

## Böceli ve Kazanpınar karst kaynaklarının (Denizli) hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri

### Hydrogeological and hydrochemical properties of Böceli and Kazanpınar karst springs (Denizli)

Ali GÖKGÖZİ<sup>1\*</sup>, Yusuf TABANCALI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.  
agokgoz@pau.edu.tr

<sup>2</sup>Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Denizli, Türkiye.  
yusuf.tabancali@deski.gov.tr

Geliş Tarihi/Received: 07.02.2020  
Kabul Tarihi/Accepted: 03.07.2020

Düzeltilme Tarihi/Revision: 30.06.2020

doi: 10.5505/pajes.2020.04378  
Araştırma Makalesi/Research Article

#### Öz

Çürüksu Havzası'nın (Denizli) GD kesiminde bulunan Böceli ve Kazanpınar karst kaynakları 21 mahallede toplam 24000'den fazla nüfusun içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılar. Çürüksu Havzası'ndaki diğer kaynak ve sondaj sularının genellikle içilmez özellikte olması nedeniyle bu kaynakların önemi büyüktür. Kaynak suları Mesozoyik yaşlı karbonatlı kayalardan beslenen travertenlerden oluşmaktadır. Sıcaklıkları 16.6-18.2 °C ve elektriksel iletkenlik (EI) değerleri 790-910 µS/cm arasında değişen sular hidrokimyasal olarak Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipindedir. İzotop içerikleri (δ<sup>18</sup>O, δD ve trityum) suların meteorik kökenli olduğunu ve nispeten güncel yağışlardan beslendiğini gösterir. Çözülmüş inorganik karbonun (ÇİK) δ<sup>13</sup>C değerleri sulardaki karbonun kökeni olarak tatlı su karbonatları ve Mesozoyik yaşlı denizel kireçtaşlarını işaret etmektedir. Periyodik majör iyon analizlerinde suların iyon kompozisyonlarında mevsimsel olarak önemli bir değişim olmadığı belirlenmiştir. Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının debileri (sırasıyla 225 ve 157 l/s) ve majör iyon kompozisyonları dikkate alındığında ve mevcut durum doğal ya da yapay olumsuz faktörlerle bozulmadığı sürece susuz mahallelerin gelecekteki su ihtiyaçlarını karşılayabileceği anlaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hidrojeoloji, Hidrokimya, Karst kaynağı, Denizli.

#### Abstract

Böceli and Kazanpınar karst springs in the SE part of the Çürüksu Basin (Denizli) provide the drinking and utility water requirement of more than 24000 people in 21 neighborhoods. The karst springs are very important due to the springs and drilling waters in the Çürüksu Basin are generally non-drinkable. The spring waters come from travertines fed from the Mesozoic carbonate rocks. The waters whose temperatures and electrical conductivity (EC) vary between 16.6-18.2 °C and 790-910 µS/cm, respectively, are hydrochemically of Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> type. Isotope contents (δ<sup>18</sup>O, δD and tritium) showed that the waters are of meteoric origin and feed from relatively modern precipitation. The δ<sup>13</sup>C (DIC) values refer to freshwater carbonates and Mesozoic marine limestones as the origin of carbon in waters. In periodic major ion analysis, it was determined that there was no significant seasonal change in the ion composition of the waters. Considering the flowrates (225 and 157 l/s respectively) and major ion compositions of the Böceli and Kazanpınar springs, it was understood that these springs could provide future water requirement of the waterless neighborhoods as long as the current situation is not compromised by natural or artificial negative factors.

**Keywords:** Hydrogeology, Hydrochemistry, Karst spring, Denizli.

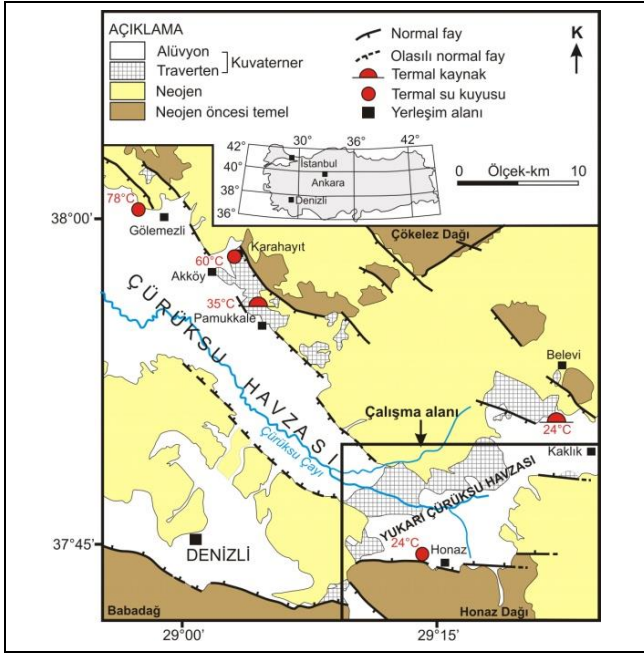
## 1 Giriş

Günümüzde artan nüfus, kentleşme ve sanayileşmeye bağlı olarak su ihtiyacı da artmaktadır. Suyun fizikokimyasal kompozisyonu ve miktarında beklenen özellikler kullanım alanlarına göre farklılık göstermektedir. Bu kullanım alanları içinde birincil öncelik içme suyudur. Ülkemizde içme suyu temininde yüzey ve yeraltı suları yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, son yıllarda iklim değişimi nedeniyle akiferlerin beslenmesindeki yetersizlik yanında doğal ve antropojenik kirlenmeler de mevcut içilebilir su kaynaklarını hızla kirlenmekte ve içilebilir su temininde sıkıntılar yaşanmaktadır.

Denizli graben-horst sistemi (DGHS) Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenlerinin doğu-güneydoğu yakınsak ucunda bulunur ve 62 km uzunluk ve 7-28 km genişliğe sahiptir [1] (Şekil 1). DGHS'nin graben alanı Denizli Havzası, Çürüksu Havzası veya Çürüksu Grabeni olarak da anılır. Çürüksu grabeninde birçok yerleşim alanı, Denizli Organize Sanayi Bölgesi, çok sayıda traverten ocağı ve fabrikası, değişik

alanlarda faaliyet gösteren sanayi işletmeleri ve jeotermal sahalar bulunmakta, ayrıca yoğun tarımsal faaliyet yürütülmektedir. Bunların tümü su kaynakları için potansiyel kirlilik kaynağı olmasına karşın Çürüksu grabeni yeraltı sularının kalitesini etkileyen en önemli faktör akifer oluşturan kayaların litolojisidir. İnceleme alanı ve civarındaki Triyas-Kretase yaşlı kireçtaşları içindeki kalın jips düzeyleri ve jips içeren Neojen çökellerinde dolaşan yeraltı suları jipsleri çözerek sülfatça zenginleşirler [2]. Yöredeki yeraltı sularında belirlenen en yüksek sülfat değeri 1071 mg/l olmuştur [3]. DGHS'deki jeotermal sular ile tatlı yeraltı sularının karışımı da [4] su kalitesini bozan faktörlerden biridir. DGHS'nin doğu ucunda sıcaklığı 25 °C'ye ulaşan kaynak ve sondaj suları [3] ve yöredeki travertenlerin dokusu ve izotop içerikleri [5],[6] düşük sıcaklıklı bir jeotermal sahanın varlığını göstermektedir. Grabeni sınırlayan aktif faylar yoluyla jeotermal suların yükselerek soğuk yeraltı sularına karışması ve derinden gelen H<sub>2</sub>S gazının oksitlenmesi de sulardaki sülfat zenginleşmesine katkıda bulunur.

\*Yazışılan yazar/Corresponding author



Şekil 1. Çalışma alanının Çürüksu Havzası'ndaki yeri ([13] ve [21]'den değiştirilerek).

Figure 1. The location of the study area in the Çürüksu Basin (modified from [13] and [21]).

DGHS'deki soğuk su kaynakları ve Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından sulama suyu temini amacıyla açılan çok sayıda sondaj yüksek verime sahip olmasına karşın su kaliteleri özellikle yüksek sülfat derişimleri nedeniyle kötüdür ve içilemez özelliktedirler. Ancak az sayıda kaynak ve sondaj suyunun sülfat miktarı içme suyu standardında [7] tanımlanan sınır değerlerin altındadır ve içilebilir sulardır. Suyu içilebilir kaynaklardan ikisi DGHS'nin güneydoğu kesiminde bulunan Kazanpınar ve Böceli kaynaklarıdır. Bu kaynaklar ve yakın çevresinde çok sayıda çalışma vardır. Bu çalışmalar genellikle bölgenin jeolojisi ve tektoniği [1],[8]-[11], volkanizması [12], travertenlerin [5],[6],[13],[14] ve jipslerin mineralojisi ve jeokimyası [15] üzerine yoğunlaşmıştır. İnceleme alanının hidrojeolojisi üzerine yapılan bilimsel araştırmalar sınırlıdır. Bu araştırmalarda Çürüksu Havzası yeraltı sularının hidrodinamik, kimyasal ve izotopik özellikleri incelenmiş [16]-[19], Honaz-Kaklık civarındaki düşük entalpili jeotermal sistemin rezervuar sıcaklığı tahmin edilmiştir [3],[4].

Bu çalışma önceki çalışmalardan farklı olarak toplam nüfusları 24000'i aşan 21 mahalle ve Pamukkale Örenyeri'ne içme suyu sağlayan Kazanpınar ve Böceli kaynaklarına odaklanmıştır. Çalışmanın amacı bu iki kaynağın kimyasal ve izotop kompozisyonlarını belirlemek, debilerini değerlendirmek ve majör iyon ve izotop içeriklerindeki mevsimsel değişimleri izleyerek kaynakların sürdürülebilir kullanımı hakkında bir yaklaşımda bulunmaktır.

## 2 Yöntem

Suların kimyasal özelliklerini ve kimyasal kompozisyonlarındaki mevsimsel değişimlerini araştırmak amacıyla Böceli ve Kazanpınar kaynaklarından Ekim-2018 ile Haziran-2019 arasında 9 ay boyunca iki aylık periyotlarla yerinde ölçüm ve analiz yapılmış, iyon ve izotop analizleri için örnek alınmıştır. Suların sıcaklık, pH ve El değerleri HACH-LANGE HQ40D model multimetre ile ölçülmüştür. Ölçümlerden

önce standart çözeltiler ile cihazın kalibrasyonu yapılmıştır. Suların HCO<sub>3</sub> derişimleri H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> titrasyonu ile belirlenmiştir.

İyon (Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, F<sup>-</sup> ve NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) analizleri için örnekler 250 mililitrelik yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) örnekleme kaplarına filtre edilerek (0.45 µm) alınmış ve analize gönderilinceye kadar buzdolabında (<4°C) korunmuştur. Su örnekleri δ<sup>18</sup>O ve δD analizi için 50 mililitre, trityum analizi için 500 mililitrelik YYPE kaplara ve δ<sup>13</sup>C analizi için 100 mililitrelik kahverengi cam şişelere hava boşluğu kalmayacak şekilde toplanmıştır.

Su örneklerinin iyon analizleri yüksek performanslı iyon kromatografi cihazı ve trityum (<sup>3</sup>H) analizleri alkali elektrolitik zenginleştirmeli ultra düşük düzey sıvı parıldaama sayımı yöntemi ile Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarı'nda yapılmıştır. δ<sup>18</sup>O ve δ<sup>2</sup>H izotop analizleri DSİ Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi (TAKK) Başkanlığı, İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü'nde WS-CRDS (dalga-tarayıcı kavite sönüm spektrometresi) tabanlı lazer spektrometre cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Suların δ<sup>13</sup>C değerleri Kanada Waterloo Üniversitesi Çevresel İzotop Laboratuvarı'nda (EiLab) Micromass IsoPrime İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) ile belirlenmiştir. Analiz hataları majör iyon analizlerinde %±5, trityum analizlerinde ±1 sigma, δ<sup>13</sup>C analizlerinde ±2 sigma (‰±0.2 VPDB), δ<sup>18</sup>O analizlerinde ‰±0.2 (VSMOW) ve δD analizlerinde ise ‰±1 (VSMOW) aralığında olmuştur.

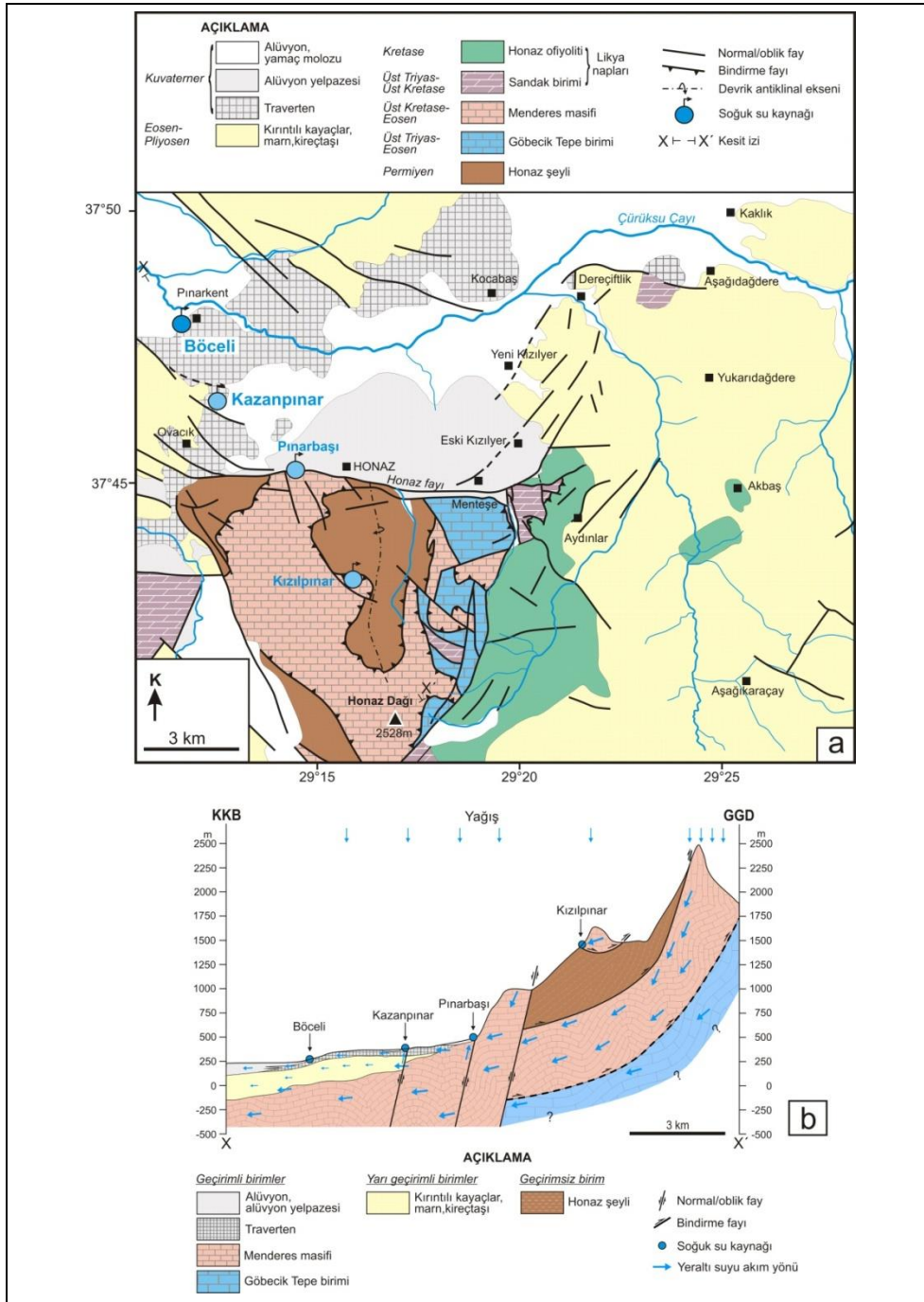
## 3 Jeoloji

Çalışma alanının temelini çok kırıklı, kıvrımlı, koyu mavi-yeşil renkli silttaşı ve şeylden meydana gelen ve yer yer çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve andezitik dayklar içeren Honaz şeyli oluşturur [8]. Honaz şeylinde herhangi bir yaş bulgusu olmamasına karşın [8] Permiyen yaşlı kabul edilir [20], (Şekil 2).

Honaz şeyli üzerinde tektonik dokanakra Menderes masifi metamorfiteeri yer alır. Masif inceleme alanında alttan üste Yılanlı ve Zeybekölen Tepe formasyonları ile temsil edilir. Yılanlı formasyonu görünür kalınlığı 1500 m.'ye ulaşan, gri renkli, kalın katmanlı-masif, ince taneli, gastrapod fosili içeren rekristalize kireçtaşlarından yapıldır, yaşı Üst Kretase'ye kadar çıkmaktadır [8]. Zeybekölen Tepe Formasyonu, yaklaşık 1000 m. görünür kalınlıkta olup egemen olarak ince-orta katmanlı pelajik kireçtaşı, şeyl ve karbonatlı şeylden oluşur; yaşı Paleosen - Alt Eosen'dir [8].

Menderes masifi metamorfiteeri üzerinde çalışma alanında Sandak biriminin Gereme formasyonu ve Honaz ofiyoliti ile temsil edilen Likya napları yer alır. Üst Triyas-Kretase yaşlı Gereme formasyonu gri-koyu gri renkli, masif-kalın katmanlı dolomit, dolomitik kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur [8]. Menteşe Köyü'nün doğusunda dolomit ve dolomitik kireçtaşları kalın jips katmanları ile ardalanır [15]. Honaz dağının doğusunda geniş yayılım gösteren Kretase yaşlı Honaz ofiyoliti [15] çoğunlukla koyu yeşil, kısmen serpantinleşmiş ve bazı lokasyonlarda da silisleşmiş harzburjitlerle temsil edilir [8].

İnceleme alanında nispi otokton konumunda olan Üst Triyas-Eosen yaşlı Göbecik Tepe birimi dört formasyona ayrılmıştır [8]. Bunlar alttan üste, krem renkli mikritik kireçtaşlarından oluşan *Bozkaya Tepe Kireçtaşı*, kiremit kırmızısı renkli mikritlerden yapıları *Kırkpınar Kireçtaşı*, kireçtaşı, kumlu kireçtaşı, karbonatlı şeyl, şeyl, kırıntılı kireçtaşından meydana gelen *Kozaklı Tepe Formasyonu* ve kumtaşı, kaba kumtaşı, çakıltası ve killi şeylden oluşan *Alçıboğazı Formasyonu*'dur.



Şekil 2(a): Çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası ve Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının lokasyonu (Pınarbaşı ve Kızılınar kaynakları için metne bakınız), (Jeoloji haritası [3],[8],[9],[13],[20],[21],[26]’ dan modifiye edilmiştir). (b):Çalışma alanının kavramsal hidrojeolojik modeli.

Figure 2(a): Geological map of the study area and its surroundings with locations of Kazanpınar and Böceli springs (See the text for Pınarbaşı and Kızılınar springs), (Geological map was modified from [3],[8],[9],[13],[20],[21],[26]). (b):The conceptual hydrogeological model of the study area.

Senozoyik yaşlı birimler altlayan tüm birimleri açılal uyumsuzlukla örter. Eosen genellikle türbidit istiften oluşur. Alt kesimlerde çakıltaşı ve biyoklastik kireçtaşı ile başlayan istifte üst kesimlerde kumtaşı-şeyl araldanması gözlenir [21]. Oligosen, alüvyon yelpazesi ortamında çökelen çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı araldanmasından oluşur [22]. Neojen,

çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı araldanması ve siltaşı, kiltası, killi kireçtaşı ve yanıl devamlılığı sınırlı göslel kireçtaşları ile temsil edilir. Neojen birimleri yer yer linyit ve jips düzeyleri içerirler. Yaşları Erken Miyosen-Pliyosen’dir [23],[24]. Kuvaterner yaşlı birimler alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenden oluşmaktadır.

İnceleme alanındaki en önemli fay Honaz fayıdır. Honaz fayı 15 km uzunluğunda eğim atımlı normal bir aktif faydır ve grabeni güneyden sınırlar [1],[5],[8],[9],[15]. Fayın doğrultusu batı kesimde KB-GD, doğu kesimde ise KD-GB'dır ve fay zonunun genişliği 2 km'ye kadar ulaşmaktadır [11],[25].

## 4 Hidrojeoloji

### 4.1 Jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri

Çalışma alanındaki akiferler Menderes masifinin Yılanlı formasyonu, Göbecik Tepe birimi, Sandak biriminin Gereme formasyonu, traverten, alüvyon ve alüvyon yelpazesidir. Yılanlı ve Gereme formasyonları ile Göbecik Tepe birimi çok çatlaklı, kırıklı ve süreksizlik düzlemleri boyunca ilerlemiş çözünme boşluklarına sahiptir. Gereme formasyonundaki jipslerin çözünmesi de bu formasyon içindeki boşluk hacmini artırmıştır. Bu nedenlerle bu iki formasyon yüksek gözeneklilik ve geçirgenliğe sahiptirler ve verimli çatlaklı kaya akiferlerini oluştururlar. Yılanlı formasyonu 1500 m görünür ve Gereme formasyonu da 500 m maksimum ve Göbecik Tepe birimi de 580 m minimum kalınlığa sahip olup [8] geniş yayılım gösterirler (Şekil 2). Honaz Dağı ve eteklerine düşen yağış (yağmur ve kar) bu akiferleri beslemektedir. Yeraltı suyu akım yönü genellikle K, KD ve KB'dır. Bu formasyonlardan Honaz fayı boyunca boşalan yeraltı suları yüksek debili karstik kaynakları oluşturur ve ayrıca yanak akımla diğer akiferleri de (Neojen'in geçirimli birimleri, traverten, alüvyon, alüvyon yelpazesi) besler.

Travertenler bol kırıklı, çatlaklı ve çözünme boşlukludur. DSİ tarafından çalışma alanı civarında açılan sondaj verilerine göre güneyde alüvyonların altında çakıltaşı ara düzeyli çok sayıda traverten katmanının bulunduğu ve çakıltaşı ara düzeyleriyle ayrılmış başlıca iki traverten katmanının kalınlığının 90 metreye eriştiği anlaşılmaktadır [16]. Travertenlerde açılan sondajlardan yüksek verimle yeraltı suyu alınmaktadır.

Alüvyon ve alüvyon yelpazesi birimleri inceleme alanındaki verimli gözenekli akiferi oluşturur. Alüvyonun kalınlığı 150 metreye kadar erişmektedir. Bu birimde açılan ve çakıllı, kumlu düzeyleri kesen sondaj kuyularının verimi yüksektir. Alüvyon yelpazelerinde, çakıl ve kum boyutlu malzemenin egemen olduğu memba tarafında açılan kuyular verimlidir [16]. İçindeki kil düzeyleri nedeniyle akifer yarı basınçlı bir özellik kazanmıştır [16].

Zeybekölen formasyonundaki şeyl ve karbonatlı şeyl düzeyleri, Eosen ve Oligosen yaşlı birimler içindeki geçirimsiz litolojiler, Neojen yaşlı kireçtaşlarının geçirimsiz birimlerle aralanmalı ve yanak devamlılığının sınırlı olması gibi nedenlerle bu birimler verimli akifer oluşturmazlar ve yarı geçirimli birim olarak kabul edilebilirler. Honaz şeyli ve Honaz ofiyoliti litolojileri gereği geçirimsizdir. Bu birimlerde az sayıda düşük debili ve genellikle mevsimsel kaynaklar mevcuttur.

### 4.2 Böceli ve Kazanpınar kaynakları

Böceli kaynağı Honaz ilçe merkezinin 8 km kadar KB'sındaki Pınarkent Mahallesi yerleşim alanı içinde yer alır (Şekil 2 ve 3). Kaynak 310 m kotunda traverten akiferden boşalır. Kazanpınar kaynağı Honaz ilçe merkezinin yaklaşık 5 km KB'sında bulunur. Traverten-alüvyon dokanağında 401 m kotunda travertenlerden boşalır (Şekil 2 ve 4).



Şekil 3(a): Pınarkent Mahallesi yerleşim alanında bulunan Böceli kaynağı kaptajı ve mülga Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü tarafından açılan sondaj (doğuya bakış). (b): Böceli kaynağı civarının genel görünümü ve içme suyu ihtiyacı fazlası suyunun verildiği çevirme kanalı.

Figure 3(a): Böceli spring and the well drilled by aborted Denizli Provincial Presidency of Rural Services in Pınarkent District residential area (view to the east). (b): The general view of the drainage canal discharging the drinking water excess with Böceli spring and its surrounding.



Şekil 4. Kazanpınar kaynağı kaptajı. (a) Kaynak civarı dikenli telle çevrelenmiştir (siyah kesik çizgi), (b) kaynak yerinin yakın plan görünümü.

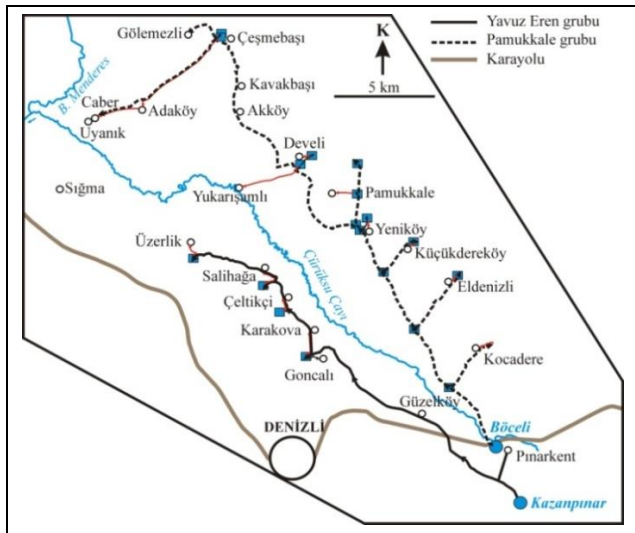
Figure 4. The catchment of Kazanpınar spring. (a): The area around the spring is fenced with barbed wire (black dashed line), (b): Close-up view of the spring location.

Her iki kaynağın da kaptajı yapılmıştır. Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü tarafından 2002 yılında Böceli kaynağının yanında açılan ve derinliği 60 m olan sondajda (Şekil 3) 0-1 m toprak örtü, 1-58 m beyaz, krem renkli gözenekli traverten ve 58-60 m arası gri renkli kil kesilmiştir. Açıldığı tarihtedebî 110 l/s olarak ölçülmüştür. Böceli kaynağının suyu 1973, Kazanpınar kaynağının suyu ise 1994 yılından itibaren Çürüksu Ovası'nda içme suyu problemi olan mahallelere verilmektedir. Bu susuz mahalleler (susuz köyler grubu olarak da anılır) su iletim sistemi içinde Pamukkale grubu ve Yavuz Eren grubu olarak ikiye ayrılmıştır. Pamukkale grubuna Böceli, Yavuz Eren grubuna Kazanpınar kaynağından su verilmektedir. Bu gruplara dahil olan mahallelerin nüfusları Tablo 1'de ve su iletim hatları Şekil 5'te verilmiştir

Tablo 1. Yerleşim alanlarının 2018 yılı nüfusları [27].

Table 1. Population of the residential areas in 2018 [27].

| Kazanpınar Kaynağı   |       | Böceli Kaynağı  |        |
|----------------------|-------|-----------------|--------|
| Yavuz Eren Grubu     |       | Pamukkale Grubu |        |
| Mahalle              | Nüfus | Mahalle         | Nüfus  |
| Pınarkent            | 6815  | Kocadere        | 1084   |
| Güzelköy             | 3081  | Eldenizli       | 559    |
| Goncalı              | 1003  | Küçükdere       | 631    |
| Karakova             | 967   | Yeniköy         | 1218   |
| Çeltikçi             | 201   | Pamukkale       | 2021   |
| Salihaga             | 183   | (Örenyeri)      | -      |
| Üzerlik              | 265   | Develi          | 992    |
|                      |       | Yukarışamlı     | 582    |
|                      |       | Akköy           | 2553   |
|                      |       | Kavakbaşı       | 310    |
|                      |       | Çeşmebaşı       | 219    |
|                      |       | Gölemezli       | 513    |
|                      |       | Ada             | 427    |
|                      |       | Caber           | 198    |
|                      |       | Uyanık          | 518    |
| Toplam               | 12515 | Toplam          | >11825 |
| Toplam Nüfus: >24340 |       |                 |        |



Şekil 5. Böceli ve Kazanpınar kaynaklarından içme suyu temin eden yerleşim alanları ve su iletim hatları.

Figure 5. Settlements supplying drinking water with water transmission lines connected to Böceli and Kazanpınar springs.

İsale hattı Pamukkale grubunda 40 km, Yavuz Eren grubunda 20 km olup PE 100 boru kullanılmıştır. Kaynak sularının içme

suyu ihtiyacı dışındaki miktarı kurak dönemde tarımsal sulamaya, yağışlı dönemde Çürüksu Çayı'na verilmektedir

#### 4.3 Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının hidrodinamik özellikleri

Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının uzun dönem periyodik debi değerleri elde edilememiştir. Bu kaynakların 1974-1979 yılları arasındaki aylık debileri Tablo 2'de verilmiştir. Bu dönemde ölçülen maksimum ve minimum debi değerleri Kazanpınar için 774 l/s ve 387 l/s, Böceli için 535 l/s ve 182 l/s'dir. Ölçüm dönemi itibariyle en yüksek debinin en düşük debiye oranı Kazanpınar kaynağında 2.00, Böceli kaynağında 2.94 olmuştur. Her iki kaynak için yıl bazındaki oranlar 1.13-1.87 arasındadır (Tablo 2). 1985 ve 1988 yıllarında yapılan ölçümler debi değerlerinin özellikle Kazanpınar kaynağında 1974-1979 dönemine göre dikkate değer ölçüde azaldığını, Böceli kaynağında ise Temmuz-Ağustos ayları dışında fazla değişmediğini göstermiştir (Tablo 2). Kazanpınar kaynağının debisindeki azalma bölgede 1985-1993 yılları arası dönemin kurak geçmesine [28],[29] ve iki kaynak arasındaki kot farkının 91 m olduğu göz önüne alındığında yeraltı su seviyesindeki düşümün daha yüksek kotta bulunan Kazanpınar kaynağını etkilemesine bağlanabilir. Bu kaynağın kuzey kesiminde 500 metrenin üzerindeki kotlarda açılan çok sayıda sondajdan yeraltı suyu çekimi de özellikle yaz aylarında kaynak debisini azaltan bir etkidir.

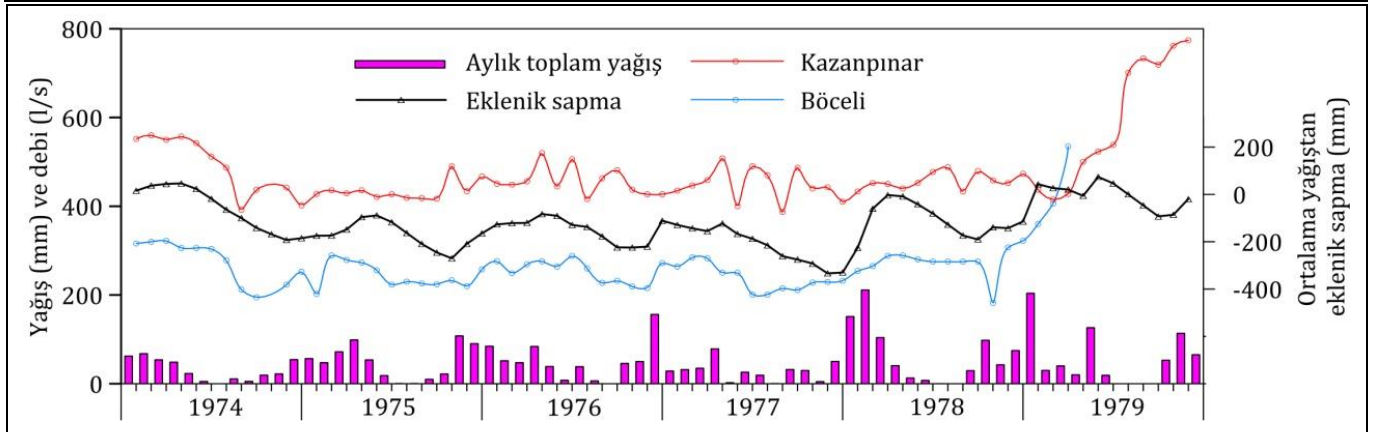
Çalışma süresince kaynaklardan periyodik debi ölçümü yapılamamıştır. Ölçüm yapılabilmesi için öncelikle iletim hatlarının boşaltılması ve ölçüm yapıldıktan sonra da hatların kendini toparlaması gerekmektedir. Bu da 21 mahalle ve Pamukkale Örenyeri'nin bir süre susuz kalmasına neden olacaktır. Ancak 2019 yılında Denizli Su ve Kanalizasyon İdaresi (DESKİ) tarafından yapılan programla kaynaklardan muline ile bir kez debi ölçümü yapılabilmiş ve elde edilen değerler Kazanpınar için 157 l/s (07.11.2019), Böceli için 225 l/s (10.10.2019) olmuştur (Tablo 2). Ölçüm anı itibariyle Kazanpınar'ın 75 l/s, Böceli'nin 130 l/s'lik miktarı içme suyu şebekesine alınmaktadır. Böceli kaynağından Pamukkale grubuna fazla su verilmesinin nedeni Pamukkale Örenyeri'ni ziyaret eden çok sayıda turiste (yılda yaklaşık 2.000.000) hizmet veren işletmelerin su ihtiyaçlarının karşılanmasıdır. Yaz aylarında da Böceli kaynağının debisinin içme suyu ihtiyacı için yeterli olması nedeniyle Böceli kaynağı yanındaki sondajın çalıştırılmasına bugüne değin gerek duyulmamıştır. Her iki grup için kaynaklardan şebekeye verilen su miktarı mevsimsel olarak değişmektedir.

Kaynakların 1974-1979 dönemi debi değerleri aynı dönemdeki yağış değerleri ile karşılaştırılmış, debilerin yaz ve sonbahar aylarında azaldığı ve eş zamanlı yağışlardan çok fazla etkilenmedikleri görülmüştür (Şekil 6). Kazanpınar kaynağının yaklaşık 4 km GD'sunda bulunan ve 485 m kotunda Mesozoyik yaşlı karbonat akifer formasyonundan Honaz fayı yoluyla çıkan Pınarbaşı kaynağı ortalama 1.2 m<sup>3</sup>/s'lik debisi ile yöredeki en önemli karstik boşalımdır. Bu kaynağın uzun dönem aylık debi kayıtlarının değerlendirilmesi ile kaynağın debi değişiminin yıllık yağışlardan çok uzun dönem yağış ortalamasından yıllık eklenik sapmaların kurak ve yağışlı dönemlerdeki değerleri ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır [28]. Bu saptamanın Kazanpınar ve Böceli kaynakları için de geçerli olduğu söylenebilir.

Tablo 2. Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının debi değerleri (l/s), (1974–1985 arası değerler [17], 1988 yılı değerleri [16]’dan alınmıştır).

Table 2. Flow rates of Kazanpınar and Böceli springs (l/s), (Values between 1974 and 1985 and 1988 values are taken from [17] and [16], respectively).

| Kaynak     | Yıllar | Aylar |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | Q <sub>maks.</sub> /Q <sub>min.</sub> |      |
|------------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|------|
|            |        | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |                                       | Ort  |
| Kazanpınar | 1974   | 552   | 560 | 550 | 557 | 542 | 512 | 487 | 392 | 437 | -   | 442 | 402 | 494                                   | 1.43 |
|            | 1975   | 428   | 436 | 429 | 436 | 421 | 427 | 419 | 418 | 417 | 490 | 434 | 467 | 435                                   | 1.18 |
|            | 1976   | 451   | 449 | 456 | 520 | 445 | 506 | 416 | 463 | 481 | 437 | 427 | 427 | 457                                   | 1.25 |
|            | 1977   | 435   | 447 | 459 | 508 | 400 | 490 | 470 | 387 | 487 | 440 | 443 | 410 | 451                                   | 1.31 |
|            | 1978   | 433   | 452 | 450 | 440 | 453 | 477 | 488 | 433 | 479 | 458 | 452 | 473 | 457                                   | 1.13 |
|            | 1979   | 437   | 415 | 428 | 500 | 523 | 538 | 701 | 733 | 719 | 762 | 774 | -   | 594                                   | 1.87 |
|            | 1985   | -     | -   | -   | 301 | 281 | 292 | 280 | 269 | 264 | 278 | -   | -   | 281                                   | -    |
|            | 1988   | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 287 | -   | -   | -   | -                                     | -    |
|            | 2019   | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 157 | -   | -   | -                                     | -    |
| Böceli     | 1974   | 316   | 320 | 322 | 306 | 306 | 304 | 278 | 212 | 195 | -   | 223 | 252 | 276                                   | 1.65 |
|            | 1975   | 202   | 289 | 279 | 273 | 256 | 223 | 230 | 226 | 224 | 233 | 220 | 258 | 243                                   | 1.43 |
|            | 1976   | 276   | 249 | 269 | 276 | 264 | 288 | 260 | 227 | 232 | 219 | 216 | 272 | 254                                   | 1.33 |
|            | 1977   | 264   | 285 | 283 | 250 | 250 | 201 | 201 | 215 | 211 | 228 | 229 | 232 | 237                                   | 1.42 |
|            | 1978   | 254   | 265 | 288 | 289 | 280 | 275 | 275 | 275 | 275 | 182 | 307 | 322 | 274                                   | 1.77 |
|            | 1979   | 360   | 406 | 535 | -   | 511 | -   | -   | -   | -   | 372 | 378 | -   | 427                                   | -    |
|            | 1985   | -     | -   | -   | 343 | 292 | 377 | 161 | 161 | 238 | 258 | -   | -   | 261                                   | -    |
|            | 1988   | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 160 | -   | -   | -   | -                                     | -    |
|            | 2019   | -     | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | -   | 225 | -   | -                                     | -    |



Şekil 6. Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının debi-yağış grafiği (yağış verisi Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden alınmıştır).

Figure 6. Discharge-precipitation graph of Kazanpınar and Böceli springs (precipitation data were taken from Directorate General of Meteorology).

Kaynak çekilme analizleri en azından birkaç yıllık dönemde ve aylık periyotlarla elde edilen kesintisiz verinin değerlendirmesi ile temsil edici olabilir. Kaynak debisindeki mevsimsel değişimin yağış ile ilişkilendirilmesini 1 yıllık veriyle yapmak sadece o yıla ilişkin bir değerlendirme olur ve yanıltıcı olabilir. Bu nedenle 1985 ve 1992 yılları için literatürde verilen kaynak boşalım katsayısı değerleri temsil edici değildir. 1974–1979 dönemi için Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının boşalım katsayıları  $2.97 \cdot 10^{-4}$  ile  $3.75 \cdot 10^{-3}$  gün<sup>-1</sup> arasında değişmektedir (Tablo 3). Bu durum olasılıkla, yıllara göre yeraltı su seviyesi, akım yolları, depolanma zonları ve akiferin beslenme rejimindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Boşalım katsayısı değerlerinden, Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının boşaldığı karstik akiferler için hidrolik iletkenlik katsayısının düşük-orta, etkin gözenekliliğin ve akiferdeki su hacminin büyük olduğu söylenebilir. Ayrıca, kaynakların boşalım katsayısı değerleri, kaynak boşalımının kırık ve çatlaklardan olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının boşalım katsayısı değerleri (gün<sup>-1</sup>)(1974–1985 arası değerler [17], 1992 yılı değerleri [18]’den alınmıştır).

Table 3. Recession coefficients of Kazanpınar and Böceli springs (day<sup>-1</sup>) (values between 1974 and 1985 and 1992 values are taken from [17] and [18], respectively).

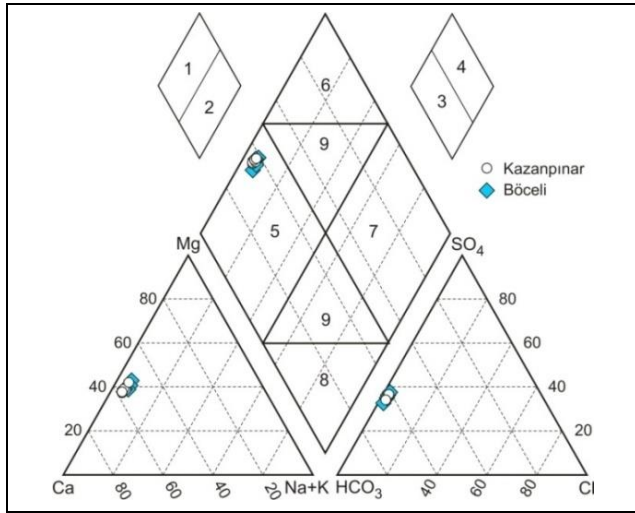
| Yıllar | Kazanpınar           | Böceli               |
|--------|----------------------|----------------------|
| 1974   | $1.61 \cdot 10^{-3}$ | $3.75 \cdot 10^{-3}$ |
| 1975   | $2.97 \cdot 10^{-4}$ | $1.21 \cdot 10^{-3}$ |
| 1976   | $7.48 \cdot 10^{-4}$ | $1.28 \cdot 10^{-3}$ |
| 1977   | $7.98 \cdot 10^{-4}$ | $1.63 \cdot 10^{-3}$ |
| 1978   | $5.00 \cdot 10^{-4}$ | $2.57 \cdot 10^{-3}$ |
| 1979   | -                    | $1.73 \cdot 10^{-3}$ |
| 1985   | $8.70 \cdot 10^{-4}$ | $1.97 \cdot 10^{-3}$ |
| 1992   | $4.00 \cdot 10^{-3}$ | $5.00 \cdot 10^{-3}$ |

## 5 Hidrokimya

### 5.1 Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının iyon kompozisyonu

Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının kimyasal analiz sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Suların sıcaklık ve pH değerleri ile Eİ, SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> değerleri hariç iyon miktarlarının birbirine yakındır. Böceli kaynağının Eİ değeri ile SO<sub>4</sub> ve HCO<sub>3</sub> miktarları Kazanpınar kaynaklarına göre bir miktar fazladır.

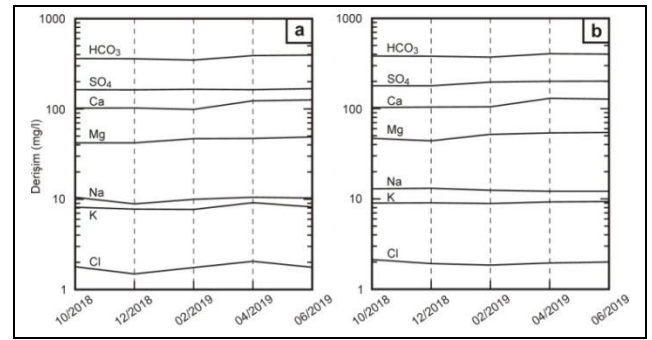
Piper diyagramından (Şekil 7) Böceli ve Kazanpınar suları hidrokimyasal olarak Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde olduğu görülmektedir. Bu sular alkali toprak elementlerin (Ca+Mg) alkali elementlerden (Na+K) ve zayıf asit köklerinin (CO<sub>3</sub>+HCO<sub>3</sub>) güçlü asit köklerinden (SO<sub>4</sub>+Cl) daha fazla olduğu, karbonat sertlikleri %50'den fazla olan sulardır. Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının beslenme alanında (Honaz Dağı ve civarı) Menderes masifine ait karbonatlar, Sandak biriminin jips içeren dolomit ve dolomitik kireçtaşları, Honaz şeyli ve Honaz ofiyolitinin dahil olduğu bir nap silsilesi [8] vardır. Bu litolojiler sulardaki majör iyonların kaynağıdır. Her iki kaynağın δ<sup>34</sup>S değeri (‰+12 VCDT) sudaki SO<sub>4</sub>'ün başlıca kökeninin Sandak birimindeki jipslerin yıkanması (su-kaya etkileşimi) olduğunu göstermiştir [3].



Şekil 7. Piper diyagramı.

Figure 7. Piper diagram.

Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının iyon kompozisyonlarında dikkate değer bir mevsimsel değişim izlenmemiştir (Şekil 8). Her iki kaynak için Ca ve HCO<sub>3</sub> değerlerinde Nisan ve Haziran-2018 döneminde bir miktar artış olmuştur. Suların iyon kompozisyonundaki mevsimsel değişimler akiferdeki su hacmi, su-kayaç dokanak yüzeyi ve süresi, su sıcaklığı, kısmi CO<sub>2</sub> gazı basıncı, çözünme-çökme işleyleri, akış sisteminin sondajlarla yeraltı suyu çekimi etkisiyle değişmesi gibi birçok faktöre bağlı olarak ortaya çıkabilir. KH Denizli İl Müdürlüğü tarafından Şubat-2003'te Böceli kaynağı yanındaki sondaj suyundan yapılan kimyasal analiz sonuçları bu çalışmada yapılan analizlerle uyumludur (Tablo 4). Sulardaki F ve NO<sub>3</sub> miktarının son üç örnekleme döneminde ilk iki döneme göre 2.5-3 kat artması dikkat çekicidir. Bu artış olasılıkla tarımsal faaliyetin yoğun olduğu bu yörede kullanılan azotlu gübre ve flor içeren fosforlu gübrenin yağış suları ile yıkanarak yeraltına süzülmesi ve yeraltı suyu karışması nedeniyeldir.



Şekil 8(a): Kazanpınar, (b): Böceli kaynağı sularının majör iyon derişimlerinin mevsimsel değışimi.

Figure 8: Seasonal changes of major ion concentrations in Kazanpınar (a): and Böceli (b): Spring waters.

### 5.2 Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının izotop kompozisyonu

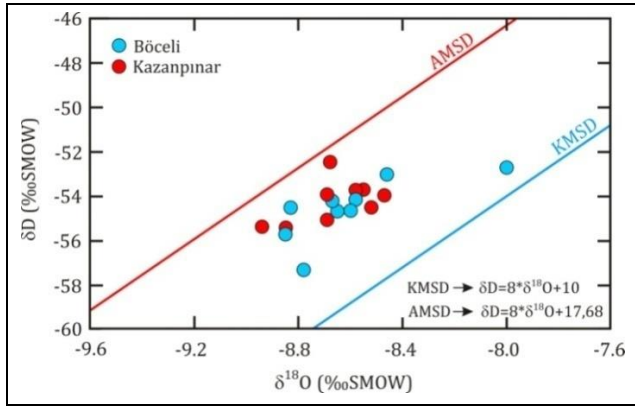
Suyun duraylı izotopları olan δ<sup>18</sup>O ve δD ile radyoizotopu olan trityum değerleri suların kökeni, beslenme alanı yükseklikleri, su-kaya etkileşimi, buharlaşma, karışım ve suyun yeraltındaki sirkülasyon zamanı hakkında bilgi verir. δ<sup>13</sup>C (ÇİK) değerinin bilinmesi ise sudaki karbonun kökeninin anlaşılmasına olanak sağlar.

Tablo 4. Suların kimyasal analiz sonuçları (Eİ: µS/cm, iyonlar: mg/l), (<sup>a</sup>Mülga Köy Hizmetleri Denizli İl Müdürlüğü tarafından Böceli yanındaki sondajdan alınan suyun 03.02.2003 tarih ve 9 sayı ile raporlanan analiz sonucudur).

Table 4. Chemical analysis results of the waters (Eİ: µS/cm, ions: mg/l), (<sup>a</sup> The result of the analysis reported with the date 9.02.2003 and number 9 by the aborted Rural Services Denizli Provincial Directorate for the water taken from the well next to the Böceli spring).

| Kaynak adı                 | Tarih        | T(°C) | Eİ   | pH    | Ca <sup>+2</sup> | Mg <sup>+2</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | F <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|----------------------------|--------------|-------|------|-------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|----------------|------------------------------|
| Kazanpınar                 | Ekim-2018    | 16.8  | 827  | 7.14  | 102.1            | 42.10            | 10.50           | 1.79           | 8.16            | 163.2                         | 361.0                         | 0.15           | 10.31                        |
|                            | Aralık-2018  | 16.9  | 808  | 7.07  | 102.4            | 42.12            | 8.86            | 1.49           | 7.77            | 162.8                         | 359.0                         | 0.16           | 10.18                        |
|                            | Şubat-2019   | 16.7  | 821  | 7.05  | 98.91            | 46.77            | 9.97            | 1.75           | 7.71            | 165.0                         | 348.0                         | 0.28           | 24.33                        |
|                            | Nisan-2019   | 17.5  | 845  | 7.15  | 122.8            | 47.02            | 10.52           | 2.05           | 9.15            | 163.3                         | 390.0                         | 0.31           | 24.53                        |
|                            | Haziran-2019 | 17.4  | 790  | 7.10  | 125.8            | 48.92            | 10.32           | 1.76           | 8.22            | 167.9                         | 394.0                         | 0.32           | 24.97                        |
| Böceli Sondaj <sup>a</sup> | Şubat-2003   | -     | 912  | 7.12  | 104              | 50               | 8.51            | 1.56           | 7               | 197                           | 390                           | -              | -                            |
|                            | Ekim-2018    | 16.6  | 895  | 7.13  | 102.7            | 46.76            | 12.92           | 2.13           | 8.96            | 179.2                         | 378.0                         | 0.13           | 7.24                         |
|                            | Aralık-2018  | 16.9  | 910  | 7.09  | 103.8            | 43.95            | 13.11           | 1.92           | 9.05            | 179.1                         | 380.0                         | 0.14           | 6.76                         |
|                            | Şubat-2019   | 16.4  | 880  | 7.11  | 104.6            | 51.95            | 12.48           | 1.85           | 8.89            | 196.7                         | 372.0                         | 0.27           | 18.53                        |
|                            | Nisan-2019   | 18.2  | 877  | 7.14  | 129.8            | 53.74            | 12.15           | 1.95           | 9.26            | 200.5                         | 405.0                         | 0.34           | 18.82                        |
| Haziran-2019               | 18.0         | 862   | 7.19 | 127.2 | 54.47            | 12.15            | 2.00            | 9.35           | 201.4           | 401.0                         | 0.32                          | 19.36          |                              |

Örnekleme döneminde Kazanpınar kaynağının mevsimsel  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰-8.52 ile ‰-8.85 (VSMOW),  $\delta\text{D}$  değerleri de ‰-53.69 ile ‰-55.41 (VSMOW) arasında değişmiştir (Tablo 5). Bu değerler Böceli kaynağı için daha pozitif olarak sırasıyla ‰-8.00 ile ‰-8.65 VSMOW ve ‰-52.70 ile ‰-54.66 VSMOW arasındadır. Eylül 1986, Nisan-Ağustos 1987 yıllarında [16] ve 1993'de [4] tarafından yapılan analiz sonuçları bu değerlerle uyumludur (Tablo 5). Aralık 1986-Temmuz 1987 arasında Honaz yağışlarından yapılan analizlerde  $\delta^{18}\text{O}$  için ‰-7.68 ile ‰-6.80 VSMOW,  $\delta\text{D}$  için ise ‰-54.65 ile ‰-21.85 VSMOW arasında değerler elde edilmiş ve bu sınırlı sayıdaki sonuçların değerlendirme için yeterince sağlıklı olmadığına değinilmiştir [16].  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  diyagramında Kazanpınar ve Böceli kaynakları Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) [30] ile Akdeniz Meteorik Su Doğrusu (AMSĐ) [31] arasında bulunmaktadır (Şekil 9). Bu diyagramdan suların meteorik kökenli olduğu ve Kazanpınar kaynağının Böceli kaynağına göre nispeten daha yüksek kotlardan beslendiği söylenebilir.



Şekil 9.  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta\text{D}$  diyagramı.

Figure 9.  $\delta^{18}\text{O}$  vs  $\delta\text{D}$  diagram.

Hidrojenin radyoaktif izotopu olan trityumun yarılanma ömrü  $12.32 \pm 0.02$  yıldır [32]. Trityum başlıca yeraltı sularının izlenmesinde ve suyun yeraltındaki dolaşım sürelerinin kestirilmesinde yararlı bir izleyicidir. İnceleme alanı

yağışlarından uzun dönem periyodik trityum analizine ilişkin bir veri yoktur. Antalya, inceleme alanına kuşucuşu yaklaşık 165 km mesafededir. 2012-2016 yılları arasında aylık periyotlarla yapılan analizlerde Antalya yağışı için trityum değerlerinin 1.50 ile 7.75 TU arasında değiştiği belirlenmiştir [33]. Ortalama değerler 3.44-4.31 TU arasındadır. Gerek Antalya gerek Türkiye'deki diğer istasyonlar için geçerli olarak yağıştaki trityum değerleri yıl içinde düzenli bir salınım göstermekte, kış aylarından yaz başına kadar artmakta, maksimum değerlerle de Mayıs-Haziran aylarında karşılaşılmaktadır [33].

Honaz'da Aralık 1986-Temmuz 1987 yılları arasında yapılan aylık ölçümlerde yağışın trityum değerlerinin 6 (Ocak-1987) ile 30 TU (Haziran-1987) arasında değiştiği belirlenmiştir [16]. Aynı dönemde Kazanpınar ve Böceli kaynak sularının trityum değerleri sırasıyla 10 ve 11 TU (Eylül-1986) ile 5 ve 7 TU (Nisan-1987) [16], 1993 yılında da 2 ve 7 TU [18] olmuştur. Yakın geçmişte ise Honaz yağışının trityum değeri 5.64 TU (Kasım-2017) ve Honaz Dağı kuzey eteğinde 1408 m kotta bulunan düşük iyon derişimine sahip Kızılıpınar kaynağının (Şekil 2) trityum değeri 5.11 TU (Mayıs-2018) olarak elde edilmiştir [34]. İnceleme alanında yıllık veri olmadığı için trityum girdisi için ancak yaklaşım sağlanabilir. Çalışma döneminde Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının trityumu sırasıyla 0.91-2.14 TU ve 1.06-2.91 TU arasında değişmiştir (Tablo 5). Bu değerlerden Kazanpınar ve Böceli kaynaklarının boşaldığı akiferin nispeten güncel yağışların etkisinde ve kısmen derin dolaşimli su ile karıştığını göstermektedir.

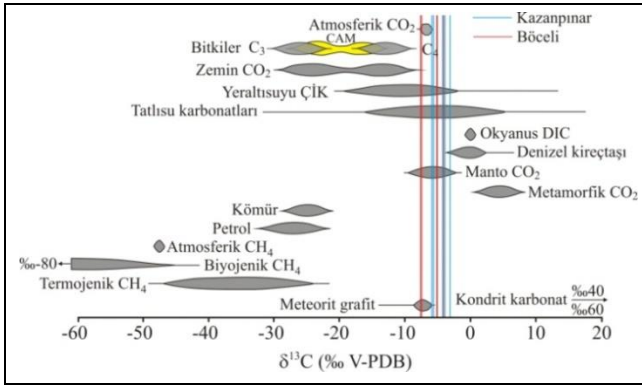
Sularda çözünmüş inorganik karbonun başlıca kaynakları toprak zonundaki organik maddelerin bozunumu ile ortaya çıkan  $\text{CO}_2$ , karbonat kayaların çözünmesi ve nadiren de magma ve atmosferik  $\text{CO}_2$ 'dir. Bu kaynaklar farklı karbon izotop bileşimlerine sahiptir. Örneğin denizel kireçtaşlarında  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ‰-3 ile ‰+3 VPDB arasında iken atmosferik  $\text{CO}_2$  için daha negatiftir (‰-6 ile -7 arasında) [35]. Çeşitli ortamların  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerine ilişkin aralıklar Şekil 10'da verilmiştir. Bu grafikte inceleme alanı sularının yeraltı suyu ÇİK ve tatlı su karbonatları alanına düştüğü, aynı zamanda Kazanpınar kaynağının iki örnekleme dönemi için denizel kireçtaşı alanına da düştüğü görülmektedir.

Tablo 5. Suların izotop analiz sonuçları (1986-1987 verileri [16], 1993 verileri [18], Kasım-2017 ve Mayıs 2018 verileri [34]'den alınmıştır).

Table 5. Isotope analysis results of the waters (data taken from [16] for 1986-1987, [18] for 1993, [34] for November-2017 and May 2018).

| Örnekleme tarihi | Kazanpınar            |                  |      |                       | Böceli                |                  |      |                       | Yağmur Suyu | Kızılıpınar |
|------------------|-----------------------|------------------|------|-----------------------|-----------------------|------------------|------|-----------------------|-------------|-------------|
|                  | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | T    | $\delta^{13}\text{C}$ | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta\text{D}$ | T    | $\delta^{13}\text{C}$ | T           |             |
|                  | (‰SMOW)               | (‰SMOW)          | (TU) | (‰PDB)                | (‰SMOW)               | (‰SMOW)          | (TU) | (‰PDB)                | (TU)        |             |
| Eylül 1986       | -8.85                 | -55.70           | 11   | -                     | -8.94                 | -55.36           | 10   | -                     | -           | -           |
| Nisan 1987       | -8.83                 | -54.50           | 5    | -                     | -8.68                 | -52.45           | 7    | -                     | -           | -           |
| Ağustos 1987     | -8.67                 | -54.20           | -    | -                     | -8.47                 | -53.95           | -    | -                     | -           | -           |
| 1993             | -8.78                 | -57.31           | 2    | -                     | -8.69                 | -53.92           | 7    | -                     | -           | -           |
| Kasım 2017       | -                     | -                | -    | -                     | -                     | -                | -    | -                     | 5.64        | -           |
| Mayıs 2018       | -                     | -                | -    | -                     | -                     | -                | -    | -                     | -           | 5.11        |
| Ekim 2018        | -8.58                 | -53.71           | 1.06 | -3.13                 | -8.46                 | -53.01           | 1.06 | -4.11                 | -           | -           |
| Aralık 2018      | -8.55                 | -53.69           | 1.54 | -4.28                 | -8.60                 | -54.64           | 2.91 | -5.15                 | -           | -           |
| Şubat 2019       | -8.52                 | -54.49           | 1.75 | -3.89                 | -8.00                 | -52.70           | 1.91 | -5.07                 | -           | -           |
| Nisan 2019       | -8.69                 | -55.05           | 2.14 | -5.64                 | -8.58                 | -54.14           | 1.18 | -7.56                 | -           | -           |
| Haziran 2019     | -8.85                 | -55.41           | 0.91 | -5.91                 | -8.65                 | -54.66           | 1.41 | -7.43                 | -           | -           |





Şekil 10. Çeşitli ortamların ve malzemelerin  $\delta^{13}\text{C}$  değer aralıkları ([35]'den modifiye edilmiştir).

Figure 10. Range in  $\delta^{13}\text{C}$  values in various environments and materials (modified from [35]).

Önceki bölümlerde değinildiği gibi Kazanpınar ve Böceli kaynakları travertenlerden boşalmaktadır. Traverten akifer doğrudan yağış ve dolaylı olarak çatlaklı karbonat akifer formasyonundan beslenmektedir. Bu formasyondan çıkan Pınarbaşı kaynağının  $\delta^{13}\text{C}$  değeri (‰-1.26 VPDB) denizel kireçtaşı kökenini göstermektedir [3]. Bu kaynağın EI değeri 620  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olup Böceli ve Kazanpınar kaynaklarından daha düşük, trityum değeri ise daha yüksektir [3]. Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının  $\delta^{13}\text{C}$  değerlerinin denizel kireçtaşından gelen sular ile tatlı su karbonatlarında (travertenler) dolaşan ve sirkülasyon süresi nispeten daha fazla olan suların karışımını yansıttığı söylenebilir.

### 5.3 Mineral doygunlukları

Suların mineral doygunluklarının bilinmesi, sondaj ya da kaynak sularının işletimi ve iletimi sırasında ortaya çıkabilecek kabuklaşma sorunları ve sulara çökeltme eğiliminde olan minerallerin belirlenmesi açısından önemlidir. Kazanpınar ve Böceli kaynak sularının kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerine göre örnekleme sıcaklığındaki doygunlukları PhreeqC programı [36] ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Kaynak sularının bazı minerallere göre doygunluk durumları.

Table 6. Saturation states of the waters with respect to some minerals.

| Adı    | Tarih        | Kalsit | Aragonit | Dolomit | Jips  |
|--------|--------------|--------|----------|---------|-------|
| Kazan  | Ekim 2018    | 0.04   | -0.11    | -0.08   | -1.33 |
|        | Aralık 2018  | -0.03  | -0.18    | -0.22   | -1.33 |
|        | Şubat 2019   | -0.09  | -0.24    | -0.27   | -1.35 |
|        | Nisan 2019   | 0.16   | 0.01     | 0.14    | -1.28 |
|        | Haziran 2019 | 0.12   | -0.03    | 0.07    | -1.27 |
| Böceli | Ekim 2018    | 0.04   | -0.11    | -0.04   | -1.30 |
|        | Aralık 2018  | 0.01   | -0.14    | -0.12   | -1.30 |
|        | Şubat 2019   | 0.00   | -0.15    | -0.07   | -1.27 |
|        | Nisan 2019   | 0.18   | 0.03     | 0.23    | -1.20 |
|        | Haziran 2019 | 0.21   | 0.07     | 0.31    | -1.20 |

Bu tablodaki mineraller için elde edilen negatif değerler suyun o minerali çözme eğiliminde, pozitif değerler ise o minerali çökeltme eğiliminde olduğunu göstermektedir. Kazanpınar ve Böceli suları ilk üç örnekleme döneminde kalsitçe doygunluğa yakın ve dolomitçe doygunluk altı değerler vermişken son iki dönemde suların her iki minerale göre doygun oldukları görülmektedir (Tablo 6). Buradan her iki kaynak için suların

iletim borularında kalsit ve dolomit çökeltme eğiliminde oldukları anlaşılmaktadır. DESKİ elemanlarının bu kaynakların iletim borularında ince bir kabuk oluşumu olduğu belirtilmiştir. Kaynak suları jips ve aragonite göre (genellikle) doygun değildirler ve bu mineralleri çözme eğilimi gösterirler.

## 6 Sonuçlar ve öneriler

Toplam olarak 24000'den fazla nüfusun içme ve kullanma suyu ihtiyacını karşılayan Böceli ve Kazanpınar karst kaynakları başlıca Mesozoyik yaşlı karbonat kayalardan yanıl olarak beslenen travertenlerden boşalır. Sıcaklıkları ve elektriksel iletkenlik (EI) değerleri 16.6-18.2°C ve 790-910  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişen sular hidrokimyasal olarak Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipindedir. İzotop içerikleri suların meteorik kökenli olup nispeten güncel yağışlardan beslendiğini, sulardaki karbonun kökeninin tatlı su karbonatları ve Mesozoyik yaşlı denizel kireçtaşları olduğunu göstermiştir. Çalışma döneminde suların iyon kompozisyonlarında mevsimsel olarak önemli bir değişme olmamıştır. Böceli ve Kazanpınar kaynaklarının boşalım katsayıları suların karstik kanallardan çok kırık ve çatlaklardan geldiğini göstermektedir. Kaynakların hidrokinamik özellikleri ve majör iyon kompozisyonları dikkate alındığında ve mevcut durum doğal ya da yapay olumsuz faktörlerle bozulmadığı sürece susuz mahallelerin su ihtiyaçlarını karşılayabileceği anlaşılmıştır.

Böceli kaynağının yerleşim alanı içinde olması kaynağı olası bir kirlenmeye açık hale getirmektedir. Bu nedenle öncelikle kaynağın mutlak koruma alanı içindeki yapılaşmanın ortadan kaldırılması gerekmektedir. Böceli ve Kazanpınar sularının Türk içme suyu standardında belirtilen tüm analizleri DESKİ tarafından periyodik olarak yapılmalı ve izlenmelidir.

## 7 Conclusions and Suggestions

Böceli and Kazanpınar karst springs, which provide the drinking and utility water needs of more than 24000 people totally, are discharged from travertines fed laterally from Mesozoic aged carbonate rocks. The waters whose temperatures and electrical conductivity values vary between 16.6-18.2 °C and 790-910  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively are hydrochemically Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> type. The isotope contents show that the waters are of meteoric origin and are fed from relatively modern precipitation, the origin of the carbon in the waters is fresh water carbonates and the Mesozoic marine limestones. There was no significant seasonal change of the ion composition in the waters during the study period. The recession coefficients of the Böceli and Kazanpınar springs indicate that the waters come from fractures and cracks rather than the karstic canals. Considering the hydrodynamic properties and main ion compositions of the springs, it has been understood that the waterless settlements can provide the water needs if the current situation does not deteriorate with natural or artificial factors negatively.

The fact that the Böceli spring is in the settlement area makes the spring vulnerable to possible contamination. Therefore, first of all, the presence of any residential or industrial facility should not be allowed within the absolute protection area of the spring. All analyzes of Böceli and Kazanpınar waters specified in the Turkish drinking water standard should be periodically performed and monitored by DESKİ.

## 8 Teşekkür

Bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No. 2018FEBE045). Makaleye değerli öneri ve eleştirileriyle katkı koyan Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL ile Prof. Dr. Naciye Nur ÖZYURT ve diğer hakemlere teşekkür ederiz.

## 9 Yazar katkı beyanı

Gerçekleştirilen çalışmada Ali Gökgöz fikrin oluşması, tasarımın yapılması, literatür taraması, analizlerin tamamlanması, elde edilen sonuçların değerlendirilmesi, yazım denetimi ve içerik açısından makalenin kontrol edilmesi başlıklarında; Yusuf Tabanlı veri toplama, su noktalarında yerinde ölçüm, örnekleme ve sonuçların incelenmesi başlıklarında katkı sunmuşlardır. Ayrıca DESKİ kaynakların drone ile fotoğraflanmasında katkı koymuştur.

## 10 Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## 11 Kaynaklar

- [1] Koçyiğit A. "Denizli Graben-Horst System and the eastern limit of the west Anatolian continental extension: Basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey". *Geodinamica Acta*, 18, 167-208, 2005.
- [2] Gökgöz A. Pamukkale Karahayıt-Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 1994.
- [3] Akman MA. Yukarı Çürüksu Havzası'ndaki (Denizli) Düşük Sıcaklıklı Termal Suların Hidrojeokimyasal İncelemesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [4] Özler HM. "Hydrogeology and geochemistry in the Çürüksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey". *Environmental Geology*, 39(10), 1169-1180, 2000.
- [5] Özkul M, Kele S, Gökgöz A, Shen CC, Jones B, Baykara MO, Fózris I, Németh T, Chang YW, Alçıçek MC. "Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data". *Sedimentary Geology*, 294, 179-204, 2013.
- [6] Claes H, Soete J, Van Noten K, El Desouky H, Erthal MM, Vanhaecke F, Özkul M, Swennen R. "Sedimentology, three-dimensional geobody reconstruction and carbon dioxide origin of Pleistocene travertine deposits in the Ballık area (south-west Turkey)". *Sedimentology*, 62, 1408-1445, 2015.
- [7] Türk Standartları Enstitüsü. "Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular". Ankara, Türkiye, TS 266, 2005.
- [8] Okay Aİ. "Denizli'nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya naplarının jeolojisi". *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 109, 45-58, 1989.
- [9] Bozkuş C, Kumsar H, Özkul M, Hançer M. "Seismicity of active Honaz fault under an extensional regime". *International Earth Science Colloquium of the Aegean Region (IESCA)*, İzmir, Turkey, 25-29 September 2000.

- [10] Pekuz Ü. "Denizli (Honaz) Doğusunda Yeralan Oligosen Yaşlı Molas Tipi Kırıntılı Tortulların Tektono-Sedimanter Özellikleri". *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1-2), 185-194, 2007.
- [11] Özkaymak Ç. "Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications". *Geodinamica Acta*, 27(2-3), 109-128, 2015.
- [12] Ercan T, Günay E, Baş H. "Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu". *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 153-160, 1983.
- [13] Özkul M, Varol B, Alçıçek MC. "Depositional environments and petrography of the Denizli travertines". *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 125, 13-29, 2002.
- [14] El Desouky H, Soete J, Claes H, Özkul M, Vanhaecke F, Swennen R. "Novel applications of fluid inclusions and isotope geochemistry in unraveling the genesis of fossil travertine systems". *Sedimentology*, 62, 27-56, 2015.
- [15] Gündoğan İ, Helvacı C, Sözbilir H. "Gypsiferous carbonates at Honaz Dağı (Denizli): First documentation of Triassic gypsum in western Turkey and its tectonic significance". *Journal of Asian Earth Sciences*, 32, 49-65, 2008.
- [16] Önhon E, Ertan İ, Güler S, Nazik M, Kaplan A. "Research on the origin of the karst waters in Yukarı Çürüksu plain using isotope techniques". Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, Final Report, 1988.
- [17] Güner N, Altuğ A. "Denizli-Honaz ve Cıvırı Karst Hidrojeolojik Etüt Raporu". Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 1986.
- [18] Özler HM. "Water Balance and Water Quality in the Çürüksu Basin in Western Turkey". *Hydrogeology Journal*, 7(4), 405-418, 1999.
- [19] Gökgöz A. "Çürüksu Ovası (Denizli) Yeraltısularında İz Element Dağılımı". *Jeotermal Uygulamalar Sempozyumu'94*, Denizli, Türkiye, 27-30 Eylül 1994.
- [20] Konak N, Şenel M. "Türkiye jeoloji haritası, Denizli paftası 1:500.000". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2002.
- [21] Sun S. "Denizli-Uşak Arasının Jeolojisi ve Linyit Olanakları". Rapor No:9985, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 1990.
- [22] Hakyemez YH. "Geology and stratigraphy of the Cenozoic sedimentary rocks in the Kale-Kurbalık area, Denizli-southwestern Turkey". *Bulletin of Mineral Research and Exploration*, 109, 1-14, 1989.
- [23] Şimşek Ş. "Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları". *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 3(1-2), 145-162, 1982.
- [24] Alçıçek H, Varol B, Özkul M. "Sedimentary facies, depositional environments and palaeogeographic evolution of the Neogene Denizli Basin of SW Anatolia, Turkey". *Sedimentary Geology*, 202, 596-637, 2007.
- [25] Topal S, Özkul M. "Determination of relative tectonic activity of the Honaz fault (SW Turkey) using geomorphic indices". *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(6), 1200-1208, 2018.
- [26] Emre Ö, Duman TY, Özalp S, Elmacı H. "Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, 1:250.000 Ölçekli Denizli (NJ 35-12) Paftası, Seri No: 12". Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye, 2011.

- [27] Türkiye İstatistik Kurumu. "Yerleşim Yeri Nüfusları". <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr> (01.02.2020).
- [28] Gökğöz A, Demirel Ö, Asal İ. "Pınarbaşı Karst Kaynağı ve Çevresinin (Honaz-Denizli) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi". *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu MÜHJEO'2015*, Trabzon, Türkiye, 03-05 Eylül 2015.
- [29] Aksever F. "Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) yöntemi ile kuraklık analizi ve Kaklık (Honaz-Denizli) Ovasındaki Yeraltısuyu Değişimi". *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 152-160, 2019.
- [30] Craig H. "Isotopic variations in meteoric waters". *Science*, 133(3465), 1702-1703, 1961.
- [31] Gat JR, Carmi I. "Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea". *Journal of Geophysical Research*, 75, 3032-3048, 1970.
- [32] Lucas LL, Unterweger MP. "Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium". *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105(4), 541-549, 2000.
- [33] Dilaver AT, Aydın B, Özyurt NN, Bayarı CS. "Türkiye Yağışlarının İzotop İçerikleri (2012-2016). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü-Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü-Araştırma Dairesi Başkanlığı". Ankara, Türkiye, 2018.
- [34] Semerci Aygün B. Pınarbaşı Karst Kaynağının (Honaz-Denizli) Boşalım Hidrodinamiği ve Hidrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, 2019.
- [35] Clark ID, Fritz P. *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. 2<sup>nd</sup> ed. New York, USA, Lewis Publishers, 1997.
- [36] Parkhurst DL, Appelo CAJ. "User's guide to PHREEQC (Version 2)-A computer Program for Speciation, Batch-Reaction, One-Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations". US. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 99-4259, 1999.