



MAKÜ FEBED
ISSN Online: 1309-2243
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(2): 102-115 (2016)
The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(2): 102-115 (2016)

Araştırma Makalesi / Research Paper

Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi

Ayşen DAVRAZ^{1*}, Mehmet ÇAKMAK¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 31.03.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 29.04.2016

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author)*: aysendavraz@sdu.edu.tr

☎ +90 246 2111326 📠 +90 246 2370859

ÖZ

Bu çalışmada Yarışlı Gölü Sulak alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İnceleme alanında Likya napları ile paraallokton ve Kuvaterner yaşlı birimleri içeren neotokton kaya birimleri yüzeylemektedir. Alüvyon ve kireçtaşı birimlerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 0–22.10 m arasında ölçülmüştür. İnceleme alanında yeraltısularının Ca-HCO₃ ve Ca-Mg-HCO₃, göl sularının ise Na-Cl-SO₄'lı sular fasiyesinde olduğu tespit edilmiştir. Yeraltısularında bölgesel olarak tespit edilen Mg artışı Marmaris peridotiti, Na artışının ise Kızılcadağ melanjı ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. Havzada yeraltısularının sulama suyu olarak kullanıma uygun olduğu tespit edilmiştir. Bölgede yeraltısuları için en önemli kirlenici unsur tarımsal faaliyetlerdir. Bu nedenle, havzada bölgesel olarak yeraltısularında nitrat içerikleri artmıştır. Ayrıca, havzadaki su kaynaklarında Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metal içerikleri incelenmiştir. Havza genelinde yeraltısularında kaya su etkileşimi ile ilişkili olarak As artışı tespit edilmiştir. Ayrıca, bölgesel olarak Al, Cr, Fe, Ni ve Zn artışları gözlenmiştir. Bu artışların jeojenik ve antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir. Bu değerler yersel ölçekte içme suyu standartlarında verilen sınır değeri aşmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yarışlı Gölü, sulak alan, hidrojeoloji, hidrojeokimya, Burdur

Hydrogeological and Hydrogeochemical Investigation of Yarışlı Lake (Burdur) Wetland

ABSTRACT

In this study, it has been investigated as detailed geological, hydrological, hydrogeological and hydrochemical features of Yarışlı Lake Wetland. Lycian nappes and neo-autochthonous rock units including para-allochthonous and Quaternary units are outcropped in the investigation area. Groundwater supplied from alluvium and limestone units. General groundwater flow direction is towards to south of the plain. The depths from the surface of the groundwater in the plain were measured as between 0 and 22.10 m. Groundwaters are Ca-HCO₃ and Ca-Mg-HCO₃ facies. The lake water is Na-Cl-SO₄ facies. The increase of Mg and Na are originated from Marmaris peridotite and Kızılcadağ melange related to water-rock interaction, respectively. The US salinity diagram, Wilcox diagram, residual sodium carbonate (RSC), permeability index (PI) and Magnesium hazard (MH) are used to assess the suitability of groundwater for agricultural purposes. Groundwaters are suitable for usage as irrigation water in the basin. Agricultural activity is most important pollution in the plain. Nitrate content is increased as locally because of agricultural activity

in the research area. In addition, heavy metal contents of groundwater such as Al, As, B, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb and Zn were also researched. Increase of as is related to water rock interaction as dominant in the basin. Locally increases of Al, Cr, Fe, Ni and Zn concentrations are originated from geogenic and antropogenic factors. These concentrations are exceeded to drinking water standards as locally.

Keywords: Yarışlı lake, wetland, hydrogeology, hydrogeochemistry, Burdur

GİRİŞ

Sulak alanlar gerek ekolojik dengenin sağlanmasında, gerekse biyolojik çeşitliliğin korunmasında büyük önem taşımalarının yanı sıra bölge ve ülke ekonomisine büyük katkıları olan ekosistemlerdir. Ekosistem içinde bulunan ve belirli işlevleri olan her öge kendi içinde ve diğer ögeleri karşılıklı uyum içindedir. Bu uyumun çeşitli şekillerde bozulması tüm sistemlerin bozulmasına yol açabilir ve varlığını tehdit edebilir. Ekosistemin bir parçası olan havzalar; arazi, su ve ekosistem yönetimi ve devamlılığı için en uygun planlama üniteleridir (Kauffman, 2002). Havzalar, doğal ve insani girdileri olan bir üretim sistemleridir. Sulak alanlar bu sistemin bir parçası olup, en verimli biyolojik üretim sistemleri olarak bilinmektedir. Karasal ve aquatik sistemler arasındaki sınır üzerinde meydana gelmekte ve yaşamsal öneme sahip ekosistemleri oluşturmaktadırlar. Sulak alanlar, nehir kanalı içinde, dere kenarlarında, göl yada taşkın düzlüklerinde oluşabilmektedir (Kusler, 2003).

Sulak alanlar, ekosistemleri hakkındaki yetersiz bilgiler nedeniyle genellikle atıl alanlar olarak tanımlanmışlar ve bu nedenle de özellikle endüstri devriminin başlamasıyla oldukça büyük miktarlarda kayba uğramışlar ve/veya tahrip edilmişlerdir. Bu tahrip 1970'lerde sulak alanlar üzerinde başlatılan bilimsel araştırmalar sonucunda, bu alanların aslında çok önemli işlevleri ve yararları olduğu kanıtlanıncaya kadar hızlı bir şekilde sürmüştür. Uluslararası antlaşmalarla sulak alanların korunması önem kazanmaya başlamış ve kesin bir sulak alan tanımına ihtiyaç duyulmuştur. 1971 yılında İran'ın Ramsar kentinde imzalanan ve kısaca Ramsar Sözleşmesi olarak bilinen "Sulak Alanların Korunmasına Dair Sözleşme" ile sulak alan ekosistemleri için kullanılan ifade ve terimlerin tanımlanmasındaki karmaşa giderilmiştir (ÇOB, 2008).

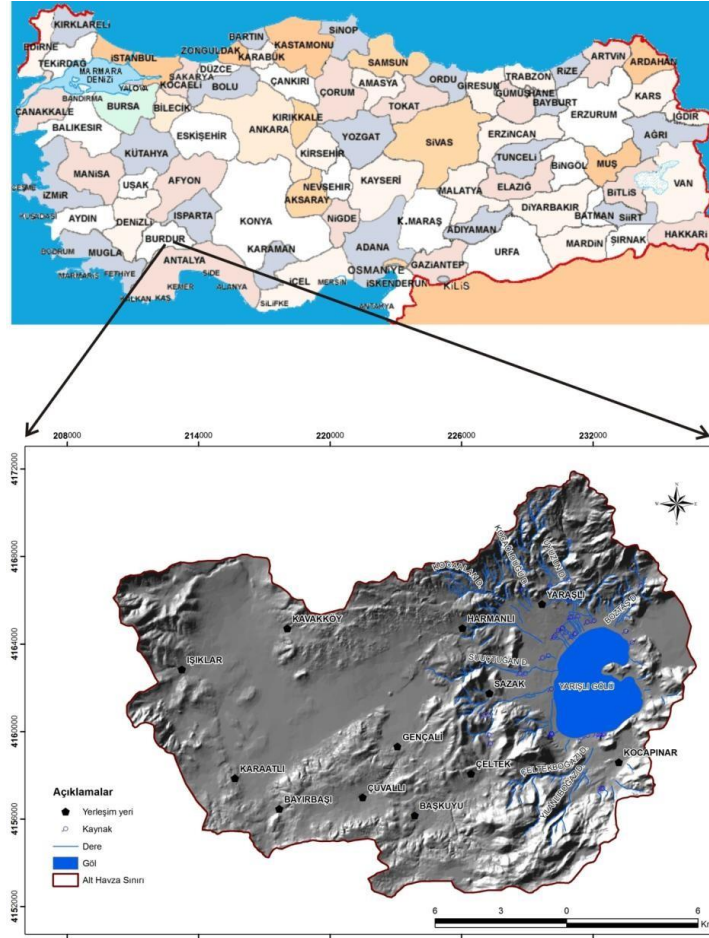
Ülkemizde yer alan sulak alanların büyük bir kısmında; iklim değişikliği, plansız barajların yapılması gibi nedenlerle suyun bilinçsizce kullanımından dolayı su miktarlarında azalmalar yaşanmakta ve sulak alanlar yok olma tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle sulak alanların sürdürülebilir kullanımının sağlanması için havza bazında ayrıntılı hidrojeolojik çalışmaların yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada hidrojeolojik amaçlı ayrıntılı araştırmaların

bulunmadığı Yarışlı Gölü (Burdur) sulak alanının incelenmesi planlanmıştır (Şekil 1). Yarışlı Gölü Havzası için yapılmış jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmaların bulunmaması su kaynaklarının mevcut durumu ve sulak alanının sürdürülebilirliği açısından ayrıntılı çalışmaların yapılması gerekliliğini göstermektedir. Bu araştırmaların bilimsel değerinin olması yanı sıra bölge halkı ve yerel yöneticiler tarafından da büyük önemi bulunmaktadır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Havza 1/25 000 ölçekli Denizli M23c2, c3, c4, d3, M24d4, N23b1, b2 paftalarında yer almaktadır. Yarışlı Gölü beslenme havzası sınırı 1/25 000 ölçekli topoğrafik haritalar üzerinde belirlenmiş ve havza sınırı içerisinde kalan alanın jeoloji haritası önceki araştırmalar ve arazi çalışmalarından yararlanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanında bulunan jeolojik birimlerin su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre hidrojeolojik sınıflaması yapılarak haritalanmış ve akifer birimler tanımlanmıştır. Akiferlerin hidrolik parametrelerinin tespit edilmesi için temsili lokasyonlarda seçilen kuyularda akifer türü ve pompaj deney verilerine göre hidrolik iletkenlik (K, permeabilite katsayısı), transmisibilite katsayısı (T) ve depolama katsayısı (S) değerleri *Jacob Yöntemi* ile belirlenmiştir. Ayrıca, çalışma alanının yeraltı suyu seviyesinin konumu ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla iki dönem (Nisan-Eylül 2015) statik seviye ölçümleri yapılarak bu dönemlere ait yeraltı suyu seviye haritaları hazırlanmıştır. Yarışlı Gölü Havzası çevresindeki Burdur, Tefenni, Çardak ve Dinar Devlet Meteoroloji istasyonlarından alınan uzun yıllara ait yağış ve sıcaklık verileri kullanarak yeraltı suyu bilançosu hesaplanmıştır. Havzada yüzey ve yeraltı sularının kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla çift kapaklı polietilen şişelere asitli (HNO₃) ve asitsiz olarak su örnekleri alınmıştır. Örnek alımı işlemleri sırasında Hanna marka çok parametrelili portatif su kalitesi ölçüm cihazı kullanılarak suların sıcaklık (T), toplam çözünmüş katı madde (TDS), elektriksel iletkenlik (EC) ve hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) değerleri yerinde ölçülmüştür. Su örneklerinin anyon (Cl, SO₄, HCO₃, CO₃), nitrat ve nitrit analizleri Süleyman Demirel Üniversitesi Jeotermal Enerji, Yeraltı suyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarlarında, katyon (Na, K, Ca, Mg) ve ağır metal analizleri ACME (Kanada) laboratuvarında APHA, AWWA ve WPCF (1995) standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı grafik ve diyagramlar kullanılarak değerlendirilmiştir.

Yarıklı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi



Şekil 1. İnceleme alanının yer bulduru haritası

BULGULAR VE TARTIŞMA

Jeoloji

İnceleme alanında alttan üste doğru allohton konumlu kaya birimleri ile paraallohton ve neotokton konumlu kaya birimleri yüzeylenmektedir. Likya napları bölgede Marmaris ofiyolit napı, Gülbahar napı ve Domuzdağ napı ile temsil edilmektedir. Likya napları üzerinde paraallohton konumlu Geç Paleosen yaşlı Mamatlar formasyonu gözlenmektedir. Havzada bulunan Marmaris Ofiyolit napına ait birimler Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu, Permian birimlerdir. Gülbahar napı Orhaniye formasyonu ve Tabakalı çört üyesi, Domuzdağ napı ise Dutdere kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Neotokton örtü kayaları olarak Çameli formasyonu ve alüvyon bulunmaktadır (Şekil 2). Bölgedeki neotokton birimleri oluşturan ve gölsel kireçtaşı, kumtaşı, marn, çakıltaşı vb. kaya türlerinden oluşan Çameli formasyonu (Erakman ve ark., 1982), genel olarak ova kenarlarında Kuvaterner birimleriyle birlikte görülmektedir. Marmaris ofiyolit

napına ait bir birim olan Marmaris Peridotiti, genelde peridotit, serpantin ve serpantinleşmiş peridotitlerden oluşmaktadır (Sarıkaya ve Seyrek, 1976; Sarp, 1976; Çapan, 1980). İnceleme alanında Yarıklı Gölü kuzeybatısındaki yüksek topoğrafyada geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Birim içerisinde serpantinleşme ileri düzeyde olup hakim kaya türü harzburjittir. Harzburjitlerle birlikte ardalan ve kamalanan dunitler de izlenmektedir. Ofiyolitli melanj ve olistostromla temsil edilen Kızılcadağ melanj ve olistostromu, Serpantin bir hamur içerisinde Permian yaşlı karbonat, Triyas, Jura, Kretase yaşlı karbonatlar, radyolarit- çört, çörtlü kireçtaşı, neritik kireçtaşları ile bazalt, spilit, tuf, gabro, diyabaz vb. bloklar kapsar (Bilgin ve ark., 1990). İnceleme alanında Kızılcadağ ofiyolitli melanjının alt dokanağı tektonik olup, Marmaris Peridotitinin üzerine bindirmiştir. Kızılcadağ melanj ve olistostromu içinde bloklar ve/veya üzerinde küpler halinde Permian yaşlı karbonatlar bulunmaktadır. Orhaniye formasyonu, ince- orta- kalın tabakalı, gri, krem, kirli sarı, yersel pembe renkli, çok sık kıvrımlı, yer yer bazik volkanit ve radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli çörtlü mikritlerden oluşmaktadır. Orhaniye formasyonu Kızılcadağ ofiyolitli

melanjı üzerine tektonik olarak gelmekte ve kendisi ile eş zamanlı diğer yapısal birimlerle tektonik olarak bir arada bulunmaktadır (Poisson, 1977; Yalçınkaya ve ark., 1986). Dutedere kireçtaşı orta - kalın tabakalı, yersel masif, aşınma yüzeyi gri, açık gri, beyaz renkli, yer yer megalodonlu yada algli rekristalize kireçtaşlarından oluşmaktadır (Şenel ve ark., 1989). Birim, Yarışlı Gölü çevresinde geniş alanları kaplamaktadır. Birim içerisinde yer yer ammonitico-rosso fasiyesine karşılık gelen kırmızımsı, pembemsi kireçtaşları bulunmakta olup *Yarışlı üyesi* olarak adlandırılmıştır (Şenel, 1997). Alloktan birimler içerisinde paraalloktonlar olarak adlandırılan birimlerden olan Mamatlar formasyonu alttan üste doğru çakıltası, kiltası, kumtaşı ve yumru kireçtaşı üstte derin deniz ürünü ince çakıllı konglomera, kumtaşı, ağırlıklı olarak kiltası, marn ve killi kireçtaşından oluşmaktadır (Poisson, 1977). Güncel çökellerden oluşan Kuvaterner yaşlı Alüvyon ise tüm birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir.

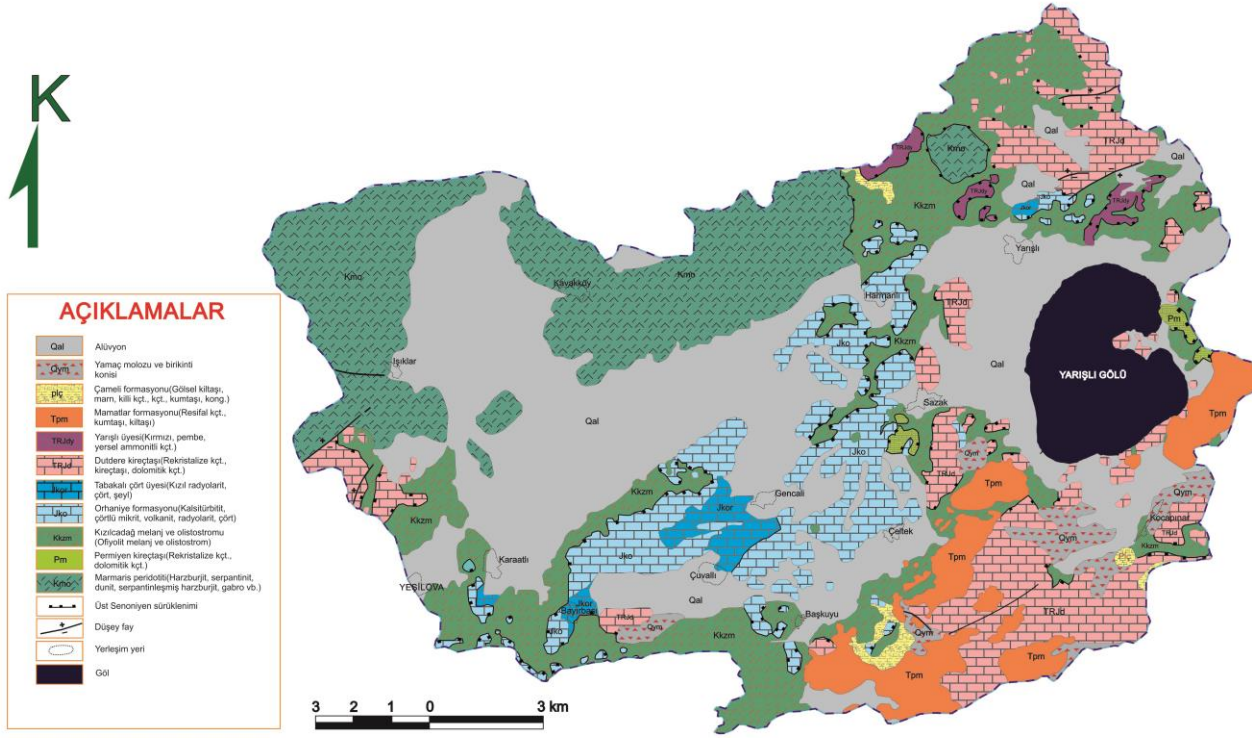
Hidrojeoloji

Alüvyon ve yamaç molozu inceleme alanında yayılımı ve verimi fazla olan '*Taneli Ortam Akiferi*'ni temsil etmektedir. Ova içerisinde geniş bir yayılıma sahip olan alüvyon malzeme güncel akarsuların ve yamaç döküntülerinin oluşturduğu tutturulmamış tortullardan oluşmakta ve allokton konumlu birimler arasındaki çukurluk alanlarda ve Yarışlı Gölü çevresinde yayılım göstermektedir. Havzada açılmış kuyuların büyük bir bölümü alüvyon akifer içerisinde açılmıştır. Alüvyon akifer kalınlığının en fazla olduğu bölge Yarışlı Gölü'nün yakın çevresi, özellikle Yarışlı, Sazak, Düğür köyleridir. Alüvyon akiferin kalınlığı havza içerisinde 148 metreye kadar ulaşmaktadır. Alüvyon akiferde açılmış sondaj kuyularının debileri 1.5 l/s ile 57.47 l/s arasında değişmektedir. Kireçtaşları, çatlak ve erime boşluklarında önemli miktarlarda yeraltısuyu bulundurabilen ve suyun hareketine izin veren yapılarıdır. Dutedere kireçtaşı, Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu içerisinde ayırtlanan Permien kireçtaşı '*Erimeli Çatlaklı Kaya Ortam Akiferi*' olarak sınıflandırılmıştır. Kocapınar Köyünde açılan iki adet kuyuda kireçtaşı birimi kesilmiştir. İnceleme alanında yayılımları kısıtlı alanlarda olan ve su bulundurma açısından benzer hidrojeolojik özellikler taşıyan Orhaniye ve Mamatlar formasyonları '*Akitard Ortam-1*' olarak ayırtlanmıştır. Orhaniye formasyonu, bazik volkanit, radyolarit, çört, şeyl ara düzeyli çörtlü mikrit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşmaktadır. Birim içerisindeki kalsitürbidit seviyeleri ve dolomitik kireçtaşları az miktarda su bulundurabilirler de volkanitler, radyolarit-çört-şeyl ara düzeyli çörtlü mikritler su bulundurma özelliğine sahip değildir. Bu formasyon, ovanın güney ve güneydoğu bölümlerinde yüzeylemektedir. Çalışma ala-

nının Yarışlı Gölü güneyinde gözlemlenen Mamatlar formasyonu, alttan üste doğru çakıltası, kiltası, kumtaşı ve yumru kireçtaşı, üstte ince çakıllı konglomera, kumtaşı, ağırlıklı olarak kiltası, marn ve killi kireçtaşından oluşmaktadır. İçerisindeki çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşları formasyona su bulundurma özelliğini kazandırmakta ancak kiltası ve marn seviyeleri akifer olabilme özelliğini kısıtlamaktadır. İnceleme alanında çok küçük alanlarda yüzeyleyen Çameli formasyonu '*Akitard ortam-2*' olarak sınıflandırılmıştır. Çameli formasyonu, çakıltası, kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı, marn, konglomera vb., kaya türlerinden oluşmaktadır. Birim içerisinde bulunan kiltası, marn seviyelerinin geçirimsiz özellikte olması, birimin akifer olabilme kapasitesini kısıtlamaktadır. Kızılcadağ ofiyolitleri ve Marmaris peridotitleri '*Akifuj Ortam*' olarak ayırtlanmıştır. Ofiyolitik malzemeler içerisindeki kireçtaşlarında yeraltısuyu bulunabilirken genel yapı itibarıyla bu birimler yeraltısuyunu iletebilecek kapasitede değildir.

Akiferlerin hidroloji parametreleri DSİ 18. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 20 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Alüvyon kesilen kuyularda hesaplanan permeabilite katsayısı (K) $1.02 \times 10^{-4} - 8.51 \times 10^{-6}$ m/s, transmisibilite katsayısı (T) $1.02 \times 10^{-3} - 5.93 \times 10^{-4}$ m²/s ve depolama katsayısı (S) değerleri $1.11 - 5.16 \times 10^{-4}$ arasında değişmektedir (Çizelge 4.6). Alüvyon ve kireçtaşı kesilen kuyularda K değeri $1.12 \times 10^{-5} - 6.53 \times 10^{-6}$ m/s, T değeri $1.38 \times 10^{-3} - 8.47 \times 10^{-4}$ m²/s ve S değerleri $2.32 \times 10^{-1} - 5.29 \times 10^{-4}$ arasında hesaplanmıştır. Kireçtaşı akiferinde bulunan kuyuda permeabilite katsayısı 9.9×10^{-6} m/s, transmisibilite değeri 6.73×10^{-4} m²/s ve depolama katsayısı 1.84×10^{-1} arasında değişmektedir (Çakmak, 2016).

Alüvyon akiferde yeraltısuyu seviye değişimleri ve akım yönünün belirlenmesi amacıyla, temsili olarak seçilen 28 adet kuyuda yağışlı ve kurak dönemde (Mayıs - Ekim 2015) yeraltısuyu seviye ölçümleri yapılmıştır. Bölgede genel yeraltısuyu akım yönü havzanın doğusuna Yarışlı Gölü'ne doğrudur. Havzada yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 0-22.10 m arasında ölçülmüştür. Kurak dönemi temsil eden Ekim-2015 ölçümleri ile yağışlı dönemi temsil eden Mayıs-2015 yeraltısuyu seviye ölçümleri arasında 0-5.07 m arasında değişen seviye düşümleri tespit edilmiştir. Bu düşüşler sulama suyu olarak kullanım ve yağış miktarındaki azalma ile doğrudan ilişkilidir (Çakmak, 2016).



Şekil 2. İnceleme alanının jeoloji haritası

Hidroloji

Yarıklı Gölü Sulak alanın içinde bulunduğu hidrolojik sistemin ayrıntılı bir şekilde tanımlanması için alanın içinde ve çevresinde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarına ait ölçüm verileri değerlendirilmiştir. Genel olarak yüzey ve yeraltılarının en önemli beslenme elemanı yağıştır. Yarıklı Gölü Havzasına düşen ortalama yağış miktarının belirlenmesi için havza sınırları içerisinde ve civarında yer alan Devlet Meteoroloji istasyonlarında (DMI) ölçülen yıllık ortalama yağış verileri kullanılmıştır. İnceleme alanı ve yakın çevresinde uzun yıllar düzenli ölçüm verilerine sahip Burdur, Tefenni, Çardak ve Dinar yerleşim merkezlerinde bulunan gözlem istasyonları bulunmaktadır. İnceleme alanı için ortalama yağış miktarı bu meteoroloji istasyonları verilerinden yararlanarak eş yağış (izohyet) eğrileri yöntemi ile 431.8 mm olarak hesaplanmıştır. Buna göre yaklaşık 324 km²'lik havzaya düşen ortalama yıllık yağış miktarı 139.90x10⁶ m³/yıl'dır. Havzada buharlaşma ile gerçekleşen boşalım miktarı Thornthwaite yöntemi ile 111.88x10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Havzada bulunan yaklaşık 170 adet sondaj kuyusundan yılda 10.98x10⁶ m³/yıl su çekilmektedir. Havza için yapılan meteorolojik bütçe hesaplamalarına göre toplam beslenme ile toplam boşalım arasında 18.69 x 10⁶ m³/yıl'lık fark bulunmaktadır.

Ölçümlerde ve hesaplamalarda olabilecek hatalar dikkate alındığında beslenme-boşalım farkının %60'ı olan 11.21x10⁶ m³/yıl emniyetli kullanılabilir yeraltısuyu miktarı olarak kabul edilmiştir (Çakmak, 2016).

Hidrojeokimya

Suların hidrojeokimyasal özellikleri kullanım alanlarını denetleyen en önemli unsurdur. Yüzey ve yeraltılarının kalitesi insan faaliyetleri ve doğal etkenlerin bir fonksiyonudur. Hidrojeokimyasal araştırmalar bu etkenlerin tespiti ve sonuçları hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Havzada bulunan yüzey ve yeraltılarının hidrojeokimyasal özellikleri, kalitesi ve kullanım koşullarının tespiti için bölgeyi temsil edecek sondaj kuyuları, kaynak suları ve Yarıklı Gölü suyundan Mayıs-2015 döneminde su örnekleri alınmıştır. Havzada bulunan yüzey ve yeraltılarının iyon özelliklerinin belirlenmesi amacıyla; sertlik, hidrojen iyonu konsantrasyonu (pH) ve özgül elektriksel iletkenlik (EC) gibi genel kimyasal özellikler değerlendirilmiştir (Tablo 1). Havzada yeraltılarının pH değeri 7.08-9.26 arasında değiştiği için *Bazik karakterli*, Yarıklı Gölü suyunun pH değeri ise 9.27-9.44 arasında değiştiği için *Bazik* olarak tanımlanmıştır. İnceleme alanında yeraltısuyunun özgül elektriksel iletkenlik (EC) değerleri 390-1400 µS/cm arasında, göl sularının ise 9670-15410 µS/cm arasında ölçülmüştür. İnceleme alanında yeraltılarının

sertliği 0.7-76.12 Fr^o ve göl sularının sertliği 22.32-29.72 Fr^o arasında değişmektedir (Tablo 1) (Çakmak,

2016). Mayıs-2015 döneminde alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Yarışlı Gölü havzası su kaynaklarının insitü ölçümleri (Mayıs 2015)

Bölge		No	EC µS/cm	pH	T ^o C	TDS	SAR	%Na	Sertlik
Yarışlı	Kirse kyn	YK1	410	7.45	19.40	0.23	0.18	15.06	20.79
Kavak	DSİ ky	Y2	890	7.54	17.20	0.44	0.10	8.81	40.45
Işıklar	Kuyu	Y3	1330	7.85	17.60	0.66	0.02	2.41	76.62
Bayırbaşı	Kuyu	Y4	780	7.28	16.30	0.40	0.20	16.40	30.47
Bayırbaşı	Kaynak	YK5	640	7.33	16.50	0.32	0.20	16.18	25.57
Çuvallı	Kuyu	Y6	460	7.57	16.70	0.23	0.19	16.00	23.81
Gençali	Kuyu*	Y7	700	7.41	16.70	0.35	0.12	10.48	29.92
Gençali	Kuyu	Y8	870	7.33	16.70	0.42	0.15	13.22	35.27
Başkuyu	Kuyu*	Y9	520	7.58	17.00	0.26	0.11	9.94	27.13
Başkuyu	Kaynak	YK10	770	7.20	15.50	0.38	0.10	9.39	32.07
Başkuyu	Kuyu	Y11	670	7.55	16.50	0.33	0.17	14.85	27.54
Çeltek	Kuyu	Y12	390	9.26	15.20	0.19	21.47	95.41	0.77
Kocapınar	Kaynak	YK13	420	7.41	14.50	0.20	0.06	5.21	17.35
Yarışlı	Göl	Y14	12400	9.35	17.10	6.30	33.40	96.82	23.75
Harmanlı	DSİ Artez.	Y15	460	7.80	15.10	0.23	0.30	23.15	15.03
Harmanlı	Kuyu*	Y16	490	7.68	15.00	0.25	0.23	18.59	25.70
Yarışlı	DSİ ky	Y17	620	7.88	17.50	0.31	0.25	19.96	24.56
Yarışlı	DSİ ky	Y18	970	7.08	16.20	0.48	0.16	13.96	43.35
Yarışlı	Göl	Y19	9670	9.44	18.90	4.88	31.64	96.60	23.67
Yarışlı	Kaynak	YK20	1000	7.12	16.30	0.5	0.18	15.01	59.82
Yarışlı	Kuyu	Y21	1400	7.15	16.00	0.70	0.17	14.53	63.23
Sazak	Kuyu	Y22	860	7.29	15.90	0.43	0.17	14.33	36.63
Sazak	Göl	Y23	14880	9.39	20.90	7.30	28.77	96.39	29.12
Sazak	Göl	Y24	14080	9.28	23.00	7.04	28.25	96.31	29.72
Kocapınar	Göl	Y25	15410	9.43	23.20	7.71	36.87	97.07	22.32
Düğer	Göl	Y26	15250	9.27	22.50	7.89	36.11	96.98	22.71

*İçme suyu

Havzada yüzey ve yeraltılarından Mayıs-2015'de alınan örneklere ait kimyasal analiz sonuçları Piper diyagramı ile değerlendirilmiştir. Genel olarak yeraltı-suyu örnekleri alkali toprak elementlerinin (Ca+Mg), alkali elementlere (Na+K) göre daha fazla olduğu, zayıf asit köklerinin (CO₃+HCO₃) güçlü asit köklerinden (SO₄+Cl) fazla olduğu, karbonat sertliği % 50'den fazla olan suları temsil etmektedir (Şekil 3). Piper diyagramına göre kaynak sularının genel olarak Ca-HCO₃'lü sular fasiyesinde, kuyu sularının Ca-Mg-HCO₃'lü sular ve göl sularının ise Na-Cl-SO₄'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bölgesel olarak Mg-Ca-HCO₃, Na-HCO₃-CO₃ ve Mg-Ca-Na-HCO₃ sınıfları da tespit edilmiştir (Çakmak, 2016). Mg

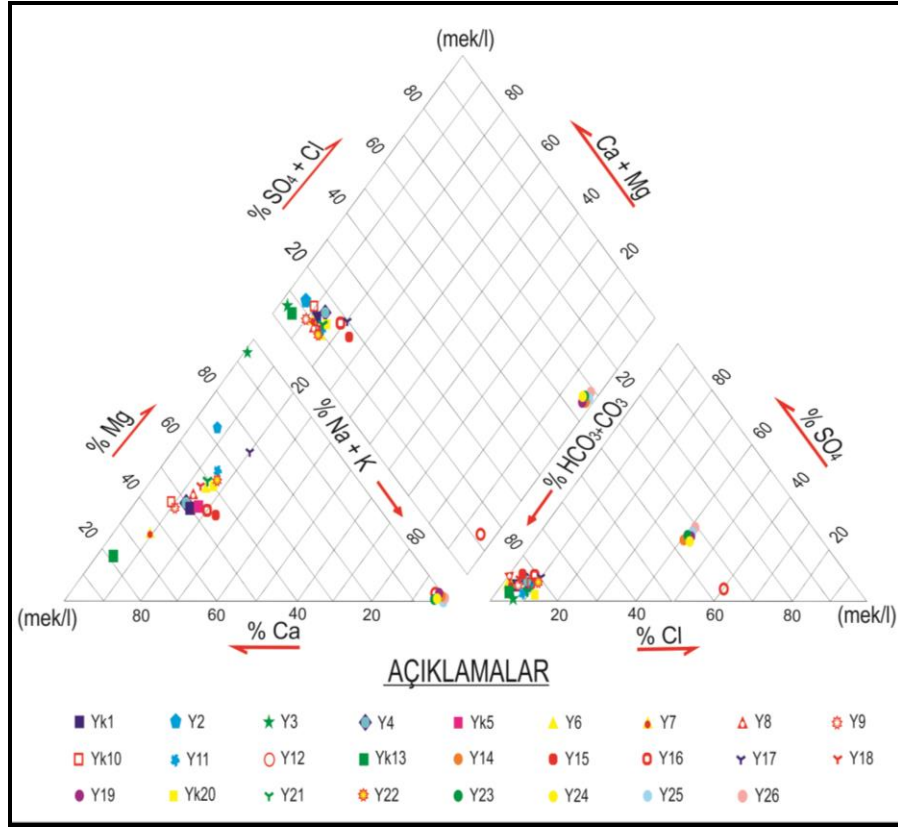
artışının Marmaris peridoditi ile kaya-su etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Yeraltı-sularında bulunan magnez-yumun kaynağı dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit vb.) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsid, tremolit gibi mineralleridir (Şahinci, 1991). Na artışının ise Kızılıcağ melanj ve olistrosromuna ait serpantin, gabro, harzburjit, dunit gibi magmatik ve ultrabazik kayalarla etkileşimden kaynaklandığı düşünülmektedir. İnceleme alanında bulunan kayalarla temas süresi, suyun miktarı, sıcaklığı ve ortamın basıncı gibi faktörlere bağlı olarak yeraltı-suyunun bileşiminde değişiklikler gerçekleşmektedir.

Tablo 2. Yarışlı Gölü havzası su kaynaklarının anyon- katyon analizleri

No	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁼ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	CO ₃ ⁼ mg/l	Su sınıfı
YK1	17.12	1.52	48.22	21.31	9.96	8.45	189.16	-	Ca-HCO ₃
Y2	17.99	0.26	49.57	68.30	20.13	24.13	396.63	-	Mg-Ca-HCO ₃
Y3	8.71	0.40	15.07	177.2	16.45	7.01	811.57	-	Mg-HCO ₃
Y4	27.60	0.89	73.42	29.56	10.15	25.62	231.88	-	Ca-HCO ₃
YK5	22.96	2.18	60.19	25.67	4.31	20.77	299	-	Ca-HCO ₃
Y6	20.90	0.39	48.45	28.51	6.10	14.25	280.69	-	Ca-HCO ₃
Y7	16.20	1.40	87.53	19.65	8.65	18.50	341.71	-	Ca-HCO ₃
Y8	24.77	0.53	75.08	40.23	6.14	27.43	421.04	-	Ca-Mg-HCO ₃
Y9	13.84	0.86	64.77	26.69	9.43	10.45	299	-	Ca-HCO ₃
YK10	15.35	0.91	74.32	32.91	16.06	18.90	317.3	-	Ca-HCO ₃
Y11	22.17	0.73	46.54	38.74	10.41	15.42	311.2	-	Ca-Mg-HCO ₃

Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi

Y12	75.95	0.19	2.44	0.39	6.33	11.63	79.3	54	Na-HCO ₃ -CO ₃
YK13	4.41	0.62	58.73	6.56	2.48	4.52	195.26	-	Ca-HCO ₃
Y14	3650	18	16.1	48	2418.3	1977.5	1037	1260	Na-HCO ₃ -CO ₃
Y15	20.86	0.19	35.04	15.30	6.54	20.15	189.16	-	Ca-Na-Mg-HCO ₃
Y16	27.02	0.20	60.65	25.71	11.63	23.32	213.57	-	Ca-HCO ₃
Y17	28.23	0.39	29.43	41.87	14.91	25.10	231.88	-	Mg-Ca-Na- HCO ₃
Y18	32.48	1.27	86.92	52.69	18.37	22.18	536.98	-	Ca-Mg-HCO ₃
Y19	3445	21	20.7	45	2536.9	2052.3	610	1620	Na-Cl-SO ₄
YK20	48.65	0.69	117.5	74.18	31.77	40.79	665.12	-	Ca-Mg-HCO ₃
Y21	49.49	0.56	121.4	80.11	24.41	30.53	585.79	-	Ca-Mg-HCO ₃
Y22	28.50	3.09	67	48.44	31.60	29.62	421.04	-	Ca-Mg-HCO ₃
Y23	3854	17.8	35.3	49.4	2532.7	2011.4	1037	1260	Na-Cl-SO ₄
Y24	3862	19	36.7	50	2343.9	1881.1	1159	1140	Na-Cl-SO ₄
Y25	3786	20	18.6	43	1968.6	1550.2	915	900	Na-Cl-SO ₄
Y26	3772	22	18.5	44	2846.9	2525.6	1281	1200	Na-Cl-SO ₄



Şekil 3. Piper diyagramı

İnceleme alanındaki suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde öncelikle Türk İçme Suyu (TSE 266) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2006, 2011) standartları kullanılmıştır. Havzada Gençali, Başkuyu ve Harmanlı'da bulunan sondaj kuyularından ve kaynak sularının bir kısmından içme suyu amacı ile yararlanılmaktadır. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-katyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre; bölgede yeraltısularının genel olarak 'iyi- çok iyi kaliteli sular' sınıfında yer aldığı görülmektedir. Bazı örneklerde EC ve sertlik değerindeki artışlar 'orta kaliteli sular' sınıfını da tem-

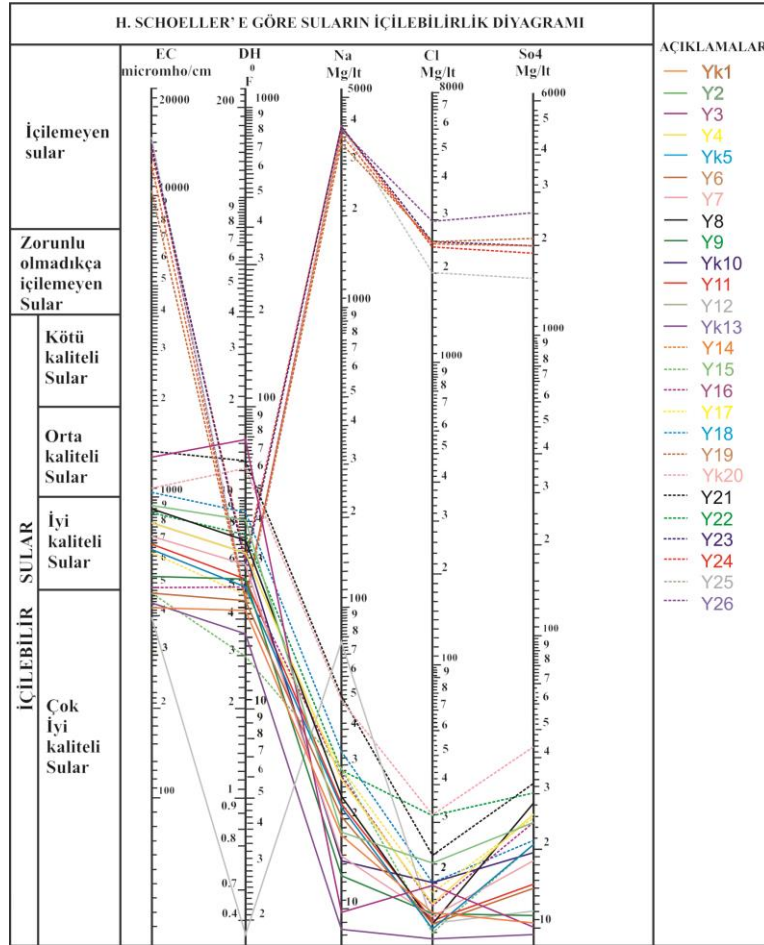
sil etmektedir. Göl örnekleri ise 'İçilemeyen sular' sınıfındadır (Şekil 4; Çakmak, 2016).

Suların sulamada kullanım özellikleri

Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. ABD Tuzluluk laboratuvarı diyagramına göre inceleme alanındaki yeraltısuları orta tuzlulukta - az sodyumlu suları temsil eden 'C₂S₁' ve fazla tuzlu-çok fazla sodyumlu suları temsil eden 'C₃S₄' ve göl örnekleri ise 'C₄S₄' sınıfında yer almaktadır (Şekil 5). Wilcox diyagra-

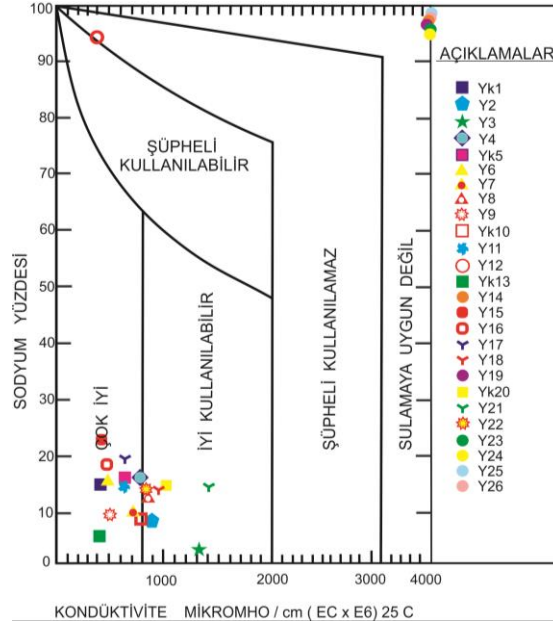
mına göre inceleme alanındaki yeraltı suları 'çok iyi - iyi kullanılabilir sular' ve göl örnekleri ise 'sulamaya uygun olmayan sular' sınıflarında yer almaktadır (Şekil 6). Sodyum adsorbsiyon oranı (SAR), sulama suyu olarak kullanıma uygunluğun belirlenmesinde en çok yararlanılan ölçütlerden biridir. İnceleme alanında SAR değerleri yeraltı sularında 0.02-0.30 arasında

değişmektedir. Sadece Y12 nolu sondaj kuyusundan alınan örnekte 21.47 değeri tespit edilmiştir. Göl sularının SAR değerleri ise 28.25-36.87 arasındadır. Havzada Y12 örneği hariç yeraltı suları SAR değerine göre "Çok iyi özellikte sulama suyu", göl örnekleri ise "Kötü özellikte sulama suyu" sınıfında yer almaktadır.



Şekil 4. Schoeller içilebilirlik diyagramı

Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi



Şekil 6. Wilcox diyagramı

Artıksal sodyum karbonat (RSC): RSC sulamada kullanılan suyun karbonat ve bikarbonat içeriğinin tehlike etkisinin tespiti için kullanılmaktadır (Aghazadeh ve Mogaddam, 2011). RSC değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Eaton, 1950). $RSC < 1.25$ ise sulama için uygun, 2.5'dan büyük değerler ise uygun olmayan sular olarak tanımlanmaktadır (USE-PA, 1999).

$$RSC = (rCO_3 + rHCO_3) - (rCa + rMg) \quad (1)$$

İnceleme alanına ait RSC değerlerine göre, yeraltı suları Y12 örneği hariç sulama için uygun, göl suları ise sulama için uygun olmayan suları temsil etmektedir (Tablo 3).

Geçirgenlik indeksi (PI): PI değeri sulama suyu için uygunluğun değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. PI değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Doneen, 1964; WHO 1989). PI değerine göre üç sınıf ayırt edilmektedir. $>75\%$ sınıf I, $25-75\%$ sınıf II ve $<25\%$ değerleri sınıf III olarak değerlendirilmektedir. I ve II sınıf sular iyi sulama sularıdır (Ragunath, 1987; Aghazadeh ve Mogaddam, 2011; Ramesh ve Elango, 2012).

$$PI = 100 \times [(rNa + \sqrt{rHCO_3}) / (rNa + rCa + rMg)] \quad (2)$$

İnceleme alanında PI değerleri yeraltı sularında Y12 hariç $25.64-68.16$ arasında değişmektedir. Y12 örneğinde PI 128.53 'dür. Göl sularının PI değeri ise $98.98-100.02$ arasında değişmektedir. Geçirgenlik indeksi değerine göre yeraltı suları genel olarak II. sınıf, göl suları ise III. sınıf suları temsil etmektedir.

Tablo 3. Suların sulama suyu ve endüstride kullanım parametreleri

Örnek no	RSC	PI	%Na	SAR	MT	DI	F
YK1	-1.06	51.09	15.06	0.18	42.14	-0.22	49.18
Y2	-1.59	37.55	8.81	0.10	69.43	0.16	49.01
Y3	-2.02	25.64	2.41	0.02	95.09	0.36	24.28
Y4	-2.29	43.17	16.40	0.20	39.89	-0.16	76.18
YK5	-0.21	52.54	16.18	0.20	41.28	-0.12	66.24
Y6	-0.16	53.84	16.00	0.19	49.23	0.03	57.12
Y7	-0.38	45.91	10.48	0.12	27.01	0.21	46.46
Y8	-0.15	45.55	13.22	0.15	46.89	0.16	67.83
Y9	-0.53	46.70	9.94	0.11	40.44	0.17	39.02
YK10	-1.22	41.62	9.39	0.10	42.19	-0.11	43.19
Y11	-0.41	49.79	14.85	0.17	57.84	0.04	61.22
Y12	2.95	128.53	95.41	21.47	20.85	0.26	205.11
YK13	-0.27	54.09	5.21	0.06	15.55	-0.19	13.12
Y14-Göl	54.24	99.62	96.82	33.40	83.09	2.65	9875.04
Y15	0.09	68.16	23.15	0.30	41.85	-0.02	56.61
Y16	-1.64	48.22	18.59	0.23	41.13	0.12	73.24

Y17	-1.11	51.75	19.96	0.25	70.10	0.03	76.88
Y18	0.13	43.43	13.96	0.16	49.98	0.09	90.09
Y19-Göl	59.26	98.98	96.60	31.64	78.18	2.77	9328.41
YK20	-1.06	38.47	15.01	0.18	50.99	0.32	132.52
Y21	-3.05	35.48	14.53	0.17	52.10	0.33	134.52
Y22	-0.43	45.13	14.33	0.17	54.37	0.05	82.99
Y23-Göl	53.17	99.02	96.39	28.77	69.75	2.86	10424.5
Y24-Göl	51.05	99.09	96.31	28.25	69.19	2.74	10448.5
Y25-Göl	40.53	99.65	97.07	36.87	79.21	2.54	10245.6
Y26-Göl	56.45	100.02	96.98	36.11	79.67	2.49	10211.8

Magnezyum Tehlikesi (MT): Sulama suyunda Mg artışı toprak kalitesini olumsuz olarak etkilemektedir. Szabolcs ve Darab (1964)'a göre magnezyum tehlikesinin belirlenmesinde elde edilen MT katsayısının >50 olması durumunda sulama suyu olarak kullanıma uygun değildir. MT<50 olan sular sulamaya elverişli sulardır. Magnezyum tehlikesi (MT) değeri aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır (Szabolcs ve Darab, 1964).

$$MT=100x [rMg / (rMg+rCa)] \quad (3)$$

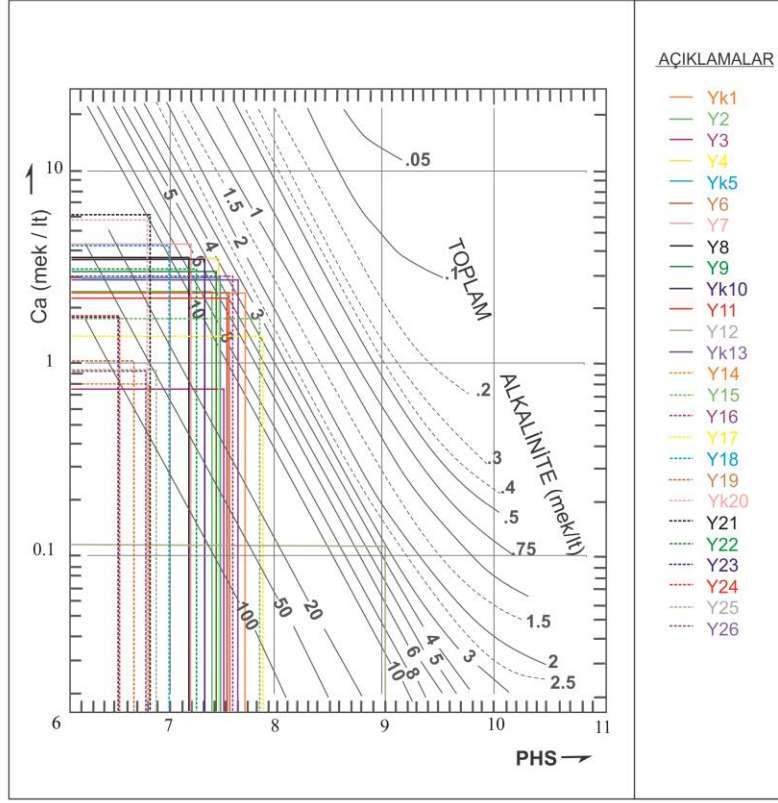
İnceleme alanında yeraltısularının MT değerleri %15.55 ile 95.09, göl sularında 69.19-83.09 arasında değişmektedir (Tablo 3). Havzada Kavak, Işıklar, Başkuyu, Yarışlı ve Sazak bölgelerinde yeraltısularının Mg içeriğinin yüksek olması nedeniyle MT değerinin >50 olduğu görülmektedir. Bu bölgelerdeki yeraltısularları ve göl suları MT değeri açısından sulama suyu olarak kullanıma elverişli değildir.

Suların Endüstride Kullanım Özellikleri

İnceleme alanındaki suların içme ve sulama suyu özellikleri yanı sıra endüstride kullanılması durumunda çürütme, kireçlendirme ve köpürme özellikleri ile beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Yarışlı Gölü havzasında suların çürütme ve kireçlendirme özelliklerini belirlemek amacıyla Langelier (1942) tarafından sunulan "*Kalsiyum Denge Diyagramı*" kullanılmıştır. Diyagram üzerinden okunan denge pH'sı (pHs) ile yerinde ölçümlerle belirlenen suyun pH değeri karşılaştırılarak DI denge endeksi aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. DI değeri > + 0.1 değeri '*karbonat çökmesi*', DI< -0.1 değeri ise '*karbonat çözünmesi*' izlenebileceğini temsil etmektedir. '

$$DI= pH- pHs \quad (4)$$

İnceleme alanında yeraltısuları ve göl sularında yapılan DI hesaplamalarına göre yeraltısularının bölgesel ölçekte "*karbonat çökmesinin izleneceği*", ve "*karbonat çözündürebilir*" özellikte suların olduğu tespit edilmiştir. Göl suları ise "*karbonat çökmesinin izleneceği*" suları temsil etmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Kalsiyum denge diyagramı

Suların köpürme özelliği: Su içerisindeki potasyum ve sodyum tuzları suların kaynarken köpürmesine neden olmaktadır. Bu durum makinelerin kazan ve borularının cidarlarında çökeltme ve kabuklanmaya yolaçar. Buna ek olarak çökeltme ve kabuklanma ısı iletkenliği azalarak yakıt masrafını arttırmaktadır. Suların köpürme özelliğinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$F = 62 r \text{ Na}^+ + 78 r \text{ K}^+ \quad (5)$$

F < 60 değeri 'Kaynarken köpürmeyen sular', F değeri 60-200 arasında ise 'Kaynarken köpüren sular', 200'den büyük ise 'Kaynarken çok köpüren sular'ı temsil etmektedir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında yeraltısuları "kaynarken köpürmeyen" ve "kaynarken köpüren" sular sınıfında yer almaktadır (Tablo 3).

Suların beton üzerine etkisi: Suların beton üzerinde etkisi içerisindeki sülfat miktarına bağlıdır. Sülfatlı suların çimento üzerindeki etkinliği oldukça büyüktür. Sülfatlı sular, çimento içerisinde önemli miktarlarda CaO, MgO, SO₃ bulunması halinde, bu bileşiklerin su ile birleşmesi durumunda önemli miktarda hacim artışına ve betonun parçalanmasına neden olabilmektedir. Sudaki SO₄ miktarı 3.12 mek/l'den fazla ise olumsuz etki başlamakta, 20.82 mek/l'den fazla ise önemli

etki gözlenmektedir (Şahinci, 1991). İnceleme alanında SO₄ miktarı yeraltısularında 0.09-0.85 mek/l arasında, göl sularında ise 32.28-52.58 mek/l arasındadır. Havzadaki yeraltısularının beton üzerinde olumsuz etkisi bulunmamaktadır. Göl sularının ise beton yapımında kullanılmaması gerekmektedir.

Sularda Kirlilik Araştırmaları

Su kaynaklarını kirleten unsurları jeojenik ve antropojenik kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeojenik kökenli kirlilik; suların içerisinde geçtikleri kayalarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde çözülmüş halde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Günümüzde yüzey ve yeraltı-suyu kaynaklarının kirliliğine sebep olan en önemli etken antropojenik kökenli olarak tanımlanan tarımsal faaliyetler, katı-sıvı atıklar ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan başka bir ifadeyle insan faaliyetleri sonucu oluşan kirliliktir. İnceleme alanında en önemli kirlilik kaynağı yoğun olarak yapılan tarımsal faaliyetler ve hayvancılıktır. Bölgede sıvı ve katı atıkların bertarafı için düzenli bir tesis bulunmamaktadır. İnceleme alanında kirlilik tespiti için Mayıs- 2015 döneminde azot türevleri ve ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 4).

Tablo 4. Yarışlı Gölü havzası su kaynaklarının ağır metal ve azot türevleri analizleri

No	Al µg/l	As µg/l	B µg/l	Cr µg/l	Fe µg/l	Mn µg/l	Ni µg/l	Pb µg/l	Zn µg/l	NO ₂ mg/l	NO ₃ mg/l
YK1	9	5.7	74	2.4	<10	0.80	0.6	0.7	25.9	<0.01	11.35
Y2	20	5.8	37	19.9	<10	0.79	0.4	0.2	1.9	<0.01	48.56
Y3	28	5.0	11	82.2	<10	0.59	1.0	<0.1	11.1	<0.01	22.12
Y4	35	8.3	109	3.5	<10	7.59	<0.2	0.2	3.2	<0.01	51.49
YK5	23	8.7	61	3.9	<10	0.76	2.1	<0.1	1.5	<0.01	19.22
Y6	59	8.7	72	7.9	26	3.76	4.5	2.4	683.7	<0.01	29.89
Y7*	21	9.0	80	4.4	129	3.34	0.3	0.1	6.3	<0.01	16.64
Y8	29	8.3	118	1.9	<10	1.09	0.8	0.5	1039.1	<0.01	13.48
Y9*	141	7.3	53	2.4	171	24.38	3.2	0.8	19.0	<0.01	39.95
YK10	20	7.4	56	2.1	<10	4.74	0.9	<0.1	2.8	<0.01	55.88
Y11	20	9.0	65	2.3	<10	0.75	2.2	<0.1	5.9	<0.01	26.92
Y12	30	7.6	124	0.7	24	0.62	1.0	0.1	2.1	<0.01	1.42
YK13	17	8.4	14	1.9	<10	0.86	47.6	0.3	4.3	<0.01	15.05
Y14	<600	<3000	5441	<300	<10000	<50	<300	<4000	<300	<0.01	27.59
Y15	18	8.4	26	1.2	21	0.65	5.8	0.1	2.2	<0.01	8.48
Y16*	24	8.9	38	2.1	<10	1.11	5.7	0.5	2.6	<0.01	6.37
Y17	117	7.6	66	31.0	330	8.42	7.1	<0.1	3.1	<0.01	26.88
Y18	65	8.2	148	8.0	50	7.81	6.1	<0.1	2.6	<0.01	16.45
Y19	747	<3000	5581	<300	<10000	70	<300	<4000	<300	<0.01	33.92
YK20	14	10.2	158	13.3	<10	0.90	8.0	<0.1	2.3	<0.01	28.00
Y21	281	12.4	169	7.5	236	31.93	13.7	0.4	6.2	<0.01	17.19
Y22	66	13.3	92	18.8	41	10.21	9.7	0.2	4.2	<0.01	21.57
Y24	<600	<3000	5016	<300	<10000	<50	<300	<4000	<300	<0.01	45.16
Y25	<600	<3000	5632	<300	<10000	<50	<300	<4000	<300	<0.01	28.51
Y26	867	<3000	5700	<300	<10000	<50	<300	<4000	<300	<0.01	6.98
TSE 2005	200	10	1000	50	200	50	20	10	-	0.5	50
WHO 2011	900	10	2400	50	-	-	70	10	-	3	50

Sularda 5-10 mg/l'nin üzerinde nitratın bulunması bu suyun antropojenik kökenli kirlenmeler tarafından kirlendiğini göstermektedir. Türk içme suyu (TS 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü içme suyu (WHO, 2006, 2008, 2011) standartlarına göre içme sularında nitrat içeriğinin 50 mg/l'yi aşmaması istenmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin genelinde nitrat içeriğinin 10 mg/l üzerinde bulunması havzada suyun antropojenik kirlenmeye maruz kaldığının göstergesidir. Havzada nitrat içeriklerinin yeraltısuları ve göl sularında 1.42-55.88 mg/l arasında değiştiği görülmektedir. Su örneklerinin nitrit içerikleri sınır değeri aşmamaktadır (Tablo 4). Bu çalışmada su kaynaklarında gözlenebilecek ağır metal kirliliğinin araştırılması amacıyla ağır metal analizleri (Al, As, B, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn) yaptırılmıştır. Bölgesel ölçekte Al, Cr, Ni ve Fe artışlarının jeojenik ve antropojenik et-

kenlerle ilişkilidir. İnceleme alanında yeraltısularının As içeriği 5-13.3 µg/l arasında değişmektedir. İçme suyu olarak da kullanılan bazı örneklerin As içeriği sınır değere çok yakındır. İnceleme alanında yeraltısularında As artışının volkanik kayalarla ilişkili olarak jeojenik kökenli ve tarımsal faaliyetlerle ilişkili olarak antropojenik kökenli olduğu düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Yarışlı Gölü havzası büyük çoğunluğu Yeşilova sınırları içerisinde, Salda ve Burdur Gölleri arasında yer almakta olup yaklaşık olarak 324 km²lik bir alana sahiptir. Havzada alttan üste doğru alloktan konumlu kaya birimleri ile paraalloktan ve neotokton konumlu kaya birimleri yüzylemektedir. Likya napları bölgede Marmaris

ofiyolit napı, Gülbahar napı ve Domuzdağ napı ile temsil edilmektedir. Likya napları üzerinde paraallokton konumlu Geç Paleosen yaşlı Mamatlar formasyonu gözlenmektedir. Havzada bulunan Marmaris Ofiyolit napına ait birimler Marmaris Peridotiti, Kızılcadağ Melanj ve Olistrosromu, Permiyen birimlerdir. Gülbahar napı Orhaniye formasyonu ve Tabakalı çört üyesi, Domuzdağ napı ise Dutedere kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Neotokton örtü kayaçları olarak Çameli formasyonu ve alüvyon bulunmaktadır.

İnceleme alanında yüzeyleyen litolojik birimler fiziksel özellikleri ve akifer olabilme potansiyellerine göre hidrojeolojik açıdan yeniden değerlendirilmiştir. Havza sınırları içerisinde geniş alanlarda yüzeyleyen alüvyon ve yamaç molozu *Taneli Ortam Akiferi*, Dutedere kireçtaşı, Kızılcadağ Melanj ve Olistostromu içerisinde ayrırtlanan Permiyen kireçtaşı '*Erimeli çatlaklı kaya ortam akiferi*', Orhaniye ve Mamatlar formasyonları '*Akitard ortam-1*', Çameli formasyonu '*Akitard ortam-2*', Kızılcadağ ofiyolitleri ve Marmaris peridotitleri *Akifüj Ortam* olarak ayrırtlanmıştır. İnceleme alanında alüvyon ve kireçtaşı birimlerinden yeraltısuyu alınmaktadır. Bölgede genel yeraltısuyu akım yönünün havzanın doğusuna Yarışlı Gölü'ne doğru olduğu görülmektedir. Havzada yeraltısuyunun yüzeyden derinliği 0–22.10 m arasında ölçülmüştür. Havza için yapılan meteorolojik bütçe hesaplamalarına göre emniyetli kullanılabilir yeraltısuyu miktarı $11.21 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplanmıştır.

Piper diyagramına göre kaynak sularının genel olarak Ca-HCO₃'lü sular fasiyesinde, kuyu sularının Ca-Mg-HCO₃'lü sular ve göl sularının ise Na-Cl-SO₄'lü sular fasiyesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca, bölgesel olarak Mg-Ca-HCO₃, Na-HCO₃-CO₃ ve Mg-Ca-Na-HCO₃ sınıfları da tespit edilmiştir. Mg artışının Marmaris peridotiti, Na artışının ise Kızılcadağ melanj ve olistrosromuna ait litolojiler ile kaya-su etkileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. İnceleme alanında sondaj kuyuları ve kaynak sularından alınan örneklerin genel olarak fiziksel özellikleri ve anyon-kasyon içerikleri açısından sınır değerleri aşmadığı görülmektedir. Schoeller içilebilirlik diyagramına göre; bölgede yeraltısularının genel olarak '*İyi- çok iyi kaliteli sular*' sınıfında yer aldığı görülmektedir. Suların sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile Artıksal sodyum karbonat (RSC), Geçirgenlik indeksi (PI) ve Magnezyum Tehlikesi (MT) parametreleri kullanılmıştır. Genel olarak yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir. Havzada yapılan tarımsal faaliyetler ve hayvancılık nedeniyle yeraltısularında nitrat artışları tespit edilmiştir. İki lokasyonda TSE ve WHO tarafından içme suyu için verilen sınır değer aşılmıştır. Ayrıca, bölgesel ölçekte gözlenen As, Al, Cr, Ni ve Fe artışlarının jeojenik ve

antropojenik etkenlerle ilişkili olarak gerçekleştiği tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, 4285-YL1-15 nolu proje ise araştırmanın yapılmasını destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Aghazadeh, N., Mogaddam, A. (2011). Investigation of Hydrochemical Characteristics of Groundwater in the Harzandat Aquifer, Northwest of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 176:183–195.
- Bilgin, Z.R., Karaman, T., Öztürk, Z., Şen, M.A., Şenel, M. (1990). Yeşilova-Acıgöl Civarının Jeolojisi Raporu. MTA Rap: 9071, Ankara.
- Çakmak, M. (2016). Yarışlı Gölü (Burdur) Sulak Alanının Hidrojeoloji ve Hidrojeokimyasal İncelemesi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 117 s, Isparta
- Çapan, U. (1980). Toros Kuşağı Ofiyolit Masiflerinin (Marmaris, Mersin, Pozantı, Pınarbaşı ve Divriği) İç Yapıları, Petrolojisi ve Petrokimyalarına Yaklaşımlar. Hacettepe Üniv. Fen Bil. Enst. Doktora Tezi, 400s., Ankara.
- ÇOB (2008). Çevre Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü, Doğa Koruma Dairesi Başkanlığı, Sulak Alan Konusunda Bilinçlendirme Alt Projesi Eğitim Materyali, 131 s
- Doneen, L.D. (1964). Water quality for agriculture. Department of Irrigation, University of California, Davis, 48.
- Eaton, F.M. (1950). Significance of Carbonates in Irrigation Water. *Soil Science*, 69:123–133. DOI:10.1097/00010694-195002000-00004.
- Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M.A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar M. (1982). Toros projesine bağlı Kalkan-Köyceğiz-Çameli-Tefenni arasında kalan alanın jeolojisi ve hidrokarbon olanakları raporu. TPAO Rap: 1732.
- Kauffman G.J. (2002). What If The United States of America Were Based on Watersheds, *Water Policy*, 4: 57-68.
- Kusler, J. (2003). Wetlands and Watershed Management, Institute for Wetland Science and Public Policy of the Association of State Wetland Managers, Publication Number: 28.
- Langelier, W.F. and Ludwig H.F. (1942). Graphical methods for indicating the mineral character of natural waters. *American Water Works Association Journal* 34:335 – 352.
- Poisson, A. (1977). Recherces geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie). These Univ. Paris- Sud, Orsay, 795s.
- Ragunath, H.M. (1987). Groundwater. New Delhi: Wiley.
- 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.
- Sarıkaya, A.R., Seyrek, T. (1976). Yeşilova- Tefenni Peridotit Masifindeki Krom ve Nikel Zenginleşmeleri prospeksiyon Raporu, MTA Rap: 5764, Ankara.
- Sarp, H. (1976). Etude geologi que et petrographique du cortege ophiolitique de la region situee au nord-ouest de Ye-

- şilova (Burdur- Turquie). These department de mineralogie, Univerte'de Geneve, Geneve.
- Szabolcs, I., Darab, C. (1964). The influence of irrigation water of high sodium carbonate content on soils. In I. Szabolcs (Ed.), Proc 8th International Congress Soil Science Sodics Soils, Res Inst Soil Sci Agric Chem Hungarian Acad Sci, ISSS Trans II, 1964, 802–812.
- Şahinci, A. (1991). Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, 546 s., İzmir.
- Şenel, M., Selçuk, H., Bilgin, Z.R., Şen, A.M., Karaman, T., Dinçer, M.A., Durukan, E., Arbas, A., Örcen, S. ve Bilgi, C. (1989). Çameli (Denizli)- Yeşilova (Burdur)- Elmalı (Antalya) ve kuzeyinin jeolojisi. MTA Rap: 9429 (yayımlanmamış), Ankara.
- Şenel, M. (1997). Türkiye Jeoloji Haritaları. Denizli-J9 paftası, MTA Genel Müdürlüğü yayınları.
- TSE-266, (2005). İnsani tüketim amaçlı sular. Türk İçme Suyu Standartları TS 266 sayılı standart -Türk Standartları Enstitüsü –Ankara.
- USEPA, (1999). National Primary Drinking Water Regulations, Available at <http://WWW.epa.gov/OGWD/hfacts.html>.
- WHO, (1989) Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. In: Report of a WHO scientific group: technical report series 778, WHO, Geneva, p 74
- WHO, (2006) World Health Organization. Guidelines for drinkingwater quality [electronic resource]: incorporating first addendum, vol 1, commendations, 3rd edn. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. ISBN 92 4 154696 4
- WHO, (2008) Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: incorporating 1st and 2nd addenda, vol 1, Recommendations, 3rd edn. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. ISBN 978 92 4 154761 1 (WEB version)
- WHO, (2011). Guidelines for drinking-water quality. 4th edition, World Health Organization.
- Yalçınkaya, S., Ergin, A., Taner, K., Afşar, Ö., Dalkılıç, H. ve Özgönül, E. (1986). Batı Torosların Jeoloji Raporu. MTA Rap: 7898 (yayımlanmamış), Ankara.
-