



Araştırma Makalesi / Research Article

Tavas (Denizli) Ovası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal İncelemesi Hydrogeochemical Investigation of Tavas (Denizli) Plain and Its Vicinity

Şehnaz ŞENER^{*1} , Gözde CANPOLAT 

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

Geliş (Received): 05 Mart (March) 2019 / Düzeltme (Revised): 16 Nisan (April) 2019 / Kabul (Accepted): 22 Mayıs (May) 2019

ÖZ

Bu çalışmada, Tavas (Denizli) Ovasının jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri incelenerek bölgedeki su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım durumları ve kirlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki jeolojik birimler otokton ve allokton olmak üzere iki grup halinde incelenmiş ve bölgenin genel jeoloji haritası hazırlanmıştır. Her bir litolojik birim hidrojeolojik özellikleri ve akifer olabilme potansiyelleri bakımından geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmış ve çalışma alanının hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Acıgöl Grubu, Pliyo-Kuvaterner Killi Kireçtaşı, Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi ve Alüvyon gözenekli geçirimli birim, Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu (Bodrum Napı, Likya Napları) karstik geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Eşme Metamorfittleri geçirimsiz birim-1 olarak tanımlanırken, Marmaris Peridotiti (Marmaris Ofiyolit Napı), Kızılcaadağ Melanj ve Olistostromu (Marmaris Ofiyolit Napı), geçirimsiz birim-2 olarak tanımlanmıştır. Babadağ formasyonu, Aksu formasyonu Çamova üyesi ve Gebeciler formasyonu ise yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır. Yeraltı suyu akımının ovada kuzey doğu yönünde olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla su örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Yeraltı suları Ca-Mg-HCO₃ sular fasiyesindedir ve As/Mn/Fe/NO₃ parametrelerine göre insani tüketime uygun değildir. Bu durum bölgedeki kayaç-su etkileşimi ve/veya tarımsal faaliyetlerinden kaynaklanmaktadır. Çalışma alanındaki yeraltı suyunun sulama suyu olarak kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tavas Ovası, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Yeraltı suyu

ABSTRACT

In this study, geological, hydrological, hydrogeological and hydrogeochemical characteristics of Tavas (Denizli) Plain were investigated in detail. The geological units in the study area were investigated in two groups as autochthonous and allochthonous and general geological map of the region was prepared. Each lithological unit is distinguished as permeable, semi-permeable and impermeable units in terms of hydrogeological characteristics and aquifer potential and a hydrogeological map of the study area has been prepared. In the area, Acıgöl group, Plio-Quaternary clayey limestone, Plio-Quaternary non-discriminated clastic units, slope debris, Alluvium fan and Alluvium are porous permeable units; Çameli formation limestone member, Ağaçlı formation, Ortadağ formation, (Bodrum Nappes, Likya Nappes) are karstic permeable units; Eşme Metamorphics are impermeable units-1; Marmaris Peridotite (Marmaris Ophiolitic Nappes), Kızılcaadağ Melange and olistostrome allochthonous (Marmaris peridotite Nappes) units are impermeable units-2; and Babadağ formation, Aksu formation, Çamova member and Gebeciler formation are semi-permeable units. It is determined that the groundwater flow is towards the north-east

direction in the plain. In order to determine the hydrogeochemical properties of the groundwater in the study area, water samples were taken and chemical analyzes were performed. Groundwater in the region are Ca-Mg-HCO₃ types. Groundwater is not suitable for human consumption due to limit exceeding As/Mn/Fe/NO₃ concentrations. This is due to the water-rock interactions and/or agricultural activities in the region. It has been determined that groundwater in the study area can be used as irrigation water.

Keywords: Tavas plain, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Groundwater

GİRİŞ

Dünya çapında, insan faaliyetleri ve doğal süreçler kullanılabilir su kaynaklarını azaltmaktadır. Özellikle, kentleşme, nüfus artışı, artan yaşam standartları, endüstriyel ve insan faaliyetleri sonucunda oluşan kirlilikler su kaynakları üzerindeki baskıları giderek arttırmaktadır. Bunlara iklim değişimi ve doğal koşullardaki değişiklikler de eklendiğinde mevcut su kaynaklarının korunması gittikçe zorlaşmaktadır. Kullanıma en kolay kazandırılabilir tatlı su kaynakları yüzey suları (göller, akarsular vb.) olmasına rağmen dünya üzerindeki kullanılabilir yüzey suyu miktarı da oldukça düşüktür. Bu nedenle, son yıllarda su ihtiyacını karşılamaya yönelik olarak yeraltı sularının kullanımı gittikçe artmaktadır.

Dünya nüfusunun çok hızlı artışı, sanayi ve teknolojinin aşırı gelişmesi, ayrıca çevre bilincinin yeterince yerleşmemesi veya yaygınlaşmaması gibi nedenler dünyada içilebilir su miktarının giderek azalmasına sebep olmaktadır. Bunların yanısıra, su kaynaklarının sorumsuzca kirlenmesi, geri dönüşümü olanaksız sorunların yaşanmasına zemin hazırlamaktadır (Haviland, 2002; Dağlı, 2005; Atalık, 2006; Akın ve Akın, 2007). Dolayısıyla mevcut su kaynaklarımızın su kalitelerinin sürdürülebilir bir şekilde korunarak en iyi şekilde yönetilmeleri gerekmektedir. Günümüzde su taleplerini karşılarken aynı zamanda geleceğe yönelik su ihtiyacını belirleyerek, yeterli miktar ve kalitede suyun tahsisini planlamak için hidrojeolojik havza

etütlerinin ve hidrojeokimyasal araştırmaların yapılarak mevcut durumda suların kalitesi ve kullanım alanlarının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Tavas (Denizli) ovasının jeolojik ve hidrojeolojik incelemesi yapılarak bölgedeki yeraltı suyunun hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirlik durumu araştırılmıştır. Tavas ilçesi Denizli ilinin önemli tarım faaliyetlerinin yapıldığı bir bölge olup, bölgede yapılan tarımsal faaliyetlerin su kaynaklarına etkisi daha önce detaylı bir şekilde araştırılmamıştır. Bu nedenle bu çalışma, bölgedeki yeraltı suyu kaynaklarının mevcut durumu ve sürdürülebilir kullanımı açısından önem taşımaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

İnceleme Alanının Tanıtılması

Çalışma alanı olarak seçilen Tavas Ovası ve çevresi Ege Bölgesi'nin Kıyı Ege Bölümünde bulunmaktadır (Şekil 1). Bölgede Kale ve Tavas ilçe merkezleri ile birlikte çok sayıda köy bulunmaktadır. Denizli'nin güney batısına düşen Tavas ilçesinin, denizden yüksekliği 950 m'dir. İlçe yüzey şekilleri bakımından etrafı dağlarla çevrili düz bir ova görünümündedir. Yaklaşık 620 km² alana sahip olan çalışma alanı Kale-Tavas havzası içerisinde olup havzanın batısında Çine – Yatağan Havzası, kuzey batısında Aydın – Söke, kuzeyinde Orta Menderes, kuzey doğusunda ise Çürüksu Havzası bulunmaktadır.

Bölgede Ege Bölgesinin hakim iklimi olan Akdeniz iklimi görülür. Yağışların çoğunluğu Aralık ve Ocak aylarında düşmektedir. Bitki örtüsü genel olarak fundalık ve maki olup Bozdağ'da sedir ormanı bulunmaktadır. Tavas, Denizli'nin nüfus büyüklüğü açısından öne çıkan ilçeleri arasında olmakla birlikte nüfusun büyük kısmı belde ve köylerde yaşamaktadır. Küçükbaş hayvan varlığı ve süt üretiminde bölge

ilçeleri arasında 2. sırada yer alan ilçede, tarım ve hayvancılık temel ekonomik geçim kaynağını oluşturmaktadır. Başlıca tarım ürünleri; incir, zeytin, kestane, elma, ceviz, şeftali, turunçgiller, ayva ve nar gibi meyveler yetiştirilmekle birlikte son yıllarda yüksek sistem bağcılık hızla gelişme göstermektedir. Bunların dışında, patates, tütün, arpa, buğday, fiğ, mısır, pamuk gibi tarım ürünleri de yetiştirilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası (ölçeksiz).

Figure 1. Location map of the study area (no scale).

Yöntem

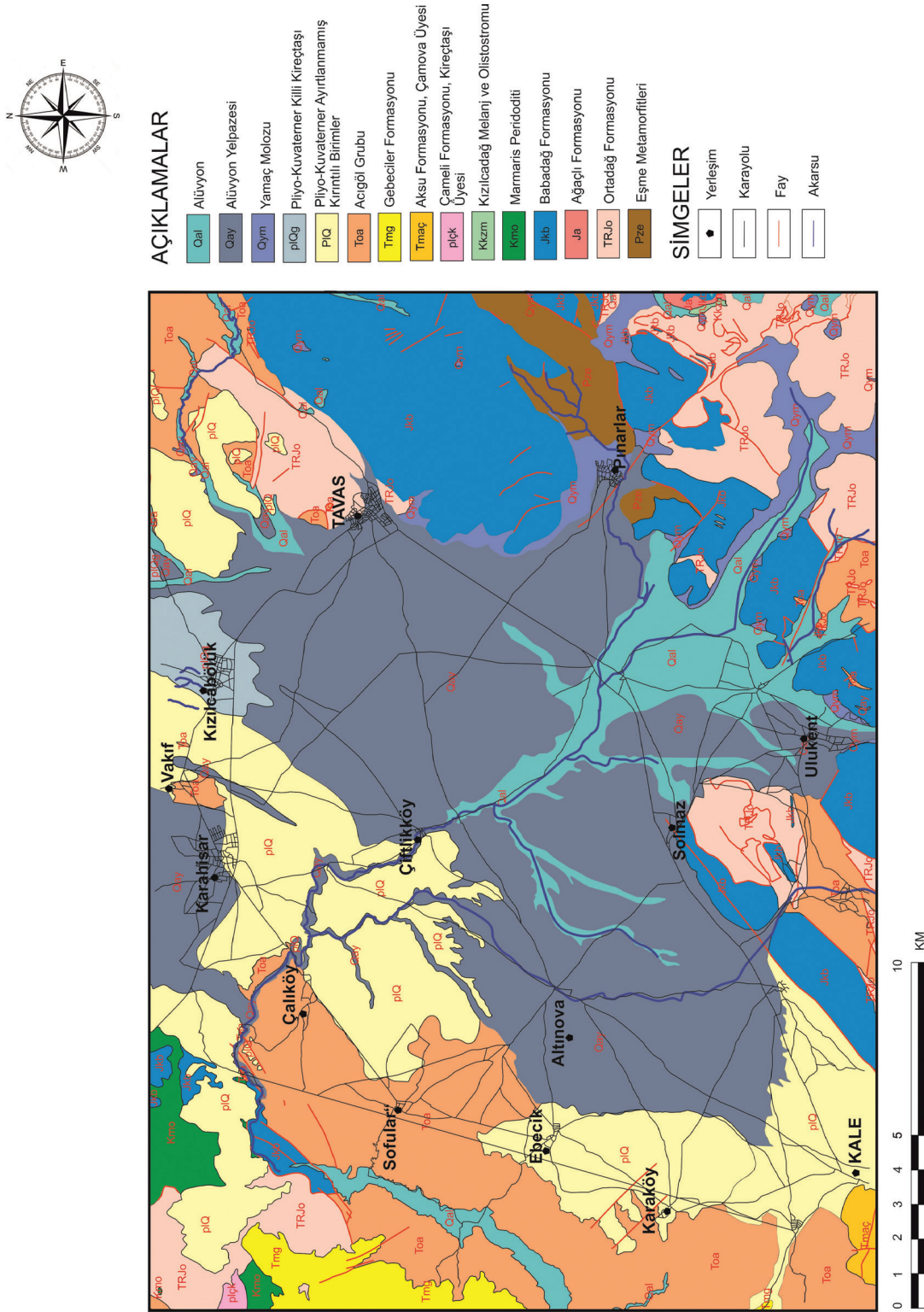
Çalışma alanının, önceki çalışmalardan ve arazi çalışmalarından yararlanılarak 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır (Şekil 2). Litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak bölgedeki geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler ayırtlanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerini, kalitesini ve kullanım koşullarını belirlemek amacıyla Ekim (2018) döneminde 14 (2 kaynak+ 12 kuyu) adet yeraltı suyu örneği alınmıştır. Sondaj kuyularından örnekleme yapılmadan önce kuyunun en az yarım saat çalışmış olması sağlanmış ve su örneklerinin alımında sızdırmaz kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Örnek alınacak şişeler en az üçer kez örnek suyu ile çalkalandıktan sonra içerisinde hava kabarcığı kalmamasına özen gösterilerek doldurulmuş ve kapakları kapatılmıştır. Her bir lokasyondan anyon ve katyon analizleri için ayrı ayrı 100 ml'lik şişelere örnek alınmış ve şişeler etiketlenerek örnek numaraları verilmiştir. Katyon örneklerinin analiz yapılacak süreye kadar korunması amacıyla derişik HCl ilave edilerek pH<2 olması sağlanmıştır. Örneklerin sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu aktivitesi (pH) değerleri çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazları kullanılarak yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin katyon analizleri, Bureau Veritas Mineral (Kanada) Laboratuvarı'nda ICP-MS cihazı ile anyon analizleri ise Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama laboratuvarında spektrofotometrik yöntem ve titrimetrik yöntemler kullanılarak yaptırılmıştır.

Suların kimyasal analizleri sırasında meydana gelebilecek hata payı aşağıdaki bağıntı kullanılarak anyon – katyon dengesinden hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki yeraltı sularında yapılan kimyasal analizlerde anyon-katyon dengesi ile belirlenen hata oranı % 5'den düşük olup kabul edilebilir değerlerdedir.

Elde edilen analiz sonuçları kullanılarak, çalışma alanındaki yeraltı sularının iyon özellikleri, kullanım amaçları (içme ve sulama) ve kalite özellikleri incelenmiştir.

HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanı yakın çevresinde temel birimleri oluşturan otokton kayalık birimler en altta Prekambriyen yaşlı metamorfik bir seri olan Eşme Metamorfikleri, Triyas yaşlı Ortadağ formasyonu ile Jura yaşlı Ağaçalı formasyonu kireçtaşı birimi ve Babadağ formasyonu killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve mikritik kireçtaşlar birimidir (Şekil 2). Bölgede yüzeyleyen allohton birimler ise Likya Napıları'nın Bodrum Napı'na ve Marmaris Ofiyolit Napı'na ait serilerdir. Örtü kayalar olarak Miyosen'de Aksu ve Gebeciler formasyonları kumtaşı, çamurtaşı, marn ardalanması ve Çameli formasyonuna ait çamurtaşı, marn ve kireçtaşı üyeleri izlenir. Gebeciler formasyonunu konglomera ardalanma sekansı ve kumtaşı, çamurtaşı aratabakaları da gözlenen Oligosen yaşlı Acıgöl Grubu üstlemektedir. Ayrıca, Pliyosen ve Pliyo-Kuvaterner yaşlı tuf, tüfit ve killi kireçtaşı ara tabakalı, kum ve çakıllı çökel kayalar yüzeylemektedir. Bu birimler üzerinde Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu ve alüvyon yelpazesi birimleri gözlenmektedir.



Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler, hidrojeolojik ve litolojik özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Çalışma alanının hidrojeoloji haritası Şekil 2’de, hidrojeolojik kesitleri ise Şekil 3’de verilmiştir.

Gözenekli geçirimli birim (Gç1); Çalışma alanında, ovanın büyük bir kısmını oluşturan alüvyon ile konglomera ve kaba kırıntılardan oluşan Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi yayılımı ve verimi fazla olan gözenekli geçirimli birim olarak ayırtlanmıştır. Havzanın orta kısımlarında yüzeyleyen Acıgöl Grubu, karbonat çimentolu polijenik çakıllı birim taneleri olarak tanımlanmıştır. Pliyo-kuvaterner ayırtlanmamış kırıntılı birimler ise gevşek tutturulmuş, eski göl kenarı, akarsu ve yamaç molozu ürünleridir. Alt havzanın kuzeybatısı hariç geniş alanlarda yüzeylenen birim oldukça geçirimli olup akifer özelliği göstermektedir. Yamaç molozu, genellikle gevşek tutturulmuş çakıl ve blok boyu malzemenin meydana gelir. Alüvyon yelpazesi birimi verimli yeraltı suyu taşıyan litolojik katmanları içermektedir Alüvyon biriminin ince taneli killi seviyeler içeren kısımlarında hidrojeolojik verim düşüktür.

Karstik geçirimli birim (Gç2); Çalışma alanında Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu karstik yapılarından dolayı karstik geçirimli birim özelliğindedir. Çameli formasyonu kireçtaşı üyesi gözenekli karbonat düzeyleri ile üstünde kireçtaşı ve travertenlerden oluşur. Kontak sınırlarından kaynak çıkışları mevcuttur. Ağaçlı formasyonu, dolomitik kireçtaşları temsil etmekte olup Ortadağ formasyonu, dolomit ve / veya neritik kireçtaşı karakterinde başlayan ve üste doğru çört, yumru mikrit ve kalkarenitleri kapsar. Kireçtaşları çatlak ve erime boşluklarında

önemli miktarda yeraltı suyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren karstik akiferlerdir.

Yarı geçirimli birim (Gy); Çalışma alanında killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ve çört bantlı mikritik kireçtaşlarından oluşmakta olan Babadağ formasyonu, molas karakterinde olan Aksu formasyonu Çamova üyesi, altta “alüvyon yelpazesi çökelleri” ve üstte “gölsel çökeller” olarak iki ayrı çökel topluluğunu içerisinde barındıran Gebeciler formasyonu yarı geçirimli birim (Gy) olarak ayırtlanmıştır. Birimler içerisinde yer alan volkanik zayıf tutturulmuş çakıllar ve süreksizlik düzlemleri yeraltı suyunun hareketine izin verebileceğinden dolayı sözkonusu birimler yarı geçirimli akifer özelliğindedir.

Geçirimsiz birim-1 (Gz1); Çalışma alanında Eşme metamorfite, gnays, migmatit, metagranitoyit, metagabro, amfibolit ve mermer serisi litolojik özellikleri bakımından akifer olma potansiyeli olmaması sebebiyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Geçirimsiz birim-2 (Gz2); Çalışma alanında dar alanlarda gözlenen Marmaris Peridoditi ve Kızılcadağ Ofiyolitik Melanjı yer yer serpantinleşmiş ultramafik kayalardan oluşmaktadır. Bu birimler bünyelerinde yeraltı suyu bulundurmamaları sebebiyle geçirimsiz birim olarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanında bulunan yeraltı suyu kuyuları genel olarak ovada alüvyon birim içinde açılmıştır. Bu birimde yeraltı suyu seviyesini ve yeraltı suyu akım yönünü belirleyebilmek amacıyla mevcut sondaj kuyularında Ekim (2018) döneminde yeraltı suyu seviye ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bölgenin yeraltı suyu seviye haritası hazırlanmıştır (Şekil 3). Ovadaki kuyuların bir kısmı tahrip edildiğinden bir kısmına ise dalgıç pompa yerleştirildiğinden yeraltı suyu seviye ölçümleri yapılamamıştır.

Bu nedenle, sadece altı noktada ölçülen yeraltı suyu seviye değerleri kullanılarak hazırlanmış olan hidrojeoloji haritası bir ön etüd çalışması niteliğindedir. Çizelge 1’de bölgede yeraltı suyu seviye ölçümü yapılan kuyulara ait koordinat, kuyu ve yeraltı suyu derinliği ve yeraltı suyu seviye verileri verilmiştir. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 2.5- 43.2 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu seviyeleri ise 880,8 m ile 960,1 m arasındadır. Şekil 3’de verilen hidrojeoloji haritası üzerinde yer alan yeraltı suyu seviye eğrileri incelendiğinde Tavas ovasında yeraltı suyu akım yönünün Karaköy ve Ulukent civarında kuzeydoğu’ya doğru, Kale civarında ise kuzeye doğru olduğu belirlenmiştir.

HİDROJEOKİMYA

Yeraltı sularının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH), özgül elektriksel iletkenlik (EC), sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) ve sodyum iyon yüzdesi (%Na) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir. Aynı zamanda, suların Piper ve Gibbs diyagramları kullanılarak sınıflandırılmasında major anyon ve katyon (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , CO_3^{-2}) analiz sonuçlarından yararlanılmıştır (Çizelge 2).

Çalışma alanındaki suların sertlik değerleri 27.7 – 39.75 Fr arasında değişim göstermektedir (Çizelge 2). Buna göre çalışma alanındaki N1, N5, N6 no’lu örnekler “sert su” ve diğer tüm sular “çok sert su” sınıfında yer almaktadırlar. Çalışma alanındaki su noktalarından alınan örneklerin pH değerleri 7.02 ile 7.78 arasında değişmektedir (Çizelge 2). Buna göre çalışma alanındaki tüm sular “bazik karakterli sular” sınıfında yer almaktadır.

Çizelge 1. Yeraltı suyu statik seviye ölçüm sonuçları.

Table 1. Groundwater static level measurements.

Numune No	Akifer Birim	Rakım	Kuyu derinliği(m)	Yeraltı suyu derinliği (m)	Yeraltı suyu statik seviyesi (m)
N1	Altüvyon	964	6	3.9	960.1
N3	Altüvyon	904	60	7	897
N5	Altüvyon	904	150	9.5	894.5
N8	Altüvyon	916	98	21.6	894.4
N10	Altüvyon + Kireçtaşı	901	9	2.5	898.5
N11	Altüvyon + Kireçtaşı	924	96	43.2	880.8

Şener, Canpolat

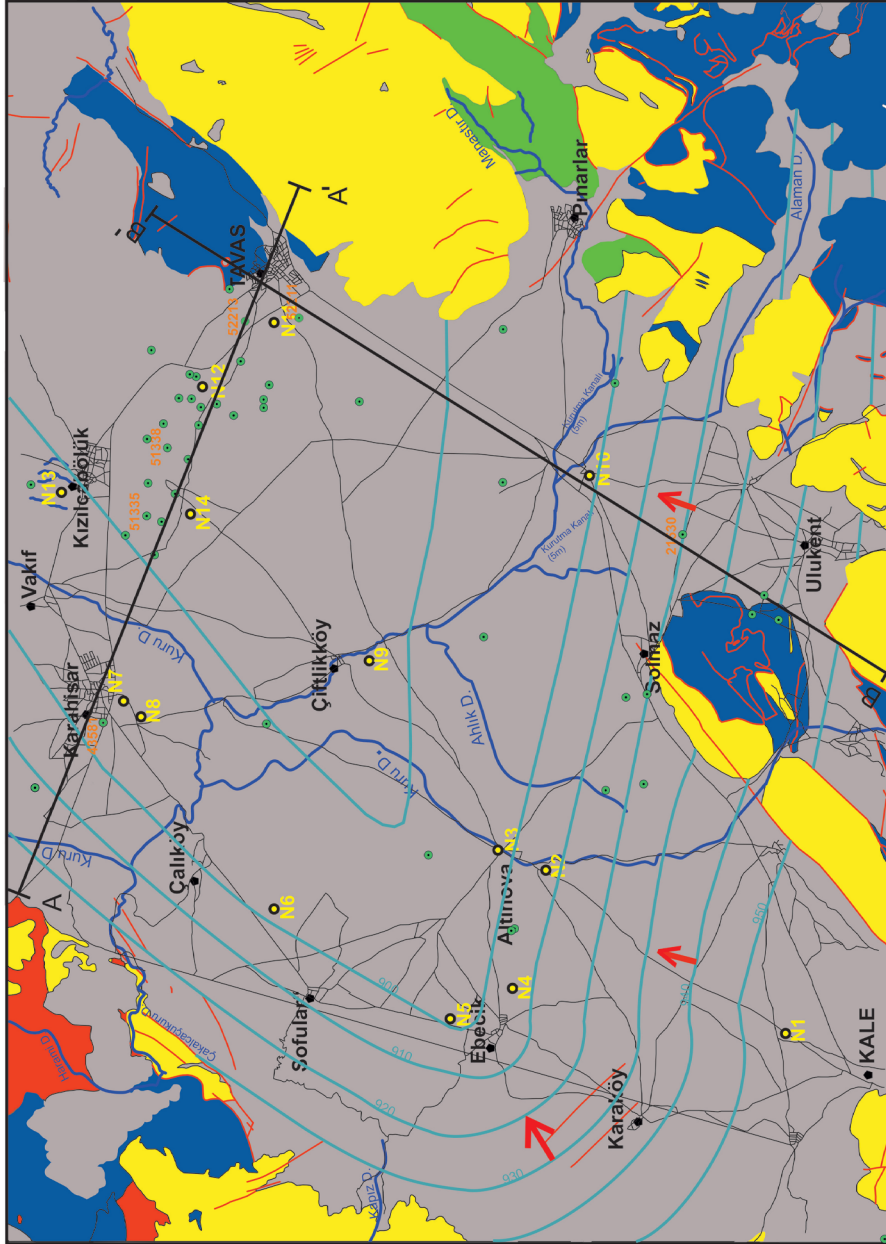


AÇIKLAMALAR

Gç1	Gözenekli Geçirimli Birim
Gç2	Karstik Geçirimli Birim
Gy	Yarı Geçirimli Birim
Gz1	Geçirimsiz Birim-1
Gz2	Geçirimsiz Birim-2

SİMGELER

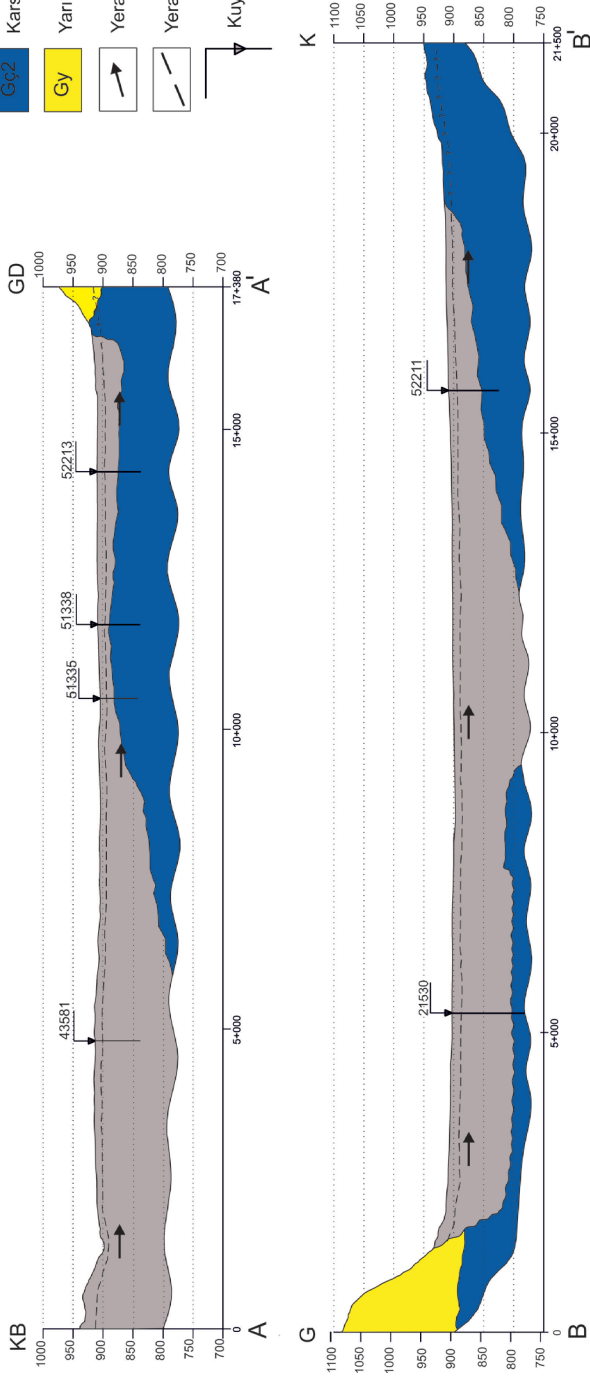
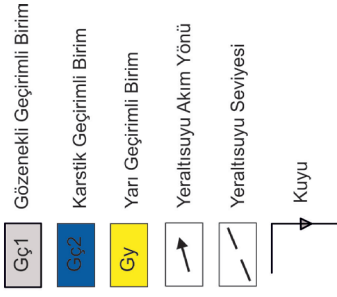
•	Yerleşim
—	Karayolu
—	Fay
—	Akarsu
•	Numune noktası
↑	Yeraltı Suyu Akım Yönü
—	Yeraltı Suyu Seviyesi
•	Dsl Kuyular



Şekil 3. Çalışma alanının hidrojeolojisi haritası.

Figure 3. Hydrogeological map of the study area.

AÇIKLAMALAR



Şekil 4. Çalışma alanının hidrojeolojik kesitleri.

Figure 4. Hydrogeological cross sections of the study area.

Şener, Canpolat

Çizelge 2. Yeraltı su örneklerinin ana iyon kimyasal özellikleri.
Table 2. Main ion chemical properties of groundwater samples.

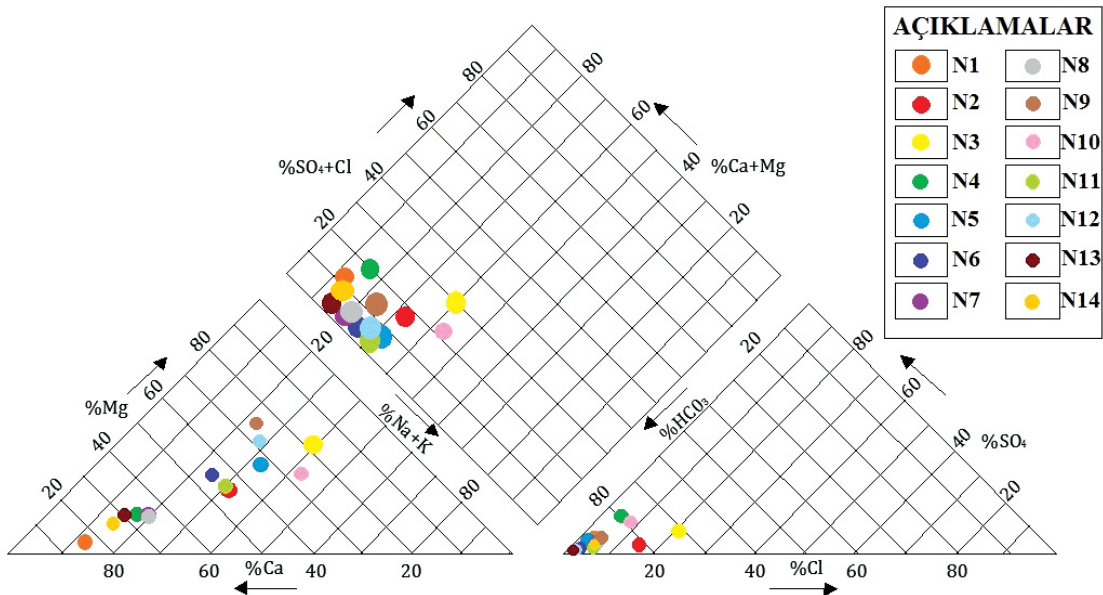
Numune no	Akifer Birim	Sıcaklık										SAR	Su Simifi				
		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁼	CO ₃ ⁼	HCO ₃ ⁻	Sertlik	EC			pH	TDS	Na	
		mek/lt										mg/l	%				
N1	Alüvyon	9.5	0.56	0.19	0.01	0.25	0.33	0.00	3.5	16	27.7	468	7.49	439.9	3.31	0.16	Ca-Mg-HCO ₃
N2	Alüvyon	3.84	2.25	0.53	0.02	1.21	0.18	0.00	5.5	15.5	30.45	614	7.53	356.1	7.98	0.42	Ca-Mg-HCO ₃
N3	Alüvyon	5.05	5.75	1.63	0.06	2.67	1.11	0.00	7.3	15.4	54	1076	7.21	708.9	13.05	0.99	Mg-Ca-HCO ₃
N4	Alüvyon	6.26	1.5	0.52	0.01	0.72	0.95	0.00	4.7	15.2	38.8	722	7.33	616.8	6.27	0.37	Ca-Mg-HCO ₃
N5	Alüvyon	3.12	2.31	0.81	0.02	0.17	0.52	0.00	5	15.7	27.15	518	7.78	275.7	12.9	0.69	Ca-Mg-HCO ₃
N6	Alüvyon	3.72	2.1	0.34	0.01	0.17	0.1	0.00	5.5	15.6	29.1	504	7.39	477.7	5.51	0.28	Ca-Mg-HCO ₃
N7	Alüvyon	6.33	1.62	0.42	0.34	0.33	0.31	0.00	7	15.8	39.75	687	7.31	612.9	4.82	0.29	Ca-Mg-HCO ₃
N8	Alüvyon	6.19	1.61	0.43	0.28	0.32	0.29	0.00	6.6	15.8	39	674	7.09	535.3	5.05	0.30	Ca-Mg-HCO ₃
N9	Alüvyon	2.47	3.68	0.78	0.05	0.5	0.67	0.00	6.5	15.6	30.75	658	7.49	344.8	11.17	0.62	Mg-Ca-HCO ₃
N10	Alüvyon + Kireçtaşı	4.13	3.59	2.46	0.33	1.31	1.16	0.00	6.6	17.1	38.65	842	7.36	531.5	23.4	1.77	Ca-Mg-HCO ₃
N11	Alüvyon + Kireçtaşı	4.23	2.2	0.77	0.15	0.37	0.25	0.00	5.7	16.1	32.15	589	7.43	352.9	10.47	0.60	Ca-Mg-HCO ₃
N12	Alüvyon + Kireçtaşı	3.03	3.68	0.22	0.01	0.16	0.23	0.00	7.8	16.3	31.7	643	7.49	541.6	3.34	0.17	Ca-Mg-HCO ₃
N13	Alüvyon	5.7	1.27	0.18	0.01	0.16	0.05	0.00	6.8	16.2	34.85	586	7.29	279.3	2.51	0.13	Ca-Mg-HCO ₃
N14	Alüvyon + Kireçtaşı	5.97	0.93	0.45	0.03	0.39	0.41	0.00	7	16.3	34.5	712	7.02	456.6	6.09	0.34	Ca-Mg-HCO ₃

Çalışma alanındaki su örneklerinin analiz sonuçları kullanılarak hesaplanan Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR) değerleri genel olarak 0.13 ile 1.77 arasında, % Na değerleri ise 2.51–23.4 arasında değişmektedir.

Çalışma alanındaki su örneklerinden N3 ve N9 nolu örnekler Mg-Ca-HCO₃; diğer tüm örnekler Ca-Mg-HCO₃ su tipinde olup, alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃+HCO₃) güçlü asit köklerinden (SO₄+Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir (Şekil 5).

Su örneklerinin major iyonlara ait analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan hidrojeokimya haritası Şekil 6'da verilmiştir. Gibss Diyagramında su örneklerinin tamamı "Kayaç

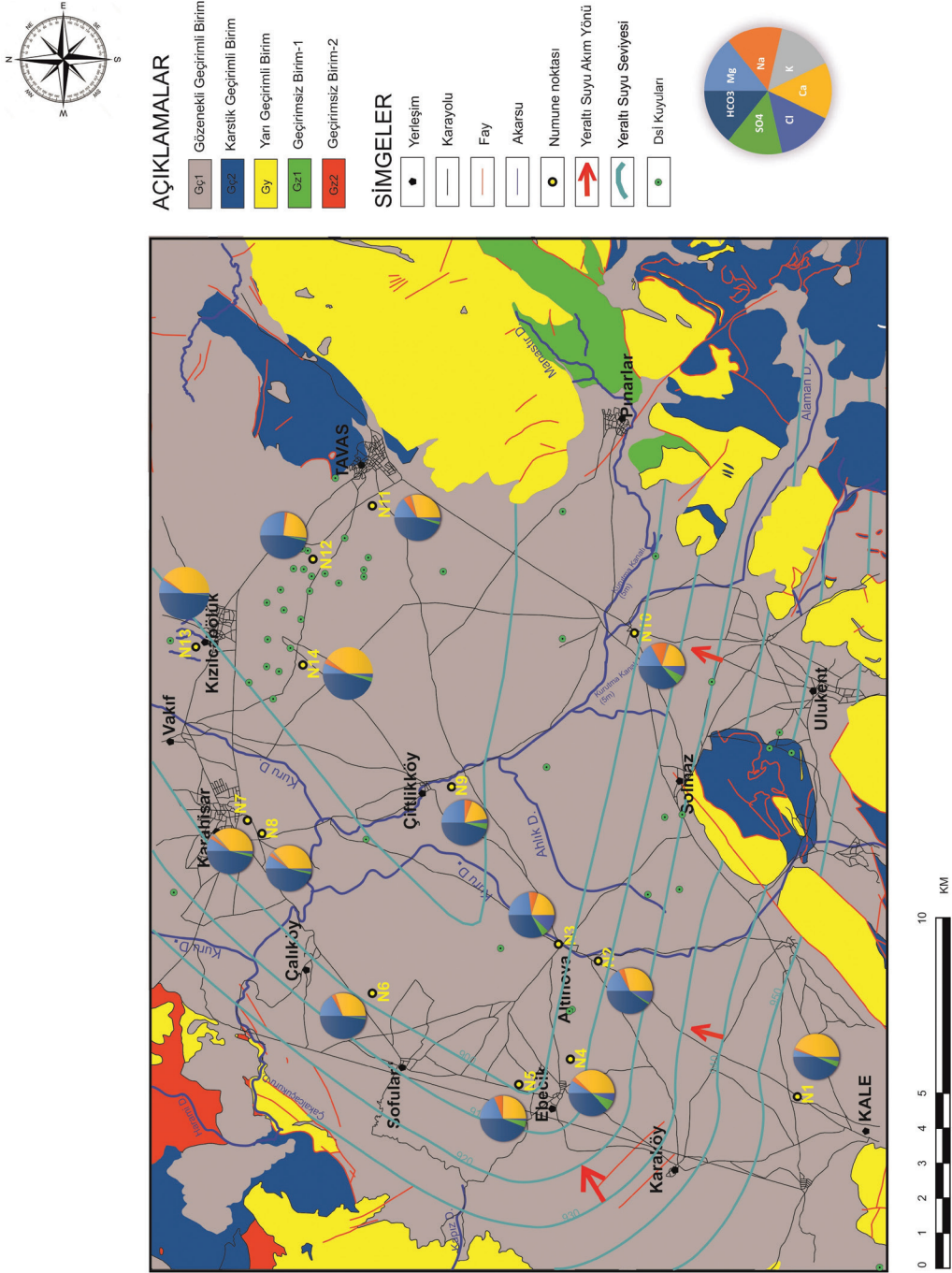
Baskın" bölgesine düşmektedir (Şekil 7). Bu da, su kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, su-kayaç etkileşimi olduğuna işaret etmektedir. Yeraltı suları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi kalkerli kayalar ile etkileşim halindedir ve baskın su tiplerinin söz konusu kayaç-su etkileşimi sonucunda geliştiği görülmektedir. Ortaç ve mafik magmatik kayalarda yoğun olarak Na-Ca feldspat ve koyu renkli silikat mineralleri (biyotit, amfibol, piroksen) hakimdir. Çalışma alanındaki yeraltı suyu örnekleri genel olarak alüvyon birimden filtrenmekte olup N10, N11, N12 ve N14 nolu örnekler alüvyon ve kireçtaşı birimlerinden filtrenmektedir. Alüvyon birim ise farklı türde sedimanter ve magmatik kökenli çevre kayalardan ayrılmış kum, çakıl, çakıllı kil, killi kum ve killi kumlu çakıl seviyeleri içermektedir.



Şekil 5. Piper diyagramı.

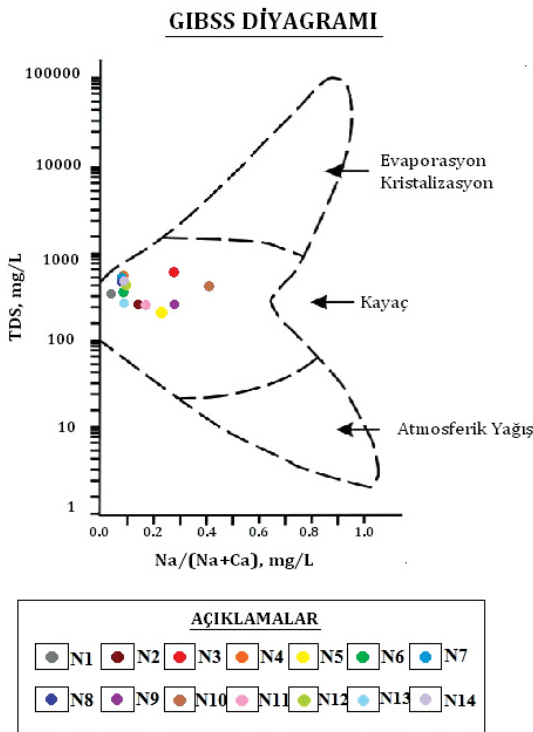
Figure 5. Piper diagram.

Şener, Canpolat



Şekil 6. Çalışma alanının hidrojeokimya haritası.
Figure 6. Hydrogeochemical map of the study area.

Bu tür kayaçlar ile ilişkili sulara genel olarak Ca iyonları artışının Ca feldspatlar ile Mg iyonları artışının ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat minerallerinin ayrışması sonucunda gerçekleştiği düşünülmektedir. Su örneklerindeki baskın HCO_3 iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldspat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kayaç-su etkileşimi sonucudur.



Şekil 7. Gibbs Diyagramı.

Figure 7. Gibbs Diagram.

Suların İçme Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Çalışma alanında bulunan yeraltı sularından alınan numunelerinin ağır metal ve nitrat analiz sonuçları Çizelge 3’de verilmiştir. Sağlık Bakanlığınca yayınlanmış olan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik

(2005) ile uluslararası içme suyu standardı olan Dünya Sağlık Örgütü (WHO-2011) tarafından belirlenmiş limit değerler kullanılarak değerlendirme yapılmıştır. Değerlendirmelerin geçerliliği analizi yapılan parametreler ile sınırlıdır. Elde edilen sonuçlara göre, çalışma alanında N4 numunesi Mn değeri limit değerinin üstündedir. N1 ve N4 numuneleri Fe bakımından, diğer bütün numuneler ise As bakımından limit değerinin üstünde olup içme suyu olarak kullanıma uygun değildir. NO_3 konsantrasyonlarına göre de N1, N3, N4 no’lu örneklerde sınır değerleri aşımı belirlenmiştir. Çalışma alanındaki diğer su örneklerinin her ne kadar nitrat içeriği bakımından da içilebilir özellikte olduğu görülse de örneklerin nitrat değerleri 5-10 mg/l’nin üzerinde olduğu için suların antropojenik kökenli yani yapay gübre kullanımı ve hayvan atıklarının gübre olarak kullanımı nedeni ile kirlendiğini göstermektedir.

Yeraltı Sularında As Kirliliğinin Değerlendirilmesi

ITAS (2005) ve WHO (2011) tarafından içme suyu limit değeri 10 ppb olarak belirlenen As parametresi yeraltı suyu örneklerinde 30,6 ppb ile 63,6 ppb arasında ölçülmüş olup yeraltı suyu örneklerinin As dağılım haritası Şekil 8’de verilmiştir. Hidrojeokimyasal değerlendirmelere göre bölgedeki yeraltı suyu kimyası kayaç-su etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Bu nedenle, As parametresinin yeraltı suyu örneklerinde yüksek oranlarda ölçülmüş olması kayaç-su etkileşiminin bir sonucudur. Bölgede yapılan tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan ve inorganik bileşikler içeren tarımsal ilaçların da yeraltı sularında As kirliliğini artırdığı düşünülmektedir.

Doğan ve Doğan (2007) tarafından yapılan çalışmada Türkiye’nin batısındaki

bazı bölgelerde jeojenik kaynaklı arsenik (As) zenginleşmelerinin evaporitik mineraller, karbonatlar, volkanik kayalar ve kömür oluşumları ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Arsenik kaynaklarının başlıca kolemanit (269-3900 ppm), jips (11-99,999 ppm), alunit (7-10 ppm) ve çört (54-219 ppm) içeren evaporatik mineraller olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca, Mesozoik ve Senozoik karbonat akiferlerinin kırık hatları boyunca realgar ve orpiment formunda yüksek As konsantrasyonuna sahip sekonder epitermal jipsler doğal As kaynağıdır (Doğan ve Doğan, 2007; Baba ve Sözbilir, 2012). Yeraltı sularında doğal As zenginleşmesinde kum ve karbonatların yanısıra sülfid mineralleri, oksitler, organik maddeler ve killer çok daha etkin rol oynamaktadır (Smedley ve Kinniburgh, 2002). Çalışma sahasında geniş alanlarda kumtaşı, kiltası ve marn aralanmasından oluşan Neojen çökeller yüzeylenmektedir. Bununla birlikte,

akifer özelliği taşıyan kireçtaşı ve dolomitik kayalar bölgede yaygın olarak bulunmaktadır.

Suların Sulama Suyu Olarak Kullanılabilirliği

Çalışma alanındaki yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI), Sodyum Adsorbsiyon Oranlarına (SAR) ve Özgül Elektriksel İletkenlik (EC) parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin değerleri Çizelge 2 ve 4'de listelenmiştir.

ABD Tuzluluk Diyagramına göre çalışma alanında bulunan sular C2S1 (Orta Tuzlulukta ve Az Sodyumlu) sular sınıfında yer almaktadır. Bu sular içerisinde N3 ve N10 numuneleri C3S1 (fazla tuzlu ve az sodyumlu) sular sınıfındadır. Dolayısıyla, bu iki örneğin sulama suyu olarak kullanılabilirliği sınırlıdır (Şekil 9).

Çizelge 3. Yeraltı sularının ağır metal ve nitrat analiz sonuçları.

Table 3. Heavy metal and nitrate analysis results of the groundwater samples.

Numune no	Akifer Birim	Al	Mn	Cu	Zn	Pb	Hg	Cd	Se	S	As	Fe	Cr	Ni	NO ₃
		ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb	ppb	ppb
N1	Alüvyon	90	9.85	3.6	4.7	0.5	<0.1	<0.05	<0.5	6	30.6	479	7.8	3.4	50940
N3	Alüvyon	2	0.28	3.1	4.1	<0.2	<0.1	<0.05	1.0	18	48.1	<10	32.0	0.4	64770
N4	Alüvyon	84	75.94	2.2	610.0	<0.2	<0.1	<0.05	1.0	15	41.6	4329	7.7	7.4	104410
N5	Alüvyon	8	0.78	4.8	709.0	6.2	<0.1	<0.05	0.9	8	64.5	<10	8.1	2.3	41810
N6	Alüvyon	8	0.88	3.0	17.4	<0.2	<0.1	<0.05	<0.5	3	43.0	<10	19.2	2.6	23440
N7	Alüvyon	5	0.71	1.6	213.3	<0.2	<0.1	<0.05	<0.5	7	44.5	<10	8.0	2.6	36920
N8	Alüvyon	4	1.65	6.7	597.7	0.6	<0.1	<0.05	<0.5	7	47.7	<10	8.7	1.7	36090
N10	Alüvyon + kireçtaşı	15	1.03	2.5	4.8	<0.2	<0.1	<0.05	2.4	19	50.0	<10	8.1	0.3	46130
N11	Alüvyon + kireçtaşı	12	2.56	9.6	405.3	0.7	<0.1	<0.05	0.6	6	51.9	<10	42.3	<0.2	37170



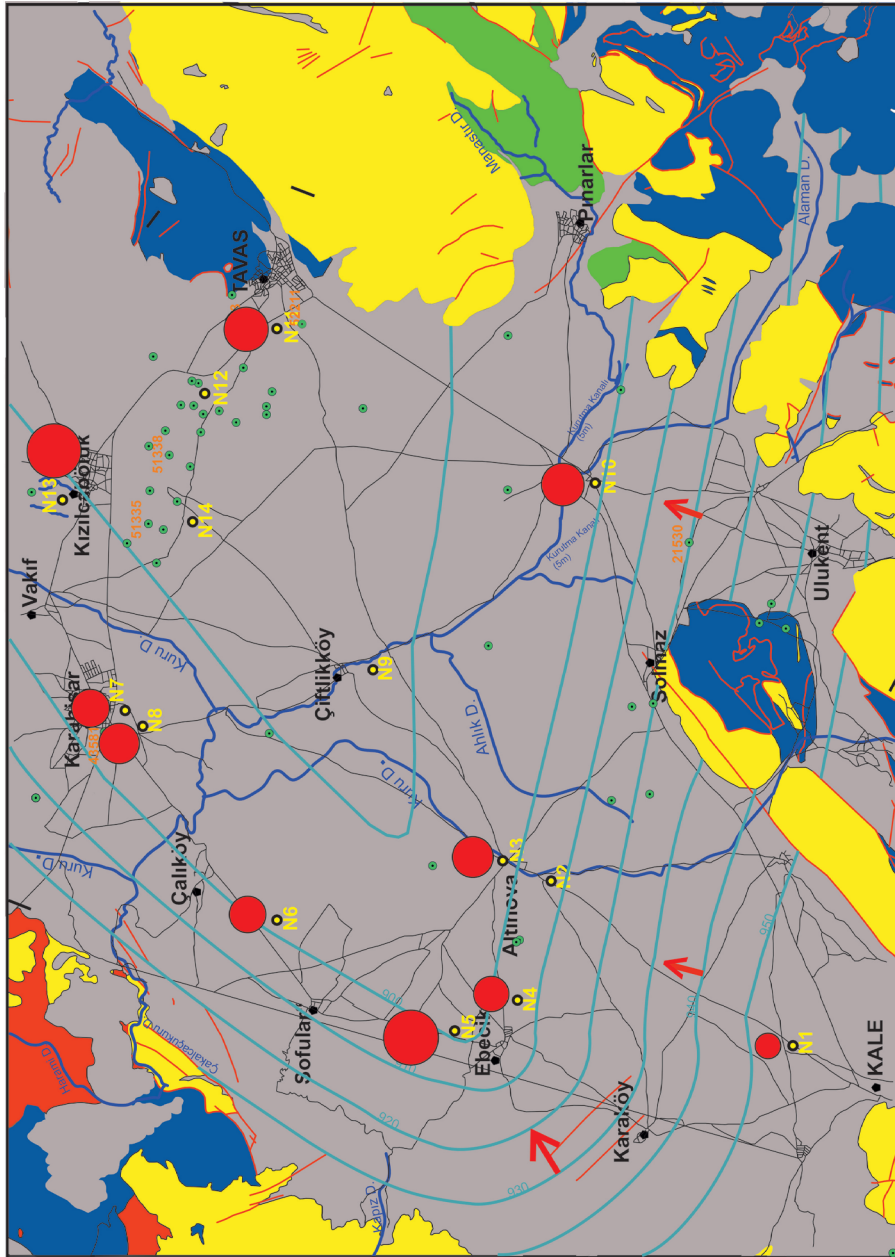
AÇIKLAMALAR

Gç1	Gözenekli Geçirimsiz Birim
Gç2	Karstik Geçirimsiz Birim
Gy	Yarı Geçirimsiz Birim
Gz1	Geçirimsiz Birim-1
Gz2	Geçirimsiz Birim-2

SİMGELER

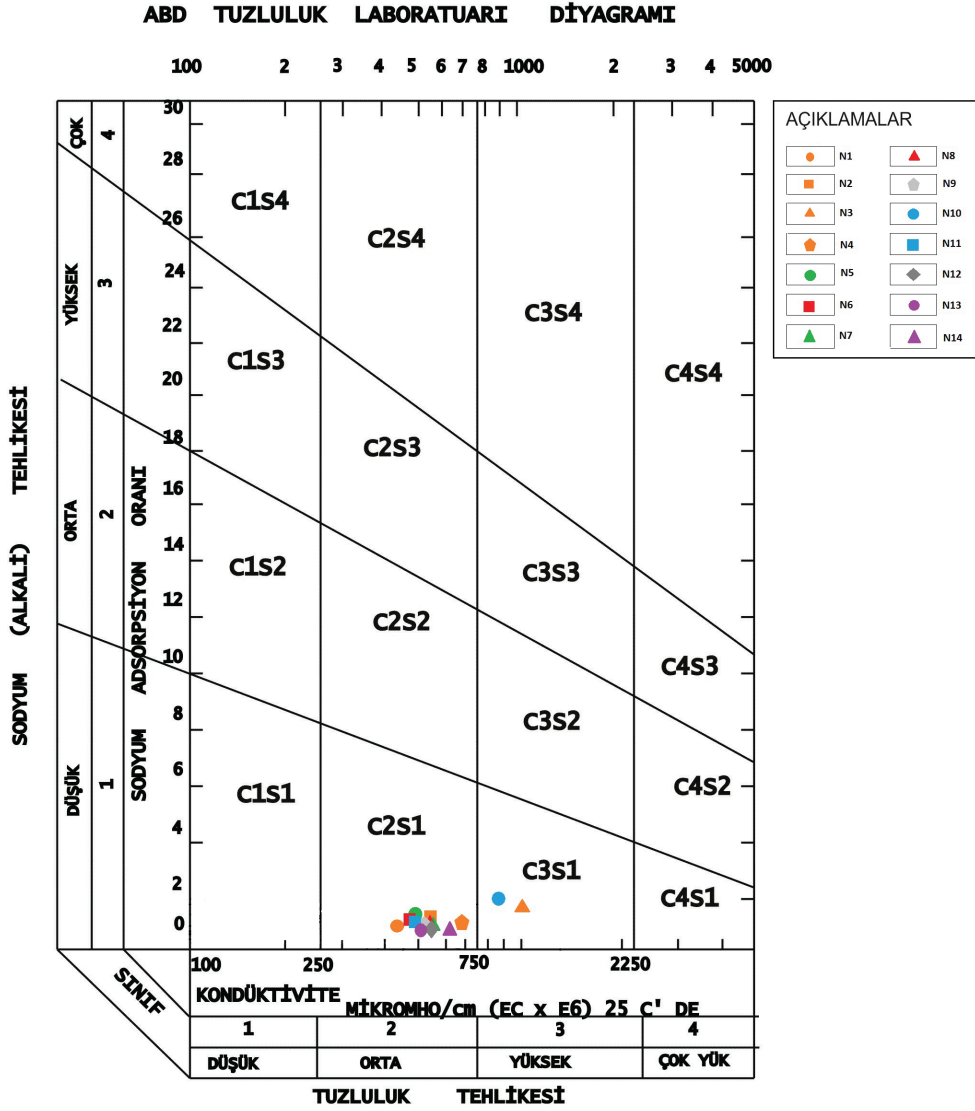
•	Yerleşim
—	Karayolu
—	Fay
—	Akarsu
●	Numune noktası
↑	Yeraltı Suyu Akım Yönü
↪	Yeraltı Suyu Seviyesi
●	Dsi Kuyuları
●	Arsenik Dağılımı

0,20 ppb



Şekil 8. Yeraltı suyu örneklerine ait As dağılım haritası.

Figure 8. As distribution map of the groundwater samples.



Şekil 9. ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı.

Figure 9. US salinity diagram.

Artıksal sodyum karbonat ($RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg)$), toprakta sodyum oranının artma olasılığını önceden tahmin edilmesini sağlar. Yüksek RSC toprakta sodikleşmeye yol açacağından sulama suyunda bulunması istenmemektedir. RSC değerlerine göre N12

numunesi "iyi kaliteli II. Sınıf su", diğer numuneler "çok iyi kalitedeki I. Sınıf su" sınıfında yer almaktadırlar (Çizelge 7). Hiç bir su kullanılabilir ($>2,5$) RSC değerine sahip değildir.

Çizelge 4. İnceleme alanındaki yeraltı sularının RSC ve PI değerleri.

Table 4. RSC and PI values of the groundwater in the study area.

Örnek No	Türü	RSC	PI
N1	Sondaj	-2.04	35.96
N2	Kaynak	-0.59	43.43
N3	Sondaj	-3.5	34.84
N4	Sondaj	-3.06	32.46
N5	Sondaj	-0.43	48.81
N6	Sondaj	-0.32	43.59
N7	Sondaj	-0.95	36.62
N8	Sondaj	-1.2	36.44
N9	Sondaj	0.35	48.04
N10	Sondaj	-1.12	49.40
N11	Sondaj	-0.73	43.85
N12	Sondaj	1.46	45.92
N13	Kaynak	-0.17	38.98
N14	Sondaj	0.1	42.11

Geçirgenlik indeksi ($PI = 100 \times [(rNa + r\sqrt{HCO_3}) / (rNa + rCa + rMg)]$) değeri Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan çalışmalarda sulama suyu için uygunluğun değerlendirmesinde kullanılmaktadır (Doneen, 1964; WHO, 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir (<%25 Sınıf I, (%25-75 Sınıf II ve >%75 Sınıf III). Çalışma alanındaki sular PI değerleri hesaplandığında tüm sular “II. Sınıf Sular” yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler litolojik özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak ayırtlanmıştır. Acıgöl Grubu, Pliyo-Kuvaterner Ayırtlanmamış Kırıntılı Birimler, Yamaç Molozu, Alüvyon Yelpazesi ve Alüvyon gözenekli

geçirimli birim (Gç1), Çameli formasyonu Kireçtaşı üyesi, Ağaçlı formasyonu, Ortadağ formasyonu (Bodrum Napı, Likya Napları) karstik geçirimli birim (Gç2) oluşturmaktadır. Eşme Metamorfileri geçirimsiz birim-1 (Gz1) olarak tanımlanırken, Marmaris Peridotiti (Marmaris Ofiyolit Napı), Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu (Marmaris Ofiyolit Napı), geçirimsiz birim-2 (Gz2) olarak tanımlanmıştır. Babadağ formasyonu, Aksu formasyonu Çamova üyesi ve Gebeciler formasyonu ise yarı geçirimli birim (Gy) olarak sınıflandırılmıştır. Bölgede yeraltı suyu derinlikleri 2.5- 43.2 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu seviyeleri ise 880,8 m ile 960,1 m arasındadır. Tavas ovasında yeraltı suyu akım yönünün Karaköy ve Ulukent civarında kuzeydoğu'ya doğru, Kale civarında ise kuzeye doğru olduğu belirlenmiştir.

Su örneklerinin tamamı genel olarak Ca-Mg-HCO₃ veya Mg-Ca-HCO₃ tipi sular fasiyesindedir. Su tiplerinin gelişmesindeki ana etken kayaç-su etkileşimidir. Yeraltı suları genel olarak kireçtaşı ve dolomit gibi kalkerli kayaçlar ile etkileşim halindedir. Ortaç ve mafik magmatik kayaçlar ile etkileşimli sulara Ca iyonlarının artışı Ca feldspatlar ile, Mg iyonlarının artışı ise daha çok biyotit, amfibol, piroksen gibi silikat mineralleri ayrışmasına bağlı gerçekleşmektedir. HCO₃ iyonu ise bölgede yer yer çökelmiş olan kireçtaşı, killi kireçtaşı birimleri ile birlikte feldispat minerallerinin ayrışması sonucunda açığa çıkan kalsit mineralleri ile ilişkili kayaç-su etkileşimi sonucunda artış göstermektedir.

Çalışma alanındaki sular As/Mn/Fe/NO₃ parametrelerine göre insani tüketime uygun olmayıp, genelde Orta Tuzlu ve Az Sodyumlu sulama suları sınıfında yer almaktadır. Sadece N3 ve N10 örnekleri C3S1 (Fazla Tuzlu ve Az Sodyumlu) sulama suları sınıfındadır. RSC değerlerine göre N2 örneği “İyi kaliteli II.sınıf

sulama suyu” diğer tüm sular, “Çok iyi kalitedeki I. Sınıf sulama suyu” sınıfında yer alırken, PI değerlerine göre tüm sular “II.Sınıf Sulama Suyu” yani iyi sulama suyu özelliği taşımaktadır.

Elde edilen sonuçlara göre Tavas ovası yeraltı suları As/Mn/Fe/NO₃ bakımından içme suyu olarak kullanılamaz özellikte olmasına rağmen özellikle küçük yerleşimlerde bölge halkı tarafından yeraltı suyunun içmesuyu olarak kullanıyor olması insan sağlığı açısından ciddi risk oluşturmaktadır. Bu durumda ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından alternatif içme suyu kaynaklarının araştırılarak bölge halkının uyarılması ve bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yapılan tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan gübre ve zirai ilaçların kontrol altında tutulması ve denetlenmesi yeraltı suyunun kalite bakımından sürdürülebilirliği için zorunlu görülmektedir.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılan yüksek lisans tez çalışmasının bir ürünüdür. Yazarlar, çalışmayı finansal olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na (Proje No: FYL-2018-6757) teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Akın, M. ve Akın, G., 2007. Suyun önemi, Türkiye’de su potansiyeli, su havzaları ve su kirliliği, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi 47, 2, 105-118.
- Atalık, A., 2006. Küresel ısınmanın su kaynakları ve tarım üzerine etkileri”, Bilim ve Ütopya, 139, 18-21.
- Baba A., Sözbilir H., 2012. Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties

of Geothermal Systems in Western Turkey, Chemical Geology 334, 364-377.

- Dağlı, H., 2005. İçmesuyu kalitesi ve insan sağlığına etkileri, Bizim İller, İller Bankası Aylık Yayın Organı, Sayı 3, 16-21.
- Dogan, M., Dogan, A.U., 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya region of the western Anatolia, Turkey. Environmental Geochemistry and Health, 29, 119-129.
- Doneen, L.D., 1964. Notes on water quality in agriculture. Published as a water science and engineering paper 4001, Department of Water Science and Engineering, University of California.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science 17, 1088-1090.
- Haviland, W.A., 2002. Kültürel Antropoloji (Çev: Hüsamettin İnaç, Seda Çiftçi). No: 143. Sosyoloji Serisi: 3. İstanbul: Kaktüs Yayınları.
- İTAS, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. Resmi Gazete No: 25730.
- Piper, A. M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Transactions of the American Geophysical Union, 25, 914-923.
- Smedley P. L., Kinniburgh D. G., 2002. A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters. Applied Geochemistry 17(5), 517-568.
- Şenel, M., Öztürk, E. M., Özdemir, T., Kadıncık, G., Metin, Y., Serdaroğlu, M., Örcen, S., 1994. Fethiye (Muğla), Kalkan (Antalya) ve Kuzeyinin Jeolojisi, MTA Raporu, Ankara.
- WHO, 1989. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO scientific group: technical report series 778, WHO, Geneva, p 74.
- WHO, 2011. World Health Organisation Guidelines for Drinking-water Quality, Third Edition Incorporating The First and Second Addenda, WHO Publication, Geneva, 668 p. 2008.