



TAVŞANLI (KÜTAHYA) OVASI YÜZEY SULARININ HİDROJEOKİMYASI VE SU KALİTE İNDEKS (WQI) YÖNTEMİ İLE SU KALİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Şehnaz ŞENER^{1*}, Erhan ŞENER²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler

*Hidrojeokimya,
Su Kalitesi,
YüzeY Suyu,
Tavşanlı.*

Öz

Bu çalışmada, Tavşanlı Ovası genelinde yer alan yüzeY sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirlemek amacıyla Ekim (2018) döneminde 13 farklı lokasyondan su örnekleri alınmış ve fizikokimyasal parametreler (pH, °C, EC ve TDS) yerinde ölçülmüştür. YüzeY sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin tanımlanmasında, öncelikle suların iyon içerikleri ile fizikokimyasal özellikleri incelenmiştir. Bunların yanı sıra suların kökenlerinin belirlenmesi amacı ile Schoeller ve Piper (1944) diyagramları kullanılarak değerlendirilmeler yapılmıştır. Çalışma alanında yer alan suların içme suyu olarak kullanım özelliklerinin ve kalitesinin değerlendirilmesinde ise ulusal ve uluslararası standartların yanı sıra Su Kalite İndeksi (WQI) yönteminden yararlanılmıştır. Çalışma alanındaki yüzeY suları iyon bollukları ile ilişkili olarak Ca-CO₃ ve Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde yer almaktadır. Su örneklerinin analiz sonuçları TSE-266 ve WHO (2008) ile belirlenmiş sınır değerler ile kıyaslandığında Sekiören Göletinden alınan örnek hariç diğer tüm su örneklerinin yüksek arsenik konsantrasyonuna (0,0082 - 0,7391 mg/l) sahip olduğu ve bu sebeple içme suyu olarak kullanıma uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre bölgede yüzeYsularının içme suyu olarak kullanılmasının önlenmesi ve alternatif içme suyu kaynaklarının araştırılması gerekmektedir.

HYDROGEOCHEMISTRY OF TAVŞANLI (KÜTAHYA) PLAIN SURFACE WATERS AND EVALUATION OF WATER QUALITY BY WATER QUALITY INDEX (WQI) METHOD

Keywords

*Hydrogeochemistry,
Water Quality,
Surface Water,
Tavşanlı.*

Abstract

In this study, water samples were taken from 13 different locations and physicochemical parameters (pH, °C, EC and TDS) were measured in situ in October (2018) to determine the hydrogeochemical properties and water quality of the surface waters in the Tavşanlı Plain. In describing the hydrogeochemical properties of surface waters, first of all, the ion contents and physicochemical properties of the waters were examined. Also, evaluations were made using Schoeller and Piper (1944) diagrams in order to determine the origins of the waters. In addition to national and international standards, the Water Quality Index (WQI) method was used to evaluate the usage characteristics and quality of the waters in the study area as drinking water. The surface waters in the study area are located in water facies with Ca-CO₃ and Ca-Mg-HCO₃ in relation to their ion abundances. When the analysis results of the water samples were compared with the limit values determined by TSE-266 and WHO (2008), it was concluded that all water samples, except the sample taken from Sekiören Pond, had high arsenic concentration (0,0082 - 0,7391 mg/l) and therefore were not suitable for use as drinking water. According to these results, it is necessary to prevent the use of surface water as drinking water in the region and to investigate alternative drinking water sources.

Alıntı / Cite

Şener, Ş., Şener, E., (2022). Tavşanlı (Kütahya) Ovası YüzeY Sularının Hidrojeokimyası ve Su Kalite İndeksi (WQI) Yöntemi ile Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(2), 380-391.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
Ş. Şener, 0000-0003-3191-2291	Başvuru Tarihi / Submission Date	31.10.2021
E. Şener, 0000-0001-6263-8366	Revizyon Tarihi / Revision Date	11.12.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date	12.12.2021
	Yayın Tarihi / Published Date	30.06.2022

1. Giriş (Introduction)

Ülkelerin sürdürülebilir kalkınmasını zorlaştıran en önemli engellerden birisi olan çevre kirliliği tüm dünyada doğal kaynakların kalite açısından kirlenmesine ve yok olmasına sebep olmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de su; son derece değerli, ekonomik ve stratejik bir doğal kaynaktır (Gümrükçüoğlu ve Baştürk, 2007). Küresel iklim değişikliğinin de etkileriyle daha da önem kazanan su kaynaklarının korunması öncelikle çevresel kirliliğin önlenmesi ile mümkündür. Az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde evsel atık suların %95'i ve endüstriyel atık suların %70'i arıtmadan alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. Ayrıca, madencilik faaliyetlerinin bulunduğu bölgelerde arıtmadan yüzey ve yeraltı sularına karışan proses suyu ciddi ve telafisi mümkün olmayan su kirliliğine sebep olmaktadır (Boateng vd., 2016).

Yüzey suları kullanıma kazandırılmaları bakımından tercih edilirken, yeraltı sularına göre kirletici faktörlerden daha kolay etkilenmektedir. Bu nedenle de yüzey suyu kalitesi birçok ülkede çok hassas ve kritik bir konudur. Doğal süreçlerin yanı sıra antropojenik etkiler yüzey sularının kalitesini olumsuz etkileyerek içme, sanayi, tarım, rekreasyon ve diğer amaçlar için kullanımlarını sınırlamaktadır (Carpenter vd., 1998; Jarvie vd., 1998; Simeonov vd., 2003; Sánchez vd., 2007; Kazi vd., 2009). Yeraltı suyu kimyası ve kalite özellikleri ise gözeneklerinde yer aldığı jeolojik birimlerle su-kayaç etkileşimine, ortamın geçirimsizliğine, kalış süresine bağlı olarak değişim göstermektedir (Subramani vd., 2009). Bu şekilde ortaya çıkan jeojenik etkiler ve evsel, tarımsal ve endüstriyel atıkların sebep olduğu antropojenik etkiler hem yeraltı suları hem de yüzey suyu kaynakları için risk faktörleridir. Suyun hidrojeokimyasal özellikleri de suyun evsel, sulama ve endüstriyel amaçlarla kullanımını belirleyen önemli bir faktördür. Bu nedenle, özellikle tatlı su kaynaklarının korunması ve sürdürülebilir su yönetiminin gerçekleştirilebilmesi için bir su kimyası ve kalitesi izleme programı yürütülmelidir (Pesce ve Wunderlin 2000).

Çalışma alanı olan Tavşanlı Ovası (Kütahya) tarım ve hayvancılığın yoğun olduğu bölgelerden birisidir. Ayrıca, bölgede madencilik faaliyetleri oldukça yaygındır. Ülkemizin en zengin linyit yatakları bu bölgede yer almaktadır. Bununla birlikte, özel kömür ve maneyzit ocakları işletilmekte ve ekonomik olarak bölgeye katkı sağlanmaktadır. Bu çalışmada, bölgedeki söz konusu çevresel kirleticilerin yüzey suları üzerindeki etkilerini belirlemek ve suların hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemeler yapılmıştır. Yüzey suyu kaynaklarının kalitesini ortaya koyabilmek için ise ilgili yönetmelikler ile birlikte Su Kalite İndeks (WQI) yönteminden faydalanılmıştır.

2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

Çalışma alanı olarak seçilen Tavşanlı (Kütahya) ilçesi ve çevresi maden potansiyeli bakımından zengin olması sebebiyle özellikle jeolojik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. İlk olarak 1960'lı yıllarda Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından ayrıntılı incelemeler yapılarak raporlanmıştır. Bunlardan en önemlileri Tavşanlı'nın batı ve kuzeyindeki linyit içeren Neojen sahaları litolojik olarak incelemiş olan Nebert (1960) ile bölgede mostra veren taban metamorfik serilerden güncel sedimanlara kadar tüm litolojik birimleri ayrıntılı incelemiş olan Kalafatçioğlu (1962) ve Akkuş (1962)'dir. Bölgede bulunan barit cevheri Akyol (1975) tarafından incelenmiştir.

Bölgede yapılan ilk hidrojeolojik çalışma DSİ (1978) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Tavşanlı ovasının hidrojeolojik özellikleri ve yeraltı suyu potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Bölgede bulunan sıcak su kaynakları ise Güneş (2006) tarafından yapılan tez çalışması ile incelenmiştir. Bu çalışmada, Ilıca (31,2°C-77°C) ve Muratdağı (20,3°C-43°C) bölgelerinde önemli sıcaklıklarda termal sular ve bu suların hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiştir. Karakuş (2016) tarafından yapılan tez çalışmasında ise yine Tavşanlı bölgesinin hidrojeolojik özellikleri ve yeraltı suyu kimyası incelenmiştir.

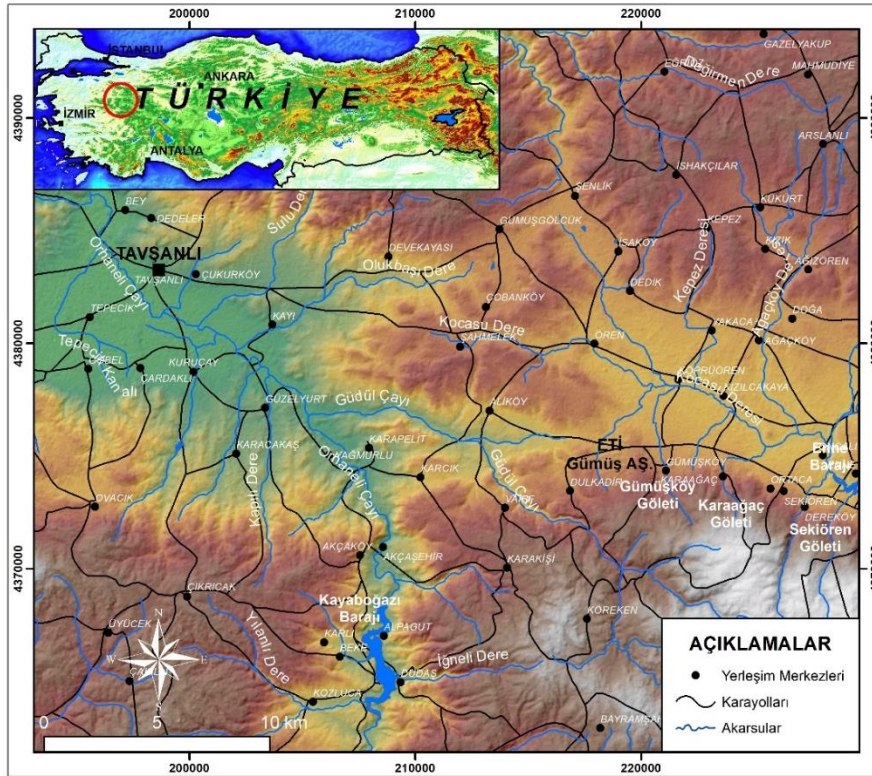
Yapılan literatür araştırmalarına göre Tavşanlı bölgesindeki yüzey sularının kimyasal özellikleri ve özellikle içmesuyu olarak kullanılan baraj gölünün su kalitesini ortaya koyan güncel bir çalışma bulunmamaktadır. Ayrıca, çalışmada su kalitesi ile ilgili yönetmeliklere ait standartlar ile birlikte indeks yöntemler uygulanarak farklı bir değerlendirmeye ait bulgular da sunulmaktadır.

3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

3.1. Çalışma Alanı (The study area)

Çalışma alanı olarak seçilen Tavşanlı ovasında Tavşanlı ilçesi ve çok sayıda köy yerleşimi bulunmaktadır. Tavşanlı ilçesi ülkemizin İç Ege bölgesinde bulunan Kütahya iline bağlıdır (Şekil 1). Tavşanlı ovasında akış gösteren en önemli yüzeysuyu Orhaneli Çayı'dır. Çay suları Kızıldağ'dan doğarak kuzey yönlü akışını sürdürürken gerek sürekli gerekse mevsimlik akış gösteren birçok yan kolları da yatağına katar. Tavşanlı ovasından geçerken kuzeybatı yönünde akış süren Orhaneli çayı sonrasında Emet çayına karışarak Ulubat Gölü'ne dökülmektedir. Yaklaşık 200 km. akış yoluna sahip olan Orhaneli çayı yöre halkı tarafından sulama suyu ve içme suyu olarak kullanılmaktadır. Bölgedeki asıl içmesuyu kaynağı ise Kayaboğazi baraj gölüdür. Şeki 1'de görüldüğü gibi bu baraj gölü İğneli dere, Yılanlı dere ve Orhaneli çayı ile beslenmekte ve bu şekilde birçok yüzey suyunun kimyasal özelliklerinden etkilenmektedir. Ovanın doğusunda akış süren Güdül Çayı ise bölgedeki az debiye sahip kaynakların beslemesi ile akış sürdüren ve nihayetinde Orhaneli Çayı'na karışan bir deredir (DSİ, 1978).

Tavşanlı ilçesinde ülkemizin İç Ege bölgesinde bulunması sebebiyle karasal iklim ile ılıman iklim özelliklerini birarada göstermektedir. Genelde, kurak ve sıcak yaz ayları, soğuk ve yağışlı kış ayları yaşanmaktadır ve yağışlar boldur. Kütahya iline 51 km uzaklıktaki Tavşanlı ilçesine ulaşım Kütahya-Tavşanlı karayolundan dört mevsim sağlanmaktadır. Tavşanlı ilçesinin ve çevre köylerin başlıca geçim kaynağı maden ocakları, tarım ve hayvancılıktır. 1941 yılında üretime başlayan Garp Linyitleri İşletmesi ve 1956 yılında hizmete açılan termik santral yöre insanının çalıştığı büyük ölçekli işletmelerdir.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası (Location map of the study area)

3.2. Çalışma Yöntemleri (Methods)

Çalışma alanındaki suların hidrojeokimyasal özelliklerini şekillendiren jeolojik yapıyı ortaya koyabilmek için bölgenin jeoloji haritası hazırlanmıştır. Ayrıca, litolojik birimler hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak sınıflandırılmıştır. Bölgedeki yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve su kalitesini belirlemek için Ekim (2018) döneminde 13 adet su örneği alınmıştır. Su örnekleri Kocasu deresi, Sekiören Göleti, Karaağaç Göleti, Gümüşköy Göleti, Güdül Çayı, Kayaboğazi Baraj Gölü, Orhaneli çayı ve Tepecik kanalından alınmış olup örnek lokasyonları Şekil 1'de verilmiştir. Su örneklerinin numune alma ve korunmasında ASTM (2000, 2017, 2019a, 2019b) ve TS-(1997a, 1997b) standartları dikkate alınmıştır. Anyon ve katyon analizleri için her numune lokasyonundan iki farklı su numunesi alınmıştır. Numunelerden birisi katyon analizi için birkaç damla %0,5 nitrik asit (HNO₃) eklenerek asitlenmiştir. pH, sıcaklık (T; °C), elektriksel iletkenlik (EC; µS/cm) ve toplam çözünmüş

katı madde (TDS; mg/L) parametreleri YSI Professional Plus marka çok parametrelilik cihaz ile yerinde tespit edildi. Örneklerin kimyasal analizleri Bureau Veritas Mineral (Kanada) Laboratuvarı ve SDÜ (Isparta) Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeotermal Enerji, Yeraltısu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yüzeysel sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin tanımlanmasında, iyon bollukları dikkate alınarak kimyasal özellikleri incelenmiş ve Schoeller ve Piper (1944) diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında yer alan suların içme suyu kullanım özellikleri ve kalite değerlendirilmesinde ise ulusal ve uluslararası standartların yanı sıra Su Kalite İndeksi (WQI) yöntemi uygulanmıştır.

3.2.1. Su Kalite İndeksi (Water Quality Index-WQI)

WQI, farklı su kalitesi parametrelerinin bileşik etkisini yansıtan bir derecelendirme olarak tanımlanmaktadır (Sahu ve Sikdar 2008). İndeks değerleri belirlenirken öncelikle her bir kimyasal parametre için 1'den 5'e kadar ağırlık değerleri belirlenir. Burada içme suyu kalitesini en az etkileyecek parametrelere 1 ağırlık değeri, içme suyu kalitesini en fazla etkileyecek parametrelere 5 ağırlık değeri verilmiştir (Tablo 1). EC, TDS, SO₄, Cl, NO₃, Ni, As, Pb, Cr ve Mn parametreleri içme suyu kullanımında önemli oldukları için en yüksek ağırlık "5" olarak belirlenmiştir. En düşük ağırlık "1" ise su kalitesi değerlendirmesinde en az öneme sahip olduğu için HCO₃ parametresine atanmıştır. Her parametre için bağıl ağırlık değerleri (Wi) aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$W_i = w_i / \sum_{i=1}^n w_i$$

Burada, W_i : Göreceli ağırlık, w_i: Parametre ağırlığı, n: parametre sayısını ifade etmektedir.

Tablo 1. Çalışma alanındaki kimyasal parametrelerin ağırlık değerleri (Weight values of chemical parameters in the study area)

	TS 266 (2005)	WHO (2008)	Ağırlık (wi)	Göreceli Ağırlık(Wi)
pH	6,5-8,5	6,5-9,5	4	0,0571
EC	2500		5	0,0714
TDS		1000	5	0,0714
Ca		200	3	0,0428
Mg		150	3	0,0428
Na	200	200	4	0,0571
K		12	2	0,028
HCO ₃	500		1	0,0142
SO ₄	250	250	5	0,0714
Cl	250	250	5	0,0714
NO ₃	50		5	0,0714
Ni	0,02		5	0,0714
FeT		0,2	3	0,0428
AsT	0,01	0,01	5	0,0714
Pb	0,01	0,01	5	0,0714
Cr	0,05	0,05	5	0,0714
Mn	0,05	0,05	5	0,0714
			$\sum w_i=70$	1

Daha sonra her bir parametrenin içme suyu kalite standartları tarafından belirlenen sınır değerleri kullanılarak parametrelerin kalite derecelendirme ölçeği (qi) değerleri hesaplanır (WHO 2008; TSE 266, 2005). Bunun için kullanılan eşitlik aşağıda verilmiştir:

$$q_i = (C_i/S_i) \times 100$$

Burada, q_i: kalite derecesi, C_i: her kimyasal parametrenin konsantrasyonu, S_i: Her kimyasal parametre için içme suyu standardını ifade etmektedir. Alt indeks (SI) değerleri, her bir parametrenin göreceli ağırlık değerleri (W_i) ile kalite derecelendirme (q_i) değerlerinin çarpımı sonucunda her parametre için belirlenir. WQI değeri alt indeks değerlerinin toplamı olarak ifade edilmektedir.

$$WQI = \sum SI_i$$

Hesaplanan WQI değerleri Tablo 2’de görüldüğü gibi beş kategoride sınıflandırılır (Sahu ve Sikdar 2008; Yidana ve Yidana 2010).

Tablo 2. İndeks değerlerine göre su tipleri (Water types according to index values) (Sahu ve Sikdar 2008)

İndeks Aralığı	Su Tipleri (Sahu & Sikdar 2008)
< 50	Mükemmel Su
50–100,1	İyi su
100–200,1	Zayıf Su
200–300,1	Çok zayıf Su
> 300	İçmesuyu için uygun değil

4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

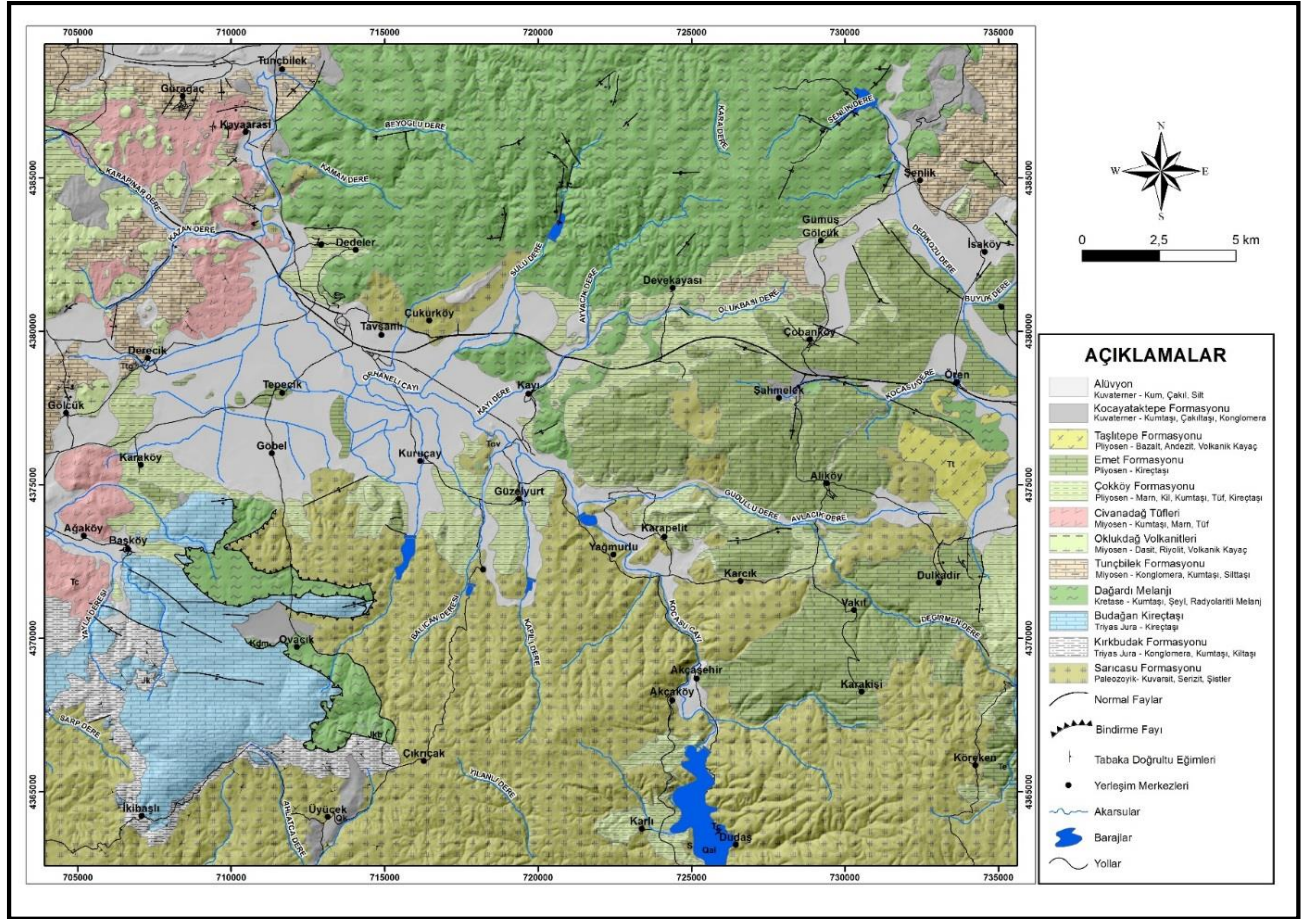
4.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji (Geology and Hydrogeology)

Çalışma alanı ve yakın çevresinde mostra vermekte olan litolojik birimler tabandan yüzeye doğru şu şekilde sıralanabilir: Paleozoyik yaşlı Sarıcasu Formasyonu, Mesozoyik yaşlı Kırkbudak Formasyonu, Budağan Kireçtaşları, Dağardı Melanjı, Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu, Oklukdağ ve Civanadağı Tüfleri, Pliyosen yaşlı Karaköy Volkanitleri, Çökköy Formasyonu ve Emet Formasyonu, Taşlıtepe Formasyonu, Kuvaterner yaşlı Kocayataktepe Formasyonu, Alüvyon. Şekli 2’de çalışma alanının 1/100 000 ölçek hassasiyetinde jeoloji haritası sunulmuştur. Granat mikaşist, kuvars-şist ve meta-volkanik kayalar gibi metamorfik birimlerden oluşan Paleozoik yaşlı Sarıcasu formasyonu içerisinde beyaz, bej ve yeşil renkli, muskovit-albit-kuvars-şist gözlenmektedir. Trias-Jura yaşlı Kırkbudak formasyonu temel kayaları uyumsuz olarak örter. Başlıca çakıtaşı, kumtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur (Delibaş vd. 2012). Kırkbudak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen karbonat birimleri Budağan kalkerleri olarak bilinir ve beyaz, gri ve siyah renkli kalker ve dolomitlerden oluşur. Ofiyolitik kompleks, karbonatların tektonik dokanağı olan Dağardı melanjı üzerinde yer alır. Birim başlıca mafik-ultramafikler, yer yer kumtaşı-grovak-şeyl, şistler, radyolarit ve kireçtaşları ile tüfitlerden oluşmaktadır (Akdeniz ve Konak 1979). Miyosen yaşlı Tunçbilek Formasyonu, Dağardı melanjını uyumsuz olarak örter. Formasyon yukarıdan aşağıya doğru silttaşı, kiltası, çamurtaşı, tüfit, karbonat oranı yüksek kiltası, kil, koyu kahverengi linyit, marn ve bitümlü marnlardan oluşmaktadır (Arık 2002).

Tunçbilek formasyonu Oklukdağ volkanitleri ve Civanadağ tüfleri ile derecelendirilir. İnceleme alanının batı kesimlerinde sarımsı, pembe, gri, beyaz renkli Civanadağ tüfleri gözlenmekte olup, riyolitik-dasitik kayaç parçalarını içermektedir ve Pre-neojen birimlerine ait konglomeredir (Baş 1987). Birim genel olarak kül ve tüf tane boyutunu oluştururken, yer yer lapilli büyüklüğünde pomza parçaları ve volkanik kaya parçaları gözlenmektedir (Baş 1986). Oklukdağ volkanitleri açık-koyu gri, pembemsi, sarımsı renkli dasit-riyolitik kayalardan oluşur ve birimin ana görünümü kubbe, sahada nadiren dayklardır (Baş 1986). Volkanik birimde biyotit, hornblend, klinopiroksen, nadiren ortopiroksen ve plajiyoklaz, ortoklaz ve kuvars gibi koyu renkli mineraller tanımlanmıştır (Baş 1987). Bu volkanik kayalar üzerinde diskordansla Pliyosen yaşlı Çökköy formasyonu yer alır. Çökköy formasyonu marn, kil, kumtaşı, çakıtaşı, tüf, tüfit ve yer yer kireçtaşı seviyeleri içerir (Arık 2002). Çökköy formasyonu üzerinde kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve Taşlıtepe volkanlarından oluşan Emet formasyonu yer alır. Kireçtaşları beyaz, gri, krem renkli olup, alt kısımlar çok killi, üst kısım silislidir. Geç Pliyosen-Kuvaterner temelli Taşlıtepe formasyonu andezit, bazalt ve volkanitlerden oluşmakta ve yukarıda bahsedilen birimlerin hepsini kesmiştir. Son olarak, Kuvaterner örtü birimleri olarak nitelendirilen Kocayataktepe formasyonu ve alüvyon kendilerinden yaşlı olan tüm birimleri uyumsuzlukla örter (Karakuş 2016; Şener ve Karakuş 2017).

Çalışma alanının hidrojeolojik yapısını ortaya koymak için yukarıda açıklanan her bir litolojik birim bünyelerinde su bulundurulabilme, suyu iletebilme ve istenildiğinde suyu verebilme potansiyelleri göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve beş farklı grup oluşturulmuştur. Bunlar, Akifer-1, Akifer -2, Akifer-3, Akitard ve Akifüj olarak tanımlanmıştır. Bölgedeki en önemli akifer özelliğine sahip formasyonlar alüvyon ve Kocayataktepe Formasyonudur. Bunlar hem gözenekli yapıları hem de geniş yayılımları ile taneli akifer özelliği taşımaktadır. Ovakadaki en önemli alüvyon kaynağı ise yüksek debisi ve geniş yayılımı ile Orhaneli Çayıdır. Bölgede yüzeyleyen karstik birimler de kırık çatlaklı ve kısmen erime boşluklu yapıları ile su ihtiva etme potansiyeline sahiptir ve bu birimler de Akifer-2 olarak tanımlanmıştır (Karakuş 2016). Bölgede karstik akifer olan birimler ise Budağan Kireçtaşları ve Emet Formasyonu içerisindeki dolomit ve kireçtaşı seviyeleridir. Bölgede tüf seviyelerinden de su

alındığı görülmekte ve bu volkanitlerin de boşluklu yapılarında su bulundurduğu dikkate alınarak Civadağ Tüflerinin Akifer-3 olarak tanımlanması uygun görülmüştür. Dağardı Melanji, Oklukdağ Volkanitleri ve Taşlitepe Formasyonu geçirgenliğinin düşük olması nedeniyle Akifüj birimleri olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2. Çalışma alanının jeoloji haritası (Geology map of the study area), (Karakuş, 2016)

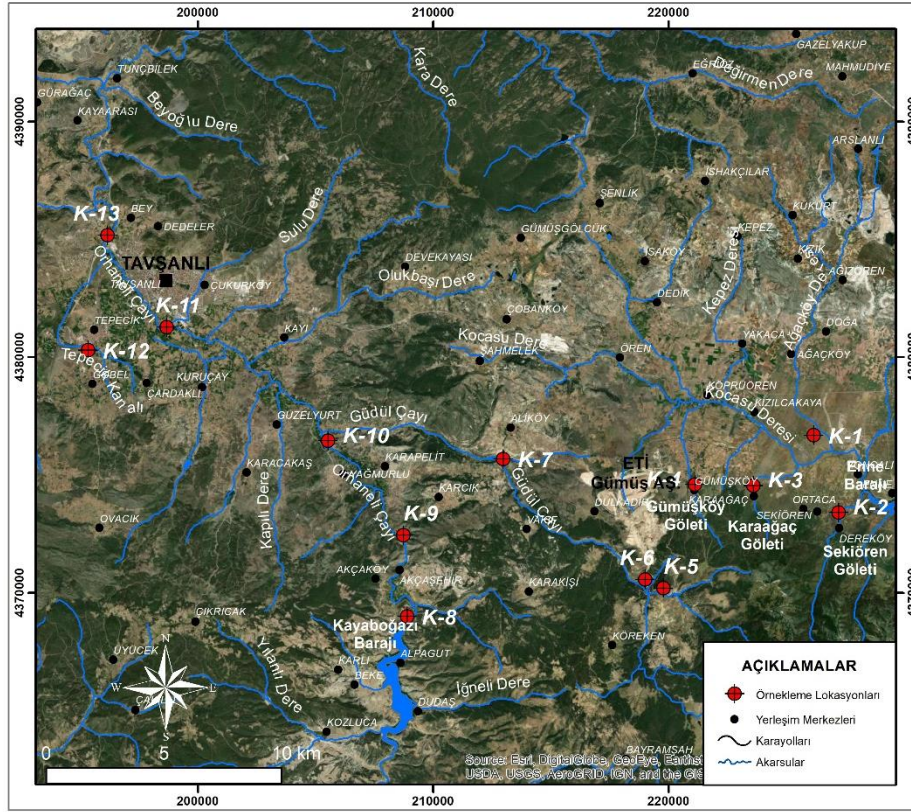
4.2. Hidrojeokimyasal Özellikler (Hydrogeochemical Properties)

Çalışma alanındaki yüzey sularının hidrojeokimyasal özelliklerini ve kalitesini ortaya koymak amacıyla Kocasu deresi, Sekiören Göleti, Karaağaç Göleti, Gümüşköy Göleti, Güdül çayı, Kayaboğazı Gölü, Orhaneli Çayı ve Tepecik-kanal suyundan Ekim (2018) döneminde su örnekleri alınmış ve kimyasal analiz ve ölçüm sonuçları değerlendirilmiştir. Örnek lokasyonları Şekil 3'de, örneklerin yerinde ölçüm ve kimyasal analiz sonuçları ise Tablo 3 ve 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Su örneklerinin yerinde ölçüm sonuçları (In-situ measurement results of water samples)

İstasyon	No	pH	°C	(µS/cm)
Yoncalı / Kocasu deresi	K1	8	21,20	817
Sekiören Göleti	K2	8,2	10,80	371
Karaağaç Göleti	K3	8,2	10,70	309
Gümüşköy Göleti	K4	8,2	10,70	441
Güdül Çayı 1	K5	8,3	11,20	503
Güdül Çayı 2	K6	8,1	10,80	533
Güdül Çayı 3	K7	8,3	11,20	434
Kayaboğazı Gölü	K8	8,1	12,00	429
Orhaneli Çayı 1	K9	8,3	12,70	431
Orhaneli Çayı 2	K10	8,3	12,60	456
Orhaneli Çayı 3	K11	8,1	13,10	461
Tepecik / Kanal suyu	K12	7,7	13,10	654

Orhaneli Çayı 4	K13	7,6	12,90	535
-----------------	-----	-----	-------	-----



Şekil 3. Su örnekleri lokasyon haritası (Location map of the water samples)

Tablo 4. Su örneklerine ait analiz sonuçları (Analysis results of water samples)

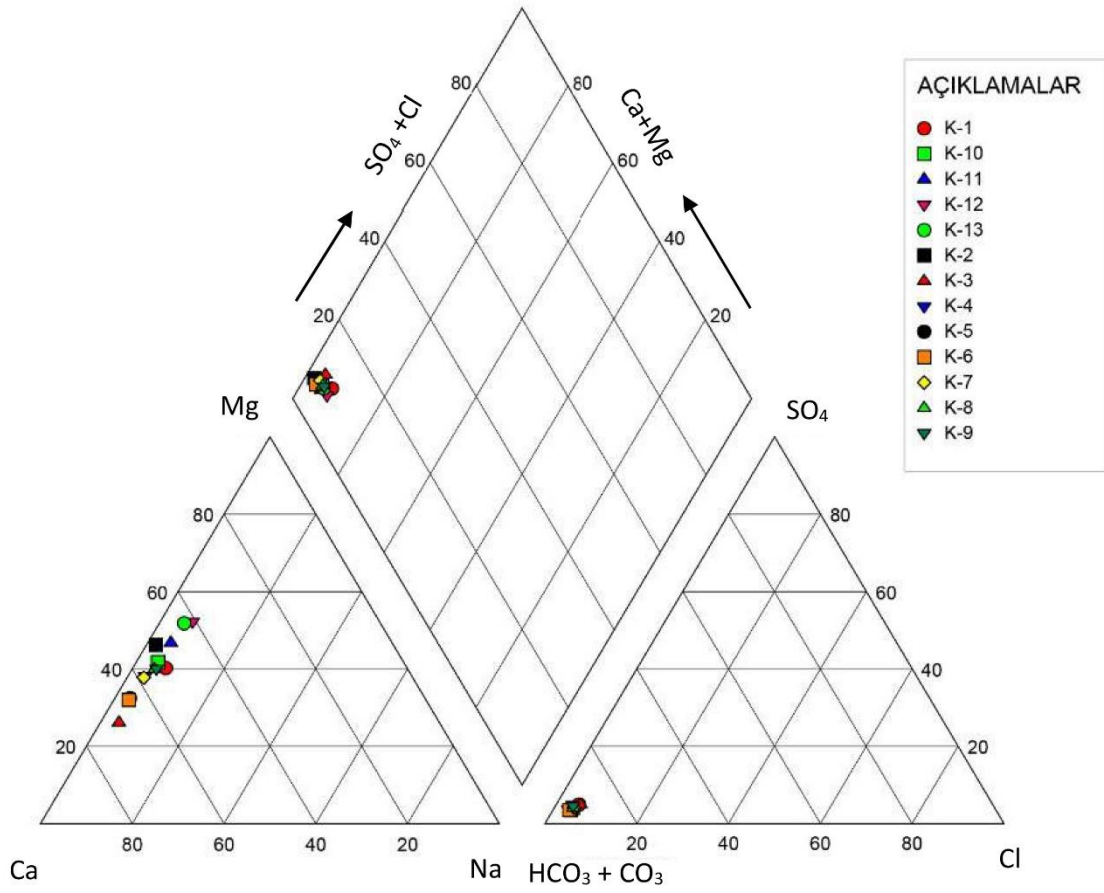
Parametre	Birim	Örnek sayısı	Minimum	Maksimum	Ortalama	Standart Sapma	TS266 (2005) mg/l	WHO (2008) mg/l
pH		13	7,6	8,3	8,10	0,22532	6,5-9,5	6,5-8,5
EC	(μ S/cm)	13	309	817	490	128,946		
TDS	(mg/l)	13	185	473	291	72,9584		1000
Na	(mg/l)	13	2,22	16,6	6,5	3,95	200	200
K	(mg/l)	13	1	5,21	2,67	1,28		
Ca	(mg/l)	13	47,54	104,74	63,58	15,41		200
Mg	(mg/l)	13	11,54	49,69	29,33	10,92		
HCO ₃	(mg/l)	13	0	26	11,53	7,88		
CO ₃	(mg/l)		161	328	224,30	47,50		
Cl	(mg/l)	13	8,52	21,3	12,18	3,43	250	250
SO ₄	(mg/l)	13	11,64	28,52	15,90	4,19	250	250
NO ₃	(mg/l)	13	0,01	13,36	2,9	3,57	50	50
Mn	(mg/l)	13	0,00037	0,11881	0,0236	0,0363	0,05	0,4
Pb	(mg/l)	13	0,0001	0,0009	0,000292	0,00026	0,01	0,01
As	(mg/l)	13	0,0082	0,7391	0,1555	0,2394	0,01	0,01
Fe	(mg/l)	13	0,01	0,01	0,01	0,000	0,2	-
Cr	(mg/l)	13	0,0005	0,0182	0,0022	0,00483	0,05	0,05
Ni	(mg/l)	13	0,0002	0,0037	0,0008	0,001	0,02	0,07

Çalışma kapsamında incelenen yüzey sularının yerinde ölçümler ile belirlenen hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), Toplam çözünmüş madde (TDS) gibi genel kimyasal özellikleri incelendiğinde su örneklerin pH değerlerinin 7'den büyük olup (7,6 – 8,3 arasında) "Bazik karakterli" sular sınıfını işaret ettiği görülmektedir. Su örneklerinin EC değerleri 309–817 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Toplam çözünmüş madde değerleri ise 185,4 ile 472,72 mg/l arasında değişmektedir.

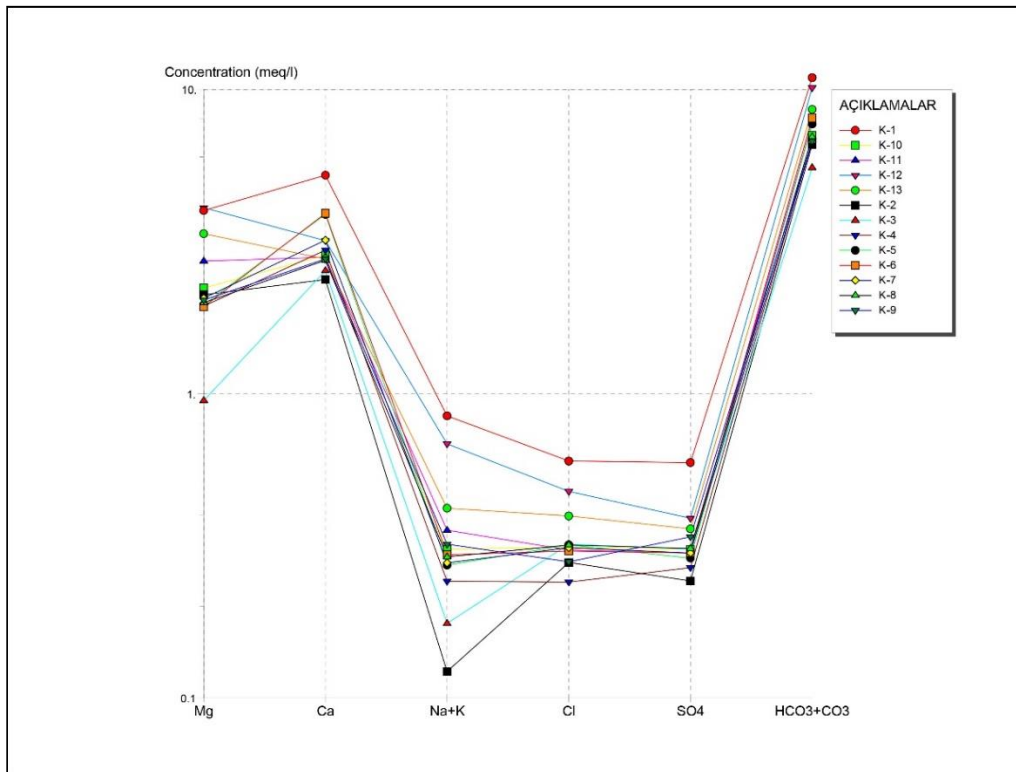
En yüksek EC değeri Yoncalı / Kocasu deresinde ölçülmüş olup özellikle CO_3 bakımından en zengin örnektir. Su örneklerinin Na konsantrasyon değerleri 2,22 ile 16,60 mg/l arasında, Ca konsantrasyon değerleri ise 47,54 ile 104,74 mg/l arasında değişmekte olup yine en yüksek Na ve Ca konsantrasyon değerleri Yoncalı / Kocasu deresinden alınan örnekte tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen yüzey sularının Cl konsantrasyon değerleri 8,52 ile 21,30 mg/l arasında, SO_4 konsantrasyon değerleri ise 11,64 ile 28,52 mg/l arasında değişmektedir. Cl ve SO_4 konsantrasyon değerleri Sekiören Göleti'nden alınan su örneğinde minimum seviyede iken, Yoncalı / Kocasu deresinden ve Tepecik Kanal suyundan alınan örneklerde ise maksimum değerlere ulaştığı gözlenmiştir. Örneklerin NO_3 konsantrasyon değerleri 0,01 ile 13,36 mg/l arasındadır ve en yüksek nitrat Tepecik Kanal suyunda ölçülmüştür. Ağır metaller açısından örneklerin Mn, Pb, As, Fe, Cr ve Ni içerikleri belirlenmiştir. Su örneklerinin Mn konsantrasyon değerleri 0.00037 ile 0.11881 mg/l arasında; Pb konsantrasyon değerleri 0.0001 ile 0.0009 mg/l arasında; Fe konsantrasyon değerleri en yüksek 0.01 mg/l; Cr konsantrasyon değerleri 0.0005 ile 0.0182 mg/l arasında; Ni konsantrasyon değerleri ise 0.0002 ile 0.0037 mg/l arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçlara göre örneklerde arsenik (As) miktarları 0.0082 ile 0.7391 mg/l arasında olup içme suyu limit değerlerine göre (0.01 mg/l) oldukça yüksek değerlerde ölçülmüştür.

Ağır metaller sucul ekosistemlerde genellikle düşük konsantrasyonda bulunmaktadır. Ancak, kentsel ve endüstriyel atık su, madencilik faaliyetleri, fosil yakıtlar, işleme ve imalat endüstrileri ve atık bertarafı gibi antropojenik kaynaklar sulara ağır metal konsantrasyonunu artırabilmektedir (Sprenke vd., 2000, Sarı 2008). Bölgedeki su örneklerinde Mn, Pb, Fe, Cr ve Ni konsantrasyonları oldukça düşük değerlerde ölçülmüştür. Ancak, özellikle Güdül Çayı'ndan alınan su örnekleri oldukça yüksek miktarlarda (> 0.60 mg/l) As içermektedir. Diğer yüzey suyu örneklerinin arsenik konsantrasyonları ise daha düşüktür (< 0.07 mg/l). Bu sonuçlar, Güdül Çayı'na kıyasla bölgedeki diğer yüzey sularının madencilik faaliyetlerinden çok fazla etkilenmediğini göstermektedir. Bu durumda As konsantrasyonu esas olarak jeojenik kökenli olup sulardaki yüksek arsenik düzeylerinin başlıca jeojenik kaynakları sülfat mineralleri, volkanik kayalar, hidrotermal faaliyetler ve özellikle fosil yakıtlardır (Welch vd., 2000). Doğan ve Doğan (2007)'e göre, batı Türkiye'nin bazı bölgelerindeki genel jeojenik arsenik kaynağı, evaporitik mineraller, karbonat, volkanik kayalar ve kömürden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanında, Civanadağ tüflerinin riyodasitik ve riyolitik tüflerinde esas olarak damarlar ve kısmen de yayılma ve yarıkların dolguları şeklinde As-Sb-Pb-Zn cevherleşmeleri gelişmiştir (Arık, 2012). Cu-Pb-Zn, Mn ve kömür üreten madenler Tavşanlı bölgesinde en önemli madencilik faaliyetini oluşturmaktadır. Mesozoyik ve Senozoyik karbonat akiferi içerisindeki kırık ve çatlaklar ise realgar ve orpiment şeklinde ikincil epitermal jips içerir. Bu damarlar silisleşmiş-riyolitik tüflerde yüksek konsantrasyonda arsenik içermektedir (Arslan ve Çelik 2015; Şener ve Karakuş, 2017). Şener ve Karakuş (2017) tarafından yapılan çalışmada da bölgedeki yüzey suları yeraltısularına göre daha yüksek miktarlarda arsenik içermektedir. Bu durum sularda gözlenen arsenik kaynağının kayaç-su etkileşimi ile birlikte bölgede yürütülen madencilik faaliyetleri ile ilişkili olarak antropojenik kaynaklı da olduğunu göstermektedir.

İncelenen su örneklerinin iyon analiz sonuçları (% - mek/l) Piper Diyagramı üzerine yerleştirilmiş ve örneklerin hidrojeokimyasal fasiyesleri ortaya konulmuştur (Piper 1944; Şekil 4). Buna göre su örneklerinin tamamının Ca-CO_3 ve Ca-Mg-HCO_3 'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Analiz sonuçlarına göre, yüzey suyunda major anyon bolluk oranları sırasıyla $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ şeklindedir. Yüzey suyu örneklerinde katyonların sırası ise $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ şeklindedir. Schoeller (1955)'in karbonat-bikarbonat miktarına göre yapmış olduğu sınıflamadan farklı olarak geliştirdiği yarı logaritmik diyagram ile farklı kimyasal özelliğe sahip suların daha kolay ayırt edilmesi sağlanmıştır. Çalışma alanındaki yüzey sularının analiz sonuçları kullanılarak hazırlanmış olan Schoeller yarı logaritmik diyagram ise Şekil 5'de verilmiştir. Buna göre sularda bulunan baskın iyonların Ca, Mg ve CO_3 , HCO_3 olduğu görülmektedir. Genel olarak su kalitesi ve kimyasal özellikleri, akifer kayalarının özelliklerine ve antropojenik girdilere bağlıdır. İncelenen su örneklerinin kimyasal özellikleri çalışma alanında yer alan kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit birimleri ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir. Ca^{2+} ve Mg^{2+} içeriğindeki artış genellikle kireçtaşı ve dolomit ile temasa bağlıdır (Ranjan vd., 2013). Yüksek Na^+ ve SO_4^{2-} iyonları, silikatların kimyasal ayrışmasından kaynaklanmaktadır (He ve Wu, 2019). Farklı su türlerinin gözlemlenmesi, yeraltı suyunun antropojenik kirleticiler ve/veya litolojik birimlerle etkileşim süresi ve bunların maruz kalma dereceleriyle ilgili olabilir (Zhang vd., 2008; Adimalla 2019).



Şekil 4. Piper diyagramı (Piper diagram)



Şekil 5. Su örneklerinin Schoeller yarı logaritmik diyagramı ile sınıflaması (Classification of water samples with Schoeller semi-logarithmic diagram)

Bu nedenle içme suyu, sulama, sanayi vb. farklı alanlarda kullanılabilirliğini belirlemek için hidrojeokimyasal özellikler ve su kalitesi bilgilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Adimalla 2019). Çalışma alanında yaygın olarak karbonatlı kayaçların bulunması ve bu su kaynaklarının gerek yeraltında gerekse yüzeysel akışta sürekli bu kayaçlar ile etkileşimde olması bölgedeki genel su hidrojeokimyasının ve baskın su tiplerinin oluşumuna ana sebeptir.

4.2.1. Suların içme suyu olarak kullanılabilirliği (Availability of water as drinking water)

İçme suyu olarak kullanılacak sulara aranması gereken, diğer bir deyişle standardı sağlaması gereken birçok fiziksel ve kimyasal parametre belirlenmiştir. Bu sınır değerler belirlenirken özellikle insan sağlığı için ihtiyaç duyulan mineral ve iyonlar ve bunların günlük alım dozları dikkate alınmaktadır. Bunun yanısıra sağlığa zararlı olacak her türlü spesifik kirleticileri ve ağır metalleri belirli konsantrasyonların üzerinde içermemelidir. Aksi durumda kirlenmiş suların insanlar tarafından tüketilmesi ciddi sağlık problemlerini beraberinde getirecektir (Şener, 2010). Bu kapsamda, içme suyu kriterleri ve her bir kriterin limit değerlerini bildiren ulusal ve uluslararası birçok standart hazırlanmıştır. "Türk Standartlar Enstitüsü (TSE-266)" tarafından 2005 yılı Nisan ayında yayınlanmış olan içme suyu standardı ülkemizde geçerli olan değerlendirme rehberidir. Uluslararası içme suyu standartları olarak ise Dünya Sağlık Örgütüne (WHO, 2008), ait standartlar bulunmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen su örneklerine ait analiz sonuçları TSE-266 ve WHO (2008) tarafından belirtilen limit değerler ile kıyaslanmıştır (Tablo 2). Yapılan değerlendirmeye göre yüzey sularına ait su örneklerinden Sekiören Göleti'nden alınan K2 numaralı örnek içme suyu olarak kullanıma uygundur. Ancak, bunun dışındaki tüm su örneklerinin arsenik konsantrasyonları 10 µg/l'nin üzerinde olup içme suyu olarak kullanılması uygun değildir. Özellikle K5, K6 ve K7 numaralı su örnekleri çok yüksek miktarlarda As içermektedir.

4.2.2. Suların Kalite Özelliklerinin Değerlendirilmesi (WQI - Evaluation of Quality Characteristics of Waters)

Çalışma alanındaki suların kalitesini belirlemek için Su Kalite İndeksi yönteminden yararlanılmıştır. Su Kalitesi İndeksi (WQI), su kalitesini değerlendirmek için dikkate alınan her bir parametrenin kişisel tüketime bağlı olarak genel su kimyası ile ilişkili genel etkisini derecelendirerek tanımlayan bir uygulama yöntemidir. Bu çalışmada, su örneklerine ait WQI değerleri önceki bölümlerde açıklandığı gibi üç adımda hesaplanmış ve sonuçlar WHO (2008) ve TSE 266 (2005) ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Su kalitesi değerlendirmesinde kullanılan parametreler ve bu parametreler için atanan ağırlık değerleri yine "Materyal ve Metot" başlığı altında verilmiştir. Tablo 4'de her bir örneğin içme suyu limit değerleri ve göreceli ağırlık değerleri kullanılarak hesaplanan "Su Kalite İndeksi" değerleri verilmiştir.

Tablo 4. Su örneklerinin indeks değerleri (Index values of water samples)

İstasyon	No	İndeks Değeri
Yoncalı / Kocası deresi	K1	61,83
Sekiören Göleti	K2	20,17
Karaağaç Göleti	K3	41,28
Gümüşköy Göleti	K4	28,66
Güdüllü Çayı 1	K5	455,92
Güdüllü Çayı 2	K6	224,46
Güdüllü Çayı 3	K7	541,92
Kayaboğazı Gölü	K8	35,48
Orhaneli Çayı 1	K9	40,73
Orhaneli Çayı 2	K10	54,66
Orhaneli Çayı 3	K11	66,45
Tepecik / Kanal suyu	K12	40,16
Orhaneli Çayı 4	K13	70,07

WQI, çalışılan suyun kalitesinin farklı sınıflara ayrılarak değerlendirilmesini sağlayan bir derecelendirme tekniğidir (Reza ve Singh 2010). Buna göre K5 ve K7 numaralı örneklerin içme suyu için uygun olmadığı, K6

numaralı örneğin ise çok zayıf su sınıfında olduğu belirlenmiştir. K1, K10, K11 ve K13 numaralı örnekler iyi su sınıfında, diğer örnekler ise mükemmel su sınıfında yer almaktadır.

Yapılan çalışma ile benzer şekilde farklı bölgelerde yapılan indeks yöntemlerle su kalitesi değerlendirmelerinde ulusal ve uluslararası standartlar ve sınır değerler dikkate alınmaktadır (Saeedi vd. 2009; Bordalo vd. 2006; Tsegaye vd. 2006; Sheikhi vd. 2020). İran'ın Hashtroud kırsalındaki içme suyu kalitesi Sheikhi vd., (2021) tarafından araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada TDS, SO₄, Cl, NO₃, NO₂, Na, K, sertlik ve pH gibi parametreler kullanılarak GWQI (yeraltı suyu kalite indeksi) hesaplanmıştır. Benzer şekilde, Kumar vd., (2015), NO₃, TDS, pH, EC, SO₄, HCO₃, Cl, Ca, Na, K ve Mg gibi birkaç temel parametreye dayalı olarak doğal ve antropojenik aktivitelerin etkisini değerlendirmek için su kalite indeksi değeri hesaplamışlardır. Brindha vd., (2020) tarafından WQI yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, pH, TDS, ana katyonlar ve anyonlar, nitrat, florür, eser metaller ve koliform parametreleri dikkate alınmıştır. Benzer ana parametreler değerlendirilerek yapılan su kalitesi çalışmalarında aynı akiferdeki suların farklı su kalitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Akşehir ve çevresinde yeraltı suları içme amaçlı kullanıldığı için Varol (2021) tarafından sağlık risk değerlendirmesi yapılmıştır. Sonuçlara göre, yeraltı sularındaki arsenik seviyeleri hem yetişkinler hem de çocuklar için kabul edilemez kanserojen ve kanserojen olmayan sağlık riski oluşturmaktadır.

5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

Bu çalışmada Tavşanlı (Kütahya) ovası içerisinde jeoloji, hidroloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemeler yapılarak çalışma alanındaki kirletici kaynakların ova içerisindeki yüzey suları üzerindeki etkileri belirlenmiş ve su kaynaklarının kullanılabilirliği incelenmiştir. Çalışma alanı içerisindeki en önemli su noktası Orhaneli Çayı'dır. Sulama amacı ile inşa edilmiş olan Kayaboğazı Barajı ise çalışma alanındaki önemli su yapısıdır. Ekim (2018) döneminde alınan 13 adet su örneği üzerinde yapılan incelemeler sonucunda suların hidrojeokimyasal özellikleri ve su kalitesi ortaya konulmuştur.

Çalışma alanındaki yüzey sularının hidrojeokimyasal özellikleri incelendiğinde suların genel olarak Ca-CO₃ ve Ca-Mg-HCO₃'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Çalışma alanındaki su kaynakları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi kalkerli kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayac-su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir. Su örneklerine ait analiz sonuçları TSE-266 ve WHO (2008) tarafından belirtilen limit değerler ile karşılaştırıldığında Sekiören Göletinden alınan K2 numaralı örneğin tüm parametreler açısından içme suyu olarak kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir. Diğer tüm su örneklerinin arsenik konsantrasyonları 10 µg/l'nin üzerinde olup içme suyu olarak kullanılması uygun değildir. Bölgede yüzey sularının kalitesini tehdit eden en önemli faktör madencilik faaliyetleri sırasında oluşan atık suların kontrolsüz bir şekilde çevreye bırakılmasıdır. Gözeçukuru madeni (As-Sb-Pb-Zn madeni), Tavşanlı ovasının doğusunda yer almakta olup maden atık havuzlarının yanından Güdül Deresi akmaktadır. Bu atık havuzlarındaki maden atıkları genel olarak arsenik, kurşun ve antimondur ve bölgede özellikle yüzey suları için ana kirlilik kaynağıdır.

Çalışma alanındaki suların kalitesini belirlemek için Su Kalite İndeksi yöntemi kullanılarak suların "Su Kalite İndeksi" değerleri hesaplanmıştır. Buna göre K5 ve K7 numaralı örneklerin İçme suyu için uygun olmadığı, K6 numaralı örneğin ise çok zayıf su sınıfında olduğu belirlenmiştir. K1, K10, K11 ve K13 numaralı örnekler iyi su sınıfında, diğer örnekler ise mükemmel su sınıfında yer almaktadır. Ancak, limit değerlere göre yüksek miktarlarda arsenik içermekte olan su örneklerinin WQI yöntemine göre iyi - mükemmel su sınıfında yer alması bu yöntemin özellikle içme suyu kullanılacak örneklerin değerlendirmesinde çok sağlıklı olmadığını göstermektedir. Çalışma sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, özellikle içme suyu kalitesi değerlendirilirken indeks değerlerin yanı sıra mutlaka limit değerler ile karşılaştırmaların yapılması gerekmektedir.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 4141-YL1-14 numaralı (Proje ID: 3966) münferit araştırma projesi kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederler.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Akkuş, M.F., 1962. Kütahya-Gediz arasındaki sahanın jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, 58, 21 – 30.
- Arık, F. 2002. Geochemical modelling of Gümüşköy (Kütahya) silver deposit, Ph.D. Thesis, Selcuk University, Konya, Turkey
- Arık, F. 2012. Genetic Characteristics of the Gozecukuru As-Sb Deposits near Kutahya, Turkey, Journal of the Geological Society of India 80(6): 855-868
- Arslan Ş, Çelik M. 2015. Assessment of the Pollutants in Soils and Surface Waters Around Gümüşköy Silver Mine (Kütahya, Turkey). Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 95(4), 499-506
- Boateng, T. K., Opoku, F., Acquaaah, S. O., Akoto, O. 2016. Groundwater quality assessment using statistical approach and water quality index in Ejisu-Juaben Municipality, Ghana. Environmental Earth Sciences, 75(6), 1-14.
- Carpenter, S. R.; Caraco, N. F.; Correll, D. L.; Howarth, R. W.; Sharpley, A. N.; Smith, V. H. 1998. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecol Appl.,8,559-568.
- Dogan M, Dogan A.U. 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kütahya region of the Western Anatolia, Turkey. Environmental Geochemical Health, 29:119-129.
- DSİ, 1978. Tavşanlı Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, Devlet Su İşleri Devlet Su Gen. Müd. Jeotek. Hiz. ve Yeral. Su. Dai. Bşk., 107 s.
- Güneş, C., 2006. Gediz Kaplıcaları'nın (KÜTAHYA) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, 170 s.
- Jarvie, H. P.; Whitton, B. A.; Neal, C. 1998. Nitrogen and phosphorus in east coast British rivers: speciation, sources and biological significance. Sci. Total Environ.,210/211, 79-109.
- Kalafatçoğlu, A., 1962, Tavşanlı – Dağardı Arasındaki bölgenin jeolojisi ve serpantin ve kalkerlerin yaşı hakkında not; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 58, 76 - 89.
- Karakuş, M. 2016. Tavşanlı (Kütahya) çevresinin hidrojeolojik-hidrojeokimyasal özelliklerinin incelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Tez No:442726
- Kazi, T.; Arain, M. B.; Jamali, M. K.; Jalbani, N.; Afridi, H. I.; Sarfraz, R. A.; Baig, J. A.; Shah, A. Q. 2009. Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: A case study. Ecotox EnvironSafe.,72,301- 309.
- Nebert, K., 1960, Tavşanlı'nın batı ve kuzeyinde linyit ihtiva eden Neojen sahasının mukayeseli stratigrafisi ve tektoniği; Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg., 54, 7 - 35.
- Pesce, S. F.; Wunderlin, D. A. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba city (Argentina) on Suquia river. Water Res.,34(11), 2915-2926.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions 25, 914-923.
- Sahu, P., Sikdar, P.K., 2008. Hydrochemical framework of the aquifer in and around East Kolkata wetlands, West Bengal, India. Environ Geol. 55, 823-835.
- Sánchez, E.; Colmenarejo, M. F.; Vicente, J.; Rubio, A.; García, M. G.; Travieso, L.; Borja, R. 2007. Use of the water quality index and dissolved oxygen deficit as simple indicators of basins pollution. Ecol Indic.,7, 315-328.
- Sarı ,E. 2008. Sources and Distribution of heavy metals in river sediments from the southern drainage basin of the sea of Marmara, Turkey. Fresenius Environmental Bulletin, 17:2007-2019.
- Schoeller, H., 1955. GechemieDesEauxSouterranes. ReviewInstutieFranc. Petrole, Paris, 3-4.
- Simeonov, V.; Stratis, J. A.; Samara, C.; Zachariadis, G.; Voutsas, D.; Anthemidis, A.; Sofoniou, M.; Kouimtzi, T. 2003. Assessment of the surface water quality in Northern Greece. Water Res.,37, 4119-4124.
- Subramani, T.; Rajmohan, N.; Elango, L. 2009. Groundwater geochemistry and identification of hydrogeochemical processes in a hard rock region, Southern India. Environ Monit Assess.,162(1-4), 123-137.
- Sprenke, K.F., Rember, W.C., Bender, S.F., Hoffmann, M.L., Rabbi, F., Chamberlain, V.E. 2000. Toxic metal contamination in the lateral lakes of the Coeur d'Alene River valley, Idaho. Environmental Geology, 39(6): 575-586.
- Şener, Ş., Karakuş, M. 2017. Investigating water quality and arsenic contamination in drinking water resources in the Tavşanlı District (Kütahya, Western Turkey). Environmental Earth Sciences, 76(21), 1-17.
- Şener, Ş., 2010. Eğirdir Göl Suyu ve Dip Sedimanlarının Hidrojeokimyasal İncelemesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği ABD, Kasım, 2010.
- TS-266, 2005. Sular - İnsani tüketim amaçlı sular, TS-266, Türk Standartları Enstitüsü, 25 s, Ankara.
- Welch, A.H., Westjohn, D.B., Helsel, D.R., Wanty, R.B. 2000. Arsenic in ground water of the United States: occurrence and geochemistry. Ground Water 38(4):589-604
- WHO 2008. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating The First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.
- Yidana, S.M., Yidana, A., 2010. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. Environ Earth Sci. 59, 1461-1573.