

Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

Arife ŞİMŞEK^{1*}, Hatice TÜRK TEN², Gülfem BAKAN³

Öz

Karadeniz Bölgesi'nin en büyük akarsularından olan Kızılırmak ve Yeşilirmak, havza alanlarındaki insan aktiviteleri, tarım ve hayvancılık faaliyetleri nedeniyle kirletici faktörlerin yoğun baskısı altındadır. Bu kirletici etkilerin belirlenmesi için Orta Karadeniz Bölgesi, Samsun'da yer alan Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin fizikokimyasal özelliklerinin ve su kalitesinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Ekim 2018 ve Ağustos 2019 olmak üzere dört mevsim olacak şekilde örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği (YSKY) ne göre ve mevsimsel olarak Su Kalite İndeksine (WQI) göre değerlendirilmiştir. İstatistiksel olarak veriler arasında farklılıklar için bağımsız t-testi, parametreler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için pearson korelasyon indeksi (PCI), kirletici kaynaklarının belirlenmesi için temel bileşen analizi (TBA/FA) uygulanmıştır. TBA/FA ya göre dört faktör tüm faktörlerin %90,118 ni oluşturmuştur. YSKY'ne göre Kızılırmak I. ve II. sınıf, Yeşilirmak ise II.ve III. sınıf su kalite özelliği taşımaktadır. WQI sonuçlarına göre Kızılırmak ilkbahar mevsiminde "zayıf", Yeşilirmak ise sadece kış mevsiminde "iyi" diğer tüm mevsimlerde zayıf ve çok zayıf su kalite özelliği taşımaktadır. Sonuçlar Kızılırmak'ın içme, sulama ve endüstriyel kullanım için uygun, Yeşilirmak'ın ise sadece sulama amaçlı kullanım açısından uygun olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, Kızılırmak, İstatistiksel analiz, Su kalite indeksi, Yeşilirmak

Evaluation of Water Quality of the Middle Black Sea Region, Kızılırmak and Yeşilirmak Rivers Using Water Quality Index and Statistical Analysis

Abstract

Kızılırmak and Yeşilirmak, one of the largest rivers of the Black Sea Region, are under intense pressure of polluting factors due to human activities, agriculture and livestock activities in the basin areas. In order to determine these polluting effects, it was aimed to evaluate the physicochemical properties and water quality of Kızılırmak and Yeşilirmak rivers in Samsun, Middle Black Sea Region. Sampling studies were carried out in four seasons, October 2018 and August 2019. The results obtained in the study were evaluated according to the Surface Water Quality Regulation (SWQR) and seasonally according to the Water Quality Index (WQI). Independent t-test for statistical differences between data, Pearson Correlation Index (PCI) to determine the relationship between parameters, Principal Component Analysis/Factor Analysis (PCA) to identify pollutant sources was applied. According to PCA/FA, four factors constituted 90,118% of all factors. According to SWQR, Kızılırmak I and II. Class, Yesilirmak II. and III. class water quality feature. According to the WQI results, Kızılırmak is "weak" in spring, Yeşilirmak is "good" only in winter, but weak and very poor in all other seasons. The results showed that Kızılırmak is suitable for drinking, irrigation and industrial use, while Yeşilirmak is suitable for use only for irrigation purposes.

Keywords: Heavy metal, Kızılırmak, Statistical analysis, Water quality index, Yeşilirmak

¹Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi 55200, Samsun, arife.simsek@omu.edu.tr

²Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Ekonomisi Bölümü,55105, Samsun, hatice.turkten@omu.edu.tr

³Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü,55139 Samsun, gbakan@omu.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0002-7177-1764>

²<https://orcid.org/0000-0003-2037-7756>

³<https://orcid.org/0000-0002-2752-1303>

1. Giriş

Nehirler dinamik sistemlerdir ve tarım, sanayi, su ürünleri, hayvancılık, ulaşım ve rekreasyon gibi sektörler tarafından özellikle içme ve kullanma suyu olarak birçok kullanımı olan birincil kaynaklardır. Herhangi bir noktada bir nehrin yüzey suyu kimyası, havzanın litolojisi, atmosferik girdiler, iklim koşulları ve antropojenik girdiler dahil olmak üzere birkaç temel etkiyi yansıtır ve yapıları gereği eğim ve ana kaya jeolojisi gibi fiziksel koşullardaki değişikliklerden etkilenirler. Hem doğal hem de antropojenik kaynaklardan çözülmüş ve partikül fazlarda önemli bir madde yükünün yatay ve sürekli tek yönlü akışını taşırlar (Bellos ve Swaidis, 2005, Bakan ve ark., 2010; Ustaoglu ve ark.,2020).

Günümüzde su kullanımları, insan faaliyetlerinden kaynaklanan genel kullanım nedeniyle tehdit edildiğinden hem kentsel hem de kırsal çevreler için güvenli su kaynaklarına erişim büyük bir endişe kaynağıdır (Xiao ve ark., 2019). Su kaynaklarına ulaşmanın etkin ve pratik yönetimi, sürdürülebilir kalkınma için esastır ve yeterli miktarda ve kalitede tatlı su olmadan mümkün değildir (Aydın ve ark.,2020).

Endüstriyel, tarımsal faaliyetler ve atık deşarjı gibi antropojenik etkilerin yoğunlaşması yüzey sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Zeng ve ark., 2015; Şener ve ark., 2017). Ayrıca yeraltı sularının yoğun kullanımı, su tablası düşüşü, deniz suyu girişi ve kara çökmesi dahil olmak üzere birçok etmen çevrenin ve su kalitesinin bozulmasının nedenleri arasındadır (Blanke ve ark., 2007; Tong ve ark., 2021).

Bir havzanın süreç dinamiklerini anlamak için, iyi tasarlanmış bir su kalitesi izleme ağı, kısa ve uzun vadeli eğilim analizi için temel değerler oluştururken, su kalitesi sorunlarını tanımlar (Uncumusaoğlu ve Akkan, 2017). Ekolojik dengenin sağlanması ve su kaynaklarından verimli bir şekilde faydalanmak için, su kaynaklarının beslediği ekosistemlerin korunması ve kontrol altına alınması için, kontrollü olarak su kalitesi izlenmeli ve kirlilik değişimini etkileyen önemli faktörlerin tanımlanması ve uygun tedbirlerin alınması sağlanmalıdır (Karadavut ve ark., 2012; Kalıpçı ve ark., 2017; Cüce ve ark., 2020; Gümüş, 2021; Şimşek ve ark.,2021). Etkili bir su yönetimi için su kalitesi hakkında güvenilir bilgi toplamak, konumsal ve mevsimsel su kalitesi değişimlerini değerlendirmek, kirlilik kaynaklarını ve su kalitesi durumunu belirlemek ve su kirliliğini kontrol etmek çok önemlidir (Wu ve ark., 2018; Tian ve ark., 2019; Ustaoglu ve ark., 2020; Varol, 2020).

Su kalitesi değerlendirme indekslerinin, su ekosistemlerinin kalitesini değerlendirmede etkili bir araç olduğu bilinmektedir. Su Kalitesi İndeksi (WQI) su yönetiminde artan bir önem kazanmıştır. WQI suyun insan tüketimine uygunluğunu belirlemek için hesaplanmaktadır. Tatlı su kaynakları ile ilgilidir ve en yaygın kullanılan tatlı su kalite indekslerinden biridir (Aker ve ark., 2016; Sutadian ve ark., 2016; Mukatea ve ark., 2019; Ustaoglu ve Tepe, 2019; Varol, 2020; Tokatlı ve Ustaoglu, 2020;

Akkan ve Mutlu, 2022). Çok değişkenli istatistiksel analizler de akarsuların su kalitesi değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve su kaynakları yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır (Varol ve ark., 2012; Şener ve ark., 2017; Haider ve ark., 2019; Ustaoglu ve ark., 2020). Bu nedenle kapsamlı bir değerlendirme için WQI ile birlikte istatistiksel yöntemlerin de kullanılması su kalitesi değerlendirilmesinde daha etkili olabilir.

Orta Karadeniz Bölgesi Samsun'da yer alan Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin delta alanlarında oluşmuş kıyılarında, yurdumuzun tarımsal potansiyeli en yüksek ovalarından Bafra ve Çarşamba Ovaları yer almaktadır. Bölge, tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olması kaynaklı tarımsal atıklardan, nehirlerin şehir merkezinden geçmesi nedeniyle evsel ve endüstriyel atıklardan yoğun bir şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle, akarsuyun su kalitesi değerlendirmesine odaklanan kapsamlı bir çalışmaya ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinin su kalitesi durumundaki mevsimsel değişimin karşılaştırmalı olarak Türkiye Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Yüzeysel Su Kalitesi Yönetmeliği (2016) ve WQI ya göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Yüzey sularının fizikokimyasal parametreleri ve ağır metal konsantrasyonları kullanılarak kirlilik kaynakları arasındaki ilişki, çok değişkenli istatistiksel yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre, nehirlerin su kalitesi ve kirlilik potansiyeli araştırılmıştır.

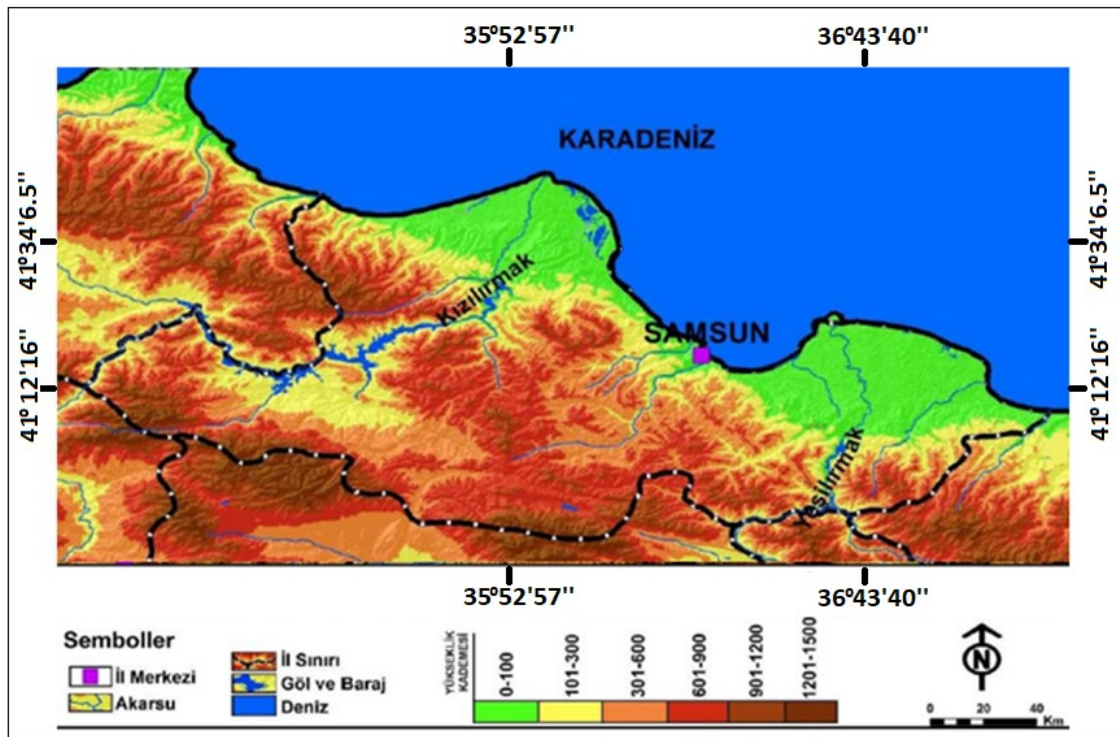
2. Materyal-Metot

2.1. Çalışma alanı

Bu çalışma Karadeniz Bölgesi'nin en büyük akarsuyu olan Kızılırmak (41° 34' 6.5" enlem - 35° 52' 57" boylam) Nehri ve en büyük 2. akarsuyu olan Yeşilirmak (41° 12' 16" enlem- 36° 43' 40" boylam) Nehri'nde gerçekleştirilmiştir (Şekil 1). Kızılırmak İç Anadolu'da Sivas Kızıldağ'dan doğup Samsun'un Bafra ilçesinde Karadeniz'e dökülmektedir. 78646 km² drenaj alanına sahip olan Kızılırmak ortalama 185 m³/s akım değerine sahip ve 1355 km uzunluğundadır. Kızılırmak, Türkiye'nin Karadeniz kıyısındaki Samsun ilindeki en önemli sulak alan ve delta ovasıdır. Delta, Türkiye'deki en büyük ikinci nehir havzasında yer almaktadır ve yüzölçümü 56.000 ha'dır. 1998 yılında "Ramsar Alanı" içine giren, "Uluslararası öneme sahip alan" özelliği taşıyan ve bu özelliği ile Karadeniz Bölgesi'ndeki tek sulak alandır (Can ve Taş, 2012). Bölgede tarımda kullanılan su, Kızılırmak Nehri'ne bağlanan drenaj kanalları vasıtasıyla deltaya taşınmaktadır. Bu drenaj kanalları doğal su kanallarıdır. Böylelikle tarımda kullanılan kimyasal gübre ve pestisitler bu sularla birlikte topraktan geçerek deltadaki yeraltı sularına ve göllere geçerek burada birikerek bölgenin ekosistemine ve insan sağlığına zarar verebilmektedir. Bu drenaj kanallarının etrafındaki tarım

alanları dışında, yerleşim yerleri ve en önemlisi yoğun hayvancılık faaliyetleri en önemli kirleticilerdir (Şener ve ark., 2020).

Yeşilırmak Havzası, Anadolu'nun kuzeyindeki Yeşilırmak Nehri üzerinden sularını Karadeniz'e boşaltan alanı kapsamaktadır. Doğduğu Köse Dağları'ndan batıya doğru akan Yeşilırmak Nehri, Çarşamba Ovası'ndan geniş bir delta yaparak Çatlı Burnu'ndan denize dökülmektedir. Karadeniz bölgesinde; Amasya, Bayburt, Çorum, Erzincan, Giresun, Gümüşhane, Ordu, Samsun, Sivas, Tokat ve Yozgat illerini de havza sınırları içerisinde bulunduran, yaklaşık 40000 km² yağış alanına sahip Türkiye'nin en büyük 5. havzasıdır (519 km) (Kazancı ve ark., 2010). Havza Anadolu'nun kuzeyinde kalan yüzeysel suların bir kısmını, içerisinde bulundurduğu nehir ve dereler yardımı ile Karadeniz'e ulaştırır. Yeşilırmak Nehri havzasında önemli kirlilik kaynakları endüstriyel kuruluşlardan kaynaklanan atık sular, yerleşim alanlarından gelen evsel atık sular ve tarım alanlarından süzülen sulardır. Yeşilırmak Havzası sınırları içerisinde inşaat halinde ve faaliyette olan toplam 23 adet baraj bulunmaktadır. Bu barajların bazıları sulama veya kullanma suyu olarak kullanılırken bazıları ise elektrik enerjisi üretmek amacı ile Hidro Elektrik Santral (HES) olarak kullanılmaktadır. Yeşilırmak nehir yatağı ve aşağı havza bölgelerinde köprü inşaatı dışında herhangi bir ıslah çalışması bulunmamaktadır.



Şekil 1. Çalışma alanı konum haritası (Yılmaz ve Zeybek, 2016)

2.2. Örneklem ve Analizler

Örnekler Orta Karadeniz Bölgesi'nde Kızılırmak ve Yeşilirmak olarak iki numune noktasından, 2018 ve 2019 yılı arasında 4 mevsim olacak şekilde sonbahar (Ekim 2018), kış (Şubat 2019), ilkbahar (Mayıs 2019), yaz (Ağustos 2019) olmak üzere her istasyondan 3 tekrarlı olacak şekilde 5 L steril polietilen şişelere kıyıdan yaklaşık 3-4 m uzaklıktan 50-100 cm derinlikten alınmıştır. Numuneler alındıktan hemen sonra pH, iletkenlik, sıcaklık, toplam çözünmüş madde (TÇM), çözünmüş oksijen (ÇO) yerinde-anlık olarak CONSORT C6010 çoklu parametre ölçer ile ölçülmüştür. Örnekler buz kutuları içinde laboratuvara nakledilmiş, analize kadar +4 °C'de buzdolabında saklanmıştır. Ağır metal analizleri için önceden temizlenmiş 100 ml cam şişelere aktarılan numuneler 45 µm whatman filtreden geçirilip ve 6M HNO₃ ile pH 2 ye getirilmiştir. Askıda katı madde (AKM) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOI) APHA 2017 'e göre, toplam azot (TN) (kit numarası: 1.14543.0001), toplam fosfor (TP) (kit numarası: 1.14537.0001) ölçümleri Everest marka T70 UV/VIS spektrofotometre ile kitli olarak ve Teledyne Tekmar Apollo 9000 Combustion TOC (total organic carbon) Analyzer cihazı ile toplam organik karbon (TOK) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Dört mevsim alınan su örneklerinin metal analizleri için Perkin Elmer Optima 7000 DV İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi (ICP-OES) cihazı kullanılmıştır. Analizler 3 tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır.

Şekil 1' de konumları verilen bu örneklem noktaları özellikle şehiriçi yerleşimin fazla olduğu, evsel ve endüstriyel deşarjların, tarımsal kaynaklı sızıntıların, dolayısıyla kirliliğin yoğun olduğu yerlerdir. Bu nedenle sucul ekosistemin etkilerinin belirlenmesi amacıyla su numuneleri kıyıya yakın bölgelerden toplanmıştır.

2.3. Su Kalite İndeksi (WQI)

Su kalitesi indeksi (WQI), suyun içme ve kullanma amaçlı değerlendirildiğinde kullanılan önemli bir araçtır. İnsan tüketimi için su kalitesini değerlendirmek amacıyla su kalitesi parametrelerinin her birinin birleşik etkisini belirleyen bir derecelendirme tekniği olarak tanımlanmaktadır (Horton 1965; Kangabam ve ark., 2017). Son yıllarda içme ve evsel amaçlı kullanılacak su kaynaklarının potansiyelini analiz etmek için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır (Khanoranga, 2019; Kutlu ve Mutlu, 2021). Temel amacı, fazla sayıda olan su kalitesi verisini anlaşılır ve bilgilendirici bir şekilde azaltmaktır (Taş ve ark., 2021).

WQI için su kalitesini etkileyen pH, iletkenlik, ÇO, KOI, TN, TP, Pb, Ni, Zn, Cu ve Cd parametreleri seçilmiştir ve denklem 3 e göre hesaplanmıştır. Tablo 1 de hesaplamada kullanılan gerçek ağırlık (wi) değerleri ve YSKY (2016) tarafından belirlenen içme suyu standart değerleri

verilmektedir. w_i belirlenirken insan sağlığı ve su kalitesi üzerindeki etkisine ve önemine bağlı olarak her parametreye 1 ile 5 arasında bir değer atanmıştır. w_i değerleri için literatürde yer alan Horton (1965) tarafından önerilen WQI hesaplamaları araştırılarak parametrelerin derecelerine göre atamalar yapılmıştır.

$$W_i = \frac{w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

$$Q_i = \frac{C_i}{S_i} \times 100 \quad (2)$$

$$WQI = \sum (W_i \times Q_i) \quad (3)$$

Burada W_i , her parametrenin göreceli ağırlığıdır, Q_i kalite derecesidir, C_i , her kimyasal parametrenin ölçülen konsantrasyonlarıdır, S_i , YSKY (2016) tarafından önerilen kimyasal parametrelerin standart değerleridir ve n , parametre sayısıdır. Fizikokimyasal parametreler ve ağır metaller için w_i ve S_i değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. $WQI < 50$ mükemmel (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun A sınıfı) ; $50 < WQI < 100$ iyi (içme, sulama ve endüstriyel kullanıma uygun B sınıfı) ; $100 < WQI < 200$ zayıf (sulama ve endüstriyel kullanıma uygun C sınıfı); $200 < WQI < 300$ çok zayıf (sadece sulama için uygun D sınıfı) ve $WQI > 300$ kullanıma uygun değil şeklinde beş kategoride sınıflandırılır (de Carvalho ve ark., 2021; Tokatlı, 2021; Hagnhnazar ve ark., 2022).

Tablo 1. Su kalite parametrelerine göre bağlı ağırlık değerleri

Parametre	YSKY(S_i)	w_i	W_i
pH	7,5	4	0,105
İletkenlik ($\mu\text{S/cm}$)	1000	5	0,132
Çözünmüş oksijen	8	3	0,079
TN (mg/L)	11,5	5	0,132
TP (mg/L)	0,2	5	0,132
KOI (mg/L)	50	4	0,105
Pb ($\mu\text{g/L}$)	14	4	0,105
Ni ($\mu\text{g/L}$)	34	3	0,079
Zn ($\mu\text{g/L}$)	231	1	0,026
Cu ($\mu\text{g/L}$)	3,1	2	0,053
Cd ($\mu\text{g/L}$)	1,5	2	0,053
$\Sigma 38$			

2.4. İstatiksel Analizler

Araştırma verileri, SPSS 24.0 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Su kalitesini belirlemek için elde edilen parametreler basit tanımlayıcı istatistiklerle (frekans, ortalama, minimum ve

maksimum değer, standart sapma) ortaya konulmuştur. Verilerin normal dağılımına Kolmogorov–Smirnov (K–S) testi ile bakılmıştır. Yeşilırmak ve Kızılırmak’tan alınan veriler arasında farklılık olup olmadığı bağımsız t-testi ile belirlenmiştir. Bağımsız örneklem t-testinde iki grubun ortalamaları karşılaştırılmıştır. Araştırmada elde edilen parametreler arasındaki ilişkiyi tespit etmek için korelasyon analizi yapılmıştır. Korelasyon analizinde iki veya daha çok sayıda değişken arasında bir ilişki bulunup bulunmadığı, eğer varsa bu ilişkinin derecesi ve fonksiyonel şekli belirlenmeye çalışılır (Ustaoglu vd., 2019; Haghazar ve ark., 2021; Üstün Odabaşı ve ark., 2022). Korelasyonun hesaplanmasında Pearson korelasyon testinden yararlanılmıştır. Biri ile ilişkili parametrelerin bir araya getirilerek daha az değişkenle açıklanması için Temel Bileşen Analizi /Faktör analizi (TBA/FA) yapılmıştır. TBA öncesi elde edilen KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) örneklem yeterliliği testi sonuçları 0,567 olarak hesaplanmıştır. TBA/FA, birbiri ile ilişkili p tane değişkeni bir araya getirerek az sayıda ilişkisiz ve kavramsal olarak anlamlı yeni değişkenler (faktörler, boyutlar) bulmayı amaçlayan çok değişkenli bir istatistik yöntemidir. Temel bileşen analizinde varimax yöntemi kullanılmıştır. Faktör yükleri matrisinin sütunlarına öncelik veren bu yöntemde, her sütundaki bazı yük değerleri 1’e yaklaştırılırken geriye kalan çok sayıdaki yük değerleri 0’a yaklaştırılır. Faktör varyanslarının maksimum olmasını sağlayacak biçimde döndürme yapılır. Bu amaçla geliştirilen V fonksiyonunun maksimum olması hedeflenir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Su Kalitesi Parametrelerinin Değerlendirilmesi

Su kalitesini etkileyen fizikokimyasal parametrelerin Kızılırmak ve Yeşilırmak’ta ölçümlerinin minimum, maksimum ve standart sapma değerleri Tablo 2’de yer almaktadır. pH değeri Kızılırmak’ta ortalama 7,77, Yeşilırmak’ta 7,71 olarak ölçülmüştür. Ancak iki farklı ırmakta ölçülen pH değeri ırmaklar arasında farklılık göstermemektedir. TÇM ölçümü Kızılırmak’ta ortalama 779,25 mg/L iken, Yeşilırmak’taki ortalama değeri 402,00 mg/L’dir. Irmaklar arası TÇM değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p < 0,05$) (Tablo 2). İletkenlik değeri Kızılırmak’ta ortalama 1459,5 $\mu\text{s/cm}$, Yeşilırmak’ta 760,25 $\mu\text{s/cm}$ olarak ölçülmüştür. Irmaklar arası iletkenlik değeri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmaktadır ($p < 0,05$). Yeşilırmak’taki iletkenlik değeri Kızılırmak’taki iletkenlik değerinden daha düşüktür. Bakan vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada Kızılırmak’ta ortalama iletkenlik değeri 1340 $\mu\text{s/cm}$ olarak belirlenmiştir. TÇM parametresi ile doğrudan ilişkili olan suyun elektriksel iletkenliği (EC) sudaki iyon konsantrasyonuna bağlıdır ve aralarında pozitif ilişki vardır (Taş ve ark, 2021). Tuzluluk ve çözünmüş mineraller elektriksel iletkenliğin artmasına neden olan faktörler arasındadır (Atıcı, 2004). Tablo 3’de verilen

pearson korelasyon analizi sonuçlarına göre TÇM ve EC arasında yüksek korelasyon olduğu görülmektedir ($r=0,851$; $p < 0,01$). Kızılırmak ve Yeşilirmak örnekleme noktalarında iletkenliğin yüksek olmasının nedeni denize bağlantı noktalarına yakın yerlerden numune alınmış olmasıdır. Akbal ve ark. (2011a) tarafından yapılan çalışmada benzer olarak Yeşilirmak'ta EC 362-385 $\mu\text{s/cm}$ ve Kızılırmak'ta 1240-1450 $\mu\text{s/cm}$ ve (Akbal ve ark., 2011b) tarafından yapılan çalışmada 427 $\mu\text{s/cm}$ (Yeşilirmak) ve 1700 $\mu\text{s/cm}$ (Kızılırmak) olarak bulunmuştur. YSKY (2016) e göre iletkenlik parametresi Kızılırmak'ta III. sınıf Yeşilirmak'ta I.ve II. sınıf su kalite özelliği göstermektedir.

Ölçülen sıcaklık değerlerini incelediğimizde ırmaklar arasında farklılık göstermediği tespit edilmiştir ($p < 0,05$). Irmaklardaki ortalama sıcaklık değeri 19,4 °C'dir. Çözünmüş oksijen değeri Kızılırmak'ta ortalama 10,19 mg/L (I.sınıf), Yeşilirmak'ta 4,09 mg/L (III. sınıf) olarak ölçülmüştür. Sudaki nutrient fazlalığı ve mikrobiyal aktiviteye bağlı olarak suyun rengi bulanır ve çözünmüş oksijen seviyesi düşer (Mahobe ve Mishra, 2013; Pandit ve ark., 2020).

AKM sonuçları Kızılırmak'ta ortalama 0,54 mg/L iken, Yeşilirmak'taki 0,67 mg/L'dir. TN, TP ve TOK ölçüm değerlerinde ırmaklar arası farklılık bulunmamaktadır ($p < 0,05$). Ortalama TN değeri Kızılırmak için 2,07 mg/L (I. Sınıf), TP değeri 0,17 mg/L (I.-II. sınıf) ve TOK değeri 1,52 mg/L'dir. Yeşilirmak'ta ise sırasıyla 5,78 mg/l (I.-II. sınıf); 1,28mg/l ve 3,62 mg/l (III. sınıf) dir. Kızılırmak'taki KOİ Yeşilirmak'a göre daha düşüktür. KOİ değeri ne kadar yüksek olursa, su içerisinde de bulunan organik madde miktarı o kadar fazla olur (Özdoğan vd.2021). Buna bağlı olarak KOİ ve TOK arasında doğru orantı bulunmaktadır ($r=0,872$; $p < 0,01$).

Tablo 2. Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta ölçülen Fizikokimyasal parametreler ve ağır metallerin minimum, maksimum, Ort±std sapma ve YSKY değerleri

Parametre	Kızılırmak			Yeşilirmak			YSKY		
	Min	Max	Ort±std sapma	Min	Max	Ort±std sapma	I (çok iyi)	II (iyi)	III (orta)
pH	7,61	7,83	7,77±0,10	7,07	8,10	7,71±0,46	6-9	6-9	6-9
EC(µs/cm)**	1383	1591	1459,5±95,8	389	1166	760,3±416,68	< 400	1000	> 1000
TÇM (mg/L)**	491,0	961,0	779,3±201,5	245	633	402,0±187,04	-	-	-
Sıcaklık (°C)	10,80	24,30	19,03±5,95	11,0	25,80	19,93±6,29	-	-	-
ÇO (mg/L)***	9,22	11,48	10,19±1,10	1,79	8,34	4,09±2,93	> 8	6	< 6
AKM (mg/L)	0,26	1,05	0,54±0,36	0,54	0,81	0,67±0,12	-	-	-
TN (mg/L)	0,57	4,95	2,07±1,96	1,68	16,19	5,78±6,95	< 3,5	11,5	> 11,5
TP (mg/L)	0,05	0,35	0,17±0,13	0,06	3,49	1,28±1,52	< 0,08	0,2	> 0,2
KOI(mg/L)***	57,6	118	85,40±29,26	144	409	231±120,4	< 25	50	> 50
TOK (mg/L)	1,26	1,76	1,52±0,23	1,15	9,08	3,62±3,75	-	-	-
							YO-ÇKS	MAX-ÇKS	
Pb	1,0	13	7,25±5,32	3,0	18	8,75±6,90	1,2	14	
Ni	1,2	4,7	3,35±1,52	1,5	6	3,63±2,17	4	34	
Zn	15	36	24,50±9,40	15	54	32,75±20,69	5,9	231	
Cu***	1,40	3,80	2,50±1,14	2,70	7,50	5,10±1,97	1,6	3,1	
Fe	43	317	171,0±143,32	218	318	269,0±54,39	36	101	
Al	27	376	183,8±183,31	17	376	227,8±152,1	2,2	27	
Cd	1,5	17	6,68±7,08	4,10	19	9,25±6,66	0,25	1,5	

*, ** ve *** ilgili değişken açısından Kızılırmak ve Yeşilirmak arasındaki farkın sırasıyla %10, %5 ve %1 ihtimal düzeyinde istatistiki açıdan önemli olduğunu ifade etmektedir.

YO: yıllık ortalama MAX : maksimum ÇKS: çevresel kalite standartları

Su kalitesini etkileyen ağır metal parametrelerin Kızılırmak ve Yeşilirmak'ta yapılan analiz sonuçları ırmaklar arası farklılık göstermemektedir. Ortalama Pb değeri 8,00 µg/l, Ni değeri 3,49 µg/l, Zn değeri 28,63 µg/l, Fe değeri 220,00 µg/l, Al değeri 205,75 µg/l ve Cd değeri 7,96 µg/l'dir. Ancak Cu değeri ırmaklar arası farklılık göstermektedir. Kızılırmak'ta Cu değeri ortalama 2,50 µg/l iken, Yeşilirmak'ta 5,10 µg/l'dir Kızılırmak'ta Cu sonuçları maksimum ÇKS değerlerinin altında kalırken, Yeşilirmak'ta maksimum ÇKS değerlerinin üzerinde bulunmuştur. Bakır (Cu), sucul yaşam için zorunlu olan mikro besleyici elementtir. Bitkilerin çürüyerek ayrışması gibi doğal yollarla ve belediye ve sanayi atık suları gibi insan faaliyetlerinin neticesiyle olmaktadır (Eqani, 2016). Yeşilirmak nehrinde birçok parametrenin II. ve III. sınıf su kalite özelliği göstermesinin nedeni kentsel deşarjların, hayvancılık ve tarımsal faaliyetlerin yoğun olduğu bir alan olmasından kaynaklanmaktadır. Örnekleme yapılan her mevsim Yeşilirmak örnekleme noktasında yoğun kötü koku olduğu hissedilmiş ve görsel olarak da suyun kirli olduğu görülmüştür.

İstatistiksel olarak metaller arasındaki ilişkiyi değerlendirdiğimizde Pb değeri ile Ni değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($p<0,05$). Pb doğal yollardan ve insan faaliyetleri neticesinde çevreye yayılır, benzer olarak Ni de hem doğal hem de insan kaynaklı çevreye yayılmaktadır. Her iki metalinde antropojenik kaynaklı olması korelasyon ilişkisini arttırmaktadır. Pb değeri 1 birim arttığında, Ni değeri 0,919 birim artmaktadır. Pb değeri ile Zn değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Pb değeri 1 birim arttığında, Zn değeri 0,750 birim azalmaktadır. Pb değeri ile Fe değeri arasında pozitif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Pb değeri 1 birim arttığında, Fe değeri 0,754 birim artmaktadır. Pb değeri ile Al değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Pb değeri 1 birim arttığında, Al değeri 0,833 birim artmaktadır (Tablo 3).

Ni değeri ile Zn değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu tespit edilmiştir ($p<0,01$). Ni değeri 1 birim arttığında, Zn değeri 0,776 birim azalmaktadır. Alüminyum ve demir yer kabuğunda en çok bulunan metallerdir. Fe değeri ile Al değeri arasında pozitif yönlü, çok yüksek derecede anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ($p<0,05$). Fe değeri 1 birim arttığında, Al değeri 0,846 birim artmaktadır. Al değeri ile Cd değeri arasında negatif yönlü, yüksek derecede anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiştir ($p<0,01$). Al değeri 1 birim arttığında, Cd değeri 0,781 birim azalmaktadır (Tablo3).

Tablo 3: Su kalitesini etkileyen fizikokimyasal parametreler ve ağır metallerin pearson korelasyon ilişkisi

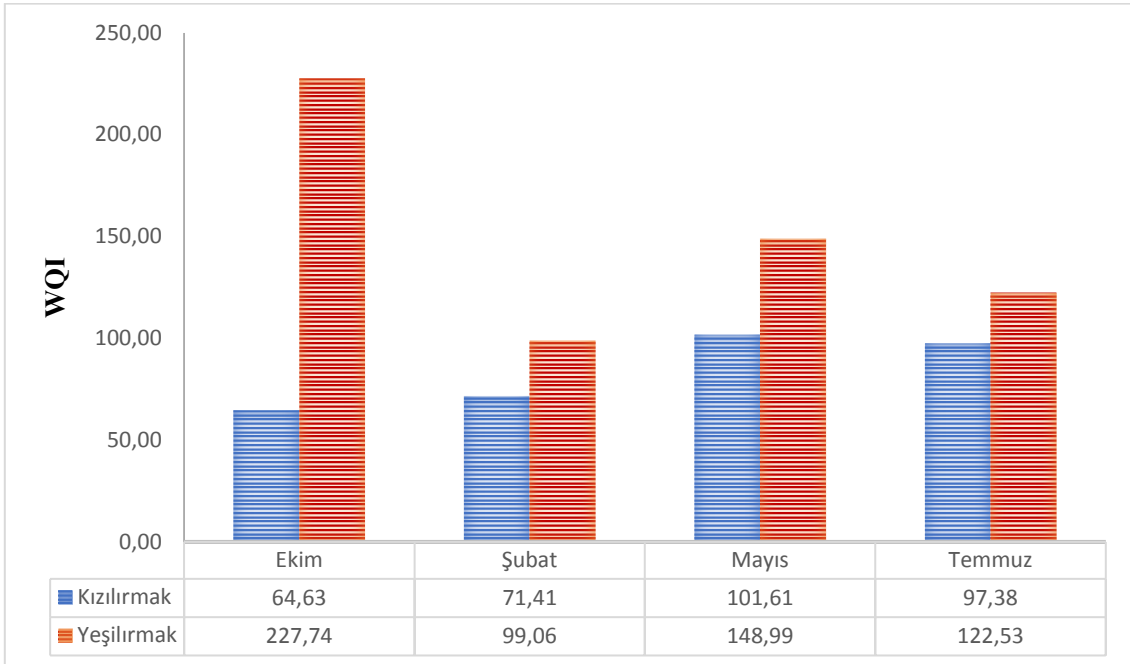
	pH	İletkenlik	TÇM	Sıcaklık	ÇO	AKM	TN	TP	KOI	TOK	Pb	Ni	Zn	Cu	Fe	Al	Cd
pH	1,00																
İletkenlik	-0,13	1,00															
TÇM	0,19	,851**	1,00														
Sıcaklık	-0,35	-0,28	-0,28	1,00													
ÇO	0,18	0,44	0,52	0,06	1,00												
AKM	0,30	-0,06	0,16	0,01	-0,37	1,00											
TN	0,46	-0,02	0,14	-0,48	-0,47	0,53	1,00										
TP	-,826*	-0,18	-0,36	0,29	-0,62	-0,02	-0,20	1,00									
KOI	-0,69	-0,33	-0,42	0,30	-,753*	0,16	0,01	,960**	1,00								
TOK	-,761*	0,09	-0,10	-0,04	-0,63	0,03	0,10	,904**	,872**	1,00							
Pb	0,35	-0,47	-0,15	0,56	0,01	0,37	-0,24	-0,07	0,03	-0,38	1,00						
Ni	0,30	-0,53	-0,17	0,52	0,21	0,08	-0,40	-0,11	-0,05	-0,44	,919**	1,00					
Zn	-0,20	0,24	0,09	-,728*	-0,51	0,04	0,59	0,31	0,32	0,65	-,750*	-,776*	1,00				
Cu	0,15	-0,32	-0,23	-0,46	-,774*	0,14	0,66	0,31	0,44	0,46	-0,13	-0,19	0,68	1,00			
Fe	0,13	-0,50	-0,21	0,69	-0,32	0,44	0,14	0,19	0,38	-0,02	,754*	0,63	-0,45	0,15	1,00		
Al	0,59	-0,37	0,00	0,48	-0,01	0,46	0,19	-0,32	-0,15	-0,49	,833*	0,70	-0,62	0,01	,846**	1,00	
Cd	-,788*	0,08	-0,41	-0,03	-0,36	-0,37	-0,19	0,62	0,49	0,65	-0,66	-0,66	0,47	0,05	-0,45	-,781*	1,00

*0.05 anlamlılık düzeyinde ilişki **0.01 anlamlılık düzeyinde ilişki

3.2. WQI Kullanılarak Su Kalitesinin Değerlendirilmesi

WQI, suyun kullanımı için kalitesinin halka kolayca iletilmesini sağlayan güçlü bir yöntemdir. Su kalitesi için önemli görülen su parametrelerinin buna bağlı olarak entegrasyonunu sağlayan açık bir araçtır. Su kalitesini temsil eden parametreler arasından pH, EC, ÇO, TN, TP, KOİ, Pb, Ni, Zn, Cd, Cu olmak üzere 11 parametre WQI hesaplamak için kullanılmıştır. Bu indeks, Türkiye dahil olmak üzere dünyanın çeşitli ülkelerinde su kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır (Varol ve Davraz, 2015; Kükrer ve Mutlu, 2019; Tokatlı, 2019; Ustaoglu ve ark., 2019; Varol, 2020; Howladar ve ark., 2021; Taş ve ark.,2021; Haghazar ve ark.,2022).

Kızılırmak ve Yeşilirmak nehirlerinde WQI değerleri arasında mevsimsel olarak farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 2). Kızılırmak 4 mevsim boyunca sadece ilkbahar (Mayıs) mevsiminde 101,61 zayıf su kalitesi gösterirken, Yeşilirmak kış (Şubat) mevsimi dışında tüm mevsimlerde çok zayıf su kalitesi göstermektedir. Mevsimsel olarak sonbaharda Kızılırmak (64,63) iyi, Yeşilirmak (227,74) çok zayıf; kışın Kızılırmak iyi (71,41), Yeşilirmak iyi (99,06); ilkbaharda Kızılırmak (101,61) zayıf, Yeşilirmak (çok zayıf) ve yaz mevsiminde Kızılırmak (97,38) iyi, Yeşilirmak (122,53) zayıf su kalitesi özelliği göstermektedir. Buna göre her iki nehrin iyi su kalitesi gösterdiği tek mevsim kış mevsimidir. Bunun nedeni mevsimsel olarak yağışın fazla olması nedeniyle sudaki kirliliği seyrelmesidir.



Şekil 2. Örnekleme noktaları ve mevsimlere göre WQI değerleri

3.3. Faktör Analizi ve Su Kirliliği Kaynaklarının Belirlenmesi

Kızılırmak ve Yeşilirmak'tan alınan ölçümler sonucunda elde edilen 18 parametre ile yapılan temel bileşen/faktör analizi (TBA/FA) sonuçları Tablo 4'de verilmiştir. Öz değeri 1'den büyük olan 4 faktör oluşmuştur. Bu 4 faktör toplam varyansın %90,118'ini açıklamaktadır. 1. Faktör toplam varyansın %33,4'ünü açıklamakta olup, bu faktörde Al, Pb, Fe, Ni pozitif yönde güçlü ve AKM ise pozitif yönde orta derecede temsil etmektedir. Su kalitesine ait parametrelerin %33,4'ünü bünyesinde toplayan 1. faktörün toplam varyansın açıklama payına bakıldığında bu faktörün su kalitesini tek başına temsil edebilecek bir karakter taşıyacağı görülmektedir (Tablo 4). Faktör 1 de güçlü Al, Fe, Ni, Pb yüklemeleri nedeniyle evsel ve endüstriyel noktasal kaynaklar ve yağış nedeniyle meydana gelen kayaçların yüzeysel akışı ve erozyonu bu bileşenin kaynağı olabilir. Akbal ve ark. (2011b) tarafından yapılan çalışmada toplam varyansın % 20,89 unu ifade eden faktör 1 parametreleri benzer şekilde endüstriyel kaynaklara atfedilmiştir. Uncumusaoğlu ve Mutlu (2019) tarafından yapılan bir çalışmada Nikel, kurşun, bakır, çinko gibi metallerin benzer kaynaklara ve süreçlere sahip olduğu belirtilmiştir.

Tablo 4. Su kalite parametreleri döndürülmüş faktör korelasyon katsayıları

Değişken	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Özdeğer	6,391	4,985	3,772	1,973
Varyans (%)	33,639	26,239	19,855	10,386
Kümülatif (%)	33,639	59,878	79,732	90,118
Faktör yükleri (normalleştirilmiş varimax)				
Al	0,938	-0,241	0,055	-0,041
Pb	0,917	-0,046	-0,239	-0,149
Fe	0,912	0,270	0,080	-0,112
Ni	0,771	-0,148	-0,383	-0,334
Tuzluluk	-0,669	0,496	-0,253	0,266
AKM	0,567	0,029	0,519	0,292
KOİ	0,102	0,945	0,207	-0,160
TP	0,187	0,911	-0,094	-0,303
TOK	-0,284	0,865	0,314	0,119
pH	0,367	-0,820	0,334	-0,109
ÇO	-0,108	-0,651	-0,621	0,279
TN	0,058	-0,168	0,937	0,045
Cu	-0,026	0,250	0,820	-0,340
Zn	-0,619	0,242	0,737	0,054
Sıcaklık	0,589	0,405	-0,593	0,011
EC	-0,398	-0,155	-0,041	0,893
TÇM	-0,032	-0,382	0,108	0,829
Cd	0,039	-0,390	0,346	-0,739

Faktör 2 toplam varyansın %26,24 ünü temsil etmektedir. KOİ, TP ve TOK arasında kuvvetli pozitif, pH kuvvetli negatif ve ÇO orta derecede negatif yük göstermektedir. Bu faktör arıtılmamış evsel kanalizasyon suları ve tarımsal akıştan gelen besin ve organik madde girdilerini temsil eder. Faktör 3 TN, Cu ve Zn parametreleri için pozitif yönde, sıcaklık için negatif bir yük oluşturur (Islam ve ark., 2015; Varol, 2020). Bu faktör toplam varyansın % 19,86 sını temsil etmekte ve bu faktöre göre sıcaklığın azalması ve yağışın artmasıyla tarım arazilerinden gelen yüzeysel akış, erozyon ve drenaj suları kirliliğin oluşumunda etkili olduğunu göstermektedir (Taş ve ark.,2021). Son olarak Faktör 4 toplam varyansın % 10,38 ni temsil eder ve EC ve TÇM nin kuvvetli pozitif yük, Cd ise orta şiddette negatif yük oluşturduğu bir faktördür. İçme suyu için daha yüksek TÇM değerleri, jeojenik kaynaklara bağlı olabilir (Mustafa vd., 2017). Bu faktör çözünmüş katı madde girdisi ve jeojenik birikimlerden kaynaklı kirlilikleri temsil etmektedir (Tursun, 2018; Khalid, 2019).

4. Sonuçlar ve Öneriler

Karadeniz Bölgesi'nin en önemli iki akarsuyu olan Kızılırmak ve Yeşilirmak'tan 2018-2019 yılı dört mevsim olacak şekilde toplanan yüzey suyu örneklerinin fizikokimyasal ve ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. YSKY (2016) ya göre su kalite sınıfları belirlenmiş, ırmaklar arası su kalite indeksi (WQI) kullanılarak kalite değerlendirilmesi yapılmış ve sonuçlar istatistiksel olarak pearson korelasyon indeksine göre değerlendirilmiştir. Nehirlerdeki kirlilik kaynaklarını belirlemek için temel bileşen analiz uygulanmıştır. YSKY göre Kızılırmak genel olarak I ve II. Sınıf su kalitesi (az kirlenmiş), Yeşilirmak ise II.ve III.sınıf su kalite (kirlenmiş su) özelliği göstermektedir. Mevsimsel olarak WQI sonuçlarına göre Kızılırmak sadece ilk bahar mevsiminde 101,61 WQI değeriyle “zayıf-C sınıfı”, diğer mevsimlerde “iyi-B sınıfı” su özelliği; Yeşilirmak ise sadece kış mevsiminde 99,06 değeriyle “iyi-B sınıfı” diğer mevsimler “zayıf- C sınıfı” ve “çok zayıf-D sınıfı” su kalite özelliği taşımaktadır. Faktör analizinden (TBA/FA) elde edilen sonuçlar, su kalitesini etkileyen parametrelerin temel olarak organik kirlilik (evsel atıklar), inorganik kirlilik (endüstriyel atıklar), tarımsal akışla gelen nütrientler, jeojenik kaynaklar, toprak sızıntısı ve yüzey akışı ile ilgili olduğunu göstermektedir. Buna göre Yeşilirmak özelinde tüm su havzaları için bütüncül havza yönetimi yaklaşımı uygulanmalı ve su kalitesinin düzenli olarak izlenmesi sağlanmalıdır. Tarım faaliyetlerinde gübre kullanımı kontrol edilmeli ve modern sulama teknikleri uygulanmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından PYO.MUH.1904.19.004 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışma tasarımına katkıda bulunmuştur. **Arife Şimşek**: Numunelerin toplanması ve laboratuvar analizleri, yazma- orijinal taslak hazırlama, biçimsel analiz, kavramsallaştırma. **Hatice Türkten**: İnceleme ve düzenleme, istatistiksel analiz. **Gülfem Bakan**: Metodoloji, inceleme ve düzenleme, denetim. Tüm yazarlar son makaleyi okudu ve onayladı.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, İ., Bakan, G., Büyükgüngör, H., (2011a). Water and sediment quality assessment in the mid-Black Sea coast of Turkey using multivariate statistical techniques. *Environmental Earth Science*, 64, 1387–1395
- Akbal, F., Gürel, L., Bahadır, T., Güler, İ., Bakan, G. and Büyükgüngör, H., (2011b). Multivariate statistical techniques for the assessment of surface water quality at the mid-black sea coast of turkey. *Water Air Soil Pollution*, 216, 21– 37. <https://doi.org/10.1007/s11270-010-0511-0>.
- Akkan, T., Mutlu, T. (2022). Assessment of Heavy Metal Pollution of Çoruh River (Turkey) . *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* , 12 (1) , 355-367 . DOI: 10.31466/kfbd.1073227
- Akter, T., Jhohura, F.T., Akter, F., Chowdhury, T.R., Mistry, S.K., Dey, D., Barua, M.K., Islam, M.A. & Rahman, M., (2016). Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: A cross-sectional study. *Journal of Health, Population and Nutrition* 35: 4. doi: 10.1186/s41043-016-0041-5.
- Atıcı, T., (2004). Sarıyar Barajı planktonik algleri Kısım: I – *Cyanophyta*. *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi.*, 2 (12): 94.

- Aydin H., Ustaoglu F., Tepe T., Soylu E.N., (2020): Assessment of water quality of streams in northeast Turkey by water quality index and multiple statistical methods, *Environmental Forensics*, DOI: 10.1080/15275922.2020.1836074
- Aydin Uncumusaoğlu, A., Akkan, T., (2017). Assessment of Water Quality of Yağlıdere Stream (Turkey) Using Multivariate Statistical Techniques. *Polish Journal of Environmental Studies*, 26(4), 1715-1723. <https://doi.org/10.15244/pjoes/68952>
- Bakan, G., Özkoç, H.B., Tulek, S., Cuce, H., (2010). Integrated Environmental Quality Assessment of Kizilirmak River and its Coastal Environment. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 10, 453-462.
- Bellos, D. and Sawidis, T. (2005). Chemical pollution monitoring of the River Pinios (Thessalia–Greece), *Journal of Environmental Management*, 76: 282-292.
- Blanke, A., Huang, Q., Rozelle, S., Huang, J., Wang, J., (2007). Agriculture and groundwater development in northern China: trends, institutional responses, and policy options. *Water Policy* 9 (S1), 61–74. <https://doi.org/10.2166/wp.2007.045>.
- Can, Ö. ve Taş, B., (2012). Ramsar Alanı İçinde Yer Alan Cernek Gölü ve Sulak Alanının (Kızilirmak Deltası, Samsun) Ekolojik ve Sosyo-Ekonomik Önemi . *TÜBAV Bilim Dergisi* , 5 (2) , 1-11 . Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/tubav/issue/21527/230967>
- Cuce, H., Kalıpcı, E., Taş, B., Yılmaz, M. (2020). Rakım Farklılığı Nedeniyle Oluşan Meteorolojik Değişimlerin Su Kalitesine Olan Etkilerinin CBS ile Değerlendirilmesi: Morfolojik Olarak Farklı İki Göl için Bir Karşılaştırma. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi* 10(1), 1-26. DOI: 10.31466/kfbd.649297
- de Carvalho, V.S., Dos Santos, I.F., Almeida, L.C., de Souza, C.T., da Silva Júnior, J.B., Souza, L.A., Ferreira, S.L., (2021). Spatio-temporal assessment, sources and health risks of water pollutants at trace levels in public supply river using multivariate statistical techniques. *Chemosphere* 282, 130942
- Eqani, S., Kanwal, A., Ali, S. M., Sohail, M., Bhowmik, A.K, Ambreen, A., Ali, N., Fasola, M. and Shen, H., (2016). Spatial distribution of dust-bound trace metals from Pakistan and its implications for human exposure. *Environmental Pollution*, 213: 213–222. DOI: 10.1016/j.envpol.2016.02.017.
- Gümüş, N.E., (2021). Akarçay Akarsuyu (Afyonkarahisar) Su Kalitesi Ve Ağır Metal Kirliliğinin Belirlenmesi. *Anadolu Çevre ve Hayvancılık Bilimleri Dergisi*, 6(1), 120-127.
- Haghnazar H, Hudson-Edwards KA, Kumar V, Pourakbar M, Mahdavianpour M, Aghayani E.,(2021) Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*. Jul 5;285:131446. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.131446.
- Haghnazar H, Johannesson KH, González-Pinzón R, Pourakbar M, Aghayani E, Rajabi A, Hashemi AA., (2022). Groundwater geochemistry, quality, and pollution of the largest lake basin in the Middle East: Comparison of PMF and PCA-MLR receptor models and application of the source-oriented HHRA approach. *Chemosphere*. 2022 Feb;288(Pt 1):132489. doi: 10.1016/j.chemosphere.2021.132489.
- Haider, H., Alkhowaiter, M.H., Shafiquzzaman, Md., AlSaleem, S.S., Almoshageh, M., Alharbi, F., (2019). Spatiotemporal water quality variations in smaller water supply systems: using modified CCME WQI from groundwater source to distribution networks. *Water* 11, 1884.
- Horton, R.K., (1965). An index number system for rating water quality. *Journal of Water Pollution Control Federation*, 37(3), 300–306.
- Howladar, M.F., Chakma, E., Jahan Koley, N., Islam, S.M., Numanbakth, M.A., Ahmed, Z.U., Chowdhury, T.R., Akter, S., (2021). The water quality and pollution sources assessment of Surma river, Bangladesh using hydrochemical, multivariate statistical and water quality index methods. *Groundwater for Sustainable Development*, 12, 100523.
- Islam, M.S., Uddin, M.K., Tareq, S.M., Shammi, M., Kamal, A.K.I., Sugano, T., Kurasaki, M., Saito, T., Tanaka, S., Kuramitz, H., (2015). Alteration of water pollution level with the seasonal changes in mean daily discharge in three main rivers around Dhaka City, Bangladesh. *Environments* 2, 280-294.

- Kalipci, E., Cüce, H., Toprak, S., (2017). Damsa Barajı Nevşehir Yüzey Suyu Kalitesinin Coğrafi Bilgi Sistemi ile Mekansal Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 312-319.
- Kangabam, R.D., Bhoominathan, S.D., Kanagaraj, S., Govindaraju, M., (2017) Development of a water quality index (WQI) for the Loktak Lake in India. *Applied Water Science*, 7(6):2907–2918. Doi: 10.1007/s13201-017-0579-4.
- Kazancı, N., Türkmen, G., Ertunç, Ö., Ekingen, P., Öz, B., Gültutan, Y., (2010). Assessment of ecological quality of Yeşilirmak River (Turkey) by using macroinvertebrate-based methods in the content of Water Framework Directive. *Review of Hydrobiology*, 3(2), 89-110.
- Khalid, S., (2019). An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Balochistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197, 14–26.
- Khanoranga, K.S., (2019) An assessment of groundwater quality for irrigation and drinking purposes around brick kilns in three districts of Baluchistan province, Pakistan, through water quality index and multivariate statistical approaches. *Journal of Geochemical Exploration*, 197:14–26.
- Kutlu, B., and Mutlu, E. (2021). Multivariate statistical evaluation of dissolved trace elements and water quality assessment in the Karaca dam, Turkey. *EQA - International Journal of Environmental Quality*, 44, 26–31. <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/12231>
- Kükreç, S., and Mutlu, E. (2019). Assessment of surface water quality using water quality index and multivariate statistical analyses in Saraydüzü Dam Lake, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191, 71. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7197-6>
- Mahobe H. and Mishra P., (2013). Study of physico-chemical characteristics of water ponds of Rajnandgaon Town, Chhattisgarh, *International Journal Science and Engineering Research*, 4 (8) 738–748.
- Mukatea, S., Wagha, V., Panaskara, D., Jacobs, J. A. & Sawant, A., (2019). Development of new integrated water quality index (IWQI) model to evaluate the drinking suitability of water. *Ecological Indicators*, 101, 348-354.
- Mustafa, S., Baloch, N., Muhammad, S., Malik, Y., Khan, T., Bibi, M., Qadir, A., Razaque, G., Baloch, I.A., (2017). Determination of trace and heavy metals in drinking water of Jhal Magsi district of Balochistan, Pakistan. *Pure and Applied Biology (PAB)*, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 9-17, mar. 2017. ISSN 2304-2478.
- Ozdogan, N., Sefercik, U.G., Kılınç, Y., Çalışkan, E., Atalay, C. (2021). Su Kalitesinin İnsansız Hava Aracı Verileri ve Fiziko-kimyasal Parametrelerin Analizi ile Belirlenmesi: Aydınlar (Gölüç) Çayı Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (23), 572-582.
- Pandit, D.N., Kumari, R., & Shitanshu, S.K., (2020). A comparative assessment of the status of Surajkund and Rani Pond, Aurangabad, Bihar, India using overall Index of Pollution and Water Quality Index. *Acta Ecologica Sinica*. doi: 10.1016/j.chnaes.2020.11.009
- Sutadian, A.D., Muttil, N., Yılmaz, A. G., Perera, B.J.C., (2016). Development of river water quality indices—A review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188: 58.
- Şener, Ş., Şener, E., Varol, S., (2020). Hydro-chemical and microbiological pollution assessment of irrigation water in Kızılırmak Delta (Turkey). *Environmental pollution*, 266 Pt 1, 115214 .
- Şener, Ş., Şener, E., Davraz, A., (2017). Evaluation of water quality using water quality index (WQI) method and GIS in Aksu River (SW-Turkey). *Science of the Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.102>.
- Şimşek A., Sancak Ş., Bakan G. (2021). Monitoring of heavy metal pollution in water and sediments at the mid-Black Sea Region by using passive sampling method diffusive gradients in thin films. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology (TURJAF)*, 9 (2021), pp. 1076-1086, 10.24925/turjaf.v9i6.1076-1086.4217.
- Taş, B., Yılmaz, Ö., Ustaoglu, F., (2021). İliman 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/actaquat.751773>
- Tian, Y., Jiang, Y., Liu, Q., Dong, M., Xu, D., Liu, Y., Xu, X., (2019). Using a water quality index to assess the water quality of the upper and middle streams of the Luanhe River, northern China. *Science of the Total Environment*. 667, 142-151.
- Tokatlı, C., and Ustaoglu, F., (2020). Health risk assessment of toxicants in Meriç river delta wetland, thrace region, Turkey. *Environmental Earth Science*, 79, 426.

- Tokatli, C., (2019). Drinking water quality assessment of Ergene River basin (Turkey) by water quality index: Essential and toxic elements. *Sains Malaysiana*, 48(10), 2071–2081.
- Tokatli, C., (2021). Assessment of spatial – temporal variations in freshwater pollution by means of water quality index: A case study of Hasanağa stream basin (Edirne, Turkey). *Aquatic Sciences and Engineering*, 36(2), 66-71
- Tong S, Li H, Tudi M, Yuan X, Yang L., (2021) Comparison of characteristics, water quality and health risk assessment of trace elements in surface water and groundwater in China. *Ecotoxicological Environment Safety*, doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112283.
- Tursun, T., (2018). *Sürgü Kasabasının Coğrafi Etüdü. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum (Turkey)*. Master Thesis, p. 94 (In Turkish with English summary).
- Uncumusaoğlu, A.A. and Mutlu, E. (2019). Evaluating Spatial and Temporal Variation in Tuzaklı Pond Water Using Multivariate Statistical Analysis. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(5), 3861-3874. <https://doi.org/10.15244/pjoes/99103>
- Ustaoğlu F., Tepe Y., Taş B., (2019). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index, *Ecological Indicator*, 113, 105815, doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105815.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., (2019). Water quality and sediment contamination assessment of Pazarsuyu Stream, Turkey using multivariate statistical methods and pollution indicators. *International Soil and Water Conservation Research*, 7, 47-56.
- Ustaoğlu, F., Tepe, Y., Tas, 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 Indicator*, 113, 105815.
- Üstün Odabaşı, S., Ceylan, Z., Şentürk, İ., Akbal, F., Bakan, G., Büyükgüngör, H., (2022). Investigation of spatial and seasonal variation of water quality along the mid-Black Sea coast (from Sinop to Ordu) of Turkey, by multivariate statistical techniques. *Regional Studies in Marine Science*.
- Varol M., (2020). Use of water quality index and multivariate statistical methods for the evaluation of water quality of a stream affected by multiple stressors: A case study. *Environmental Pollution*. v.266(Pt 3):115417. doi: 10.1016/j.envpol.2020.115417.
- Varol, M., Gökot, B., Bekleyen, A., Şen, B., (2012). Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Tigris River (Turkey) using multivariate statistical techniques ea case study. *River Research and Application*, 28, 1428-1438.
- Varol, S., Davraz, A., (2015). Evaluation of the groundwater quality with WQI (Water Quality Index) and multivariate analysis: A case study of the Tefenni plain (Burdur/Turkey). *Environmental Earth Science*, 73 (4), 1725-1744.
- Wu, Z., Wang, X., Chen, Y., Cai, Y., Deng, J., (2018). Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China. *Science of the Total Environment*, 612, 914-922.
- Xiao, J., Wang, L., Deng, L., Jin, Z., (2019). Characteristics, sources, water quality and health risk assessment of trace elements in river water and well water in the Chinese Loess Plateau. *Science of the Total Environment*, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.322>.
- Yılmaz C., ve Zeybek, H.İ., (2016). Samsun Coğrafyası, Canik Belediyesi, Kültür Yayınları.
- YSKY, (2016). Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, No. 29797, 10 Ağustos 2016 Çarşamba, Ankara, Türkiye.
- Zeng, X., Liu, Y., You, S., Zeng, G., Tan, X., Hu, Xinjiang, Hu, Xi, Huang, L., Li, F., (2015). Spatial distribution, health risk assessment and statistical source identification of the trace elements in surface water from the Xiangjiang River, China. *Environmental Science and Pollution Research*, <https://doi.org/10.1007/s11356-014-4064-4>.