



BÜYÜK SİNCANLI (SİNANPAŞA) OVASI (AFYONKARAHİSAR) SU KAYNAKLARININ HİDROJEOKİMYASAL DEĞERLENDİRİLMESİ

Fatma AKSEVER*, Hakan YİĞİ¹, Seçkin BİLGİÇ¹

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

Anahtar Kelimeler

*Büyük Sincanlı
(Sinanpaşa) ovası,
Su kaynakları,
Hidrojeokimya*

Öz

Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası, İç Anadolu bölgesinde ve Afyonkarahisar ilinin batısında yer almaktadır. Ovanın yer aldığı havza, Türkiye'deki 26 adet büyük ölçekli hidrolojik havzalardan biri olan Akarçay Havzası'nın başlangıcı ve alt havzası konumundadır. Çalışma alanının temelinde Orta Triyas-Jura yaş aralığında çökelmiş dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kristalize kireçtaşlarından oluşan kaya birimleri yer almaktadır. Flüviyal, gösel, alüviyal çökeller ile volkanitlerden oluşan karasal Neojen çökeli ise temel üzerindeki örtü kayalarıdır. Bu çalışma kapsamında ovayı temsil edecek şekilde belirlenen 6 ayrı lokasyondan su kaynağı örnekleri alınmış ve suların hidrojeokimyasal değerlendirmesi yapılmıştır. Havzadaki kaynak suları CaMgHCO₃ sular fasiyesine sahiptir. Kaynak suları Schoeller içilebilirlik diyagramına göre "çok iyi-iyi kaliteli" sular, sulama suyu kalite değerlendirmesine göre ise "C₁S₁-C₂S₁" sular sınıfındadır. Ayrıca, Yağpınarı kaynağında tarımsal faaliyetlerde kullanılan zirai ilaç ve gübrelere bağlı olarak amonyak konsantrasyonunda artış (0.04 mg/l) gözlenmektedir. İz element analiz sonuçlarına göre ise Kılınçaslan kaynağında As artışı dışında negatif etki tespit edilmemiştir. Arsenik konsantrasyonundaki artışın Kılınçaslan kaynağının beslenme alanında yayılım gösteren volkanik kayalara bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir.

HYDROCHEMICAL ASSESSMENT OF THE BÜYÜK SİNCANLI (SİNANPAŞA) PLAIN (AFYONKARAHİSAR) WATER SPRINGS

Fatma AKSEVER¹, Hakan YİĞİ¹, Seçkin BİLGİÇ¹

¹Suleyman Demirel University, Engineering Faculty, Dept. of Geological Engineering, Isparta, Türkiye

Keywords

*Büyük Sincanlı
(Sinanpaşa) plain,
Water springs,
Hydrochemistry*

Abstract

Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) plain is located in the Central Anatolia Region and west of the Afyonkarahisar province. The basin is the beginning and the sub-basin of the Akarçay Basin, which is one of 26 large-scale hydrological basins in Turkey. The rocks are comprised dolomite, dolomitic limestone and crystallized limestones deposited during Middle Triassic-Jurassic at the base of the study area. Cover rocks are the terrestrial sedimentation of Neogene, which is comprised fluvial, lacustrine, alluvial deposits with volcanic. In this context, water spring samples were taken from 6 different locations to represent the plain and hydrochemical evaluation of the waters was carried out. Spring waters in the basin have CaMgHCO₃facies. According to the Schoeller drinkability diagram, spring waters in the basin are classified as "very good-good quality" waters and in terms of irrigation water quality evaluation are "C₁S₁-C₂S₁" classified. Ammonia concentration increase (0.04mg/l) is observed due to agricultural chemicals and fertilizers used in agricultural activities in the Yağpınarı spring. According to trace element analysis results, no negative effect was found except for As increase in Kılınçaslan spring. The increase in arsenic

*İlgili yazar / Corresponding author: fatmaaksever@sdu.edu.tr, +90-246-211-1322

concentration was assessed due to volcanic rocks spreading in the recharge area of the Kılınçaslan spring.

Alıntı / Cite

Aksever, F., Yiğ, H., Bilgiç, S., (2018). Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası (Afyonkarahisar) su kaynaklarının hidrojeokimyasal değerlendirilmesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 6(2), 239-249.

YazarKimliği / Author ID (ORCID Number)

Fatma AKSEVER, 0000-0002-9907-8451

Hakan YIĞ, 0000-0001-6390-2587

Seçkin BİLGİÇ, 0000-0002-3055-2653

BaşvuruTarihi / Submission Date 02.04.2018

Revizyon Tarihi / Revision Date 19.04.2018

Kabul Tarihi / Accepted Date 24.04.2018

YayınTarihi / Published Date 23.06.2018

1. Giriş

İnceleme alanı olarak belirlenen Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası, Ege bölgesinin İç Batı Anadolu bölümünde ve Afyonkarahisar ilinin batısında yer almaktadır (Şekil 1). Doğu-batı yönde uzanımlı olan ova kuzeyde İlbudak dağları (1563m), güneyde Ahır dağları (1940m) ve batıda Murat dağları (2312m) ile çevrili olup, doğuda Afyonkarahisar ovasına bağlanmaktadır. Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası 1115m kotta yer almaktadır (Çatal ve Dengiz, 2015).

Jeolojik olarak, Sincanlı (Sinanpaşa)-Afyonkarahisar Neojen havzası olarak tanımlanan inceleme alanı; Batı Anadolu genişlemeli Neojen havzalarından biri olup, başlıca kırıntılı, karbonat, kömürlü ve volkanik birimlerin depolanması ile temsil edilmektedir (Güven 2011). İnceleme alanındaki volkanizmayı esas alan çalışmalar; Keller ve Villari (1972), Besang vd. (1977), Ercan (1979), Başarır ve Kun (1982), Keller (1983), Ercan (1986), Çevikbaş vd. (1988), Öztürk ve Öztürk (1989), Savaşçın ve Güleç (1990), Savaşçın ve Oyman (1998) vb. tarafından yapılmıştır.

Afyon bölgesindeki volkanizma yaşını belirlemeye yönelik; Becker-Platen vd. (1977) ve Besang vd. (1977) yaptıkları çalışmalarda; bölgedeki volkanizmanın Orta- Üst Miyosen arasında faaliyet gösterdiğini belirlemişlerdir.

İnceleme alanında endüstriyel hammadde ve jeotermal amaçlı çalışmalar; Konyalı (1968), Karamanderesi (1972), Helvacı ve Yağmurlu (1995) tarafından yapılmıştır. Konyalı (1968)' göre Güneyköy-Karacaören köylerinin kuzeyinde kömür tabakalarının sondajlar yardımı ile tayin edilebileceğini belirtilmiştir. Sonraki yıllarda bölge kapalı kömür işletmesi olarak çalışmaya başlamış ve bu işletme hala devam etmektedir. Ayrıca, bölgede bu çalışmaların dışında bor tuzu aramalarına yönelik olarak Akpınar (1971), Yalçın (1972), Kartalkanat (1990) ve Kartalkanat vd. (1990) tarafından çalışmalar da mevcuttur. Yalçın (1972) tarafından yapılan çalışmada; Sinanpaşa-Köprülü köy, İğdeli köyü, Ayvalı ve Düzağaç köyleri ile çevrelenmiş olan bölgelerden alınan örneklerde eser miktarda B₂O₃ tespit edilmiştir.

Büyük Sincanlı ve Afyon ovaları arasındaki morfolojik ve jeomorfolojik yapılarla ilgili çalışmalar ise Atiker (1986) ve Yılmaz (2012) tarafından çalışılmıştır. Ovanın en önemli yüzeysel akışı Akarçay'dır. Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) havzası, Akarçay havzasının bir alt havzasıdır ve 684 km²'dir. Akarçay, Ahır dağlarının kuzeyinden ve havzanın batısından doğar, ovayı kat ederek havzanın kuzeydoğusunda yeralan Afyonkarahisar ovasına geçer ve oradan da Eber Gölü'ne dökülmektedir. Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası yarı kapalı havza özelliği ile Akarçay havzasının başlangıcı olma niteliğini taşımaktadır.

Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovasında su kalitesine yönelik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar bir ön araştırma niteliği taşıdığı için literatüre ve araştırmacılara önemli bir katkı sağlayacaktır.

Bu çalışmanın amacı; Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovasında yeralan su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenerek, kalite açısından değerlendirilmesi ve mevcut su kaynaklarının içilebilirlik özellikleri ve kullanım alanlarının tespit edilmesidir.

Bu kapsamda ovayı temsil edecek şekilde su kaynakları belirlenmiştir. Bu kaynaklar; Yağpınarı, Dombeyli, Düzağaç, Bulca, Boyalı ve Kılınçaslan kaynaklarıdır. Söz konusu kaynaklar geçirimli ve yarı geçirimli birimlerden oluşmaktadır. Bu kaynaklar, Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovası içerisinde yeralan yerleşim merkezleri için içme ve kullanım amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu amaca göre, bölgedeki suların Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve Türk İçme Suyu (TS-266, 2005) standartlarına göre uygunluğu belirlenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışma kapsamında öncelikle araştırma alanının genel jeolojik özellikleri ayrıntılı olarak incelenmiş ve havzaya ait 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası literatür çalışmalarının arazi gözlemleri ile denetirilmesiyle elde edilmiştir.

Hidrojeokimyasal çalışmalar için su örnekleri alınmıştır. Örnek lokasyonları Magellan marka GPS ile koordinatlandırılmıştır. Kaynaklardan alınan su örneklerinde fiziksel özellikler olan pH, sıcaklık (T-°C), toplam çözünmüş katı madde (TDS-mg/L), elektriksel iletkenlik (EC-µS/cm) parametreleri Hach Lange marka HQ40D model çift kanallı multimetre ile yerinde ölçülmüştür.

Suların kimyasal analizleri ve azot türevleri ise Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum laboratuvarında yapılmıştır. Laboratuvar, anyon ve katyonların belirlenmesinde APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water Work Association) ve WPCF (Water Pollution Control Federation) tarafından hazırlanan "Standard Methods For the Examination of Water and Waste Water" test standartları uygulamaktadır. Ayrıca su kaynaklarının kirlilik parametreleri (iz elementler) Acme Analitik Laboratuvarında (Canada Bureau Veritas Mineral Laboratories) analiz edilmiştir. Laboratuvarında, iz elementlerin tespiti için ICP-MS analiz tekniği kullanılmaktadır.

Elde edilen sonuçlar ile suların çeşitli kullanım amaçlarına uygunlukları değerlendirilmiş ve farklı diyagramlar üzerinde yorumlanmıştır. Suların kimyasal olarak değerlendirilmesinde AquaChem 3.7 yazılım programı kullanılarak; su fasiyesini belirlemede yarı-logaritmik Schoeller ve Piper, suların kökeni için Gibbs, içilebilirliğin belirlenebilmesinde Schoeller, sulama suyu olarak kullanımın belirlenebilmesinde ise ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

3. Araştırma Bulguları

3.1. Jeoloji ve Hidrojeoloji

İnceleme alanının tabanında Bodrum napına ait Çökek birimi yer almaktadır. Birim Üst Permiyen yaşlı Eldeş formasyonu (Pe) ve Jura-Orta Triyas yaşlı Loras formasyonlarından (TRJl) oluşmaktadır. Formasyonlar genel olarak dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Tabanın üzerine ise Neojen çökeller gelmektedir. Bölgedeki Neojen çökelim süreci, uyumsuzluk düzlemleriyle birbirinden ayrılan üç tortul sekans ile temsil edilir. Alt Miyosen yaşlı, çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ve linyitten oluşan Hacibekir grubu (Tmh) ile başlayan Neojen tortullaşma, altta alüviyal ve üstte piroklastiklerden oluşan Gölsel çökellerden (Tmg2) yapıli Gebeciler formasyonunun (Tmg) simgelediği Orta Miyosen tortul sekansı ile devam eder ve Üst Miyosen yaşlı alüviyal çökelimini yansıtan Erdemir formasyonu (Tme) sona erer. Erdemir formasyonu, çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, marn vb. litolojiden oluşmaktadır. Porfirik lavlar üreten çok fazla volkanizmanın türevleri olarak çökelen ve Orta Miyosen yaşlı Afyon volkanoklastikleri (Tma) ise Adatepe andezitleri (Tmaa) ve Kocatepe

trakitlerinden (Tmak) oluşmakta ve Gebeciler formasyonu tortullaşmasıyla alttan üste yanall ilişkili konumdadır. Kuvaterner yaşlı tutturulmamış, çakıl, kum, silt ve kil malzemelerinden oluşan Alüvyon yelpazesi (Qay) ve Alüvyon (Qal) ise alttaki tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir (Öcal ve Köktaş, 2011; Şekil 2).

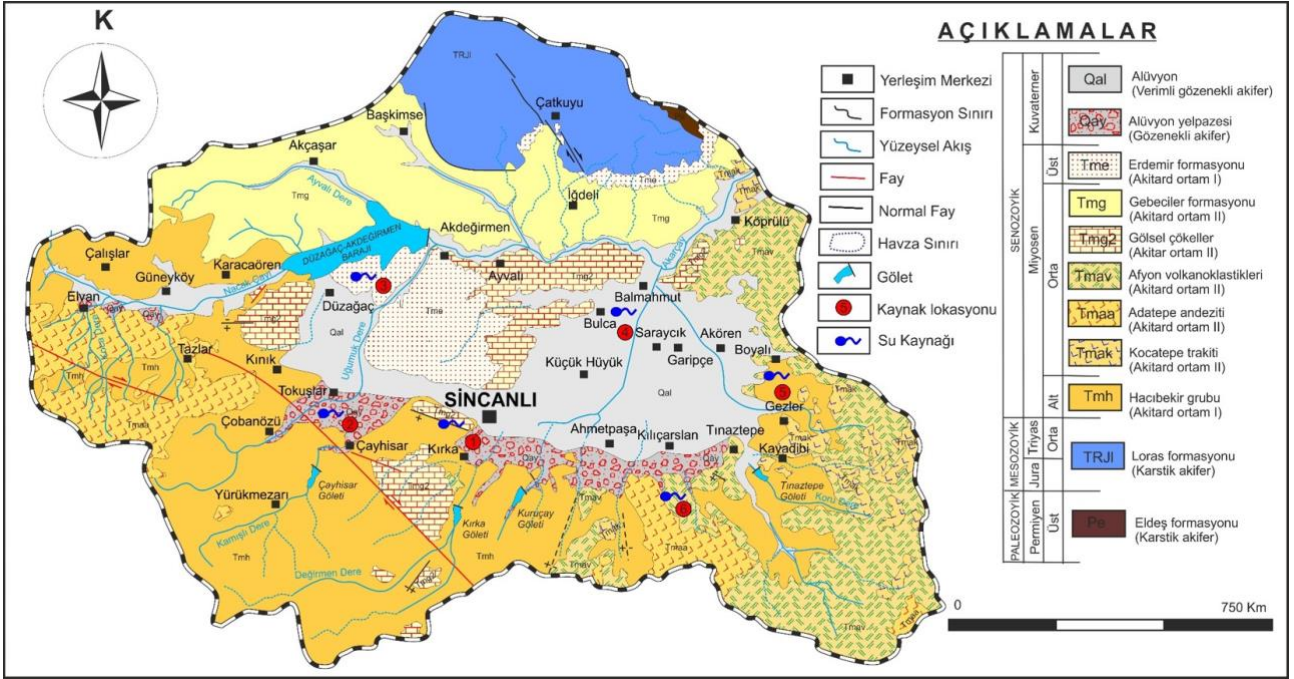
Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovasını kaplayan ve oldukça geniş bir yayılıma sahip olan Kuvaterner yaşlı alüvyon, çakıl ve kum seviyelerinde su bulundurması açısından inceleme alanında verimli bir akifer niteliği taşımakta ve "verimli gözenekli akifer" olarak adlandırılmaktadır. Ovada alüvyon üzerinde açılmış çok sayıda derin sondaj kuyusu bulunmaktadır. Alüvyonu oluşturan malzemelerin boyutuna, dizilişine, kil ve silt seviyelerinin azlığı ve çokluğu, çimentolanma durumuna göre alüvyonda açılan kuyuların verimi değişmektedir. Ahmetpaşa (3), Kılınçaslan (2), Akören (2), Düzağaç (2), Küçükühyük (1), Sincanlı (2) ve Güney (1) köylerinde olmak üzere toplam 13 adet kuyunun debi değerleri 10-38 l/s arasında değişmektedir (Ayaz, 2013).

Alüvyon ile iç içe girmiş ve yer yer üzerlerine gelen, inceleme alanının güney ve doğu kesimlerinde geniş alanlar kaplayan alüvyon yelpazesi de ekonomik oranlarda yeraltısuyu alınabilen "gözenekli akiferi" oluşturmaktadır. Kırka köyünde 1adet ve Tokuşlar köyünde 2 adet olmak üzere alüvyon yelpazesi üzerinde açılmış sondaj kuyularına ait debi değerleri 12-29 l/s arasında değişmektedir (Ayaz, 2013).

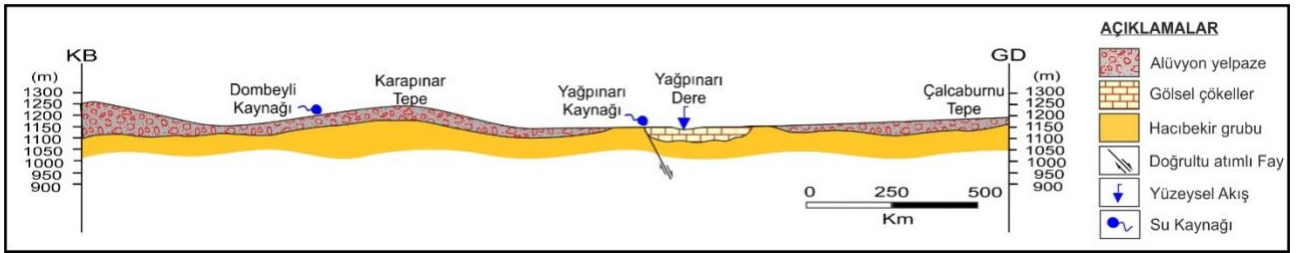
Dolomitik kireçtaşı, dolomit ve kireçtaşlarından oluşan Loras ve Eldeş formasyonları bol kırıklı, çatlaklı ve karstik boşluklu yapısı ile geçirimli bir özellik sunmaktadırlar. Çatkuyu civarında yayılım gösteren kireçtaşları "karstik akifer" niteliğindedir.

Havzanın batısını kaplayan ve benzer litolojiye sahip olan Erdemir formasyonu ile Hacibekir grubu birimleri içerdiği çakıltaşı, kumtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ile geçirimli iken kiltası, silttaşı, çamurtaşı ve marn seviyelerinin varlığı ile geçirimsizliği artmaktadır. Bu nedenle birimler yarı geçirimli özelliğe sahip olup, "akitard ortam I" olarak nitelendirilmiştir.

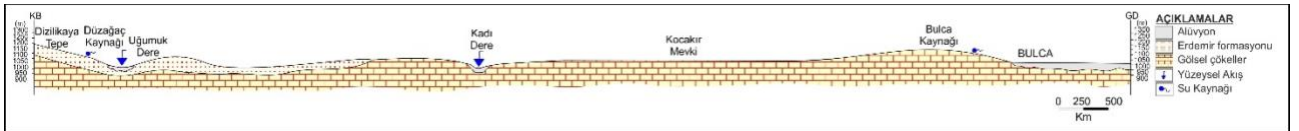
Havzada geniş yayılıma sahip volkanik kayalar; Afyon volkanoklastikleri, Kocatepe trakiti, Adatepe andeziti, Gebeciler formasyonu ve Gölsel çökellerdir. Volkanosedimanter birimlerden tüf, tüfit, andezit, bazalt, ignimbirit vb. litolojiler sınırlı miktarda yeraltısuyu hareketine izin vermektedirler. Ancak kırıklı-çatlaklı olduğu bölgelerde ikincil gözeneklilik artar ve yeraltısuyu hareketi oluşmaktadır. Yarı geçirimli özelliğe bu sahip birimler "akitard ortam II" ortamı simgelemektedir.



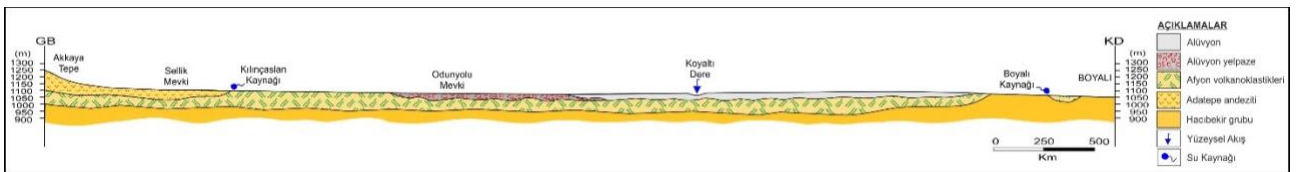
Şekil 2.İnceleme alanının jeoloji haritası (Öcal ve Köktaş, 2011)



Şekil 3.Yağpınarı ve Dombeyli kaynaklarına ait şematik kesit



Şekil 4.Düzağaç ve Bulca kaynaklarına ait şematik kesit



Şekil 5.Kılınçaslan ve Boyalı kaynaklarına ait şematik kesit

3.3. Hidrojeokimya

3.3.1. Fiziksel Özellikler

Büyük Sincanlı (Sinanpaşa) ovasında çok sayıda kaynak boşalımları mevcuttur. Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında ovayı temsil edecek şekilde toplam 6 adet su kaynağından örnekleme yapılmıştır (Şekil 2). Su örnekleri; Yağpınarı (1), Dombeyli (2), Düzağaç (3), Bulca (4), Boyalı (5) ve Kılınçaslan (6) kaynaklarından alınmıştır. Bu örneklerin fiziksel parametrelerine (pH, T, EC ve TDS) ait sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur. İnceleme alanındaki kaynak sularının sıcaklıkları 9.40-14.00°C, EC değerleri 210-580 µS/cm ve TDS değerleri 110-240 mg/L arasında değişmektedir (Tablo 1). pH değerleri 7.00-7.80 arasında değişen kaynak suları çoğunlukla "bazik karakterli"dir.

Tablo 1.Sulardaki fiziksel ölçüm sonuçları

Örnek No	Örnekleme Tarihi	Koordinat			T (°C)	EC (µS/cm)	pH	TDS mg/l
		X(K)	Y(D)	Z (m)				
1	23.04.2017	4291785	258968	1155	10.00	520	7.80	240
2	23.04.2017	4292127	256560	1185	11.40	400	7.18	200
3	23.04.2017	4297966	257352	1130	9.40	440	7.34	220
4	23.04.2017	4296953	266017	1070	14.00	580	7.00	220
5	23.04.2017	4293984	274182	1083	11.80	210	7.34	110
6	23.04.2017	4290577	269265	1114	10.80	270	7.07	140
WHO (2011)							6.5-8.5	600-1000
TS-266 (2005)							6.5-9.5	

3.3.2. Hidrojeokimyasal Özellikler

Su kaynaklarından alınan örneklerde kimyasal analizler yapılmış ve analizlerde; katyonlar (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺) ile anyonlar (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, CO₃²⁻) tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara ait değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2.Sulardaki kimyasal ölçüm sonuçları

Örnek No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Ca ²⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l
1	1.90	1.11	3.33	60.44	2.00	13.42	176.90
2	4.70	0.95	4.48	90.21	6.18	6.09	268.40
3	7.21	0.16	8.01	94.74	5.32	12.28	274.50
4	8.10	2.29	19.89	116.15	8.80	40.95	366.00
5	11.36	1.13	8.66	26.65	4.43	4.25	122.00
6	9.69	3.43	10.11	41.49	3.92	50.79	128.10
WHO (2011)	200	3000	-	-	250	500	-
TS-266 (2005)	200				250	250	

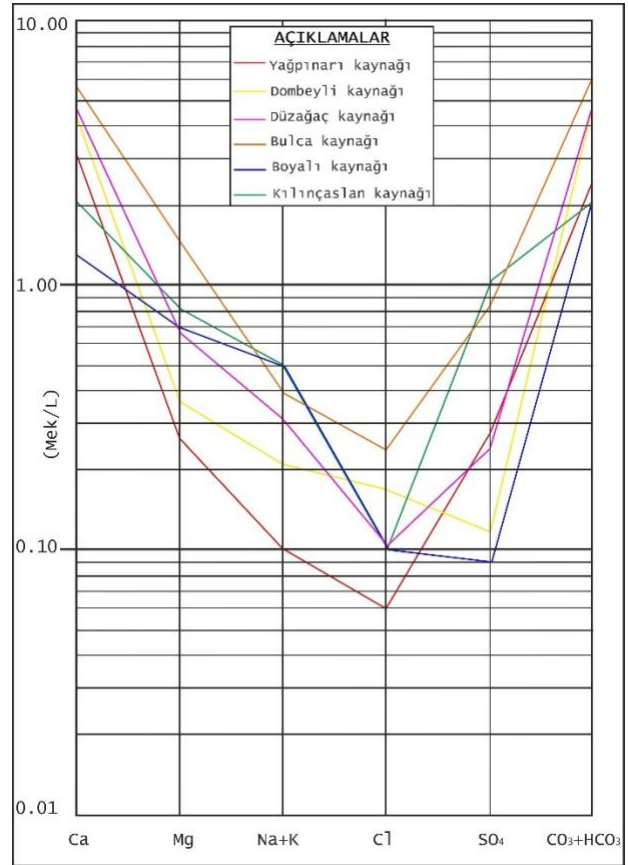
İçme su kalitesini etkileyen iyon özelliklerinden en önemlisi suların sertlik derecesinin belirlenmesidir. Suların sertliği başta kalsiyum, magnezyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg sülfat, Ca-Mg nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). İnceleme alanındaki kaynak sularının sertliği 10.21-37.16 °F arasında değişmektedir (Tablo 3). Fransız sertlik derecesine göre kaynak suları "yumuşak-çok sert su" sınıfı aralığında yer almaktadır.

Tablo 3.Kaynak sularının iyon özellikleri

Kaynak Adı	Formasyon	Sertlik (°F)	Kasyon Sıralaması (mek/L)	Anyon Sıralaması (mek/L)	Su Tipi
Yağpınarı	Gölsel çök.-Hacıbekir g.	16.45	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	CaHCO ₃
Dombeyli	Alüvyon yelp.-Hacıbekir g.	24.35	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻	CaHCO ₃
Düzağaç	Erdemir-Gölsel çök.	26.95	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	CaHCO ₃
Bulca	Alüvyon-Gölsel çök.	37.16	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	CaMgHCO ₃
Boyalı	Afyon volk.-Hacıbekir g.	10.21	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >Cl ⁻ >SO ₄ ²⁻	CaMgNaHCO ₃
Kılınçaslan	Afyon volk.-Adatepe and.	14.51	Ca ²⁺ >Mg ²⁺ >Na ⁺ >K ⁺	HCO ₃ ⁻ >SO ₄ ²⁻ >Cl ⁻	CaMgHCO ₃

Yarı-logaritmik Schoeller Diyagramı

Yarı-logaritmik Schoeller (1952) diyagramında litolojik olarak benzer kökenli ve aynı beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. Diyagramda volkanik kayalardan boşalan Boyalı ve Kılınçaslan kaynağı dışındaki kaynaklara ait doğruların yaklaşık olarak birbirine paralel olduğu görülmektedir (Şekil 6). Diyagrama göre kaynak suları genellikle Ca ve HCO₃ miktarı fazla olan sulardır. Kaynak sularında hakim katyon dizilimi Ca²⁺>Mg²⁺>Na⁺>K⁺ şeklindedir. Anyon dizilimi ise Dombeyli ve Boyalı kaynaklarında HCO₃⁻>Cl⁻>SO₄²⁻ iken, diğer kaynaklarda HCO₃⁻>SO₄²⁻>Cl⁻ şeklindedir (Tablo 3).

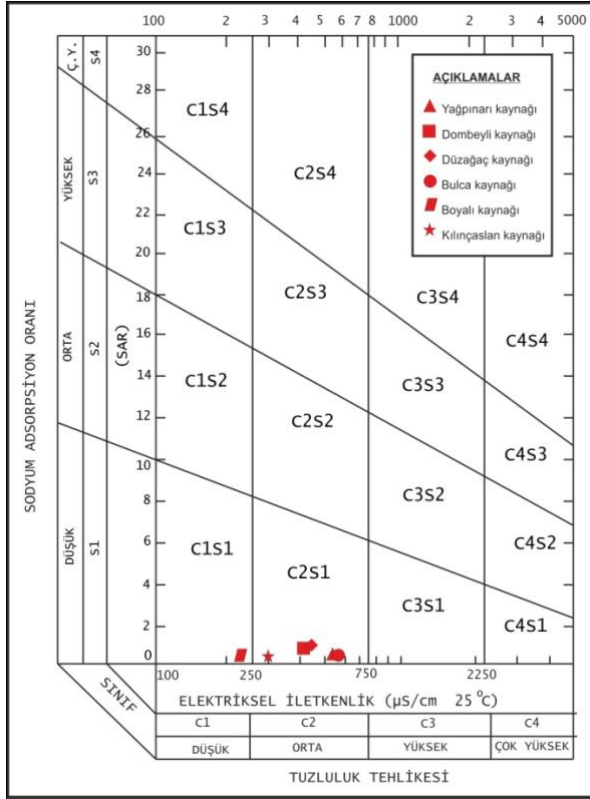


Şekil 6.Kaynak sularının yarı logaritmik Schoeller diyagramı

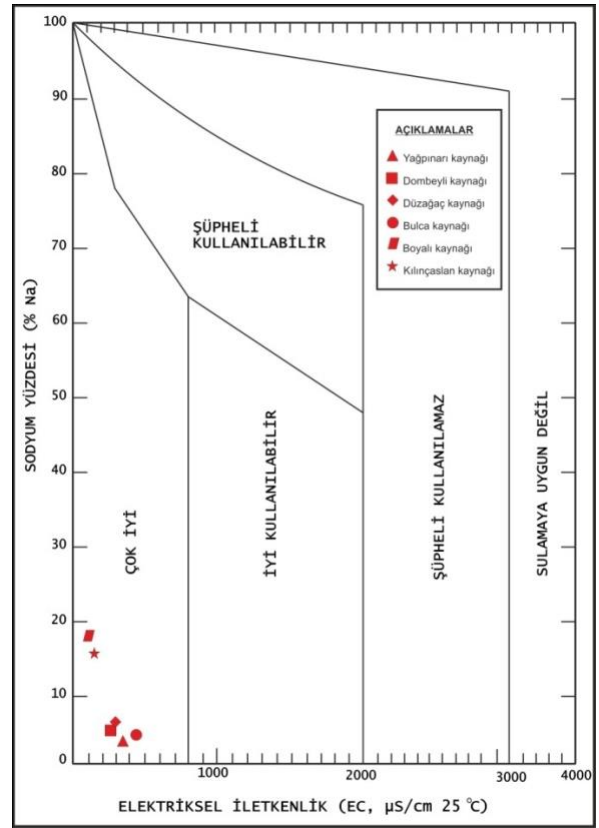
Piper Diyagramı

Suların hidrokimyasal fasiyeslerini kıyaslamalı olarak ortaya koyan Piper (1944) diyagramı aynı zamanda sularda meydana gelen kimyasal değişimi de yansıtmaktadır. İnceleme alanındaki suların analiz sonuçları kullanılarak hazırlanan Piper diyagramı

belirlemede kullanılan diğer bir diyagram ise Wilcox (1955) diyagramıdır. İnceleme alanındaki su kaynakları Wilcox diyagramına göre değerlendirildiğinde tüm kaynak suları "çok iyi kullanılabilir" sular sınıfında yer almaktadır ve sulama için uygundur (Şekil 11).



Şekil 10. Kaynak sularına ait ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı



Şekil 11. Kaynak sularına ait Wilcox diyagramı

3.3.5. Suların Kirliliği

Azot Türevleri

İnceleme alanındaki nitrat, nitrit ve amonyum konsantrasyon değişimleri 1.01-19.57, 0.00, 0.00-0.04 mg/L olarak değişmektedir (Tablo 4). İnceleme alanındaki kaynak sularının nitrat ve nitrit konsantrasyonları WHO (2011) ve TS-266 (2005) içme suyu standartları sınır değerleri aşmamaktadır. WHO (2011) standardına göre sularda amonyum olmamalıdır. TS-266 (2005) içme suyu standardına göre amonyum sınır değeri 0.5 mg/L'dir. İnceleme alanında sadece Yağınarı kaynağından alınan su örneğinde amonyum miktarı 0.04 mg/L ile WHO (2011) sınır değerini aşmaktadır. İnceleme alanındaki amonyuma bağlı kirliliğin sebebinin tarımsal faaliyetlerde kullanılan zirai ilaç ve gübrelere bağlı kirlenmeler olduğu düşünülmektedir.

Tablo 4. Sulardaki azot türevleri sonuçları

Örnek No	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₃ mg/l
1	0.00	1,01	0.04
2	0.00	4,93	0.00
3	0.00	19,57	0.00
4	0.00	16,46	0.00
5	0.00	7,03	0.00
6	0.00	1,85	0.00
WHO (2011)	3	50	-
TS-266 (2005)	0.5	50	0.5

İz Elementler

Suların fiziksel özelliklerinin ve majör iyonlarının içme suyu standartlarına uygun olması içilebilirlik açısından yeterli parametreler değildir. Bu nedenle sulara iz elementlerin belirlenmesi oldukça önemlidir.

İnceleme alanındaki kirliliğin belirlenebilmesi için kaynak sularında iz element (Al, As, B, Ba, Br, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn) analizleri yapılmıştır. Genel olarak kaynak sularının tamamında arsenik hariç, iz element konsantrasyon değerleri WHO (2011) ve TS-266 (2005) içme suyu standartları sınır değerlerini aşmamaktadır.

İnceleme alanında arsenik konsantrasyonu 1.90-19.70 µg/L arasında değişmektedir (Tablo 5). Arseniğin içme ve sulama suyu kullanımında WHO (2011) ve TS-266 (2005) tarafından belirlenen sınır değeri 10

µg/L olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında kaynak örneklerine bakıldığında Kılınçaslan kaynağında As içeriği sınır değeri >10 µg/L (19.70 µg/L) aştığı görülmektedir. Su örneğinin alındığı lokasyona bakıldığında Kılınçaslan kaynağının volkanik kayalardan boşaldığı gözlenmektedir. Afyon volkanoklastiklerinin litolojisi porfirik lavlar üreten çok fazlı volkanizmanın türevleri olarak çökelen andezit ve trakitlerdir (Öcal ve Köktaş, 2011). Bu kaynağın As konsantrasyonundaki artışın kaynağı jeojenik olup su-kayaç etkileşimine bağlı olarak gelişme gösterebilir. Kaynak suyu inceleme alanında içme suyu olarak kullanılmakta ve içerisindeki As artışı tehdit unsuru oluşturmaktadır. Uzun süreli As içerikli su tüketimi insan sağlığı açısından tehlikelidir. İçme sularındaki yüksek arsenik konsantrasyonunun insanlarda kanseri artırdığı bilinmektedir (Chatterjee ve Mukherjee, 1999).

Tablo 5. Sulardaki iz element sonuçları

Örnek No	Al µg/L	As µg/L	B µg/L	Ba µg/L	Br µg/L	Cd µg/L	Cr µg/L	Cu µg/L	Fe µg/L	Hg µg/L	Mn µg/L	Pb µg/L	Zn µg/L
1	7.00	1.90	<5	46.60	10.00	<0.05	<0.5	1.10	<10	<0.1	0.45	<0.2	0.6
2	<1	3.10	<5	164.42	38.00	<0.05	<0.5	0.60	<10	<0.1	<0.05	<0.2	0.9
3	<1	2.90	14.00	78.06	40.00	<0.05	<0.5	0.70	<10	<0.1	0.79	<0.2	2.2
4	<1	2.90	17.00	148.54	35.00	<0.05	<0.5	1.10	<10	<0.1	<0.05	<0.2	1.9
5	<1	8.80	30.00	11.42	34.00	<0.05	0.90	0.70	<10	<0.1	0.11	<0.2	1.8
6	7.00	19.70	25.00	68.61	18.00	<0.05	0.80	1.30	<10	<0.1	0.15	<0.2	6.3
WHO (2011)		10	2400	-	-	3	50	2000	-	6	400	10	-
TS-266 (2005)	200	10	1000	700	-	5	50	2000	200	-	50	25	-

4. Sonuç ve Tartışma

İnceleme alanı su kaynakları açısından oldukça verimli bir litolojiye sahiptir. Bölgede yer alan su kaynaklarının bir kısmı gözenekli akiferlerden, diğer kısmı ise yarı geçirimli birimlerden boşalmaktadır. Bu kaynaklar inceleme alanındaki yerleşim merkezlerinin içme kullanım suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Kaynak sularında majör iyon dizilimi $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} > K^{+}$ ve $HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-2}$, $HCO_3^{-} > SO_4^{-2} > Cl^{-}$ şeklindedir. Piper ve yarı-logaritmik Schoeller diyagramlarına göre kaynak suları $CaMgHCO_3$ sular fasiesindedir. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre su kaynakları "çok iyi-iyi kaliteli sular" sınıfında, Gibbs diyagramına göre ise "kayaç baskın" bölgede yer almaktadır. Sulama suyuna uygunluk açısından kaynak suları, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramına göre " C_1S_1 ve C_2S_1 " sınıfında yani bitkiler açısından sulamaya uygun su sınıfında yer almaktadır. Wilcox diyagramında da sular "çok iyi kullanılabilir" sular sınıfındadır.

Yağpınarı kaynağında görülen amonyum artışının (0.04 mg/l) bölgede tarımsal faaliyetlerde kullanılan zirai ilaç ve gübrelere bağlı olduğu düşünülmektedir.

Volkanik kayalardan boşalan Kılınçaslan kaynağında tespit edilen arsenik konsantrasyonu (19.70 µg/L) olup, artışın su-kayaç etkileşimine bağlı olarak jeojenik olduğu düşünülmektedir. Kaynağın içme suyu olarak kullanıldığı düşünüldüğünde, uzun süreli As içerikli su tüketimi insan sağlığı açısından tehlike unsuru oluşturmaktadır.

5. Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen TÜBİTAK 2209/A Üniversite Öğrencileri Yurtiçi Araştırma Projeleri Destek Programı'na katkıları için teşekkürlerimizi sunarız.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar

Akpınar, A., 1971. Afyon ili Sincanlı kazası Balmahmut köyü ruhsatlı bor tuzları sahasının detay jeolojik etüd

- ve prospeksiyon raporu. M.T.A. Rapor No: 770. Ankara.
- Atiker, M., 1986. İbulakdağ, Büyük Sincanlı ve Afyon Ovaları Arasının Morfotektoniği ve Jeomorfolojik Gelişimi. *Jeomorfoloji Dergisi*, 15, 16-27.
- Ayaz, S., 2013. Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi, Akarçay Havzası Taslak Projesi 5118601, TÜBİTAK MAM, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Kocaeli.
- Başarır, E., Kun, N., 1982. Afyon kalesi çevresindeki volkanik kayaların petrografik incelemesi, *KTÜ Yerbilimleri Dergisi*, 2(1-2), 87-96.
- Becker-Platen, J.D., Benda, L. and Steffens, P. 1977. Litho-und biostratigraphische deutung radiometrischer altersbestimmungen aus dem Jungtertiär der Türkei. *Geologisches Jahrbuch*, 25, 139-167.
- Besang, C., Echart, F.J., Harre, W., Keruzer, H., Muller, P., 1977. Radiometrische altersbestimmungen an Neogenen erup-tigesteinen der Turkei. *Geologisches Jahrbuch*, 25, 3-36.
- Chatterjee, A., Mukherjee, A., 1999. Hydrogeological investigation of groundwater arsenic contamination in South Calcutta. *Science of the Total Environment*, 225, 249-262.
- Climate.data.org. 2017. Standart Arama, <https://tr.climate-data.org/location/21409> (25.10.2017).
- Çatal, A., Dengiz, O., 2015. Akşehir Gölünün Akşehir Çölüne Dönüşü Süreci ve Etki Eden Faktörler. *Toprak Su Dergisi*, 4(1), 18-26.
- Çevikbaş, A, Ercan, T. ve Metin, S., 1988, *Geology and Regional Distribution of Neogene Volcanics between Afyon Şuhut*, Jour. Pure and Appl Sei., METU, Ankara, 21(1-3), 479-499.
- Ercan, T. 1986. Orta Anadolu'daki Senozoyik volkanizması, *MTA Dergisi*, 107, 119-141.
- Erguvanlı, K., Yüzer, E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi, İTÜ yayınları no:23, 339s, İstanbul.
- Gibbs, R.J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088-1090.
- Günen, E., 2011. Sincanlı Afyon Neojen havzası birimlerinin sedimantolojisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 200s, Ankara.
- Helvacı, C., Yağmurlu, F., 1995. Geological setting and economic potential of the lignite and evaporite-bearing Neogene basins of Western Anatolia, Turkey, *Isr. J. Earth Sci.*, 44, 91-105.
- Karamenderesi, İ.H., 1972. Afyon K 24b paftası detay jeolojik etüdü ve jeotermal alan olanakları, M.T.A. Rapor No: 5733, Ankara.
- Kartalkanat, A., 1990. Afyon-Bayat (ÖİR-653) ve Sincanlı (ÖİR-2149) bor tuzu ruhsat sahalarının jeolojik değerlendirme ve öneri raporu. M.T.A. Rapor No: 9081, Ankara.
- Kartalkanat, A., Mutlu, H., Küçükayman, A., 1990. Afyon-Bayat-İhsaniye-Sincanlı I (ÖİR: 653), II (ÖİR: 653) ve III (ÖİR: 2149) nolu bor tuzu sahalarının maden jeolojisi raporu. M.T.A. Rapor No: 3092, Ankara.
- Keller, J., 1983. Potassic volcanism of the Mediterranean area. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 18, 321-335.
- Keller, J., Villari, L., 1972. Rhyolitic ignimbrites in the region of Afyon (Central Anatolia). *Bull. Volcan.*, 36(4), 342-358.
- Konyalı, Y., 1968. Sincanlı Dumlupınar Bölgesinin Jeolojisi ve linyit Etüdleri, MTA Rapor No: 4404, Ankara.
- Öcal, H., Köktaş, F., 2011. 1:100 000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. Afyon K-24 paftası, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Rapor no. 158, Ankara.
- Öztürk, E.M, ve Öztürk, Z., 1989. Balçıkhisar- Karadilli (Afyon)- Dereköy (Isparta) Dolayının Jeolojisi Raporu, MTA, 282-286, Ankara.
- Piper, A.M., 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis. *Transactions-American Geophysical Union*, 25, 914-928.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline alkali soils. *Soil Science*, 78(2), 154.
- Savaşçın, M. Y., Oyman, T., 1998. Tectono-magmatic evolution of alkaline volcanics at the Kırka-Afyon-Isparta structural trend, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 7, 201-214.
- Savaşçın, Y., Güleç, N., 1990. Neogene volcanism of Western Anatolia. Field Exercursion B3, Guide Book, International Earth Sciences Congress on Aegean Regions, IESCA Publication no: 3, 78, İzmir.
- Schoeller, H., 1962. Les eaux souterraines., Paris, 642 p.

Tezcan, L., Meriç, T., Dođdu, N., Akan, B., Atilla, Ö., Kurttaş, T., 2002. Akarçay Havzası Hidrojeoloji ve Yeraltısuyu Akım Modeli Final Raporu, Cilt I, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

TS-266. 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

WHO, 2011. Edition, F., Guidelines for drinking-water quality WHO chronicle, 38, 104-108.

Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation water. US Department of Agriculture, 696, Washington DC.

Yalçın, R., 1972. Afyon ili ruhsatlı bor tuzu sahalarında yapılan detay bor tuzu etüdü. MTA Rapor No: 752, Ankara.

Yılmaz, Ö., 2012. Araplı Boğazı (Afyonkarahisar), NWSA-Nature Science,7(1), 1-15.