

ISSN: 1012 - 0726 (Baskı)
ISSN: 1308 - 2477 (Online)



SAYI: 120
YIL : NİSAN 2016

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

DSİ

TEKNİK

BÜLTENİ

ÖNSÖZ

Hidrolojik araştırmalarda izotopların kullanımı Birleşmiş Milletler'e bağlı Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı'nın (International Atomic Energy Agency, IAEA) 1957 yılında kurulmasını takiben 1960'lı yılların başından itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır. IAEA bünyesindeki İzotop Hidrolojisi şubesince (Isotope Hydrology Section) yürütölen ilk araştırmaların bir bölümü Türkiye'de gerçekleştirilmiştir (örneğin, B. Payne, 1967; T. Dinçer, 1970; B. Payne and Y. Yurtsever, 1974). IAEA 1960'lı yılların başlarında DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı bünyesinde İzotop Laboratuvarının kurulmasını da desteklemiş; bu tarihten itibaren laboratuvar analiz anlamında diğer kamu ve kurumlara ve üniversitelere destek vermiş ve İzotop Teknikleri Türkiye'deki su kaynakları araştırmalarında da etkin biçimde kullanılmaya başlamıştır. Ülkemizde İzotop Hidrolojisi konusunda ilk seminer Kasım 1987 yılında **“Hidrolojide İzotoplar ve Nükleer Teknikler”** adı altında Adana'da yapılmıştır.

2002 yılında IHP (UNESCO, Uluslararası Hidroloji Programı) organizasyonu içerisinde İzotop Hidrolojisi birimi (JIHP) kurulmuş ve DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı şube Müdürlüğü Türkiye odak noktası kabul edilmiştir. Türkiye odak noktası olması sebebiyle ulusal ve/veya uluslararası ölçekte seminer ve sempozyumları rutin aralıklarla düzenlenmektedir. Bu sempozyumların amacı; üniversite, kamu ve özel sektör gibi çeşitli kesimlerde alışan İzotop Teknikleri ile ilgili araştırmacıları bir araya getirerek, bu alandaki teorik ve uygulamalı çalışmaları paylaşmak, karşılaşılan sorun ve özömleri yeni teknolojik gelişmeler işığında tartışmaktır.

05-09 Ekim 2016 tarihinde İstanbul Orhantepe AR-GE Tesisleri'nde, dördüncüsü gerçekleştirilen **“Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu”** na 16 üniversite, 6 kurum, 2 şirket ve 1 enstitüden toplam 135 katılımcı teşrif etmişlerdir. DSİ Teknik Bülteni'nin bu sayısında Sempozyum esnasında sunulan 35 bildiriden seçilen 4 bildiri yer almaktadır.

Mahir ÖZCAN
DSİ TAKK Dairesi Başkanı
DSİ Teknik Bülteni Sorumlu Müdürü

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

Sahibi

DEVLET SU İŞLERİ
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
Adına Genel Müdür
Ali Rıza DİNİZ

Sorumlu Müdür

Mahir ÖZCAN

Yayın Kurulu (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Kaya YILDIZ
Tuncer DİNÇERGÖK
M. Kemal KÖSEOĞLU
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Ali ŞAHİN

Haberleşme Adresi

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı
06100 Yüce-tepe -
Ankara

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Basıldığı Yer

Destek Hizmetleri
Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto-Film
Şube Müdürlüğü
Etlik - Ankara

SAYI : 120

YIL : NİSAN 2016

Yayın Türü

Yaygın süreli yayın
Üç ayda bir yayınlanır
(Ocak, Nisan, Temmuz,
Ekim)

ISSN 1012 - 0726

(Baskı)

1308 - 2477 (Online)

İÇİNDEKİLER

DEMRE (ANTALYA) KIYI AKİFERİNİN ÇEVRESEL İZOTOPIK VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ Pınar AVCI, C. Serdar BAYARI	1
KARABURUN YARIMADASI'NDAKİ YERALTI SULARIN FİZİKSEL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİ Alper BABA, Celalettin ŞİMŞEK, Onur SOLAK, Orhan GÜNDÜZ, Alper ELÇİ, Alim MURATHAN, Hasan SÖZBİLİR	14
İKLİM, GÖL HİDROLOJİSİ VE GÖLSEL ÇAMURLARIN DURAYLI İZOTOPLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLER: SÜNNET GÖLÜ'NDE (BOLU) BİR ÖRNEK ÇALIŞMA Faruk OCAKOĞLU, Ahmet APAYDIN, Sanem AÇIKALIN, Celal ERAYIK	26
TÜRKİYE'DE İÇME SULARINDA DÖTERİYUM KONSANTRASYONU Ayşen YARAT, Özlem SAÇAN, Tuğba TUNALI AKBAY, Refiye YANARDAĞ	35

DSI TECHNICAL BULLETIN

Publisher

On behalf of
GENERAL
DIRECTORATE OF
STATE HYDRAULIC
WORKS Ali Rıza DİNİZ
General Director

Director in charge

Mahir ÖZCAN

Editorial Board (DSİ)

Murat Ali HATİPOĞLU
Kaya YILDIZ
Tuncer DİNÇERGÖK
M. Kemal KÖSEOĞLU
Şenay ÖZKAN
Ayhan KOÇBAY
Ali Alper ÇETİN
Vehbi ÖZAYDIN
Erkan EMİNOĞLU
Bekir YAPAN
Hasan ÇAKIRYILMAZ
Mehmet KÖSEOĞLU
Ali ŞAHİN

Contact Address

DSİ Teknik Araştırma ve
Kalite Kontrol (TAKK)
Dairesi Başkanlığı
06100 Yücetepe –
Ankara / TURKEY

Tel (312) 454 38 00
Faks (312) 399 27 95
bulten@dsi.gov.tr

Place of Publication

Destek Hizmetleri
Dairesi Başkanlığı
Basım ve Foto-Film
Şube Müdürlüğü
Etlik – Ankara / TURKEY

ISSUE: 120

YEAR: APRIL 2016

Publication Type

Widely distributed
periodical
Published quarterly
(January, April, July,
October)

ISSN

1012 - 0726 (Press)
1308 - 2477 (Online)

CONTENTS

ENVIRONMENTAL ISOTOPIC AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF DEMRE COASTAL AQUIFER (ANTALYA) Pınar AVCI, C. Serdar BAYARI	1
PHYSICAL AND ISOTOPIC PROPERTIES OF WATER RESOURCES IN THE KARABURUN PENINSULA Alper BABA, Celalettin ŞİMŞEK, Onur SOLAK, Orhan GÜNDÜZ, Alper ELÇİ, Alim MURATHAN, Hasan SÖZBİLİR	14
RELATION BETWEEN CLIMATE, HYDROLOGY AND STABLE ISOTOPES OF LAKE SEDIMENTS: A STUDY FROM LAKE SÜNNET (BOLU) Faruk OCAKOĞLU, Ahmet APAYDIN, Sanem AÇIKALIN, Celal ERAYIK	26
DEUTERIUM CONCENTRATIONS OF DRINKING WATERS IN TURKEY Ayşen YARAT, Özlem SAÇAN, Tuğba TUNALI AKBAY, Refiye YANARDAĞ	35

DSİ TEKNİK BÜLTENİ'NİN AMACI

DSİ Teknik Bülteni'nde, su ile ilgili konularda, temel ve uygulamalı mühendislik alanlarında gönderilen bildiriler yayınlanır. Bildiriler, ilk önce konunun uzmanı tarafından incelenir ve değerlendirilir. Daha sonra, Hakem Kurulu uzman görüşünü de esas alarak bildirinin yayınlanıp yayınlanmamasına karar verir. Bildirilerin tamamı veya büyük bir kısmı diğer yayın organlarında yayınlanmamış olması gereklidir.

DSİ TEKNİK BÜLTENİ BİLDİRİ YAZIM KURALLARI

1. Gönderilen yazılar kolay anlaşılır dilde ve Türkçe kurallarına uygun şekilde yazılmış olmalıdır.
2. Yazıların teknik sorumluluğu yazarına aittir (yazılardaki verilerin kullanılması sonucu oluşabilecek maddi ve manevi problemlerde muhatap yazardır).
3. Yayın Kurulu, bildiriler üzerinde gerekli gördüğü düzeltme ve kısaltmaları yapar.
4. Bildiriler bilgisayarda Microsoft Word olarak bir satır aralıkla yazılmalı ve Arial 10 fontu kullanılmalıdır. Bildiriler A4 normundaki kâğıdın her kenarından 25 mm boşluk bırakılarak yazılmalıdır.
5. Sadece ilk sayfada, yazı alanı başlangıcından sola dayalı olarak, italik 10 fontunda Arial kullanılarak ilk satıra "*DSİ Teknik Bülteni*" yazılmalıdır.
6. Konu başlığı: Yazı alanı ortalanarak, "*DSİ Teknik Bülteni*" yazısından sonra dört satır boş bırakıldıktan sonra Arial 12 fontu kullanılarak büyük harflerle koyu yazılmalıdır.
7. Yazar ile ilgili bilgiler: Adı (küçük harf), soyadı (büyük harf), yazarın unvanı ile bağlı olduğu kuruluş (alt satıra) ve elektronik posta adresi (alt satıra) başlıktan iki boş satır sonra ilk yazardan başlamak üzere Arial 10 fontu ile yazı alanı ortalanarak yazılmalıdır. Diğer yazarlar da ilk yazar gibi bilgileri bir boşluk bırakıldıktan sonra yazılmalıdır.
8. Türkçe özet, elektronik posta adresinden dört boş satır sonra, özetten bir boş satır sonra ise anahtar kelimeler verilmelidir. Aynı şekilde, Türkçe anahtar kelimelerden iki boş satır sonra İngilizce özet, bir boş satır sonra ise İngilizce anahtar kelimeler verilmelidir.
9. Bölüm başlıkları yazı alanı sol kenarına dayandırılarak Arial 10 fontu kullanılarak koyu ve büyük harfle yazılmalı. Bölüm başlığının üzerinde bir boş satır bulunmalıdır.
10. Ara başlıklar satır başında başlamalı, üstlerinde bir boş satır bulunmalıdır. Birinci derecedeki ara başlıktaki bütün kelimelerin sadece ilk harfi büyük olmalı ve koyu harflerle Arial 10 fontunda yazılmalıdır. İkinci ve daha alt başlıklar normal harflerle Arial 10 fontu ile koyu yazılmalıdır.
11. Yazılar kâğıda iki sütün olarak yazılmalı ve sütün aralarındaki boşluk 10 mm olmalıdır.
12. Paragraf sola dayalı olarak başlamalı ve paragraflar arasında bir boş satır bırakılmalıdır.
13. Eşitlikler bilgisayarda yazılmalı ve numaralandırılmalıdır. Eşitlik numaraları sayfanın sağına oturmali ve parantez içinde yazılmalıdır. Her eşitlik alttaki ve üstteki yazılardan bir boş satır ile ayrılmalıdır. Eşitliklerde kullanılan bütün semboller eşitlikten hemen sonraki metinde tanımlanmalıdır.
14. Sayısal örnekler verildiği durumlarda SI veya Metrik sistem kullanılmalıdır. Rakamların ondalık kısımları virgöl ile ayrılmalıdır.
15. Yararlanılan kaynaklar metinde kaynağın kullanıldığı yerde köşeli parantez içerisinde numaralı veya [Yazarın soyadı, basım yılı] olarak belirtilmelidir. Örneğin: "..... basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [1]" veya basamaklı dolusavaklar için geometri ve eşitlikler [Aktan, 1999]" gibi.
16. Kaynaklar yazar soyadlarına göre sıralanmalı, listelenirken yazar (veya yazarların) soyadı, adının baş harfi, yayın yılı, kaynağın ismi, yayınlandığı yer ve yararlanılan sayfa numaraları belirtilerek, köşeli parantez içerisinde numaralandırılmalı ve yazarken soldan itibaren 0,75 cm asılı paragraf şeklinde yazılmalıdır. Makale başlıkları çift tırnak içine alınmalı, kitap isimlerinin altı çizilmelidir. Bütün kaynaklara metin içinde atıf yapılmalıdır.
17. Çizelgeler, şekiller, grafikler ve resimler yazı içerisine en uygun yere gelecek şekilde yerleştirilmelidir. Fotoğraflar net çekilmiş olmalıdır. Şekil ve grafikler üzerine el yazısı ile ekleme yapılmamalıdır.
18. Bildirinin tamamı 20 sayfayı geçmemeli, şekil, çizelge, grafik ve fotoğraflar yazının 1/3'ünden az olmalıdır.
19. Sayfa numarası, sayfaların karışmaması için sayfa arkalarına kurşun kalem ile hafifçe verilmelidir.
20. Yazım kurallarına uygun olarak basılmış bildirinin tam metni hem A4 kâğıda baskı şeklinde (2 adet) hem de dijital ortamda (CD veya DVD) yazışma adresine gönderilmelidir.
21. Yayınlanan bütün yazılar için "Kamu Kurum ve kuruluşlarınca ödenecek telif ve işlenme ücretleri hakkındaki yönetmelik" hükümleri uygulanır.
22. Bildiri gönderen yazarlar yukarıda belirtilenleri kabul etmiş sayılırlar.
23. Yazışma adresi aşağıda verilmiştir:

DSİ TEKNİK BÜLTENİ

DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı

06100 Yücetepe ANKARA

Tel (312) 454 3800

Faks (312) 399 2795

E-posta bulten@dsi.gov.tr

Web <http://www.dsi.gov.tr/yayinlarimiz/dsi-teknik-bultenleri>

DEMRE (ANTALYA) KIYI AKİFERİNİN ÇEVRESEL İZOTOPIK VE HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Pınar AVCI

Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara, Türkiye
pavci@hacettepe.edu.tr

C. Serdar BAYARI

Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06800 Beytepe, Ankara, Türkiye
serdar@hacettepe.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 06.10.2015, Makalenin kabul tarihi:23.02.2016)

ÖZ

Antalya'nın güneybatısında bulunan Demre Ovası'nda yıl boyunca tarımsal üretim yapılmakta, gereksinilen sulama suyu ihtiyacının tamamı Demre kıyı akiferinden temin edilmektedir. Yoğun yeraltısuyu kullanımına bağlı olarak akifer kirlenme ve tükenme riski altındadır. Bu çalışmada; Demre kıyı akiferinde hidrojeolojik sistemin tanımlanması için hidrojeokimyasal ve çevresel izotopik özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında 6 soğuk su kaynağından, 38 derin ve sığ kuyu ile deniz suyundan alınan toplam 44 örnekte majör iyon içeriği ve çevresel izotopik kompozisyon belirlenmiştir. Majör iyon içerik sonuçları özgül elektriksel iletkenlik (ÖEI) değerlerine göre 3 ayrı grupta toplanmıştır. ÖEI değeri 15000 mikroS/cm'den büyük olan kaynaklar ve deniz suyu örneği 1nci grup (NaCl fasiyesi), ÖEI değeri 1100-3700 mikroS/cm olan örnekler 2nci grup (MgCl₂ fasiyesi), ÖEI değeri 1100 mikroS/cm'den düşük olan örnekler ise 3ncü grup (CaCO₃ ve MgCO₃ fasiyesi) olarak adlandırılmıştır. Majör iyon değerlendirmesinde 1nci grupta olan örneklerin ³H değeri 1.15-3.24 TU arasında, 2nci grupta yer alan örneklerin ³H değerinin 1.47- 4.81 TU (trityum birimi) arasında, 3üncü grup örneklerinin ³H değerinin 2.43-5.03 TU arasında olduğu belirlenmiştir. Kıyı akiferinden alınan yeraltısuyu örnekleri, döteryum fazlası değeri +18 olan Yerel Meteorik Su Doğrusu üzerinde veya yakınında bulunmaktadır. Bu durum yeraltısularının nem kaynağını Akdeniz'den alan yağışlarca beslendiğini göstermektedir. Daha negatif izotop içeriğine sahip 3üncü grup örneklerinin büyük bir kısmının ise beslenme yükseltisinin daha yüksek kotlar olduğu anlaşılmaktadır. Duraylı izotop içeriğinden 2nci grup örneklerinin bir kısmının su tablasından buharlaşmaya uğradığı belirlenmiştir. Kıyıya yakın kesimlerde gerçekleşen buharlaşma, tuzluluğu dolayısı ile ÖEI değerini artırmaktadır. Çalışma kapsamında yapılan kimyasal ve izotopik analizler ile Demre Ovası'nda tatlı-geç, yaşlı-tuzlu ve bunların karışımı ile oluşan 3üncü grup suyun varlığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Hidrojeokimya, izotop, kıyı akiferi, Demre (Antalya)

ENVIRONMENTAL ISOTOPIC AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES OF DEMRE COASTAL AQUIFER (ANTALYA)

ABSTRACT

Demre Plain is located in the southwest of Antalya, where agricultural production made throughout the year and all of the needed irrigation water is supplied from Demre coastal aquifer. Aquifer is at the risk of contamination and depletion depending on intensive use of groundwater. In this study, hydrogeochemical and isotopic features were investigated to determine the hydrogeological characterization of Demre coastal aquifer. Within the scope of the study, the major ion content and environmental isotopic composition is determined from total 44 water samples, 6 from springs and 38 from deep/shallow wells and seawater. Major ion content results were collected in three separate groups according to their specific electrical conductivity (SEC) value. Springs and seawater samples SEC value are greater than

15000 microS/cm is 1st group (NaCl facies), SEC value 1100-3700 microS/cm samples are 2nd group (MgCl₂ facies) and samples which SEC value is lower than 1100 microS/cm is 3rd group (CaCO₃ and MgCO₃ facies). According to the major ions evaluation 1st group samples ³H value is determined between 1.15-3.24 TU (tritium unit), 2nd group samples 1.47- 4.81 TU and 3rd group samples 2.43-5.03 TU. Deuterium excess values of groundwater samples which taken from the coastal aquifer are located on or near the +18 Local Meteoric Water Line. This situation shows that the moisture source of groundwater is recharged from Mediterranean precipitation. It is understood that a large portion of 3rd group samples with more negative isotopic content recharge elevation is higher altitude Evaporation occurring near shoreline increases the salinity and SEC value of the groundwater. In the scope of this work, Demre plain fresh-young, old-salted and in the presence of 3rd group water formed by a mixture of them is determined by chemical and isotopic analyses.

Keywords: Hydrogeochemistry, isotope, coastal aquifer, Demre (Antalya)

1 GİRİŞ

Demre Ovası Batı Akdeniz havzasında, Antalya ili Demre (Kale) ilçesi sınırları içinde olup 36°16' - 36°13' enlemleri ile 30°18' - 30°13' boylamları arasında yer alır (Şekil 1). Çalışma alanında ılıman ve yağışlı Akdeniz iklimi egemendir. Yaz ayları sıcak ve nemli, kış ayları ise ılık ve bol yağışlıdır. İç kesimlere doğru kısmen de olsa kuzeydeki göller bölgesinin karasal iklim şartları gözlenmektedir. İklimi etkileyen en önemli faktör kıyıya paralel sıradağlardır [1].

Demre Çayı, Demre Ovasını ikiye bölerek Akdeniz'e boşalır. Çayı meydana getiren kollardan biri olan Kıbrıs Çayı kuzey batıda Akdağ ve Felenk Dağlarından beslenerek Kasaba Ovasına iner. Kuzey doğudan gelen diğer kol olan Karadağ Çayı ise Eren Dağ, Kapalı Dağ ve Çam Dağ eteklerinden doğar. Her iki kol birleşerek Demre Çayını meydana getirir. Beslenme alanı yaklaşık 960 km²'dir.

Çalışma alanında Demre otomatik meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonunun 1969-2013 yılları arasında gözlemlenen yağış verilerine göre ortalama yıllık yağış 790.5 mm'dir. En yağışlı aylar Aralık ve Ocak, en kurak aylar ise Temmuz ve Ağustos aylarıdır. Kar yağışları beslenme alanının yüksek (>~1000 m) kesimlerinde etkilidir. Demre istasyonunda 1982-2013 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık 18.4 °C'dir.

2 ÖZET JEOLJİ VE HİDROJEOLJİ

Çalışma alanı 1/250.000 ölçekli jeoloji haritalarının Antalya ve Fethiye paftalarında bulunmaktadır. Beslenme havzasında hâkim

olan birim Beydağları Otoktonu'dur. Bu çalışmada sadece ovada yer alan alüvyon birimi ile bunu çevreleyen otokton kireçtaşlarına değinilecektir (Şekil 2).

Beydağları Formasyonu (Kb): Çalışma alanı ve dolayında Beydağları otoktonuna ait Üst Kretase yaşlı kireçtaşları yüzeylemektedir. Formasyon orta-kalın tabakalı, aşınma yüzeyi gri, açık gri, kırılma yüzeyi bej, krem, açık gri renkli kireçtaşlarından oluşur. Yer yer dolomit ve dolomitik kireçtaşı düzeyi içeren bu karbonatlar sık çatlaklıdır. Bazı yerlerde erime boşlukları içeren kireçtaşlarında karstlaşma yaygındır [2 ve 3].

Yamaç molozu ve birikinti konileri (Qym): Dağ eteklerinde bulunmaktadır. Yer yer tutturulmuş, yer yer ise gevşektir. Bazı alanlarda birikinti konileri oluşturmaktadır [2 ve 3].

Alüvyon (Qal): Çalışma alanında alüvyon dolguları Kuvaterner yaşlıdır. Alüvyon Demre Çayı ve dolayında geniş alana yayılmış değişik boyuttaki çakıl, blok, kum vb tanelerden oluşmaktadır [2 ve 3].

Çalışma alanı jeolojik yapıda olduğu gibi hidrojeolojik açıdan da iki bölümden oluşmaktadır. Pekişmemiş alüvyon birinci dereceden yüksek verimli taneli akifer olarak, Kretase kireçtaşları ise ikinci dereceden yüksek verimli akifer olarak tanımlanmıştır.

Çalışma alanının yeraltısuyu beslenimi ovaya düşen yağıştan, Demre Çayı yatağındaki sızmadan ve kireçtaşları ile olan sınır boyunca yanal beslenmeden sağlanmaktadır. Yeraltısuyu akım yönü genel olarak kuzeyden güneye, denize doğrudur.



Şekil 1 - Çalışma alanı lokasyon haritası

2.1 SU NOKTALARI

Akarsular

Beslenme alanı yaklaşık 960 km² olan Demre Çayı, Kıbrıs Çayı ve Karadağ Çayı'nın birleşmesiyle oluşup Demre Ovası'nı ikiye bölerek Akdeniz'e ulaşmaktadır. Demre Çayı, beslenme alanına düşen yağışın yüzeysel akışla denize ulaştığı tek araç olduğundan özellikle kış aylarında gerçekleşen yağışlar sonucu sıklıkla taşkın oluşturmaktadır. Demre Çayı'nda sürekli ya da anlık akım ölçümü yapılmamıştır. Demre Çayı'nın debisi yıl içinde yağışlı ve kurak dönemler arasında büyük farklılık göstermektedir. Yazın kuru olan çayın taşkın

anındaki debisinin 637.5 m³/s'ye ulaşabildiği tahmin edilmektedir.

Derin Kuyular

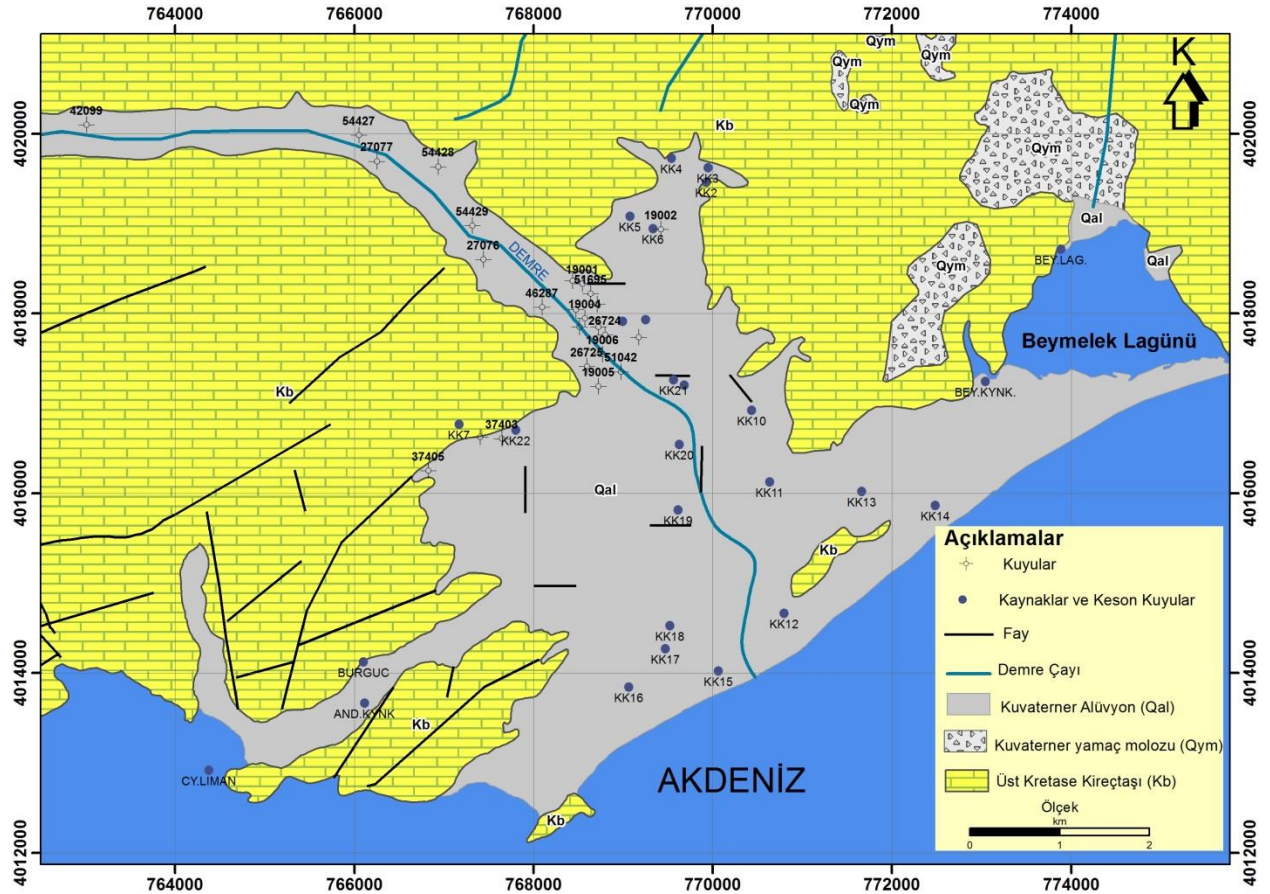
Demre Ovası'nda yapılan yoğun ve yıl boyu süreklilik gösteren tarımsal faaliyetin doğal sonucu olarak sulama suyu ihtiyacını karşılamak üzere 32 işletme kuyusu DSİ Genel Müdürlüğü'nce açılıp bölgede bulunan Alakent ve Köşkerler sulama kooperatiflerine devredilmiştir. Kuyuların çoğunluğu Demre Çayı'nın ovanın kuzeyinde yer alan kireçtaşı içindeki kapızı (dik yamaçlı, dar vadi) terk ettiği bölgede, alüvyon içinde açılmış olup derinlikleri

20-100 m, debileri ise 40-120 l/s arasında değişmektedir.

Keson Kuyular ve Kaynaklar

Demre Ovası'nda sulama kooperatiflerince işletilen kuyulara ek olarak çok sayıda, keson kuyu tipinde şahıs kuyusu da bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamındaki saha çalışmalarında 23 keson kuyuda örneklem yapılmıştır. Demre Ovası'ndaki derin kuyuların ovanın kuzeyinde yoğunlaşması nedeniyle ovanın orta ve güney bölümlerindeki yeraltısuyunun karakterizasyonu için keson kuyulardan yararlanılmıştır.

Demre Ovası'nda bulunan Burguç, Andriake ve Beymelek kaynakları ile Beymelek lagünü de bu çalışma kapsamında örneklenmiştir. Burguç ve Andriake kaynaklarında sülfür (H_2S) gaz çıkışı bulunmakta, bu nedenle yöre halkınca kaynakların şifalı olduğuna inanılmaktadır. Beymelek Kaynağı sulama kanalı aracılığıyla Beymelek lagünü'ne buradan da Akdeniz'e boşalmaktadır. Burguç ve Andriake kaynakları ise Çayağzı limanına ulaşan azmağa boşalmaktadır. Çalışma sırasında örneklenen noktalara ait konum haritası Şekil 2'de, bazı noktalara ait fotoğraflar ise Şekil 3'de verilmiştir.





Şekil 3 - Örnekleme noktalarına ait fotoğraflar

3 VERİLER VE YÖNTEM

Çalışma alanında seçilen su noktalarının sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen içeriği (ÇÖ) ve özgül elektriksel iletkenlik ÖEİ değerleri YSI MPS 556 çok parametrelili ölçüm cihazı ile yerinde belirlenmiştir. Cihazın arazi çalışmaları öncesi kalibrasyonunda pH 7 ve 10 tamponlar ve 1.413 mikroS/cm'lik iletkenlik çözeltisi kullanılmış, ÇÖ içeriği ise her örnekleme noktasında ölçülen barometrik basınca bağlı olarak yapılmıştır. Standartlara uygun olarak hava içermeyecek şekilde alınan örneklerinin majör anyon-kasyon (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} , NH_4^+ , Li^+ , Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- , CO_3^{-2} , F^- , Br^- , PO_4^{-2} , NO_3^- , NO_2^-), trityum ve iz element içerikleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası, İz element ve Çevresel Trityum Laboratuvarlarında belirlenmiştir. Majör iyon içerikleri iyon kromatografi tekniği, alkalinite titrasyon yöntemiyle, iz element içerikleri ICP-MS tekniği ile belirlenmiştir. Trityum analizleri ön damıtma, alkali-elektrolitik zenginleştirme ve art damıtma sonrasında Sıvı Parıldama Sayım tekniği ile belirlenmiştir. Duraylı izotop ölçümleri Utah Üniversitesi Sıfır Laboratuvarı'nda yaptırılmıştır. Tüm majör iyon analizlerinde elektronötralite $< \% 5$ 'ten küçüktür. Trityum analizlerinde örneğe bağlı olarak 1 standart sapma ölçüm hatası ± 0.3 - 0.4 trityum birimi (TU) dolayındadır. Oksijen-18 ve Döteryum izotop analizlerinde toplam analitik hata sırasıyla ± 0.15 permil (‰) V-SMOW, ± 1.1 permil V-SMOW düzeyindedir.

3.1 HİDROJEOKİMYA

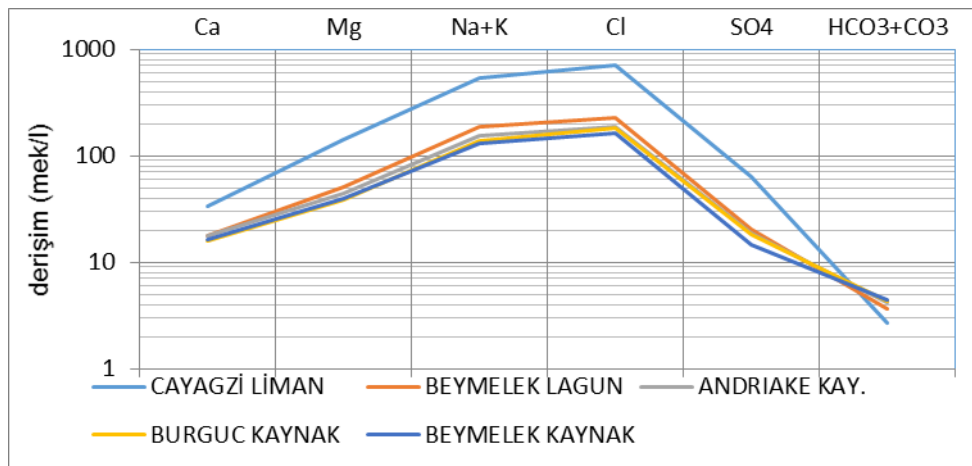
3.1.1 Majör İyon İçeriği

Toplanan çok sayıda örneğin majör iyon derişimlerinin kıyaslanabilmesi için Schoeller diyagramlarından yararlanılmıştır. Bununla birlikte, görsel algılanabilirliği kolaylaştırmak açısından benzer grafik görünümüne sahip örnekler farklı grafiklerde gösterilmiştir. Diğer yandan, her bir grafik görüntüsünün kendine özgü bir ÖEİ değer aralığına sahip olduğu gözlenmiştir. ÖEİ değeri 15000 mikroS/cm'den büyük olan kaynaklar ve Çayağzı liman örneği 1nci grubu oluştururken, ÖEİ değeri 1100-3700 mikroS/cm olan örnekler 2nci grubu, ÖEİ değeri 1100 mikroS/cm'den düşük olan örnekler ise 3üncü grubu oluşturmaktadır.

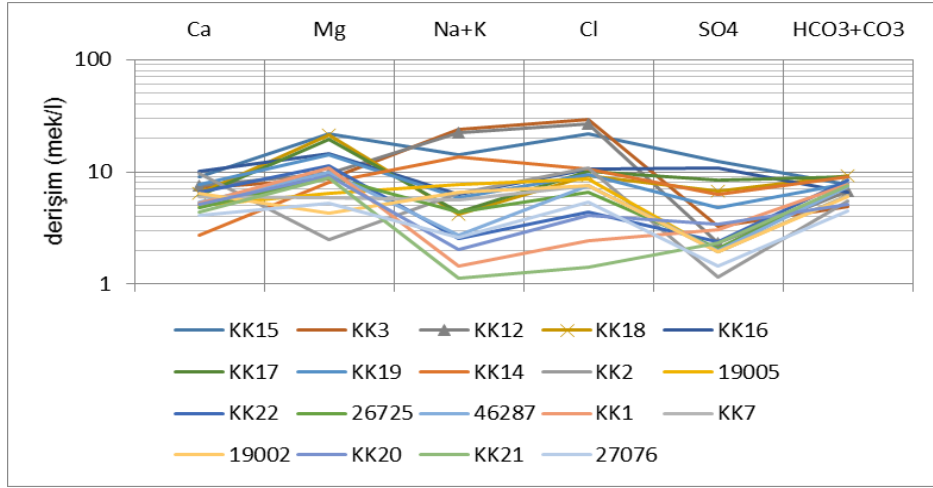
1inci grup örneklerine ait Schoeller diyagramından (Şekil 4) bu sulardaki hakim hidrojeokimyasal fasiyesin sodyum klorür (NaCl) olduğu görülmektedir. Bu durum, Beymelek Lagünü ile Beymelek ve Andriake kaynaklarında gözlenen yüksek ÖEİ değerlerinin deniz suyu karışımından kaynaklandığını göstermektedir.

2nci grup örneklerine ait Schoeller diyagramından (Şekil 5) ise bu suların magnezyum klorür (MgCl_2) ve NaCl fasiyeslerinde oldukları görülmektedir. 2nci grup su örneklerinin tuzlu su girişimi sonucu değil, magnezyum bikarbonat (MgHCO_3) fasiyesindeki 3üncü grup su örneklerinin buharlaşması sonucunda oluştuğu düşünülmektedir.

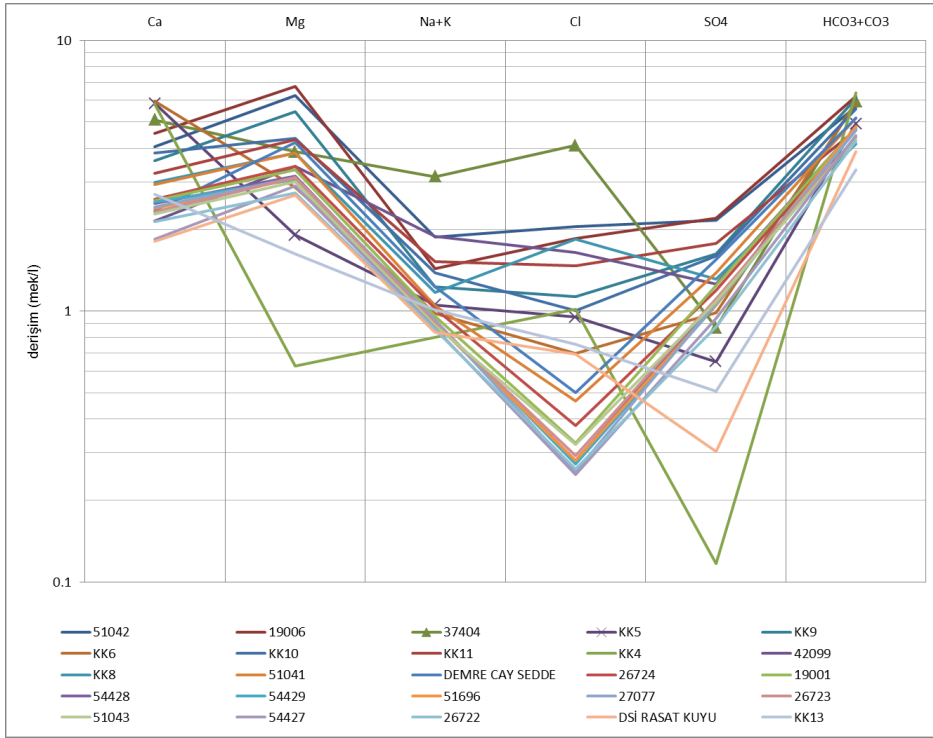
3üncü grup su örneklerine ait Schoeller diyagramından (Şekil 6) bu suların CaCO_3 ve MgCO_3 fasiyesinde oldukları anlaşılmaktadır.



Şekil 4 - ÖEİ değeri 15000 mikroS/cm'den büyük olan kaynaklar ile Çayağzı liman örneğine (1inci grup) ait Schoeller diyagramı



Şekil 5 - ÖEİ değeri 1100-3700 mikroS/cm olan örneklere (2nci grup) ait Schoeller diyagramı



Şekil 6 - ÖEİ değeri 1100 mikroS/cm'den küçük olan örneklere (3üncü grup) ait Schoeller diyagramı

3.1.2 İz Elementler

Su örneklerine ait iz element içeriklerinin en düşük, en yüksek ve ortalama derişimleri toplu olarak Çizelge1'de verilmiştir. İz element sonuçları majör iyon içeriğinde olduğu gibi ÖEİ değer aralıklarına göre gruplanarak 3 ayrı grupta değerlendirilmiştir. En yüksek iz element derişimleri Andriake ve Burğuç kaynakları ile deniz suyu örneklerinden oluşan 1inci grupta gözlenmiştir. En düşük derişimler ise düşük ÖEİ ile karakteristik 3üncü grup örneklerinde ölçülmüştür. Majör iyon kimyası ve duraylı izotop içeriğine göre ardışık

buharlaşıma sonucu kimyasal olarak zenginleştiği düşünölen 2nci grup örneklerinin iz element içerikleri de öngörölen buharlaşma sürecini destekler şekilde 3üncü grup örneklerine göre daha yüksek düzeydedir. Bazı su noktalarında bağıl olarak yüksek derişimlerde görölen iz elementlerin (bor, antimon ve kurşun) tarımda kullanılan bitki besinleri ve böcek öldürücülerden kaynaklandığı düşünölmektedir.

Çizelge 1- Örneklerde ölçülen en düşük, en yüksek ve ortalama iz element derişimleri
Çizelge 1- Örneklerde ölçülen en düşük, en yüksek ve ortalama iz element derişimleri

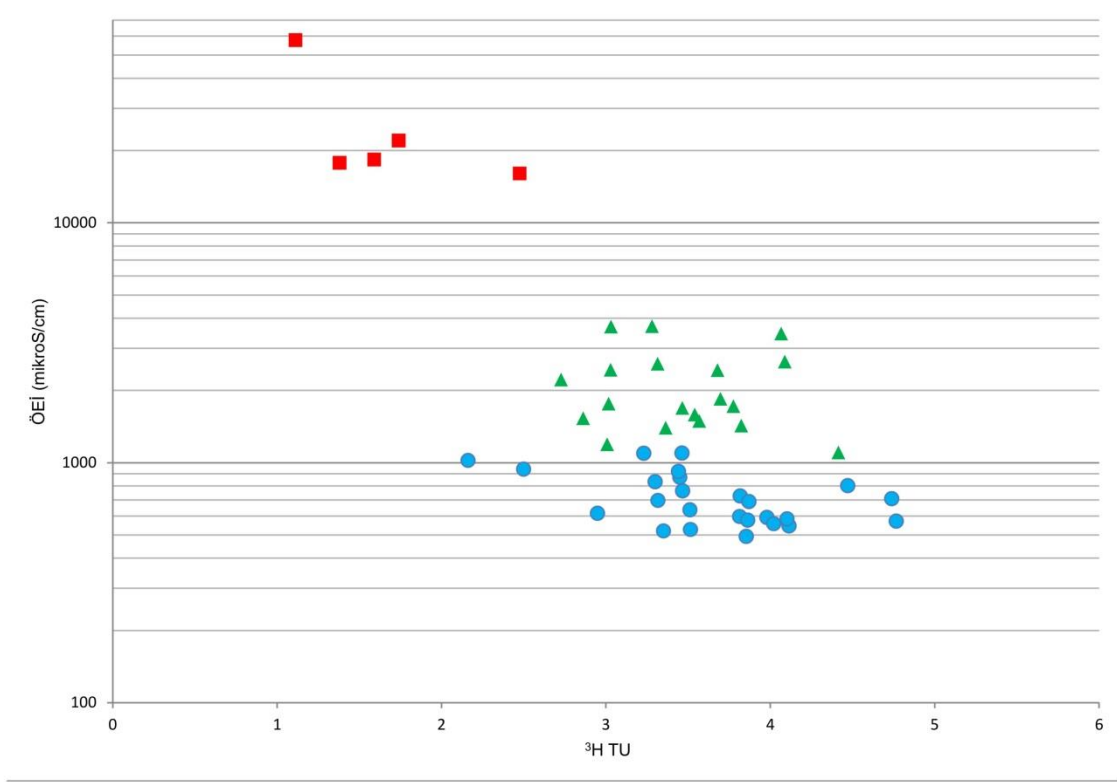
Element	İçme suyu standart	Sulama suyu standart	Min.	Maks.	Ort.
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb
B			28.28	5066	388.98
Sr			266.7	14840	1809.99
V		100	182.5	7471	1058.36
Rh			53.13	1575	203.79
Li		2500	22.64	785.1	97.48
As	50	100	4.735	672.9	59.11
Zn	1000	2000	<0.001	587.1	63.46
Se		20	2.009	484	35.26
Cr	50	100	6.199	273	59.12
Mo		10	0.264	250.6	13.03
Ge			2.112	172.9	22.05
Ba			12.15	163.4	58.05
Rb			0.655	138.6	8.46
Cu		200	<0.001	130.7	4.35
Mn	100	200	<0.001	73.35	5.14
Ni		200	1.46	60.56	13.43
Pb	50		<0.001	51.13	5.59
U			<0.001	21.98	2.75
Co		50	<0.001	1.171	0.09
Ga			0.265	7.009	1.41
Ru			0.007	0.94	0.09
Pd		5000	0.059	1.916	0.34
Ag			<0.001	3.158	0.40
Cd	10	10	<0.001	6.001	0.39
Sn			<0.001	3.617	0.39
Sb			0.097	9.506	1.05
Te			0.032	4.253	0.57
Cs			<0.001	1.266	0.12
La			0.095	3.301	0.42
Ta			0.115	9.62	1.30
Au			0.349	13.8	1.74
Fe		5000	<0.001	1293	159.42
Al		5000	<0.001	205.4	8.35
Ti			<0.001	2.621	0.09
Nb			<0.001	0.051	0.01
Ir			0.002	0.115	0.01
Pt			0.004	0.154	0.04
Tl			<0.001	0.136	0.01

4 ÇEVRESEL İZOTOP ÇALIŞMALARI

4.1 TRİTYUM VERİLERİ

Şubat 2015 ayında toplanan su örneklerinde en yüksek trityum içeriği 4.77 TU ile 26723 nolu kuyuda, en düşük trityum ise 1.11 TU ile Çayağzı limanından alınan deniz suyu örneğinde ölçülmüştür. Örneklerin ortalama ^3H değeri 3.37 TU (SS: 0.81)'dir. Mayıs 2015 ayında ise en yüksek trityum içeriği 5.03 TU ile 27077 nolu kuyuda, en düşük trityum içeriği ise 1.15 TU ile Çayağzı limanından alınan deniz suyu örneğinde ölçülmüştür. Mayıs 2015 döneminde ortalama ^3H değeri 3.7 TU'dir. Şekil 7'de sunulan ÖEİ- ^3H grafiğine göre majör iyon değerlendirmesinde 1inci grupta olan

örneklerin (ÖEİ>14000) ^3H değerinin 1-2.5 TU arasında, 2nci grupta yer alan örneklerin (1100< ÖEİ <3700) ^3H değerinin 2.7- 4.4 TU arasında ve 3üncü grup örneklerinin (ÖEİ<1100) ^3H değerinin ise 2.1-4.7 TU arasında olduğu belirlenmiştir. Ölçülen ^3H içeriklerine göre 1inci gruptaki kaynakların alüvyon akiferdeki yeraltısuyuna göre daha derin yeraltısuyu akım yolları boyunca daha uzun dolaşım süresine sahip oldukları anlaşılmaktadır. Kaynaklarda gözlenen yüksek H_2S içeriğinin de uzun süreli dolaşım sırasında organik madde oksidasyonu için gerekli elektron kaynağı olarak çözünmüş oksijenin tüketilerek sülfatın kullanılmaya başlanmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.



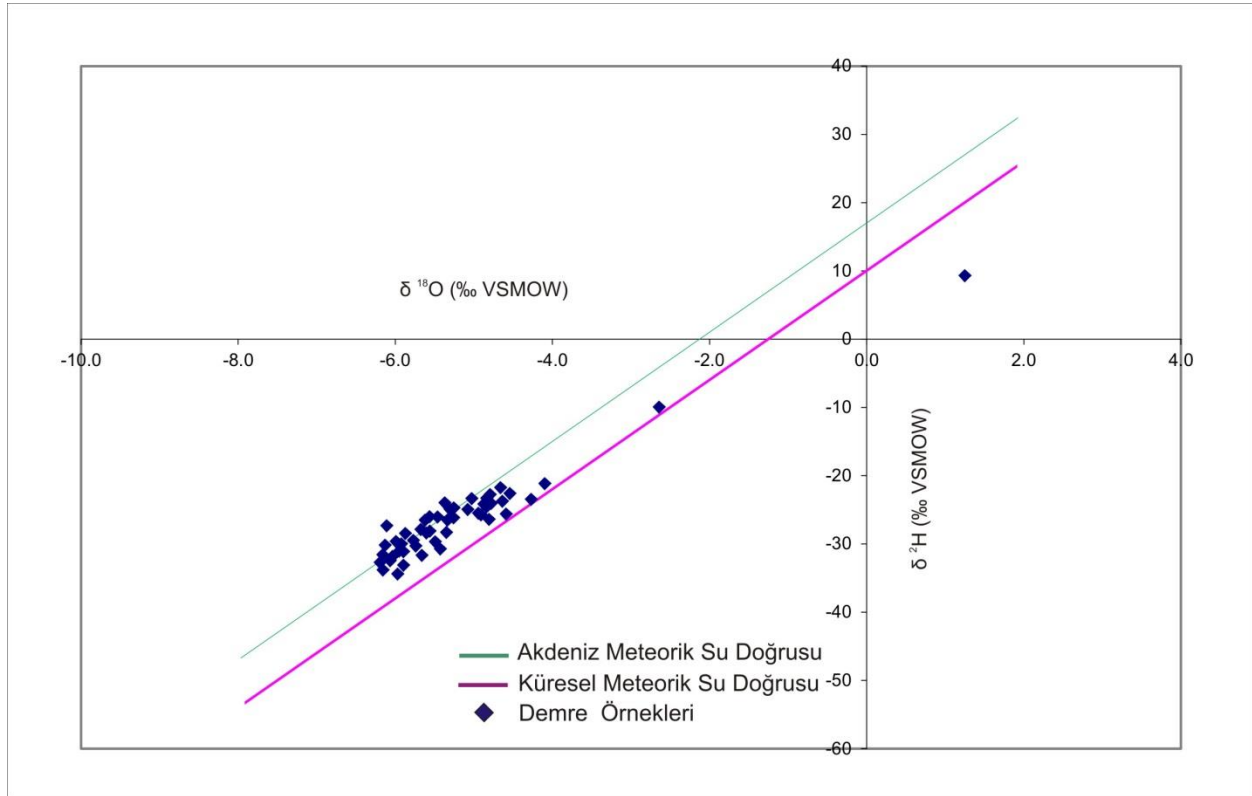
■ Demre 1. Grup Örnekleri ▲ Demre 2. Grup Örnekleri ● Demre 3. Grup Örnekleri

Şekil 7 - Çalışma alanına ait örneklerin ÖEİ- ^3H grafiği

4.2 DURAYLI İZOTOP VERİLERİ

Su örneklerinde en yüksek ^{18}O içeriği 1‰ V-SMOW ile Çayağzı limanı deniz suyu örneğinde, en düşük ^{18}O içeriği ise -6.2‰ V-SMOW ile 54427 ve 54428 nolu kuyulardaki yeraltısuyuna aittir. En yüksek ^2H içerikleri ise 9‰ V-SMOW ile Çayağzı limanı deniz suyu örneğinde, en düşük ^2H içeriği ise -34.2‰ V-SMOW ile 54427 ve 42099 nolu kuyulardaki yeraltısuyuna aittir. Örneklerin ortalama ^{18}O ve ^2H içerikleri sırasıyla -5.2‰ V-SMOW (SS:1.14) ve -26‰ V-SMOW (SS: 6.64) olarak belirlenmiştir.

Örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir. Örnekler Küresel Meteorik Su Doğrusu [4] ile döteryum fazlası değerinin +18 olduğu kabul edilen Yerel Meteorik Su Doğrusu [5] arasında bulunmaktadır. Yeraltısuyu örneklerinin önemli bir bölümü yerel meteorik su doğrusu üzerinde yer almakta, bir kısım örnek ise su tablasından buharlaşma ya da deniz suyu karışımı etkisiyle zenginleşerek bu doğrudan sağa doğru sapmaktadır. Çayağzı limanından alınan deniz suyu örneği grafiğin pozitif eksenli kısmında yer almaktadır.



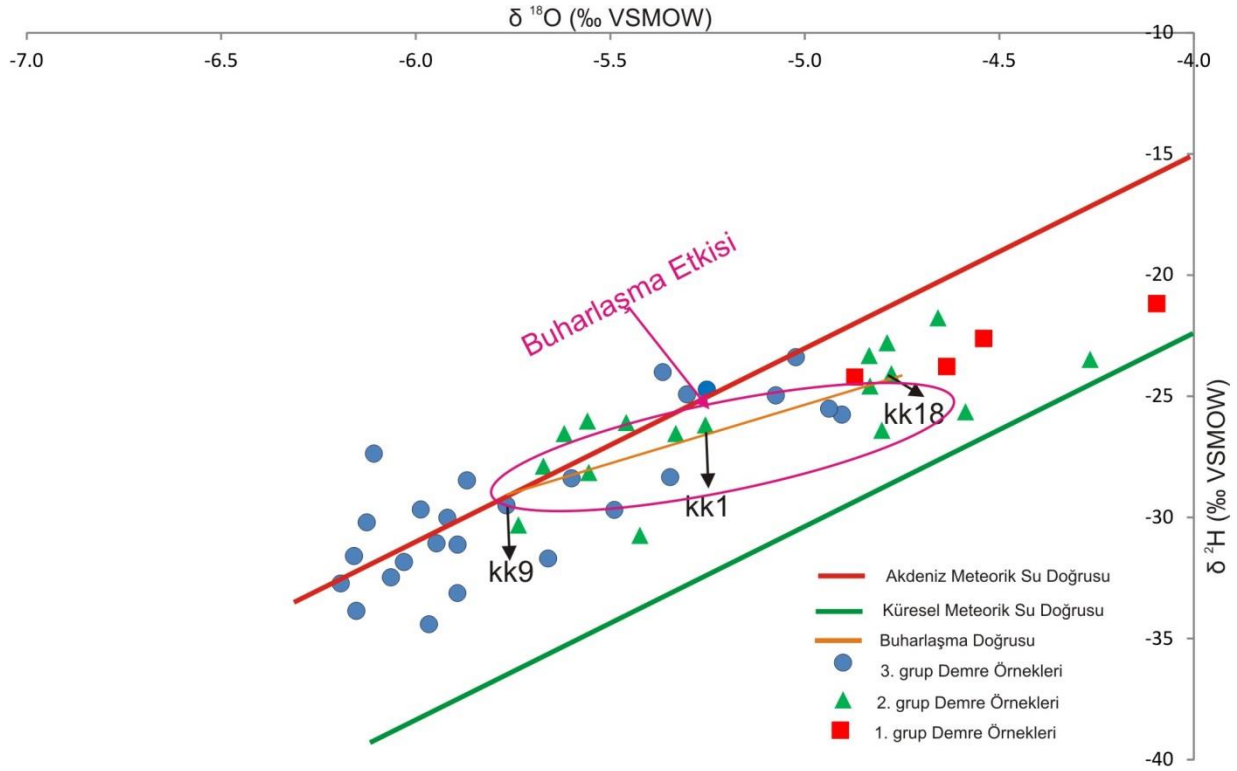
Şekil 8 - Çalışma alanına ait örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

Su örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiğindeki konumları değerlendirilirken majör iyon analizi sonuçlarına göre oluşturulan gruplar dikkate alınmıştır. Şekil 9'da 1inci grubu temsil eden ve ÖEİ değeri >15000 olan örnekler □ simgesi ile 2nci grubu temsil eden ve ÖEİ değeri 1100 ile 3700 mikroS/cm arasında olan örnekler Δ simgesi ile, 3üncü grubu temsil eden ve ÖEİ değeri <1100 olan örnekler ise o sembolleri ile gösterilmiştir.

Grafikte, 3üncü grup örneklerinin büyük bir kısmının diğer örneklerle göre daha negatif izotop içeriğine sahip olduğu, bu nedenle de bu örneklerin beslenme yükseltilerinin diğer örneklerle göre daha yüksek olduğu (kireçtaşından beslenme) olduğu düşünülmektedir. Diğer yandan, çok sayıda örneğin Yerel Meteorik Su Doğrusundan pozitif yönde saptığı (zenginleştiği) görülmektedir. Bu durumun, Andriake, Burguç, Beymelek kaynakları ile Beymelek Lagünü için deniz suyu

karışımından, diğer örnekler için ise su tablasından buharlaşma sonucu gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan, Δ simgesi ile gösterilen 2nci grup su örneklerinin büyük kısmının buharlaşma doğrusu üzerinde yer aldığı izlenmektedir. Buharlaşmaya uğrayan örnekler çalışma alanının güney kesiminden, sahile yakın keson kuyulardan alınmışlardır. Burada yeraltısuyu tablası kotu 2-3 m dolayında bulunduğundan, su tablasından buharlaşma mümkün bir süreçtir. Buharlaşma sürecinde seralarda kullanılan sulama suyunun fazlasının

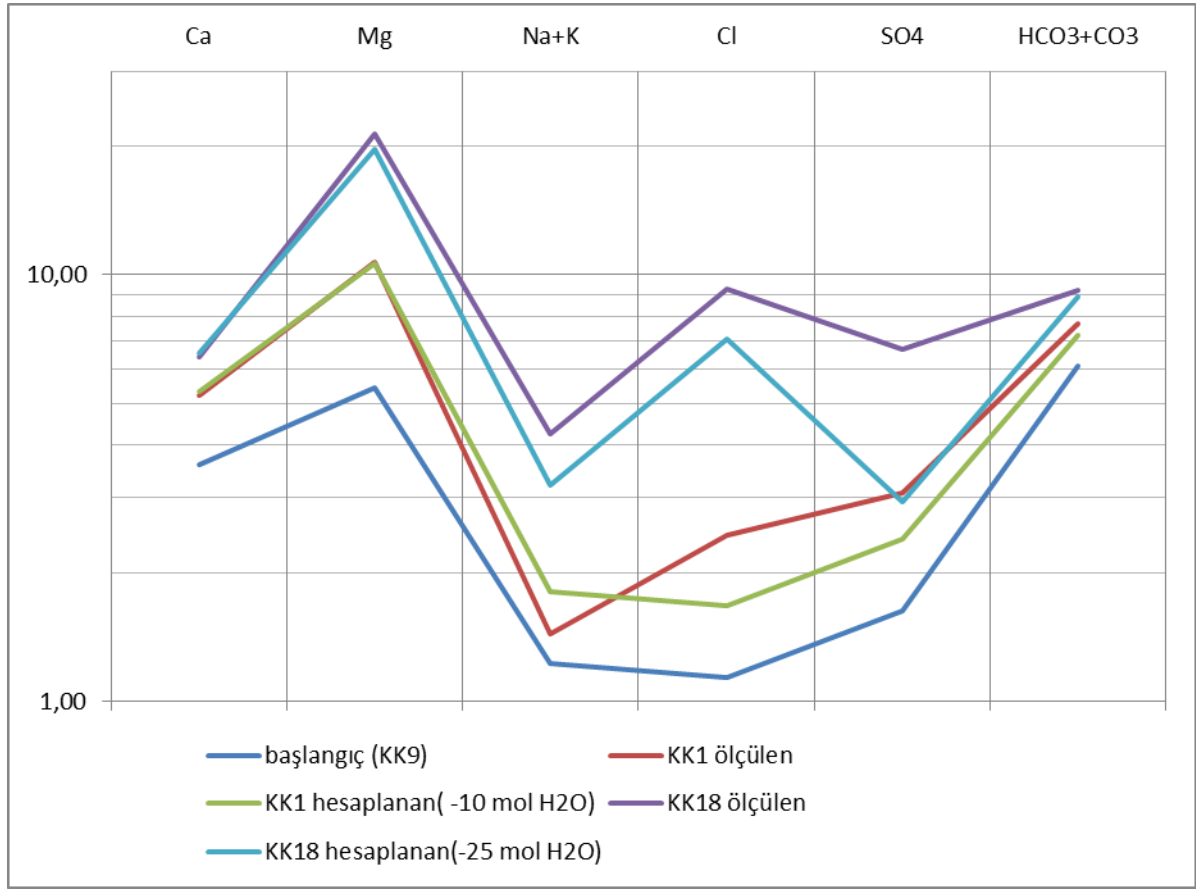
sera ortamı içinde buharlaştıktan sonra tekrar yeraltına süzülmesinin de etkili olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan, kıyıya yakın kesimde gözlenen yeraltısuyu tuzluluğundaki artışın deniz suyu girişiminden değil de buharlaşmadan kaynaklanmış olması, yoğun yeraltısuyu kullanımına karşın deniz suyunun akifer içine ilerleyemediğini göstermektedir. Bu durumun, akiferden denize olan güçlü yeraltısuyu boşalımından kaynaklanması olası görülmektedir.



Şekil 9 - İnceleme alanı büyütülmüş $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.

Ocak ayı örneklerine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiğinde (Şekil 9) gösterilen buharlaşma doğrusu KK9 kuyusundan başlamakta olup KK1 ve KK18 kuyularına ait örnekler bu buharlaşma doğrusu üzerinde yer almaktadır. Bu iki örneğin daha önce belirtildiği gibi su tablasından buharlaşma sonucu oluşup oluşmadıklarının belirlenmesi için PHREEQC yazılımı kullanılarak KK9 örneği buharlaşmaya uğratılmıştır. Yazılım buharlaşmayı örnekten H_2O uzaklaştırarak

gerçekleştirmektedir [6]. Programa başlangıç suyu olarak KK9 örneğinin majör iyon içeriği tanımlanmış olup; 18 mol H_2O 'nun çözeltiden uzaklaştırılması ile KK1 örneğinin majör iyon değerlerine, 25 mol H_2O 'nun çözeltiden uzaklaştırılması ile ise KK18 örneğinin majör iyon değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir (Şekil 10).



Şekil 10 - KK9 örneğinin farklı düzeylerde buharlaşması ile ulaştığı derişimler

5 SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Çalışma kapsamında ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Demre kıyı akiferinde örneklenen yüzey ve yeraltısularının majör iyon içerikleri çalışma alanında 3 farklı su grubu bulunduğunu göstermiştir. 1inci grup NaCl fasiyesindeki bağıl yaşlı-tuzlu sular, 2nci grup CaCO₃ ve MgCO₃ fasiyesindeki bağıl genç-tatlı sular ve bunların karışımından oluşan MgCl₂ fasiyesindeki 3üncü grup sulardır.
- Demre Ovası'nda yapılan tarımsal faaliyette kullanılan besin tuzları ve böcek öldürücü kimyasalların etkisi bazı örneklerde besin tuzu ve iz element içeriğindeki artış ile gözlenmiştir.
- Çevresel izotop verileri su örneklerinin büyük bir kısmının döteryum fazlası değeri +18 olan Yerel Meteorik Su Doğrusu üzerinde yer aldığını göstermektedir.
- Örneklerin trityum içerikleri bağıl yaşlı-tuzlu suların (1inci grup) ovadaki yeraltısuyuna göre bağıl daha derin ve uzun dolaşımli olduğunu göstermiştir.
- Duraylı izotop verileri kıyı akiferi yeraltısuyu örneklerinin deniz suyu ile karışmadığını göstermektedir. Deniz suyu karışımı sadece Burguç, Andriake ve Beymelek kaynakları ile Beymelek Lagününde gözlenmektedir. Bu kaynakların günümüzden 20 bin yıl önce yaşanan Son Buzul Maksimumu öncesindeki 2 milyon yıllık Kuvaterner buzullaşmaları sırasında denize boşalmakta olan karstik kıyı kaynakları olduğu değerlendirilmektedir.
- Sahil kesimindeki keson kuyularda gözlenen yüksek OEİ değerinin deniz suyu girişimi sonucu oluşmadığı, sıg yeraltısuyunun buharlaşmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

6 TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya TÜBİTAK tarafından 113Y072 nolu proje ve Hacettepe Üniversitesi tarafından 013D01602-001 nolu proje kapsamında finansal destek sağlanmıştır. Yazarlar trityum, iz element ve majör iyon analizlerini gerçekleştiren Doç.Dr. N.Nur ÖZYURT, Esin ÖNCEL ve Füsun MUSLU'ya teşekkür ederler.

7 KAYNAKLAR

- [1] DSI, Demre Projesi Revizyonu Planlama Raporu, **2000**.
- [2] MTA, 1/250000 Ölçekli Türkiye Haritaları No:2 Fethiye Paftası, **1997**.
- [3] MTA, 1/250000 Ölçekli Türkiye Haritaları No:3 Antalya Paftası **1997**.
- [4] Craig, H., Isotopic variations in meteoric waters, Science Volume:133, p. 1702-1703, **1961**.
- [5] Gat, J.R. and Carmi, I., Effect of climate changes on the precipitation patterns and isotopic composition of water in a climate transition zone: Case of the Eastern Mediterranean Sea area, The Influence of Climate Change and Climatic Variability onThe Hydrologie Regime and Water esources (Proceedings of the Vancouver Symposium, August 1987). IAHS Publ. no. 168, **1987**.
- [6] Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. Description of Input and Examples for PHREEQC Version 3—A Computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One Dimensional Trans-port, and Inverse Geochemical Calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations. Chapter 43 of Section A, Groundwater Book 6, Modeling Techniques: Techniques and Methods6–A43, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, pp 437, **2013**.

KARABURUN YARIMADASI'NDAKİ YERALTI SULARIN FİZİKSEL VE İZOTOPIK ÖZELLİKLERİ

Alper BABA
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye
alperbaba@iyte.edu.tr

Celalettin ŞİMŞEK
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye
celalettin@deu.edu.tr

Onur SOLAK
İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, İzmir, Türkiye

Orhan GÜNDÜZ
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye
orhan.gunduz@deu.edu.tr

Alper ELÇİ
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye
alper.elci@deu.edu.tr

Alim MURATHAN
DSİ II. Bölge Müdürlüğü, İzmir, Türkiye

Hasan SÖZBİLİR
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye
hasan.sozbilir@deu.edu.tr

(Makalenin geliş tarihi: 05.10.2015, Makalenin kabul tarihi:20.01.2016)

ÖZ

Türkiye'nin batısında yer alan Karaburun Yarımadası'nın içme suyunun tamamına yakını yeraltı sularından karşılanmaktadır. Özellikle yaz dönemlerinde bölgedeki nüfus artışı ve buna paralel olarak yeraltı suyu kullanımının önemli miktarda artması, kıyı akiferlerinde tuzlanma tehlikesini de beraberinde getirmektedir. Bu durum bölgenin ekonomisini ve su kaynaklarının sürdürülebilirliğini etkilemektedir. Bu çalışmada, Karaburun Yarımadası'ndaki suların fiziksel ve çevresel izotop içerikleri birlikte değerlendirilerek, bölgedeki akiferlere ilişkin özellikler irdelenmiştir. Bu nedenle inceleme alanında yağışlı ve kurak dönemlerde suların fiziksel ve izotopik özellikleri için 26 noktada su numunesi alınmıştır. Elde edilen verilere göre inceleme alanındaki suların kurak dönemde elektriksel iletkenlik (El) değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Bu durum, kurak dönemde bölgedeki geçici nüfus artışı sebebiyle yeraltı suyu tüketiminin artışı ile ilişkilidir. Özellikle kıyı akiferlerinde aşırı su çekilmesi tuzlu su girişiminin artmasına sebep olmuştur. Kurak dönemde bazı kuyulardan alınan su numunelerinin (ILS gibi) trityum ve El değerleri yüksektir.

Anahtar Kelimeler: Tuzlu su girişi, kıyı akiferi, izotop, Karaburun Yarımadası

PHYSICAL AND ISOTOPIC PROPERTIES OF WATER RESOURCES IN THE KARABURUN PENINSULA

ABSTRACT

Majority of the drinking water of Karaburun Peninsula, located in western Turkey, is provided from groundwater resources. Especially during summer period, the use of groundwater is increased significantly in parallel to seasonal population growth. Therefore, costal aquifer has been affected by sea-water intrusion in Peninsula. This affects the region's economy and sustainability. In this study,

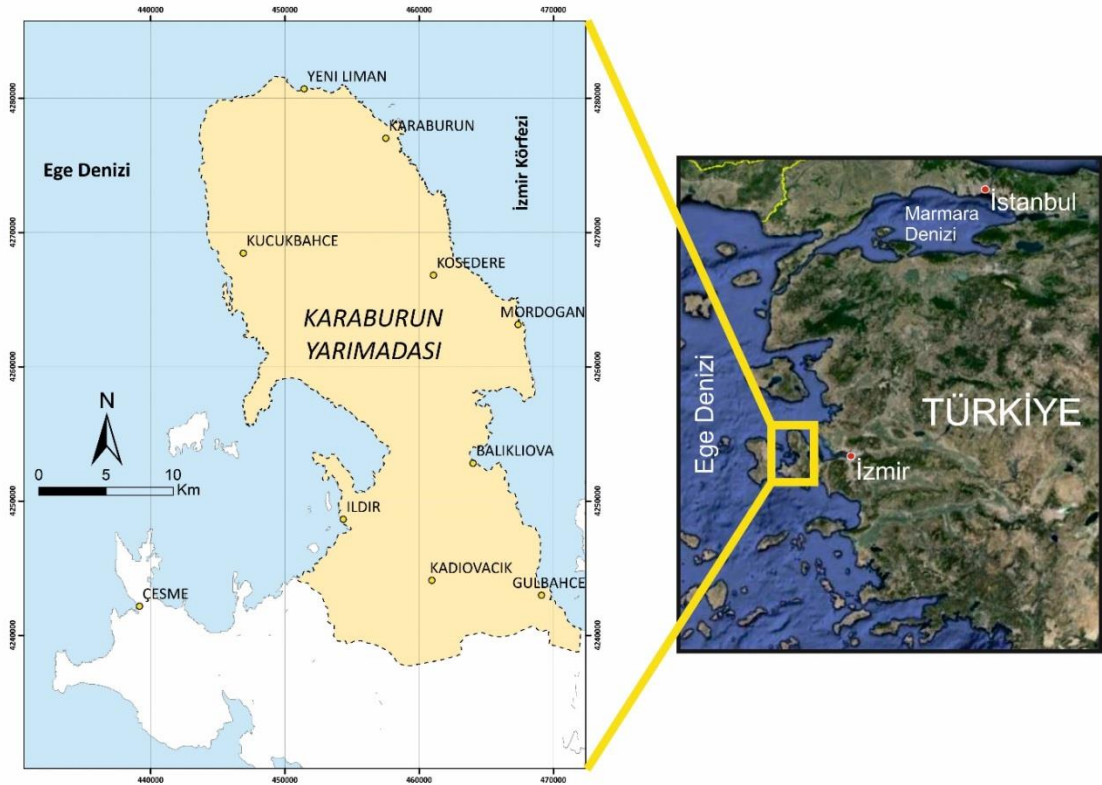
physical and isotopic properties of water resources in Karaburun Peninsula were evaluated and the properties of aquifers were investigated. For this reason, twenty-six water samples were collected in dry and wet seasons. The result show that the electrical conductivity values in water resources increase in dry seasons. This is associated with population growth and increased use of groundwater. In particular, excessive withdrawal of water has led to sea-water intrusion in coastal aquifers. Tritium and EC values are high in some water samples (such as ILS) in the dry season. In this part, aquifers have been affected by seawater.

Key words: Sea-water intrusion, coastal aquifer, isotope, Karaburun Peninsula

1 GİRİŞ

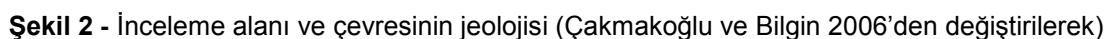
Ülkemizin önemli bir turizm merkezilerinden biri olan İzmir ve çevresinde yeraltı su kaynaklarının önemi gittikçe artmaktadır. Bu ihtiyaç özellikle, Türkiye'nin batı ucunda, Ege Denizi kıyılarında yeralan Karaburun Yarımadası'nda (Şekil 1) daha da yüksek olup, son yıllarda yarımada genelinde artan turizm faaliyetleri nedeniyle su kaynakları ile ilgili sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Bu noktada yarımada'daki mevsimsel değişen içme ve kullanma suyu talebi önemli bir kriterdir. Kış aylarında yarımada'nın nüfusu yaklaşık olarak 10.000 iken bu nüfus yazın 20 kata kadar artmaktadır. Yaklaşık 550 km² yüzölçümüne sahip olan Karaburun Yarımadası oldukça engebeli bir yapıya sahiptir. Ortalama sıcaklığın 17 – 19 °C olduğu yarımada'nın ortalama yağış değerleri 600 – 800 mm/yıl

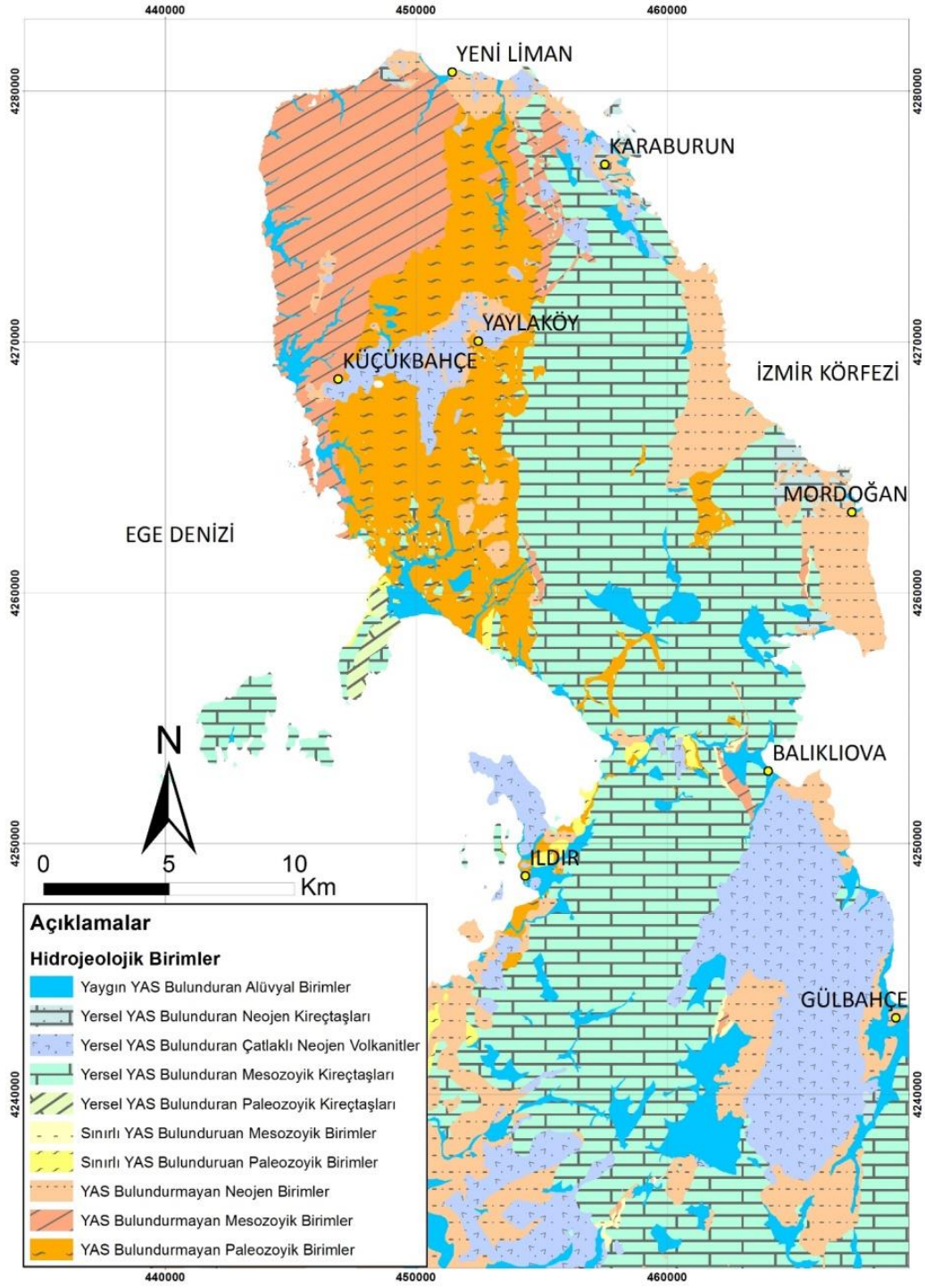
aralığında değişmektedir. Ancak, son yıllarda hem iklim değişiminin etkisi hem de nüfus artışının bir sonucu olarak alandaki kıyı akiferlerinde tuzlanma problemleri artmıştır. Bu çalışma kapsamında yarımada'daki kayaçların hidrojeolojik özellikleri ve bu alandaki suların fiziksel ve izotopik özellikleri irdelenmiştir. granodiyorit karakterli volkanik aktivite görülür (Türkecan ve diğ. 1998; Ercan ve diğ. 2000). Temel kaya birimlerinin üst seviyeleri ise Orta Triyas-Geç Kretase yaşlı bir karbonatlı-sedimanter istif ile devam eder (Erdoğan ve diğ. 1990; Çakmaköğlu ve Bilgin 2006). Karaburun Yarımadası'nda Neojende temel birimleri örten volkano-sedimanter bir seri görülür (Çakmaköğlu ve Bilgin 2006; Helvacı ve diğ. 2009). Bu birimleri ise Kuvaterner yaşlı alüvyon kırıntılı birimi yarımada'nın çeşitli yerlerinde örter (Şekil 2).



Şekil 1 - Çalışma alanının yer bulduru haritası

Karşılaşına ait filişler de geçirimsiz özelliktedir. Çalışma alanının güneyinde Gülbahçe ve Balıklıova mevkiğinde görülen Mesozoyik kireçtaşları ise çatlaklı ve karstik boşlukludur. Bu kesimler de çok sayıda kaynaklar bulunmaktadır. Ancak bu kaynaklar düşük debilidir. Yarımadaanın çeşitli yerlerinde görülen neojen yaşlı tuf ve çökel birimler geçirimsiz özellikte olup yeraltı suyu açısından elverişsizdir. Çalışma alanının kuzey ve doğu kesimlerinde görülen Neojen kireçtaşları ise çatlaklı ve boşluklu yapıdadır. Bu birimler akifer özelliği gösteren kayaçlarıdır. Gülbahçe, Balıklıova, Ildır, Küçükbahve ve Karaburun mevkiğinde geniş yüzlekler veren volkanik kayaçlar da çatlaklı yapıdadır ve yeraltısuyu bulundururlar. Yarımadaanın özellikle düz yerlerinde görülen Kuvaterner yaşlı alüvyal birimler verimli akifer özelliği taşımaktadır.



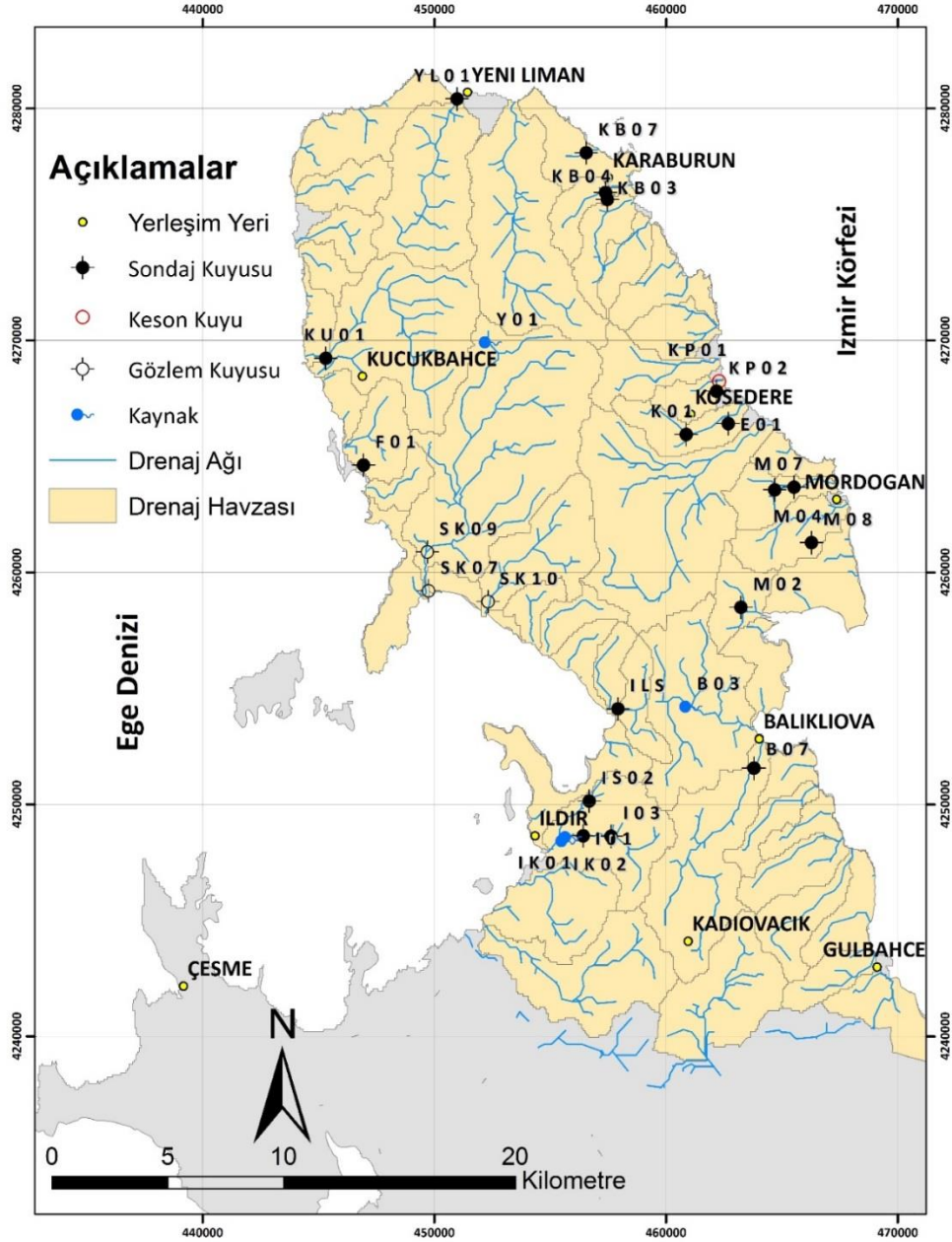


Şekil 3 - İnceleme alanına ait hidrojeoloji haritası

2 VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Karaburun Yarımadasının yeraltı sularının kimyasal ve izotopik özelliklerini belirlemek amacıyla, yağışlı ve kurak sezonları temsil etmek üzere iki dönem (Eylül 2014 ve Nisan 2015) boyunca arazide 26 noktadan (Şekil 4) yerinde fiziko-kimyasal parametre ölçümleri

yapılmış ve bu noktalardan su numuneleri alınmıştır. Numunelerin oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$), döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve trityum ($\delta^3\text{H}$) analizleri Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4 - Yeraltı suyu örnekleme noktaları

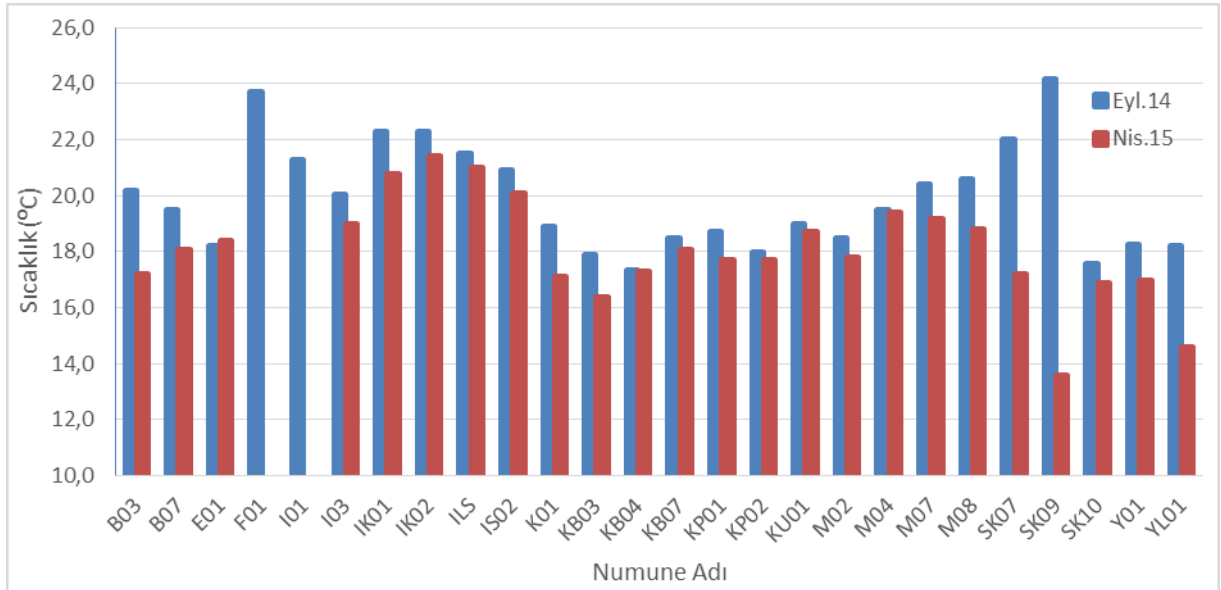
2.1 Fiziko-Kimyasal Kalite Parametrelerin Değerlendirilmesi

İnceleme alanından su noktalarında kurak ve yağışlı dönemlerde alınan 26 numuneye ait fiziko-kimyasal kalite parametre ölçüm sonuçları Çizelge 1’de sunulmuştur. Suların ortalama sıcaklık değerleri 2014 yılı Eylül döneminde 19,9 °C, 2015 yılı Nisan döneminde ise 18,1 °C’dir. Eylül döneminde suların sıcaklık değerleri 17,3 ile 24,2 °C

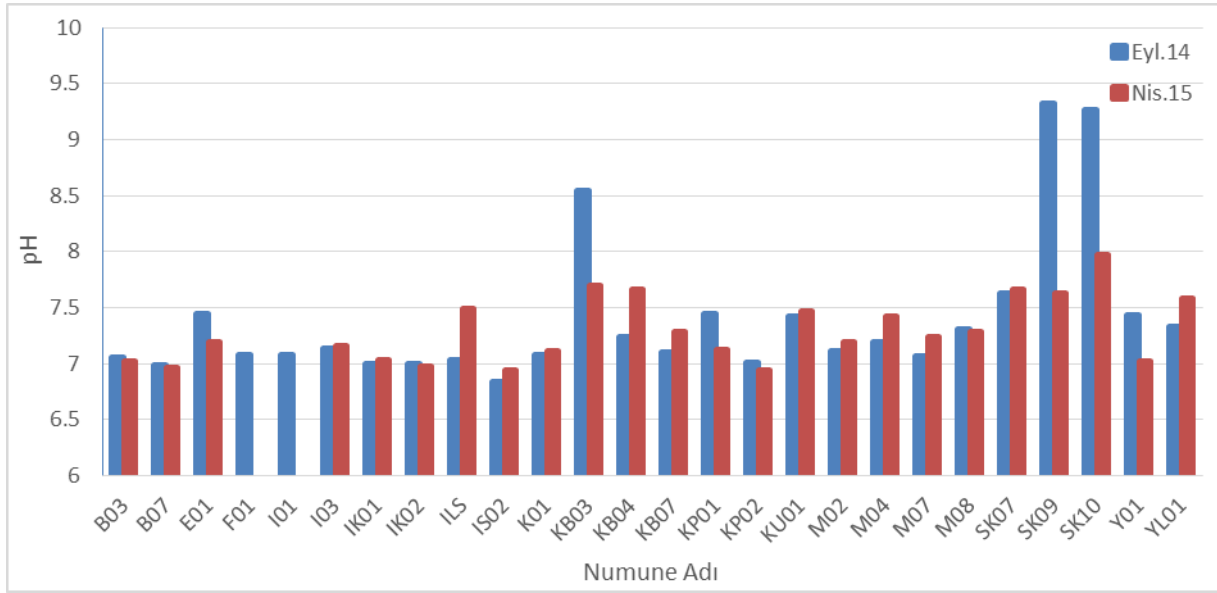
arasında, Nisan döneminde ise 13,6 – 21,4 °C arasında değişim göstermiştir. Sıcaklık değerlerindeki bu değişim mevsimsel farklılıklardan kaynaklanmaktadır. İki dönem arasında görülen en yüksek sıcaklık farkı SK09 kuyusunda görülmüştür (Şekil 5). Ayrıca örneklenen yeraltı sularında herhangi bir jeotermal kaynaklı sıcak su girişiminin olmadığı bilinmektedir.

Çizelge 1 - Su örneklerinin fiziksel parametre değerleri

Numune Kodu	Tipi	T (°C)		pH		Eİ (µS/cm)	
		Eyl.14	Nis.15	Eyl.14	Nis.15	Eyl.14	Nis.15
B03	Kaynak	20.2	17.2	7.06	7.02	707	758
B07	İçme Suyu Kuyusu	19.5	18.1	6.99	6.96	563	611
E01	İçme Suyu Kuyusu	18.2	18.4	7.45	7.19	753	841
F01	İçme Suyu Kuyusu	23.7		7.08		3764	
I01	İçme Suyu Kuyusu	21.3		7.08		2820	
I03	İçme Suyu Kuyusu	20.1	19.0	7.14	7.16	2710	694
IK01	Kaynak	22.3	20.8	7.00	7.04	2910	5050
IK02	Kaynak	22.3	21.4	7.00	6.98	1465	4220
ILS	İçme Suyu Kuyusu	21.5	21.0	7.04	7.49	4380	7910
IS02	Sulama Suyu Kuyusu	20.9	20.1	6.84	6.94	2330	1940
K01	İçme Suyu Kuyusu	18.9	17.1	7.08	7.11	592	630
KB03	İçme Suyu Kuyusu	17.9	16.4	8.55	7.7	304	456
KB04	İçme Suyu Kuyusu	17.3	17.3	7.24	7.66	1966	566
KB07	İçme Suyu Kuyusu	18.5	18.1	7.10	7.29	665	801
KP01	Keson Kuyu	18.7	17.7	7.45	7.13	726	780
KP02	İçme Suyu Kuyusu	18.0	17.7	7.01	6.94	781	764
KU01	İçme Suyu Kuyusu	19.0	18.7	7.42	7.47	518	434
M02	İçme Suyu Kuyusu	18.5	17.8	7.12	7.19	621	665
M04	İçme Suyu Kuyusu	19.5	19.4	7.19	7.42	724	766
M07	İçme Suyu Kuyusu	20.4	19.2	7.07	7.24	3120	1251
M08	İçme Suyu Kuyusu	20.6	18.8	7.31	7.29	719	1253
SK07	Gözlem Kuyusu	22.0	17.2	7.63	7.67	1315	626
SK09	Gözlem Kuyusu	24.2	13.6	9.33	7.63	2408	453
SK10	Gözlem Kuyusu	17.6	16.9	9.27	7.97	613	750
Y01	Kaynak	18.3	17.0	7.44	7.02	288	358
YL01	İçme Suyu Kuyusu	18.2	14.6	7.33	7.58	517	444
Ortalama		19.9	18.1	7.39	7.29	1472	1376



Şekil 5 - Örneklemelerindeki sıcaklık değerleri



Şekil 6 - Örnekleme dönemlerine ait pH değerleri

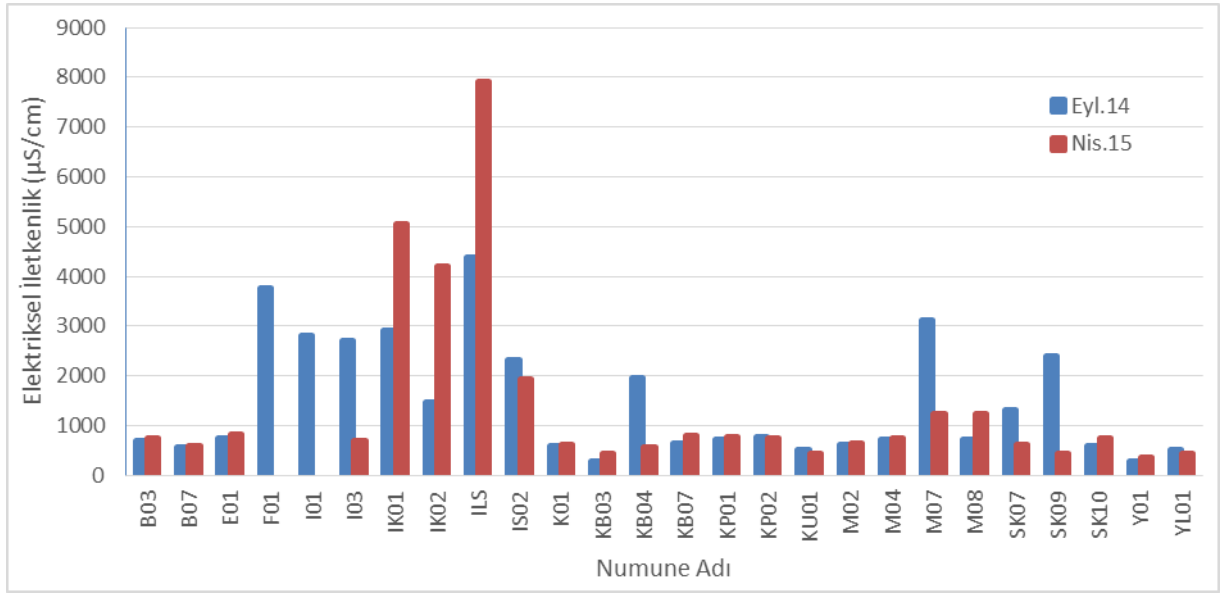
Suların ortalama pH değerleri 2014 yılı Eylül döneminde 7,39, 2015 yılı Nisan döneminde ise 7,30 olarak ölçülmüş ve iki dönem arasında ortalama değerlerde önemli bir farklılık gözlenmemiştir (Şekil 6). KB03, SK09 ve SK10 noktalarında Eylül döneminden Nisan dönemine pH değerlerinde önemli farklılıklar görülmüştür. Bu üç noktada da pH değerlerinin Eylül ayında daha yüksek olduğu gözlenmiştir ve bu fark kurak dönemde görülen yüksek buharlaşma ile ilişkili olarak yorumlanmıştır. En ciddi değişim sıcaklık değerlerinde olduğu gibi SK09 kuyusunda gerçekleşmiştir. SK-9 gözlem kuyusu Karareis sınırları içerisinde denizden en uzak gözlem kuyusu olup, tektonik zon içerisinde yer almaktadır ve daha derin beslenmelidir.

Eylül 2014 ve Nisan 2015 dönemine ait ortalama elektriksel iletkenlik (Eİ) değerleri sırasıyla 1472 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve 1376 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür. I03, IK01, IK02, ILS, KB04, M07 ve SK09 dışındaki noktalarda iki dönem boyunca alınan su numunelerinde Eİ değerleri arasında önemli bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 7). I03, IK01, IK02, ILS, KB04, M07 ve SK09 su noktalarında ise iki dönem arasında en önemli farklılık ILS kuyusunda görülmüştür. I03, KB04, M07 ve SK09 noktalarında Eİ değerinin kurak dönem numunelerinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum mevsimsel olarak yağışın ve beslenim azalması ve yaz döneminde bölgedeki nüfus artışı sebebiyle yeraltısuyu kullanımının artışı

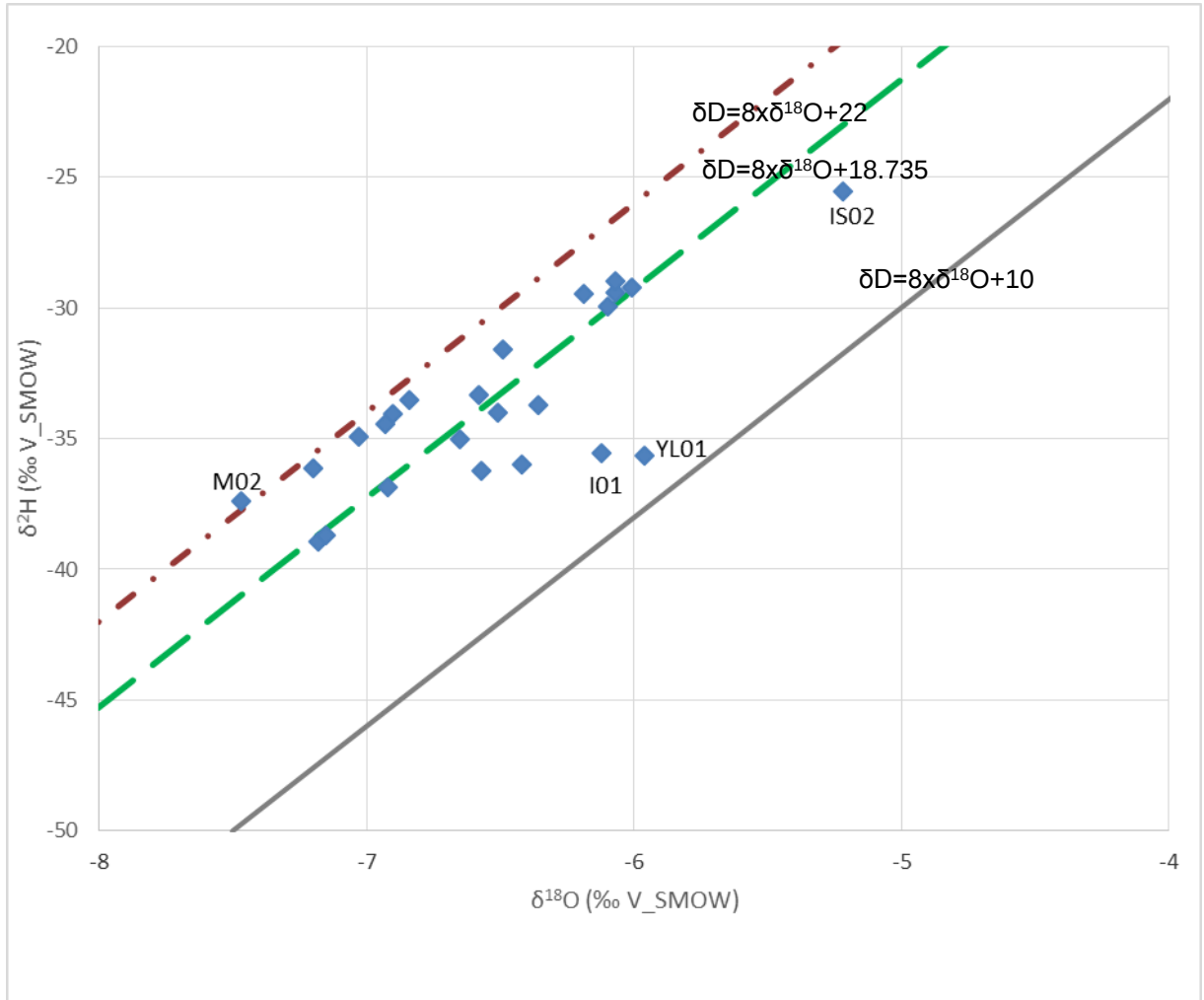
ile ilişkilidir. Kıyı akiferlerinde aşırı su çekilmesi tuzlu su girişimine neden olmuştur.

2.2 İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma alanında 26 farklı noktadan (bkz. Şekil 4) alınan yeraltı suyu numunelerine ait izotop sonuçları Çizelge 2’de sunulmuştur. İzotopik veriler ile yeraltı sularının kökeni, beslenme kaynakları ve su-kayaç etkileşim sürelerine ilişkin değerlendirmeler yapılabilmektedir. Oksijen-18 ($\delta^{18}\text{O}$) ve döteryum ($\delta^2\text{H}$), oksijen ve hidrojen elementlerinin duraylı izotoplarıdır ve suların kökensel ilişkileri ve beslenme alanları hakkında bilgi verirler. Beslenme alanları ilişkili akiferlere ait örneklerin oksijen-18 – döteryum grafiği üzerinde birbirlerine yakın konumlarda olmaları beklenir (Ünsal ve diğ. 1996, Değirmenci ve diğ. 2008). Eylül 2014 tarihli numune analiz sonuçlarına göre M02 dışında tüm numunelere ait değerler Dünya Meteorolojik Su Doğrusu (Craig 1961) ile Akdeniz Meteorolojik Su Doğrusu (Gatt ve Carmi, 1970) arasında yer almaktadır (Şekil 8). Bu durum tüm numunelere ait akiferlerin meteorik beslenimli olduğunu ve yağış sularının buharlaşma etkisine girmeden akiferleri beslediğini göstermektedir. Numune analiz sonuçlarına göre çizilen Yerel Meteorik Su Doğrusu ile konumları göz önüne alındığında, I01 ve YL01 numunelerine ait suların göreceli olarak diğer sulara göre yağıştan daha az beslenen bir akiferde bulunduğu veya daha fazla buharlaşmaya maruz kaldığını anlaşılmaktadır.



Şekil 7 - Örnekleme dönemine ait elektriksel iletkenlik değişimleri



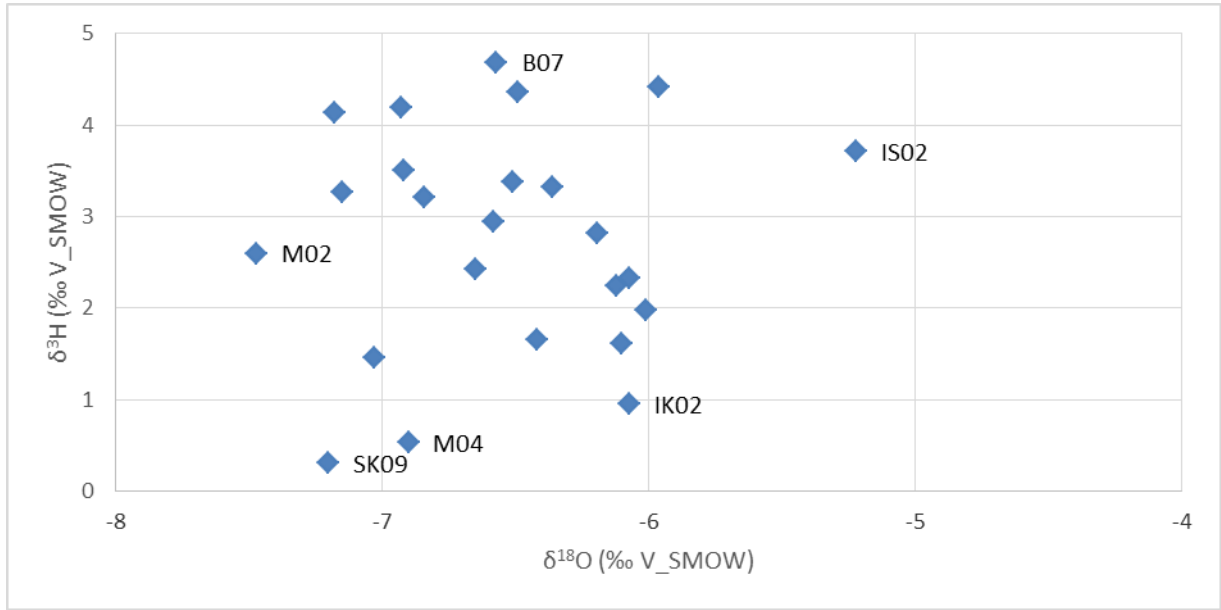
Şekil 8 - Eylül 2014 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

Çizelge 2 - Eylül 2014 dönemine ait izotop verileri

Numune Kodu	$\delta^3\text{H}$ (TU)	$\delta^2\text{H}$ (permil) V-SMOW	$\delta^{18}\text{O}$ (permil) V-SMOW
B03	4.69	-36.25	-6.57
B07	1.66	-35.97	-6.42
E01	3.21	-33.5	-6.84
F01	2.88		
I01	2.24	-35.54	-6.12
I03	1.61	-29.95	-6.1
IK01	1.97	-29.21	-6.01
IK02	0.95	-29.42	-6.07
ILS	2.82	-29.44	-6.19
IS02	3.71	-25.52	-5.22
K01	1.45	-34.94	-7.03
KB03	4.14	-38.93	-7.18
KB04	3.27	-38.69	-7.15
KB07	2.43	-35.02	-6.65
KP01	3.38	-34	-6.51
KP02	3.32	-33.73	-6.36
KU01	4.36	-31.6	-6.49
M02	2.6	-37.39	-7.47
M04	0.53	-34.03	-6.9
M07	4.19	-34.44	-6.93
M08	2.94	-33.34	-6.58
SK07	3.85		
SK09	0.31	-36.15	-7.2
SK10	2.33	-28.97	-6.07
Y01	3.5	-36.86	-6.92
YL01	4.42	-35.65	-5.96

Trityum ($\delta^3\text{H}$) hidrojen elementinin kısa ($12,32 \pm 0,02$ yıl) yarılanma ömürlü izotopudur (Clark ve Fritz, 1997). Radyoaktif olan trityum izotopu yeraltı suyunun akiferde kalış süresine bağlı olarak bozunmaya uğrar ve belirli bir bölgede yeraltı suyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi durumunda yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmesini ve/veya farklı yeraltı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulmasını sağlamaktadır. Meteorik kökenli suların yeraltında dolaşım yolu ve süreleri arttıkça trityum izotopunun

bozunmaya uğraması sebebiyle trityum değerleri düşmektedir (Tezcan 1992; Baba 2008; Değirmenci vd. 2008; Göçmez vd. 2008). Eylül 2014 sonuçlarına göre trityum değerleri 0 ile 5 TU arasında görülmektedir (Şekil 9 ve Şekil 10). SK09, M04 ve IK02 no'lu numunelere ait TU değerleri diğer numunelere göre daha düşüktür. Bu sonuç, bu numunelere ait suların diğer sulara göre yeraltında daha derin ve uzun süreli bir dolaşıma sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 9 - Eylül 2014 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^3\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ grafiği

Yeraltı sularında yüksek elektriksel iletkenlik değerleri görülmesi, uzun süreli su-kayaç etkileşimi, kirlenme ve/veya akiferde denizsuyu girişimine işaret etmektedir. Buna göre TU değerinin düşük ve Eİ değerlerinin yüksek olması uzun süreli yeraltı dolaşımına işaret ederken, TU değerlerinin yüksek ve Eİ değerlerinin düşük olması kısa süreli yeraltı dolaşımına işaret eder. Eylül 2014 verilerine göre, trityum ve Eİ değerleri dikkate alındığında B03, KU01, KB03 ve YL01 kısa dolaşım, genç sular. SK09 en düşük TU değerli numunedir ve Eİ değeri 2408 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak ölçülmüştür ve diğer sulara göre daha yaşlı ve uzun dolaşımındır. En yüksek Eİ değeri ILS numunesinde ölçülmüş olmasına rağmen TU değerinin de nispeten yüksek olması bu numuneye ait akiferde deniz suyu girişimine işaret eder.

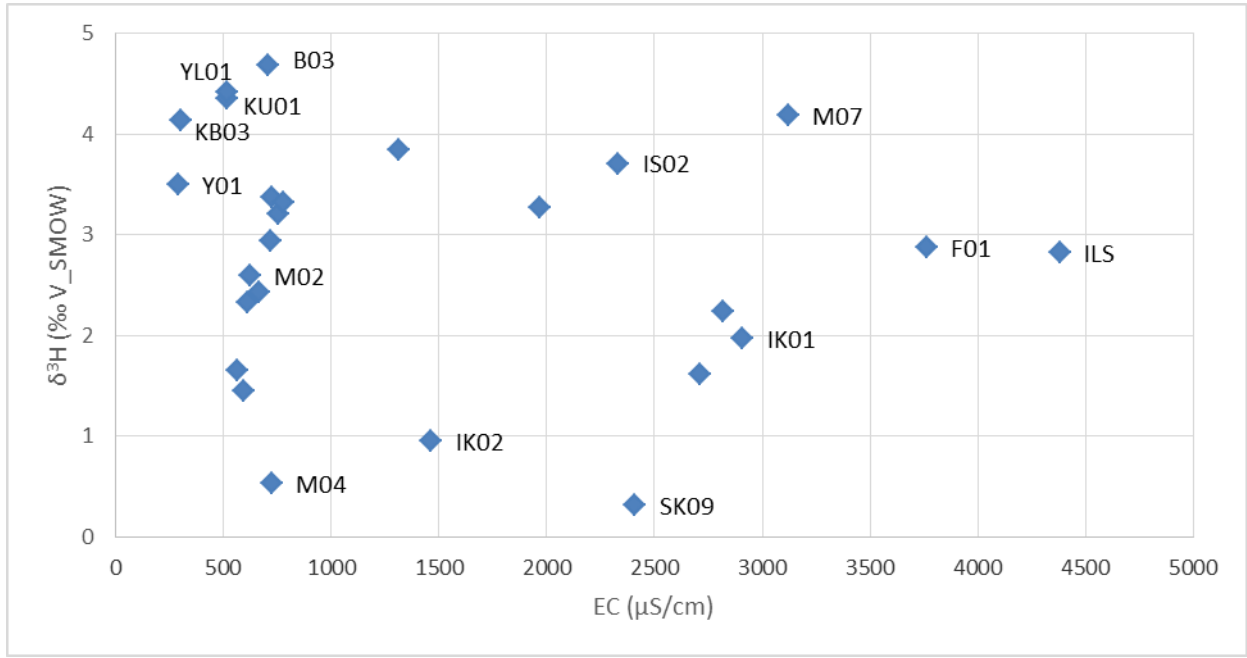
İnceleme alanındaki su kaynaklarında yükseklik ve $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi de irdelenmiştir (Şekil 11). Elde edilen veriler kot değeri yükseldikçe $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin azalığını göstermektedir. Yapılan önceki araştırmalarda da vurgulandığı gibi Oksijen-18 değerleri arasında bir ters orantılı ilişki bulunmaktadır ve her 100 m kot artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde ‰ 0,15 ile ‰ Eylül 2014'te alınan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ verilerine göre yarımada'daki tüm akiferler meteorik beslenimlidir. $\delta^3\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ verilerine göre, SK09, M04 ve IK02 numunelerine ait sular yarımada'daki diğer su kaynaklarına göre uzun süreli ve derin dolaşıma giren sular. SK09 kuyusundan alınan su yüksek Eİ değeri (2408 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ve düşük trityum (0.31 TU) değeri ile diğer su numunelerine göre daha yaşlı ve derin

0,5 arasında azalma görülmektedir (Payne ve Dinçer 1965; Yurtsever ve Gat 1981; Clark ve Fritz 1997).

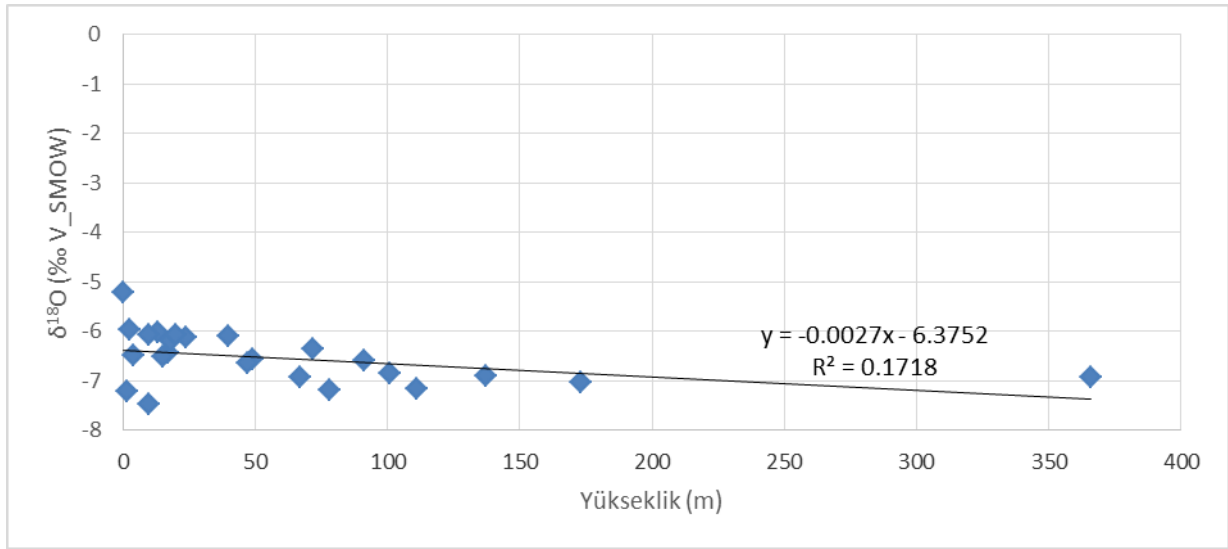
3 SONUÇLAR

Karaburun Yarımadası'ndan yağışlı ve kurak dönemleri temsil etmek üzere alınan numunelere ait sonuçlar karşılaştırıldığında iki dönem arasında suların sıcak değerlerinde farklılıklar görülmüş ve bu farklılıklar mevsimsel olarak yorumlanmıştır. pH değerlerinde büyük farklılıklar gözlenmezken I03, IK01, IK02, ILS, KB04, M07 ve SK09 numunelerine ait elektriksel iletkenlik değerlerinde farklılıklar gözlenmiştir. Eİ değerleri I03, KB04, M07 ve SK09 numunelerinde kurak dönemde daha yüksek iken IK01, IK02 ve ILS numunelerinde yağışlı dönemde daha yüksek olarak görülmüştür. Kurak dönemde Eİ değerlerinin daha yüksek görülmesi bu dönemde nüfus yoğunluğuna bağlı su kullanımının artması, mevsimsel olarak buharlaşmanın artması ve yağışın azalmasına bağlı akifer besleniminin azalması ve buna bağlı olarak deniz suyu girişi artmasıdır.

dolaşımındır. ILS numunesine ait Eİ değeri oldukça yüksek (4380 $\mu\text{S}/\text{cm}$) olmasına rağmen TU değeri nispeten yüksek (2.82) olması bu kuyuda deniz suyu girişimine işaret etmektedir. $\delta^{18}\text{O}$ ile yükseklik değerleri ilişkilendirilmiş ve artan yükseklik değerleri ile birlikte $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin düştüğü görülmüştür.



Şekil 10 - Eylül 2014 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^3\text{H}$ -Eİ grafiği



Şekil 11 - $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile yükseklik arasındaki ilişki

4 TEŞEKKÜR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 113Y042 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

5 KAYNAKLAR

- Baba, A., Deniz, O. ve Şanlıyüksel, D., 2008. Kazdağları Kuzey Doğusunda Bulunan Soğuk Su Kaynaklarının İzotopik Özellikleri. III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, say. 1-12., İstanbul.
- Değirmenci, M., Ekmekçi, M., Atmaca, E. ve Altın, A., 2008. Kayseri Kenti İçme Suyu Havzasındaki Akiferlerin Özelliklerinin İzotop Teknikleri Kullanılarak Belirlenmesi. III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, say. 271-284., İstanbul.
- Clark, I.D. and Fritz, P., 1997. Environmental Isotopes in Hydrogeology. Lewis Publishers, New York, 328p.
- Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1702-1703.
- Çakmakoğlu, A., Bilgin, R.Z., 2006. Karaburun Yarımadası'nın Neojen Öncesi Stratigrafisi. MTA Dergisi, 132, 33-62.
- Ercan T., Türkecan, A. ve Satır, M., 2000. Karaburun Yarımadası'nın Neojen Volkanizması. Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı I; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü yayını, Ankara, 1-18.
- Erdoğan, B., Altiner, D., Güngör, T., ve Özer, S., 1990. Karaburun Yarımadası'nın stratigrafisi, MTA Dergisi, 111, 1-23.
- Gatt, J.R., and Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea. J. Geophys. Res. 75, 3032-3048.
- Göçmez, G., Kahveci, B. ve Güven, N., 2008. Konya İli Tatlı Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal İncelemesi. III. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, say.121-132. İstanbul.
- Helvacı C., Ersoy, E.Y., Sözbilir, H., Erkül, F., Sümer, Ö., Uzel, B., 2009. Geochemistry and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of Miocene volcanic rocks from the Karaburun Peninsula: Implications for amphibole bearing lithospheric mantle source, Western Anatolia. Journal of Volcanology and Geothermal Research 185 (2009) 181–202.
- Kozur, H., 1998. The age of the siliciclastic series ("Karareis formation") of the western Karaburun peninsula, western Turkey, Paleontologica Polonica, 58, 172-187.
- Payne, B. and Dinçer, T., 1956. Isotope Survey of Karst Region of Southern Turkey, Proc. Of Sixth Int. Conference of Radiocarbon and Tritium Dating, IAEA, Publ.
- Türkecan, A., Ercan, T., Sevin, D., 1998. Karaburun Yarımadası'nın Neojen Volkanizması. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no.: 10185, Ankara.
- Yurtsever, Y. ve Gat, J.R., 1981. Stable Isotope Hydrology. Technical Report Series No:210, IAEA Vienna.
- Ünsal, N., Çelik, M. ve Afşin, M., 1996. Seyfe Kaynağı (Kırşehir) Dolayındaki Yeraltısularının Kimyasal ve İzotopik Özellikleriyle Kökeninin Araştırılması. 30. Yıl Sempozyumu Bildirileri, say. 491-503, KTÜ-Trabzon.

İKLİM, GÖL HİDROLOJİSİ VE GÖLSEL ÇAMURLARIN DURAYLI İZOTOPLARI ARASINDAKİ İLİŞKİLER: SÜNNET GÖLÜ'NDE (BOLU) BİR ÖRNEK ÇALIŞMA

Faruk OCAKOĞLU

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

Ahmet APAYDIN

Devlet Su İşleri 5. Bölge Müdürlüğü, Eskişehir Yolu 8. km, Ankara

Sanem AÇIKALIN

Badley Ashton and Associates Ltd, Winceby, İngiltere

Celal ERAYIK

Atilla Makina, Ata Plaza Kat: 4 Balgat, Ankara

(Makalenin geliş tarihi: 05.10.2015, Makalenin kabul tarihi:12.01.2016)

ÖZ

Bolu'nun Göynük ilçesi sınırları içinde bulunan Sünnet Gölü farklı zamanlardaki ölçümlere göre 0.13-0.18 km² yüzey alanına sahip küçük bir heyelan set gölüdür. Yaklaşık 11.4 km² drenaj alanına sahip olan göl, akarsularla beslenmektedir. Sünnet Gölü'nün doğal boşalımı heyelan kütlesinin mansabındaki kaynak ve buharlaşma yoluyla gerçekleşmektedir. Gölde alınan 2 karot üzerinde sedimentolojik gözlemler yapılmış, göl çamurlarında duraylı izotop ($\delta^{18}\text{O}$) ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Bolu Meteoroloji İstasyonu verileri kullanılarak günümüzden 1929 yılına kadar Sünnet Gölü seviye değişimleri tahmin edilmiş; tahmin edilen göl seviye değişimleri ile karotlardan elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ değerleri karşılaştırılarak bölgedeki iklimsel değişim hakkında yorumlar yapılmıştır.

Göl drenaj havzası ile gölün yüzey alanı ölçümleri, yağış ve buharlaşma değerleri ve heyelan setinin mansap tarafındaki kaynağın debi ölçümü Sünnet Gölü'nün 1929 yılına kadarki seviye değişimlerinin tahmini için kullanılmıştır. Havzada süzülme oranları, aylık sıcaklık ortalamaları ve son zamanlarda ölçülen 1-3 m'lik mevsimlik göl seviye değişimlerine göre ampirik olarak belirlenmiştir. Elde edilen seviye değişim modeline göre 1929-1950 yılları arasındaki göl seviyesi -1940'lardaki 3-4 yıllık ara dönem hariç- genel olarak -bugünkünden 10 m kadar- düşüktür. 1950-1970 yılları arasında göl seviyesi küçük sıçramalarla 10 m kadar yükselmiş, 1990'lara kadar ise küçük salınımlarla sabit kalmıştır. 1990 ile 2010 arasında 10 m kadar düşen göl seviyesi o zamandan bu yana sürekli bir yükselim göstermiştir.

Tahmin edilen göl seviye tarihçesi ile göl sel çamur kaydı arasında dikkat çekici benzerlikler görülmektedir. SK-2 karotunda 1970-1990 arasındaki yüksek göl seviyesi dönemi tipik olarak pembe/sarı çamurlardan oluşurken daha önceki düşük göl seviyesi zamanları daha çok kahverengi tonlarında çamurlara karşılık gelmektedir. 1948 ve 1995'teki iki düşük göl seviyesi dönemi aynı karotta iki $\delta^{18}\text{O}$ pozitif kayması ile tipiktir. Aynı karotta yağış ve sıcaklık ile $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri arasında dikkat çekici bir ilişki bulunamamıştır.

Mevcut veriler göl çamurlarının $\delta^{18}\text{O}$ değerlerinin doğrudan yağış ve sıcaklıktan ziyade yağış/buharlaşma dengesi tarafından belirlendiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Göl seviyesi, Karbonat duraylı izotopları, Su bütçesi, Sünnet Gölü

RELATION BETWEEN CLIMATE, HYDROLOGY AND STABLE ISOTOPES OF LAKE SEDIMENTS: A STUDY FROM LAKE SÜNNET (BOLU)

ABSTRACT

Lake Sünnet, located in the Göynük district of Bolu province, is a landslide-dammed lake with a surface area ranging between 0.13 and 0.18 km². Several creeks draining an area of about 11.4 km² recharge the lake. The discharge of the lake is by means of evaporation and leakage to a spring located in the downstream side of the landslide. Sedimentological observations and **stable isotope**

measurements ($\delta^{18}\text{O}$) have been performed on two cores (SK-2 and SK-4) obtained from the lake. Additionally, water levels of Lake Sünnet were predicted back to 1929 using data from the Bolu Meteorological Observation Station. The $\delta^{18}\text{O}$ data obtained from the cores are compared with the changes in the predicted water level data to interpret the climate change in the region.

The basin area and lake surface area, precipitation and evaporation data and the discharge of the spring draining the lake have been used for prediction of the lake water level changes back to 1929. Infiltration rates in the basin were empirically estimated based on the monthly mean temperature and recent measurements of lake level changes ranging from 1 to 3 meters. According to the established model, the lake level was generally about 10 meters lower than today between 1929 and 1950 (except a 3-4 years period in 1940s). The lake level rose 10 meters with small increments during 1950-1970 period and stabilized with small oscillations towards 1990s. The lake level decreased 10 m in the period 1990-2010 and has been continuously increasing since then.

Remarkable correlations between the predicted lake level history and lake sediment records are observed. The high water level period between 1970 and 1990 is represented by typically pink/yellow mud, whereas the previous low-level period corresponds mostly to the muds with different shades of brown. Two low-level periods in 1948 and 1995 are typical with two positive shifts of $\delta^{18}\text{O}$ in corresponding core samples. No remarkable correlation between the precipitation and temperature, and The $\delta^{18}\text{O}$ time series does not correlate well with the corresponding temperature and precipitation record.

Present data indicates that temporal $\delta^{18}\text{O}$ signal of the lake sediments has been determined by the water balance of the lake rather than the temporal oscillations of precipitation and temperature.

Key words: Lake level, stable isotope of lake carbonates, water budget,

1 GİRİŞ

Paleoklimatoloji-geçmiş zaman iklimlerini inceleme bilimi- çalışmalarında, "arşiv" olarak da anılan, farklı çökelme ortamlarında oluşmuş sedimanlardan yararlanır. Bu sedimanların en sık kullanılanı gölssel ortam sedimanlarıdır. Gölssel ortamlar uygun koşullar altında mevsimsel laminaların oluşumuna izin vererek paleoklimatolojik çalışmalar için sağlam bir zaman çerçevesi kurulmasını sağlarlar. Daha önemlisi, göl tabanında biriken sedimanlar, göl hidrolojisi/iç dinamikleri tarafından kısmen değiştirilip bozulsa da, göl civarındaki egemen iklimsel koşullarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik bir kaydını tutarlar. Göl tabanından alınan bir karottaki bir iklimsel göstergenin alttan üste doğru değişimi, iklimin geçmişten günümüze değişimi hakkında bilgi sunmaktadır.

Kullanışlı iklimsel göstergelerden biri dip çamurlarındaki karbonatın ya da bunlar içindeki kavrıkların $\delta^{18}\text{O}$ oranlarıdır. Bu oran bir dizi faktörün (örn. yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriği, hava sıcaklığı, göl suyu sıcaklığı, yağış ve buharlaşma miktarları ile göl suyu konaklama süresi) etkisi ile değişir. Göl hidrolojisinin dikkatli bir analizinden sonra, genellikle bir karot boyunca daha negatif $\delta^{18}\text{O}$ değerleri yağış-buharlaşma dengesinin yağış lehine kaydığını (yani iklimin daha nemli hale geldiğini), pozitif kayan değerler ise bu dengenin buharlaşma lehine bozulduğunu (yani kuraklığın arttığını) gösterebilir (Leng and Marshall, 2004).

Bu çalışmada Sünnet Gölü'nde (KB Anadolu, Bolu) aletsel dönem boyunca (1929'dan

günümüze) iklimsel ve hidrolojik verilerle göl dip çamurlarındaki karbonatın $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. Böylece bilinen bazı hidrolojik parametreler kullanılarak ampirik olarak eski göl seviyeleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgular dip çamurlarındaki karbonatın $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin, doğrudan sıcaklık ve yağıştan ziyade göl seviyesi (= göl su bütçesi) ile daha yakın ilişkili olduğunu göstermiştir.

2 İKLİMSEL VE JEOMORFOLOJİK ÇERÇEVE

Sünnet Gölü, Bolu ilinin GB'sında Göynük ilçesinin idari sınırları içindedir. Mudurnu ile Göynük arasında bulunan göl Göynük'e 11 km, Mudurnu'ya 22 km kuş uçuşu uzaklıktadır. Göl Marmara bölgesi iklimi ile yarı kurak İç Anadolu iklimi arasındaki geçiş kuşağının çok yakınında, Marmara tarafında yer alır (Şekil 1). Çalışma alanına yaklaşık 60 km mesafedeki Bolu meteoroloji istasyonuna (BMİ) ait 1929-2013 yılları arasındaki verilere göre yıllık ortalama yağış 538 mm, yıllık ortalama sıcaklık 10.3 °C ve yıllık ortalama buharlaşma 827 mm düzeyindedir. Yağmur ve kar şeklinde gerçekleşen yağış, yaz dönemi dışındaki aylara az çok eşit olarak yayılır. Soğuk kış aylarında Sünnet gölünün yüzeyi çoğunlukla buz tutar (Şekil 2A).

Sünnet Gölü, kuzeye doğru akan bir derenin oluşturduğu vadinin Erenler Sırtı civarındaki boğaz kesiminin her iki yamaçtan gelen heyelanlarla tıkanması sonucunda oluşmuştur (Şekil 3). Önceki çalışmalar heyelanların Erken Holosen'de, muhtemelen hemen kuzeydeki

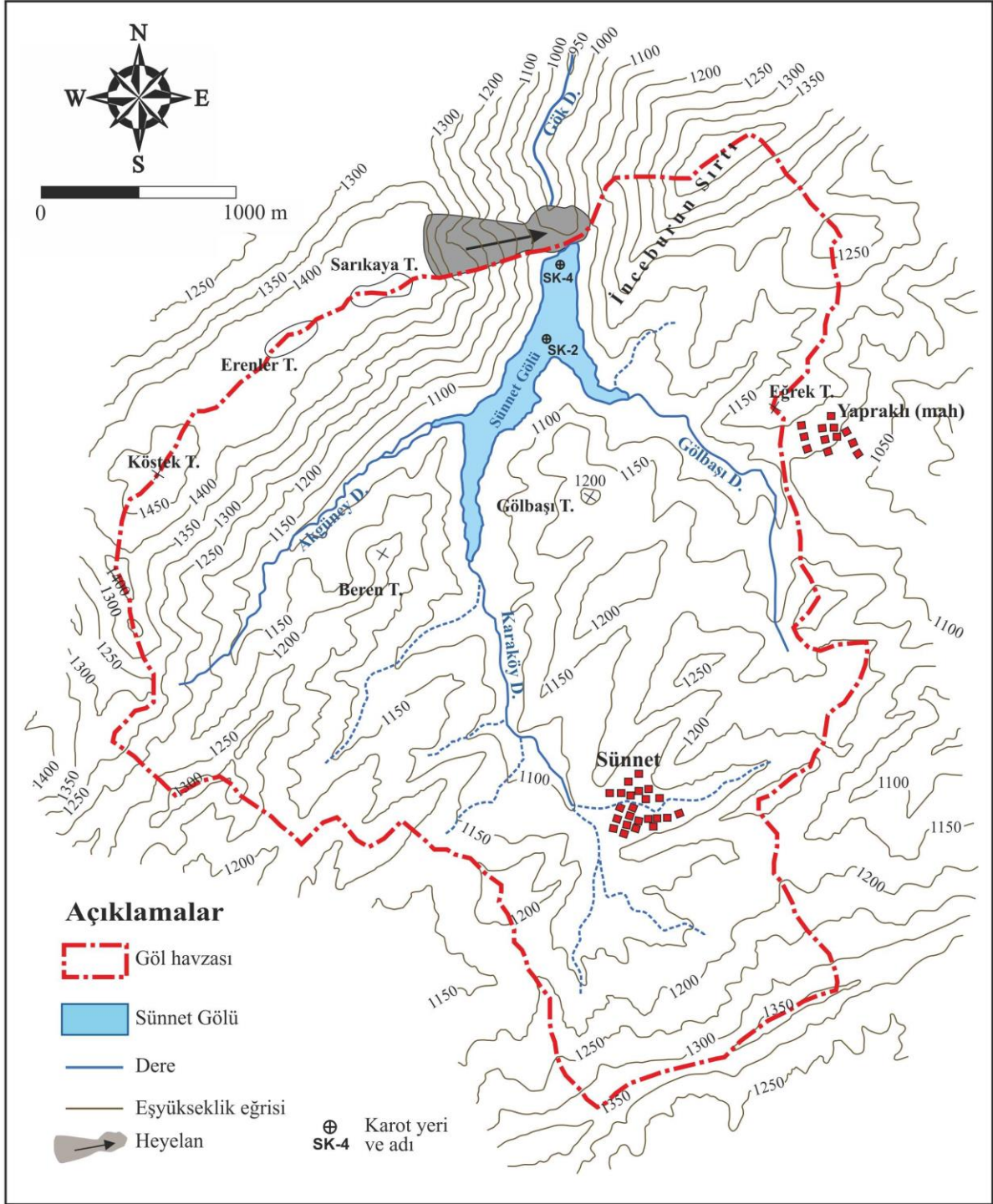
besleyen Karaköy deresi kenarındaki taraçalar bölgedeki Erken-Orta Holosen ikliminin tanımlanmasına yönelik önemli veri kaynağı olarak değerlendirilmiştir (Ocakoğlu vd., 2013).



Sünnet Gölü; Sakarya ana havzası içinde Mudurnu Suyu alt havzasındadır. Gölün drenaj alanı 11,39 km², göl yüzey alanı ise 181,087 m²'dir. Göl havzası 1040 m ile 1450 m arasında, çoğunlukla ormanlık ve sarp arazidir (Şekil 2). Göl drenaj havzası büyük oranda Geç Kretase-Paleojen yaşlı kırıntılı kayaçlarla kaplıdır. Göl ise Erken Kretase yaşlı, ince-orta tabakalı marn/kireçtaşı ardaalanması üzerinde yer alır. Gölün ana beslenimi Akgüney, Karaköy ve Gölbaşı derelerince sağlanır (Şekil 3). Göle yeraltından, kireçtaşı-marn ardaalanmalı formasyondan beslenme olabileceğine dair belirgin bir kanıt yoktur.

sonra göl en fazla bu yüksekliğe kadar yükselerek setin mansap tarafından boşalmaktadır (Şekil 3C). Bu yapay boşalım dışında setin mansap tarafından doğal kaynak şeklinde bir büyük boşalım daha mevcuttur (Şekil 3D). Bu kaynağın suyu hemen yakındaki ruhsatlı bir alabalık üretim çiftliğinde kullanılmaktadır. Kaynağın debisi 1998 Mayıs ayında DSİ tarafından 113 litre/saniye ölçülmüştür. Alabalık çiftliği sahibi, yaz aylarında kaynağın debisinin biraz azaldığını belirtmiştir. Gölün konumu menba-mansap doğrultulu kesitte (Şekil 4) verilmiştir.

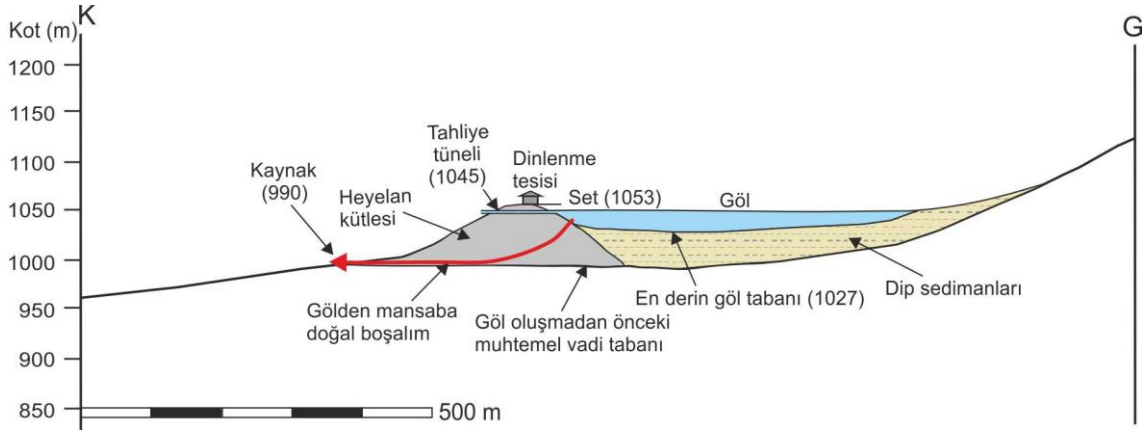
28



Şekil 2 - Sünnet Gölü drenaj havzasının jeomorfolojisi



Şekil 3 - Sünnet Gölü'ne ait bazı görüntüler A- 2015 Şubat ayında donmuş Sünnet gölü B- Göl seviyesinin yükselmesini önlemek için inşa edilmiş tahliye tüneli C-Şubat 2015'te tahliye tüneline mansap tarafına akış D- Heyelan setinden doğal olarak kaçan su balık çiftliğindeki havuza akarken



Şekil 4 - Sünnet Gölü ve dip sedimanları ile seddeyi oluşturan heyelanın konumu.

4 GEÇMİŞ GÖL SEVİYE DEĞİŞİMLERİNİN ANALİZİ

Bolu Meteoroloji İstasyonu'nda 1929'a kadar geriye uzanan meteorolojik verilerinden itibaren Sünnet Gölü'nün geçmiş seviye

değişimlerini belirlemek için meteorolojik verilerle dip çamurlarındaki karbonatın $\delta^{18}\text{O}$ konsantrasyonları arasında ilişki kuran ampirik bir yol izlenmiş; elde edilen sonuçlar sınır koşullarla ve son zamanlarda ölçülen bazı

parametrelerle uygunluğuna göre kabul ya da reddedilmiştir. Ampirik bir yol izlenmesinin nedeni gölü besleyen derelerle gölden kaynak şeklindeki boşalmanın debilerine dair çok az veri olması ya da hiç veri olmamasıdır. Ampirik modelin kabul edilebilirliğini test etmek için az da olsa veri bulunmaktadır. Bunlar 2005-2007 yıllarına ait mevsimlik göl seviye değişimleri (5-6 m mertebesinde) (Külköylüoğlu vd., 2007) ile göl tabanı ile vadi içinde heyelan seti arasındaki kot farkıdır (1053-1027 m= 26 m). Bu ikinci, ampirik formüllerin üretebileceği makul göl seviyesi değişiminin üst sınırını göstermektedir. Ampirik modelde kullanılan parametreler, ampirik olarak tahmin edilen değişkenler ve test verileri toplu olarak Çizelge 1’de sunulmuştur. Bu veriler kullanılarak göl seviyesi aylık olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır. Aylık değişimlerin toplanması suretiyle yıllık göl seviyesi değişimleri elde edilerek yıllara göre grafiklere dönüştürülmüştür (Şekil 5).

**Göl seviyesi = (yağış-süzülme-
evapotranspirasyon-set bölgesinden
kaçak)/göl alanı**

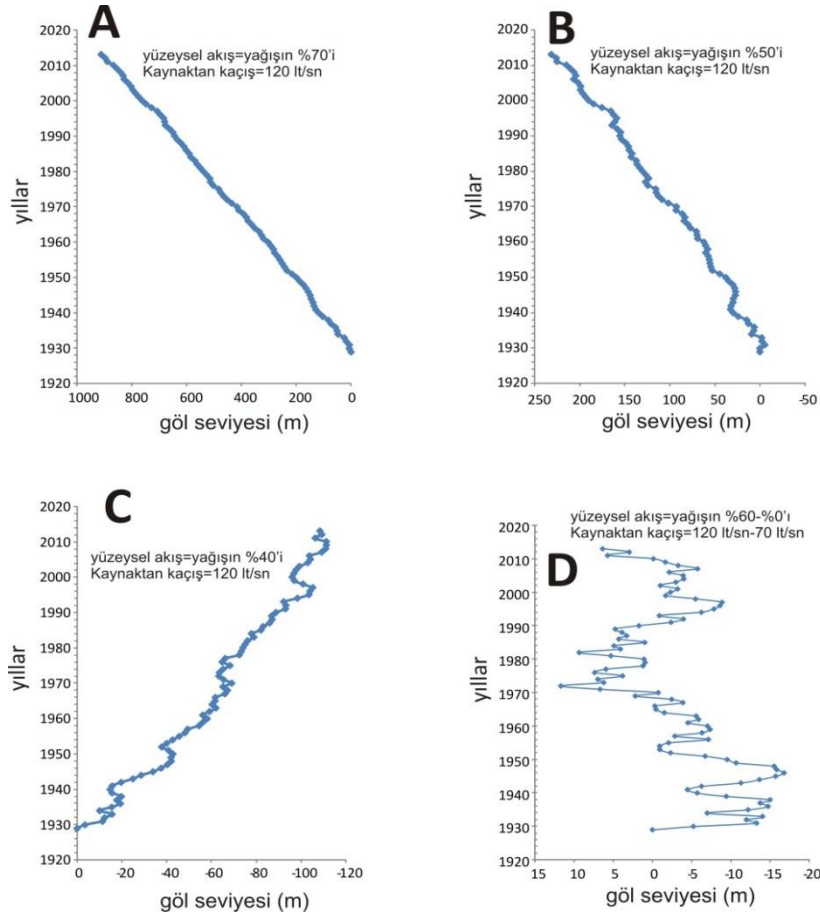
Şekil 4, ölçülemeyen bazı parametrelere verilen ampirik değerlerle göl seviyesinin yıllara göre nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 5A ve Şekil 5B, yağışın sırasıyla %70 ve %50’sinin yıl boyu akışa geçtiğinin kabul edilmesi durumunda göl seviyesinin yüzlerce metre yükseleceğini göstermektedir ve mevcut sınır koşullarını karşılamamaktadır. Şekil 5C ise yağışın %40’ının yıl boyu akışa geçmesi durumunda göl seviyesinin sürekli düşeceğini göstermektedir ki bu da gerçekçi değildir.

Şekil 5D, iki test ölçütünü en iyi karşılayan, ampirik olarak elde edilmiş grafiklerdir. Grafiğin oluşturulmasında, Yağışın kış aylarında %65 oranında akışa geçtiği, yaz aylarında ise bu değerler dereceli bir şekilde %0 düştüğü kabul edilmiştir. Benzer şekilde kaynaktan boşalmanın da kış aylarında 120 litre/saniye, yaz aylarında ise 70 litre/saniye olduğu varsayılmıştır. Bu grafiğin karşıladığı ölçütlerden ilki, 2005 ve 2007 yıllarında yaklaşık 5-6 m arasında mevsimlik göl seviyesi değişimi ve uzun yıllarda toplam göl seviyesi değişiminin 26 m’den küçük kalmasıdır. İkinci ölçüt göl tabanı kotu ile heyelan set kotu farkından kaynaklanmaktadır. Gölün 1929’dan bu yana hiç bir zaman tamamen kurumadığı ya da taşmadığı yerel halk tarafından bildirildiğinden ampirik modelde göl seviye değişimi <26 m olmalıdır. Şekil 5D’deki ampirik model bu koşulları sağlamaktadır (2007 göl seviye değişimi 5.8 m ve 1929-2013 arasında maksimum seviye farkı 20 m kadar).

Ampirik modelin ürettiği makul sonuca göre (Şekil 5D), göl seviyesi 1970’lere kadar genel olarak günümüze göre ortalama 15 m kadar daha düşük seviyelerde seyretmiş; bu dönem boyunca 1930’ların ve 1940’ların sonlarında iki minimum yapmıştır. 1971 yılından başlayarak göl seviyesi 3-4 yıl içinde bugünkü kotlara ulaşmış ve 1990’ların başına kadar küçük salınımlarla sabit kalmıştır. 1991-2008 yılları arasında bugünküne göre 5-6 m’lik düşük su seviyesinden sonra 2008’den itibaren su seviyesi yeniden yükselmeye başlamıştır. Göl seviyesi 2013’te en üst kotlara ulaşmıştır.

Çizelge 1 - Ampirik modelin oluşturulmasında kullanılan veri takımları

Bilinen Parametreler	Ampirik olarak tahmin edilen değişkenler	Test verileri
- Göl havzası alanı = 11.396.708 m² - Göl alanı= 181.087 m² - Gölden kaçış (kaynak)= 118 lt/sn - Aylık yağış (BMİ’den)* - Aylık sıcaklık (BMİ’den) - Aylık evaporasyon (BMİ’den)	Derelerden beslenme	2007 ve 2008’de mevsimlik göl seviye değişimleri - Göl tabanı ile set zirvesi arasındaki yükseklik farkı



Şekil 5 - Sünnet Gölü'nde seviye değişimlerinin ampirik olarak tahmini A-Yüzeysel akış oranı sabit, yağışın %70'i akışa geçer, kaynaktan boşalım sabit ve 120 lt/sn, B-Yüzeysel akış oranı sabit, yağışın %50'si akışa geçer, kaynaktan boşalım sabit ve 120 lt/sn, C-Yüzeysel akış oranı sabit, yağışın %40'ı akışa geçer, kaynaktan boşalım sabit ve 120 lt/sn, D-Yüzeysel akış mevsimlere göre değişken (%60-%0) ve kaynaktan boşalım mevsimlere göre değişken (120-70 lt/sn) (*BMİ: Bolu Meteoroloji İstasyonu)

5 İKLİM İLE GÖL SEDİMANLARININ $\delta^{18}\text{O}$ İÇERİKLERİ ARASINDAKİ İLİŞKİLER

Şekil 6 ve Şekil 7'de Sünnet Gölü'nün orta ve kuzey kesimlerinden alınan iki karota (sırasıyla SK-2 ve SK-4; Şekil 2) ait litolojiler, çamurdaki karbonatın $\delta^{18}\text{O}$ içeriği (bundan böyle yalnızca $\delta^{18}\text{O}$) ile yağış, sıcaklık ve göl seviye değişimi eğrileri sunulmuştur.

Karot verileri ile iklimsel verilerin karşılaştırılmasında temel güçlük karotlarda genç kronolojinin yeterince güçlü kurulamamış olmasıdır. Her iki karotta da yaş modeli, daha alt bir seviyedeki bir radyokarbon yaşıyla karotun alındığı yılı (2009) temsil eden en üst seviyenin lineer ekstrapolasyonu ile kurulmuştur.

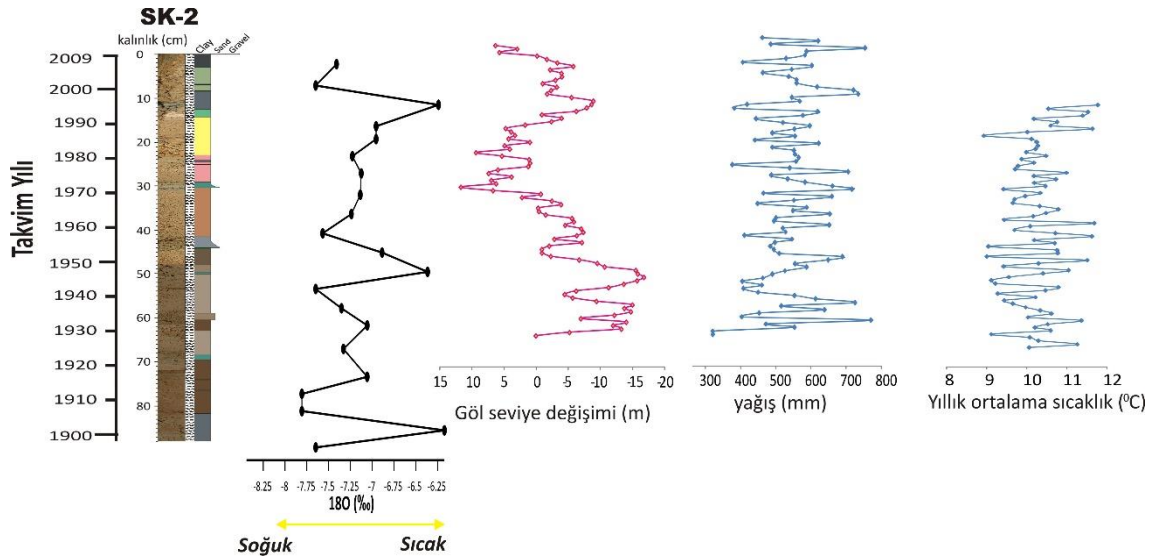
Buna göre, SK-2 karotunda yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri ile $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında belirgin bir ilişki görülmez (Şekil 5). Yağış eğrisinde 1950 ve 2000 yıllarındaki yağış piklerinden hemen önce $\delta^{18}\text{O}$ piki dikkat çeker. Buna karşın göl seviye değişimleri ile $\delta^{18}\text{O}$ eğrisi arasındaki ilişki daha belirgindir.

1947 ve 1996 yıllarına tekabül eden $\delta^{18}\text{O}$ pikleri çok belirgin göl seviyesi düşümlerine karşılık gelmektedir. Benzer şekilde 1997 yılını izleyen göz seviye değişimlerinin kaba da olsa $\delta^{18}\text{O}$ karşılıkları mevcuttur. SK-2 karotunda göl seviye değişimleri ile sedimanların renkleri arasında da yakın bir ilişki vardır. Göl seviyesinin düşük olduğu 1953 öncesi dönem çoğunlukla kahverenginin koyu tonlarında sedimanlarla temsil olunurken, göl seviyesinin kısmen yükseldiği 1954-1969 arasında birikmiş sedimanlar açık kahverengi renklidirler. Göl seviyesinin zirve yaptığı 1970-1990 arasında biriken sedimanlar ise pembemsi ve sarımsıdırlar. Bu farklı renk tonlarının göl tabanındaki oksidasyon koşulları ile yakından ilişkili olduğu düşünülmektedir (Ocakoğlu vd., 2011).

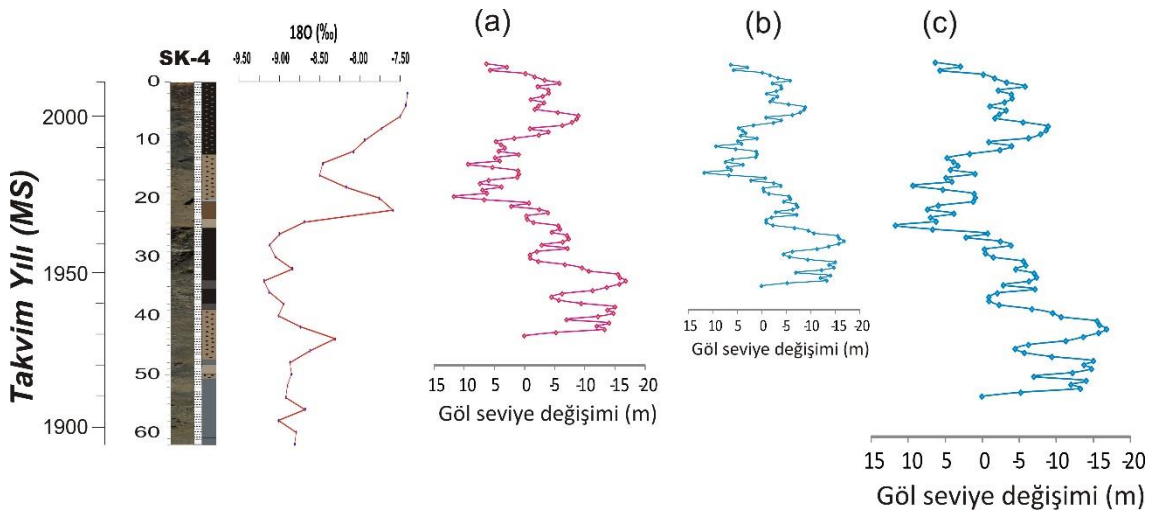
SK-4 karotunda göl seviye değişimleri ile $\delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişki, olasılıkla çökeltme hızlarının karot boyunca değişmesi nedeniyle karmaşıktır (Şekil 6). Karotta sabit çökeltim hızını esas alan yaş modeline uyan göl seviyesi değişimine

göre (Şekil 6'da a), 1980'lerden 1990'lara doğru azalan göl seviyesinin $\delta^{18}\text{O}$ eğrisinde karşılığı vardır. Ancak yaşlı seviyelerin karşılığı bulunmamaktadır. Yaş modelinin gerçeği yansıtmadığı kabul edilirse (Şekil 6'da b), karotta giderek negatife kayan $\delta^{18}\text{O}$ değer aralığı (2-16 cm arası) aslında 2009-1971 dönemine karşılık gelmekte; $\delta^{18}\text{O}$ açısından negatife kayan 16-22 cm aralığı ise 1971-1947 dönemine karşılık gelmektedir. Üçüncü olasılık (Şekil 6'da c) cm'de izleyen $\delta^{18}\text{O}$ pozitifte kayışının 1946 yılındaki minimum göl seviyesine karşılık gelmesidir. Ancak bundan

emin olmak zordur. SK-4 karotu için söylenebilecek olan karot boyunca değişen çökme hızının söz konusu olduğudur. Bu durum, muhtemelen karot yerinin gölün tabanında değil de yamaçlarında yer almasından kaynaklanmaktadır. Düşük göl seviyesi dönemlerinde karot lokasyonu suüstü olduğundan sediman birikmemiş, hatta aşınmış olmalı; birikim yalnızca yüksek göl seviyelerinde gerçekleşmiş olmalıdır. Yaş modelindeki dengesizliğin nedeni muhtemelen budur.



Şekil 6 - SK-2 karotundaki $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile göl seviye değişimleri, yağış ve sıcaklık değerlerinin ilişkisi



Şekil 7 - SK-4 karotunda $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ile göl seviye değişimlerinin ilişkisi: a- Karotta yaş modelinin doğru olduğu kabulü ile b, c- farklı yaş modellerini karşılayan göl seviye değişimleri

6 SONUÇLAR

Çok sınırlı hidrolojik verilere sahip Sünnet gölünün seviye değişimleri, Bolu Meteoroloji İstasyonu'nun 1929-2013 dönemi iklim verileri vasıtasıyla ampirik olarak geri kestirilmiştir. Elde edilen göl seviye değişimi eğrisine göre, 1929-1970 arasında göl seviyesi bugünkünden 15 m kadar düşüktür. 1971-1989 arasında bugünkü yüksek seviyesinde iken, 1990-2010 arasında yeniden 10 m kadar düşmüştür. 2010 yılından sonra göl seviyesi hızla yükselerek bugünkü yüksek konumuna ulaşmıştır.

Özetlenen ampirik geri kestirimin doğruluğu göl tabanından alınan iki karottaki sedimanların litolojisi ve $\delta^{18}\text{O}$ değişimleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, düşük göl seviyesine karşılık gelen dönemlerde biriken sedimanlar koyu kahverengi tonlarında iken yüksek göl seviyesinde birikenler sarımsı ve pembemsi. Yağış ve sıcaklık verileri ile $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmazken, karotlardan birinde (SK-2) ampirik göl seviyesi değişimleri ile $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında dikkat çekici uyum belirlenmiştir. Diğer karotta (SK-4) bu ilişkinin silik olmasının, karot boyunca çöküm hızının değişmesinden kaynaklı bir yaş modeli hatası olabileceği düşünülmüştür.

7 TEŞEKKÜR

Bu çalışma Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Araştırma Fonu'nun "KB Anadolu'daki Sünnet Gölü Gölse Arşivinin Sedimentolojik, Jeokimyasal ve Paleoeolojik Araçlarla Paleoklimsel Açidan İncelenmesi" başlıklı 200915009 nolu projesi tarafından desteklenmiştir.

8 KAYNAKLAR

- Apaydın, A., 2004. Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) beslenme koşullarının araştırılması. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 147 s.
- Atalay, İ., Mortan, K., 1997. Türkiye Bölgesel Coğrafyası. İnkılap Yayınevi: İstanbul, 312 pp.
- Erayık, E., 2011. Sünnet Gölü Arşivinin (Mudurnu, Bolu, KB Anadolu) Farklı disiplinlerle Paleoklimsel İncelemesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 152 s.
- Leng, M.J., Marshall, J.D., 2004. Palaeoclimate interpretation of stable isotope data from lake sediment archives. Quaternary Science Reviews 23: 811-831.
- Külköylüoğlu, O., Dügel, M., Kılıç, M., 2007. Çevresel Faktörlerin Sünnet Gölü (Bolu, Türkiye) Ostrakoda (Crustacea) Faunası Üzerine Mevsimsel Etkileri. TÜBİTAK Proje no: 104Y222, 43 s., Ankara.
- Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Yılmaz, İ.Ö., Dönmez-Oymak, E., Akbulut, A., Tunoğlu, C., Erayık, C., Kır, O., 2011. Paleoclimatic Investigation of Sünnet lake Lacustrine Archives in NW Anatolia by Sedimentological, Geochemical and Paleoeological Tools. Eskişehir Osmangazi University, Research Project, Project no: 200915009, 180 p.
- Ocakoğlu F, Kır O, Yılmaz İÖ, Açıkalın S, Erayık C, Tunoğlu C and Leroy SAG (2013) Early to Mid-Holocene Lake level and Temperature Records from the Terraces of Lake Sünnet in NW Anatolia, Turkey. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 369: 175–184.

TÜRKİYE'DE İÇME SULARINDA DÖTERYUM KONSANTRASYONU

Ayşen YARAT

Marmara Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri, Biyokimya, Nişantaşı, İstanbul,
Türkiye
ayarat@marmara.edu.tr

Özlem SAÇAN

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim Dalı, Avcılar, İstanbul,
Türkiye

Tuğba TUNALI AKBAY

¹Marmara Üniversitesi, Dişhekimliği Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri, Biyokimya, Nişantaşı, İstanbul,
Türkiye

Refiye YANARDAĞ

²İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü, Biyokimya Anabilim Dalı, Avcılar,
İstanbul, Türkiye

(Makalenin geliş tarihi: 09.10.2015, Makalenin kabul tarihi:26.02.2016)

ÖZ

Döteryum çeşitli moleküllerin ve suyun yapısında mevcuttur. Doğal sular H₂O ve D₂O karışımıdır. Doğal içme sularının döteryum konsantrasyonu coğrafi farklılıklara göre bölgeden bölgeye değişmektedir. Buda vücut sıvılarında döteryum konsantrasyonunun farklı olmasına neden olmaktadır. Sağlıklı bir kişide kanda döteryum konsantrasyonu yaklaşık olarak 150 ppm civarındadır. Bu miktar yaşa ve cinsiyete göre değişmektedir. Döteryumun, hayvan ve bitki hücrelerinin normal büyümesi için gerekli olduğu gösterilmiştir. Bu pilot çalışmada Türkiye'nin 7 farklı bölgesinin 29 ilinden elde edilen toplam 100 adet su örneğinde döteryum tayini yapılmıştır. Döteryum konsantrasyonunun 147 ppm ile 152 ppm arasında değiştiği saptanmıştır. Daha sonra yapılacak detaylı araştırmalarla Türkiye sularının döteryum haritasının çıkarılması ve bu bölgelerde sıklıkla rastlanılan hastalıkların sudaki döteryum konsantrasyonu ile ilişkisinin araştırılması, halk sağlığının iyileştirilmesine yönelik çalışmalara önemli katkılar sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Döteryum, içme suyu, Türkiye

DEUTERIUM CONCENTRATIONS OF DRINKING WATERS IN TURKEY

ABSTRACT

Deuterium exists as a component of various molecules and natural water. The natural water is a mixture of H₂O and D₂O. Deuterium concentration of natural water varies from region to region depending on the geographical differences. This situation causes different deuterium concentrations in body fluids. Deuterium concentration is approximately 150 ppm in healthy human blood. This value can change depending on the age and sex. It has been revealed that, deuterium is essential for normal growth of animal and plant cells. In this pilot study, deuterium concentrations were determined in a hundred water samples obtained from 29 cities of 7 different regions of Turkey. Deuterium concentrations were found to be between 147-152 ppm. In the future, by the detailed researches that obtain the deuterium map of water in Turkey and their regional relation to the frequently encountered diseases will provide an important contribution to public health improvement.

Key words : Deuterium, drinking water, Turkey

1 GİRİŞ VE AMAÇ

Su, bilindiği gibi yeryüzünde en fazla bulunan ve canlı organizmaların fonksiyonlarını devam ettirebilmesi için gerekli olan en önemli moleküllerden biridir. İnsanlar ve tüm canlılar için içme suyunun güvenilir ve iyi kalitede olması, zararlı maddeler içermemesi gereklidir (Wang ve ark., 1999; Verbalis, 2003).

Döteryum çeşitli moleküllerin ve suyun yapısında mevcuttur. Doğal sular H₂O ve D₂O karışımıdır. Döteryum (D), hidrojenin (H) radyoaktif olmayan tek kararlı izotopudur. Sularda D/H oranı 1/6600 olup yaklaşık 150 ppm'e tekabül etmektedir (Collins ve Bowman, 1971; Wiberg, 1955). Döteryumu azaltılmış su diğer adıyla hafif su için bu oran 150 ppm'den düşüktür. Ağır suda ise bu oran daha yüksektir. Ağır su yüzdeleri yüksek olan sularda canlılar yaşayamazlar ya da yaşamakta çok zorluk çekerler (Jansco ve Van Hook, 1974; Rundell ve ark., 1988; Wang ve ark., 2013).

Doğal içme sularının döteryum konsantrasyonu coğrafi farklılıklara göre bölgeden bölgeye değişmektedir. Döteryumun, insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde hücrenin normal büyümesi için gerekli olduğu gösterilmiştir (Somlyai 2002; Somlyai ve ark., 1993). Döteryum konsantrasyonunun kanda ve idrarda farklı olduğu tespit edilmiş ve bu farklılığın içilen sudaki döteryum konsantrasyonu ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Sağlıklı bir kişide kanda döteryum konsantrasyonu yaklaşık 150 ppm civarındadır. Bu miktar yaşa ve cinsiyete göre değişmektedir (Blaga, 1978; Berdea ve ark., 2001).

Döteryumun biyolojik sistemler üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar genellikle döteryum fazlalığı ile ilgilidir. Döteryum konsantrasyonundaki hafif bir artış büyümeyi uyarmaktadır (Czajka ve ark., 1961; Katz ve ark., 1962; Somlyai 2002). İlk defa 1993 yılında, döteryum konsantrasyonu az olan içme sularının canlı organizmayı etkilediğinden bahsedilmiştir (Somlyai ve ark., 1993). Döteryum konsantrasyonu az olan suyun kullanımı tek hücreli ve çok hücreli organizmaların ömrünü uzattığı, sağlıklı hücreler üzerinde hiçbir zararlı etkisi olmadığı, hastalıklı hücrelerin, nekroz veya apoptoz yolu ile ölümüne neden olduğu belirtilmektedir (Bild ve ark., 2004; Somlyai ve ark., 2010; Kovacs ve ark., 2011; Krempels ve ark., 2008; Yarat 2013).

Türkiye'de içme ve kaynak sularında döteryum konsantrasyonu tam olarak belirlenmediği için bu çalışmanın amacı, yurdumuzun 7 farklı bölgesinde yer alan 29 ilimizden toplanan 100 adet içme suyu örneklerinde döteryum konsantrasyonunu tayin etmektir.

2 MATERYAL VE METOT

Çalışmamızda 29 ilimizden uygun şartlarda toplanmış ve saklanmış içme suyu örneklerinde döteryum tayini yapılmıştır. Su örneklerinde döteryum tayini Ankara'da Devlet Su İşleri (DSİ) İzotop Laboratuvarında, IAEA (International Atomic Energy Agency) standartlarına göre yapılmıştır. Sulardaki izotop oranları yaygın olarak IAEA'nın belirlediği bir standarttan VIENNA Standard Mean Ocean Water (VSMOW) sapma olarak hesaplanır. VSMOW farklı okyanuslardan su örnekleri alınarak hazırlanmış, sularda hidrojen ve oksijen izotopları ölçümünde kullanılan referans kaynağıdır. Hidrolojik çevrimin başlangıç ve sonu olmaları, su kaynaklarının % 97'sini oluşturmaları ve izotopik açıdan düzgün bir dağılım göstermeleri nedeniyle sulardaki izotop değerlerinin okyanuslardan elde edilen bir standarda göre belirlenmesi ideal bir tercihtir. Sularda izotop ölçümünde DSİ İzotop Laboratuvarında IRMS DUAL INLET cihazı kullanılmaktadır. Bu cihazda Dengeleme Metodu kullanılarak sonuçlar elde edilmektedir. Her bir su örneğinin 400 µl'si içindeki hava vakumlandıktan sonra ²H analizi için H₂, ¹⁸O analizi için CO₂ referans gazı ile doldurulur. 40 °C sıcaklıkta dengeleme reaksiyonları gerçekleşir. Su ile gaz arasında dengeleme olduğunda her ikisinin de izotop oranları aynı olmaktadır. Ancak gaz ve suyun denk olan bu değeri suyun izotopik değeri değildir. Bu dengeleme sırasında su bir miktar buharlaşmıştır, çünkü dengeleme sıcaklığı 40 °C'dir ve suda olan izotoplar gazda da vardır. Aslında ayrışma (fractionation) olmuştur. Bu durumu düzeltmek için gaz + buhar karışımı alınıp -90 °C'lik bir tuzakta bekletilerek gaz buhardan ayrıştırılır. Böylece DUAL INLET'e sadece gaz ulaşmış olur. Bu gaz numune körüğüne alınırken dengelemede kullanılan referans gaz DUAL INLET'te referans körüğüne alınarak izotop oranı her bir numune için ölçülerek suyun izotop oranına ulaşılır. δ (%) olarak verilen sonuçlar aşağıdaki (1) no'lu formülle ppm cinsine çevrilir.

$$(1) \quad \delta^2H \text{ (ppm)} = \left[\left(\frac{\text{örnek}}{\text{referans}} - 1 \right) \times 1000 \right] \times (155.76)$$

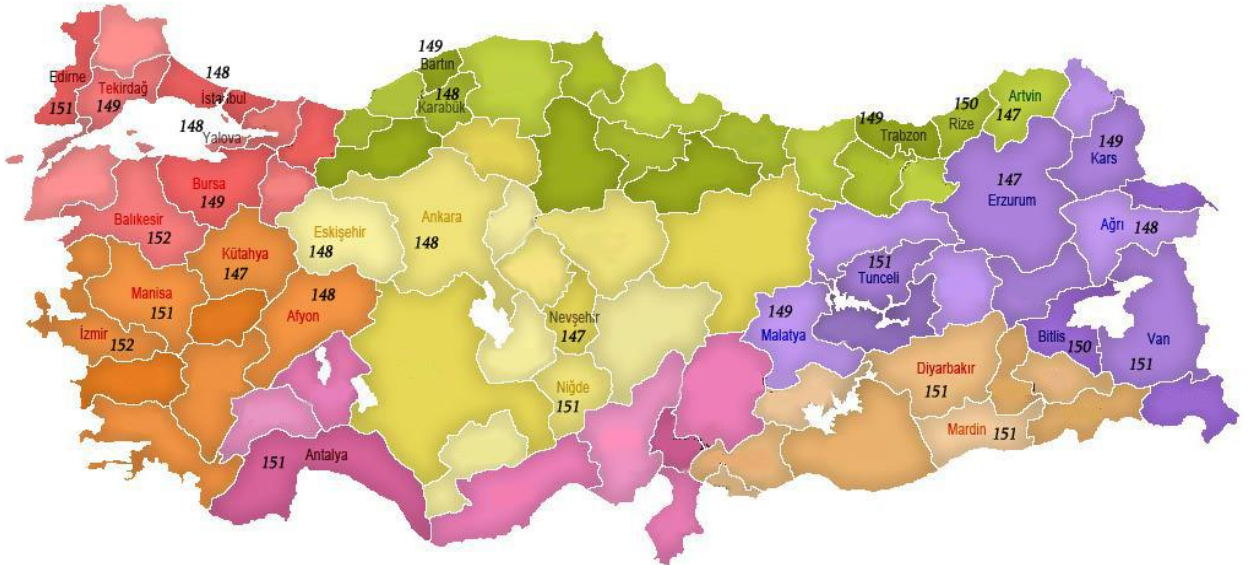
3 BULGULAR

Çalışmamızda 7 farklı bölgeden rastgele seçilen 29 ilimizin içme suyu örneklerinin döteryum konsantrasyonları Çizelge 1 ve Şekil 1'de verilmektedir.

Çizelge 1 - 29 ilimizde içme suyu örneklerindeki döteryum konsantrasyonları

No	Bölge Adı	İl adı (örnek sayısı)	Döteryum Konsantrasyonu (Ort. ppm)	Bölgesel Döteryum (Ort. ppm + SD)*
1	Marmara Bölgesi	Edirne (n=3)	151	150 ± 1.64
2		Tekirdağ (n=3)	149	
3		İstanbul (n=8)	148	
4		Yalova (n=1)	148	
5		Bursa (n=2)	149	
6		Balıkesir (n=3)	152	
7	Ege Bölgesi	Manisa (n=2)	151	149.5± 2.38
8		İzmir (n=4)	152	
9		Kütahya (n=5)	147	
10		Afyon (n=1)	148	
11	Akdeniz Bölgesi	Antalya (n=5)	151	151± 0.00
12	İç Anadolu Bölgesi	Ankara (n=5)	148	149 ± 1.73
13		Eskişehir (n=4)	148	
14		Nevşehir (n=2)	147	
15		Niğde (n=2)	151	
16	Karadeniz Bölgesi	Bartın (n=4)	150	149 ± 1.30
17		Karabük (n=2)	148	
18		Trabzon (n= 5)	149	
19		Rize (n=3)	150	
20		Artvin (n= 3)	147	
21	Doğu Anadolu Bölgesi	Kars (n= 4)	149	149 ± 1.50
22		Malatya (n=2)	149	
23		Tunceli (n=3)	151	
24		Erzurum (n=4)	147	
25		Ağrı (n=5)	148	
26		Bitlis (n= 4)	150	
27		Van (n= 5)	151	
28	Güneydoğu Anadolu Bölgesi	Diyarbakır (n=3)	151	151 ±0.00
29		Mardin (n=3)	151	

* Ort ± SD: Ortalama ± Standart sapma



Şekil 1 - Türkiye’de içme suyu örnekleri alınan iller ve bu örneklerde ppm cinsinden saptanan döteryum konsantrasyonları

4 TARTIŞMA

Yurdumuzda içme sularındaki döteryum konsantrasyonu ile ilgili bölgesel bir taramaya literatürde rastlanmamıştır. Çalışmamızda 7 Bölgeden rastgele seçilmiş 29 ilimizin, içme suyu örneklerinin döteryum konsantrasyonu tayin edilmiştir. Bu değerlerin 147-152 ppm arasında olduğu saptanmıştır. Genellikle döteryum konsantrasyonu 150 ppm'den düşük ise döteryumu az su, yüksek ise döteryumu fazla su olarak sınıflandırılmaktadır (Wang ve ark., 2013). Doğal sularda döteryum konsantrasyonu 139-151 ppm arasında değişmektedir. Bu bilgilere göre İç Anadolu, Karadeniz ve Doğu Anadolu Bölgelerindeki içme suları döteryumu az, Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu Bölgelerindeki sular döteryumu fazla, Marmara ve Ege Bölgelerindeki içme suları ise normal sular sınıfına dahil edilebilir. Doğal içme sularının döteryum konsantrasyonu coğrafi farklılıklara göre bölgeden bölgeye değişmektedir. İzotopik kompozisyon dağılımı, bulunulan yükseklik, enlem, kıta ve yağış miktarı, yağışın cinsi gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Bu nedenle bu sınıflandırmayı kesin olarak yapabilmek için tüm yurdu, tüm illeri kapsayan, mevsimsel, bölgesel farklılıklara göre ayrı ayrı değerlendirilen daha detaylı döteryum çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Kütahya ilinde Gediz Abide sahası ile Şaphane-Üçbaş çevresi arasında kalan bölgede yapılan araştırmanın bir bölümünde izotop çalışmaları da yapılmış, çalışma alanında sıcak suların beslenme alanı yüksekliğinin ve suların dolaşım hızlarının belirlenmesi amacıyla 13.06.2003 tarihinde alınan 22 adet su örneğinde izotop konsantrasyonları da tayin edilmiştir. Tüm suların meteorik kökenli olduğu ve döteryum konsantrasyonunun 145-149 ppm arasında değiştiği saptanmıştır (Burçak ve ark., 2007). Çalışmamızda Kütahya ilimiz içme sularında döteryum konsantrasyonu ortalama 147 ppm olarak bulunmuştur. Bu değer yukarıdaki çalışma ile uyumludur.

Kahramanmaraş Dere Boğazı köyünde içme suyu kaynaklarının araştırıldığı çalışmada ise döteryum konsantrasyonu 147-149 ppm arasında saptanmıştır (Uras ve ark., 2015). Çalışmamızda Kahramanmaraş ili yer almamaktadır. Kahramanmaraş Akdeniz Bölgemizde bulunan illerimizdendir. Akdeniz Bölgemiz içme sularında bulduğumuz döteryum konsantrasyonu ortalama olarak 151 ppm olup, bu değer Uras ve ark. nın (2015) sonuçlarına yakın bir değerdir.

Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) jeotermal alanların hidrojeokimya incelemelerinin yapıldığı bir çalışmada meteorik kökenli olduğu

saptanan sularda döteryum da tayin edilmiş ve döteryum konsantrasyonunun 148-149 ppm arasında olduğu bulunmuştur (Özen ve Tarcan, 2009). Salihli Ege Bölgesinde yer almaktadır. Çalışmamızda Ege Bölgesi içme sularındaki ortalama döteryum konsantrasyonu 150 ppm olarak tespit edilmiştir.

Kızılırmak'ın en uzun kolu olan Delice Irmağı (Yerköy) ve komşu akiferler arasındaki ilişkinin hidrokimyasal ve izotopik yöntemlerle incelendiği çalışmada döteryum miktarının ortalama 143 ppm olduğu belirtilmektedir (Çelik, 2002). Çalışmamızda İç Anadolu Bölgesi içme suyu ortalama döteryum konsantrasyonu 149 ppm olarak saptanmıştır. Bu değer 143 ppm'den oldukça farklıdır.

Su, bilindiği gibi yeryüzünde en fazla bulunan ve canlı organizmaların fonksiyonlarını devam ettirebilmesi için gerekli olan en önemli moleküllerden biridir. İnsanlar ve tüm canlılar için içme suyunun güvenilir ve iyi kalitede olması, zararlı maddeler içermemesi gereklidir. Dünya piyasasında farklı isimlerde (Langway, Pi(n), M, Preventa, Qlarivia vs. gibi), ve farklı kalitelerde içme suyu bulunmaktadır (Yarat, 2012). Güvenilir, iyi kalitedeki içme suyunun kullanılması hücrel metabolizmayı iyi yönde etkileyerek, hücrelerin oksijen ve enerji ihtiyacının dengelenmesi, uygun pH değerinin sağlanması, hücrel toksinlerin uzaklaştırılması, besinlerin absorpsiyonunun ve kullanımının artması, sağlıklı hücre replikasyonu gibi olaylarda fayda sağlamaktadır. Canlı organizmalar bu çeşit suları asimile ve metabolize etmek için çok enerji harcamak zorunda kalmazlar (McQuarrie 1945; Smirnov, 2002; Smirnov, 2003).

Döteryumun, insanlarda, hayvanlarda ve bitkilerde hücrenin normal büyümesi için gerekli olduğu gösterilmiştir (Goncharuk ve ark., 2013). Döteryum konsantrasyonu az olan su dünyada belirli bölgelerde mevcuttur. Buna örnek olarak Pakistan ve Himalayalar'daki Hunza bölgesi verilebilir. Bu bölgedeki sularda döteryum konsantrasyonu 133 ppm veya daha azdır (Somlyai, 2002). Döteryum konsantrasyonu az olan sular ile yapılan çalışmalarda, bu tip suların hücre proliferasyonunu inhibe ettiği, apoptozisi indüklediği ve tümörlerin büyüme hızını azalttığı ileri sürülmektedir (Cong ve ark., 2010; Gyöngyi ve ark., 2013; Ioan ve ark., 2008; Yarat 2012; Lisitsyn ve ark., 2014; Mladin ve ark., 2014; Soleyman-Jahi ve ark., 2014; Strekalova ve ark., 2015). Yapılan bu çalışmalar ve sonuçları nedeni ile içme sularındaki döteryum konsantrasyonunun bilinmesi giderek daha da önem kazanmaktadır.

Sonuç olarak yapılacak daha detaylı çalışmalarla yurdumuzun döteryum haritasının çıkarılması, içme sularındaki döteryum konsantrasyonu ile bu bölgelerde sıklıkla rastlanılan hastalıklar arasında ilişkinin araştırılması, halk sağlığının iyileştirilmesinde önemli katkılar sağlayacaktır.

5 KAYNAKLAR

- Berdea P, Cuna S, Cazacu M, Tudose M (2001) Deuterium variation of human blood serum. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai, Physica, Special Issue*. 256-258.
- Bild W, Nastasa V, Haulica I (2004) *In vivo* and *in vitro* research on biological effects of deuterium-depleted water: 1. Influence of deuterium-depleted water on cultured cell growth. *Rom J Physiol*. 41(1-2):53-67.
- Blaga L (1978) The Deuterium content of human metabolic fluids in relation with human metabolic processes (in Romania), IFA-Bucuresti, Scientific Report. 1-4.
- Burçak M, Sevim F, Hacısalıhoğlu Ö (2007) Jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal yöntemlerle yeni bir jeotermal sahanın keşfedilmesi, Üçbaş - Şaphane -Kütahya, MTA Dergisi, 135: 45-64.
- Czajka DM, Finkel AJ, Fischer CS, Katz JJ (1961) Physiological effects of deuterium on dogs. *Am J Physiol*. 201, 357-362.
- Collins CJ, Bowman NS (Eds). *Effects In Chemical Reactions*. Van Nostrand Reinhold, York, pp 286-363, 1971.
- Cong FS, Zhang YR, Sheng HC, Ao ZH, Zhang SY, Wang JY (2010) Deuterium-depleted water inhibits human lung carcinoma cell growth by apoptosis. *Exp Therap Med*. 1: 277- 283.
- Çelik M (2002). Delice ırmağı (yerköy) ve komşu akiferler arasındaki ilişkinin hidrokimyasal ve izotopik yöntemlerle incelenmesi. 229-240 (www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_.../34068221).
- Goncharuk VV, Kavitskaya A, Romanyukina IY, Loboda OA (2013) Revealing water's secrets: deuterium depleted water. *Chem Cent J*. 7: 103-107.
- Gyöngyi Z, Budan F, Szabo I, Ember I, Kiss I, Krempels K, Somlyai I, Somlyai G (2013) Deuterium depleted water effects on survival of lung cancer patients and expression of Kras, Bcl2, and Myc genes in Mouse lung. *Nutr Cancer* 65(2):240-246.
- Ioan S, Manolescu N, Comisel V, Tamaian R, Tiñescu G (2008) Deuterium depleted water effects on walker tumours. *Bulletin UASVM, Vet Med*. 65(1):443-450.
- Jancso G, Van Hook WA (1974) Condensed phase isotope effects (especially vapor pressure isotope effects. *Chem Rev*. 74: 689-750.
- Katz JJ, Crespi HL, Czajka DM, Finkel AJ (1962) Course of deuteration and some physiological effects of deuterium in mice. *Am J Physiol*. 203: 907-913.
- Kovács A, Guller I, Krempels K, Somlyai I, Jánosi I, Gyomgyi Z, Szabó I, Ember IGS (2011) Deuterium depletion may delay the progression of prostate cancer. *J Cancer Ther*. 2:548-556.
- Krempels K, Somlyai I, Somlyai G (2008) A retrospective evaluation of the effects of deuterium depleted water consumption on 4 patients with brain metastases from lung cancer. *Integr Cancer Ther*. 7(3):172-81.
- Lisitsyn AB, Baryshev MG, Basov AA, Barysheva EV, Bykov IM, DyDykin AS, Tekutskaia EE, Timakov AA, Fedulova LV, Chernukha IM, Dzhimak SS (2014) Influence of deuterium depleted water on the organism of laboratory animals in various functional conditions of nonspecific protective system. *Biofizika* 59(4):757-765.
- McQuarrie I (1945) Water metabolism. *Annu Rev Physiol*. 7:127-162.
- Mladin C, Ciobica A, Lefter R, Popescu A, Bild W (2014) Deuterium depleted water has stimulatig effects on long-term memory in rats. *Neurosci Lett*. 583:154-158.
- Özen T, Tarcan G (2009) Caferbey ve Sart-Çamur (Salihli) jeotermal alanlarının hidrojeokimyasal incelenmesi. *Türkiye Jeoloji Bülteni* 52(3): 297-323.
- Rundel PW, Ehleringer JR, Nagy KA (1988) *Stable In Ecological Research*. Springer, York, pp7-9.
- Smirnov IV (2002) Activated water, *Explore. For the Professinal*. 11(2):49-53.
- Smirnov IV (2003) Mechanism of possible biological effect of activated water on patients suffering from Alzheimer's Disease. *Explore* 12 (5).
- Soleyman-Jahi S, Zendehelel K, Akbarzahed K, Haddadi M, Amanpour S, Muhammadnejad S (2014) *In vitro* Assessment of antineoplastik effects of döteryum depleted water. *Asian Pac J Cancer Prev*. 15(5):2179-2183.
- Somlyai G (2002) *Defeating Cancer. The Biological Effect of Deuterium Depletion by Gabor Somlyai HYD Ltd. for Research and Development* ISBN: 0-7596-9261-0.
- Somlyai G, Jancsó G, Jákli G, Vass K, Barna B, Lakics V, Gaál T (1993) Naturally occurring deuterium is essential for the normal growth rate of cells. *FEBS Lett*. 8;317(1- 2):1-4.
- Somlyai G, Molnár M, Laskay G, Szabó M, Berkényi T, Guller I, Kovács A (2010)

- Biological significance of naturally occurring deuterium: the antitumor effect of deuterium depletion. *Orv Hetil.* 5;151(36):1455-60.
- Strekalova T, Evans M, Chernopiatko A, Couch Y, Costa-Nunes J, Cespuglio R, Chesson L, Vignisse J, Steinbusch HW, Anthony DC, Pomytkin I, Lecsh KP (2015) Deuterium content water increases depression susceptibility: The potential role of a serotonin-related mechanism. *Behav Brain Res.* 277:237-244.
- Uras Y, Uysal Y, Arıkan TA, Kop A, Caliskan M (2015) Hydrogeochemistry of the drinking water sources of Derebogazi Village (Kahramanmaraş) and their effects on human health. *Environ Geochem Health* 37:475–490
- Verbalis GJ (2003) Disorders of body water homeostasis. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 17(4):471-503.
- Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield SB (1999) Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *Am J Clin Nutr* 69: 833–841.
- Wang H, Zhu B, He Z, Fu H, Dai Z, Huang G, Li L, Qin D, Zhang X, Tian Lu, Fang W, Yang H (2013) Deuterium-depleted water (DDW) inhibits the proliferation and migration of nasopharyngeal carcinoma cells in vitro. *Biomed Pharmacother* 67:489–496.
- Wiberg KB (1955) The deuterium isotope effect. *Chem Rev.* 55: 713-743.
- Yarat A (2012) Deuterium depleted water in health and disease. International Symposium On Environmental Impacts, Health Implications & Therapeutic Approaches& A Special Symposium On Water Quality & Aquatic Biotechnology Andhra Pradesh, India. Proceeding Book, page:1-8, 2012.
- Yarat A (2013) Döteryumu Azaltılmış Su. *Dental Klinik, Sayı 4, sayfa: 66-69.*