



ÇUMRA (KONYA) OVASINDAKİ YERALTISULARININ HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ SULAMA SUYU KALİTESİ

Ayla BOZDAĞ*

Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Anahtar Kelimeler

Sulama suyu kalitesi
Sodyum adsorpsiyon oranı
Ağır metal
Çumra
Konya

Özet

Nüfus artışına bağlı olarak artan tarım, kimyasal gübrelerin bilinçsiz kullanımı ve aşırı sulama suyu tüketimi son yıllarda yeraltısuyu kalitesinin bozulmasıyla yakından ilişkilidir. Çumra (Konya) ovası, İç Anadolu Bölgesi'nin tarımsal üretim bakımından en önemli bölgelerinden biridir ve tarımsal aktiviteler için ana su kaynağını yeraltısuyu oluşturmaktadır. Bu çalışmada Çumra ovasındaki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özellikleri incelenmiş ve sulama suyu olarak kullanılabilirliği ile kalitesi değerlendirilmiştir. Bu amaçla bölgenin ana akiferlerini oluşturan Neojen ve Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı akiferlere ait 60 adet yeraltısuyu örneğinde kimyasal analizler yapılmıştır. Yeraltısularında Ca^{+2} ve Mg^{+2} hâkim katyonları oluştururken anyonlardan beslenme bölgesinden boşalım bölgesine doğru sırasıyla, HCO_3 , HCO_3-SO_4 , SO_4-HCO_3 ve SO_4-Cl fasiyeslerine geçiş gözlenmektedir. Sulama suyu olarak yeraltısuyunun uygunluğunu belirlemek amacıyla elektriksel iletkenlik, sodyum adsorpsiyon oranı, sodyum yüzdesi, artıksal sodyum karbonat, geçirgenlik indeksi, magnezyum oranı, kelley indeksi parametreleri ve ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramı kullanılmıştır. Ayrıca kalite değerlendirmesi için yeraltısularına ait ağır metal ve toksik element konsantrasyonları ile azot türevleri kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre inceleme alanının doğusundaki Üçhüyükler, Ovakavağı ve Karkın çevresinde Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinin tarımsal aktiviteler ve diğer antropojenik etkenlerden daha fazla etkilendiği ve sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı tespit edilmiştir.

HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTICS AND IRRIGATION WATER QUALITY OF GROUNDWATERS IN ÇUMRA (KONYA) PLAIN

Keywords

Irrigation water quality
Sodium adsorption ratio
Heavy metal
Çumra
Konya

Abstract

The degradation of groundwater quality in the recent years related to closely the intensification of agriculture due to population growth, the unconscious use of chemical fertilizers and the excess consumption of large volumes of irrigation water. Çumra (Konya) plain is one of the most important regions of Central Anatolia in terms of agricultural production and groundwater is the major source for agricultural activities. This study was carried out with the objective of investigating the hydrogeochemical characteristics of groundwater and evaluating the usability and quality as irrigation water. For this purpose, chemical analyzes were carried out in 60 groundwater samples from the Neogene and Pliocene-Quaternary aquifers forming the main aquifers of the region. Ca and Mg are dominant cations in the groundwater and from recharge area toward discharge area HCO_3-SO_4 , SO_4-HCO_3 and SO_4-Cl facies for anions were observed, respectively. The electrical conductivity, sodium adsorption ratio, percent sodium, residual sodium carbonate permeability index, magnesium ratio, Kelley index parameters, US salinity laboratory Wilcox diagrams were used to determine the suitability of groundwater as irrigation water. Additionally, heavy metal and toxic element concentrations and nitrogen derivatives in groundwater were used for quality evaluation. Based on obtained data, it was determined that the Late Pliocene-Quaternary aquifer was more affected by agricultural activities and anthropogenic factors in the vicinity of Üçhüyükler, Ovakavağı and Karkın in the eastern part of the study area and it was not suitable as irrigation water.

* İletişim yazar / Corresponding Author: aayaz@selcuk.edu.tr, +90-332-223-2197

Alıntı / Cite

Bozdağ, A., (2017). Çumra (Konya) Ovasındaki Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Özellikleri Ve Sulama Suyu Kalitesi, *Journal of Engineering Sciences and Design*, 5(3), 559-571.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)

A. Bozdağ, 0000-0002-6114-0678

Başvuru Tarihi / Submission Date	04.01.2017
Revizyon Tarihi / Revision Date	24.04.2017
Kabul Tarihi / Accepted Date	07.07.2017
Yayın Tarihi / Published Date	19.12.2017

1. Giriş

Tüm dünyada toplumların sürdürülebilir sosyoekonomik gelişimi, mevcut su kaynaklarının sürdürülebilirliğine bağlıdır (Azaza vd., 2010). Nüfus artışına bağlı olarak artan endüstriyel ve tarımsal ihtiyaçların karşılanması için yeterli miktarda ve kalitede suya ihtiyaç vardır. Özellikle sulu tarım, suyun yeterli kalitede olmasına bağlıdır. Yakın geçmişte kaliteli su kaynakları bol ve kolaylıkla temin edilebilir olduğundan su kalitesi ile ilgili problemler genellikle ihmal edilmiştir (Shamsad ve Islam, 2005). Fakat dünyanın birçok bölgesinde çevresel sorunlar giderek arttığı için su kalitesiyle ilgili problemler su miktarından daha önemli hale gelmiştir. Jeoloji, toprak, atık su, kanalizasyon atıkları ile suyun bulunduğu, hareket ettiği ve zeminle etkileşim halinde olduğu çevresel koşullar gibi bir dizi faktör bir alanın yeraltı suyu kalitesini büyük ölçüde etkilemektedir (Balachandar vd., 2010).

Sulama suyu kalitesi, suyun toprak ve bitkiler üzerindeki etkileri ve su yönetimi ile ilgilidir. Yüksek kalitede bitkiler yalnızca diğer girdileri en uygun tutan yüksek kaliteli sulama suyu kullanılarak üretilebilir (Islam ve Shamsad, 2009). Konya'nın hatta İç Anadolu Bölgesi'nin en önemli tarım bölgelerinden birini oluşturan Çumra ve çevresinde, tarım ekonomik yapının temelini oluşturmaktadır. Bunun yanında bölgede, Konya'nın en büyük şeker fabrikası ve küçük ölçekli tarıma yönelik sanayi tesisleri bulunmaktadır. Yoğun tarımsal aktiviteler ile kentsel ve endüstriyel gelişim, Çumra bölgesindeki yeraltısularına yüksek bir talep getirmiştir. Yarı kurak-kurak bir iklime sahip inceleme alanında uzun yıllar ortalama yağış miktarı 307,2 mm ve buharlaşma terleme miktarı 288,5 mm'dir. Bölgede yaygın olarak şekerpancarı, mısır, ayçiçeği, buğday, arpa, mısır, mercimek, fasulye, domates, patates, nohut, yonca, yulaf, kavun ve karpuz gibi ürünler ekilmekte olup, bu ürünlerin çoğu uzun süre sulama ihtiyacına sahiptir. Gerek yağışların azlığı gerekse yoğun tarımsal sulama, yeraltı suyu seviyesini her geçen yıl düşürmektedir. Göçmez vd. (2008) Çumra ve çevresinde aşırı yeraltısuyu kullanımı nedeniyle son yirmi yılda yaklaşık 10 m düşüşün olduğunu belirtmişlerdir.

İnceleme alanında nüfusun fazla olması (2013 nüfus sayımlarına göre Çumra'nın toplam nüfusu 64619),

gelişen sanayileşme ve tarımsal aktiviteler nedeniyle artan yeraltısuyu kullanımı yeraltısuyu seviye düşüşlerinin yanında su kalitesinin bozulmasına da neden olabilmektedir. Bu nedenle yeraltısuyu kalitesini etkileyen unsurların belirlenmesi yeraltısularının sulama suyu olarak sürdürülebilir kullanımı açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmanın amacı Çumra ve çevresindeki yeraltı sularının sulama suyu kalitesini değerlendirmek ve kalitesini olumsuz yönde etkileyen unsurları belirlemektir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

İnceleme alanı ve çevresiyle ilgili jeolojik, jeomorfolojik, jeodinamik evrimi ve tanımlanmasına yönelik birçok çalışma bulunmaktadır. (Hakyemez vd., 1992; Eren, 2001). Yeraltısuyu ile ilgili çalışmalar inceleme alanını da içine alan özellikle inceleme alanının doğusunda bulunan obruk platosunu içeren geniş alanları kapsamakta olup çoğunlukla yeraltı sularının hidrokimyasal özellikleri, obruk oluşumu ve hidrokimyasal nedenlere bağlı olarak obruk gelişim mekanizmaları araştırılmıştır (DSİ, 1975; Nazik vd., 2004; Bayarı vd., 2009a, b; Bozdağ, 2016). Göçmez vd. (2008) inceleme alanını da içine alan Konya ve çevresindeki akiferlerde meydana gelen yeraltı suyu seviye değişimlerini incelenmiş ve bölgede mevcut rezervin üzerinde su kullanıldığını, her yıl su seviyelerinin bir önceki yıla göre düştüğünü ve bilinçsiz sulama nedeniyle aşırı su tüketildiği ortaya koymuştur.

Çalışma konusu ile ilgili olarak Bozdağ (2015), Çumra ve çevresindeki yeraltı sularının sulama suyu kalitesini belirlemek amacı ile Ayers ve Westcot (1985) tarafından belirtilen sulama suyu kalite kriterlerini (pH, EC, TDS, SAR, HCO₃, Cl, Bor and NO₃-N) kullanmış ve sulama suyu kalite haritası oluşturmuştur. Kalite haritası incelendiğinde bölgenin kuzeydoğu-doğu bölgesinde yeraltı suyu kalitesinin azaldığı belirlenmiştir.

İç Anadolu Bölgesi'nin en önemli tarım bölgelerinden birini oluşturan inceleme alanında tarımsal sulama suyunun ana kaynağını oluşturan yeraltısuyunun kalitesinin belirlenmesi sürdürülebilir kullanım açısından bir zorunluluk teşkil etmektedir. Bölgedeki yoğun tarım yanında artan nüfus ve sanayileşmeye

bağlı atıkların yeraltı suyuna olumsuz etkileri de araştırılmalıdır.

3. Materyal ve Yöntem

Çalışma alanının 1/100 000 ölçekli jeoloji haritası literatür ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. Yeraltı suyu akım yönünün belirlenebilmesi için 40 kuyuda Ağustos 2014 dönemlerinde yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır.

İnceleme alanında yeraltısuyunun hidrokimyasal özellikleri ve sulama suyu kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla hem ulaşılabilir hem de sürekli faaliyette olan ve akiferi genel olarak temsil eden sondaj kuyularından Ağustos 2014 döneminde 60 adet su örneği alınmıştır. Örneklerin elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri WTW 340i marka çok parametrelili portatif ölçüm cihazı ile yerinde ölçülmüştür. Örneklerin katyon ve iz element analizleri ise Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS Enhanced) ile Kanada ACME laboratuvarlarında yaptırılmıştır. Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeokimya Laboratuvarında titrasyon yöntemi ile örneklerin bikarbonat (HCO_3), karbonat (CO_3) ve klor (Cl) değerleri belirlenmiştir. Sülfat (SO_4), Nitrat (NO_3), Nitrat-azotu ($\text{NO}_3\text{-N}$), Nitrit azotu ($\text{NO}_2\text{-N}$), amonyum (NH_4) ve amonyum azotu ($\text{NH}_4\text{-N}$), analizleri NOW 60 spektrometre aleti ile spektrofotometrik olarak Konya Büyükşehir Belediyesi, Konya Su Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Su Kalite Kontrol Laboratuvarında yaptırılmıştır.

Elde edilen analiz sonuçlarına göre suların kimyasal özellikleri Piper, Schoeller ve iki değişkenli diyagramlar kullanılarak yorumlanmıştır. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesinde ise EC, Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR), Sodyum Yüzdesi (%Na), Artıksal Sodyum Karbonat (RSC), Geçirgenlik İndeksi (PI), Magnezyum Oranı (MR), Kelley İndeksi (KI), ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı ve Wilcox Diyagramı kullanılmıştır. Yeraltısularının kalite özelliklerinin değerlendirilmesinde ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde (SKKY, 1991; 2004) belirtilen Sulama Sularında İzin Verilebilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Element Konsantrasyonları ile Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerinde verilen standart değerlerden yararlanılmıştır.

4. Araştırma Bulguları

4.1. Genel Jeoloji ve Hidrojeoloji

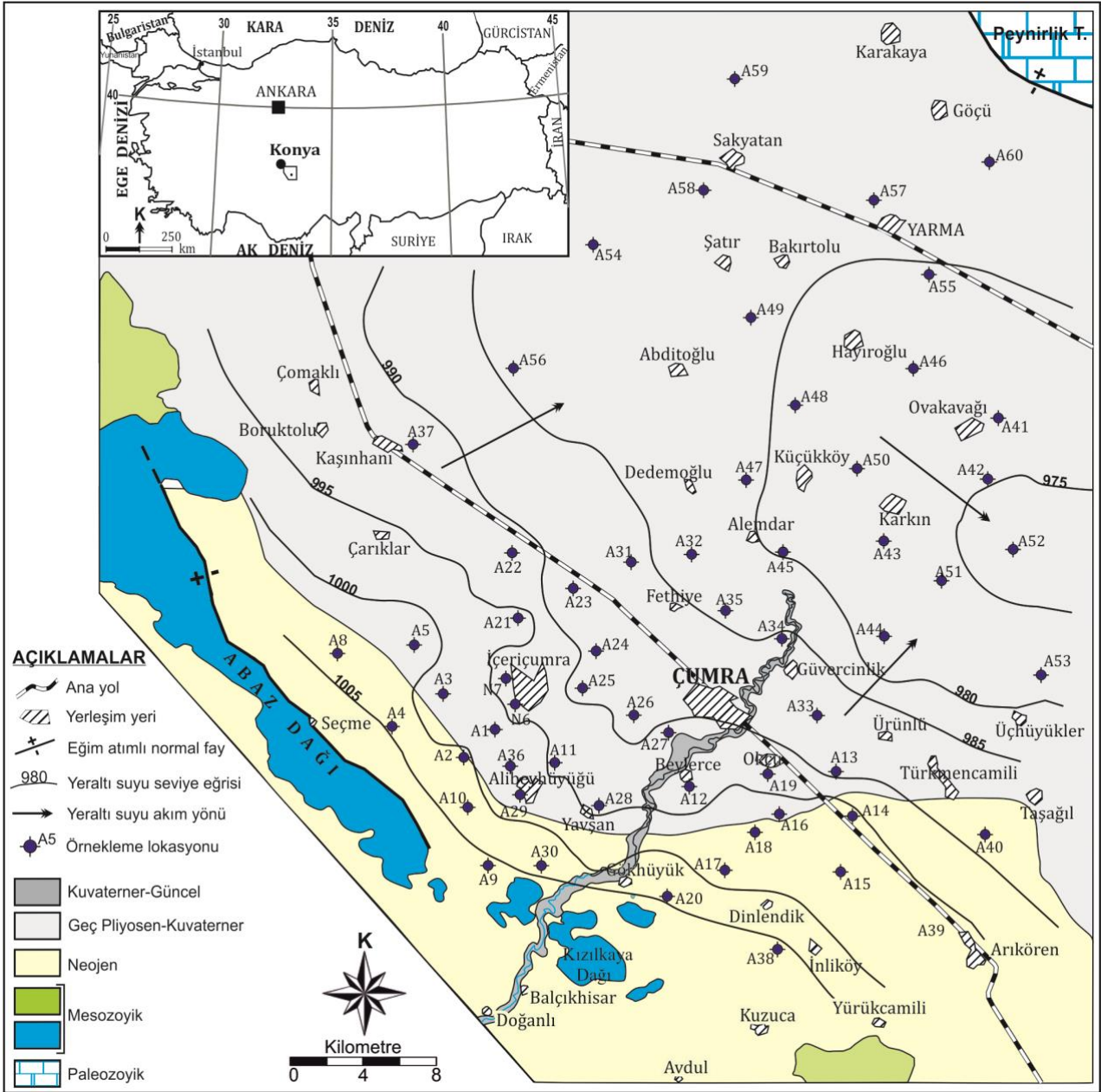
Toroslar Ana Tektonik Birliği'nin (Ketin, 1996) Orta

Toroslar bölümünde bulunan inceleme alanı, Paleozoyik-Kuvaterner yaş aralığında çökeltmiş jeolojik birimlerden oluşmaktadır (Şekil 1).

Bölgenin en yaşlı birimini temsil eden fakat temelde gözlenmeyen Paleozoyik yaşlı mermerler yalnızca alanın kuzeydoğusunda bulunan Peynirlik Tepe'de yüzlek vermektedir. Temelde Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşları, kireçtaşı ve dolomitler ile yine aynı yaşta olan ve serpantin, kuvarsit, metakumtaşı, çamurtaşı ile kristalin kireçtaşı ve bazalt bloklarından oluşan ofiyolitler gözlenmektedir. Neojen yaşlı gölsel kireçtaşı, killi kireçtaşı, marn, konglomera, kumtaşı, jipsli kil ve yer yer jips içeren birim temel birimler üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Hakyemez vd., 1992; Ulu vd., 1994; Yavuz, 2010). Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı, çakıllı, kumlu çamur, kum, kil, silt ve çakıldan oluşan ve yatay ve düşey yönde heterojenlik gösteren birim, tüm birimleri uyumsuzlukla örtmektedir (Hakyemez vd., 1992; DSİ, 1975). Kuvaterner-Güncel alüvyon ise sadece mevsimlik akan Çarşamba Deresi boyunca dar bir alanda gözlenmektedir (Şekil 1).

Mesozoyik yaşlı rekristalize kireçtaşı, kireçtaşı ve dolomitten oluşan birim, inceleme alanının güney-güneybatısında bulunan ve bölgenin en büyük yükseltisini oluşturan Abaz Dağı ile diğer yükseltilerde yüzlek vermektedir. Kireçtaşı ve dolomit, sahip oldukları kırıklı-çatlaklı ve yer yer erime boşluklu yapılarından dolayı önemli ölçüde akifer özelliği sunarlar. Fakat birim, Konya Fay Zonu'nun uzantısı olan ve Abaz Dağı'nın kuzey kenarı boyunca KB-GD yönlü Abaz Dağı Fayı (Eren, 2001) ile derinlere indiğinden dolayı örnekleme yapılan sondaj kuyularının derinliği bu birime kadar ulaşmamıştır. Evaporit seviyeli sığ göl ve akarsu fasiyes çökelleri içeren Neojen yaşlı birimin kireçtaşı seviyeleri alandaki ana akiferi oluşturmaktadır. Kireçtaşları genellikle orta-kalın, yer yer ince ve yatay tabakalı olup sert, bol kırıklı, çatlaklı ve karstik boşlukludur. Çalışma alanının güneyini kaplayan bu birim Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimin altından doğu-kuzeydoğu ve kuzeye doğru devam etmektedir. Neojen birimlerinin kalınlığı 200 ve 400 m arasında değişmekte olup derinliği Çumra çevresinde 5-10 m arasındayken kuzeydoğu ve doğu yönünde Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimin altından derinleşerek devam etmektedir (Hakyemez vd., 1992; DSİ, 1975). Bu nedenle inceleme alanının güney ve güneybatısında serbest akifer özelliği gösterirken kuzey, kuzeydoğu yönünde basınçlı akifer olma özelliğindedir. İletimlilik değeri 800-3000 $\text{m}^2/\text{gün}$ arasında değişen Neojen akiferinin depolama katsayısı 10^{-3} - 10^{-1} arasında değişmektedir (DSİ, 1975). Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birimin kumtaşı, çakıltaşı, kum ve çakıllı seviyelerinden de yeraltısuyu elde edilebilmektedir. Kalınlığı değişken olan birim, kuzeydoğu ve doğuya doğru 100-125 metre kalınlığa ulaşmaktadır (DSİ, 1975).

Örnekleme alanında seçilen sondaj kuyularının derinlikleri 38-240 m arasında değişmektedir. Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birim içerisinde açılmış sondaj kuyuları 38-80 m arasında, Neojen yaşlı birim içerisinde açılmış sondaj kuyularının derinliği ise 90-240 m arasında değişmektedir. İnceleme alanının genelinde su seviyesi 20-60 m arasında değişmekte olup yeraltı suyu akım yönü güneybatıdan kuzeydoğu-doğuya doğrudur (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının jeoloji haritası ve yeraltısuyu örnekleme lokasyonları

4.2.1. Suların Kimyasal Sınıflaması ve Major İyon Kimyası

4.2. Hidrojeokimya

Çumra ovasındaki yeraltısularının fizikokimyasal analiz sonuçlarına ait istatistiksel sonuçlar Tablo 1'de gösterilmektedir.

Yeraltısularının pH değeri 6,73 ile 8,00 arasında değişmekte ve ortalama 7,35 olup, nötre yakın hafif bazik karakter sunmaktadır. Suların kullanılabilirlik sınıflamaları için önemli bir parametre olan özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri ise 578 ile 5972 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. EC değerleri yeraltı suyu akım yolu boyunca artarak özellikle inceleme alanının boşalım bölgesini temsil eden kuzeydoğu ve

doğu bölgelerinden alınan örneklerde en yüksek değerlere ulaşmıştır. Güney-güneybatıdan alınan yer altı suyu örneklerinin EC değeri ortalama 811 $\mu\text{S}/\text{cm}$ iken kuzeydoğu-doğudan Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminde açılan sondaj kuyularından alınan örneklerin EC değeri ortalama 2528 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir (Şekil 2). Bu yüksek EC değerinin Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birim içerisinde bulunan killerin ara bölümlerinde veya gözeneklerinde biriken tuzların bölgede yoğun şekilde sürdürülen tarımsal sulama sırasında tekrar yeraltısuyu içerisine süzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

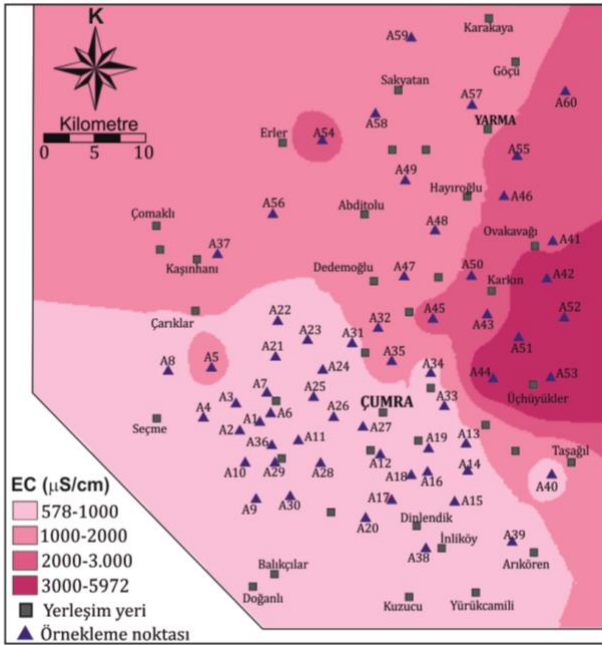
Yeraltısularının hidrojeokimyasal özellikleri, bu suların hidrojeokimyasal tiplerinin bilinmesi ile mümkün olabilmektedir. Piper diyagramı, suların bileşimlerindeki benzerlik ve farklılıkları ayırt etmek

ve suları belirli kimyasal tiplerde sınıflandırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Piper, 1944).

Tablo 1. Yeraltısularının kimyasal analiz sonuçları

Parametre	Maximum	Minimum	Ortalama	Standart Sapma
pH	8,00	6,73	7,35	0,25
EC	5972	578	1383,70	1171,8
TDS	4934	469	1120,47	943,8
Ca	318	56	132,48	60,6
Mg	554,4	9,58	77,83	107,6
Na	534,98	16,10	77,20	109,8
K	47,19	0,78	5,72	5,9
HCO ₃ +CO ₃	577,05	256,20	406,07	82,2
SO ₄	2757	29	276,83	467,4
Cl	1098,37	18,40	136,40	214,1

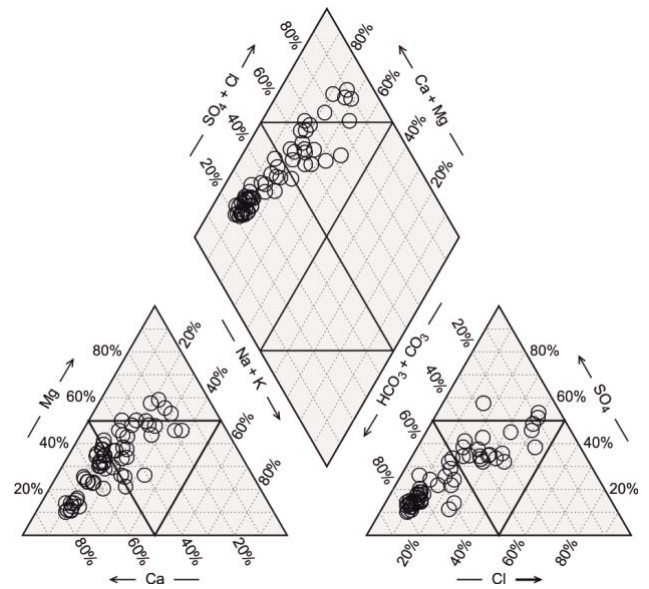
Konsantrasyonlar mg/l cinsinden belirtilmiştir; EC Elektriksel İletkenlik (µS/cm)



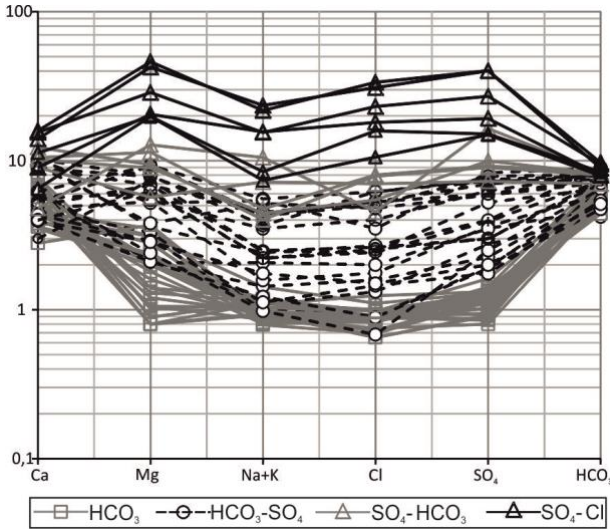
Şekil 2. Yeraltısuyu örneklerine ait EC (µS/cm) dağılım haritası

İnceleme alanına ait yeraltısularındaki iyonların dağılımı Piper diyagramı üzerinde incelenmiştir (Şekil 3). Buna göre bölgenin güney, güney batısındaki Neojen birimlerinden alınan yeraltı suyu örneklerinin çoğunluğu Ca-Mg-HCO₃ fasiyesinde olup TDS değerleri düşüktür (TDS < 1000 mg/l). Bölgedeki kristalin kireçtaşı, kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomit, Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının ana kaynağını oluşturmaktadır. Karbonatlar bu kaynaklardan çözülmüş ve tarımsal sulama, yağış veya süzülme ve karışım süreçleri sırasında yeraltısuyuna eklenmiş olabilir. Bölgenin orta kesimlerinden alınan örnekler karışım fasiyesinde olup kasyonlardan Ca⁺² ve Mg⁺² iyonlarının daha baskın olduğu gözlenirken,

anyonlarda ise HO₃-zondan SO₄-zona doğru bir yönelimin varlığı gözlenmektedir (Şekil 3, 4). Neojen yaşlı birim, aynı zamanda jips ve anhidrit gibi evaporitik mineraller de içermekte olup yeraltı suyu, akış yolu boyunca uygun koşullar altında jips mineralini çözerek ortama Ca⁺² ve SO₄⁻² iyonları sağlamaktadır. Ca⁺² iyonundaki artış kalsit çökelimine ve böylece ortamdaki HCO₃ iyonlarının azalmasına neden olurken aynı zamanda dolomit çözünmesine (dedolomitizasyon) de neden olmaktadır (Edmunds ve Shand, 2008; Wu ve ark. 2009). Yeraltısuyu örneklerinde, HO₃-SO₄ fasiyesinden SO₄-HCO₃ fasiyesine (Şekil 3, 4) geçerken Ca⁺² iyonundaki azalma ve Mg⁺² iyonundaki artış kalsit çökelişi ve dedolomitizasyon süreçleri ile ilişkilidir. İnceleme alanının doğusunda bulunan Üçhüyükler, Okavayağı ve Karkın çevresinde ise Geç Pliyosen-Kuvaterner yaşlı birim içerisinde açılmış sondaj kuyularından alınan örnekler genellikle Mg-(Ca)-Na-SO₄-Cl fasiyesinde olup TDS değerleri 2126-4934 mg/l arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki akiferlerde halit minerali bulunmamasına rağmen doğudaki Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminden alınan yeraltısuyu örneklerinde Cl iyonu yüksek değerlere ulaşmış (sırasıyla 1098 mg/l ve 535 mg/l) olup, Na⁺ ve Cl⁻ (0.90) ile SO₄⁻²- ve Cl⁻ (0.82) iyonları arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Bu yüksek korelasyon değerleri tarımsal sulama suyunun akifere geri dönüşü yüzünden toprak tuzlarını çözmesinden kaynaklanmaktadır (Prasanna vd., 2010; Esmaili ve Moore, 2011).



Şekil 3. Piper Diyagramı

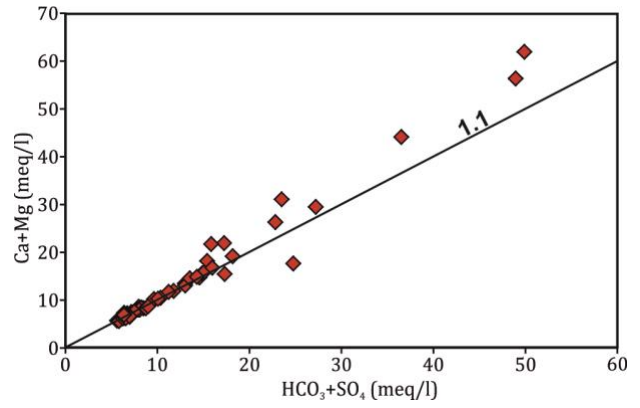


Şekil 4. Schoeller Diyagramı

İnceleme alanındaki yeraltısularında katyonlardan Ca^{+2} ve Mg^{+2} , anyonlardan ise sırasıyla HCO_3^- ve SO_4^{2-} iyonlarının baskın olduğu gözlenmiştir (Şekil 3, 4). Yeraltı suyunda çözülmüş bileşenlerin kaynağı bireysel iyonların bolluğu, iyonik oranlar ve birbirleriyle olan ilişkilerine bakılarak değerlendirilebilir (Davraz ve Ünver, 2014). $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ 'a karşı $SO_4^{2-}+HCO_3^-$ iyonları arasındaki bağıntıyı gösteren diyagramda noktalar 1:1 doğrusu üzerinde çıkarsa veya yakın çevresinde bulunurlarsa, kalsit, dolomit ve aragonit, jips çözünümünün baskın olduğunu yansıtmaktadır (Fisher ve Mulican, 1997; Kumar vd., 2006; Subba Rao ve Surya Rao, 2010). İyon değişimi varsa noktalar $SO_4^{2-}+HCO_3^-$ iyonlarının fazlalığından dolayı 1:1 doğrusunun sağında çıkar. Eğer ters iyon değişimi varsa, noktalar $Ca+Mg$ iyonlarının fazlalığından dolayı 1:1 doğrusunun solunda çıkar (Fisher ve Mulican, 1997; Kumar vd., 2006). İnceleme alanından alınan sulara ait $Ca^{+2}+Mg^{+2}$ 'a karşı $SO_4^{2-}+HCO_3^-$ diyagramında yeraltı suyu örneklerinin çoğu yaklaşık $Ca^{+2}+Mg^{+2} = SO_4^{2-}+HCO_3^-$ doğrusu (1:1) üzerinde ve yakın çevresinde bulunmaktadır (Şekil 5). Bu durum, inceleme alanındaki kalsit, dolomit, aragonit ve jips çözünümünün ana hidrojeokimyasal işlem olduğunu göstermektedir. Fakat özellikle bölgenin kuzeydoğu-doğu kesimindeki Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminden alınan örnekler 1:1 denge çizgisinin üstünde bulunmaktadır. Bu durum, ters iyon değişiminin varlığını göstermektedir.

4.3. Sulama Suyu Kalitesi

İnceleme alanı İç Anadolu Bölgesinin hatta Türkiye'nin en önemli tarımsal alanlarından birini oluşturmaktadır. Bölgede yüzey suyunun yetersiz olmasından dolayı tarımsal amaçlar için kullanılan sulama suyu çoğunlukla yeraltı suyundan karşılanmaktadır.

Şekil 5. (Ca+Mg)-(HCO₃-SO₄) diyagramı

Sularda bulunan çözülmüş iyonların fazla olması, bitkileri ve toprağın fizikokimyasal özelliklerini olumsuz yönde etkileyebilmekte ve böylece toprak tahribatı ve daha düşük verimliliğe yol açabilmektedir (Ravikumar vd. 2010). İnceleme alanındaki yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile EC, SAR, %Na, RSC, PI, MO ve KI parametreleri ve Wilcox Diyagramı ile ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılmıştır. Kullanılan parametreler ve bu parametrelere bağlı su sınıflaması Tablo 2'de gösterilmektedir.

Elektriksel İletkenlik (EC): Sulama suyu kalite parametrelerinin en önemlilerinden biri olan elektriksel iletkenlik değeri, suların içerisindeki çözünebilir iyonların toplam konsantrasyonlarının bir göstergesidir. Yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahip sulama suyu, ürün verimini azaltmaktadır (Bauder, 2011).

İnceleme alanındaki yeraltısularında yerinde ölçümler ile belirlenen EC değerleri 578-5972 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin % 35'inin EC değerleri 750 $\mu S/cm$ 'den düşük olup "iyi", % 33,5'inin ise EC değeri 750-1500 $\mu S/cm$ arasında olup "izin verilebilir" özellikte sulama suları sınıfında yer almaktadır. Örneklerin % 23'ü sulama suyu için "şüpheli" sınıfında, % 8,5'i (Örnek No A42, A44, A51, A52 ve A53) ise "uygun değil" sınıfında bulunmuştur (Tablo 2). EC değerlerine göre inceleme alanının doğusunda bulunan Üçhüyükler ve Karkın çevresinden alınan sular tuzluluk riski nedeniyle sulama suyu için uygun değildir.

Sodyum Yüzdesi (%Na): Tarımsal amaçlı sulama suyu kalitesinin uygunluğunun değerlendirilmesinde sodyum yüzdesi değeri yaygın olarak kullanılan bir parametredir (Wilcox, 1955). Sodyum yüzdesi aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır. Sularda yüksek konsantrasyonlarda Na iyonunun bulunması, katyon değişimi ile toprakta emilerek toprağın geçirirliliğinin azalmasına yol açar (Karanth, 1989; Singh vd., 2008; Jalali, 2009).

$$\%Na = ((Na+K)/(Ca+Mg+Na+K))*100 \quad (1)$$

İnceleme alanına ait yeraltısularının %Na değeri 8,98-37,41 arasında değişmektedir. Elde edilen verilere göre, yeraltısuyu örneklerinin % 78'inin % Na değeri 20'den düşük olup "çok iyi", % 22'si ise 20 ile 40 arasında olup "iyi" özellikte sulama suları sınıfında yer almaktadır (Tablo 2). Ayrıca yeraltısuyu örnekleri, sulama suyu kalite sınıflamasında kullanılan ve suların EC ve % Na değerleri ile ilişkili Wilcox diyagramı üzerinde incelenmiştir. Wilcox diyagramına göre; bölgenin doğusunda bulunan Küçükköy, Üçhüyükler ve Ovakavağı çevresinden Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminde açılmış sondajlardan alınan örnekler "şüpheli kullanılamaz" (Örnek no A41, A45, A54, A55 ve A60) ve "kullanılamaz" (Örnek

No A42, A44, A51, A52, A53) sınıflarında bulunmuştur. Diğer tüm yeraltısuyu örnekleri "çok iyi-iyi" ve iyi-kullanılabilir" sınıfında yer almaktadır (Şekil 6).

Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR): Yüksek SAR değerine sahip suların sulama amaçlı sürekli kullanımı, sodyumun toprak tarafından emilerek fazlaşması sonucu toprağın daha sert ve sıkı hale gelmesine ve böylece geçirgenliğinin azalmasına neden olmaktadır (Raju 2007; Khodapanah vd., 2009). SAR oranı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır;

$$SAR = Na / \sqrt{(Ca + Mg) / 2} \quad (2)$$

Tablo 2. İnceleme alanındaki yeraltı suları için kullanılan sulama suyu kalite parametreleri ve su sınıfı

Parametreler	Birim	Değer/Oran	Su Sınıfı	Örnek (%)	Kaynaklar
EC	µS/cm	< 750	İyi	%35	Bauder (2011)
		750-1500	İzin verilebilir	%33,5	
		1500-3000	Şüpheli	%23	
		>3000	Uygun değil	% 8,5	
%Na	meq/l	0-20	Çok İyi	%78	Wilcox 1955
		20-40	İyi	%22	
		40-60	İzin verilebilir	-	
		60-80	Şüpheli	-	
		>80	Uygun değil	-	
SAR	meq/l	<10	Çok İyi	%100	Richards (1954) Todd (1980)
		10-18	İyi	-	
		19-20	Şüpheli	-	
		<26	Uygun değil	-	
RSC	meq/l	<1,25	İyi	%100	Eaton (1950) Richards (1954)
		1,25-2,5	Şüpheli	-	
		>2,5	Uygun değil	-	
PI	meq/l	>%75	Çok İyi	-	Raghunath (1987)
		%75- %25	İyi	%100	
		<%25	Uygun değil	-	
MR	meq/l	<50	Uygun	%73,4	Raghunath (1987)
		>50	Uygun değil	%26,6	
KI	meq/l	<1	Uygun	%100	Kelley (1963)
		1-2	Kısmen uygun	-	
		>2	Uygun değil	-	

Yeraltısuyu örneklerinin SAR değerleri 0,37-4,38 arasında olup tüm örnekler "çok iyi" özellikte sulama suları sınıfında yer almaktadır (Tablo 2). Ayrıca su örnekleri SAR ve EC değerlerine göre ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Richards, 1954) üzerinde incelenmiştir. İnceleme alanına ait yeraltısuyu örneklerinin %35'i C2S1 sınıfında, %53,3'ü C3S1 sınıfında, % 5 'i (Örnek No A41, A45 ve A51) C4S1 sınıfında ve % 6,7'si (Örnek No A42, A44, A52 ve A53) C4S2 sınıfında bulunmuştur (Şekil 7). Genellikle Neojen akiferinden alınan yeraltısuyu örnekleri C2S1 ve C3S1 sınıflarında iken Küçükköy, Hayıroğlu,

Üçhüyükler, Ovakavağı ve Karkın çevresindeki Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminde açılmış sondajlardan alınan örnekler C4S1 ve C4S2 sınıflarında olduğu gözlenmiştir. C2S1 sınıfındaki sular orta tuzlulukta ve az sodyumlu su özelliğinde olup orta tuzlulukta su ve sodyuma karşı çok duyarlı olan bitkiler dışında her türlü tarımsal sulama için uygundur. C3S1 sınıfına giren sular, fazla tuzlu ve az sodyumlu su özelliğinde olup bu sulara sodyum tehlikesi yoktur ve tuza dayanıklı bitkilerin yetiştirilmesinde kullanılabilir. Fakat genel olarak tuzluluğun kontrol edileceği drenajı yapılan alanlarda kullanılması tercih edilir.

C4S1 ve C4S2 sınıfına giren sular ise çok fazla tuzlu az-orta sodyumlu su özelliğinde olup bu tip sular yalnızca yüksek tuz toleransına sahip bitkiler için uygundur. Fakat bu uygunluk kısıtlı drenaja sahip toprakların sulanmasında sınırlılıklar arz etmektedir. C4S3 sınıfına giren sular, çok fazla tuzlu ve yüksek sodyumlu sular olup sulama suyu için uygun değildir.

Artıksal Sodyum Karbonat (RSC): Tarımsal amaçlı kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin zararlı etkisini belirlemek için RSC değeri kullanılmaktadır (Eaton, 1950, Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). Çünkü sulama suyundaki HCO_3 ve CO_3 iyonları topraktaki kalsiyum ve magnezyum iyonlarını çökelterek sodyum iyonunun oranında bir artışa sebep olabilmektedirler (Karanth 1989). RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Eaton, 1950).

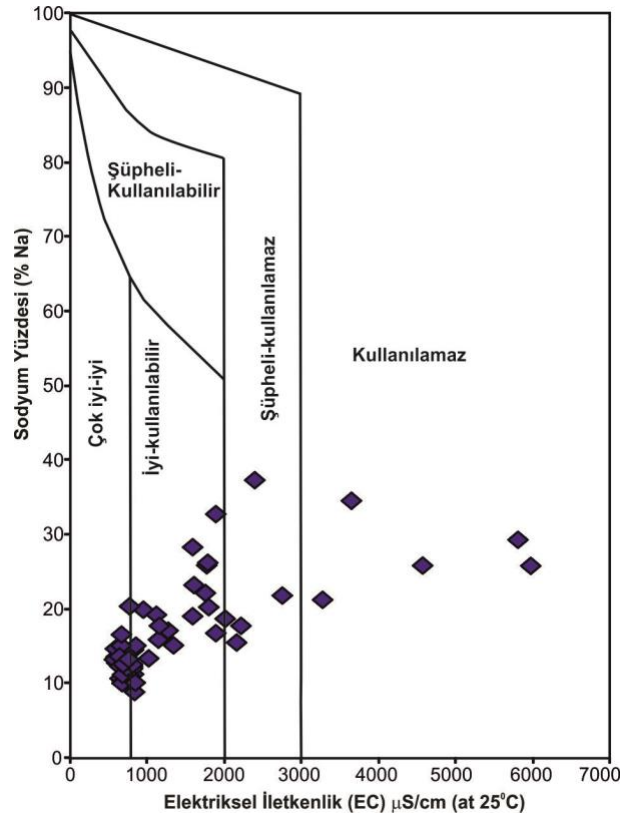
$$\text{RSC} = (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg}) \quad (3)$$

İnceleme alanındaki yeraltı sularının RSC değerleri -52,38 ile -0,50 meq/l arasında değişmekte olup sulama suyu için uygundur (Tablo 2).

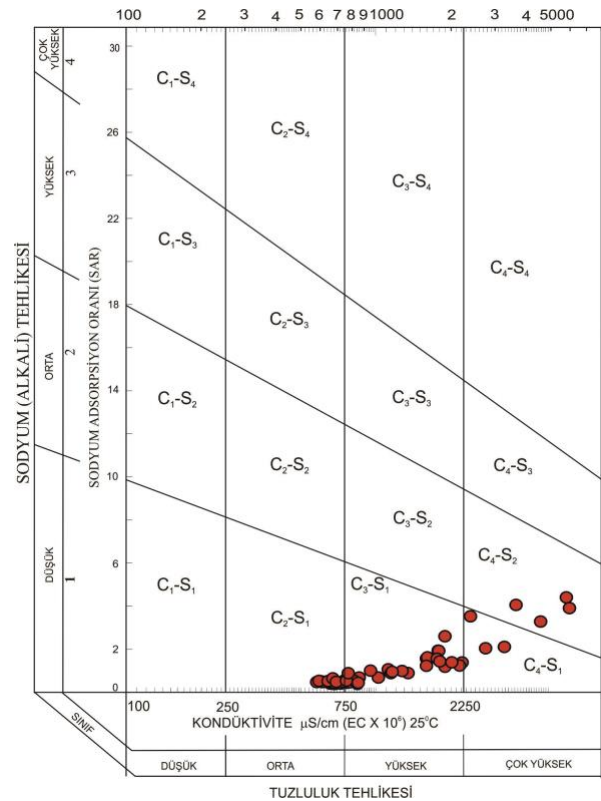
Geçirgenlik İndeksi (PI): TDS, HCO_3 ve Na içeriği yüksek olan suyun tarımsal sulama amaçlı uzun süreli kullanımı toprağın tipini ve geçirimliliğini etkilemekte (Alam vd., 2012) ve böylece ürün verimini düşürmektedir. PI değeri aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Raghu Nath, 1987). PI değerine göre; % 75 < PI "Sınıf I", % 25 - %75 PI "Sınıf II" ve % 25 > PI "Uygun değil" "Sınıf III" olarak değerlendirilir. Sınıf I ve Sınıf II kategorisinde olan sular, sulama suyu için sırasıyla "Çok iyi" ve "İyi" olarak sınıflandırılırken Sınıf III kategorisinde olan sular sulama suyu için "Uygun değil" olarak sınıflandırılır (Doneen, 1964; Raghu Nath, 1987; Ramesh ve Elango, 2012).

$$\text{PI} = \left(\frac{\text{Na} + \sqrt{\text{HCO}_3}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na}} \right) * 100 \quad (4)$$

İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerine ait PI değerleri 26,50-47,81 arasında olup Sınıf II kategorisindedir (Tablo 2).



Şekil 6. Wilcox diyagramı (Wilcox 1955)



Şekil 7. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Magnezyum Oranı (MR): Sulama suyunda magnezyum iyonunun fazlalığı toprak alkalitesini artırarak toprağın kümeleşmesi veya gevrekleşmesine yol açmakta ve ürün verimini

olumsuz yönde etkilemektedir (Raju vd., 2011; Subba Rao vd., 2012). Magnezyum oranı % 50'den fazla olan sular sulama suyu olarak zararlı ve uygun değildir (Szabolcs and Darab, 1964, Sreedevi, 2004). Magnezyum oranı aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Raghunath, 1987) ve eşitlikteki tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l olarak ifade edilir.

$$MR = (Mg/(Mg+Ca))*100 \quad (5)$$

İnceleme alanındaki yeraltı sularının MR değerleri % 10,93 - % 75,27 arasında değişmektedir (Tablo 2). İnceleme alanına ait örneklerin %73,4'ünün MR %50'den az olup sulama suyu için "uygun" sınıfında iken % 26,6'sı (Örnek No A17, A28, A35, A41, A42, A44, A45, A46, A47, A48, A49, A50, A51, A52, A53 ve A54) "uygun değil" sınıfında bulunmuştur.

Kelley İndeksi (KI): KI suların sulamada kullanılabilirliğini belirlemek için kullanılan diğer önemli bir parametredir. KI aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır (Kelley, 1963) ve eşitlikteki tüm iyonik konsantrasyonlar meq/l olarak ifade edilir.

$$KI = Na / (Ca+Mg) \quad (6)$$

İnceleme alanındaki yeraltısularının KI değerleri 0,18-0,59 meq/l arasında değişmekte olup sulama suyu olarak "uygun" sınıfında bulunmuştur (Tablo 2).

4.3.1. Sulama Suyu Kalite Değerlendirilmesinde Kullanılan Diğer Parametreler

Çumra ve çevresinde tarım ekonomik hayatın temel unsurlarından birini oluşturmasına rağmen bölgede Konya'nın en büyük şeker fabrikası ve küçük ölçekli tarıma yönelik sanayi tesisleri bulunmaktadır. İnceleme alanında yerleşim yerlerinin ve nüfusun fazla olması yanında gelişen sanayileşme de dikkate alındığında; tarımsal faaliyetler (gübre ve zirai ilaçlar), evsel atıklar (kanalizasyon suları ve hayvan gübreleri vb.) ve endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanabilecek katı ve sıvı atıklar, yeraltı suları için potansiyel kirletici unsurları oluşturmaktadır. Bu nedenle yeraltısularını kirleten unsurların belirlenmesi yeraltısularının sulama suyu olarak sürdürülebilir kullanımı açısından önem arz etmektedir. Yeraltısularında en fazla karşılaşılan kirletici maddeler ağır metal ve toksik elementler ile azot bileşikleridir (nitrat, nitrit, amonyum).

İnceleme alanındaki yeraltı sularının ağır metal ve toksik element konsantrasyonları, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde (SKKY 1991) belirtilen her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda "Sulama Sularında İzin Verilebilen Maksimum Ağır Metal ve Toksik Element Konsantrasyonları" standart sınır değerleri dikkate alınarak değerlendirilmiştir (Tablo 3). Yeraltı suyu örneklerinin azot türevleri ise Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği'nde (SKKY 1991)

belirtilen "Sulama Sularının Sınıflandırılmasında Esas Alınan Sulama Suyu Kalite Parametreleri" ve Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde (SKKY 2004) belirtilen "Kıtaçi Su Kaynaklarının Sınıflarına Göre Kalite Kriterlerine" ait standartlar ile değerlendirilmiştir.

Ağır Metal ve Toksik Elementler: Ağır metal ve toksik elementlerin bitkiler üzerindeki etkisi, elementin konsantrasyonuna bağlı olarak değişmekte olup yüksek konsantrasyonlarda alındığında bitkilerin yapraklarında zarara yol açmakta veya büyümede gerileme gibi etkilere neden olmaktadır (SKKY, 1991).

İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin As, Al, Ba, B, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni ve Pb değerleri sulama sularında izin verilebilen maksimum sınır değerlerin altında bulunmuş olup her türlü zemin için sulamaya uygundur. A42 nolu örneğin Zn değeri 2467 µg/l olup sınır değeri aşmıştır. Bu yüksek değer muhtemelen kuyudaki metal boruların korozyonunun bir sonucudur. A35, A44, A45, A47 ve A50 nolu örneklerde ise Se değerleri 20 ile 25,92 µg/l arasında ve ortalama 22,6 µg/l olup sınır değeri çok az aşmıştır. Selenyum elementi genellikle Geç Pliyosen-Kuvaterner biriminde açılmış sığ kuyulardan alınan örneklerde yüksek değerlerde bulunmuştur. Bunun nedeni muhtemelen tarımsal aktiviteler sırasında kullanılan gübreler ve zirai ilaçlardır. Çünkü daha sığ derinlikte olan Geç Pliyosen-Kuvaterner akifer örnekleri tarımsal aktivitelerden daha fazla etkilenmektedirler.

Azot Türevleri: Sulama sularında bulunan nitratın bitkilere toksik etkisi yoktur fakat yüksek konsantrasyonlara ulaşması bitkiler üzerinde osmotik etki yapmaktadır (Sağlam ve Adiloğlu, 1997). Sulama sularında amonyum tuzlarının bulunması ise topraklarda dispersiyonu artırıcı, geçirgenliği düşürücü etki yapar. Fakat bu etki sürekli değildir (Kanber vd., 1992). Genellikle sulara 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirleticiler tarafından kirletildiğini göstermektedir (Davraz ve Ünver, 2014).

Tablo 3. İnceleme alanından alınan örneklerle ait ağır metal değerleri

Parametreler	Her türlü zeminde sürekli sulama yapılması durumunda sınır değerler (µg/l) (SKKY 1991)	İnceleme alanındaki yeraltı sularına ait ağır metal değerleri (µg/l)			
		Min.	Max.	Ort.	Std.S
As	100	1,2	28	12,4	5,8
Al	5000	8	837	89,4	157
Cu	200	10,87	71,6	20,42	12,9
Cr	100	0,09	7,9	2,71	1,15
Cd	10	0,07	0,29	0,01	0,03

Fe	5000	11	1267	312	274
Mn	200	0,83	187	40,62	36,2
Mo	10	0,7	137,9	10,9	27,2
Ni	200	0,87	14,1	3,46	3,21
Pb	5000	16	72	24	9,4
Se	20	1,40	25,92	6,06	7,62
Zn	2000	42,65	2467	381,6	421

Tablo 4. İnceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin azot türevlerine ait değerleri

Parametre (mg/l)	Max.	Min.	Ort.	Std. S.
NO ₃	43,5	1,23	12,89	9,3
NO ₃ -N	9,58	0,28	2,91	2,1
NO ₂ -N	0,03	0	0,001	0,005
NH ₄	0,39	0,01	0,10	0,09
NH ₄ -N	0,37	0,01	0,096	0,08

Parametreler (mg/l)	Su kalite sınıfları (SKKY 1991, 2004)				
	I	II	III	IV	V
NO ₃ *	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
NO ₃ -N	5	10	20	>20	-
NO ₂ -N	0,002	0,01	0,05	>0,05	-
NH ₄ *	0-5	5-10	10-30	30-50	>50
NH ₄ -N	0,2	1	2	>2	-

* SKKY,1991

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğine göre örneklerin NO₃ değerleri açısından % 18,3'ü 1.sınıf, % 26,7'si 2.sınıf, % 46,7'si 3.sınıf ve % 8,3'ü (A13, A54, A57, A5 ve A59) 4.sınıf sular grubundadır. NO₃-N değerleri açısından % 86,7'si 1.sınıf ve % 13,3 2. sınıf sular grubundadır. A41, A47 ve A52 nolu örneklerin NO₂-N değerleri 3. sınıf sular grubunda olup diğer tüm örnekler 1. sınıf su grubundadır. Örnekler, amonyum (NH₄) değerlerine göre 1. sınıf sular grubundayken, amonyum azotu (NH₄-N) değerlerine göre örneklerin % 70,3'ü 1. sınıf, % 29,7'si 2. sınıf sular grubunda bulunmuştur. Yeraltısularında bulunan nitrat konsantrasyonu tehlikeli boyutlara ulaşmamasına rağmen örneklerinin % 55'inde 10mg/l değerinden fazla olması, bölgedeki tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğe işaret etmektedir. Ayrıca azot türevleri özellikle Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinden alınan örneklerde daha yüksek değerlerde bulunmuştur. Bu durum daha sığ derinlikte olan Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinin kirliticilerden (gübre, evsel atıklar vb.) daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

5. Sonuçlar

İnceleme alanındaki yeraltısularının pH değeri 6,73 ile 8,00 arasında değişmekte olup ortalama 7,35 değeri ile nötre yakın hafif bazik karakter sunmaktadır. 578 ile 5972 µS/cm arasında değişen

elektriksel iletkenlik değerleri ise yeraltı suyu akım yolu boyunca artarak özellikle inceleme alanının boşalım bölgesini temsil eden kuzeydoğu ve doğu bölgelerinde yüksek değerlere ulaşmaktadır. İncelenen yeraltısularında Ca⁺² ve Mg⁺² hakim kanyonları oluştururken anyonlardan beslenme bölgesinden boşalım bölgesine doğru sırasıyla, HCO₃, HCO₃-SO₄, SO₄-HCO₃ ve SO₄-Cl fasiyeslerine geçiş gözlemlenmiştir. İnceleme alanında su-kayaç etkileşimi ile ilişkili olarak kalsit, dolomit, aragonit ve jips çözünümünün ana hidrojeokimyasal işlem olduğu ve özellikle bölgenin kuzeydoğu-doğu kesimindeki Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinde ise tarımsal aktivitelerden kaynaklanan toprak tuzlarının çözünümü ve ters iyon değişiminin diğer hidrojeokimyasal işlemler olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki yeraltısularının sulamada kullanılabilirliğini belirlemek amacı ile EC, SAR, %Na, RSC, PI, MR ve KI parametreleri ve Wilcox diyagramı ile ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre inceleme alanındaki yeraltısuları %Na, SAR, RSC, PI ve KI sınıflamalarına göre sulama suyu olarak kullanıma uygun bulunmuştur. Elektriksel İletkenlik, Magnezyum Oranı, Wilcox diyagramı ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı sınıflamalarına göre inceleme alanının doğusunda bulunan Üçhüyükler, Okavavağı Küçükköy ve Karkın çevresinde Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferine ait yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olmadığı belirlenmiştir.

Ayrıca yeraltısularına ait ağır metal ve toksik element konsantrasyonları (As, Al, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Mo, Ni ve Pb) ile azot türevleri (NO₃, NO₃-N, NO₂-N, NH₄, NH₄-N) Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliklerinde belirtilen sulama suyu sınır değerleri ve kalite kriterlerine ait standartlar alınarak değerlendirilmiştir. İnceleme alanından alınan yeraltısuyu örneklerinin As, Al, Ba, B, Cu, Cr, Cd, Fe, Mn, Ni ve Pb değerleri sulama sularında izin verilebilen maksimum sınır değerlerin altında bulunmuş olup her türlü zemin için sulamaya uygundur. İnceleme alanındaki yeraltısularına ait nitrat konsantrasyonu tehlikeli boyutlara ulaşmamasına rağmen örneklerinin % 55'inde 10 mg/l değerinden fazla olması, bölgedeki tarımsal faaliyetlerden kaynaklanan kirliliğe işaret etmektedir. Aynı zamanda azot türevleri de özellikle Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinden alınan örneklerde daha yüksek değerlerde bulunmuştur. Bu durum daha sığ derinlikte olan Geç Pliyosen-Kuvaterner akiferinin tarımsal aktiviteler (gübreler ve zirai ilaçlar) ve diğer antropojenik kirliticilerden (evsel ve hayvansal atıklar vb.) daha fazla etkilendiğini göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü tarafından 11401151 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Conflict of Interest / Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

No conflict of interest was declared by the author.

Kaynaklar

Alam, M., Rais, S., Aslam, M., 2012. Hydrochemical investigation and quality assessment of ground water in rural areas of Delhi, India, Environ. Earth Sci. 66, 97-110.

Aghazadeh, N., Mogaddam, A.A., 2011. Investigation of hydrochemical characteristics of groundwater in the Harzandat aquifer, North-west of Iran. Environ Monit. Assess. 176:183-195.

Anonim., 1991. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Teknik Usuller Tebliği Ankara. Resmi Gazete, Tarih 7 Ocak 1991 Sayı:20748.

Anonim., 2004. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği. Başbakanlık Çevre Müsteşarlığı. Ankara. Resmi Gazete, Tarih 31 Aralık Cuma 2004 Sayı:25687.

Ayers, R.S., Westcot, D.W., 1985. Water quality for agriculture, FAO Irrigation and drainage Paper No. 29, Rev. 1, U.N. Food and Agriculture Organization, Rome

Azaza, F.H., Ketata, M., Bouhlila, R., Gueddari, M., Riberio, L., 2010. Hydrogeochemical characteristics and assessment of drinking water quality in Zeuss-Koutine aquifer, southeastern Tunisia. Environ Monit Assess. 174: 283-298.

Balachandar, D., Sundararaj, P., Rutharvel Murthy, K., Kumaraswamy, K., 2010. An Investigation of Groundwater Quality and Its Suitability to Irrigated Agriculture in Coimbatore District, Tamil Nadu, India-A GIS Approach. Int. J. Of Environ. Sciences, 1(2):176-190.

Bauder, T.A., Waskom, R.M., Davis, J.G., Sutherland, P.L., 2011. Irrigation water quality criteria. Fort Collins, CO: Colorado State University Extension.

Bayarı, S., Özyurt, N., Kilani, S. 2009a. Radiocarbon age distribution of groundwater in the Konya Closed Basin, central Anatolia, Turkey. Hydrogeology J. 17: 347-365.

Bayarı, S., Pekkan, E., Özyurt, N. 2009b. Obruks, as giand collapse dolines caused by hypogenic karstification in the central Anatolia, Turkey: analysis of likely formation processes. Hydrogeology J. 17: 327-345.

Bozdağ, A., 2015. Combining AHP with GIS for assessment of irrigation water quality in Çumra Irrigation District (Konya), Central Anatolia, Turkey. Environ Earth Sci 73(12):8217-8236.

Bozdağ, A., 2016. Assessment of the

hydrogeochemical characteristics of groundwater in two aquifer systems in Çumra Plain, Central Anatolia. Environ Earth Sci., 75:674.

Davraz, A., Ünver, Ö., 2014. İnegöl Havzası (Bursa) Hidrojeolojisi ve Yeraltısularının Kalite Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, 18 (2), 7-21

Doneen, L.D., 1964. Notes on water quality in agriculture. Water science and engineering paper 4001. Department of Water Sciences and Engineering, University of California, Davis.

D.S.İ. (Devlet Su İşleri) 1975. Konya-Çumra-Karapınar Ovası Hidrojeoloji Etüt Raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltısuları Dairesi Başkanlığı, 118s. Ankara.

Eaton, F.M., 1950. Significance of carbonate in irrigation water. Soil Sci 69 (2):123-133.

Edmunds, W.M., Shand, P., 2008. Natural groundwater quality. Blackwell, Oxford.

Eren, Y., 2001. Konya ve çevresinin neo-tektonik özellikleri ve depremselliği, S.Ü. Yerbilimleri Açısından Konya Sempozyumu, Bildiriler, 17-19.

Esmaeili, A., Moore, F., 2011. Hydrogeochemical assessment of groundwater in Isfahan province, Iran. Environ Earth Sci 67: 107-120

Fisher, R.S., Mulican, W.F., 1997. Hydrochemical evolution of sodiumsulfate and sodium-chloride groundwater beneath the Northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas, USA. Hydrogeol J 5(2): 4-16

Göçmez, G., Dıvrak, B.B., İş, G., 2008. Investigation of groundwater level change detection in Konya Closed Basin. Summary Report, WWF-Turkey, İstanbul, p. 18

Hakyemez, H.Y., Elibol, E., Umut, M., Bakırhan, B., Kara, İ., Dağıstan, H., Metin, T., Erdoğan, N., 1992. Konya-Çumra-Akören Dolayının Jeolojisi. M.T.A. Rapor no: 42/24, s.64, Ankara.

Islam M.S., Shamsad, S.Z.K.M., 2009. Assessment of Irrigation Water Quality of Bogra District in Bangladesh. Bangladesh J. Agril. Res. 34(4): 597-608.

Jalali, M. 2009. Groundwater geochemistry in the Alisadr, Hamadan, Western Iran, Environ Monit Assess, 166(1-4):359-69. doi: 10.1007/s10661-009-1007-5.

Kanber, R., Kırdı, C., Tekinel, O., 1992. Sulama suyu niteliği ve sulamada tuzluluk sorunları. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Yayın No: 6, Adana.

Karanth, K.R., 1989. Ground water assessment development and management. Tata McGraw Hill Publishers, New Delhi.

Kelley, W.P., 1946. Permissible composition and

- concentration of irrigation waters. In: Proceeding American Society of Civil Engineering, 607 p.
- Ketin, İ., 1996. Tectonic units of Anatolia (Asia Minor): M.T.A. Bül. 66: 23-33.
- Khodapanah, L., Sulaiman, W.N.A., Khodapanah, N., 2009. Groundwater Quality Assessment for Different Purposes in Eshtehard District, Tehran, Iran. *European Journal of Scientific Research*. 36(4):543-553.
- Kumar, M., Ramanathan, A.L.R., Kumar, M.S.B., 2006. Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India. *Environ Geol* 50(7): 1025-1039.
- Karanth, K.R., 1989. Ground water assessment development and management. Tata McGraw Hill Publishers, New Delhi.
- Nazik, L., Törk, K., Özel, E., Tuncer, K., 2004. Konya Ovasının Hidrolojik-Hidrojeolojik Gelişiminde Karstlaşmanın Etkisi. 1. Yeraltı Suları Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 95-104, Konya, 23-24
- Piper, A.M., 1944. A Graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Transactions, American Geophysical Union* 25: 914-23.
- Prasanna, M.V., Chidambaram, S., Srinivasamoorthy, K., 2010. Statistical analysis of the hydrogeochemical evolution of groundwater in hard and sedimentary aquifers system of Gadilam river basin, South India. *J King Saud Univ (Science)* 22: 133-145
- Raghunath, H.M., 1987. *Groundwater*, 2nd edn. Wiley Eastern Ltd, New Delhi 563p
- Raju, N.J., 2007. Hydrogeochemical parameters for assessment of groundwater quality in upper Gunjanaeru River basin, Cuddapah District, Andhra Pradesh, South India. *Environ Geol*, 52:1067-1074.
- Raju, N.J., Shukla, U.K., Ram, P., 2011. Hydrogeochemistry for the assessment of groundwater quality in Varanasi: a fast-urbanizing center in Uttar Pradesh, India. *Environ Monit Assess.*, 173:279-300
- Ramesh, K., Elango, L., 2012. Groundwater Quality and its Suitability for Domestic and Agricultural use in Tondiar River Basin, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring Assessment*, 184:3887-3899.
- Ravikumar, P., Venkatesharaju, K., Prakash, K.L., Somashekar, R.K., 2010. Geochemistry of groundwater and groundwater prospects evaluation, Anekal Taluk, Bangalore Urban District, Karnataka. *India Environ Monit Assess* 179:93-112.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *USDA Agricultural Handbook No. 60*. US Department of Agriculture, Washington DC, p 160.
- Shamsad, S.Z.K.M., Islam, M.S., 2005. Hydrochemical behaviour of the water resource of Sathkhira Sadar of southwestern Bangladesh and its impact on environment. *Bangladesh J. of Water Resource Researh*. 20: 43-52.
- Singh A. K., Mondal, G.C., Kumar, T.B., Singh Tewary, B.K., Sinha, A., 2008. Major ion chemistry, weathering processes and water quality assessment in upper catchment of Damodar River basin, India. *Environ Geology*, 54:745-758.
- Subba Rao, N., Surya Rao, P., 2010. Major ion chemistry of groundwater in a river basin: a study from India. *Environ Earth Sci* 61(4):757-775
- Subba Rao, N., Subrahmanyam, A., Ravi Kumar, S., Srinivasulu, N., Babu Rao, G., Surya Rao, P., Venkatram Reddy, G., 2012. Geochemistry and quality of groundwater of Gummanampadu sub-basin, Guntur District, Andhra Pradesh, India. *Environmental Earth Science*. 67/5,1451-1471.
- Sağlam, M.T., Adiloğlu, A., 1997. Su Kalitesi (Genişletilmiş 2. Baskı). *Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fak. Yayın No: 230, Ders Kitabı No: 27, Tekirdağ*.
- Sreedevi, P.D., 2004. Groundwater quality of Pageru river basin, Cudapah district, Andhra Pradesh. *J Geol Soc India*, 64: 619-636.
- Szabolcs, I., Darab, C., 1964. The influence of irrigation water of high sodium carbonate content of soils. In: Szabolcs I (ed) *Proceedings 8th international congress of the International Society of Soil Science*, Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Hungarian Academy Science, pp 803-812.
- Ulu, Ü., Bulduk, A.K., Ekmekçi, E., Karakaş, M., Öcal, H., Abbas, A., Saçlı, L., Taşkiran, M.A., Adır, M., Sözeri, Ş., Karabyıkoğlu, M., 1994. İnlince-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi: M.T.A. Der. Rap. No: 9720, Ankara.
- Wilcox, L.V., 1955. Classification and use of irrigation water. *USDA, Circular*, Washington.
- Wu, P., Tang, C., Zhu, L., Liu, C., Cha, X., Tao, X., 2009. Hydrogeochemical characteristics of surface water and groundwater in the karst basin, southwest China, *Hydrological Process*. 23: 2012-2022.
- Yavuz, S., 2010. Konya-Karapınar Havzası Karstik Özelliklerinin Belirlenmesinde Hidrojeolojik Parametrelerin Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, p. 8.