ancient city of Apamea (FAO, 2016). The river's journey ends in Idlib, where it flows through the city of Jisr al-Shughur before reaching the rocky barrier of Jisr al-Hadid. The river turns west into the Antakya Plain in Hatay Governorate, Turkey (Figure 1) (FAO, 2016).

¹ Prof. Dr. Iskenderun Technical University, Marine Sciences and Technology Faculty, 31200, Iskenderun, Hatay, TÜRKİYE. ah-met.bozkurt@iste.edu.tr 0000-0001-6673-550X

The Asi-Orontes River flows north from Antakya and enters a gorge in the southwest before flowing into the sea at Samandağ (FAO, 2016). Thus, the length of the river within the Turkish borders is 88 kilometers. Historically, the Asi-Orontes River, known as Araunti in Egypt, Arantu in Assyria, and Axios in Macedonia, has long served as a border between Syria, Turkey, and Lebanon.

According to Caponera (1993), in addition to the geomorphologic structure, the flora adjacent to the riverbed also contributes significantly to the prevention of flooding. In the crop-producing areas near the marshes, pools of water have formed along and around the river banks, where at least two crops are grown each year. The river contributes significantly to the irrigation of agricultural land in this region (Taşdemir and Göksu, 2001).

1.1. Water Resources Feeding the Asi-Orontes River

The Orontes basin is fed by major water sources near the Lebanese-Syrian border, including Al-Azraq, Ain ez Zarqa, Al Ghab, Al Rouj and Ayn at Tannur, as well as about 30 other large and small springs (UNDP, 1970; FAO, 2006; Jaubert et al., 2015).

The catchment area has an estimated surface water volume of 1,110 million m³ (FAO, 2006). The annual outflow from Lebanon to the Syrian Arab Republic is 415 million m³, with 80 million m³ attributed to Lebanon and the rest to the Syrian Arab Republic according to an informal agreement between the two states. The actual natural annual outflow from the Syrian Arab Republic to Turkey for the entire Asi Basin, including the tributaries Afrin and Karasu, is 12 million m³.

The average annual flow of 26 springs in the Al-Ghab valley fell from 18.5 m³/s in 1965-71 to 9.7 m³/s in 1992-93, before steadily declining to 4.2 m³/s in 1995-96. Groundwater resources in the Syrian part of the Orontes Basin are estimated at 1,607 million m³, with the majority flowing as springs (1,134 million m³) and the remainder (473 million m³) stored in aquifers and abstracted from wells for irrigation and water supply (UN-ESCWA and BGR, 2013).



Figure 1. Orontes River and its Basin (excerpt from https://en.wikipedia.org/wiki/Orontes_River)

Syria and Turkey share two branches of the Asi River, the Afrin and the Karasu. The Afrin is an important tributary of the Asi, which rises on the southern slopes of the Kartal Mountains in Turkey. It flows through the Syrian border and the city of Afrin. The Afrin is 131 kilometers long, 54 kilometers of which are in Syria, and flows into the Asi in the Turkish region of Hatay. The Karasu is the second largest tributary of the Asi. The 120-kilometer-long river has its source in Turkey and forms a small section of the Syrian-Turkish border. It flows into the Asi near the confluence with the Afrin River north of Antakya (Figure 2). The flow rate of the Karasu is around 40 million m³/year (FAO, 2016; UN-ESCWA and BGR, 2013).

The Orontes is the main artery of the Orontes Basin, which is made up of various sub-basins. The transboundary basin covers around 24,870 km², of which 2205 km² are in Lebanon (9 %), 17,110 km² in Syria (69 %) and 5552 km² in Turkey (22 %), according to Lehner et al. (2008). The course of the Orontes, shaped by tectonic events, corresponds to the Great Syrian Rift, which has a north-south axis, is part of the Red Sea rift system and lies on a transform fault that runs from the Gulf of Aqaba to the Amanos. The river flows along this main geological axis from the sources of the Asi in the Bekaa to the Amouk depression in Hatay province. It flows into the Mediterranean below Antakya (Weulersse, 1940; Jaubert et al., 2015).

1. 2. Climate of the Asi Basin

In contrast to other Levantine rivers, the Asi-Orontes flows almost exclusively through the sub-humid Mediterranean bioclimate zone, which benefits from 400–500 mm of precipitation per year. However, the flow rate increases from top to bottom as the amount of precipitation varies throughout the catchment (Jaubert et al., 2015). An average annual temperature of

around 16 °C prevails in the entire Asi-Orontes catchment area. In January, the average temperature in the catchment area is 6 °C, although it can drop to -1 °C in the lowest regions. The average temperature in August is 25 °C, with temperatures of up to 28 °C being reached in the warmest regions (New et al., 2002). With an annual rainfall of less than 400 mm, the climate in the Lebanese part of the Asi-Orontes basin is semi-arid to arid (Estephan et al., 2008). Precipitation in the eastern parts of the basin is much lower and ranges between 400 and 600 mm, while the western mountains in the Syrian part receive 600 to 1500 mm (FAO, 2006). In the Turkish part of the basin, there is a climatic transition between the Mediterranean and the eastern Anatolian zone. The eastern part of this basin has a south-easterly climate, while the western part has a Mediterranean climate.

1.3. Population Structure of the Asi Basin

An estimated 6 million people live in the Asi basin, 381,000 (6 %) of whom live in Lebanon (LOCALIBAN, 2009), 4.2 million (69 %) in Syria (Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic, 2006) and 1.48 million (24 %) in Turkey (UN-ESCWA and BGR, 2013). The distribution of people in the catchment area varies greatly from country to country. With over four million inhabitants, the Orontes Valley in Syria is a region of great agricultural and industrial importance. The Orontes Valley is home to several medium-sized cities, two major urban centers (Humus and Hama) and a large number of industrial enterprises. The area covers around 290,000 hectares and is irrigated from both surface and groundwater sources. With the construction of state facilities such as an oil refinery in 1957 and a sugar mill in Humus in 1948, the Orontes river basin became one of the first industrialized areas in Syria. The state industrial sector expanded in the 1970s and 1980s with the construction of plants such as a metallurgical complex in Hama, yarn manufac-

turers and a fertilizer factory near Lake Qattinah. With the growth of specialized sectors, especially chemical and pharmaceutical companies, industrialization intensified in the 1990s. The population of the Orontes Basin has grown rapidly as a result of the agricultural and industrial development of the region (Jaubert et al., 2015). The population is very heterogeneous, with the majority living in Syria, in the two large cities of Hama and Humus in the center of the basin, and a smaller percentage in the arid and mountainous regions in the east and south (Jaubert et al., 2015).

1.4. Water Use in Countries

The water resources of the Orontes basin are used for domestic, industrial and agricultural purposes in all three riparian states. However, with different development plans to expand the irrigated area, Syria and Turkey control the basin's water resources, jeopardizing the viability of the basin. It is estimated that 2,800 million m³ of surface and groundwater is used annually for agriculture throughout the basin (UN-ESCWA and BGR, 2013).

The Orontes basin comprises 40 reservoirs, almost all of which are located in Syria. Al Rastan and Mhardeh, two of the largest dams, are used to generate electricity, while the others are used to regulate runoff and supply irrigation water. The three largest dams (Al Rastan, Mhardeh and Qattinah) have an annual storage capacity of 200–500 million m³. The Yarseli and Tahtaköprü dams, which are located on tributaries of the Orontes River, are the most important dams in the Turkish part of the Orontes River Basin. The Tahtaköprü Dam with a reservoir area of 24.3 km² was built in 1975 on the Karasu River and has a maximum capacity of 200 million m³ (Table 1) (UN-ESCWA and BGR, 2013).

Table 1. Important Dams on the Asi River and Nearby Cities

Country	Name	Nearest city	River	Year	Height (m)	Capacity (million m ³)	Main use
Syrian Arab Republic	Al Rastan	Hims	Asi-Orontes	1960	67	228	İrrigation+enerji
	Qattinah	Hims	Asi-Orontes	1976	7	200	irrigation
	Mhardeh	Hama	Asi-Orontes	1960	41	67	İrrigation+enerji
	Zeyzoun	Hama	-	1995	43	71	irrigation
	Kastoun	Hama	-	1992	20	27	irrigation
Türkiye	Karmanlı (Hatay)	Hatay	Bulanık	1985	35	2 000	irrigation
	Yarseli	Hatay	Beyaz Stream	1989	42	55	irrigation
	Tahtakoprü	Hatay	Karasu Stream	1975		200	irrigation
	Reyhanlı Dam	Hatay	Afrin Stream	2020	31	480	irrigation

In 2009, Syria and Turkey signed an agreement in principle to build the "Asi Friendship Dam" on the Asi-Orontes River along their border in order to provide Turkey with more water in times of peace. The dam was to be about 15 meters high and have a capacity of 110 million m³, of which 40 million m³ was to be used to prevent flooding and the remainder for irrigation and power generation. However, civil unrest and the war in Syria prevented the construction of the dam from being completed (FAO, 2009).

1.5. Cross-Border Water Issues Between Lebanon, Syria and Türkiye

Transboundary waters flow through the territory of one or more other states after originating in the territory of another state (Ünver, 1995). For transboundary or international seas, there is no law, no regulation and no generally accepted legal practice. When attempting to solve problems in this area through bilateral or multilateral agreements and within the framework of the particular circumstances, the general principles of international law and previously concluded similar agreements are tak-

en into account (Aytemiz and Kodaman, 2008). In order to resolve disagreements over these waterways, some research has been carried out in the field of international law. The measures taken by the United Nations led to the adoption of the "Convention on the Non-Navigational Uses of International Watercourses" in 1997, which represents the culmination of developments in international law that began in the 1950s. This convention, to which Turkey has not acceded, has not yet entered into force as it has not been adopted by a sufficient number of countries (FAO, 2009).

1.6. Pollution Loads Contributed by Countries to the Asi River

The natural environment in these areas is deteriorating and the people living there are suffering from a number of factors, such as increased population pressure, especially in the last century, the poor use of these areas, the development of mechanization in agriculture, excessive agricultural activity, the intensive and unconscious use of fertilizers and pesticides, water and soil pollution, the use of toxic substances and erosion. The Asi River is heavily polluted by tourists in the communities in its upper reaches, especially by household waste from vacation resorts. The release of industrial waste from factories in the delta and the upper catchment area also contributes to the pollution of the region (Özşahin, 2010). Antakya, Jisr al-Shughur, Hama and Humus are the best known cities along the river. Numerous pollutants cause untreated wastewater to enter the riverbed, which severely deteriorates the water quality (UN-ESCWA and BGR, 2013).

2. WATER QUALITY AND ZOOPLANKTON STRUCTURE OF ASI-ORONTES RIVER

2.1. Water Quality of the Asi-Orontes River Within the Borders of Lebanon

The Orontes, a transboundary water source that rises in Lebanon and is now known as El Assi, is one of its most important tributaries. It carries 420 million m³ of water annually. Its total catchment area is 25,300 km², of which Lebanon accounts for 1930 km². It is shared with Syria and Turkey. According to the survey, the Bekaa Valley is the most vulnerable area in Lebanon. Water in the Bekaa Valley has become even scarcer due to population growth, especially migration from Syria, and the increase in industrial and possibly agricultural activities (CCIAZ, 2014). An estimated 21 million m³ of water is consumed every year, of which around 23 percent is used by households and the rest for irrigation and other purposes. According to FAO estimates, 18,000–21,000 hectares of the Lebanese part of the Orontes basin are irrigated. The main sources of pollution are solid waste, industrial waste, domestic wastewater and point sources from quarries, medical and tourist facilities. In the vicinity of agricultural areas, especially in the Bekaa Valley, diffuse sources such as agricultural wastewater are also considered an important source of pollution.

The Orontes River is currently used in Lebanon for irrigation, domestic use, industry, tourism, small-scale agriculture and aquaculture. USAID (2011) reports that the Bekaa region is home to about 744 large companies and 988 industries. This includes water from operations such as dairies, food processing, water bottling, viticulture, ceramics, metal, plastic, paper, dyeing, tanning, battery manufacturing and food packaging (USAID 2011; Jaafar et al., 2016).

In addition, the main causes of the increasing risk of water pollution in Lebanon are (1) population growth, which includes the approximately 1.5 million refugees who have arrived since 2011, (2) poor waste and sanitation management and (3) the lack of monitoring and control systems.

Despite the differences between sampling sites, values for lead, mercury, cadmium, sodium, potassium, lithium, calcium, chloride, fluoride, calcium, ammonium, ammonia, nitrate, phosphorus, sulfate, total dissolved solids (TDS), dissolved oxygen, pH and biological oxygen demand (BOD₅) were within acceptable ranges and within limits that support aquatic life. Although electrical conductivity (EC) and chemical oxygen demand (COD) values were high at most sites, they remained within tolerance limits. As the wastewater was discharged untreated into the river, pollutants such as fecal matter and *E. coli* were detected in high concentrations at some monitoring sites, while they were absent at many other sites, suggesting excessive microbiological pollution.

2.2. Water Quality of the Asi-Orontes River Within the Borders of Syria

According to the Syrian Dutch Water Cooperation and the Ministry of Irrigation of the Syrian Arab Republic (2008), the Orontes Basin is one of the most severely damaged aquatic ecosystems in Syria. In addition to agriculture, the basin is also home to numerous industrial activities such as an oil refinery, a steel mill, a cement, fertilizer and sugar processing plant and thermal power plants. Water quality is threatened by the partial or untreated discharge of domestic and industrial wastewater into the river (Hajj and Ismail, 2011; Syrian Dutch Water Cooperation and Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic, 2008; Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic, 2012).

Epidemics of cholera, dysentery and typhoid have been detected in areas where the river is used for irrigation and domestic purposes (Scheumann et al., 2011). According to the Syrian Ministry of Irrigation, phosphate, nitrate and biochemical oxygen demand (BOD) have been above the permitted limits since 1995. Water quality in the upper part of the Orontes River in Syria (up to Al Omeiry) is satisfactory, but the downstream part (after Lake Qattineh) is severely impaired (Ministry of Local Administration and Environment in the Syrian Arab Republic, 2003).

In addition, sediment tests from the river revealed elevated levels of heavy metals (Hajj and Ismail, 2011). Soil samples from the Asi River catchment also contained these elements, and the soil irrigated with water from the Asi River had significantly higher concentrations of arsenic (Ar), chromium (Cr), cobalt (Co) and nickel (Ni) than the soil irrigated with groundwater only. The use of phosphate fertilizers and sewage sludge in the catchment area was held responsible for this contamination (Kassem et al., 2004).

Due to the problems caused by the depletion of freshwater resources, the determination of surface water quality has become an important field of research. The present results show that electrical conductivity (EC), dissolved oxygen (DO), chemical oxygen demand (COD), nitrate (NO_3) and phosphate (PO_4) are the most important water parameters affected by local and seasonal variations in the Orontes River basin. For this reason, some areas are more affected by agricultural activities than by the discharge of industrial water (Khouri and Sallom, 2023).

2.3. Water Quality of the Asi-Orontes River Within the Borders of Türkiye

According to studies by Taşdemir and Göksu (2001) and Özşahin et al. (2016) on the Asi River within the Turkish borders, the water quality was almost at the limits for irrigation and life. Although the values of electrical conductivity downstream have increased due to the discharges from Antakya and the other cities and the establishment of drainage canals, it was claimed that these values are still within acceptable limits for aquatic life. Nevertheless, the excessive salinity of the surface water is cited as a reason for the river's endangerment (Taşdemir and Göksu, 2001; Odemis et al., 2006; Agca and Odemis, 2009). According to a study on the trend of soil salinization, 2600 ha of land in the Turkish part of the Asi River basin were classified as saline and about 28130 ha as slightly saline (Odemis et al., 2006).

The Asi River was classified as borderline and slightly alkaline, although its pH increases as it approaches the sea. Dissolved oxygen was found to be low downstream as a result of the mixing of domestic and agricultural wastewater with the river flow, but was close to the threshold value at the Syrian border. The water hardness of the Asi River was found to be above the threshold value due to the presence of calcium and magnesium ions (Egemen and Sunlu, 2003; Egemen, 2011; Taşmen, 2006). It was found that the water of the river has hard values only in the lower regions, although it is extremely hard when it enters the nation. The chemical oxygen demand (COD) of the Asi River is above the limit, and it is said to be more polluted in Syria. However, the river cleans itself to a certain extent when oxygenated water from Turkey is added. While nitrate nitrogen in the Asi is below the limit, ammonium and nitrite nitrogen are above it, depending on the time of day (Taşdemir and Göksu, 2001; Özşahin et al., 2016).

Phosphate levels are reported to be above the limit at the point of the Asi River near the Syrian border, but due to agricultural activities, they have almost quadrupled at the point where the river flows into the sea (Özşahin et al. 2016). It has been reported that copper, chromium, iron and nickel, which are well above the limit value in the upstream part of the river, decrease in quantity at the mouth of the sea (Güler, 1997). Cadmium, lead and cobalt levels, which are high in the downstream part of the river, are above the limit value (Ağca et al., 2009). In contrast to other criteria, the values for zinc and manganese in the river section between the sea and the Syrian border are very close to each other, but well above the limit value.

The water of the Asi River in Turkey exceeds the limits for ammonium, nitrite, phosphate, cadmium, lead, copper, chromium, cobalt, nickel, zinc, iron, manganese, electrical conductivity, hardness and chemical oxygen demand (Özşahin et al., 2016). Nitrate nitrogen and dissolved oxygen are the only substances that are below the limit values. Meanwhile, the levels of hydrogen ions, nitrite nitrogen, phosphate, cadmium, lead and cobalt are even increasing within the limits of Turkey. In Turkey, on the other hand, the rates of other metrics are falling. These results show that there is excessive heavy metal pollution in the region where the Asi River flows into Turkey. In addition, the area where the river flows into the sea is highly contaminated due to the presence of all pollutants from the catchment area. This fact shows how the Asi is polluting Turkey.

Kibaroglu and Sümer (2015) state that the Asi River flows from Lebanon to Syria with a relatively low concentration of heavy metals. At the exit of the river from Syria, this amount is far higher than the limit values. The pollution of the river is mainly attributed to industrial and agricultural activities as well as domestic wastewater (Münger et al., 2014). As a result, the water quality of the Asi varies in the upper basin states, espe-

cially in Syria. Although the states concerned have made numerous agreements to tackle the problem of pollution, these agreements have lapsed due to the serious political, social and economic problems in the region.

Water sharing and water quality have become strategic issues due to political negativity and interstate tensions. Accordingly, many measures should be implemented in terms of planning, sharing and scientific and sustainable use of water resources, especially transboundary waters (Özşahin et al., 2016).

Turan et al. (2019) examined some metrics of sites near the Syrian border and the sea, including temperature, dissolved oxygen, pH, hardness (Fr), nitrate, nitrite, ammonium and phosphate. As a result, the area near the Syrian border was classified as Class I water within the parameters of the National Surface Water Quality Management Regulation based on temperature, pH and nitrate values, but all other physico-chemical parameters indicated that the water was polluted with Class III. Only the temperature and nitrate content near the river mouth were classified as Class I water; dissolved oxygen, pH and hardness (Fr) were classified as slightly polluted Class II water, and other physico-chemical parameters were classified as Class III water (Turan et al. 2019).

2.4. Zooplankton Fauna of the Asi-Orontes River and Associated Waters

Numerous streams and tributaries within the borders of Turkey are connected to the Asi. Thus it flows further into the sea, taking in and developing water from these places. However, the flow rate fluctuates as the water along its path is used for agricultural irrigation. Yarseli Reservoir, Gölbaşı Lake, Tahtaköprü Reservoir and Reyhanlı Reservoir all have access to the Asi River. The approximately 8-kilometre-long Beyaz Çay stream connects the Yarseli reservoir with the Asi River on the

Turkish-Syrian border. Pumps are used to pump water from the Asi River into the Yarseli reservoir as required. The Afrin Stream feeds the Reyhanlı Reservoir, then joins with the stream coming from the Gölbaşı Lake and then flows together with the Karasu coming from the Tahtaköprü Reservoir, receives the name Afrin Stream and joins with the Asi River (Figure 2). Numerous studies within the borders of Turkey have revealed the zooplankton fauna of the Asi River and its connected lakes Tahtaköprü Reservoir, Yarseli Reservoir, Reyhanlı Reservoir and Gölbaşı Lake. For this purpose, seven zooplankton surveys were conducted in five different habitats (Table 2). The Asi River and its associated waters in Lebanon and Syria have not been the subject of zooplankton surveys outside Turkey.

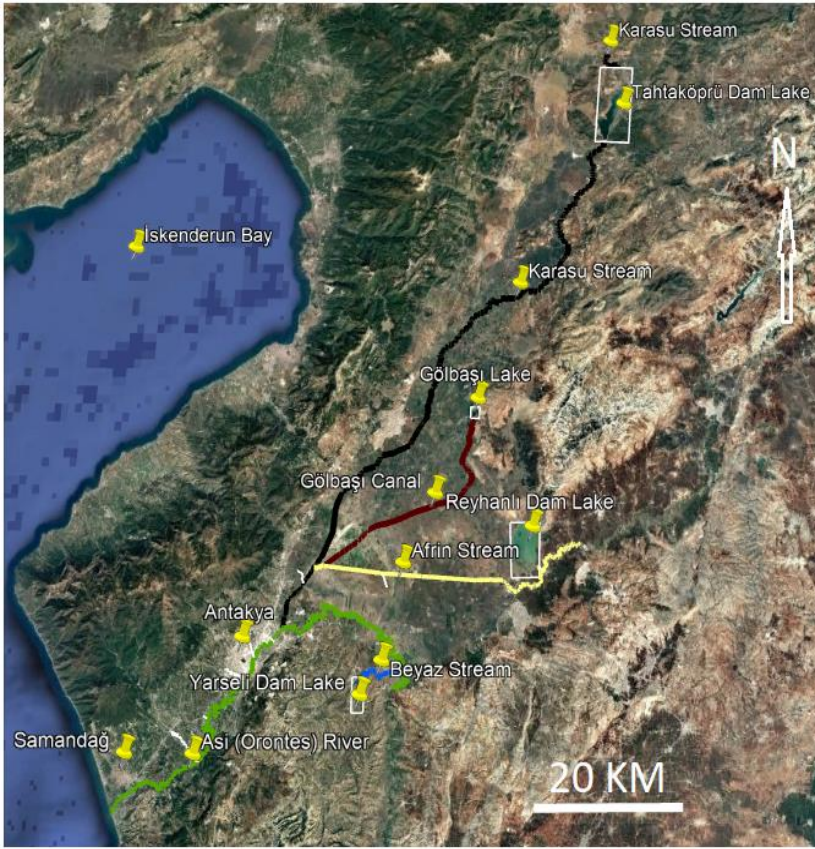


Figure 2. The River Asi and its Tributaries Within the Borders of Türkiye

Table 2. Zooplankton Studies Carried out by Various Researchers in the Asi River Within the Borders of Türkiye (AR: Asi River, YDL: Yarseli Dam Lake, TDL: Tahtaköprü Dam Lake, RDL: Reyhanlı Dam Lake, GL: Gölbaşı Lake)

ROTİFERA	Working areas				
	AR	YDL	TDL	RDL	GL
<u>Asplanchnidae</u>					
<i>Asplanchna girodi</i> de Guerne, 1888	-	-	-	+	-
<i>A. priodonta</i> Gosse, 1850	-	-	-	-	+
<i>A. sieboldi</i> (Leydig, 1854)	+	+	+	-	+
<u>Brachionidae</u>					
<i>Anuraeopsis coelata</i> (De Beauchamp, 1932)	+	-	-	-	+
<i>A. fissa</i> (Gosse, 1851)	+	-	-	-	-
<i>Brachionus angularis</i> Gosse, 1851	+	+	+	+	+
<i>B. bidentatus</i> Anderson, 1889	+	+	-	+	-
<i>B. budapestinensis</i> Daday, 1885	+	+	-	+	-
<i>B. calyciflorus</i> (Ehrenberg, 1838)	+	+	+	+	+
<i>B. caudatus</i> Barrois & Daday, 1894	+	-	-	+	-
<i>B. falcatus</i> Zacharias, 1898	+	-	-	+	-
<i>B. leydigi</i> Cohn, 1862	+	-	-	+	-
<i>B. patulus</i> (Müller, 1786)	-	-	-	-	+
<i>B. plicatilis</i> (Müller, 1786)	+	+	-	-	-
<i>B. quadridentatus</i> Herman, 1783	+	+	+	+	+
<i>B. urceolaris</i> (Müller, 1773)	+	+	+	+	-
<i>Keratella cochlearis cochlearis</i> (Gosse, 1851)	+	+	-	+	+
<i>K. cochlearis tecta</i> (Lauterborn, 1900)	+	+	-	+	+
<i>K. quadrata</i> (Müller, 1786)	+	+	+	+	+
<i>K. tropica</i> (Apstein, 1907)	+	+	-	+	+
<i>K. valga</i> Ehrenberg, 1834	+	+	+	-	+
<i>Notholca acuminata</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	-	-	+
<i>N. squamula</i> (Müller, 1786)	+	+	+	+	+
<i>Platylabus quadricornis</i> (Ehrenberg, 1832)	+	+	-	+	+
<u>Collothecidae</u>					
<i>Collotheca mutabilis</i> (Hudson, 1885)	-	-	-	-	+
<i>C. pelagica</i> (Rousselet, 1893)	-	-	-	+	+
<u>Conochilidae</u>					
<i>Conochilus unicornis</i> Rousselet, 1892	-	-	-	-	+
<u>Dicranophoridae</u>					
<i>Dicranophorus epicharis</i> Harring & Myers, 1928	-	-	-	-	+

<i>D. grandis</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	-	-	-	+
<u>Epiphanidae</u>						
<i>Epiphanes brachionus spinosus</i> (Rousset, 1901)	+	+	-	-	-	-
<i>Proalides</i> sp.	+	-	-	-	-	-
<i>Proalides tentaculatus</i> de Beauchamp, 1907	-	-	-	-	+	-
<u>Euchlanidae</u>						
<i>Beauchampiella eudactylota eudactylota</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	-	+
<i>Dipleuchlanis propatula</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	-	+
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832	+	+	+	+	-	+
<u>Notommatidae</u>						
<i>Cephalodella catellina</i> (Muller, 1786)	+	-	-	-	-	-
<i>C. forficula</i> (Ehrenberg, 1830)	+	-	-	-	+	+
<i>C. gibba</i> (Ehrenberg, 1838)	+	+	+	+	+	+
<i>Eosphora najas</i> Ehrenberg, 1830	-	-	-	-	+	+
<u>Filiniidae</u>						
<i>Filinia longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	+	+	+	+	+	+
<i>F. opoliensis</i> (Zacharias, 1898)	+	+	+	+	+	-
<i>F. terminalis</i> (Plate, 1886)	+	+	+	-	-	-
<u>Gastropodidae</u>						
<i>Ascomorpha ovalis</i> (Bergendahl, 1892)	+	-	-	-	+	-
<u>Hexarthridae</u>						
<i>Hexarthra intermedia</i> (Wiszniewski, 1929)	+	-	+	-	+	-
<i>H. mira</i> (Hudson, 1871)	-	-	-	+	-	-
<i>H. fennica</i> (Levander, 1892)	+	+	+	-	-	+
<u>Lecanidae</u>						
<i>Lecane aculeata</i> (Jabuski, 1912)	-	-	-	-	+	-
<i>L. bulla</i> (Gosse, 1886)	+	+	+	-	+	+
<i>L. closterocerca</i> (Schmarda, 1859)	+	-	-	+	+	+
<i>L. curvicornis</i> (Murray, 1913)	+	-	-	-	-	-
<i>L. flexilis</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	+	-
<i>L. furcata</i> (Murray, 1913)	-	-	-	-	+	-
<i>L. hamata</i> (Stokes, 1896)	+	+	-	-	+	-
<i>L. hastata</i> (Murray, 1913)	-	-	-	-	+	+
<i>L. hornemanni</i> (Ehrenberg, 1834)	-	-	-	-	+	-
<i>L. inermis</i> (Bryce, 1892)	-	-	-	-	+	-
<i>L. ludwigi</i> (Eckstein, 1893)	-	-	-	-	-	+
<i>L. luna</i> (Müller, 1776)	+	+	+	+	+	+
<i>L. lunaris</i> (Ehrenberg, 1832)	+	+	-	-	-	+
<i>L. papuana</i> (Murray, 1913)	+	-	-	-	-	+
<i>L. pyriformis</i> (Daday, 1905)	-	-	-	-	+	-
<i>L. scutata</i> (Harring & Myers, 1926)	-	-	-	-	+	-

<i>L. stenroosi</i> (Meissner, 1908)	-	-	-	-	+	+
<i>L. quadridentata</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	-	-	-	+
<i>L. ohioensis</i> (Herrick, 1885)	-	-	-	-	-	+
<u>Lepadellidae</u>						
<i>Colurella adriatica</i> Ehrenberg, 1831	+	-	-	-	+	+
<i>C. colurus</i> (Ehrenberg, 1830)	-	-	-	-	+	-
<i>C. uncinata</i> (Muller, 1773)	-	-	-	-	-	+
<i>Lepadella patella</i> (Müller, 1786)	+	+	-	-	+	+
<i>L. rhomboides</i> (Gosse, 1886)	+	-	-	-	+	+
<i>L. ovalis</i> (Müller, 1786)	+	+	-	-	-	+
<i>Squatinella lamellaris</i> (Müler, 1786).	-	-	-	-	-	+
<u>Mytilinidae</u>						
<i>Lophocharis salpina</i> (Ehrenberg, 1834)	-	-	-	-	-	+
<i>Mytilina mucronata</i> (Muller, 1773)	-	-	-	-	-	+
<i>M. unguipes</i> (Lucks, 1912)	+	-	-	-	-	-
<i>M. ventralis</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	-	-	+	+
<u>Notommatidae</u>						
<i>Monommata longiseta</i> (Muller, 1786)	-	-	-	-	-	+
<i>Notommata copeus</i> Ehrenberg, 1934	-	-	-	-	-	+
<u>Philodinidae</u>						
<i>Dissotrocha hertzogi</i> Hauer, 1939	-	-	-	-	+	-
<i>Rotaria neptunia</i> (Ehrenberg, 1832)	+	-	-	+	+	+
<i>R. rotatoria</i> (Pallas, 1766)	+	-	-	-	-	-
<u>Scaridiidae</u>						
<i>Scaridium longicaudum</i> (Müller, 1786)	-	+	-	-	-	+
<u>Synchaetidae</u>						
<i>Polyartra dolichoptera</i> Idelson, 1925	+	+	+	+	+	+
<i>P. vulgaris</i> Carlin, 1943	-	-	-	+	+	-
<i>Synchaeta grandis</i> Zacharias, 1893	+	-	-	-	-	-
<i>S. stylata</i> Wierzejski, 1893	-	-	-	-	+	+
<u>Testudinellidae</u>						
<i>Pompholyx sulcata</i> Hudson, 1885	-	-	-	+	+	+
<i>P. triloba</i> Pejler, 1957	-	+	-	-	-	-
<i>Testudinella mucronata</i> (Gosse, 1886)	-	-	-	-	-	+
<i>T. patina</i> (Herman, 1783)	+	+	+	-	+	+
<u>Trichocercidae</u>						
<i>Trichocerca elongata</i> (Gosse, 1886)	+	-	-	-	-	+
<i>T. iernis</i> (Gosse, 1887)	-	-	-	-	-	+
<i>T. longiseta</i> (Schränk, 1802)	-	-	-	-	-	+
<i>T. pusilla</i> (Jennings, 1903)	-	-	-	-	+	-

<i>T. porcellus</i> (Gosse, 1886)	+	-	-	-	-	+
<i>T. rutneri</i> Donner, 1953	-	-	-	-	+	-
<i>T. stylata</i> (Gosse, 1851)	-	-	-	-	-	+
Trichotriidae						
<i>Trichotria pocillum</i> (Müller, 1776)	+	+	-	-	-	-
<i>T. tetractis</i> (Ehrenberg, 1830)	+	+	-	-	-	+
<i>Wolga spinifera</i> (Western, 1894)	+	+	-	-	-	+
CLADOCERA						
Bosminidae						
<i>Bosmina longirostris</i> (Müller, 1785)	+	+	+	+	+	+
Daphniidae						
<i>Ceriodaphnia pulchella</i> Sars, 1862	+	+	-	+	-	+
<i>C. quadrangula</i> (Müller, 1785)	+	+	+	-	-	-
<i>Daphnia curvirostris</i> Eylmann, 1887	+	+	+	-	-	-
<i>D. magna</i> (Straus, 1820)	+	+	+	-	-	+
<i>D. ulomskyi</i> Behning, 1941	-	+	-	-	-	-
<i>Simocephalus serrulatus</i> (Koch, 1841)	-	-	-	-	-	+
<i>S. vetulus</i> Müller, 1776	+	+	+	-	-	-
<i>Scapholeberis kingi</i> Sars, 1903	-	-	-	-	-	+
Sididae						
<i>Diaphanosoma birgei</i> Korinek, 1981	-	-	-	+	-	-
<i>D. brachyurum</i> (Liévin, 1848)	-	-	-	-	-	+
<i>D. lacustris</i> Korinek, 1981	+	+	+	-	-	-
Moinidae						
<i>Moina micrura</i> Kurtz, 1874	+	+	+	+	+	+
Chydoridae						
<i>Alona costata</i> Sars, 1862	-	-	-	-	+	+
<i>A. guttata</i> Sars, 1862	+	+	+	-	-	-
<i>A. rectangula</i> Sars, 1862	+	+	+	+	-	+
<i>Alonella excisa</i> (Fischer, 1854)	-	-	-	-	-	+
<i>A. exigua</i> (Lilljeborg 1853)	-	-	-	-	-	+
<i>Camptocercus uncinatus</i> Smirnov, 1971	+	-	-	-	-	+
<i>Chydorus sphaericus</i> (Müller, 1776)	+	+	+	+	-	+
<i>Disparalona rostrata</i> (Koch, 1841)	-	-	-	-	+	-
<i>Dunhevedia crassa</i> King, 1853	-	-	-	-	-	+
<i>Graptoleberis testudinaria</i> (Fischer, 1848)	-	-	-	-	-	+
<i>Leydigia acathocercoides</i> (Fischer, 1854)	+	+	-	-	-	-
<i>L. leydigi</i> (Schödler, 1863)	-	-	-	+	-	-
<i>Picripleuroxus laevis</i> Sars, (1862)	-	-	-	-	-	+
<i>Pleuroxus aduncus</i> (Jurine, 1820)	+	-	-	+	-	-
<i>Pleuroxus uncinatus</i> Baird, 1850	-	-	-	-	-	+
<i>Pseudochydorus globosus</i> (Baird, 1843)	-	-	-	-	-	+

<u>Ilyocryptidae</u>							
<i>Ilyocryptus sordidus</i> (Lievin, 1848)	+	+	-	-	+	+	
<u>Macrothricidae</u>							
<i>Macrothrix groenlandica</i> Lill-jeborg, 1900	+	+	+	-	-	-	
<i>M. laticornis</i> (Jurine, 1820)	-	-	-	+	+	+	
<u>COPEPODA</u>							
<u>Cyclopidae</u>							
<i>Acanthocyclops robustus</i> (Sars, 1863)	+	-	-	-	+	-	
<i>Cryptocyclops bicolor</i> (Sars, 1863)	-	-	-	+	-	+	
<i>Cyclops vicinus</i> Uljanine, 1975	+	+	+	+	+	-	
<i>Diacyclops bicuspidatus</i> (Claus, 1857)	+	+	+	+	-	+	
<i>Eucyclops macruroides</i> (Lill-jeborg, 1901)	+	-	-	-	-	-	
<i>E. speratus</i> (Lilljeborg 1901)	+	-	-	+	-	+	
<i>Macrocyclus albidus</i> (Jurine, 1820)	+	-	-	-	-	+	
<i>Megacyclops viridis</i> (Jurine 1820)	+	-	-	-	-	+	
<i>Mesocyclops leuckarti</i> (Claus, 1857)	+	+	+	+	-	-	
<i>Microcyclops rubellus</i> (Lill-jeborg, 1901)	+	-	-	-	+	-	
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	+	+	+	-	-	+	
<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)	+	-	-	+	-	-	
<u>Diaptomidae</u>							
<i>Arctodiaptomus acutilobatus</i> Sars, 1903	-	+	+	-	-	-	
<i>Eudiaptomus drieschi</i> Poppe & Mrazek, 1895	+	+	+	-	-	+	
<u>Canthocamptidae</u>							
<i>Bryocamptus minutus</i> (Claus 1863)	+	-	-	+	-	-	
<i>Nitocra hibernica</i> (Brady, 1880)	+	+	+	-	+	+	
<u>Laophontidae</u>							
<i>Onychocamptus mohammed</i> (Blanchard & Richard, 1891)	+	-	-	-	+	+	
<u>Ergasilidae</u>							
<i>Ergasilus sieboldi</i> von Nordmann, 1832	-	-	-	-	+	-	
<u>Lernaeidae</u>							
<i>Lernaea cyprinacea</i> Linnaeus, 1758	-	-	-	+	+	+	
Number of species	93	37	41	67	89		

Zooplankton studies were conducted by Bozkurt et al. (2002), Göksu et al. (2005) and Bozkurt and Güven (2010) within the Turkish boundaries of the Asi River. In addition, Bozkurt et al. (2004), Bozkurt and Tepe (2011), Ülgü and Bozkurt (2015) and Bozkurt (2024) conducted studies on zooplankton in lakes and reservoirs associated with the Asi River. 22 species of Brachionidae and 19 species of Lecanidae were identified among the 21 Rotifera families documented in all studied waters. Among the Cladocera, a total of 7 families were identified, of which most species (16) were found in the Chydoridae, followed by the Daphnidae with 8 species. A total of 6 families of Copepoda were reported, of which 12 species belonged to the Cyclopidae (Table 2).

A total of 93 taxa, including 60 Rotifera, 17 Cladocera and 16 Copepoda, were reported from the Asi River within the borders of Turkey. Bozkurt et al. (2004) reported 37 zooplankton taxa, including 19 rotifers, 11 cladocerans and 7 copepods, in the Yarseli Reservoir, which is connected to the Asi River. According to Bozkurt and Tepe (2011), Lake Gölbaşı, which is connected to the Asi River by a channel, harbours 89 taxa, including 20 cladocerans, 10 copepods and 59 rotifers. The Tahtaköprü Reservoir, which is connected to the Asi River by the Karasu Stream, harbours 41 species, including 24 rotifers, 9 cladocerans and 8 copepods (Ülgü and Bozkurt, 2015). In the study conducted in the Reyhanlı Reservoir, which is connected to the Asi River by the Afrin Stream, 67 taxa were found, including 54 rotifers, 6 cladocerans and 7 copepods (Bozkurt, 2024). As will be shown below, the Asi River has a greater biodiversity than other habitats to which it is connected.

Sorensen's similarity index ($Q = 2a/2a+b+c$) was used to calculate the percentage similarities between the zooplankton of the Asi River and the zooplankton fauna of the surrounding waters (Krebs, 1989). The formula is as follows: a) the number of

species that are common to both sampling environments; b) the number of species that are different in the first sampling environment; and c) the number of species that are different in the second sampling environment from the first sampling environment.

Brachionus angularis, *B. calyciflorus*, *B. quadridentatus*, *C. gibba*, *Filinia longiseta*, *K. quadrata*, *L. luna*, *Polyartra dolichoptera*, *Bosmina longirostris*, *Moina micrura* were found in all waters (5 areas), while, *A. sieboldi*, *B. urceolaris*, *Euchlanis dilatata*, *F. opoliensis*, *Keratella cochlearis cochlearis*, *K. cochlearis tecta*, *K. tropica*, *Lecane bulla*, *L. closterocerca*, *N. Squamula*, *Testudinella patina*, *Rotaria neptunia*, *A. rectangula*, *Chydorus sphaericus*, *Cyclops vicinus*, *Diacyclops bicuspidatus*, *Nitocra hibernica* was found in 4 different study areas.

The species found in three aquatic areas were *A. coelata*, *B. budapestinensis*, *C. forficula*, *Colurella adriatica*, *Hexarthra intermedia*, *H. fennica*, *K. valga*, *Lepadella patella*, *L. rhomboides*, *M. ventralis*, *Pompholyx sulcata*, *Platyas quadricornis*, *Ceriodaphnia pulchella*, *D. magna*, *Ilyocryptus sordidus*, *M. laticornis*, *E. speratus*, *Mesocyclops leuckarti*, *Paracyclops fimbriatus*, *Eudiaptomus drieschi*, *Onychocamptus mohammed* and *Lernaea cyprinacea*. It was reported that *Anuraeopsis fissa*, *B. plicatilis*, *Cephalodella catellina*, *L. curvicornis*, *L. hamata*, *M. Unguipes*, *P. triloba*, *R. rotatoria*, *Synchaeta grandis*, *Trichotria pocillum*, *D. ulomskyi*, *Leydigia acathocercoides* ve *Eucyclops macruroides* were found only in the Asi River, while *A. girodi*, *H. mira*, *Diaphanosoma birgei*, *L. leydigi* were found only in the Tahtaköprü Dam Lake. Similarly, *Collotheca mutabilis*, *Colurella colurus*, *Conochilus unicornis*, *Dichranophorus epicharis*, *Dissotrocha hertzogi*, *Lecane aculeate*, *L. flexilis*, *L. furcate*, *L. hornemanni*, *L. inermis*, *L. pyriformis*, *L. scutata*, *Proalides tentaculatus*, *Trichocerca pusilla*, *T. ruttneri* and *Disparalona rostrata* were found only in Reyhanlı Dam Lake and

Asplanchna priodonta, *Beauchampiella eudactylota eudactylota*, *Brachionus patulus*, *Colurella uncinata*, *Dipleuchlanis propatula*, *Lecane ohioensis*, *Lophocharis salpina*, *Monommata longiseta*, *Mytilina mucronata*, *Notommata copeus*, *Squatinella lamellaris*, *Testudinella mucronata*, *Trichocerca iernis*, *T. longiseta*, *T. stylata*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Simocephalus ser-rulatus*, *Alonella excisa*, *A. exigua*, *Dunhevedia crassa*, *Grap-toleberis testudinaria*, *Picripleuroxus laevis*, *Pleuroxus uncina-tus*, *Pseudochydorus globosus* and *Scapholeberis kingi* were recorded only in Gölbaşı Lake. Every species that was discovered in Yarseli Dam Lake was also found in the Asi River.

Copepod species are often more tolerant of eutrophic environments (Gannon and Stemberger, 1978), and their population densities are generally higher under these conditions (Hessen et al. 1995). *Lecane hamata*, *L. furcata*, *Monommata longiseta*, *Scaridium longicaudum* and *Trichocerca* are bioindicators associated with oligotrophic waters, while brachionids and chydorids are associated with eutrophic waters (Whiteside and Harmsworth, 1967; Whiteside, 1970; Sládecek 1983; Duigan and Murray, 1987; Hofmann, 1996; Brodersen et al., 1998).

Some species found in eutrophic waters, such as *Asplanchna girodi*, *A. priodonta*, *Anuraeopsis coelata*, *A. fissa*, *Brachionus angularis*, *B. quadridentatus*, *B. calyciflorus*, *B. urceolaris*, *Colletheca pelagica*, *C. mutabilis*, *Keratella cochlearis*, *K. cochlearis tecta*, *K. tropica*, *K. quadrata*, *Notholca squamula*, *Platytias quadricornis*, *Euchlanis dilatata*, *Filinia longiseta*, *Lecane bulla*, *L. luna*, *L. lunaris*, *Lepadella patella*, *Polyartra dolichoptera*, *P. vulgaris*, *Pompholyx sulcata*, *Trichocerca pusilla*, *Trichotria pocillum*, *T. tetractis*, *R. neptunia* (Rotifera), *Bosmina longirostris*, *Daphnia magna*, *Ceriodaphnia quadrangula*, *A. rectangula*, *Chydorus sphaericus*, *Graptoleberis testudinaria*, *Leydigia leydigi* (Cladocera), *Cyclops vicinus*, *Thermocyclops crassus* (Copepoda) have been identified as

indicators of eutrophication (Rylov, 1963; Borutski, 1963; Dussart, 1969; Ruttner-Kolisko, 1974; Koste, 1978; Voigt and Koste, 1978; Pontin, 1978; Pesce and Maggi, 1981; Koste ve Shiel 1987; Berzins ve Pejler 1989; Berzins and Bertilsson, 1990; Koste ve Shiel 1990; Hansen and Jeppesen, 1992; Segers 1995; De Manuel Barrabin, 2000; Petrusek, 2002; Fontaneto vd. 2008; Jersabek ve Bolortsetseg 2010; Shah and Pandit, 2013; Apaydın Yağcı, 2016).

3. CONCLUSION

The Asi-Orontes River collects streams from the plateaus and hills on both sides of the rift valley. Until recently, spring water in the catchment area was the main source of water for the Asi, but today more than half of the water needed for various purposes in the catchment area comes from underground resources, and the river's groundwater supply has diminished.

In the last ten years, the intensive use of groundwater in agriculture has led to the depletion of the aquifer's water reservoirs, a lower groundwater table and a severe depletion of resources.

The water of the Orontes is used to irrigate around 350,000 hectares of land, 58 % of which is in Syria, 36 % in Turkey and 6 % in Lebanon (FAO, 2009). This has led to a lowering of the groundwater table, the depletion of underground reservoirs and a significant decline in yields (UN-ESCWA and BGR, 2013).

While there are several bilateral agreements on issues such as water allocation (between Lebanon and Syria) and the joint construction of infrastructure (between Syria and Turkey), there is no agreement between the three riparian states on the level of the Orontes, which is a transboundary river. The state of

Turkish-Syrian relations in general and the debates over the sharing of the Euphrates in particular have a significant impact on politics in the Orontes basin. Finally, Syria is reluctant to talk about the Orontes because it might change its mind on the Hatay issue. It is difficult for Syria to develop a stable water policy because it is both a riparian of the Orontes and a riparian of the Euphrates. For this reason, the country wants to avoid a discussion about the Orontes (FAO, 2009).

Industrial wastewater is either discharged directly into the river or into sewage systems that flow into the Orontes. These discharges render a significant portion of surface water unusable and can be a major cause of water pollution if not stopped (USAID, 2011; Jaafar et al., 2016).

The middle and lower parts of the Orontes River in Lebanon are deteriorating due to industrial, urban and agricultural activities, although water quality is generally high (FAO, 2009; UN-ESCWA and BGR, 2013).

The quality of groundwater in Lebanon is deteriorating as a result of excessive extraction and pollution by humans and the degradation of surface water. Primary aquifers are affected by seawater intrusion caused by over-abstraction in coastal regions (MoE, 2020). Groundwater supply is seriously threatened by nitrate in agricultural areas, especially in the Bekaa Valley. In addition, the aquifer is particularly vulnerable to bacterial contamination due to its karst structure and low filtration rate. Of the 31 test sites on the coast, 17 showed higher than usual levels of fecal coliform bacteria (Ministry of the Environment, 2020).

To summarise, while untreated water in Lebanon is undoubtedly not suitable for human consumption, it is perfectly acceptable for many other uses. But once a pollution trend has started, it tends to accelerate and cause further damage. Accord-

ing to reports, water quality could deteriorate significantly in the coming years (ACTED, WeWorld-GVC, and BTd, 2023).

The MANOVA analysis showed that seasonal variations had a significant effect on temperature, dissolved oxygen, phosphate, suspended solids, turbidity, total hardness, Mg and Ca. As for the spatial effect, the MANOVA analysis revealed that location had a significant effect on electrical conductivity, dissolved oxygen, chemical oxygen demand, biological oxygen demand, ammonium, phosphate, suspended solids, turbidity, sodium, nitrate, potassium, calcium and total dissolved solids. This observation showed how tourist attractions and industrial sanitation facilities altered the indicators of the Orontes River.

According to the Syrian standard specifications, the majority of the measured values examined in the upper reaches of the river were on average within an acceptable range. In contrast to spring and winter, there was a significant increase in chemical oxygen demand and a decrease in dissolved oxygen in fall and summer. This was seen as a sign of pollution from wastewater in summer and fall, especially industrial wastewater (Khouri and Sallom, 2023).

Korkmaz and Karataş (2009) reported that the waters of the Orontes River in Syria are exposed to extreme pollution. The sources of this pollution are petrochemical plants near humus, factories that produce chemical waste and factories that produce phosphate fertilizers. In addition, untreated household waste from large cities such as Hama and Humus is discharged into the Orontes. As a result, the river is becoming increasingly polluted. Numerous areas in the catchment area are endangered by similar circumstances (UN-ESCWA - BGR, 2013).

Activities in the Asi catchment generally affect water quality, with the upper reaches having the best quality and the lower reaches the worst. Industrial and agricultural activities,

businesses, restaurants and entertainment facilities, farms and recreational activities in the catchment have been reported to cause poor water quality (ACTED, WeWorld-GVC and BTĐ, 2023). Comair and Scoullos (2015) claimed that the pollution of the Asi River started in Lebanon and has since moved to Syria, and that the water quality in Turkey will deteriorate. This situation has put Turkey in an extremely unfortunate position. The most important problem contributing to the pollution of the Asi River is the lack of a wastewater treatment plant in the catchment area (Münger et al., 2014).

According to the criteria of the Turkish Water Pollution Regulation, the stations of the Asi River along the Syrian border and the sea were found to have Class III polluted water (Turan et al., 2019).

Freshwater species are used as indicators to assess pollution, eutrophication and water quality (Yiğit, 2002; Güher, 2014). Rotifera species are often cited as an indicator of eutrophic water. Herzig (1980) claims that calanoid copepods are more abundant in oligotrophic environments than other zooplankton groups. However, Rotifera, Cladocera and cyclopoid

Also in this case, 39 species commonly found in eutrophic waters were found in the Asi River and surrounding waters. Asi River reported 30 of these species, Gölbaşı Lake 27, Tahtaköprü Reservoir 24, Reyhanlı Reservoir 23 and Yarseli Reservoir 17. Zooplankton abundance information is available for Asi River and Tahtaköprü Reservoir but not included in other studies. Accordingly, about 10 individuals/L of zooplankton species, which are considered eutrophication indicators, were found in the Asi River, while the Tahtaköprü Reservoir had a maximum value of 64 individuals/L (Bozkurt and Güven, 2010; Ülgü and Bozkurt, 2015).

Saprobi, which is an expression of organic pollution and oxygen deficiency in water bodies, has the property of contain-

ing different, i.e. indicator species, depending on their quantity at different levels. Accordingly, Oligosaprobi (very slightly polluted waters) indicator species: *Collotheca mutabilis*, *Ascomorpha ovalis*, *Asplanchna priodonta*, *Euchlanus dilatata*, *Keratella cochlearis*, *Trichocerca porcellus*, *T. pusilla*, *T. ruttneri*, *T. elongata* (Ruttner-Kolisko, 1974; Illies, 1978; Koste, 1978; Sládeček, 1983; Berzins and Pejler, 1989; Pejler and Berzins, 1993; De Manuel Barrabin, 2000; Shumka and Miho, 2006). Oligo-Beta saprobi (slightly polluted waters) indicator species: *Asplanchna girodi*, *A. sieboldi*, *Trichotria pocillum*, *T. tetractis*, *Lepadella patella*, *Lecane luna*, *L. closterocerca*, *L. lunaris*, *L. bulla*, *Colurella adriatica*, *Euchlanis dilatata*, *Cephalodella gibba*, *Trichocerca longiseta*, *Polyarthra vulgaris*, *Mytilina ventralis*, *Platytias quadricornis*, *Notommata copeus* (Ruttner-Kolisko, 1974; Illies, 1978; Koste, 1978; Berzins and Pejler, 1989; Pejler and Berzins, 1993; De Manuel Barrabin, 2000; Shumka and Miho, 2006). Beta mesosaprobi (moderately polluted waters) indicator species: *Testudinella patina*, *Filinia longiseta*, *Euchlanis dilatata*, *Keratella quadrata*, *Notholca squamula*, *Pompholyx sulcata*, *C. quadrangular*. Alpha-Beta mesosaproby (critically polluted) indicator species are *Brachionus angularis*, *B. calyciflorus*. Alpha mesosaproby (heavily polluted) indicator species are *Lepadella patella*, *Filinia longiseta*, and *Rotaria rotatoria* (Ruttner-Kolisko, 1974; Illies, 1978; Koste, 1978; Berzins and Pejler, 1989; Pejler and Berzins, 1993; De Manuel Barrabin, 2000; Shumka and Miho, 2006). Polymesosaproby (heavily polluted) indicator species is *Rotaria neptunia* (Pejler and Berzins, 1993; De Manuel Barrabin, 2000; Shumka and Miho, 2006).

Similarly, many researchers have reported that some species of rotifers occur in saltwater environments. Accordingly, the species that occur in fresh and brackish water environments, but may also be widespread in saltwater environments, are *Asplanchna girodi*, *A. priodonta*, *Anuraeopsis fissa*, *Brachionus angularis*, *B. quadridentatus*, *Collotheca mutabilis*, *Euchlanis dilatata*, *Cephalodella catellina*, *C. forficula*, *C. gibba*, *Colurella adriatica*, *C. colurus*, *C. uncinata*, *Filinia longiseta*, *F. terminalis*, *Hexarthra fennica*, *Keratella cochlearis*, *Lecane bulla*, *L. closterocerca*, *L. furcate*, *L. hamata*, *L. luna*, *L. lunaris*, *L. pyriiformis*, *L. quadridentata*, *Lepadella patella*, *L. ovalis*, *Lophocharis salpina*, *M. ventralis*, *Platyias quadricornis*, *Polyartra dolichoptera*, *P. vulgaris*, *Scaridium longicaudum*, *T. pusilla* have been reported (Ruttner-Kolisko 1974; Pontin 1978; Koste 1978; İllies, 1978; Koste and Shiel 1987; Berzins and Pejler 1989; Nogrady et al. 1995; Segers 1995; De Manuel Barrabin, 2000; Fontaneto et al. 2008, Jersabek and Bolortsetseg 2010).

The Asi River and Lake Gölbaşı showed the highest similarity in zooplankton at 62%. The similarity of zooplankton between the Asi River and Tahtaköprü Reservoir was 48%, between the Asi River and Reyhanlı Reservoir 52% and between the Asi River and Yarseli Reservoir 57%.

According to Ruttner-Kolisko (1974), most eutrophic indicator species are represented in oligotrophic lakes of the temperate zone with about 200–500 individuals/l, but in eutrophic lakes with 1000-2000 individuals/l. In view of the high content of phosphate and nitrogen compounds in the river and the intensive agricultural practises in this area, it can be assumed that the Asi and the adjacent waters are eutrophic or have a tendency to become eutrophic.

The Asi has mesotrophic water characteristics and is classified as a less polluted (Oligo Beta Saprobic) water body

based on an analysis of species abundance and indicator values. Considering the high salinity in the surface water of the Asi River and the surrounding soil (Taşdemir and Göksu, 2001; Odemis et al., 2006; Agca and Odemis, 2009) and the presence of 34 species with high saltwater tolerance in the river, it is clear that there is a threat to the Asi River.

REFERENCES

- ACTED, WeWorld-GVC, and BTd. (2023), Consultancy Services for River Basin Management: Al Assi River Basin Baseline Report, Beirut Lebanon.
- Agca, N. and Odemis, B. (2009), Spatial and Temporal Variations of Water Quality Parameters in Orontes River (Hatay, Türkiye). *Fresenius Environmental Bulletin* 2009, 18(4), 456-460.
- Ağca, N., Ödemiş, B. and Yalçın, M. (2009), Spatial and temporal variations of water quality parameters in orontes river (Hatay, Türkiye). *Fresenius Environmental Bulletin*, 18(4), 456-460.
- Apaydın Yağcı, M. (2016), Variations in the Zooplankton Species Structure of Eutrophic Lakes in Türkiye. IntechOpen, Chapter 5, 23 p.
- Aytemiz, L. and Kodaman, T. (2008), Sınır Aşan Sular Kullanımı ve Türkiye- Suriye İlişkileri. TMMOB Su Politikaları Kongresi, 527-537, 21- 23. 03.2008 Ankara
- Berzins, B. and Bertilsson, J. (1990), Occurrence of limnic microcrustaceans in relation to pH and humic content in Swedish water bodies. *Hydrobiologia*, 199, 65-71.
- Berzins, B. and Pejler, B. (1989), Rotifer occurrence and trophic degree. *Hydrobiologia* 182, 171-180.
- Borutski, E.V. (1963), Fauna of USSR, Crustacea, Freshwater Cyclopoida. I.P.S.T. Jerusalem, III(4), 394 p.
- Bozkurt, A., Dural, M. and Yılmaz, A. B. (2004), Some Physico-chemical Parameters and Zooplankton (Rotifer, Cladocer and Copepod) Fauna of Yarseli Dam Lake (Hatay/Türkiye). *Turkish Journal of Aquatic Life* 3, 307-317 (in Turkish).
- Bozkurt, A. (2024), Seasonal Analysis of Reyhanlı Dam Lake Zooplankton Fauna. *Marine and Life Sciences*, 6(1), (in press).

- Bozkurt, A. and Güven, S. E. (2010), Zooplankton succession of the Asi River (Hatay- Türkiye). Journal of FisheriesSciences.com, 4(4), 337-353.
- Bozkurt, A. and Tepe, Y. (2011), Zooplankton Composition and Water Quality of Lake Gölbaşı (Hatay-Türkiye). Fresenius Environmental Bulletin, 20(1a), 166-174.
- Bozkurt, A., Göksu M. Z. L., Sarıhan, E. and Taşdemir, M. (2002), Rotifera fauna of Asi (Orontes) River (Hatay, Türkiye). E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 19 (1-2), 63-67.
- Brodersen, K. P., Whiteside, M. C. and Lindegaard, C. (1998), Reconstruction of trophic state in Danish lakes using subfossil chydorid (Cladocera) assemblages. Can J Fish Aquat Sci 55, 1093-1103.
- Caponera, D.A. (1993), Legal Aspects of Transboundary River Basins in The Middle East: The Al Asi (Orontes), The Jordan and The Nile. Natural Resources Journal, 33(3), 628- 663.
- CCIAZ. (2014), Annual Report. www.cciatz.org.lb/english/annual-report.
- Comair, F. G. and Scoullos, M. (2015), Orontes hydro-diplomacy: Historical overview and Lebanon's trans-boundary water treaties. In Science diplomacy and trans-boundary water management the Orontes River case.
- De Manuel Barrabin, J. (2000), The rotifers of Spanish reservoirs: ecological, systematical and zoogeographical remarks. Limnetica 19, 91-167.
- Duigan, C. and Murray, D. A. (1987), A contribution to the taxonomy of *C. sphaericus* sens. lat. Cladocera, Chydoridae. Hydrobiologia 145, 113-24.
- Dussart, B. (1969), Les Copepodes des eaux continentales d'europe occidentale tale II. cyclopoides et biologie. N. Boubée et cie, Paris, 283 pp.

- Egemen, Ö. and Sunlu, U. (2003), Water Quality, (In Turkish), Bornova, E.Ü. Faculty of Fisheries Journals 14, İzmir, 148p.
- Egemen, Ö. (2011), Su Kalitesi (7. Baskı). Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi, Yayın No:14, 150 s., Bornova – İzmir.
- Estephan, C., Nimah, M. N., Farajalla, N. and Karam, F. (2008), Lebanon. Rural Development Project. The Upper Bekaa valley of Lebanon. Orontes River Basin.
- FAO. (2006), State of world aquaculture 2006. FAO Fisheries Technical Paper No. 500. Rome.
- FAO. (2009), Irrigation in the Middle East Region in Figures, Aquastat Survey 2008. In FAO Reports 34. Rome
- FAO. (2016), Asi-Orontes Basin, Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved 18 March 2018.
- Fontaneto, D., Segers, H. and Melone, G. (2008), Marine rotifers from the Northern Adriatic Sea, with description of *Lecane insulacnae* sp. nov. (Rotifera: Monogononta: Lecanidae). Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 88, 253–258.
- Gannon, J. E. and Stemberger, R. S. (1978), Zooplankton (Especially Crustaceans and Rotifers) as Indicators of Water Quality', Transactions of the American Microscopical Society 97, 16–35.
- Göksu, M. Z. L., Bozkurt, A., Taşdemir, M. and Sarıhan, E. (2005), Copepoda and Cladocera (Crustacea) fauna of Asi River (Hatay, Türkiye). E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences 22(1-2), 17– 19.
- Güler, Ç. (1997), Su Kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:43, Ankara. 94s.
- Güher, H. (2014), A checklist of zooplankton (Rotifera, Copepoda, Cladocera) of European Türkiye inland waters. Ege J Fish Aquat Sci. 31, 221–225.

- Hajj, E. A. and Ismail, I. M. (2011), Trace Elements Concentration in Sediments of Orontes River Using PIXE Technique. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, 269, 1818-1821.
- Hansen, A. M. and Jeppesen, E. (1992), Changes in the abundance and composition of cyclopoid copepods following fish manipulation in eutrophic Lake Vaeng, Denmark. Freshwater Biology 28(2), 183-193.
- Herzig, A. (1980), Ten years' quantitative data on a population of *Rhinoglena fertoensis* (Branchionidae, Monogononta). Hydrobiologia 73, 161- 167
- Hessen, D. O., Faafeng, B. A. and Andersen, T. (1995), Replacement of herbivore zooplankton species along gradients of ecosystem productivity and fish predation pressure. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52, 433-742.
- Hofmann, K. (1996), Die mikro-endolithischen Spurenfossilien der borealen Oberkreide NordwestEuropas und ihre Faziesbeziehungen. Geologisches Jahrbuch, Serie A 136, 1-151.
- Illies, J. (1978), Limnofauna Europaea. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1-532 pp.
- Jaafar, H., King-Okumu, C., Haj-Hassan, M., Abdallah, C., El-Korek, N. and Ahmad, F. (2016), Water resources within the Upper Orontes and Litani Basins. Water, Agriculture and Food Security, 40p.
- Jaubert, R., Saadé, M., Al Dbayat, M. and Haj Asaad, A. (2015), Atlas of the Orontes River Basin, Water Security - Orontes River Basin, Graduate Institute of International and Development Studies, Geo Expertise, Retrieved in 2022.

- Jersabek, C. D. and Bolortsetseg, E. (2010), Mongolian Rotifers (Rotifera, Monogononta) - a Checklist with Annotations on Global Distribution and Autecology, Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 159(1), 119-168.
- Kassem, A., Sarheel, A. and Al-Somel, N. (2004), Determination of Trace Elements in Soil and Plants in the Orontes Basin of Syria by Using Instrumental Neutron Activation Analysis. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 262(3), 555-561.
- Khoury, L. and Sallom, A. (2023), The impact of spatial and temporal shifts on Orontes River water quality parameters. **DYSONA – Applied Science**, 4, 35-41
- Kibaroglu, A. and Sumer, V. (2015), Türkiye's Draft Water Law and WFD Implementation: An Analysis. Paper presented at the European Water Resources Association (EWRA), 9th World Congress: Water Resources Management in a Changing World, Istanbul.
- Korkmaz, H. and Karataş, A. (2009), Asi Nehri'nde Su Yönetimi ve Ortaya Çıkan Sorunlar. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6, 18-40
- Koste, W. (1978), Rotatoria. Überordnung Monogononta. Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart (1978). I. Textband Pp: 650, II. Tafelband Pp: 234.
- Koste, W. and Shiel, R. J. (1987), Rotifera from Australian inland waters II. Epiphanidae and Brachionidae (Rotifera: Monogonta). Invertebrate Taxonomy, 7, 949-1021.
- Koste, W. and Shiel, R. (1990), Rotifera from Australian inland waters. V. Lecanidae (Rotifera: Monogononta). Transactions of the Royal Society of South Australia, 114, 1-36.

- LOCALIBAN (Centre de Ressources sur le Développement Local). (2009), Caza de Baalbek et du Hermel. Available at: <http://www.localiban.org/>. Accessed on March 29, 2012.
- Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic, 2006. Executed Dams in the Orontes Basin Till Year 2006. Available at: <http://www.irrigation.gov.sy/index.php?d=117>. Accessed on September 29, 2011.
- Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic. (2012), Country Consultation with the Syrian Arab Republic. In Country Consultations for the Inventory of Shared Water Resources in Western Asia 2011-2012, Beirut.
- Ministry of Local Administration and Environment in the Syrian Arab Republic. (2003), National Environmental Strategy and Action Plan of Syria. Published by the World Bank and UNDP (United Nations Development Programme).
- MoE. (2020), Lebanon's Nationally Determined Contribution: Updated 2020 version. Ministry of Environment, Republic of Lebanon. <https://climatechange.moe.gov.lb/viewfile.aspx?id=319>
- MOE/EU/UNDP. (2014), Lebanon Environmental Assessment of the Syrian Conflict & Priority Interventions. EU
- Munger, S. C., Raghupathy, N., Choi, K., Simons, A. K., Gatti, D. M., Hinerfeld, D. A., Svenson, K. L., Keller, M. P., Attie, A. D., Hibbs, M. A., Graber, J. H., Chesler, E. J. and Churchill, G. A. (2014), Rna-seq alignment to individualized genomes improves transcript abundance estimates in multiparent populations. *Genetics*, 198(1), 59–73.
- New, M., Lister, D., Hulme, M. and Makin, I. (2002), A high-resolution data set of surface climate over global land areas. *Climate Research* 21, 1-25

- Nogrady, T., Pourriot, R. and Segers, H. (1995), Rotifera 3. Nottomatidae and Scaridiidae. In: Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World 8, Dumont, H. J. & T. Nogrady (eds.). SPB Academic Publishing, The Hague
- Odemis, B., Bozkurt, S., Agca, N. and Yalcin, M. (2006), Quality of Shallow Groundwater and Drainage Water in irrigated Agricultural Lands in a Mediterranean Coastal Region of Türkiye. Environmental Monitoring and Assessment, 115, 361-379.
- Özşahin, E. (2010), Asi (Orontes) Nehri Deltasındaki (Hatay/Türkiye) Doğal Çevre Sorunlarına Coğrafi Bir Yaklaşım. Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 7(13), 445 – 475
- Özşahin, E., Eroğlu, İ. and Pektezel, H. (2016), Assessing Water Quality in the Rivers of the Middle East: The Case of the Orontes River. Recent Researches in Interdisciplinary Sciences, chapter 33, editors: Efe, R., Cürebal, İ., Nyussupova, G., Atasoy, E. ST. Kliment Ohridski University Press Sofia
- Pejler, B. and Bērziņš, B. (1993), On the ecology of Trichocercidae (Rotifera). Hydrobiologia 263, 55-59.
- Pesce, G. L. and Maggi, D. (1983), Ricerche faunistiche in acque sotterranee Freatiche della grecia meridionale ed insulare estato attuale delle conoscenze sulla stigofauna di grecia. Natura, Milano, 1983, 15-73.
- Petrusek, A. (2002), Moina (crustacea: anomopoda, moinidae) in the Czech Republic: a review. Acta Societatis Zoologicae Bohemicae, 66, 213-220.
- Pontin, R. M. (1978), A Key to British Freshwater Planktonic Rotifera. Freshwater Association Scient. Publ. No:38, 178 p., UK.
- Ruttner-Kolisko, A. (1974), Planktonic Rotifers. Biology and Taxonomy. Binnengewässer, 26, 1-146.

- Rylov, V.M. (1963), Fauna of U.S.S.R. Crustacea Vol. III, No: 3, Freshwater Cyclopoida, I.P.S.T., Jerusalem, 314 pp.
- Scheumann, W., Sagsen, I. and Tereci, E. (2011), Orontes River Basin: Downstream Challenges and Prospects for Co-operation. In Türkiye's Water Policy: National Frameworks and International Cooperation. Published by Springer-Verlag. Berlin.
- Segers, H. (1995), Rotifera 2. The Lecanidae (Monogononta). Guides to the Identification of the microinvertebrates of the Continental Waters of the World 6. (H.J. Dumont, T. Nogrady, eds). SPB Academic Publishing BV., 226 p..
- Shah, J. A., Pandit, A. K. (2013), Relation between physico-chemical limnology and crustacean community in Wular lake of Kashmir Himalaya, Pak. J. Biol. Sci. 16(19), 976-983.
- Shumka, S. and Miho, A. (2006), Data on Plankton community (Zooplankton and phytoplankton) in Drini course. In: Proceedings of BALWOIS 2006 – Conference of water observation and information system for decision support, Ohrid, R. Macedonia.
- Sládeček, V. (1983), Rotifers as Indicators of Water Quality, Hydrobiologia, 100(1), 169-201.
- Sofer, A. (1999), The rivers of fire: The conflict over water in the Middle East. Oxford: The Rowman and Littlefield Publishing Group
- Syrian Dutch Water Cooperation and Ministry of Irrigation in the Syrian Arab Republic. (2008), Integrated Water Resources Management Plan Orontes Basin Syria. Amersfoort
- Taş, B. (2006), Derbent Baraj Gölü (Samsun) Su Kalitesinin İncelenmesi. Ekoloji, 15(60), 1-6.
- Taşdemir, M., Göksu, M. Z. L. (2001), Asi Nehri'nin (Hatay, Türkiye) Bazı Su Kalite Özellikleri. E.U. Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 18 (1-2), 55-64.

- Turan, F., Eken, M. and Ergenler, A. (2019), Assessment of Water Quality of the Orontes River Basin, Türkiye
- UNDP (United Nations Development Programme). (1970), Liban Etude Des Eaux Souterraines. New York
- UN-ESCWA and BGR (United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe). (2013), Inventory of Shared Water Resources in Western Asia. Beirut].
- USAID. (2011), Accountability and Teacher Absenteeism in Basic Education. USAID Educational Strategies Research Papers.
- Ülgü, M. and Bozkurt, A. (2015), Zooplankton Fauna of Tahtaköprü Dam Lake (Gaziantep). International Journal of Scientific and Technological Research, 1(1), 203-215.
- Ünver, O. (1995), Su Kaynakları Mühendisliği Açısından Fırat-Dicle Havzası konulu konuşma metni, Sınıraşan Sularımız ve Ortadoğu'da Su Sorunu Sempozyumu, İstanbul.
- Voigt, M. and Koste, W. (1978), Rotatoria Überordnung Monogononta. 1. Textband, 650, II. Tafelband, 234, Gebüderssontrager, Berlin.
- Weulersse J. (1940), *L'Oronte. Étude de Fleuve*, Arrault, Tours.
- Whiteside, M. C. and Harmsworth, R. V. (1967), Species diversity in chydorid (Cladocera) communities. Ecology 48, 664-667.
- Whiteside, M. C. (1970), Danish chydorid Cladocera: Modern ecology and core studies. Ecol. Monogr. 40, 79-118.
- Yiğit, S. (2002), Seasonal fluctuation in the Rotifer fauna of Kesikköprü Lake (Ankara, Türkiye). Turk J Zool. 26, 341-348.

BALIKLARDA BESLENME VE METABOLİZMA BOZUKLUKLARI

Mustafa DÖRÜCÜ¹

1. GİRİŞ

Tüm su canlıları, temel fizyolojik işlevler, sağlık ve büyümenin sürdürülebilmesi için sürekli bir besin kaynağına ihtiyaç duyar. Bu besinler su ortamından elde edilir, sindirilir, emilir, organizma içindeki belirli hücrelere taşınır ve hücreler tarafından asimilasyon ve biyokimyasal sentez için en uygun kimyasal ve fiziksel formlara metabolize edilir. Besinlerin metabolizmasıyla birlikte endojen ve ekzojen bileşiklerin parçalanması ve atılması gerçekleşir.

Tüm canlılarının ihtiyaç duyduğu başlıca besinler protein, lipit, karbonhidrat, vitaminler, mineraller ve sudur. Su canlılarının sağlığı, besin tedarikinin devamlılığına bağlıdır ve düşük veya aşırı besin alımına başarılı bir şekilde uyum sağlamasını düzenleyici biyokimyasal mekanizmalar geliştirmiştir. Bu nedenle temel besin maddelerinin metabolizması sürekli fizyolojik kontrol altındadır. Bu süreçlerin kontrolü hücrelerin içinde veya hücreler arasında olabilir; süreç hormonal sinyallerle yönetilir. Kontrol, metabolik bozukluklar, bulaşıcı hastalıklar, travma ve ilaçlar veya diğer faktörler tarafından bozulduğunda, besin gereksinimleri değişir.

Gıda tedariki ve besin dengesi bu değişiklikleri telafi edemediği sürece sağlık bozulacaktır. Bazı besinler balıklar tarafından yeterli düzeyde sentezlenemez ve bu nedenle alınan gıda-

¹ Prof. Dr., Fırat Üniversitesi, Su Ürünleri Fakültesi, mdorucu@firat.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1330-4965.

larda esansiyel amino asitler, yağ asitleri ve C vitamini bulunmalı veya su ortamından ise mineraller alınmalıdır. Fizyolojik değişiklikleri içeren beslenme eksikliği hastalıkları, yem ile alınan temel besinlerin yetersiz alımından kaynaklanabilir. Bu nedenle uygun beslenme, balıkların büyüme, üreme ve uzun ömür için genetik potansiyele ulaşma yeteneğini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Gelişimin çeşitli aşamalarında değişebilen yaşam döngüleri boyunca besin gereksinimlerini ve metabolizmayı dikkate almak önemlidir.

Son yıllarda oldukça gelişen kültür balıkları yetiştiriciliğinde; üreticilerin daha sağlıklı ve verimli üretim yapmalarına rehber olması amacıyla bu derleme çalışması yapılmıştır.

2. BESİN EKSİKLİĞİ BOZUKLUKLARI

Normalde yemle sağlanan belirli bir besinin dokulardaki konsantrasyonu kritik seviyenin altına düştüğünde bir besin eksiklik hastalığı gelişir. Tek tip besin eksikliği, belirli dokularla sınırlı olabilen açıkça tanımlanmış biyokimyasal ve patolojik değişikliklere neden olur. Bununla birlikte, çoklu besin eksiklikleri açlık, bulaşıcı hastalık ve diyet dengesizliği nedeniyle besinlerin düşük emilimi sırasında nadir değildir. Bir besin eksikliğinin ortaya çıkması için gereken süre, yoksunluk derecesine ve doku depolarının büyüklüğüne bağlıdır. Genellikle, ikinci faktör daha önemlidir. Örneğin, genç balıklarda karaciğer ve böbrek askorbik asit depoları sadece birkaç hafta sürebilirken, normal karaciğer vücudun birkaç ay boyunca gereksinimlerini karşılayacak kadar A vitamini içerir. Kullanım ve atılım oranı da önemlidir ve bunlar artarsa eksiklik daha erken ortaya çıkar.

Besin eksikliği hastalıklarının başlıca nedenleri arasında yetersiz beslenme, zayıf sindirilebilirlik ve emilim (biyoyararlanım), gastrointestinal müdahalelerden kaynaklanan emilim bozukluğu, artan kullanım, diyetteki antimetabolitler tarafından kullanımın engellenmesi ve aşırı besin kaybı yer alır. Bir orga-

nizmada yetersiz gıda alımından bağımsız birçok besin eksikliği nedeni vardır. Çevresel stres, değişen gastrointestinal aktivite, hastalık durumu, fizyolojik ihtiyaçlar, ilaç kaynaklı anoreksiya, metabolik kusurlar ve gıda kirleticileri yetersiz beslenmeye yol açabilir.

Balıkların çeşitli gelişim aşamalarında (larva, genç, yetişkin, anaç) besin eksikliklerinin nedenini teşhis etmek genellikle zordur çünkü besinlerin niceliksel gereksinimleri esas olarak büyüme için belirlenmiştir. Tür ve genetik farklılıklar, besin etkileşimleri, besin biyoyararlanımı ve bir organizmanın besin eksikliğine uyum sağlama yeteneği belirli bir besin eksikliğinin büyüklüğünü değiştirebilir. Skolyoz ve lordoza neden olan askorbik asit gibi bir besin maddesinin ciddi eksikliğini teşhis etmek mümkündür; ancak bir veya daha fazla besin maddesinin marjinal eksikliklerini karakterize etmek her zaman zordur. Genellikle, marjinal eksikliği olan balıklar enfeksiyona yenik düşer ve altta yatan eksiklik asla ölüm nedeni olarak teşhis edilemez. Geçtiğimiz otuz yılda, farklı türlerin farklı gereksinimlerini kabul ederek yaklaşık 40 belirli besin maddesi için yeterlilik kriteri oluşturulmuş (NRC, 1993) ve eksiklik belirtilerini önleyecek asgari bir gereksinim belirlenmiştir. Vitamin, mineral, amino asit ve esansiyel yağ asitlerinin daha yüksek alımlarında, dokularda artan rezerv oluşur. Belirli besinlerin aşırı miktarlarda sürekli alımı, çeşitli koenzimlerin doygunluğuna neden olur. Yağda çözünen vitaminler ve mineraller aşırı alındığında toksiktir. Proteinler, yağlar, toplam kaloriler, vitaminler ve eser elementler dahil olmak üzere her bir ana diyet bileşeninin eksikliği veya fazlalığı, büyük ölçüde konak savunma mekanizmaları üzerindeki etkileri yoluyla hastalık gelişimi ve balıkların hayatta kalması üzerinde derin etkilere sahip olabilir. Besin eksiklikleri, deri ve epitel dokuların bütünlüğünü ve dokuların ve vücut sıvılarının bileşimini etkileyebilir ve mukus salgılarını azaltabilir,

sonuç olarak balıkları enfeksiyonlara yatkın hale getirebilir (Lall,2010).

3. AÇLIĞA KARŞI FİZYOLOJİK TEPKİ

Birçok balık türü uzun süreli açlığa dayanabilir. Örneğin, Japon yılan balığı *Anguilla japonica* 18 aya kadar hayatta kalabilir. Ancak patolojik ve biyokimyasal değişiklikler çok daha erken gözlemlenebilir ve doku değişikliklerinin sırası türler arasında değişir. Davranışsal açlık, Atlantik somonu (*Salmo salar*), morina (*Gadus morhua*), Atlantik pisi balığı (*Hippoglossus hippoglossus*), walleye (*Sander vitreus*), levrek (*Dicentrarchus labrax*), çipura (*Sparus aurata*) ve kalkan balığı (*Psetta maxima*) gibi balıklar balıklar yakalanıp laboratuvar ortamında tutulduğunda ve hazırlanmış yiyecekleri tanımadıklarında veya kabul etmeyi reddettiklerinde gözlemlenir. Tuzlu su karidesi (*Artemia türleri*) ve rotiferler gibi canlı besin organizmalarından yeni çıkmış larvaların kuru yemlere geçirilmesi bazı balıkların aç kalmasına ve iri baş ve ince gövdelere sahip olmasına neden olabilir. Açlık sırasında kas dokusu katabolize edilir ve birçok büyük biyokimyasal değişiklik gözlenir. Açlığa yanıt olarak endojen enerji kullanımının dinamikleri, hepato somatik indeks (HSI), bağırsak somatik indeksi ve kondisyon faktörü gibi morfolojik endeksler ve perivisseral yağ gövdelerinin boyutu ile izlenebilir. Balıklarda bağırsak ve karaciğer boyutu açlığa hızlı yanıt verir ve sadece 30 gün aç bırakılan balıklarda boyutları küçülür (Love, 1980). Bağırsakta, mikrovilluslarda ve bağırsağın uzunluğunda ilerleyici bir azalma gözlemlenebilir. HSI ile belirlenen karaciğer boyutu da glikojen, lipid ve proteinin minimum düzeye indirilmesi sonucunda hızla azalır. Açlığın karaciğer dokusunda neden olduğu değişiklikler, hücre sayısındaki azalmadan ziyade hücre hacmindeki azalma şeklinde histolojik olarak gözlemlenebilir. Balıklar genellikle açlığın erken evrelerinde glikojen depolarını kullanırlar, ancak daha sonra ana enerji kaynağı olarak lipide güvenirlir (Plisetskaya, 1980), yeterli do-

laşımdaki şekerleri sağlamak için glukoneogenezi artırırılar (Sheridan ve Mommsen, 1991). Lipid, iyi beslenmiş balıklarda perivisseral yağ gövdelerinde depolanır ancak karaciğer enerji rezervleri tükendikten sonra harekete geçirilir ve mikroskopik olarak kolayca tespit edilir. Bu yağ gövdeleri büyük miktarda yağ depolayabilir (Sheridan, 1994) ve durumları ayrıca obeziteye yol açan yetersiz beslenmenin bir göstergesi olabilir. Ölümden önce kapsamlı bir şekilde katabolize edilen son doku iskelet kaslarıdır. Kaslardaki glikojen depoları erken kullanılabilir de, durum her zaman böyle değildir. Gözlemlenen ikinci bir türler arası varyasyon, uskumru (*Scomber spp.*) gibi yağlı balıklarda kas lipidinin tükenmesidir. Bu türlerde, kas yağının uzaklaştırılması kas su içeriğindeki artışla ilişkilendirilebilir. Bu nedenle kasların su içeriği bu türlerin beslenme durumunun tanısıdır. Gökkuşağı alabalığı (*Onchorhynchus mykiss*) (Jezierska vd., 1982) ve sazan balığı (*Cyprinus carpio*) (Mazeaud vd., 1977) gibi yağsız türler açlık süresi ile kas su içeriği arasında böyle bir ilişki göstermezler, ancak böyle bir ilişki karaciğerde gözlemlenebilir. Hem karaciğerde hem de kasta, aç bırakılmış balıklarda protein dönüşümü azalır, muhtemelen substrat eksikliğinin bir sonucu olarak, hem protein sentezi hem de bozunumu aç bırakılmış balıklarda beslenen balıklara göre daha düşüktür (Lall,2010).

4. BESİN METABOLİZMASI VE BOZUKLUKLARI

Besin metabolizmasının anlaşılması, moleküler olayları tüm vücut metabolizmasına, genel büyümeye ve üreme performansına ve davranışına çevirmek için önemlidir. Son yıllarda yeni biyokimyasal ve moleküler teknikler, çeşitli biyolojik olaylarda yer alan molekülleri belirleyerek besin metabolizması ve hayvan biyolojisi hakkında öngörüler üretmiştir. Yaklaşık 24

karmaşık besin, balıklar tarafından yeterli miktarda sentezlenemediği için kesinlikle dışarıdan alınması gereklidir.

Bazı bileşikler balıklar tarafından sentezlenebilir, ancak üretim her zaman, özellikle yaşam döngülerinin belirli zamanlarında, ihtiyaçları karşılamaya yeterli olmayabilir. Bir besin maddesinin eksikliği, belirli bir biyokimyasal reaksiyon için gerekli substratlar veya yardımcı faktörler mevcut olmadığında metabolik düzeyde ortaya çıkar. Bu reaksiyonların çoğunu ve ilgili belirli besin maddelerinin rolünü biliyor olsak da, muhtemelen henüz keşfedilmemiş, özellikle yardımcı faktör olarak mikro besin maddeleri gerektiren birçok başka reaksiyon vardır.

Beslenme hastalıklarıyla ilişkili patolojik belirtiler de dahil olmak üzere çeşitli besin maddelerinin eksikliği ve toksisite belirtileri, çeşitli kitaplarda ve incelemelerde incelenmiştir (Roberts, 2002; Ferguson, 2006). Mevcut besin gereksinimlerine dayalı iyileştirilmiş saflaştırılmış diyetlerin kullanımı, tek veya çoklu besin eksikliği hastalıklarının patogenezi daha iyi karakterize etme fırsatları sağlar; ancak, bu alandaki ilerleme son yirmi yılda yavaş olmuştur (Lall,2010).

5. PROTEİN VE AMİNO ASİTLER

Proteinler balıkların büyümesi, gelişmesi, üremesi ve hayatta kalması için gereklidir. Yapısal ve koruyucu dokuların (örn. kemikler, pullar ve deri), yumuşak dokuların (organlar, kaslar) ve vücut sıvılarının birincil bileşenidir. Yemdeki yetersiz miktarda protein, büyümenin azalmasına veya durmasına ve nihayetinde temel işlevlerini sürdürmek için bazı daha az hayati dokulardan çekilmeye neden olur. Yaklaşık 22 veya daha fazla amino asit, tüm karmaşık proteinlerin yapı taşlarını oluşturur. Bu nedenle, protein için besin gereksinimi esasen proteinde bulunan amino asitlerin bir gereksinimidir. Balık proteinine dahil edilen amino asitler, bir α -imino asit olan prolin hariç, α -amino

asitlerdir. Balıklardaki amino asitlerin besinsel önemini sınıflandırmak için vazgeçilmez (esansiyel) ve vazgeçilebilir (esansiyel olmayan) terimleri yaygın olarak kullanılır. On adet esansiyel veya vazgeçilmez aminoasit vardır ki bunlar arginin, histidin, izolösin, lösin, lizin, metiyonin, fenilalanin, treonin, triptofan ve valindir ve balıklar tarafından sentezlenemezler, bu nedenle mutlaka diyetle alınmaları gerekir.

Balıklarda amino asit eksiklikleriyle ilişkili birkaç özel bozukluk bildirilmiştir, ancak esas olarak somon türlerinde metiyonin ve histidin eksikliği olan Atlantik somonu ve gökkuşağı alabalığı, daha sonraki bir bölümde tartışılacak olan bilateral katarakt geliştirir. Triptofan eksikliği, sockeye ve chum somonlarında skolyoz ve lordoza neden olur; görünüşe göre düşük 5-hidroksitriptofan sentezinin bir sonucudur. Lizin eksikliği, kuyruk yüzgeci erozyonuna neden olabilir. Diyetteki lösin ve izolösin ve diğerleri (arginin/lizin, sistin/metionin) gibi özel amino asit antagonistlerinin orantısız seviyeleri, özellikle balıklar belirli çevresel ve fizyolojik stres altında olduğunda, marjinal veya ciddi amino asit eksikliğine neden olabilir. Belirli temel amino asitler (örn. lösin) diyetlerde aşırı miktarda mevcut olduğunda toksik olabilir (Hughes vd., 1984). %13,4 lösin içeren bir diyetle beslenen gökkuşağı alabalığının toksisite belirtileri arasında skolyoz, deforme olmuş operkula, pul kaybı ve epidermal hücrelerin süngerimsiliği yer almaktadır (Choo vd., 1991). Bitki baklagillerinde mimosin ve L-kanavanin gibi toksik amino asitler içeren yem bileşenlerinin alımı büyüme ve yem kullanımı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir.

6. LİPİT

Lipitler esansiyel yağ asitleri (EPA) ve enerji sağlar. Çoğu balık çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) sentezleyemez ve bu nedenle normal büyüme, üreme ve sağlık için yem ile ta-

mamlanması gerekir. Esansiyel yağ asitleri, n-3 ve n-6 özelliklerini içerir, örneğin α -linolenik asit, 18:3n-3 ve linoleik asit, 18:2n-6. Genel olarak, tatlı su balıklarının esansiyel yağ asitleri ihtiyacı, 18:3n-3 ve 18:2n-6 yağ asitleri takviyesiyle karşılanabilirken, deniz balıklarının yağ asitleri ihtiyacı yalnızca uzun zincirli PUFA'lar eikosapentaenoik asit (20:5n-3; EPA) ve dokosaheksaenoik asit (22:6n-3; DHA) ile karşılanabilir (NRC, 1993). Tatlı su balıkları 18:3n-3'ü 22:6n-3'e uzatılabilir ve doyumluğunu yerine getirirken, Δ 5-desaturaz aktivitesi olmayan veya çok düşük olan deniz balıkları uzun zincirli PUFA'lar, EPA ve DHA'ya ihtiyaç duyar (Sargeant ve ark., 2002). Balıkların metabolizması, büyümesi, gelişmesi ve üreme için diyet lipidini ve EFA'yı kullanma karmaşıklığıdır ve nutrigenomik ve metabolomik tekniklerin depolarını içeren yoğun devam eden araştırmalara tabidir (Leaver vd., 2008).

EFA eksikliği bulunan diyetlerle beslenen balıklarda deneysel olarak üretilen besin eksikliği belirtileri arasında yüzgeç çürümesi, miyokardit, düşük büyüme hızı ve yem verimliliği, şok sendromu ve yüksek ölüm oranı bulunur. EFA eksikliği erkek ve dişi balıkların üreme performansını etkileyerek yumurtaların zayıf döllenmesine ve kuluçka oranına, embriyonik deformitelere ve yavruların düşük hayatta kalma oranına neden olur. Diyet lipid bileşimi, sperm ve yumurtaların kalitesini ve yağ asidi bileşimini etkiler. Düşük konsantrasyonlarda n-3 PUFA içeren rotiferler ve artemia gibi canlı besin organizmalarıyla beslenen deniz balıklarında yüksek ölüm oranları ve az gelişmiş yüzme kesesi ve malpimentasyon gibi çeşitli anormallikler gözlemlenmiştir. Yüksek diyet EFA konsantrasyonları bazı balıklarda büyüme ve yem verimliliği üzerinde zararlı bir etkiye neden olabilir. Sarı kuyrukta (*Seriola quinqueradiata*), n-3 yüksek doymamış yağ asitlerinin (HUFA) üst sınırı, toplam diyet lipid alımının yaklaşık %22'siydi (Takeuchi vd., 1992). Atlantik somonunda, n-3 yağ asitlerinin yüksek alımı, bağışıklık baskı-

lanmasına ve kalp ve iskelet kasında dejeneratif değişikliklere neden oldu (Erdal vd., 1991). Siklopropenoik asitler gibi toksik, esansiyel olmayan yağ asitlerinin alımından beslenme patolojileri de gelişebilir.

EFA'dan türetilen yirmi karbonlu PUFA'lar, bağışıklık tepkisi ve inflamatuvar süreçler de dahil olmak üzere çeşitli patofizyolojik etkilere sahip olan iki grup eikosanoidin, prostaglandinlerin ve lökotrienlerin öncüleridir. Eikosanoidler, iki oksijenaz enzimi olan siklooksijenaz ve lipoksijenazın etkisiyle di-homo γ -linolenik asitten (20:3, n-6), araşidonik asitten (AA; 20:4, n-6) ve EPA'dan (20:5, n-3) sentezlenir. Prostaglandinler ve lökotrienler, bir organizmanın savunma sisteminin bir parçası olan bir grup hücre dışı aracı molekülüdür. Bunlar inflamasyon süreci sırasında oluşur ve inflamasyon istilacı bakterilerden kaynaklanıyorsa, prostaglandin ve lökotrienlerin oluşumu makrofajları ve diğer lökositleri bakteriyi yok etme sürecini başlatmaya teşvik edecektir. Eikosanoidler, makrofajlar ve lenfositler gibi hücreler üzerindeki doğrudan etkileri veya sitokinler aracılığıyla dolaylı etkileriyle bağışıklık sisteminin düzenlenmesinde rol oynayabilir (Rowley vd., 1995).

Diyet lipitlerinin doğası ve esansiyel yağ asitlerinin konsantrasyonu, eikosanoid metabolizması ve bağışıklık fonksiyonu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Birkaç rapor, n-3 yağ asitlerinin balıkların bağışıklık tepkisi üzerinde olumlu etkileri olduğunu göstermektedir. Genel olarak, yüksek seviyelerde n-6 PUFA içeren diyetler, yüksek seviyelerde pro-inflamatuvar AA türevi eikosanoidler nedeniyle bağışıklık tepkisini artırır ve yüksek seviyelerde n-3 PUFA içeren diyetler, yüksek seviyelerde EPA türevi anti-inflamatuvar eikosanoidler nedeniyle bağışıklık baskılayıcı olabilir. Ancak, diyet yağ asitlerinin bağışıklık tepkisi üzerindeki etkisi daha karmaşıktır ve zincir uzaması ve doygunluğu için metabolizma sırasında n-3 ve n-6 yağ asitleri arasındaki rekabet, ilgili hücre tipi ve diyetteki yağ asitlerinin kay-

nağı dahil olmak üzere eikosanoid üretimini etkileyen çeşitli faktörlere bağlıdır. Balıklar üzerinde yapılan çalışmalar, balık ve bitkisel yağlardan elde edilen farklı seviyelerde n-3 ve n-6 yağ asitleri içeren diyetlerin hücre fosfolipidinin yağ asidi bileşimini değiştirebileceğini göstermektedir (Bell vd., 1993). Fosfolipidin yağ asidi bileşimindeki değişiklikler, eikozanoid öncüllerinin sentezini etkiler. N-6 yağ asitlerinin alımı arttığında, daha yüksek seviyede AA türevi eikozanoidler gözlenmiştir (Bell vd., 1996). Özetle, diyet lipidinin eikozanoid metabolizması ve balıkların bağışıklık tepkisi ile ilişkisine dair ön bulgular ilginç bir araştırma alanıdır; ancak, n-3 ve n-6 yağ asitlerinin bağışıklık tepkisi ve eikozanoid üretimi üzerindeki etkisine dair raporlar, diğer karasal hayvanlardaki kadar kesin değildir. Balık diyetleri ve dokuları, uygun antioksidan korumanın yokluğunda lipid peroksidasyonuna karşı oldukça hassas olan nispeten daha yüksek PUFA konsantrasyonları içerir. Duyarlılık ve oksidasyon oranı büyük ölçüde doku veya besinin yağ asidi profiline bağlıdır: doymamışlık derecesi ne kadar yüksekse, lipid o kadar kolay oksitlenir. Serbest radikal bir süreç olan oksidasyon, başlatma, yayılma ve sonlandırma adımlarından geçer ve aldehitler, epoksitler, ketonlar, digliseritler, monogliseritler ve polimerler verir. Diyetlerde veya dokularda oluşan bu oksidatif ürünler diğer besinlerle (vitaminler, protein ve lipid) reaksiyona girebilir, böylece daha fazla doku hasarına neden olabilir veya yemlerin besin değerini etkileyebilir. Oksitlenmiş lipid içeren ve/veya E vitamini ve antioksidan eksikliği olan diyetlerle beslenmenin sonucunda ortaya çıkan başlıca patolojik belirtiler şunlardır: iştahsızlık, kas distrofisi, yağlı karaciğer, depigmentasyon, karın şişkinliği, hemolitik anemi, eritrosit kırılabilirliği ve yağ dokusunda ve karaciğerde seroid birikimi. Antioksidanlar genellikle balık yemlerine, okside lipidlerin balıklara olan toksisitesini ve bozulmasını önlemek için eklenir. Ancak, uzun süreli depolama ve saklama koşulları (ışık ve artan sıcaklık, vb.) ve lipoksidaz, hem bileşikler, peroksitler ve eser elementlerin (demir ve bakır)

varlığı, gıdalarda bir dereceye kadar lipit peroksidasyonuna neden olabilir.

7. VİTAMİNLER

Vitaminler yüksek biyolojik aktiviteye sahiptir ve normal hücrelerin ile organ fonksiyonlarının büyümesi ve sürdürülmesi için gereklidir. Vitaminler yağda çözünen (A, D, E ve K) ve suda çözünenler (tamin, riboflavin, niasin, piridoksin, pantotenik asit, biotin, folik asit, B12 vitamini ve C vitamini) olarak iki gruba ayrılırlar. Genellikle yağda çözünen vitaminler hücre zarlarının ayrılmaz bir parçası olarak işlev görür ve bazıları hormon benzeri işlevlere sahip olabilir. Suda çözünen vitaminler koenzimler olarak hareket eder, enzimatik reaksiyonları hızlandırır ve genellikle belirli kimyasal gruplar için taşıyıcı görevi görür. Vitamin eksikliklerinden kaynaklanan hastalıklar kademeli bir süreçtir. Eksiklik devam ettiğinde hücrelerdeki seviye düşer ve belirli bir vitamini içeren metabolik süreç bozulur. Ancak bu değişiklikler vücudun bütün dokularında aynı oranda gerçekleşmez; çünkü bazı dokular belirli vitaminleri daha güçlü tutarken, bazı dokular ise metabolik özellikleri nedeniyle vitaminlerin bulunabilirliğindeki değişikliklere karşı hassastır.

7.1. A Vitamini

Genel olarak, A vitamini aktivitesi, all-trans-retinolün biyolojik aktivitesine sahip olan β -ionon türevlerini ifade eder. Hayvan metabolizmasındaki en önemli retinoidler, alkol (all-trans-retinol), aldehit (11-cis-retinal ve 11-cis-3-dehidroretinal) ve retinil palmitat ve retinil β -glukuronid gibi retinil esterler de dahil olmak üzere asit (all-trans-retinoik asit) formlarıdır. Her üç form da, β -ionon çekirdeği veya dehidrojen β -ionon çekirdeği ile iki varyantta bulunur. Ancak, birincisi hem niceliksel hem de niteliksel olarak A vitamini aktivitesinin bir kaynağı olarak daha önemlidir. Retinol (A1), deniz balıklarında yüksek oranlarda bulunurken, tatlı su balıklarında baskın form 3-dehidroretinol

(A2) vitaminidir. Tatlı su balıklarında A1'in A2'ye oksidatif dönüşümü gerçekleşir (Goswami, 1984). Kanal yayın balığı (*Ictalurus punctatus*) β -karoteni yaklaşık 1:1 oranında A1 ve A2 vitaminine dönüştürür (Lee, 1987). Tilapyada *Oreochromis nilotica*, karaciğer, β -karoten ve kantaksantin A1'e dönüştürülürken, astaksantin, zeaksantin, lutein ve tunaksantin gibi dihidroksikarotenoidler A2'ye dönüştürülür (Katsuyama ve Matsuno, 1988). A vitamininin en iyi anlaşılan işlevi görmedeki rolüdür. A vitamini balık tarafından metabolize edilerek retinal üretilir ve bu da gözdeki bir fotoreseptör olan rodopsin proteinindeki bir lizin kalıntısına bağlanır. A vitamini ayrıca balıkların büyümesinde, embriyonik gelişiminde, üremesinde, epitel dokularının normal bakımında ve kemik gelişiminde önemli rollere sahiptir. Somon balıklarında retinol eksikliği zayıf büyümeye, anemiye, solungaç kapakçığının bükülmesine, göz lezyonlarına, retinanın dejenerasyonuna ve gözlerde ve yüzgeçlerin tabanında kanamaya neden olur. Retinol eksikliğinin belirtileri arasında anoreksiya, soluk vücut rengi, hemorajik cilt ve yüzgeçler, ekzoftalmi ve solungaç kapakçığının bükülmesi gibi sazan balıkları görülür. Sarı kuyruklu balık yavrularında eksiklik belirtileri arasında solungaç kapakçığının büyümesinin durması, koyu pigmentasyon, anemi ve gözlerde ve karaciğerde kanama bulunur ve bunlara yüksek ölüm oranı eşlik eder (Hosokawa, 1989). Balıklarda hipervitamins A yavaş büyümeye, körlüğe, ekzoftalmiye, kanamalara, anemiye, kemik deformitelerine ve kuyruk yüzgecinde ciddi nekroza neden olur. Zebra balığı embriyolarında aşırı A vitamini maruziyeti sonucu ödem ve beyin defektleri gibi teratojenik etkiler (Hermann, 1995), ayrıca karaciğer ve dalak büyümesi ve epitel hücre deformiteleri de tanımlanmıştır.

7.2. D Vitamini

D vitamininin iki önemli doğal formu kolekalsiferol (D3 vitamini) veya ergokalsiferoldür (D2 vitamini). Balıklar da dahil olmak üzere çoğu hayvan UV ışığının varlığında 7-

dehidrokolesterolden kolekalsiferol sentezleyebilmesine rağmen, birçok durumda bu çok düşük bir oranda gerçekleşir ve bu nedenle vitamin yemde bulunmalıdır. Deniz teleostlarının büyük hepatik D3 vitamini depoları vardır. Atlantik somonu, Atlantik pisi balığı ve Atlantik morinasının karaciğer, böbrek, solungaç, dalak ve bağırsak gibi bazı dokuları 25-(OH)D₃, 24,25-(OH)₂D₃ ve 1,25-(OH)₂D₃'ün yanı sıra 25,26-(OH)₂D₃ üretir (Graff vd., 1999). Sundell vd. (1993) Atlantik morinasında solungaçlar ve bağırsak gibi Ca düzenleyici dokularda 1,25(OH)₂D₃ reseptörlerini tanımlamış ve 1,25-(OH)₂D₃ uygulamasından sonra canlıda artan Ca emilimini gözlemlemişler. D vitamini ile Ca metabolizması arasında bir etkileşim olabileceği ve bunların fosfor ve kemik metabolizmasıyla dolaylı olarak bağlantılı olabileceği anlaşılmaktadır. D vitamini, ister yutulsun ister deride üretilsin, dolaşım sistemi aracılığıyla karaciğere taşınır ve burada 25-hidroksi D vitaminine dönüştürülür. Bu metabolit, dolaşımdaki ana formdur ve daha sonra dokuda aktif form kalsitriol'e (1,25-dihidrokoklekalsiferol) dönüştürülür ve bu form enterik epitel hücrelerinin, böbrek hücrelerinin ve osteoblastların çekirdeğindeki reseptörlere tipik bir steroid olarak bağlanır. Bu hücrelerde hareket eden kalsitriol, gastrointestinal alımını, atılımını ve kemik mineralizasyonunu ve emilimini düzenleyerek kalsiyum ve fosfor homeostazını düzenler. Balıklar ayrıca solungaç zarından kalsiyum emebilirler. Bu nedenle gastrointestinal emilimin düşük kalsiyum konsantrasyonlarına sahip sudaki balıklar için sınırlı bir öneme sahip olması muhtemeldir. D vitamini eksikliğinin başlıca patolojik etkileri, kas tetanisi ve zayıf kalsiyum homeostazından kaynaklanan kas liflerindeki yapısal değişikliklerdir. Somon türlerinde ve kanal yayın balığında D vitamini eksikliğinin başlıca belirtileri arasında zayıf büyüme, yüksek karaciğer lipidi, lordoz benzeri sarkık kuyruk ve beyaz iskelet kaslarının tetanisi ile kendini gösteren bozulmuş kalsiyum homeostazisi bulunur. Ancak gökkuşağı alabalığında hipokalsemi veya kemik külünde değişiklik bildirilmemiştir (Barnett vd., 1982).

3.750.000 IU D3 vitamini/kg diyetle beslenen alabalıklarda (*Salvelinus fontinalis*) hipervitaminoz gösterilmiştir, bu da hiperkalsemi ve artmış hematokrit seviyelerine neden olmuştur ancak büyüme ve hayatta kalma oranlarında bir fark yaratmamıştır. Ancak 1.000.000 IU D3/kg içeren diyetler kanal yayın balığı ve gökkuşağı alabalığında hiçbir toksik etki göstermemiştir (Brown, 1988).

7.3. E Vitamini

E Vitamini, halkadaki metil ikamesi derecesine (α , β , γ , δ) ve fitil yan zincirindeki doymamış bağların (tokoferol, tokotrienol) varlığına göre farklılaştırılan sekiz doğal dihidrokromanol türevi için kullanılan genel bir terimdir. α -tokoferol, farklı E vitamini formları arasında en yüksek biyopotense sahiptir. E vitamini gereksinimi, hücre zarlarındaki PUFA miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Biyolojik zarların PUFA'ları, hidroksil radikallerinin saldırısına karşı özellikle hassastır. Bir hidroksil radikaliyle reaksiyona girdiğinde, bir PUFA'nın kendisi, oksijen varlığında diğer PUFA'lara saldıracak bir radikal grubu içerir. Böylece, tek bir hidroksil radikali, zardaki tüm PUFA'lar oksitlenene kadar durmayacak bir zincirleme reaksiyon başlatabilir. Biyolojik sistemlerde, E vitamini bir antioksidan görevi görerek, PUFA'ları peroksidasyona karşı korumak için serbest radikal yayılımının zincirleme reaksiyonunu engeller. Bu rolde, E vitamini, selenyumla birlikte süperoksit dismutazlar ve glutatyon peroksidaz içeren bir enzim sistemiyle sinerji içinde hareket eder. En yaygın E vitamini eksikliği hastalıkları, beyaz kas liflerinin atrofi ve nekrozu içeren kas distrofisi; artan kılcal geçirgenliğe bağlı olarak kalp, kas ve diğer dokuların ödemi, eksüdaların kaçmasına ve birikmesine izin verir, bunlar genellikle hemoglobin parçalanmasının bir sonucu olarak yeşil renktedir; anemi ve bozulmuş eritropoez; depigmentasyon; ve karaciğerde seroid pigmenttir (Roberts, 2002). E vitamini vücutta plazma lipoproteinlerine bağlı olarak taşınır. Lipoproteinler ve eritrosit-

ler arasında hızlı bir değişim olduğundan ve E vitamini zarları koruduğundan, plazma E vitamini seviyeleri oksidatif hemolize karşı duyarlılıkla ters orantılıdır ve E vitamini durumu hakkında iyi bir gösterge sağlar. Eritrosit kırılabilirliği veya hemoliz testi, bazı balıklarda ve diğer hayvanlarda E vitamini eksikliklerini tespit etmek için kullanılmıştır (Hung vd., 1981).

7.4. K Vitamini

K Vitamini, kan pıhtılaşması üzerindeki etkileriyle bilinen yağda çözünen bir vitamindir. K vitamini aktivitesine sahip bileşikler ortak bir 2-metil-1,4-naftokinon halkasına sahiptir ancak 3-pozisyonundaki yan zincirin yapısı farklıdır. Bu vitamin üç farklı formda bulunur: K1 vitamini (filokinonlar; 2-metil-3-fetil-1,4-naftokinon); K2 vitamini (menakinonlar; 2-metil-1,4 naftokinonlar); ve K3 vitamini (menadionlar). K1 vitamini bitkiler, özellikle yeşil bitkiler tarafından sentezlenir. K2 vitamini karasal hayvanların alt bağırsak bölgelerindeki bakteriler ve mikroflora tarafından sentezlenir; ancak balıkların bu vitamini sentezleme yeteneği bilinmemektedir. K3 vitamini sentetik bir formdur. K vitamininin üç formu da balıklar için biyolojik olarak aktiftir. K vitamininin işlevi, glutamlin γ -karboksiglutamil kalıntılarına dönüşümünü kolaylaştıran K vitaminine bağımlı karboksilaz için bir kofaktör görevi görmektir. Klasik rolü, plazma prokoagülanları, protrombin (faktör II) ve faktör VII, IX ve X ve antikoagülanlar (proteinler C ve S) dahil olmak üzere çeşitli pıhtılaşma faktörlerinin sentezini içerir. Daha yakın zamanda, karasal hayvanların kemiklerinde γ -karboksiglutamil içeren proteinlerin, özellikle osteokalsin ve matris γ -karboksiglutamil proteininin tanımlanması, K vitamininin diğer organizmaların ve balıkların kemik metabolizması ve kemik sağlığındaki rolüne büyük ilgi uyandırmıştır. K vitamini eksikliğinin belirtileri arasında kan protrombin zamanında artış, anemi ve çeşitli balık türlerinde solungaçlarda, gözlerde ve damar dokularında hemorajik alanlar bulunur (NRC, 1993). K vitamini

eksikliği, mezigit balığı (*Melanogrammus aeglefi nus*) ve golyan balığı'nda (*Fundus heteroclitus*) kemik anormalliklerine ve zayıf kemiklere neden olmuş ve kemik gelişimini etkilemiştir (Udagawa, 2004; Roy ve Lall, 2007).

7.5. Tiamin (B1 vitamini)

Tiamin (B1 vitamini), ATP varlığında tiamin pirofosfo-kinaz tarafından fosforile edilerek tiamin pirofosfat (TPP) üretilir. TPP, pirüvat dekarboksilazın koenzim görevi görür; bu enzim, pirüvatın asetil CoA oluşturmak ve karbondioksit salmak üzere parçalanmasını katalize eder. TPP ayrıca glikolizin transketolaz reaksiyonunda da bir koenzimdir. Tiaminin işlevleri, tiamin eksikliğinin iki ölçülebilir semptomunda yansıtılır; kandaki pirüvik asit seviyelerinin artması ve kırmızı kan hücresi transketolaz aktivitesinin azalması. İkincisi, gökkuşağı alabalığı ve pisi balığının tiamin ihtiyacını belirlemek için bir araç olarak kullanılmıştır (Cowey vd., 1975). Tiaminin diğer fizyolojik önemi, sinir dokularının ve miyokardın normal işlevi ve gastrointestinal yol üzerindeki koruyucu etkileriyle bağlantılıdır. Tiamin eksikliğiyle ilişkili olarak gözlemlenen erken brüt patolojiler genellikle sinir sisteminde meydana gelir, çünkü TPP beyinde diğer dokulara göre daha az stabildir (Halver, 2002). Bunlara gövde kıvrılması, konvülsiyonlar, denge kaybı, sinir bozuklukları dahildir. Pigmentasyon değişiklikleri, tıkalı yüzgeçler ve deri altı kanaması gibi cilt ile ilgili bozukluklar da tanımlanmıştır.

7.6. Riboflavin (B2 vitamini)

Riboflavin (B2 vitamini), diyet yağlarından ve karbonhidratlardan gelen enerjinin kaslarda ve dokularda kolayca kullanılan forma hücre içi dönüşümünde bir koenzim olarak işlev görür. Dokularda ve hücrelerde oluşan başlıca formlar flavin mononükleotid (FMN) ve flavin adenin dinükleotiddir (FAD); ikincisi hücrelerde purinlere, fenollere veya indollere H-bağlı veya süksinat dehidrogenaz gibi temel enzimlere kovalent bağlı

olarak bulunur. Bu flavinoid bileşikleri, hayvan ve mikrobiyal sistemlerde yüzlerce enzim tarafından katalize edilen reaksiyonlarda elektron alıcıları olarak görev yapar. Bu reaksiyonların genel ve yaygın doğası, eksiklikle ilişkili patolojilerin de aynı derecede genel olduğu anlamına gelir; iştah kaybı, yavaş büyüme ve azalan yem verimliliği. Bu vitaminle bağlantılı spesifik eksiklik belirtileri bulanık lens veya katarakt ve eritrosit glutatyon redüktaz aktivitesinin kaybıdır.

7.7. Piridoksin (B6 vitamini)

B6 vitamini terimi, piridoksinin (3-hidroksi-4,5-bis(hidroksimetil)2-metilpiridin) biyolojik aktivitesini kalitatif olarak gösteren tüm 3-hidroksi2-metilpiridin türevlerini ifade eder. Vitamin, aldehit (piridoksal) ve amin (piridoksamin) formlarını içerir. B6 vitamininin metabolik olarak aktif formu, amino asitleri içeren reaksiyonlar (transaminasyon, dekarboksilasyon, desülfhidrasyon ve oksidatif deaminasyon) için bir koenzim görevi gören piridoksal fosfattır (PLP). PLP ayrıca porfirinin biyosentezinde, glikojenin katabolizmasında, lipid ve γ -aminobütirik asit metabolizmasında ve triptofandan nörotransmitterler 5-hidroksitriptin amin ve serotoninin sentezinde önemli bir rol oynar. Piridoksin eksikliğinin belirtileri arasında, somon balığı türlerinde, kanal yayın balığında, sazan balığında, çipura balığında, sarı kuyruk balığında ve Japon yılan balığında gözlemlenen düzensiz yüzme, hızlı operküler hareket, aşırı stres ve konvülsiyonlar gibi nörolojik bozukluklar bulunur. Eksikliğinde eritrosit ve plazma transaminaz aktiviteleri de baskılanır. Koenzim olarak piridoksal fosfat gerektiren belirli aminotransferaz enzimlerinin aktivitesi de balıklarda piridoksin durumunun iyi bir göstergesidir (Lall, 2010).

7.8. Niasin

Niasin, her ikisi de bu vitaminin diyet kaynağını oluşturabilen nikotinik asit ve nikotinamid için genel bir isimdir. Niasin

sinin biyolojik olarak aktif formları olan nikotinamid adenin dinükleotid (NAD) ve nikotinamid adenin dinükleotid fosfat (NADP), sitozol ve mitokondride bulunan birçok dehidrogenaz enziminin koenzimleri olarak işlev görür. NAD ve NADP, oksidatif metabolizmanın reaksiyonlarında, yağ asitlerinin ve steroidlerin indirgeyici biyosentezlerinde ve karbonhidratların, lipitlerin ve amino asitlerin degradatif metabolizmasında rol oynar. Bu nedenle, karbonhidrat, lipit ve amino asit metabolizmasının çeşitli yollarında temel bileşenlerdir. Her ikisi de elektron alıcısı olarak hareket etse de, reaksiyonlarda birbirinin yerine geçemezler ve çoğu enzimin belirli bir özgüllüğü vardır. Hayvan dokularında bulunan niasin kolayca sindirilir ve emilirken, birçok bitkide peptidler ve karbonhidratlarla kompleks oluşturur ve sindirim sırasında salınmaz. Niasin ayrıca triptofanın metabolizmasıyla da elde edilebilir, ancak görünüşe göre düşük bir göreceli verimlilikle. En yaygın niasin eksikliği belirtileri epitel hücre işlev bozukluğuyla ilişkilidir. Diğer patolojiler arasında güneş yanığına yatkınlık, koyu cilt, kanama ve ciltte lezyonlar bulunur; ancak, bu eksiklik belirtileri diğer mikro besin eksiklikleriyle de bağlantılı olabilir. Zayıf büyüme, ataksi, kas spazmları ve yüksek ölüm oranı bu vitaminin diğer kesin olmayan eksiklik belirtileridir.

7.9. Pantotenik asit

Pantotenik asit, koenzim A, asil CoA sentetaz ve asil taşıyıcı proteinin (ACP) bir bileşenidir. Bu vitaminin koenzim formu, asil grubu transfer reaksiyonlarından sorumludur. CoA'nın bilinen tüm türevleri ve ilgili pantotenik türevleri, çok sayıda metabolik reaksiyona katılan tiyol esterleridir. Asetil CoA'nın trikarboksilik asit döngüsündeki merkezi rolü, pantotenik asidin amino asit, karbonhidrat ve lipit metabolizmasında enzimatik olarak yer aldığı anlamına gelir. Pantotenik asit eksikliği, birçok türde solungaç hastalığına neden olur; solungaç lifle-

rinin nekrozu, yara izi ve hücrel atrofisi olarak kolayca gözlemlenebilir (Halver, 2002).

7.10. Biotin

Biotin, karbonhidrat ve lipit metabolizmasında önemli olan çeşitli enzim katalizli karboksilasyon reaksiyonları için bir koenzimdir. Bu enzimlerin bazı örnekleri şunlardır: (i) fosfoenolpiruvat karboksikinaz ile birlikte glukoneogeneizde önemli bir rol oynayan piruvat karboksilaz; (ii) yağ asidi sentezinin ilk adımını katalize eden asetil CoA karboksilaz; ve (iii) tek zincirli yağ asitlerinin oksidasyonunu katalize eden propiyonil CoA karboksilaz. Çoğu yem bileşenindeki biyotin, lizinin ϵ -amino grubuna (biyositin olarak) bir peptit bağı aracılığıyla bir karboksil taşıyıcı proteine kovalent olarak bağlanır. Bu nedenle biyotinin biyoyararlanımı, biyositin salmak için taşıyıcı proteinin hidrolitik sindirimine bağlıdır. Biotin ayrıca bağırsak mikroflorası tarafından sentezlenir ve ısıya karşı kararsız olmasına rağmen, eksiklikler nadiren görülür. Eksiklik, balıklarda ve diğer hayvanlarda, çiğ tavuk yumurtası beyazında bulunan avidin ile beslenerek deneysel olarak oluşturulabilir. Avidin, bağırsakta biyotinle kompleks oluşturarak emilimini engeller. Bu koşullar altında gözlemlenen semptomlar, lipid ve karbonhidrat metabolizmasının genelliğini yansıtır ve cilt ve nörolojik bozukluklar ve kas atrofisini içerir. Deneysel olarak oluşturulan eksiklik belirtileri arasında anoreksi, daha düşük kilo alımı, daha yüksek yem dönüşümü, somon balıklarında solungaçlarda, böbreklerde ve karaciğerde histopatolojik değişiklikler, kanal yayın balığında deri depigmentasyonu ve Japon yılan balıklarında koyu deri rengi bulunur (Halver, 2002).

7.11. Folik asit

Folat, folik asit (pteroilmonoglutamik asit) ve ilgili bileşiklerin biyolojik aktivitesini gösteren tüm bileşiklerin genel tanımlayıcısıdır. Çoğu hayvan dokusunda baskın formlar po-

liglutamatlardır. Bu formlar, bir poliamid olarak bir amid bağıyla folik asidin terminal glutamatına bağlı sekiz glutamik asit kalıntısına kadar içerebilir. Poliglutamatlar, hayvan dokularındaki indirgenmiş aktif formlardır. Folik asit, molekülün tamamen oksitlenmiş formudur ve doğada bu şekilde bulunmaz. Molekül dihidro ve tetrahidro formlarına indirgenebilir. Folatlar, tetrahidro (FH₄) formlarında bir karbonlu ünitelerin taşıyıcıları olarak metabolik işlevlerini yerine getirirler. Folat koenzimlerinde taşınan çeşitli bir karbonlu üniteler, metiyonin ve purin halkalarını sentezlemek ve deoksiüridinmonofosfatı DNA sentezi için deoksitimadinmonofosfata dönüştürmek için kullanılır. Bu vitaminin eksiklikleri en sık epitel doku ve kırmızı kan hücreleri gibi hızla bölünen dokularda görülür. Somon balıklarında folik asit eksikliğinin belirtileri arasında anoreksi, yavaş büyüme, zayıf yem dönüşümü ve soluk solungaçlar, anizositoz ve poikilositoz ile karakterize makrositer normokrom, megaloblastik anemi (Halver, 2002) bulunur. Eritrositler anormal şekilde segmentlenmiş ve daralmış çekirdeklere sahiptir ve ön böbreğin eritropoietik dokusunda çok sayıda megaloblastik proeritrosit bulunur. Japon yılan balıklarında, sarı kuyrukta ve yetersiz bir diyetle beslenen diğer balıklarda zayıf büyüme, anemi ve koyu ten rengi not edilmiştir.

7.12. B12 Vitamini

B12 Vitamini, kobalaminin biyolojik aktivitesini nitel olarak gösteren kobalt merkezli bir çekirdek (korrin halkası) içeren bir grup kompleks bileşiği ifade eder. Ticari preparat bir siyanür grubu içerir ve siyanokobalamin olarak adlandırılır. Canlı organizmada, B12 vitamini metilkobalamin veya 5'-deoksiadenosilkobalamin koenzimleri olarak işlev görür. B12 vitamini, eritrositlerin normal olgunlaşması ve gelişimi, yağ asitlerinin metabolizması, homosisteinin metionine metilasyonu ve tetrahidrofolik asidin normal geri dönüşümü için gereklidir. B12 vitamini ayrıca bağırsak mikroflorası tarafından sentezlenir

ve bunun sonucunda eksiklikler nadiren görülür. B12 vitamini- nin bağırsak mikrobiyal sentezi, yaygın sazan, kanal yayın balığı ve Nil tilapyasında gösterilmiştir. Parçalanmış ve olgunlaşma- mış eritrositlere sahip mikrositik hipokromik anemi bildirilen tek tanısal patolojidir, ancak bu yalnızca somon balıklarında görülmüştür (Halver, 2002). B12 vitamini eksikliği, canlının vitamin takviyesine hızla yanıt vermesi nedeniyle folat eksikli- ğinden ayırt edilebilir. Japon yılan balıklarının normal iştah ve büyüme için bu vitamine ihtiyacı vardır.

7.13. C Vitamini

C Vitamini, askorbik asidin biyolojik aktivitesini göste- ren bileşikleri içerir. Balıklar, birkaç memeli türü, kuşlar ve omurgasızlar hariç çoğu canlı, glikozdan glukuronik asit yoluyla askorbik asit sentezleyebilir. Vitamini sentezleyememelerinin, biyosentetik yoldaki son enzimin doğuştan yokluğundan kay- naklandığı düşünülmektedir: L-gulonolakton oksidaz. C vitamini için tanımlanan çok çeşitli işlevler vardır; bunların çoğu, bir biyokimyasal redoks sistemi olarak hizmet etme yeteneği ile ilgilidir ve bu sayede bir dizi hidroksilasyon reaksiyonunda elektron vericisi olarak hizmet etmesine olanak tanır. Askorbik asit güçlü bir indirgeyici maddedir ve dehidroaskorbik aside kolayca oksitlenir. Dehidroaskorbik asit, glutatyon veya indirgenmiş nikodinamid adenin dinükleotid fosfat (NADP) ile hayvan dokularında enzimatik olarak askorbik aside geri indirgenebilir. Askorbik asidin başlıca işlevlerinden biri, kolajenin biyosente- zinde bir kofaktör olmasıdır. Bu rolde askorbik asit, prokollaje- nin prolin veya lizin kalıntılarının hidroksilasyonundan sorumlu olan prolin veya lizil redüktaz enzimlerine bir kofaktör olarak hizmet eder. Hidroksiprolin ve hidroksilizin, kolajende çapraz bağlar oluşturmak için karbonhidrat gruplarına bağlanır ve böy- lece yapısal bütünlük sağlar. Askorbik asit, hücre dışı sıvılardaki en önemli antioksidan olarak kabul edilir ve antioksidan nitelik- teki birçok hücresel aktivitenin kaynağı bu vitamindir. Süperok-

sit, hidrojen peroksit, hipoklorit, hidrojen radikali, peroksi radikalleri ve singlet oksijeni etkili bir şekilde temizleme yeteneğine sahiptir. Askorbik asit, başlıca lipitte çözünen zincir kıran anti-oksidan olan tokoferolün aktivitesini artırarak hücre zarlarını peroksidasyona karşı korur. Nörotransmitterlerin, steroidlerin, ilaçların ve lipidlerin metabolizmasında yer alan çeşitli hidroksilazlarda önemli bir rolü vardır. Askorbik asit, yağ asidinin mitokondriye taşınması için gerekli olan karnitinin sentezinde yer alan iki demir içeren hidroksilazın kofaktörüdür. Askorbik asit ayrıca demirin emilimini kolaylaştırır ve böylece askorbik asit eksikliği olan balıklarda sıklıkla görülen anemiye önler. Ferrik demiri (Fe^{3+}) feröz demire (Fe^{2+}) indirger. Bugüne kadar incelenen balıkların çoğunda askorbik asit eksikliği belirtileri yapısal deformiteler (skolyoz, lordoz, solungaç ve yüzgeçler) göstermektedir. (Halver 2002; Roberts, 2002) Kıkırdak hiperplazisi, ardından skolyoz, lordoz ve çene ve burun deformiteleri, C vitamini eksikliğinin başlangıcından kısa bir süre sonra ortaya çıkar ve hızla büyüyen yavru balıklarda kolayca görülür. Somon balıklarında, iştahsızlık ve uyuşukluk, asit ve hemorajik ekzofalmi gibi spesifik olmayan belirtilerle birlikte görülen iç kanamalar ve plazma trigliseritleri ve kolesterolün yüksek seviyeleri de gözlemlenmiştir. Kalkan balığında, korneanın opaklığı ve hipertirozinemi ile ilişkili böbrek granülomatozu askorbik asit eksikliğinin belirtileri olarak tanımlanmıştır (Messenger vd., 1986). Balıklardaki bağışıklık sistemi hücrelerinin fagositik aktivitesi, güçlü mikrobisidal faktörler olan ancak balık makrofajları için ototoksik olan reaktif oksijen radikalleri üretir (Secombes vd., 1988). Askorbik asit, fagositik hücreleri ve çevre dokuları oksidatif hasardan koruyor gibi görünmektedir. Yüksek düzeyde askorbik asit takviyesine bağlı olarak artan bir bağışıklık tepkisi, birkaç balık türünde gösterilmiştir (Gatlin, 2002). Ağır metaller gibi diyet ve çevresel kirleticiler balıkların askorbik asit gereksinimlerini artırır. Askorbik asit eksikliği olan diyetlerle beslenen gökkuşağı alabalıklarında da üreme performansının

azaldığı bildirilmiştir (Sandnes vd., 1984). Askorbik asit rezervleri bazı balıkların embriyonik ve larval gelişimi sırasında hızla tükenir ve bu da bu vitaminin erken yaşam evrelerinde ve genç ve yetişkin balıklardan daha yüksek bir gereksinim olduğunu gösterir. Karaciğer ve böbrek askorbik asit konsantrasyonlarının 25 µg/g'dan düşük olması, somon balıklarında ve kanal yayın balığında askorbik asit eksikliğinin bir göstergesi olarak önerilmiştir (Lall, C.P. 2010)

7.14. Kolin

Kolin, 2-hidroksiN,N,N-trimetiletanaminyum için kullanılan bir isimdir. Dokularda yaygın olarak dağılmıştır; ancak yemde çoğunlukla fosfatidil kolin formundadır. Serbest kolin, betain aldehit dehidrogenaz tarafından betaine dönüştürülen betain aldehit elde etmek için mitokondriyal enzim kolin dehidrogenaz tarafından oksitlenebilir. Kolinin hayvanlarda dört temel işlevi vardır: (i) fosfatidilkolin olarak biyolojik zarların yapısal bir elemanıdır; (ii) ayrıca fosfatidilkolin olarak lipid taşınmasını teşvik eder; (iii) asetilkolin olarak bir nörotransmitterdir; ve (iv) geri dönüşümsüz olarak betaine oksitlendiğinde çeşitli hücrel reaksiyonlarda kararsız bir metil donörü olarak işlev görür. Bazı balık türleri, kolin ihtiyaçlarının bir kısmını diğer metil donör bileşiklerinden kolin sentezleyerek karşılayabilir. Kolin eksikliğinde tanımlanan yaygın patoloji yağlı karaciğer ve karaciğer vakuolizasyonudur (Halver, 2002). Kolin eksikliği olan mersin balığında (*Acipenser transmontanus*) bağırsak duvarı kasında incelme ve ekzokrin pankreasın fokal dejenerasyonu gözlemlenmiştir (Hung, 1989).

7.15. İnositol

Miyo-inositol, suda çözünen, hidroksile edilmiş, siklik 6 karbonlu bir bileşiktir (sis-1,2,3,5trans-4,6-sikloheksanheksol), inositolün tek biyoaktif formudur. Miyo-inositol, balık hariç çoğu hayvan tarafından glikozdan sentezlenir ve bu nedenle bu türlerde inositol bir diyet gereksinimidir. Miyo-inositol, lipid taşınmasında önemlidir ve fosfatidil inositol gibi, beyin ve böbrekte yüksek konsantrasyonda bulunan biyolojik zarların önemli bir bileşenidir. Eikosanoidlerin öncüsü olan araşidonik asit açısından zengin bir kaynak olarak, fosfatidil inositol metabolizma için kolayca erişilebilir araşidonik asit sağlamada da önemli bir işlev görebilir. İnositol sazan balığının bağırsaklarında sentezlenebilir , ancak bu vitaminin dışsal bir kaynağı olmadan genç balıkların normal büyümesini sürdürmeye yetecek miktarda değildir, çünkü genç sazanlar yaşlı balıklardan daha yüksek seviyede inositol gerektirir. Kanal yayın balığında, karaciğer ve bağırsakta inositolün de novo sentezi gösterilmiştir. (Burtle ve Lovell, 1989). İnositol eksikliği belirtileri arasında iştahsızlık, kansızlık, zayıf büyüme, yüzgeç erozyonu, koyu ten rengi, yavaş mide boşalması ve gökkuşağı alabalığı, kırmızı çipura (*Pagrus major*), Japon yılan balığı ve sarı kuyrukta kolinesteraz ve belirli transaminazların aktivitelerinde azalma bulunur. İnozit eksikliği olan bir diyetle beslenen gökkuşağı alabalığının karaciğerinde büyük miktarda nötr lipid birikimi ve kolesterol ile trigliserit seviyelerinde artış, ancak toplam fosfolipit, fosfatidil kolin, fosfatidil etanolamin ve fosfatidil inositol miktarlarında azalma gözlenmiştir (Holub vd., 1982).

8. MİNERALLER

Su hayvanları normal yaşam süreçleri için minerallere ihtiyaç duyarlar. Temel mineraller genel olarak iki gruba ayrılır; gram miktarında ihtiyaç duyulanlara makromineraller ve gereksinimi çok daha düşük olanlara (kg başına mg veya µg) eser elementler denir. Makromineraller kalsiyum, magnezyum, fosfor, sodyum, potasyum, kükürt ve klor içerir. On yedi eser element (arsenik, bor, krom, kobalt, bakır, flor, iyot, demir, kurşun, lityum, manganez, molibden, nikel, selenyum, silikon, vanadyum ve çinko) hayvanlarda temel element olarak kabul edilir; ancak bu elementlerden yalnızca birkaçı balıklarda temel element olarak gösterilmiştir. Bu minerallerin temel işlevleri arasında iskelet yapısının oluşumu, kolloidal sistemlerin bakımı (ozmotik basınç, viskozite, difüzyon) ve asit-baz dengesinin düzenlenmesi yer alır. Eser elementler hormonların, enzimlerin ve enzim aktivatörlerinin önemli bileşenleridir. Balıkların hücresel (örn. oksijen taşınması, solunum, enzim aktivitesi) ve fizyolojik (örn. büyüme, üreme, görme, bağışıklık) süreçlerinin geniş bir yelpazesinde yer alırlar. Çoğu karasal hayvanın aksine, suda yaşayan organizmalar su ortamlarından inorganik elementleri alırlar. Diyet veya solungaç alımı yoluyla aşırı mineral alımı toksisiteye neden olabilir ve bu nedenle mineral eksikliği ve fazlası arasındaki ince bir denge, suda yaşayan organizmaların artan emilim veya artan atılım yoluyla homeostazlarını sürdürmeleri için hayati önem taşır. Mineral gereksinimleri ve bunların fizyolojik işlevleri hakkındaki bilgide büyük boşluklar vardır (Lall, 2002, 2007; Lall ve Milley, 2007).

8.1. Kalsiyum ve Fosfor

Kalsiyum ve fosfor balıklarda en bol bulunan minerallerdir ve işlevleri, özellikle iskelet sisteminin gelişimi ve bakımı olmak üzere yakından ilişkilidir. Kemiklerdeki ve pullardaki yapısal işlevlerine ek olarak, kalsiyum asit-baz dengesinin korunmasında, kas kasılmasında, kan pıhtısı oluşumunda, sinir iletiminde, hücre bütünlüğünün korunmasında ve birkaç önemli enzimin aktivasyonunda önemli bir rol oynar. Nükleik asitlerin ve fosfolipidin önemli bir bileşeni olan fosfor, doğrudan tüm enerji üreten hücresel reaksiyonlarda yer alır, hücre zarlarının yapısal bütünlüğünü korur ve çeşitli hücre işlevlerinde bulunur. Ayrıca karbonhidrat, lipit ve amino asit metabolizmasında ve vücut sıvılarındaki tamponları içeren çeşitli metabolik süreçlerde önemli bir rol oynar. Balıkların kalsiyum gereksinimi büyük ölçüde tatlı suda solungaçlar ve deri yoluyla emilim ve deniz suyu içilmesiyle karşılanır. Çoğu suda yaşayan organizmanın fosforu sudan emme yeteneği olmasına rağmen, bu elementin konsantrasyonu hem tatlı suda hem de deniz suyunda besin gereksinimlerini karşılamak için çok düşüktür. Birkaç balık türünde fosfor eksikliği belirtileri arasında zayıf büyüme, azalan yem verimliliği ve zayıf kemik mineralizasyonu bulunur (Lall, 2002). Ayrıca, olarak, düşük fosforlu bir diyetle beslenen yaygın sazanlarda karaciğerlerinde belirli glukoneojenik enzimlerin aktivitesinde artış; karkas su içeriğinde azalma ile karkas yağında artış; kan fosfat seviyesinde azalma; ve deforme bir kafa görülmüştür. Kırmızı çipura tarafından düşük fosfor alımı kavisli, genişlemiş omurlara; serum alkali fosfataz aktivitesinde artışa; kas, karaciğer ve omurlarda daha yüksek lipit birikimine; ve karaciğer glikojeninde azalmaya neden olmuştur. Düşük fosforlu diyetle beslenen somon ve alabalıkta operkulum ve pullu fosfor konsantrasyonunda önemli bir azalma meydana gelir. Yüksek seviyedeki diyet fosforu omur küllü konsantrasyonunda azalmaya neden olmuş ve deniz balığı olan mezigitin kemiğinde histolojik deği-

şikliklere yol açmıştır (Roy vd., 2002). Yemlerdeki fosfor miktarı, eksiklik belirtilerini (örneğin iskelet anormallikleri) önlemek ve ayrıca doğal sulardaki fosfor atılımını azaltmak için idrar ve dışkı atılımlarını en aza indirmek amacıyla dikkatlice dengelenmelidir.

8.2. Magnezyum

Magnezyum iskelet dokusu metabolizmasında, ozmoregülasyonda ve nöromüsküler iletimde gereklidir. Enzimlerde fosfat gruplarını hidrolize eden ve transfer eden bir protez iyonudur. Bu nedenle, membran taşımacılığı, sinir uyarılarının üretimi ve iletimi, kasların kasılması ve oksidatif fosforilasyon gibi enerji gerektiren biyolojik işlevler için gereklidir. Magnezyum ayrıca ribozomal yapının ve dolayısıyla protein sentezinin sürdürülmesi için de gereklidir. Tatlı su balıklarının solunum adaptasyonunda önemli bir rol oynar. Sazan, kanal yayın balığı, yılan balığı türleri ve gökkuşağı alabalığında magnezyum eksikliği belirtileri arasında iştahsızlık, büyümede yavaşlama, uyuşukluk, yüksek ölüm oranı bulunur. Gökkuşağı alabalığında magnezyum eksikliği ayrıca böbrek kalsifikasyonuna, omur deformitesine ve pilorik kör bağırsak ve solungaç liflerinin kas lifleri ve epitel hücrelerinin dejenerasyonuna neden olur. Düşük magnezyumlu diyetle beslenen sazanlarda konvülsiyonlar gelişir. Magnezyum deniz suyunda en yaygın üçüncü elementtir ve içilen deniz suyuyla kolayca alınır. Bu nedenle, Atlantik somonu, kırmızı çipura ve deniz suyunda yetiştirilen diğer deniz balıkları magnezyum eksikliği belirtileri göstermez.

8.3. Sodyum, Potasyum ve Klor

Sodyum, potasyum ve klor vücuttaki en bol elektrolitlerdir. Sodyum ve klor sırasıyla vücuttaki başlıca hücre dışı katyon ve anyondur. Sodyum, ozmoregülasyon, asit-baz dengesi ve hücrelerin membran potansiyeli ile hücre membranları arasında aktif taşımada önemlidir. Klor, elektrolit dengesinin korunmasında esastır ve aynı zamanda mide suyundaki başlıca anyondur. Potasyum, hücre içi anyonları dengelemek için monovalent katyon görevi görür ve nöromusküler işlevlere katılır. Ayrıca kas dokusunda bol miktarda bulunan bir mineraltir. Sodyum, potasyum ve klorür çevrede ve hemen hemen tüm yem bileşenlerinde bol miktarda bulunur, bu nedenle çiftlik balıklarında eksiklik belirtileri tanımlanmamıştır. Chinook somonunda (*Onchorhynchus tshawytscha*) deneysel olarak oluşturulan potasyum eksikliği anoreksiya, konvülsiyonlar, tetani ve ölüme neden olmuştur (Shearer, 1988). Bazı somon türlerinin diyetlerine tuz takviyesi yapıldığında solungaç mikrozomlarının Na^+ , K^+ ile uyarılan ATPaz aktivitesi yükselmekte, böylece tuzlu suya adaptasyon fizyolojik olarak daha kolay hale gelmektedir.

8.4. Demir

Demir, oksidasyon-redüksiyon aktivitesi ve elektron transferi yoluyla hücresel solunum süreçleriyle ilgili vücutta birkaç hayati rol oynar. Vücutta esas olarak hem bileşikler (hemoglobin ve miyogloblin), hem enzimleri (mitokondriyal ve mikrozomal sitokromlar, katalaz, peroksidaz, vb.) ve hem olmayan bileşikler (transferin, ferritin ve demir içeren flavoproteinler, örn. ferredoksinler, dehidrogenazlar) gibi proteinlere bağlı karmaşık bir formda bulunur. Gıda, metabolik amaçlar için ana demir kaynağı olarak kabul edilir; demirin bir kısmı solungaç zarları boyunca gerçekleşir. Demir eksiklikleri genellikle normal koşullar altında gözlenmez, ancak düşük demirli bir yemle beslenmede eksiklik görülür. Gözlenen ana patolojiler mikrositer

anemi, düşük hematokrit ve kan demir konsantrasyonudur ve karaciğer sarımsı beyaz olur. Demir eksikliği hematokrit, hemoglobin ve plazma demir seviyelerini ve transferin saturasyonunu azaltır (Gatlin ve Wilson, 1986). 1380 mg demir/kg'dan fazla demirle beslenen gökkuşağı alabalıklarında diyet demir toksisitesi belirtileri gelişir (Desjardins vd., 1987). Demir toksisitesinin başlıca etkileri arasında azalmış büyüme, zayıf yem kullanımı, yem almama, artan ölüm oranı, ishal ve karaciğer hücrelerinde histopatolojik hasar bulunur.

8.5. Manganez

Manganez, metal-enzim kompleksleri oluşturmak için çok sayıda enzimi aktive eden bir yardımcı faktör olarak veya belirli metaloenzimlerin ayrılmaz bir parçası olarak işlev görür. Manganez iyonunun kimyası magnezyum iyonunun kimyasına benzediğinden, birçok enzim manganez veya magnezyum tarafından aktive edilebilir. Bazı enzimler, örneğin glikozil transferazlar, manganez aktivasyonu için oldukça spesifiklerdir. Manganezin lipit ve karbonhidrat metabolizmasında ve beyin fonksiyonunda enzimatik işlevi yaygın olarak bilinmektedir. Manganez eksikliği, bazı balık türlerinin kalp kası ve karaciğerindeki Cu-Zn-süperoksit dismutaz ve Mn-süperoksit dismutaz aktivitelerini ve kemikteki manganez içeriğini azaltır. Manganez eksikliği, gökkuşağı alabalığı, sazan balığı ve tilapyada büyümede yavaşlama ve iskelet anormalliklerine neden olur. Manganez eksikliği ayrıca gökkuşağı alabalığında düşük kuluçka randımanını ve düşük yumurta manganez seviyeleri üretir (Takeuchi vd., 1981).

8.6. Çinko

Balıklarda ve diğer hayvanlarda çinkonun temel işlevi, bir dizi metaloenzimin ayrılmaz bir bileşeni ve belirli Zn bağımlı enzimlerin aktivitesini düzenleyen bir katalizör olarak oynadığı role dayanır. Karbonik anhidraz, alkalın fosfataz, karboksipeptidazlar A ve ilgili peptidazlar, alkol dehidrogenazlar ve sitolik süperoksit dismutaz dahil olmak üzere çinko metaloenzimleri, karbonhidrat, lipit ve protein metabolizmasının çeşitli metabolik süreçlerinin düzenlenmesinde rol oynar. Balıklarda çinko emiliminin ana yolları, hem tatlı su hem de deniz suyu türlerinde solungaçlar ve bağırsak yoludur (Lall, 2002). Balıkların besinsel çinko durumu sıkı bir şekilde kontrol edilir ve fazla Zn safra, dışkıda bağırsak mukozasının dökülmesi ve solungaçlar yoluyla atılır (Handy, 1996). Solungaçlarda çinko birikimi ayrıca Zn alım mekanizmalarındaki değişikliklerle düzenlenir ve aşırı alımı sınırlanabilir (Bury vd., 2003). Çinko eksikliği iştah ve büyümede azalmaya, yüksek ölüm oranına, lens kataraktlarına, yüzgeç ve deri aşınmasına, kısa vücut ve kemikte düşük çinko ve kalsiyum seviyelerine ve serum çinko konsantrasyonlarına neden olur. Beyaz balık ununda bulunan aşırı mineraller (toplam kül) çinko emilimini ve kullanımını etkileyerek lens kataraktına neden olabilir. Kuyruk yüzgeci çinko konsantrasyonu gökkuşağı alabalığında çinko durumunun iyi bir göstergesidir (Wekell vd., 1986). Çinko açısından düşük diyetler yumurta üretimini ve yumurtaların kuluçka oranını azaltır (Takeuchi vd., 1981).

8.7. Bakır

Bakır, oksidasyon-redüksiyon reaksiyonlarında yer alan birçok enzimin bir bileşenidir ve hücrede serbest iyonlar yerine proteinlere sıkıca bağlı olarak bulunur. Hücredeki elektron taşıma zincirinin sitokrom oksidazıyla ilişkilidir. Bakır metaloenzimleri, hücrelerin serbest radikal hasarından (süperoksit dismutaz), kolajen sentezinden (lizil oksidaz) ve melanin üretiminden

(tiroz inaz) korunmasında rol oynar. Hücrede ve plazmada bulunan bakır bağlı seruloplazmin, demir kullanımında görev alır. Yem, balıkların optimum büyümesi için önemli bir bakır kaynağıdır; ancak solungaçlar da önemli miktarda bakır alımına katkıda bulunur (Taylor vd., 2007). Yemle sağlanan aşırı miktarda bakır vücuda girmez; bunun yerine, metalotiyonin tarafından bağırsak dokusunda tutulur ve epitel membrandan dökülerek dışkıyla atılır (Clearwater vd., 2000). Balıklarda henüz bakır eksikliği belirtileri bildirilmemiştir. Bakır eksikliği olan kanal yayın balığında kalp sitokrom c oksidaz ve karaciğer Cu-Zn-süperoksit dismutaz aktivitelerinde azalma gözlemlenmiştir (Gatlin ve Wilson, 1986). Bakır yemlerde ve suda yaygın olarak dağılmıştır; bu nedenle eksikliği balıklarda yalnızca aşırı koşullar altında ortaya çıkar. Bakır toksisitesi solungaçlarda ciddi hasara ve karaciğer ile böbreklerde nekrotik değişikliklere neden olabilir. Bu elementin toksisitesi 730 mg bakır/kg diyetle beslenen gökkuşağı alabalığında artmıştır (Lanno vd., 1985). Toksikite belirtileri arasında azalan büyüme ve yem verimliliği ve yükselmiş karaciğer bakır seviyeleri yer alır.

8.8. İyot

İyot, balıkların tiroksin ve triiyodotironin tiroid hormonlarının biyosentezi için gereklidir. Tiroid hormonları hücresel oksidasyonu düzenler, büyüme ve metabolizmayı etkilemek için diğer hormonal sistemlerle etkileşime girer. İyot, balıklar tarafından solungaç epitelleri ve bağırsak duvarı boyunca iyonik formunda (iyodür) alınır. Diğer hayvanlarda olduğu gibi, guatr veya hipotiroidizm iyot eksikliğinin başlıca sonucudur. Ancak, deniz suyu iyodür açısından nispeten zengin olduğundan, deniz veya acı su türlerinde iyot eksiklikleri nadirdir. Tatlı su balıklarında bile, iyodür eksikliği olan hipotiroidizm formları nadirdir çünkü yiyeceklerdeki iyodür genellikle hayvanın ihtiyaçlarını karşılamak için yeterlidir. Tiroid hormonu eksikliği, diyete kolza tohumu yemekleri eklendiğinde glukozinolatlar yoluyla da gelişebilir.

8.9. Selenyum

Selenyum, glutatyon peroksidaz, tioredoksin redüktaz ve iyodotironin 5'-deiyodinaz tip 1, 2 ve 3'ün çeşitli izozimleri de dahil olmak üzere çeşitli enzimlerin aktiviteleri için gerekli olan temel bir besindir. Çoğu proteinde selenometiyonin ve selenosistein formunda bulunur. Glutatyon peroksidaz, glutatyondan eşdeğerleri azaltarak hidrojen peroksit ve hidroperoksitleri alkolle parçalayabilir ve böylece hücreleri ve zarları peroksit hasarına karşı koruyabilir. Selenyum ve E vitamini, çoklu doymamış yağ asitleri ve diğer diyet faktörlerinin etkileşimi selenyum gereksinimini önemli ölçüde etkiler. Selenyumun solungaçlar boyunca alımı düşük su kaynaklı konsantrasyonlarda çok etkilidir. Karaciğer ve böbrek, alabalıkta selenyumun atılım sürecinde önemli bir rol oynar; Ancak, ana boşaltım yollarının solungaçlar ve idrar olduğu görülmektedir (Hilton, 1989). Selenyum eksikliği gökkuşağı alabalığı ve kanal yayın balığında büyüme bozukluğuna neden olur; ancak, selenyum eksikliği tek başına bu balıklarda herhangi bir patolojik belirtiyeye neden olmaz. Atlantik somonunda kas distrofisini ve gökkuşağı alabalığında eksüdatif diatezi önlemek için diyetle hem selenyum hem de E vitamini gereklidir. Plazma ve karaciğerdeki glutatyon peroksidaz aktivitesi balıklarda selenyum durumunun hassas bir göstergesidir ve aktivitesi selenyum eksikliği sırasında azalır. Gökkuşağı alabalığı ve yayın balığı, 10 mg/kg veya üzeri selenyum içeren diyetlerle beslendiğinde nefrokalsinozis dahil olmak üzere toksisite belirtileri görülür (Hilton ve Hodson, 1983). Selenyum metil civanın toksisitesini azaltır ve bu nedenle selenyum eksikliği ağır metal toksisitesini artırır.

8.10. Krom

Krom, insanlar için temel bir besin maddesi olarak kabul edilir. Enzimleri aktive etmede ve proteinlerin ve nükleik asitlerin yapısal stabilitesini korumada rolü olabilir, ancak biyolojik olarak aktif bir kompleksteki kromun birincil fizyolojik rolü insülinin etkisini güçlendirmektir. Kromun biyolojik işlevi insülinle yakından ilişkilidir. Sazan ve Nil tilapisi yemlerine krom takviyesi glikoz kullanımını artırmıştır; ancak bu bulgu diğer balık türlerinde doğrulanmamıştır. Krom, gıdalarda en az iki biçimde bulunur; inorganik Cr^{3+} iyonu olarak ve biyolojik olarak aktif bir molekülün parçası olarak. Biyolojik molekülün tam yapısı aktif olarak bilinmemektedir, ancak nikotinik asit ve bazı amino asitler (glisin, glutamik asit, sistein, glutatyon) içerdiği varsayılmaktadır. Krom eksikliğine yanıt olarak patolojiler gösterilmemiştir, ancak yemde yüksek seviyelerde olduğunda altı değerlikli kromun toksisitesi bildirilmiştir.

9. DİĞER ESER ELEMENTLER

Molibden, flor, kobalt ve bor, diğer organizmalarda metabolik işlevleri olduğu bilinen ancak balıklarda belirli bir eksiklik belirtisi tanımlanmayan elementlerdir. Molibden, ksantin oksidaz, aldehit oksidaz ve sülfat oksidaz dahil olmak üzere çeşitli enzimlerin temel bir bileşenidir ve burada protez grubu molibopterin içinde bulunur. Flor, doğada nadiren serbest formda bulunur, ancak kimyasal olarak birleşerek doğada yaygın olarak dağılmış olan florürleri oluşturur. Flor, kalsifiye dokuların normal bir bileşenidir ve konsantrasyonu doğrudan flor maruziyetiyle ilişkilidir. Kobaltın bilinen tek işlevi, B12 vitamininin bir bileşeni olarak rolüyle ilgilidir. B12 vitamininin moleküler ağırlığının yaklaşık %4,5'i elementel kobaltdan gelir. B₁₂ vitamini hayvanlar tarafından sentezlenemese de, sindirim sistemindeki bakteriyel sentez bu vitaminin gereksiniminin çoğunu karşılar.

Sazan balığı diyetlerine kobalt eklenmesinin, muhtemelen bakteriyel B₁₂ vitamini sentezi için mineral kaynağı sağlamasının bir sonucu olarak, büyüme ve hemoglobin sentezi üzerinde yararlı bir etkiye sahip olduğu tanımlanmıştır. Bor'un gökkuşağı alabalığı yumurtalarının embriyonik gelişiminde bir rolü olduğu gösterilmiştir (Eckhart, 1998).

10. BESLENME HASTALIKLARI

Balıklarda besin eksikliği ve toksisitesinin morfolojik ve patolojik belirtileri incelenmiştir (Roberts, 2002). Genel olarak, beslenme hastalıklarını karakterize etmek zordur ve balık çiftliklerinde tek bir eksikliğe bağlı hastalıklar nadiren görülür. Örneğin, gökkuşağı alabalığındaki nefrokalsinozis, magnezyum eksikliği, yüksek selenyum alımı, suda yüksek karbondioksit seviyeleri ve gıda ve su kimyasıyla ilgili diğer faktörlerden kaynaklanır. Balıklarda birkaç tek besin eksikliği hastalığı, deneysel koşullar altında saflaştırılmış diyetler kullanılarak tanımlanmıştır (Tacon, 1992; NRC, 1993). Belirli besin maddelerinin veya diyet faktörlerinin dahil olabileceği, etiyojisi bilinmeyen bulaşıcı hastalıklar bildirilmiştir. E vitamini ve selenyum, pankreas hastalığının (McCoy vd., 1994) ve Hitra hastalığının (Salte vd., 1988) patogeneğinde rol oynamaktadır. E vitamini gereksinimi selenyum, çoklu doymamış yağ asitleri, C ve A vitaminleri, antioksidanlar, diyet yağı takviyelerinin oksidatif kalitesi ve E vitamininin biyoyararlanımı gibi diğer besin maddeleri ve diyet faktörleriyle yakından ilişkilidir. Her iki hastalığın nedenine ilişkin araştırmalar, karmaşık bir besin maddesi ilişkisinin var olduğunu ve çevre ve bakımla ilgili faktörlerin de dahil olabileceğini göstermektedir. Birden fazla besin maddesiyle bağlantılı balıklardaki belirli bozukluklar daha sonraki bir bölümde tartışılmaktadır. Balıklar, enfeksiyona karşı koruma sağlamak için daha çok spesifik olmayan savunma mekanizmalarına bağımlı-

dır. Bulaşıcı hastalıklara karşı direncin beslenmeyle modülasyonu beş ana gruba ayrılabilir:

1. Larval aşamadan başlayarak bağışıklık sisteminin gelişimi için gerekli olan amino asitler, çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), vitaminler ve eser elementler dahil olmak üzere makro ve mikro besinlerin uygun bir dengesi dikkate alınmalıdır. Bu besinlerdeki eksiklikler, lenfoid organların uygun gelişimi de dahil olmak üzere çeşitli gelişim olaylarını etkileyebilir. Marjinal eksiklikler, yaşamın sonraki aşamalarında bağışıklık sistemini olumsuz etkileyebilir. Şiddetli eksiklikler hastalığa karşı duyarlılığı artıracak ve hayvanın ölümüne yol açabilir.
2. Bağışıklık sisteminin hücrelerinin bölünmesi ve efektör molekülleri sentezlemesi için yeterli beslenme esastır. Yem, bağışıklık sistemine lenfosit çoğalmasını ve efektör (örn. immüoglobulinler, lizozim ve tamamlayıcı) ve iletişim moleküllerinin (örn. sitokinler ve eikozanoidler) sentezini desteklemek için gerekli amino asitleri, PUFA'ları, enzim kofaktörlerini ve enerjiyi sağlar. Normal bir bağışıklık fonksiyonunu sürdürmek için besinlere olan nicel ihtiyaç, büyüme ve üreme gereksinimlerine kıyasla nispeten küçüktür.
3. Bazı besinlerin patojenlerin çoğalması için gerekli substratları (örn. demir) sağladığını ve vücut sıvılarında düşük konsantrasyonlarda bulunmalarının balık içindeki patojenlerin büyümesini sınırlayabileceğini dikkate almak önemlidir.

4. Diyetlerin endokrin sistem aracılığıyla aracılık edilen bağışıklık sistemi üzerindeki dolaylı düzenleyici etkilerini içerebilir. PUFA'ların ve diğer besin maddelerinin (A ve E vitaminleri) lökositler üzerindeki düzenleyici etkisi gösterilmiştir. PUFA'lardan üretilen eikozanoidler, özellikle araşidonik asit, humoral bağışıklık sisteminin önemli bir bileşenidir.
5. Yem bileşimi ve yemlerin fiziksel özellikleri, gastrointestinal sistemdeki mikroorganizmaları ve bağırsak epitelinin bütünlüğünü değiştirebilir. Oksitlenmiş lipitlerin, bitki antinutrisyonel faktörlerinin (örn. lektinler, proteaz inhibitörleri ve oligosakkaritler) ve liflerin varlığı, bağırsak fizyolojisini, bağırsak mikroflora oral popülasyonunun yapısını ve boyutunu ve dolayısıyla spesifik olmayan bağışıklık tepkisinin yönlerini etkileyebilir.

Bozulmuş beslenme durumu, gelişimin tüm aşamalarında kusurlu konak direncine katkıda bulunur; ancak larvalar ve genç balıklar bulaşıcı hastalıklara en duyarlı olanlardır. Yetersiz beslenen balıklar latent enfeksiyonlara ev sahipliği yapar ve belirli fizyolojik koşullar (örn. deniz suyu transferi) ve çevresel stres (sıcaklık, tuzluluk, su kalitesi, ışık ve yoğunluk) onları enfeksiyonlara yatkın hale getirebilir. Belirli besin eksikliklerinin doğuştan ve edinilmiş bağışıklık üzerindeki zararlı etkileri deney hayvanlarında iyi belgelenmiş olsa da balıklar üzerinde yalnızca birkaç araştırma yapılmıştır.

Özellikle balıklarda, A, E ve C vitaminlerinin ve minerallerin (demir ve selenyum) konak savunma mekanizmalarındaki ve hastalık direncindeki rolü iyi bilinmektedir (Gatlin, 2002). Akut veya kronik enfeksiyonlar genellikle vücuttaki önemli besinleri tüketir ve ortaya çıkan besin eksiklikleri balıkları sekonder enfeksiyonlara karşı daha duyarlı hale getirir. En-

feksiyonların veya diğer faktörlerin neden olduğu anoreksiya, ciddiyetine bağlı olarak diyet besinlerinin alımını farklı derecelerde azaltacaktır. Potasyum, magnezyum, fosfat, sülfat, çinko ve vücut azotu gibi diğer önemli hücre içi elementlerin kaybı, bakteriyel böbrek hastalığı (*Renibacterium salmoninarum*) enfeksiyonu sırasında meydana gelir (Lall ve Olivier, 1993). Patojenik bağırsak mikroorganizmaları bağırsak hareketliliğinde bozulmalara ve mukoza, bağırsak duvarı ve lenf sisteminde yıkıcı ve iltihaplı lezyonlara neden olur ve bu da emilim işlevlerini etkileyebilir. Bağırsak parazitleri bağırsak mukozasına da zarar verebilir ve doğrudan kan ve protein kaybına yol açabilir. Bağırsak mikroflorasının sayısı, bileşimi ve yerindeki değişiklikler de sindirim işlevlerini ve besin maddelerinin emilimini etkiler. Bu nedenle, besinlerin bozulmuş emilimi, bulaşıcı bir sürecin doğrudan veya dolaylı olarak değişen gastrointestinal kusurlarından kaynaklanabilir. Akut bulaşıcı hastalıklara ve kısa süreli açlığa eşlik eden vücut depolarının besin tükenmesini düzeltmek için hızlı bir girişim, iyileşen balıkların tedavisi için önemlidir. Tükenen besinlerin hızla geri kazanılması, yetersiz beslenen balıklarda yaygın olan bir kısır döngüye yol açan tekrarlayan veya üst üste binen enfeksiyonları önlemeye yardımcı olacaktır.

11. GASTROİNTESTİNAL SİSTEM BOZUKLUKLARI

Gastrointestinal sistemin birincil işlevi, yiyeceklerden alınan besinleri sindirmek ve özümsemek ve vücudu yutulan zararlı mikroorganizmalardan ve toksik bileşiklerden korumaktır. Genellikle sindirim sistemi otçul balıklarda etçil balıklardan daha uzundur. Çoğu balığın peptik sindirime sahip asidik bir midesi vardır. Gastrointestinal sistemin aktif bir metabolik organdır ve vücudu zararlı maddelere karşı korur. Besin seçimi ve bir dereceye kadar yemin duyuşal ayrımı, bu zararlı maddelerin balık tarafından yutulmasından önce alımını önleyebilir. Tükü-

rüğün kimyasal etkisi ve mukus, mide asidi ve sindirim enzimlerinin üretimi, potansiyel olarak zararlı maddeleri daha da değiştirebilir. Birçok yutulan paraziti, bakteriyi ve virüsü nötralize etmek için lüminal antikorların üretimini içeren karmaşık bir bağışıklık sistemi daha fazla koruma sağlar. Temel besin maddelerinin sağlanması, mukozal kan akışını, oksidatif enerji tedariğini ve balıkları gastrointestinal bariyerlerin işlev bozukluğuna karşı koruyan bağırsak bakteri florasını korumak için önemlidir. Bağırsak epitel hücre yapısının ve bağırsakla ilişkili lenf dokusunun ve belirli lüminal mikrobiyal popülasyonların bakımı, toksinlerin ve zararlı bakterilerin bağırsak lümeninden kan dolaşımına ve diğer organlara taşınmasını önlemek için gerekli kabul edilir. Glutamin, kısa zincirli ve n-3 çoklu doymamış yağ asitleri ve nükleotidler gibi çeşitli besinler ve substratlar, memelilerde bağırsak mukozasının bütünlüğünü korur, ancak balıklardaki rolleri hala bilinmemektedir.

Balıkların gastrointestinal patolojisinde bireysel besin eksiklikleri karakterize edilmemiştir. Deneysel olarak oluşturulan esansiyel yağ asidi eksikliği, enterositler içinde lipid birikimine yol açar ve bu da lipid emilimi ve taşınması mekanizmalarında bir bozulma olduğunu gösterir. Pankreas atrofisi, A vitamini, pantotenik asit ve biyotin eksikliklerine yanıt olarak ortaya çıkar. Beyaz-gri bir bağırsak da inozitol eksikliğine yanıt olarak ortaya çıkar. En yaygın bağırsak bozuklukları ishal, sıvı ve elektrolit bozuklukları ve malabsorpsiyondur. Yiyeceklerden kusma ve tükürme, potansiyel olarak zararlı materyalin ve istenmeyen fiziksel özelliklere sahip yem peletinin sindirimini önleme işlevi gören bir sindirim bozukluğudur. Aşırı miktarda diyet lipidi ve enfeksiyon da belirli balık türlerinde bu duruma neden olabilir. İshal, potansiyel olarak toksik bileşiklerin gastrointestinal sistemde bulunduğu süreyi azaltma işlevi görür, ancak parazitler ve bakteriyel enfeksiyonlar gibi diğer faktörler tarafından da tetiklenebilir. Parazitler gastrointestinal sistemin emici

yüzeyine zarar vererek besin emilimini azaltır. Stres bu durumları daha da yoğunlaştırabilir. Bazı besin olmayan maddeler, besin toksisitesi, ilaçlar ve toksik bileşikler bağırsak yapısında değişikliklere neden olabilir ve karasal hayvanlarda ve balıklarda immünolojik olmayan (tükürük salgıları, intraluminal gastrik pH, proteoliz, bağırsak safra tuzları, peristalsis, mukus tabakası, mikrovillus membranı ve komensal bakteriler) ve immünolojik (salgısal immünoglobulinler ve lenfoid dokular) mukozal bariyerlerin işlev bozukluğuna neden olabilir.

Bitkisel ürünlerde dağıtılan sindirim enzimi inhibitörleri bir veya daha fazla enzimin aktivitesini inhibe edebilir. Bunların en önemlileri, özellikle baklagiller olmak üzere bitki tohumlarında yaygın olan proteaz inhibitörleridir. Sindirim enzimleri, özellikle tripsin ve kemotripsin ile stabil, inaktif kompleksler oluştururlar ve tripsin inhibitörleri olarak adlandırılırlar. Amilaz inhibitörleri baklagillerde de bulunur. Sindirim enzimlerinin bitki proteinleri üzerindeki etkisi, diyetteki nişasta olmayan polisakkaritler ve fenolik bileşikler gibi diğer antinutrisyonel faktörlerin varlığı ve sindirilemeyen bitki hücre duvarlarının ve kabuklu deniz ürünleri kitinin fiziksel bariyeri tarafından da bozulabilir; bu da sindirim enzimlerinin substratlara erişimini engeller. Bu diyet faktörleri karbonhidrat, yağ, protein ve mikro besin emilimini azaltır. Lipid ve protein emilimi genellikle diyet emiliminin genel yeterliliğini araştırmak için kullanılır. Bozulmuş lipid emilimi, yağ hidrolizinin azalması, lipoliz ürününün zayıf çözünmesi, mukozal hastalıklar ve bozulmuş taşıma mekanizmalarından kaynaklanabilir. Pankreas yetersizliği de besin emilimini etkiler ve sindirim enzimlerinin bazıları proteini emilimini hidrolize etmek için tam olarak işlevsel değildir.

Deney hayvanlarında kullanılan çeşitli ilaçlar vitaminlerin malabsorbsiyonuna neden olduğu gibi gastrointestinal mikroflora tarafından sentezlenmesini de etkiler. Antibiyotik takviyeleri çeşitli türlerde enterik bakterilerin popülasyon büyüklü-

ğünü ve yapısını çeşitli şekillerde etkiler (Ringo vd., 1995). Yemdeki krom oksit, mikroorganizma popülasyonlarında değişikliklere neden olur ve arktik alabalığında lipit emilimini azaltır (Ringo, 1993). Mikroorganizmaların yararlı ve olumsuz etkileri, çok çeşitli çevre koşulları altında yetiştirilen ve çeşitli yem bileşenleri ve takviyelerinden formüle edilen diyetlerle beslenen balık türleri arasında değişebilir.

Besin etkileşimleri, bayat yemler, ilaçlar, gıda katkı maddeleri ve toksinler de dahil olmak üzere diğer bazı diyet faktörleri, bağırsak fonksiyonunu ve besinlerin sindirimini ve emilimini etkiler. Oksitlenmiş hayvansal ve balıkçılık yan ürünlerinden (balık, mezbaha sakatatı, tuzlanmış balık) yapılan bayat yemlerle veya uzun süre saklanan yemlerle beslenme nedeniyle mide ve bağırsakta ciddi iltihaplanmalar gelişebilir.

12. KARINDA ŞİŞKİNLİK (GASTRİK DİSTANSİYON)

Deniz suyunda yetiştirilen gökkuşağı alabalığı ve Chinook somonunda etiyolojisi belirsiz bir durum, karın ve mide şişkinliğine (Staurnes vd., 1990; Lumsden vd., 2002) yol açtığı için su göbeği, şişkinlik ve gastrik dilatasyon hava kesesi iltihabı olarak adlandırılmıştır. Etkilenen balıklarda, lipit damlacıkları veya sindirilmemiş yemle karışık büyük miktarda sulu sıvı içeren şişkin bir mide ve serum sodyum ozmolaritesinde önemli bir artış görülür (Staurnes vd., 1990). Hem düşük su sıcaklığı hem de yüksek tuzluluk, ozmoregülatör başarısızlığa neden olarak ozmotik strese yol açabilir ve bu da karın şişkinliğini tetikleyebilir (Rørvik vd., 2000). Bu durum sporadik olarak gözlenir ancak esas olarak balıkların hayatta kalamamasından dolayı önemli kayıplara neden olabilir. Gökkuşağı alabalıkları üzerinde yapılan bir çalışma, midedeki yem peletlerinin düşük su stabilitesinin lipidin ayrılmasına ve birikmesine neden olduğunu göstermektedir. Bu durum, dalgalanan tuzluluk ve su sıcaklığının ne-

den olduğu ozmotik stres ve daha yüksek beslenme oranı ile daha da belirginleşmektedir (Baeverfjord vd., 2006). Bu nedenle diyetin düşük su stabilitesi midede yağ ayrılmasına neden olur ve bu da ozmotik stresten muzdarip alabalıklarda yağ geçirme-sine neden olabilir. Histamin ve diğer biyojenik aminler içeren yemlerle beslenen gökkuşağı alabalıklarında da mide şişkinliği meydana geldiği görülmüştür Fairgrieve vd., 1994).

Antinutrisyonel faktörler ve enterit bitkisel proteinler, lif, karbonhidratlar, proteaz inhibitörleri, guatrojenler, antivitaminler, tanenler, fitik asit, saponinler, lizinoalanin, östrojenler, anti-jenik proteinler vb. içeren antinutrisyonel faktörler içerir. Doğal ve diğer toksik maddelerin biyolojik etkileri, bileşiğin doğasına ve konsantrasyona veya doza bağlıdır. Zararlı bir madde içeren besinlerin geri gelmesi veya diyetlerin zayıf kabul edilebilirliği, bazı doğal toksik bileşenler için ilk tepki olabilir. Bu bileşikler, enzim baskılanması veya mukozal hücre büyümesi, dönüşümü veya villus yapısı için uyarıcı, engelleyici veya toksik olabilecek etkiler yoluyla bağırsağın emilim kapasitesini etkiler. Somon balıklarında yemle ilişkili bağırsak bozukluklarının en iyi karakterize edilmiş nedeni tam yağlı ve ekstrakte edilmiş soya unu ile indüklenir (Rumsey vd., 1994; Beaverfjord ve Krogdahl, 1996; Van den Ingh vd., 1996). Atlantik somonu ve gökkuşağı alabalığının distal bağırsağında subakut bir inflamatuvar yanıtı neden olur ve genellikle doza bağlı bir şekilde azalmış büyüme performansı ve besin kullanımı ile birlikte ishal ile ilişkilidir. İnflamasyon kısa süreli maruziyetten sonra histolojik olarak tespit edilebilir ve soya unu diyetten çıkarıldıktan sonra azalır. Etkilenen distal bağırsakta karışık bir T lenfosit popülasyonunun katılımı ve apoptozis, proliferasyon ve stres tepkileri geçiren epitel hücrelerinin sayısının arttığı da gösterilmiştir (Bakke-McKellep vd., 2007).

Saponinler deterjan özelliklerine sahiptir ve bu bileşenin yüksek konsantrasyonlarını içeren yem bileşenlerinin kullanımı, zar yapısını ve işlevlerini etkileyebilir. Soya fasulyesi lektinleri ayrıca bağırsakta morfolojik değişikliklere neden olur ve öncelikle Atlantik somonunda ince bağırsağa bağlanır (Hendricks vd., 1990), soya fasulyesi unu kaynaklı değişiklikler ise öncelikle distal bağırsaktadır (Van den Ingh vd., 1996). Bağırsak iltihabının şiddeti, somon türleri ve diğer deniz balığı türleri arasında değişebilir. Atlantik somonundaki enterit, insanlardaki çölyak hastalığına benzer ve enteritin soya fasulyesi peptitlerine karşı alerjik bir reaksiyon olabileceği öne sürülmektedir (Beaverfjord ve Kroghdahl, 1996). Soya fasulyesi ürünlerindeki saponinler ayrıca bağırsakta misel oluşumunu engeller ve lipit emilimini etkileyebilir. Proteaz inhibitörleri, örneğin tripsin inhibitörleri, protein sindirimini etkiler. Balıklarda soya küspesindeki antinutrisyonel faktörlerle ilgili önerilen mekanizmalar şunlardır:

1. Bağırsağın fırçamsı kenarında hidrolizlerinin azalmasıyla besin emiliminin azalması;
2. Bağırsak mukozası boyunca taşıma kapasitesinin bozulması;
3. Proteinin yeniden emiliminin azalması nedeniyle dışkıda pankreas enzimlerinin aşırı kaybı.

13. KARACİĞER BOZUKLUKLARI

Karaciğer, kandaki besinleri, toksinleri ve ilaçları metabolize eden ve detoksifiye eden benzersiz bir metabolik organdır. Protein, karbonhidrat, lipit ve mikro besin metabolizmasında hayati bir rol oynar ve substrat bulunabilirliğindeki değişikliklere rağmen besin kan seviyelerini sabit bir seviyede tutar. Karaciğer, plazma proteinlerini, esansiyel olmayan amino asitleri ve diğer azotlu bileşikler, glikojeni ve anabolik hormonlar ve insülin benzeri büyüme faktörleri de dahil olmak üzere hormonları sentezler. Karaciğer ayrıca bağırsak yağ emilimi için gerekli

olan safrayı üreten lipit metabolizması için önemli bir yerdir. Bu hayati organa verilen hasar beslenme durumunu etkiler ve metabolik işlevlerdeki bozukluklar besin eksiklikleri ve toksisiteleri ve yetersiz beslenme nedeniyle gelişir. Karaciğer, bir öğüne yanıt olarak salgılanan kolesterolden safra asitleri sentezler. Safra asitleri yetersiz miktarlarda salındığında, kritik misel konsantrasyonu etkilenir ve bu da doğrudan lipit emilimini etkiler. Karaciğere verilen hasar, karaciğerin glikoz üretiminin ana yeri olması nedeniyle glikojen depolarını olumsuz etkileyebilir. Karaciğer bozuklukları ayrıca plazma aminoasit konsantrasyonunu ve balıkların aminoasitleri yeterince kullanamamasını da etkiler.

Metabolik karaciğer bozuklukları karaciğerin renginin değişmesine ve hepatosomatik indekste (HSI) artış veya azalmaya, yağlı karaciğere veya diğer patolojik belirtilere neden olabilir. Esansiyel yağ asidi eksikliği, çeşitli balık türlerinde HSI artışına, şişmiş soluk karaciğere ve yağlı karaciğere neden olur (Tacon, 1992). Tüm somon balıkları ve bazı deniz balıkları, oksitlenmiş lipit içeren bayat yemlerle beslendiklerinde lipoid karaciğer dejenerasyonuna duyarlıdır. Genel olarak, oksitlenmiş lipit karaciğer lipit metabolizmasını ve lipoid dejenerasyonu (seroit birikimi), depigmentasyon, safra kanalının gerilmesi ve anemik, soluk ve şişmiş karaciğer dahil olmak üzere karaciğerin çeşitli metabolik bozukluklarını etkiler. Karaciğer hücreleri genellikle yağ vakuolleri tarafından gerilir. Karaciğerde ağır yağ infiltrasyonu varsa, hepatik fonksiyon bozulur ve dolaşımdaki proteinde azalma meydana gelir. Pamuk tohumu ürünlerindeki siklopropenoik asitler balıklar için toksiktir ve kapsamlı karaciğer hasarına neden olur. Yağlı karaciğerin karaciğer hücrelerine infiltrasyonu çiftlik balıklarında yaygın olarak görülse de, özellikle gadoidler olmak üzere bazı doğal balıklar, doğal besin organizmalarının deniz verimliliğinin bol olduğu yaz aylarında karaciğerlerinde büyük miktarda lipit biriktirir. Büyümüş karaciğer ve soluk beyaz veya sarı renk gibi benzer yağlı karaciğer

durumları, diyetlerine daha yüksek seviyelerde lipit eklendiğinde çiftlik balıklarında gelişir. Mezgit, morina ve diğer gadoidlerde, lipit depolanmasının birincil yeri karaciğerdir ve karaciğerde %60'tan fazla lipit depolanır.. Kültür gadoidlerindeki HSI genellikle %12'yi aşar, oysa yabani morina balığında %2-6'lık bir hepatosomatik indeks normal kabul edilir. Bu balıklardaki karaciğer lipidi esas olarak triasilgliserollerden (>%90) oluşur. Haddock'un karaciğer fonksiyonu, karaciğerde bulunan aşırı miktardaki lipitten (>%65) veya yüksek HSI'den (%11-17) etkilenmez, ancak karaciğer lipit peroksidasyonuna daha duyarlıdır (Nanton vd., 2001). Bu gadoid balıkları, somon balıklarının aksine, depolanan büyük miktardaki lipidi karaciğerden kaslara depolama için taşıma yetenekleri düşüktür. Doğal balıkların aksine, düşük lipitli yemlerle beslendiğinde karaciğerdeki lipidin tüketimi yavaştır.

14. KATARAKT VE GÖZ HASTALIKLARI

Katarakt, merceğin opaklaşmasıdır ve görme fonksiyonunda azalmaya neden olur. Kataraktın yaygınlığı çiftlik balıklarında ve doğal balıklarda iyi araştırılmıştır (Bjerkås vd., 2006). Mercekten anormal ışık dağılımına aracılık eden ve görme yeteneğinin azalmasına ve nihayetinde körlüğe neden olan göz merceğinde veya mercek kapsülünde opaklaşmaları içerir. Kataraktlar, mercek liflerinin normal düzeninin bozulmasından veya merceğin proteinlerinin konformasyonunda veya su bağlama kapasitesinde meydana gelen değişikliklerden gelişir (Benedek, 1997). Atlantik somonunda kataraktlar genellikle kortekste lokalize olur, ancak yaygın kataraktlar çekirdeği de etkileyebilir (Bjerkås vd., 1996; Wall 1998). Çiftlik balıklarında katarakt, beslenme eksiklikleri (veya gıda yoksunluğu ve hızlı büyüme), kötü su kalitesi, toksik maddeler, düşük su sıcaklığı, ozmotik dengesizlik, parazitemi, radyasyon hasarı, fizyolojik stres, kim-

yasallar (ilaçlar ve kirleticiler), stres travması ve güvenli olmayan kültür sistemlerinden kaynaklanan yaralanmalar gibi çevresel faktörler ve kalıtsal yatkınlık ve triploid yapı gibi genetik faktörler nedeniyle oluşabilir (Bjerkås vd., 2006). Katarakt patogenezi birden fazla veya tek besin maddesi rol oynayabilir. Sekiz besin maddesinin eksikliği göz bozukluklarının patogeneziyle ilişkilendirilmiştir: A vitamini nedeniyle ekzoftalmi, bulanıklaşma ve lensin ciddi dejenerasyonu; tamin nedeniyle korneanın bulanıklaşması; riboflavin nedeniyle kornea ve retinanın dejenerasyonu; ve kükürt amino asitleri (metionin ve sistin), triptofan, histidin ve çinko (Tacon, 1992; Bjerkås vd., 2006) tarafından diğer göz dokularının katılımı olmaksızın mercek opaklık. A vitamini eksikliğinin neden olduğu benzersiz bir göz patolojisi, gökkuşağı alabalığının eksoftalmus ve retinasını ve korneasını içerir. Balıkların besin gereksinimleri yaşam döngüsü boyunca değişebilir. Atlantik somonunda, katarakt belirli genetik suşlarda smoltifikasyon ve smoltifikasyon sonrası dönemde gelişir (Bjerkås vd., 1996). Patogenezi histidin eksikliği ve yüksek lipid seviyeleri ve düşük protein içeren yüksek enerjili bir yemle beslenen smoltların daha yüksek büyümesi (Waagbø vd., 2003; Breck vd., 2005) dahil olmak üzere birkaç diyet faktörü rol oynar. Atlantik somonu, deniz suyuna transfer edilmeden önce smoltifikasyon sırasında karakteristik fizyolojik değişiklikler geçirir. Smoltifikasyon dönemindeki fizyolojik ve çevresel strese ek olarak, besin eksiklikleri katarakt sorunlarını daha da artırabilir.

Katarakt oluşumunda rol oynayan biyokimyasal mekanizmalar iyi anlaşılmamıştır çünkü birden fazla besin, genetik ve çevresel faktör rol oynayabilir. Aşırı miktarda mineral (yüksek kül), özellikle yüksek kalsiyum ve fosfor seviyeleri, çinko biyoyararlanımını azaltır ve somon balığı türlerinde katarakt oluşumuna ve diğer balık türlerinde çinko eksikliğine neden olur. Çinkonun temel işlevi, bir dizi metaloenzimin ayrılmaz bir bile-

şeni olarak ve alkalın fosfataz ve sitolik süperoksit dismutaz gibi belirli çinko bağımlı enzimlerin aktivitesini düzenlemek için bir katalizör olma rolüne dayanır. Atlantik somon yavrularında, diyet histidininin kataraktı önlemede önemli bir faktör olduğu görülmektedir ve faydalı etkiler, yüksek histidin seviyeleri ve lenste tamponlama ve antioksidan özelliklere sahip N-asetil histidin (NAH) birikimi ile ilişkilidir (Bjerkås vd., 2006). Ayrıca, NAH muhtemelen lens suyu homeostazında önemlidir. Lipid ve proteinin oksidasyonu deney hayvanlarında katarogenezin önemli bir mekanizması olarak kabul edilir (Varma vd., 1995). Bazı oksidanlar antioksidan sisteminin savunma bariyerlerini aşabilir ve epitel ve lens lif hücre zarlarının bileşenlerine ve elektrolit dengesinin korunmasında yer alan enzimlere saldırabilir ve sonunda bu hücrelerin homeostazı sürdürme yeteneğinin kaybolmasına neden olabilir. Katalaz ve süperoksit dismutaz gibi antioksidan enzimler lens hücre zarını oksidatif strese korur. Ultraviyole radyasyon ve diğer biyokimyasal mekanizmalar tarafından aktive edilen oksijen lens kristalinlerini oksitleyebilir ve böylece protein agregasyonu üretebilir. Vitaminler (tiyamin, riboflavin, A vitamini) ve bazı amino asitler (metionin, sistin, triptofan) katarakt etiyolojisindeki önemlerini belirlemek için daha fazla araştırma gerektirmektedir. Besin eksiklikleri katarakt oluşumunda önemli bir faktör olmaya devam etmektedir; ancak çeşitli fizyolojik ve genetik faktörlerin göz önünde bulundurulduğu multidisipliner bir yaklaşım, bu kritik hastalığa yol açan olaylar dizisini açıklayabilir.

15.NEFROKALSİNOZİS

Nefrokalsinozis, böbrek tübüllerinde ve kanallarında granüler kalsiyum fosfat birikimini içeren bir böbrek rahatsızlığıdır. Bu birikimler, büyümede, besin dönüşümünde ve böbrek fonksiyonlarında azalmaya neden olabilir. Kötü su kalitesi, özel-

likle düşük oksijen ve yüksek karbondioksit seviyeleri, magnezyum eksikliği (Cowey vd., 1977) ve selenyum (Hilton vd., 1980) ve arsenik (Cockell, 1991) toksisitesi gibi çeşitli diyet ve çevresel faktörler nefrokalsinoza neden olur. Kalsiyum, magnezyum, bikarbonat ve fosfat, osmoregülatör süreçlerde doğrudan yer almaz; ancak önemli bir osmoregülatör organ olan böbreğin işleyişini etkiler. Çeşitli düzenleyici süreçlerde solunum oksijen sağlar ve karbondioksiti uzaklaştırır, sindirim besin seviyelerini korur ve osmoregülasyon sıvılarının hacmini ve bileşimini kontrol eder. Yüksek karbondioksit seviyeleri normal böbrek fonksiyonunu etkileyerek kalsiyum birikimine neden olabilir. Kalsifikasyona ek olarak, magnezyum eksikliği vertebra deformitesi, pilor körbağırsak ve solungaç liflerinin kas lifleri ve epitel hücrelerinin dejenerasyonu, konvülsiyonlar ve katarakt gibi diğer patolojik belirtilere neden olur (Lall, 2002). Atlantik somonu ve çipura deniz suyu ortamında magnezyum eksikliği belirtileri göstermez, çünkü Mg konsantrasyonu tatlı sudakinden çok daha yüksektir ve magnezyumu deniz suyunu içerek alırlar. Bununla birlikte, deniz suyunda yetiştirilen gökkuşağı alabalığında nefrokalsifikasyon sıklıkla görülür. Somon balıklarının tatlı suda yetiştirme dönemindeki düşük su kalitesi (düşük oksijen ve yüksek karbondioksit) ve diğer faktörler erken nefrokalsifikasyon belirtilerine neden olabilir, ancak klinik belirtiler deniz suyu transferinden sonra gelişir.

16.İSKELET BOZUKLUKLARI

Çiftlik balıklarındaki iskelet bozuklukları beslenme, çevre ve genetik faktörler arasındaki karmaşık ve yeterince anlaşılmamış bir ilişkiyle bağlantılıdır. Birkaç makro ve mikro besinin beslenme durumu iskelet dokularının normal gelişimi için önemli kabul edilir (Lall ve Lewis-McCrea, 2007); ancak balıklarda belirli besin eksiklikleriyle bağlantılı kemik bozukluklarının

patogenezi hakkında sınırlı bilgi mevcuttur. Morfolojik olarak balık kemikleri dermal baş kemikleri, iç iskelet ve pullardan oluşur. İskelet, gelişimin ve büyümenin çeşitli aşamalarında sürekli yeniden şekillenmeye uğrayan metabolik olarak aktif bir dokudur. Balık kemikleri ve pulları, tip I kollajen liflerinden oluşan bir matrise gömülü kalsiyum hidroksiapatit tuzlarından oluşur. Organik kemik matrisi çoğunlukla kollajen ve kalsiyum fosfatın ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) hidroksile edilmiş bir polimeri olan hidroksiapatitten oluşur; Ancak kıkırdak, kıkırdak tipine bağlı olarak mineralize olabilen veya olmayabilen ekstraselüler bir matristeki hücrelerden oluşur (Hall, 2005). Kıkırdak öncelikle glikozaminoglikanlardan, özellikle kondriotin sülfatlar ve proteoglikanlardan oluşur. Kemik ve kıkırdaklar, normal ontojeni altında embriyonik, larval, juvenil veya yetişkin aşamalarda ve ayrıca patolojik durumlarda, yara onarımında ve kemik rejenerasyonunda gelişir. Üç tip hücre, kemik yeniden şekillendirme sürecinde ve kemik oluşumunda, rezorpsiyonunda ve mineralizasyonunda önemli bir rol oynar: osteoblastlar (kemik oluşturan hücreler), osteositler (kemik matrisinin içinde hapsolmuş) ve osteoklastlar (çok çekirdekli kemik rezorbe eden hücreler). İskelet büyümesi, osteoklastik hücre aktivitesi yoluyla tekrar tekrar yeniden emildiği ve daha sonra osteoklastik etki ile daha büyük bir şablon üzerinde yeniden oluşturulduğu kemik yeniden şekillendirme sürecinde elde edilir. Kemik modellemesi ve yeniden şekillendirme etkilendiğinde deformiteler gelişir. Çoğu iskelet metabolik hastalığında kemik mineralizasyonu, bu süreçte osteoblastik kontrollü bir işlevi de içeren matrisin yeniden oluşumunu içerir. Kemik rezorpsiyonu, oluşumu ve mineralizasyonu çeşitli hormonlar, büyüme faktörleri, sitokinler, besinler ve diğer faktörler gerektirir. Deformiteler, çiftlik balık ürünlerinin büyümesini, gelişimini, hayatta kalmasını ve piyasa değerini etkiler. Kifoza (kambur), lordoz (eyer sırtı, kambur), skolyoz (omurların dönmesiyle lateral eğrilik) ve platispondili (kısa kuyruklu, sıkıştırılmış omurlar) gibi çeşitli tipte vertebral ve spinal malformas-

yonlar balıklarda bildirilmiştir. Bu bozukluklar omurların kaynaşması, boyun eğikliği, basık burun, eğik çene, çenenin öne ve aşağıya doğru çıkıntısı, kısa operkulum ve diğer kusurları (küçültülmüş veya asimetrik yüzgeçler, vb.) gösterebilir. Genellikle bu deformiteler birkaç deformitenin birleşimi olabilir; ancak boyun, vertebral ve spinal bozukluklar en yaygın olanlardır ve genellikle diyet faktörleriyle bağlantılıdır.

Besin eksiklikleri veya minerallerin (kalsiyum, fosfor, çinko, selenyum ve manganez) ve vitaminlerin (A, D, C, E ve K) toksisiteleri ve bunların etkileşimleri ve lipid peroksidasyonu, balıklarda iskelet deformitelerinin patogenezinin neden olabilir (Lall ve Lewis-McCrea, 2007). Bu besinlerin kemik bozuklukları üzerindeki etkileri deneysel olarak üretilmiştir, ancak patogeneizde yer alan biyokimyasal mekanizmalar yeterince anlaşılmamıştır. Yukarıda belirtilen besinlere ek olarak, protein, magnezyum, potasyum, bor, bakır, silikon, vanadyum, stronsiyum ve florürün de karasal hayvanlarda ve insanlarda kemik oluşumunu veya mineralizasyonunu desteklediği bilinmektedir, ancak balıklarda incelenmemiştir. Kemikle ilgili metabolik süreçler için doğrudan veya dolaylı olarak başka B vitaminleri ve minerallere de ihtiyaç duyulabilir. Balıkların iskelet dokusu metabolizmasında yer alan biyokimyasal mekanizmalar diğer omurgalılarından farklıdır. Karasal omurgalıların aksine, balıklarda kemik kalsiyum düzenlemesinin ana bölgesi değildir (Lall, 2002). Kalsiyum emiliminin düzenlenmesi solungaçlarda, yüzgeçlerde ve ağız epitellerinde gerçekleşir ve D vitamini ve metabolitlerinin kalsiyum ve fosfor homeostazında sınırlı bir rolü vardır (Vielma ve Lall, 1998). Omurgalıların kemik metabolizmasında önemli bir D vitamini metaboliti olan 1,25-(OH)₂D₃, Atlantik somonunun kemik oluşumu üzerinde hiçbir etkiye sahip değildi (Graff vd., 1999). Karasal hayvanlarda iskelet oluşumu diyetle alınan kalsiyum temini ve metabolizmasıyla yakından bağlantılı olmasına rağmen, balıklar sudan Ca emer ve kemik

mineralizasyonu için diyetle alınan fosfor teminine bağımlıdır. Kemik gelişimi ve büyümesi, konsantrasyona ve diyetle alınan fosforun mevcudiyetine büyük ölçüde bağlıdır.

Fosfor eksikliği veya aşırı alımı iskelet boyunca iskelet anormalliklerinin oluşumuna neden olabilir. Fosfor eksikliğinden kaynaklanan yaygın iskelet deformiteleri arasında Atlantik somonunda kavisli dikenler ve yumuşak kemikler (Baeverfjord vd., 1998), sazan balığının frontal kemiklerinde sefalik deformiteler ve mezigit balığında (ve pisi balığında skolyoza neden olan sıkıştırılmış vertebral gövdeler bulunur (Roy ve Lall, 2003). Fosfor eksikliğinden etkilenen kemikler, mineral içeriğinin azalması nedeniyle yumuşak ve kırılmandır ve kas hareketiyle kemikler bükülür. Fosfor eksikliği olan mezigit balığının histolojik ve histokimyasal incelemesi, başlangıçta kemik rezorpsiyonunda bir artış olduğunu, bunun daha sonra kemik mineralizasyonunda bir azalma ve kemik oluşumunun azaldığını gösterir (Roy ve Lall, 2003). Balıklarda diğer minerallerle ilgili iskelet bozuklukları araştırılmamıştır. Magnezyum, ATP metabolizmasındaki rolü ve çeşitli enzimlerin bir kofaktörü dolaylı olarak kemik mineral metabolizmasını etkiler. Florür, hidroksiapatit kristalindeki hidroksil gruplarının yerini alarak kemikte daha az çözünür floroapatit oluşturabilir ve bu da kristalizasyonu ve kemik kırılmasını etkiler. Çinko, osteoblastik aktivite, kolajen sentezi ve alkali fosfat aktivitesi için gereklidir. Bakır, kemik oluşumunu, iskelet mineralizasyonunu ve bağ dokularının bütünlüğünü etkiler. Bakır içeren bir enzim olan lizil oksidaz, kolajen liflerinin çapraz bağlanması için gereklidir ve böylece bağ dokularını oluşturan proteinin gücünü artırır. Demir, kollajen kemik matrisi sentezinde yer alan enzimlerde bir kofaktör olarak görev yapar. İki demir bağımlı enzim, prolil ve lizil hidroksilazlar, matrisin lizil oksidaz tarafından çapraz bağlanmasından önceki biyokimyasal adımlarda esastır. Manganez, kemik matrisi oluşumunda mukopolisakkaritlerin biyosentezi için gereklidir ve

kemik dokularındaki çeşitli enzimler için bir kofaktördür. Genellikle, çinko, manganez, bakır ve demir eksiklikleri düşük vertebra minerali (toplam kül) içeriğine ve bu minerallerin kemikteki daha düşük konsantrasyonuna yansır (Lall, 2002). Çinko ve manganez eksiklikleri kısa vücut cüceliğine ve kafatası deformitelerine neden olur; ancak, bu eser elementlerle ilişkili kemikteki histomorfik değişiklikler karakterize edilmemiştir.

İskeletin gelişimi için gerekli vitaminler arasında, balıkların iskelet dokusu metabolizmasında dört vitaminin (A, C, E ve K) rolü gösterilmiştir. A vitamininin önemli bir işlevi, hücrel farklılaşma ve çoğalmanın ve suda yaşayan organizmaların embriyonik gelişimi ve büyümesinin düzenlenmesidir (Haga vd., 2002). A vitamini, kondrosit fonksiyonunu, hücrelerin olgunlaşmasını ve çoğalmasını kontrol ederek iskelet oluşumunu ve kıkırdak gelişimini düzenler (Koyama vd., 1999). Retinoid toksisitesi, kolajen sentezini ve kemik oluşumunu azaltmanın yanı sıra osteoklast sayısını artırarak net kemik kaybına neden olur (Frankel vd., 1986) ve iskelet döngüsünü artırır (Hough vd., 1988). A vitamini toksisitesi kondrosit olgunlaşmasını iletir ve osteoklastları uyarır, bu da kemik matrisinin üretimini geciktirir ve erken mineralizasyon yoluyla vertebral kolonun gelişimini hızlandırır ve vertebral anormalliklere neden olur (Iwamoto vd., 1994). Erken mineralizasyon, vertebral eğrilikler (Dedi vd., 1997), vertebral kompresyon (Takeuchi vd., 1998), vertebral füzyon (Dedi vd., 1997) ve çene deformiteleri (Haga vd., 2003) dahil olmak üzere iskelet deformitelerine neden olabilir. İskelet anormalliklerinin embriyonik ve ilk beslenme aşamalarında başlaması, Japon pisi balığında (*Paralichthys olivaceus*) kapsamlı bir şekilde incelenmiştir (Takeuchi vd., 1995). Japon pisi balığında, retinoik asit anormal faringeal kıkırdak gelişimini uyarır, çünkü retinoik asit proteoglikan sentezinin düzenlenmesi yoluyla kıkırdak rezorpsiyonunu ve büyümesini kontrol eder (Suzuki vd., 1999; Haga vd., 2002). Levrek larvalarında, daha yüksek A

vitamini seviyeleri gecikmiş bir vertebral gelişime neden olmuş ve sefalik bölgedeki kemik oluşumunu etkilemiştir (Villeneuve vd., 2006). Genç Atlantik pisi balığında daha sonraki gelişim aşamalarında A vitamini toksisitesi oluşturulduğunda, faringeal iskelette anormallikler gözlemlenmiştir (Lall, 2010).

Askorbik asit (C vitamini) balıkların kemik oluşumu, kollajen sentezi ve bağ dokusu metabolizması için gereklidir (Halver, 2002). Bu suda çözünen vitamin, prolin ve lizinin hidroksilasyonunda bir yardımcı faktördür. Bu amino asitlerin hidroksilasyonu, prokollajenin olgun kollajene dönüşümü için gereklidir. İskelet malformasyonları gösteren askorbik asit eksikliği olan balıklarda hidroksilasyonu düşük kollajen ve hidroksilizin ve hidroksiprolin oranlarında azalma vardır. Eksiklik, alkali fosfataz aktivitesini ve osteoblastik aktiviteyi azaltır, bu da zayıf kemik kalsifikasyonu ve metabolizmasıyla sonuçlanır (Johnston vd., 1994). Lordoz ve skolyoz gibi iskelet anormallikleri birkaç balık türünde gözlemlenmiştir ve etkilenen omurga bölgeleri türe bağlıdır. Lordozis, gökkuşağı alabalığı ve Japon pisi balığında omurganın orta hemal bölgesinde ve inci çikliti (*Geophagus brasiliensis*) kuyruk bölgesinde yaygın olarak bulunurken, Atlantik pisi balığında omurga boyunca kolyozis yaygındır (Lall ve Lewis-McCrea, 2007). Anormallikler, daha genç balıklarda artmış kemik büyümesi ve dönüşüm oranları sergilediği için, larval ve genç balıklarda yaşlı balıklara göre daha sık görülür (Sato vd., 1982). E vitamini, özellikle osteoblastlar tarafından üretilen kemik matrisinde olmak üzere protein sentezini uyarır. İnsanlarda yağ asidi peroksidasyonu kemik hücresi hücre zarı bileşenlerini değiştirir, bu da hücrelerin işlevini ve bütünlüğünü etkiler ve kemik yeniden şekillenmesinin veya şekillenmesinin bozulmasına neden olur (Raisz, 1993; Xu vd., 1994; Watkins vd., 1997). Bu, osteoblastların inhibisyonu ve osteoklastların uyarılmasıyla sonuçlanabilir ve sonuçta net kemik kaybına neden olur (Parhami vd., 1997; Tintut vd., 2002; Parhami, 2003).

Kemik oluşumunda azalma ve kemik rezorpsiyonunun uyarılması, pisi balığında gözlemlendiği gibi iskelet anormalliklerinin gelişmesine neden olabilir (Lewis-McCrea ve Lall, 2007).

K vitamini eksikliği karasal hayvanlarda kemik proteinlerinin sentezini etkiler. Bu vitamin, glutamlin γ -karboksiglutamil kalıntılarına dönüşümünü kolaylaştıran K vitaminine bağlı karboksilaz için bir yardımcı faktör olarak işlev görür. Kemikte, özellikle osteokalsin ve matris γ -karboksiglutamil proteini olmak üzere belirli γ -karboksiglutamil içeren proteinler kemik metabolizmasında rol oynar (Vermeer vd., 1995). K vitamini eksikliği, mezgıt kemik anormalliklerine ve zayıf kemiklere neden olmuş ve kemik gelişimini etkilemiştir (Udagawa, 2004; Roy ve Lall, 2007). Düşük fosfolipid alımı ve aşırı miktarda PUFA, deniz balığı larvalarında da vertebral malformasyonlara neden olabilir (Kanazawa, 1993; Villeneuve vd., 2006). Balık iskelet dokuları, lipid peroksidasyonuna karşı özellikle hassas olan önemli miktarda lipid, PUFA ve mikronutrient içerir. Balık kemikleri %24-90 kadar yüksek oranda lipid içerebilir (Phleger, 1991). Antioksidanlar (örn. E vitamini, C vitamini, selenyum ve glutatyon) ve antioksidatif enzimler (örn. glutatyon peroksidaz, katalaz ve süperoksit dismutaz) serbest radikalleri temizler ve böylece dokuyu lipid peroksidasyonuna karşı korur.

17.SOLUNGAÇ HİPERPLAZİSİ

Solungaç lezyonlarına neden olabilen çok sayıda faktör arasında, pantotenik asit ve diğer mikro besinlerin eksikliği, gökkuşağı alabalığı ve kanal yayın balığında beslenme solungaç hastalığının nedeni olarak tanımlanmıştır. Klinik olarak eksik balıklar solungaç hiperplazisi sergiler ve gökkuşağı alabalığında sekonder lamellerin füzyonu nedeniyle topuzlu solungaçlar gelişir (Wood ve Yasutake, 1957; Masumoto vd., 1994). Füzyon, pantotenik asit eksikliği olan balıklarda, düşük su kalitesiyle ilişkili solungaç hastalıklarında olduğu gibi, lamellerin uçlarından ziyade solungaç lamellerinin tabanında başlar. Kalkan balı-

ğında, esansiyel yağ asidi eksikliği solungaç hiperplazisine ve solungaç zarı lipit bileşiminde değişikliklere neden olur (Bell vd, 1985). Pantotenik asit eksikliği olan bir diyetle beslenen gökkuşağı alabalığı yavrularında, anoreksiyanın başlangıcı solungaç lamel hiperplazisinden önce gelir (Karges ve Woodward, 1984). Lamellerin kaynaşması solungaçların solunum kapasitesi üzerinde işlevsel sonuçlara sahiptir.

18.YÜZGEÇ VE DERİ LEZYONLARI

Yüzgeç ve deri lezyonları sıklıkla gözlenir, çevresel ve mekanik stres faktörlerine karşı belirsiz reaksiyonlar olarak yorumlanır. Lizin, triptofan, esansiyel yağ asitleri, çinko, bakır, riboflavin, inositol, niasin ve C vitamini eksiklikleri; A vitamini ve kurşun toksisiteleri; lipid peroksidasyonu; ve yem bayatlaması gibi bir dizi diyet faktörü bu lezyonlara neden olabilir (Tacon, 1992; Lall, 2002; Roberts, 2002). Tipik olarak, deri ve yüzgeçlerde erozyon ve kanamalar görülür ve sıklıkla birden fazla besin ve çevresel faktör söz konusudur. Aşırı kalabalık ve aşırı besleme de yüzgeç ve deri lezyonlarına yol açabilir. Genellikle zayıf kültür koşulları ve marjinal mikro besin eksiklikleri olumsuz bir mikrobiyolojik ortamla sonuçlanır ve bu da onları ikincil enfeksiyonlara yatkın hale getirir ve böylece deri lezyonlarına yol açar. Düşük su sıcaklıklarında deniz kafeslerinde yetiştirilen somonlarda, genellikle vücudun yan taraflarında bulunan yuvarlak, derin deri ülserleriyle karakterize kış ülserleri gelişir. *Vibrio* türleri sıklıkla bu lezyonlardan izole edilir; ancak uzun kış dönemlerinde sınırlı gıda alımı ve mikro besin eksikliği somonu bu patolojik duruma yatkın hale getirebilir (Salte vd, 1994).

19. SONUÇ

Balıkların beslenmesi, fizyoloji, biyokimya, patoloji, balık yetiştiriciliği, veterinerlik, genetik, çevre bilimi ve gıda kimyası alanlarına ve genellikle bu disiplinlerin ötesine uzanan karmaşık bir konudur. Beslenme bilimi son yirmi yılda hızla gelişmesine rağmen, çoğu balık türünün besin gereksinimlerine ilişkin bilgide büyük eksiklikler vardır. Besin gereksinimleri karasal hayvanlar için balıklardan daha iyi tanımlanmıştır. Beslenme bozuklukları genellikle çoklu besin eksiklikleri ve belirli vitaminler, eser elementler ve doğal toksinlerle ilgili toksisitelerle ilişkilidir. Çiftlik balıklarında iskelet deformiteleri ve nefrokalsinozis gibi belirli bozukluklar uzun bir süre boyunca gelişir ve erken teşhis teknikleri eksiktir. Çoğu mikro besin eksikliği genç balıklarda bildirilmiş olsa da, belirli bozuklukların yaşam döngüsünün sonraki aşamalarında ortaya çıkabileceği bilinmektedir.

Sorunu çözmek için genellikle genetik faktörler, stres, çevresel faktörler, hastalıklar ve hastalığa yatkınlığı etkileyen diğer faktörler ile gelişimin çeşitli aşamalarındaki besin gereksinimleri hakkında bilgi gereklidir. Belirli beslenme bozukluklarını karakterize ederken, diyet bileşimi de dikkate alınmalı ve öncelik verilmelidir, çünkü genetik ve çevresel faktörleri içeren diğer tüm etkileşimler düzeltilmemiş besin eksikliklerinden olumsuz etkilenecektir. Bu çalışmada besin ve yem bileşenlerinin eksikliğinin çeşitli hastalıkları neden olduğu ortaya konulmuş ve bu bulgular balık yetiştiriciliğinin çeşitli çevre koşullarında beslenme bozukluklarını kontrol eden diyetlerin geliştirilmesi için pratik uygulamalarla desteklenmelidir. Su hayvanlarının beslenmesi, hastalık önleme, daha iyi büyüme ve insanlar için yüksek kaliteli balık üretimine yönelik araştırmaların anlaşılmasını desteklemeye devam edecek olan balık fizyolojisi ve biyokimyası için disiplinler arası bir katalizör olarak düşünülmelidir. Besinlerin ve besin işlevlerinin altında yatan mekanizmalar-

rın oynadığı rolün daha fazla araştırılması, şu anda kullanılan geleneksel metodolojilere ek olarak gelişmiş genomik, proteomik ve metabolomik teknolojiler kullanılarak daha da netleşecektir. Besin alımındaki ve besin dengesindeki bir değişikliğin fizyolojik ve patolojik süreçler üzerindeki sonuçlarını tahmin etmek için kullanılan yaklaşımlardaki son gelişmeler, balıklar-daki karmaşık beslenme bozukluklarının bazılarını çözme potansiyeline sahip, umut verici bir alandır.

KAYNAKLAR

- Baeverfjord, G., Åsgård, T. and Shearer, K.D. (1998) Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. *Aquaculture Nutrition* 4, 1–11.
- Baeverfjord, G., Refstie, S., Krogedal, P. and Asgard, T. (2006) Low feed pellet water stability and fluctuating water salinity cause separation and accumulation of dietary oil in the stomach of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 261, 1335–1345.
- Bakke-McKellep, A.M., Frøystad, M.K., Lilleeng, E., Dapra, F., Refstie, S., Krogdahl, Å. and Landsverk, T. (2007) Response to soy: T-cell-like reactivity in the intestine of Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* 30, 13–25.
- Barnett, B.J., Cho, C.Y. and Slinger, S.J. (1982) Relative biopotency of ergocalciferol and cholecalciferol and the role of and requirement for vitamin D in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Nutrition* 112, 2011–2019.
- Bell, J.G., Ashton, I., Secombes, C.J., Weitzel, B.R., Dick, J.R. and Sargent, J.R. (1996) Dietary lipid affects phospholipid fatty acid compositions, eicosanoid production and immune function in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Prostaglandins, Leukotrienes and Eicosanoid Fatty Acids* 54, 173–182.
- Bell, J.G., Dick, J.R., McVicar, A.H., Sargent, J.R. and Thompson, K.D. (1993) Dietary sunflower, linseed and fish oils affect phospholipid fatty acid composition, development of cardiac lesions, phospholipase activity and eicosanoid production in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Prostaglandins, Leukotrienes and Eicosanoid Fatty Acids* 49, 665–673.

- Bell, M.V., Henderson, R.J. and Sargent, J.R. (1985) Effects of dietary polyunsaturated fatty acid deficiencies on mortality, growth and gill structure in the turbot, *Scophthalmus maximus*. *Journal of Fish Biology* 26, 181–191.
- Benedek, G.B. (1997) Cataract as a protein condensation disease. *Investigative Ophthalmology Visual Science* 38, 1911–1921.
- Bjerkås, E., Breck, O. and Waagbø, R. (2006) The role of nutrition in cataract formation in farmed fish. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources* 1, 1–16.
- Bjerkås, E., Waagbø, R., Sveier, H., Breck, O., Bjerkås, E., Waagbø, R., Bjørnstad, E. and Maage, A. (1996) Cataract development in Atlantic salmon (*Salmo salar* L) in fresh water. *Acta Veterinaria Scandinavica* 37, 351–360.
- Breck, O., Bjerkås, E., Campbell, P., Rhodes, J.D., Sanderson, J. and Waagbø, R. (2005) Histidine nutrition and genotype affect cataract development in Atlantic salmon *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases* 28, 357–371.
- Brown, P.B. (1988) Vitamin D requirement of juvenile channel catfish reared in calcium-free water. PhD thesis, Texas A&M University, College Station, USA.
- Burtle, G.J. and Lovell, R.T. (1989) Lack of response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) to dietary myoinositol. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 46, 218–222.
- Bury, N.R., Walker, P.A. and Glover, C.N. (2003) Nutritive metal uptake in teleost fish. *Journal of Experimental Biology* 206, 11–23.
- Choo, P.-S., Smith, T.K., Cho, C.Y. and Ferguson, H.W. (1991) Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. *Journal of Nutrition* 121, 1932–1939.

- Clearwater, S.J., Baskin, S.J., Wood, C.M. and McDonald, D.G. (2000) Gastrointestinal uptake and distribution of copper in rainbow trout. *Journal of Experimental Biology* 203, 2455–2466.
- Cockell, K.A. (1991) Chronic toxicity of dietary arsenic to rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. PhD thesis, University of Guelph, Canada.
- Cowey, C.B., Adron, J.W. and Knox, D. (1975) Studies on the nutrition of marine fl atfi sh. The thamine requirement of turbot, *Scophthalmus maximus*. *British Journal of Nutrition* 34, 383–390.
- Cowey, C.B., Knox, D., Adron, J.W., George, S. and Pirie, B. (1977) The production of renal calcinosis by magnesium defi ciency in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *British Journal of Nutrition* 38, 127–135.
- Dedi, J., Takeuchi, T., Seikai, T., Watanabe, T. and Hosoya, K. (1997) Hypervitaminosis A during vertebral morphogenesis in larval Japanese fl ounder. *Fisheries Science* 63, 466–473.
- Desjardins, L.M., Hicks, B.D. and Hilton, J.W. (1987) Iron catalyzed oxidation of trout diets and its effect on the growth and physiological response of rainbow trout. *Fish Physiology and Biochemistry* 3, 173–182.
- Eckhert, C.D. (1998) Boron stimulates embryonic trout growth. *Journal of Nutrition* 128, 2488–2493.
- Erdal, J.I., Evensen, O., Kaurstad, O.K., Lillehaug, A., Solbakken, R. and Thorud, K. (1991) Relationship between diet and immune response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) feeding various levels of ascorbic acid and omega-3 fatty acids. *Aquaculture* 98, 363–379.
- Fairgrieve, W., Myers, M., Hardy, R. and Faye, M. (1994) Gastric abnormalities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed amine-supplemented diets or chicken gizzard-erosion-positive fi sh meal. *Aquaculture* 127, 219–232.

- Ferguson, H.W. (2006) *Systemic Pathology of Fish: a Text and Atlas of Normal Tissues in Teleosts and their Responses in Disease*, 2nd edn. Scotian Press, London.
- Frankel, T.L., Seshadri, M.S., McDowall, D.B. and Cornish, C.J. (1986) Hypervitaminosis A and calcium- regulation hormones in the rat. *Journal of Nutrition* 116, 578–587.
- Gatlin, D.M. III (2002) Nutrition and fi sh health. In: Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds) *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, San Diego, California, pp. 672–702.
- Gatlin, D.M. III and Wilson, R.P. (1986) Characterization of iron defi ciency and the dietary iron requirement of fi ngerling channel catfi sh. *Aquaculture* 52, 191–198.
- Goswami, U.C. (1984) Metabolism of cryptoxanthin in freshwater fi sh. *British Journal of Nutrition* 25, 575–581.
- Graff, I.E., Aksnes. L. and Lie, Ø. (1999) *In vitro* hydroxylation of vitamin D₃ and 25-hydroxy vitamin D₃ in tissues of Atlantic salmon *Salmo salar*, Atlantic mackerel *Scomber scombrus*, Atlantic halibut *Hippoglossus hippoglossus* and Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquaculture Nutrition* 5, 23–32.
- Haga, Y., Suzuki, T., Kagechika, H. and Takeuchi, T. (2003) A retinoic acid receptor-selective agonist causes jaw deformity in the Japanese fl ounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture* 221, 381–392.
- Haga, Y., Takeuchi, T. and Seikai, T. (2002) Infl uence of all-trans retinoic acid on pigmentation and skeletal formation in larval Japanese fl ounder. *Fisheries Science* 68, 560–570.
- Hall, B.K. (2005) *Bones and Cartilage: Developmental Skeletal Biology*. Academic Press, London.
- Halver, J.E. (2002) The vitamins. In: Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds) *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, San Diego, California, pp. 61–141.

- Handy, R.D. (1996) Dietary exposure to trace metals in fish. In: Taylor, E.W. (ed.) *Toxicology of Aquatic Pollution*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 29–60.
- Hendricks, H.G.C.J.M., Van den Ingh, T.S.G.A.M., Krogdahl, Å., Olli, J. and Koninkx, J.F.J.G. (1990) Binding of soybean agglutinin to small intestinal brush border membranes and brush border membrane enzyme activities in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture* 91, 163–170.
- Hermann, K. (1995) Teratogenic effect of retinoic acid and related substances on the early development of the zebrafish (*Brachydrionio rerio*) as assessed by a novel scoring system *in vitro*. *Toxicology* 9, 267–283.
- Hilton, J.W. (1989) The interaction of vitamins, minerals and diet composition in the diet of fish. *Aquaculture* 79, 223–244.
- Hilton, J.W. and Hodson, F.V. (1983) Effect of increased dietary carbohydrate on selenium metabolism and toxicity in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Nutrition* 113, 1241–1248.
- Hilton, J.W., Hodson, P.V. and Slinger, S.J. (1980) The requirement and toxicity of selenium in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Journal of Nutrition* 110, 2527–2535.
- Holub, B.J., Bregeron, B. and Woodward, T. (1982) The effect of inositol deficiency on the hepatic neutral lipid and phospholipid composition of rainbow trout. *Journal of Nutrition* 112, 1425–1436.
- Hosokawa, H. (1989) The vitamin requirements of fingerling yellowtail, *Seriola quinqueradiata*. PhD Thesis, Kochi University, Japan.
- Hough, S., Avioli, L.V., Muir, H., Gelderblom, D., Jenkins, G., Kurasi, H., Slatopolsky, E., Bergfeld, M.A. and Teitelbaum, S.L. (1988) Effects of hypervitaminosis A on the bone and mineral metabolism of the rat. *Endocrinology* 122, 2933–2939.

- Hung, S.S.O. (1989) Choline requirement of hatchery-produced juvenile white sturgeon (*Acipenser transmontanus*). *Aquaculture* 78, 183–194.
- Hung, S.S.O., Cho, C.Y. and Slinger, S.J. (1981) Effect of oxidized fish oil, DL- α -tocopheryl acetate and ethoxyquin supplementation on the vitamin E nutrition of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed practical diets. *Journal of Nutrition* 111, 648–657.
- Iwamoto, M., Yagami, K., Shapiro, I.M., Leboy, P.S., Adams, S.L. and Pacifici, M. (1994) Retinoic acid is a major regulator of chondrocyte maturation and matrix mineralization. *Microscopy Research and Techniques* 28, 483–491.
- Jezierska, B., Hazel, J.R. and Gerking, S.D. (1982) Lipid mobilization during starvation in the rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson, with attention to fatty acids. *Journal of Fish Biology* 21, 681–692.
- Johnston, C.E., Horney, B.S., Deluca, S., MacKenzie, A., Eales, J.G. and Angus, R. (1994) Changes in alkaline phosphatase isoenzyme activity in tissues and plasma of Atlantic salmon (*Salmo salar*) before and during smoltification and gonadal maturation. *Fish Physiology and Biochemistry* 12, 485–497.
- Kanazawa, A. (1993) Essential phospholipids of fish and crustaceans. In: Kaushik, S.J. and Luquet, P. (eds) *Fish Nutrition in Practice*. Les Colloques, No. 61, INRA, Paris, pp. 519–530.
- Koyama, E., Golden, E.B., Kirsch, T., Adams, S.L., Chandraratna, R.A.S., Michaille, J.J. and Pacifici, M. (1999) Retinoid signaling is required for chondrocyte maturation and endochondral bone formation during limb skeletogenesis. *Developmental Biology* 208, 375–391.
- Lall, S.P. (2002) The minerals. In: Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds) *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, San Diego, California, pp. 259–308.

- Lall, S.P. (2007) Trace mineral requirements of fish and crustaceans. In: Schlegel, P., Durosoy, S. and Jongbloed, A.W. (eds) *Trace Elements in Animal Production Systems*. Wageningen Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 203–214.
- Lall, S.P. (2010). Disorders of Nutrition and Metabolisms. In: Leatherland, J.F. and Woo, P.T.K. (eds) *Fish Diseases and Disorders Volume 2: Non-infectious Disorders*, 2nd edn. MPG Books Group, London, UK. pp. 202–236.
- Lall, S.P. and Lewis-McCrea, L.M. (2007) Role of nutrients in skeletal metabolism and pathology in fish – an overview. *Aquaculture* 267, 3–19.
- Lall, S.P. and Milley, J.E. (2007) Impact of aquaculture on aquatic environment: trace minerals discharge. In: Schlegel, P., Durosoy, S. and Jongbloed, A.W. (eds) *Trace Elements in Animal Production Systems*.
- Lall, S.P. and Olivier, G. (1993) Role of micronutrients in immune response and disease resistance in fish. In: Kausik, S.J and Luquet, P. (eds) *Fish Nutrition in Practice*. INRA, Paris, pp.101–118.
- Lanno, R.P., Slinger, S.J. and Hilton, J.W. (1985) Maximum tolerable and toxicity levels of dietary copper in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Richardson). *Aquaculture* 49, 257–268.
- Leaver, M.J., Bautista, J.M., Björnsson, B.J, Jönsson, E., Krey, G., Tocher, D.R. and Torstensen, B.E. (2008) Towards fish lipid nutrigenomics: current state and prospects for fish aquaculture. *Reviews in Fisheries Science* 16, 73–84.
- Lee, P.H. (1987) Carotenoids in cultured channel catfish. PhD Thesis, Auburn University, USA.
- Love, R.M. (1980) *The Chemical Biology of Fishes*, Vol. 2. Academic Press, London and New York.

- Lumsden, J.S., Clark, P., Hawthorn, S., Wybourne, B., Minami-kawa, M., Haycock, M. and Fenwick, S. (2002) Gastric dilation and air sacculitis in farmed chinook salmon, *Oncorhynchus tshawytscha* (Walbaum). *Journal of Fish Diseases* 25, 155–163.
- Mazeaud, M.M., Mazeaud, F. and Donaldson, E.M. (1977) Primary and secondary effects of stress in fish: some new data with a general review. *Transactions of the American Fisheries Society* 106, 201–212.
- McCoy, M.A., McLoughlin, M.F., Rice, D.A. and Kennedy, D.G. (1994) Pancreas disease in Atlantic salmon (*Salmo salar*) and vitamin E supplementation. *Comparative Biochemistry and Physiology* 109A, 905–912.
- Messenger, J.L., Ansquer, D., Metailler, R. and Person-Le Ruyet, J. (1986) Induction experimentale de l’hypertyrosinémie granulomateuse chez le turbot d’élevage (*Scophthalmus maximus*) par une alimentation carencée en acide ascorbique. *Ichthyophysiology Acta* 10, 201–214.
- Nanton, D.A., Lall, S.P. and McNiven, M.A. (2001) Effects of dietary lipid on fatty liver condition in juvenile haddock, *Melanogrammus aeglefinus*. *Aquaculture Research* 32, 225–234.
- Parhami, F. (2003) Possible role of oxidized lipids in osteoporosis: could hyperlipidemia be a risk factor? *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids* 68, 373–378.
- Parhami, F., Morrow, A.D., Balucan, J., Leitinger, N., Watson, A.D., Tintut, Y., Berliner, J.A. and Demer, L.L. (1997) Lipid oxidation products have opposite effect on calcifying vascular cell and bone cell differentiation. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology* 17, 680–687.

- Phleger, C.F. (1991) Biochemical aspects of buoyancy in fishes. In: Hochachka, P.W. and Mommsen, T.P. (eds) *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*, Vol. 1. Elsevier Science Publishers, New York, pp. 209–247.
- Plisetskaya, E. (1980) Fatty acid levels in blood of cyclostomes and fishes. *Environmental Biology of Fishes* 5, 273–290.
- Raisz, L.G. (1993) Bone cell biology: new approaches and unanswered questions. *Journal of Bone and Mineral Research* 8, S457–S465.
- Ringo E. (1993) The effect of chromic oxide (Cr₂O₃) on aerobic bacterial populations associated with the intestinal epithelial mucosa of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.). *Canadian Journal of Microbiology* 39, 1169–1173.
- Ringo, E., Strom, E. and Tabachek, J.-A. (1995) Intestinal microflora of salmonids: a review. *Aquaculture Research* 26, 773–789.
- Roberts, R.J. (2002) Nutritional pathology. In: Halver, J.E. and Hardy, R.W. (eds) *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, San Diego, California, pp. 454–504.
- Rørvik, K.-A., Skjervold, P.O., Fjæra, S.O. and Steien, S.H. (2000) Distended, water-filled stomach in seawater farmed rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum) provoked experimentally by osmoregulatory stress. *Journal of Fish Diseases* 23, 15–18.
- Rowley, A.F., Knight, J., Lloyd-Evans, P., Holland, J.W. and Vickers, P.J. (1995) Eicosanoids and their role in immune modulation in fishes – a brief overview. *Fish and Shellfish Immunology* 5, 549–567.
- Roy, P.K. and Lall, S.P. (2003) Dietary phosphorus requirement of juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Aquaculture* 221, 451–468.

- Roy, P.K. and Lall, S.P. (2007) Vitamin K deficiency inhibits mineralization and enhances deformity in vertebrae of haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology* 148B, 174–183.
- Roy, P.K., Witten, P.E., Hall, B.K. and Lall, S.P. (2002) Effect of dietary phosphorus on bone growth and mineralization of vertebrae in haddock (*Melanogrammus aeglefinus* L.). *Fish Physiology and Biochemistry* 27, 35–48.
- Rumsey, G.L., Endes, J.G., Bowser, P.R., Earnest-Koons, K.A., Anderson, D.P. and Siwicki, A.K. (1994) Soybean meal in the diet of rainbow trout: effect on growth, protein absorption, gastrointestinal histology, and non-specific serological immune response. In: Lim, C. and Sessa, D.J. (eds) *Nutrition and Utilization Technology in Aquaculture*. AOAC Press, Champaign, Illinois, pp.166–188.
- Salte, R., Aasgaard, T. and Liestoel, K. (1988) Vitamin E and selenium prophylaxis against ‘Hitra disease’ in farmed Atlantic salmon – a survival study. *Aquaculture* 75, 45–55.
- Salte, R., Rørvik, K.A., Reed, E. and Norberg, K. (1994) Winter ulcers of the skin in Atlantic salmon, *Salmo salar* L.: pathogenesis and possible aetiology. *Journal of Fish Diseases* 17, 661–665.
- Sandnes, K., Ulgens, Y., Braekkan, O.R. and Utne, F. (1984) The effect of ascorbic acid supplementation in broodstock feed on reproduction of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *Aquaculture* 43, 167–177.
- Sato, M., Yoshinaka, R., Kondo, T. and Ikeda, S. (1982) Accumulation of underhydroxylated collagen in ascorbic acid-deficient rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 48, 953–957.
- Secombes, C.J., Chung, S. and Jeffries, A.H. (1988) Superoxide anion production by rainbow trout macrophages detected by the reduction of ferricytochrome C. *Developmental and Comparative Immunology* 12, 201–206.

- Shearer, K.D. (1988) Dietary potassium requirements of juvenile Chinook salmon. *Aquaculture* 73, 119–130.
- Sheridan, M.A. (1994) Regulation of lipid metabolism in poikilothermic vertebrates. *Comparative Biochemistry and Physiology* 107B, 495–508.
- Sheridan, M.A. and Mommsen, T.P. (1991) Effects of nutritional state on *in vivo* lipid and carbohydrate metabolism of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*. *General and Comparative Endocrinology* 81, 473–483.
- Staurnes, M., Andorsdottir, G. and Sundby, A. (1990) Distended, water-filled stomach in sea-farmed rainbow trout. *Aquaculture* 90, 333–343.
- Suzuki, T., Oohara, I. and Kurokawa, T. (1999) Retinoic acid given at late embryonic stage depresses *Sonic hedgehog* and *Hoxd-4* expression in the pharyngeal area and induces skeletal malformation in flounder (*Paralichthys olivaceus*) embryos. *Development, Growth and Differentiation* 41, 143–152.
- Tacon, A.G.J. (1992) Nutritional fish pathology. Morphological signs of nutrient deficiency and toxicity in farmed fish. *FAO Fisheries Technical Papers*, T330.
- Takeuchi, T., Dedi, J., Ebisawa, C., Watanabe, T., Seikai, T., Hosoya, K. and Nakazoe, J.-I. (1995) The effect of β -carotene and vitamin A enriched *Artemia* nauplii on the malformation and color abnormality of larval Japanese flounder. *Fisheries Science* 61, 141–148.
- Takeuchi, T., Dedi, J., Haga, Y., Seikai, T. and Watanabe, T. (1998) Effect of vitamin A compounds on bone deformity in larval Japanese flounder (*Paralichthys olivaceus*). *Aquaculture* 169, 155–165.
- Takeuchi, T., Shiina, Y., Watanabe, T., Sekiya, S. and Imai-zumi, K. (1992) Suitable levels of n-3 highly unsaturated fatty acids in diet for fingerlings of yellowtail. *Nippon Suisan Gakkaishi* 58, 1341–1346.

- Takeuchi, T., Watanabe, T., Ogino, C., Saito, M., Nishimura, K. and Nose, T. (1981) Effects of low protein–high calorie diets and detection of trace elements from fish meal diet on reproduction of rainbow trout. *Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries* 47, 645–654.
- Taylor, L.N., McGreer, J.C., Wood, C.M. and McDonald, D.G. (2007) Physiological effects of chronic copper exposure to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) in hard and soft water: Evaluation of chronic indicators. *Environmental Toxicology and Chemistry* 19, 2298–2308.
- Tintut, Y., Parhami, F., Tsingotjidou, A., Tetradis, S., Territo, M. and Demer, L.L. (2002) 8-Isoprostaglandin E2 enhances receptor-activated NFkB ligand (RANKL)-dependent osteoclastic potential of marrow hematopoietic precursors via the cAMP pathway. *Journal of Biological Chemistry* 277, 14221–14226.
- Udagawa, M. (2004) The effect of parental vitamin K deficiency on bone structure in mummichog, *Fundulus heteroclitus*. *Journal of the World Aquaculture Society* 35, 366–371.
- Varma, S.D., Devamanoharan, P.S. and Morris, S.M. (1995) Prevention of cataracts by nutritional and metabolic antioxidants. *Critical Reviews of Food Science Nutrition* 35, 111–129.
- Vermeer, C., Jie, K.S. and Knapen, M.H.J. (1995) Role of vitamin K in bone metabolism. *Annual Review of Nutrition* 15, 1–22.
- Vielma, J. and Lall, S.P. (1998) Control of phosphorus homeostasis of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in fresh water. *Fish Physiology and Biochemistry* 19, 83–93.
- Villeneuve, L., Gisbert, E., Le Delliou, H., Cahu, C.L. and Zambonino-Infante, J.L. (2006) Intake of high levels of vitamin A and polyunsaturated fatty acids during different developmental periods modifies the expression of morphogenesis genes in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*). *British Journal of Nutrition* 95, 677–687.

- Waagbø, R., Bjerkås, E., Hamre, K., Berge, R., Wathne, E., Lie, Ø. and Torstensen, B. (2003) Cataract formation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. smolt, relative to dietary pro- and antioxidants and lipid level. *Journal of Fish Diseases* 26, 213–229.
- Wageningen Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 203–214.
- Wall, A.E. (1998) Cataracts in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Ireland, Norway and Scotland from 1995 to 1997. *Veterinary Record* 142, 626–631.
- Wekell, J.C., Shearer, K.D. and Gauglitz, E.J. Jr (1986) Zinc supplementation of trout diets: tissue indicators of body zinc status. *Progressive Fish-Culturist* 48, 205–212.
- Xu, H., Watkins, B.A. and Adkisson, H.D. (1994) Dietary lipids modify the fatty acid composition of cartilage, isolated chondrocytes and matrix vesicles. *Lipids* 29, 619–625.

BALIK HASTALIKLARINDA ETKİN TEDAVİ YÖNTEMLERİ

Azime KÜÇÜKGÜL¹

Altuğ KÜÇÜKGÜL²

1. GİRİŞ

Besin değeri oldukça zengin ve et kalitesi yüksek olan balık, dünyada tüketimi hızlı bir ivme gösteren önemli besin kaynaklarından birisidir. Bu nedenle balıketine olan talep giderek artmaktadır. Ancak artan talebin karşılanması yönünden doğal stoklar yeterli olmadığı için kontrollü şartlarda yapılan kültür balıkçılığı her geçen gün önemli hale gelmekte ve buna paralel olarak dünyada olduğu gibi ülkemizde de balık yetiştiriciliği işletmelerinin sayısı artmaktadır. Balık yetiştiriciliğinde en önemli olgunun başında şüphesiz balığın pazar boyuna sağlıklı bir şekilde gelmesinin sağlanmasıdır. Hastalıklı bir balık bağı-şıklığı düşük bir balık olduğu için pazar boyuna da ulaşamaması, ulaşsa dahi diğerlerine göre kalite yönünden tercih edilmemesi dolayısıyla ekonomik kayıp olarak değerlendirilmesi bir gerçektir. Bu nedenle balık yetiştiriciliğindeki en büyük problem balıklarda gözlenen hastalık olgularıdır. Tüm bu olumsuzluklar değerlendirildiğinde en iyi çözüm balıkların ya hiç hastalandırılmaması ki bu rutin kontroller, bilinçli çalışan ve kaliteli yem gibi birçok etkene bağlı olup yâda hastalık görülen balıkların zaman kaybetmeden hızlı bir şekilde tanısının koyulup tedavisine başlanmasıyla mümkün olmaktadır. Literatür verileri göstermiştir ki balık çiftliklerinde görülen ekonomik kayıpların yarısına yakını hastalık ile ilişkilendirilmiş sektörel kaybın altı milyar doları aştığı bildirilmiştir (Assefa ve Abunna, 2018).

¹ AZİME KÜÇÜKGÜL

² ALTUĞ KÜÇÜKGÜL

Diğer canlılarda olduğu gibi balıklarda da hastalık olguları stres ile sıkı ilişki içerisinde olup özellikle suda oluşabilecek her türlü değişken önemli bir stresör olarak bilinmektedir. Hastalık salgınlarının çoğu su kalitesindeki (çözünmüş oksijen, pH, sıcaklık, bulanıklık vb.) yâda ortamdaki değişimlerden (organik atıklar, suya karışan her türlü ek girdi, yoğun stok, aşırı veya yetersiz besleme vb.) kaynaklı olup zamanla infeksiyöz hastalıkların görülmesi kaçınılmazdır.

Balık hastalıklarının en tehlikeli boyutu patojen etkenli olanlardır. Çünkü bu durumda hastalığın balıktan balığa bulaşı söz konusu olup tedavi edilmediği takdirde kısa zaman sonra balıklarda mortalitelerin görülmesi sonuçta ise toplu ölümler ile işletmenin ekonomik yönden zarar görmesi mümkün hale gelecektir. Bu nedenle, balık yetiştiriciliğinde infeksiyöz kökenli hastalıklar ölümcül seyir izlediği ve genellikle hastalığın hazırlayıcı nedenini oluşturduğu birçok çalışmayla ortaya konmuştur (Küçükgül ve ark., 2019; Küçükgül Güleç ve Cengizler, 2012; Salogni ve ark., 2007; Vegara ve ark., 2011; Tobback ve ark., 2007).

Balıklar stres içerikli ortamlardan kolay etkilenen canlılar olması hasebiyle hastalıklardan korumak için önlemler alınması zorunlu olan canlılardır. Bu nedenle en etkili profilaktif yöntemlerden birisi olan aşılama, hastalık ajanına karşı güçlü bir immünitinin sağlanması açısından önemlidir (Schmid ve ark., 2000). Bunun dışında immünstimülanlar hem spesifik hem de spesifik olmayan bağışıklık sistemini aktive etmesiyle sekonder paya sahip olan maddelerdir (Chen ve Ainsworth, 1992; Jorgensen ve ark., 1993). Tüm bu koruyucu tedbirlere rağmen hastalık çıkması durumunda ise hastalığın etkeninin izolasyonu ve akabinde etkili tedavi yönteminin zaman kaybetmeksizin uygulanması ilk yapılması gerekli durum olarak bilinmektedir. Tedavi yöntemlerinden birisi olan kemoterapi en yaygın kullanılan yöntem olup birçok balık çiftliği için tercih edilmektedir. Ancak sık kullanıma bağlı olarak son yıllarda balıkların iç organlarında yada suda birikim yapması, dirençli suşların oluşumu gibi birçok

probleme neden olması yarardan çok zarar verdiği anlamına gelmektedir (Burka ve ark., 1997; Cabello, 2006). Bu nedenle son yıllarda bu gerçeklerin bilincinde olan birçok bilim insanı balık hastalıklarında kimyasal içerikli yaklaşımlara alternatif olabilecek çözümler üretmek için çalışmalar yapmış ve günümüzde yavaş yavaş kabul gören bitkilerin gücünden yararlanmaya başlamışlardır (Biçer 2019; Küçükgül ve Küçükgül, 2017). Öyle ki su ürünleri sektöründe de (balık, su omurgasızları vb.) tıbbi bitkilerden elde edilen özlerle (yani bitkisel ilaçlar) tedaviler gerçekleştirilmiştir (Citarasu, 2010; Küçükgül ve ark., 2019; Küçükgül ve Küçükgül, 2017; Sırakov ve ark., 2018).

Bu çalışmada özellikle su ürünleri sektörünün gelişiminin önündeki en büyük engel olan balık hastalıklarındaki tedavi yöntemleri karşılaştırılmalı olarak literatür eşliğinde değerlendirilmiştir.

2. BALIK HASTALIKLARI

Türkiye su kaynakları yönünden zengin bir ülke olup bu kaynaklarının verimliliği açısından da önemli bir konumdadır. Sularımızda ekonomik öneme sahip birçok tür bulunmakta (93 balık, 33 kafadan bacaklı, 126 kabuklu) bu da sektörün gelişimine katkı sağlamaktadır (TUİK, 2019). Su Ürünleri yetiştiriciliği son zamanlarda insan tüketimindeki öneminin fark edilmesiyle gelişme göstermiş ve öncül sektörler arasına girmiştir. Özellikle yüksek kalitedeki protein içeriği ile sağlıklı beslenmede balıketi her fırsatta vurgulanmış ve bu bilincin gelişmesiyle sektör Türkiye bazında da giderek büyüyen bir konuma ulaşmıştır. Hem avcılık hem de yetiştiricilik yoluyla elde edilen su ürünleri miktarı 2018 yılı itibarıyla 628 bin 631 ton olarak belirlenmiş ve yarı yarıya bir seyir izlemiştir (TUİK, 2019). Bu veri gösteriyor ki sektörün hızla büyümesi tüketim oranı ile paraleldir ve 50 yıl içinde artan talebin su ürünleri yetiştiriciliği yoluyla karşılanacağı öngörülmektedir (Kobayashi ve ark., 2015).

Su ürünleri yetiştiriciliğinde ilk önemli olgu ürünlerin pazar boyuna sağlıklı olarak gelmelerini sağlamaktır. Bu durum ise ancak yetiştiricilik tesislerinde sertifikalı yumurta ve yavru balık alımı, ardından rutin kontrollerin devamlılığı, hijyen ve sanitasyon kurallarına bağlı kalmakla mümkündür. Fakat tüm bu tedbirler yine de bazı durumlarda balıkların hastalığa yakalanmasına engel olamamakta ve enfeksiyöz hastalıklara maruz kalmasına sebep olabilmektedir.

Balık yetiştiriciliğinde ortaya çıkan hastalıklarda ana sebep stres oluşturabilecek her türlü faktörü (stresör) kapsamaktadır. Bunlar fiziksel (ses, ışık, sıcaklık vb.) ve kimyasal (kirlilik, diyet, su kalitesi vb.) olabildiği gibi biyolojik kaynaklı (yoğun stok, diğer su canlılarının varlığı, virüs, bakteri, mantar ve parazit gibi mikro canlılar vb.) da olabilmektedir. Yetiştiricilik ortamında fiziko-kimyasal durumlardaki sapmalar en önemli stres etkenleri olup yönetsel stresler (nakil, boylama, hasat, her türlü medikament uygulanımı vb.) ikincil öneme sahiptir. Tüm bu stresörler neticesinde balıkların hastalanması kaçınılmaz hale gelmektedir. Enfeksiyonlar nedeniyle balık çiftliklerinde rastlanan salgınlarda ise ölüm oranlarının artmasına paralel gözlenen ekonomik kayıplar, su ürünleri yetiştiriciliği sektörü için endişe verici bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır (Zhu ve Li, 2007).

3. BALIK HASTALIKLARINDA TEDAVİ YÖNTEMLERİ

Balık yetiştiricilik sistemlerinde düşük ürün kalitesine, artan maliyete neden olan bunun yanında yüksek oranlarda balık ölümlerinden sorumlu olan balık hastalıkları her geçen gün itibariyle tedavisinde zorluklar görünen bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Balıklarda hastalık tablolarına yetiştiricilik sistemlerinin yanında doğal ortamda da rastlamak olasıdır. Bilindiği üzere doğal koşullar altında hastalık olgularına sebep olan birçok faktör balıkların doğal ortamında mevcuttur. Ancak yoğunluk olarak tehlikeli durum oluşturmaları pek güçtür. Fakat yetiştiricilik faaliyetlerinde birim alandan daha fazla yararlan-

mak amacıyla balık stok miktarının artırılması ile balıkların hastalığa yakalanması ve hastalıkların yayılması daha kolay olmaktadır (Scholz, 1999).

Balık hastalıklarında tedavi edilerek çözümü çoğunlukla zor olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle yetiştiricilik faaliyetlerinde koruyucu önlemler önem arz etmekte ve etkili profilaktik tedbirler alınmaktadır (Le Breton, 2009). Buna rağmen hastalıklarla mücadelede alınan önlemler yeterli olmayıp hastalık olgularının ortaya çıkması durumunda mümkün olduğunca kısa zaman içinde etkenin izolasyonun doğru yapılarak etkin tedavi yöntemlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla olası hastalık tablolarında balıkların tedavi edilmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir.

3.1. Kemoterapi

Bakteriyel balık hastalıkları başta olmak üzere diğer hastalıklar (parazitik, mantar vb.) içinde koruyucu yada kontrol amaçlı kullanılan kemoterapi en yaygın uygulamalardan birisidir. En çok kullanılan oksolinik asit ve flumequin gibi kinolon grubuyada sulfadiazin-trimetoprim gibi sulfonamid-diaminoprimidin grubu ilaçlardır (Burka ve ark., 1997). Özellikle fenikol grubundan olan florfenikol, Furunkulozis (etken *Aeromonas salmonicida*) ve gökkuşağı alabalığının fry sendromu (etken *Flavobacterium psychrophilum*) hastalıklarının tedavisinde kullanılmaktadır (Schmid ve ark., 2000). Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere kemoterapötiklerde aşırı kullanım neticesinde yan etkiler hatta balıklarda ölümler ortaya çıkmaktadır (Cabello, 2006; Lillehaug ve ark., 2003). Formalinin aşırı kullanımları solungaç hasarlarına sebep olabilmektedir. Yine aşırı kullanıma bağlı patojenlerde direnç gelişimi görülebilmektedir (Punitha ve ark., 2008; Smith ve ark., 1994).

Literatürler göstermiştir ki hayvan üretiminde (balık vb.) son yıllarda aşırı ve bilinçsizce kullanılan antibakteriyel ilaçlar dirençli mikroorganizmaların insan halk sağlığı açısından istenmeyen rezidü ve dirençli genlerin transferi gibi tehlikeli problemler oluşturmaktadır (Aoki, 1992; Burka ve ark., 1997; Cabello, 2006). Bazı araştırmalarda ise patojenik ajanlara karşı rastgele antibiyotik kullanımının kısa zamanda direnç gelişimine sebep olduğu, bunun da bakteriyel hastalıkların kontrolünde önemli bir sınır faktörü oluşturduğu raporlanmıştır (Sorum, 1999). Buda gösteriyor ki antibakteriyel direnç oluşumuna neden olan yoğun kullanılan antibakteriyel ilaçların sıkı bir şekilde gözlem altında tutulması gerekmektedir (Aoki, 1992).

3.2. Aşılama

Bakteri, parazit, mantar yada virüs gibi infeksiyöz kökenli balık hastalıklarının kontrolünde en etkin profilaktif yöntemlerden biri olan aşılama spesifik ajana karşı direncin artması yada hastalıktan koruma sağlanması olarak bildirilmektedir (Sommerset ve ark., 2005). Aşılanmanın dezavantajları olsada avantajları da azımsanacak düzeyde değildir. Her şeyden önce aşılar patojene karşı spesifik olup temini zor ve pahalıdır (özellikle ticari aşılar) (Sakai, 1999; Robertson, 1999). Balık yetiştirildiğinde özellikle bakteriyel ve/veya viral hastalıklara için ticari aşıların etkin ve mevcut olmaması, ayrıca bir aşının tek tip bir patojene karşı koruma sağlaması da önemli dezavantaj olarak bilinmektedir (Raa, 1992). Ayrıca her bir antijene karşı aşı geliştirilememiştir. Günümüzde ticari olarak piyasada olan aşı sayısı çok azdır (Vibriosis, Kızıl ağız hastalığı, Frunculozis ve IPN gibi anti-viral aşılar) ve her patojenik ajan için aşı geliştirmek olası değildir. Burkert ve ark. (1990) Örneğin, *Ichthyophthirius multifiliis* tarafından nedne olan beyaz benek hastalığının çok yaygın ve tehlikeli bir protozoon olduğunu vurgula-

miş ve bu hastalığa karşı etkili bir aşının henüz geliştirilmediğini bildirmiştir. Önemli dezavantajlardan birisi ise 15 gr altı balıklarda spesifik bağışıklığın gelişmemesi ve bu boy balıklara aşılama yapmanın zorluğudur (Ellis, 1989). Bu durumda aşılamanın sprey, oral, banyo yada enjeksiyon metotlarıyla uygulanması gerekliliğidir. Uygulanan metotlardan ilk üçü pratik olmakla beraber etkinliği konusundaki kısıtlılar ortaya çıkabilmektedir. Enjeksiyon yoluyla aşılama en etkili yöntem olsa da elle müdahale neticesinde balıkların strese girmesi ve her bir balığın tek tek aşılama gerekliliği ile iş yükünün çok olması gibi handikaplar ortaya çıkabilmektedir (Sommerset ve ark., 2005).

Patojenlerin karmaşık antijenik yapıları nedeniyle birçok balık hastalığına has aşı mevcut değildir. Dahası, hücre içi patojenlere karşı aşı geliştirilmesinde başarılı sağlanamamıştır (Kennedy ve ark., 2006). Bu nedenle balık hastalıklarının hepsinde kontrolünün aşılarda mümkün olması olası değildir. İleriki zamanlarda monovalan aşılarda yetersiz kalması kompleks heterojen türler ya da multiple suş aşılarda geliştirilmesine önemli bir ihtiyaç olarak karşımıza çıkacaktır (Robertson, 1999).

3.3. İmmunostimulant

Balıkların immün sisteminin uyarılması ve herhangi bir hastalık etmeni ile karşılaşması durumunda balıklarda daha hızlı ve etkili bir yanıt oluşmasında vermesinde immunostimulantların rolü çok büyüktür (Bricknell ve Dalmo, 2005). İmmunostimulantlar; tek başlarına verildiklerinde doğal bağışıklık savunma mekanizmasını aktif edebilen, aşılarda beraber uygulandıklarında ise spesifik savunma mekanizmasının cevabını artıran sentetik ve doğal bileşiklerdir (Sakai, 1999). Bağışıklık sistemini uyaran bu tür maddelerin; uygun kullanımıyla, hem spesifik olmayan hem de spesifik immüniteyi aktif hale getiren hastalıklara karşı bireyin direncini artırıldığı bilinmektedir. Bu tarzda koruyucu maddelerin belirli zamanlarda kullanılması

funga, viral, parazitik ve bakteriyel etkenlerin ortaya çıkarak hastalık oluşturmasını engelleyebilmektedir (Sakai, 1999).

Doğal ve sentetik bileşenler olan immunostimulantlar hastalık ortaya çıkmadan evvel hastalığın kontrol altına almak ve bireyin bağışıklık sistemini güçlendirmek için uygulanan maddelerdir (Jin, 2003).. Doğal olmaları nedeniyle çevre ve birey için rezidü sorunu oluşturmadıkları bildirilmiştir (Trewes-Brown, 2000).

Son yıllarda gelişmekte olan sektörler arasında yer alan su ürünleri sektöründe immüniteyi uyaran immunostimulantlar kitin ve kitosan (Sakai, 1999), glukana (Chen ve Ainsworth, 1992; Jorgensen ve ark., 1993), levamisole (Kajita ve ark., 1990), laktoferin (Sakai, 1999), vitamin-C, *Mycobacterium spp.*nin ekstraselüler ürünleri, mayalar, kahverengi-kırmızı algler ve Mannan oligosaccharide (MOS), bitki ekstraktları, karadaki mantarlar vb. birçok farklı maddeler olarak sıralanmaktadır. Su ürünleri sektöründe balık yetiştiriciliğinde kullanılan immunostimulantlar çevresel faktörler, hastalık olguları gibi birçok nedenden dolayı olası kayıpları indirgeyebilmektedir (Sakai, 1999). Fakat hastalık oluşmadan önce immunostimulantların uygulanması gerekliliğı önem arz etmektedir. Buna göre immunostimulant kullanımının etkili olması doz, zaman, uygulanan yöntem ve balığın fizyolojisindeki durumları ihtiva eden birçok faktörün etkisi altındadır (Anderson, 1992; Sakai, 1999).

4. BİTKİLERLE TEDAVİ

Ülkemiz birçok yönüyle (toprak, su, iklim vb.) bitki popülasyonu bakımından zengin olup ülke ekonomisinde de önemli katkılar sağlamaktadır. Eski zamanlardan bu yana medikal amaçlı (baş ağrısı, açık yara, karaciğer, mide rahatsızlıkları, sarılık vb.) kullanılan birçok bitkide ülkemizde doğal olarak dağılış göstermektedir (Treben, 1980).

Eski çağlardan bu yana hastalık yönetiminde bitkilerden yararlanıldığı bilinmektedir. Doğal olmaları, maliyet açısından kolay temini, çevre dostu ve minimum yan etkiye sahip olmaları gibi birçok etken neticesinde günümüzde de bitkilerle tedavi yöntemi alternatif, tamamlayıcı tıp alanlarında başvuru alan yöntemlerden birisidir. Hastalıkların önlenmesi yâda tedavisinde bitkinin bütün olarak ya da yaprak, çiçek, tohum, kök gibi kısımlarının kullanımı ile uygulanan bitkisel tedavi Yunanca Phytion (bitki) ve Therapiea (tedavi) kelimelerinin birleşiminden oluşmaktadır (Parildar ve ark., 2011). Bitkilerin tedavide kullanımının ana nedeni içeriğinde mevcut etken madde olarak tanınanlar, alkaloidler ve flavonoidler gibi fitokimyasal bileşenlerin çok çeşitli ikincil metabolitleri açısından zengin olmalarından kaynaklanmaktadır (Pandey ve Madhuri, 2010; Ravikumar ve ark., 2010)

Bitkilerin kullanım alanları çok çeşitlilik göstermekle beraber gıda (gıda katkı maddesi vb.) ve meşrubat, baharat, farmakoloji, kozmetik, parfümeri, ilaç sanayi öne çıkanlar arasındadır (Alan ve ark., 2010; Çinbilgel ve Kurt, 2019). Ülkemiz bitki çeşitliliği özellikle tıbbi ve aromatik bitki bakımından dünyanın önemli ülkelerinden birisidir. Bunlar arasında kekik, defne, anason, kimyon, rezene, adaçayı, keçiboynuzu gibi tıbbi ve aromatik bitkiler ülke ekonomisinde de önemli paya sahiptir (TÜİK, 2009).

Tıbbi ve aromatik bitkiler birçok formda kullanımı bulunmasına rağmen en çok uçucu yağ formülasyonları tercih edilmektedir. Bunun ana sebebinin enfeksiyöz kökenli (virüs, bakteri, mantar, parazit vb.) hastalıklara karşı etkin olduğunun ortaya konmasıdır (Bakkalı ve ark., 2008; Küçükgül ve ark., 2014).

Su ürünleri yetiştiriciliği işletmelerinde ortaya çıkan hastalıklarda antibiyotik gibi kimyasallara alternatif yâda immunsütimulan gibi bağışıklığı güçlendiren maddelere destek tamamlama

yıcı tedavi ile bitkilerin çalışıldığı birçok çalışma literatürde yer bulmuş ve olumlu sonuçlar kaydedilmiştir. Özellikle infeksiyöz kökenli hastalıklar baz alındığında bitkilerin antibakteriyel etkinliği odaklı araştırmalar sıklıkla çalışılmıştır (Altınterim ve ark., 2012; Sumbul ve ark., 2011) . Bu çalışmalardan birisi olan *M. communis*'in metanol ekstraktının bazı gram negatif (*E.coli*, *P. Aeruginosa*, *Proteus vulgaris*) ve pozitif (*L. Monocytogenes*, *S. Pneumoniae*, *S. Agalactiae*, *S. Pyogenes*) bakteriler üzerinde etkin olduğu görülmüştür (Mansouri ve ark., 2001). *M. communis*'in metanol ham ekstraktının altı gram pozitif (*Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *S. pneumoniae*, *S. pyogenes*, *S. agalactiae* ve *Listeria monocytogenes*) ve dört gram negatif bakterinin (*E. coli*, *Proteus vulgaris*, *P. aeruginosa* ve *Campylobacter jejuni*) büyümesini inhibe ettiği yapılan bir çalışmada belirtilmiştir (Sumbul ve ark., 2011). Imelouane ve ark. (2009) tarafından yapılan bir araştırmada ise, Lamiaceae familyasından olan *Thymus vulgaris*'in antibakteriyel aktivitesi *S. aureus*, *S. epidermidis* gibi gram olumlu bakterilere karşı düşük, *E. coli* gibi gram olumsuz bakteriler üzerinde yüksek olarak raporlanmıştır. Aynısefa esansiyel yağının balık patojenleri üzerinde denendiği çalışmalarda ise araştırmacılar gram negatif patojenlerin daha güçlü etki gösterdiğini bildirmişlerdir (Bozkaya ve ark., 2023; Chalestori ve ark., 2016). Kekik (*Origanum vulgare*), melisa (*Melissa oleum*), karabaş (*Lavandula eromanaeoleum*), biberiye (*Rosmarinus officinalis*), zencefil (*Zingiber officinale*) uçucu yağlarının, ülkemizde de balık çiftliklerini sıklıkla tehdit eden infeksiyöz hastalıklarından olan *Yersinia ruckeri*, *Aeromonas hydrophila*, *Vibrio anguillarum*, *V. alginolyticus*, *Flavobacterium psychrophilum* ve *Lactococcus garvieae* üzerine antibakteriyel etkinliği Ekici ve ark. (2011) tarafından araştırılmış kekik ve melisa daha etkin olmakla tüm uçucu yağların antimikrobiyal etki gösterdiği tespit edilmiştir. Ağrı kesici, antiseptik ve mide rahatsızlıkları için geleneksel tıpta uzun yıllardır kullanılan kekik (*Thymus vulgaris* L.), defne (*Laurus nobilis* L.), biberiye

(*Rosmarinus officinalis* L.) ve maydanoz (*Petroselinum crispum* L.) gibi bitkilerin esansiyel yağlarının balık patojenleri üzerinde inhibitör etki gösterdiği bildirilmiş ve doğal bir antibakteriyel ajan olarak kullanılabileceği raporlanmıştır (Tural ve ark., 2019). Aromatik bitkilerden olan zahter (*T. spicata*), kekik (*T. vulgaris*), defne (*L. nobilis*), tarçın (*Cinnamomum verium*), altın otu (*Helichrysum plicatum*) ve yalancı melisa (*Aloysiacitriodora* Paláu) uçucu yağlarının antimikrobik etkinliğinin güçlü olduğu bir diğer araştırmada vurgulanmıştır (Türker, 2018).

5. SONUÇ

Balık yetiştiriciliğinde yüksek kalitede ürünün elde edilmesi, canlı için optimum şartların sağlanması ve korunmasıyla mümkündür. Balıklar hayat evrelerini su içerisinde geçiren canlılar olarak birçok patojen mikroorganizmayla karşı karşıya olmaları hasebiyle hastalıklara karşı savaşmada koruyucu amaçlı aşı uygulamaları oldukça yaygın kullanılmaktadır (Sommerset ve ark., 2005). Ancak aşılarda ticari anlamda sınırlı olması, spesifik olması, aşının etkili olması için gerekli optimal koşulların sağlanmasındaki güçlükler (Zapata ve ark., 1997; Sommerset ve ark., 2005) yetiştiricileri aşı ve beraberinde immünostimulan kullanımına yöneltmiş yine de hastalıklardan tam olarak korumak mümkün olmamıştır. Balıklarda hastalık ortaya çıktıktan sonra ise kemoterapötik uygulamalar tedavide yerini almış direnç gelişimi ve kalıntı problemleri gibi birçok handikaplarda beraberinde getirmiştir. Tüm bu tedavi yöntemleri halen günümüzde uygulanmaktaysa da bilim insanları alternatif tedavi yöntemleri üzerinde de durmuş ve bu bağlamda birçok sektörde olduğu gibi su ürünleri sektöründe de özellikle tıbbi ve aromatik kökenli bitkiler değerlendirmiş ve birçok çalışmayla da uygulanabilirliği raporlanmıştır. Yapılan çalışmalar göstermiştir ki aromatik ve tıbbi bitkilerden elde doğal ürünler balık patojenleri üzerinde güçlü bir antibakteriyel etki sergilemektedir. Bitkisel uygulamalarla infeksiyöz hastalıklara karşı iyi bir etkinlik gösterse de tek başlarına kullanımlarının yeterli olamayacağı ancak tamamlayıcı bir tedavi olarak kullanılabileceği bu çalışmayla ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- Altınterim, B., Kucukgul Gulec, A., Aksu, O., 2012. Determination of safety dose of Eucalyptus camaldulensis hydrosol on carp fish *Cyprinus carpio*. Fresenius Environmental Bulletin, 21(5): 1219-1222.
- Anderson, D.P., Moritomo, T., Grooth, R.D., 1992. Neutrophile, glass adherent, nitroblue tetrazolium assay gives early indication of immunization effectiveness in rainbow trout. Veterinary Immunol Immunopathology, 30: 419–429.
- Aoki, T., 1992. Chemotherapy and drug resistance in fish farms in Japan. Diseases in Asian Aquaculture, vol. 1. Fish Health Section. Asian Fisheries Society, Manila, Philippines, 519 – 529 s.
- Assefa, A., Abunna, F., 2018. Maintenance of fish health in aquaculture: review of epidemiological approaches for prevention and control of Infectious disease of fish. Veterinary Medicine International, 10 s.
- Bakkali,, F., Averbeck, S., Averbeck, D., and Idaomar, M., 2008. Biological effects of essential oils – a review. Food Chem. Toxicol. 46, 446–475. Biçer, A., 2019. İkinci Ürün Olarak Yetiştirilen Karabuğday'da (*Fagopyrum esculentum* Moench.) Organik Gübre Dozlarının Verim ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisi. Siirt Üniv. Fen Bilimleri Enst. Y. Lisans Tezi, Siirt, 49 s.
- Bricknell, I., Dalmo, R.A., 2005. The use of immunostimulants in fish larval aquaculture. Fish and Shellfish Immunology, 19: 457- 472.
- Bozkaya, A. 2023. Murt, kekik ve aynışefa bitki esansiyel yağlarının antibakteriyel etkinliği. Munzur Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Su Ürünleri Ana Bilim Dalı, Tunceli 63 s.
- Burka, J.F., Hammell, K.L., Horsberg, T.E., Johnson, G.R., Rannin, D.J., Speare, D.J. 1997. Drugs in salmonid culture -A review. J. Vet. Pharmacol. Ther., 20: 333-349.

- Burkert, M.A., Clark, T.G., Dickerson, H.W., 1990. Immunization of channel catfish *Ictalurus punctatus* against *I. multifiliis*. *Journal of Fish Diseases*, 13: 401-410.
- Cabello, F.C. 2006., Heavy use of prophylactic antibiotics in aquaculture: a growing problem for human and animal health and for the environment. *Environ. Microbiol.*, 8: 1137-1144.
- Chaleshtori, S.H., Kachoei, M.A., Pirbalouti, A.G., 2016. Phytochemical analysis and antibacterial effects of *Calendula officinalis* essential oil. *Biosci. Biotechnol. Res. Commun*, 9(3), 517-22.
- Chen, D., Ainsworth. A.J., 1992. Glucan administration potentiates immune defense mechanisms of channel catfish, *Ictalurus punctatus* Rafineque. *Journal of Fish Disease*, 15: 295–304.
- Citarasu T (2010) Herbal biomedicines: a new opportunity for aquaculture industry. *Aquaculture International* 18(3): 403–414.
- Çinbilgel, İ., Kurt, Y. 2019. A Research on Species Diversity and Ethno Botanical Utilization of Lamiaceae Family in Southern Turkey. *Süleyman Demirel University* 23(1): 90-107.
- Ellis, A.E., 1989. Fish Vaccination, *Aquaculture Information Series*, No:4, s. 8.
- Ekici, S., Diler, Ö., Didinen, B.I., and Kubilay, A. (2011). Balıklardan izole edilen bakteriyel patojenlere karşı bazı Bitkisel uçucu yağlarının antibakteriyel aktivitesi, *Kafkas Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi*, 17: 47-54.
- Jin, Z., 2003. Application of immunostimulants in larviculture: feasibility and challenges. *Aquacult Asia*, 8(4): 19-22.
- Jorgensen, H., Lunde, R.B., 1993. Peritoneal and head-kidney cell response to intraperitoneally injected yeast glucan in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Disease*, 16: 313–325.

- Imelouane, B., Elbachiri, A., Ankit, M., Benzeid, H., Khedid, K., 2009. Physico-chemical compositions and antimicrobial activity of essential oil of eastern moroccan *Lavandula dentata*. *International Journal of Agriculture and Biology*, 11(2): 113–118.
- Kennedy, N.J., Spithill, T.W., Tennent, J., Wood, P.R., Piedrafita, D., 2006. DNA vaccines in sheep: CTLA-4 mediated targeting and CpG motifs enhance immunogenicity in a DNA prime/protein boost strategy. *Vaccine*, 24: 970–979.
- Kobayashi, M., Msangi, S., Batka, M., Vannuccini, S., Dey, M. M. & Anderson, J. L. (2015). Fish to 2030: the role and opportunity for aquaculture. *Aquaculture Economics & Management*, 19(3): 282-300.
- Kucukgul Gulec, A., Cengizler, İ. (2012). Determination of acute phase proteins after experimental *Streptococcus iniae* infection in tilapia (*Oreochromis niloticus* L.). *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 36: 380-387.
- Küçükgül, A., Küçükgül, A. (2017). Apoptotic effects of artificial feed supplemented with *Thymus vulgaris* on *Oncorhynchus mykiss* against *Yersinia ruckeri*. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 46(06): 1170-1174.
- Küçükgül, A., Küçükgül, A., Gönenci, R., Özsoy, S.Y., Kutlu, B., Isgör, M.M. (2019). Investigation of the anti-apoptotic activity of ozone therapy in rainbow trout macrophages infected with *Yersinia ruckeri*. *Aquaculture International*, 27(3): 771-783.,
- Küçükgül Güleç, A., Erecevit, P., Yüce, E., Arslan, A., Bağcı, E., & Kırbağ, S. (2014). Antimicrobial activity of the methanolextracts and essential oil with the composition of endemic *Origanum acutidens* (Lamiaceae). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17, 353-358.

- Le Breton, A.D., (2009). Farming and health management: Prevention and policy measure, *Options Meditarraneennes*, 86: 207-220.
- Lillehaug, A., Lunestad, B.T., Grave, K., 2003. Epidemiology of bacterial diseases in Norwegian aquaculture—a description based on antibiotic prescription data for the ten-year period 1991 to 2000. *Dis Aquat Org.*, 53:115–125
- Mansouri, S., Foroumadi, A., Ghaneie, T., Najar, A. G., 2001. Antibacterial activity of the crude extracts and fractionated constituents of *Myrtus communis*. *Pharmaceutical biology*, 39(5): 399-401.
- Pandey, G., Madhuri, S., 2009. Some medicinal plants as natural anticancer agents, *Pharmacognosy Reviews*. 3:259–263.
- Parildar, H., Serter, R., Yesilada, E., 2011. Diabetes mellitus and phytotherapy in Turkey. *J Pak Med Assoc*, 61(11): 1116.
- Punitha, S.M.J., Babu, M.M., Sivaram, V., Shankar, V.S., Dhas, S.A., Mahesh, T.C., Immanuel, G., Citarasu, T., 2008. Immunostimulating influence of herbal biomedicines on non-specific immunity in grouper *Epinephelus tauvina* juvenile against *Vibrio harveyi* infection. *Aquaculture International*, 16: 511-523.
- Raa, J., 1996. The use of immunostimulatory substances in fish and shellfish farming, *Reviews in Fisheries Science*, 4: 229-288
- Ravikumar, B., Moreau, K., Jahreiss, L., 2010. Plasma membrane contributes to the formation of pre-autophagosomal structures. *Nat. Cell Biol.* 12: 747–757.
- Robertsen, B., 1999. Modulation of the non-specific defence of fish by structurally conserved microbial polymers. *Fish Shellfish Immunology*, 9: 269–290.
- Salogni, C., Perantoni, P., Pitozzi, A., Loris, G. and Alborali, G.L., 2007. *Vagococcus salmoninarum*: descrizione di un focolaio di malattia in riproduttori di trota iridea (*Oncorhynchus mykiss*). *I_iopatologia* 4, 59–66.

- Sakai, M., 1999. Current research status of fish immunostimulants. *Aquaculture*, 172: 63–92.
- Scholz, T. 1999. Parasites in cultured and feral fish. *Vet Parasitol.*, 84(3-4): 317-35.
- Schmid, M., Twachtman, U., Klein, M., Strous, M., Juretschko, S., Jetten Msm., 2000. Molecular evidence for genus level diversity of bacteria capable of catalyzing anaerobic ammonia oxidation. *Syst Appl Microbiol.* 23: 93– 106.
- Sırakov, I., Velichkova, K., Slavcheva-Sırakova, D., 2018. In vitro study of the use of some medicinal plants against the fish pathogen *Aeromonas hydrophila*. *Scientific Bulletin Series F Biotechnologies* 12: 168– 171.
- Sommerset, I., Krossøy, B., Biering, E., Frost, P. 2005. Vaccines for fish in aquaculture. *Expert Rev. Vaccines* 4(1): 89-101.
- Sumbul, S., Ahmad, M. A., Asif, M., Akhtar, M., 2011. *Myrtus communis* Linn. A review *Indian Journal of Natural Products and Resources*. 2(4): 395-402.
- Treben, M., 1980. *Gesundheit aus der Apotheke Gottes: Ratschläge und Erfahrungen mit Heilkräutern.* (No Title).
- Trewes- Brown, K.M., 2000. *Applied Fish Pharmacology.* Kluwer Academic Publishers, 251-260
- Tobback, E., Decostere, A., Hermans, K., Haesebrouck, F., Chiers, K., 2007. *Yersinia ruckeri* infections in salmonid fish. *J Fish Dis.*, 30:257–268
- Tural, S., Durmaz, Y., Urçar, E., Turhan, S. 2019. Antibacterial Activity of Thyme, Laurel, Rosemary and Parsley Essential Oils Against Some Bacterial Fish Pathogen. *Acta Aquatica Turcica*, 15(4): 440-447.
- TUIK (2019). Su Ürünleri Üretimi. Türkiye İstatistik Kurumu. Alıntılanma adresi: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=97&locale=tr> (18.06.2019)

- Vegara, S., Funes, L., Martí, N., Saura, D., Micol, V., Valero, M. 2011. Bactericidal activities against pathogenic bacteria by selected constituents of plant extracts in carrot broth. *Food Chem.*, 128: 872–877.
- Zhang, Jie., Li Daoliang, 2008. A call center oriented consultant system for fish disease diagnosis in China”, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 259: 1447-145.
- Zhu Wei, Li Daoliang, 2007. CBR system for fish disease diagnosis”, *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 259: 1453-1457.

EFFECTS OF GLOBAL WARMING ON SEA SURFACE TEMPERATURE, PH, AND DISSOLVED OXYGEN IN THE EASTERN MEDITERRANEAN (MERSİN) AND WESTERN MEDITERRANEAN (MUĞLA) REGIONS OF TURKEY

Mehmet Fatih CAN¹

Yavuz MAZLUM²

1. INTRODUCTION

Climate is defined by the long-term characteristics of the atmosphere, such as temperature, precipitation, sunlight, and wind, and affects daily life, food resources, and ecosystems (Ramamasy & Baas, 2007). While historically climate has undergone changes due to natural processes, it is now widely acknowledged that human activities are accelerating these transformations (Venegas et al., 2023). In this context, global warming, a defining reality of the modern world, is driven by anthropogenic activities and emerges as a critical challenge for the environment.

Oceans are defined as the main regulators of the global climate due to their roles in energy distribution and the water cycle. Rising global temperatures have been reported to exert widespread impacts on marine systems, influencing various physical, chemical, and biological processes. Specifically, glob-

¹ PhD, Professor, Department of Water Resources Management and Organization, Faculty of Marine Science and Technology, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: mfatih.can@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-3866-2419

² PhD, Professor, Department of Aquaculture, Faculty of Marine Science and Technology, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: yavuz.mazlum@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9547-0966

al warming is reported to manifests in the marine environment through phenomena such as rising sea levels, ocean acidification, marine heatwaves, and alterations in biodiversity and fisheries dynamics (Doney et al., 2009; Kayhan et al., 2015; Wernberg et al., 2016; Koçoğlu et al., 2021).

Nicholls and Cazenave (2010) highlighted that one of the most prominent effects of global warming is sea-level rise, driven by the melting of glaciers and the thermal expansion of seawater. It has been emphasized that this rise poses significant risks to coastal habitats, contributing to increased erosion, flooding, and the loss of critical habitats for marine organisms. Notably, coastal ecosystems such as mangroves and coral reefs are particularly vulnerable to these changes, underscoring their sensitivity to the impacts of global warming (Hoegh-Guldberg et al., 2007).

It is considered that the absorption of increasing atmospheric carbon dioxide (CO₂) by the oceans leads to ocean acidification, adversely affecting marine life, particularly organisms dependent on calcium carbonate such as corals, mollusks, and certain plankton species (Doney et al., 2009). In this context, it has been reported that the decrease in pH levels disrupts calcification processes, resulting in weaker shells and skeletons, thereby threatening the survival of these species (Fabry et al., 2008).

Due to global warming, periods of unusually high sea surface temperatures (marine heatwaves) are reported to have become more frequent and intense (Oliver et al., 2018). It has been reported that these heatwaves can lead to widespread coral bleaching, where corals expel the symbiotic algae living in their tissues, and prolonged stress may result in coral mortality. Furthermore, it has been reported that higher temperatures are reported to disrupt the distribution and reproductive patterns of marine species, leading to changes in ecosystem structure and function (Pörtner et al., 2014).

It has been reported that global warming contributes to the loss of marine biodiversity through habitat degradation, shifts in species distributions, and transformations in food web dynamics (Parmesan, 2006). Species migration toward cooler waters can lead to shifts in community composition and mismatches in predator-prey relationships. This loss of biodiversity reduces ecosystem resilience and its ability to provide essential services (Worm et al., 2006). Brander (2007) points out that changes in water temperature and ocean conditions significantly affect fish populations and distributions, creating adverse effects on commercial fisheries. It has been reported that the migration of fish species to cooler waters complicates fishing activities, potentially leading to overfishing in newly populated areas. These changes are reported to have profound economic and social impacts on communities reliant on fisheries for their livelihoods (Cheung et al., 2010). Due to its potential for catastrophic impact, studies addressing the localized and global effects of climate-induced changes in the marine environment (including seawater temperature, pH, and dissolved oxygen levels) are increasing.

In this section, the temporal variations in sea surface temperature (SST), pH, and oxygen levels due to global warming were analyzed in two different regions of Turkey's Mediterranean coastline (Mersin and Muğla) (Figure 1). The potential impacts of these changes on aquatic organisms and aquaculture activities are discussed. For this study, satellite measurement data for sea surface temperature (SST), dissolved oxygen, and pH in the Mersin and Muğla regions were obtained from the Copernicus Marine Service (<https://marine.copernicus.eu/>).



Figure 1. Map of dissolved oxygen, and pH measurements of seawater from the Mersin and Muğla.

- MEDSEA_MULTIYEAR_BGC_006_008: This dataset was used for deriving pH and O2 raw data sets of the Mediterranean Sea, covering the years 1999 to 2020.
- SST_MED_SST_L4_REP_OBSERVATIONS_010_021: This dataset was used for deriving Sea Surface Temperature (SST) raw data sets of the Mediterranean Sea, covering the years 1982 to 2020.

In the analyses, the "ggplot2," "dplyr," "tidyverse," and "rcomdr" packages (Fox, 2005) in the R software (R version 4.1.0) (R Core Team, 2022) and the Jamovi program (The jamovi Project, 2023) were Used.

2. ANALYSIS OF SEA SURFACE TEMPERATURE (SST) VARIATIONS IN THE STUDY AREAS

Analyses conducted for the period between 1982 and 2020 revealed a positive increasing trend in Sea Surface Temperature (SST) in the Mersin and Muğla regions. It was observed that SST reached its maximum values particularly after the 2000s. The annual average SST increase rate was calculated as 0.0551°C/year in Mersin ($y = 0.0551x + 22.17$, $R^2 = 0.72$) and 0.0544°C/year in Muğla ($y = 0.0544x + 19.348$, $R^2 = 0.70$) (Figure 2, Figure 3).

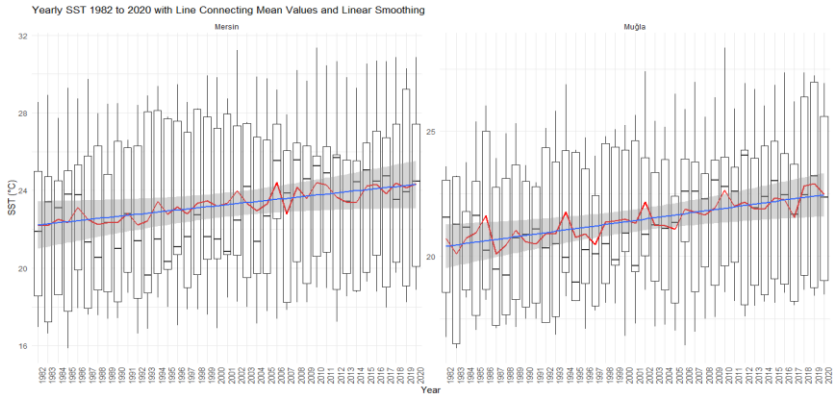


Figure 2. Annual Temperature Variations in Mersin and Muğla Between 1982 and 2020

The red line connects the average annual SST values, while the blue line represents the linear trend in SST changes over the years. The shaded gray areas indicate the 95% confidence intervals for the linear trend curve.

Mersin SST

Muğla SST

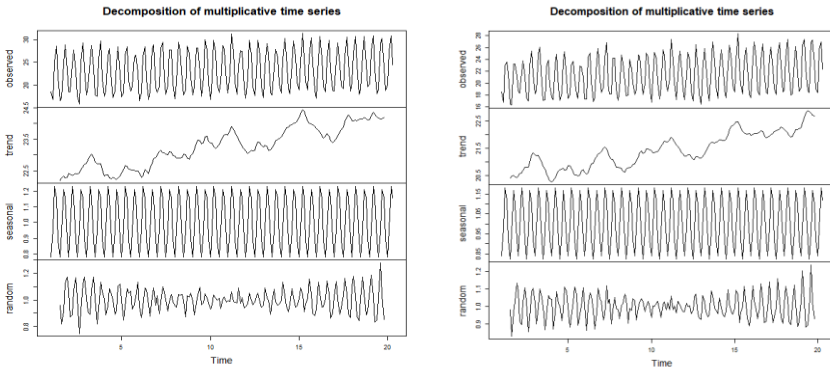


Figure 3. Decomposition of time series for SST in locations.

The multiplicative decomposition analysis of Sea Surface Temperature (SST) data for the Mersin and Muğla regions reveals notable similarities and differences between the two areas (Figure 3). In both regions, the observed SST values exhibit an annual periodic pattern, with regular increases and decreases

in temperatures. However, while SST values in Mersin range between 16–28°C, the range remains between 18–25°C in the Muğla region. Overall, Mersin stands out with generally higher SST values. The effects of global warming are evident in both regions, but the SST trend in Mersin started from higher levels and displayed a sharper increase over time. The seasonal component represents the annual cyclical changes in both regions, showing that SST rises and falls consistently during specific periods of the year. However, the amplitude of seasonal changes is higher in Mersin, indicating that the Mersin region is more sensitive to seasonal fluctuations. The random component represents irregular variations remaining in SST data after removing trends and seasonality. These components have low amplitudes and do not exhibit significant deviations.

In conclusion, although similar trends are found between Mersin and Muğla regions, Mersin stands out with higher temperature values, larger seasonal fluctuations and a more pronounced trend increase. These differences highlight the impact of regional environmental conditions on SST dynamics.

Tablo 1. Mean, standard deviation (SD), and coefficient of variation (CV) values of SST data at specific intervals by region.

Year	Mersin			Muğla		
	Mean	SD	CV(%)	Mean	SD	CV(%)
1982	22.19	4.72	21.27	20.71	2.95	14.25
2000	23.18	5.24	22.61	21.47	3.38	15.74
2010	24.39	4.86	19.93	22.65	3.87	17.09
2020	24.34	4.99	20.50	22.47	3.79	16.87

The mean, standard deviation, and coefficient of variation (CV) results of Sea Surface Temperature (SST) values at specific intervals by region are presented in Table 1. It was determined that the average SST values and temperature variations in the Mersin region are higher compared to the Muğla region (Figure 4). Considering Table 1, Figure 2, Figure 3, and Figure

4, the findings highlight the potential impacts of regional differences on aquatic ecosystems and aquaculture activities.

The temperature of seawater is a direct determinant of growth rates in ectothermic (cold-blooded) fish, playing a primary role in the production efficiency of aquaculture farms (Klinger et al., 2017; Sanz-Latorre et al., 2025). The effects of increasing surface temperatures on aquaculture may yield both positive and negative outcomes (Barange et al., 2018; Reid et al., 2020). Increasing water temperatures affect the development, growth rate, reproduction, feeding, and immune function of aquatic organisms (Barange et al., 2018; Reid et al., 2020). Furthermore, temperature increases are predicted to enhance growth rates, particularly in mollusks (Reid et al., 2020; Hu et al., 2021; Awasthi et al., 2023). Higher water temperatures not only alter production dynamics of existing species but also create new opportunities, such as cultivating warm-water species at higher latitudes (Callaway et al., 2012). This could lead to significant changes in the geographic distribution and strategies of aquaculture. The long-term rise in SST in both regions indicates potential adverse effects on marine ecosystems and fisheries dynamics. These findings suggest that regional differences should be considered in future environmental conservation and management strategies. Therefore, increases in sea surface temperatures have multidimensional effects on both aquaculture activities and ecosystem functioning. Effective management of these changes requires consideration of species-specific biological tolerances and regional differences.

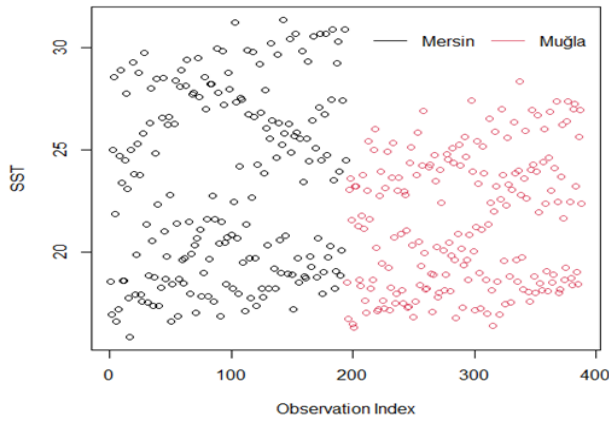


Figure 4. Index plot of SST for Mersin and Muğla.

Sea surface temperatures in Mersin were found to be approximately 5°C higher than in Muğla (Figure 4). This difference has been associated with regional factors such as geographic location, water currents, depth, and atmospheric conditions, highlighting the distinct ecological and environmental dynamics of the two regions. This warming pattern in the Mediterranean is consistent with the spatial and temporal trends reported in previous studies such as Pastor et al. (2019). Additionally, researchers such as Vargas-Yáñez et al. (2018, 2020) and Mengual et al. (2021) have confirmed the impacts of climate change on Mediterranean regions. The increasing temperatures have been suggested to positively influence the growth and harvest sizes of species like gilthead sea bream (*Sparus aurata*) and European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) (Hernández et al., 2007; Besson et al., 2016). However, the effects of temperature fluctuations on thermal stress, temperature tolerance, and growth are not yet fully understood (Bevelhimer & Bennett, 2000). Changes in SST are also thought to enhance stratification in the water column, potentially leading to more dramatic ecological and economic consequences in the long term.

3. ANALYSIS OF SEA WATER pH VARIATIONS IN THE STUDY AREAS

The changes in annual pH values for the provinces of Mersin and Muğla between 1999 and 2019 were examined. The analyses revealed that there was a decrease in pH values in the Muğla region ($<0.01/\text{year}$), while no significant trend was observed in the Mersin region (Figure 5 and Figure 6). Although fluctuations were observed across the years in both regions, the pH values generally ranged between an average of 8.05 and 8.15. Additionally, a clear seasonality was observed in both regions (Figure 6).

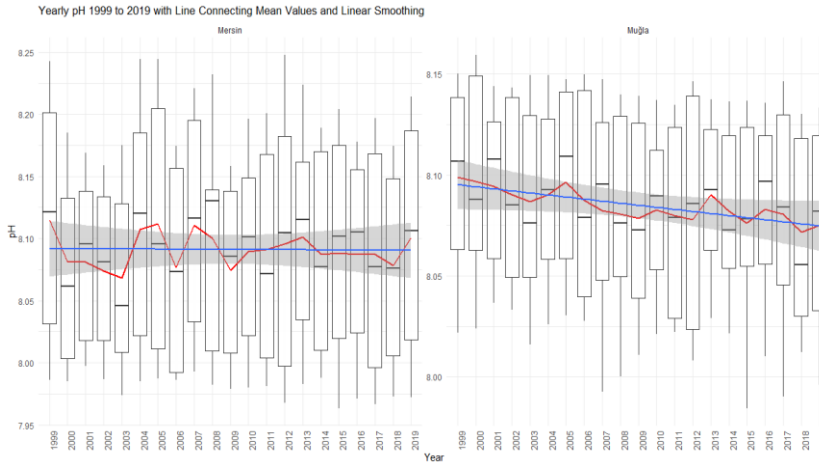


Figure 5. Displays the annual pH change in Mersin and Muğla between 1982 and 2020. The red line connects the average pH values over the years, while the blue line represents the linear trend in pH changes. The gray areas indicate the 95% confidence interval of the linear trend curve.

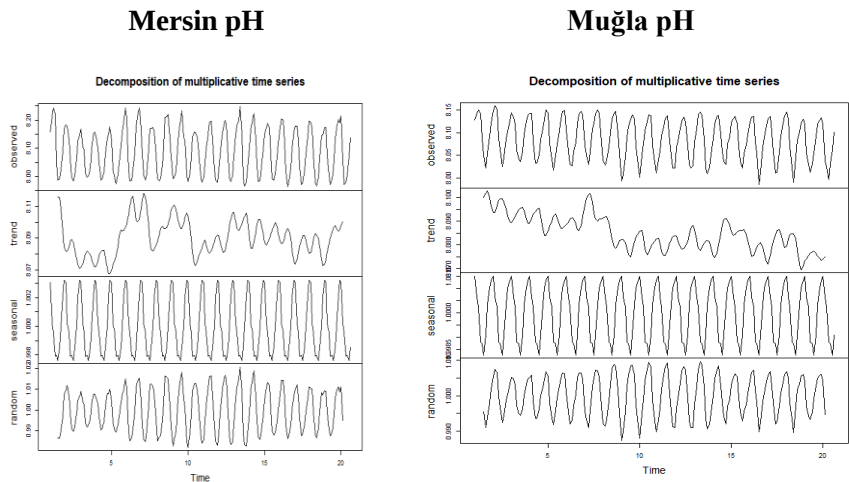


Figure 6. Decomposition of time series for pH in locations

When examining some statistics of pH values for the years 1999, 2010, and 2019 in the Mersin and Muğla regions, it is observed that the average pH values are similar. However, the variation in measurements is greater in Mersin compared to Muğla (Table 2, Figure 7).

Table 2. Mean, standard deviation (SD), and coefficient of variation (CV) of pH values by region at specific intervals.

	Mersin			Muğla		
	Mean	SD	CV (%)	Mean	SD	CV(%)
1999	8.11	0.10	1.21	8.10	0.05	0.56
2010	8.09	0.08	1.01	8.08	0.04	0.52
2019	8.10	0.09	1.16	8.08	0.05	0.62

In **Figure 7**, it is observed that pH values in Mersin are generally between 8.05-8.25 and in Muğla this range is 8.00-8.15. The significantly higher variation observed in Mersin compared to Muğla suggests that pH levels in Mersin may be more sensitive to environmental and chemical variables (notably, observations 59 and 125 in the dataset were identified as outliers during the analysis). These differences may be due to

the differences in environmental, geographical or chemical conditions in both regions.

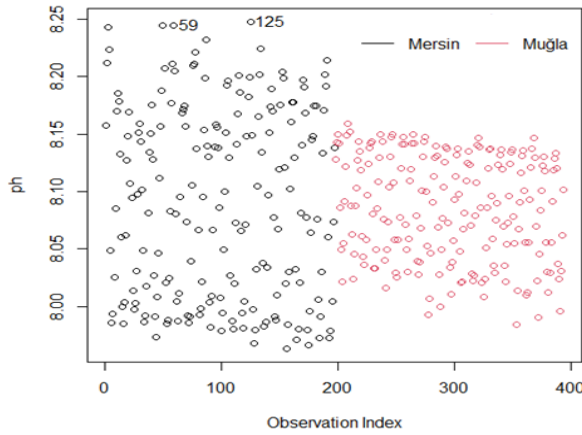


Figure 7. Index plot of pH for Mersin and Muğla.

Climate change shapes marine ecosystems by affecting not only temperature and oxygen levels but also pH. Ocean acidification refers to the long-term anthropogenic decrease in ocean pH (Richards et al., 2015; Barange et al., 2018). Oceans store approximately 50 times more CO₂ than the atmosphere (Seggel et al., 2016). Studies have shown that oceans under global warming of 1.5°C or higher have negative effects on the growth, development, survival and abundance of aquatic bells (IPCC, 2018). Accumulated CO₂ in water alters acidity levels through two mechanisms (Maulu et al., 2021).

First, an increase in water acidity can lead to a decrease in pH (Rodrigues et al., 2015; Clements & Chopin, 2016), resulting in water quality degradation and lower productivity. Second, increased acidity in oceans reduces the availability of carbonate necessary for calcification, which is critical for shell-building organisms such as shrimp, mussels, oysters, and corals (Weatherdon et al., 2016; Golam et al., 2017). This poses challenges for aquaculture production (Rodrigues et al., 2015). Higher acidity levels in seawater disrupt the transport mecha-

nisms between cells, significantly affecting the physiology and metabolism of aquatic organisms (Pörtner et al., 2004).

The pH of water is an important factor affecting fish metabolism (Shuang-Yao et al., 2018). Fish exposed to highly acidic or alkaline pH levels exhibit slower growth (Parra & Baldissarotto, 2007). Previous studies have shown that a decrease in seawater pH induces various changes in certain marine fish species. These changes have been reported to be associated with developmental processes (Kurihara, 2008; Ellis et al., 2009), metabolic processes (Munday et al., 2009), and behavioral processes (Munday et al., 2009). Similarly, an increase in pH has been reported to affect acid-base balance, ammonia excretion, and ion loss through the gills (Kwong and Perry, 2014; Ghanbari et al., 2014). Nevertheless, fish are relatively tolerant to slight increases or decreases in pH (Ishimatsu et al., 2008), which can be attributed to the critical roles of prolactin and cortisol hormones under acidic conditions (Kwong et al., 2014). Moreover, certain species have been reported to exhibit better growth in slightly acidic waters (Morgan et al., 2001; Munday et al., 2009).

The study results for Mersin and Muğla indicated no adverse trends in seawater pH values for 1999, 2010, and 2019. The observed changes in seawater pH under current conditions were found not to pose a significant threat to aquaculture in these regions. However, the long-term impacts of global climate change could disrupt the balance of aquatic ecosystems in these areas. Therefore, monitoring potential pH declines and their effects, especially on shellfish and other sensitive species, and developing appropriate adaptation strategies are crucial.

In conclusion, the effects of changes in seawater pH on aquaculture and ecosystem dynamics may show regional differences. Determining these differences will play a key role in the formation of future water management policies.

4. ANALYSIS OF DISSOLVED OXYGEN (DO) CHANGES IN SEAWATER IN THE STUDY AREAS

Annual dissolved oxygen (DO) values of Mersin and Muğla regions showed different trends between 1999-2019 (Figure 8). In Mersin, DO levels generally ranged between 6.5 and 8.0 ppm, with an average of 7 ppm, exhibiting a very slight increasing trend ($<0.001/\text{year}$). Conversely, in Muğla, DO levels fluctuated within a narrower range of 6.0 to 6.5 ppm, with an average of 6.25 ppm, showing a very slight decreasing trend ($<0.001/\text{year}$).

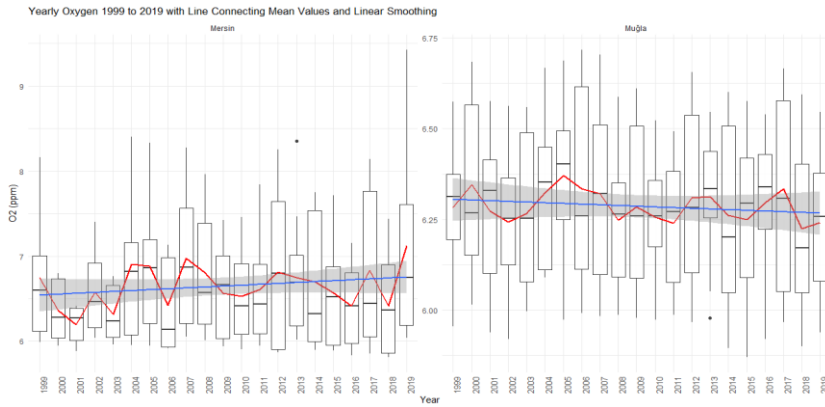


Figure 8. Annual O₂ (ppm) variations in Mersin and Muğla between 1982 and 2020.

The red line connects the average oxygen values over the years, while the blue line represents the linear trend in oxygen levels. The gray areas indicate the 95% confidence interval of the linear trend curve. The multiplicative decomposition of the time-series data for Mersin reveals both seasonal fluctuations and a long-term increasing trend in the observed total values. The trend component indicates a general increase in dissolved oxygen levels over time. The seasonal component shows regular annual fluctuations in DO values, while the random component represents unexplained short-term variations with low ampli-

tude. This analysis reflects the sensitivity of dissolved oxygen in Mersin to climatic and environmental dynamics. In contrast, for Muğla, the decomposition highlights a distinct seasonal fluctuation and a trend component showing a slight decline in DO levels. The seasonal component consistently captures periodic annual changes, demonstrating that dissolved oxygen levels vary in regular cycles. The random component points to low-amplitude, irregular changes (Figure 9).

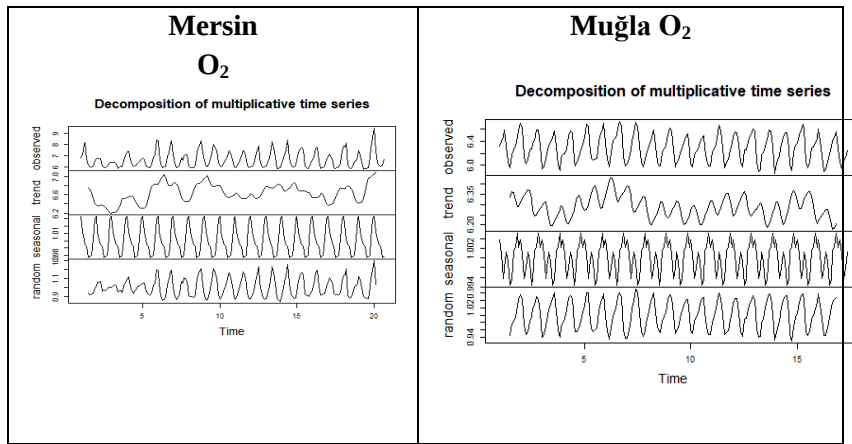


Figure 9. Decomposition of time series for O₂ in locations.

Although the average dissolved oxygen (DO) values differ only slightly between the regions, DO levels in Mersin vary within a broader range of 6 to 9 mg/L, whereas in Muğla, they are distributed within a narrower range of 6 to 7 mg/L (Table 3, Figure 10). When the coefficient of variation values are examined, it is seen that the variation between the dissolved oxygen values in Mersin in 2019 is 5 times higher than in the Muğla region. The same situation is valid for other years, although at different rates. This disparity suggests that environmental conditions in the Mersin region are more dynamic. Factors such as higher photosynthetic activity, stronger wind patterns, or more

active current systems may lead to greater water mixing in the region, contributing to the observed differences.

Table 3. Mean, standard deviation (SD), and coefficient of variation (CV) values for O₂ levels across regions at specific intervals.

	Mersin			Muğla		
	Mean	SD	CV(%)	Mean	SD	CV(%)
1999	6.75	0.78	11.57	6.28	0.19	2.95
2010	6.53	0.56	8.60	6.23	0.18	2.83
2019	7.12	1.15	16.10	6.24	0.20	3.12

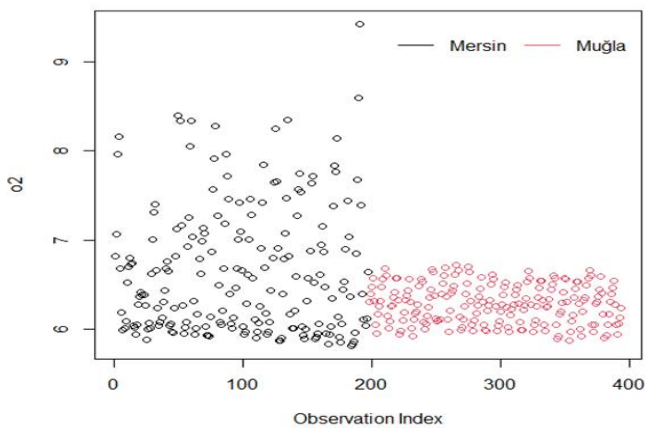


Figure 10. Index plot of dissolved oxygen for Mersin and Muğla

When assessing the effects of climate change on oceans, emphasis is typically placed on increasing sea surface temperatures (Fueglistaler & Silvers, 2021), rising sea levels (Tebaldi et al., 2021), and ocean acidification (Byrne & Hernández, 2020; Findlay & Turley, 2021). However, oxygen is a vital component for many ocean organisms and is one of the primary factors limiting marine life (Laffoley & Baxter, 2019).

Oxygen in oceans is produced only through photosynthesis at the surface and air-sea gas exchange. Once a water mass separates from the surface, oxygen levels decrease due to consumption. Oxygen deficiency, or hypoxia, refers to the reduction

of dissolved oxygen levels and has significant detrimental effects on marine ecosystems. Globally, the warming of oceans has a profound impact on the decline of dissolved oxygen. Ocean warming is estimated to account for approximately 15% of total global oxygen loss and over 50% of oxygen loss in the upper 1000 meters of the ocean. Additionally, intensified stratification, which reduces ventilation, is thought to explain the remaining 85% of global oxygen loss (Schmidtko et al., 2017; Stramma & Schmidtko, 2021).

Increasing surface temperatures (reduced solubility), reduced ventilation (due to increased stratification), and increased deep ocean respiration (due to increased surface primary production and particle flux) are the main processes leading to ocean deoxygenation (Vaquer-Sunyer and Duarte, 2008; Breitburg et al., 2018). This affects biological processes, leading to significant changes in global nitrogen and carbon cycles (IPCC, 2014).

Model simulations (1999-2019) predict a reduction in dissolved oxygen concentrations by 11.57% to 16.10%, depending on threshold values considered under global warming scenarios. The decline in dissolved oxygen levels can profoundly affect biological and biogeochemical processes, particularly depending on the oxygen tolerance of various species. The expansion of low-oxygen zones in the water column reduces vertical migration depths for certain species (e.g., tuna and swordfish), narrowing their vertical habitat and altering the distribution of fishery species (Eby & Crowder, 2002).

Dissolved oxygen is critical for the survival of bacteria, plants, fish, and other invertebrates. Low DO levels are known to disrupt growth, reproduction, and immune functions, causing physiological stress and adversely impacting ecosystem dynamics (Vaquer-Sunyer & Duarte, 2008). This makes declining oxygen levels one of the most far-reaching consequences of global warming on ocean ecosystems.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This study evaluated the effects of global warming on sea surface temperature, pH and dissolved oxygen levels in the Eastern Mediterranean (Mersin) and Western Mediterranean (Muğla) regions of Turkey. The findings indicate a long-term increase in sea surface temperatures in both regions, with the potential for significant effects on aquatic ecosystems and aquaculture. The trend of rising sea surface temperatures is more pronounced in Mersin, where higher seasonal fluctuations are also observed. Although pH changes are minimal in both regions, Muğla exhibits a noticeable pH decline trend. In terms of dissolved oxygen levels, Mersin shows a slight increase, while Muğla demonstrates a decreasing trend. These results highlight the variability of global warming's effects on marine ecosystems based on local environmental conditions. To address these findings, the following recommendations are proposed:

1. Long-Term Monitoring and Data Collection

In order to comprehensively analyze the effects of global warming and to establish sustainable management strategies, long-term monitoring studies should be conducted in regions such as Mersin and Muğla and changes in temperature, pH and dissolved oxygen levels should be recorded regularly.

2. Develop Adaptation Strategies

Developing strategies such as breeding heat-tolerant species and implementing new farming techniques to reduce the effects of increasing sea surface temperatures on aquaculture.

3. Consider Regional Differences

The study reveals significant environmental differences between Mersin and Muğla. Therefore, conservation and management policies should be designed to account for the unique environmental dynamics of each region.

4. Implement Measures Against Ocean Acidification

To mitigate the adverse effects of pH decline, particularly on shellfish, adopt measures that support marine carbonate systems and limit acidification, ensuring the sustainability of sensitive marine species.

5. Enhance Ecosystem Resilience

Increase the resilience of marine ecosystems to climate change by establishing marine protected areas, conserving habitats of vulnerable species, and implementing restoration projects to rehabilitate degraded ecosystems.

6. Collaboration Between Communities and Sectors

Cooperation mechanisms involving representatives of fisheries, aquaculture and other relevant sectors should be established and information sharing should be increased in climate change adaptation processes.

REFERENCES

- Awasthi, A., Pattnayak, K. C., Tandon, A., Sarkar, A., & Chakraborty, M. (2023). Implications of climate change on surface temperature in North Indian states: evidence from CMIP6 model ensembles. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1264757.
- Baldisserotto, B. (2011). Water pH and hardness affect growth of freshwater teleosts. *Brazilian Journal of Animal Science*, 40(1), 138-144.
- Barange, M., Bahri, T., Beveridge, M. C., Cochrane, K. L., Funge-Smith, S., & Poulain, F. (2018). Impacts of climate change on fisheries and aquaculture. *United Nations' Food and Agriculture Organization*, 12(4), 628-635.
- Bevelhimer, M., & Bennett, W. (2000). Assessing cumulative thermal stress in fish during chronic intermittent exposure to high temperatures. *Environmental Science & Policy*, 3, 211-216.
- Besson, M., Aubin, J., Komen, H., Poelman, M., Quillet, E., Vandeputte, M., ... & De Boer, I. J. M. (2016). Environmental impacts of genetic improvement of growth rate and feed conversion ratio in fish farming under rearing density and nitrogen output limitations. *Journal of cleaner production*, 116, 100-109.
- Brander, K. M. (2007). Global fish production and climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19709-19714.
- Breitburg, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., ... & Zhang, J. (2018). Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 359(6371), eaam7240.

- Byrne, M., & Hernández, J. C. (2020). Sea urchins in a high CO₂ world: impacts of climate warming and ocean acidification across life history stages. In *Developments in aquaculture and fisheries science* (Vol. 43, pp. 281-297). Elsevier.
- Callaway, R., Shinn, A. P., Grenfell, S. E., Bron, J. E., Burnell, G., Cook, E. J., ... & Shields, R. J. (2012). Review of climate change impacts on marine aquaculture in the UK and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(3), 389-421.
- Cheung, W. W., Lam, V. W., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., & Pauly, D. (2010). Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Change Biology*, 16(1), 24-35.
- Clements, J. C., & Chopin, T. (2017). Ocean acidification and marine aquaculture in North America: potential impacts and mitigation strategies. *Reviews in Aquaculture*, 9(4), 326-341.
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Annual review of marine science*, 1(1), 169-192.
- Eby, L. A., & Crowder, L. B. (2002). Hypoxia-based habitat compression in the Neuse River Estuary: context-dependent shifts in behavioral avoidance thresholds. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 59(6), 952-965.
- Ellis, R. P., Bersey, J., Rundle, S. D., Hall-Spencer, J. M., & Spicer, J. I. (2009). Subtle but significant effects of CO₂ acidified seawater on embryos of the intertidal snail, *Littorina obtusata*. *Aquatic Biology*, 5(1), 41-48.

- Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., & Orr, J. C. (2008). Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*, 65(3), 414-432.
- Findlay, H. S., & Turley, C. (2021). Ocean acidification and climate change. In *Climate change* (pp. 251-279). Elsevier.
- Fox, J. (2005) The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9): 1–42.doi: [10.18637/jss.v014.i09](https://doi.org/10.18637/jss.v014.i09).
- Fueglistaler, S., & Silvers, L. G. (2021). The peculiar trajectory of global warming. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 126(4), e2020JD033629.
- Ghanbari, M., Jami, M., Domig, K. J., & Kneifel, W. (2012). Long-term effects of water pH changes on hematological parameters in the common carp (*Cyprinus carpio* L.). *African Journal of Biotechnology*, 11(13), 3153-3159.
- Golam, K., Haroon Yousuf, A. K., & Dayanthi, N. (2017). Climate change impacts on tropical and temperate fisheries, aquaculture, and seafood security and implications-A review. *Livestock Research for Rural Development*, 29, 1-29.
- Hoegh-Guldberg, O., Mumby, P. J., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., ... & Knowlton, N. (2007). Coral reefs under rapid climate change and ocean acidification. *Science*, 318(5857), 1737-1742.
- Hu, N., Yu, Z., Huang, Y., Liu, D., Wang, F., & Zhang, T. (2021). Elevated temperatures increase growth and enhance foraging performances of a marine gastropod. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 177-188.

- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2018). Global Warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Geneva: ipcc.
- Ishimatsu, A., Hayashi, M., & Kikkawa, T. (2008). Fishes in high-CO₂, acidified oceans. *Marine Ecology Progress Series*, 373, 295-302.
- Kayhan, F. E., Kaymak, G., Tartar, Ş., Akbulut, C., Esmer, H. E., & Ertuğ, N. D. Y. (2015). Küresel ısınmanın balıklar ve deniz ekosistemleri üzerine etkileri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 31(3), 128-134.
- Klinger, D. H., Levin, S. A., & Watson, J. R. (2017). The growth of finfish in global open-ocean aquaculture under climate change. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284(1864), 20170834.
- Koçoğlu, E., & Gökalp, L. (2021). Türkiye'de küresel ısınma alanında yapılan lisansüstü tezlerin analizi: Bir meta sentez çalışması. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 26(46), 129-142.
- Kurihara, H. (2008). Effects of CO₂-driven ocean acidification on the early developmental stages of invertebrates. *Marine Ecology Progress Series*, 373, 275-284.
- Kwong, R. W., Kumai, Y., & Perry, S. F. (2014). The physiology of fish at low pH: the zebrafish as a model system. *Journal of Experimental Biology*, 217(5), 651-662.

- Laffoley, D., & Baxter, J. M. (2019). *Ocean deoxygenation: Everyone's problem: Causes, impacts, consequences and solutions: Summary for Policy Makers*. International Union for Conservation of Nature (IUCN).
- Mengual, I. L., Sanchez-Jerez, P., & Ballester-Berman, J. D. (2021). Offshore aquaculture as climate change adaptation in coastal areas: sea surface temperature trends in the Western Mediterranean Sea. *Aquaculture Environment Interactions*, 13, 515-526.
- Maulu, S., Hasimuna, O. J., Haambiya, L. H., Monde, C., Musuka, C. G., Makorwa, T. H., ... & Nsekanabo, J. D. (2021). Climate change effects on aquaculture production: sustainability implications, mitigation, and adaptations. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 609097.
- Morgan, I. J., McDonald, D. G., & Wood, C. M. (2001). The cost of living for freshwater fish in a warmer, more polluted world. *Global Change Biology*, 7(4), 345-355.
- Munday, P. L., Crawley, N. E., & Nilsson, G. E. (2009). Interacting effects of elevated temperature and ocean acidification on the aerobic performance of coral reef fishes. *Marine Ecology Progress Series*, 388, 235-242.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517-1520.
- Oliver, E. C., Donat, M. G., Burrows, M. T., Moore, P. J., Smale, D. A., Alexander, L. V., ... & Holbrook, N. J. (2018). Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nature Communications*, 9(1), 1-12.
- Oschlies, A., Brandt, P., Stramma, L., & Schmidtko, S. (2018). Drivers and mechanisms of ocean deoxygenation. *Nature Geoscience*, 11(7), 467-473.

- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669.
- Pastor, F., Valiente, J. A., & Palau, J. L. (2019). Sea surface temperature in the Mediterranean: Trends and spatial patterns (1982–2016). *Meteorology and climatology of the Mediterranean and Black Seas*, 297-309.
- Pörtner, H. O., Karl, D. M., Boyd, P. W., Cheung, W. W., Lluich-Cota, S. E., Nojiri, Y., ... & Schmidt, D. N. (2014). Ocean systems. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 411-484). Cambridge University Press.
- Pörtner, H. O., Langenbuch, M., & Reipschläger, A. (2004). Biological impact of elevated ocean CO₂ concentrations: lessons from animal physiology and earth history. *Journal of oceanography*, 60, 705-718.
- Ramamasy, S., & Baas, S. (2007). ‘Understanding Climate Variability and Climate Change. Climate Variability and Change: Adaptation to Drought in Bangladesh: A Resource Book and Training Guide, 5.
- Reid, E. C., Lentz, S. J., DeCarlo, T. M., Cohen, A. L., & Davis, K. A. (2020). Physical processes determine spatial structure in water temperature and residence time on a wide reef flat. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 125(12), e2020JC016543.

- Richards, R. G., Davidson, A. T., Meynecke, J. O., Beattie, K., Hernaman, V., Lynam, T., & van Putten, I. E. (2015). Effects and mitigations of ocean acidification on wild and aquaculture scallop and prawn fisheries in Queensland, Australia. *Fisheries research*, 161, 42-56.
- R Core Team (2022). *R: A Language and environment for statistical computing*. (Version 4.1) [Computer software]. Retrieved from <https://cran.r-project.org>. (R packages retrieved from CRAN snapshot 2023-04-07).
- Rodrigues, L. C., Van den Bergh, J. C., Massa, F., Theodorou, J. A., Ziveri, P., & Gazeau, F. (2015). Sensitivity of Mediterranean bivalve mollusc aquaculture to climate change, ocean acidification, and other environmental pressures: findings from a producer survey. *Journal of Shellfish Research*, 34(3), 1161-1176.
- Sanz-Latorre, M., Soto, M., Izagirre, U., & Lekube, X. (2025). Effects of water temperature on growth, health and digestive processes of the thicklip grey mullet *Chelon labrosus*. *Aquaculture*, 595, 741537.
- Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, 542(7641), 335-339.
- Seggel, A., De Young, C., and Soto, D. (2016). Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture: Summary of the Findings of the Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report. FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1122. Rome: FAO.

- Shuang-Yao, W., JIANG, Z. Q., Ming-Guang, M., Shou-Kang, M., Yang, S., & You-Zhen, S. (2018). Effects of seawater pH on survival, growth, energy budget and oxidative stress parameters of juvenile turbot *Scophthalmus maximus*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 17(4), 675-689.
- Stramma, L., & Schmidtko, S. (2021). Spatial and temporal variability of oceanic oxygen changes and underlying trends. *Atmosphere-Ocean*, 59(2), 122-132.
- The jamovi project (2023). *jamovi*. (Version 2.4) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.
- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., ... & Ziehn, T. (2021). Climate model projections from the scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*, 12(1), 253-293.
- Vaquer-Sunyer, R., & Duarte, C. M. (2008). Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(40), 15452-15457.
- Venegas, R. M., Acevedo, J., & Treml, E. A. (2023). Three decades of ocean warming impacts on marine ecosystems: A review and perspective. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 212, 105318.
- Weatherdon, L. V., Magnan, A. K., Rogers, A. D., Sumaila, U. R., & Cheung, W. W. (2016). Observed and projected impacts of climate change on marine fisheries, aquaculture, coastal tourism, and human health: an update. *Frontiers in Marine Science*, 3, 48.

- Wernberg, T., Bennett, S., Babcock, R. C., De Bettignies, T., Cure, K., Depczynski, M., ... & Wilson, S. (2016). Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*, 353(6295), 169-172.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., ... & Watson, R. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314(5800), 787-790.

INNOVATIVE BAROTRAUMA TREATMENT RE- SEARCHES IN FISHERIES

Emrah ŞİMŞEK¹

Sevil DEMİRCİ²

1. INTRODUCTION

In fishing activities, species that have low economic value, are below the legal catch size, or are endangered are called "unwanted catches" (discards). Discard rates are considered important indicators of sustainable fishing practices and ecosystem health. The safe release of these species back into the sea is prioritized, especially for endangered species. However, in some cases, these species need to be kept alive, such as for breeding programs or the aquarium trade (Kelleher, 2005).

Reducing or minimizing unwanted catch rates is a main goal for sustainable fishing. Selective fishing tools are used to achieve this. For example, net mesh sizes are adjusted to prevent the capture of unwanted species and small fish, which helps protect marine ecosystems (Catchpole & Gray, 2010). Fishing methods that do not damage the seabed are also preferred to protect sensitive ecosystems.

¹ PhD, Associate Professor Department of Marine Technology, Faculty of Marine Science and Technology, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: emrah.simsek@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7066-2534

² PhD, Associate Professor Department of Marine Technology, Faculty of Marine Science and Technology, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: sevil.demirci@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0003-4229-6236

Recent studies have shown that barotrauma has serious effects on fish health and survival. Barotrauma is caused by rapid pressure changes, which result in the expansion of gas-filled structures like swim bladders. This condition causes displacement of internal organs, bulging eyes (exophthalmos), and tissue damage. It is seen most often in fish brought quickly from deep waters to the surface (Kristiansen et al., 2020).



Figure 1. The Position of the Swim Bladder and Other Organs in Fish

In this study, the effects of barotrauma and innovative treatment methods to reduce its impact will be discussed. In areas like İskenderun Bay, where biodiversity is high and fishing activities are intense, reducing barotrauma effects is very important for sustainable fisheries management.

2. THE IMPORTANCE OF BAROTRAUMA IN FISHING LOSSES

Barotrauma is considered a significant factor contributing to fish mortality and fishing losses. When fish are brought rapidly to the surface from deep waters, the pressure surrounding them decreases, causing the gas in their swim bladder to expand. This rapid expansion leads to physical injuries, including organ displacement, bulging eyes (exophthalmos), and stomach eversion (Kristiansen et al., 2020). Such injuries often prevent fish from swimming properly, escaping predators, or returning to their natural habitats, which significantly increases their mortality rates (Brown et al., 2009; Drumhiller et al., 2014).

In commercial fisheries, barotrauma often results in **high discard rates**. Fish that suffer severe damage are considered unusable and are discarded, contributing to economic losses and resource waste (Eberts et al., 2018). For example, studies on bottom trawl fisheries have shown that a large portion of the bycatch suffers from barotrauma and does not survive release, especially when no mitigation techniques are applied (Demirci & Bayraktar, 2019).

The severity of barotrauma depends on factors such as **capture depth**, species characteristics, and the handling methods used. Fish captured from greater depths show more severe barotrauma symptoms and experience higher mortality rates (Ferber et al., 2015; Hughes et al., 2019). For example, fish caught at depths over 30 meters often exhibit ruptured swim bladders, tissue damage, and reduced survival (Hannah et al., 2014). Studies have demonstrated that proper techniques, such as using **descending devices** or **venting needles**, can significantly reduce mortality by allowing fish to recover in their natural pressure environment (Madden, 2024; Drumhiller et al., 2014).

Addressing barotrauma through effective mitigation strategies is critical for reducing **economic losses** and preserving fish populations. By applying appropriate techniques, the survival of released fish can be improved, contributing to more sustainable fishing practices and healthier ecosystems (Eberts & Somers, 2017; Cook et al., 2018).

3. TREATMENT METHODS FOR BAROTRAUMA

Barotrauma treatment methods aim to mitigate the physical injuries and physiological stress experienced by fish when they are brought rapidly to the surface from deep waters. The two most widely studied approaches to address barotrauma are **venting (gas release)** and **descending devices**, with each method presenting distinct advantages and challenges. Studies across various species and conditions have explored their effectiveness, providing valuable insights for both commercial and recreational fisheries.

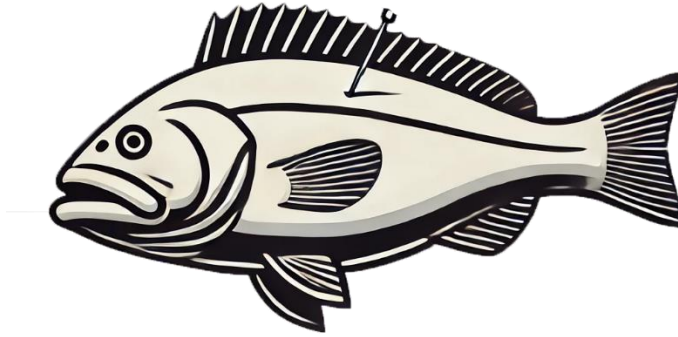


Figure 2. The Venting Procedure: Gas Release from the Swim Bladder of a Barotrauma-Affected Fish

Venting is one of the earliest methods used to treat barotrauma. It involves releasing excess gas from the fish's swim bladder using a sharp tool, such as a hypodermic needle. This technique reduces buoyancy issues and allows the fish to regain control of its swimming ability. Madden (2024) demonstrated that venting was effective in addressing immediate symptoms of barotrauma in species like **walleye** (*Sander vitreus*) and **small-mouth bass** (*Micropterus dolomieu*). However, improper venting techniques can damage the swim bladder or internal organs, leading to long-term complications. Eberts et al. (2018) reported

that although venting restored short-term buoyancy in fish, movement and depth utilization were limited compared to other methods, indicating that venting may not fully resolve the physiological effects of barotrauma.

Descending devices, in contrast, are designed to return fish to deeper water where the gas inside their swim bladders can naturally compress under ambient pressure. This method is non-invasive and avoids the risks associated with puncturing the swim bladder. Studies have shown that descending devices significantly improve fish survival rates compared to venting. Demirci and Bayraktar (2019) tested several fish release devices, including the **Fish Release Hook (FRH)**, **Fish Release Clamp (FRC)**, and **Fish Release Basket (FRB)**, in İskenderun Bay. The Fish Release Basket achieved a 100% success rate in alleviating barotrauma symptoms when fish were returned to depths of 28 meters. Similar success was observed with the Fish Release Clamp and Hook, provided that proper weights were used to prevent fish from resurfacing.

Comparative research highlights the greater effectiveness of descending devices in treating severe barotrauma. Eberts and Somers (2017) conducted a meta-analysis across multiple species and concluded that both venting and descending devices increased survival rates, but descending methods offered more consistent outcomes. For deep-water species, such as **red snapper** (*Lutjanus campechanus*), venting was shown to be effective in reducing short-term mortality, but descending devices were more successful in ensuring long-term recovery, particularly when fish were released at sufficient depths (Drumhiller et al., 2014). Ferter et al. (2015) further demonstrated that Atlantic cod (*Gadus morhua*) returned to capture depths using descending devices experienced 0% mortality over 72 hours, compared to high mortality rates in untreated fish.

The severity of barotrauma and the choice of treatment method are heavily influenced by factors such as **capture depth**, fish species, and handling time. Fish caught from deeper waters experience greater pressure changes, leading to more severe injuries such as swim bladder ruptures, tissue hemorrhaging, and organ displacement (Hughes et al., 2019; Brown et al., 2009). For instance, Hughes et al. (2019) observed mortality rates exceeding 50% in **mulloway** (*Argyrosomus japonicus*) caught at depths of 50 meters, even with treatment. Similarly, Rankin et al. (2017) noted that deep-water species like **yelloweye rockfish** (*Sebastes ruberrimus*) exhibited persistent internal injuries despite successful recompression. These findings emphasize the importance of handling fish quickly and returning them to depth as soon as possible.

While descending devices are generally favored for their non-invasive approach, challenges remain in their widespread implementation. Proper equipment and weight selection are crucial for the success of descending devices. In some cases, fish treated with descending methods resurfaced due to insufficient weights, as reported by Demirci and Bayraktar (2019). On the other hand, venting requires training and precision to prevent further harm, making it less practical for amateur fishers. Madden (2024) highlighted the need for proper education and training to ensure venting is performed correctly and safely.

Recent technological innovations offer promising solutions for barotrauma treatment. Automated descending devices and **fish-friendly turbines** in hydroelectric facilities have been proposed to minimize barotrauma-related injuries during fish passage (Pracheil et al., 2016). Additionally, hyperbaric chambers used in experimental studies have provided controlled environments to simulate decompression and test treatment methods under realistic conditions (Drumhiller et al., 2014; Hughes et al., 2019).

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

Barotrauma is a serious physiological condition that occurs when fish are rapidly brought to the surface from deep waters. It is characterized by the expansion of the swim bladder, displacement of internal organs, and bulging of the eyes. It significantly affects the survival rate of fish and disrupts their natural behavior. In commercial fishing, many fish species suffer from barotrauma when quickly brought to the surface from greater depths. Therefore, the methods used to treat barotrauma are critical in reducing mortality rates and improving the welfare of fish. Two commonly studied treatment methods are gas release (venting) and returning the fish to deeper waters (descending).

Research has shown that the most effective treatment for barotrauma depends directly on the depth from which the fish is caught and the method used to treat it. Madden (2024) found that returning fish to their original depth, or "descending," is the most effective way to mitigate the effects of barotrauma. This method works by returning the fish to its natural pressure environment, allowing the gas in the swim bladder to adjust back to its normal level. As a result, descending reduces the physiological stress caused by rapid decompression and increases the chances of fish surviving after release. However, the effective-

ness of descending depends on the equipment used and the depth at which the fish was caught.

In a study conducted in İskenderun Bay, Demirci and Bayraktar (2019) observed that when fish were returned to depths of 28 meters, their barotrauma symptoms were significantly alleviated. This finding demonstrates the effectiveness of returning fish to deeper depths. If a fish can be safely returned to a depth of 25-30 meters, this is considered the most effective solution. This depth closely mimics the fish's natural environment, allowing the swim bladder to adjust, minimizing internal organ damage, and promoting recovery. This treatment also helps the fish regain its natural behavior and increases its chances of survival.

However, it is not always feasible to return fish to such depths, especially in recreational fishing or when the proper equipment is not available. In such cases, the descending method remains a valuable alternative. Nonetheless, it is crucial that the equipment is used correctly, and appropriate weights are selected. Improper weight selection can cause the fish to resurface, which would worsen its condition and undermine the treatment.

Gas release (venting) is another treatment method. However, this method is generally more controversial. Gas release involves removing excess gas from the swim bladder using a needle. While it can temporarily help the fish sink back into the water, improper application or use by inexperienced individuals can further harm the fish. Madden (2024) and Drumhillier et al. (2014) highlighted that gas release might have long-term negative effects on the fish's swim bladder function. While it provides a temporary solution to buoyancy issues, it does not address the underlying problem and may not ensure full recovery of the fish's behavior. For this reason, descending is generally considered a safer and more effective alternative.

The depth at which a fish is caught plays a crucial role in determining the most appropriate treatment method. Studies by Cook et al. (2018) and Rankin et al. (2017) found that fish caught from depths greater than 30 meters show more severe barotrauma symptoms. These fish require more careful handling and treatment. Descending is particularly effective for deep-caught fish to reduce barotrauma effects and ensure their safe release.

In conclusion, the most effective treatment for barotrauma depends on the depth at which the fish is caught and the conditions in which treatment is applied. If the fish can be returned to a depth of 25-30 meters, this is the optimal solution, as it closely mirrors the fish's natural pressure environment. However, when returning the fish to such depths is not possible, gas release (venting) remains a viable alternative. This method minimizes the effects of barotrauma by safely returning the fish to deeper waters. The success of both methods depends on the correct use of equipment and techniques.

REFERENCES

- Alverson, D. L., Freeberg, M. H., Murawski, S. A., & Pope, J. G. (1994). A global assessment of fisheries bycatch and discards. *FAO Fisheries Technical Paper* No. 339.
- Catchpole, T. L., & Gray, T. S. (2010). Reducing discards of fish at sea: A review of European pilot projects. *Journal of Environmental Management*, 91(3), 717–723. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.035>
- Demirci, A. (2003). Non-target demersal species inhabiting İskenderun Bay and their biomass estimation (Master's thesis). Mustafa Kemal University, Antakya, Turkey.
- Demirci, A., & Bayraktar, O. (2019). Barotrauma treatment performance of fish release devices and its effects on fishing operations. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 36(2), 145–154. <https://doi.org/10.12714/egejfas.2019.36.2.06>
- Drumhiller, K. L., Johnson, M. W., Diamond, S. L., Robillard, M. M. R., & Stunz, G. W. (2014). Venting or rapid recompression increase survival and improve recovery of red snapper with barotrauma. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 6(1), 190–199. <https://doi.org/10.1080/19425120.2014.920746>
- Eberts, R. L., Zak, M. A., Manzon, R. G., & Somers, C. M. (2018). Walleye responses to barotrauma relief treatments for catch-and-release angling: Short-term changes to condition and behavior. *Journal of Fish and Wildlife Management*, 9(2), 415–430. <https://doi.org/10.3996/112017-JFWM-096>
- Eberts, R. L., & Somers, C. M. (2017). Venting and descending provide equivocal benefits for catch-and-release survival: Study design influences effectiveness more than barotrauma relief method. *North American Journal of Fisheries Management*, 37(3), 612–623. <https://doi.org/10.1080/02755947.2017.1307292>

- Ferter, K., Weltersbach, M. S., Humborstad, O. B., Fjellidal, P. G., Sambraus, F., Strehlow, H. V., & Vølstad, J. H. (2015). Dive to survive: Effects of capture depth on barotrauma and post-release survival of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in recreational fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(8), 2467–2481. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsv102>
- Hughes, J. M., Stewart, J., & Collins, D. (2019). Simulated catch-and-release using experimental hyperbaric chamber trials reveal high levels of delayed mortality due to barotrauma in mulloway (*Argyrosomus japonicus*). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 516, 89–102. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.05.001>
- Kristiansen, T. S., Fernö, A., Pavlidis, M. A., & van de Vis, H. (Eds.). (2020). *The welfare of fish*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-20819-2>
- Madden, D. (2024). Comparative study of venting and descending methods for freshwater fish. *Fisheries Science Journal*, 42(1), 55–65.
- Tsagarakis, K., Palialexis, A., & Vassilopoulou, V. (2014). Mediterranean fisheries: Bycatch and discards. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(1), 121–131. <https://doi.org/10.1007/s11160-013-9310-6>
- Yemişken, E., Dalyan, C., & Eryılmaz, L. (2014). Catch and discard fish species of trawl fisheries in the İskenderun Bay (North-eastern Mediterranean) with emphasis on Lessepsian and Chondrichthyan species. *Mediterranean Marine Science*, 15(2), 380–389. <https://doi.org/10.12681/mms.538>

THE USE OF ALGAE AS A FEED INGREDIENT IN AQUACULTURE WITHIN THE SCOPE OF ONE HEALTH¹

Metin YAZICI²

Mehmet NAZ³

Yavuz MAZLUM⁴

5. INTRODUCTION

Algae, a diverse group of photosynthetic eukaryotic organisms, have been utilized by humans for over 14,000 years. However, significant scientific exploration into their potential began only in the mid-20th century (Saritaş et al., 2024; Silva et al., 2024). These organisms, ranging from large seaweeds and kelps to microscopic microalgae, thrive by harnessing carbon dioxide, light, and essential nutrients. Algae play a pivotal role in "blue foods" within global aquaculture systems, thereby contributing to food security and sustainable development. Recent studies increasingly focus on the bioactive compounds found in both macro- and microalgae, recognizing their potential health benefits (Chen et al., 2024).

¹ Kitap bölümünün tez, bildiri gibi çalışmalardan üretilmiş olması halinde bu durum burada açıklanmalıdır. 9 punto ve 1 satır aralığında yazılmalıdır.

² Dr. Öğr. Üyesi Metin Yazıcı, İskenderun teknik Üniversitesi/Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi/Su Ürünleri Yetiştiriciliği, e-mail: metin.yazici@iste.edu.tr ORCID: 0000-0000-0000-0000.

³ Doç.Dr. Mehmet Naz, İskenderun teknik Üniversitesi/Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi/Su Ürünleri Yetiştiriciliği, e-mail: mehmet.naz@iste.edu.tr , 0000-0002-5129-8498Doç.Dr. Mehmet Naz, İskenderun teknik Üniversitesi/Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi/Su Ürünleri Yetiştiriciliği, e-mail: mehmet.naz@iste.edu.tr , 0000-0002-5129-8498

⁴ Prof.Dr. Yavuz mazlum, İskenderun teknik Üniversitesi/Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Fakültesi/Su Ürünleri Yetiştiriciliği, e-mail: yavuz.mazlum@iste.edu.tr, 0000-0002-9547-0966.

Algae have diverse applications, from ancient uses in food, medicine, and fertilizer to modern efforts promoting sustainability. They are rich source of essential nutrients such as minerals, vitamins, and fiber, and have been linked to improved health and digestion, offering alignment with global sustainability goals (Vijayaram et al., 2024). Marine ecosystems host a wide variety of algae species, with around 1,800 brown, 6,200 red, and 1,800 green algae species, and red algae being the most diverse (Pereira, 2021). Historically, algae have been valued in cultures worldwide for their nutritional and medicinal properties. For example, macroalgae have been consumed since 500 B.C. in China, while microalgae such as *Arthrospira* were used by the Aztecs and in Africa (Paz-Montelongo et al., 2024).

In recent years, the healthcare sector has also begun adopting algae-based products as part of sustainable practices, reducing environmental impacts while promoting public and planetary health (Pereira, 2024). The global production of algae reached 38 million tonnes (wet weight) in 2022, with aquaculture accounting for 97% of this production. Asia continues to lead in algae production, with China contributing 60%, followed by Indonesia, South Korea, and the Philippines. In addition, microalgae production in inland aquaculture reached 102,753 tonnes in 2022, with red algae representing 55.8% and brown algae 43.8% (FAO, 2024).

The increasing use of algae as a feed ingredient in aquaculture within the One Health framework highlights its role in promoting sustainable food production systems. While this approach recognizes the interconnectedness of human, animal, and environmental health, this study will specifically focus on the effects on aquatic organisms and environmental health, excluding human impacts.

6. ONE HEALTH IN AQUACULTURE

The concept of One Health, which gained prominence during the 2003–2004 SARS outbreak and the H5N1 avian influenza epidemic, highlights the intrinsic interconnection between human, animal, and environmental health. It underscores the importance of multidisciplinary collaboration in addressing zoonotic diseases and public health challenges.

Extending beyond traditional focuses on livestock and wildlife, One Health Aquaculture integrates sustainable practices to enhance productivity while mitigating ecological and public health risks, promoting responsible food production amid global challenges (Mattoo and Maqsood, 2023) (**Figure 1**).

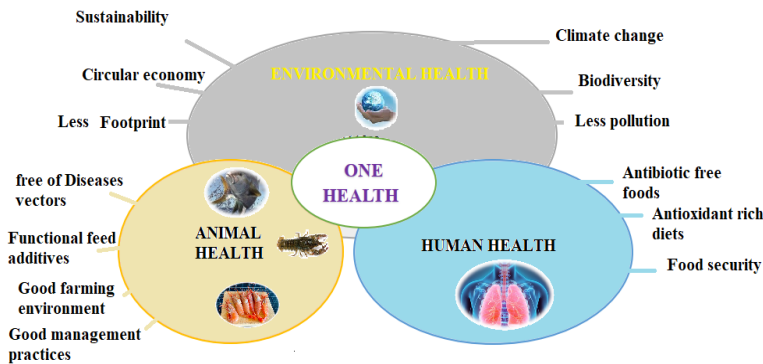


Figure1: Advancing One Health: Enhancing Human, Animal, and Environmental Health

The One Health paradigm represents a transformative shift aimed at improving health outcomes through fostering advancements in biomedical research, strengthening public health systems, expanding scientific knowledge, and advancing medical education and practice (Monath et al., 2010). When integrated thoughtfully into aquaculture practices, the One Health approach has the potential to enhance the health and sustainability of aquatic ecosystems, ensuring the well-being of both aquatic

species and human populations. In addition to safeguarding a healthier and more resilient future for coming generations, this cooperative framework can preserve and enhance lives today.

6.1. Benefits Of One Health Aquaculture

Aquaculture, initially characterized by low inputs and small-scale operations, expanded rapidly in response to 20th-century population growth and depletion wild fish stocks, becoming a crucial source of high-quality protein and income. However, the global intensification of aquaculture, particularly in Asia, involves high stocking densities and the extensive use of antibiotics, pesticides, metals, and untreated animal and human excreta. These practices have raised significant concerns about food safety and human health, including exposure to antibiotic residues, resistant bacteria, contaminants, and pathogens (Sapkota et al., 2008). The One Health approach is a vital framework that offers potential benefits to the aquaculture sector by addressing various dimensions, including environmental health, the health of aquatic organisms, and human health (**Figure 2**). This integrated approach is considered essential for developing a more resilient, sustainable, and consumer-focused aquaculture system that can effectively withstand global crises like the recent COVID-19 pandemic. Both micro and macro algae offer important opportunities in solving these emerging problems.

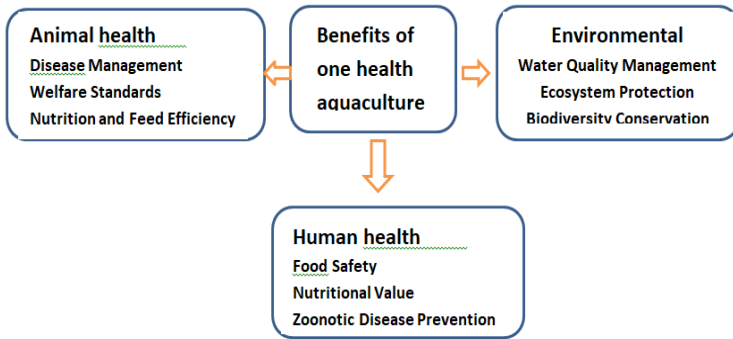


Figure 2: Advantages of One Health Aquaculture for Sustainability and Health

7. IMPACTS OF ALGAE ON ENVIRONMENTAL HEALTH IN AQUACULTURE: A ONE HEALTH PERSPECTIVE

Poor aquaculture practices lead to issues like eutrophication, pollution, and habitat disruption, fostering harmful microbes. One Health Aquaculture advocates for sustainable management to protect ecosystems by conserving biodiversity and reducing pollution. Ecosystem-based approaches, such as integrated multi-trophic aquaculture, recycle waste between species, promoting a balanced and sustainable system. (Mattoo and Maqsood, 2023). Algae, particularly, macroalgae offers a sustainable alternative to conventional feed ingredients like corn and soybeans, reducing competition with food and biofuel industries. Its cultivation is resource-efficient, requiring less freshwater and arable land. Additionally, macroalgae helps mitigate nutrient pollution and eutrophication by absorbing excess nitrogen and phosphorus from aquatic systems (Gonzalez-Meza et al., 2023).

7.1. Macroalgae in Aquaculture and Bioremediation

Macroalgae provide significant environmental and economic benefits in aquaculture, particularly as biofilters in integrated multitrophic aquaculture (IMTA) systems. These systems improve water efficiency and quality by utilizing macroalgae to absorb excess nutrients from aquaculture wastewater (Mawi et al., 2020). Their role in carbon sequestration helps mitigate climate change and ocean acidification, supporting healthier marine ecosystems and contributing to carbon neutrality. Macroalgae also serve as a sustainable feedstock for bio-renewable energy, aligning with the United Nations Sustainable Development Goals by reducing dependency on fossil fuels and promoting the sustainable use of marine resources (Gao and Beardall, 2022). Recognized as environmentally friendly, safe, and cost-effective, the application of macroalgae in aquaculture advances sustainability while maintaining economic viability (Vijayaram et al., 2024).

One significant advantage of using macroalgae in wastewater bioremediation is the potential to recover biomass, which can be converted into valuable bioproducts such as alginate, agar, and carrageenan (Ahmad et al., 2022; FAO, 2024). Macroalgal biomass is widely utilized across industries, including food, pharmaceuticals, cosmetics, biofuels, bioplastics, and fertilizers, highlighting its versatility (FAO, 2024). Furthermore, macroalgae play a critical role in the circular economy by reducing nutrient loads in wastewater and contributing to food security (Kotta et al., 2022). Central to the circular economy is the principle of reusing and recycling natural resources, which helps minimize environmental, energy, and health impacts (Dini, 2023).

7.1.1. Bioremediation in Aquaculture

The aquaculture sector is one of the fastest-growing industries globally. Bioremediation plays a vital role in nitrification and denitrification processes, contributing to the overall health of the aquaculture ecosystem. It enhances primary productivity, which in turn stimulates aquaculture production. Factors influencing bioremediation efficiency include algal species, pH, temperature, oxygen levels, alkalinity, and salinity (Elchhelwar et al., 2020).

Macroalgae are particularly effective as a cost-efficient and environmentally friendly solution for bioremediation. As they grow, macroalgae simultaneously remove nitrates and phosphates from aquaculture wastewater (Henriques et al., 2017). An optimal macroalgae species for wastewater bioremediation should exhibit rapid growth, high nutrient absorption rates, adaptability to environmental conditions, and availability from local communities (Sivakumar et al., 2012; Nhat et al., 2018).

Research underscores the advantages of bioremediation in maintaining water quality in aquaculture ponds (Jasmin et al., 2020). Ahmad et al. (2022) highlighted its potential as a low-cost, sustainable, and ecologically safe method. Innovations like the two-step algal pond system have been proposed to optimize algae's bioremediation role in aquaculture wastewater (Aquilino et al., 2020). For marine aquaculture effluents, integrating salt-tolerant extractive species is essential. For instance, halophyte plants like *Sarcocornia ambigua* and *Sarcocornia neei* have demonstrated high nutrient absorption capabilities (Beyer et al., 2021).

7.2. Ecological Considerations

Untreated aquaculture wastewater should not be discharged directly into natural water bodies, as it can lead to eutrophication.

cation (Elchelwar et al., 2020). Effective wastewater management is crucial to mitigate these environmental impacts. Aquaculture systems release high concentrations of nitrogen (N) and phosphorus (P), which are the primary drivers of eutrophication. Globally, 50–80% of aquaculture wastewater is discharged into water bodies, contributing to nutrient pollution and expanding eutrophic zones (Andreotti et al., 2017; Racine et al., 2021). Macroalgae serve as natural phytoremediators in coastal ecosystems, efficiently removing nitrogen and phosphorus from the water. This capability enhances water quality and mitigates nutrient pollution, making macroalgae a valuable tool for ecosystem restoration and management (Arumugam et al., 2018).

7.3. Nutrients in Aquaculture Wastewater

Aquaculture water can be classified as freshwater, brackish, or saltwater based on salinity. Nitrogenous compounds, such as ionized ammonia and nitrite, are hazardous in freshwater systems, with their toxicity increasing at higher pH and temperatures (Krishnani et al., 2019). Most wastewater contains more nitrogen than phosphorus. Nitrogen and phosphorus are critical for primary productivity and fish growth, yet excessive concentrations disrupt ecological balance, causing eutrophication (Sugiyama, 2018).

Sulfur, primarily present as sulfate, is another essential element. Under anaerobic conditions, it can form toxic hydrogen sulfide, which stresses aquatic animals and increases their susceptibility to diseases (Boyd, 2014).

7.4. Macroalgae and Biomass Production

Macroalgae function as biological filters, reducing nutrient loads in aquaculture wastewater. Their nutrient uptake rates depend on factors such as depth, light, temperature, stocking density, and species-specific characteristics (Kim et al., 2019). Species like *Gracilaria chilensis*, *Codium fragile*, and *Ulva pertusa* have shown high efficiency in nutrient removal and suitability for IMTA systems (Kang et al., 2021; Bartucca et al., 2022).

The potential of aquaculture wastewater to replace synthetic nutrient solutions in algae production highlights a sustainable approach to biomass generation. The resulting algae biomass, rich in high-value compounds, can support industries like biofuels, pharmaceuticals, and food production, transforming ecological risks into economic opportunities (Pahazri et al., 2016; Renuka et al., 2021). Bioremediation Steps from Aquaculture to Bioactive Compounds are shown in Figure 3.

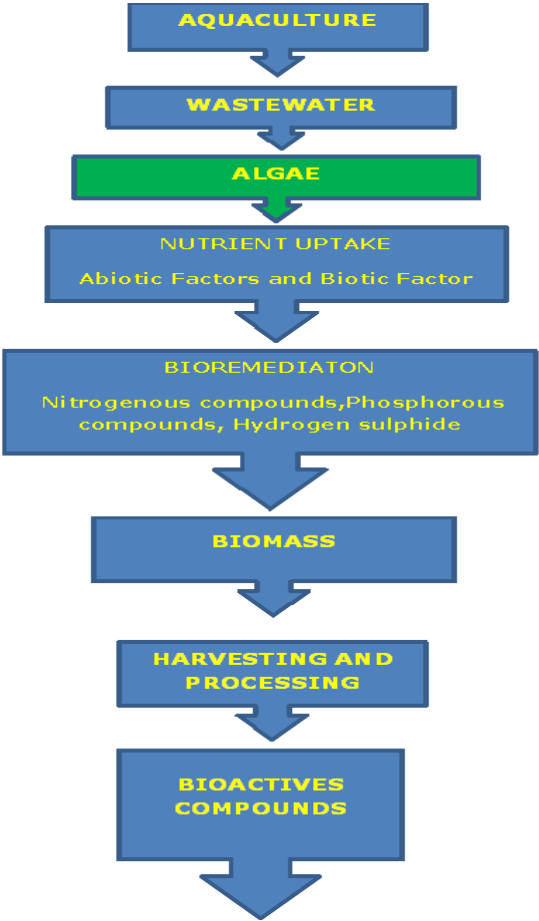


Figure 3: Bioremediation steps from Aquaculture to Bioactive Compounds

7.5. Antimicrobial Resistance Challenge and Algae:

The rise of antimicrobial-resistant bacteria (ARB) and their global spread are increasingly recognized as major public health threats to both humans and animals in the 21st century. This issue has prompted significant attention from health organizations, governments, private foundations, and consumers. A growing demand for sustainably produced food, particularly from healthcare clients and animal product consumers, has emerged as a result of these concerns (Millanao et al., 2018).

Food production systems provide significant socio-economic and public health benefits, especially in low- and middle-income countries, by addressing the growing demand for nutritious and accessible food. One Health Aquaculture plays a crucial role in this regard, fostering economic stability, creating jobs, and supporting food security (Mattoo & Maqsood, 2023). However, the food production sector faces mounting challenges due to ecological issues such as pandemics, climate change, and antimicrobial resistance (AMR). With the global food demand projected to double by 2050, the need for sustainable solutions to ensure reliable feed supplies is becoming ever more critical. Seaweeds, which offer substantial benefits for sustainable feed production, are increasingly recognized as a valuable alternative to traditional feed sources, contributing to the resilience and sustainability of food supply chains (Gonzalez-Meza et al., 2023).

AMR, however, presents a significant ecological challenge, with complex interactions between microbial populations impacting human, animal, and environmental health. Addressing this issue requires a coordinated, multisectoral approach like One Health, which emphasizes the interconnectedness of these systems and advocates for comprehensive strategies to manage AMR (McEwen, 2018).

Integrating sustainable resources such as seaweeds into food production systems and adopting a One Health approach can effectively combat global challenges while promoting ecological and agricultural resilience. In aquaculture, algae have been shown to improve immunity and disease resistance in various aquatic organisms (Hoseinifar et al., 2022; Rouhani et al., 2022; Yazici et al., 2024). This not only promotes healthier aquatic populations but also reduces reliance on antibiotics, helping to lower the prevalence of antimicrobial-resistant bacteria. These practices are in line with the One Health framework, supporting both environmental sustainability and better public health by curbing resistance spread (Gonzalez-Meza et al., 2023).

Furthermore, integrating robust biosecurity measures and quality control within One Health Aquaculture can reduce disease transmission risks and ensure healthier diets through sustainably farmed seafood, thus enhancing overall human well-being (Mattoo & Maqsood, 2023).

8. NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF MACROALGAE FOR AQUATIC ORGANISMS:

The COVID-19 pandemic, climate change, and the urgent need to double food production by 2050 have created challenges that have driven research into innovative and sustainable animal feed options (Gonzalez-Meza et al., 2023). The growing global population, particularly in developing countries, has underscored the need for alternative, nutrient-rich food sources. Oceans, covering a significant portion of the planet's habitable area, house a diverse range of marine organisms. These organisms, uniquely adapted to extreme conditions like salinity and pressure, serve as valuable resources for developing treatments for human diseases (Rafie et al., 2024).

In response to the increasing demand for sustainable food production, the incorporation of both macroalgae and microalgae in aquaculture feeds has emerged as a promising solution (Gonzalez-Meza et al., 2023). Algae, rich in bioactive compounds and proteins, offer numerous advantages over traditional feed ingredients. These advantages include rapid growth, minimal water requirements, no competition for arable land, and carbon-neutral emissions, making algae an attractive alternative to conventional animal feeds (Geada et al., 2021). As shown in Figure 4, various algal metabolites are utilized in aquaculture feed formulations.

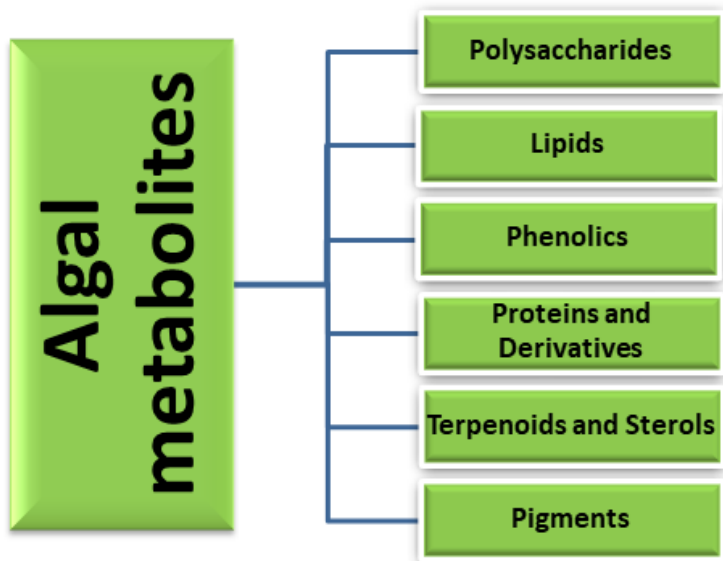


Figure 4: Algal metabolites used in aquaculture

Furthermore, algae-derived products align with the One Health concept, offering therapeutic properties that make them promising sustainable feed components (Geada et al., 2021; Vijayaram et al., 2024). These properties contribute significantly to animal welfare and product quality improvement (Gonzalez-Meza et al., 2023). In aquaculture, algae-based products are increasingly replacing antibiotics in feed due to their ability to act

as both prophylactic and therapeutic agents against infectious diseases. Their use provides a sustainable and safer alternative to antibiotics, which have been restricted in many countries due to their adverse effects. Algae-based products significantly enhance immune responses and promote growth in aquatic animals, while also exhibiting antibacterial properties effective against both Gram-negative and Gram-positive bacteria (Mohan et al., 2024; Naiel et al., 2021). In addition to aquaculture, algae are widely utilized in industries such as food processing, pharmaceuticals, nutraceuticals, and bioremediation (Mohan et al., 2024). The inclusion of macroalgae in aquaculture feed is generally recommended at levels below 10%, as higher inclusion rates may lead to negative effects (Mahmoudi et al., 2022; Yazici et al., 2022).

Research by Ferreira et al. (2021) evaluated a commercial blend of two microalgae (*Nannochloropsis oceanica* and *Chlorella vulgaris*) and two macroalgae (*Gracilaria gracilis* and *Ulva rigida*), highlighting its balanced nutritional composition in terms of proteins, lipids, essential fatty acids, and carbohydrates. The blend demonstrated significant antimicrobial and antioxidant activity against *Tenacibaculum maritimum*.

Both micro and macroalgae supplements play a critical role in strengthening the immune system and enhancing disease resistance in aquatic animals. Algae rich in bioactive compounds have been shown to improve immune parameters such as hemocyte count, phagocytic activity, lysozyme activity, and immune-related gene expression (Naiel et al., 2021; Bahi et al., 2023; Vijayaram et al., 2024). For example, astaxanthin derived from algae has been reported to boost immune responses in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*), exhibit antibacterial activity, and provide resistance to WSSV (Wang et al., 2015). Similarly, supplementation with *Spirulina platensis* has been found to enhance the growth performance of Nile tilapia (*Ore-*

ochromis niloticus), improve general immunity through increased IgM, lysozyme, phagocytic activity, lymphocytes, and eosinophils, and stimulate local intestinal immunity by increasing lymphocytes and goblet cells (Youssef et al., 2023).

Moreover, extract from macroalgae such as *Laurencia caspica* have demonstrated significant immunostimulatory effects in Nile tilapia, enhancing resistance to *Streptococcus agalactiae* and improving survival rates. This extract has been proposed as an effective strategy for combating bacterial diseases in aquaculture and as a potential alternative to antibiotics, offering the added benefit of reducing chemical usage in the industry (Khanzadeh et al., 2023). These findings demonstrate the potential of algae as a functional feed additive for improving health and enhancing disease resistance in aquaculture (Bahi et al., 2023).

With over 40 species of algae utilized in aquaculture, algae present diverse benefits as innovative alternatives to traditional feed sources. These benefits highlight the critical role algae play in advancing sustainable aquaculture practices, contributing to global food security, and reducing environmental impacts (Vijayaram et al., 2024).

9. CONCLUSION:

Aquaculture is anticipated to become the primary source of aquatic dietary protein by 2050, playing a crucial role in ensuring global food security. However, achieving sustainable growth requires careful attention to environmental integrity, animal welfare, and human health. In this context, the One Health Aquaculture approach provides a holistic framework that integrates these factors, supports sustainable development goals, and promotes ecosystem-based practices to minimize environmental impacts while ensuring food security.

Sustainable aquaculture faces several challenges, including wastewater generation, antimicrobial resistance, and habitat degradation. However, these challenges also present opportunities. For example, nutrient-rich wastewater can be repurposed for algal biomass production and the recovery of valuable bioactive compounds. The inclusion of algae as feed ingredients in aquaculture is particularly promising within the One Health framework. Algae are rich in bioactive compounds, proteins, and essential nutrients that can improve fish health, enhance growth performance, and improve disease resistance. Algae-based products also offer sustainable alternatives to antibiotics, reducing the need for chemical treatments in aquaculture systems. Furthermore, algae farming contributes to environmental sustainability by absorbing excess nutrients from wastewater and reducing greenhouse gas emissions. By adopting One Health principles, aquaculture can promote planetary health by harmonizing human, animal, and environmental well-being. As a key component of this integrated approach, algae are poised to play a transformative role in developing resilient, sustainable food systems that benefit both present and future generations.

REFERENCES:

- Ahmad, A., Banat, F., Alsafar, H., & Hasan, S. W. (2022). Algae biotechnology for industrial wastewater treatment, bioenergy production, and high-value bioproducts. *Science of The Total Environment*, 806, 150585.
- Andreotti, V., Chindris, A., Brundu, G., Vallainc, D., Francavilla, M., & García, J. (2017). Bioremediation of aquaculture wastewater from *Mugil cephalus* (Linnaeus, 1758) with different microalgae species. *Chemistry and Ecology*, 33(8), 750-761.
- Aquilino, F., Paradiso, A., Trani, R., Longo, C., Pierri, C., Corriero, G., & de Pinto, M. C. (2020). *Chaetomorpha linum* in the bioremediation of aquaculture wastewater: Optimization of nutrient removal efficiency at the laboratory scale. *Aquaculture*, 523, 735133.
- Arumugam, N., Chelliapan, S., Kamyab, H., Thirugnana, S., Othman, N., & Nasri, N. S. (2018). Treatment of wastewater using seaweed: a review. *International journal of environmental research and public health*, 15(12), 2851.
- Bahi, A., Ramos-Vega, A., Angulo, C., Monreal-Escalante, E., & Guardiola, F. A. (2023). Microalgae with immunomodulatory effects on fish. *Reviews in Aquaculture*, 15(4), 1522-1539.
- Bartucca, M. L., Cerri, M., Del Buono, D., & Forni, C. (2022). Use of biostimulants as a new approach for the improvement of phytoremediation performance—A Review. *Plants*, 11(15), 1946.
- Beyer, C. P., Gómez, S., Lara, G., Monsalve, J. P., Orellana, J., & Hurtado, C. F. (2021). *Sarcocornia neei*: a novel halophyte species for bioremediation of marine aquaculture wastewater and production diversification in integrated systems. *Aquaculture*, 543, 736971.
- Boyd, C. E. (2014). Hydrogen sulfide, toxic but manageable. *Global aquaculture advocate*, 3, 34-36.

- Chen, Y., You, L., & Sun-Waterhouse, D. (2024). Effects of processing on the physicochemical characteristics and health benefits of algae products: Trade-offs among food carbon footprint, nutrient profiles, health properties, and consumer acceptance. *Trends in Food Science & Technology*, 104375.
- Dini, I. (2023). The potential of algae in the nutricosmetic sector. *Molecules*, 28(10), 4032.
- Elchelwar, V. R., Vasava, R. J., Deepak, A. P., Gora Shiva Prasad, C. S., Yusufzai, S. I., Shrivastava, V., & Prabhakar, P. (2020). Bioremediation: A tool for sustainable development of aquaculture. *J Entomol Zool Stud*, 8(2), 1331-1333
- FAO. 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – *Blue Transformation in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd0683en>
- Ferreira, M., Teixeira, C., Abreu, H., Silva, J., Costas, B., Kiron, V., & Valente, L. M. (2021). Nutritional value, antimicrobial and antioxidant activities of micro-and macroalgae, single or blended, unravel their potential use for aquafeeds. *Journal of Applied Phycology*, 33(6), 3507-3518.
- Gao, K., & Beardall, J. (2022). Using macroalgae to address UN Sustainable Development goals through CO2 remediation and improvement of the aquaculture environment. *Applied Phycology*, 3(1), 360-367.
- Geada, P., Moreira, C., Silva, M., Nunes, R., Madureira, L., Rocha, C. M., ... & Teixeira, J. A. (2021). Algal proteins: Production strategies and nutritional and functional properties. *Bioresource Technology*, 332, 125125.

- González-Meza, G. M., Elizondo-Luevano, J. H., Cuellar-Bermudez, S. P., Sosa-Hernández, J. E., Iqbal, H. M., Melchor-Martínez, E. M., & Parra-Saldívar, R. (2023). New Perspective for Macroalgae-Based Animal Feeding in the Context of Challenging Sustainable Food Production. *Plants*, 12(20), 3609.
- Henriques, B., Rocha, L. S., Lopes, C. B., Figueira, P., Duarte, A. C., Vale, C., ... & Pereira, E. (2017). A macroalgae-based biotechnology for water remediation: simultaneous removal of Cd, Pb and Hg by living *Ulva lactuca*. *Journal of environmental management*, 191, 275-289.
- Hoseinifar, S. H., Fazelan, Z., Bayani, M., Yousefi, M., Van Doan, H., & Yazici, M. (2022). Dietary red macroalgae (*Halopithys incurva*) improved systemic and mucosal immune and antioxidant parameters and modulated related gene expression in zebrafish (*Danio rerio*). *Fish & Shellfish Immunology*, 123, 164-171.
- Jasmin, M. Y., Syukri, F., Kamarudin, M. S., & Karim, M. (2020). Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge. *Aquaculture*, 519, 734905.
- Kang, Y. H., Kim, S., Choi, S. K., Lee, H. J., Chung, I. K., & Park, S. R. (2021). A comparison of the bioremediation potential of five seaweed species in an integrated fish-seaweed aquaculture system: implication for a multi-species seaweed culture. *Reviews in Aquaculture*, 13(1), 353-364.
- Khanzadeh, M., Beikzadeh, B., & Hoseinifar, S. H. (2023). The Effects of *Laurencia caspica* Algae Extract on Hemato-Immunological Parameters, Antioxidant Defense, and Resistance against *Streptococcus agalactiae* in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Aquaculture Nutrition*, 2023(1), 8882736.
- Kim, J. K., Kraemer, G., & Yarish, C. (2019). Evaluation of the metal content of farm grown *Gracilaria tikvahiae* and *Saccharina latissima* from Long Island Sound and New York Estuaries. *Algal Research*, 40, 101484.

- Kotta, J., Raudsepp, U., Szava-Kovats, R., Aps, R., Armoskaite, A., Barda, I., ... & Barboza, F. R. (2022). Assessing the potential for sea-based macroalgae cultivation and its application for nutrient removal in the Baltic Sea. *Science of the Total Environment*, 839, 156230.
- Krishnani, K. K., Kathiravan, V., Meena, K. K., Sarkar, B., Kumar, S., Brahmane, M. P., ... & Kailasam, M. (2019). Bioremediation of aquatic toxicants: Application of multi-omic approaches. *Advances in Fish Research*, 7, 371-398.
- Mahmoudi, N., Safari, R., Shabani, A., Hoseinifar, S. H., Yazici, M., & El-Haroun, E. (2022). Can dietary Dictyota dichotoma powder affect performance, serum, and mucus immune parameters, and antioxidant defense in Zebrafish (*Danio rerio*)?. *Aquaculture Reports*, 26, 101279.
- Mattoo, A. I., & Maqsood, H. M. (2023). One Health Aquaculture: Integrating Sustainable Practices for Human and Environmental Well-being. _From the Editors Desk, 89.
- Mawi, S., Krishnan, S., Din, M. F. M., Arumugam, N., & Chelliapan, S. (2020). Bioremediation potential of macroalgae *Gracilaria edulis* and *Gracilaria changii* co-cultured with shrimp wastewater in an outdoor water recirculation system. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100571.
- McEwen, J., & Burnett, E. (2018). Antimicrobial stewardship and pre-registration student nurses: Evaluation of teaching. *Journal of Infection Prevention*, 19(2), 80-86.
- Millanao, A. R., Barrientos-Schaffeld, C., Siegel-Tike, C. D., Tomova, A., Ivanova, L., Godfrey, H. P., ... & Cabello, F. C. (2018). Antimicrobial resistance in Chile and The One Health paradigm: Dealing with threats to human and veterinary health resulting from antimicrobial use in salmon aquaculture and the clinic. *Rev Chil Infectol*, 35, 299-308.

- Mohan, K., Rajan, D. K., Ganesan, A. R., & Munisamy, S. (2024). Algal-Derived (By) Products as an Immunostimulant in the Aquaculture Industry. In *Algal Biotechnology* (pp. 76-98). CRC Press.
- Monath, T. P., Kahn, L. H., & Kaplan, B. (2010). One health perspective. *ILAR journal*, 51(3), 193-198.
- Naiel, M. A., Alagawany, M., Patra, A. K., El-Kholy, A. I., Amer, M. S., & Abd El-Hack, M. E. (2021). Beneficial impacts and health benefits of macroalgae phenolic molecules on fish production. *Aquaculture*, 534, 736186.
- Nhat, P. V. H., Ngo, H. H., Guo, W. S., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Nguyen, P. D., ... & Guo, J. B. (2018). Can algae-based technologies be an affordable green process for biofuel production and wastewater remediation?. *Bioresourcetechnology*, 256, 491-501.
- Pahazri, N. F., Mohamed, R. M. S. R., Al-Gheethi, A. A., & Kassim, A. H. M. (2016). Production and harvesting of microalgae biomass from wastewater: a critical review. *Environmental Technology Reviews*, 5(1), 39-56.
- Paz-Montelongo, S., Hernández-Sánchez, C., Guillén-Pino, F., Rubio-Armendáriz, C., Gutiérrez-Fernández, Á. J., & Hardisson, A. (2024). Cyanobacterial Pigments: Pharmaceutical and Nutraceutical Applications. In *Pharmaceutical and Nutraceutical Potential of Cyanobacteria* (pp. 31-52). Cham: Springer International Publishing.
- Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1(1), 177-188.
- Pereira, L., & Cotas, J. (2024). Seaweed: A sustainable solution for greening drug manufacturing in the pursuit of sustainable healthcare. *Exploration of Drug Science*, 2(1), 50-84.
- Rafie, H. M., Hammam, H. H., & Ahmed, E. A. E. (2024). Nutritional values, antioxidant, and cytotoxic activities of selected edible marine macroalgae: a comparative study. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-14.

- Renuka, N., Ratha, S. K., Kader, F., Rawat, I., & Bux, F. (2021). Insights into the potential impact of algae-mediated wastewater beneficiation for the circular bioeconomy: A global perspective. *Journal of Environmental Management*, 297, 113257.
- Rouhani, E., Safari, R., Imanpour, M. R., Hoseinifar, S. H., Yazici, M., & El-Haroun, E. (2022). Effect of dietary administration of green macroalgae (*Ulva intestinalis*) on mucosal and systemic immune parameters, antioxidant defence, and related gene expression in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquaculture Nutrition*, 2022(1), 7693468.
- Sapkota, A., Sapkota, A. R., Kucharski, M., Burke, J., McKenzie, S., Walker, P., & Lawrence, R. (2008). Aquaculture practices and potential human health risks: current knowledge and future priorities. *Environment international*, 34(8), 1215-1226.
- Sarıtaş, S., Duman, H., & Karav, S. (2024). Nutritional and functional aspects of fermented algae. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(8), 5270-5284.
- Silva, M., Avni, D., Varela, J., & Barreira, L. (2024). The Ocean's pharmacy: Health discoveries in marine algae. *Molecules*, 29(8), 1900.
- Sivakumar, G., Xu, J., Thompson, R. W., Yang, Y., Randol-Smith, P., & Weathers, P. J. (2012). Integrated green algal technology for bioremediation and biofuel. *Bioresourcetechnology*, 107, 1-9.
- Sugiura, S. H. (2018). Phosphorus, aquaculture, and the environment. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(4), 515-521.
- Vijayaram, S., Ringø, E., Ghafarifarsani, H., Hoseinifar, S. H., Ahani, S., & Chou, C. C. (2024). Use of Algae in Aquaculture: A Review. *Fishes*, 9(2), 63.
- Wang, H., Dai, A., Liu, F., & Guan, Y. (2015). Effects of dietary astaxanthin on the immune response, resistance to white spot syndrome virus and transcription of antioxi-

dant enzyme genes in Pacific white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*, 14(3), 699-718.

- Yazici, M., Naz, M., Mazlum, Y. (2022). A review of Utilization of Laminarin, Alginate, and Fucoidan Polysaccharides from Macroalgae for Promoting Growth Performance and Health in Aquatic Organisms. *Research & Reviews in Agriculture, Forestry and Aquaculture*, 89-106.
- Yazici, M., Zavvar, F., Hoseinifar, S. H., Nedaei, S., & Doan, H. V. (2024). Administration of Red Macroalgae (*Galaxaura oblongata*) in the Diet of the Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*) Improved Immunity and Hepatic Gene Expression. *Fishes*, 9(2), 48.
- Youssef, I. M., Saleh, E. S., Tawfeek, S. S., Abdel-Fadeel, A. A., Abdel-Razik, A. R. H., & Abdel-Daim, A. S. (2023). Effect of *Spirulina platensis* on growth, hematological, biochemical, and immunological parameters of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Tropical Animal Health and Production*, 55(4), 275.

STRATEGIES TO REDUCE THE CARBON FOOTPRINT IN TRAWL FISHING

Özkan AKAR¹

Aydın DEMİRCİ²

1. INTRODUCTION

Fishing activities are recognized as a significant source of global greenhouse gas emissions. Both aquaculture and capture fisheries require detailed identification of their carbon footprints and efforts for reduction. Intensive aquaculture, such as the farming of species like turbot, stands out due to its high energy demand. For example, producing one kilogram of farmed turbot results in 19.4 kg CO₂ equivalent emissions. In contrast, extensive aquaculture methods, such as mussel farming, produce only 0.08 kg CO₂ equivalent, making it one of the lowest carbon footprint activities.

Trawl fishing has a particularly high carbon footprint due to its intensive energy consumption. Studies show that, on average, 2.9 liters of fuel are consumed to bring one kilogram of fish to shore, which corresponds to approximately 7.6 kg CO₂ emissions (Sala et al., 2022). This consumption can vary significantly depending on factors such as vessel size, fishing method, and targeted species (Demirci, 20024). Trawl fishing, while targeting both pelagic and demersal species, consumes large amounts of energy, leading to higher emissions compared to other fishing

¹ PhD, Iskenderun Technical University, Vocational School of Maritime Technologies Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: ozkan.akar@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8126-2883

² PhD, Associate Professor Department of Marine Technology, Faculty of Marine Science and Technology, Iskenderun Technical University, Iskenderun, Hatay, Turkey. E-mail: aydin.demirci@iste.edu.tr, ORCID: 0000-0002-7168-9904

techniques. Evaluating energy efficiency in trawl fishing and identifying strategies to reduce energy use could provide significant economic and environmental benefits.

Alternative fishing methods that require less energy can promote sustainability in the sector. For instance, a study in Galicia showed that catching pelagic species consumes less energy compared to demersal species (Iribarren et al., 2010). Globally, fishing is considered one of the most energy-consuming methods in food production, resulting in significant greenhouse gas emissions (Vivekanandan et al., 2013). This is closely related to the increasing energy demands of mechanized fishing operations. Research in India shows that mechanized fishing vessels produce 1.18 tons of CO₂ per ton of fish, while motorized small-scale vessels emit only 0.59 tons of CO₂ per ton (Vivekanandan et al., 2013). This difference is directly linked to the widespread use of energy-intensive methods such as trawling.

Improving energy efficiency in fishing requires the implementation of energy audits. By analyzing energy use on vessels, unnecessary consumption can be identified. Studies have shown that reducing the vessel's cruising speed by half a knot can achieve up to 15% fuel savings (Thrane, 2006). Additionally, the use of more efficient engines and the development of low-friction fishing gear can significantly reduce fuel consumption (Parker et al., 2018).

Comparative analyses show that trawl fishing targeting small pelagic species has a lower carbon footprint compared to other methods. However, energy-intensive methods such as deep-sea trawl fishing consume fuel at rates exceeding the global average. For example, investigations of trawl fishing in Italy revealed that fishing activities in this region consume 2-3 times more fuel than the global average (Sala et al., 2022).

In this study, current methods for reducing emissions in trawl fishing are proposed. The aim is to identify and recommend practical strategies to lower greenhouse gas emissions, improve energy efficiency, and promote sustainability in the sector.

2. REDUCING THE CARBON FOOTPRINT OF TRAWL FISHING

Energy Efficiency Audits

Energy audits are the first step in optimizing energy use in trawl fishing. Audits analyze fuel consumption to identify the most energy-intensive components and offer solutions to improve efficiency. For example, energy audits conducted in the Mediterranean have shown that reducing vessel speed by half a knot can decrease fuel consumption by 15% (Sala et al., 2022). Additionally, energy audits allow for the creation of an energy profile, enabling the assessment of technological investments that promote energy savings.

Technological Improvements and Alternative Methods

Technological innovations must be applied to reduce the carbon footprint of trawl fishing. More efficient ship engines, the development of low-friction vessel designs, and the use of low-friction fishing gear can significantly lower fuel consumption (Iribarren et al., 2010). Moreover, the adoption of alternative energy sources is an effective method to reduce emissions. Studies in India have reported that mechanized vessels produce 1.18 t CO₂ per ton of fish, whereas motorized vessels result in lower emissions (Vivekanandan et al., 2013).

Optimization of Fishing Techniques

To reduce the energy intensity of trawl fishing, fishing techniques must be reviewed. Instead of conventional trawl nets, energy-efficient fishing methods should be preferred. In Galicia,

Spain, it has been found that fishing for pelagic species consumes less energy compared to demersal species (Iribarren et al., 2010). Similarly, the use of passive fishing methods, such as gillnets, can significantly reduce energy consumption and decrease the carbon footprint.

The modernization of the fishing industry holds great potential for reducing fuel consumption and carbon emissions. Technical improvements made to trawl nets and ropes provide both economic and environmental benefits. The use of thinner ropes and netting materials reduces water resistance, which places less strain on the vessel's engine. As a result, lower engine revolutions allow for more efficient fuel combustion, leading to reduced carbon emissions (Sala et al., 2018).

Replacing traditional nylon materials with high-tech polyethylene-based ropes enables lighter and more durable nets. Polyethylene ropes, compared to nylon, have higher tensile strength and lower weight, reducing the energy demand of trawl vessels (Demirci et al, 2008; Stergiou et al., 2006; Demirci et al, 2017; Ulaş et al, 2017). Lighter equipment minimizes underwater friction, improving fishing operations' efficiency and reducing fossil fuel consumption.

Furthermore, optimizing engine revolutions improves engine performance, leading to cleaner combustion. This not only reduces carbon emissions but also minimizes the release of harmful gases such as NO_x (nitrogen oxides) (Ziegler & Hornborg, 2014)..

Engine Renewal and Modernization

Engine renewal is an essential step for improving energy efficiency. This process involves the detailed inspection and renewal of engine components, including honing cylinders, replacing pistons and valves, and refurbishing exhaust and intake manifolds. Modernized engines operate more efficiently, reduc-

ing fuel consumption, which directly impacts emissions. Replacing older engines with next-generation models not only enhances performance but also reduces environmental impacts.

Reduction of Exhaust Emissions

EGR (Exhaust Gas Recirculation) systems reduce nitrogen oxide (NO_x) emissions by redirecting a portion of exhaust gases back into the intake manifold, thereby lowering combustion temperatures. This method can achieve up to a 50% reduction in NO_x emissions (MS Motorservice, n.d.). EGR systems are applied to both diesel and gasoline engines, playing a significant role in controlling emissions while optimizing engine performance and fuel efficiency.

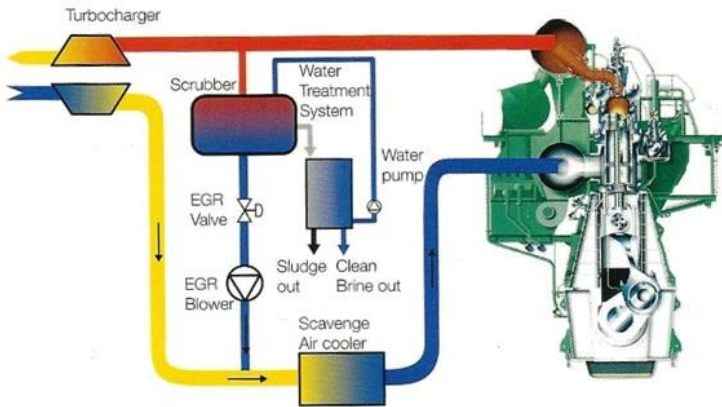


Figure 1. A Exhaust Gas Recirculation (marineeducation.com=

Wet electrostatic precipitators are advanced technological systems capable of reducing pollutants such as particulate matter, heavy metals, and acid mists in exhaust gases by up to 99%. These filters collect pollutants through electrical charging and then remove them using a liquid solution. This method is particularly effective in controlling emissions from marine diesel engines, contributing to improved air quality and reduced environmental impacts.

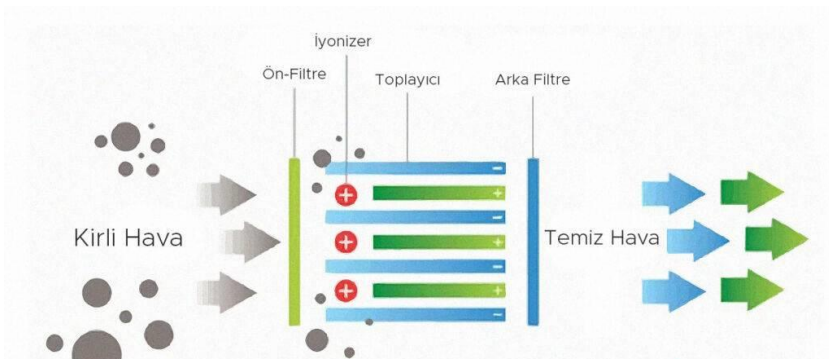


Figure 2 A Wet electrostatic precipitators
(www.teknofer.com.tr)

Scrubber systems reduce pollutants such as sulfur oxides (SOx) and particulate matter by washing exhaust gases with water or other solutions. Classified as open-loop, closed-loop, and hybrid systems, scrubbers can be adapted to vessel operations and environmental requirements. In the maritime sector, scrubber systems effectively lower the sulfur content in exhaust gases, facilitating compliance with regulatory emission limits (PGE Mühendislik, n.d.).

Management Strategies and Policies

The European Union Emissions Trading System (ETS) implements carbon quota regulations to keep carbon emissions within a certain level. While this system aims to reduce emis-

sions in energy-intensive industries, it can also establish incentive mechanisms based on energy efficiency for fuel-intensive sectors such as fishing (Sala et al., 2022). Similarly, the International Maritime Organization (IMO) regulations on limiting carbon emissions in maritime transport encourage steps to reduce energy consumption in fishing vessels (IMO, 2021).

In Turkey, a Special Consumption Tax (SCT) exemption is applied to reduce fuel costs in the fishing sector. However, this policy allows the continued operation of energy-intensive and high-carbon emitting vessels, which can increase the carbon footprint in the long term. Maintaining the current SCT exemption may inadvertently support practices that promote intensive energy use rather than encouraging energy efficiency.

To address this issue, energy efficiency criteria should be introduced for vessels benefiting from the SCT exemption. Programs that promote the adoption of technologies reducing carbon emissions must be implemented. To support sustainability in the fishing sector, financial incentives and support programs should be developed for energy-efficient vessels. For example, credit and grant schemes targeting vessels with electric or hybrid engines can help transform the sector into a lower-carbon structure. Reducing the carbon footprint, improving energy efficiency, and achieving sustainability goals are critical for the fishing sector. In Turkey, revising the current SCT-exempt fuel policy and introducing mechanisms to encourage energy efficiency will play an essential role in reducing carbon emissions. Compliance with international emission standards and the protection of limited natural resources will ensure the sustainability of marine ecosystems.

3. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

The analysis underscores the critical importance of adopting energy-efficient technologies, modernizing equipment, and implementing effective management strategies to reduce the carbon footprint of trawl fishing. Strategies such as engine renewal, the use of scrubber systems, and wet electrostatic filters demonstrate the potential for significant emission reductions, while promoting cleaner operations in the maritime sector.

A comprehensive approach is required to address challenges stemming from high energy consumption and emissions in trawl fishing. Energy audits play a key role in identifying inefficiencies and providing actionable solutions to reduce fuel usage. Additionally, the integration of advanced engines and low-friction equipment has been shown to enhance performance, optimize fuel efficiency, and minimize environmental impacts.

Policy interventions, such as the revision of fuel tax exemptions and the introduction of energy efficiency criteria, are essential for incentivizing sustainable practices. Furthermore, adopting financial support mechanisms for low-carbon technologies, including electric and hybrid engines, can drive the fishing sector toward a sustainable transformation.

In conclusion, reducing the carbon footprint in trawl fishing requires a multi-faceted approach that combines technological innovation, policy support, and operational optimization. Achieving these goals will not only ensure compliance with international emission standards but also contribute to the long-term sustainability of marine ecosystems and the fishing industry. A collective effort from policymakers, industry stakeholders, and technology developers will be crucial to advancing these sustainable practices.

REFERENCES

- Demirci, A., Tosunoğlu, Z., & Demirci, S. (2008). A study on shrimp trawl designs and modifications in Iskenderun Bay (Turkey). *Journal of Fisheries Sciences. com*, 2(5), 666-671.
- Demirci, S. (2024). The impact of the COVID-19 pandemic on the Iskenderun Bay fishery, Northeastern Mediterranean, Turkey. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 40(1), 43-49.
- Demirci, S., Dogru, Z., & Simsek, E. (2017). Effect of shortening the length of codend on brushtooth lizardfish caught in square mesh codend of otter trawl in Eastern Mediterranean. *Indian Journal of Fisheries*, 64(3), 29-34.
- International Maritime Organization (IMO). (2021). IMO greenhouse gas strategy: Reducing emissions from shipping. Retrieved from <https://www.imo.org>,
- Iribarren, D., Vázquez-Rowe, I., Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2010). Estimation of the carbon footprint of the Galician fishing activity (NW Spain). *Science of the Total Environment*, 408(24), 5284–5294. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.082>
- Parker, R. W., Blanchard, J. L., Gardner, C., Green, B. S., Hartmann, K., Tyedmers, P. H., & Watson, R. A. (2018). Fuel use and greenhouse gas emissions of world fisheries. *Nature Climate Change*, 8(4), 333-337.

- Sala, A., Damalas, D., Labanchi, L., Martinsohn, J., Moro, F., Sabatella, R., & Notti, E. (2022). Energy audit and carbon footprint in trawl fisheries. *Scientific Data*, 9(428). <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01478-0>
- Salaün, M., Klanian, M. G., & Herrmann, B. (2018). Trawl performance and fuel consumption: impact of net design. *Fisheries Research*, 204, 300-307. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.02.005>
- Schau, E. M., Ellingsen, H., Endal, A., & Aanondsen, S. A. (2009). Energy consumption in the Norwegian fisheries. *Journal of Cleaner Production*, 17(3), 325-334.
- Stergiou, K. I., Christou, E. D., & Petrakis, G. (2006). Effects of trawl gear modification on fishing efficiency. *Marine Ecology Progress Series*, 320, 215-224. <https://doi.org/10.3354/meps320215>
- Thrane, M. (2004). Energy consumption in the Danish fishery. *Journal of Industrial Ecology*, 8(1-2), 223-239.
- Thrane, M. (2006). Energy consumption in fisheries with a case study on Danish fisheries. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), 131-144.
- Ulaş, F., Demirci, S., & Şimşek, E. (2017, November). The importance of visual on trawl codend selectivity. In *International Advanced Researches & Engineering Congress* (Vol. 2228).
- Ziegler, F., & Hornborg, S. (2014). Stock size matters more than gear type in carbon footprint of fisheries. *Environmental Science & Technology*, 48(8), 4736-4743. <https://doi.org/10.1021/es405356f>

SU ÜRÜNLERİNDE İLERİ ARAŞTIRMALAR

yaz
yayınları

YAZ Yayınları

M.İhtisas OSB Mah. 4A Cad. No:3/3

İscehisar / AFYONKARAHİSAR

Tel : (0 531) 880 92 99

yazyayinlari@gmail.com • www.yazyayinlari.com