



## YALVAÇ-GELENDOST (ISPARTA) HAVZASI SU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASI VE KULLANILABİLİRLİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ayşen DAVRAZ\*, Burcu BATUR

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

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Yeraltısuyu, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Su Kalitesi, Yalvaç-Gelendost.</i>	<p>Yalvaç-Gelendost havzası, Türkiye'nin ikinci büyük tatlı su gölü olan Eğirdir Gölü drenaj alanı içerisinde oldukça geniş bir alanı kapsamaktadır. Havzada hemen hemen bütün yerleşim alanlarında kaynak suları içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada havzada özellikle içme suyu olarak kullanılan suların hidrojeokimyasal ve kalite özellikleri incelenmiştir. Havzada kaynak ve kuyu sularından Ekim-2019 döneminde yapılan analiz sonuçlarına göre Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-HCO<sub>3</sub> su tipleri tespit edilmiştir. Ca ve HCO<sub>3</sub> iyonları baskın olup ve akifer ortamın alüvyon ile kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayalar olabileceği tespit edilmiştir. Mg artışı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Kurucaova formasyonu ve çakıltası, kumtaşı, kiltası ve marn birimlerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile ilişkilidir. İnceleme alanında suların majör iyon, azot türevleri (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) ve ağır metal (As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) içeriklerinin içme suyu limit değerleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir. F elementi ise sadece bir örnekte limit değerlerin üzerindedir. Ayrıca, suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için majör iyon içeriklerine bağlı farklı kimyasal oranlar ve grafikler kullanılmıştır. Bu parametrelere göre yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu görülmüştür.</p>

## HYDROGEOCHEMISTRY OF YALVAÇ-GELENDOST (ISPARTA) BASIN WATER RESOURCES AND DETERMINATION OF USABILITY PROPERTIES

Keywords	Abstract
<i>Groundwater, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Water Quality, Yalvaç-Gelendost.</i>	<p>The Yalvaç-Gelendost basin covers a very large area within the drainage area of the Eğirdir Lake which is the second largest freshwater lake of Turkey. Spring waters are used for drinking water purposes in almost all residential areas in the basin. In this study, the hydrogeochemical and quality properties of the waters used especially as drinking water in the basin were investigated. According to the results of the analysis carried out in the basin from the spring and well waters in the period of October-2019, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> and Ca-HCO<sub>3</sub> water types were determined. Ca and HCO<sub>3</sub> ions are dominant and it has been determined that the aquifer environment may be rocks such as alluvium and limestone and sandstone. The increase in Mg is related to Kurucaova formation consisting of dolomitic limestones and Göksöğüt formation consisting of conglomerate, sandstone, claystone and marl units. In the study area, major ions, nitrogen derivatives (NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>) and heavy metal (As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn) contents of the waters were found to be within drinking water limit values. The F element is above the limit values in only one example. In addition, different chemical ratios and graphics depending on the major ion contents were used to evaluate the usability of water as irrigation water. According to these parameters, it has been observed that groundwater is suitable for use as irrigation water.</p>

### Alıntı / Cite

Davraz, A., Batur, B., (2020). Yalvaç-Gelendost (Isparta) Havzası Su Kaynaklarının Hidrojeokimyası ve Kullanılabilirlik Özelliklerinin Belirlenmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(4), 1072-1085.

\* İlgili yazar / Corresponding author: aysendavraz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1326

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process	
A. Davraz, 0000-0003-2442-103X	<b>Başvuru Tarihi / Submission Date</b>	29.07.2020
B. Batur, 0000-0001-6261-5551	<b>Revizyon Tarihi / Revision Date</b>	23.09.2020
	<b>Kabul Tarihi / Accepted Date</b>	24.09.2020
	<b>Yayın Tarihi / Published Date</b>	25.12.2020

## 1. Giriş (Introduction)

Küreselleşmenin de etkisiyle değişen ve gelişen dünyada, geçmişten günümüze canlıların yaşamlarını idame ettirebilmesi için en önemli doğal kaynak olan su, günümüze kadar artan ihtiyaçla beraber çevresel ve antropojenik etkiler nedeniyle kullanım alanlarının kısıtlandığı, aynı zamanda kalitesi açısından olumsuz etkilendiği bir süreçtir.

Yeraltısularında doğal kökenli kirlilik, suların hidrolojik döngü sırasında etkileşim halinde oldukları kayaların bileşimlerinde bulunan majör iyon (Na, Ca, K, Mg) ve iz (Ba, Fe, Cu, As, Ni, Cr, Al, F, vb.) elementlerle etkileşim içine girerek kimyasal ve fiziksel yapısında değişimlerin meydana gelmesidir. Bunların yanı sıra tarımda ilaçlama ve gübreleme, sanayi atıklarının arıtmadan akarsulara verilmesi veya bu atıkların toprağa gömülmesi nedeniyle yağmur suları vasıtasıyla yeraltısularına karışması, enerji santralleri, çelik, kâğıt vb. büyük endüstriyel kuruluşların açığa çıkardığı zararlı maddeler hava yoluyla toprağa karışıp, oradan süzülerek yeraltısularına karışması, çöp depolama yerlerinin yanlış yerleşimi, evsel kirleticiler (deterjanlar vb.) gibi insan kaynaklı antropojenik nedenler de yeraltısularının dolaylı yollardan kirlenmesine yol açarak, kalitesini düşüren etmenlerdir.

Günümüzde yüzey ve yeraltı suları kıyaslandığında yüzey sularının yoğun kirleticilere daha kolay maruz kaldığı ve bu nedenle özellikle içme suyu olarak kullanımı açısından, nispeten daha az kirleticiye maruz kalmasından kaynaklı yeraltısularının kullanımının artması ve dolayısıyla önem kazanmasına neden olmuştur. İçme suyu amacıyla kullanılan kaynak suları, insan sağlığını tehdit edebilecek tüm doğal ve antropojenik kökenli kirleticilerden ve kirlenmeye sebep olabilecek etkenlerden korunmalı ve uygun şartlarda kullanıma sunulmalıdır. Günümüzde yapılan pek çok araştırmada yeraltısularının da farklı kirleticiler ile kirlendiği ve kullanılamaz durumda olduğu belirtilmektedir. Bu nedenle mevcut durumda kullanımı bulunan bütün su kaynaklarının kalite değerlendirmelerinin yapılması özellikle insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır.

Yalvaç-Gelendost havzası, Türkiye'nin güneybatısında Göller Bölgesi içerisinde bulunmaktadır. Havzada hemen hemen bütün yerleşim alanlarında kaynak suları içme suyu amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kaynak sularının hidrojeokimyasal özellikleri, kalite ve sağlık risk değerlendirmelerinin yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada Yalvaç-Gelendost havzasının jeolojik, hidrojeolojik özellikleri ile havzada kullanılan kaynak sularının hidrojeokimyasal ve kalite özelliklerinin değerlendirilmiştir.

## 2. Kaynak Araştırması (Literature Survey)

İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisine yönelik çok sayıda yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından yapılmış araştırmalar bulunmaktadır (Abdüsselamoğlu, 1958; Brunn vd., 1971; Dumond ve Kerey, 1975; Demirkol, 1977). Bu çalışmalarda, otoktan Torosları oluşturan yapıların yaşı ve Batı Toroslar'daki büyük nap sistemleri tartışılarak yapısal sorunlara açıklık getirilmeye çalışılmıştır. Havzanın doğusunda bulunan Sultandağlarında gözlenen şistler ve şistlerin arasında gözlenen kuvarsit ve kireçtaşı mercerklerinin bölgede temeli oluşturduğu belirtilmiştir (Abdüsselamoğlu, 1958). Yalçınkaya vd. (1986), Antalya, Beyşehir - Hoyran ve Likya naplarının Menderes Masifinin kuzeyindeki ofiyolitlerin, Üst Kretase- Üst Paleosen'de masifin güneyine, Üst Paleosen- Alt Eosen'de Anatolid Torid platformunun güneyine aktarılmasıyla oluştuğu, bunların aynı kökenli ofiyolitler olduğu ifade edilmiştir (Yalçınkaya vd., 1986). Alloktan birimler sıkışmayla otokton birimlerin üzerine yerleşmiş ve Beydağları doğusunda alçalma, batısında yükselme gerçekleşmiştir. Bu çekme-gerilmeleri sonucu birçok horst ve graben meydana gelmekle beraber günümüze kadar varlığını sürdüren göllerin çukurluğunu oluşturmaktadır. Yalvaç- Yarikkaya Neojen havzasında havzayı dolduran ve toplam kalınlığı 800 m'ye ulaşan Neojen istif Bağkonak, Madenli, Yarikkaya, Göksöğüt ve Kırkbaş formasyonu olarak 5'e ayrılmıştır (Yağmurlu, 1991). Havzadaki Neojen öncesi birimlerin Ofiyolit karmaşığı ve çoğunlukla Ordovisiyen yaşlı meta-sedimentitler ile Triyas- Kretase yaşlı karbonat kayalardan meydana gelmiş olduğunu ve dolayısıyla yoğun bir şekilde alüvyon ve gölsel tortullardan meydana geldiğini ifade edilmiştir (Yağmurlu, 1991).

İnceleme alanında hidrojeolojik amaçlı yapılan ilk çalışma DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada yeraltısuyu taşıyan birimler Mezozoyik - Neojen kireçtaşları, Pliyosen ve Kuvaterner kum- çakıllar olarak tanımlanmıştır. Ayrıca, Hoyran, Gelendost ve Yalvaç ovaları için yeraltısuyu bilançosu hesaplanmıştır (Topçam vd., 1977). Havzada hidrojeoloji amaçlı yapılan en önemli araştırma Soysalan (2004) tarafından yapılan

doktora tezidir. Soyaslan (2004), bu çalışmasında Hoyran ve Yalvaç - Gelendost ovalarını ele alarak bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerini incelemiştir. Bölgede gözlenen alüvyon birimin serbest akifer ve kireçtaşlarının karstik akifer özellik taşıdığını öne sürmüştür. Çalışma alanı hidrojeolojik olarak iki tali havzaya ayrılmış Yalvaç-Gelendost ovasında emniyetli kullanılacak yeraltısuyu miktarı  $63.71 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  ve Hoyran ovasında  $24.93 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$  olarak tespit etmiştir. Bu çalışmada MODFLOW üç boyutlu modüler sonlu farklar matematik modeli ile yeraltısuyu akım modellemesi yapılmıştır. Modelde 2000 yılına ait hidrolojik gözlem verileri ile yeraltısuyu boşalımının Eğirdir Gölü'ne doğru olduğu ve kireçtaşlarından yıllık  $114 \times 10^6 \text{ m}^3$  beslenme olduğu hesaplanmıştır (Soyaslan, 2004).

Yalvaç-Gelendost havzasında çok sayıda yerleşim alanı bulunmaktadır. Bu alanlarda içme suyu olarak genelde kaynak suları kullanılmaktadır. Mevcut araştırma bölgede su kaynaklarının kalitesi ve kullanılabilirliğine yönelik yapılan ayrıntılı ilk araştırma olması açısından önem taşımaktadır.

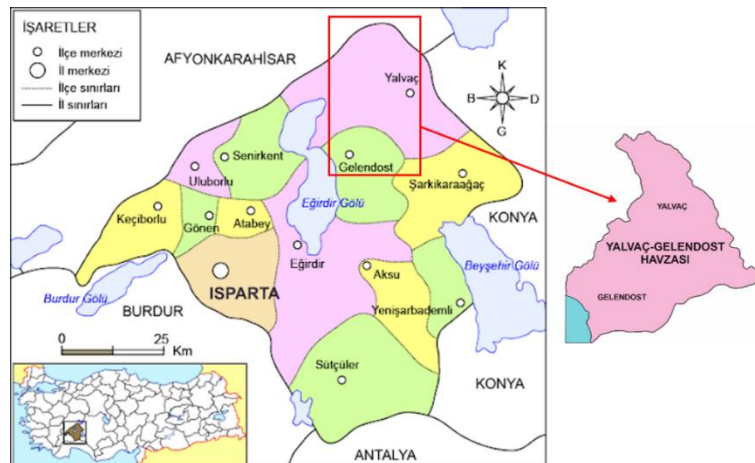
### 3. Materyal ve Yöntem (Material and Method)

#### 3.1. Çalışma Alanı (Study Area)

İnceleme alanı Isparta iline bağlı Yalvaç ve Gelendost ilçelerini kapsamaktadır (Şekil 1). Göller yöresinde bulunan Yalvaç - Gelendost havzası, Eğirdir Gölü kuzeydoğusunda  $1165 \text{ km}^2$ lik alanı kapsamaktadır. Bölgede en önemli geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. Havzaya düşen ortalama yağış miktarı 1970-2017 yılları arasında eş yağış eğrileri yöntemi ile  $490 \text{ mm}$  olarak belirlenmiştir (Batur, 2020). En sıcak aylar Temmuz ve Ağustos olup, Yalvaç ilçesinde ölçülen ortalama en yüksek sıcaklık değeri  $22,9^\circ\text{C}$ 'dir. Çalışma alanının en önemli nehri Yalvaç deresidir. Havzadaki tüm dereler Eğirdir Gölü'ne ulaşmaktadır. Kaynaklar havzadaki en önemli içme suyu kaynaklarıdır. Bu çalışmada öncelikle, bölgede yüzeleyen jeolojik birimlerin litolojik özellikleri ve stratigrafik ilişkileri önceki araştırmalar dikkate alınarak irdelenmiştir. Bölgede yüzeleyen birimlerin hidrojeolojik özellikleri araştırılarak akifer birimler tanımlanmıştır.

#### 3.2. Örnekleme ve Analiz Yöntemi (Sampling and Analysis Method)

Bu çalışmada Ekim-2019'da içme suyu olarak kullanılan kaynak ve kuyu sularından su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin alımı sırasında suların hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), toplam çözünmüş katı madde (TDS), sıcaklık (T) ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri Hanna (HI 991301) marka çok parametrelilik cihaz ile insitu ölçümleri yapılarak belirlenmiştir. Örnekleme noktalarının konumu global konumlandırma sistemi (GPS) ekipmanı ile tespit edilmiştir. Yeraltısuyu örnekleri iki polietilen şişe kullanılarak alınmıştır. Katyon analizi için numuneler  $\text{pH} < 2$  olana kadar %5'lik nitrit asit ( $\text{HNO}_3$ ) ile koruma altına alınmıştır. Anyon analizi için örnekler asitleştirilmemiştir. Su örneklerinin majör anyon içerikleri ( $\text{Cl}$ ,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{HCO}_3$ ) ve azot türevi analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma Laboratuvarında yaptırılmıştır. Major katyon (Na, Ca, Mg, K) ve iz element içerikleri Bureau Veritas (Acme-Kanada) Analitik Laboratuvar Hizmetleri Ltd. Şti. laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Suların hidrojeokimyasal özelliklerinin değerlendirilmesinde AquaChem 2014.2 yazılım programı kullanılmıştır. Suların içme suyu amacı için kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde 17/2/2005 tarihli ve 25730 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik" ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartlarından yararlanılmıştır. Ayrıca, suların sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi amacı ile Wilcox (1955) ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı (Richards, 1954) diyagramları ile Permeabilite İndeksi (Doneen, 1964) gibi farklı parametreler açısından hesaplamalar yapılmış ve yorumlanmıştır.

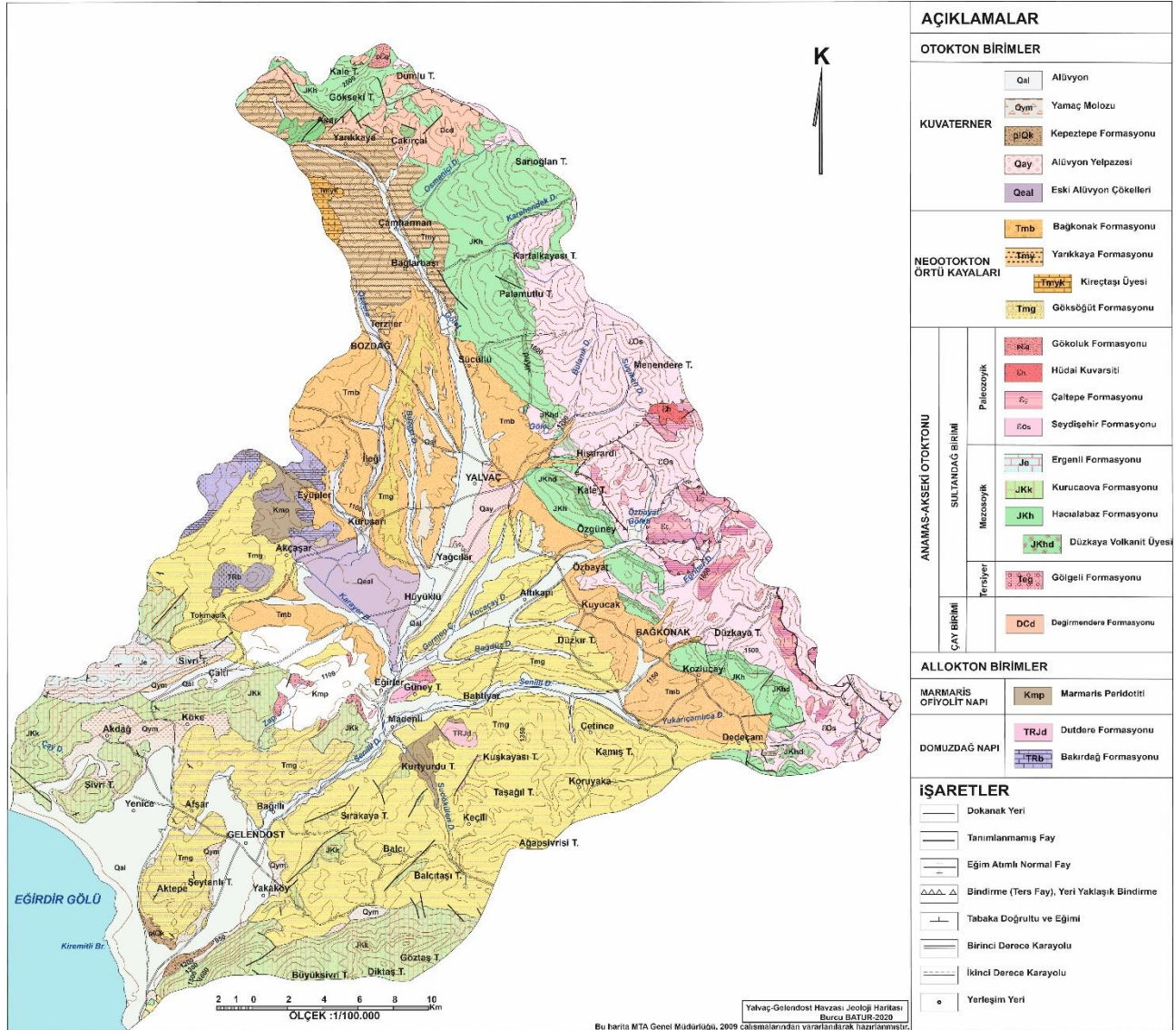


Şekil 1. İnceleme alanının yerbuldurma haritası (Location map of the study area)

## 4. Araştırma Bulguları (Research Findings)

### 4.1. İnceleme Alanının Jeolojisi (Geology of the Study Area)

İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu ve Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait birimler ile Neotokton örtü kayaları yüzylemektedir. Anamas-Akseki Otoktonu bölgede geniş alanlarda Sultandağ Birimi ve Çay Birimine ait formasyonlar ile temsil edilmektedir. Bölgede Sultandağ birimine ait Gökölük formasyonu, Hüdayi Kuvarsiti, Çaltepe, Seydişehir, Ergenli, Kurucaova, Hacılabaz ve Gölgele formasyonları gözlenmektedir. Çay birimine ait ise sadece Tersiyer yaşlı Değirmendere formasyonu yüzylemektedir. İnceleme alanında Beyşehir-Hoyran-Hadim napları Marmaris Ofiyolit napına ait Marmaris Peridotiti, Domuzdağ napına ait Dutdere ve Bakırdağ formasyonları ile temsil edilmektedir. Neotokton Örtü kayaları ise Bağkonak, Yarıkkaya, Göksöğüt ve Kepeztepe formasyonları ile yamaç molozu ve alüvyondur (Balci, 2011; Umut, 2009). İnceleme alanının jeoloji haritası MTA tarafından yapılan Afyon-L25 (Balci, 2011) ve Afyon-L26 (Umut, 2009) paftaları baz alınarak hazırlanmıştır (Şekil 2; Şekil 3).



Şekil 2. İnceleme alanının genel jeoloji haritası (Geological map of the study area)

### 4.2. İnceleme Alanının Hidrojeolojisi (Hydrogeology of the Study Area)

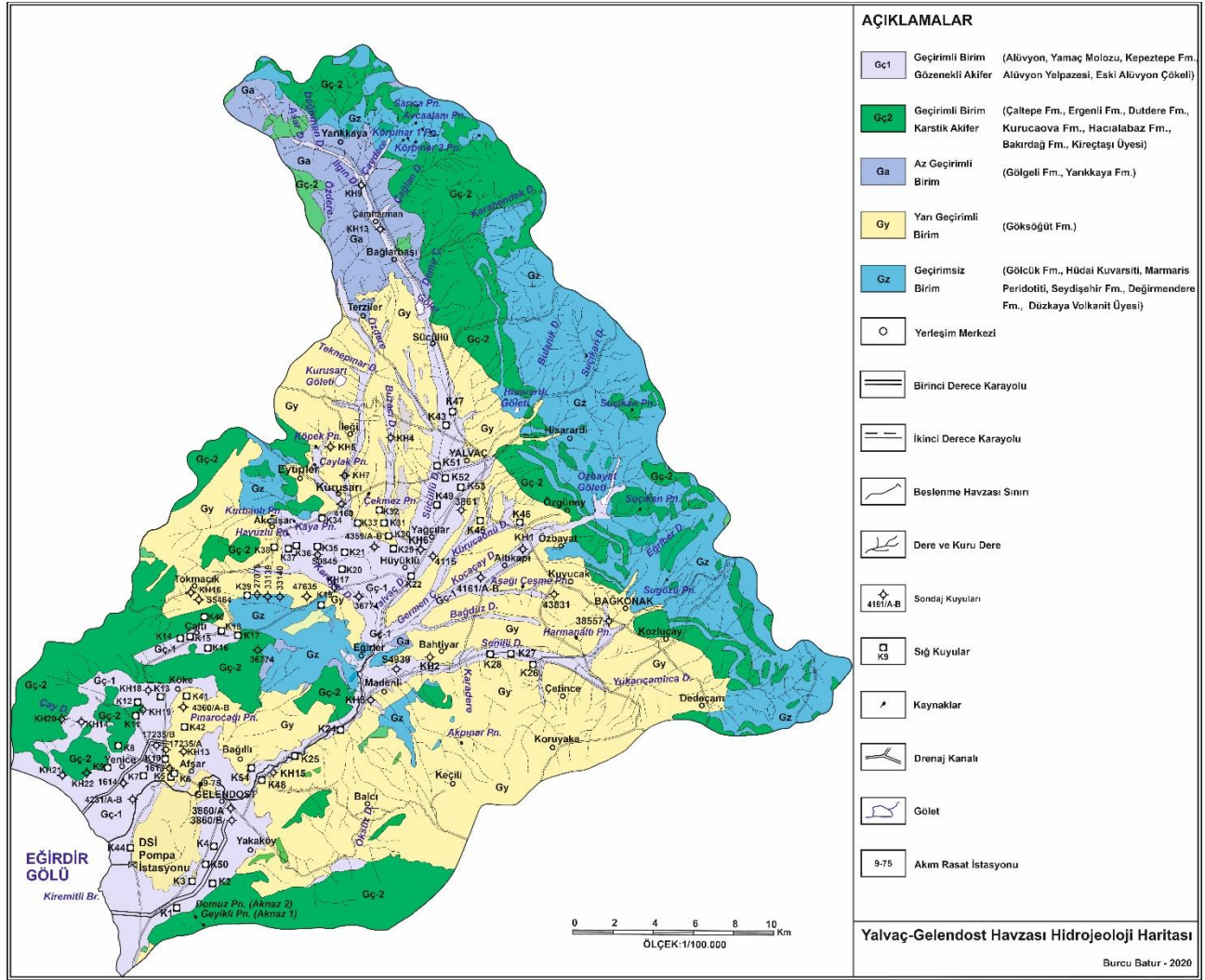
İnceleme alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak yeniden değerlendirilmiş ve hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Alanda yüzeyleyen litolojik birimler; suyu taşıma ve iletme özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler olmak üzere ayrılmış ve haritalanmıştır. İnceleme alanında yüzeyleyen hidrostratigrafik birimler aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmıştır (Şekil 4).

Üst Sistem	Sistem		Formasyon	Bölge	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	Sistem	Seri				
SENOZOYİK	KUVATERNER	PLİYO-KUVATERNER	Alıvyan Yamaç M.	pİOk		Gevşek tutturulmuş, tutturulmamış kil, kum, çakıl
			Alıvyan Y. Eski Alıvyan Çökeli			UYUMSUZLUK
	MIYOSEN	ÜST	Göksöğüt Formasyonu	Tmg		Eski yamaç molozu ve akarsu çökelleri
			Yarıkkaya Formasyonu	Tmyk		UYUMSUZLUK
	ORTA	Kireçtaşı Üyesi	Kireçtaşı Üyesi	Tmb		Kumtaşı, kilitaşı, marn, killi kireçtaşı, vb.
			Bağkonak Formasyonu	Tmb		GEÇİŞLİ
	JURA	ORTA	Dutdere Formasyonu	Tr-Jd		Kireçtaşı, marn
			LİYAS	Tr-Jd		GEÇİŞLİ
	TRİYAS	ORTA-ÜST	Bakırdağ Formasyonu	Trb		Kilitaşı, marn, kumtaşı, çakilitaşı, linyit, vb.
			Peridotidli Formasyonu	Trb		GEÇİŞLİ
KRETASE	Marmaris Peridotidli Formasyonu	Kmp		Kırmızı renkli çakilitaşı, kumtaşı		
		Harzburjit, dunit, serpantin, vb.				
DEVONİYEN KARBONİFER	Değirmendere Formasyonu	DCd		UYUMSUZLUK		
		Sleyt, şist, dolomit, kuvarsit, rekristalize kireçtaşı				
MESOZOYİK	PALEOJEN	PALEOSEN	Göğeli Formasyonu	Teg		Konglomera, kumtaşı, vb.
						UYUMSUZLUK
	KRETASE	ALT	Ergenli Formasyonu	Je		JKk- Neritik kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit
						Je- Ooliti, algli kireçtaşı, dolomit
	JURA	DOĞGER	Hacıalabaz Formasyonu	JKh		JKhd- Düzkaşa üyesi; Spilit, bazalt, diyabaz
						JKh- kireçtaşı, dolomit, dolomitik kireçtaşı
	ORTA LİYAS	Kurucuoşa Formasyonu	JKk		UYUMSUZLUK	
					Şist, kuvarsit, dolomit, metakumtaşı, metaşeyli, metaçakilitaşı, yumrulu-rekristalize kireçtaşı	
	ORDOVİSİYEN	ALT	Seydişehir Formasyonu	EOs		GEÇİŞLİ
						Rekristalize kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, dolomit
KAMBRIYEN	Orta	Çaltepe Formasyonu	Eç		Kuvarsit	
					Rekristalize kireçtaşı, yumrulu kireçtaşı, dolomit	
PREKAMBRIYEN	Alt	Hüddai Kuvarsitli Formasyonu	Eh		Kuvarsit	
					Şist, kuvarsit, kayrak	

Şekil 3. İnceleme alanı stratigrafik kolon kesiti-ölçeksizdir (Stratigraphic column section of the study area - no scale)

#### 4.2.1. Geçirimli Birim-Gözenekli akifer (Permeable Unit- Porous aquifer)

Benzer litolojilerden oluşan alüvyon, alüvyon yelpazesi, eski alüvyon çökelleri, yamaç molozu ve Kepeztepe formasyonu geçirimli birim olarak adlandırılmıştır. Bu birimler Eğirdir Gölü kıyısında, Gelendost ve Yalvaç ova düzlüklerinde ve dere yataklarında gözlenmektedir. İnceleme alanında alüvyon birim içerisinde açılmış çok sayıda kuyu bulunmaktadır. Bu kuyularda çakıl ve kum seviyelerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgesel olarak (Akçaşar, Tokmacık, Yalvaç güneyi) kalın kil seviyelerine rastlanmaktadır. İnceleme alanında alüvyon önemli miktarda yeraltısuyu potansiyeline sahip gözenekli akifer özelliği taşımaktadır ve inceleme alanında en önemli akiferdir (Batur, 2020).



Şekil 4. İnceleme alanının hidrojeoloji haritası (Hydrogeological map of the study area)

#### 4.2.2. Geçirimli Birim-Karstik akifer (Permeable Unit- Karstic aquifer)

İnceleme alanında kireçtaşlarından oluşan Çaltepe, Ergenli, Kurucaova, Hacialabaz, Dutedere ve Bakırdağ formasyonları ile Yarıkkaya formasyonunun kireçtaşı üyesi aynı grup içerisinde ele alınmıştır. Kireçtaşları kırık, çatlak ve erime boşluklu yapılarından dolayı karstik akifer özelliği taşımaktadır. İnceleme alanında Gelendost Ovası ve Tokmacık, Çaltı ve Akçaşar köyleri civarında alüvyon tabanında bulunan kireçtaşlarından yeraltısuyu alınmaktadır. Soyaslan (2004) tarafından yapılan doktora tezinde kireçtaşı akiferinden Eğirdir Gölü'ne yeraltısuyu boşalımı olduğu belirtilmiştir. İnceleme alanında kireçtaşları önemli yeraltısuyu potansiyeline sahip karstik akifer özelliği taşımaktadır.

#### 4.2.3. Yarı Geçirimli Birim (Semipermeable Unit)

Yalvaç, Gelendost ilçeleri ve çevresinde geniş alanlarda yüzeyleyen Göksöğüt ve Bağkonak formasyonları Yarı Geçirimli Birim olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanında kumtaşı, kıltaşı, marn, killi kireçtaşı ile gözenekli travertenimsi kireçtaşı litolojilerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile çakıltaşı ve kumtaşı birimlerinden oluşan

Bağkonak formasyonlarından boşalan çok sayıda kaynak bulunmaktadır. Formasyonlar içerisindeki kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri bol kırık çatlaklı ve ikincil gözenekliliğe sahiptir. Çakıltaşları erime boşlukludur. Bu seviyeler yer yer kaynak boşalmaları oluşturmuştur. Formasyonlar içerisindeki kiltası, marn ve çamurtaşı seviyeleri ise birimlerin akifer olma kapasitesini kısıtlamaktadır.

#### 4.2.4. Az Geçirimli Birim (Slight-permeable Unit)

İnceleme alanında Gelendost ilçesi kuzeyinde küçük alanlarda görülen Gölge formasyonu ile Yalvaç ilçesi kuzeybatısında yüzeyleyen Yarikkaya formasyonları Az Geçirimli birim olarak adlandırılmıştır. Gölge formasyonu kumtaşı, kiltası, silttaşı ve marnlardan, Yarikkaya formasyonu ise kiltası, çamurtaşı, marn ve yersel çakıltaşından oluşmaktadır. Formasyonlar içerisindeki marn, kiltası, çamurtaşı ve silttaşı seviyeleri birimlerin su depolama ve iletme özelliğini azaltmaktadır. Kumtaşı ve çakıltaşı seviyelerinde ise kırık-çatlak durumları, kalınlık ve yayılımları oranında bir miktar yeraltısuyu bulunabilmektedir. İnceleme alanında bu birimlerden boşalan kaynak suyu bulunmamaktadır.

#### 4.2.5. Geçirimsiz Birim (Impermeable Unit)

İnceleme alanında benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Gökölük, Seydişehir ve Değirmendere formasyonları ile Hüda kuvarsiti, Marmaris peridotiti ve Düzkaya volkanit üyesi geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir. Seydişehir formasyonu ve Gökölük formasyonu içerisindeki rekristalize kireçtaşı ve mermer seviyeleri az miktarda yeraltısuyu içerebilmektedir. Ancak, birimlerin metamorfizma geçirmesi geçirimsiz özellik taşımalarına neden olmaktadır. İnceleme alanının doğusunda bulunan kaynakların çoğunluğu Hacılabaz formasyonu-Seydişehir formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Bu kaynak çıkış bölgelerinde Seydişehir formasyonu karstik kireçtaşının altında geçirimsiz tabanı oluşturmaktadır. Peridotit ve kuvarsit seviyeleri de kırıklı-çatlaklarında bir miktar yeraltısuyu bulundurmaktadır. Ancak, bölgede bu birimlerin yayılımları ve kırık-çatlak seviyeleri düşük olduğundan geçirimsiz birim olarak kabul edilmiştir.

#### 4.2.6. Su noktaları (Water points)

İnceleme alanında alüvyon ortamda açılmış çok sayıda sığ ve keson kuyu bulunmaktadır. Sığ kuyuların derinlikleri 5-15 m arasındadır. Bu kuyularda ölçülen yeraltısuyu seviyesi 1-11m arasında değişmektedir (Soyaslan, 2004). Yalvaç ovasında yer alan sondaj kuyuların derinlikleri 14-199.5 m, yeraltısuyu derinlikleri 1.0- 21.60 m, debileri ise 1- 20 l/s civarındadır. Gelendost ovasında bulunan sondaj kuyuların derinlikleri 21-225 m, yeraltısuyu derinlikleri 0.15- 51.2 m, debileri ise 0.2- 63.2 l/s civarındadır (Soyaslan, 2004). Gelendost güneyinde açılan en derin kuyu 197.5 m olup kuyuda tamamen alüvyon birim kesilmiştir. Gelendost kuzeybatısı ve batısında açılan kuyularda alüvyon tabanında kireçtaşı birimine girilmiştir. Yalvaç çevresinde açılan kuyularda ise alüvyon tabanında kireçtaşı, marn, serpantin, ofiyolit ve konglomera birimleri gözlenmektedir (Batur, 2020).

İnceleme alanında çok sayıda kaynak boşalmalarına rastlanmaktadır. Bu kaynaklardan en önemlisi Yalvaç ilçesi içme suyu ihtiyacının karşılandığı Yalvaç Suçikan kaynağıdır. Kaynak, Yalvaç ilçesinin kuzeydoğusunda Seydişehir formasyonunda Çaltepe formasyonu ve bindirme düzlemi ile ilişkili olarak boşalmaktadır. (Batur, 2020). Kaynağın debisi yaklaşık olarak 70-85 l/s arasındadır (Soyaslan, 2004). Yalvaç ilçesi kuzeyinde kurulmuş olan Pisidia antik kentinin su ihtiyacı, Suçikan pınarından alınan suyun yaklaşık olarak 10 km uzunluğundaki su yolu kullanılarak kente getirilmesi ile karşılanmıştır. Bu su yolunun kalıntıları Pisidia antik kentinde gözlenmektedir. Bölgedeki diğer önemli kaynak ise Bağkonak köyünün kuzeydoğusunda yer alan Sugözü kaynağıdır. Kaynak Seydişehir ve Hacılabaz formasyonları dokanağından boşalmaktadır. Sürekli akışa sahip olan kaynağın debisi 50-73 l/s olarak tespit edilmiştir (Soyaslan, 2004). Özbayat Suçikan kaynağı, Özbayat köyü doğusunda, Seydişehir ve Çaltepe formasyonu dokanağından boşalmaktadır. Kaynak suları Özbayat ve Özgüney köylerinin içme suyu ihtiyacının karşılanması için kullanılmaktadır. İnceleme alanında Hacılabaz kireçtaşı, Göksöğüt, Kurucaova ve Bağkonak formasyonlarından boşalan çok sayıda kaynak bulunmaktadır.

### 4.3. Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal Özellikleri (Hydrogeochemical Properties of Water Resources)

Bu çalışma kapsamında Ekim-2019 döneminde su örnekleri alınmıştır. Su örneklerinin majör iyon içerikleri Tablo 1'de verilmiştir. İnceleme alanında su kaynaklarının pH değeri 7.59-8.89 arasında olup "Bazik karakterli" olarak tanımlanmıştır. Kaynak sularının EC değeri 230-420  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , kuyu sularının 310-660  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. İnceleme alanında yeraltısularının sertliği kaynak sularında 11.51-27.15  $\text{Fr}^0$ , kuyu sularında ise 12.7-17.6  $\text{Fr}^0$  olarak hesaplanmıştır. Sular sertlik derecesine göre Yumuşak- Az sert arasında sınıflandırılmaktadır.

**Tablo 1.** Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Hydrogeochemical properties of groundwater)

Örnek No	Na <sup>+</sup> (mg/l)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Ca <sup>++</sup> (mg/l)	Mg <sup>++</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	Sertlik Fr°	EC $\mu$ S/cm	pH	T °C	TDS	Su Sınıfı
YG-1*	3.35	0.90	54.32	19.99	6.74	6.40	262.3	21.77	320	8.01	12.8	160	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-2*	1.65	2.02	61.34	20.68	1.30	4.93	323.3	23.81	380	8.11	16.7	190	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-3*	3.14	0.72	44.96	17.29	2.23	6.92	244	18.33	310	7.86	17.6	150	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-4	2.37	1.20	46.36	28.86	1.71	7.25	305	23.42	350	7.91	13.4	160	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
YG-5	2.95	0.34	44.95	10.75	4.83	4.98	231.8	15.64	280	7.59	14.1	140	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-6	4.92	0.54	48.13	18.49	1.89	24.51	292.8	19.61	340	7.93	12.8	160	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-7	2.01	0.22	28.83	14.57	0.64	23.80	158.6	13.18	240	8.60	12.7	120	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-8	1.49	0.24	24.56	13.10	0.80	3.11	183	11.51	290	8.89	13	100	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-9	1.90	0.23	29.29	14.43	0.84	3.32	158.6	13.24	230	8.73	12.6	110	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-10*	16.42	1.04	124.50	20.72	27.20	40.63	445.3	39.58	660	8.01	15.7	330	Ca-HCO <sub>3</sub>
YG-11*	27.85	1.76	90.94	23.61	23.46	31.60	414.8	32.40	600	7.91	15.1	300	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
YG-12*	10.15	0.67	48.33	42.16	7.46	23.35	353.8	29.39	520	8.69	12.7	260	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
YG-13	3.67	1.44	99.34	5.76	2.60	3.32	335.5	27.15	420	8.27	15.7	210	Ca-HCO <sub>3</sub>
YG-14	11.64	1.48	37.25	26.56	5.47	5.81	292.8	20.21	360	8.88	19.6	180	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
YG-15	3.71	0.78	58.66	16.54	2.29	7.53	286.7	21.44	340	8.53	17.5	170	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>

\*Kuyudan alınan örnekleri göstermektedir

#### 4.3.1. Major iyon içerikleri (Major ion contents)

Su örneklerinin majör iyon içerikleri kullanılarak hazırlanan dairesel diyagramlar ile hidrojeokimya haritası oluşturulmuştur (Şekil 5). İnceleme alanında kaynak ve kuyu sularından alınan örneklerin sodyum içerikleri 1.49 – 27.85 mg/l arasında değişmekte olup yüksek sodyum içerikleri kuyu sularından elde edilmiştir (Tablo 1). Kuyu sularındaki Na artışı Göksöğüt ve Bağkonak formasyonları ile ilişkilidir.

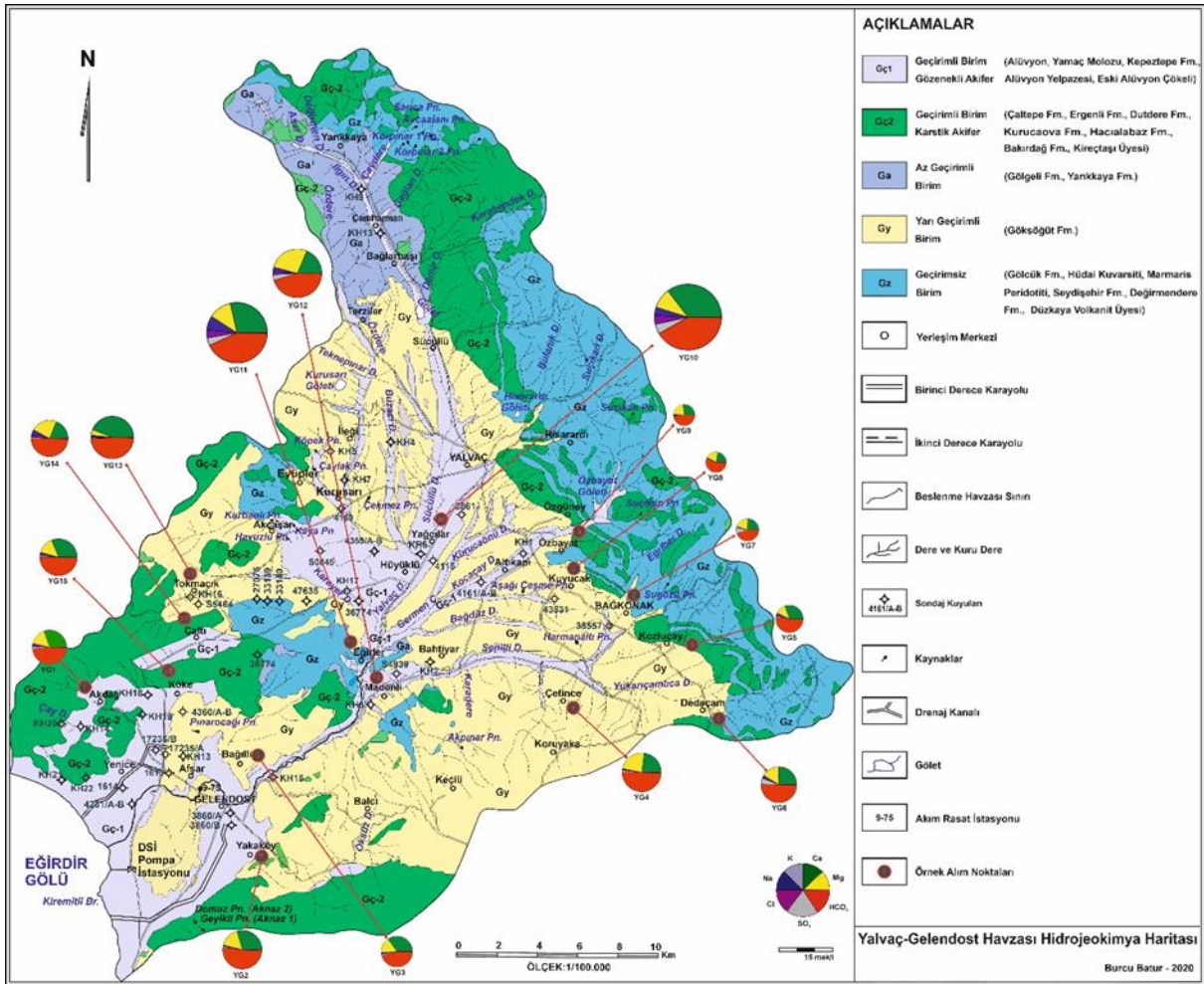
Su örneklerinin Ca içerikleri kaynak sularında 24.56-99.34 mg/l, kuyu sularında ise 44.96-124.50 mg/l değerleri arasında değişmektedir (Tablo 1). Kuyu sularındaki kalsiyum artışı dolaşım süresinin uzunluğuna bağlı olarak artmaktadır. Suların Mg içerikleri kaynak sularında 5.76-28.86 mg/l, kuyu sularında ise 17.29-42.16 mg/l değerleri arasındadır. K değerleri ise 0.22-2.22 mg/l arasındadır. İnceleme alanındaki yeraltısularında CO<sub>3</sub> içeriği tespit edilememiştir. Baskın iyon HCO<sub>3</sub>'dür. Bölgede kaynak ve kuyu sularının HCO<sub>3</sub> içeriği 158.6-445.3 mg/l arasında değişmektedir. Kuyu suları kaynak sularına göre daha yüksek HCO<sub>3</sub> içeriğine sahiptir.

İnceleme alanında su örneklerine ait 9 parametre için korelasyon analizi Aquachem 2014.2 programı kullanılarak yapılmıştır (Tablo2). Su örneklerinin Elektriksel iletkenlik (EC- $\mu$ S/cm) değeri ile Ca, K ve HCO<sub>3</sub> içerikleri arasında güçlü pozitif korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca, HCO<sub>3</sub> ile Ca ve K iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon, Na-Cl iyonları arasında güçlü pozitif korelasyon bulunmaktadır. HCO<sub>3</sub> ve K iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon, suların kimyasal yapısını denetleyen unsurların silikat ayrışması ile ilişkili olduğunun göstermektedir. HCO<sub>3</sub> ve Ca iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon ise karbonat çözünürlüğü ile ilişkilidir. Ca ile Na, K ve Cl iyonları arasında ve Mg-SO<sub>4</sub> arasında orta düzeyde korelasyon bulunmaktadır. Bu durum iyonik mobilizasyon sırasında benzer kaynak ve/veya jeokimyasal davranışı yansıtmaktadır. Na ile HCO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> arasında yine orta seviyede korelasyon bulunmaktadır. (Batur, 2020).

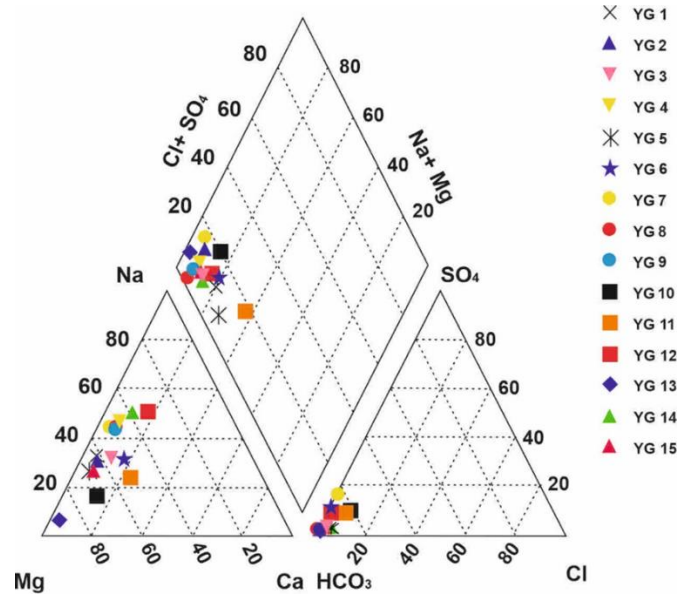
**Tablo 2.** Major iyonların Spearman Rank korelasyon analizi (Spearman Rank correlation analysis of major ions)

	pH	EC	Ca	Mg	Na	K	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>
pH	1	-0.106	-0.456	-0.09	-0.18	-0.220	-0.214	-0.288	-0.356
EC		1	<b>0.732</b>	0.617	0.696	<b>0.774</b>	<b>0.988</b>	0.687	0.427
Ca			1	0.212	0.503	0.665	<b>0.756</b>	0.610	0.350
Mg				1	0.490	0.482	0.614	0.411	0.563
Na					1	0.415	0.688	<b>0.862</b>	0.661
K						1	<b>0.754</b>	0.479	0.083
HCO <sub>3</sub>							1	0.686	0.454
Cl								1	0.44
SO <sub>4</sub>									1





Şekil 5. Hidrojeokimya haritası (Hydrogeochemistry map)



Hidrolojik sistemlerde su çözeltilerinin kimyasal karakteri, su bileşimlerinin tanımlanabilir kategorilere göre uygun alt bölümlere ayrılmasını sağlayan ve kayalar içindeki mineraller ve yeraltı suyu arasında meydana gelen kimyasal süreçlerin etkilerini yansıtan hidrojeokimyasal fasiyes kavramı ile belirlenebilmektedir (Back, 1966). Suların hidrojeokimyasal fasiyeslerinin belirlenmesinde yaygın olarak Piper diyagramı kullanılmaktadır. Piper diyagramına göre, inceleme alanındaki bütün kuyu ve kaynak suyu örnekleri genel olarak benzer yapıya sahiptir. Bu örnekler alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin ( $\text{CO}_3+\text{HCO}_3$ ) güçlü asit köklerinden ( $\text{SO}_4+\text{Cl}$ ) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları

temsil etmektedir. İnceleme alanında yeraltısularının büyük bir çoğunluğu Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir (Şekil 6). YG4, YG12 ve YG14 nolu örnekler Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>'lü su sınıfında, YG10 ve YG13 nolu örnekler Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfındadır. Madenli (YG12) ve Çaltı (YG14) örneklerindeki Mg artışı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Kurucaova formasyonu ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Çetince (YG4) kaynak suyundaki Mg artışı ise çakıltaşı, kumtaşı, kiltası ve marn birimlerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile ilişkilidir.

#### 4.3.2. Azot türevleri (Nitrogen derivatives)

Tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan başlıca kirletici olan azot yeraltısuyunda çoğunlukla nitrat (NO<sub>3</sub>) şeklinde bulunur. Azot sularında amonyum (NH<sub>4</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>), azot (N<sub>2</sub>), azot oksit (N<sub>2</sub>O) çözülmüş azot ve organik azot şeklinde de bulunabilmektedir (Uslu ve Türkman, 1987). Yeraltısuyunda nitratin başlıca kaynağı tarımsal faaliyetler olup magmatik ve tortul kayalardan da nitrat gelebilir. Sularında 5-10 mg/l'nin üzerinde NO<sub>3</sub> varlığı suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirletildiğini göstermektedir. İçme suyu standartlarına göre (TS266, 2005; WHO, 2006, 2011) 50 mg/l NO<sub>3</sub> için limit değer olarak verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin nitrat içerikleri 0.73-40.63 mg/l arasında olup sınır değeri aşmamaktadır. Suların nitrit içerikleri <0.01 mg/l, amonyum içerikleri ise <0.06 mg/l olarak belirlenmiştir (Tablo 2).

#### 4.3.4. İz elementler (Trace elements)

Ağır metaller, geçiş elementleri veya iz elementler doğal sulara izlenen üçüncül elementlerdir. Bu elementler kaya-su etkileşimine bağlı olarak veya atıklar, tarımsal faaliyetler gibi antropojenik etkenlerle yeraltısularında bulunurlar. Ağır metallerin yüksek içerikleri içme suyu olarak kullanımda önemli sağlık problemlerinde neden olabilmektedir. Bu nedenle içme suyu standartlarında ağır metaller için limit değerler önerilmiştir. Bu çalışmada su örneklerinin bazı ağır metal içerikleri Tablo 2'de verilmiştir. İnceleme alanında yeraltısularının As konsantrasyonu 1.9-6.9 µg/l arasında değişmektedir. İnceleme alanında As artışının kaynak suları için kaya-su etkileşimi, kuyu suları için ise tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Su örneklerinin B içerikleri 5-43 µg/l arasında, Ba içerikleri 18.7-490.97 µg/l arasında, Cr içerikleri 0.6-6.3 µg/l arasında, Cu içerikleri 0.3-12.3 µg/l arasında, Mn içerikleri <0.05-4.96 µg/l arasında, Pb içerikleri <0.02-0.9 µg/l arasında ve Zn içerikleri 0.7-27.9 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** İnceleme alanında yeraltısularının ağır metal, azot türevleri ve F analiz sonuçları (Heavy metal, nitrogen derivatives and F analysis results of groundwater in the study area)

Örnek No	NO <sub>3</sub> mg/l	NO <sub>2</sub> mg/l	NH <sub>4</sub> mg/l	F mg/l	As µg/l	B µg/l	Ba µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Mn µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l
YG-1*	3.86	0.01	0.06	0.07	6.9	10	50.7	2	12.3	2.03	0.9	27.9
YG-2*	4.95	0.01	0.06	0.2	4.7	8	225.06	0.8	4.4	<0.05	0.3	5.4
YG-3*	2.61	0.01	0.06	0.08	5.1	13	84.11	1	3.9	<0.05	0.6	7.4
YG-4	5.13	0.01	0.06	0.17	6.9	11	177.37	0.6	0.5	1.72	<0.02	1
YG-5	2.1	0.01	0.06	0.03	6.9	5	154.3	0.7	0.7	0.5	<0.02	1.3
YG-6	0.73	0.01	0.06	0.09	4.0	11	50.41	0.7	0.5	4.96	<0.02	0.9
YG-7	1.36	0.01	0.06	0.02	4.2	5	59.62	0.7	0.3	0.22	<0.02	0.7
YG-8	2.37	0.01	0.06	0.03	3	5	18.7	0.7	2.2	<0.05	<0.02	7.8
YG-9	2.21	0.01	0.06	0.02	1.9	5	33.45	0.7	1.7	<0.05	<0.02	2.2
YG-10*	41.3	0.01	0.06	3.5	4.3	34	185.75	1.3	3	0.13	0.3	7.7
YG-11*	6.93	0.01	0.06	0.63	6.8	35	208.72	1.7	3.8	0.33	<0.02	4
YG-12*	8.65	0.01	0.06	0.4	2.7	43	85.99	6.3	2	0.31	<0.02	4.7
YG-13	14.14	0.01	0.06	0.02	3.2	5	490.97	0.9	8	0.32	0.4	11.9
YG-14	7.32	0.01	0.06	0.09	5.1	43	280.12	3.3	10.8	0.32	0.4	17.2
YG-15	5.53	0.01	0.06	0.01	5.7	5	94.3	1.9	3.9	0.08	0.4	5.2
TS266, 2005	50	0.50	0.50	1.5	10	1000		50	2000	50	10	--
WHO, 2006, 2011	50	3	--	1.5	10	2400	700	50	2000	50	10	5000

\*Kuyudan alınan örnekleri göstermektedir.

#### 4.4. Suların Kullanılabilirlik ve Kalite Özellikleri (Usability and Quality Properties of Waters)

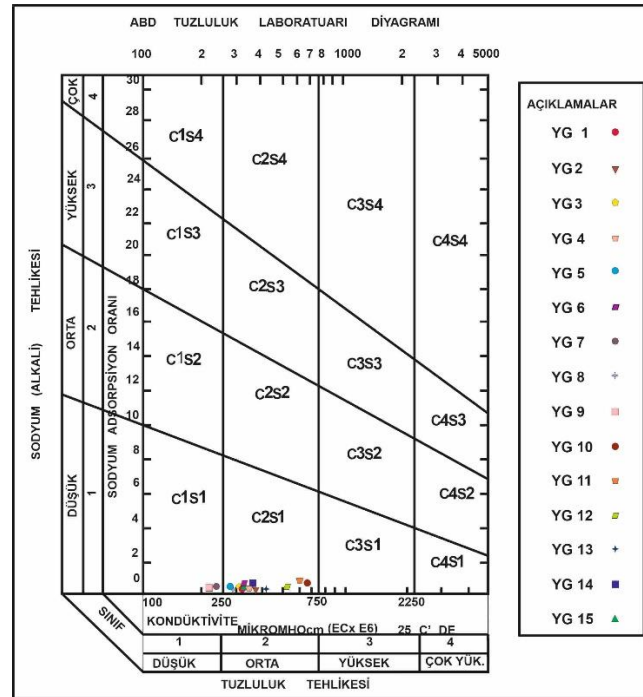
İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde elde edilen kimyasal parametreler öncelikle Türkiye İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği (TS266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006,

2011) standartları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1, 2). Bu değerlendirmelere göre, havzada kaynak ve kuyu sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri, anyon-kasyon, azot türevleri ve ağır metal içeriklerinin TS266 (2005) ve WHO (2006, 2011) sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Ancak, özellikle As elementi için yapılan araştırmalarda sınır değere yakın As içeriğine sahip suların uzun süreli kullanımı ile ilgili sağlık problemlerinin oluşabileceğine ilişkin veriler elde edilmiştir (Nichols vd., 1998; Wang ve Mulligan, 2006; Wu, vd., 2009).

TS266 (2005) ve WHO (2011) içme suyu standartlarında F için verilen limit değer 1.50 mg/l'dir. İnceleme alanındaki yeraltısularında F içeriği 0.01-3.5 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 2). F için içme suyu limit değeri Yağcılar köyünden alınan kuyu suyu (YG10) örneğinde aşılmıştır. Bu kuyuda alüvyon ve Göksöğüt formasyonu kesilmiştir. Kuyudaki F artışı Göksöğüt formasyonunu oluşturan kumtaşları ile ilişkili olabilir. Ayrıca, tarımsal faaliyet kaynaklı antropojenik etkenler de söz konusudur. İçme suyu ile yüksek oranda F almı dış florozu, iskelet florozu, bağların kalsifikasyonu, dişlerin benekenmesi ve kemiklerin deformasyonu gibi sağlık problemleri yaratabilir (WHO 2011; Narsimha ve Rajitha, 2018).

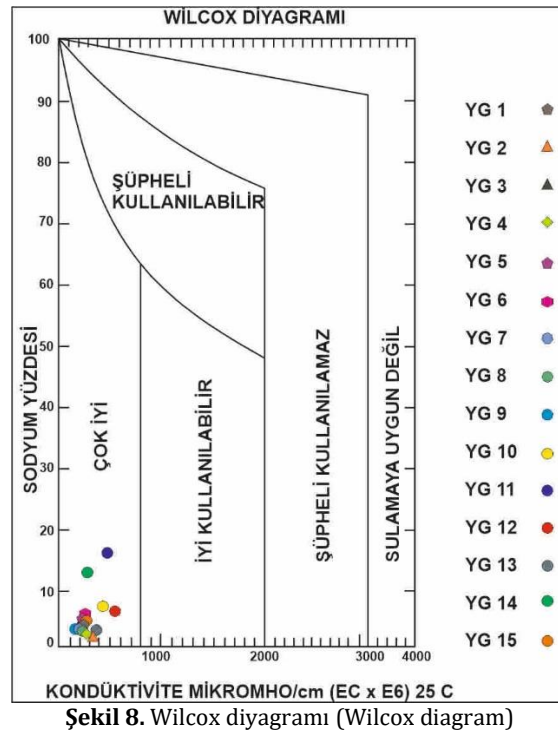
İnceleme alanında yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Geçirgenlik İndeksi (PI), Magnezyum Tehlikesi (MT) ve Kelly Oranı (KR) değerleri kullanılmıştır.

Suların sulama suyu kullanılabilirliği için genel olarak kullanılan diyagramlardan biri ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramıdır. İnceleme alanından alınan su örnekleri ABD tuzluluk diyagramına göre YG-7 ve YG-9 nolu örnekleri hariç 'C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>' (az sodyumlu ve orta tuzlulukta sular) sınıfında yer almaktadır (Şekil 7). YG-7 ve YG-9 nolu örnekleri 'C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>' (az sodyumlu ve az tuzlu sular) sınıfındadır. Havzadan alınan su örnekleri Wilcox diyagramına göre "çok iyi kullanılabilir sular" sınıfında yer almaktadır (Şekil 8).



Şekil 7. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (U.S. Salinity Laboratory Diagram)

Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanım için yararlanılan önemli ölçütlerden biridir. İnceleme alanında yeraltısularının SAR değeri 0.05-0.67 arasında değişmektedir (Tablo 3, 4) ve 'çok iyi özellikte sulama suyu' sınıfındadır. Sodyumun fazlalığı toprağın yapısını bozarak geçirgenliğini azaltır ve toprak yüzeyinde sert bir tabaka oluşmasına neden olur. Sodyum fazlalığı bitkiler için de zehirli bir ortam oluşturur. İnceleme alanında % Na değeri 1.47-15.65 arasında değişmektedir (Tablo 3). Sularda Na artışı kil mineralleri ile ilişkilidir.



Şekil 8. Wilcox diyagramı (Wilcox diagram)

Toprak infiltrasyon oranı sorununun tahmini için kullanılan parametrelerden biri Artıksal (Kalıcı) Sodyum Karbonat (RSC) (Eaton, 1950; Richards, 1954) değeridir. Negatif (-) RSC değeri, ortamda sodyum zararı oluşabilme olasılığının olmadığı şeklinde tanımlanmaktadır. İnceleme alanında YG1, YG7, YG9, YG10 ve YG12 örnekleri dışında tüm örneklerin RSC değerleri pozitifdir. Bu durumda inceleme alanında yeraltı sularında sodyum zararı oluşturabilecek potansiyel  $\text{CO}_3$  ve  $\text{HCO}_3$  iyonu varlığını göstermektedir. Ayrıca, RSC değerine göre yapılan sınıflamada ise sular yeraltı suları “çok iyi kaliteye sahip I. Sınıflar” sınıfındadır (Tablo 3; Tablo 4). Geçirgenlik indisi (PI) değeri sulama suyu değerlendirmesi için önemli bir parametredir. İnceleme alanında suların PI değerleri % 39.77-75.88 arasında değişmektedir Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltı suları genel olarak II. sınıf suları temsil etmekte ve iyi sulama sularıdır (Tablo 3; Tablo 4). İnceleme alanında yeraltı sularının Magnezyum Tehlikesi (MT) değerleri %21.52 ile 50.64 arasında değişmektedir (Tablo 3). MT değeri YG12 ve YG14 örneklerinde 50’den büyüktür. Bu örnekler dışındaki bütün su örnekleri MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişlidir (Tablo 4). Kelly oranı (KR) Kelley (1963) tarafından sulama suyu değerlendirilmesi için önerilmiştir. İnceleme alanında suların KR değerleri 0.02-0.19 arasında olup sulama suyu için uygundur (Tablo 3, 4).

Tablo 3. Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler (Parameters used in irrigation water classification)

Örnek No	SAR	%Na	RCS	PI	MT	KR
YG-1*	0.10	3.22	-0.06	49.31	37.75	0.03
YG-2*	0.05	1.47	0.54	49.11	35.72	0.02
YG-3*	0.10	3.57	0.33	56.19	38.79	0.04
YG-4	0.07	2.14	0.31	48.83	50.64	0.02
YG-5	0.10	3.93	0.67	63.81	28.27	0.04
YG-6	0.15	5.15	0.88	58.13	38.77	0.05
YG-7	0.08	3.20	-0.04	62.39	45.44	0.03
YG-8	0.06	2.73	0.70	75.88	46.78	0.03
YG-9	0.07	3.02	-0.05	62.06	44.81	0.03
YG-10*	0.36	8.25	-0.62	39.57	21.52	0.09
YG-11*	0.67	15.65	0.32	49.65	29.97	0.19
YG-12*	0.26	6.96	-0.08	45.08	58.98	0.08
YG-13	0.10	2.84	0.07	44.80	8.72	0.03
YG-14	0.36	11.03	0.76	59.28	54.02	0.13
YG-15	0.11	3.61	0.41	52.35	31.73	0.04

**Tablo 4.** Sulama suyu sınıflamasında kullanılan parametreler (Parameters used in irrigation water classification)

Parametre	Sembol	Birim	Kaynaklar	Formül	Oranlar	Su sınıfı
Sodyum Adsorpsiyon Oranı	SAR	mek/l	Todd, 1980 Richards, 1954	$SAR = \frac{rNa}{\sqrt{\frac{rCa+rMg}{2}}}$	<10 10- 18 18- 26 > 26	Çok iyi özellikte sulama suları İyi özellikte sulama suları Orta özellikte sulama suları Kötü özellikte sulama suları
Sodyum Yüzdesi	% Na	mek/l	Wilcox, 1955	$\%Na = 100 * \left( \frac{rNa}{rNa + rCa + rMg + rK} \right)$	0-20 20-40 40-60 60-80 >80	Mükemmel İyi İzin verilebilir Şüpheli Uygun değil
Artıksal sodyum karbonat	RSC	mek/l	Eaton, 1950 Richards, 1954 Raghunath, 1987	$RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg)$	< 1.25 1.25-2.5 > 2.5	Çok iyi-I. Sınıf su İyi-II. Sınıf su Kullanılabilir-III. Sınıf su
Geçirgenlik indeksi	PI	mek/l	Doneen, 1964 Raghunath, 1987	$PI = 100 * \frac{rNa + r\sqrt{HCO_3}}{r(Na + rCa + rMg)}$	>%25 %25-75 <%75	I. sınıf II. sınıf III. sınıf
Magnezyum Tehlikesi	MT	mek/l	Raghunath, 1987	$MT = 100 * \left( \frac{rMg}{rMg + rCa} \right)$	<50 >50	Uygun Uygun değil
Kelly oranı	KR	mek/l	Kelly, 1963	$KR = \frac{rNa}{rCa + rMg}$	<1 1-2	Uygun Uygun değil

## 5. Sonuç ve Tartışma (Result and Discussion)

İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu ve Beyşehir-Hoyran-Hadim naplarına ait birimler ile Neotokton örtü kayaları yüzeylenmektedir. İnceleme alanında bulunan litolojik birimler; suyu taşıma ve iletme özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli, az geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Önemli akifer birimler alüvyon, kireçtaşı ve Miyosen-Pliyosen birimlere ait kumtaşı ve çakıltası seviyeleridir. İnceleme alanında yeraltısularının büyük bir çoğunluğu Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Bazı su örnekleri ise Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> ve Ca-HCO<sub>3</sub> su sınıfındadır. Yeraltısularında Ca ve HCO<sub>3</sub> iyonları baskın olup akifer ortam olarak alüvyon, kireçtaşı ve kumtaşı gibi kayaların etkin olduğu söylenebilir. Mg artışı dolomitik kireçtaşlarından oluşan Kurucaova formasyonu ve çakıltası, kumtaşı, kiltası ve marn birimlerinden oluşan Göksöğüt formasyonu ile ilişkilidir.

İçme suyu olarak kullanımın değerlendirilmesi için suların kimyasal özellikleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmeliği Türk İçme Suyu (TS266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006, 2011) standartları ile karşılaştırılmış ve bütün su örneklerinin genel olarak fiziksel özellikleri ile anyon-kasyon içeriklerinin sınır değerleri aşmadığı tespit edilmiştir. İnceleme alanında yeraltısuyunun kirlilik analizleri de değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler için azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır. Örneklerinin nitrat içerikleri 0.73-40.63 mg/l arasında olup sınır değeri aşmamaktadır. Suların nitrit içerikleri <0.01 mg/l, amonyum içerikleri ise <0.06 mg/l olarak belirlenmiştir ve limit değerler içerisindedir. İnceleme alanında suların As, B, Ba, Cr, Cu, Mn, Pb, Zn ve F içerikleri analiz edilmiştir. F elementi için YG-10 örneği dışında bütün su örneklerinin ağır metal ve F içeriklerinin TS266 (2005) ve WHO (2006, 2011) içme suyu standartlarına uygun olduğu tespit edilmiştir.

İnceleme alanında yeraltısularının sulama suyu amaçlı kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile sodyum adsorpsiyon oranı (SAR), sodyum yüzdesi (%Na), Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI), Magnezyum Tehlikesi (MT) ve Kelly oranı (KR) parametreleri kullanılmıştır. ABD tuzluluk diyagramına göre 2 örnek hariç 'C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>' sınıfında yer almaktadır. YG-7 ve YG-9 nolu örnekler ise 'C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>' sınıfındadır. Wilcox diyagramına göre ise 'çok iyi kullanılabilir sular' sınıfındadır. Diğer parametrelere göre de bölgede suların sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir.

## Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FYL-2019-7043 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

## Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

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

## Kaynaklar (References)

Abdüsselamoğlu, Ş., 1958. Sultandağı'nın 1/100.000 ölçekli jeolojik leveleri hakkında rapor: M.T.A. Gen. Müd. Derleme Rapor

No. 2669.

- Back, W., 1966. Hydrochemical Facies and Ground-Water Flow Patterns in Northern Part of Atlantic Coastal Plain, 498-A, 1-42.
- Balçı, V., 2011. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Afyon-L25 Paftası, No:162, Ankara.
- Batur, B., 2020. Yalvaç-Gelendost (Isparta) Havzası Su Kaynaklarının Hidrojeokimyası Ve Sağlık Risk Değerlendirmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131 s., Isparta (yayımlanmamış).
- Brunn, J.H., Dumont, J.F., Graciansky, P.C., Gutnic, M., Juteau, T., Marcoux, J., Monod, O.ve Poisson, A., 1971. Outline of the Geology of the Western Taurids Campbell, A.S., ed., Geology and History of Turkey, Pet. Expl. Soc. Libya, Tripoli, 225-255.
- Demirkol, C., 1977. Yalvaç-Akşehir Dolayının Jeolojisi: Doçentlik Tezi, SÜ. Fen. Fak. 114 s., (yayımlanmamış).
- Doneen, L.D., 1964. Water Quality for Agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Dumont, J.F., Kerey, E., 1975. Eğirdir Gölü Güneyinin Temel Jeolojik Etüdü, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 18, 169-175.
- Eaton, F.M., 1950. Significance of Carbonate in Irrigation Water. Soil Science, 69(2), 123-133.
- Kelley, W.P., 1963. Use of Saline Irrigation Water Soil Science, 95(4), 355-391.
- Narsimha, A., Rajithac, S., 2018. Spatial distribution and seasonal variation in fluoride enrichment in groundwater and its associated human health risk assessment in Telangana State, South India. Human and Ecological Risk Assessment, 24(8), 2119-2132
- Nichols, T.A., J. S. Morris, M. M. Mason, V. L. Spate, C. K. Baskett, T. P. Cheng, C. J. Tharp, J. A. Scott, T. L. Horsman, J. W. Colbert, A. E. Rawson, M. R. Karagas and V. Stannard. 1998. The study of human nails as an intake monitor for arsenic using neutron activation analysis. Journ. Radioanalytical & Nuclear Chemistry. 236 (1-2): 51-57.
- Ragunath, H.M., 1987. Groundwater. New Delhi: Wiley.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and Improvement of Saline Alkaline Soils, US Department of Agriculture, HandBook 60 (160).
- Soyaslan, İ., 2004, Eğirdir Gölü Doğusunun Hidrojeoloji İncelemesi ve Yeraltısu Modellemesi. SDÜ Fen Bil. Enst., Doktora tezi, 210 s., Isparta (yayımlanmamış).
- Todd, D.K., 1980. Groundwater Hydrology (2nd Edition) John Wiley & Sons pp 535.
- Topçam, A., vd., 1977. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısu Dairesi Başkanlığı, Hoyran-Gelendost ve Yalvaç Ovaları Hidrojeolojik Etüd Raporu, DSİ, İşletme Müdürlüğü Matbaası, 56 s., Ankara.
- TS266, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü – Ankara.
- Umut, M., 2009. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, 1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Afyon-L26 Paftası, No:119, Ankara.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987. Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C. Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınlar Eğitim Dizisi, Ankara, 364s.
- Wang, S., Mulligan, C., 2006. Occurrence of arsenic contamination in Canada: Sources, behavior and distribution. Science of the Total Environment, 366, 701-721.
- WHO, 2006. Guidelines for drinking-water quality. 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization.
- WHO, 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed., World Health Organization, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN 978 92 4 154815 1.
- Wilcox, L.V. 1955. Classification and use of irrigation waters, USDA Circular No. 969, p 19.
- Wu, B., Zhao, D., Jia, H., Zhang, Y., Zhang, X., Cheng, S., 2009. Preliminary Risk Assessment of Trace Metal Pollution in Surface Water from Yangtze River in Nanjing Section, China, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 82, 405-409.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Afşar, Ö. P., Dalkılıç, H., Taner, K. ve Özgönül, E., 1986. Batı Torosların Jeoloji Raporu, MTA Rapor No: 7898, 131 s.
- Yağmurlu, F.,1991. Yalvaç-Yarıkkaya Neojen Havzasının Stratigrafisi ve Depolama Ortamları, Türkiye Jeoloji Bülteni, 34, 9-19.