

# İnsan Kaynaklı Etmenlerin Murgul Deresinin Bazı Su Kalitesi Parametreleri Üzerindeki Zamansal ve Mekânsal Etkilerinin Belirlenmesi

Şenol Osmanaoğlu<sup>1</sup>, Mehmet Özalp<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 08000, Artvin.

<sup>2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 08000, Artvin.

## Özet

Akarsu havzalarının ürettiği suların kalitesi ve miktarı üzerinde insan kaynaklı olumsuz etmenlerin bazı olumsuz sonuçlara (kirlilik, su rejiminde değişimler, akım miktarındaki azalmalar, vb.) yol açtığı bilinmektedir. Murgul Deresi de sınırları içerisinde açık işletme madencilik çalışmaları, çoklu nehir tipi hidroelektrik santralleri (NT-HES), yeni yol yapımları ve yerleşim alanlarının genişlemesi vb. faaliyetleri barındıran bir havzadır. Buradan yola çıkarak, bu araştırmada, söz konusu bu faaliyetler neticesinde Murgul Deresinin su kalitesi ve rejimi ile askıda taşıdığı sediment miktarının hem zamansal hem de noktasal bazda mevcut durumunun bilimsel verilerle ortaya konulması hedeflenmiştir. Bu amaçla, Murgul Deresi boyunca belirlenen toplam 12 örnekleme noktasında su sıcaklığı, pH, elektriksel iletkenlik (Eİ), tuzluluk, toplam çözünmüş madde (TÇM), çözünmüş oksijen (ÇO), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N) ve amonyum azotu (NH<sub>4</sub>-N) parametreleri bir yıl süresince aylık olarak ölçülmüştür. Ayrıca, askıda katı madde (AKM) miktarı ile aylık debi değerleri yanında özellikle madencilik faaliyetlerinin yaratacağı olası ağır metal kirliliğini belirlemek için su örneklerinde arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) analizleri de yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, madencilik faaliyetlerine yakın noktadaki örneklerinde iletkenlik (438,82 µS/cm), tuzluluk (0,30 mg/L), TÇM (400,25 mg/L), NH<sub>4</sub>-N (0,19 mg/L), NO<sub>3</sub>-N (5,20 mg/L) ve AKM (143,69 mg/L) değerlerinin doğal ve yerleşim alanlarındaki noktalara nazaran istatistiksel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna ek olarak, deredeki suda ölçülen Cu (5669 µg/L), Fe (4647 µg/L), Pb (43 µg/L) ve Zn (2837 µg/L) değerlerinin maden sahası çıkışındaki M5 ölçüm noktasında istatistiksel anlamda en yüksek olduğu belirlenmiştir.

## Anahtar Sözcükler

Havza, Su Kalitesi, Arazi Kullanımı, Sediment, Ağır Metal, Murgul Deresi

## Determining the Temporal and Spatial Effects of Human Induced Interventions on Some Water Quality Parameters of Murgul Creek

### Abstract

It is known that human-induced damaging factors on the quality and quantity of water produced by river watersheds cause some negative consequences (pollution, changes in water regime, decreases in flow rate, etc.). Murgul Creek consists of such factors as well, including open pit mining works, multiple run-of-river hydroelectric power plants (RoR-HEPP), new road constructions and expansion of residential areas within its borders. From this point of view, in this research, the aim was to reveal scientific data -both temporal and spatial- on the status of water quality, flow regime and the amount of suspended particles in Murgul Creek caused by these activities. For this purpose, water temperature, pH, electrical conductivity (EC), salinity, total dissolved matter (TDM), dissolved oxygen (DO), nitrate nitrogen (NO<sub>3</sub>-N) and ammonium nitrogen (NH<sub>4</sub>-N) parameters were measured monthly for one year at 12 sampling points along the Murgul Creek. In addition, besides determining the amount of suspended solid particles (SSP) and monthly flow rates, analyses were made for arsenic (As), cadmium (Cd), copper (Cu), iron (Fe), lead (Pb) and zinc (Zn) in water samples for a possible heavy metal pollution caused by mining activities. When the results were evaluated, the values of conductivity (438.82 µS/cm), salinity (0.30 mg/L), TDM (400.25 mg/L), NH<sub>4</sub>-N (0.19 mg/L) NO<sub>3</sub>-N (5.20 mg/L) and SSP (143.69 mg/L) in water samples close to the mining activities were found to be statistically higher compared to sampling points near the natural and residential areas. In addition, it was determined that Cu (5669 µg/L), Fe (4647 µg/L), Pb (43 µg/L) and Zn (2837 µg/L) values measured in the creek water were statistically the highest at the M5 measurement point at the exit of the mining site.

### Keywords

Watershed, Water Quality, Land Use, Sediment, Heavy Metal, Murgul Creek

## 1. Giriş

Yeryüzünün karasal alanlarındaki varoluşu yağışlara bağlı olan tatlı su kaynakları ne yazık ki dünyamızın her bölgesinde dengeli/yeterli miktarda bulunmamaktadır. Buna ek olarak, küresel ölçekte yeryüzünde oldukça sınırlı miktarlarda bulunan tatlı su kaynakları, insanların bu kaynaklar üzerinde yaptıkları yanlış yönetimler, kullanımlar ve uygulamalar neticesinde bu defa da kirlilik sorunu ile karşı karşıya kaldığından son yıllarda daha da kısıtlı bir kaynak olarak sınıflandırılmaya başlanmıştır (Maden 2012; UNWWAP 2018). Bilindiği üzere, su havzaları- özellikle de yukarı ve orta kısımları- (Freeman vd. 2007) söz konusu bu kısıtlı temiz/tatlı su kaynaklarının üretildiği ve üretilen suyun akarsu ağları ile ihtiyaç duyulan alanlara (içme/kullanma, sulama, enerji üretimi ve diğer canlılar) ve canlılara iletildiği birimlerdir (Özhan 2004) ve bu nedenle de hidrolojik döngüde elzem bir rol oynarlar (Brusseau vd. 2019). Diğer taraftan, yağış sularını temiz/tatlı su kaynaklarına dönüştürmek için toprakla birlikte doğal filtre işlevini yerine getiren her türlü bitki örtüsü de (örn. ormanlık alanlar, otlaklar, çayırlar), hem doğal suların üretimi hem de yüzeysel ve yeraltı su kaynaklarının beslenmeleri ve temiz kalması açısından oldukça önemlidir (Caldwell vd. 2014; Salmiati vd. 2017). Bu nedendir ki yerküredeki mevcut tatlı su kaynaklarının sürekli olarak azaldığını veya kısıtlandığını gösteren bilimsel kanıtlar arttıkça, özellikle dağlık ve/veya herhangi bir bitki örtüsüne sahip akarsu havzalarının değerinin yakın gelecekte önemli bir artış eğiliminde olacağı vurgulanmaktadır (Bakker 2012).

Bu gerçekler ışığında, akarsu havzalarının ağırlıklı olarak orta/üst bölümlerinde yer alan doğal arazi kullanımının değiştirilmesi ve/veya bitki örtüsü ile kaplı alanların daraltılması kararlarının sadece su kaynakları için değil aynı zamanda insanlar, ekonomi ve diğer ekolojik alanlar (örn. alt kısımlar veya deltalar) için de önemli olumsuz sonuçlara neden olabileceği bildirilmektedir (UNWWAP 2018). Ancak, son yıllarda, akarsu havzalarının bu önemli ancak kırılabilir işlevini kesintiye uğratan çok sayıda insan kaynaklı müdahalelerle beraber göller ve akarsular gibi tatlı su kaynaklarının hem kaliteleri hem de miktarları olumsuz yönde etkilenmektedir (Brusseau vd. 2019). Bu olumsuzlukların meydana gelmesinde antropojenik etmenlerin (arazi kullanımı değişikliği, kentleşme, tarımsal faaliyetler) (Özalp vd. 2017; Enea vd. 2017; Lintern vd. 2018; Camara vd. 2019) yanında doğal süreçlerin de (değişen yağış modelleri, ayrışma ve erozyon) etkisi olduğu bilinmektedir.

Tüm bu olumsuz insan etmenleri sonucunda havzaların memba (su ve materyalin toplandığı yukarı kırsal araziler) ile mansap kısımları (birikimin olduğu çıkışa yakın bölümleri) boyunca yer alan akarsu sistemlerinin üst bölümlerinde üretilen temiz sular hem yayılı hem de noktasal kirlilik unsurları ile kaliteleri bakımından ciddi şekilde bozulmaktadır (Vörösmarty vd. 2010). Bu durum, başta akarsular ve göller olmak üzere tüm yüzey sularının kalitesini düşürmekte ve buna bağlı olarak içme, endüstriyel, tarım, rekreasyon veya diğer amaçlar için kullanımlarını kısıtlamaktadır (Ramírez vd. 2014; Kim ve An 2015; Hamid vd. 2020). Birleşmiş Milletler Dünya Su Değerlendirme Programının (UNWWAP) 2018 yılında yayınladığı Dünya Su Kalkınma Raporuna göre küresel ölçekte birçok su havzası ormansızlaşma, arazi kullanımı değişikliği, yoğun tarım, madencilik, nüfus artışı ve iklim değişikliğinden giderek daha fazla etkilenmektedir (UNWWAP 2018).

Ülkemizin 25 ana havzasından biri olan Çoruh Nehri Havzası da yukarıda konu edilen insan kaynaklı faaliyetlerin olumsuz etkilerinin -özellikle 1990'ların sonlarından bu yana- büyük çapta ve ciddi seviyede yaşandığı bir coğrafik alandır. Bahsi geçen faaliyetler arasında Çoruh Nehri'nin ana kolu üzerinde planlanan ve çoğu tamamlanan on adet büyük baraj projesi (bunlardan beş tanesi Artvin il sınırları içerisinde) ile yan kollarda planlanan yüzlerce nehir tipi hidroelektrik santral (NT-HES) tesisleri (bunlardan 26 tanesi Artvin'de işletme halindedir) ilk sırada gelmektedir (Özalp vd. 2009; Yıldırım vd. 2015; Akıncı vd. 2017; Özalp vd. 2010; Özyay 2019; Kurdoğlu 2016). Bunlara ek olarak, ormanlık alanların yerleşim ve tarıma dönüştürülmesi, yeni bağlantı yollarının inşası, madencilik faaliyetleri ile yerleşim alanlarının genişletilmesi ve/veya yenilenmesi vb. çok sayıda insan kaynaklı değişimler de sayılabilir (Özalp vd. 2016).

Genel anlamda, herhangi bir akarsudaki su kalitesi, akış miktarı, sucul canlıların varlığı, dere kenarı vejetasyonu gibi parametrelerin değişiminin ve/veya mevcut durumunun belirlenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda hem mekânsal hem de zamansal farklılıklar göz önünde bulundurulur. Mekânsal olarak, su kalitesi parametrelerinin çoğu, gelen kollara, havzadaki topografik değişikliklere, arazi kullanımına/değişimine, belirli toprak özelliklerine ve jeolojiye bağlı olarak değişebilirken; akarsulardaki zamansal dalgalanmalar büyük ölçüde bazı mevsimsel değişimlere (örn. yağış, akış) bağlı kalmaktadır (Kändler vd. 2017; Hamid vd. 2020).

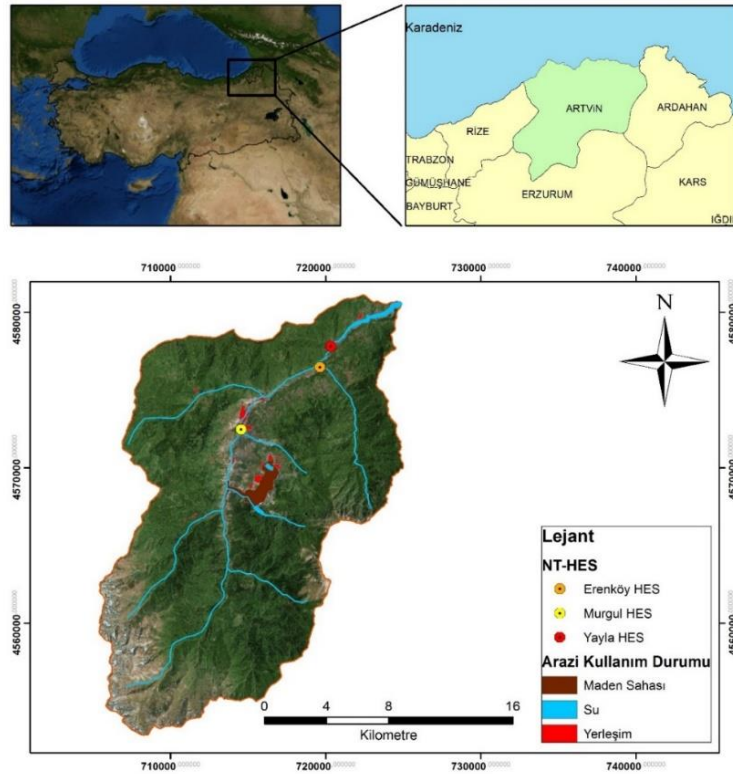
Ülkemizin su havzalarında üretilen tatlı/temiz su kaynaklarının rasyonel ve verimli kullanımına yardımcı olmak adına bu havzaların mevcut durumları ile mekânsal ve zamansal değişimlerini bilimsel veriler ışığında tespit etmek her zaman büyük önem arz etmektedir. Buradan yola çıkarak, bu çalışmada, etkileri geniş alanları kapsayan insan kaynaklı faaliyetlerden doğrudan etkilenen Çoruh Nehri Havzasının yan kollarından biri olan Murgul Deresi Havzası (MDH) çalışma alanı olarak belirlenmiş ve yukarıda sıralanan antropojenik müdahalelerden etkilenen Murgul Deresindeki su kalitesinin (bazı ağır metal parametreleriyle birlikte), akış rejiminin ve askıda taşınan katı madde miktarının mevcut durumu arazi ölçümleri ve laboratuvar analizleri ile ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu çerçevede, insan kaynaklı faktörlerin incelenen parametreler üzerindeki etkilerinin havzadaki farklı arazi kullanımlarına bağlı olarak zamansal ve mekânsal anlamda değerlendirilmesinin, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde (URL-1 2004) listelenen kalite sınıf aralıkları ile karşılaştırılarak verilmesi de bu çalışmanın amaçlarından biri olarak kurgulanmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Murgul Deresi Havzası

Araştırma sahası olarak seçilen MDH, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Artvin il sınırları içerisinde yer almaktadır. Ancak, söz konusu dere ve bağlantılı havzası (362 km<sup>2</sup> büyüklüğünde), ülkemizin 25 ana havzasından biri olan Çoruh Nehri Havzası'nın yan kollarından biridir (Şekil 1).

MDH içerisinde bulunan farklı arazi kullanımları arasında %93.8 ile doğal alanlar (orman ve mera) en geniş olarak tespit edilmişken, bunu %4.9 ile yerleşim/tarım alanları ve %0.4 ile su alanları takip etmektedir. İnsan kaynaklı faaliyetler arasında ise yaklaşık %1'lik büyüklüğe sahip bir bakır maden işletmesi yanında havza sınırları içerisinde ve dere ekosistemini doğrudan etkileyecek şekilde art arda inşa edilmiş 6 adet nehir tipi hidroelektrik santral (NT-HES) tesisi bulunmaktadır (Yıldırım 2018). TÜİK'in 2020 verilerine göre Murgul ilçesi nüfusu ise 6522'dir (TÜİK 2020).



Şekil 1: Murgul Deresi Havzasının (MDH) coğrafik konumu ve araştırma sahasındaki bazı arazi kullanımları

Araştırma sahası ve yakın çevresinin içinde bulunduğu Doğu Karadeniz Bölgesi, genel anlamda Pontidler Tektonik Birliği bünyesinde yer almakta ve bölgede ağırlıklı olarak volkanik kayalar bulunurken, jeolojik tabakanın orta bölümlerinde ise tortul kayalar (kalker taşları ve marnlar) yer alır. Ayrıca, Murgul ilçesi yakın civarında bulunan geniş arazilerde pirit-kalkopirit yatakları açısından çok zengin olduğu tespit edilmiştir (Buser ve Cvetić 1973; Gökçe 2001).

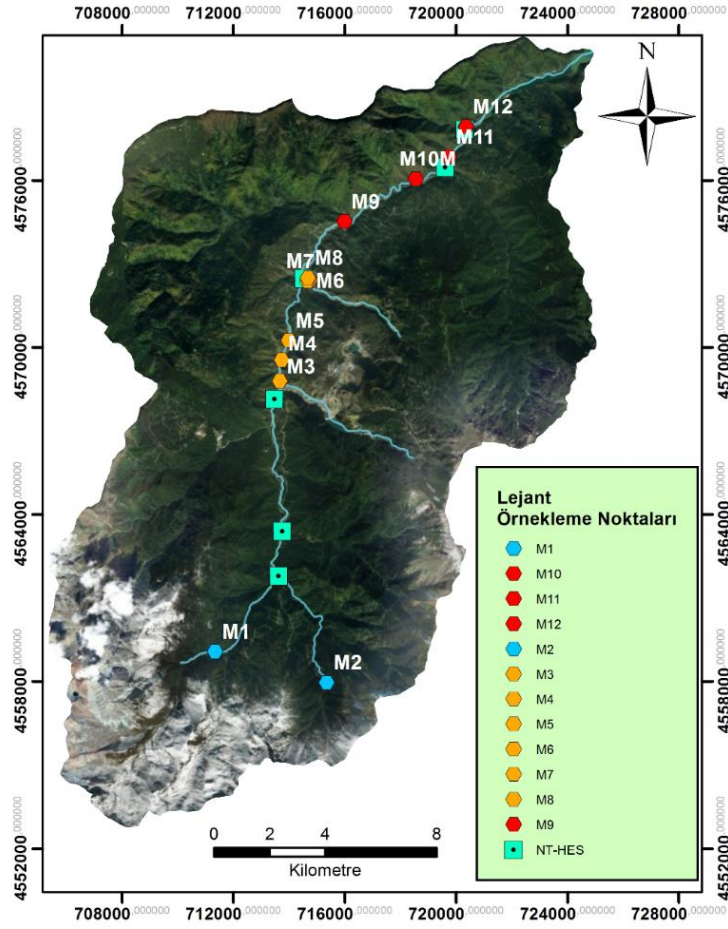
Çalışma alanında, Karadeniz makro iklim tipi altında sınıflandırılan Doğu Karadeniz iklim şekli görülmektedir ve kışın ılıman, yazın daha sıcak ve her mevsim yağışlıdır. Murgul ilçesinde 2014-2020 yıllarını kapsayan meteorolojik ölçümler irdelendiğinde, yıllık ortalama sıcaklığın 12.9°C, yıllık ortalama toplam yağışın ise 781.2 mm olduğu rapor edilmiştir (Aybar 2022).

Bitki örtüsü olarak orman türleri arasında doğu ladini, doğu kayını, göknar, sarıçam ve kızılğaç yayılış gösterirken, alt bitki örtüsünde ise üvez, Kafkas defnesi, yaban mersini, hanımeli, frenk üzümü ile sarı ve mor çiçekli orman gülleri yaygın olarak bulunmaktadır (Anşin 1980).

### 2.2. Örneklem Noktalarının Belirlenmesi ve Su Örneklerinin Alınması

Dere yatağı boyunca yapılacak olan bazı ölçümler ve su örneklemeleri için toplamda 12 nokta belirlenmiştir. Şekil 2'de de görüldüğü üzere örneklem noktaları Murgul Deresinin çalışma alanı olarak seçilen bölümünde farklı arazi kullanımları ve insan müdahalelerinin gerçekleştiği sahalara göre dağıtılmaya çalışılmıştır.

Bu amaçla, derenin üst kısımlarında insan müdahalesinin sınırlı olduğu alandan 2 nokta (M1 ve M2), açık işletme bakır madenciliğinin yapıldığı saha yakınlardan 6 nokta (M3 – M8) ile yerleşim alanının etkisini araştırmak için 4 nokta (M9 – M12) belirlenmiş ve bu noktalarda bir tam yıl boyunca aylık ölçümler ve/veya su örneklemeleri yapılmıştır.



Şekil 2: Murgul Deresi boyunca belirlenen örnekleme noktaları ile NT-HES tesislerinin konumları

Arazide yapılan çalışmalar içerisinde; her ölçüm noktasında Hach-Lange HQ40D cihazı kullanılarak pH ve YSI/Professional-Plus cihazı kullanarak sıcaklık, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, TÇM, ÇO, NO<sub>3</sub>-N ve NH<sub>4</sub>-N miktarları doğrudan sahada ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca, deredeki suda bulunan AKM miktarının belirlenmesi ve ağır metal analizleri için her bir ölçüm noktasından 1 litrelik renkli polietilen kaplarla su örnekleri alınmıştır. Alınan su numuneleri, öncelikle vakum filtrasyon seti olarak bilinen düzenekte, gözenek (por) çapı 0.8 µm ve ebatı 47 mm çapındaki Whatman filtreleri yardımıyla filtrelenmiştir. Daha sonra bu filtreler 105 °C’de 24 saat etüvde kurutulup desikatörde bekletilerek oda sıcaklığına getirilmiş ve hassas tartıda (Radwag marka 0.0001 gr hassasiyetli) filtrede kalan asılı maddelerin tartım işlemi gerçekleştirilmiştir. AKM miktarının hesaplanması ise aşağıda verilen formül kullanılarak mg/L biriminden bulunmuştur:

$$AKM (mg/l) = (A-B) \times 1000 / V \quad (1)$$

Bu formülde; A= Filtre kâğıdı + kuru kalıntının tartımı (mg), B= Filtre kâğıdının tartımı (mg), V= Numune hacmi (ml) olarak tanımlanmıştır.

Örnekleme noktalarından alınan su numuneleri laboratuvara getirildikten sonra AKM için filtrelenip süzdürülmüş sonrasında yapılacak olan ağır metal analizleri için 250 ml’lik polietilen su şişelerine doldurulmuştur ve akabinde bu su örneklerine biyolojik aktiviteleri sınırlandırmak üzere 0.5 ml nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) ilave edilmiş ve analizleri yapılana kadar +4°C’de buzdolabında saklanmışlardır. Çalışmada ölçülmesi için belirlenen ağır metallerin değerleri ise Artvin Çoruh Üniversitesi bünyesinde Bilim-Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde bulunan Perkin Elmer marka Optima 8000 model ICP-OES yardımıyla belirlenmiştir.

Son olarak, tüm ölçüm noktalarında, su akış hızı taşınabilir “FLOWATCH 2 JDC” marka Müline tipi cihaz ile belirlenmiştir ve akarsu yatağının kesit alanı ilişkisinden yola çıkarak dereye akan su miktarı (debi-m<sup>3</sup>/s) hesaplanmıştır.



### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Su Kalitesi Parametreleri

Araştırma alanında gerçekleştirilen bütün ölçüm ve/veya analizler sonucunda ortaya çıkan verilerin istatistiksel anlamda incelenmesi için su kalitesi parametrelerine ait verilere ANOVA analizi yapılmıştır. Bu analizler hem zamansal (örnekleme tarihleri) hem de mekânsal (örnekleme noktaları ve arazi kullanım durumu) bakımdan yapılmış ve bunlara ait sonuçlar (F ve P değerleri) Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1: ANOVA analizine tabi tutulan bazı su kalitesi özelliklerinin örnekleme zamanı ve noktaları ile arazi kullanım şekillerine bağlı olarak hesaplanan F ve P oranları

Parametreler	Örnekleme Zamanları		Örnekleme Noktaları		Arazi Kullanımı	
	F	P	F	P	F	P
Su Sıcaklığı	58,770	<0,01	0,503	0,897	2,467	0,088
pH	3,739	<0,01	5,100	<0,01	5,612	<0,01
Eİ	0,615	0,812	75965	<0,01	32,633	<0,01
Tuzluluk	7105	0,078	56,016	<0,01	28,550	<0,01
TÇM	1,587	0,110	56,581	<0,01	30,404	<0,01
ÇO	61,974	<0,01	0,332	0,977	0,793	0,454
Nitrat-N	4,460	<0,01	5,030	<0,01	3,964	<0,05
Amonyum-N	1,357	0,201	14,042	<0,01	8,651	<0,01
AKM	0,487	0,908	11,004	<0,01	18,488	<0,01

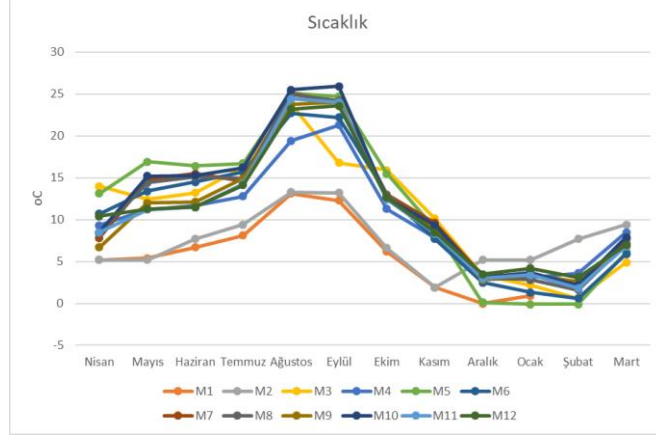
Araştırmada, analiz ve ölçüm sonuçlarının genel bir değerlendirilmesinin yapılabilmesi amacıyla yukarıda verilen ANOVA sonuçlarına ek olarak, Murgul Deresinde belirlenen su kalitesi özelliklerinin birbirleriyle olan istatistiksel ilişkisinin önem seviyesi ve varsa bu ilişkinin pozitif ve/veya negatif yönlü olup olmadığını saptamak üzere Pearson korelasyon testi de yapılmış ve sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2: Pearson korelasyon analizi sonucunda bazı su kalitesi özelliklerinin birbirleriyle olan ilişkileri (çizelgede sadece önem seviyesi 0.05’in altında kalanlar listelenmiştir)

Parametre	Parametre ile	Önem Seviyesi	Korelasyon (-,0,+)
Elek. İletk.	pH	0,003	
Tuzluluk	pH	0,001	
Tuzluluk	Elek. İletk.	0,000	
Top. Çöz. Mad.	pH	0,002	
Top. Çöz. Mad.	Elek. İletk.	0,000	
Top. Çöz. Mad.	Tuzluluk	0,000	
Çöz. Oksijen	Su Sıcaklığı	0,000	
Çöz. Oksijen	Elek. İletk.	0,024	
Amonyum-N	Su Sıcaklığı	0,000	
Amonyum -N	pH	0,014	
Amonyum -N	Elek. İletk.	0,000	
Amonyum -N	Tuzluluk	0,000	
Amonyum -N	Top. Çöz. Mad.	0,000	
Amonyum -N	Çöz. Oksijen	0,000	
Nitrat-N	Su Sıcaklığı	0,002	
Nitrat -N	Elek. İletk.	0,000	
Nitrat -N	Tuzluluk	0,0001	
Nitrat -N	Top. Çöz. Mad.	0,0001	
Nitrat -N	Çöz. Oksijen	0,004	
Nitrat -N	Amonyum -N	0,000	

**Su Sıcaklığı:** Genel bir değerlendirme ile Şekil 3’te de görüldüğü üzere, deredeki su sıcaklığının beklendiği gibi havzanın yukarı kısımlarındaki M1 ve M2 noktalarında hem yükselti hem de dere ekosisteminin doğallığını korumasından kaynaklı olarak daha düşük olduğu, buna karşılık havzanın çıkış kısımlarına doğru özellikle insan müdahaleleriyle dere kenarı vejetasyonunun kaldırıldığı kısımlara yakın noktalarda ise su sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir.

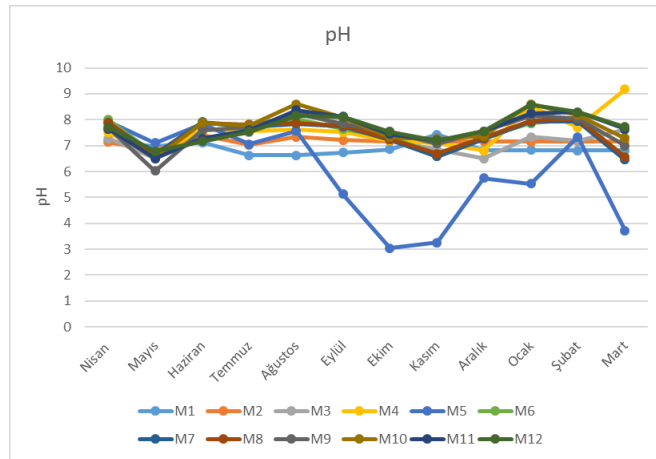
Yapılan analiz sonuçları doğrultusunda su sıcaklığı değerlerinin örnekleme yapıldığı zaman bakımından istatistiksel açıdan önemli olduğu belirlenmiştir. Burada, en yüksek su sıcaklığı ortalama 22,03 °C ile beklediği üzere Ağustos'ta, buna karşılık, en düşük ortalama su sıcaklığı ise 1,81 °C ile Şubat'ta ölçülmüştür. Ayrıca yapılan analizler örnekleme noktalarının ve arazi kullanım durumunun su sıcaklığı üzerinde istatistiksel anlamda fark oluşturmadığını ortaya çıkarmıştır. Bunlara ek olarak, yapılan Pearson korelasyon analizine göre su sıcaklığının çözünmüş oksijen parametresi ile negatif, hem nitrat hem de amonyum azotları ile de pozitif bir ilişki gösterdiği anlaşılmaktadır (Tablo 2).



Şekil 3: Murgul Deresi su sıcaklığının (°C) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı.

Antalya'nın Kargı Çayında bazı su kalitesi özelliklerinin fiziko-kimyasal değerlerinin tespit edilmesi amacıyla yürütülen çalışmada yedi farklı örnek noktasında mevsimlere bağlı olarak yapılan ölçümlerde, bu çalışmadaki çıktılarına benzer şekilde, en düşük ortalama dere suyu sıcaklığının kış mevsiminde (10,7 °C), en yüksek ortalama dere suyu sıcaklığının ise yaz mevsiminde (26,9 °C) gerçekleştiği bulunmuştur (Zeybek ve Kalyoncu 2016).

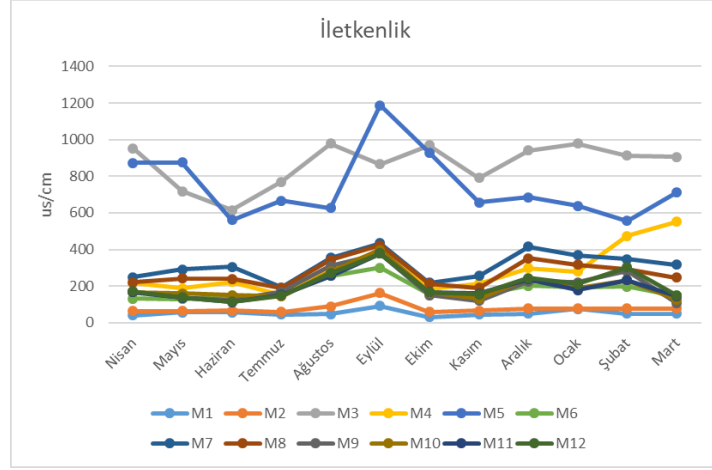
**pH:** Örnekleme zamanları göz önünde bulundurulduğunda deredeki suyun pH değeri açısından en yüksek oranın 7,9 ile Şubat'ta, buna karşılık en düşük değerin ise 6,7 ile Mayıs'ta ölçüldüğü belirlenmiştir. Ayrıca, mekânsal (örnekleme noktaları) bağlamda göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek pH değeri 7,7 ile çıkışa yakın noktalardan biri olan M10'da, en düşük pH miktarı ise 5,8 ile M5 noktasında tespit edilmiştir (Şekil 4). Araştırma alanındaki farklı arazi kullanım şekillerine göre yapılan incelemede, yerleşim yerlerine (dere çıkışına doğru) yakın noktalarda ortalama pH değerinin 7,7 ile hafif bazik özellik gösterdiği belirlenmişken, ormanlık alanların etkilediği noktalarda ise ortalama pH miktarının neredeyse nötr (7,04) sonuç verdiği bulunmuştur. Yapılan Pearson korelasyon analizi sonuçları, pH parametresinin elektriksel iletkenlik, tuzluluk ve toplam çözünmüş madde parametrelerinin tümüyle negatif bir korelasyona sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 2).



Şekil 4: Murgul Deresi suyunda pH miktarlarının zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

Benzer şekilde yapılan bazı çalışmalarda da özellikle çıkışa yakın ve/veya yerleşim alanlarının yoğunluğuna bağlı olan noktalarda pH değerinin daha yüksek çıktığı rapor edilmiştir. Örneğin, Çoruh Nehrinin Bayburt il sınırlarında akan kısmında gerçekleştirilen su kalitesi çalışmasında en yüksek pH değeri çıkışa yakın noktada 8,5 olarak ölçülmüştür (Birici vd. 2017). Giresun'un Aksu Deresinde yapılan bir diğer çalışmada da çıkışta yer alan 3. istasyonda pH değerinin diğer iki istasyona nazaran daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir (Şengün 2013).

**Elektriksel İletkenlik (EI):** Elektriksel iletkenlik parametre değerleri örnekleme noktaları bakımından incelendiğinde, en yüksek ortalama miktarın 866,55 uS/cm ile M3 noktasında, en düşük miktarın ise 49 uS/cm ile M1 noktasında olduğu tespit edilmiştir. Araştırma alanındaki farklı arazi kullanım şekilleri bağlamında ele alındığında 438,82 uS/cm ile en yüksek ortalama elektriksel iletkenlik değerinin -beklendiği üzere- maden işletmesine yakın noktalarda, buna karşılık en düşük ortalama miktarın ise doğal yapısı bozulmamış ve genelde ormanlık vasfındaki alanlara yakın noktalarda olduğu (62,22 uS/cm) ortaya çıkmıştır (Şekil 5).

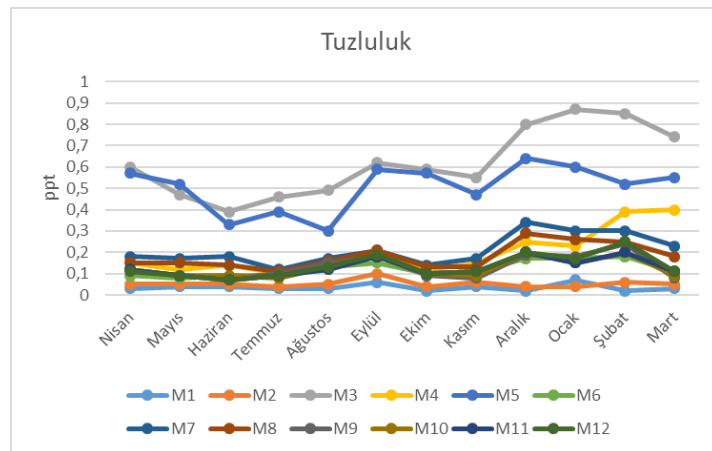


Şekil 5: Murgul Deresi suyunda elektriksel iletkenlik miktarlarının (us/cm) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

Çalışmada irdelenen su kalitesi özelliklerinin tabii tutulduğu Pearson korelasyon analizine göre elektriksel iletkenlik ile pH parametreleri arasında negatif yönde bir ilişki ortaya çıkmışken, elektriksel iletkenlik ile tuzluluk değerleri arasında ise pozitif bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

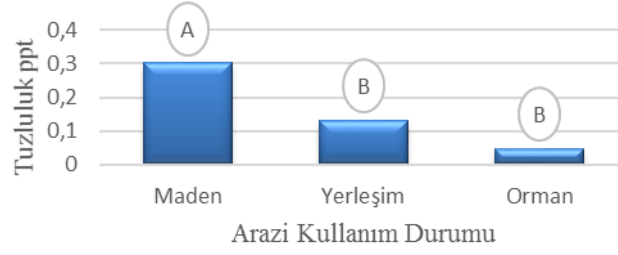
Bu araştırmada ortaya çıkan ortalama elektriksel iletkenlik değerlerinin literatürde yer alan diğer çalışmalarda elektriksel iletkenlik değerlerinden oldukça yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, çalışma alanımız olan MDH'na nazaran daha az/sınırlı insan müdahalesine maruz kalmış olan Fırtına Deresi bünyesinde 2 yıl boyunca yapılan aylık ölçümlerin analizi sonucunda elektriksel iletkenlik değerlerinin en düşük 19,50  $\mu$ S/cm ile en yüksek 85,26  $\mu$ S/cm arasında değişiklik gösterdiği (Gedik vd. 2010) ve bu miktarların bu çalışmada elde edilen değerlerin oldukça altında kaldığı anlaşılmaktadır.

**Tuzluluk:** Araştırmada ölçümü yapılan parametrelerden biri olan tuzluluk, zamansal anlamda (örnekleme zamanlarına göre) 0,338 ppt (g/L veya binde bir) ile en yüksek miktarı Şubat'ta, en düşük miktarı ise Haziran'da 0,139 ppt ile yakalamıştır (Şekil 5). Bununla birlikte, mekânsal anlamda (örnekleme noktalarına göre) 0,619 ppt ile tuzluluk parametresinin en yüksek ölçümü M3 noktasında yapılmışken, en düşük miktar ise M1 noktasında 0,04 ppt ile yapılmıştır. Son olarak, yapılan istatistiksel analizler sonucunda arazi kullanım şekilleri bakımından Murgul Deresi suyundaki tuzluluğun en fazla maden işletmeciliğinin etkisi altında kalan bölgede (0,302 ppt), en az ise -beklendiği gibi- ormanlık alana yakın noktalarda (0,047 ppt) olduğu tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6: Murgul Deresi suyunda tuzluluk miktarlarının (ppt) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

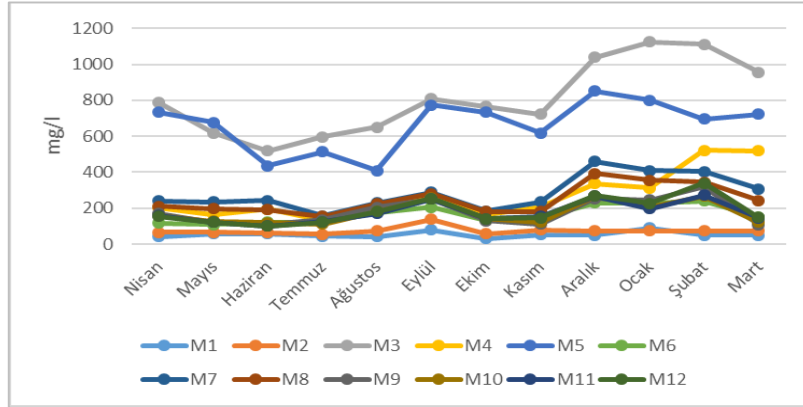
Su kalitesi parametrelerinin birbirleri ile arasındaki doğrusal ilişkinin derecesi ve yönünü saptamak üzere uygulanan Pearson korelasyon testi sonuçlarına göre tuzluluk ve pH değerleri arasında anlamlı seviyede negatif bir korelasyon tespit edilirken, buna karşılık tuzluluğun hem iletkenlik hem de TÇM değerleri ile pozitif yönde istatistiksel bir ilişki gösterdiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 7: Murgul Deresinde farklı arazi kullanım şekillerine yakın noktalardan elde edilen ortalama tuzluluk (ppt) miktarları

Hem Şekil 6 hem de Şekil 7 incelendiğinde, tuzluluğun madencilik faaliyetleri veya yerleşimden kaynaklanan kirlilik unsurlarının dereye karışması ile arttığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, tuzluluğun, yapılan diğer çalışmalarda da rapor edildiği gibi (Şengün 2013) dere havzalarının çıkışına doğru, yine suya ulaşan çeşitli bileşenlerle arttığı da ortaya çıkmaktadır.

**Toplam Çözünmüş Madde (TÇM):** TÇM parametresinin örnekleme noktaları baz alındığında en yüksek miktarının 808,36 mg/l ile M3 noktasında, en düşük miktarının ise 49,34 mg/L ile M1 noktasında ölçüldüğü tespit edilmiştir. Ayrıca arazi kullanım durumu açısından irdelendiğinde, uygulanan ANOVA testi sonucunda ise en yüksek TÇM değeri maden sahasının etkisinin bulunduğu bölgede (400,25 mg/L), en düşük TÇM değerinin ise ormanlık/doğal alana yakın noktalarda (60,71 mg/L) ölçüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 8).



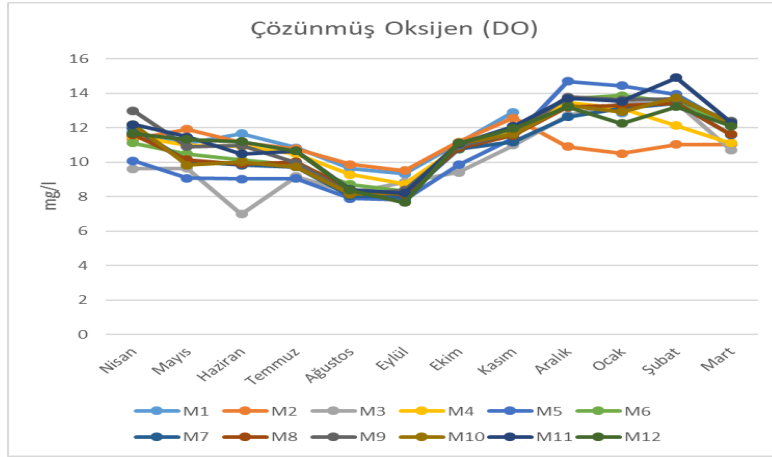
Şekil 8: Örnekleme noktalarına ait aylık toplam çözünmüş madde (mg/L) değerlerinin dağılımı

Korelasyon testi doğrultusunda TÇM ile pH parametreleri arasında negatif yönde bir ilişki tespit edilirken, TÇM'nin hem elektriksel iletkenlik hem de tuzluluk ile anlamlı ve pozitif yönde korelasyona sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca regresyon analizi sonucunda TÇM değeri arttıkça elektriksel iletkenlik değerinin de pozitif yönde artış gösterdiği belirlenmiştir. Benzer bir çalışmada, hem alansal hem de sayı bakımından nispeten daha az insan kaynaklı faaliyete maruz kalmış Fırtına Deresi üzerinde TÇM'nin bu çalışmadaki değerlerden çok daha düşük olarak tespit edildiği rapor edilmiştir (Gedik vd. 2010). Bu durum, su havzalarındaki her türlü müdahalenin (bu çalışmada olduğu gibi), su kaynaklarındaki çözünmüş madde miktarını normal seviyelerinin üzerine çıkaran bir etkisi olduğu anlamına gelmektedir.

**Çözünmüş Oksijen (ÇO):** Yapılan analiz çalışmaları doğrultusunda çalışma alanındaki ÇO değerlerinin ortalama değerleri örnekleme zamanları açısından irdelendiğinde istatistiksel açıdan fark olduğu bulunmuş ve en yüksek ÇO miktarı 13,54 mg/L ile Şubat'ta, buna karşılık 8,39 mg/L ile en düşük ortalama ÇO miktarı ise Eylül'de kaydedilmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği (SKKY) standartlarına göre yüksek su kalitesi için ÇO miktarının 8 mg/L üzerinde olması gerekmektedir (URL-1 2004). Bu çalışmada, üç ölçüm zamanı ve 2 nokta (M3 ve M12) dışında tüm çalışma alanında suların yeterli ÇO miktarına sahip olduğu söylenebilir (Şekil 9).

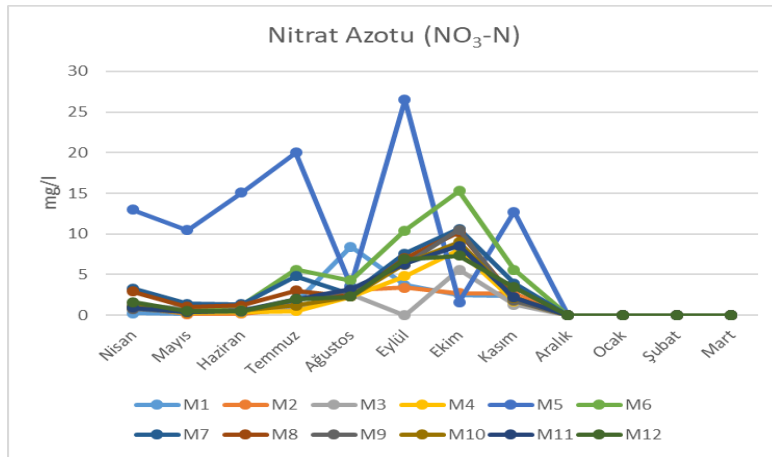
Literatür göstermektedir ki, su sıcaklığının artması ile (genelde yaz veya sıcak geçen diğer aylar) ÇO miktarında bir düşüş gözlemlenmektedir ve buna karşılık su sıcaklığının düştüğü aylarda ise tersine bir ilişki söz konusudur (Çiçek ve Ertan 2012). Bu çalışmada da benzer bir sonuçla karşı karşıya olduğu görülmektedir çünkü yapılan korelasyon testi neticesinde, çözünmüş oksijenin hem sıcaklık hem de iletkenlik parametreleri ile anlamlı ama negatif bir korelasyonu olduğu tespit edilmiştir.





Şekil 9: Murgul Deresi suyunda çözünmüş oksijen miktarlarının (mg/L) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

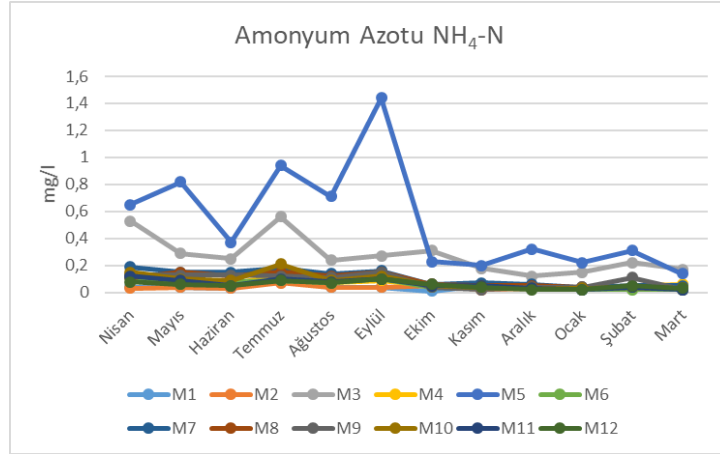
**Nitrat Azotu:** Nitrat Azotu ölçüm değerleri örnekleme zamanları açısından incelendiğinde, en yüksek değer 8,1 mg/L ile Ekim'de, buna karşılık 1,38 mg/L ile en düşük değer ise Mayıs'ta ölçüldüğü tespit edilmiştir. Bunun yanında, örnekleme noktalarına ait değerler incelendiğinde, 12,87 mg/L ile en yüksek miktar M5 noktasında ölçülmüşken, 1,92 mg/L ile en düşük değer M3 noktasında ölçülmüştür. Ayrıca yapılan analiz verileri neticesinde, araştırma sahasındaki  $\text{NO}_3\text{-N}$  miktarlarının, arazi kullanım şekilleri baz alındığında 5,2 mg/L ve 2,08 mg/L ile en yüksek ve en düşük değerlerini, sırasıyla maden sahası ve ormanlık alanlara yakın noktalarda yakaladığı tespit edilmiştir.



Şekil 10: Murgul Deresi suyunda  $\text{NO}_3\text{-N}$  miktarlarının (mg/L) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

Şekil 10 üzerinde de görüleceği üzere, bu çalışma kapsamında elde edilen  $\text{NO}_3\text{-N}$  değerlerinin hem mekânsal (özellikle maden sahası yakınındaki M5 noktasında) hem de zamansal (özellikle yaz ve kış ayları arasında) bakımdan ciddi farklılıklar gösterdiği anlaşılmaktadır. Oysa nispeten daha az insan kaynaklı faaliyete maruz kalmış diğer benzer çalışmalarda nitrat miktarının daha sınırlı bir değişim gösterdiği rapor edilmiştir (Küçük 2007). Korelasyon analizi sonuçlarına göre  $\text{NO}_3\text{-N}$  parametresi ile sıcaklık, elektriksel iletkenlik, tuzluluk, TÇM ve amonyum değerleri arasında anlamlı ve pozitif bir istatistiksel ilişki tespit edilirken  $\text{NO}_3\text{-N}$  ile ÇO arasında ise negatif yönde bir ilişki olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

**Amonyum Azotu:** Araştırmada irdelenen  $\text{NH}_4\text{-N}$  miktarları mekânsal anlamda (örnekleme noktaları bağlamında) incelendiğinde, 0,528 mg/L ile en yüksek seviyenin M5 noktasında, buna karşılık en düşük oranın ise M2 noktasında 0,036 mg/L ile belirlendiği görülmektedir. Diğer birçok parametrede olduğu gibi arazi kullanım şekillerine göre yapılan analizde de en yüksek  $\text{NH}_4\text{-N}$  miktarının 0,187 mg/L ile maden sahasına yakın bölgede, buna karşılık 0,036 mg/L ile en düşük değer ise ormanlık bölgelere yakın örnekleme noktalarında ölçüldüğü sonucuna varılmıştır (Şekil 11). Yapılan Pearson korelasyon analiz sonuçları,  $\text{NH}_4\text{-N}$  ile hem pH hem de ÇO parametreleri arasında anlamlı ve negatif yönde bir ilişki ortaya çıkarmışken, buna karşılık, araştırmada analiz edilen parametrelerden sıcaklık, iletkenlik, tuzluluk ve TÇM ile anlamlı ve pozitif yönde bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11: Murgul Deresi suyunda NH<sub>4</sub>-N miktarlarının (mg/L) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

Şekil 11 incelendiğinde, NH<sub>4</sub>-N değerlerinin maden sahasına yakın olarak seçilen M3 ve M5 noktalarında zamana bağlı olarak radikal değişimler gösterdiği, buna karşılık diğer noktalarda ise nispeten daha yatay bir eğilimde olduğu anlaşılmaktadır. Buna ek olarak, genel bir çıkarımla, bu çalışmadaki amonyum azotunun bahar ve yaz aylarındaki değerlerinin sonbahar ve kış aylarına nazaran daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. Ası Nehri üzerinde yapılan ölçümlerde ise tersine bir sonuç elde edilmiş ve NH<sub>4</sub>-N miktarlarının yaz aylarında düşük, buna karşılık kış aylarında ise daha yüksek seviyelerde seyrettiği tespit edilmiştir (Taşdemir ve Göksu 2001).

**Askıda Katı Madde (AKM):** Örneklem noktalarından elde edilen AKM miktarları irdelendiğinde ortalama 307,28 mg/L ile en yüksek miktarın birçok parametrede olduğu gibi M5 noktasında ölçüldüğü, buna karşılık en düşük değer ise yıllık ortalama 4,37 mg/L ile beklendiği üzere M2 noktasında kaydedildiği görülmektedir. Ayrıca arazi kullanım durumu göz önünde bulundurulduğunda, en yüksek yıllık ortalama miktarın 143,69 mg/L ile beklendiği üzere maden sahasına yakın bölgedeki noktalarda ölçüldüğü, diğer yandan en düşük miktarın ise tahmin edileceği üzere ortalama 4,60 mg/L ile ormanlık alana yakın noktalarda ölçüldüğü tespit edilmiştir. Yapılan ANOVA analizi sonuçları, AKM miktarlarının zamansal açıdan anlamlı bir istatistiksel fark göstermediğini, ancak hem mekânsal (örneklem noktaları) hem de arazi kullanım şekilleri bakımından önemli seviyede farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur (Tablo 3).

Tablo 3: Murgul Deresinde belirlenen AKM değerlerinin zamansal, mekânsal ve arazi kullanım şekillerine bağlı olarak uygulanan ANOVA testine ait F ve P oranları

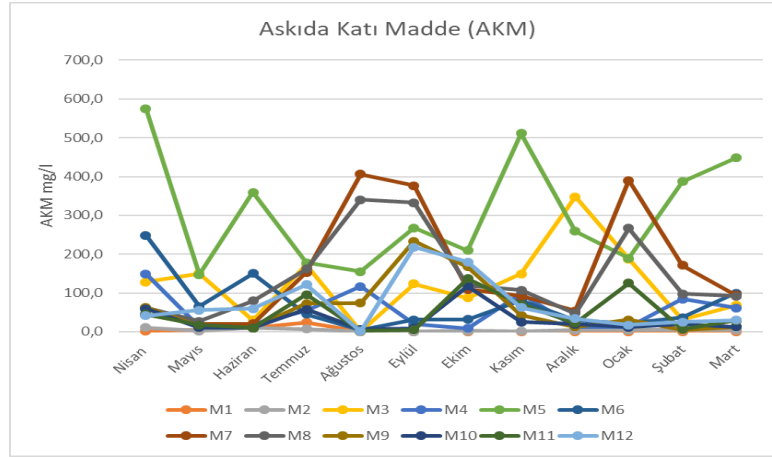
Zamansal (örneklem zamanı)		Mekânsal (örneklem Noktaları)		Arazi Kullanım Şekilleri	
F	P	F	P	F	P
0,487	0,908	11,004	<0,01	18,488	<0,01

Uygulanan Pearson korelasyon testinde, AKM'nin pH ile anlamlı ama negatif yönde bir korelasyonu olduğu tespit edilirken, buna karşılık parametrelerden tuzluluk, iletkenlik, TÇM, NO<sub>3</sub>-N ve NO<sub>4</sub>-N ile anlamlı ve pozitif yönde bir istatistiksel ilişki yakaladığı gözlemlenmiştir (Tablo 4).

Tablo 4: Murgul Deresinde belirlenen AKM değerlerinin Pearson korelasyon analiz sonuçları

Parametre	Parametre ile	Önem seviyesi	Korelasyon (-,0,+)
AKM	pH	0,0015	[-]
AKM	Eİ	0,0000	[+]
AKM	Tuzluluk	0,0000	[+]
AKM	TÇM	0,0000	[+]
AKM	Nitrat-N	0,0000	[+]
AKM	Amonyum-N	0,0000	[+]

Şekil 12'de de açıkça görüleceği üzere, araştırma sahasında ölçümü yapılan AKM (mg/L) miktarlarının aylık bazda beklenmedik şekilde radikal değişkenlikler (özellikle M1 ve M2 dışındaki noktalarda) gösterdiği görülmektedir. M1 ve M2 noktalarının havzanın üst bölümlerinde ormanlık sahaların etkisi altında olması ve insan müdahalelerinden etkilenmemesi, buralarda AKM değerlerinin beklendiği gibi düşük çıkmasında rol oynamıştır. Ancak, maden işletme sahasına yakın olan M5 noktası ile NT-HES tesisi, yerleşim, yol inşası ve dere ıslahı gibi faaliyetlerin yoğunluklu olduğu diğer noktalarda ise hem AKM değerleri yüksek çıkmış hem de aylık miktarlar arasında beklenmedik ciddi değişimler olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12: Murgul Deresi suyunda AKM miktarlarının (mg/L) zamansal ve mekânsal bağlamda dağılımı

Literatürde gerçekleştirilen benzer çalışmalar irdelendiğinde, ortalama AKM değerlerinin bu araştırmada çıkan sonuçların oldukça altında kaldığı görülmektedir. Örneğin, Çoruh Nehrinin Bayburt sınırları içerisinde akan kısmında yapılan bir çalışmada AKM açısından en yüksek ortalama değer 40,0 mg/L, en düşük ortalama değer ise 10 mg/l olarak bulunmuşken (Birici vd. 2017), Gelevera Deresi üzerinde yapılan bir diğer araştırmada da en yüksek ve en düşük ortalama AKM değerleri, sırasıyla, Mayıs'ta 5,12 mg/L ve Nisan'da 0,46 mg/L olarak hesaplanmıştır (Yıldız 2013). Ortalama AKM miktarları açısından ortaya çıkan bu önemli farklılıkların nedeni olarak, Murgul Deresi yatağı ve havzası boyunca yapılan insan kaynaklı faaliyetlerin sayı ve etki alanının yukarıda verilen diğer örnek araştırmaların çalışma alanlarına göre çok daha yüksek olması gösterilebilir.

### 3.2. Debi Ölçümü

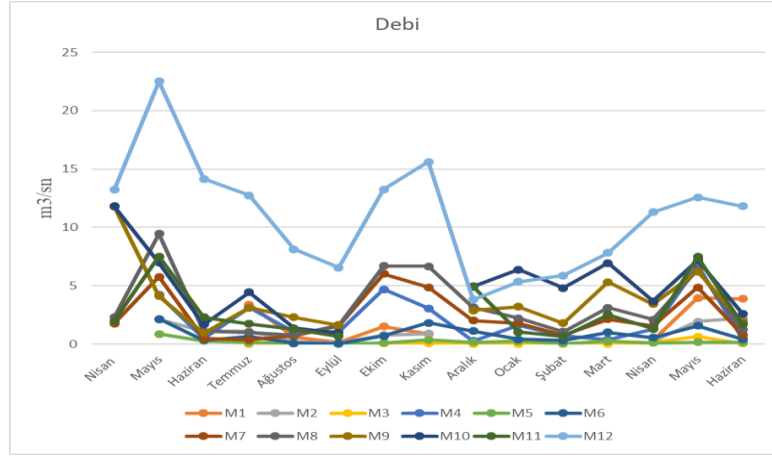
Murgul Deresinin araştırma sahası olarak seçilen bölümlerindeki örnekleme noktalarında ölçülen akım miktarları (debi) irdelendiğinde, genel bağlamda havzanın yukarı (memba) bölümlerinden, çıkış (mansap) bölümlerine doğru nispeten düzenli bir artış (M12'de düzensizlik mevcuttur) gözlemlendiği söylenebilir (Şekil 13). Akdeniz'e çıkış yapan Deliçay (Mersin) üzerinde gerçekleştirilen çalışmada da benzer şekilde, derenin memba kısmındaki noktalarda düşük olarak kaydedilen ortalama debi miktarının, havzanın mansap kısmına doğru en yüksek seviyesine ulaştığı rapor edilmiştir (Yıldırım vd. 2020).

Ancak, dere üzerinde art arda kurulan ve işletmeye geçen 3 adet NT-HES tesisinin regülatörleri ve/veya su alım kanalları aracılığıyla dere suyunun önemli bir miktarını kullanmaları neticesinde bazı noktalarda beklenenden daha az su akım miktarları ölçüldüğü düşünülmektedir. Bu durumun özellikle söz konusu tesislerin aralarında seçilen ölçüm noktalarında ve genelde suyun nispeten daha kısıtlı olduğu yaz ve sonbahar aylarında yaşandığı görülmüştür. Yapılan ANOVA testleri de bu sonuçları doğrulamış ve Murgul Deresi ortalama debi miktarlarının hem zamansal ve mekânsal hem de arazi kullanım şekillerine bağlı olarak istatistiksel anlamda farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5: Murgul Deresinde belirlenen debi değerlerinin zamansal, mekânsal ve arazi kullanım şekillerine bağlı olarak uygulanan ANOVA testine ait F ve P oranları

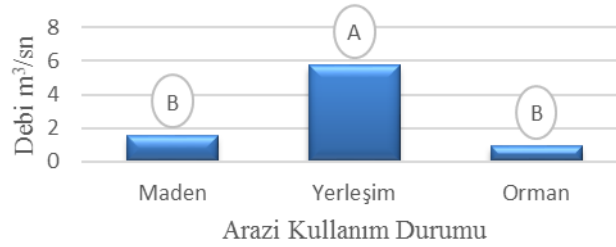
Zamansal (örnekleme zamanı)		Mekânsal (örnekleme Noktaları)		Arazi Kullanım Şekilleri	
F	P	F	P	F	P
2,339	<0,05	14,283	<0,01	23,586	<0,01

Bunlara ek olarak, deredeki en yüksek akımın 7,15 m<sup>3</sup>/s ile Nisan'da, buna karşılık en düşük ortalama akımın ise 1,30 m<sup>3</sup>/s ile Eylül'de ölçüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 13). Bununla beraber, mekânsal bağlamda yapılan değerlendirmede, en yüksek dere akışının 10,75 m<sup>3</sup>/s ile -beklendiği üzere araştırmadaki son nokta olan- M12 noktasında gerçekleştiği, en düşük değer ise 0,04 m<sup>3</sup>/s ile -yine beklediği üzere- art arda üç NT-HES tesisinden sonraki nokta olan M3 noktasında ölçüldüğü görülmüştür. Buna ek olarak, bu çalışmadaki son nokta olan M12'de debinin genel anlamda ve beklenen aksine düzensiz bir rejim gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durum, diğer insan kaynaklı etmenler yanında, M12 noktasının hemen yukarısında yer alan bir NT-HES tesisinin enerji üretimi için sıkça dereye su alması ve/veya üretimden sonra da kuyruk suyu olarak tekrar dereye su bırakması sonucunda debinin sıkça değişmesi ile açıklanabilir.



Şekil 13: Örneklem noktalarına ait aylık debi ( $m^3/sn$ ) değerlerinin dağılımı

Ayrıca arazi kullanım şekillerine göre yapılan değerlendirmede ise en yüksek ve en düşük ortalama debi miktarlarının  $5,74 m^3/s$  ve  $0,9 m^3/s$  ile sırasıyla yerleşim alanlarına ve ormanlık alanlara yakın noktalarda gerçekleştiği görülmüştür (Şekil 14). Bu da tahmin edilen bir sonuçtur çünkü bilindiği üzere şehirleşmenin yoğun olduğu alanlar, doğal bitki örtüsü ile kaplı alanlara göre çok daha fazla geçirimsiz yüzeye (evlerin çatıları, asfalt yollar ve beton sahalar) sahiptirler. Bu durumda da yerleşim alanları yağış sularını bünyelerinde tutamamakta ve bu sular hızla yüzeysel akışa geçerek akarsularda debilerin artmasına ve hatta yağışların çok şiddetli olduğu zamanlarda ise sel ve/veya taşkın oluşumuna neden olmaktadır.



Şekil 14: Murgul Deresinde farklı arazi kullanım şekillerine yakın noktalardaki ortalama debi ( $m^3/s$ ) miktarları

Bu çalışmadaki debi verileri ile diğer bazı su kalitesi özellikleri arasında uygulanan Pearson korelasyon testi neticesinde iletkenlik, tuzluluk, TÇM ve  $NH_4-N$  verileri ile anlamlı ancak negatif yönde bir ilişki olduğu tespit edilmiştir (Tablo 6).

Tablo 6: Murgul Deresinde belirlenen debi değerlerinin Pearson korelasyon analiz sonuçları

Parametre	Parametre ile	Önem Seviyesi	Korelasyon (-,0,+)
Debi	Eİ	0,0001	
“	Tuzluluk	0,0002	
“	TÇM	0,0002	
“	Amonyum-N	0,0316	

### 3.3. Ağır Metaller

Araştırma sahası olan MDH bünyesinde uzun yıllardır sürdürülen açık ocak bakır işletmesinin Murgul Deresi üzerinde olumsuz bir etkisi olup olmadığının ortaya konulması bu çalışmanın bir diğer kısmını oluşturmaktadır. Bu bağlamda, sadece maden sahasının etkisi altında kalan Murgul Deresinin orta ve aşağı kısımlarındaki 7 ölçüm noktasında aylık ağır metal örneklemeleri yapılmış ve bu kapsamda elde edilen verilerin ANOVA analizleri (F ve P değerleri) Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7’de görüldüğü üzere, zamansal farklılıklara (sadece arsenik için çıkmıştır) nazaran ağır metaller açısından daha çok mekânsal (bakır, demir, kurşun ve çinko) bağlamda anlamlı istatistiksel farklılıklar olduğu ortaya çıkmıştır. Arsenik Ağustos’ta  $21,19 \mu g/L$  ile en yüksek değere ulaşmışken, en düşük miktar ise  $0,04 \mu g/L$  ile Ocak’ta tespit edilmiştir. Ancak araştırma sahasında ortalama As değerlerinin, mekânsal anlamda (örneklem noktalarına) istatistiki bir fark göstermediği tespit edilmiştir. Kadmiyumun ortalama değerlerinin, özellikle maden sahasının etkisinin görüldüğü M4 (Mayıs ayında) ve M5 noktalarında çok yüksek çıktığı tespit edilmiştir.

Tablo 7: Murgul Deresinde belirlenen ortalama ağır metal miktarlarının zamansal ve mekânsal bakımdan farklılıklarını ortaya koyan ANOVA testine ait F ve P oranları

	Zamansal (Örnekleme Zamanları)		Mekânsal (Örnekleme Noktaları)	
	F	P	F	P
Arsenik	2,047	<0,05	0,451	0.841
Kadmiyum	0,871	0.571	1,609	0.157
Bakır	0,580	0.838	8,331	<0,01
Demir	1,062	0.404	3,104	<0,01
Kurşun	1,285	0.252	3,531	<0,01
Çinko	0,696	0.737	9,197	<0,01

Diğer bir ağır metal olan bakır ise spesifik olarak maden sahasının etkisinde kalan ve doğrudan atık barajından ulaştığı tahmin edilen sızıntı sularının ulaştığı M5 noktasında (çalışmadaki en yüksek değer 5669,7 µg/L) neredeyse tüm yıl boyunca yüksek seviyelerde olduğu görülmüştür. ANOVA analizleri neticesinde ölçümü yapılan Cu değerlerinin mekânsal bağlamda istatistiki farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. *Demir* değerlerinin ortalamaları irdelendiğinde mekânsal anlamda istatistik açıdan fark olduğu, ancak zamansal bağlamda anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir. Çalışma sahasında, diğer ağır metal sonuçlarına paralel olarak en yüksek ortalama Fe değerinin 4647,47 µg/L ile yine M5 noktasında ölçüldüğü, en düşük miktarın ise 133,04 µg/L ile çıkışa yakın noktalardan biri olan M9'da bulunduğu tespit edilmiştir. Benzer bir sonuç *kurşun (Pb)* verileri için de ortaya çıkmış ve beklendiği üzere maden sahasına yakın olan noktalarda (42,99 µg/L ile en yüksek M5'te) miktarların diğer noktalara (2,37 µg/L ile en düşük M9'da) nazaran daha yüksek çıktığı görülmüştür. Gerçekleştirilen ANOVA testi neticesinde çalışma sahasındaki ortalama *çinko* (Zn) değerlerinin mekânsal bağlamda istatistiksel fark oluşturduğu ve 2837,16 µg/L ile en yüksek miktarın yine tahmin edildiği gibi M5 noktasında, 25,67 µg/L ile en düşük miktarın ise M9 noktasında ölçüldüğü sonucuna varılmıştır. Ülkemizin farklı havzalarındaki akarsularda ağır metal miktarlarının belirlenmesi üzerine yapılan benzer çalışmalarda, genelde SKKY tarafından belirlenen standartların aşılmadığı rapor edilmiştir (Köse 2012; Mutlu vd. 2013; Sönmez vd. 2012; Öner ve Celik 2011; Toroğlu vd. 2006).

Araştırma kapsamında analizi yapılan ağır metallere bazılarının -özellikle M3 (maden işletmesinin atık barajına yakın) ve M5 (bakır rezervinin çıkarıldığı sahaya yakın)- zamansal ve/veya mekânsal bağlamda SKKY standartlarının üzerine çıkarak Murgul Deresinin kirli sular sınıfında yer almasına neden olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin, arsenik miktarlarının M4 noktasında Mayıs ayında, M5 noktasında hem Kasım hem de Temmuz aylarında ve son olarak da M12 noktasında Ağustos ayında SKKY'nin belirlediği 20 µg/L sınırını aşmasıyla, Murgul Deresi su kalitesinin arsenik içeriği bakımından II. ve III. sınıf aralığına kadar inmesine neden olduğu söylenebilir. Benzer şekilde hem bakır hem de demir değerlerinin, sadece M5 noktasında, SKKY'nin belirlediği standart değerleri aşarak IV. sınıf sular aralığında yer almasına neden olduğu görülmektedir. Son olarak, kurşun miktarının M3, M4 ve M5 noktalarında IV. sınıf aralığında olduğu kaydedilmişken, çinkonun yine sadece M5 noktasında standart değerleri aşarak su kalitesinin IV. sınıfa kadar düşmesine neden olduğu ortaya çıkmıştır.

Yapılan ANOVA analizine ek olarak, elde edilen ağır metal ölçümleri üzerinde Pearson korelasyon testi de gerçekleştirilmiş ve ağır metal parametrelerinin birbiri ile olası doğrusal ilişkileri Tablo 8'deki gibi oluşmuştur ve ağır metallere çoğunun diğerleri ile anlamlı ve pozitif yönde bir korelasyon ilişkisi gösterdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 8: Murgul Deresinde belirlenen bazı ağır metal değerlerinin Pearson korelasyonu analiz sonuçları

Ağır metal	Ağır metal ile	Önem Seviyesi	Korelasyon (-,0,+)
Cd	As	0,0000	
Cu	Cd	0,0040	
Fe	As	0,0002	
Fe	Cd	0,0409	
Fe	Cu	0,0000	
Pb	As	0,0000	
Pb	Cd	0,0000	
Pb	Cu	0,0072	
Pb	Fe	0,0000	
Zn	Cd	0,0002	
Zn	Cu	0,0000	
Zn	Fe	0,0000	
Zn	Pb	0,0001	



#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Murgul Deresi Havzasının (MDH) ana kolu olan Murgul Deresinin bazı ağır metalleri de içeren su kalitesi özellikleri ile dere akışı (debi) ve askıda taşınan materyal değerlerinin güncel durumunun ve yıl (aylık bazda) içerisindeki değişimlerinin ortaya konulması ana amaç olarak kurgulanmıştır. Bu amaçla, Murgul Deresi boyunca zamansal ve noktasal anlamda ve havzadaki mevcut arazi kullanım şekillerine göre Nisan 2016 ile Mart 2017 tarihlerini kapsayan bir yıllık süre içerisinde aylık su örneklemeleri gerçekleştirilmiştir. Proje alanında tespit edilen toplam 12 örnekleme noktasında öncelikle YSI cihazı kullanılarak bazı su kalitesi değerleri arazide yersel olarak gerçekleştirilmiştir. Buna ek olarak, aylık debi ölçümleri yanında, AKM miktarları ile ağır metallerin laboratuvarındaki analizleri için su örnekleri alınmıştır.

Elde edilen çıktılar, tüm örnekleme noktaları içerisinde, maden işletmesine yakın olan M5 noktasında ölçülen ve/veya analiz edilen bazı su kalitesi değerlerinin diğer arazi kullanımlarından (orman ve yerleşim) etkilenen noktalara nazaran daha kötü değerlere sahip olduğunu göstermektedir. Örneğin, analizi yapılan iletkenlik (438,82  $\mu$ S/cm), tuzluluk (0,30 mg/L), TÇM (400,25 mg/L), NH<sub>4</sub>-N (0,19 mg/L), NO<sub>3</sub>-N (5,20 mg/L) ve AKM (143,69 mg/L) ile ağır metallerden Cu (5669 ppb), Fe (4647 ppb), Pb (43 ppb) ve Zn (2837 ppb) parametrelerinin madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların Murgul Deresine çıkışı yaptığı noktadaki (M5) değerlerinin hem doğal hem de yerleşim bölgelerine yakın noktalara göre istatistiksel anlamda daha yüksek çıktığı saptanmıştır.

Bunlara ek olarak, Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliğinde listelenen kirlilik standartları bağlamında yapılan değerlendirmede; NH<sub>4</sub>-N ile iletkenlik miktarlarının M3 ve M5 noktaları baz alındığında II. Sınıf grubuna girdiği, NO<sub>3</sub>-N değerinin ormanlık araziye yakın noktalarda I. Sınıf iken maden sahası çıkışı olan M5 noktasında III. Sınıf kalite aralığında kaldığı tespit edilmiştir.

Murgul Deresi'nin akış miktarları incelendiğinde, doğal şartlarda memba kısmından mansaba doğru belirli oranlarda artması beklenen debi miktarlarının özellikle ara ölçüm noktaları olan M3 ile M11 noktaları arasında bu trendi çok da yakalayamadığı anlaşılmaktadır. Bu duruma neden olan ana etmen ise hem Murgul Deresi hem de yan kollardan biri olan Kabaca Deresi üzerinde işletmede olan çoklu NT-HES tesislerinin regülatörleri aracılığıyla dere suyunun önemli bir kısmını enerji üretmek için almaları ve böylece debi değerlerinde noktalar arasında beklenen düzenli artışın görülmemesidir. Çalışma alanında ölçümü yapılan AKM değerleri de söz konusu bu NT-HES tesislerinden olumsuz şekilde etkilenmektedir. Bilindiği üzere bu tesislerin sahip olduğu bekletme (dinlendirme) havuzlarında dere sularındaki sediment çöktürülmekte ve bu da dere ekosisteminde taşınması gereken AKM miktarlarının azalmasına ve dere yatağı boyunca düzensiz bir eğilim göstermesine neden olmaktadır. Bu çalışmada analizi yaptırılan bazı ağır metal elementlerinin değerleri ise hem noktasal hem de zamansal farklılıklar göstermiş ve bazı durumlarda SKKY standartlarının üzerine çıkarak kirli sular sınıfı içerisinde yer almışlardır.

Sonuç olarak, bu çalışmada irdelenen su kalitesi, dere akışı ve AKM parametrelerinin ölçüm ve analiz sonuçları genel bağlamda değerlendirildiğinde, genel bir ifade ile Murgul Deresi Havzası bünyesinde ve/veya dere yatağı boyunca insan kaynaklı müdahalelerin yoğunlaştığı noktalarda su kalitesinin bozulduğu, buna karşılık henüz müdahale görmemiş olan orta ve/veya üst kısımlardaki ölçüm noktalarında ise suların daha temiz kaliteye sahip olduğu çıkarımı yapılabilir.

#### Bilgilendirme

Bu çalışma, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim dalında yürütülen "Artvin'in Murgul Deresi'nde su miktarı, su kalitesi ve askıda sediment değerlerinin belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

#### Kaynaklar

- Akinci H., Özalp A.Y., Özalp M., (2017), *Investigating impacts of large dams on agricultural lands and determining alternative arable areas using GIS and AHP in Artvin, Turkey*, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(1), 83-95.
- Anşin R., (1980), *Doğu Karadeniz Bölgesi florası ve asal vejetasyon tiplerinin floristik içerikleri*, Doçentlik Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Fakültesi, Trabzon.
- Aybar M., (2022), *Ağır metal iyonlarıyla kirlenmiş maden yatağı ve yakın çevresindeki toprakların fitoremediasyon yöntemiyle giderilmesinin araştırılması*, Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin.
- Bakker K., (2012), *Water security: research challenges and opportunities*, Science, 337, 914-915.
- Birici N., Karakaya G., Şeker T., Küçükyılmaz M., Balcı M., Özbey N., Güneş M., (2017), *Çoruh Nehri (Bayburt) su kalitesinin su kirliliği kontrolü yönetmeliğine göre değerlendirilmesi*, International Journal of Pure and Applied Sciences, 3(1), 54-64.
- Brusseau M.L., Walker D.B., Fitzsimmons K., (2019), *Physical-chemical characteristics of water*, Environmental and Pollution Science (Third Edition)'in İçinde, (Brusseau M.L., Pepper I.L., Gerba C.P., Ed.), Academic Press, London, UK, ss.23-45.
- Buser S., Civetic S., (1973), *Türkiye'deki Murgul bakır yatağı yöresinin jeolojisi*, MTA Dergisi, 81, 22-45.
- Caldwell P., Muldoon C., Ford-Miniat C., Cohen E., Krieger S., Sun G., Bolstad P.V., (2014), *Quantifying the role of national forest system lands in providing surface drinking water supply for the Southern United States*, Gen. Tech. Rep. SRS-197, U.S. Department of Agriculture Forest Service, Southern Research Station, Asheville, NC, 135ss.

- Camara M., Jamil N.R., Abdullah A.F.B., (2019), *Impact of land uses on water quality in Malaysia: a review*, Ecological Processes, 8, 10. doi: 10.1186/s13717-019-0164-x.
- Çiçek N.L., Ertan Ö.O., (2012), *Köprüçay Nehri (Antalya)'nın fiziko-kimyasal özelliklerine göre su kalitesinin belirlenmesi*, Ekoloji, 21(84), 54-65.
- Enea A., Hapciuc O. E., Iosub M., Minea I., Romanescu G., (2017), *Water quality assessment in three mountainous watersheds from Eastern Romania (Suceava, Ozana and Tazlau Rivers)*, Environmental Engineering and Management Journal, 16(3), 605-614.
- Freeman M.C., Pringle, C.M., Jackson C.R., (2007), *Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales*, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 43, 5-14.
- Gedik K., Verep B., Terzi E., Fevzioglu S., (2010), *Firtina deresi (Rize)'nin fiziko-kimyasal açıdan su kalitesinin belirlenmesi*, Ekoloji, 19(76), 25-35.
- Gökçe A., (2001), *Çakmakçaya ve Damarköy (Murgul-Artvin) bakır yataklarında sıvı kapanımı, oksijen ve hidrojen izotopları jeokimyası incelemeleri ve yatakların oluşumu açısından düşündürdükleri*, Türkiye Jeoloji Bülteni, 44(2), 23-37.
- Hamid A., Bhat S. U., Jehangir A., (2020), *Local determinants influencing stream water quality*, Applied Water Science, 10, 24. doi: 10.1007/s13201-019-1043-4.
- Kändler M., Blechinger K., Seidler C., Pavlu V., Šanda M., Dostál T., Krása J., Vitvar T., Štich M., (2017), *Impact of land use on water quality in the upper Nisa catchment in the Czech Republic and in Germany*, Science of the Total Environment, 586, 1316-1325.
- Kim J.Y., An K.G., (2015), *Integrated ecological river health assessments, based on water chemistry, physical habitat quality and biological integrity*, Water, 7, 6378-6403.
- Köse E., (2012), *Porsuk Çayı su, sediment ve bazı balık türlerinin ağır metal miktarlarının araştırılması*, Doktora Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya.
- Kurdoglu O., (2016), *Expert-based evaluation of the impacts of hydropower plant construction on natural systems in Turkey*, Energy & Environment, 27(6-7), 690-703.
- Küçük S., (2007), *Büyük Menderes Nehri su kalite ölçümlerinin su ürünleri açısından incelenmesi*, ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(1-2), 7-13.
- Lintern A., Webb J., Ryu D., Liu S., Bende-Michl U., Waters D., Leahy P., Wilson P., Western A.W., (2018), *Key factors influencing differences in stream water quality across space*, WIREs Water, 5(1), e1260. doi: 10.1002/wat2.1260.
- Maden T.E., (2012), *Kriz dönemlerinde su politikaları: Türkiye-Suriye*, Ortadoğu Analiz, 4(44), 87-94.
- Mutlu E., Yanık T., Demir T., (2013), *Horohon Deresi (Hafik-Sivas) su kalitesi özelliklerinin aylık değişimleri*, Alınteri, 25, 45-57.
- Özalp M., Erdogan Yüksel E., Yuksek T., (2016), *Soil property changes after conversion from forest to pasture in Mount Sacinka, Artvin, Turkey*, Land Degradation & Development, 27(4), 1007-1017.
- Öner Ö., Celik A., (2011), *Gediz Nehri Aşağı Gediz Havzası'ndan alınan su ve sediment örneklerinde bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi*, Ekoloji, 20(78), 48-52.
- Özalp M., Yavuz A., Yüksek T., Tokar E., (2009), *Baraj ve Yol Yapımlarının Doğal Kaynaklara Etkisi: Aşağı Çoruh Havzası Örneği*, II. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Eskişehir, ss.477-488.
- Özalp M., Erdoğan Yüksel E., Yıldırım S., (2017), *Subdividing large mountainous watersheds into smaller hydrological units to predict soil loss and sediment yield using the GeoWEPP Model*, Polish Journal of Environmental Studies, 26(5), 2135-2146.
- Özalp M., Kurdoğlu O., Yüksel Erdoğan E., Yıldırım S., (2010), *Artvin'de Nehir Tipi Hidroelektrik Santrallerinin neden olduğu / olacağı ekolojik ve sosyal sorunlar*, III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs, Artvin, Cilt II, ss.677-687.
- Özay G., (2019), *Çoklu nehir tipi hidroelektrik santrallerinin (HES) Kabaca Deresi'nin su miktarı, su kalitesi ve askıda sediment değerleri üzerine etkilerinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin.
- Özhan S., (2004), *Havza Amenajmanı*, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayın No:481, İstanbul, 384ss.
- Ramirez A., Rosas K.G., Lugo A.E., Ramos-González O.M., (2014), *Spatiotemporal variation in stream water chemistry in a tropical urban watershed*, Ecology and Society, 19(2), 45. doi: 10.5751/ES-06481-190245.
- Salmiati S., Arman N.Z., Salim M.R., (2017), *Integrated approaches in water quality monitoring for river health assessment: scenario of Malaysian River*, Water Quality'nin İçinde, (Tutu H., Ed.) InTechOpen Publishers, London, ss.315-335.
- Sönmez A.Y., Hisar O., Yanık T., (2012), *Karasu Irmağında ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması*, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43(1), 69-77.
- Şengün E., (2013), *Aksu Deresi Su Kalitesi ve Kirlilik Düzeyinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Taşdemir M., Göksu Z.L., (2001), *Asi Nehri'nin (Hatay, Türkiye) Bazı Su Kalite Özellikleri*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi, 18(1-2), 55-64.
- Toroğlu E., Toroğlu S., Alaeddinoğlu F., (2006), *Aksu Çayı'nda (Kahraman Maraş) Akarsu Kirliliği*, Coğrafi Bilimler Dergisi, 4(1), 93-103.
- TÜİK, (2020), *Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları, İl ve ilçelere göre il/ilçe merkezi, belde/köy nüfusu ve yıllık nüfus artış hızı*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Adrese-Dayali-Nufus-Kayit-Sistemi-SonucLari-2020-37210>, [Erişim 15 Ekim 2022].
- UNWWAP, (2018), *Nature-Based Solutions for Water*, The United Nations World Water, <https://www.unwater.org/publications/world-water-development-report-2018>, [Erişim 09 Eylül 2022].
- URL-1, (2004), *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*, Resmi Gazete Tarih: 31 Aralık 2004, Sayı: 25687, <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=7221&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5> [Erişim 14 Eylül 2022].
- Vörösmarty C.J., McIntyre P.B., Gessner M.O., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S.E., Sullivan C.A., Liermann C.R., Davies P.M., (2010), *Global threats to human water security and river biodiversity*, Nature, 467, 555-561.
- Yıldırım Ü., Güler C., Kurt M.A., Güven O., (2020), *Kaynağından Akdeniz'e Deliçay'ın (Mersin) Debisi ve Su Kalitesinin Değerlendirilmesi*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10(4), 1121-1135.
- Yıldırım S., Özalp M., Erdoğan Yüksel E., (2015), *Büyük baraj projeleri ve bağlantılı yol inşaatları sonucunda Çoruh Nehri Havzasında oluşan arazi kayıplarının ve tahribatlarının belirlenmesi*, Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 16(1), 1-17.

- Yıldırım S., (2018), *Borçka Barajı Havzasında su rejimi, su kalitesi ve sediment veriminin swat kullanarak belirlenmesi ve modellenmesi*, Doktora Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Artvin,
- Yıldız İ., (2013), *Gelevera Deresi su kalitesi ve kirlilik düzeyinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Zeybek M., Kalyoncu H., (2016), *Kargı Çayı (Antalya, Türkiye) su kalitesinin fizikokimyasal parametrelere göre belirlenmesi*, Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 33(3), 223-231.