

## Murgul Bakır Madeni-Damar Atık Barajı (Artvin) Alanındaki Yeraltı ve YüzeY Suyu Kaynaklarının Hidrojeolojik Özellikleri ve Boya Deneyi

Erkan DİŞLİ\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 06.11.2017

Kabul tarihi: 14.03.2018

### Öz

Atık barajı (DAMAR), Damar maden sahası genelinde yapılan madencilik çalışmaları sonucunda bakır, bakırlı pirit ve bunlara özgü diğer cevherlerin çıkarılması ve bu cevherlerin yerinde kurulan tesiste zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların depolanmasında kullanılmaktadır. Atık barajın mansabından itibaren yaklaşık 60-65 m arasında değişen mesafelerde farklı lokasyonlarda küçük debili kaynak boşalmaları gözlenmiştir. Yeraltı suyu ve yüzeY suyu kaynaklarında pH değeri 2,91-11,17 ve 3,4-7,17 arasında, elektriksel iletkenlik (EC) değeri ise yeraltı suyu kaynaklarında 589-4397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve yüzeY suyu kaynaklarında 528-3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değiştiği belirlenmiştir. Araştırma alanında yer alan atık barajı (Damar) ile baraj aks yerinin kuzey batısında farklı lokasyonlarda sızıntı şeklinde boşalım gösteren kaynaklar arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemek amacı ile yapılan boya deneyi sonucunda S1 sızıntı noktasında 0,13 mikrogram/l uranın konsantrasyonuna rastlanmıştır. Barajdan kaynaklanan sızmanın önlenmesi amacı ile hidrolik iletkenlik değeri çok düşük olan bir malzeme ( $K < 10^{-6}$  cm/s) atık baraj alanına deşarj edilmeye başlanılmıştır. Yapılan deşarj işlemi sırasında, en alt kotta (1039 m) gözlenen S1 kaynağının tamamen kuruduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Boya deneyi, Damar atık barajı, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Murgul

### The Hydrogeological Properties of Groundwater and Surface Water in the Damar Tailings Dam-Murgul Copper Mine Site (Artvin, NE Turkey) and Dye Experiment

#### Abstract

The Tailings Dam (DAMAR) is used for the extraction of copper, copper pyrite and other ores as a result of the mining operations carried out throughout the Damar mine site, and for the storage of the wastes resulting from the site enrichment operations of these ores. Water springs discharge, on a northeast-southwest line, have been observed in different locations at distances ranging from approximately 60 and 65 m from the end of the Damar tailing dam downstream. The pH values of the groundwater samples ranged from 2.91 to 11.17 while surface water samples were laying dominantly between 3.4 and 7.17. The electrical conductivity (EC) values of groundwater were ranging from 589  $\mu\text{S}/\text{cm}$  to 4397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and the EC levels of surface water samples ranged from 528 to 3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively. In order to determine the hydrodynamic relationship between the waste storage dam (Damar) and the springs leaking in different locations to the north-west of the dam axis, the dye experiment was carried out and it was calculated as 0.13 microgram/l uranine at the leakage point S1. To prevent infiltration from the dam, a material with hydraulic conductivity value of very low ( $K < 10^{-6}$  cm/sec) was discharged to the waste dam

\* Sorumlu yazar (Corresponding author): Erkan DİŞLİ, edisli@yyu.edu.tr

site. During the discharge process, it was observed that the point S1 located at the lowest topographic level (1039 m) was completely dried.

**Keywords:** Dye experiment, Damar tailing dam, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Murgul

## 1. GİRİŞ

Dünya coğrafyasında, son yüzyılda gözlenen plansız ve hızlı kentleşme, endüstri ve tarım alanlarında kullanılan kimyasal maddeler, sera gazlarının atmosferdeki artışına bağlı olarak iklim koşullarında meydana gelen değişimler, yerel ve bölgesel ölçekte su kaynaklarını miktar ve kalite açısından kullanılabilirlik kriterini önemli derecede tehdit etmeye başlamıştır. Özellikle, endüstriyel ve evsel atık kökenli kirletici maddelerin düzenli veya düzensiz olarak yüzey ve/veya yüzey altında depolanması, su kütlelerine (göl, akarsu, deniz vb.) bilinçli/ bilinçsiz boşaltılması ve tarım alanlarında kullanılan kimyasal maddelerin sulamadan/ yağıştan dolayı yeraltına sızması sırasında meydana gelen süreçler su kaynaklarında kirlenmeye neden olan en önemli süreçlerdir. Son yıllarda maden sahalarında yerinde yapılan atık depolama tesis veya barajların inşaatı sırasında ve/veya yer seçiminde yapılan hatalar sonucunda meydana gelen kaçaklar atık barajlarından kaynaklı kirleticiler bölge genelindeki yüzey ve yeraltısuyu kaynaklarının kalitesini çok ciddi boyutlarda etkilemeye başlamıştır [1-8]. Bu süreçlerden dolayı dünya genelinde kullanılabilir su kaynakları kontrolsüz bir şekilde azalmakta ve su yoksulluğu giderek artış göstermektedir. Buna ek olarak 20. yüzyılda dünya nüfusu 19. yüzyıla oranla üç kat artmasına rağmen sürdürülebilir kalkınma için en önemli yaşamsal kaynaklardan biri olan su kaynaklarının kullanımının altı kat arttığı belirlenmiştir [9]. Bütün bu çalışmalar gösteriyor ki yakın bir gelecekte dünya ülkelerinin en önemli sorunlarından birinin “yeterli kalite ve miktarda içme ve kullanma suyunun temini” olacağı anlamına gelmektedir [10].

Ülkemizde son yüzyılda hızlı ve kontrolsüz bir şekilde gelişmeye başlayan madencilik sektöründe madenin çıkarılması ve depolanması gibi farklı aşamalarda yapılan hatalar bölge genelinde yer

alan ekolojik sistemlerde çevre sorunlarına neden olmaktadır. Özellikle madencilik çalışmalarında sıvı ve/veya katı atıkların depolanmasında kullanılan atık baraj yapılarından kaynaklanan sızma ve taşma gibi süreçler yeraltı ve yüzey suyu kaynaklarında kalite ve miktar açısından önemli riskler teşkil etmektedir. Barajlardaki su sızıntıları, genellikle baraj gövdesi içinden, kenarlarından ve rezervuar alanındaki jeolojik katmanlardan ileri gelmektedir. Barajlardaki sızıntı şeklinde meydana gelen boşalmaların araştırılmasında kuyu verileri, boya izleme deneyleri, yeraltı suyu seviyesini izleme gibi doğrudan yöntemlerin yanında jeofizik arama yöntemleri (örneğin, elektrik özdirenç ve doğal potansiyel) gibi dolaylı yöntemler kullanılmaktadır [11]. Cevher zenginleştirme aşamasında ortaya çıkan artıklarının baraj ve gölet gibi inşa edilen alanlarda depolanması gereğinin ortaya çıkmasından sonra, işletme ve rehabilitasyon şartları bu yapıların fiziksel duraylılığının sağlanması ile sınırlı kalmıştır [12].

Araştırma alanı oluşturan atık depolama barajı (Damar) Artvin İl sınırları içerisinde Murgul İlçesi'nin güneydoğusunda Damar yerleşim yerinin yaklaşık batı-güney batısında yer almaktadır. Atık depolama barajı, bölge genelinde yer alan bakır, bakırlı pirit ve bunlara özgü diğer cevherlerin çıkartılarak bu cevherlerin yerinde kurulan tesiste zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların sulu ortamda depolanması aşamasında kullanılmaktadır (Şekil 1). Bu çalışmanın amacı atık baraj aks yerinin kuzey batısında farklı lokasyonlarda yer alan sızıntı şeklinde küçük debili kaynak boşalmaları (Şekil 2) ile memba konumundaki atık barajı arasındaki hidrodinamik ilişkiyi ortaya koymak ve elde edilecek sonuçlara göre durum değerlendirmesi yaparak gereken önlemleri almaktır. Bunun için sızıntı şeklinde boşalım gösteren kaynaklarda, yüzey sularında ve baraj alanında su kalitesine yönelik örnekleme çalışmaları, yeraltısuyu akım dinamiğini etkileyen akifer parametrelerini (hidrolik iletkenlik katsayısı, iletkenlik, depolama katsayısı gibi) belirlemek

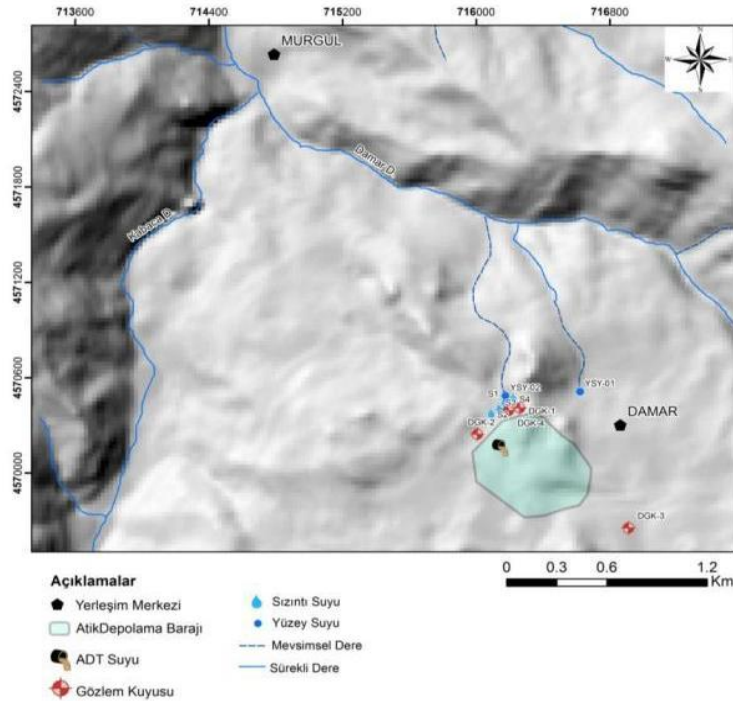
amacı ile baraj aks yerinin yaklaşık 30 m kuzeyinde açılan sondaj kuyusunda pompa testi ve son olarak boya izleme deneyi yapılmıştır [13,14].

## 2. MATERYAL VE METOT

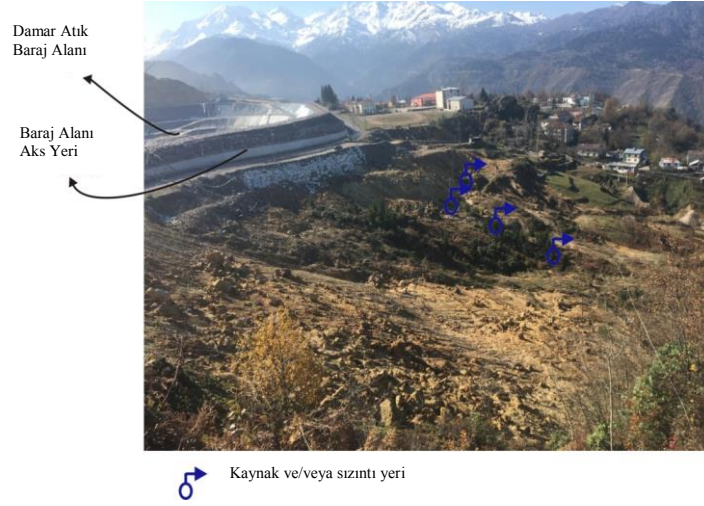
Araştırma alanında yer alan su kaynaklarında mevcut su kalitesini belirlemek amacı ile farklı zamanlarda örnekleme alınmış ve yerinde çeşitli parametrelerin (hidrojen iyon aktivitesi (pH), sıcaklık (T); elektriksel iletkenlik(Eİ), çözülmüş oksijen (ÇO), vb.) ölçümü gerçekleştirilmiştir. Su kalitesini belirlemek amacı ile alınan su örnekleri Segal çevre ölçüm ve analiz laboratuvarına gönderilmiştir. Baraj alanından herhangi bir sızmanın olup olmadığını belirlemek amacı ile en güçlü flüoresan özelliğe sahip izleme boyası olan uraninden toz halinde 70 kg kullanılmıştır [15,13].

Baraj alanına boya deşarj edilmeden önce toz halinde bulunan boyanın etrafa rüzgarla taşınmaması için yine baraj alanında metal bir bidon içerisinde baraj suyu ile karıştırılarak sıvı

hale dönüştürülmüştü (Şekil 3). Hazırlanan sıvı haldeki uranın boyası baraj alanı içerisinde farklı lokasyonlarda baraj atık alanına deşarj edilmeye başlanılmıştır (Şekil 4). Baraj alanına deşarj edilen boyanın dibe çökmesini önlemek ve karışımı homojen hale getirmek amacı ile gözlem süresi boyunca farklı zamanlarda atık baraj alanı içerisinde farklı derinliklere daldırılan pompa ile karıştırılmıştır. Su kalitesine yönelik örnekler ALS Global Laboratuvarları tarafından hazırlanmış koruyucu kaplarda, yönetmelikte belirtilen şartlar sağlanarak, uluslararası akreditasyona sahip Çek Cumhuriyeti'nde bulunan ALS Global Laboratuvarlarına ve uranın konsantrasyonu belirlenebilmesi için iki farklı deteksiyon limiti dikkate alınacak şekilde Almanya'da bulunan ProChem GmbH laboratuvarlarına gönderilmiştir. Akifer parametreleri Moench [16,17] tarafından geliştirilen matematiksel yaklaşım kullanılarak belirlenmiştir. Sızıntı halinde boşalım gösteren kaynakların debisini ölçmek için kaynak çıkışına kaynak suyunu dren edecek şekilde bir boru sistemi yerleştirilmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası



Şekil 2. Araştırma alanında farklı lokasyonlarda boşalım gösteren sızıntı şeklinde kaynaklar



Şekil 3. Toz halindeki uranın boyasının sıvı hale dönüştürülmesi



Şekil 4. Atık Baraj alanında değişik lokasyonlarda boyanın deşarj edilmesi

### 3. HİDROLOJİ

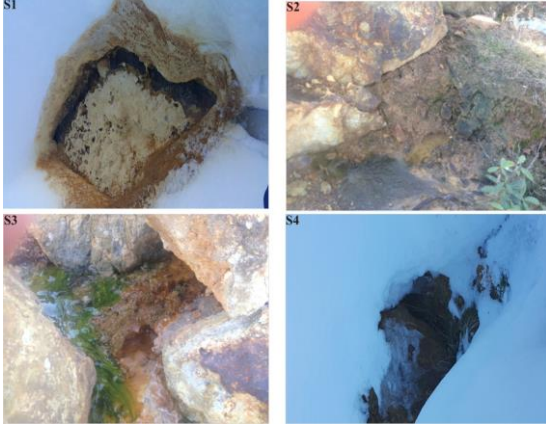
#### 3.1. Akarsular

Araştırma alanı genelinde irili ufaklı birçok mevsimsel ve sürekli dere bulunmaktadır. Damar

ve Kabaca dereleri araştırma alanı genelinde yer alan en önemli sürekli derelerdir. Bu derelerden Damar Deresi atık depolama baraj yerinin kuzeydoğusunda yer alan Damar yerleşim yerinin yaklaşık 800-850 m kuzeydoğusunda yer almakta olup güneydoğu-kuzeybatı yönünde akımına devam etmekte ve Murgul yerleşim yerinin güneyinde Kabaca Deresi'ne karışmaktadır. Kabaca Deresi ile birleştikten sonra Murgul yerleşim yerinin içerisinden geçerek Hopa sınırlarında Karadeniz'e dökülmektedir. Kabaca Dere ise baraj alanının batısında yer almakta olup güney-kuzey doğrultusunda akımına devam ettikten sonra Murgul yerleşim sınırları içerisinde Damar Deresi ile birleşmektedir. Bununla beraber araştırma alanı genelinde yer alan mevsimsel derelerde bölge genelinde etkin olan yağışlı dönemlerin başlaması ile akış gözlenmektedir. Kurak dönemlerde ise mevsimsel dereler kurumaktadır (Şekil 1).

#### 3.2. Kaynaklar

Araştırma alanı genelinde yerinde yapılan arazi çalışmalar sonucunda baraj aks yerinin kuzey batısında ve baraj aks yerinden yaklaşık 60-65 m mesafede kuzeydoğu-güney batı doğrultulu bir hat boyunca farklı lokasyonlarda 4 adet sızıntı şeklinde kaynak boşalmaları gözlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Sızıntı şeklinde boşalan kaynaklar

### 3.3. Kuyular

Atık barajı alanı civarında, olası kirlilik durumlarının tespit edilmesi, yeraltı suyu seviyesinin (YASS) tespiti, YAS akım yönü ve kalitesinin izlenmesi amacıyla 3'ü mansapta 1'i membada olmak üzere 4 adet gözlem kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan DGK1 195 m, DGK2 178 m, DGK4 200 m ve atık baraj (DAMAR) membasında bulunan DGK3 kuyusu ise 294 m derinliğinde açılmıştır (Şekil 1, Çizelge 1).

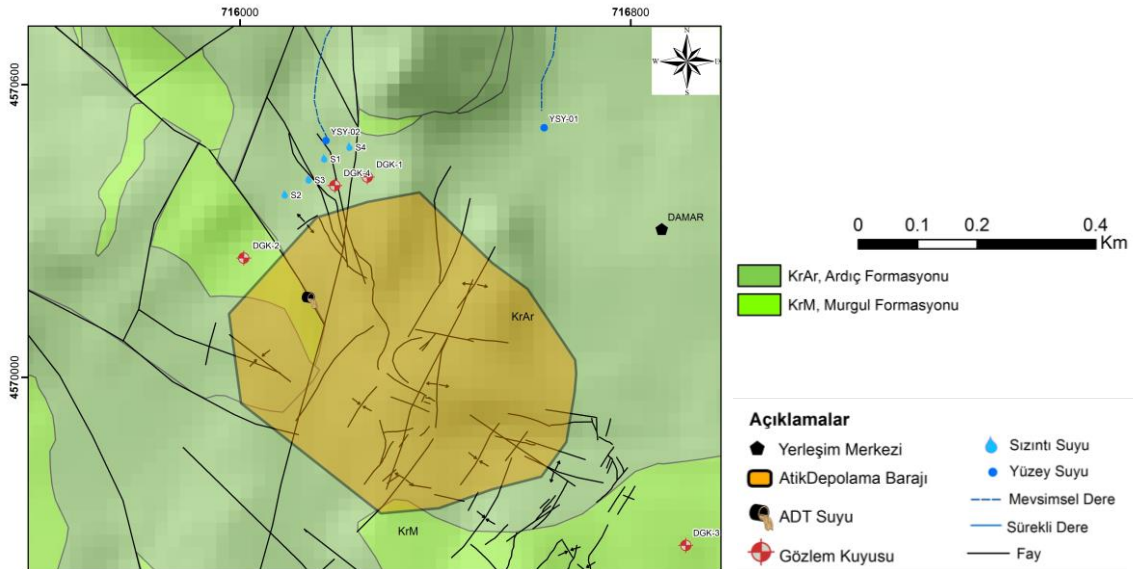
Çizelge 1. Gözlem kuyusu lokasyonları

Kuyu Adı	UTM Koordinat (m)		Topoğrafik Kot (m)	Kuyu Derinliği (m)	YASS
	X	Y			
DGK01	716343	4570500	1085,84	195	43,43
DGK02	716058	4570330	1067,17	178	14,96
DGK03	717001	4569720	1084,06	294	67,18
DGK04	716194	4570393,4	1064,6	200	73,18

Not: YASS, yüzeyden olan derinliktir.

## 4. GENEL JEOLojİ

Damar atık baraj alanı ve genelinde Kretase yaşlı Murgul Formasyonu ve Ardıç Formasyonu yüzeylenmektedir [18-21]. Önceki yıllarda Etibank, MTA ve güncel olarak Eti Bakır A.Ş. etüt birimi tarafından gerçekleştirilen jeolojik etüt çalışmalarını neticesinde sahanın jeolojik yapısı ortaya konmuş, atık baraj alanı ve çevresinin yer aldığı temel jeoloji belirlenmiştir. Atık baraj alanında, kil alterasyonu olmuş tuf ve dasitik tuf olarak nitelendirilen sağlam yapıda, makroskobik olarak gri-bej-yeşil renkli, çoğunlukla iri öz şekilli kuvars kristalleri içeren, silisifiye özellikte olan bu formasyon atık baraj alanı temelinde ve sahanın büyük çoğunluğunda gözlenmektedir. Sahanın daha üst kesimlerinde ise kil alterasyonu olmuş tuf ve dasitik tüflerin üzerini örten, örtü tüfleri ile kolonlu yapı gösteren, iri kuvars kristalli olarak karakterize olan dasitler yer alır (Şekil 6).



Şekil 6. İnceleme alanı ve genelinin jeoloji haritası



Proje alanında en üstte ise döküntü malzeme yer almaktadır. Depolama alanı ve çevresinde gözlenen döküntü malzemesi doğuda yaklaşık 4 metre kalınlığa sahip olup batıya doğru gidildikçe kalınlığı artmakta ve yaklaşık 40 metre'ye ulaşmaktadır.

#### **4.1. Murgul Formasyonu**

Er ve arkadaşları [19] tarafından adlandırılan Murgul Formasyonu; dasit, dasitik tüf-breş, diyabaz sili, bantlı, kumlu mor tüfler içerir. Dasitik tüf-breşler; Damar, Çakmakaya, Gölbaşı, Kızılkaya çevresinde yüzeylenir ve yöredeki cevherleşmenin ana kayacını oluştururlar. Bu birim, araştırma alanı dışında bantlı, kumlu mor tüf (örtü kayaçları) ve porfiri dasit (Karatepe Dasiti) tarafından uyumlu olarak üzerlenmesine karşın, sahanın diğer kesimlerinde andezit breş-aglomeralar (Ardıç Formasyonu) tarafından uyumsuz olarak örtülür. Cevherleşmenin ana kayacını oluşturan dasitik tüf-breşler üzerine uyumlu olarak gelen ve Murgul bakır yatağında cevherleşmenin örtü kayaçlarını oluşturan bantlı kumlu mor tüfler birkaç seviyeye ayrılmıştır. Birim gri-bej, açık yeşil, pembe renkli, bantlı yapıda yer yer damarcıklar ve mercek halinde jips içeren tüfler ile gri-kırmızı renkli çamurtaşı, kıltaşı, siltaşı ve mor renkli tüflerden oluşur. Birim, damar sahasının kuzey ve güney kesiminde, Çakmakaya, Bognari, Mutluca Mahallesi, Gökçeli mahallesi çevresinde dar bir alanda yüzeylenir. Bognari sahasında birimin tabana yakın kesimlerinde oldukça kalın bir jips merceği mevcuttur. Tüfler genelde bantlı yapı gösterip gevşek dokulu ve yoğun olarak ayrılmış haldedirler. Kayaç içinde düzensiz dağılmış öz şekilli kuvars taneleri ile kayaç parçaları da görülür. Damar sahası yakınındaki bantlı tüfler içinde, oldukça büyük boyutlara ulaşabilen (4 cm) ve kristalografik olarak farklı şekillerde gelişmiş öz şekilli pirit kristaller gözlenmektedir. Birim içinde izlenen çamurtaşlarından alınan numunelerde Senoniyen (Üst Kretase) yaşı veren Globotruncana lapparent, Globotruncana cf, Arce cushman, Globigerina sp. fosilleri Mado [22] tarafından tespit edilmiştir [23].

#### **4.2. Ardıç Formasyonu**

Er ve arkadaşları [23-26] tarafından Ardıç Formasyonu olarak adlandırılan birim 1) andezitik tüf, breş ve aglomera, 2) kumlu tüf, kumtaşı kıltaşı, 3) dasidik breş ve aglomera) 4) andezit dayk ve siller içerir. Andezitik tüf, breş ve aglomeralar Ardıç Formasyonu'nun tabanını oluşturur. Birim gri-yeşil ve yer yer mor renkli, oldukça sert ve kompakt yapıda, çoğunlukla tüf ve breş özelliğindedir. Birimin tabanında mor dasit ve granit çakıllarından oluşan konglomeratik bir seviye ve tavanında ise yersel olarak, yoğun miktarda küçük damar ve boşluk dolgusu şeklinde kalsit oluşumları ile değişik boyutlarda kırmızı çamurtaşı blok ve çakılları içermektedir. Ayrıca birimin orta kesimlerinde kırmızı çamurtaşı, kumtaşı ve tüflerden ibaret tortul bir seviye bulunur. Bognari sahasının kuzeybatısında ve Karatepe'nin doğusunda yüzlek veren bu seviyenin kalınlığı Er ve arkadaşları [24] tarafından 5-20 m olarak belirtilmiştir. Bu birim içindeki tortul seviyelerden alınan numunelerin paleontolojik incelemesi sonucu birime Senoniyen (Üst Kretase) yaşı verilmiştir [24].

### **5. HİDROJEOLÖJİK ÖZELLİKLER**

Araştırma alanında mostra veren jeolojik birimlerin akifer parametrelerini ve aynı zamanda atık barajı ile yeraltısuyu arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemek amacı ile baraj aks yerinin yaklaşık 30 m kuzeyinde 200 m derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır (DKG-4). Açılan sondaj kuyusunun yerinin belirlenmesi sürecinde araştırma alanı genelinde yer alan güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu fayların birbirini kestiği noktalar göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan sondaj çalışması sonucunda yaklaşık ilk 25 metre pasa alanına ait döküntü malzemesi kesilmiş ve 25-200 m arası ise Ardıçlı Formasyonu geçilmiştir. DKG-4 sondaj kuyusunda yapılan akifer (pompa) testi sonucunda hidrolik iletkenlik katsayısı ortalama  $5.01 \times 10^{-10}$  m/s ve iletimlik katsayısı ise ortalama  $1 \times 10^{-7}$  m<sup>2</sup>/s olarak hesaplanmıştır (Çizelge 2). Ardıçlı Formasyonu Bear ve arkadaşları [27] tarafından yapılan sınıflandırılmaya göre hidrojeolojik açıdan geçirimsiz olarak tanımlanmıştır.

**Çizelge 2.** Pompalama testi sonucunda elde edilen akifer parametreleri

Analiz türü	İletimlilik Katsayısı (T-m <sup>2</sup> /s)	Hidrolik İletkenlik Katsayısı (K-m/s)	Doygun Kalınlık (m)
Moench w/slab blocks	4,36x10 <sup>-8</sup>	2,18x10 <sup>-10</sup>	200
Moench w/spherical block	1,57x10 <sup>-7</sup>	7,83x10 <sup>-10</sup>	200
Ortalama	1,0x10 <sup>-7</sup>	5,01x10 <sup>-10</sup>	-

## 6. MEVCUT SU KAYNAKLARININ KALİTESİNİN DEĞERLENDİRMESİ

Murgul Damar atık baraj alanı ve genelinde mevcut yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarında su kalitesini ortaya koymak amacı ile arazide 2004-2017 yılları arasında yerinde ölçüm ve örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 3 ve 4’de verilmiştir.

### 6.1. pH

pH, bir çözeltide hidrojen iyon (pozitif olarak yüklü hidrojen atomu) derişimini gösteren bir terim olup aynı zamanda çözeltinin asiditesinin bir ölçüsü olarak tanımlanmaktadır. Doğal yeraltı sularının pH değeri 6,0-8,5 değişmekte olup, kirlenmemiş suların pH değeri ise genellikle 6,5-8,5 arasında yer almaktadır [28].

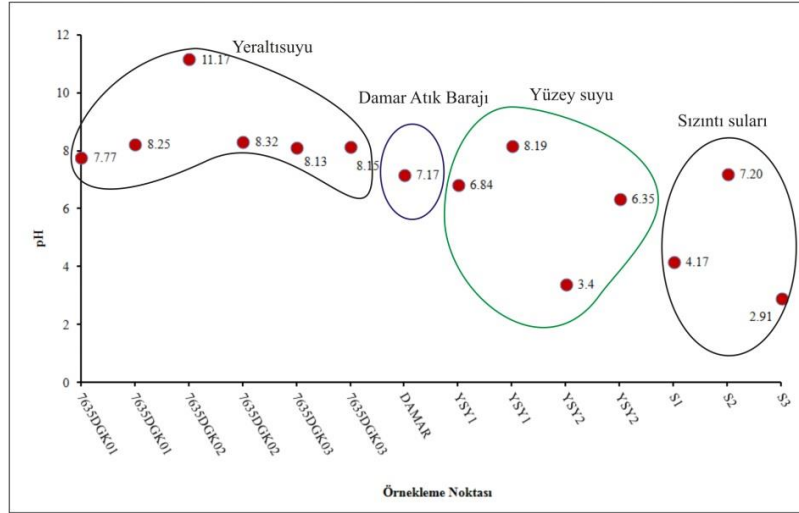
Araştırma alanında örnekleme yapılan su kaynaklarından yüzey sularında pH değeri 3,4 ile 7,17, kuyu sularında 7,17 ile 11,17 ve sızıntı kaynaklarında ise 2,91 ile 7,2 arasında değişim göstermektedir (Çizelge 3, Şekil 7). S1, S3 ve YSY2 örnekleme noktalarında sular genelde asidik bir özellik gösterirken diğer su örnekleri ise bazik karakterdedir.

**Çizelge 3.** Arazide yüzey suyu-yeraltı suyu kaynaklarına ait yerinde ölçülen fiziko-kimyasal parametreler

Örnekleme Yeri	Numune Kod	Ölçüm Tarihi	pH	Sıcaklık (T-°C)	EC (mikroS/cm)	TDS (mg/l)	Tuzluluk (%0)	Çözünmüş Oksijen (mg/l)	Oksijen Doymunluğu (%)	TH (CaCO <sub>3</sub> ) mg/l
Yeraltı suyu	7635DGK01	04.09.2016	7,77	14,7	589	286	0,29	2,14	23,9	43,01
	7635DGK01	27.10.2016	8,25	10,1	51,1	26	0,02	0,01	46,1	-
	7635DGK02	04.09.2016	11,17	11,8	1207	598	0,6	2,05	22,1	534,61
	7635DGK02	27.10.2016	8,32	10,1	833	415	0,41	4,12	51,5	-
	7635DGK03	04.09.2016	8,13	10,2	270	129,2	0,13	2,61	28,4	37,57
	7635DGK03	27.10.2016	8,15	10	60,3	34	0,03	3,11	39,2	-
Sızıntı Suyu	S1	16-18.01.2017	4,17	1	1885	1089	1,11	99,37	12,51	-
	S2	16-18.01.2017	7,2	4,6	2931	1502	1,5	93,4	10,8	-
	S3	16-18.01.2017	2,91	1,27	4397	2313	2,37	87,13	10,96	-
Yüzey suyu- Atık baraj alanı	DAMAR	04.09.2016	7,17	21,9	1835	922	0,93	1,56	19,9	1072,55
Yüzey suyu	YSY1	04.09.2016	6,84	16,6	528	256	0,25	8,27	95,9	167,24
	YSY1	27.10.2016	8,19	10,2	190	98	0,1	9,03	99,8	-
	YSY2	04.09.2016	3,4	17,2	3060	1570	1,6	7,37	87,6	1184,43
	YSY2	27.10.2016	6,35	10,6	1674	847	0,88	3,71	46,2	-

**Çizelge 4.** Yeraltı suyu ve yüzey sularına ait kimyasal parametreler

Örnekleme Yeri	Numune Kod	Tarih	Kasyon				Anyon				Su Sınıfı
			Na	K	Ca	Mg	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	
	7635DGK01	19.08.2014	7,38	8,61	20,2	0,73	0	45,4	8,69	25,4	Ca-SO <sub>4</sub>
Yeraltı suyu	7635DGK01	04.09.2016	5,7	0,848	14,9	1,41	0	28,5	1,58	29,5	Ca-Na-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
	7635DGK02	04.09.2016	9,01	4,82	214	0,06	13,9	0	1,06	421	Ca-Na-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	7635DGK03	04.09.2016	2,22	0,438	13,4	1	1,09	34,6	<1	11,5	Ca-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
Yüzey suyu- Atık baraj alanı	DAMAR	19.08.2014	34,9	25,5	342	39,3	0	45,8	7,14	897	Ca-SO <sub>4</sub>
	DAMAR	04.09.2016	37	37,2	359	42,8	0	11,2	9,68	1040	Ca-SO <sub>4</sub>
Yüzey suyu	YSY1	04.09.2016	15,1	4	53	8,48	0	54,1	21,1	134	Ca-SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub>
	YSY2	19.08.2014	9,18	2,77	186	86,9	0	45,6	4,33	810	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>
	YSY2	04.09.2016	15,9	2,8	328	88,8	0	0	26	1530	Ca-Mg-SO <sub>4</sub>

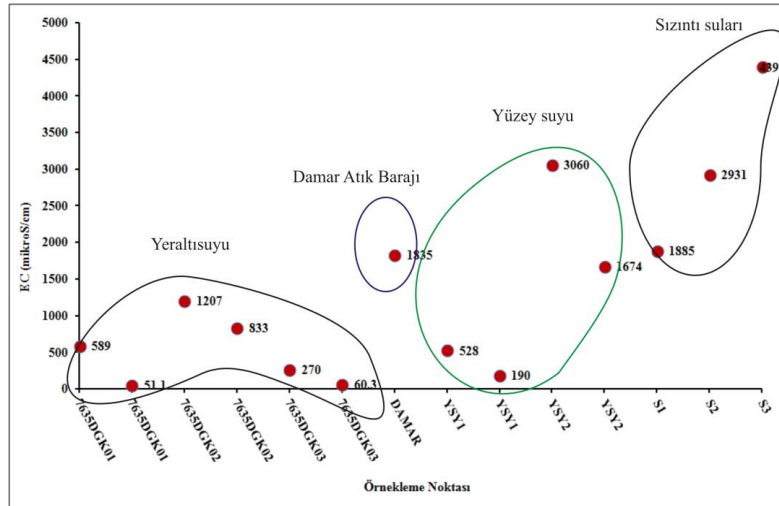


Şekil 7. Örnekleme lokasyonlarında pH değışim grafiği

## 6.2. Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik (EC), suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal olarak ifadesi olarak tanımlanmaktadır. Su analiz sonuçları verilirken mikrosiemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) veya micromhos/cm (mhos/cm) cinsinden 25 °C sıcaklıktaki değeri hesaplanarak belirtilir. Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişimine, hareketlilik özelliğine, değerliklerine, görelideğişimlerine ve sıcaklığa bağlı olarak değışim göstermektedir [28].

Araştırma alanında örnekleme yapılan su kaynaklarından yüzeY sularında EC değeri 528 ile 3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kuyu sularında 51,1 ile 1207  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ve sızıntı kaynakların da ise 1885 ile 4397  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değışim göstermektedir (Çizelge 3, Şekil 8). Wilcox [29] tarafından yapılan sınıflamaya göre sızıntı kaynakları orta (S1) ve şüpheli (S2 ve S3), kuyu suları iyi (DGK01 ve 03) ve orta (DGK02) ve yüzeY suyu kaynakları ise iyi (YSY1), orta (Damar barajı) ve şüpheli (YSY2) sınıfında yer almaktadır (Çizelge 5).



Şekil 8. Örnekleme lokasyonlarında EC değışim grafiği



**Çizelge 5.** Elektriksel İletkenlik (EC) değerine göre su sınıflandırması [29]

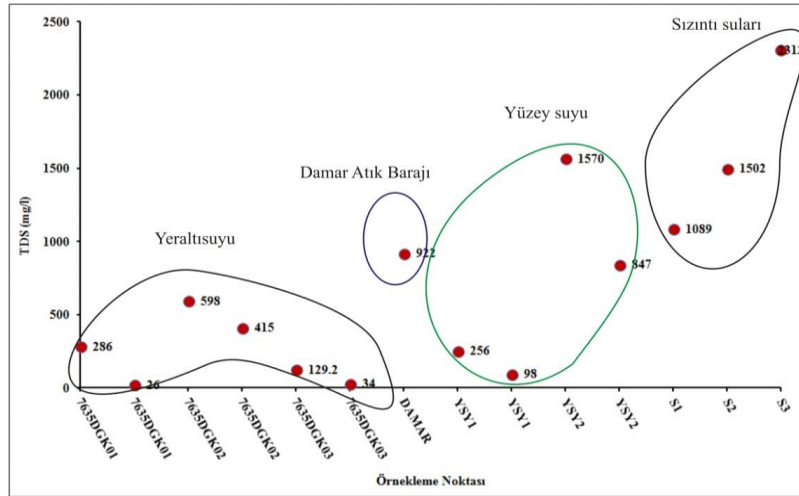
EC	Su Sınıfı	Sızıntı kaynakları	Sondaj kuyusu	Yüzeysel suyu
<250	Mükemmel	-	DGK01, 03	-
250-750	İyi	-	DGK01, 03	YSY1
750-2250	Orta	S1	DGK02	DAMAR
2250-5000	Şüpheli	S2, S3	-	YSY2
>5000	Uygun değil	-	-	-

### 6.3. Toplam Çözünmüş Madde

Toplam çözünmüş katı madde (TDS) miktarı, suların mineral ve iyon zenginliğini gösteren önemli bir parametre olup içme sularında TDS'nin yüksek olması suyun tadında olumsuz etkilere neden olabilmektedir. 1500 mg TDS/l derişimi "Tatlı Su" kaynakları için üst limittir. 5000 mg TDS/l derişimine sahip sular genel olarak "Acı Su" olarak tanımlanırken, daha fazla TDS içeren sular

"Tuzlu Su" olarak tanımlanır. Sularda yüksek oranda TDS'nin bulunması (>2000 mg TDS/l) borular içinde tabakalaşmaya da sebep olabilmektedir [30].

Araştırma alanı genelinde yüzeysel sularında TDS değeri 98 ile 1570, kuyu sularında 26 ile 598 ve sızıntı kaynaklarında ise 1089 ile 2313 mg/l arasında değişim göstermektedir (Çizelge 3, Şekil 9). Freeze ve Cherry [31] tarafından yapılan sınıflandırılmaya göre kuyu suları mükemmel ile iyi arasında değişim gösterirken, sızıntı kaynakları tarım için iyi ve yüzeysel suyu kaynakları ise YSY1 gözlem noktası mükemmel bir özellik gösterirken Damar barajı iyi ve YSY2 noktası ise tarım için iyi sınıfına girmektedir (Çizelge 6). Davis ve DeWiest [32] tarafından yapılan sınıflandırılmaya göre ise sızıntı kaynakları acı su, kuyu suları tatlı su ve yüzeysel sularında YSY1 ve Damar barajı tatlı su, YSY2 ise acı su sınıfına girmektedir (Çizelge 7).

**Şekil 9.** Örneklem lokasyonlarında TDS değişim grafiği**Çizelge 6.** Çözünmüş toplam katı madde miktarına (TDS) göre su sınıflandırılması [31]

TDS (mg/l)	Su Sınıfı	Sızıntı kaynakları	Sondaj kuyusu	Yüzeysel suyu
<500	Mükemmel	-	DGK01 ve 03	YSY1
500-1000	İyi	-	DGK02	DAMAR
<3000	Tarım için iyi	S1, S2 ve S3	-	YSY2
>3000	Uygun değil (içme ve tarım)	-	-	-

**Çizelge 7.** Çözünmüş toplam katı madde miktarına (TDS) göre su sınıflandırılması [32]

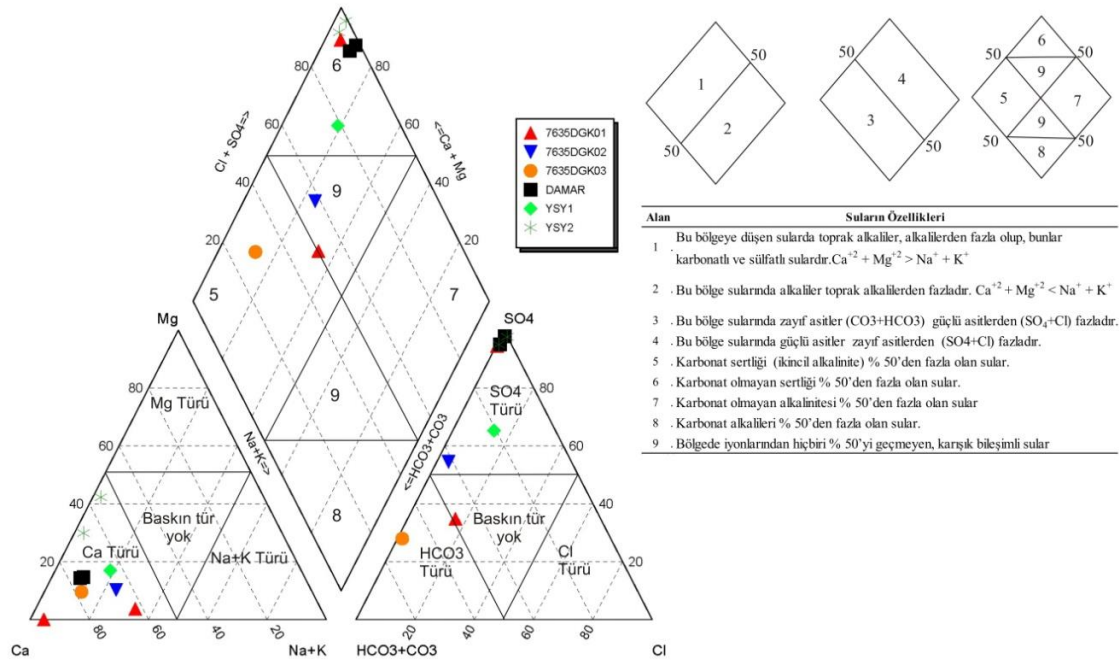
TDS (mg/l)	Su Sınıfı	Sızıntı kaynakları	Sondaj kuyusu	Yüzeysel suyu
<1000	Tatlı Su	-	DGK01, 02 ve 03	DAMAR, YSY1
1000-10000	Acı Su	S1, S2 ve S3	-	YSY2
10000-100000	Tuzlu Su	-	-	-
>100000	Çok Tuzlu Su	-	-	-

## 7. HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

### 7.1. Piper Diyagramı

Piper üçgen diyagram [29], iyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların

karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramdır. Piper diyagramı anyon ve kationların (%meq/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise



Şekil 10. Yeraltısu ve yüzey sularına ait Piper diyagramı

suların sınıflandırılması ve karşılaştırılması aşamasında kolaylık sağlamaktadır. Araştırma alanından alınan 9 adet su numunesinin (4 adet yeraltı suyu ve 5 adet yüzey suyu) kimyasal analiz sonuçları Piper diyagramına (Şekil 10) göre değerlendirilmiştir. Piper diyagramına göre araştırma alanı genelinde yer alan su kaynaklarına ait su örnekleri 1 nolu bölge içerisinde yer almakta olup bu sular alkali toprak elamanlarının ( $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ ) alkali elementlere ( $Na^{+}+K^{+}$ ) göre daha fazla olduğu sular sınıfına girmektedir. Kimyasal analiz değerlerinin üçgen diyagramlarda gösterdikleri değişimler; anyonlar için hazırlanan diyagramda, suların  $HCO_3+CO_3$  ve  $SO_4$  iyonlarının hâkim olduğu sular sınıfında; kationlar için

hazırlanan diyagramlarda ise suların Ca iyonunun baskın olduğu sular sınıfına girmektedir (Şekil 6). 7635DGK01 nolu sondaj kuyusundan 2014 yılında alınan yeraltısu, 2014-2016 yıllarında Damar atık baraj (DAMAR) alanından, 2016 yılında YSY1 ve 2 nolu yüzey suyu kaynaklarından alınan örneklerde benzer hidrojeokimyasal süreçler görülmektedir. Bu sular, güçlü asidik kökleri zayıf asidik köklerinden ( $Cl+SO_4 > CO_3+HCO_3$ ) büyük, karbonat sertliği %50'den fazla Ca-Mg- $HCO_3$ 'lı sulardır. Bu durum Damar atık depolama alanı ve genelinin jeolojik geometrisi ön plana çıkarmış olup dasitik tüf-breş alterasyonu ile ilişkilendirilmiştir. 7635DGK01 ve Damar alanından alınan yeraltı ve yüzey suyu baskın

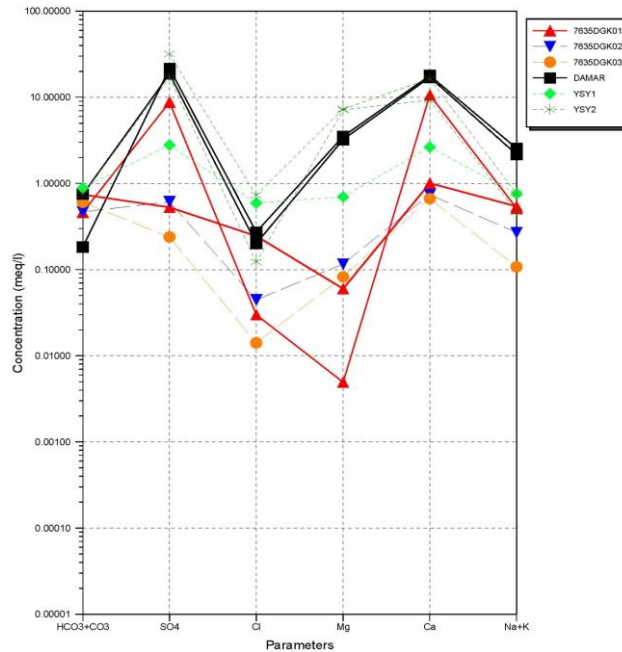
fasiyes  $\text{Ca-SO}_4$  olup YSY1 ve YSY2 yüzey sularında ise baskın fasiyes  $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$  ve  $\text{Ca-Mg-SO}_4$ 'dır. 7635DGK01 (2016) ve 7635DGK02 (2016) gözlem kuyusunda; katyonlar açısından baskın tür kalsiyum, anyonlar açısından baskın tür sülfat olarak karakterize olmuştur. Kimyasal özellikleri ve ana karakteri olarak bölgede iyonlarından hiçbiri %50'yi geçmeyen, karışık bileşimi sular olup  $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$  ve  $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$  fasiyesinde yer almaktadır. 7635DG K03 (2016) memba kısmında gerçekleştirilen örnekleme sonucunda ise; katyonlar açısından baskın tür kalsiyum, anyonlar açısından baskın tür bikarbonat olarak karakterize olmuştur. Ayrıca alınan su örneklerinde  $\text{HCO}_3+\text{CO}_3>\text{Cl}+\text{SO}_4$  olup, karbonat sertliği %50'den fazladır. 7635DGK03 gözlem kuyusundan alınan yeraltı suyu örnekleri  $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$  fasiyesinde yer almaktadır (Çizelge 4).

## 7.2. Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramı [30], kimyasal olarak ve kullanım amaçlarına göre sınıflandırma yaparak köken benzerliklerinin yorumlanması aşamasında kullanılmaktadır. Her bir iyonun meq/l değerleri

logaritmik düşey eksenlere işaretlenerek birleştirilir. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, genelde aynı tür formasyondan gelen suları göstermektedir.

Schoeller [30] diyagramı araştırma alanında yer alan yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarına ait major ve minor bileşenlerinin kombinasyonunu göstermektedir. Bu diyagrama göre (Şekil 11) araştırma alanı genelinde 2 farklı tip su-kayaç temasına ait litolojik farklılık ortaya çıkmaktadır. 7635DGK01 (2014 ve 2016), Damar (2014 ve 2016), YSY02 (2016) ve 7635DGK03 (2016) örneklemeleri Schoeller Diyagramına göre aynı türdeki kayalar ile temas eden sulardır. Şekil 11'de de görüldüğü gibi bu örneklerde  $\text{SO}_4$  ve  $\text{Ca}$  iyonları baskın olup  $\text{Ca}>\text{Na}+\text{K}>\text{Mg}$  ve  $\text{SO}_4>\text{HCO}_3+\text{CO}_3>\text{Cl}$  şeklinde katyon-anyon trendi sergilenmiştir. 7635DGK02 (2016) gözlem kuyusu ve YSY01 (2016) yüzey suyunun farklı bir kimyasal kompozisyona ve farklı akifer özelliklerine sahip olduğu belirgin bir şekilde öne çıkmıştır. Bu su örneklerinde ise  $\text{Ca}>\text{Na}+\text{K}>\text{Mg}$  ve  $\text{HCO}_3>\text{CO}_3>\text{SO}_4>\text{Cl}$  şeklinde katyon-anyon değişim süreci gözlenmiştir.



Şekil 11. Yeraltı suyu ve yüzey sularına ait Schoeller Diyagramı

## 8. URANİN BOYASININ SU KAYNAKLARINDA GÖZLENME SÜRECİ VE İZLEME SONUÇLARI

Baraj alanına boya deşarj edilmesi ile birlikte farklı günlerde baraj aks yerinin kuzey batısında ve baraj aks yerinden kuş uçuşu yaklaşık 60-65 m mesafede kuzeydoğu-güney batı yönünde bir hat boyunca farklı konumlarda 4 adet sızıntı şeklinde kaynak çıkışlarında, DKG4 gözlem kuyusunda ve atık baraj suyunda gözlem örnekleme yapılmaya başlanmıştır (Çizelge 8). Ek olarak, enjeksiyon yapılmadan hemen önce "Ref" kodu ile barajdan, uranın arka plan değerini belirlemek amacıyla referans örnekleme yapılmıştır. Örnekleme çalışmalarında 1 litrelik, kahverengi cam şişeler kullanılmıştır. Alınan örneklerden sadece uranın konsantrasyonu belirlenebilmesi için iki farklı deteksiyon limiti dikkate alınacak şekilde Almanya'da bulunan ProChem GmbH laboratuvarlarına gönderilmiştir.

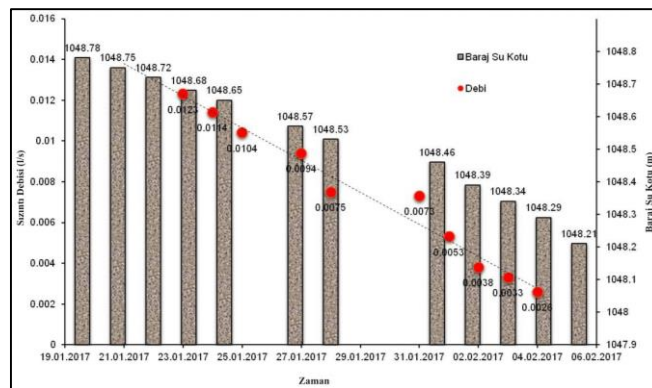
Çizelge 8. Boya izlemesi yapılan lokasyonlara ait özellikler

İzleme Noktası	Açıklama	Topoğrafik Kot (m)	Uranin Analizi (µg/l)
DKG04	Açılan Gözlem Kuyusu	1064,6	<0,01
S1	Sızıntı Noktası	1039	0,13
S2	Sızıntı Noktası	1050	<0,01
S3	Sızıntı Noktası	1046	<0,01
B1	Boya Deneyi Sonrası Damar Baraj Alanından Alınan Örnek	1051,51	0,48
Ref	Boya Deneyi Öncesi Damar Baraj Alanından Alınan Örnek	1051,51	<0,01

Uranin deteksiyonu 0,1 mikrogram/l olan analiz sonucunda sadece baraj alanında uranın tespit edilmiş, sızıntı noktalarında boya konsantrasyonu belirlenememiştir. İkinci seri analizlerde ise uranın deteksiyon limiti 0,01 mikrogram/l olarak belirlenmiş ve enjeksiyon öncesi referans örneği (Ref), S1, S2, S3, sızıntı kaynaklarına ait örnekler, enjeksiyon sonrası baraj rezervuar örneği (B1) ve gözlem kuyusu örneği (DGK04) analiz edilmiştir. Bu sonuçlara göre gözle görülebilir boya izlenen S2 ve S3 noktalarında uranın sonucu deteksiyon limitinin altında kalmasına rağmen S1 sızıntı noktasında 0,13 ve B1 noktasında 0,48 mikrogram/l uranın konsantrasyonuna rastlanmıştır. Bu durum baraj alanının sızdırdığını göstermiştir.

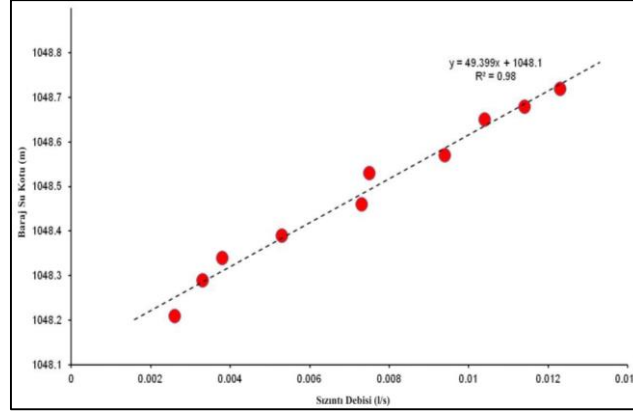
### 8.1. Atık Depolama Barajı (DAMAR) Su Kotu ile S2 Sızıntı Debisi İlişkisi

Baraj alanındaki su kotu ile sızıntı debileri arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemek amacı ile S2 nolu sızıntı kaynağında boşalan sızıntı miktarı baz alınmıştır. Bu amaçla S2 nolu kaynağa kaynak suyunu drene edecek şekilde bir boru sistemi yerleştirilerek borunun çıkış ağzında sızıntı miktarı ölçülmüş ve aynı zamanda barajdaki su seviyesi zamanla düşürülmeye başlanmıştır. 21.01.2017 ile 04.02.2017 tarihleri arasında yapılan gözlem ve ölçme sonucunda kaynaklardaki sızıntı debisi ile barajdaki seviye değişimi arasında doğrusal ilişkinin olduğu ve bu ilişkiye göre barajdaki su kotu düştükçe S2 noktasındaki debi miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 12).



Şekil 12. Atık barajı su kotu-sızıntı kaynağı debi ilişkisinin zamanla değişim grafiği

ADB su kotu ile S2 sızıntı debisi grafiğinden; ADB su kotu (y) ile sızıntı debisi (x) arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir ( $y = 49,4x + 1048,1$ ,  $R^2 = 0,98$ ) (Şekil 13).

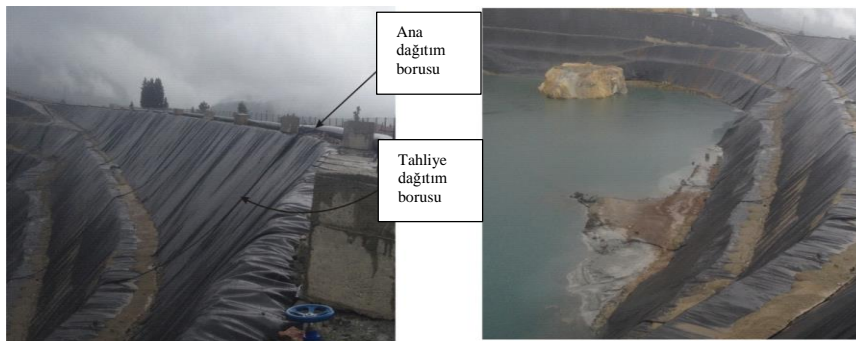


Şekil 13. Atık barajı su kotu-sızıntı kaynağı debi ilişkisi

## 8.2. Atık Baraj Alanında İyileştirme Çalışmaları

Atık baraj alanından kaynaklanan sızma olayının önlenmesi için hidrolik iletkenliği çok düşük bir malzemenin atık baraj alanında mansaptan membaya doğru çökeltimi işlemi olarak da bilinen "atık boşaltım yöntemi" uygulanmıştır. İnceleme alanında kullanılan bu yöntemde baraj aks yeri üzerine yerleştirilmiş bir adet ana dağıtım borusu ( $R = 630 \times 630$  mm) ve bu boru içerisinde yer alan hidrolik iletkenlik değeri çok düşük ( $K < 10^{-6}$  cm/s) malzemeyi atık baraj tabanına deşarj etmede kullanılan 11 adet dağıtım ( $R = 150 \times 150$  mm) ve

1 adet tahliye borusu ( $R = 315 \times 315$  mm) kullanılmıştır. Bu yöntemde deşarj işlemi atık barajı aks yerinden yani sedde tarafından başlanarak kademeli bir şekilde mansaptan membaya doğru gerçekleştirilmiştir. Bu işlemin amacı, gövde önünde yani mansap bölümünde geçirimsiz bir yüzey oluşturularak baraj aks yerinin çıkışında yer alan sızıntı şeklinde kaynaklarının kurumasıdır. Bu çalışmada Damar atık depolama barajına 11 adet dağıtım borusundan toplam  $1.400 \text{ m}^3/\text{saat}$  malzeme deşarj edilmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. Atık baraj alanına kil mazemesinin deşarj edilmesi

## 9. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

İnceleme alanında yer alan atık depolama barajı (Damar-Murgul), bölge genelinde yer alan bakır,

bakırlı pirit ve bunlara özgü diğer cevherlerin çıkartılarak bu cevherlerin yerinde kurulan tesiste zenginleştirme işlemleri sonucunda ortaya çıkan atıkların sulu ortamda depolanması aşamasında

kullanılmaktadır. Araziye yapılan ölçümlerde pH değeri yüzey sularında 3,4 ile 7,17, kuyu sularında 7,17 ile 11,17 ve sızıntı kaynaklarında ise 2,91 ile 7,2 arasında değişim göstermektedir. Elektriksel iletkenlik (EC) değeri yeraltı suyu kaynaklarında 589 ile 4397  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , yüzey suyu kaynaklarında ise 528 ile 3060  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , TDS değeri ise yüzey sularında değeri 98 ile 1570, yeraltı suyu kaynaklarında ise 26 ile 2313 mg/l arasında değişmektedir. Atık baraj alanında baskın fasiyes  $\text{Ca-SO}_4$  olup YSY1 ve YSY2 yüzey sularında ise  $\text{Ca-SO}_4\text{-HCO}_3$  ve  $\text{Ca-Mg-SO}_4$ 'dır. Yeraltı suyu kuyularından 7635DGK01 nolu kuyu suyunda baskın fasiyes  $\text{Ca-SO}_4$  ile  $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$  arasında değişim gösterirken 7635DGK02 ve 03 nolu kuyularda ise  $\text{Ca-Na-HCO}_3\text{-SO}_4$  ve  $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$  baskın fasiyes olarak gözlenmiştir. Araştırma alanında yer alan atık depolama barajı (Damar) ile baraj aks yerinin kuzey batısında farklı lokasyonlarda sızıntı şeklinde boşalım gösteren kaynaklar arasındaki hidrodinamik ilişkiyi belirlemek amacı yapılan boya deneyi sonucunda S1 sızıntı noktasında 0,13 mikrogram/l uranın konsantrasyonuna rastlanmıştır.

Araziye yerinde yapılan gözlem ve ölçme sonucunda kaynaklardaki sızıntı debisi ile barajdaki seviye değişimi arasında doğrusal ilişkinin olduğu ve bu ilişkiye göre barajdaki su kotu düşükçe S2 noktasındaki debi miktarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Barajdan kaynaklanan sızmanın önlenmesi amacı ile baraj aks yeri üzerine yerleştirilmiş bir adet ana dağıtım borusu ( $R= 630 \times 630 \text{ mm}$ ) ve bu boru içerisinde yer alan hidrolik iletkenlik değeri çok düşük ( $K<10^{-6} \text{ cm/s}$ ) malzemeyi atık baraj tabanına 11 adet dağıtım ( $R= 150 \times 150 \text{ mm}$ ) borusu kullanılarak deşarj edilmiştir. Uygulama ile birlikte atıkların barajın sızma yaptığı düşünülen mansap tarafına deşarjına başlanmış ve en alt kotta (1039 m) gözlenen S1 kaynağının bu uygulama sonucunda tamamen kurduğu tespit edilmiş olup diğer noktalarda ise sızıntı miktarının zamanla azaldığı gözlenmiştir.

## 10. KATKI BELİRTME

Bu çalışma sırasında arazi ve laboratuvar çalışmaları sırasında maddi ve manevi yardımlarını

esirgemeyen ETİ Bakır A.Ş. ve MİTTO Danışmanlık şirketine teşekkür ederim.

## 11. KAYNAKLAR

1. Draves, J.F., Fox, M.G., 1998. Effects of a Mine Tailings Spill on Feeding and Metal Concentrations in Yellow Perch (*Perca flavescens*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17 (8), 1626-1632.
2. Lewin, J., Macklin, M.G., 1987. Metal Mining and Floodplain Sedimentation in Britain. In: Gardiner, V. (Ed.), *International Geomorphology 1986, Part 1*. Wiley, Chichester.
3. James, L.A., 1989. Sustained Storage and Transport of Hydraulic Gold Mining Sediment in the Bear River, California. *Annals of the American Association of Geographers*, 79, 570-592.
4. James, L.A., 1991. Incision and Morphological Evolution of an Alluvial Channel Recovering from Hydraulic Mining Sediment. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 723-736.
5. Macklin, M.G., Lewin, J., 1989. Sediment Transfer and Transformation of an Alluvial Valley Floor: the River South Tyne, Northumbria, UK. *Earth Surf. Proc. Landforms*, 14, 232-246.
6. Knighton, A.D., 1991. Channel Bed Adjustment Along Mineaffected Rivers of Northeast Tasmania. *Geomorphology*, 4, 205-219.
7. Macklin, M.G., Payne, I., Preston, D., Sedgwick, C., 1996. Review of the Porco Mine Tailings Dam Burst and Associated Mining Waste Problems, Pilcomayo basin, Bolivia. Report to the UK Overseas Development Agency.
8. Miller, J.R., Lechler, P.J., Desilets, M., 1998. The Role of Geomorphic Processes in the Transport and Fate of Mercury Within the Carson River Basin, west-central Nevada. *Environmental Geology*, 33, 249-262.
9. World Summit on Sustainable Development (WSSD), 2002. World Summit on Sustainable Development, Implementation Report. Johannesburg, South Africa.



10. Dişli, E., 2007, Eymir-Mogan Gölleri Arasında Yeraltısuyu Akım ve Taşınım Modeli. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (yayınlanmamış).
11. Griffiths D.H, Barker R.D. 1993. Two-dimensional Resistivity Imaging and Modelling in Areas of Complex Geology. *Journal of Applied Geophysics*, 29(3-4), 211-226.
12. Karapınar, N., 2011. Maden Atık Alanlarının Kapatılması-Örtü Kaplamalar. *Madencilik*, 50(1), 3-21.
13. Dişli, E., 2007. Murgul İşletmesi Atık Depolama Tesisi Hidrojeolojik Durum Akademik Değerlendirme Raporu, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, 91.
14. Devlet Su İşleri., 1997. Afyon Gecek Akdeğirmen Barajının Geoteknik Planlama Raporu". Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü, Isparta, Türkiye.
15. Flury, M., Wai, N.N., 2003. Dyes as Tracers for Vadose Zone Hydrology. *Reviews of Geophysics*, 41(1), 1002.
16. Moench, A.F., 1984. Double-porosity Models for a Fissured Groundwater Reservoir with Fracture Skin. *Water Resources Research*, 20(7), 831-846.
17. Moench, A.F., 1988. The Response of Partially Penetrating Wells to Pumpage from Double-porosity Aquifers. *Proceedings of the International Conference on Fluid Flow in Fractured Rocks*, Atlanta, GA.
18. Er, M., Yılmaz, Z., Dursun, A., Özdoğan, K., Yılmaz, H., Erçin, A.İ., 1991a. Murgul Maden Arama ve Geliştirme Projesi, Genel Jeokimya Raporu, MTA Rapor No: 9323.
19. Er, M., Dursun, A., Yılmaz, H., Erçin, A.İ., Yaprak, S., 1991b. Murgul Maden Arama ve Geliştirme Projesi Detay Jeokimya Raporu. MTA Rapor No: 9323. Ankara.
20. Dursun, A., Yılmaz, H., 1991a. Çarkbaşı (Murgul-Artvin) Bakır Cevherleşmesi Maden Jeolojisi Raporu, MTA Rapor No: 9326.
21. Dursun, A., Yılmaz, H., 1991b. Çakmakkaya (Murgul-Artvin) Cevher Sahasının Maden Jeolojisi Raporu, MTA Rapor No: 9326.
22. Mado, H., 1972. Kuzeydoğu Türkiye'de Bulunan Murgul Madenindeki Bakır Cevheri Yataklarının Jeoloji ve Mineralizasyonu, MTA Rapor No: 4883, Ankara.
23. Er, M., Yılmaz, Z., Erçin, A.İ., 1991c. Damar (Murgul-Artvin) Bakır Cevherleşmesi Maden Jeolojisi Raporu. MTA Rapor No: 9326, Ankara.
24. Er, M., Yılmaz, Z., Dursun, A., Yılmaz, H., Elçin, A.İ., 1991d. Yolaçan (Murgul-Artvin) Bakır Cevherleşmesi Maden Jeolojisi Raporu. MTA Rapor No: 9326. Ankara.
25. Er, M., Yılmaz, Z., Dursun, A., Özdoğan, K., Yılmaz, H., Erçin, A.İ., 1992a. Murgul Maden Arama ve Geliştirme Projesi Kılısitepe-Kızılkaya Arası 1/5000 Ölçekli Detay Jeoloji Etüdü Raporu. MTA Rapor No: 9326. Ankara.
26. Er, M., Dursun, A., Yılmaz, H., Erçin, A.İ., 1992b. Murgul Maden Arama ve Geliştirme Projesi Kızılkaya-Kokoletdere Arası 1/5000 Ölçekli Detay Jeoloji Raporu. MTA Rapor No: 9326. Ankara.
27. Bear, J.D., Zaslavsky, S., Irmay., 1968. *Physical Principles of Percolation and Seepage*. Paris: UNESCO.
28. Hem, J.D., 1985. *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*. U.S. Geological Survey Water-supply Paper 2254, U.S. Geological Survey, Alexandria, VA 22304, USA.
29. Wilcox, L.V., 1955. *Classification and use of Irrigation Water*. Washington: USDA, Circular.
30. Erguvanlı, İ., Yüzer, E., 1973. *Yeraltı Suları Jeolojisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları. 967, 293-324.
31. Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*, New Jersey, Prentice-Hall.
32. Davis, S.N., De Wiest, R.J., 1966. *Hydrogeology*. Wiley, New York.
33. Piper, A.M., 1944. *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water Analyses*. *Transactions-American Geophysical Union*, 25, 914-928.
34. Schoeller, H., 1955. *Gechemie des Eaux Souterranes*. Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris.

