

Çöl (Haydarlı/Afyon) Ovasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi

Ayşen Davraz, Dilek Balın

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta.
e-posta:aysendavraz@sdu.edu.tr

Geliş Tarihi:03.07.2015; Kabul Tarihi:19.08.2015

Özet

Türkiye'nin güneybatısında bulunan Çöl (Haydarlı/Afyon) Ovası 465.56 km²'lik bir drenaj alanına sahiptir. Ovada Anamas-Akseki Otoktonu, Beyşehir-Hoyran-Hadim Napları ve örtü kayalarına ait birimler yüzeylenmektedir. Bölgede en önemli akifer Kuvaterner yaşlı alüvyondur. Yeraltısuyu akım yönünün ovanın güneyine doğru olduğu görülmektedir. Çöl Ovası'nda en önemli sorun yoğun tarımsal faaliyetler sonucu aşırı yeraltısuyu çekimidir. Çöl Ovası'nda hidrojeokimyasal değerlendirmeler için yeraltısuyunun kalite, köken ve kirlilik analizleri yapılmıştır. Ovada yeraltısuyunun genel olarak Ca-HCO₃ hidrojeokimyasal fasiyeste olduğu belirlenmiştir. Çalışmada yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Ovada yeraltısuları için en önemli kirlenici unsur tarımsal faaliyetlerdir. Bu durum, ova genelinde yeraltısularında nitrat içeriklerinin artmasına neden olmuştur. Ayrıca, yeraltısularının Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn ve Pb gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Ovada Al, As, Fe ve Mn içeriklerinin bölgesel ölçekte içme suyu standartlarını aştığı tespit edilmiştir. Bu artışlar jeojenik ve antropojenik etkenlerden kaynaklanmaktadır. Yeraltısularının kökensel değerlendirmelerinin yapılabilmesi amacıyla izotop içerikleri belirlenmiştir. Yeraltısularının izotop değerleri meteorik kökenli suları temsil etmektedir.

Anahtar kelimeler

Çöl Ovası, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Afyon

Hydrogeological and Hydrogeochemical Assessment of Çöl (Haydarlı/Afyon) Plain)

Abstract

The Çöl (Haydarlı/Afyon) plain which is located in the southwest of Turkey have 1505 km² watershed area. Anamas-Akseki autochthonous and units belonging to allochthonous Beyşehir-Hoyran-Hadim nappes and cover rocks units are outcropped in the investigation area. The most important aquifer is Quaternary aged alluvium. General groundwater flow direction is towards to south of the plain. In the Çöl plain, it has been excessive drawing of groundwater owing to the agricultural activity. In order to find out the hydrogeochemical features, surface and groundwater samples taken from representative locations in the Çöl plain were analyzed for the hydrogeochemical features. Groundwaters have determined the Ca-HCO₃ facies in plain. Groundwaters are suitable for usage as irrigation water in the plain. Agricultural activity is most important pollution in the plain. Nitrate content is increased because of agricultural activity in the research area. Besides, heavy metal contents of groundwater such as Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn and Pb were also researched. Al, As, Fe and Mn concentrations of groundwater have exceed the maximum allowable limits of drinking water standards as locally. These increases originated from geogenic and antropogenic factors. The isotope contents of groundwaters were determined to the genetic evaluation. Heavy isotope contents of groundwaters are represented meteoric origin.

Keywords

Çöl plain,
Hydrogeology,
Hydrochemistry, Afyon.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

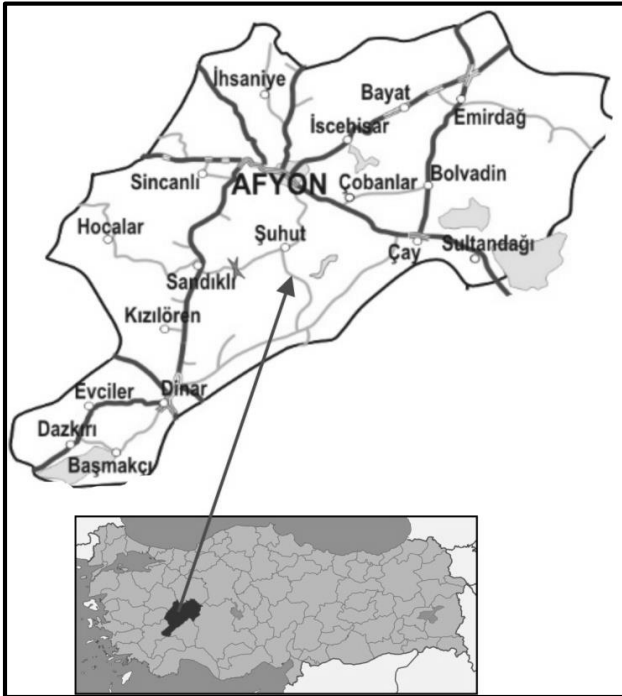
1. Giriş

Su kaynaklarının istenilen zaman, mekan, kalite ve miktarda teminine yönelik olarak yaşanan sıkıntılar konuya ilişkin dünya çapında sürdürülebilir yönetim ilke ve kararlarının alınmasını ve uygulanmasını

zorunlu hale getirmiştir. Günümüzde su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımı için yapılan araştırmaların havza bazında olması gerekliliği kabul edilmektedir. Ülkemizde temiz tatlı suyun miktar açısından en önemli kısmını yüksek oranda yeraltısuları ve çok daha az oranlarda ise yüzeysel

sular oluşturmaktadır. Son yıllarda suya olan talebin artması hem yüzeysel suların hem de bazı yersel alanlarda yeraltı suyu kaynaklarının aşırı tüketilmesine neden olmuştur. Bu nedenle özellikle yeraltı suyu havzalarımızda miktar ve kalite açısından ciddi sıkıntılar yaşanmaya başlamıştır.

Çöl ovası yeraltı suyunu içme, evsel ve sulama amaçlı kullandığından, ovadaki yeraltı suyu potansiyeli ve kalitesi ayrı bir önem taşımaktadır. Çöl ovası, İç Anadolu bölgesinde ve Afyon ili'nin güney doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Ovadaki mevcut yeraltı suyu rezervinin tespiti ve içme suyu kalitesinin belirlenmesi için bu çalışmada Çöl (Haydarlı/Afyon) Ovası'nın jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası

2. Materyal ve Metot

İnceleme alanına ait önceki çalışmalar revize edilerek 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Çalışma alanında yeraltı suyu seviyesinin konumu ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla temsili olarak 22 adet sondaj kuyusunda üç dönem (Haziran-2012, Ekim-2012, Mayıs-2013) statik seviye ölçümleri yapılarak kurak ve yağışlı dönemlere ait yeraltı suyu seviye haritaları

hazırlanmıştır. İnceleme alanında yeraltı suyu kalitesi ve kullanım koşullarının belirlenebilmesi amacıyla akiferi temsil eden sondaj kuyuları ve kaynak suları olmak üzere 12 noktadan Ekim-2012 ve Haziran-2013 dönemlerinde su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında YSI marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon ve nitrat, nitrit, amonyak analizleri SDÜ Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Su örneklerinin SO₄ içerikleri spektrofotometre, alkalinite (CO₃, HCO₃) standart titrimetrik, Cl gümüş nitrat titrimetrik yöntem, azot türevleri ise fotometrik metod ile ölçülmüştür. Katyon ve ağır metal analizleri ise ACME (Kanada) laboratuvarında, duraylı izotop analizleri ise H.U. Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (UKAM) laboratuvarında yaptırılmıştır. ACME laboratuvarında katyon ve iz element içeriklerinin belirlenmesinde ICP-MS (Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) analiz tekniği kullanılmaktadır. Oksijen-18 ve döteryum izotopu analizlerinde kütle spektrometresi kullanılmıştır.

3. Bulgular

3.1. Jeoloji

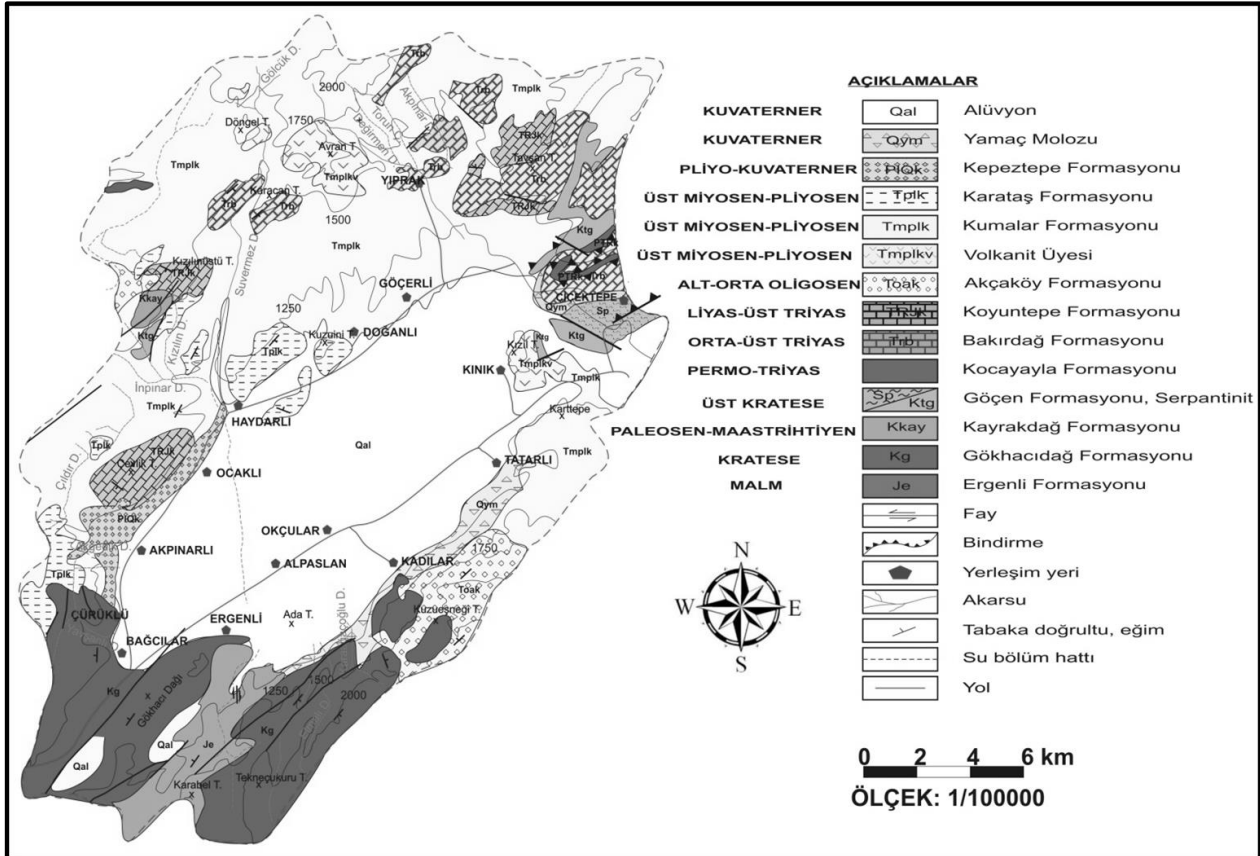
İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu, Beyşehir-Hoyran-Hadim Napları ve örtü kayalarına ait birimler yüzeylenmektedir. Bölgede Anamas-Akseki Otoktonu Kırdığ-Anamasdağ Birimi'ne ait Jura yaşlı Ergenli ve Kretase yaşlı Gökacıdağ formasyonları ile temsil edilmektedir. Gri, mavi, bej ve siyah renkli, orta ve kalın tabakalanmalı dolomit ara seviyeli sert oolit ve algi kireçtaşlarından oluşan Ergenli formasyonu çalışma alanının temelini oluşturmaktadır. Pelajik faunalı çörtlü kireçtaşları ve dolomitik mercekler içeren Gökacıdağ formasyonu uyumsuz olarak Ergenli formasyonunu üzerlemektedir. Beyşehir-Hoyran-Hadim Napları ise Kükürtdağ grubuna ait Kayrakdağ ve Göçen formasyonları ile Sazak grubuna ait

Koyuntepe, Bakırdağ ve Kocayayla formasyonlarını içermektedir. Üst Kretase yaşlı Kayrakdağ formasyonu çört bantlı kireçtaşları ile kalsitürbiditlerden oluşmaktadır. Üzerinde uyumlu olarak Paleosen yaşlı ve ultramafik kayalardan oluşan Göçen formasyonu bulunmaktadır. Jura yaşlı ve kireçtaşı, radyolarit, çört ve breşik kireçtaşlarından oluşan Göçen formasyonu ise masif kireçtaşlarından oluşan Kayrakdağ formasyonu ile uyumludur. Örtü kayaçları olarak Oligosen yaşlı çakıltaşlarından oluşan Akçaköy formasyonu üzerinde uyumsuz olarak Şuhut grubuna ait Pliyosen yaşlı Karataş ve Üst Miyosen yaşlı Kumalar formasyonları ile Volkanit üyesi yer almaktadır. Kumtaşı, kiltası, marn ve kireçtaşı ardalanmasından oluşan Karataş formasyonu tarafından uyumsuz olarak üzerlenmektedir. Kuvaterner yaşlı gevşek tutturulmamış güncel malzemelerden oluşan Kepeztepe formasyonu, alüvyon ve yamaç molozu ise tüm birimleri uyumsuz olarak örtmektedir

(Öztürk, 1981; Öztürk vd., 1987; Öztürk ve Öztürk, 1989; Balcı, 2011; Şekil 2)

3.2. Hidroloji

Çöl Ovası için eş yağış eğrileri yöntemine göre belirlenen ortalama yağış miktarı 478.9 mm'dir. 465.56 km²'lik alana sahip Çöl Ovası için ortalama yağıştan beslenme miktarı 222.95 x 10⁶ m³/yıl olarak belirlenmiştir. Ovada buharlaşma ile gerçekleşen boşalım miktarı Thornthwaite yöntemi ile 173.50 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ovada bulunan yaklaşık 650 adet sondaj kuyusundan yılda 52.65x10⁶ m³ su çekilmektedir. Ova için yapılan meteorolojik bütçe hesaplamalarına göre toplam beslenme (230.84 x 10⁶ m³/yıl) ile toplam boşalım (226.15 x 10⁶ m³/yıl) miktarları arasında 4.69 x 10⁶ m³/yıl'lık fark bulunmaktadır. Bu durum havzada yeraltı suyu sulaması ile ilgili mevcut durumun korunması ve yüzey suyu ile sulama yatırımlarının planlanması gerektiğini göstermektedir (Balın, 2015).



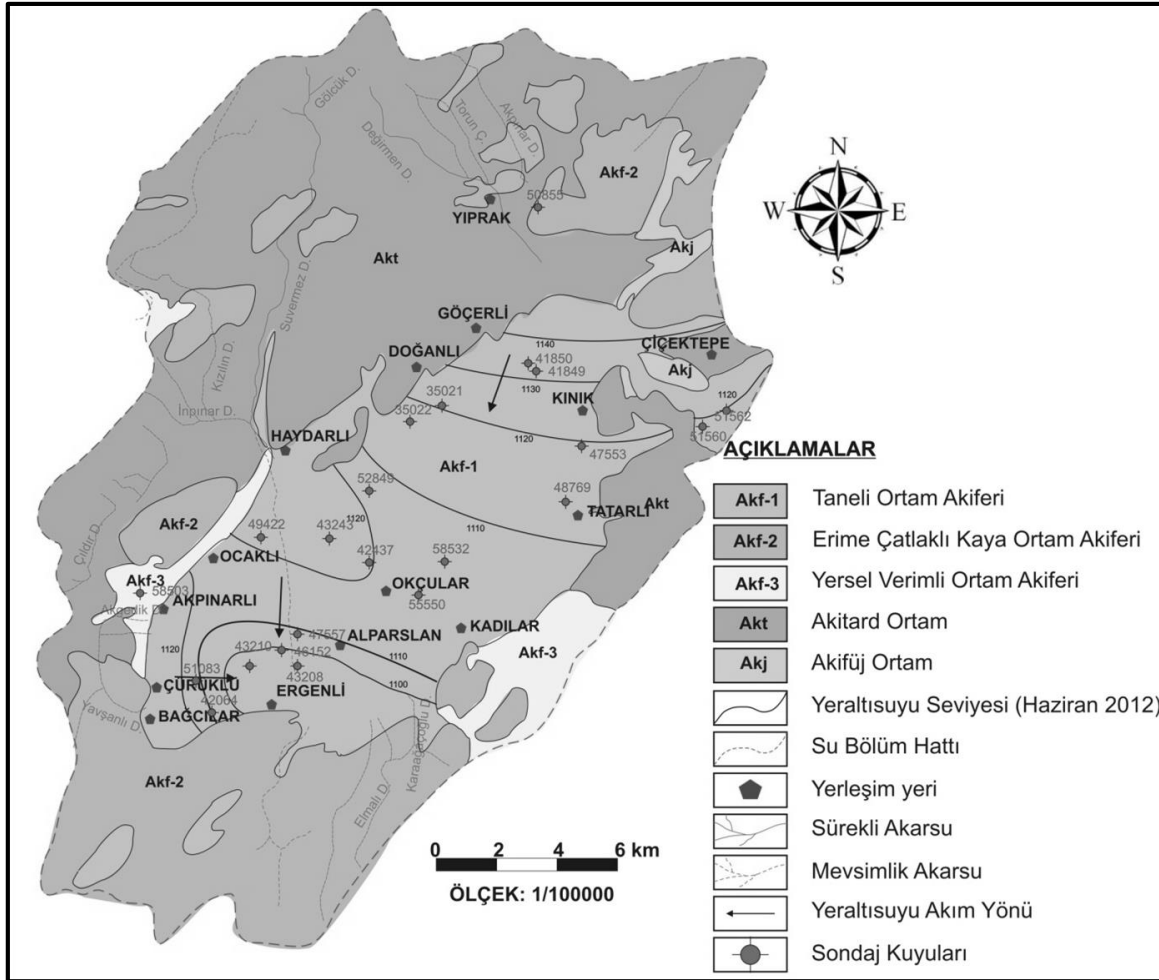
Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası (Balcı, 2011'den değiştirilerek alınmıştır).

3.3.Hidrojeoloji

Çalışma alanında bulunan jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilmiş ve litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme kapasitelerine göre akifer, akitart ve akifüj ortamlar olarak sınıflandırılmıştır. Ova sınırları içerisinde geniş alanlarda yayılım gösteren ve içerisindeki çakıl ve kum seviyeleri ile önemli miktarda yeraltısuyu bulundurabilme kapasitesine sahip alüvyon ile yamaç molozu *Taneli Ortam Akiferi*'ni (Akf-1) temsil etmektedir. Alüvyon üzerinde açılmış sondaj kuyularının derinlikleri 150-200 m, statik seviyeleri 5.70-59.0 m, dinamik seviyeleri 27.29-97.63 m, debileri ise 5.17-63.2 l/s arasında değişmektedir. Kireçtaşıdan oluşan kırıklı-çatlaklı ve karstik boşluklu yapılarından dolayı karstik akifer niteliğini taşıyan Koyuntepe, Bakırdağ, Kayrakdağ, Gökacadağ ve Ergenli formasyonları *Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi* (Akf-2) olarak

tanımlanmıştır. İçerisindeki kumtaşı ve çakıltaşı seviyeleri ile yeraltısuyu bulundurma özelliğine sahip Akçaköy ve Kepeztepe formasyonları ise *Yersel Verimli Akifer Ortam* (Akf-3) olarak sınıflandırılmıştır.

Kocayayla, Karataş ve Kumalar formasyonu ile volkanit üyesi yarı geçirimli niteliktedir ve *Akitart Ortam* (Akt) olarak isimlendirilmiştir. Melanj karakterine sahip Göçen formasyonu ise geçirimsiz özelliğinden dolayı *Akifüj Ortam* (Akj)'olarak tanımlanmıştır (Şekil 3). Çöl ovasında kuyuların tamamı alüvyon akifer içerisinde açılmıştır. Alüvyon akiferde sondaj kuyularda açıldıkları yıllarda yapılan sabit seviyeli düşüm değerleri ile Jacob yöntemi kullanılarak akifer parametreleri hesaplanmıştır. Hesaplanan permeabilite katsayısı $2,33 \times 10^{-3}$ - $9,26 \times 10^{-7}$ m/s ve transmisibilite katsayısı $4,7 \times 10^{-1}$ - $1,85 \times 10^{-4}$ m²/s arasında değişmektedir (Balın, 2015).



Şekil 3. İnceleme alanı hidrojeoloji haritası

Yeraltısuyu dinamiği

Yeraltısuyu dinamiği akifer ortamlar içerisinde bulunan yeraltısuyunun hareketini, akım yönlerini ve mevsimsel değişimlerini açıklamaktadır. İnceleme alanında yeraltısuyu kuyuları hidrojeolojik özelliğine göre yaygın verimli akifer olarak tanımlanan alüvyon ortam içerisinde açılmıştır. Ovada yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 6.08-88.31 m arasında ölçülmüştür. Haziran-Ekim 2012 dönemleri arasında yeraltısuyu seviye düşümlerinin 0.91-12.59 m arasında olduğu belirlenmiştir. Yağışlı dönemi temsil eden Haziran-2012 döneminde ölçülen yeraltısuyu seviye değerleri kurak dönemi temsil eden Ekim-2012 ölçümlerinden daha yüksektir. Bu durum yeraltısuyunun yağış ile beslenimini göstermektedir. Haziran 2012-Mayıs-2013 dönemleri arasında yıllık yeraltısuyu seviye değerlerinin 0.75-5.31 m arasında düştüğü görülmektedir (Balın, 2015).

3.4. Hidrojeokimya

Çalışma alanında içme ve sulama amaçlı kullanılan yeraltısuyunun kalitesini belirleyebilmek amacıyla ovayı temsil edecek 12 ayrı noktadan Ekim (2012)

ve Haziran (2013) dönemlerinde su numuneleri alınmıştır. (Tablo 1, Şekil 4). Ekim-2012 döneminde yapılan analizlerde örneklerin Ca içeriği 29.66-167 mg/l arasında, Na; 3.37-16.08 mg/l arasında, Mg; 3.07-19.97 mg/l arasında, K; 2.51-12.37 mg/l arasında, HCO₃; 152.55-451.55 mg/l arasında, Cl; 2.92-37.76 mg/l arasında, SO₄ içeriği ise 5.41-28.46 mg/l arasında değerler almaktadır. Haziran-2013 dönemi analiz sonuçlarına göre ise Ca; 33.49-173.9 mg/l arasında, Na; 3.94-21.39 mg/l arasında, Mg; 4.12-21.52 mg/l arasında, K; 2.32-12.65 mg/l arasında, HCO₃; 152.55-427.14 mg/l arasında, Cl 1.94-33.41 mg/l arasında, SO₄ içeriği ise 1.96-16.56 mg/l arasındadır. Ova genelinde toplam iyon içeriği Ekim-2012 döneminde 4.69-19.96 mek/l, Haziran-2013 döneminde ise 5.93-18.96 mek/l'dir (Şekil 4).

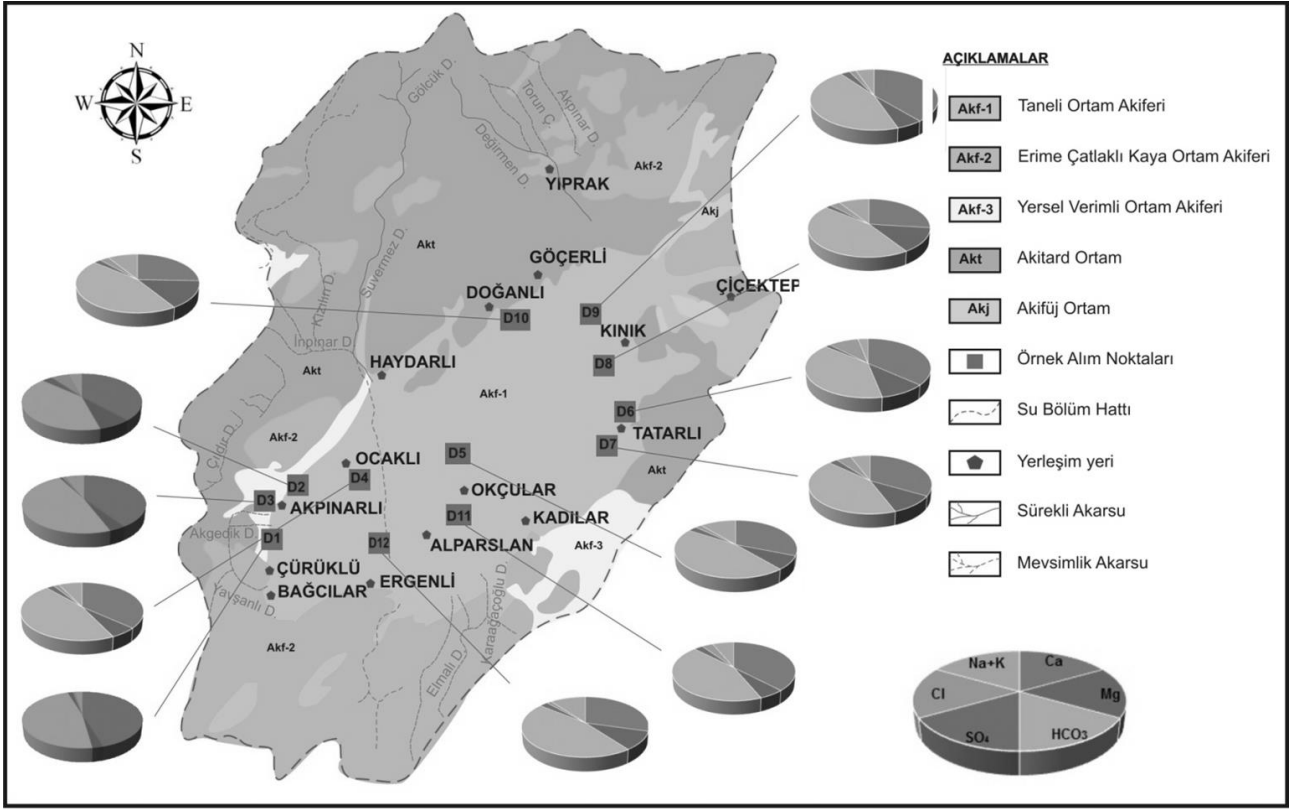
Ovada bulunan yeraltısuları Piper diyagramına göre genel olarak Ca-HCO₃'lü sular fasiyesindedir (Şekil 5, Şekil 6). Alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃+HCO₃) güçlü asit köklerinden (SO₄+ Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği %50'den fazla olan suları temsil etmektedir.

Tablo 1. Çöl Ovası yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri (Ekim 2012)

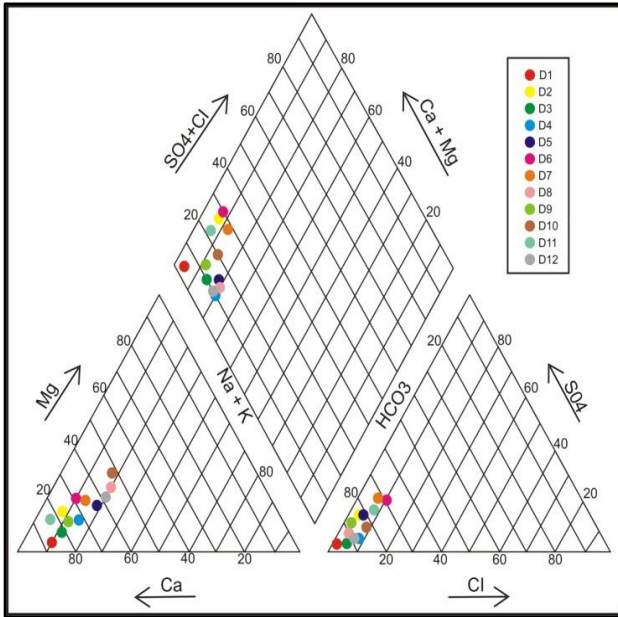
Bölge	Örne k No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	T	EC µS/cm	pH	%Na	SAR	Su Sınıfı
Bağcılar	D-1	3.37	2.51	86.69	3.07	2.92	6.71	250.18	14.6	332.4	7.92	3.05	0.09	Ca-HCO ₃
Akpınarlı	D-2	16.08	9.14	167.0	19.97	37.76	28.46	451.55	12.5	724	7.68	6.41	0.31	Ca-HCO ₃
Akpınarlı	D-3	3.57	12.37	64.77	3.52	3.23	2.59	225.77	12.4	280.5	7.95	3.88	0.11	Ca-HCO ₃
Ocaklı	D-4	5.20	6.42	41.01	4.04	2.95	6.41	146.45	12.5	187.5	8.2	8.16	0.21	Ca- HCO ₃
Okçular	D-5	8.33	6.43	29.66	4.43	3.28	6.40	128.14	13.8	174.9	8.25	15.27	0.37	Ca-HCO ₃
Tatarlı	D-6	6.49	5.07	101.0	17.40	31.76	7.99	231.88	11.6	447.2	8.0	4.12	0.15	Ca-HCO ₃
Tatarlı	D-7	11.52	6.01	74.35	14.61	12.92	11.78	219.67	12.0	375.2	8.04	8.98	0.32	Ca- HCO ₃
Yıprak	D-8	10.80	5.93	36.64	11.44	5.82	5.41	152.55	12.7	221.9	8.27	13.82	0.39	Ca-HCO ₃
Yıprak	D-9	5.87	2.27	46.91	4.38	3.30	8.96	164.75	12.6	211.9	8.24	8.46	0.22	Ca-HCO ₃
Yıprak	D-10	10.18	6.42	35.05	12.98	5.99	6.01	164.75	14.2	242.5	8.15	12.91	0.37	Ca-HCO ₃
Alpaslan	D-11	8.47	7.85	65.94	6.20	9.87	10.16	219.67	12.5	287.2	8.17	8.42	0.26	Ca-HCO ₃
Ergenli	D-12	11.97	12.23	48.46	10.20	3.90	9.98	225.77	14.3	284.6	8.21	12.72	0.41	Ca-HCO ₃

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde genel olarak ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramlarından yararlanılmaktadır. ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre yeraltısuları genel olarak orta

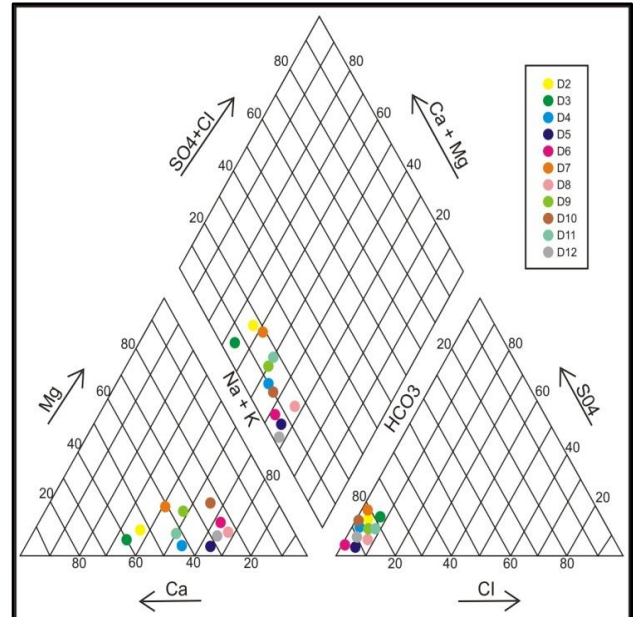
tuzlulukta ve az sodyumlu suları temsil eden 'C₂S₁' sınıfında yer almaktadır (Şekil 7). Wilcox diyagramına göre ise 'çok iyi-iyi kullanılabilir sular' sınıfında yer almaktadır (Şekil 8).



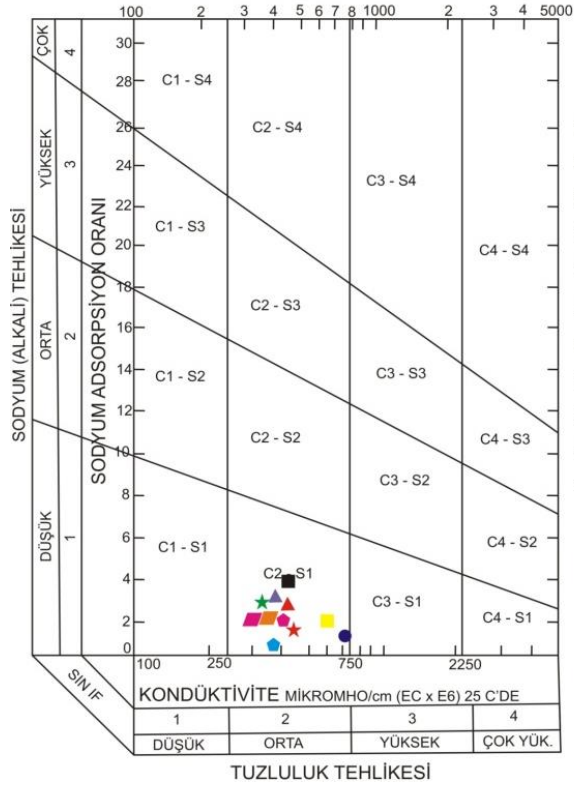
Şekil 4. İnceleme alanı hidrojeokimya haritası (Ekim 2012)



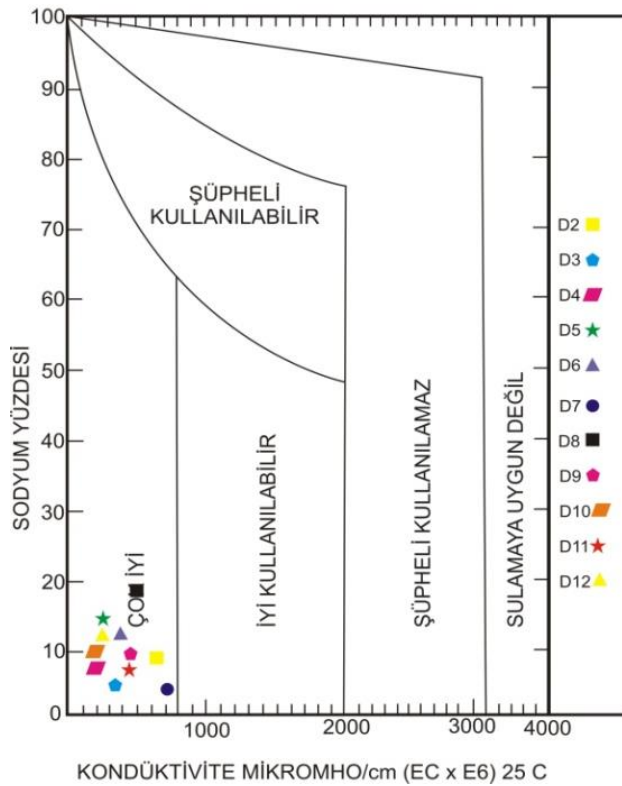
Şekil 5. Piper diyagramı (Ekim-2012)



Şekil 6. Piper diyagramı (Haziran-2013)



Şekil 7. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı (Haziran-2013)



Şekil 8. Wilcox diyagramı (Haziran-2013)

Doğunluk İndeksi Değerlendirmesi

Yeraltı suları yağıştan itibaren yerin derinliklerine süzülürken çok sayıda farklı süreçten geçmektedir. Bu kimyasal süreçlerden en etkili olanı ve su tipini belirleyen etken ise su-kayaç etkileşiminden kaynaklanan çökeltme ve çözünme süreçleridir. Yeraltı suyu derinlerde dolaşımı sırasında dokanak halinde bulunduğu kayaçlar ile iyon alışverişinde bulunmakta ve kimyasal bileşiminde değişiklikler olmaktadır. Su tarafından kazanılan bu kimyasal içerik suların hangi ortamdan/kayaçtan geldiği hakkında yorum yapılabilme olanağını sağlamaktadır. Sular tarafından kazanılan bu kimyasal içeriğin yorumlanması amacıyla suların çeşitli minerallere göre doğunluk durumları incelenmektedir (Şahinci, 1991).

Çalışmada yeraltı sularının kimyasal analiz sonuçları kullanılarak Solmineq 88 (Kharaka et al. 1988) bilgisayar programı yardımıyla mineral doğunluk indeksi değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar örneklerin çıkış sıcaklığı ve arazide ölçülen pH değerine göre yapılmıştır. Ekim-2012 ve Haziran-2013 döneminde alınan yeraltı suyu örneklerinin adularıyla, albit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, illit, kaolinit, mikroklin, muskovit ve kuvars minerallerine doğunluk olduğu tespit edilmiştir.

Suların kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doğunluk olması akiferi oluşturan alüvyon birim içerisinde kireçtaşı çakılları ile etkileşime işaret etmektedir. Diğer minerallere doğunluk ise alüvyon akifer içerisinde Kumalar formasyonuna ait volkanik kaya çakılları ve killi birimlerle etkileşimle ilişkiyi yansıtmaktadır. Ovada yeraltı sularının andezit, jips, barit, manyezit mineralleri doğunluk altındadır ve bunları çözme eğilimindedir. Bu durum Na, Cl ve SO₄ iyonlarının rezervuarda çözünürlüğünün hala devam ettiğini göstermektedir.

3.5. Yeraltısuyu kirliliği

İnceleme alanında yeraltısularının ova genelinde yoğun tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktan kaynaklanan azot türevleri bakımından kirlilik düzeyleri gözlenmiştir. Antropojenik kökenli bu kirliliğin tespit edilmesi amacı ile sulara amonyum (NH₄), nitrit (NO₂) ve nitrat (NO₃) analizleri yaptırılmıştır. Nitrat içeriğinin Ekim-2012 döneminde yapılan analizlerde 4.14-107.54 mg/l, Haziran-2013 analizlerinde ise 0.58-101.48 mg/l arasında olduğu görülmektedir (Tablo 2, Tablo 3, Şekil 9).

Ayrıca, ovada yeraltısularının kirlilik tespiti için iz element analizleri (Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn ve Pb). Al Ekim-2012 örneklerinde 5-686 g/l, Haziran-2013 örneklerinde ise 2-2036 µg/l olarak tespit

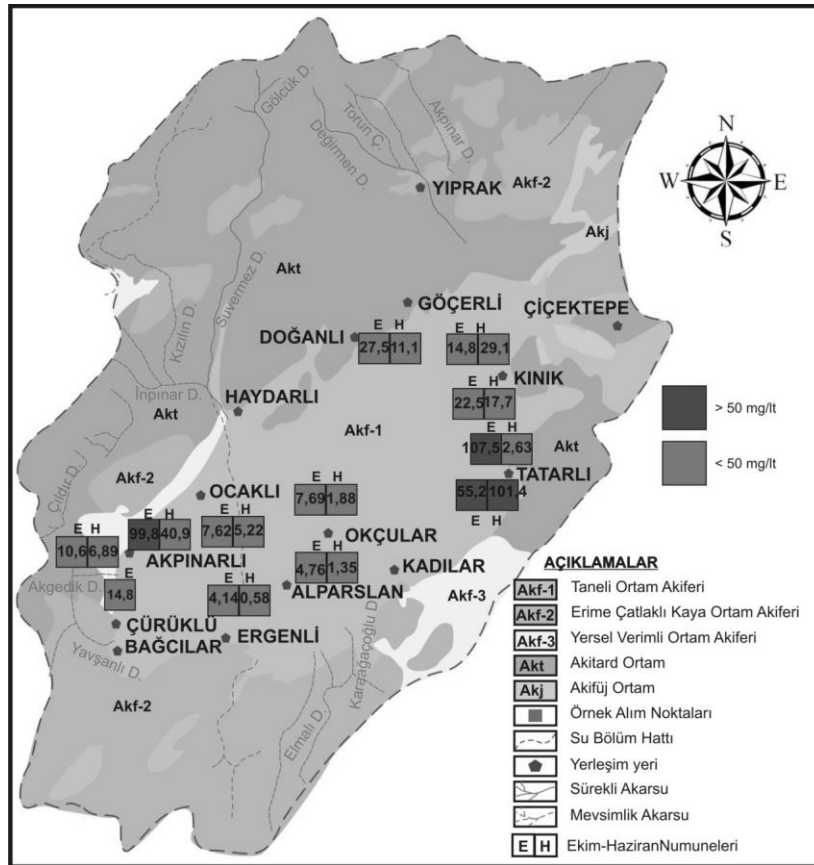
edilmiştir. As içeriği kurak dönemi temsil eden Ekim-2012 analizlerinde 1-21.8 µg/l, yağışlı dönemi temsil eden Haziran-2013 analizlerinde ise 1.1-19.7 µg/l değerleri arasında tespit edilmiştir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2012) tarafından arsenik konsantrasyonunun içme suyu için sınır değeri 10 µg/l'nin olması gerekmektedir. İnceleme alanında jeojenik kökenli kirliliğe bağlı olarak bazı noktalarda bu sınırın üstünde değerler kaydedilmiştir (Şekil 10). Fe konsantrasyonu Ekim-2012 döneminde üç lokasyonda TSE-266 'ya (TS, 2005) göre sınır değeri aşmıştır. Mn konsantrasyonunun ise Ekim-2012 döneminde 0.3-327.5 µg/l, Haziran-2013'de 0.09-265.7 µg/l olarak belirlenmiştir. Bu iyonlardaki bölgesel artışların kaya-su etkileşimi ile ilişkili olarak jeojenik kökenli ve tarımsal faaliyetler ile ilişkili olarak antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

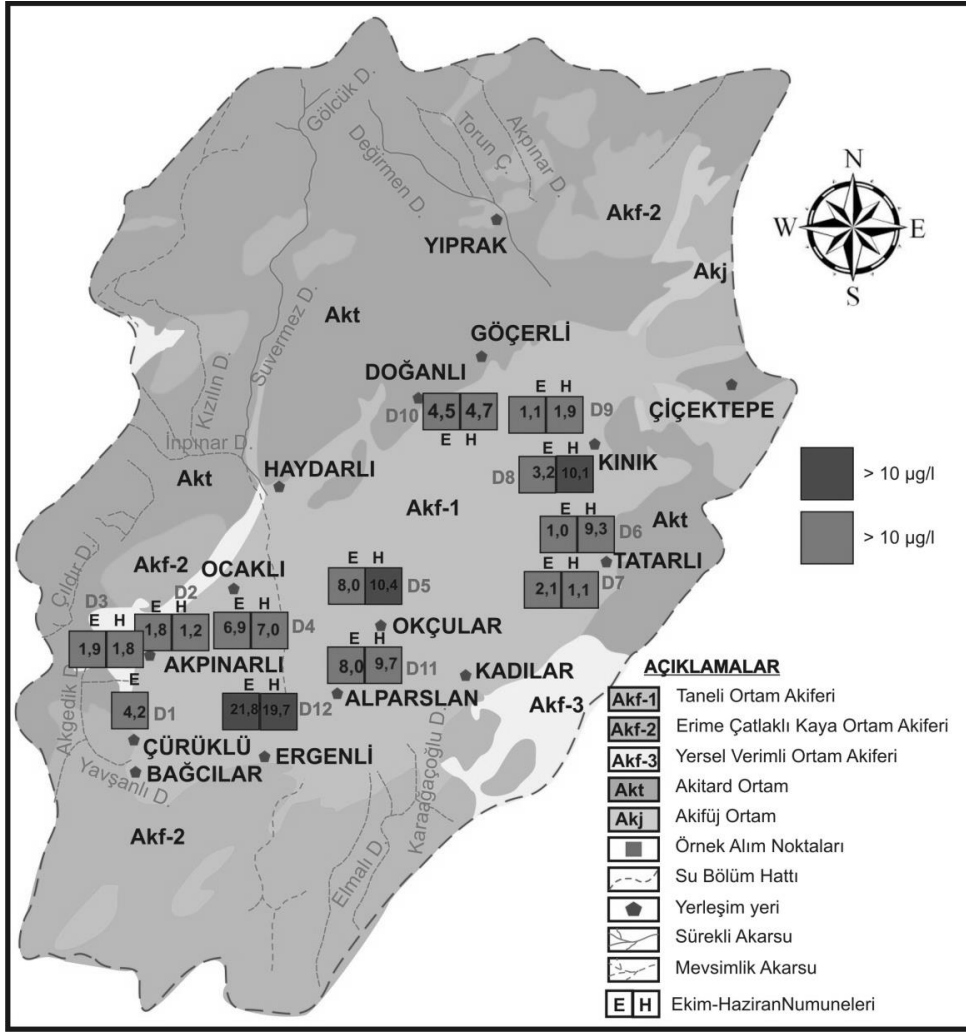
Tablo 2. Çöl Ovası yeraltısularının ağır metal ve azot türevleri analiz sonuçları (Ekim- 2012)

Örnek No	Al µg/l	As µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₄ mg/l
D-1	5	4.2	1.8	0.7	< 10	0.3	2	3.2	< 0.01	14.86	< 0.06
D-2	22	1.8	7.9	1.3	< 10	1.71	0.2	1.2	< 0.01	99.82	< 0.06
D-3	16	1.9	1.4	0.4	< 10	1.23	< 0.1	< 0.5	< 0.01	10.64	< 0.06
D-4	686	6.9	2.2	1.3	202	65.96	1.8	2.8	< 0.01	7.62	< 0.06
D-5	32	8	16.4	0.5	22	49.32	0.7	16.3	< 0.01	7.69	< 0.06
D-6	290	1	7.4	1.1	73	8.75	1.1	3.2	< 0.01	107.54	< 0.06
D-7	481	2.1	19	1.8	221	90.56	1.9	4.0	< 0.01	55.21	< 0.06
D-8	16	3.2	18.4	0.4	12	0.92	0.5	2.2	< 0.01	22.54	< 0.06
D-9	13	1.1	2.7	0.3	< 10	0.59	0.1	2.3	< 0.01	14.86	< 0.06
D-10	13	4.5	14	0.3	29	0.87	0.3	2.0	< 0.01	27.55	< 0.06
D-11	658	8	1.5	23.5	254	327.5	3	9.3	< 0.01	4.76	< 0.06
D-12	6	21.8	0.9	0.3	< 10	158.2	< 0.1	0.6	< 0.01	4.14	< 0.06
Sınır değer içme suyu standartları (TS266)	200	10	50	2000	200	50	10		0.5	50	-
Sınır değer içme suyu standartları (WHO 2006, 2008)	200	10	50	1000	300	400	50	5000	-	50	-

Tablo 3. Çöl Ovası yeraltısularının ağır metal ve azot türevleri analiz sonuçları (Haziran- 2013)

Örnek No	Al µg/l	As µg/l	Cr µg/l	Cu µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l	NH ₄ mg/l
D-2	2036	1.2	6.2	2.1	144	81.42	6.7	8.9	< 0.01	40.99	0.1
D-3	14	1.8	0.7	1	< 10	1.14	0.2	5.4	< 0.01	6.89	< 0.06
D-4	10	7	2	0.4	< 10	0.99	0.2	3.9	< 0.01	5.22	< 0.06
D-5	46	10.4	< 0.05	0.5	14	73.98	0.2	3.6	< 0.01	1.88	< 0.06
D-6	11	9.3	< 0.05	11.6	< 10	1.5	0.7	23	< 0.01	2.63	< 0.06
D-7	239	1.1	6.6	1.8	21	7.22	1.1	11.2	< 0.01	101.48	< 0.06
D-8	169	10.1	10.7	0.5	26	3.9	0.4	1.2	< 0.01	17.75	< 0.06
D-9	32	1.9	14.3	0.8	18	1.99	0.4	2.7	< 0.01	29.17	< 0.06
D-10	2	4.7	10.9	0.3	< 10	0.09	< 0.1	2.0	< 0.01	11.13	< 0.06
D-11	103	9.7	< 0.05	0.7	112	265.7	0.5	3.1	< 0.01	1.35	< 0.06
D-12	2	19.7	< 0.05	0.4	< 10	146.9	< 0.1	3.2	< 0.01	0.58	0.09
Sınır değer içme suyu standartları (TS 266)	200	10	50	2000	200	50	10		0.5	50	-
Sınır değer içme suyu standartları (WHO 2006, 2008)	200	10	50	1000	300	400	50	5000		50	-





Şekil 10. Çöl ovası arsenik konsantrasyonu dağılım haritası

3.6. Suların izotop içeriği

Yeraltısularının çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi su kaynaklarının araştırılması, geliştirilmesi ve işletilmesi sırasında ortaya çıkan ve klasik araştırma teknikleri ile çözülemeyen bir çok problemin çözümünde oldukça yararlı bilgiler sağlamaktadır. İnceleme alanındaki sularda çevresel izotop araştırmalarına yönelik oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve döteryum ($\delta^2\text{H}$) analizleri Hacettepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi (UKAM) laboratuvarında yapılmış ve analiz sonuçları Tablo 4’de sunulmuştur.

Örneklerin Döteryum içeriği -58.91 ile -74.12 arasında ve Oksijen-18 içeriği -7.91 ile -10.52 arasında değişmektedir. Çöl (Haydarlı) Ovası’nda

farklı lokasyonlardan Temmuz-2012 döneminde alınan su örneklerine ait $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı çizilmiştir. Diyagramda köken değerlendirmesi için Küresel Meteorik Su Çizgisi ($\delta\text{D} = 8x\delta^{18}\text{O}+10$; (Craig, 1961) ve Göller Bölgesi Meteorik Su Çizgisi ($\delta\text{D} = 8x\delta^{18}\text{O}+14.6$; Dilsiz, 2006) doğruları kullanılmıştır (Şekil 11). Küresel Meteorik Su çizgisi buharlaşma etkisi altında olmayan atmosferik suları temsil etmektedir (Craig, 1961; Gat and Carmi, 1987). Tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları üzerindeki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. İnceleme alanında yeraltısuyu örneklerinin büyük bir çoğunluğunun Küresel Meteorik Su Çizgisi ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Küresel Meteorik Su Çizgisi’nden sapma gözlenen D7, D8, D10, D11 ve D12 örnekleri derin kuyulardan alınan su örnekleridir. Bu örneklerde gözlenen sapma kayasuyu etkileşimi yanısıra yağışların beslenme yüksekliği

ile ilişkili olabilir. Daha yüksek kotlardaki yağışların beslediği derin akifer suları, daha düşük kotlardan yerel yağışlarla beslenen sığ akifer sularından daha

Örnek No	Döteryum ($\delta^2\text{H}$)	Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$)	Döteryum fazlası (d_f)
D1	-63.59	-9.47	12.17
D4	-66.17	-9.59	10.55
D5	-74.12	-10.52	10.04
D6	-64.59	-9.28	9.65
D7	-58.91	-7.91	4.37
D8	-68.22	-8.97	3.54
D9	-68.67	-9.78	9.57
D10	-62.10	-8.40	5.1
D11	-66.31	-9.04	6.01
D12	-67.27	-9.01	4.81

negatif ağır izotop içeriğine sahiptir. İnceleme alanındaki suların izotop içerikleri beslenme kotları ile ilişkili olarak farklılık gösterebilmektedir.

Sularda döteryum ve oksijen-18 arasındaki ilişki belli yağış rejimleri için değişmez. Bu nedenle örneklerdeki döteryum fazlası değeri kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenebilmektedir. Aynı yağış rejiminden etkilenen sularda döteryum fazlası değeri birbirine yakın olacaktır. Döteryum fazlası aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$d_f = \delta D - (8\delta^{18}\text{O} + 10) \quad (1)$$

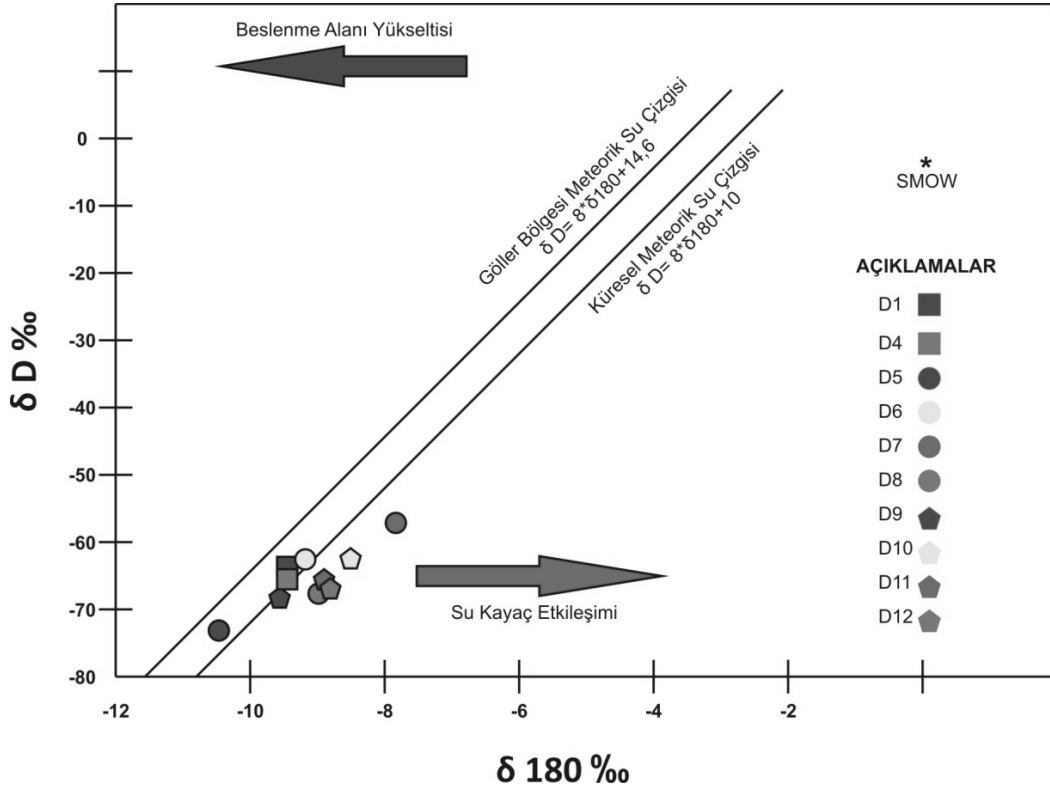
İnceleme alanında yeraltı suyu örneklerinin döteryum fazlası değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Döteryum fazlasının yüksek değerleri denizel kökenli yağışların göstergesi olmasına karşılık, düşük değerler karasal kökenli yağışları temsil etmektedir (Kehinde, 1993). Ortalama değerler ise, her iki kökenli yağışlardan beslenme ile ilgilidir. İnceleme alanında örneklerin döteryum fazlası değerleri +10 dolayında olup karasal yağışları işaret etmektedir (Dinçer and Payne, 1971).

Tablo 4. İnceleme alanındaki suların çevresel izotop analizleri

4. Sonuç ve Öneriler

İnceleme alanı yaklaşık 465.56 km² alana sahip küçük bir ovadır. İnceleme alanında Anamas-Akseki Otoktonu, Beyşehir-Hoyran-Hadim Napları ve örtü kayalarına ait birimler yüzeylemektedir. Alüvyon inceleme alanında yayılımı ve verimi fazla olan taneli ortam akiferini temsil etmektedir. Bölgede genel yeraltı suyu akım yönünün ovanın güneyine olduğu görülmektedir. Güneyde bulunan kireçtaşlarına doğru bir boşalım söz konusudur. Ovada yeraltı suyunun yüzeyden derinliği 6.08-88.31 m arasında ölçülmüştür. Piper diyagramına göre yeraltı suları genel olarak Ca-HCO₃'lü sular fasiyesindedir. Ovada yeraltı sularının nitrat içeriğinin 0.58-107.54 mg/l arasında olduğu tespit edilmiştir. Yeraltı sularının ağır metal açısından içeriklerinin tespit edilmesi amacıyla Al, As, Cr, Cu, Fe, Mn ve Pb analizleri yapılmıştır. Suların Al içerikleri 2-2036 µg/l arasında, As içeriği 1-21.8 µg/l arasında, Mn konsantrasyonu 0.09-327.5 µg/l, Fe içeriği ise <10-254 µg/l arasında değişmektedir. Fe konsantrasyonu Ekim-2012 döneminde üç lokasyonda TSE-266 'ya göre sınır değeri aşmıştır. As içeriği ise dört lokasyonda WHO ve TSE standartlarını aşmıştır. Genel olarak ağır metal içeriklerindeki bölgesel artışların kaya-su etkileşimi ile ilişkili olarak jeojenik kökenli ve tarımsal faaliyetler ile ilişkili olarak antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

Suların kökeni ile ilgili bilgi edinmek için yapılan izotop analizi sonuçlarına göre, tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramları üzerindeki konumları meteorik kökene işaret etmektedir. İnceleme alanındaki suların izotop içerikleri beslenme kotları ve kaya-su etkileşimi ile ilişkili olarak farklılıklar gösterebilmektedir. Ayrıca, örneklerin döteryum fazlası değerleri +10 dolayında olup karasal yağışları işaret etmektedir.



Şekil 11. Suların $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı

Mevcut su potansiyelinin etkin ve sürdürülebilir kullanımının sağlanması açısından yöre halkının su yönetimi hakkında bilinçlendirilmesi gerekmektedir. Sulamada aşırı su tüketiminin engellendiği ve kontrollü arazi kullanımının ön plana çıkarıldığı eğitimlerin düzenlenmesi planlanmalıdır. Ayrıca, ovadaki yeraltısuyunun kalitesi ve kirliliğinin tespiti yönünde de gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine (Proje No: 3326-YL1-12) ile Devlet Su İşleri 18. Bölge Müdürlüğü'nde çalışan Yük. Jeoloji Müh. Birol ÖZGÜL ve Jeoloji Müh. Hüdayi MANGA ile arazi çalışmalarında önemli yardımlarda bulunan tekniker Ahmet Ali ÇANKAYA'ya teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Balcı V., "1/100000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. Afyon-L24, Afyon-L25 paftaları", MTA Genel Müdürlüğü yayınları, 161, 162, 2011.
- Balın, D. "Çöl (Haydarlı/Afyon) Ovasının Hidrojeoloji İncelemesi", Süleyman Demirel Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans tezi, 97 s, 2015.
- Craig, H. "Isotopic Variations in Meteoric Waters", Science, 133, 1833-1834, 1961.
- Dilsiz, C. "Conceptual hydrodynamic model of the Pamukkale hydrothermal field, southwestern Turkey, based on hydrochemical and isotopic data", Hydrogeology Journal, 14; 562-572, 2006.
- Dinçer, T., Payne, B.R. "An Environmental Isotope Study of The South-Western Karst Region of Turkey", Journal of Hydrology, 14: 233-258, 1971.
- Gat J. R., Carmi I. "Effect of Climate Changes on The Precipitation Patterns and Isotopic Composition

- of Water in a Climate Transition Zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea Area", the Influence of Climate Change and Climatic Variability on the Hydrologic Regime and Water Resources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, 513- 523, 1987.
- Kehinde, M. O." Preliminary isotopic Studies in the Bida Basin, Central Nigeria", Environmental Geology, 22:212-217, 1993.
- Kharaka, Y.K., Gunter, W.D., Affarwall, P.K., Perkins, E.H. and De Braall, J.D. "SOLMINEQ A computer program code for geochemical modelling of water-rock interactions". US Geological Survey Water Investigations, Report 88-4227, 1988.
- Öztürk A. "Homa-Akdağ (Denizli) yöresinin stratigrafisi", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 24 s., 75-84. 1981.
- Öztürk EM, Dalkılıç H, Ergin A, Avşar ÖP. "Sultandağı güneydoğusu ile Anamasdağı dolayının jeolojisi", MTA Derleme No: 8191, 140 s (yayımlanmamış), 1987.
- Öztürk EM, Öztürk Z. "Balçıkhisar-Karaadilli (Afyon)-Dereköy (Isparta) Dolayının Jeolojisi", MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No.8946, 1989.
- Şahinci ,A. "Doğal Suların Jeokimyası", Reform Matbaası, Bölüm 2, 33, İzmir. 1991.
- TSE, İnsani tüketim amaçlı sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara, 2005
- WHO (2006) World Health Organization. Guidelines for drinkingwater quality [electronic resource]: incorporating first addendum,vol 1, Recommendations, 3rd edn. WHO LibraryCataloguing-in-Publication Data. ISBN 92 4 1546964
- WHO (2008) Guidelines for drinking-water quality [electronicresource]: incorporating 1st and 2nd addenda, vol 1, Recommendations,3rd edn. WHO Library Cataloguing-in-PublicationData. ISBN 978 92 4 1547611
- WHO, "Guidelines for drinking-water quality", 3rd edition incorporating 1st and 2nd addenda, World Health Organization, 2012.