

## Kurşunlu Maden Alanı Çevresindeki Yeraltısularında Asit Kaya Drenajı ve İz Element Kirliliği

*Acid Rock Drainage, and Trace Element Pollution in Groundwater in Surrounding of Kurşunlu Mine Area*

Tülay EKEMEN KESKİN<sup>1</sup>, Sonay TOPTAŞ<sup>2</sup>, Filiz ERSÖZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Karabük Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, KARABÜK

<sup>2</sup> Limit Teknik Araştırma, Proje Uygulama Müşavirlik Sanayi ve Ticaret A.Ş., ANKARA

<sup>3</sup> Karabük Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, KARABÜK

Geliş (received) : 9 Ekim (October) 2012

Düzeltilme (revised) : 7 Ocak (January) 2013

Kabul (accepted) : 15 Ocak (January) 2013

### ÖZ

Asit maden drenajı, pirit gibi sülfürlü minerallerin su ve oksijen ile reaksiyonu sonucunda meydana gelmektedir. Bu reaksiyonlar sonucunda sular asidikleşmekte ve önemli su kirliliği problemleri açığa çıkmaktadır. Ortakent (Koyulhisar) çevresini kapsayan çalışma alanında, işletilmekte olan Pb-Zn-Cu maden yatakları bulunmaktadır. Yeraltısuyunun kimyasal bileşimini kontrol eden mineral-su reaksiyon proseslerini saptamak amacıyla uygulanan korelasyon, faktör ve kümeleme analizleri, sülfürlü cevherleşmeye sahip volkanik kayaların yeraltısuyuna etkisini açık bir şekilde ortaya koymaktadır. Sülfür minerallerinin oksidasyonu sonucu bölgedeki sular asidik karakter kazanmakta ve yüksek oranda SO<sub>4</sub> ve Fe içermektedir. Asidikleşme, bazı iz elementlerin (Al, Fe, Mn Pb, Zn) sulara zenginleşmesine sebep olmaktadır. Çalışma alanındaki asidik suların Al, Fe ve Mn konsantrasyonları, Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları'ndaki (Sağlık Bakanlığı, 2005) sınır değerini birkaç kat aşmaktadır. Ayrıca bazı kaynakların SO<sub>4</sub> ve Pb içerikleri, içme suyu standart değerini aşmaktadır. Aktif olan madencilik faaliyetlerinin katı ve sıvı atıkları, sulara iz element kirliliğine sebep olmaktadır. Jeokimyasal veriler, asidik sulardaki ağır toksik metallerin çoğunlukla serbest metal ve metal-sülfat formunda olduklarını göstermektedir. Bu veriler ışığında, çalışma alanındaki yüksek düzeyde iz element kirliliği içeren yeraltısuları ve yüzeysularının insan, hayvan ve bitki sağlığı açısından oldukça yüksek risk içerdikleri anlaşılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Asit maden drenajı, Faktör ve kümeleme analizi, Korelasyon, Koyulhisar, Sülfürlü cevherleşme, Yeraltısuyu kirliliği.

T. Ekemen Keskin

E-Posta: tulayekemen@karabuk.edu.tr

**ABSTRACT**

*Acid mine drainage occurs as a result of reactions with water and sulphide minerals such as pyrite. As a result of these reactions water gains acidic properties and significant water pollution problems could rise. The study area located in Ortakent (Koyulhisar) has an active Pb-Zn-Cu mining site. The correlation and factor analyses applied to determine mineral-water reactions controlling the chemical composition of groundwater clearly show effects of sulphide mineral bearing volcanic rocks. Sulfide minerals produce acid and groundwater contains high concentrations of  $SO_4$  and Fe. Low pH values are also responsible for dissolved metals (Al, Fe, Mn  $SO_4$ , Pb, Zn) in the groundwater and river. Al, Fe and Mn concentrations in the acidic waters in the study area exceed the limits of Ministry of Health-2005 Standard. In addition, several springs have  $SO_4$  and Pb concentrations higher than the limits of drinking water standards. Solid and liquid mine wastes contribute on the trace element contamination of water as well. Geochemical modelling showed that mostly heavy toxic metals in the acidic waters may exist largely in the form of free metal and metal-sulphate. It is understood that the trace elements contained in the groundwater and river could introduce high risks to human, animals and plants.*

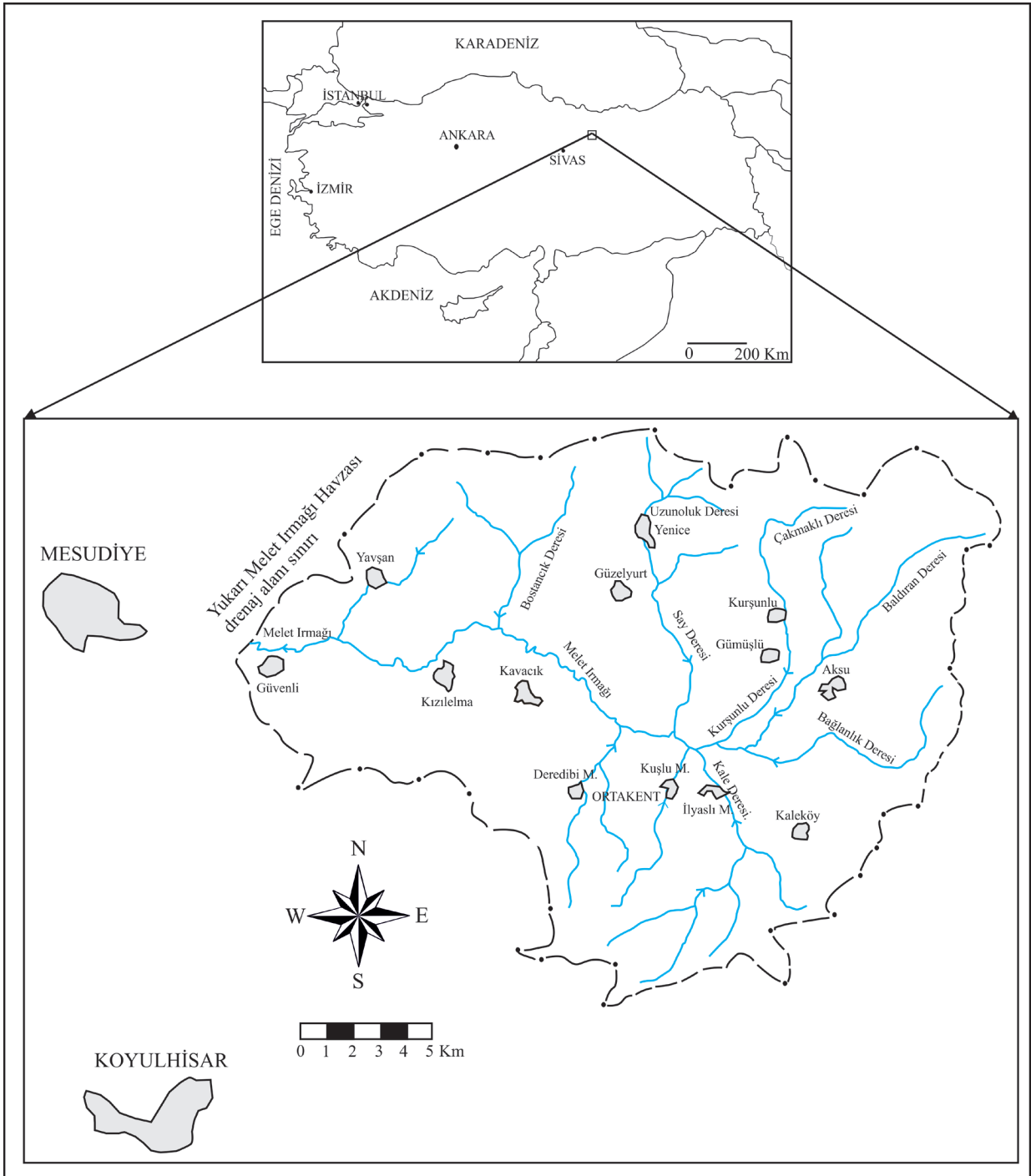
**Key Words:** *Acid mine drainage, Factor and cluster analysis, Correlation, Koyulhisar, Sulfide mineralization, Groundwater pollution.*

**GİRİŞ**

Asit maden/kaya drenajı, insan sağlığı açısından su kalitesini etkileyen oldukça önemli bir konudur. Asit maden/kaya drenajı sırasında sular asidikleşmekte ve bu asidikleşmeye bağlı olarak çeşitli elementlerin çözünürlüğü ve konsantrasyonları artmaktadır. Su-kayaç etkileşimlerinin jeokimyası, jeolojik ortama bağlıdır. Örneğin, masif sülfür yatakları ve çıkan maden atıkları, akım yolları boyunca çevreyi etkileyebilir. Piritin oksidasyonu, gang silikat ve karbonat minerallerinden ve diğer sülfür minerallerinden metallerin çözünürlüğünü artıran yüksek asidik koşullar üretebilir. Asit ve metal birlikteliği, yüzey ve yeraltısuyu kalitesini ve ilişkili olan sulu ekosistem ve içme suyu teminini olumsuz yönde etkilemektedir (Gündüz vd., 2007; Gündüz ve Baba, 2008; Seal vd., 2008; Baba ve Gündüz, 2010). Özellikle

bazı elementler (Al, Be, Pb, Cd, Fe, ve Mn) asidik koşullar altında tercihli olarak hareketli olmakta ve asidik sulara problemleri durumlar oluşturabilmektedirler (Smedley vd., 1996; Karakaya vd., 2007).

Çalışma alanı Sivas ilinin yaklaşık 220 km kuzeybatısında, Doğu Karadeniz Bölgesi ve İç Anadolu Bölgesi sınırında yer almaktadır (Şekil 1). Çalışma alanındaki mineralleşme Üst Kretase andezitik ve dasidik volkanik ve volkanosedimanter kayaçları kesen faylar boyunca yer almaktadır. Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yatakları Kuzey Pontid Tektonik Birimleri'nin güney ve batı parçaları üzerinde geniş alanlarda gözlenen damar tipi cevherleşmelerin tipik örnekleridir. Cevher mineralleri olarak, galen (PbS), sfalarit (ZnS), pirit ( $FeS_2$ ), kalkopirit ( $CuFeS_2$ ), kalkosit ( $Cu_2S$ ) ve hematit ( $Fe_2O_3$ ) bulunmakta, gang



Şekil 1. Çalışma alanı ve çevresinin konum haritası.

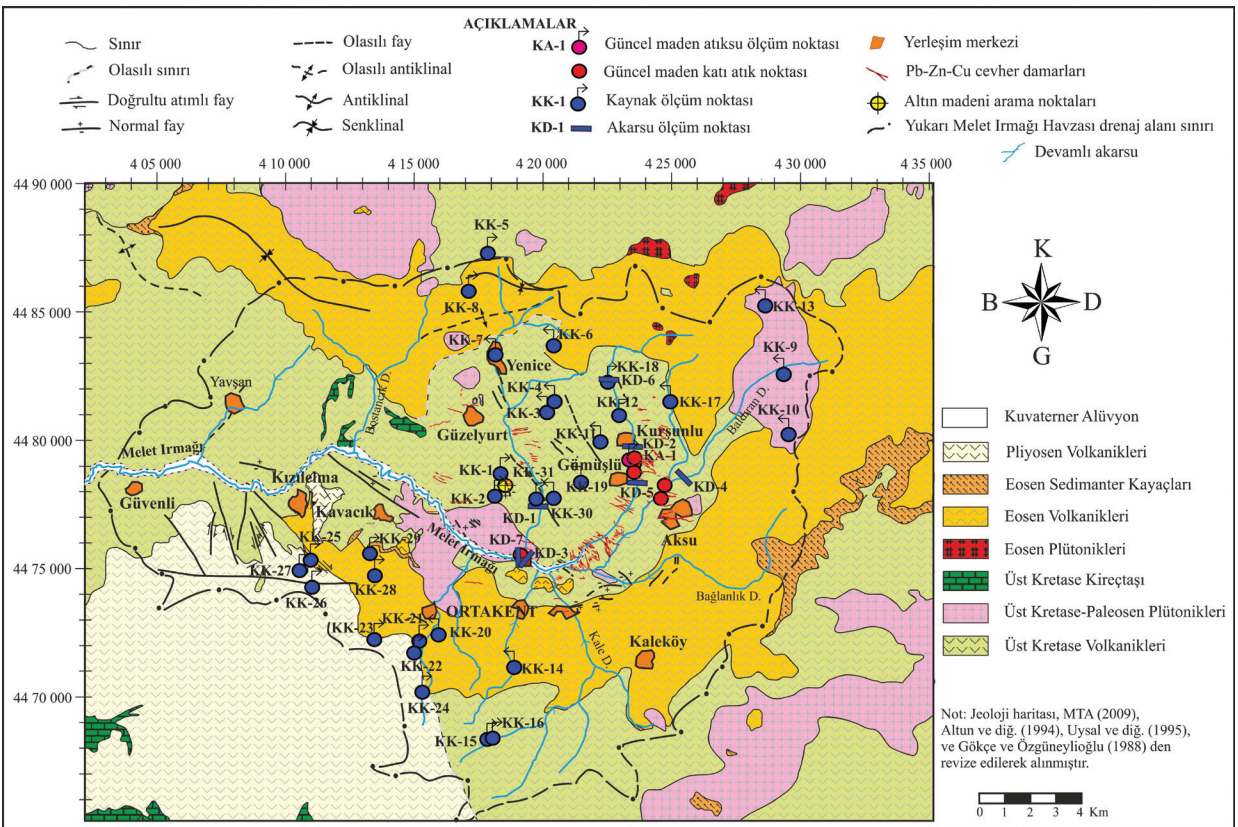
Figure 1. Location map of the study area and its vicinity.

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

mineralleri olarak ise kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve yer yer barit ( $\text{BaSO}_4$ ) mineralleri bulunmaktadır (Gökçe ve Özgünyelioğlu, 1988). Kurşunlu, Gümüşlü ve Aksu köyleri çevrelerinde yoğun madencilik aktiviteleri gerçekleştirilmekte ve sıvı ve katı madencilik atıkları bu köyler çevresindeki akarsulara ve akarsu çevrelerine boşaltılmaktadır. Ayrıca çalışma alanında altın araştırmaları yapılmaktadır (Şekil 2).

Bu çalışmanın amacı, Pb-Zn-Cu maden yatakları çevresindeki su-kayaç etkileşiminden ve madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan

yeraltı ve yüzeysularında major ve iz element kirliliklerinin boyutlarını saptamaktır. Bu kapsamda, çalışma alanı çevresindeki yeraltı ve yüzey sularında yerinde pH, sıcaklık, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), redox potansiyeli (RP) vb. ölçümler yapılmış, ayrıca major ve iz element konsantrasyonlarını saptamak amacıyla su örnekleri alınmıştır. Çalışma alanında Pb-Zn-Cu maden yatakları ile ilişkili sülfidik cevherleşmeler bulunmaktadır. Bu cevherleşmeler içerisinde özellikle piritin yüzeyden süzülen oksijence zengin yeraltısularınca oksitlenmesi sonucu (örn;



Şekil 2. Çalışma alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Jeoloji haritası Gökçe ve Özgünyelioğlu (1988), Altun vd., (1994), Uysal vd., (1995) ve MTA (2009)'dan bazı yerleri revize edilerek alınmıştır).

Figure 2. Geological map of the study area and its vicinity (The geological map is taken from Gökçe and Özgünyelioğlu (1988), Altun et al. (1994), Uysal et al. (1995) and MTA (2009) with revision).

$2\text{FeS}_2(\text{s}) + 7\text{O}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}^{2+}(\text{aq}) + 4\text{SO}_4^{2-}(\text{aq}) + 4\text{H}^+(\text{aq})$  pH düşerek sular asidikleşmekte ve sulara metalik elementler geçmektedir.

## JEOLJİK BİRİMLER

Bu çalışmada kullanılan 1:100.000 ölçekli jeoloji haritası, Gökçe ve Özgüneylioğlu (1988), Altun vd., (1994), Uysal vd., (1995) ve MTA (2009)'un jeoloji haritalarının yeniden düzenlenmesi yoluyla oluşturulmuştur. Bölgenin temelini, çalışma alanında mostra vermeyen Permiyen yaşlı metamorfikler oluşturmaktadır. Metamorfikler, Jura ve Alt Kretase yaşlı volkanikler, volkano-sedimanterler, kireçtaşı ve ofiyolitler tarafından üzerlenmektedir. Bu örtü birimleri de çalışma alanında mostra vermemektedir. Çalışma alanında gözlenen en yaşlı birim, Üst Kretase yaşlı volkaniklerdir. Bu birim içerisinde cevherleşmeler gözlenmektedir. Birim, Üst Kretase-Paleosen yaşlı plütonik kayalar tarafından kesilmektedir. Bu birim, Eosen yaşlı plütonik, volkanik ve sedimanter kayalar tarafından örtülmektedir. Bu kayalar üzerine ise Pliyosen yaşlı volkanikler ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar gelmektedir (Gökçe ve Özgüneylioğlu, 1988; Altun vd., 1994; Uysal vd., 1995; MTA, 2009) (Şekil 2).

## ÇALIŞMA VE DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Ortakent ve çevresinin hidrojeokimyasını konu alan araştırmanın arazi çalışmaları kurak ve yağışlı dönemleri kapsayacak şekilde, Temmuz 2009 tarihinde başlamış olup Mayıs 2010 tarihinde tamamlanmıştır. Arazi çalışması sırasında çalışma alanındaki 31 kaynak, 7 akarsu ve 1 maden atıksu noktasından yerinde

debi, özgül elektriksel iletkenlik (ÖEİ), toplam çözünmüş madde miktarı (TÇM), pH, redoks potansiyeli (RP (Eh)) ve sıcaklık ölçümleri yapılmış ve major iyon, iz element ve radyoaktivite analizleri için su örnekleri polietilen şişelere alınmıştır. ÖEİ ve pH ölçüm cihazı araziye çıkmadan önce kalibre edilmiştir. ÖEİ kalibrasyonu için 0.01 M (1413 µS/cm) ve 0.1 M (12.88 mS/cm) derişimli KCl çözeltileri, pH kalibrasyonu için ise 7 ve 10 değerli tampon çözeltileri kullanılmıştır. Eh ölçümleri gümüş-gümüş klorür referans çözeltisi kullanılarak platin elektrodu ile yapılmış olup, RP doğruluğu periyodik olarak arazide 475 mV değerine sahip kontrol çözeltisi ile kontrol edilmiştir. Ayrıca RP değerleri, sıcaklığa bağlı olarak Consort ölçüm cihazının kataloğunda belirtildiği gibi 208-220 mV eklenerek Eh'a dönüştürülmüştür. İz element analizleri için su örnekleri 0.45 µm selüloz filtre ile filtrelendikten sonra % 65'lik nitrik asit çözeltisi ile pH'ları 2.0'ın altına düşürülmüştür. Tüm analizler için su örnekleri analizlerden önce + 4 °C sıcaklıktaki buzdolabında saklanmıştır. Major anyon ve katyon analizleri Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su Kimyası Laboatuvarı'nda iyon kromatografi cihazı kullanarak ve Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su Kimyası Laboatuvarı'nda, yüksek performanslı iyon kromatografi cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İz element analizleri endüktif eşlenik plazma kütle spektrometresi (ICP-MS) kullanılarak ACME Laboratuvarı'nda (Kanada) yaptırılmıştır. Radyoaktivite analizleri ise Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. SiO<sub>2</sub> değerleri ACME Laboratuvarı'nda yaptırılan

Si elementinden dönüştürülerek bulunmuş ve doygunluk analizleri için kullanılan PhreeqCi programına SiO<sub>2</sub> olarak girilmiştir. Çalışma alanındaki kaynakların major ve iz element analizlerinin doğruluğunu/güvenilirliğini test etmek için tüm analizlerde, bazı su örneklerinde dublike ölçümler yapılmıştır. Ayrıca major iyon konsantrasyonları dikkate alınarak % elektronötralite/analitik hata (Appelo ve Postma, 1996) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 1). Çizelgede özellikle Üst Kretase volkaniklerinden boşalan kaynakların analitik hata değerleri % 5'ten yüksek gözükmemektedir. Bu durum, suların asidikliğinden kaynaklanmaktadır. Al, Fe, H vb. konsantrasyonları (Appelo ve Postma, 1996) dikkate alınarak hesaplama yapıldığında analitik hatalar % 5'in altına düşmektedir. Suların fiziksel ve kimyasal bileşimleri yardımıyla, ilgili diyagram ve grafikler kullanılarak çeşitli özellikleri saptanmış ve ayrıca Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları (Sağlık Bakanlığı, 2005) ve 29 Nisan 2005'te yeniden düzenlenen Dünya Sağlık Örgütü Standartları (WHO, 2006) ile karşılaştırılarak içme suyu için uygun olup olmadıkları saptanmıştır.

## SU KİMYASI VE KİRLİLİĞİ

Çalışma alanında akifer özelliği gösteren birimler Üst Kretase volkanikleri, Üst Kretase-Paleosen plütonikleri, Eosen ve Pliyosen volkanikleridir. Üst Kretase volkanikleri yoğun kırıklı-çatlaklı, altere olmuş bazalt, andezit, dasit ve volkanoklastik kayaçlardan oluşmaktadır. Çalışma alanındaki kaynaklar boşaldıkları jeolojik birimlere göre fiziksel ve kimyasal açıdan birçok farklılık göstermektedir (Keskin ve Toptaş, 2012). Suların kimyasal analiz sonuçları Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Cevher mineralleri içeren Üst Kretase volkaniklerinden boşalan kaynaklar (KK-1, KK-2, KK-11, KK-12, KK-18, KK-19, KK-30, KK-31) asidik karakter göstermekte, yağışlı ve kurak dönemde pH değerleri 3.34 ile 4.8 arasında değişmektedir. Bu değerler Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları (Sağlık Bakanlığı, 2005)'te, gösterge parametreleri için verilen alt sınır değerinin (6.5) oldukça altında kalmaktadır.

Bu kaynakların özgül elektriksel iletkenlikleri (ÖEİ) ve yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (Eh) değerleri sırasıyla 35  $\mu$ S/cm - 668  $\mu$ S/cm; ve 421 mV - 694 mV arasında değişmektedir. KK-3, KK-4 ve KK-7 kaynakları da Üst Kretase volkaniklerinden boşalmaktadır. Bununla birlikte, pH değerleri diğer Üst Kretase volkaniklerinden boşalan kaynakların pH değerlerinden bir miktar daha yüksektir. KK-3 ve KK-4 kaynaklarının yüksek kotlardan boşalmaktadır. Bu nedenle, büyük olasılıkla çok sığ sirkülasyona sahiptirler., Bu duruma bağlı olarak cevherleşmeler ile çok fazla etkileşime girememiş olmalarından dolayı bir miktar yüksek pH değerlerine sahip olabilecekleri düşünülmektedir. KK-7 çeşmesinin ise iki ayrı kaynağın karışımından oluşması ve cevherleşmeler ile etkileşimlerinin az olması bir miktar yüksek pH değerleri açıklayabilir. Akarsular ve diğer jeolojik formasyonlardan boşalan sular genellikle alkalın karakterde olup, bu suların ÖEİ değerleri 18  $\mu$ S/cm ve 204  $\mu$ S/cm arasında değişmektedir.

Yeraltısuları ve yüzey sularının fiziksel, kimyasal ve biyolojik açıdan uygunlukları canlılar için büyük önem taşımaktadır. İçme sularında özellikle ağır metallerin miktarları oldukça önemli olup, bazı metallerin küçük miktarları bile insan sağlığını olumsuz yönde

Çizelge 1. Çalışma alanındaki suların fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Table 1. The physical and chemical characteristics of the waters in the study.

Kaynak- No	Kot (m)	Boyam	Enlem	Önekleme Tarihi	Q <sub>EL</sub> (µs)	T <sub>CM</sub> (mg/L)	pH	Eh (mV)	Sıcaklık (°C)	Debi (L/s)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Anahtık Hata	SiO <sub>2</sub> mg/L
KK-1	1889	418340	4478704	27.07.2009	53	28	4.80	588	10.1	1.7	0.07	0.03	0.08	0.18	0.20	0.02	0.01	0.28	-17.24	8.67
"	1745	417368	4480419	23.04.2010	36	19	5.48	480	5.2	1.5	0.01	0.01	0.07	0.14	0.09	0.02	0.03	0.14	-9.80	7.06
KK-2	1952	418187	4477725	27.07.2009	151	80	3.84	694	8.6	0.2	0.06	0.05	0.06	0.18	0.15	0.02	<0.01	0.67	-41.42	16.37
"	"	"	"	24.04.2010	141	74	3.74	670	6.7	0.4	0.05	0.02	0.06	0.14	<0.01	0.02	<0.01	0.60	-40.00	13.96
KK-3	1991	420185	4481005	27.07.2009	30	17	6.73	350	15.4	3.2	0.05	0.03	0.06	0.14	0.15	0.01	<0.01	0.14	-4.27	8.04
"	"	"	"	23.04.2010	17	9	7.18	375	4.2	60.0	0.02	0.01	0.05	0.10	0.10	0.01	0.01	0.07	-2.70	3.86
KK-4	2089	420408	4481463	27.07.2009	84	45	6.61	482	8.2	0.2	0.11	0.02	0.09	0.41	0.30	0.01	0.04	0.26	1.61	15.86
KK-5	2460	417836	4487273	28.07.2009	33	18	6.44	495	4.2	2.0	0.07	0.02	0.03	0.20	0.25	0.01	0.10	0.04	-11.11	9.44
**	1841	418921	4484633	23.04.2010	24	14	6.58	390	4.2	(-)	0.06	0.01	0.02	0.17	0.20	0.01	<0.01	0.04	0.97	8.21
KK-6	2165	420405	4483744	28.07.2009	66	35	7.69	461	10.1	2.0	0.07	0.02	0.10	0.33	0.40	0.02	0.06	0.05	-0.95	9.50
KK-7	1734	418023	448332	28.07.2009	210	114	6.27	492	12.2	1.1	0.13	0.03	0.18	1.31	0.50	0.02	0.01	1.18	-1.79	28.91
"	"	"	"	23.04.2006	247	131	6.60	377	7.1	1.4	0.14	0.02	0.29	1.91	1.15	0.02	<0.01	0.93	5.71	23.18
KK-8	2147	417137	4485724	28.07.2009	27	14	7.09	496	10.0	6.5	0.06	0.01	0.01	0.16	0.20	0.00	<0.01	0.04	-1.03	7.34
KK-9	2543	429324	4482600	29.07.2009	27	14	7.09	470	4.7	6.0	0.06	0.00	0.18	0.15	0.25	0.01	0.02	0.03	11.43	7.59
**	1905	425538	4477140	24.04.2010	39	21	7.07	353	4.8	(-)	0.07	0.00	0.07	0.24	0.31	0.01	0.01	0.04	1.33	9.23
KK-10	2455	429581	4480292	29.07.2009	26	14	6.90	524	5.1	0.5	0.05	0.01	0.03	0.14	0.20	0.01	0.04	0.03	-9.80	8.81
KK-11	1935	422215	4479966	29.07.2009	112	59	3.94	654	6.9	0.5	0.06	0.05	0.10	0.36	0.05	0.01	<0.01	0.76	-18.28	15.23
"	"	"	"	24.04.2010	73	39	4.56	479	4.8	1.2	0.02	0.01	0.07	0.16	0.09	0.01	<0.01	0.20	-7.96	8.09
**	"	"	"	24.04.2010	35	19	4.72	514	6.7	(-)	0.02	0.01	0.07	0.21	0.11	0.01	<0.01	0.16	4.20	7.23
KK-12	1851	423019	4480990	29.07.2009	211	112	3.53	663	6.8	2.5	0.04	0.05	0.12	0.20	0.05	0.01	<0.01	0.95	-42.46	19.10
"	"	"	"	24.04.2010	204	108	3.42	623	6.7	3.5	0.06	0.05	0.13	0.22	<0.01	0.01	<0.01	0.83	-29.77	17.07
KK-13	2701	428646	4485262	30.07.2009	18	10	7.37	419	3.3	40	0.06	0.01	0.03	0.11	0.15	0.01	0.02	0.03	0.00	4.65
KK-14	1847	418888	4471127	31.07.2009	88	47	6.90	470	7.9	0.3	0.13	0.09	0.06	0.44	0.60	0.02	0.01	0.06	2.13	41.15
**	"	"	"	26.04.2010	88	46	7.02	419	7.4	(-)	0.13	0.09	0.12	0.50	0.65	0.02	<0.01	0.08	5.33	42.36
KK-15	1985	417813	4468206	31.07.2009	38	20	6.90	456	5.9	4.9	0.12	0.03	0.03	0.13	0.25	0.00	0.02	0.00	6.90	32.99
KK-16	2002	418018	4468377	31.07.2009	45	24	7.28	528	7.5	1.0	0.15	0.04	0.04	0.17	0.35	0.01	0.04	0.01	-1.23	29.38
KK-17	2088	424941	4481484	31.07.2009	37	19	6.93	486	7.5	0.8	0.12	0.01	0.04	0.13	0.25	0.01	0.04	0.06	-9.09	12.81
**	1793	421839	4477089	24.06.2010	35	19	7.25	343	8.3	(-)	0.10	0.01	0.06	0.20	0.30	0.01	0.02	0.04	0.00	11.78
KK-18	2007	422517	4482389	31.07.2009	488	239	3.49	421	8.0	0.3	0.18	0.08	0.35	2.63	0.10	0.01	<0.01	4.12	-13.31	41.51
KK-19	1886	421477	4478392	31.07.2009	248	132	3.65	626	8.5	0.9	0.11	0.04	0.18	0.58	0.10	0.01	<0.01	1.58	-30.13	35.04
"	"	"	"	24.04.2010	145	77	3.83	610	7.1	1.5	0.06	0.02	0.12	0.25	<0.01	0.01	<0.01	0.77	-27.42	18.70
KK-20	1725	415944	4472434	01.08.2009	103	55	6.63	455	6.8	0.4	0.17	0.03	0.12	0.52	0.65	0.02	0.09	0.06	1.20	25.20
KK-21	1779	415216	4472179	01.08.2009	47	25	6.42	490	6.5	1.4	0.12	0.05	0.05	0.17	0.35	0.01	0.02	0.02	-1.27	30.89

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

Çizelge 1. Devam ediyor.  
Table 1. Continues.

Kaynak- Akarsu No	Kot (m)	Boydam	Enlem	Önekleme Tarihi	Ölçü (µS)	TÇM (mg/L)	pH	Eh (mV)	Sıcaklık (°C)	Debi (L/s)	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	Anahtık Hata	SiO <sub>2</sub> mg/L
KK-21	1779	415216	4472179	24.04.2010	58	31	6.94	387	6.5	(-)	0.09	0.05	0.12	0.27	0.43	0.01	<0.01	0.05	3.41	30.60
**	1714	415318	4472861	26.04.2010	43	23	7.44	362	9.0	(-)	0.17	0.04	0.08	0.15	0.37	0.01	<0.01	0.02	4.14	42.56
KK-22	1843	415053	4471779	01.08.2009	39	21	7.96	418	10.3	12	0.16	0.04	0.04	0.10	0.25	0.01	0.01	0.00	11.48	44.66
"	"	"	"	26.04.2010	43	23	7.38	392	9.7	17	0.13	0.03	0.06	0.15	0.37	0.01	<0.01	0.01	-3.27	39.56
KK-23	2008	413422	4472291	01.08.2009	49	26	6.80	511	5.6	4.6	0.12	0.04	0.06	0.17	0.40	0.01	0.02	0.02	-7.14	34.15
KK-24	2102	415315	4470159	01.08.2009	33	18	6.84	481	5.4	8.9	0.09	0.03	0.02	0.13	0.25	0.00	0.02	0.02	-3.57	29.86
"	"	"	"	26.04.2010	34	16	7.32	410	4.4	11.0	0.10	0.02	0.04	0.19	0.31	0.01	<0.01	0.03	-0.71	19.66
KK-25	1704	410978	4475316	01.07.2009	113	61	6.97	501	8.8	1.4	0.28	0.01	0.18	0.54	0.90	0.01	0.01	0.04	2.54	23.39
**	"	"	"	26.04.2010	98	53	7.34	418	9.3	(-)	0.27	0.01	0.22	0.56	0.88	0.02	0.02	0.03	5.47	21.73
KK-26	1890	411008	4474248	01.07.2009	73	39	7.57	463	9.4	9.3	0.27	0.00	0.08	0.28	0.50	0.01	0.03	0.02	5.88	19.52
KK-27	1778	410534	4474910	01.07.2009	88	47	7.31	488	9.4	0.6	0.27	0.01	0.11	0.38	0.70	0.01	0.02	0.02	1.32	21.30
KK-28	1908	413458	4474764	02.08.2009	204	108	7.20	490	6.8	0.2	0.37	0.07	0.46	0.85	1.65	0.02	0.02	0.03	0.86	38.68
KK-29	1827	413292	4475615	02.08.2009	138	73	7.30	510	7.1	0.4	0.25	0.07	0.17	0.79	1.10	0.01	0.01	0.04	4.92	22.29
KK-30	1548	420384	4477733	02.08.2009	664	352	3.34	490	10.1	2.3	0.62	0.05	1.52	3.09	0.05	0.03	<0.01	6.75	-12.84	52.97
"	"	"	"	23.04.2010	668	355	3.34	491	9.0	1.4	0.57	0.06	1.46	2.79	<0.01	0.03	<0.01	5.56	-6.87	52.14
KK-31	1491	419775	4477460	27.07.2009	272	133	3.60	646	9.0	0.2	0.07	0.03	0.17	0.15	0.15	0.02	<0.01	1.38	-57.47	21.28
"	"	"	"	24.04.2010	171	91	3.56	617	13.5	0.2	0.06	0.02	0.15	0.15	<0.01	0.02	<0.01	0.70	-31.53	14.54
KD-1	1487	419806	4477449	27.07.2009	403	214	7.63	338	15.9	78.3	0.25	0.05	0.55	2.55	1.20	0.04	<0.01	2.33	-2.51	16.55
"	"	"	"	24.04.2010	110	58	7.73	288	10.1	125.4	0.09	0.02	0.18	0.77	0.71	0.01	0.01	0.34	-0.47	9.66
KD-2	1690	423402	4479702	28.07.2009	139	74	7.04	415	13.7	167	0.08	0.03	0.13	0.73	0.20	0.01	0.01	0.83	-3.96	12.02
"	"	"	"	24.04.2010	43	23	7.7	369	3.7	(-)	0.03	0.01	0.06	0.28	0.24	0.01	<0.01	0.10	3.40	5.56
KD-3	1432	419278	4475363	28.07.2009	188	100	7.47	462	14.0	(-)	0.20	0.03	0.26	1.06	1.00	0.03	0.01	0.50	0.32	16.03
"	"	"	"	24.04.2010	82	44	7.77	381	10.0	(-)	0.09	0.02	0.13	0.52	0.54	0.01	<0.01	0.11	6.67	12.38
KD-4	1684	425466	4478571	30.07.2009	38	20	7.43	199	15.6	316	0.10	0.02	0.07	0.23	0.40	0.01	0.02	0.04	-5.62	8.48
"	"	"	"	25.04.2010	32	17	7.48	368	4.1	(-)	0.06	0.01	0.06	0.21	0.26	0.01	0.01	0.03	4.62	8.21
KD-5	1583	423572	4478394	30.07.2009	182	97	7.31	443	13.2	(-)	0.15	0.04	0.18	0.96	0.30	0.03	<0.01	1.07	-2.74	14.87
"	"	"	"	25.06.2010	66	35	7.69	348	7.4	(-)	0.05	0.02	0.10	0.42	0.32	0.01	0.01	0.19	5.36	6.87
KD-6	2007	422517	4482389	31.07.2009	147	78	7.50	217	14.4	679	0.09	0.02	0.11	0.91	0.55	0.01	0.00	0.57	0.00	10.35
KD-7	1431	419063	4475369	02.08.2009	208	110	7.80	435	18.0	(-)	0.19	0.04	0.28	1.18	1.00	0.04	0.02	0.59	1.20	18.27
"	"	"	"	25.04.2010	93	49	7.78	380	10.4	(-)	0.10	0.02	0.18	0.64	0.74	0.01	0.01	0.16	1.08	12.47
KA-1	1628	423546	4479308	30.07.2009	431	221	7.80	447	14.5	(-)	1.53	0.13	0.57	2.16	1.65	0.22	0.08	2.51	-0.79	38.23

\* Şebeke Suyu - Örnek numarası koyu yazılanlar Üst Kretase Volkaniklerinden boşalan kaynaklardır



Çizelge 2. Çalışma alanındaki suların iz element konsantrasyonları (ppb).  
 Table 2. Trace element concentrations of the waters in the study area (ppb).

Su No	Tarih	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Se	Si	U	Zn
<b>KK-1</b>	27.07.2009	<0.05	600	<0.5	<0.05	7	123.7	0.06	1.89	<0.5	65.5	21	<0.1	22.61	<0.1	4.5	2.5	5	0.09	<0.5	4050	0.06	29.3
"	23.04.2010	<0.05	456	<0.5	<0.05	6	168.3	<0.05	0.88	1.0	11.8	113	<0.1	9.11	<0.1	1.8	2.7	2	0.08	<0.5	3296	0.03	10.3
<b>KK-2</b>	27.07.2009	<0.05	2700	1.9	<0.05	11	48.68	0.38	5.29	<0.5	296.8	776	<0.1	6.34	<0.1	4.1	16.0	10	0.49	<0.5	7650	0.12	75.5
"	24.04.2010	<0.05	2517	1.4	<0.05	<5	80.58	0.27	5.30	0.9	242.5	487	<0.1	9.31	0.1	3.1	12.2	10	0.38	<0.5	6517	0.04	45.9
<b>KK-3</b>	27.07.2009	<0.05	73	<0.5	<0.05	8	88.23	<0.05	0.18	<0.5	16.2	282	<0.1	31.40	<0.1	1.8	2.4	3	0.13	<0.5	3759	0.03	56.1
"	23.04.2010	<0.05	52	<0.5	<0.05	<5	70.42	<0.05	0.12	0.5	2.9	54	<0.1	7.81	<0.1	0.9	1.8	1	0.08	<0.5	1802	<0.02	5.9
<b>KK-4</b>	27.07.2009	<0.05	72	<0.5	<0.05	9	55.22	<0.05	0.03	<0.5	13.2	12	<0.1	2.72	<0.1	1.4	1.8	5	<0.05	<0.5	7413	0.05	22.6
<b>KK-5</b>	28.07.2009	<0.05	41	<0.5	<0.05	<5	5.43	<0.05	0.03	<0.5	5.5	21	<0.1	2.37	0.3	0.7	0.3	<1	0.06	<0.5	4413	0.62	5.9
**	23.04.2010	<0.05	21	<0.5	<0.05	<5	5.38	<0.05	0.03	<0.5	2.2	<10	<0.1	0.08	0.2	0.3	0.5	1	0.08	<0.5	3835	0.39	1.6
<b>KK-6</b>	28.07.2009	<0.05	143	<0.5	<0.05	6	41.15	<0.05	0.08	1.0	10.9	102	<0.1	7.27	0.2	1.5	5.6	<1	0.18	<0.5	4440	0.20	12.6
<b>KK-7</b>	28.07.2009	<0.05	1730	<0.5	<0.05	11	36.57	0.10	3.62	<0.5	10.3	144	<0.1	18.93	0.1	3.5	2.1	19	0.12	<0.5	13511	0.13	26.3
"	23.04.2010	<0.05	1437	<0.5	<0.05	5	29.81	0.12	2.82	1.3	11.8	329	<0.1	17.26	0.3	2.0	3.0	16	0.17	<0.5	10823	0.07	22.6
<b>KK-8</b>	28.07.2009	<0.05	38	<0.5	<0.05	<5	3.42	<0.05	<0.02	<0.5	4.3	<10	<0.1	0.96	0.1	0.3	0.8	<1	<0.05	<0.5	3432	0.07	2.5
<b>KK-9</b>	29.07.2009	<0.05	78	3.2	<0.05	9	2.72	<0.05	0.06	0.5	15.9	22	<0.1	4.18	1.9	1.8	4.6	1	0.21	<0.5	3548	0.74	44.5
**	24.04.2010	<0.05	28	2.3	<0.05	<5	2.23	<0.05	0.04	0.8	3.7	26	<0.1	2.6	1.3	0.4	2.0	1	0.16	<0.5	4311	0.29	4.7
<b>KK-10</b>	29.07.2009	<0.05	62	<0.5	<0.05	9	2.45	<0.05	0.03	<0.5	14.3	15	<0.1	2.55	0.4	1.6	2.7	1	0.12	<0.5	4121	0.05	19.3
<b>KK-11</b>	29.07.2009	<0.05	2306	<0.5	<0.05	9	31.29	<0.05	2.45	<0.5	12.3	52	<0.1	48.61	<0.1	2.0	3.0	12	0.05	<0.5	7116	0.11	16.6
"	24.04.2010	<0.05	870	<0.5	<0.05	<5	30.90	0.05	1.02	0.9	9.7	74	<0.1	22.80	<0.1	1.4	3.0	5	0.13	<0.5	3779	0.03	20.8
**	24.04.2010	<0.05	587	<0.5	<0.05	<5	32.26	<0.05	0.56	1.3	18.8	110	<0.1	14.86	<0.1	1.8	4.9	3	0.15	<0.5	3376	0.03	44
<b>KK-12</b>	29.07.2009	0.95	3452	<0.5	<0.05	7	25.48	<0.05	3.72	<0.5	4.3	<10	<0.1	86.08	<0.1	2.1	0.9	14	<0.05	<0.5	8926	0.05	10.0
"	24.04.2010	<0.05	379	<0.5	<0.05	<5	27.18	0.05	3.46	0.8	8.5	17	<0.1	83.66	<0.1	2.4	2.7	15	0.09	<0.5	7971	0.05	17.6
<b>KK-13</b>	30.07.2009	<0.05	44	<0.5	<0.05	6	1.69	<0.05	<0.02	<0.5	7.5	<10	<0.1	1.11	0.1	0.4	1.6	<1	<0.05	<0.5	2175	0.05	6.5
<b>KK-14</b>	31.07.2009	<0.05	127	1.0	<0.05	11	21.87	<0.05	0.03	<0.5	9.5	35	<0.1	2.30	0.2	1.3	2.4	<1	0.07	<0.5	19229	0.26	9.0
**	26.04.2010	<0.05	244	1.0	<0.05	10	29.70	<0.05	0.12	1.4	14.3	118	<0.1	9.66	0.3	1.6	4.3	2	0.15	<0.5	19779	0.24	25.7
<b>KK-15</b>	31.07.2009	<0.05	37	<0.5	<0.05	5	4.69	<0.05	<0.02	<0.5	4.6	<10	<0.1	1.11	0.3	0.3	0.9	<1	<0.05	<0.5	15419	0.09	3.4
<b>KK-16</b>	31.07.2009	<0.05	70	<0.5	<0.05	7	4.84	<0.05	0.02	<0.5	8.0	<10	<0.1	2.31	0.3	1.0	1.3	<1	0.10	<0.5	13729	0.16	5.8
<b>KK-17</b>	31.07.2009	<0.05	78	<0.5	<0.05	<5	3.55	<0.05	0.06	<0.5	14.3	20	<0.1	4.20	0.2	1.6	3.4	<1	0.37	<0.5	5987	0.04	21.8
**	24.04.2010	<0.05	88	0.5	<0.05	<5	8.09	<0.05	0.06	1.0	9.0	53	<0.1	9.29	0.3	1.4	4.0	2	0.18	<0.5	5499	<0.02	16
<b>KK-18</b>	31.07.2009	<0.05	5167	5.0	<0.05	9	13.17	0.23	5.58	<0.5	7.5	5269	<0.1	500.2	<0.1	2.8	6.3	72	<0.05	<0.5	19398	0.24	33.5
<b>KK-19</b>	31.07.2009	<0.05	5700	<0.5	<0.05	13	29.70	0.14	5.42	<0.5	21.1	84	<0.1	66.23	<0.1	3.7	3.4	21	<0.05	<0.5	16375	0.21	37.7
"	24.04.2010	<0.05	2731	<0.5	<0.05	<5	45.77	0.11	3.08	0.8	13.0	85	<0.1	47.71	0.1	2.5	3.2	13	0.22	<0.5	8730	0.04	33.0
<b>KK-20</b>	01.08.2009	<0.05	75	<0.5	<0.05	10	17.24	<0.05	0.02	<0.5	8.3	<10	<0.1	2.01	0.2	1.0	2.4	<1	<0.05	<0.5	11776	0.12	7.3

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

Çizelge 2. Devam.  
Table 2. Continued.

Su No	Tarih	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Hg	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Se	Si	U	Zn
KK-21	01.08.2009	<0.05	55	<0.5	<0.05	7	5.05	<0.05	<0.02	<0.5	6.2	<10	<0.1	1.10	0.2	0.7	1.2	<1	<0.05	<0.5	14437	0.09	3.5
"	26.04.2010	<0.05	73	<0.5	<0.05	<5	8.69	<0.05	0.05	0.5	4.2	29	<0.1	2.29	0.2	0.5	1.0	<1	0.08	<0.5	14287	0.07	7.6
**	26.04.2010	<0.05	65	1.1	<0.05	6	4.95	<0.05	0.06	0.9	4.2	38	<0.1	4.16	0.5	1.4	2.5	<1	0.33	<0.5	19870	0.04	9.1
KK-22	01.08.2009	<0.05	58	1.1	<0.05	8	2.25	<0.05	<0.02	<0.5	5.5	<10	<0.1	0.95	0.5	0.7	2.8	<1	0.07	<0.5	20871	0.11	2.9
"	26.04.2010	<0.05	30	0.9	<0.05	6	2.99	<0.05	0.03	0.5	2.3	15	<0.1	1.56	0.5	0.3	0.6	<1	0.07	<0.5	18471	0.05	5.4
KK-23	01.08.2009	<0.05	80	<0.5	<0.05	11	3.63	<0.05	<0.02	<0.5	8.4	11	<0.1	1.53	0.2	0.8	1.1	<1	<0.05	<0.5	15960	0.12	5.3
KK-24	01.08.2009	<0.05	46	<0.5	<0.05	8	3.10	<0.05	<0.02	<0.5	4.6	<10	<0.1	0.82	0.3	0.7	2.2	<1	<0.05	<0.5	13955	0.08	3.0
"	26.04.2010	<0.05	29	<0.5	<0.05	<5	3.57	<0.05	<0.02	<0.5	3.6	11	<0.1	1.78	0.2	0.3	0.7	<1	0.08	<0.5	9177	0.04	5.7
KK-25	01.07.2009	<0.05	66	<0.5	<0.05	8	6.05	<0.05	<0.02	<0.5	10.5	<10	<0.1	1.78	0.2	1.0	0.4	<1	<0.05	<0.5	10933	0.23	8.9
**	26.04.2010	<0.05	54	<0.5	<0.05	<5	5.27	<0.05	0.07	0.9	8.7	25	<0.1	4.82	0.4	1.2	2.4	<1	0.30	<0.5	10146	0.14	15.5
KK-26	01.07.2009	<0.05	70	<0.5	<0.05	10	3.35	<0.05	<0.02	<0.5	7.1	<10	<0.1	1.48	0.2	0.7	0.6	<1	<0.05	<0.5	9123	0.13	3.2
KK-27	01.07.2009	<0.05	32	<0.5	<0.05	8	5.24	<0.05	<0.02	<0.5	3.2	<10	<0.1	0.54	0.1	0.4	1.2	<1	<0.05	<0.5	9954	0.24	1.9
KK-28	02.08.2009	<0.05	100	<0.5	<0.05	7	5.11	<0.05	0.05	0.8	8.1	31	<0.1	2.77	0.3	1.3	2.5	<1	<0.05	<0.5	18077	0.37	6.0
KK-29	02.08.2009	<0.05	85	0.6	<0.05	10	4.02	<0.05	<0.02	<0.5	8.4	<10	<0.1	1.57	0.1	0.8	1.3	<1	<0.05	<0.5	10417	0.19	5.3
KK-30	02.08.2009	<0.05	6667	1.0	<0.05	14	19.42	0.47	19.83	<0.5	10.5	17992	<0.1	1.658	0.1	5.4	1.3	<1	<0.05	<0.5	24755	0.10	199.4
"	23.04.2010	<0.05	8829	1.0	<0.05	8	13.55	0.38	23.41	0.6	2.8	19084	<0.1	1.708	<0.1	4.1	0.9	100	0.08	<0.5	24342	<0.02	216.5
KK-31	27.07.2009	<0.05	5462	<0.5	<0.05	6	25.46	0.53	9.26	<0.5	89.2	30	<0.1	89.76	<0.1	5.3	4.6	18	0.07	1.2	9946	0.10	94.9
"	24.04.2010	0.22	2657	<0.5	<0.05	8	39.05	0.34	5.27	0.8	199.0	63	<0.1	65.48	0.1	11.7	6.7	13	0.34	1.5	6788	0.05	396.8
KD-1	27.07.2009	<0.05	604	0.6	<0.05	21	75.17	0.15	1.76	<0.5	18.9	282	<0.1	174.2	0.3	2.7	1.6	42	0.18	<0.5	7733	0.14	33.9
"	24.04.2010	<0.05	391	<0.5	<0.05	<5	44.48	<0.05	0.71	0.5	6	158	<0.1	43.76	0.2	1.1	1.8	8	0.19	<0.5	4513	0.06	10.2
KD-2	28.07.2009	<0.05	337	<0.5	<0.05	11	34.68	0.07	0.79	<0.5	12.9	80	<0.1	60.87	0.2	1.6	1.8	13	<0.05	<0.5	5617	0.11	14.2
"	24.04.2010	<0.05	229	<0.5	<0.05	<5	25.51	<0.05	0.35	0.7	4.3	157	<0.1	29.52	0.2	0.7	2.4	2	0.11	<0.5	2589	0.04	7.4
KD-3	28.07.2009	<0.05	183	0.6	<0.05	22	36.50	0.19	0.18	<0.5	9.9	160	<0.1	35.93	0.3	1.1	6.0	8	0.09	<0.5	7490	0.16	40.0
"	24.04.2010	<0.05	212	<0.5	<0.05	6	22.72	0.12	0.26	1.0	4.6	177	<0.1	34.73	0.2	1.1	9.9	2	0.10	<0.5	5780	0.09	25
KD-4	30.07.2009	<0.05	106	<0.5	<0.05	7	5.13	<0.05	0.08	<0.5	10.3	80	<0.1	9.55	0.3	0.7	1.6	<1	0.08	0.6	3962	0.07	6.9
"	25.04.2010	<0.05	147	<0.5	<0.05	<5	8.25	<0.05	0.15	<0.5	6.9	98	<0.1	13.65	0.2	1.9	3.5	<1	0.15	<0.5	3832	0.03	11.4
KD-5	30.07.2009	<0.05	619	<0.5	<0.05	12	54.11	0.66	1.06	<0.5	20.6	520	<0.1	116.6	0.2	2.7	93.5	14	0.16	0.6	6947	0.16	107.4
"	25.04.2010	<0.05	252	<0.5	<0.05	<5	31.24	0.19	0.39	0.8	7.6	153	<0.1	36.81	0.2	1.0	11.9	4	0.16	<0.5	3208	0.04	39.2
KD-6	31.07.2009	<0.05	474	<0.5	<0.05	6	27.58	0.06	0.56	<0.5	12.5	414	<0.1	62.07	0.4	2.3	1.8	8	0.07	<0.5	4836	0.20	25.8
KD-7	02.08.2009	<0.05	166	0.6	<0.05	19	33.19	0.19	0.17	<0.5	10.2	87	<0.1	40.88	0.3	0.9	3.2	8	0.15	<0.5	8539	0.27	21.3
"	25.04.2010	<0.05	240	<0.5	<0.05	8	25.46	0.10	0.34	1.2	14.2	127	<0.1	30.90	0.3	1.7	11.4	4	0.35	<0.5	5822	0.09	29.9
KA-1	30.07.2009	0.17	9025	5.3	<0.05	74	99.89	10.03	5.55	6.1	62.6	16214	<0.1	1632	1.1	4.4	3850	30	0.74	<0.5	17865	1.17	2049

etkilemektedir. Bazı kayaçlar ve/veya mineraller yüksek oranda iz element konsantrasyonuna sahiptirler. Fe, Cu, Zn ve Pb elementleri sıklıkla sülfür mineralleri ile ilişkilidir. Kayaçalarda Al içeren birçok mineral (feldispat, mika, piroksen grubu mineraller vb.) bulunmaktadır. Kayaçalarda Cu bulunduran sülfidik mineraller kalkosit ( $Cu_2S$ ), kovellit ( $CuS$ ), kalkopirit ( $CuFeS$ ) ve benzeri minerallerdir. Kayaçalarda Fe bulunduran sülfidik mineraller pirit ( $FeS_2$ ), pirolit ( $Fe_{1-x}S$ ) ve benzeri minerallerdir. Zn içeren major sülfidik mineral ise sfalarittir ( $ZnS$ ) (He vd., 2005). Çalışma alanındaki Üst Kretase volkaniklerinde galen ( $PbS$ ), sfalerit ( $ZnS$ ), pirit ( $FeS_2$ ), kalkopirit ( $CuFeS_2$ ), kalkosit ( $Cu_2S$ ) ve hematit ( $Fe_2O_3$ ) sülfürlü cevher mineralleri bulunmaktadır.

Suların iz element analiz sonuçları Çizelge 2’de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, Üst Kretase volkaniklerinden boşalan kaynakların (KK-1, KK-2, KK-7, KK-11, KK-12, KK-18, KK-19, KK-30, KK-31) Al, Fe ve Mn konsantrasyonlarının, kurak ve yağışlı dönemlerde, Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları’nda (Sağlık Bakanlığı, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü Standartları’nda (WHO, 2006) verilen üst sınır değeri birkaç kat aştığı görülmektedir. Genellikle yüksek Fe ve Mn konsantrasyonları düşük yükseltgenme-indirgenme potansiyeline sahip kaynaklarda (KK-18, KK-30) gözlenmektedir (Keskin ve Toptaş, 2012).

Kaynakların Al değerleri 379 ppb ile 8829 ppb arasında değişmekte olup, standartlardaki 200 ppb olan üst sınırı aşmaktadırlar. Kaynakların Fe değerleri <10 ppb ve 19082 ppb arasında değişmektedir. Bazı kaynaklardaki (KK-2, KK-3, KK-7, KK-18, KK-30) değerler Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları’nda verilen

üst sınır değeri (200 ppb) birkaç kat aşmaktadır. Kaynakların Mn değerleri 6.3 ppb ile 1708 ppb arasında değişmekte olup, bazı kaynakların (KK-11, KK-12, KK-18, KK-19, KK-30, KK-31) konsantrasyonları standartlardaki üst sınır değeri (50 ppb) aşmakta veya sınır değere çok yakın değerler vermektedir.

KK-2 kaynağının Cu, Pb ve Zn değerleri diğer kaynaklara oranla daha yüksektir. Kaynağın Pb değerleri 12 ppb ile 16 ppb arasında değişmekte olup, standartlardaki sınır değeri (10 ppb) aşmaktadır. KK-30 kaynağı, 324 mg/l olan  $SO_4$  değeri ile üst sınır değeri (250 mg/l) aşmaktadır. Çalışma alanındaki diğer birimlerden boşalan kaynaklarda belirgin bir major ya da iz element kirliliği saptanmamıştır.

Çalışma alanındaki akarsuların Al, Fe, Mn ve Pb konsantrasyonları (KD-4 hariç) kurak ve/veya yağışlı dönemde Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Dünya İçme Suyu Standartları’nda verilen üst sınır değerleri aşmakta veya yakın değerler vermektedir. KD-3, KD-5 ve KD-7 akarsu ölçüm noktaları çevresinde güncel maden atıkları bulunmaktadır. Ayrıca KD-5 ölçüm noktasının hemen üzerine maden sıvı atıkları (KA-1) boşaltılmaktadır. Çizelge 2’de verilen iz element verilerine bakıldığında KA-1’in birçok iz element açısından oldukça zengin olduğu görülmektedir. KD-1, KD-2, KD-4 ve KD-6 akarsu ölçüm noktalarının üst kısımlarında ise güncel maden atıkları bulunmamaktadır. Bununla birlikte KD-1, KD-2 ve KD-6 ölçüm noktalarından önce daha üst kotlarda, sülfürlü cevherleşmelerden oldukça etkilenmiş kaynaklar boşalmaktadır. Akarsuların Al konsantrasyonları 212 ppb ve 619 ppb arasında değişmekte (KD-4 hariç) olup, kurak ve/veya yağışlı dönemde Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Dünya İçme

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

Suyu Standartları'nı aşmaktadırlar. Fe değerleri 80 ppb ve 520 ppb arasında değişmekte olup, KD-4 hariç diğer akarsuların kurak ve/veya yağışlı dönemdeki Fe değerleri standartlardaki üst sınırı geçmekte veya bu değerlere yakın değerler vermektedir. Mn miktarları 30 ppb ve 174 ppb arasında değişmekte olup (KD-4 hariç), Fe konsantrasyonlarına benzer şekilde, kurak ve/veya yağışlı dönemde standartlardaki üst sınırı geçmekte veya bu değerlere yakın değerler vermektedir. Pb değerleri 1.6 ppb ve 94 ppb arasında değişmekte olan ve güncel maden atıklarının çevresinde bulunan KD-3, KD-5 ve KD-7 akarsu ölçüm noktalarının Pb değerleri, farklı dönemlerde standartlardaki üst sınır olan 10 ppb değerini aşmakta veya bu değere yakın değerler vermektedir. Birçok iz element açısından zengin olan maden atık suyundan (KA-1) hemen sonra yer alan KD-5'in özellikle Al, Fe, Mn, Pb ve Zn konsantrasyonlarının, diğer akarsu ölçüm noktalarının konsantrasyonları ile (özellikle, sıvı atıklardan önce yer alan KD-2 ölçüm noktası ile) karşılaştırıldığında, daha yüksek seviyede olduğu görülebilmektedir.

Çalışma alanındaki büyük debili ve/veya asidik suların toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Kaynakların toplam alfa radyoaktivite değeri 0.007 Bq/L ve 0.092 Bq/L arasında, beta radyoaktivite değeri ise 0.02 Bq/L ve 0.13 Bq/L arasında değişmekte olup, standartlardaki sınır değerleri aşmamaktadırlar. Bununla birlikte KK-2 Kaynağının toplam alfa değeri (0.092 Bq/L) standartdaki üst sınır değerine (0.1 Bq/L) yakın düzeyde bulunmaktadır.

Çizelge 3. Çalışma alanındaki bazı suların toplam alfa ve toplam beta radyoaktivite analiz sonuçları.

Table 3. Total alpha and total beta radioactivity analyses results of some waters in the study area.

Kaynak No	Örnekleme Tarihi	Toplam Alfa (Bq/L)	Toplam Beta (Bq/L)
KK-2	27.07.2009	0.092 ± 0.006	0.13 ± 0.01
KK-5	28.07.2009	0.058 ± 0.004	0.12 ± 0.01
KK-9	29.07.2009	0.031 ± 0.003	0.05 ± 0.01
KK-11	29.07.2009	0.083 ± 0.006	0.13 ± 0.01
KK-13	30.07.2009	0.007 ± 0.002	0.02 ± 0.01
KK-21	01.08.2009	0.010 ± 0.003	0.08 ± 0.01
KK-30	02.08.2009	0.065 ± 0.026	0.13 ± 0.04

## İSTATİSTİKSEL ANALİZLER

Çalışma alanındaki yeraltısularının kimyasal bileşimini kontrol eden, mineral-su reaksiyon prosesleri sonucu oluşan elementlerin birbirleriyle ilişkilerini saptayabilmek, çalışma alanındaki yeraltısularını gruplandırabilmek ve gruplar hakkında ayrıntılı bilgilere ulaşabilmek amacıyla uygulanan korelasyon ve faktör analizleri sonuçları Çizelge 4 ve Çizelge 5'te verilmiştir. Çalışma verilerinin değerlendirilmesinde SPSS 15.0 programı (Inc, 2006) uygulanmıştır. Verileri indirgemek, sınıflamak ve birçok parametre açısından benzer hidrokimyasal fasiyese sahip yeraltısularını saptamak amacıyla hiyerarşik kümeleme analizi yapılmış ve analiz sonucu oluşan ağaç grafiği (dendogram) Şekil 3'te verilmiştir.

Çalışma alanındaki yeraltısuları için yapılan Pearson's Korelasyon Analizi'nde Na, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Fe, Mn, Co ve Al arasında çoğunlukla kuvvetli pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Ayrıca bu elementler ile ÖEİ arasında da kuvvetli korelasyonlar mevcuttur. Bu durum, bu elementlerin ortak bir beslenme kaynağından (cevherli volkanik kayalar) geldiğini ve

Çizelge 4. Çalışma alanındaki yeraltularının seçilen bazı bileşenlerine ait korelasyon matrisi.  
Table 4. The correlation matrix of some selected components of the groundwaters in the study area.

	Na	K	Mg	Ca	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	pH	Al	B	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si	Zn	ÖEİ	Eh	
Na	1																					
K	.22	1																				
Mg	.82**	.27	1																			
Ca	.69**	.43	.83**	1																		
HCO <sub>3</sub>	.44	.21	.03	.02	1																	
Cl	.43	.31	.57**	.46	.16	1																
SO <sub>4</sub>	.57**	.34	.87**	.90**	-.31	.46**	1															
NO <sub>3</sub>	-.10	-.34	-.22	-.23	.15	.02	-.33	1														
pH	-.04	-.38	-.42	-.45	.47**	-.35	-.68**	.43	1													
Al	.26	.35	.60**	.62	-.40*	.40	.83**	-.45	-.90**	1												
B	.40*	.37	.45	.47**	.04	.44	.45	-.33	-.33	.42	1											
Co	.51**	.26	.84**	.71**	-.34	.57**	.92**	-.38	-.76**	.88**	.44	1										
Cu	-.19	.10	-.06	-.12	-.18	.32	.04	-.22	-.41	.25	.16	.25	1									
Fe	.72**	.24	.94**	.84**	-.22	.47**	.92**	-.21	-.45	.61**	.41	.85**	-.02	1								
Mn	.70**	.25	.95**	.84**	-.24	.47**	.94**	-.23	-.49**	.65**	.40	.87**	-.05	.996**	1							
Ni	.15	.22	.52**	.46**	-.34	.66**	.66**	-.40	-.80**	.80**	.40	.81**	.49**	.50**	.53**	1						
Pb	-.23	.20	-.04	.04	-.20	.31	.13	-.18	-.38	.30	.20	.22	.87**	.02	-.01	.45	1					
Si	.62**	.64**	.52**	.58**	.20	.25	.51**	-.26	-.19	.39	.50**	.42	-.15	.49**	.49**	.16	-.09	1				
Zn	.46**	.12	.80**	.59**	-.34	.60**	.81**	-.32	-.61**	.72**	.41	.92**	.34	.82**	.83**	.80**	.30	.25	1			
ÖEİ	.63**	.46**	.85**	.91**	-.09	.53**	.95**	-.36	-.70**	.86**	.49**	.89**	.08	.82**	.85**	.67**	.16	.58**	.74**	1		
Eh	-.20	.16	-.03	-.15	-.20	.19	.08	-.27	-.66**	.47**	.14	.32	.56**	-.08	-.05	.52**	.38	-.10	.19	.17	1	

Korelasyon 0.05 düzeyinde önemlidir.

Korelasyon 0.01 düzeyinde önemlidir.

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

Çizelge 5. Çalışma alanındaki yeraltısularının varimax faktör matrisi ve faktör skorları.

Table 5. Varimax factor matrix and factor scores of the groundwaters in the study area.

	Faktör 1	Faktör 2	Faktör 3	Faktör 4
Co	.960	-.117	-.171	.025
SO <sub>4</sub>	.956	.106	-.192	-.099
EC	.954	.100	.037	-.097
Mn	.902	.282	-.260	.052
Mg	.887	.360	-.082	.165
Fe	.886	.298	-.241	.099
Zn	.872	-.144	-.234	.256
Al	.859	-.312	-.082	-.252
Ca	.842	.367	.023	-.041
Ni	.773	-.490	-.024	.131
pH	-.729	.537	.052	.269
Cl	.617	-.057	.281	.568
Na	.611	.641	.176	.207
B	.565	.035	.408	-.009
Si	.550	.424	.443	-.311
K	.425	.041	.664	-.355
NO <sub>3</sub>	-.404	.248	-.191	.517
Pb	.236	-.697	.294	.301
Eh	.232	-.730	.177	-.113
Cu	.205	-.772	.278	.358
HCO <sub>3</sub>	-.203	.499	.669	.270
İlk Özdeğerler	10.377	3.636	1.858	1.440
Varyansların Yüzdesi	49.415	17.316	8.849	6.859
Kümülatif Yüzde	49.415	66.731	75.579	82.438

suların iletkenliğinin ve toplam çözünmüş madde miktarının artmasında, bu elementlerin etkisinin kuvvetli olduğunu göstermektedir. SO<sub>4</sub> ile pH arasındaki negatif korelasyon ve SO<sub>4</sub> ile Al, Co, Fe, Mn ve Zn arasındaki kuvvetli pozitif korelasyon ise, sülfürlü cevherlerin (özellikle pirit) oksidasyonunu işaret etmekte ve oksidasyon prosesi sonucunda suların asidikleştiğini ve bu asidikleşmenin özellikle yukarıda bahsedilen elementlerin çözünürlüğünü arttırdığını açıkça göstermektedir. Al, Co, Ni, Zn, Fe, Mn arasındaki kuvvetli ilişkiler de bu durumu desteklemektedir. Ayrıca pH ile Eh arasındaki ters ilişki ise çalışma alanındaki asidik suların çoğunlukla oksitleyici olduğuna işaret etmektedir.

Çalışma alanındaki yeraltısuları arasındaki benzerlikleri ortaya koymak ve en baskın prosesleri tanımlayabilmek amacıyla yapılan faktör analizi sonucu, çalışma alanında özellikle bir su tipinin egemen olduğu görülmüştür. Analizde 4 önemli faktör açığa çıkmıştır. Bu faktörler varyansın % 82.438'ini açıklamakta olup, en büyük pay 1. faktöre aittir ve 1. faktör varyansın % 49.4'ünü göstermektedir. Bu faktördeki önemli değişkenler Co, SO<sub>4</sub>, ÖEİ, Mn, Mg, Fe, Zn, Al, Ca, Ni ve pH'tır. pH hariç diğer değişkenler pozitif yükleme göstermektedir. Korelasyon analizine çok yakın sonuçlar veren bu faktör, cevherli volkanik kayaların çözünmesiyle bu elementlerce zenginleşen, sülfürlü cevherleşmelerden kaynaklanan oksidasyon proseslerinden etkilenen ve zehirli metal ve kompleksler tarafından kirlenen yeraltısularını temsil etmektedir. 2. faktör varyansın % 17.3'ünü açıklamakta ve Na, pH pozitif yüklenirken, Cu, Pb ve Eh negatif yüklenmektedir. Bu faktör, pH ile Cu, Pb ve Eh

arasındaki ters ilişkiyi göstermekte, asidik suların oksitleyici özelliğini ve asidik yeraltısularındaki Cu ve Pb zenginleşmesi olan suları temsil etmektedir. 3. faktör varyansın % 8.8'ini, 4. faktör ise varyansın % 6.8'ini açıklamakta ve bu faktörlerin, cevherli olmayan kayaçlardan beslenen suları temsil ettiği düşünülmektedir.

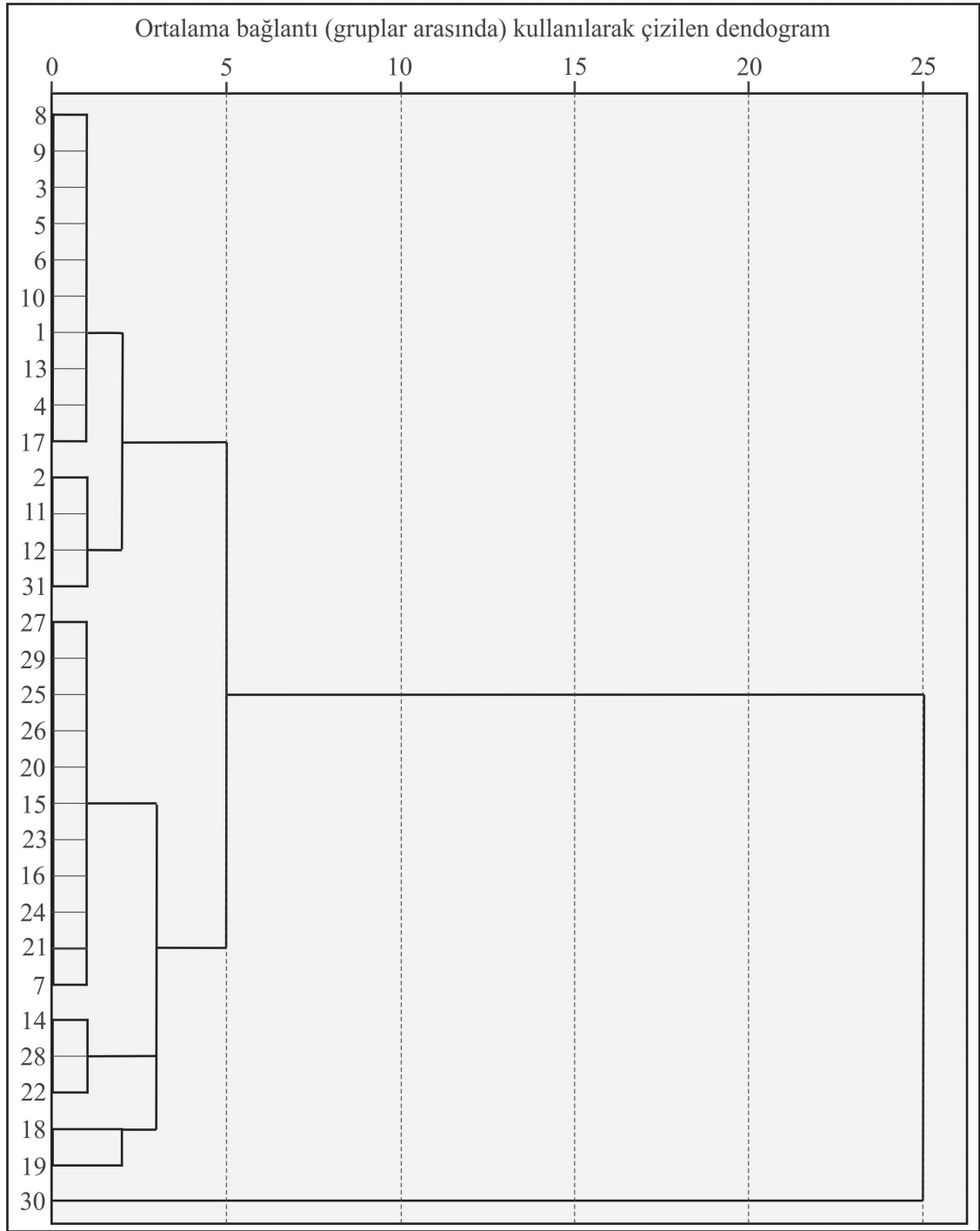
Şekil 3, hiyerarşik kümeleme analizi tarafından elde edilen dendogramı göstermektedir. Kümeleme analizi, örnekler arasındaki benzerlikleri ya da farklılıkları bulmaya yarayan istatistiksel bir tekniktir. Birimler veya değişkenler arasındaki benzerlikleri ya da farklılıkları gösteren uygun bir benzerlik ölçüsü kullanılarak birimler/değişkenler arasındaki uzaklık hesaplanır. İki nesne arasındaki uzaklığı hesaplamak için Öklid ve Karesel Öklid Uzaklığı, Manhattan Uzaklığı, Korelasyon Katsayısı ve Korelasyon Uzaklığı, Gamma Benzerlik Ölçüsü ve Jaccard Benzerlik Ölçüsü kullanılabilir. Bu çalışmada en yaygın olan Öklid Uzaklık Ölçüsü kullanılmıştır. Bu yöntem, n sayıdaki örneğe ait m sayıdaki özellik kullanılarak her bir örneğin öklid uzayındaki konumlarının belirlenmesi ve örnekler arasındaki öklid uzaklıklarına göre benzer ya da ayrı gruplar halinde sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. İki örneği (ya da değişkeni) birleştiren dallar ne kadar kısa ise bu örnekler (değişkenler) öklid uzayında birbirlerine o ölçüde yakın bulunmaktadır. Bu işlem sonucunda gözlemler arasındaki uzaklığı gösteren benzerlik veya farklılık matrisi belirlenmiş olur (Özdamar, 1999; Şahin 2008; Atilla ve Arıkan, 2001).

Dendogramda toplam 31 su kaynağı, 5 önemli istatistiksel kümeye ayrılmıştır. Her bir küme benzer hidrokimyasal fasiyesteki örnek setlerini içermektedir. Küme 1 çoğunlukla

maden yatakları tarafından kirletilmemiş veya görece olarak daha az kirlenmiş, yüksek kotlardan beslenen ve dolayısıyla kar sularından daha hızlı ve daha fazla etkilenen suları göstermektedir. Küme 2 ve 5 cevherli kayaçlar tarafından kirletilmiş ve sülfürlü cevherleşmelerden kaynaklanan oksidasyon proseslerinden etkilenen yeraltısularını temsil etmektedir. Küme 5'te yer alan kaynakların çözünmüş madde içeriği görece olarak daha yüksek olup, bu kaynaklar daha fazla konsantrasyonda Al içermektedir. Küme 3 ve 4 ise çalışma alanının güney kesimindeki, maden yataklarından daha uzaklarda bulunan volkanik kayaçlardan (çoğunlukla cevhersiz Eosen ve Pliyosen volkanikleri) boşalan ve kirlenmemiş sulara işaret etmektedir. Dendogramda kaynak kümelerine en uzak olan KK-30 kaynağı ise, çalışma alanındaki en yüksek çözünmüş madde içeriğine sahip, en fazla iz element kirliliği gösteren ve sülfürlü cevherleşmelerden kaynaklanan oksidasyon prosesinden etkilenen bir yeraltısuyudur.

## JEOKİMYASAL DEĞERLENDİRME

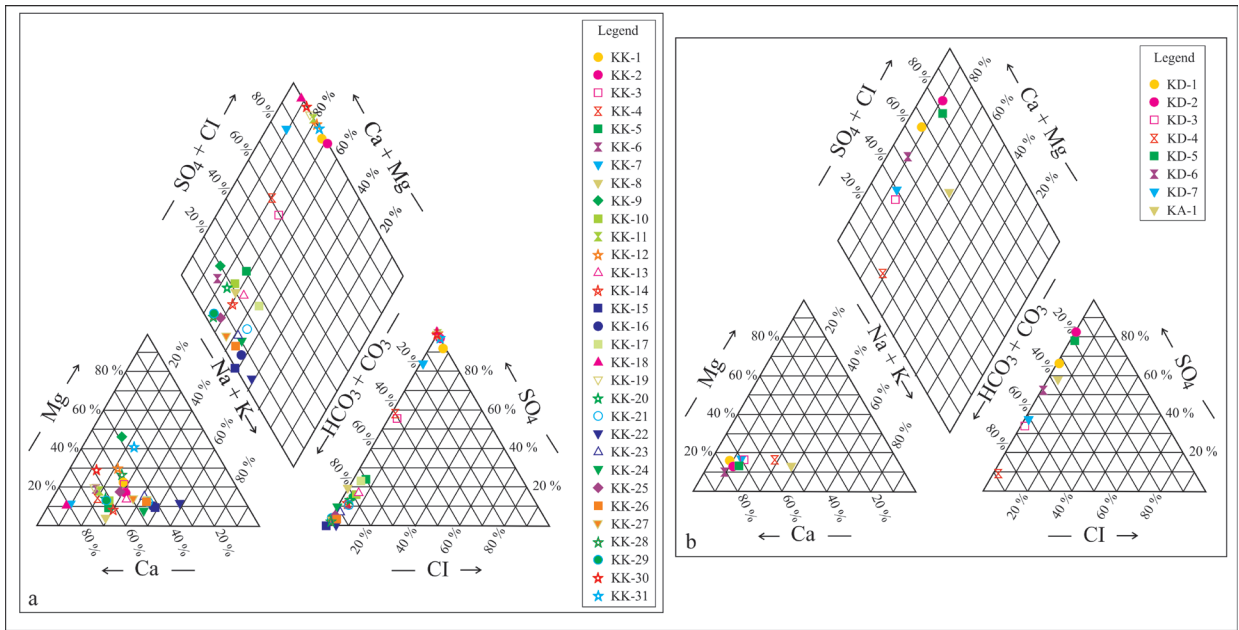
Şekil 4, çalışma alanındaki suların major anyon ve katyon yüzdelerine göre çizilen Piper (Piper, 1944) Diyagramı'nı göstermektedir. Bu diyagramda, yeraltısularının sülfidik cevherleşmeler ile etkileşime girip, oksidasyon prosesi sonucu  $SO_4$  egemen fasiyese sahip olması kendini açıkça göstermektedir. Buna bağlı olarak cevherli Üst Kretase volkaniklerinden boşalan kaynaklar Ca- $SO_4$  fasiyesinde olup, KK-1, KK-2, KK-3, KK-12 ve KK-31 bir miktar yüksek Mg ve Na yüzdelerine sahiptirler. Diğer jeolojik formasyonlardan boşalan kaynaklar ise Ca-Na-Mg- $HCO_3$  fasiyesindedirler. KD-1, KD-2, KD-5 ve KD-6 akarsu örnekleri  $CaSO_4$  tipinde olup,



Şekil 3. Çalışma alanındaki yeraltısularının 21 parametresi kullanılarak üretilen dendrogramları (Hiyerarşik kümeleme analizi ortalama bağlantı (gruplar arasında) kullanılarak gerçekleştirilmiştir).

Figure 3. Dendrogram produced using 21 parameters of groundwater in the study area. (Hierarchical cluster analysis was performed using average linkage).





Şekil 4. Çalışma alanındaki suların Piper diyagramı (a: kaynaklar, b: akarsular).

Figure 4. Piper diagram of the waters in the study area (a: springs, b: streams).

bu ölçüm noktaları cevherli alanlar ve maden atıklarının bulunduğu sahalardan beslenen akarsulardır. KD-3, KD-4 ve KD-7 örnekleri ise Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. KD-4 akarsu örneği diğer akarsu örneklerine göre daha yüksek Na içermekte, KD-3 ve KD-7 örnekleri ise KD-4'den daha yüksek SO<sub>4</sub> içeriğine sahiptir. KD-3 ve KD-7 örnekleme noktaları, cevherli alanlar ile cevher mineralleri içermeyen jeolojik birimlerden akan akarsuların karışımı olan akarsulardır. Dolayısıyla bu akarsular seyrelmeye uğramışlardır. KD-4 ölçüm noktasının beslenme alanında ise güncel madencilik faaliyetleri ve atıkları bulunmamaktadır.

Çalışma alanındaki kaynak ve akarsuların çeşitli mineraller açısından doygunluk durumlarını saptamak amacıyla PHREEQC (Parkhurst ve Appelo, 1999) programı kullanılmış ve bu suların kurak dönemlerdeki doygunluk

durumları saptanmıştır (Çizelge 6). Genellikle çalışma alanındaki tüm sular kalsedon, kristobalit, kuvars gibi silikat minerallerine doymuş iken, karbonat, sülfür ve klorür minerallerine ise doymuş değildirler.

Minerallerin bozunması yeraltısuyuna major ve minör iyonların katılması için gereken başlıca proseslerden biridir. Doğal sularda var olan iz elementlerin en biyo-kullanılabilir ve zehirli olan formları serbest olan türleri olarak bilinmektedir (Apte vd., 1995; Edet vd., 2004). Çalışma alanındaki asidik yeraltısularındaki Al'nin ana türleri genellikle en zehirli formları olan (Bi, 2000) Al<sup>+3</sup>, AlSO<sub>4</sub><sup>+</sup>, AlOH<sup>+2</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup> ve Al(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub><sup>-</sup> (genellikle derişimi > [10<sup>-7</sup> mol]) iken asidik olmayan kaynaklar ve akarsularda ise Al(OH)<sub>4</sub><sup>-</sup>, Al(OH)<sub>2</sub><sup>+</sup> ve Al(OH)<sub>3</sub>'tür. Çalışma alanındaki asidik yeraltısuları genellikle Al minerallerine doymuş değildirler. Sadece pH'ı di-

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

Çizelge 6. Çalışma alanındaki suların mineral doygunluk indeksleri.  
Table 6. Mineral saturation indices of the waters in the study area.

Mineral	KK-1	KK-2	KK-3	KK-4	KK-5	KK-6	KK-7	KK-8	KK-9	KK-10	KK-11	KK-12	KK-13	KK-14	KK-15	KK-16	KK-17	KK-18	KK-19	KK-20
Adülyarya	-4.3	-6.6	-0.6	0.4	-0.5	0.4	2.0	-1.0	-0.5	-0.4	-6.4	-7.7	0.8	2.9	1.8	2.0	0.3	-6.7	-6.3	1.5
Albit	-6.7	-9.3	-3.0	-1.5	-2.8	-1.9	0.0	-2.9	-2.2	-2.3	-9.1	-11	-2.9	0.3	-0.4	-0.2	-1.4	-9.2	-8.6	-0.6
Alunit	1.1	-2.2	0.7	2.5	1.1	-3.7	8.0	-2.6	-1.0	-0.4	-2.0	-4.0	-2.6	1.7	-2.2	-2.8	0.2	-3.3	-2.4	1.8
Anortit	-12	-18	-3.4	-2.6	-4.5	-1.9	0.2	-3.7	-2.9	-3.2	-16	-21	-3.8	-0.8	-2.5	-1.8	-2.7	-19	-18	-2.1
Basaluminit	1.6	-5.2	4.6	8.0	7.6	2.5	13	3.6	7.2	7.4	-4.5	-8.0	5.4	7.6	5.2	4.2	6.9	-8.6	-6.2	7.9
Böhmit	-0.2	-2.6	2.0	2.1	1.8	1.7	3.3	1.6	2.1	2.1	-2.5	-3.6	1.7	2.3	1.9	1.8	2.1	-3.8	-3.0	2.2
Kalsedon	-0.1	0.2	-0.2	0.2	0.0	-0.1	0.4	-0.2	-0.1	0.0	0.2	0.3	-0.3	0.6	0.5	0.5	0.1	0.6	0.5	0.4
Kristobalit	0.0	0.3	-0.2	0.3	0.1	0.0	0.5	-0.1	0.0	0.0	0.3	0.4	-0.2	0.7	0.6	0.5	0.2	0.7	0.6	0.5
KuproFerrit	4.6	2.9	13	11	9.8	14	10	12	12	12	0.7	-2.2	12	12	11	12	12	0.5	-0.1	10
Diyaspor	1.6	-0.8	3.8	4.0	3.7	3.5	5.1	3.5	4.0	4.0	-0.7	-1.8	3.6	4.2	3.8	3.7	4.0	-2.0	-1.2	4.1
Gibsit	0.5	-1.9	2.6	2.9	2.6	2.3	4.0	2.3	2.9	2.9	-1.8	-2.9	2.5	3.1	2.6	2.6	2.9	-3.1	-2.3	2.9
Götit	-1.0	-2.5	6.2	4.0	3.5	7.9	4.3	5.5	5.5	4.8	-3.5	-5.5	5.8	5.3	4.6	5.8	5.2	-2.9	-4.1	3.8
Halloysit	-2.8	-7.0	1.3	2.5	1.6	1.0	5.2	0.7	2.0	2.1	-6.8	-8.8	0.8	3.8	2.7	2.5	2.3	-8.6	-7.1	3.1
Hematit	-0.2	-3.0	14	9.9	8.9	18	11	13	13	12	-5.0	-9.1	14	13	11	14	12	-3.8	-6.2	9.6
Illit	-3.8	-9.2	2.9	4.5	3.0	3.8	7.7	2.2	3.8	3.7	-8.8	-12	2.6	7.2	5.5	5.6	4.4	-11	-9.1	5.6
Kaolinit	2.5	-1.7	6.4	7.8	7.0	6.2	10	6.0	7.3	7.4	-1.5	-3.5	6.2	9.0	8.0	7.7	7.6	-3.3	-1.9	8.4
Kimika	2.1	-4.9	10	12	10	11	16	9.2	11	11	-4.5	-7.9	9.7	15	13	13	12	-7.5	-5.4	13
Magnetit	-5.6	-8.9	14	7.8	6.5	18	8.9	12	12	12	-12	-18	13	11	9.4	13	11	-9.7	-14	7.3
NaK-Montmorillonit	-2.3	-6.1	4.5	5.0	3.0	5.2	7.9	3.4	4.2	3.9	-6.3	-8.4	2.8	7.4	5.9	6.4	4.9	-6.6	-5.9	5.8
Ca-Montmorillonit	-0.5	-5.3	4.7	6.7	5.4	5.0	10	4.3	5.9	6.0	-5.0	-7.4	4.3	8.8	7.4	7.2	6.4	-6.6	-5.0	7.7
Profillit	3.3	-0.5	7.9	8.9	7.0	7.1	13	6.6	7.3	7.5	-0.6	-2.4	5.5	11	9.4	9.3	8.4	-1.4	0.0	9.6
Kuvars	0.4	0.7	0.3	0.7	0.5	0.4	0.9	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	0.2	1.1	1.0	0.9	0.6	1.1	1.0	0.9

Çizelge 6. Devam.  
Table 6. Continued.

Mineral	KA-1	KD-7	KD-6	KD-5	KD-4	KD-3	KD-2	KD-1	KK-31	KK-30	KK-29	KK-28	KK-27	KK-26	KK-25	KK-24	KK-23	KK-22	KK-21
Adularya	4.4	0.9	0.7	1.6	-0.4	1.0	0.9	1.6	-7.3	-7.2	2.0	2.8	0.5	0.4	0.8	1.8	2.2	2.3	1.4
Albit	2.7	-1.1	-1.5	-0.6	-2.4	-0.9	-1.4	-0.4	-9.6	-8.9	-0.3	0.7	-0.9	-0.6	-0.4	-0.6	-0.1	0.1	-1.0
Alumit	4.0	-3.6	0.2	2.6	-4.0	-0.8	3.0	0.7	-2.8	-3.9	-1.2	-0.8	-4.5	-5.1	-1.1	-0.4	0.8	-8.7	1.1
Anortit	3.5	-0.9	-0.5	0.1	-2.6	-0.9	-0.9	0.4	-19	-20	-1.2	-0.6	-2.4	-1.9	-1.7	-2.5	-1.8	-1.8	-3.2
Basaluminit	8.6	-0.5	4.8	7.1	0.9	3.4	7.2	4.2	-6.7	-10	5.1	5.9	2.0	2.0	5.6	6.6	7.8	-2.0	7.1
Böhmit	3.2	1.3	2.2	2.5	1.6	1.8	2.5	2.1	-3.1	-4.2	1.9	2.1	1.4	1.5	2.0	2.0	2.2	1.0	2.0
Kalsedon	0.5	0.1	-0.1	0.1	-0.2	0.1	0.0	0.1	0.3	0.7	0.3	0.6	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.5
Kristobalit	0.5	0.2	0.0	0.2	-0.1	0.2	0.1	0.2	0.4	0.8	0.4	0.7	0.4	0.3	0.4	0.6	0.6	0.7	0.6
KuproFerrit	17	14	15	15	14	14	13	15	-0.1	0.5	12	12	12	13	12	11	11	13	9.5
Diaspor	5.0	3.1	4.0	4.3	3.4	3.6	4.3	3.9	-1.3	-2.3	3.8	3.9	3.2	3.3	3.8	3.9	4.1	2.8	3.8
Gibsit	3.8	2.8	2.8	3.2	2.2	2.4	3.1	2.7	-2.4	-3.5	2.6	2.8	2.1	2.2	2.7	2.8	3.0	1.7	2.7
Götit	10	7.8	8.3	7.9	7.5	7.8	6.4	8.2	-4.6	-2.7	5.8	6.0	6.0	6.6	5.0	4.4	4.4	7.0	3.2
Halloysit	5.0	1.9	1.9	3.0	0.5	1.6	2.7	2.1	-7.8	-9.1	2.4	3.2	1.2	1.3	2.5	2.9	3.5	1.0	2.8
Hematit	22	18	19	18	17	18	15	19	-7.3	-3.5	14	14	14	15	12	11	11	16	8.4
Illit	9.8	4.7	4.7	5.2	2.7	4.7	5.2	5.6	-10	-11	5.8	7.0	3.8	4.0	5.0	5.6	6.5	5.0	5.2
Kaolinit	10	7.1	7.1	8.2	5.7	6.8	7.9	7.3	-2.5	-3.9	7.7	8.5	6.5	6.6	7.8	8.2	8.8	6.2	8.1
Kimika	17	12	12	14	9.5	11	13	13	-6.6	-8.6	13	14	10	10	12	13	14	11	12
Magnetit	25	20	20	19	17	18	15	19	-15	-9.0	13	13	13	15	10	8.8	8.8	16	5.7
NaK-Montmorillonit	11	6.3	6.3	7.3	4.8	6.5	6.2	7.4	-7.0	-6.5	6.2	7.5	5.4	5.7	6.0	5.8	6.5	6.7	5.3
Ca-Montmorillonit	11	6.1	6.1	7.5	4.1	5.9	6.9	6.6	-6.2	-7.1	7.1	8.3	5.6	5.7	7.1	7.6	8.4	5.9	7.3
Profillit	13	8.2	8.7	9.9	7.2	8.7	9.5	9.4	-1.1	-1.5	8.9	10	8.0	8.0	9.3	9.5	10	8.5	9.5
Kuvars	0.9	0.6	0.4	0.6	0.3	0.6	0.5	0.6	0.8	1.2	0.8	1.1	0.8	0.7	0.8	1.0	1.0	1.1	1.0

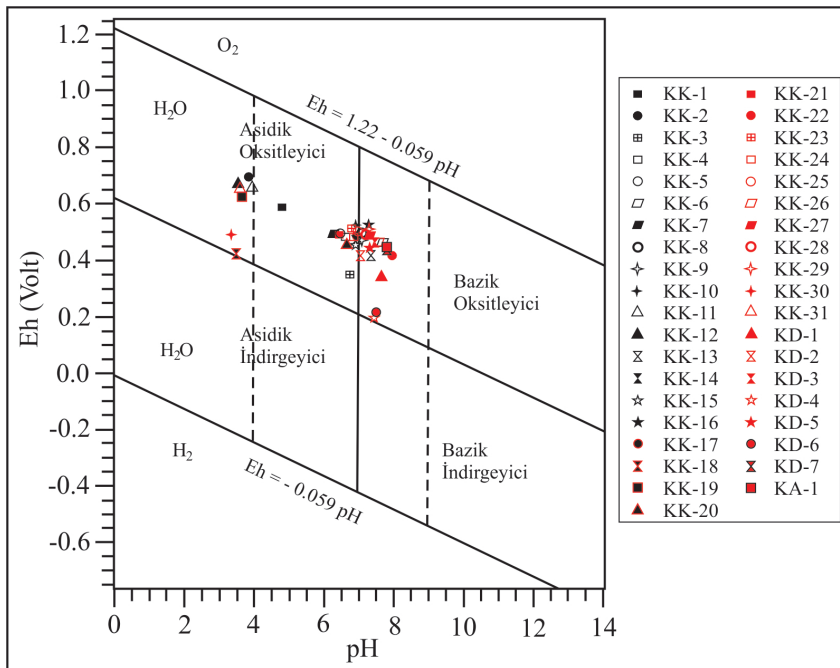
Koyu yazılan rakamlar suların ilgili minerallere uygunluğunu belirtmektedir.

ğer asidik kaynaklardan bir miktar daha yüksek olan (pH = 4.8) KK-1 Kaynağı, alünit, basaluminit, diyaspör, gibsit, kaolinit, K-mika, profililit gibi bazı Al içeren minerallere doygundur. Bununla birlikte asidik olmayan kaynaklar ve akarsular genellikle adularya ( $KAlSi_3O_8$ ), alunit ( $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ), basaluminit ( $Al_4(OH)_{10}SO_4$ ), böhmit ( $AlOOH$ ), diyaspör ( $AlOOH$ ), gibsit ( $Al(OH)_3$ ), halloysit ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), illit ( $K_{0.6}Mg_{0.25}Al_{2.3}Si_{3.5}O_{10}(OH)_2$ ), kaolinit ( $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ), Kmika ( $KAl_3Si_3O_{10}(OH)_2$ ), NaK-montmorillonit ( $HNaK_{0.09}Mg_{0.29}Fe_{0.24}Al_{1.57}Si_{3.93}O_{10}(OH)_2$ ), Ca-montmorillonit ( $Ca_{0.165}Al_{2.33}Si_{3.67}O_{10}(OH)_2$ ) ve profillit ( $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ ) gibi Al içeren minerallere aşırı doygunlardır.

Asidik kaynaklardaki ana Cu türleri genellikle  $Cu^{+2}$  (genellikle derişimi  $> [10^{-7}-10^{-8} \text{ mol}]$ ) iken, asidik olmayan kaynaklar ve akarsularda ise genellikle  $Cu(OH)_2$  ve  $Cu^{+2}$ 'dir.

Asidik kaynaklar, asidik olmayan kaynaklar ve akarsular genellikle Cu ve Fe içeren kuproferrit ( $CuFeO_2$ ) mineraline doygunlardır. Ayrıca asidik olmayan kaynaklar ve akarsular genellikle Fe içeren götit ( $FeOOH$ ), hematit ( $Fe_2O_3$ ) ve magnetit ( $Fe_3O_4$ ) minerallerine aşırı doygun iken asidik sular doygun değildirler. Asidik yeraltısularında ana Fe türleri genellikle  $Fe^{+2}$  ve  $FeSO_4$  (genellikle derişimi  $> [10^{-7}-10^{-8} \text{ mol}]$ ) iken asidik olmayan kaynaklar ve akarsularda ise genellikle sırasıyla  $Fe^{+2}$ ,  $Fe^{+2}$ ,  $Fe(OH)_3$ , ve  $Fe(OH)_2^+$  (genellikle derişimi  $> [10^{-7} \text{ mol}]$ )'dir. Asidik suların birçok mineral açısından doygun olmaması, bu sulara Al ve Fe gibi bazı iz elementlerin daha fazla çözünebilir olması ile desteklenmektedir.

Şekil 5'te verilen Eh-pH diyagramına (Krauskopf, 1967; Akçay, 2002) bakıldığında asidik sular genellikle asidik-oksitleyici sular



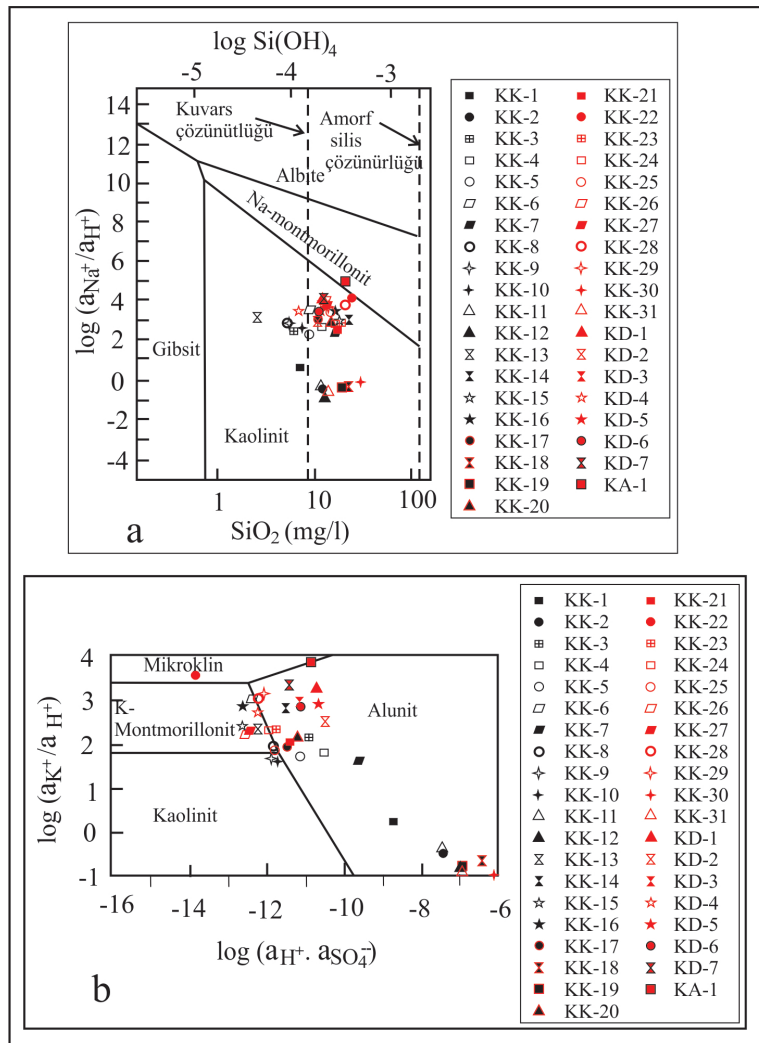
Şekil 5. Doğal ortamlarda suyun alt ve üst duraylılık alanları (Krauskopf, 1967; Akçay, 2002).

Figure 5. Upper and lower limits of water stability at the natural environments (Krauskopf, 1967; Akçay, 2002).

sınıfına girmektedir. Bununla birlikte KK-18 ve KK-30 kaynakları ise asidik-indirgeyici sular sınıfına yakın bulunmaktadır. Bu durum bu sularda Fe ve Mn konsantrasyonunun diğer sulardan daha yüksek olmasına yol açmıştır. Diğer sular ise genellikle bazik-oksitleyici sular

sınıfına girmektedir fakat KD-4 ve KD-6 akarsu örnekleri bazik-indirgeyici sular sınıfına yakın bulunmaktadır.

Bazı minerallerin 25 C° ve 1 atm basınç altında kararlılık ilişkileri, çeşitli aktivitelerin logaritmik fonksiyonu olarak Şekil 6'da



Şekil 6. 25 C° ve 1 bar basınçta gibsit, kaolinit, montmorillonit ve feldspatın duraylılık ilişkileri (a: gibsit-kaolinit-Na montmorillonit ve albite, b: kaolinit-alunit-K- montmorillonit ve mikroklın (Tardy, 1971; Knight, 1977; Freeze ve Cherry, 1979; Karakaya vd., 2007).

Figure 6. Stability relations for gibbsite, kaolinite, montmorillonite and feldspar at 25 °C and 1 bar (a: gibbsite-kaolinite-Na montmorillonite and albite, b: kaolinite-alunite-K- montmorillonite and microcline (Tardy, 1971; Knight, 1977; Freeze and Cherry, 1979; Karakaya et al., 2007).

gösterilmiştir. Bu şekile göre çalışma alanındaki sular kaolinit, alunit ve K-montmorillonit (bir kısmı) kararlılık alanına girmektedirler (Tardy, 1971; Freeze ve Cherry, 1979). Bir başka ifade ile, silikat mineralleri bozduğunda, kaolinit, alunit ve K-montmorillonit olarak kararlı halde bulunabileceklerini göstermektedir. Alunit, asidik ve sülfat taşıyan hidrotermal akışkanlar tarafından ana volkanik ve volkanosedimanter kayaların bozunması sonucu meydana gelmektedir (Hemley vd., 1969; Baba ve Gündüz, 2010).

Aktivite diyagramı ile doygunluk analizleri karşılaştırıldığında, asidik sular hariç, aktivite diyagramına göre kaolinit, alunit ve NaK-montmorillonit alanında kararlı olan suların, aynı zamanda bu mineraller açısından doygun oldukları anlaşılmaktadır (Çizelge 6). Asidik sular ise diğer sulardan farklı bir bölgede konumlanmakla birlikte, kaolinit ve alunit bölgelerinde kararlılık göstermektedirler. Fakat bu sular (KK-1 hariç) bu mineraller açısından doygun değildir. Bu durum, asidik suların dengede olmadıklarını ve mineralleri çözmeye devam edebileceklerini göstermektedir.

## SONUÇLAR

Pb-Zn-Cu cevherleşmelerinin bulunduğu Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) maden sahasında bu cevherleşmelerden kaynaklanan olası kirliliğin boyutlarının ve yayılımının belirlenmesi amacıyla yüzey ve yeraltısularında çalışmalar yapılmış ve bazı major ve iz element kirlilikleri saptanmıştır. Bu kirlilikler özellikle sülfürlü cevherleşmeler içeren Üst Kretase volkaniklerinde gözlenmektedir. Sülfürlü cevherleşmelerin bulunduğu Üst Kretase

volkanikleri ve Kurşunlu Pb-Zn-Cu maden zonlarındaki bozunma- ve oksidasyon prosesleri ve bunların hızlanmasına neden olan madencilik faaliyetleri bölgedeki yeraltı ve yüzeysularının fizikokimyasal proseslerini etkilemektedir. Bu durum sülfürlü cevherleşme zonlarının bulunduğu Üst Kretase volkanitlerinden boşalan kaynak sularında ve akarsularda Al, Fe, Mn, Pb ve SO<sub>4</sub> kirliliklerinin oluşmasına neden olmuştur.

Al, Fe, Mn, Pb ve SO<sub>4</sub> kirliliği saptanan kaynakların birçoğu çevre köylerin içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılamak için kullanılmaktadır. KK-1 ve KK-2 kaynakları Güzelyurt köyü içme suyu olarak kullanılmakta, KK-7 kaynağı Yenice köyü köy çeşmesi olarak kullanılmaktadır. KK-11 kaynağı Kurşunlu köyü içme suyu olarak kullanılmakta ve bu kaynak yetersiz kaldığında KK-12 kaynağından takviye yapılması planlanmaktadır. KK-31 kaynağı ise Güzelyurt köyü güzergahında yol kenarında çeşme olarak kullanılmaktadır.

KK-1, KK-2, KK-7, KK-11, KK-12, KK-18, KK-19, KK-30, KK-31 kaynaklarının Al değerleri 0.0456-8.829 mg/L arasında olup, standartlardaki sınır değerinin birkaç kat üzerine çıkmaktadır. KK-2, KK-3, KK-18 ve KK-30 kaynaklarının Fe değerleri Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları'nda üst sınır değeri olan 0.2 mg/L'yi birkaç kat aşmakta olup, KK-12, KK-18, KK-19, KK-30 ve KK-31 kaynaklarının Mn miktarları ise Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartları'nda üst sınır olan 0.05 mg/L değerini aşmaktadır. KK-2 kaynağının kurşun konsantrasyonu, kurak dönemdeki 0.016 mg/L ve yağışlı dönemdeki 0.0122 mg/L değeri ile Türk İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Dünya İçme Suyu Standartları'ndaki üst sınırı aşmaktadır. Üst Kretase volkaniklerinin cevherli zonların

bulunmadığı (çalışma alanının güney kısmında) kısımlarında ve çalışma alanındaki diğer birimlerden boşalan kaynaklarında herhangi bir kirlilik saptanmamıştır.

Çalışma alanındaki akarsuların Al, Fe, Mn ve Pb konsantrasyonları, (KD-4 hariç) kurak ve/veya yağışlı dönemlerde, standartlarında verilen üst sınır değerleri aşmakta veya bu değerlere yakın değerler vermektedir.

Çalışma alanındaki yeraltısularında, Na, Ca, Mg, SO<sub>4</sub>, Fe, Mn, Co ve Al arasında çoğunlukla kuvvetli pozitif korelasyonlar saptanmıştır. Bu durum, cevherli volkanik kayalardan beslenen suları göstermektedir. SO<sub>4</sub> ile pH arasındaki negatif korelasyon ve SO<sub>4</sub> ile Al, Co, Fe, Mn ve Zn arasındaki kuvvetli pozitif korelasyonlar mevcuttur. Bu durumlar, çalışma alanındaki sulardaki düşük pH ve yüksek Al, Fe, Mn ve SO<sub>4</sub> konsantrasyonlarını kontrol eden en önemli faktörün yüzey/yüzeyaltı/yeraltı pirit oksidasyon prosesleri olduğunu göstermektedir. Çalışma alanındaki yeraltısuları için yapılan faktör analizinde, 1. faktördeki önemli değişkenler Co, SO<sub>4</sub>, ÖEİ, Mn, Mg, Fe, Zn, Al, Ca, Ni ve pH olup, bu gruptaki sular cevherli volkanik kayaların çözünmesiyle bu elementlerce zenginleşen, sülfürlü cevherleşmelerden kaynaklanan oksidasyon proseslerinden etkilenen ve zehirli metal ve kompleksler tarafından kirlenen yeraltısularını temsil etmektedir. Kümeleme analizinde ise bu sular diğer gruplardan ayrılarak 2 grup oluşturmuşlardır. Bu sonuçlar, istatistiksel yöntemlerin, bu çalışmada olduğu gibi farklı proseslerden etkilenen suları (örneğin, sülfürlü cevherleşmelerin oksidasyonu ve asit maden drenajı) ayırmadaki önemini göstermektedir.

Akarsulara ve bu alanların yakınlarına atılan madencilik atıkları, bölgedeki suların (özellikle

yüzeysularının) kirlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle bölgedeki suların daha fazla kirlenmemesi için gerekli tedbirlerin alınması önerilmektedir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar finansal desteğinden dolayı Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı'na ve arazi çalışmaları sırasındaki katkılarından dolayı köy halklarına teşekkürü bir borç bilir.

## KAYNAKLAR

- Akçay, M., 2002. Jeokimya: Temel Kavramlar ve Uygulamaya Aktarım. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Trabzon, 506.
- Altun, İ.E., Senin, M., Akbaş, B., Keskin, H., Mengi, H., Köse, Z., Arslan, H., Deniz, N., Yaşar, T., Erdoğan, K., Acar, Ş., 1994. Giresun-Piraziz-Şebinkarahisar arasında kalan bölgenin jeolojisi. Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara.
- Appelo C.A.J., Postma, D., 1996. Geochemistry, Groundwater and Pollution. A.A. Balkema, Rotterdam, 536 p.
- Apte, S.C., Benko, W.I., Day, G.M., 1995. Partition and complexation of copper in the Fly River, Papua, New Guinea. Journal of Geochemical Exploration, 52, 67-79.
- Atilla, A.Ö., Arıkan, A., 2001. Antalya traverten platosu yeraltısularının kümeleme ve faktör analizi ile sınıflandırılması. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 25, 41-53.
- Baba, A., Gündüz, O., 2010. Effect of alteration zones on water quality: a case study from Biga Peninsula, Turkey. Archives of Environmental

Ekemen Keskin, Toptaş, Ersöz

- Contamination and Toxicology, 58, 499-513.
- Bi, S., 2000. Speciation of aluminium in the stream waters from the Susquehanna River watershed, Chesapeake Bay. *Environmental Geology*, 40, 300-304.
- Edet, A.E., Merkel, B.J., Offiong, O.E., 2004. Contamination risk assessment of fresh groundwater using the distribution and chemical speciation of some potentially toxic elements in Calabar (southern Nigeria). *Environmental Geology*, 45, 1025-1035.
- Freeze, R.A., Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. Prentice-Hall, New Jersey, 604 p.
- Gökçe, A., Özgüneylioğlu, A., 1988. Kurşunlu (Ortakent-Koyulhisar-Sivas) Pb-Zn-Cu yataklarının jeolojisi, oluşumu ve kökeni. *Yerbilimleri, Mühendislik Fakültesi Bülteni, Cumhuriyet Üniversitesi*, 5, 23-36.
- Gündüz, O., Baba, A., 2008. Fate of acidic mining lakes in Can Lignite District, Turkey. In *Proceedings of the XXXVI IAH congress integrating groundwater science and human well-being*, Proceedings CD-ROM, 26 October–1 November 2009, Toyoma, Japan.
- Gündüz, O., Okumuşoğlu, D., Baba, A., 2007. Acidic mining lakes and their influence on water quality: a case study from Can (Canakkale)-Turkey. In: Trefry MG (ed) *Proceedings of the 6th groundwater quality conference (GW07: securing groundwater quality in urban and industrial environments)*, Fremantle, Western Australia.
- He, Z.L., Yang, X.E., Stoffella, P.J., 2005. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 19, 125-140.
- Hemley, J.J., Hostetler, P.B., Gude, A.J., Mountjoy, W.T., 1969. Some stability relations of alunite. *Economic Geology*, 64, 599-612.
- Inc, S., 2006. *SPSS for Windows (15.0 ed.)*. SPSS 15.0 Command Syntax Reference, Chicago Ill.
- Karakaya, N., Karakaya, M.Ç., Nalbantçılar, M.T., Yavuz, F., 2007. Relation between spring-water chemistry and hydrothermal alteration in the Şaplıca volcanic rocks, Şebinkarahisar (Giresun, Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 93, 35-46.
- Keskin, T.E., Toptaş, S., 2012. Heavy metal pollution in the surrounding ore deposits and mining activity: a case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 67, 859-866.
- Knight, J.E., 1977. A thermochemical study of alunite, enarjite, luzonite and tennantite deposits. *Economic Geology*, 72, 1321-1336.
- Krauskopf, K.B., 1967. *Introduction to Geochemistry*. New York, McGraw Hill, 721 p.
- MTA, 2009. 1/100.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritaları-Giresun G39, G40, H39, H40 paftaları. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Araştırma Dairesi, Ankara (yayımlanmamış).
- Özdamar, K., 1999. *Paket Programlar ile İstatistiksel Veri Analizi 2 (Çok Değişkenli Analizler)*. Kaan Kitabevi, Eskişehir, 502 s.
- Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 1999. *User's guide to PHREEQC (Version 2)-A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport and inverse geochemical calculations*. US Geological Survey, Denver, 312 p.
- Piper, A.M., 1944. A graphical procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *American Geophysical Union Transactions*, 25, 914-923.
- Seal, R.R. II, Hammarstrom, J.M., Johnson, A.N., Piatak, N.M., Wandless, G.A., 2008. Environmental geochemistry of a Kuroko-type massive sulfide deposit at the abandoned Valzinco mine, Virginia, USA. *Applied Geochemistry*, 23, 320-342.



- Smedley, P.L., Edmunds, W.M., Pelig-Ba, K.B., 1996. Mobility of arsenic in groundwater in the Obuasi gold-mining area of Ghana: some implications for human health. *Special Publications Geological Society London*, 113, 163-181.
- Tardy, Y., 1971. Characterization of the principal weathering types by the geochemistry of waters from some European and African crastakine massifs. *Chemical Geology*, 7, 253-271.
- Sağlık Bakanlığı, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Sağlık Bakanlığı, Ankara, Turkey.
- Şahin, A., 2008. Risk Koşullarında Tarım İşletmelerinin Planlanması: Oyun Teorisi Yaklaşımı. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 219 s.
- Uysal, Ş., Bedi, Y., Kurt, İ., Kılınç, F., 1995. Koyulhisar (Sivas) dolayının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Araştırma Dairesi, Ankara.
- WHO (World Health Organization), 2006. Guidelines for Drinking-Water Quality. First Addendum to Third Edition, 1, Recommendation. Geneva Switzerland.