



Ilıman iklim kuşağındaki bir kıyısulak sulak alanında pelajik mikrobiyal su kalitesinin zamansal ve mekânsal değişimi

Beyhan TAŞ¹, Halim TOPALDEMİR¹, Fikret USTAOĞLU², Zeynep KOLÖREN¹

Cite this article as:

Taş, B., Topaldemir, H., Ustaoglu, F., Koloren, Z. (2023). Ilıman iklim kuşağındaki bir kıyısulak sulak alanındaki pelajik mikrobiyal su kalitesinin zamansal ve mekansal değişimi. *Aquatic Research*, 6(3), 175-188. <https://doi.org/10.3153/AR23018>

¹ Ordu Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu, Türkiye

² Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Giresun, Türkiye

ORCID IDs of the author(s):

B.T. 0000-0001-6421-2561
H.T. 0000-0002-4494-9715
F.U. 0000-0002-8195-8557
Z.K. 0000-0001-9708-2716

Submitted: 04.05.2023

Revision requested: 25.05.2023

Last revision received: 28.05.2023

Accepted: 30.05.2023

Published online: 27.06.2023

Correspondence:

Zeynep KOLÖREN

E-mail: zeynep.koloren@gmail.com



© 2023 The Author(s)

Available online at

<http://aquatres.scientificwebjournals.com>

ÖZ

Sulak alanlara antropojenik kaynaklı kirletici yüklerin girmesi su kalitesini hızla bozmaktadır. Bu çalışma, tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir bölgede bulunan, kıyısulak sulak alan özelliklerine sahip Miliç Irmağı'nda yapılmıştır. Miliç sulak alanı Terme Ovası'nın drenaj suları ile dağınık yerleşim alanlarından gelen suların Karadeniz'e dökülmeden önce toplandığı bir alıcı ortamdır. Çalışmada, ılıman iklim kuşağında bulunan Miliç Irmağı'nın dört farklı örnekleme noktasından aylık olarak yüzeysel su örnekleri alınmış, fekal indikatörlerden toplam koliform, *Escherichia coli* ve *Clostridium perfringens* kontaminasyonu incelenmiştir. Mikrobiyolojik analizler, membran filtrasyonu ile standart metotlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Miliç Irmağı'nda farklı istasyonlardaki su numunelerinin ortalama koloni sayısı toplam koliform, *E. coli* ve *C. perfringens* için sırasıyla 2022 KOB/100 mL, 455 KOB/100 mL ve 34 KOB/100 mL olarak belirlenmiştir. En yüksek fekal kontaminasyon yağışlı sezonlarda (kış>sonbahar>ilkbahar>yaz) kaydedilmiştir. İstasyonlar ve mevsimler arasında yapılan korelasyonda en yüksek ilişki *E. coli* için kış ($r=0.985$, $p<0.05$), *C. perfringens* için sonbaharda ($r=0.958$, $p<0.05$) belirlenmiştir. Analiz sonuçları, Miliç kıyısulak sulak alanında fekal kontaminasyonun olduğunu göstermektedir. Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'ndeki bakteriyolojik parametrelere göre, sulak alan suyu toplam koliform bakteri sayısı bakımından II. Sınıf su kalitesindedir (az kirlenmiş su). Bu parametre bakımından akarsu-sulak alanın ekolojik durumu "iyi" su sınıfında yer alır. Mikrobiyolojik su kalitesi yönünden, Miliç Irmağı çok kirli olmayan, fakat kirlilik baskısı altında değerlere sahiptir. Fekal kontaminasyon düzeyinin artmaması için sulak alan havzasındaki yerleşim ve tarım alanlardan gelen evsel atıkların/atıksuların, hayvansal gübrelerin, sanayi atıksu/yağmur suyu kanalının ve drenaj kanallarının doğrudan akarsuya karışması engellenmeli, gerekli tedbirlerin alınması konusunda halk bilinçlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Fekal indikatör bakteriler, Fekal kirlilik, Kıyısulak sulak alan, Akarsu-sulak alanı, Taşkın yatağı, Su kalitesi

ABSTRACT

Temporal and spatial variations of pelagic microbial water quality in a coastal river-wetland area in a temperate climate zone

The introduction of anthropogenic pollutant loads into wetlands rapidly deteriorates water quality. This study was conducted in the Miliç River, a region with intense agricultural activities and coastal wetland characteristics. The Miliç wetland (fluvial wetland) is a receiving environment where the Terme Plain's drainage waters and the scattered settlements' waters are collected before they are poured into the Black Sea. In the study, monthly surface water samples were taken from four different sampling points of the Miliç River in the temperate climate zone, and total coliform, *Escherichia coli*, and *Clostridium perfringens* contamination from fecal indicators were investigated. Microbiological analyses were performed using standard methods with membrane filtration. The average colony count of the water samples at different stations in the Miliç River was determined as 2022 CFU/100 mL, 455 CFU/100 mL, and 34 CFU/100 mL for total coliform, *E. coli*, and *C. perfringens*, respectively. The highest fecal pollution was recorded during the rainy seasons (winter>autumn>spring>summer). In the correlation between stations and seasons, the highest correlation was determined for *E. coli* in winter ($r=0.985$, $p<0.05$) and for *C. perfringens* in autumn ($r=0.958$, $p<0.05$). Analysis results show that there is fecal pollution in Miliç coastal wetlands. According to the bacteriological parameters in the Surface Water Quality Regulation, wetland water ranks II in total coliform bacteria count. The class is of water quality (slightly contaminated water). Regarding this parameter, the ecological status of the river-wetland is in the "good" water class. In terms of microbiological water quality, the Miliç River has values that are not very polluted but under the pressure of pollution. In order not to increase the level of fecal contamination, direct mixing of domestic waste/ wastewater, animal manures, industrial wastewater/rainwater channels, and drainage channels from settlements and agricultural areas in the wetland basin should be prevented, and the public should be made aware of the necessary precautions to be taken.

Keywords: Fecal indicator bacteria, Fecal pollution, Coastal wetland, Stream-wetland, Floodplain, Water quality

Giriş

Dünyanın karşı karşıya olduğu en büyük çevre sorunlarından ilki iklim değişikliği, ikincisi ise su kirliliğidir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği özellikle iç sularda, başta sığ göller ve sulak alanlarda olmak üzere ciddi baskı yaratmaktadır (Aydın ve ark., 2021). Dünya genelinde birçok su havzası, kirlilik nedeniyle kullanılamaz hale gelmiştir. Evsel ve endüstriyel atıklar, kimyasallar ve zirai faaliyetler suların hızla kirlenmesine yol açarken, antropojenik faaliyetler doğal kaynakların hızla tükenmesine neden olmaktadır. Bunun sonucunda ise biyolojik çeşitlilik kaybı yaşanmaktadır.

Doğanın en önemli kaynaklarından olan akarsular birçok açıdan önemlidir. İçme suyu, tarım, sanayi ve evsel kullanımda, sucul flora ve faunanın hayatta kalmasında, dolayısıyla doğal ekosistemlerin sürdürülebilir olması için akarsular hayati öneme sahiptir (Taş ve ark., 2019; Yüksel ve ark., 2021). Büyük akarsular hidroelektrik santralleri aracılığıyla elektrik enerjisi üretmek için kullanılırken, özellikle taşımacılıkta kullanılan nehirler, ülke ekonomileri için oldukça önemlidir. Büyük akarsu sistemlerinin çok önemli bir parçası olan taşkın yatakları ise ırmak ve karasal ekosistemler arasındaki su kütleleri ve madde alışverişinde önemli rol oynarlar (Kiedrzyńska ve ark., 2008a, b). Taşkın yataklarının doğal bileşenlerinden biyotik (makrofitler) ve abiyotik (sediment) faktörler yerüstü ve yeraltı su kalitesini etkiler (Ustaoğlu ve ark., 2022). Bu nedenle taşkın yatağı, akarsu sistemlerinin işlevini ve bütünlüğünü sürdürmek için çok önemli ekosistemlerdir. Dolayısıyla ırmak taşkın yataklarının özellikle alt havzalardaki fonksiyonu oldukça büyüktür. Taşkın yatağı, sel sularının yavaşlamasına ve dağılmasına yardımcı olur. Böylece sel bölgesindeki hasarı en aza indirgeyerek, çevredeki binalar, araziler ve diğer altyapıların zarar görmesini engeller, insanların ve mallarının güvende kalmasını sağlar. Ayrıca, doğal yaşam alanlarının korunmasına da yardımcı olur. Karadeniz kıyısı boyunca yaklaşık 10 km uzunluğundaki kıyusal akarsu Miliç Irmağı bir taşkın yatağı rolünü üstlenerek hem sahil hattı üzerindeki yerleşim bölgelerinin hem de tarım alanlarının sel sularından zarar görmesini engellemektedir.

Son yıllarda yerkürenin ve ülkemizin bazı yerlerinde, örneğin Akdeniz iklim bölgesinde ve kapalı havzalarda, şiddetli kuraklıklar yaşanırken, Karadeniz Bölgesi'nin kıyı kesimlerini etkileyen Karadeniz ikliminin görüldüğü bölgelerde zaman zaman sel felaketleri yaşanmaktadır. İklim değişikliğinin hidrolojik döngüyü değiştirmesi sonucu yaşanan doğal felaketlerin, örneğin akarsuların, sığ göllerin ve sulak alanların kuruması, kuraklıklar, seller, yangınlar, fırtınalar gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve yoğunluğu günümüzde oldukça artmıştır. Bununla birlikte birçok havzada ve taşkın

yataklarında büyük çevresel sorunlar yaşanmakta ve su kalitesi bundan olumsuz etkilenmektedir. Klimatik faktörlerin yanı sıra nüfus artışı, tarım, orman ve mera alanlarının tahrip edilmesi, elverişsiz tarım yöntemleriyle toprakların yoğun bir şekilde kullanılması, akarsu yataklarının çevresindeki yapılaşmalar gibi antropojenik faktörler küresel ölçekte sucul ekosistemlerin bozulmasını hızlandırmakta, dolayısıyla ekosistemin işleyişi ve fonksiyonları azalmaktadır.

Çok sayıda çalışma, su kütlelerinde fekal patojenlerin varlığı ile su kaynaklı bir hastalığa yakalanma riskinin artması arasındaki ilişkiyi vurgulamıştır (Kolören ve ark., 2011 a,b; Ford ve Hamner, 2018; Hulyar ve Altuğ, 2020; Kalkan ve Altuğ, 2020; Şener ve ark., 2020; Taş ve ark., 2023). Su kaynaklı hastalığa neden olan ajanlar bakteriyel, viral, protozoal veya mantar olabilir (Leifels ve ark., 2022). Akarsularda fekal kirlilik, insan veya hayvan atıklarının sulara karışması sonucu oluşan bir çevresel sorundur. Genellikle insan ve hayvan dışkılarından kaynaklanan ve bu atıkların içinde bulunan bakteri, virüs ve diğer patojenlerin suya karışmasıyla su kirliliği meydana gelir. Bu kirlilik türü, özellikle kanalizasyon sistemlerindeki arıtma işlemlerinin yeterli olmadığı veya hiç olmadığı bölgelerde sık görülür. Dünyanın en yaygın afetlerinden olan ve sıklığı son yıllarda artış gösterme eğilimi gösteren seller ve taşkınların insan ve hayvan ölümleri, habitat kayıpları gibi ciddi sonuçları olurken, olumsuz sağlık etkilerine de yol açmaktadır. Sel suları ile dağılan atıklar kirliliğe sebep olmakta ve enfeksiyon riskini de artırmaktadır. Sellerden sonra vektör üreme alanları da genişlemektedir. Dolayısıyla aşağı havza akarsularında fekal kirlilik, insan sağlığını tehdit eden hastalıkların yayılmasına neden olabilir. Su kirliliği ile mücadele etmek ve suların temiz kalmasını sağlamak için atıkların doğru şekilde yönetilmesi, kanalizasyon sistemlerinin etkili bir şekilde işletilmesi ve su kaynaklarının korunması önemlidir.

Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölümü (Samsun), Yeşilirmak ve Kızılırmak nehirlerinin oluşturduğu deltalar, bu deltalarındaki Çarşamba ve Bafra ovaları ile oldukça üretken bir ekosistemdir. Aynı zamanda, deltalar tatlı su, acı su ve tuzlu su özelliği taşıyan lentik ve lotik sistemler, sulak alanlar, subasar ormanlar gibi zengin ekosistem çeşitliliğine de sahiptir. Ancak bu akarsu havzaları, özellikle havzalar ve denizler arasında doğal bir arayüz olan Miliç Irmağı gibi akarsular hem doğal kaynaklı maddeleri hem de yüksek nüfus yoğunluğu nedeniyle insan kaynaklı kirlenici yükleri taşıyan bir ortam olduğu için antropojenik faaliyetlerden etkilenmektedir (Taş ve Kolören, 2017; Ustaoğlu ve ark., 2020; Taş ve ark., 2021; Ustaoğlu ve ark., 2021).

Samsun ili Terme ilçesindeki Miliç Irmağı-akarsu sulak alanı sucül flora ve fauna bakımından oldukça zengindir (Taş ve Topaldemir, 2021) ancak, tarımsal faaliyetlerin oldukça yoğun olduğu üst havzadan sulak alana taşınan tarımsal, evsel ve endüstriyel atık sular için de alıcı bir ortamdır (Topaldemir ve ark., 2023). Çalışma alanı içinde yer alan sucül ekosistemlerden Terme Çayı'nda su kalitesi durumu ve kirlilik kaynakları hakkında kapsamlı bir araştırma yapılmış ve genel su kalitesinin iyi olduğunu bildirilmiştir. Ancak, ağır metal içeriği bakımından yapılan sağlık risk değerlendirmesinde, çocukların sağlığının yetişkinlerden daha yüksek risk altında olduğu belirtilmiştir (Ustaoglu ve ark., 2021). Terme Çayı'nda iletkenlik (EC) ve toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonu (TDS) değerlerinin de Orta Karadeniz'deki akarsulardan yüksek olduğu gözlenmiştir (Taş ve Kolören, 2017; Ustaoglu ve ark., 2021). Terme Çayı sediment kalitesinin ağır metal içeriği bakımından incelendiği çalışmada ise Cd ve Cu elementlerinin özellikle tarımsal faaliyetlerden sisteme taşındığı, ancak insan sağlığı için henüz yüksek risk içermediği, diğer metallerin de doğal kökenli olduğu bildirilmiştir (Ustaoglu ve ark., 2022). Aynı akarsuyun mikrobiyolojik su kalitesinin incelendiği çalışmada, Terme Çayı'nın çok kirlili olmayan, II. Sınıf, yani az kirlenmiş su özelliği taşıdığı belirlenmiştir. Fakat mansap bölgesine doğru artan kirlilik baskısı gözlenmiş, özellikle evsel ve tarımsal faaliyetlerden kaynaklı, akarsuda fekal indikatör bakteri kontaminasyonu tespit edilmiştir (Taş ve ark., 2023). Terme ve Kocaman Çayı havzasında yapılan başka bir çalışmada, suda çeşitli protozoonların (*Balantidium* spp., *Blastocystis* spp., *Chilomastix* spp., *Cryptosporidium* spp., *Cyclospora* spp., *Giardia* spp., *Microsporidia* sporu, *Strongyloides* spp., kancalı kurt yumurtaları) bulunduğu bildirilmiştir. Bu mikroorganizmaların, alandaki yoğun tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinden kaynaklı suya karıştığı ifade edilmiştir (Karaman ve ark., 2017a). Aynı havza içindeki Miliç Irmağı'nda daha önce yapılan çalışmalarda; sucül makrofit çeşitliliği ve mevcut türlerin değerlendirilebilir potansiyeli incelenmiş, ancak akarsu sulak alanında özellikle suda serbest yüzen su eğreltilerinden *Azolla* ve *Salvinia* gibi istilacı su bitkilerinin zaman aşırı çoğalmalar yaptığı bildirilmiştir (Taş ve Topaldemir, 2021). Miliç Irmağı sediment metal içeriğinin ekotoksikolojik açıdan incelendiği çalışmada ise incelenen metallerin düşük ve az konsantrasyonlarda olduğu, dolayısıyla çocuklarda ve yetişkinlerde önemli bir sağlık riski oluşturmayacağı belirlenmiştir (Topaldemir ve ark., 2023).

Ulaşılan kaynak bilgilere göre, şu ana kadar Miliç Irmağı'nda mikrobiyolojik su kalitesinin incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı, kıyısal akarsu Miliç

Irmağı yüzey suyunda fekal indikatör bakterilerden (FIB) toplam koliform, *Escherichia coli* ve *Clostridium perfringens*'in varlığını tespit ederek, akarsuyun mikrobiyolojik su kalitesini alansal ve zamansal olarak değerlendirmektir. Araştırmada, mikrobiyal kirleticilerin kaynağı, su kalitesindeki önemli değişimlerin sebebi, büyüklüğü ve etkileri ortaya konularak, yağışlı ve kurak sezonlardaki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot

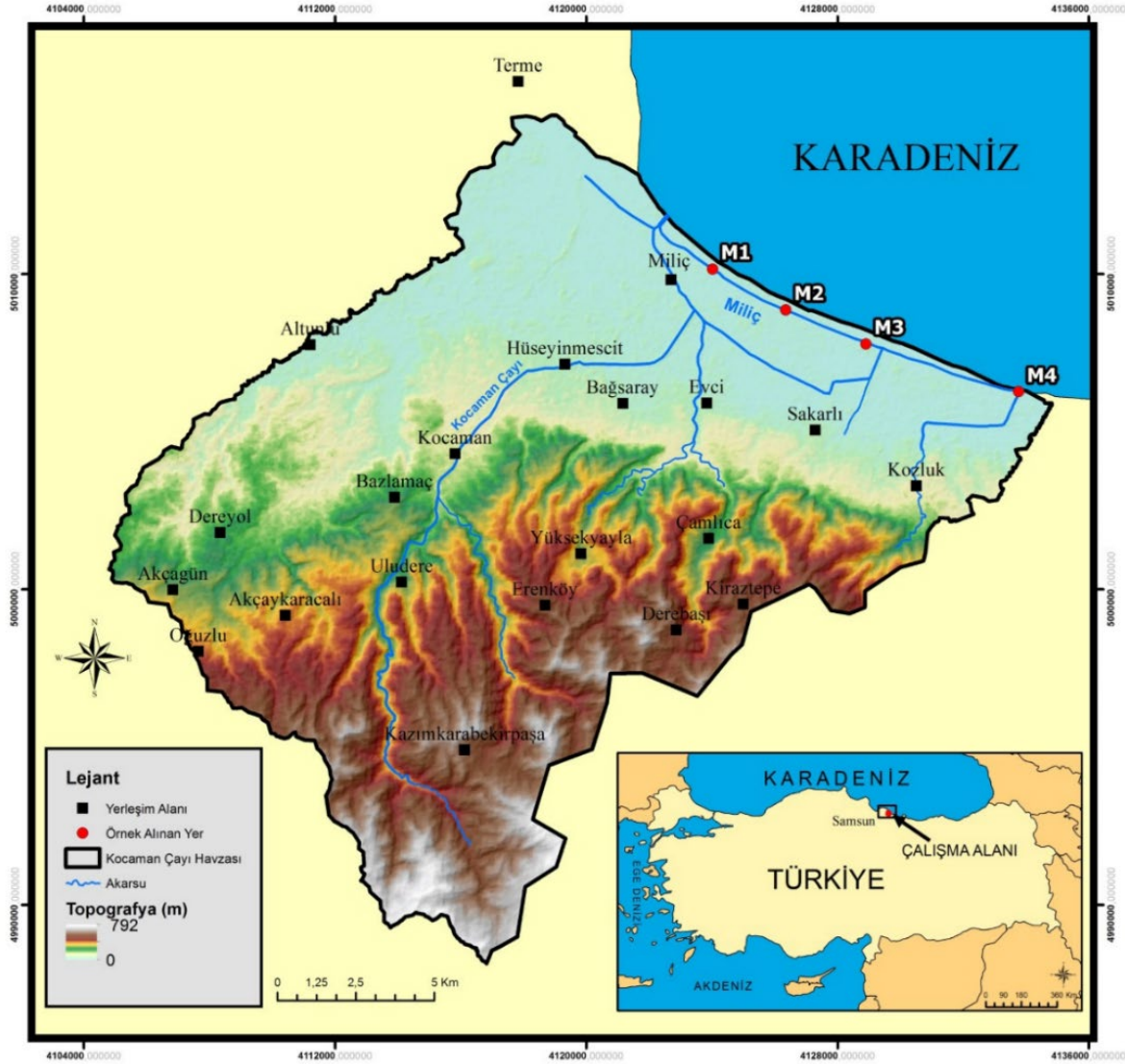
Araştırma Alanı

Miliç Irmağı-akarsu sulak alanı/taşkın yatağı; Karadeniz kıyısı ile Samsun-Ordu karayoluna batıdan doğuya doğru paralel olarak uzanan, 10 km uzunluğundaki bir akarsudur (Şekil 1). Kıyısal bir akarsu-sulak alanı özelliğine sahip olan Miliç Irmağı, Yeşilirmak Nehri Havzası'ndaki Kocaman Çayı alt havzasında bulunur. Yeşilirmak Deltası'nın ve Çarşamba Ovası'nın doğusunda bulunan Miliç, Terme Ovası'nın drenaj suları, çeşitli kanal ve derelerle beslenmektedir.

Karadeniz iklimi görülen, her mevsim yağışlı ve ılıman geçen Orta Karadeniz kıyısındaki Terme ilçesinde, aylık ortalama toplam yağış 59.15 ila 147.23 mm aralığında olup, ortalama aylık toplam yağış 100.7 mm'dir. Terme'nin ortalama yıllık yağış miktarı Türkiye'nin tüm yağış ortalamasından (623 mm) nispeten daha fazladır (MGM, 2020). Çalışma bölgesinde en yüksek yağış Kasım ayında, en az yağış Mayıs ayında olmaktadır. Terme-Kozluk Meteoroloji İstasyonu'nun 2014–2019 yıllarına ait iklim verilerine göre, aylık sıcaklık değeri 6.6°C (Ocak) ila 24.0°C (Ağustos) aralığında olup, ortalama sıcaklık 14.7°C'dir. Ortalama en düşük sıcaklık Şubat (6.8°C), en yüksek sıcaklık ise Ağustos ayındadır (23.2°C) (MGM, 2020; Taş ve ark., 2023).

Örnekleme

Nisan 2019 ile Mart 2020 arasında dört farklı istasyondan (M1: 41°10' 30.72"N-37°2' 56.87"E; M2: 41°10'10.69"N-37°3'32.47"E; M3: 41°9' 32.94"N-37°5'22.38"E ve M4: 41°8'58.37"N-37°8' 3.48"E) aylık olarak örnekleme yapıldı (Şekil 1). Steril cam numune şişeleri ırmak suyu ile birkaç defa çalkalandıktan sonra yüzeysel sudan (10–30 cm) anlık su numuneleri alındı. Su örnekleri, sıkıca kapatılarak ışık veya sıcaklıktan korunması için numune taşıma çantasına yerleştirildi. Aynı gün içinde su numuneleri Ordu Halk Sağlığı Laboratuvarı'na getirilerek 24 saat içinde mikrobiyal analizler yapıldı.



Şekil 1. Çalışma alanının konumu ve örnekleme istasyonları

Figure 1. Location of the study area and sampling stations

Analytik Metotlar

Bu çalışmada, kıyusal akarsu Miliç Irmağı yüzey suyunda toplam koliform (*TC*), *E. coli* (*EC*) ve *C. perfringens* (*CP*) varlığı araştırıldı. Tüm analizler membran filtrasyon yöntemi ile standart metotlar kullanılarak yapıldı. *TC* ve *EC* tespiti ve sayımı için standart çalışma prosedürü TS EN ISO 9308-1 (2014); *CP* (sporlular dahil) tespiti ve sayımı için standart çalışma prosedürü TS EN ISO 6222 (1999) kullanıldı. Mikrobiyal değerlendirme KOB/100 mL (100 mililitredeki koloni sayısı) olarak ifade edildi.

İstatistiksel Analizler

Miliç Irmağı istasyonlarında tespit edilen mikrobiyal parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel analizleri (ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerleri) ile istasyonlar arasında istatistiksel farklılıkların olup olmadığının tespiti için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) kullanıldı. Değişkenler arasındaki korelasyon, Pearson'un korelasyon katsayısı (r) ile belirlendi. Mikrobiyal parametrelerin değerlerine göre, ayların benzerliklerini belirlemek ve sayısını indirmek için temel bileşenler analizi (faktör analizi) ile kümeleme analizi uygulandı. Bu istatistiksel analizler SPSS 22.0 paket yazılımı ile yapıldı.

Ayrıca, FIB analiz sonuçlarından alansal ve zamansal değişimleri iyi analiz edebilmek ve görselleştirmek için Origin Pro Lab (Origin 8.5, 2021) yazılımı kullanılarak hot plot grafikleri hazırlandı. Bir ısı haritası şeklinde oluşturulan grafikte farklı renklerin tonları kullanılarak her bir veri noktalarının yoğunluğu gösterildi. Kırmızı renk tonunun artması bakteri yoğunluğunun fazla olduğunu ifade etmektedir (Taş ve ark., 2023).

Bulgular ve Tartışma

Miliç Irmağı'nda dört farklı istasyonda aylık olarak yapılan *TC*, *EC* ve *CP* analizlerinin sonuçları Tablo 1'de, mikrobiyal parametrelerin tanımlayıcı istatistiksel analizleri Tablo 2'de verilmiştir. Tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile yapılan Tukey testinde istasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Ancak mevsimsel olarak *EC* kış verileri, diğer mevsimlerden farklıdır ($p<0.05$).

Ayrıca *CP* kış verileri ile yaz ve sonbahar mevsimleri arasında anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0.05$) (Tablo 2). FIB sayısı yıllık ortalama olarak 644,7–1071,7 KOB/100 mL aralığında değişmiş olup, dağılım $TC>EC>CP$ şeklinde tespit edilmiştir. İstasyonlar arasındaki FIB yoğunluğu $M4>M1>M3>M2$; mevsimsel olarak sonbahar>kış>ilkbahar>yaz şeklindedir. İstasyonlar ve mevsimler arasında yapılan korelasyonda en yüksek ilişki *EC* için kış ($r=0.985$, $p<0.05$), *CP* için sonbaharda ($r=0.958$, $p<0.05$) belirlenmiştir. Miliç Irmağı'nda yapılan çalışmada her istasyonda, her ay FIB'lerin kaydedilmiş olması, bölgedeki çeşitli noktasal ve yayılı kaynaklardan dolayı, akarsuyun kontamine olduğunu ve halk sağlığı açısından risk oluşturabileceğini göstermektedir. *TC*, *EC* ve *CP* türlerinin mevsimsel yoğunlukları farklılık göstermekle birlikte, istasyonlar bazında yapılan değerlendirmede en fazla kontaminasyonun 4. istasyonda olduğu tespit edilmiştir. En az kontaminasyon ise 1. istasyondadır.

Tablo 1. Fekal indikatör bakterilerin (KOB/100 mL) istasyonlara göre aylık dağılımı

Table 1. Monthly distribution of fecal indicator bacteria (CFU/100 mL) by stations

FIB	İstasyon	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat
<i>TC</i>	1	1730	310	340	1442	772	806	15680	507	1430	360	567	3850
	2	3045	425	568	681	815	762	2322	372	1153	554	696	6840
	3	1504	158	219	798	748	964	2612	381	385	911	4377	7720
	4	4108	214	256	891	915	903	11408	553	1365	1409	4108	4140
<i>EC</i>	1	190	20	24	968	32	69	680	90	550	55	210	1400
	2	145	55	68	90	60	93	122	42	355	85	385	3200
	3	129	19	8	147	68	75	102	75	25	519	3292	680
	4	171	8	6	132	336	355	404	105	410	889	2994	1900
<i>CP</i>	1	56	22	26	6	26	15	8	4	10	30	49	28
	2	63	18	10	2	18	35	14	2	8	20	51	39
	3	51	35	40	2	20	9	18	1	14	22	192	62
	4	49	117	16	6	22	18	10	1	38	51	205	57

Tablo 2. Bakteriyolojik parametrelerin mekansal ve zamansal tanımlayıcı istatistik analizleri**Table 2.** Spatial and temporal descriptive statistical analyzes of bacteriological parameters

FİB	İstasyon	N	Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
TC	1	12	2316	4323	310	15680
	2	12	1519	1864	372	6840
	3	12	1731	2240	158	7720
	4	12	2523	3182	214	11408
	Toplam	48	2022	2984	158	15680
EC	1	12	357	450	20	1400
	2	12	392	892	42	3200
	3	12	428	926	8	3292
	4	12	643	906	6	2994
	Toplam	48	455	799	6	3292
CP	1	12	23	16	4	56
	2	12	23	20	2	63
	3	12	39	52	1	192
	4	12	49	58	1	205
	Toplam	48	34	41	1	205
TC	İlkbahar	12	1073	1296	158	4108
	Yaz	12	875	196	681	1442
	Sonbahar	12	3181	4982	372	15680
	Kış	12	2961	2580	360	7720
	Toplam	48	2022	2984	158	15680
EC	İlkbahar	12	70 ^a	69	6	190
	Yaz	12	202 ^a	263	32	968
	Sonbahar	12	247 ^a	222	25	680
	Kış	12	1301 ^b	1244	55	3292
	Toplam	48	455	799	6	3292
CP	İlkbahar	12	42 ^{ab}	29	10	117
	Yaz	12	15 ^a	10	2	35
	Sonbahar	12	11 ^a	10	1	38
	Kış	12	67 ^b	63	20	205
	Toplam	48	34	41	1	205

Dikey sütundaki harfler istatistiksel farklılıkları gösterir ($p < 0.05$)

Maksimum TC bakteri sayısı sonbaharda 1. istasyonda (5872 KOB/100 mL), maksimum EC (1928 KOB/100 mL) ve maksimum CP 4. istasyonda kış mevsiminde (104 KOB/100 mL) kaydedilmiştir (Şekil 2). Miliç Irmağı'ndaki FIB türlerinin yoğunluklarına göre oluşturulan hot plot grafikleri Şekil 4-6'da görülmektedir. Miliç Irmağı ile aynı havzada yer alan Terme Çayı'nın FIB yoğunluğu çalışma alanımızdaki bulgularımızla benzer olup, $TC > EC > CP$ şeklinde olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada, indikatör bakterilerin mevsimsel değişimlerine bakıldığında, TC bakteriler sonbahar mevsiminde, EC ve CP kış mevsiminde artış göstermiştir (Taş ve ark., 2023). Ege Bölgesi'nde yüksek nüfus yoğunluğu, yoğun tarımsal ve/veya endüstriyel faaliyetler nedeniyle antropojenik olarak etkilenen alanlardan geçen Meriç,

Bakırçay, Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes nehir sularının mikrobiyolojik kalitesi fekal kontaminasyon göstergelerini kullanılarak değerlendirilmiş ve kış mevsiminde fekal koliform sayılarının fazla olduğu bildirilmiştir. Çalışmada sularını Ege Denizi'ne taşıyan akarsularda dışkı kirliliği olduğu ifade edilmiştir (Kacar, 2011). Ege Denizi'nde rekreasyonel alanların karasal kirlilik kaynakları nedeniyle bakteriyolojik kontaminasyona uğradığı, bu durumun halk sağlığı, ekoloji ve çevre açısından istenmeyen durumlar oluşturduğu belirtilmiştir (Çiftçi Türetken ve Altuğ, 2016; Bulbul ve Camur-Elipek, 2017; Altınoluk Mimiroğlu ve ark., 2020). Benzer durum Marmara Denizi'ne (Hulyar ve Altuğ, 2020) ve Akdeniz'e bağlanan akarsular (Bıçkıcı ve Eken, 2021) için de geçerlidir. Terme Çayı ve Miliç Irmağı

gibi sularını Karadeniz'e taşıyan Karadeniz Bölgesi'ndeki akarsuların da fekal indikatör bakteriler ve parazitler bakımından kontamine olduğu yapılan çalışmalarda vurgulanmıştır (Kolören ve Kaya, 2012; Karaman ve ark., 2017a,b; Kolören ve ark., 2017; Akkan ve ark., 2019; Verep ve ark., 2019; Gündoğdu ve Çarlı, 2020 a,b; Kalkan ve Altuğ, 2020, Şener ve ark., 2020; Taş ve ark., 2023).

TC bakterisi, bakteriyel kirlilik seviyelerini tespit etmek için bir gösterge olarak kullanılır (Altuğ ve ark., 2017). *TC* bakterilerin akarsuda diğerlerinden daha yüksek sayılarda olması, akarsuyun yıl boyunca insan ve hayvan dışkısı ile temas halinde olduğunun bir göstergesidir. Bu durum su kaynağının kontamine olduğunu gösterir ve sağlık riskleri oluşturabilir. Akarsudaki *TC* konsantrasyonunun sonbahar aylarında diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, çalışma alanında Ağustos ayında meydana gelen sel felaketi nedeniyle, yukarı havzadan aşağı havzaya suyla taşınan organik ve inorganik tüm kirleticilerin Miliç Irmağı kıyısız sulak alanında toplanması şeklinde açıklanabilir. Tablo 1'de görüldüğü gibi, en yüksek *TC* değeri Eylül ayında ve 1. istasyonda tespit edilmiştir. Bu istasyon Kocaman Çayı ana kolunun Miliç'e bağlandığı bölgedir (Şekil 1). Dolayısıyla bu istasyonda yüksek bakteri kontaminasyonu kaydedilmiştir, fakat aynı zamanda burada çöktürme ve filtrasyonun da meydana gelmesi olasıdır. Çünkü, yoğun makrofit toplulukları içeren bu istasyondan sonra 2. ve 3. istasyonlarda *TC* değeri daha azdır. Fakat denize bağlantı bölgesindeki 4. istasyonda yukarı havzadan su taşıyan ve Miliç Irmağı ile birleşen Kozluk Deresi'nden kaynaklı olarak *TC* değerinde artış görülmüştür. Bu sonuçlar, yağışın ve sellerin aşağı havzadaki akarsu, göl, sulak alan, deniz gibi su kütlelerinde patojen mikroorganizmaların ciddi bir kontaminasyon yapabileceğini göstermektedir.

Araştırma periyodunda, *TC* sayısının mevsimsel ortalaması, *EC* ve *CP* gibi kış mevsiminde de yüksek değerlerde gözlenmiştir (Şekil 2). *TC* değerinin tüm mevsimlerde 4. istasyonda maksimum olduğu bulunmuştur ($M4 > M1 > M3 > M2$). Bu sonuçlar organik yükü oldukça fazla olan Kozluk Deresi'nin geçtiği köy ve tarım alanlarından topladığı fekal kökenli kirlilik yükünden kaynaklı olabilir. Koliform bakteri konsantrasyonlarının artmasının nedenleri; iklimik faktörler (mevsimsel sıcaklık değişim ve mevsimsel yağış miktarının azalması), mikroorganizmalar için uygun üreme ortamının oluşumu (suda toplam organik yükün fazlalığı) ve kanalizasyonlardaki atık yükünün artışı olabilir. Sonuç olarak, *TC* verileri, istasyonlardaki su kaynağının mikrobiyolojik kalitesini değerlendirmede önemli bir göstergedir. Yüksek konsantrasyonlar, su kaynaklarının sağlık riskleri oluşturabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının

düzenli olarak test edilmesi ve *TC* gibi göstergelerin izlenmesi, halk sağlığı açısından oldukça önemlidir.

İncelenen istasyonların bakteriyolojik verileri Yerüstü Su Kalitesi Yönetimi Yönetmeliği'ne göre (YSKY, 2012) değerlendirildiğinde; *TC* ortalama verilerine göre Miliç Irmağı'nın alansal ve zamansal olarak su kalitesi Sınıf II özelliği (az kirlenmiş su) taşımaktadır. Dört istasyonda yıllık ortalama *TC* sayısı >1000 KOB/100 mL'dir (Şekil 2). Mevsimsel ortalama *TC* değerleri sadece yaz mevsimde <1000 KOB/100 mL iken (875 KOB/100 mL), özellikle sonbahar ve kış mevsimlerinde 3000 KOB/100 mL civarındaki koloni sayıları istasyonların bakteriyel kontaminasyon konusunda uzun vadeli izleme çalışmalarına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. *TC* parametresi bakımından akarsu-sulak alanın ekolojik durumu "iyi" su sınıfında yer alsa da incelenen istasyonların ötrofikasyona yatkın olduğu gözlenmiştir. Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki tatlı su kaynaklarında indikatör bakteri düzeylerinin incelendiği çalışmada da Sınıf I ve Sınıf II su kalitesine sahip sucul sistemlerin çalışma alanımızdaki gibi ötrofikasyon riski taşıdığı bildirilmiştir (Altuğ ve ark., 2017).

Tatlı su ekosistemleri, özellikle sulak alanlar çevrenin korunması ve doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı için kritik ortamlardır. Dolayısıyla bu ekosistemlerin izlenmesi ve kontrol edilmesi elzemdir. Su ortamındaki bakteri yükünü anlamak için klasik bir yaklaşım olarak koliform bakteriler ve *EC* gibi indikatör bakteriler incelenir. Fekal kirliliğin bir göstergesi olarak kullanılan *EC* bakterisinin yüksek konsantrasyonları insan sağlığı için risk oluşturabilir. *EC* gibi, kültürlenebilir dışkı indikatör bakterileri (FIB), sıcakkanlı hayvanlardan gelen dışkı materyalinin varlığının bir göstergesidir ve su kalitesinin izlenmesi için mikrobiyal bir gösterge olarak kullanılır (USEPA, 2012). Dolayısıyla, *EC*'nin dışkı kontaminasyonunun ve sudaki patojenik mikropların olası varlığının en iyi göstergesi olduğu düşünülmektedir (Odonkor ve Ampofo, 2013). İnsan sağlığını tehdit eden patojen mikroorganizmaların en önemlilerinden olan *EC* ve koliform bakteriler gibi bakteri türleri, sıcakkanlı hayvanların bağırsak yolunda kolonileşen doğal mikrofloradır ve tatlı su ve deniz sularındaki varlığı, bakteriyel patojenlerin varlığına karşılık gelir (Meals ve ark., 2013). *EC*'nin tatlı su gölleri ve akarsular, topraklar ve çökelti gibi doğal ortamlarda hayatta kalabilmesine, büyüyebilmesine ve popülasyonlar oluşturabilmesine dair kanıtlar vardır (Byappanahalli ve ark., 2012; Liang ve ark., 2015). Miliç Irmağı'nda *EC* verileri incelendiğinde, istasyonlar ve mevsimler arasında farklılıklar olduğu görülmüştür (Tablo 1). En yüksek *EC* değeri 4. istasyonda tespit edilmiştir ($M4 > M3 > M2 > M1$). *EC* seviyesi mevsimsel ortalama olarak (1301 KOB/100 mL), kış mevsiminde diğer mevsimlere göre daha yüksektir (Şekil 3). Miliç Irmağı'ndaki *EC* verileri sistemin tarım alanlarından, yerleşim yerlerinden

gelen mikroorganizmalar tarafından kontamine olduğunu, dolayısıyla suyun doğrudan ve/veya dolaylı insan tüketimi/kullanımı için uygun olmadığını göstermiştir. Aynı zamanda, sonuçlar su kaynağındaki kirliliğin, özellikle de fekal kirliliğin varlığına işaret etmektedir. Aynı havza içindeki Terme Çayı'nda da *EC* tespit edilmiştir (Taş ve ark., 2023). *EC*, yüzmeye ilişkili gastroenteritin habercisi olduğundan, günümüzde rekreasyonel sular için tercih edilen bakteriyel göstergelerdir. Suda *EC*'nin varlığı neredeyse her zaman fekal kontaminasyonu ve dolayısıyla patojenlerin mevcut olma riskini gösterir (Meals ve ark., 2013). *EC*, tatlı suyun izlenmesi için tavsiye edilen indikatör bakterilerdendir (USEPA, 2004) ve 2012'de yayımlanan rekreasyonel su kalitesi kriterlerinde 100 mL'de ortalama 126 KOB aşılması durumunda suyla temas önerilmez (USEPA, 2012).

CP, işlenmiş/işlenmemiş kanalizasyon veya diğer atıklarla suyun kontamine olduğunu gösteren başka bir bakteridir. Bu bakteri tropikal ve subtropikal sularda son zamanlardaki dışkı kontaminasyonunun alternatif bir göstergesi olarak kullanılır (Meals ve ark., 2013). Miliç Irmağı'nın *CP* bakımından da kontamine olduğu, fakat diğer FIB türlerine göre daha az sayılarda olduğu görülmüştür (Tablo 1). Dört farklı istasyonda mevsimsel ortalama olarak, en yüksek *CP* değeri kış mevsiminde ve 4. istasyonda tespit edilmiştir (M4>M3>M2>M1; kış>ilkbahar>yaz>sonbahar). Ocak ayında kaydedilen en yüksek değerler 4. ve 3. istasyonlarda sırasıyla 205 ve 192 KOB/100 mL'dir. *CP* kış ortalama değeri ise 78 KOB/100 mL'dir (Şekil 4). *CP*, insanların ve hayvanların gastrointestinal sistemi ile ilişkisine ve kanalizasyondaki sporlarının varlığına dayanan geniş bir FIB geçişine sahiptir (Davies ve ark., 1995; Medema ve ark., 1997; Cox ve ark., 2005). *CP*, tortuda biriktikten sonra zorlu

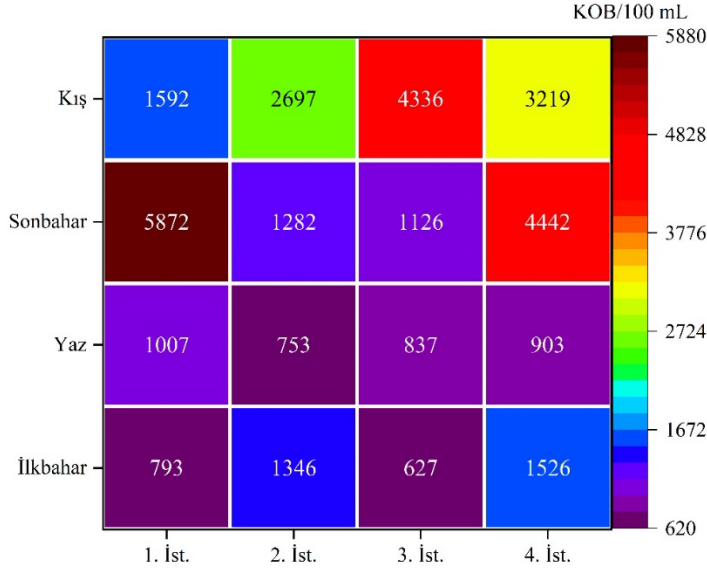
ortamlarda hayatta kalmaya izin veren spor oluşturma yeteneğine sahiptir (Davies ve ark., 1995). Hayatta kalması, boyutu ve parçacıklarla ilişkisi nedeniyle, bu organizmanın su sistemlerinde izlenmesinin iyi bir gösterge olduğu düşünülmektedir (Medema ve ark., 1997). Sediment, dışkı kirliliğinin bir deposu olarak kabul edilir (Mueller-Spitz ve ark., 2010). Deniz ve acısuların sedimentlerinde *CP* varlığını sürdürebilirken, diğer indikatör bakterilerin seviyeleri günler veya haftalar gibi kısa zaman dilimlerinde azalabilir (Ashbolt ve ark., 1993; Davies ve ark., 1995). *CP* sporları, alıcı ortama giriş yaptığı bölgede uzak yerlerde de tespit edilebilir, bu da uzak veya eski fekal kirliliğin bir göstergesidir (Savichtcheva ve Okabe, 2006; Wang ve Deng, 2019). *CP* sporları kirli sularda, özellikle tatlı sularda diğer FIB'lere göre daha uzun süre hayatta kalabilir. *CP* sporlarının uzun süreli canlılığı, bu bakterileri uzun vadeli veya biriken dışkı kirliliğinin daha iyi bir göstergesi yapar. Dolayısıyla, diğer FIB'lerle birlikte *CP*'nin de kullanılmasıyla, sucul sistemin mikrobiyal su kalitesi daha iyi tahmin edilebilir (Li ve ark., 2021).

TK, *EC* ve *CP* değerlerinin aylara göre yapılan döndürülmüş temel bileşenler analizi sonucunda öz değeri 1'den büyük 2 faktör saptanmıştır (Şekil 5). Faktör 2 içinde yağışlı geçen kış sezonu (Ocak ve Aralık ayları) verileri yer alırken, özdeğeri 1.62'dir ve toplam varyansın %27'sini açıklamaktadır. Diğer ayların ise özdeğeri 8.79 olan ve toplam varyansın %59.54'ünü oluşturan faktör 1 içinde yer aldığı görülmüştür (Tablo 3). Özdeğerlerin açıkladıkları birikimli varyans miktarı ise toplam varyansların %86.80'idir. Kış aylarında yağışlarla ve yüzey akışlarıyla taşınan fekal orijinli bakteriler, deniz rakımındaki kıyısal akarsu olan Miliç Irmağı'nda suda yüksek değerlerde kaydedilmiştir. Faktör analizi ve kümeleme analizi sonuçları da bunu desteklemiştir (Şekil 6).

Tablo 3. *TK*, *EC* ve *CP* parametrelerinin faktör analizi varyans tablosu

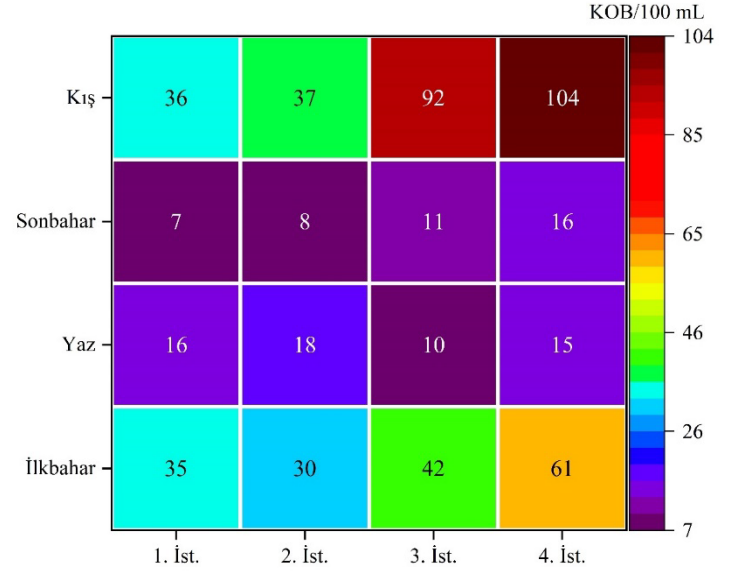
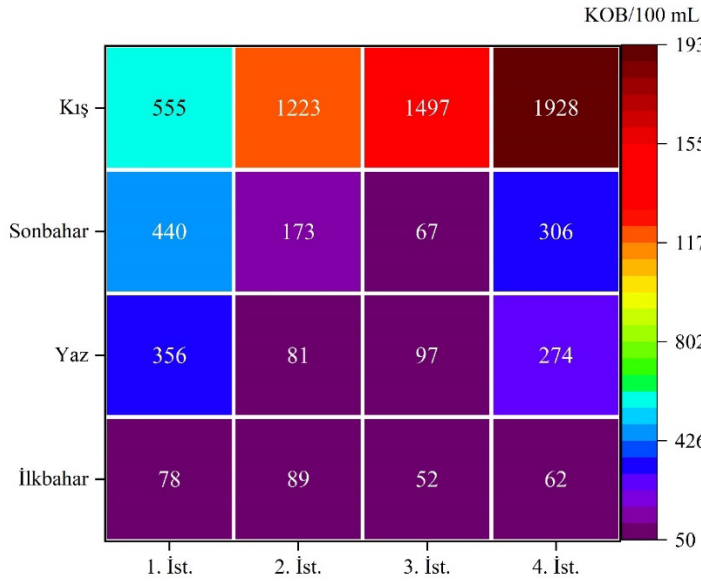
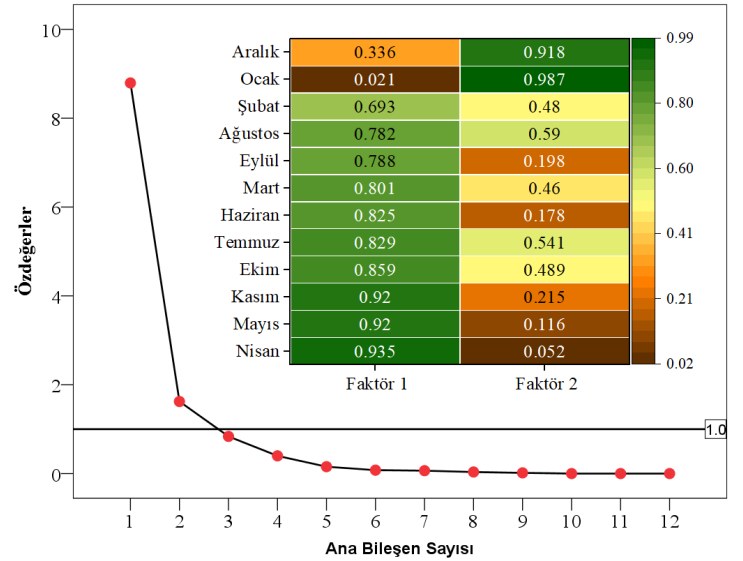
Table 3. Factor analysis variance table of *TK*, *EC* and *CP* parameters

Bileşen	Başlangıç değerler			Yüklerin açıklanabilir kareler toplamı			Döndürülmüş kareli yüklerin toplamı		
	Toplam	Varyans %	Kümülatif %	Toplam	Varyans %	Kümülatif %	Toplam	Varyans %	Kümülatif %
1	8.79	73.28	73.28	8.79	73.28	73.28	7.15	59.54	59.54
2	1.62	13.52	86.80	1.62	13.52	86.80	3.27	27.26	86.80



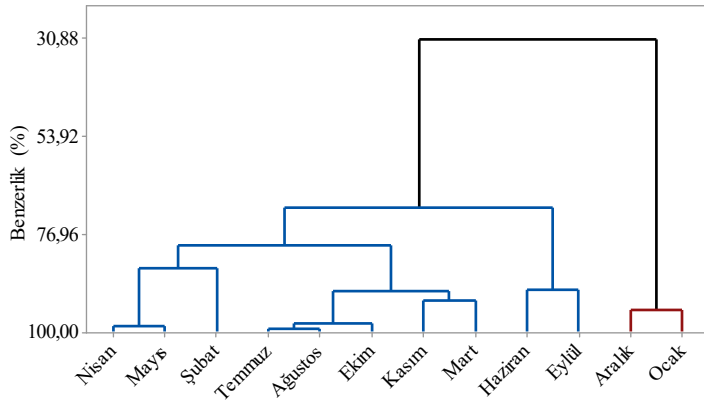
Şekil 2. Toplam koliform hot plot grafiği

Figure 2. Hot plot graph of total coliform

Şekil 4. *C. perfringens* hot plot grafiğiFigure 4. Hot plot graph of *C. perfringens*Şekil 3. *E. coli* hot plot grafiğiFigure 3. Hot plot graph of *E. coli*

Şekil 5. Bakteriyojik parametrelere göre ayların çizgi eğim grafiği ve faktör analizi

Figure 5. Line slope graph of months and factor analysis according to bacteriological parameters



Şekil 6. Bakteriyolojik parametrelere göre ayların kümeleme analizi

Figure 6. Cluster analysis of months according to bacteriological parameters

Fekal orijinli bakteriler, su havzalarında suda ve sedimentte biriktiği için, bunların alıcı ortama noktasal ve/veya noktasal olmayan kaynaklarının belirlenmesi, bu etkenlerin öncelikle ortadan kaldırılması, hayvanlar ve insanların temas ettikleri su kaynaklarının su kalitesinin izlenmesi ve kontrolü, özellikle hijyen kontrolünün sağlanması, hastalıkların ve halk sağlığı riskinin azaltılması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir. Miliç Irmağı'nda FIB kontaminasyonunun en yüksek olduğu 4. istasyon, akarsuyun Karadeniz'e bağlantılı olduğu bölgedir. Bu istasyon acısu bölgesi olmasının yanı sıra Kozluk Deresi'nin yukarı havzadan evsel ve tarım alanlarından kirlilik yükü taşıdığı düşünülmektedir. Miliç Irmağı'nın *TK*, *EC* ve *CP* bakterileri tarafından kontaminasyonu hem akarsuda hem de kıyısız bölgede, rekreasyon alanı olarak kullanılabilir potansiyele sahip plaj alanlarında halk sağlığı açısından riskler oluşturabilir. Ayrıca, akarsu hattı boyunca balık avlayıp tüketen insanların da fekal bakteri kontaminasyonuna karşı çok dikkatli olması gerekir. Çünkü doğal sulara özellikle insan ve hayvan dışkılarıyla karışan virüsler ve patojen mikroorganizmalar, suya doğrudan temasla veya atıkların karıştığı suların dolaylı yollardan ulaşarak önemli bir sağlık riski sorunu oluşturabilirler. Aynı zamanda, patojen mikroorganizmalarla kirlenmiş sular, çeşitli amaçlarla su kaynağı veya rekreasyonel alan olarak potansiyel kullanımı sınırlar. Rekreasyonel kullanıma açık sular ve içme suyu temininde mikrobiyolojik olmak üzere her türlü kirlenme ile suların kirlenmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır (Kolören ve ark., 2011a, b; Taş ve ark., 2023). *E. coli* gibi indikatör bakteriler sadece hafif enfeksiyonlara neden olsa da bunların varlığı insan sağlığı için tehlike arz etmektedir (Islam ve ark., 2017).

Karadeniz Bölgesi'nin her mevsim yağışlı olması nedeniyle, Terme Ovası'nda tarım alanlarında kullanılan hayvan gübrelere, meralarda hayvan otlatma faaliyetleri, yaban hayatı ve yerleşim alanlarından akarsuya karışan kanalizasyon ve foseptik sızıntılar aşağı akış yönünde Miliç Irmağı kıyısız sulak alanında toplanmaktadır. Karadeniz'e karışmadan önce, suda ve sedimentte bu mikroorganizmaların tutulması denizdeki bakteri konsantrasyonunu azaltabilir. Ancak Miliç Irmağı ile Karadeniz kıyısı arasında kalan su oku üzerindeki yerleşim bölgesi hem akarsu hem de deniz için bir bulaş kaynağı olarak değerlendirilmektedir.

Sonuç

Miliç Irmağı kıyısız sulak alanında *TK*, *EC* ve *CP* türleri kullanılarak yapılan araştırmada, akarsuyun patojen mikroorganizmalar tarafından kontamine olduğu tespit edilmiştir. Dört farklı istasyonda her ay yapılan örneklemeler sonucunda bütün numunelerde FIB'lerin tespit edilmesi, Miliç Irmağı'na insan ve hayvan dışkısı kökenli atıkların veya atıksuların karıştığını göstermektedir. Özellikle bölgede tarım faaliyetlerinin yoğun bir şekilde yapılması, topografik yapı ve meteorolojik koşullar gibi iklimik ve edafik faktörlerle birlikte antropojenik faaliyetler, patojen mikroorganizmaların sudaki varlığına etki eden başlıca faktörler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yüzeysel suyunun ortak bir bileşeni olan *TK*, *EC* ve *CP* patojenik mikroorganizmalar, kanalizasyonla ve yüzeysel akışlarıyla yukarı havzadan aşağı havzadaki kıyısız sulak alana taşınmaktadır. Özellikle her mevsim yağış alan bölgede kış ve sonbahar yağışlarının yoğun olduğu zamanlarda, yüzeysel akışlarla yerleşim ve tarım alanlarından gelen sular deniz seviyesindeki kıyısız Miliç sulak alanında patojenik mikroorganizmaların yoğunluklarında artışlara yol açmaktadır. Bu mikroorganizmaların az sayıda bulunması, eğer su içme suyu olarak değerlendirilmeyecekse insan sağlığı ve hayatı için bir tehdit oluşturmayabilir, ancak çok sayıda bulunması önemli derecede rahatsızlıklara neden olabilir.

Miliç Irmağı deniz seviyesinde kıyısız bir akarsu-sulak alanı özelliğine sahip olduğu için, "hassas su alanı" olarak nitelenebilir. Karadeniz'den bir kıyı kordonu (su oku) ile ayrılan akarsuyun çok fazla akışı yoktur. Daha çok durağan ve suyun bekleme süresinin fazla olduğu bu akarsu-sulak alan sistemi, sürekli olarak yukarı havzadan gelen çeşitli kirlenmeleri toplayan bir alıcı sistem olarak işlev görmektedir. Genel olarak ötrofik bir yapı göstermesi nedeniyle, gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte doğal özelliğini kaybedebilir. Yaz aylarında ışıklandırmanın ve yüzeysel su sıcaklığının artmasına bağlı olarak, özellikle aşırı yayılımı sucul bitkilerden olan su eğreltileri *Azolla* ve *Salvinia* zaman zaman su yüzeyini kimi bölgelerde tamamen kaplayarak submers bitkilerin ışık al-

masını engellemektedir. Su altı bitkilerinin ölmeleri neticesinde mevcut sistemdeki çevresel koşullar değişebilir; sedimentte organik madde miktarı artarken, dekompozisyon sırasında oksijen azalır. Bu durum genel olarak daha yüksek mikrobiyal aktiviteye ve patojenik mikroorganizmaların kompozisyonunda değişikliklere neden olabilir.

Çalışma alanında, çeşitli fekal kökenli bakteri kaynaklarının mekânsal ve zamansal olarak farklı dağılımları, muhtemelen havzada farklı noktasal ve/veya yayılı kirlenme kaynaklarına sahip olduğunu göstermektedir. Su havzalarında su kalitesini belirlemeye yönelik araştırmalardan elde edilen veriler, kirlilik izlemeyi takip etmenin yanı sıra kirli su kütlelerinin kalite yönetimine ve iyileştirmelerine uygun hale getirilmesinde rehberlik edebilir.

Yine, su kütlelerinin iklim değişikliği perspektifinde korunması ve ekolojik kaynakların akılcıca yönetilmesi de öncelikli acil konulardır. Son yıllarda FIB yaygınlığı ve dağılımındaki değişiklikler, iklim değişikliği ile ilişkilendirilmektedir. İklimle bağlı eğilimler (örn., yaz aylarında artan sıcaklıkla birlikte, aşırı yağış ve sel olayları, kış yağışları ve artan akış, artan sıcaklık dalgaları ve aşırı sıcakların süresi ve sıklığı gibi), özellikle çevresel olarak her yerde bulunan patojen mikroorganizmaların yüzey akışlarıyla aşağı havzalarda bulunan alıcı ortamlardaki konsantrasyonunu artırmaktadır. Özellikle iklimik faktörlerin (yağış ve sıcaklık) ve arazi kullanımının FIB davranışı üzerinde önemli etkileri olurken, sel nedeniyle erozyon, tortu taşınması ve yüksek patojenik organizma konsantrasyonu su kaynaklı hastalık vakalarının artmasına yol açabilir. Bu da iklim değişikliğinin önemli sağlık sonuçları olabilir.

Miliç Irmağı'nın mikrobiyal su kalitesi ve kıyısız rekreasyon sularının güvenliği, özellikle iklim değişiklikleri bağlamında, halk sağlığı ve sürdürülebilir su yönetimi için oldukça önemli olup güncelliğini korumaktadır. Etkili su kalitesi kontrolü sağlamak için, tehlikeli indikatör türlerin tespiti hem sistemin iyileştirilmesi için çalışmalar yapmaya hem de su kaynaklı patojenlere maruz kalmadan zamanında korunmaya yönelik tedbirler almaya imkân sağlayacaktır. Güvenli su kullanımına erişim tüm insanların en öncelikli haklarından.

Etik Standartlar ile Uyumluluk

Çıkar çatışması: Yazarlar herhangi bir çıkar çatışmasının olmadığını beyan eder.

Etik kurul izni: Araştırma niteliği bakımından etik izin gerektirmemektedir.

Finansal destek: Bu araştırma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından finanse edilmiştir. Proje Numarası: B-1912.

Teşekkür: Ordu Halk Sağlığı Laboratuvarı'na, Biyolog Bülent KAYNAK ve Biyolog Kasım DEMİR'e analizlerdeki destekleri için teşekkür ederiz.

Açıklama: -

Kaynaklar

Akkan, T., Mehel, S., Mutlu, C. (2019). Determining the level of bacteriological pollution level in Yağlıdere Stream, Giresun. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 5(2), 83–88.

<https://doi.org/10.17216/limnofish.450722>

Altınoluk Mimirolu, P., Çamur Elipek, B., Aydoğdu, H. (2020). The evaluation of ecological status in Tunca (Tundzha) Tiver (Turkish Thrace) based on environmental conditions and bacterial features. *Aquatic Research*, 3(2), 98–109.

<https://doi.org/10.3153/AR20009>

Altuğ, G., Çardak, M., Türetken, P. S. Ç., Şahin, S. K., Kalkan, S. (2017). The levels of bio-indicator bacteria in the fresh water resources of Eastern Anatolia Region of Turkey. *Environmental Pollution and Protection*, 2(3), 117–123.

<https://doi.org/10.22606/epp.2017.23005>

Ashbolt, N.J., Grohmann, G.S., Kueh, C.S.W. (1993). Significance of specific bacterial pathogens in the assessment of polluted receiving waters of Sydney, Australia. *Water Science and Technology*, 27(3–4), 449–452.

<https://doi.org/10.2166/wst.1993.0390>

Aydın, H., Ustaoglu, F., Tepe, Y., Soylu, E.N. (2021). Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods. *Environmental Forensics*, 22(1-2), 270–287.

<https://doi.org/10.1080/15275922.2020.1836074>

Bıçkıcı, E., Eken, M. (2021). Investigation of bacterial pollution in Ceyhan River (Turkey) and the resistance levels of gram (+) and gram (-) bacteria to antibiotics. *Marine and Life Sciences*, 3(1), 7–14.

<https://doi.org/10.51756/marlife.913566>

Bulbul, G., Camur-Elipek, B. (2017). Investigation of the effects of domestic waste on aquatic bacterial distribution in the Meric River (Edirne, Turkey). *Biologija*, 63(3), 256–263.

<https://doi.org/10.6001/biologija.v63i3.3580>

Byappanahalli, M.N., Nevers, M.B., Korajkic, A., Staley, Z.R., Harwood, V.J. (2012). Enterococci in the environment. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 76(4), 685–706.

<https://doi.org/10.1128/MMBR.00023-12>

Cox, P., Griffith, M., Angles, M., Deere, D., Ferguson, C. (2005). Concentrations of pathogens and indicators in animal feces in the Sydney watershed. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 5929–5934.

<https://doi.org/10.1128/AEM.71.10.5929-5934.2005>

Çiftçi Türetken, P.S., Altuğ, G. (2016). Bacterial pollution, activity and heterotrophic diversity of the northern part of the Aegean Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188, 127.

<https://doi.org/10.1007/s10661-016-5109-6>

Davies, C.M., Long, J.A., Donald, M., Ashbolt, N.J. (1995). Survival of fecal microorganisms in marine and freshwater sediments. *Applied and Environmental Microbiology*, 61(5), 1888–1896.

<https://doi.org/10.1128/aem.61.5.1888-1896.1995>

Ford, T.E., Hamner, S. (2018). A perspective on the global pandemic of waterborne disease. *Microbial Ecology*, 76, 2–8.

<https://doi.org/10.1007/s00248-015-0629-0>

Gündoğdu, A., Çarlı, U. (2020a). Sinop Karasu Çayı fiziko-kimyasal özellikleri ve mikrobiyolojik kirliliğinin araştırılması. *Mustafa Kemal Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(2), 284–299.

<https://doi.org/10.37908/mkutbd.690179>

Gündoğdu, A., Çarlı, U. (2020b). Microbiological pollution and some physicochemical properties of sıkaraağaçlar creek in sinop (Black Sea-Turkey). *Cumhuriyet Science Journal*, 41(3), 580–593.

<https://doi.org/10.17776/csj.672225>

Hulyar, O., Altuğ, G. (2020). The bacteriological risk transported to seas by rivers; the example of Çırpıcı River, the Sea of Marmara. *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 7(1), 45–53.

<https://doi.org/10.30897/ijegeo.704260>

Islam, M.M.M., Hofstra, N., Islam, M.A. (2017). The impact of environmental variables of faecal indicator bacteria in the Betna River Basin, Bangladesh. *Environmental Processes*, 4, 319–332.

<https://doi.org/10.30897/ijegeo.704260>

Kacar, A. (2011). Analysis of spatial and temporal variation in the levels of microbial fecal indicators in the major rivers flowing into the Aegean Sea, Turkey. *Ecological Indicators*, 11(5), 1360–1365.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.02.010>

Kalkan, S., Altuğ, G. (2020). The composition of cultivable bacteria, bacterial pollution, and environmental variables of the coastal areas: An example from the Southeastern Black Sea, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192, 356.

<https://doi.org/10.1007/s10661-020-08310-5>

Karaman, U., Koloren, Z., Ayaz, E., Demirel, E., Seferoğlu, O. (2017a). The Protozoa and helminths in the water of Terme and Kocaman Boroughs of Samsun Province. *Journal of Turgut Ozal Medical Center*, 24(4), 472–476.

<https://doi.org/10.5455/jtomc.2017.09.124>

Karaman, Ü., Kolören, Z., Seferoğlu, O., Ayaz, E., Demirel, E. (2017b). Samsun il ve ilçelerinden alınan çevresel sularda parazitlerin varlığı. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, 41, 19–21.

<https://doi.org/10.5152/tpd.2017.3574>

Kiedrzyńska, E., Kiedrzyński, M., Zalewski, M. (2008a). Flood sediment deposition and phosphorus retention in a lowland river floodplain: impact on water quality of a reservoir, Sulejów, Poland. *Ecology & Hydrobiology*, 8(2–4), 281–289.

<https://doi.org/10.2478/v10104-009-0022-z>

Kiedrzyńska, E., Wagner-Łotkowska, I., Zalewski, M. (2008b). Quantification of phosphorus retention efficiency by floodplain vegetation and a management strategy for a eutrophic reservoir restoration. *Ecological Engineering*, 33(1), 15–25.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.10.010>

Kolören, Z., Delioğlu, B.K., Taş, B. (2017). Detection of *Cryptosporidium* oocysts by loop mediated isothermal amplification (LAMP) in surface water from River Yeşilirmak and Stream Tersakan (Samsun-Amasya). *Anadolu University Journal of Science and Technology C-Life Sciences and Biotechnology*, 6(1), 31–37.

<https://doi.org/10.18036/aubtdc.269434>

- Kolören, Z., Demirel, E., Taş, B. (2011a).** Ulugöl (Ordu, Türkiye)'de fekal kirlilik indikatörü bakterilerin tespiti. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 4(2), 151–156.
- Kolören, Z., Taş, B., Kaya, D. (2011b).** Gaga Gölü (Ordu, Türkiye)'nün mikrobiyolojik kirlilik seviyesinin belirlenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 74–85.
- Kolören, Z., Kaya, D. (2012).** Fecal pollution in rural water supplies of Ordu, at the Mid-Black Sea Coast of Turkey: The effect of climate and environmental elements. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 28(2), 869–878.
- Leifels, M., Sirikanchana, K., Ebdon, J. (2022).** Microbiological impact of diffuse pollution sources on water quality. In *Land Use and Water Quality: The Impacts of Diffuse Pollution* (pp. 73–82). IWA Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781789061123>
- Li, E., Saleem, F., Edge, T.A., Schellhorn, H.E. (2021).** Biological indicators for fecal pollution detection and source tracking: A review. *Processes*, 9(11), 2058. <https://doi.org/10.3390/pr9112058>
- Liang, L., Goh, S.G., Vergara, G.G.R.V., Fang, H.M., Rezaeinejad, S., Chang, S.Y., ... Gin, K.Y.H. (2015).** Alternative fecal indicators and their empirical relationships with enteric viruses, *Salmonella enterica*, and *Pseudomonas aeruginosa* in surface waters of a tropical urban catchment. *Applied and Environmental Microbiology*, 81(3), 850–860. <https://doi.org/10.1128/AEM.02670-14>
- Meals, D.W., Jon B. Harcum, J.B., Dressing, S.A. (2013).** Monitoring for microbial pathogens and indicators. *Tech Notes* 9. https://www.epa.gov/sites/default/files/2016-05/documents/tech_notes_9_dec2013_pathogens.pdf (Erişim Tarihi: 05.05.2023)
- Medema, G.J., Bahar, M., Schets, F.M. (1997).** Survival of *Cryptosporidium parvum*, *Escherichia coli*, faecal enterococci and *Clostridium perfringens* in river water: influence of temperature and autochthonous microorganisms. *Water Science and Technology*, 35(11–12), 249–252. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00267-9](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00267-9)
- MGM. (2020).** Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), Terme-Kozluk Meteoroloji İstasyonu, Samsun.
- Mueller-Spitz, S.R., Stewart, L.B., Klump, J.V., McLellan, S.L. (2010).** Freshwater suspended sediments and sewage are reservoirs for enterotoxin-positive *Clostridium perfringens*. *Applied and Environmental Microbiology*, 76(16), 5556–5562. <https://doi.org/10.1128/AEM.01702-09>
- Odonkor, S.T., Ampofo, J.K. (2013).** *Escherichia coli* as an indicator of bacteriological quality of water: an overview. *Microbiology Research*, 4(1), e2. <https://doi.org/10.4081/mr.2013.e2>
- Şener, Ş., Şener, E., Varol, S. (2020).** Hydro-chemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey). *Environmental Pollution*, 266, 115214. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115214>
- Taş, B., Kolören, Z. (2017).** Evaluation of water qualities of discharging area of some runoff waters into Black Sea in the Central Black Sea Region of Turkey. *Review of Hydrobiology*, 10(1), 1–19.
- Taş, B., Tepe, Y., Ustaoglu, F., Alptekin, S. (2019).** Benthic algal diversity and water quality evaluation by biological approach of Turnasuyu Creek, NE Turkey. *Desalination and Water Treatment*, 155, 402–415. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24225>
- Taş, B., Topaldemir, H. (2021).** Assessment of aquatic plants in the Miliç Coastal Wetland (Terme, Samsun, Turkey). *Review of Hydrobiology*, 14(1-2), 1–23.
- Taş, B., Yılmaz, Ö., Ustaoglu, F. (2021).** Ilıman bir Türkiye nehir havzasında dere su kalitesinin çok değişkenli analiz ve biyolojik yaklaşımlarla değerlendirilmesi. *Acta Aquatica Turcica*, 17(1), 34–55. <https://doi.org/10.22392/actaquatr.751773>
- Taş, B., Topaldemir, H., Ustaoglu, F., Kolören, Z. (2023).** Türkiye'nin kuzeyinde ova ve kentsel alanlardan geçen bir akarsuyun mikrobiyal kirlilik göstergelerindeki mekansal-zamansal değişimlerin değerlendirilmesi. *Aquatic Research*, 6(2), 133–144. <https://doi.org/10.3153/AR23014>
- Topaldemir, H., Taş, B., Yüksel, B., Ustaoglu, F. (2023).** Potentially hazardous elements in sediments and *Ceratophyllum demersum*: An ecotoxicological risk assessment in Miliç Wetland, Samsun, Türkiye. *Environmental Science and Pollution Research*, 30, 26397–26416. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-23937-2>

Savichtcheva, O., Okabe, S. (2006). Alternative indicators of fecal pollution: relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. *Water Research*, 40(13), 2463–2476.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.04.040>

TS EN ISO 6222. (1999). Su kalitesi - Kültürü yapılabilen mikroorganizmaların sayımı - Agar besiyerinde aşılama ile koloni sayımı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN ISO 9308-1. (2014). Su Kalitesi-*Escherichia coli* ve koliform bakterilerin tespiti ve sayımı-Bölüm 1: Membranla süzme yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

USEPA. (2004). Water Quality Standards for Coastal and Great Lakes Recreation Waters. 40 CFR Part 131 [OW-2004-0010; FRL-7837-5]. <https://www.govinfo.gov/con-tent/pkg/FR-2004-11-16/pdf/04-25303.pdf> (Erişim Tarihi: 06.05.2023)

USEPA. (2012). Recreational Water Quality Criteria. Office of Water 820-F-12-058. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-10/documents/rwqc2012.pdf> (Erişim Tarihi: 06.05.2023)

Ustaoglu, F., Kükrer, S., Taş, B., Topaldemir, H. (2022). Evaluation of metal accumulation in Terme River sediments using ecological indices and a bioindicator species. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 47399-47415. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19224-9>

Ustaoglu, F., Taş, B., Tepe, Y., Topaldemir, H. (2021). Comprehensive assessment of water quality and associated health risk by using physicochemical quality indices and multivariate analysis in Terme River, Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(44), 62736–62754. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15135-3>

Ustaoglu, F., Tepe, Y., Taş, B. (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113, 105815. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815>

Verep, B., Taşpınar Ölmez, B., Mutlu, C. (2019). Salarha Havzası Akarsularında Bakteriyojik ve Yüzey Aktif Madde Kirliliğinin İncelenmesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Dergisi*, 4(3), 565–574. <https://doi.org/10.35229/jaes.636277>

Wang, J., Deng, Z. (2019). Modeling and predicting fecal coliform bacteria levels in oyster harvest waters along Louisiana Gulf coast. *Ecological Indicators*, 101, 212–220. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.013>

YSKY. (2012). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY). 30.11.2012 tarih ve 28483 sayılı Resmî Gazete, Ankara.

Yüksel, B., Ustaoglu, F., Arica, E. (2021). Impacts of a garbage disposal facility on the water quality of Çavuşlu Stream in Giresun, Turkey: A health risk assessment study by a validated ICP-MS assay. *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(4), 181–192. <https://doi.org/10.26650/ASE2020845246>