

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PINARBAŞI KARST KAYNAĞININ (HONAZ-DENİZLİ)  
BOŞALIM HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROKİMYASAL  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİLGE SEMERCİ AYGÜN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

**T.C.**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**PINARBAŞI KARST KAYNAĞININ (HONAZ-DENİZLİ)**  
**BOŞALIM HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROKİMYASAL**  
**ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİLGE SEMERCİ AYGÜN**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

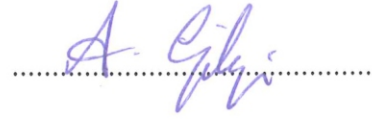
## KABUL VE ONAY SAYFASI

**BİLGE SEMERCİ AYGÜN** tarafından hazırlanan “**Pınarbaşı Karst Kaynağının (Honaz-Denizli) Boşalım Hidrodinamiği ve Hidrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 06.08.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

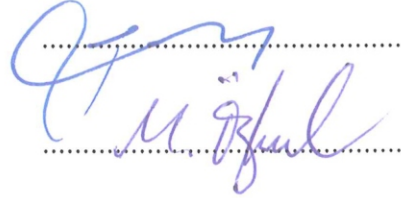
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ



Üye  
Prof. Dr. Ahmet YILDIZ



Üye  
Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun  
28/08/2019 tarih ve 34/24.... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü ✓

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından 2017FEBE048 nolu proje ile desteklenmiştir.**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

  
**BİLGE SEMERCİ AYGÜN**

## ÖZET

**PINARBAŞI KARST KAYNAĞININ (HONAZ-DENİZLİ) BOŞALIM  
HİDRODİNAMİĞİ VE HİDROKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**BİLGE SEMERCİ AYGÜN**  
**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ)**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2019**

İnceleme alanı Denizli il merkezinin yaklaşık 10 km doğusunda, Çürüksu grabeni içinde yer alır. Çalışma alanının temelini yaşı olasılıkla Üst Paleozoyik olan Honaz şeyli oluşturur. Temel kayalar üzerine tektonik dokanakla Menderes Masifi'nin Alt Tersiyer-Mezozoyik yaşlı rekristalize kireçtaşları gelir. Masif üzerinde Likya naplarına ait Alt Triyas-Kretase yaşlı jips içeren dolomit, kireçtaşı ve ofiyolit birimleri yer alır. Likya napları Mezozoyik-Alt Tersiyer yaşlı şeyl ve kireçtaşları tarafından üzerlenir. Neojen çökelleri altlayan birimleri uyumsuzlukla örter. Kuvaterner, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenler ile temsil edilir.

Mezozoyik yaşlı kireçtaşından boşalan kaynağın debisi 1 m<sup>3</sup>/s'den fazladır. Kaynak boşalımının analizi, Pınarbaşı kaynağının geldiği karstik akifer için, su tablasının yanal kesitinin büyük, hidrolik iletkenlik katsayısının düşük-orta, etkin gözenekliliğin yüksek ve hazne kayada bulunan su hacminin fazla olduğunu; aynı zamanda kaynak boşalımının tabaka, kırık ve çatlaklar yoluyla gerçekleştiğini göstermektedir.

İnceleme alanı sularının sıcaklıkları 9,3 ile 23,7 santigrat derece, EC değerleri 188 ile 1065 mikromho-cm ve pH değerleri 6,79 ile 8,50 arasında değişmektedir. Pınarbaşı kaynağı ve sondaj suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde iken beslenme alanındaki kaynaklar Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Pınarbaşı kaynağından 1 yıllık dönemde aylık periyotlarla yapılan analizlerde zaman içinde kaynağın kimyasal kompozisyonunda önemli bir değişim gözlenmemiştir.

Çalışma alanı sularının deltaO-18 değerleri binde -54,37 ile -60,28 ve döteryum değerleri binde -8,43 ile -9,66 arasında olup meteorik kökenlidirler. Nispeten yüksek trityum içerikleri göz önüne alındığında yeraltındaki sirkülasyon zamanları 55 yıldan azdır.

Pınarbaşı kaynağı ve kuyu suları yüksek As değerleri nedeniyle içilemez özelliktedir. İnceleme alanındaki tüm sular sulama suyu olarak kullanılabilir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Denizli, Honaz, karst kaynağı, hidrokimya, izotop

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF HYDROCHEMICAL PROPERTIES AND DISCHARGE HYDRODYNAMICS OF PINARBAŞI KARST SPRING (HONAZ-DENİZLİ)**

**MSC THESIS**

**BİLGE SEMERCİ AYGÜN**

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
GEOLOGICAL ENGINEERING  
(SUPERVISOR:ASSOC. PROF. DR. ALİ GÖKGÖZ)**

**DENİZLİ, AUGUST 2019**

The study area is located in Çürüksu graben, approximately 10 km east of Denizli city center. In the study area, Upper Palaeozoic aged Honaz shale forms the basement. The Lower Tertiary-Mesozoic aged recrystallized limestones of the Mendere Massif tectonically overlies the basement rocks. Lower Triassic-Cretaceous gypsum-bearing dolomite, limestone and ophiolite units of Lycian nappes take place on the Massif. Lycian nappes are overlain by Mesozoic-Lower Tertiary aged shales and limestones. All these rocks are unconformably overlain by Neogene sediments. Quaternary is represented by alluvium, alluvial fan, slope debris and travertines.

Discharge of Pınarbaşı karst spring, which issues from Mesozoic limestone, is more than 1 cubic meter per second. Spring flow analysis revealed that the lateral extension of groundwater table at the karstic aquifer is large, the hydraulic conductivity coefficient is low to moderately high, the effective porosity is high, and large volumes of water is stored in reservoir rock. In addition to that, groundwater flow occurs through the bedding planes, cracks, faults and joints.

The temperatures of sampled waters are 9.3 to 23.7 Celsius degree, electrical conductivities are 188 to 1065 mikromho per centimeter and pH values are 6.62 to 7.72. Pınarbaşı spring and well waters hydrochemically are Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> type, while the springs in feeding area are Ca-HCO<sub>3</sub> type. No significant change was observed in the chemical composition of Pınarbaşı spring over a period of one year. The delta O-18 values are between thousandths -54,37 and -60,28 and the deuterium values are between thousandths -8,43 and -9,66, indicates meteoric origin. Tritium values show that residence time of the waters is less than 55 years.

Pınarbaşı spring and well waters are undrinkable due to high As concentration. All waters in the study area can be used as irrigation water.

**KEYWORDS:** Denizli, Honaz, karst spring, hydrochemistry, isotope

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>viii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri .....	1
1.2 Çalışmanın Amacı .....	3
1.3 Literatür Özeti .....	3
1.4 Yöntem .....	4
<b>2. JEOLOJİ</b> .....	<b>6</b>
2.1 Stratigrafi .....	6
2.1.1 Temel Kayaçları .....	6
2.1.1.1 Honaz Şeyli .....	6
2.1.1.2 Göbecik Tepe Birimi .....	6
2.1.1.3 Menderes Masifi .....	8
2.1.1.4 Likya Napları .....	8
2.1.1.4.1 Sandak Birimi .....	8
2.1.1.4.2 Honaz Ofiyoliti .....	9
2.1.2 Örtü Birimleri .....	9
2.1.2.1 Eosen-Pliyosen Yaşlı Birimler .....	9
2.1.2.2 Kuvaterner .....	10
2.1.2.2.1 Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi ve Yamaç Molozu .....	10
2.1.2.2.2 Traverten .....	10
2.2 Yapısal Jeoloji .....	10
2.2.1 Naplar .....	11
2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar .....	12
<b>3. HİDROLOJİ</b> .....	<b>13</b>
3.1 Yağış ve Sıcaklık .....	13
3.2 Buharlaşma-Terleme .....	15
3.2.1 Thornthwaite yöntemi .....	15
3.2.2 Turc yöntemi .....	16
<b>4. HİDROJEOLOJİ</b> .....	<b>19</b>
4.1 Hidrojeoloji Birimleri .....	19
4.1.1 Geçirimli Birimler .....	19
4.1.1.1 Yılanlı Formasyonu .....	19
4.1.1.2 Sandak Birimi .....	20
4.1.1.3 Traverten .....	20
4.1.1.4 Alüvyon ve Alüvyon Yelpazesi .....	20
4.1.2 Yarı geçirimli Birimler .....	21
4.1.2.1 Zeybekölen Formasyonu .....	21
4.1.2.2 Eosen-Oligosen Kırıntılı Çökeller .....	21
4.1.3 Geçirimsiz Birimler .....	21



4.1.3.1	Honaz Şeyli ve Honaz Ofiyoliti .....	21
4.2	Su Noktaları .....	22
4.2.1	Akarsular .....	22
4.2.2	Kaynaklar .....	22
4.2.3	Sondajlar .....	24
4.3	Pınarbaşı Kaynağı'nın Hidrodinamik Özellikleri .....	24
4.3.1	Debi (Q) .....	24
4.3.2	Boşalım katsayısı ( $\alpha$ ) .....	28
<b>5.</b>	<b>HİDROKİMYA .....</b>	<b>31</b>
5.1	Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri .....	31
5.2	İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri .....	32
5.2.1	İnceleme alanı sularının sınıflaması .....	38
5.3	Kaynak Kaya .....	42
5.4	İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları .....	44
5.4.1	Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları .....	44
5.4.2	Tritiyum .....	45
5.5	Suların Mineral Doygunlukları .....	47
<b>6.</b>	<b>SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>49</b>
6.1	Suların İçilebilme Özellikleri .....	49
6.2	Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri .....	51
6.2.1	Wilcox Diyagramı .....	51
6.2.2	Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) .....	51
6.2.3	ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı .....	52
6.2.4	Klorür Tehlikesi .....	54
6.2.5	Bor Tehlikesi .....	54
6.2.6	Sulama Suyu Sınıflamalarının Sentezi .....	55
6.3	Suların beton üretiminde kullanılabilme özellikleri .....	56
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>58</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>60</b>
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>66</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanının Çürüksu Havzası'ndaki konumu.....	2
Şekil 2.1: Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu.....	7
Şekil 3.1: Honaz ilçe merkezi için 2018 yılındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması.....	14
Şekil 3.2: Honaz ilçe merkezi için yağış-Etp grafiği. ....	18
Şekil 4.1: Pınarbaşı kaynağından bir görünüm. ....	23
Şekil 4.2: Pınarbaşı kaynağında muline ile debi ölçümü. ....	23
Şekil 4.3: a) Pınarbaşı kaynağı ve civarındaki kaynakların lokasyonu b) kuyuların jeoloji logları. ....	25
Şekil 4.4: DSİ-20019 nolu artezyen kuyu. ....	26
Şekil 4.5: DSİ-44153 nolu artezyen kuyu. ....	26
Şekil 4.6: Pınarbaşı kaynağının debi-zaman grafiği. ....	26
Şekil 4.7: Pınarbaşı kaynağının çalışma dönemindeki debi-zaman grafiği. ....	28
Şekil 4.8: Pınarbaşı kaynağının gerçek rejimdeki boşalım grafiği. ....	29
Şekil 4.9: Denizli il merkezi için 1950-2010 yılları arasındaki yağış-ortalama yağıştan eklenik sapma-zaman ve Pınarbaşı kaynağının 1975-2010 dönemindeki debi-zaman grafikleri.....	30
Şekil 5.1: Yarı logaritmik diyagram. ....	41
Şekil 5.2: Piper diyagramı.....	41
Şekil 5.3: İnceleme alanı sularının çeşitli iyon derişimleri arasındaki ilişkiler. ....	43
Şekil 5.4: Pınarbaşı kaynağının kimyasal kompozisyonunun zamanla değişimi...43	
Şekil 5.5: Suların $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı. ....	47
Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı.....	52
Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.....	54

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 3.1: Honaz meteoroloji istasyonu için 1985-1989 ve 2014-2018 dönemlerine ait yağış ve sıcaklık değerleri. ....	14
Tablo 3.2: Honaz ilçe merkezinin 2018 yılındaki denetirmeli su bilançosu. ....	17
Tablo 4.1: Pınarbaşı kaynağının çalışma dönemi içindeki anlık debi değerleri. ....	27
Tablo 5.1: İnceleme alanında örneklenen suların koordinatları. ....	31
Tablo 5.2: İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l). ....	33
Tablo 5.3: İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (µg/l). ....	34
Tablo 5.4: İnceleme alanı sularının sınıflaması. ....	40
Tablo 5.5: Suların izotop kompozisyonları. ....	46
Tablo 5.6: İnceleme alanı sularının bazı minerallere göre doygunluk durumları	48
Tablo 6.1: İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilme özellikleri. ....	50
Tablo 6.2: İnceleme alanı sularının sulama suyu sınıfları. ....	53
Tablo 6.3: Bor değerlerine göre sulama sularının sınıflaması. ....	55
Tablo 6.4: Değişik bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları. ....	55
Tablo 6.5: Sulama suyu sınıflarının sentezi. ....	56

## SEMBOL LİSTESİ

<b>km</b>	:	Kilometre
<b>km<sup>2</sup></b>	:	Kilometre kare
<b>m</b>	:	Metre
<b>ml</b>	:	Mililitre
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	:	Metreküp/saniye
<b>l/s</b>	:	Litre/saniye
<b>°C</b>	:	Santigrat Derece
<b>mm</b>	:	Milimetre
<b>µm</b>	:	Mikrometre
<b>µS/cm</b>	:	Mikrosiemens/santimetre
<b>µmho/cm</b>	:	Mikromho/santimetre
<b>µg/l</b>	:	Mikrogram/litre
<b>mg/l</b>	:	Miligram/litre
<b>mek/l</b>	:	Miliekivalan/litre
<b>mol/l</b>	:	mol/litre
<b>D</b>	:	Döteryum
<b>%</b>	:	Yüzde
<b>‰</b>	:	Binde
<b>TU</b>	:	Tritiyum birimi
<b>SMOW</b>	:	Standard Mean Ocean Water

## ÖNSÖZ

Bu çalışmamda bilgi ve tecrübesiyle beni koordine eden, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ' e saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresinde dersime giren, değerli bilgilerini sunan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Arazi, laboratuvar ve diğer çalışmalarım esnasında, tezimi bu aşamaya getirmeme yardımcı olan tüm arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme, eşime ve bu tezi hazırlamamda emeği geçen herkese teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı Denizli il merkezinin yaklaşık 13 km doğusunda, Çürüksu grabeninin GD kenarında bulunur ve Honaz İlçe merkezi ile Honaz Dağı'nı ve Yukarı Çürüksu Ovası'nın bir kısmını içeren 40 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsar. Yukarı Çürüksu Havzası'nın Denizli (Çürüksu) Havzası içindeki konumu Şekil 1.1'de verilmiştir.

İnceleme alanı ve civarı, graben tektoniğine bağlı olarak gelişen bir topoğrafya sunmaktadır. Topoğrafya basamak faylarla ovanın kuzey ve güneyine doğru yükselmektedir. İnceleme alanındaki Honaz Dağı (2528m) Ege Bölgesi'nin en yüksek dağıdır.

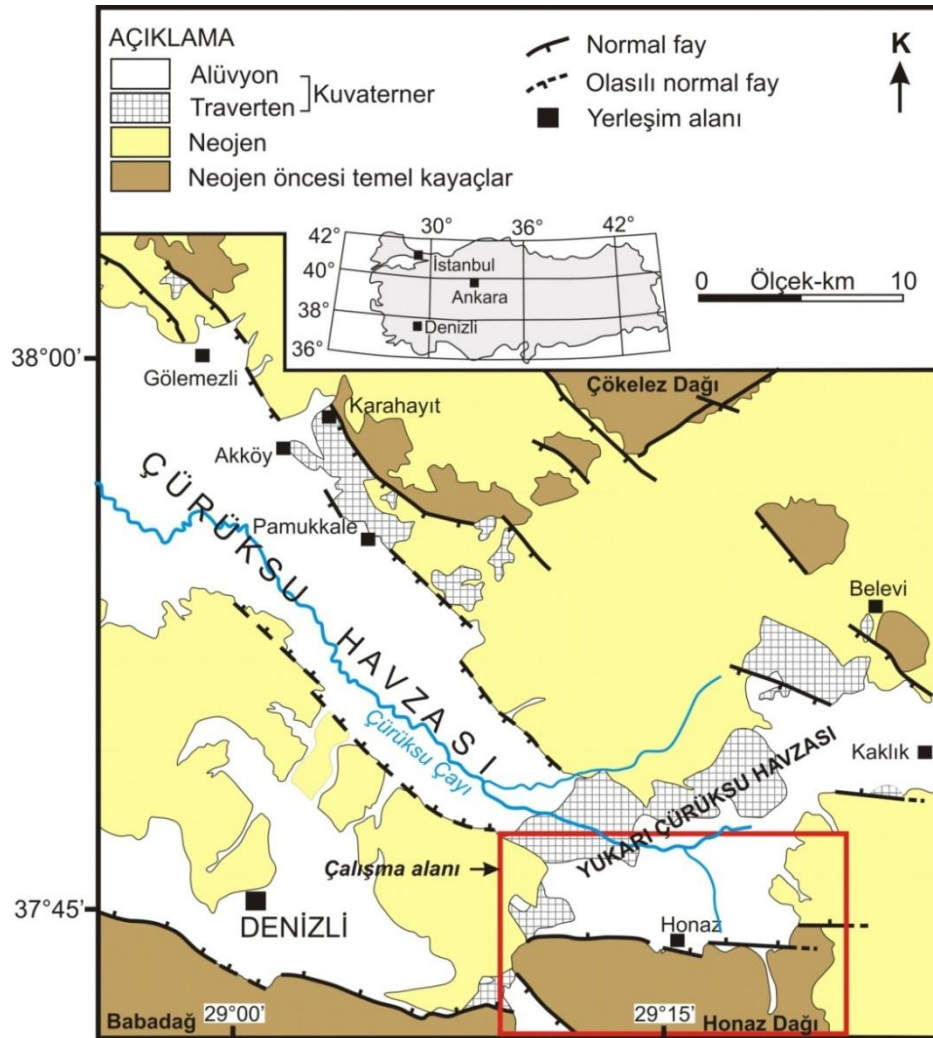
İnceleme alanındaki en önemli akarsu Büyük Menderes Nehri'nin kolu olan Çürüksu Çayı'dır. Yukarı kesimlerde Honaz ve Aksu Çayı olarak iki kola ayrılır. Yağış alanı 2284,15 km<sup>2</sup> olan Çürüksu Çayı'nın toplam uzunluğu 101 km, il içi uzunluğu 96 km ve debisi 9,26 m<sup>3</sup>/s'dir (ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, 2018). Yaz aylarında debisi azalır.

Çalışma alanı ve yakın çevresi Ege, Akdeniz ve İç Anadolu iklim kuşaklarının etkisi altındadır. Yazları sıcak, kurak ve yarı nemli, kışları ılık ve yağışlıdır. Yağışlar genel olarak yağmur, nadiren kar şeklindedir. Honaz Dağı genellikle kış ve ilkbahar aylarında karla kaplıdır.

Çalışma alanının engebeli ve yüksek kesimlerinde ormanlık alanlar yaygındır (özellikle çam). Honaz Dağı'nın floristik zenginliği, çevresindeki diğer alanlara göre daha zengin durumda olup birçok endemik bitkinin yetiştiği ve özel iklim koşullarının etkili olduğu nadir alanlar arasında yer alır. Dağın kuzey ve kuzeybatı yamaçlarında 1100 metreye kadar olan yükseltilerde ağaç ve çalı formundaki odunsu taksonlar yaygın olarak bulunur. 1150 metrenin üzerindeki yükseltilerde ise bu

türlerden bazılarının yayılışı son bulmakta ve 1750 rakıma kadar daha soğuk ortam şartları toleranslı odunsu formlar diğerlerinin yerini almaktadır. 2000 metrenin üzerindeki alanlarda yüksek dağ step vejetasyonu hâkimdir. Ayrıca Honaz Dağı ve çevresinde tıbbi ve ekonomik değere sahip bitkiler de bulunmaktadır (ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, 2018). Tarımsal ürünlerden arpa, buğday; sulanabilen ovalık kesimlerde ise pamuk, tütün, meyve (başlıca üzüm, kiraz, vişne, ayva) ve sebze yetiştiriciliği önemli yer tutar.

Çalışma alanındaki başlıca yerleşim alanları Honaz İlçesi ile Kaklık, Kocabaş, Pınarkent, Dereçiftlik, Kızılyer, Aşağıdağdere, Yukarıdağdere ve Gürlek beldeleridir.



## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada Pınarbaşı kaynağının gerçek rejimdeki hidrodinamik özelliklerinin ortaya konması, Pınarbaşı kaynağı ile civarındaki kaynak ve sondaj sularının kimyasal kompozisyonlarındaki mevsimsel değişimlerin belirlenmesi ve bu suların içme, sulama ve endüstride kullanılabilme özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

## 1.3 Literatür Özeti

İnceleme alanı ve yakın çevresinde değişik araştırmacılar, bölgenin genellikle jeolojisi, paleontolojisi, tektoniği, volkanizması, hidrojeolojisi ve hammadde olanakları üzerine araştırmalar yapmışlardır. Bunlardan bazılarında aşağıda değinilmiştir.

İnceleme alanının temelinde Okay (1989) tarafından “Honaz şeyli” olarak adlandırılan ve çok kırıklı kumtaşı, şeyl, fillit ve kalkışist ardalımasından oluşan Üst Paleozoyik yaşlı (Çağlayan ve diğ. 1980) metasedimentler bulunur. Bloklu, kısmen serpantinleşmiş, yer yer silisleşmiş harzburjitlerden oluşan ofiyolitik melanj Eosen-Oligosen çökelleri üzerinde tektonik dokanakla yer alır (Bozkuş ve diğ. 2001). Gri, koyu gri renkli kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan karbonat kayalar alloktondur ve tektonik olarak metamorfiteğin üzerinde bulunur. Yaşları Triyas-Paleosen'dir (Çağlayan ve diğ. 1980). Geç Eosen, dolomit-evaporit (jips, anhidrit) ve Oligosen, molas çökelleri ile temsil edilir; molas çökelleri ofiyolitik melanj ve Mesozoyik karbonatların altındadır ve üzerlerine uyumsuz olarak Neojen karasal çökeller gelir (Bozkuş ve diğ. 2001). Üst Miyosen yaşlı (Taner 2001) karasal tortullar başlıca akarsu ve göl çökellerinden oluşur. Erişen (1971), Denizli civarında Paleosen'in yalnızca Alt Pliyosen çökellerinden oluştuğunu ve Üst Pliyosen izlenimi veren çökellerin Alt Pliyosen yaşlı olduğunu belirtmiştir. Okay (1989), bölgede alttan üste doğru Göbecik tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes Masifi, Sandak biriminin yer aldığını, bunlardan Göbecik Tepe biriminin nisbi otoktonu oluşturduğunu, Menderes Masifi'nin allokton konumda olduğunu Honaz şeyli ve Göbecik tepe birimi üzerine itildiğini, Honaz Dağının ise doğuya doğru devrik büyük bir antiklinal yapısı oluşturduğunu ifade etmiş ve bölgede üç deformasyon fazı ayırt



etmiştir. Ercan ve diğ. (1983), inceleme alanı yakın çevresinde yer alan Üst Pliyosen yaşlı volkanitlerin, şoşonitik bazalt, latit ve trakit türünde olduklarını ve volkanizmanın tansiyon rejimi sonucu oluşan kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiklerini söylemişlerdir.

Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği bölgenin doğusunda kalan çöküntü alanı Denizli Havzası olarak adlandırılır (Westeway 1993, Çakır 1999). İnceleme alanı bu çöküntü alanında yer almaktadır. Çakır (1999), Gediz ve Büyük Menderes grabenlerindeki aktif normal fayların yekpare bir düzlem olmayıp, doğrultuları boyunca 13 km uzunluklara varan çeşitli geometrik segmentlere ayrıldıklarını belirtmiştir.

Denizli Havzası'nda (Çürüksu grabeni) ılık suların varlığı (Kaklık mağarası kaynakları ve sondajları gibi) bilinmektedir. Kaklık-Honaz bölgelerindeki travertenleri oluşturan sulara jeotermal su katkısının da olduğu ortaya konmuştur (Özkul ve diğ. 2013). Dolayısıyla inceleme alanı ve çevresinde Özler (2000) tarafından da ifade edildiği üzere, düşük entalpili bir jeotermal sistemin varlığı sözkonusudur. Ancak, Kastelli (1971), Tavas, Babadağ ve Honaz civarında 400 km<sup>2</sup>'lik bir alanda yaptığı jeolojik incelemeler sonucunda sahanın jeotermik yönden değerlendirilebilecek bir alan olmadığını belirtmiştir.

İnceleme alanında yüksek debili birçok kaynak ve bir kısmı pozitif artezyen olan çok sayıda sondaj vardır. Bu kaynak ve sondaj sularının büyük bölümü sulama suyu olarak kullanılmaktadır. Kazanpınar ve Böceli pınarı ise içme suyu olarak değerlendirilmektedir. Özdamar (1991), Honaz ve Kızılyer yörelerindeki kuyuların veriminin 1-80 l/s arasında değiştiğinden söz etmiştir. Gökgöz ve diğ. (2015), Pınarbaşı kaynağının Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde ve kaynak boşalım katsayısının 10<sup>-3</sup> gün<sup>-1</sup> mertebesinde olduğunu ifade etmişlerdir.

#### **1.4 Yöntem**

Suların kimyasal özelliklerini ve mevsimsel değişimlerini incelemek için Pınarbaşı kaynağından 12 ay boyunca aylık periyotlarla (2018 yılının Ocak ve Haziran ayları eksik olmak üzere), çevredeki diğer kaynak ve sondaj sularından

Ekim-2017 ve Mayıs-2018 olmak üzere iki dönemde yerinde ölçüm ve analiz, örnekleme, laboratuarda kimyasal ve izotop analizi çalışmaları yapılmıştır.

Suların sıcaklıkları, elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri HACH-LANGE HQ40D model multimetre ile ölçülmüş, ölçümlerden önce, her parametre için cihaz standart çözeltilerle kalibre edilmiştir. Suların  $\text{HCO}_3$  miktarları da  $\text{H}_2\text{SO}_4$  titrasyonu ile (mikrotitrator, HACH-LANGE kimyasalları ve  $\text{H}_2\text{SO}_4$  şırıngalarının kullanımıyla) belirlenmiştir.

Majör iyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{CO}_3^{-2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$ ) analizleri için örnekler 250 ml.lik çift tıpalı HDPE şişelere filtre edilerek ( $0.45 \mu\text{m}$ ) alınmış ve laboratuara ulaştırılıncaya kadar soğuk ortamda saklanmıştır ( $<+4^\circ\text{C}$ ). Element analizleri için örnekler 100 ml.lik HDPE şişelere filtre edilerek ve daha sonra ultra saf  $\text{HNO}_3$  ilavesiyle örnek pH'ı 2 veya altına indirilerek alınmıştır.

Örnekler  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  analizi için 50 ml, trityum analizi için ise 500 ml. lik çift tıpalı HDPE şişelere, hava kabarcığı bırakmadan alınmıştır.

Suların majör iyon ve trityum ( $^3\text{H}$ ) analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Trityum Laboratuvarı'na, element analizleri AcmeLab (Kanada)'a yaptırılmıştır.  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  izotop analizleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü TAKK laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Hidrokimyasal değerlendirmelerde Aquachem (Calmbach 1997) ve PhreeqC (Parkhurst ve Appelo 1999) bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

## **2. JEOLOJİ**

### **2.1 Stratigrafi**

İnceleme alanının temelini Honaz şeyli, Göbecik Tepe birimi, Menderes Masifi metamorfileri ve Likya napları (Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti) oluşturur. Temel kayalar üzerine uyumsuzlukla Eosen-Pliyosen yaşlı birimler gelir (Şekil 2.1).

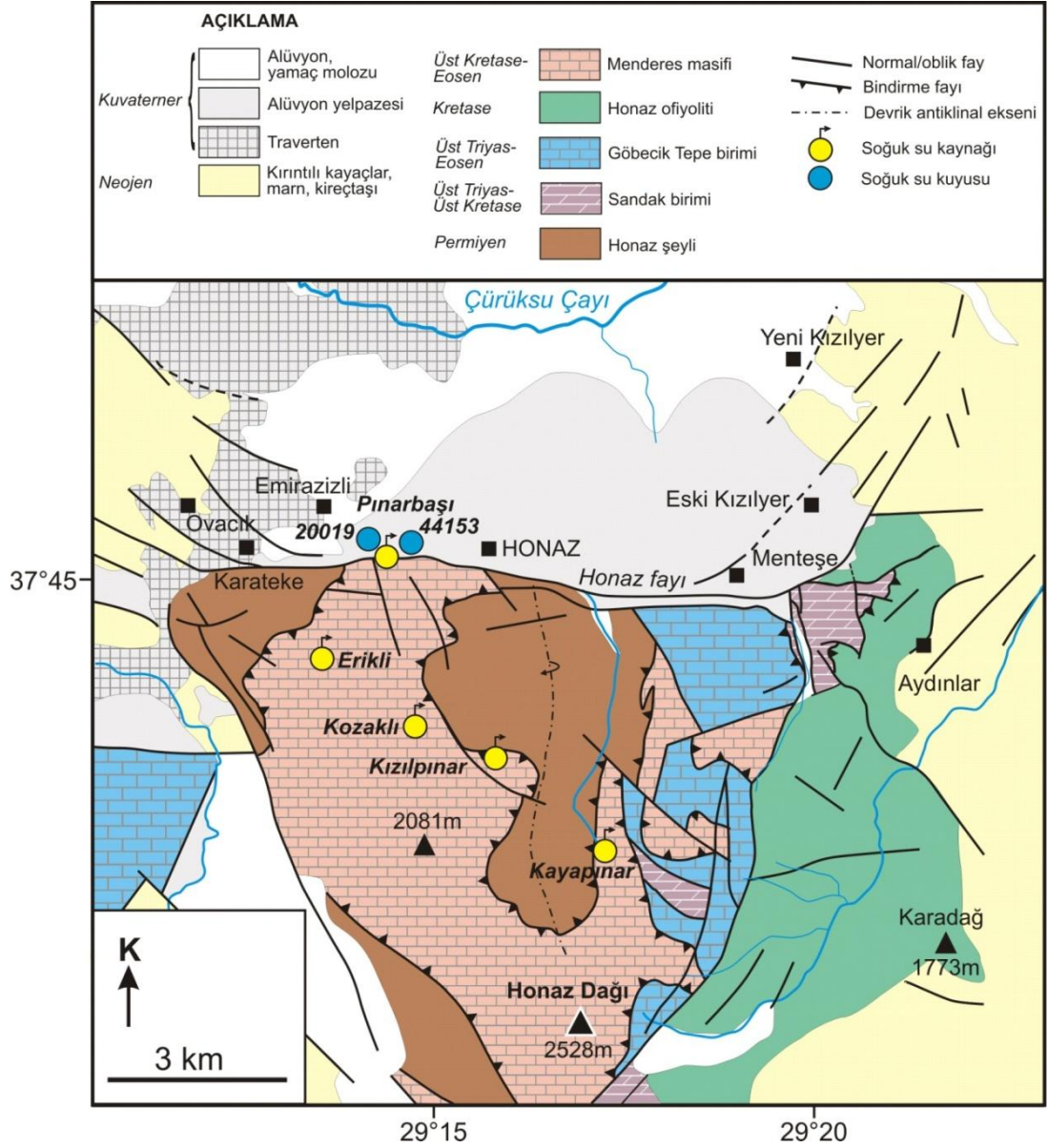
#### **2.1.1 Temel Kayaları**

##### **2.1.1.1 Honaz Şeyli**

Honaz dağının çekirdeğini oluşturan birim koyu mavimsi yeşil renkte silttaşı ve şeylden oluşur. Çok kırıklı ve kıvrımlı olup hafif metamorfizma geçirmiştir (Okay 1989). Yer yer kırmızı silttaşı, kuvars, feldispat çakıllı kumtaşı ve kuvars bileşenli çakıltaşı katmanları yeşil şeylerle aralanmalı olarak bulunur; istif, seyrek olarak, koyu renkli andezitik dayklar da içerir. Tektonik bir dokanakla Menderes masifinin Yılanlı ve Zeybekölen Tepe formasyonlarının altında yer alır. Honaz şeylinin yaşına ilişkin bir bulgu olmamasına (Okay 1989) karşın yaşı Permiyen olarak kabul edilir (Konak ve Şenel 2002).

##### **2.1.1.2 Göbecik Tepe Birimi**

Birim, Okay (1989) tarafından dört formasyona ayrılmıştır. Bunlar alttan üste:



**Şekil 2.1:** Çalışma alanı ve civarının jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu (Okay 1989, Bozkuş ve diğ. 2001, Emre ve diğ. 2011, Konak ve Şenel 2002'den modifiye edilmiştir).

1. *Bozkaya Tepe Kireçtaşı:* Krem renkli mikritik kireçtaşlarından oluşur. Orta-kalın tabakalıdır. Bol mikrofosil içeren birimde yer yer çört mercikleri gözlenir. Alt dokanağı Menderes masifi ile tektoniktir.
2. *Kırkpınar Kireçtaşı:* Kiremit kırmızısı renkte, ince-orta tabakalı bol mikrofosilli mikritlerden oluşur. Honaz dağı zirvesinin doğusunda gözlenen birim Bozkaya Tepe kireçtaşı üzerinde yer alır.
3. *Kozaklı Tepe Formasyonu:* Orta-kalın tabakalı, siyah, mikritik radyolaryalı kireçtaşı; sarımsı, ince tabakalı, kumlu kireçtaşı; karbonatlı şeyli; kırmızı, yeşil

şeyl; yer yer bol nummulitli kırıntılı kireçtaşı; bordo, ince tabakalı kireçtaşından oluşur. Birim Kırkpınar kireçtaşı üzerinde uyumlu olarak yer alır.

4. *Alçıboğazı Formasyonu:* Kuvars, çört, serpantin, volkanit ve karbonat taneli yeşil kumtaşı, kaba kumtaşı, çakıltaşı ve kirli şeylden oluşur. Kozaklı Tepe formasyonu üzerinde bulunur.

Göbecik Tepe birimi Üst Triyas-Eosen yaşlıdır (Okay 1989).

### **2.1.1.3 Menderes Masifi**

Menderes Masifi metamorfikleri, inceleme alanında başlıca Yılanlı formasyonunun gri mermerleri ile temsil edilir (Meşhur ve Akpınar 1984, Konak ve diğ. 1987). Honaz Dağı yamaçlarında geniş yayılım sunan Yılanlı formasyonu gri, açık gri, kalın tabakalı- masif, yer yer laminalı, ince taneli, yer yer gastrapod kavkılı rekristalize kireçtaşlarından oluşur (Okay 1989). Yaklaşık 1500 metre görünür kalınlığa sahip formasyonunun yaşı Üst Kretase'ye kadar uzanır (Okay 1989).

Yılanlı Formasyonunun üzerine, 1000 metreyi aşan görünür kalınlıkta, genellikle ince-orta katmanlı rekristalize gri pelajik kireçtaşı, pembe kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve şeylden oluşan Zeybekölen Tepe Formasyonu gelir (Okay 1989). Yaşı, olasılıkla Paleosen-Alt Eosen'dir (Okay 1989). Bu kayalar Likya naplarına ait Sandak biriminin Gereme formasyonu tarafından nap dokanağı ile üzerlenir.

### **2.1.1.4 Likya Napları**

Likya napları çalışma alanında Sandak Birimi ve Honaz Ofiyoliti'nden oluşur.

#### **2.1.1.4.1 Sandak Birimi**

İnceleme alanında Sandak biriminin Gereme formasyonu gözlenir. Gereme formasyonu gri, koyu gri, siyah renkli ve masif-kalın tabakalı dolomit, dolomitik

kireçtaşı ve kireçtaşlarından oluşur; yüzeysel ayrışma sonucu oluşan gözenekli cüruf tipi inceleme alanındaki dolomitler için çok karakteristiktir (Okay 1989). Kızılyer Köyü'nün güney kesiminde siyah dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile kalın jips katmanları araldanmalıdır (Gündoğan ve diğ. 2008). Günümüzde bu jips yatakları işletilmektedir. Birimin yaşı Üst Triyas-Kretase'dir (Bernoulli ve diğ. 1974, Erakman ve diğ. 1986).

#### **2.1.1.4.2 Honaz Ofiyoliti**

Honaz dağının doğusunda geniş yayılım gösteren birim bölgedeki nap istifinin en üst tektonik birimini oluşturur. Honaz ofiyoliti çoğunlukla koyu yeşil, cilâlı, bloklu, kısmen serpantinleşmiş, yer yer silisleşmiş harzburjitlerden ve çok az oranda ufak gabro ve kromit kütlelerinden yapıldır (Okay 1989). Yaşı Kretase olarak kabul edilmiştir (Gündoğan ve diğ. 2008).

#### **2.1.2 Örtü Birimleri**

Çalışma alanındaki örtü birimleri Eosen-Pliyosen kırıntılı kayaçlar, marn, kireçtaşları ve Kuvaterner alüvyon, alüvyon yelpazesi, traverten ve yamaç molozu ile temsil edilir.

##### **2.1.2.1 Eosen-Pliyosen Yaşlı Birimler**

İnceleme alanında Eosen yaşlı birimler egemen olarak türbidit istiften oluşur. Tabanda çakıltaşı ve biyoklastik kireçtaşı ile başlayan istifte üst kesimlerde kumtaşı-şeyl araldanması gözlenir (Poisson 1977, Sun 1990, Göktaş 1990). Oligosen yaşlı istif ise alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiş kızıl-kahverengi, yeşil renkli kaba çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı araldanmasından oluşur (Hakyemez 1989, Göktaş 1990).

Neojen yaşlı birimler çakıltaşı-kumtaşı-çamurtaşı düzensiz araldanması ve kıltaşı, silttaşı, killi kireçtaşı ve gölsel kireçtaşı çökellerinden yapıldır. Kireçtaşlarının yanal devamlılığı sınırlıdır. Neojen birimleri yersel olarak linyit

düzeyleri ve jips oluşumları (Sazak formasyonu) içerirler. Yaşları Miyosen-Pliyosen'dir. (Taner 1974<sup>a,b</sup>, Taner 1975, Taner 2001, Şimşek 1984).

### **2.1.2.2 Kuvaterner**

#### **2.1.2.2.1 Alüvyon, Alüvyon Yelpazesi ve Yamaç Molozu**

Çalışma alanında özellikle Çürüksu Çayı yatağı boyunca geniş yayılım gösteren alüvyon orta-kötü boylanmalı çakıl, kum, silt ve kilden yapılıdır. Bölgede açılmış D.S.İ. sondaj verilerine göre 150 m'ye erişen kalınlığa sahiptir.

Alüvyon yelpazesi Honaz fayı boyunca ve özellikle Gökdere, Kaleboğazı ve Çayboğazı vadilerinin bu fayı kestiği alanlarda yaygındır. Yelpaze çökelleri kötü-çok kötü boylanmalı blok, çakıl, kum, silt ve çamurlardan oluşur.

Yamaç molozu özellikle Honaz fayı ve yüksek açılı diğer fayların önünde gözlenir. Kötü boylanmalıdır. Bloktan kile kadar değişik boyutta malzeme içerirler.

#### **2.1.2.2.2 Traverten**

İnceleme alanında geniş yayılım gösterir. Yamaç, fay önü, fissür sırtı gibi değişik morfolojik tipler sunar. DSİ sondaj verilerine göre bazı kesimlerde kalınlığı 100 m'den fazladır. Travertenler, özellikle fay zonlarından ve fay önlerindeki açılma çatlaklarından boşalan genellikle karstik, yüksek debili ve kalsiyum bikarbonatça doymun kaynaklardan çökelmiştir.

## **2.2 Yapısal Jeoloji**

Alp-Himalaya kuşağı üzerinde bulunan Ege Bölgesi ve çevresi en fazla sismik aktivitenin gözlemlendiği bölgelerden biridir ve D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultulu horst-graben yapıları içerir (Jackson 1994; Taymaz ve diğ. 1991; Bozkurt 2001; Kaymakçı 2006; Koçyiğit 2005; Koçyiğit ve Deveci 2007; Şengör ve diğ.

1985; Sözbilir 2002). Bu yapılardan biri de 62 km uzunluk ve 7-28 km genişlikteki Denizli horst-graben sistemidir. (Koçyiğit 2005). Çalışma alanı Çürüksu grabeni olarak da adlandırılan bu sistemin doğu kesiminde bulunur.

### 2.2.1 Naplar

Bölgede gözlenen allokton birimler nap silsilesi şeklinde üst üste yerleşmişlerdir. Bu nap silsilesinin en altında Honaz Şeyli yer alır. Honaz Şeylinin üzerinde Menderes Masifinin Zeybekölen Tepe Formasyonu, daha üstte ise Sandak birimi Çatalca Tepe Kireçtaşları nap dokanağı yer alır. Sandak biriminin üzerinde ise nap silsilesinin en üst birimi olan Honaz ofiyoliti vardır.

Çalışma alanında Honaz Ofiyolitinin sandak birimi üzerine ne zaman yerleştiği konusunda ayrıntılı paleontolojik bir veri yoktur. Fakat Toros'larda ofiyolitlerin Geç Kretase'den karbonat platformları üzerine yerleştiği bilinmektedir. Sandak biriminin Menderes Masifi üzerine yerleşmesinin çalışma alanı dışındaki verilere dayanılarak Orta Eosen'de olduğu söylenebilir. Bu yerleşme yaşı metamorfizmanın nispeten düşük olduğu Marçal Dağı'ndaki Menderes Masifi istifinin Alt Eosen'e kadar çıkmasına dayanılarak verilmektedir (Konak ve diğ. 1987).

Menderes Masifinin Honaz Şeyli üzerine itilmesi bindirmeler ve devrik izoklinal kıvrımlardan öncedir. "Napların yerleşmesinden sonra bölgeyi etkileyen KB-GD yönlü sıkışma neticesinde KKD-GGB gidişli, batıya dalımlı bindirmeler ve aynı yönde, doğuya devrik makro ölçekte kapalı izoklinal kıvrımlar oluşmuştur. Bindirmelerle devrik izoklinal kıvrımlar eşzamanda gelişmiş ve genellikle devrik kıvrımlar alt kesimlerinden koparak kendi devrik alt kanatlan üzerinde ilerlemiştir" (Okay 1989). Eosen–Oligosen yaşta olan bindirmeler ve devrik izoklinal kıvrımlar Menderes masifi ile Honaz şeyli arasındaki tektonik dokanağı keser (Okay 1989).



## 2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar

Bölgenin tektonik yapısıyla ilişkili birçok fay jeolojik ve jeomorfolojik belirtilerle tanımlanmaktadır. Fayların çoğu eğim atımlı normal faylar olup, çalışma alanında kuzeyden güneye doğru basamaklı bir yapı kazanmışlardır. Fayların eğimi genellikle 50° ile 80° arasındadır. Fay hatlarının uç kısımlarında ve onların gerilmeli sıçrama zonlarında açılma çatlakları bulunmaktadır. Grabenlerin kuzey sınırını teşkil eden faylar muhtemelen karbonatça zengin yer altı sularının yeryüzüne çıkmasında derin kanal görevi görmektedir (Çakır 1999). Belirtilen fayların belirgin özellikleri şöyledir (Koçyiğit 1984):

- a) Fay düzlemi ve ona yakın yerlerde sıcak sular ve kaplıcaların çizgisel olarak sıralanması,
- b) Genç ve yaşlı birimlerin yan yana gelmesi,
- c) Fay dikliği eteğinde fay düzlemini kat eden konsekant dere yataklarında oldukça kalın birikinti konileri oluşması,
- d) Eski alüvyonların asılı olarak kalması.

İnceleme alanındaki en önemli fay olan Honaz Fay Zonu (Şekil 2.1), güncel grabeni güneyden sınırlayan 15 km uzunluğunda bir normal faydır (Aydan ve diğ. 2005; Bozkuş ve diğ. 2001; Gündoğan ve diğ. 2008; Okay 1989; Özkul ve diğ. 2013; Koçyiğit 2005; Kaymakçı 2006). Fayın doğrultusu doğu kesimde KD-GB, batı kesimde ise KB-GD olup fay zonunun genişliği 500 m ile 2 km arasında değişmektedir (Özkaymak 2015). Honaz Fay Zonu ve civarındaki yüksek sismik aktivite, sıcaklığı 24-25 °C'yi bulan kaynak ve sondaj suları, alüvyon yelpazeleri ve sıcak su travertenleri fayın halen aktif olduğunu göstermektedir.

### 3. HİDROLOJİ

Bu bölümde çalışma alanının hidrolojik özelliklerini ortaya koyabilmek amacıyla Honaz ilçe merkezinin yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Veriler Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Bu veriler değerlendirilerek yağış/sıcaklık, yağış/buharlaşma-terleme grafikleri çizilmiş ve havzanın su bilançosu hazırlanmıştır.

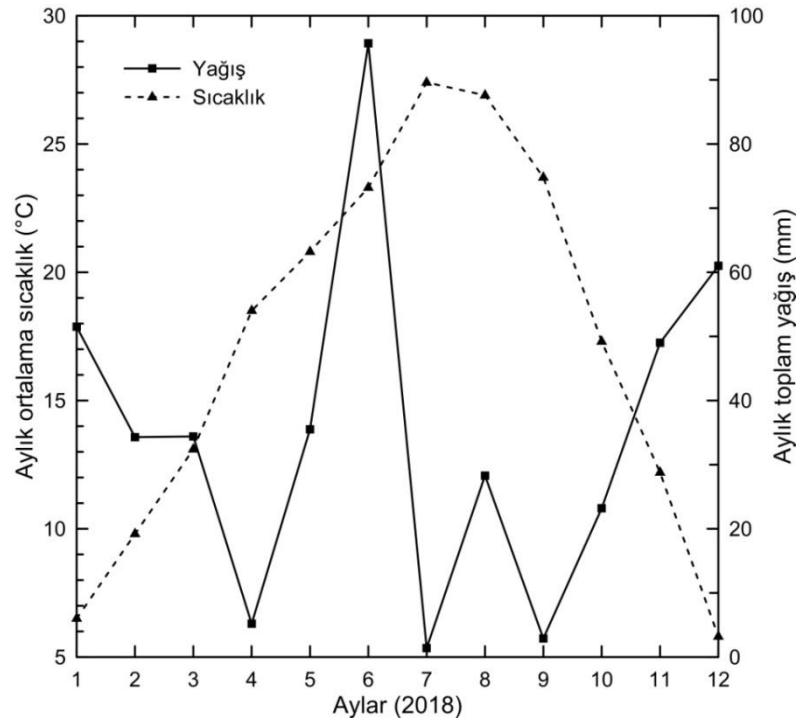
#### 3.1 Yağış ve Sıcaklık

Honaz'da 1965 yılından 1986 yılına kadar meteorolojik ölçümler yapılmasına karşın, ölçümlerin teknik elemanlarca yapılmamış olması nedeniyle, bu döneme ait veriler dikkate alınmamıştır. Çalışma alanında bulunan Honaz meteoroloji istasyonu küçük klima olarak Mart 1985'de kurulmuş, ancak düzenli olarak çalışmamış ve 1989 yılından sonra da kapanmıştır. 1985–1989 yılları arasındaki ölçümlerde de eksiklikler vardır. Denizli Devlet Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan ve 2015-2018 dönemini kapsayan ölçümlerde bazı aylar eksiktir. Tüm ölçümlere ait veriler Tablo 3.1'de sunulmuştur.

Coğrafi konumu nedeniyle inceleme alanının iklimi, yazları sıcak ve kurak kışları ise ılık ve yağışlı Akdeniz iklimi ile yazları sıcak ve kurak kışları yağışlı ve soğuk olan karasal İç Anadolu iklimi arasında bir geçiş oluşturmaktadır. Honaz'ın özellikle yağış değerlerinde aynı aylarda gözlenen düzensizlik ve dalgalanmalar bu durumu yansıtır. Yıllara göre bir ortalama değer elde etmek için ise yeterli uzunlukta veri yoktur. Bu nedenle meteorolojik verilerin değerlendirilmesinde 2018 yılı verileri baz alınmıştır. Honaz'da en fazla yağış Mart ve Mayıs aylarında, en az yağış Ağustos ayında gözlenmektedir. En yüksek sıcaklık Temmuz ve Ağustos aylarında, en düşük sıcaklık ise Ocak ayında kaydedilmiştir (Tablo 3.1). 2018 yılı için toplam yağış ve ortalama sıcaklıkların aylara göre dağılımı Şekil 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1:** Honaz meteoroloji istasyonu için 1985-1989 ve 2014-2018 dönemlerine ait yağış ve sıcaklık değerleri.

Yıllar	Aylar												Ort.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
<b>Sıcaklık (°C)</b>													
1985	-	-	10,2	15,3	20,6	23,9	26,0	27,3	22,6	14,0	12,9	6,8	-
1986	7,1	7,7	10,1	17,2	18,0	23,6	27,4	27,8	22,5	15,1	7,9	7,0	15,95
1988	-	-	-	-	-	-	-	26,7	22,4	15,1	7,9	7,0	-
1989	-	-	-	-	18,5	23,2	26,6	26,9	22,2	14,5	10,2	6,6	-
2014	-	19,0	11,3	15,6	19,2	23,2	27,7	28,6	22,3	17,2	11,4	10,2	-
2015	5,2	6,7	9,8	12,7	18,4	-	-	-	27,9	17,3	13,3	6,3	-
2016	-3,6	-	-	18,5	18,6	26,5	28,3	27,9	22,6	18,3	11,6	3,2	-
2017	3,4	7,4	11,1	14,3	18,9	24,1	28,9	26,5	24,4	16,4	10,5	8,6	16,21
2018	6,5	9,8	13,1	18,5	20,8	23,3	27,4	26,9	23,7	17,3	12,2	5,8	17,11
<b>Yağış (mm)</b>													
1985			67,4	18,6	33,3	8,5	11,9	1,9	-	58,3	58,0	49,8	-
1986	103,1	127,9	6,7	9,5	29,2	44,3	0,0	7,4	45,8	20,3	4,2	107,2	505,6
1988	-	-	-	-	-	-	-	4,1	-	55,8	123,4	61,6	-
1989	-	-	-	-	6,0	-	1,0	5,1	1,3	71,3	131,2	29,3	-
2014	-	-	27,1	53,3	67,8	77,2	0,0	0,0	43,5	31,0	34,3	105,2	-
2015	118,9	96,2	127	44,3	5,3	-	-	-	1,2	22,8	5,9	0,4	-
2016	6,9	19,2	163,7	11,6	170,4	7,0	53,5	4,4	5,4	5,1	53,3	26,2	526,7
2017	125,2	2,3	43,4	52,0	95,2	16,4	0,0	0,0	0,0	1,0	47,2	17,2	399,9
2018	51,5	34,3	34,4	5,2	35,5	95,7	1,4	28,3	2,9	23,2	49,0	61,0	422,4



**Şekil 3.1:** Honaz ilçe merkezi için 2018 yılındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması.

## 3.2 Buharlaşma-Terleme

İnceleme alanının su bütçesi, Thornthwaite (1948) ve Turc (1961) yöntemleriyle hesaplanmıştır.

### 3.2.1 Thornthwaite yöntemi

Thornthwaite'in aylık potansiyel buharlaşma-terlemeyi (Etp) veren formülü:

$$Etp = 16 \times \left( \frac{10 \times t}{I} \right)^a \quad (3.1)$$

şeklindedir. Formülde

Etp, aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm); t, aylık sıcaklık ortalaması (°C), I, sıcaklık indisi ( $\sum i$ )'dir.

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} ; \quad a = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,492$$

şeklinde verilmiştir.

Bu yöntemle, 2018 yılı için yıllık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 926,19 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 387,58 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2). Şubat ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazladır. Bu nedenle Etp, Etr'ye eşit olur. Yağış fazlası 34,82 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçer, bir kısmı da yeraltına süzülür. Şubat ayı sonundan Mayıs ayı ortalarına kadar zemin rezervi olan ve teorik olarak 100 mm kabul edilen su kullanılır. Mayıs ayı ortasından Ekim ayı sonuna dek su noksanı, başka bir deyişle tarım su açığı vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 865,21 mm ve yağış 226,60 mm'dir. Buna göre su noksanı:

$$865,21 - (226,60 + 100) = 538,61 \text{ mm}$$

olur. Kasım ayından itibaren yağış Etp'den fazladır. Ocak ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar. Bu hesaplamalara göre yıllık ortalama yağışın %91,7'sine karşılık gelen 387,58 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak

ve Şubat aylarında görülen yağış fazlası toplam yağışın %8,3'üdür. Bu durumda Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır (Tablo 3.2, Şekil 3.2).

### 3.2.2 Turc yöntemi

Yıllık Etr değeri Turc tarafından verilen eşitlik (3.2) ile de hesaplanabilir.

$$Etr = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}} \quad (3.2)$$

Formülde: Etr, yıllık gerçek buharlaşma-terleme miktarı (mm); P, yıllık yağış miktarı (mm), t, yıllık sıcaklık ortalaması (°C) ve L,  $300 + 25.t + 0,05.t^3$  bağıntısıyla verilen bir katsayıdır.

Honaz verileri 2018 yılı için  $P = 422,40$  mm,  $t = 17,11$  °C şeklindedir. L katsayısı

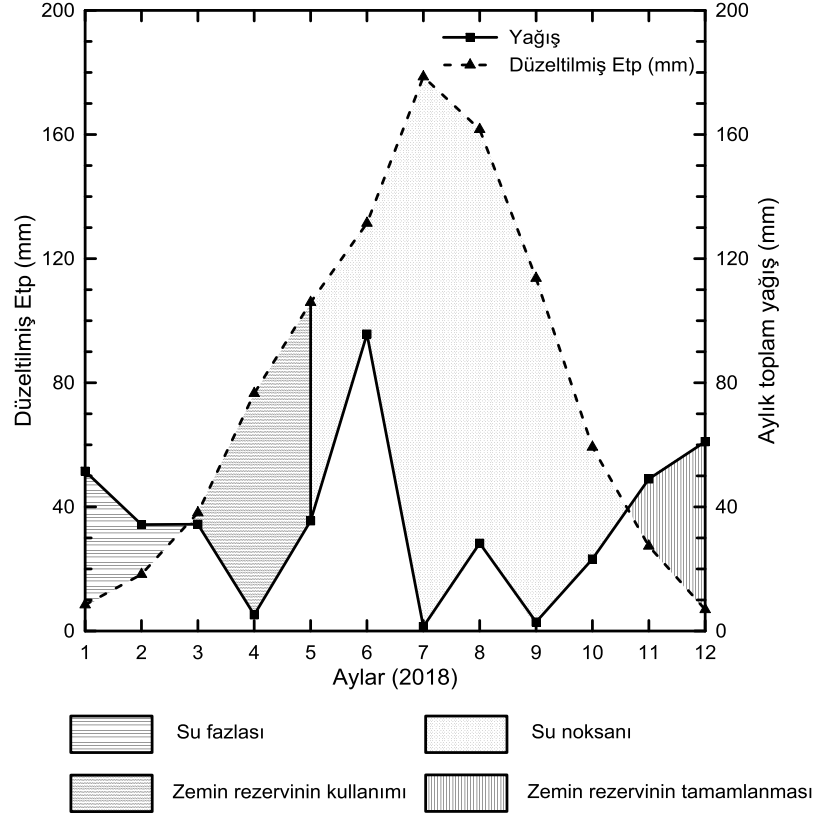
$$L = 300 + 25*17,11 + 0,05*17,11^3 = 300+427,75+250,45 = 978,20' \text{ dir.}$$

Buna göre Honaz ilçe merkezi için yıllık Etr değeri 405,24 mm olarak hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalar 2018 yılı verilerine göre yapılmıştır. Sadece bir yıldaki veriler kullanıldığında, o yılın meteorolojik verileri ortalama değerlerden fazlaca sapmışsa bütçe hesabında bir genellemeye gidilemez ve sadece o yılın bütçesini yansıtır. Sağlıklı değerlendirmeler için uzun dönem kesintisiz meteorolojik verilere ihtiyaç vardır.

**Tablo 3.2:** Honaz ilçe merkezinin 2018 yılındaki denestirmeli su bilançosu (Thornthwaite, 1948'e göre).

Meterolojik Elemanlar	AYLAR												YILLIK
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık Ort. Sıcaklık(°C)	6,50	9,80	13,10	18,50	20,80	23,30	27,40	26,90	23,70	17,30	12,20	5,80	17,11
Aylık Endeks(i)	1,49	2,77	4,30	7,25	8,65	10,28	13,14	12,78	10,54	6,55	3,86	1,25	82,86
Etp(mm)	10,26	21,75	37,00	69,62	86,28	106,20	142,89	138,16	109,57	61,57	32,49	8,33	824,14
Düzeltilme Katsayısı	0,8225	0,84	1,03	1,1	1,2275	1,2375	1,25	1,17	1,0375	0,9625	0,8425	0,83	
DüzeltilmişEtp (mm)	8,44	18,26	38,11	76,58	105,91	131,42	178,61	161,64	113,68	59,26	27,37	6,91	926,19
Yağış (P,mm)	51,50	34,30	34,40	5,20	35,50	95,70	1,40	28,30	2,90	23,20	49,00	61,00	422,40
Zemin Rezerv Değişimi(mm)	24,28	0	-3,71	-71,38	-24,91	0	0	0	0	0	21,63	54,09	
Zemin Rezervi(mm)	100	100	100	96,29	24,91	0	0	0	0	0	21,63	75,72	
Etr(mm)	8,44	18,26	38,11	76,58	60,41	95,70	1,40	28,30	2,90	23,20	27,37	6,91	387,58
Tarım Su Açığı(mm)	0	0	0	0	45,50	35,72	177,21	133,34	110,78	36,06	0	0	538,61
Su Fazlası(mm)	18,78	16,04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,82



Şekil 3.2: Honaz ilçe merkezi için yağış-Etp grafiği.

## **4. HİDROJEOLOJİ**

### **4.1 Hidrojeoloji Birimleri**

#### **4.1.1 Geçirimli Birimler**

Çalışma alanında bulunan ve geçirimli olarak sınıflayabileceğimiz başlıca birimler; Yılanlı Formasyonu, Çatalcatepe Formasyonu, traverten, alüvyon ve alüvyon yelpazesidir.

##### **4.1.1.1 Yılanlı Formasyonu**

Maruz kaldığı yoğun tektonik aktivite nedeniyle çatlaklı-kırıklı bir yapı kazanan ve dolayısıyla ikincil gözenekliliği ve geçirgenliği yüksek olan Yılanlı Formasyonu, çatlak ve katman yüzeyleri boyunca ilerlemiş çözünme boşluklarına sahiptir. Kristalize kireçtaşlarından oluşan birimin, yüksek ikincil gözeneklilik ve geçirgenliğe sahip olmasının yanısıra kalın ve beslenme alanının geniş olması formasyona iyi bir akifer özelliği kazandırmaktadır. Honaz fayı ve ovadaki gömülü faylar etkisi ile birimin karstik boşluklarındaki yeraltı suları Pınarbaşı, Kazanpınar ve ve Böceli kaynaklarından boşalırlar. Serinhisar-Tavas arasında da yayılım gösteren Yılanlı formasyonuna ait karstik kireçtaşları, her ne kadar havzanın yüzeysel drenaj alanının dışında kalsa da beslenme alanına girer ve 800 mm'den çok daha fazla yağış düşen Honaz Dağı'ndan beslenen bu kireçtaşlarının içinde yer alan büyük erime boşlukları, mağaralar, obruklar vb. karstik şekiller yeraltı suyunun beslenmesinde ve dolaşımında önemli rol oynar (Özler 1996).



#### **4.1.1.2 Sandak Birimi**

Sandak biriminin dolomitik kireçtaşları ve dolomitleri oldukça kırıklı, çatlaklı ve karstiktir. Özellikle topoğrafyanın yayvan olduğu alanlarda dolinler gelişmiştir. Bu özellikleri nedeniyle iyi bir akifer oluştururlar.

#### **4.1.1.3 Traverten**

Travertenler bol kırıklı ve çatlaklı ve faylıdır ve bu süreksizlik düzlemleri boyunca çözünme boşlukları gelişmiştir. Birim, karstik bir akifer özelliğindedir. DSİ sondaj verileri çalışma alanının güneyindeki alüvyonların altında çakıltaşı ara düzeyli çok sayıda traverten katmanının yer aldığını göstermektedir. Bu verilerden, çakıltaşı ara düzeyleri ile ayrılmış başlıca iki traverten katmanının toplam 90 metre kalınlığa eriştiği anlaşılmaktadır. Çalışma alanının kuzeyindeki çakıllı travertenlerin çok çatlaklı ve çözünme boşluklu olması, birime iyi bir akifer özelliği kazandırmıştır (Önhon ve diğ. 1988).

#### **4.1.1.4 Alüvyon ve Alüvyon Yelpazesi**

Alüvyon inceleme alanındaki en önemli gözenekli akiferdir. Yağış suları ile doğrudan beslenme yanında Mesozoyik kireçtaşlarından boşalan yeraltı suları ile de beslenir. Alüvyonda açılan ve birimin çakıllı ve kumlu düzeylerini kesen sondajların verimi yüksektir. Alüvyon yelpazelerindeki yeraltı suyu Çürüksu Çayı'nın güneyindeki alüvyon ve travertenleri besler. Alüvyon konilerini meydana getiren malzeme alt düzeylerde yer yer killi seviyeler olduğundan akifere yarı basınçlı bir özellik kazandırmaktadır. İyi bir akifer özelliğinde olan alüvyon yelpazelerinden (özellikle iri çakılların hakim olduğu memba tarafında açılan kuyularla) bol miktarda yeraltı suyu alınmaktadır (Önhon ve diğ. 1988).

## **4.1.2 Yarı geçirimli Birimler**

### **4.1.2.1 Zeybekölen Formasyonu**

Çörtlü kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve şeylden oluşan metafiliz fasiyesindeki çökeller bünyesindeki suları alttaki Yılanlı formasyonuna iletmektedir. Üst kısımları ise su taşımamakla birlikte geçirimsiz bir örtü olarak yağışı direk olarak akışa geçirdiği için Honaz Dağı yamacında büyük sellenmelere neden olmaktadır (Özler 1996).

### **4.1.2.2 Eosen-Oligosen Kıvrıntılı Çökeller**

Eosen çökellerde tabanda çakıltaşı ve resifal kireçtaşları ile başlayan düzeyler az karstik ve geçirimli, üst seviyelerdeki karbonat çimentolu ofiyolit çakıllı kumtaşı-çakıltaşı, killi çakıltaşları, marn, kumtaşı ar dalanmasıyla devam eden birim yarı geçirimli bir özelliğe sahiptir (Özler 1996).

Oligosen yaşlı ve bloklu çakıltaşı-çakıllı çamurtaşı-çakıllı kumtaşı ar dalanmasından oluşan alüvyon yelpazesi birimindeki kıltaşı ve çamurtaşı matrisleri ortamı yarı geçirimli kılmaktadır.

## **4.1.3 Geçirimsiz Birimler**

### **4.1.3.1 Honaz Şeyli ve Honaz Ofiyoliti**

Honaz dağındaki devrik bir antiklinalin çekirdeğini oluşturan şeyller tamamen geçirimsizdir. Üzerinde tektonik konumda yer alan Yılanlı formasyonunun tabanını geçirimsiz olarak sınırladığından Honaz dağındaki yeraltı sularını havzaya yönlendirmektedir (Özler 1996). Honaz ofiyoliti, aşırı ayrılmış ve serpantinite dönüşmüş peridotitlerin egemen olduğu bir birimdir ve geçirimsizdir.

## 4.2 Su Noktaları

### 4.2.1 Akarsular

Çürüksu ovasını batıdan Büyük Menderes'in bir kolu olarak Sarayköy civarından terk eden ve ovaya ismini veren Çürüksu çayı, Böceli'den sonra Honaz Çayı ismini alır. Honaz Çayı'na Böceli'ye kadar Akhan civarında katılan dereler İğdeli ve Gökpınar dereleridir. Honaz Çayı Böceli'den sonra Aksu Çayı ismini alır. Aksu Çayı'na Aydınlar köyünde Kocadere, Kocabaş köyü civarında ise Gölarası ve Puseyiğitağız dereleri katılır. Son olarak çay, Kaklık civarından sonra Emir Çayı ismini alır. Emir Çayı'na ise başlıca Çatkılı ve Erikli dereleri katılır.

### 4.2.2 Kaynaklar

Havzanın horst-graben sistemi içersinde karstik akiferler bulunması Yukarı Çürüksu Ovası'nda çok sayıda ve yüksek debili kaynağı sonuçlamıştır. Karstik kireçtaşlarından boşalan kaynaklar genellikle Honaz fayı boyunca ve ovada olası gömülü faylar boyunca sıralanmışlardır. En önemli kaynaklar Pınarbaşı, Halkabaşı, Kokarsu I-II, Kaynarca I-II ve Kazanpınar'dır.

Yılanlı formasyonunun beslenmesi başlıca yağmur ve daha az oranda eriyen kar sularından sağlanmaktadır. Yeraltına süzülen yağış sularının bir kısmı sığ dolaşım yaparak yüksek kotlardaki mevsimsel kaynak sularını oluştururlar. Yüksek kotlarda Kayapınar, Kızılpınar, Kozaklı ve Erikli gibi genellikle düşük debili devamlı kaynaklar da bulunur. Derine süzülen yağış suları su tablasına erişir. Honaz Dağı'nın kuzey yamaçlarında, yüksek hacimdeki yeraltı suyunun akımı güneyden kuzeye doğrudur. Honaz fayı önündeki yamaç molozu yeraltı suları için geçirimsiz bir zon oluşturur ve fay boyunca kaynak çıkışlarını sağlar. Bu kaynaklardan biri Pınarbaşı kaynağıdır (Şekil 4.1 ve 4.2).

Pınarbaşı karst kaynağı Denizli il merkezinin yaklaşık 15 km doğusunda, Honaz ilçe merkezinin 2 km batısında bulunur (Şekil 2.1). Denizli ilindeki en yüksek debiye sahip kaynaklardan biridir. Debisi genellikle 1 m<sup>3</sup>/s'den fazladır. Kaynak

evresinde, kaynak sularının toplandığı bir havuz ve mesire alanı vardır. Pınarbaşı kaynağının suyu sulamada kullanılmaktadır.



Şekil 4.1: Pınarbaşı kaynağından bir görünüm.



Şekil 4.2: Pınarbaşı kaynağında muline ile debi ölçümü.

### 4.2.3 Sondajlar

Çalışma alanı ve civarında (Yukarı Çürüksu Havzası'nda) Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Köy Hizmetleri, Denizli İl Özel İdaresi, İller Bankası gibi kamu kurumları ve şahıslar tarafından açılmış çok sayıda sondaj kuyusu vardır. Bu kuyuların derinlikleri maksimum 246 metre minimum 60 metredir. Karstik kireçtaşları (özellikle fayı kesenler), alüvyon, alüvyon yelpazesi ve travertenlerde açılan kuyulardan yüksek verim alınmıştır.

Pınarbaşı kaynağına yakın lokasyonda açılmış üç DSİ kuyusu da (20019, 44153 ve 35497 nolu kuyular) artezyen kuyulardır. Bu kuyuların derinlikleri 150-214 m, pompa debileri 55-70 l/s ve açıldıkları tarihlerdeki basınç yüzeyi kotları +0,25 ile +6,4 m arasında değişmektedir. Pompaj testleri sonundaki düşüm miktarları 20 m civarındadır. 20019 ve 44153 nolu kuyularda yaklaşık 70-80 m, 35497 nolu kuyuda ise 25 m kalınlıkta yamaç molozu kesilmiştir. Tüm kuyularda 72-149 m arasında değişen derinliklerde çok kırıklı, çatlaklı ve karstik seviyeler içeren Mesozoyik kireçtaşlarına girilmiş ve kuyu tabanına kadar bu birim devam etmiştir. Kuyu loglarındaki litoloji tanımlamalarına göre yamaç molozunda kil boyutlu malzeme egemendir. Bu durumda, Honaz fayı önündeki yamaç molozu, güneyden kuzeye akan yeraltı suları önünde geçirimsizliği düşük bir bariyer oluşturmaktadır. Bu kuyuların dışında, Pınarbaşı kaynağı çevresindeki diğer DSİ kuyuları da artezyen kuyu özelliğindedir (Şekil 4.3).

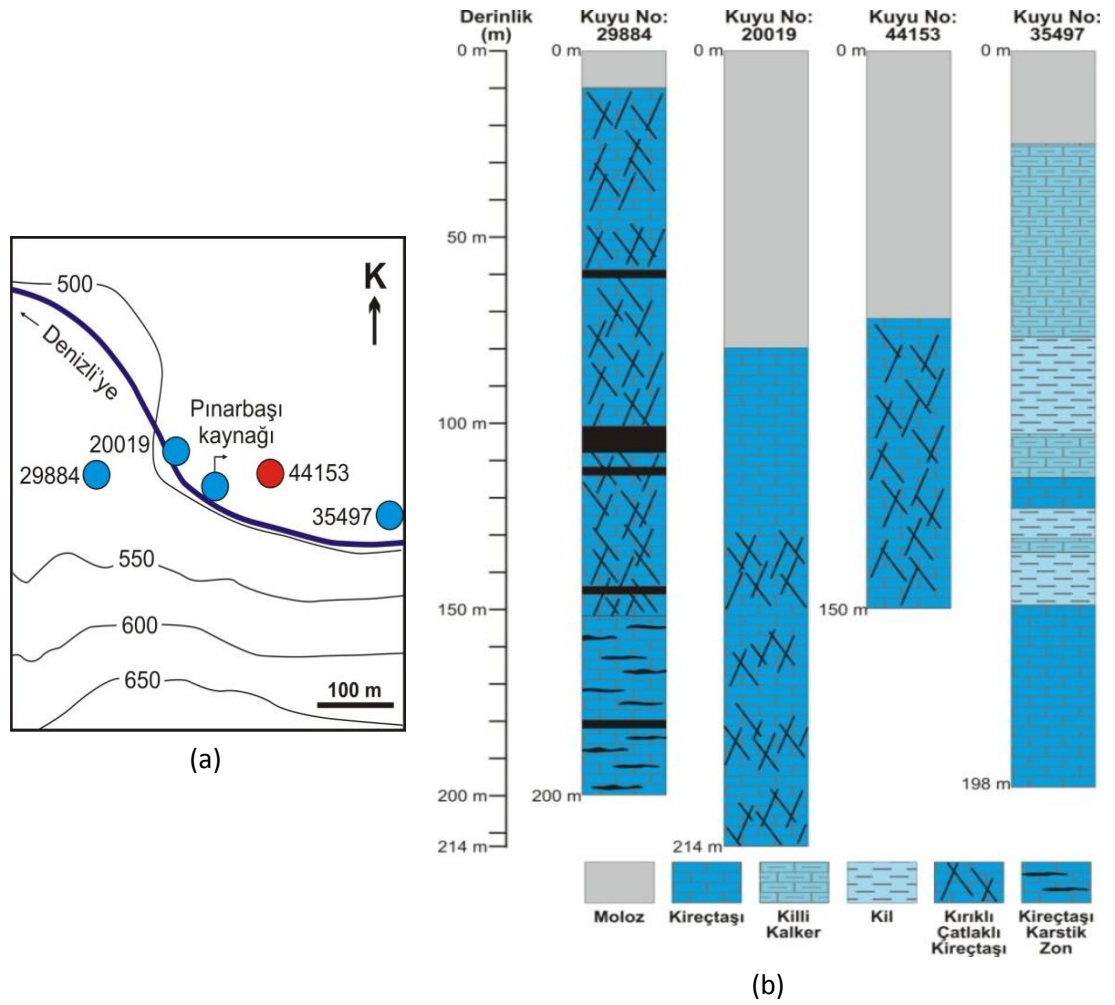
Bu çalışmada örneklenen kuyular olan DSİ-20019 ve DSİ-44153 nolu kuyuların görünümleri Şekil 4.4 ve 4.5'de verilmiştir.

## 4.3 Pınarbaşı Kaynağı'nın Hidrodinamik Özellikleri

### 4.3.1 Debi (Q)

Karstik kaynaklar, genellikle yüksek debili olmaları nedeniyle içme, sulama ve kullanma suyu temininde önemli yer tutarlar. Ancak karstik akiferler gözenekli akiferlere göre kirlenmeye daha açıktır ve kirlilik taşınımı daha hızlıdır. Bu nedenle

bir karstik kaynaktan herhangi bir alanda yararlanılması planlandığında kullanım amacına bağlı olarak uzun dönem periyodik debi ve su kimyası verisine ihtiyaç duyulur. Pınarbaşı kaynağının debisi DSİ Denizli İl Müdürlüğü tarafından 1973 yılından günümüze kadar aylık periyotlarla ölçülmektedir. Bu ölçümler belirli dönemlerde aylar ya da yıllar düzeyinde kesintiye uğramıştır. Pınarbaşı kaynağının 1991-2010 yılları arasındaki debi-zaman grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir (debi değerleri DSİ'den alınmıştır).



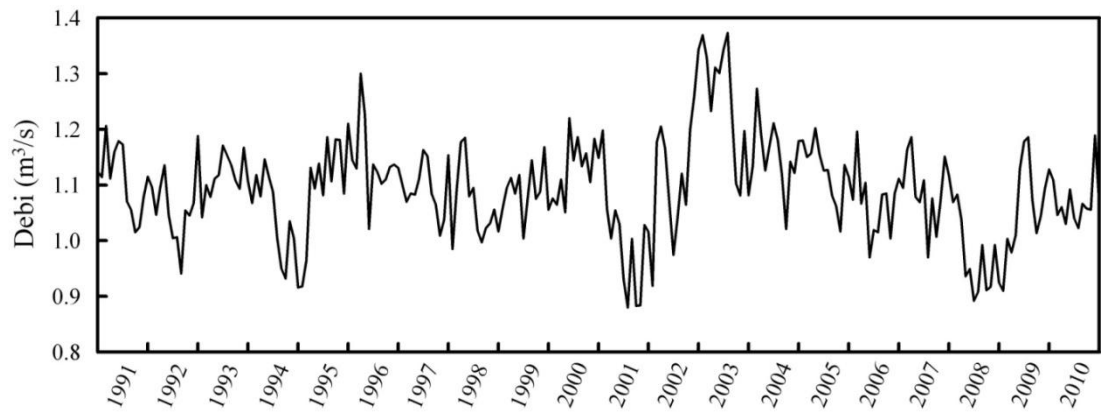
**Şekil 4.3:** a) Pınarbaşı kaynağı ve civarındaki kaynakların lokasyonu (çizgiler eşyüksekti eğrilerini, kırmızı daire sıcak su sondajını, sondaj yanındaki rakamlar sondaj numarasını göstermektedir), b) kuyuların jeoloji logları.



Şekil 4.4: DSİ-20019 nolu artezyen kuyu.



Şekil 4.5: DSİ-44153 nolu artezyen kuyu.



Şekil 4.6: Pınarbaşı kaynağının debi-zaman grafiği.

Pınarbaşı kaynağının debisi uzun dönem ölçümlere göre 0,9 ile 1,4 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir. Ortalama debi 1,0 m<sup>3</sup>/s'nin üzerindedir. Bu nedenle Pınarbaşı kaynağı “fazla yüksek debili kaynaklar” (debisi 1 ile 10 m<sup>3</sup>/s arasında olan) sınıfında yer alır.

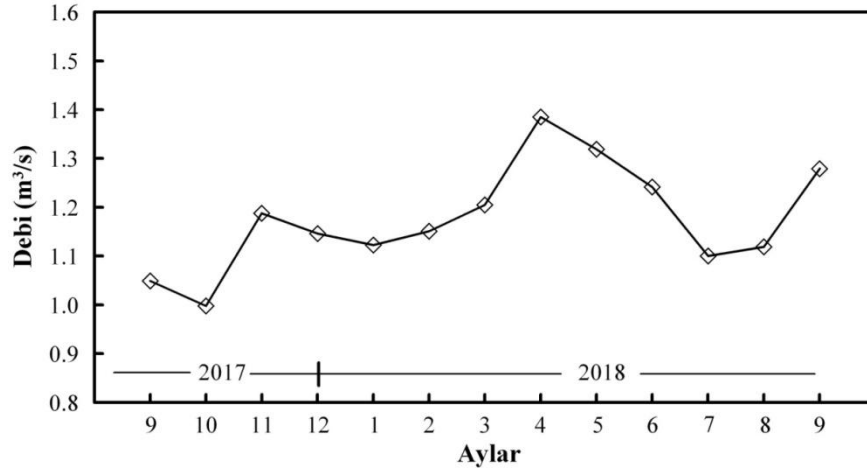
Kurak dönem başlangıç debisi ile ( $Q_0$ ) ile kurak dönem sonu debisi ( $Q_t$ ) farkının başlangıç debisine ( $Q_0$ ) oranına kaynak debi değişim yüzdesi ( $Q_d$ ) denir. Uzun dönem verilere göre debi değişim yüzdesi %13,5 ile %22,3 arasında olan Pınarbaşı kaynağı “debi değişimi orta kaynaklar” ( $\%6 > Q_d > \%27$ ) sınıfındadır (Gökgöz ve diğ. 2015). Uzun süreli debi ölçümlerine göre bulunan bu değerler, olağanüstü koşullar dışında (depremle veya suni patlatmalarla kaynak debisinin önemli oranda değişimi ya da kaynağın kuruması, uzun dönem kuraklık gibi) Pınarbaşı kaynağının debisinde kullanım alanı için risk oluşturacak bir durum beklenmemektedir.

Çalışma dönemi içinde yapılan debi ölçümü ve DSİ Genel Müdürlüğü 21. Bölge Müdürlüğü'nden bedeli karşılığı alınan aylık debi değerleri Tablo 4.1'de, grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu dönemdeki debi değişim yüzdesi %20,6 olup uzun dönem verilerden hesaplanan değerlerle uyumludur.

**Tablo 4.1:** Pınarbaşı kaynağının çalışma dönemi içindeki anlık debi değerleri.

Tarih	Debi (m <sup>3</sup> /s)	Tarih	Debi (m <sup>3</sup> /s)
12.09.2017	1,049	12.03.2018	1,205
19.10.2017	0,998	16.04.2018	1,385
10.11.2017	1,188	02.05.2018	1,319
25.12.2017	1,146	08.06.2018	1,242
15.01.2018	1,123	12.07.2018	1,100
05.02.2018	1,151	10.08.2018	1,119
		12.09.2018	1,279





Şekil 4.7: Pınarbaşı kaynağının çalışma dönemindeki debi-zaman grafiği.

#### 4.3.2 Boşalım katsayısı ( $\alpha$ )

Bir karstik akiferin boşalım katsayısı (diğer akiferlere boşalım veya diğer akiferlerden beslenim yoksa) başlangıç debisi, su tablasının uzunluğu, akiferin geçirgenliği, hacmi ve etkin gözenekliliği ile orantılıdır. Gerçek rejimde, kaynakların boşalım grafiğinin Maillet (1905) tarafından verilen temel eşitliği şöyledir:

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{-\alpha(t-t_0)} \quad (4.1)$$

Eşitlikte

$Q_0$ : gerçek rejimin başlangıcındaki ( $t_0$  anındaki) debi ( $m^3/s$ ),

$Q_t$ : t zamanına karşılık gelen debi ( $m^3/s$ ),

$\alpha$ : boşalım katsayısı ( $gün^{-1}$ ),

$e$ : 2,718,

$t-t_0$ : Boşalımın başlangıcından itibaren geçen zamandır (gün).

Pınarbaşı kaynağının uzun dönem verilere göre boşalım katsayıları  $8,4 \cdot 10^{-4}$  ile  $2,81 \cdot 10^{-3} \text{ gün}^{-1}$  arasında değişmektedir (Gökgöz ve diğ. 2015). Bu durum olasılıkla, yıllara göre, akiferin beslenme rejimi, yeraltı su seviyesi, akım yolları ve depolanma zonlarındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Çalışma dönemi için Pınarbaşı kaynağının gerçek rejimdeki boşalım grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir. Çekilme, tek bir doğruyla temsil edilmektedir. Bu grafikten elde edilen  $Q_0$  ve  $Q_t$  (120 gün) değerlerine göre kaynağın boşalım katsayısı Denklem (4.2)'den  $0,0020 \text{ gün}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır.

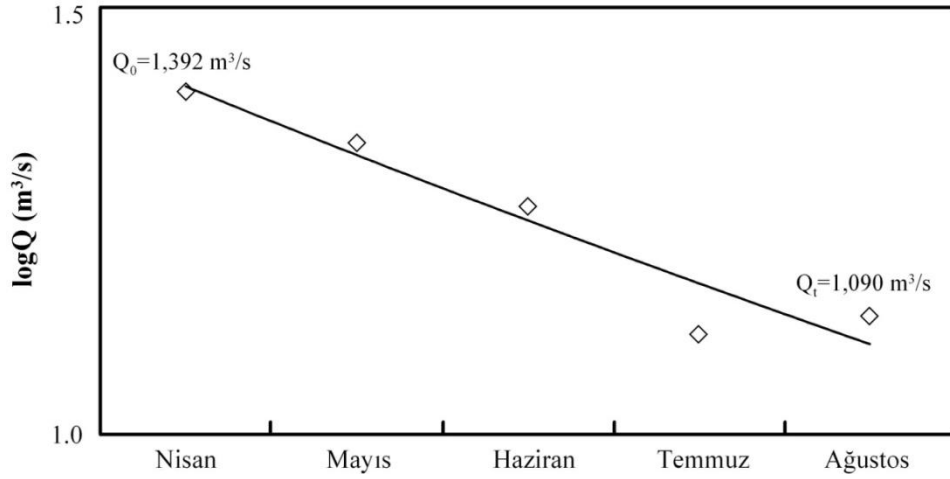
$$\alpha = \frac{\log Q_0 - \log Q_t}{t \cdot \log e} \quad (4.2)$$

Haznenin depolama kapasitesi ( $V_s$ ) ile t zamanda haznedeki boşalan su miktarı ( $V_d$ ) sırasıyla Denklem (4.3) ve (4.4)'den hesaplanabilir.

$$V_s = \frac{Q_0}{\alpha} \quad (4.3)$$

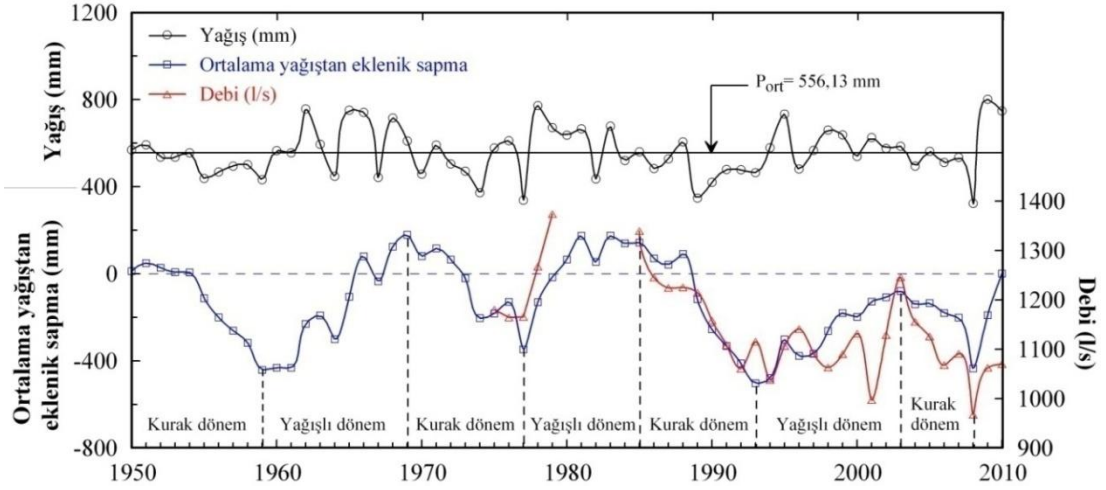
$$V_d = \frac{Q_0}{-\alpha} [e^{-\alpha \cdot t}]_0^t \quad (4.4)$$

Pınarbaşı kaynağı için depolama kapasitesi  $V_s = 60.134.400 \text{ m}^3$  ve 120 günde haznedeki boşalan su miktarı da  $V_d = 16.309.502 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bu durumda haznedeki kalan su miktarı ( $V_r$ )  $V_s$  ile  $V_d$  arasındaki farka eşit olup  $43.824.898 \text{ m}^3$ 'tür. Bu değerler ve kaynağın çalışma dönemi içindeki boşalım katsayısı önceki yıllar için hesaplanan değerlerle uyumludur.



Şekil 4.8: Pınarbaşı kaynağının gerçek rejimdeki boşalım grafiği.

Pınarbaşı kaynağı debisi ve boşalım katsayısı değerlerine göre “2. Tür - boşalım katsayısı orta değişken kaynaklar” sınıfına girmektedir. Bu tür kaynakların debi ve yıllık boşalttıkları su miktarları, uzun yıllar yağış ortalamasından yıllık eklenik sapmaların kurak ve yağışlı dönemlerdeki değerleri ile paralellik gösterir. Pınarbaşı kaynağının debi-zaman grafiği, ortalama yağıştan eklenik sapma grafiği ile uyumludur (Şekil 4.9). Bu da, kaynağın debisini kontrol eden faktörün anlık veya yıllık yağışlardan çok ortalama yağıştan eklenik sapma değerleri olduğunu gösterir.



**Şekil 4.9:** Denizli il merkezi için 1950-2010 yılları arasındaki yağış-ortalama yağıştan eklenik sapma-zaman ve Pınarbaşı kaynağının 1975-2010 dönemindeki debi-zaman grafikleri.

Depolama kapasitesi ve kurak dönemde kaynaktan boşalan su hacmi değerlerine göre 120 günde akiferdeki su hacminin %27'si Pınarbaşı kaynağından boşalmıştır. Kaynaktan kurak dönemde boşalan su hacmi, kaynağın boşalım katsayısı ile ters orantılı olup boşalım katsayısı küçüldükçe kaynaktan zaman içinde alınacak su miktarı daha fazla olmaktadır.

Boşalım katsayısı değerlerinden

- Pınarbaşı kaynağının boşaldığı karstik akifer için su tablasının yanal kesitinin büyük,
- hidrolik iletkenlik katsayısının düşük-orta,
- etkin gözenekliliğin büyük,
- hazne kayada bulunan su hacminin büyük ve
- kaynak boşalımının kireçtaşının karstik kanallarından çok tabaka, kırık ve çatlaklardan olduğu

yorumları yapılabilir.

## 5. HİDROKİMYA

İnceleme alanında, 5 adet soğuk kaynak ve 2 adet sondaj olmak üzere toplam 7 adet su noktasında yerinde ölçüm (sıcaklık, elektriksel iletkenlik-EC ve pH) ve analizler yapılmış, ayrıca kimyasal ve izotop analizleri için numune alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Ölçüm, örnekleme ve analizler Pınarbaşı kaynağı için aylık periyotlarla, diğer sular için sadece Ekim ve Mayıs aylarında yapılmıştır. Bu su noktalarına ait koordinatlar Tablo 5.1’de verilmiştir.

**Tablo 5.1:** İnceleme alanında örneklenen suların koordinatları.

No	Adı	Koordinat	Enlem ve Boylam	Kot (m)
BS-1	Kayapınar	701850 D 4175900 K		1505
BS-2	Kızılpınar	700562 D 4177770 K	37.72366° K 29.275518° D	1408
BS-3	Kozaklı	698355 D 4178061 K	37.72676° K 29.25024° D	377
BS-4	Erikli	696659 D 4179390 K	37.73910° K 29.23136° D	1069
BS-5	44153 nolu sondaj	698023 D 4181116 K	37.75433° K 29.24731° D	491
BS-6	Pınarbaşı kaynak	697965 D 4181103 K	37.75426° K 29.24659° D	490
BS-7	20019 nolu sondaj	697926 D 4181138 K	37.75457° K 29.24620° D	490

### 5.1 Suların sıcaklık, elektriksel iletkenlik ve pH değerleri

İnceleme alanında, hidrojeolojik sistemin beslenme alanını temsil eden yüksek kotlarında bulunan soğuk su kaynaklarının (Kayapınar, Kızılpınar, Kozaklı ve Erikli kaynakları) sıcaklıkları 9,3 ile 11,2°C ve diğer suların sıcaklıkları 18,6°C ile 23,7°C arasında değişmektedir (Tablo 5.2 ve 5.3).

Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği Pamukkale-Karahayıt jeotermal alanlarından itibaren doğuya doğru uzanan Çürüksu grabeninde ılık suların varlığı (Kaklık mağarası kaynakları ve sondajları gibi) bilinmektedir. Kaklık-Honaz

bölgelerindeki travertenleri oluşturan sularda jeotermal su katkısının da olduğu ortaya konmuştur (Özkul ve diğ. 2013). Dolayısıyla inceleme alanı ve çevresinde Özler (2000) tarafından da ifade edildiği üzere, düşük entalpili bir jeotermal sistemin varlığı sözkonusudur. Çürüksu grabeninin güney kenarındaki aktif Honaz fayının üzerinde açılan DSİ-44153 nolu kuyu suyu, sıcaklığının (23,7°C) Denizli'nin yıllık hava sıcaklığı ortalamasından (16°C) 8°C daha fazla olması nedeniyle sıcak sular sınıfına girer.

Suların elektriksel iletkenliği (Kondüktivite=EC) elektriği geçirme özelliğidir ve  $\mu\text{mho/cm}$  (veya  $\mu\text{S/cm}$ ) ile tanımlanır. Kondüktivite ile ölçülen elektriksel iletkenlik sıcaklıkla artar ve değişik sular arasında karşılaştırma yapmak için genellikle 25°C'ye indirgenerek verilir. Sularda çözülmüş toplam katı madde miktarı ile elektriksel iletkenlik arasında doğrusal bir ilişki (pozitif korelasyon) vardır. İnceleme alanında EC değerleri beslenme alanındaki soğuk sular için 188-397  $\mu\text{S/cm}$  arasında iken diğer sularda 611  $\mu\text{S/cm}$  ile 1065  $\mu\text{S/cm}$  arasında değişmektedir.

pH, sudaki hidrojen iyonunun derişimidir. Sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. İnceleme alanında, Pınarbaşı kaynağının pH değerleri 7,09 ile 7,42, beslenme alanı soğuk sularının 7,59 ile 8,50, 44153 ve 20019 nolu sondaj sularının ise 6,79 ile 7,31 arasındadır.

## 5.2 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri

Olağan yeraltı sularının kökeni yağış sularıdır. Yağış sularının bir kısmı yer altına süzülerek akifere ulaşır. Ancak bu süzülme sırasında ve akiferde, geçtiği kayaları kısmen çözüdürerek yeni bir kimyasal bileşim kazanır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine bağlı olarak değişir. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu sularının kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır.

İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları Tablo 5.2 ve 5.3'de verilmiştir.

**Tablo 5.2:** İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları (mg/l).

No	Adı	Örnekleme tarihi	T (°C)	EC (µS/cm)	pH	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	F	NO <sub>3</sub>	Li	NH <sub>4</sub>	İyon dengesi
BS-1.1	Pınarbaşı-1	Ekim 2017	18,6	657	7,31	102,0	31,4	5,9	0,95	2,70	111,6	293,5	0,30	2,45	0,007	0,12	4,87
BS-1.2	Pınarbaşı-2	Kasım 2017	18,7	645	7,28	101,6	30,6	6,12	1,14	2,56	111,3	291,8	0,30	2,51	0,007	0,31	4,72
BS-1.3	Pınarbaşı-3	Aralık 2017	18,7	636	7,22	103,9	33,2	6,35	1,01	2,91	113,8	308,8	0,36	2,58	0,007	0,00	4,43
BS-1.4	Pınarbaşı-4	Şubat 2018	18,7	620	7,15	104,7	31,9	6,38	0,97	2,96	122,6	295,3	0,29	2,91	0,007	0,09	4,32
BS-1.5	Pınarbaşı-5	Mart 2018	18,6	625	7,42	103,6	31,0	6,46	1,02	3,29	119,9	311,2	0,29	2,43	0,007	0,17	2,11
BS-1.6	Pınarbaşı-6	Nisan 2018	18,7	623	7,15	96,7	31,7	6,55	1,01	3,15	124,6	276,2	0,39	3,35	0,006	0,05	3,57
BS-1.7	Pınarbaşı-7	Mayıs 2018	18,9	625	7,30	105,2	31,1	6,32	0,99	2,88	118,5	299,1	0,28	2,86	0,007	0,07	4,22
BS-1.8	Pınarbaşı-8	Temmuz 2018	18,7	617	7,09	81,1	29,8	5,94	0,96	3,71	119,8	239,7	0,37	3,12	0,006	0,14	1,91
BS-1.9	Pınarbaşı-9	Ağustos 2018	18,7	618	7,13	100,5	31,0	6,06	0,92	3,61	120,5	312,5	0,44	3,12	0,006	0,16	0,75
BS-1.10	Pınarbaşı-10	Eylül 2018	18,8	611	7,09	103,6	31,3	6,21	0,99	2,85	121,7	300,8	0,28	2,7	0,007	0,06	3,17
BS-2	Kayapınar	Ekim 2017	9,3	259	8,28	50,0	4,1	3,00	0,51	1,89	4,4	161,5	0,04	0,85	0,002	0,12	0,59
	Kayapınar	Mayıs 2018	7,8	188	7,80	34,1	5,4	1,57	0,48	1,98	6,5	126,1	0,02	1,28	0,001	0,15	-0,71
BS-3	Kızılpınar	Ekim 2017	10,7	258	7,59	47,8	4,4	3,24	0,51	1,76	4,5	176,9	0,02	0,91	0,002	0,10	-2,47
	Kızılpınar	Mayıs 2018	14,9	288	7,40	56,7	5,4	4,69	0,61	2,02	5,4	192,1	0,04	0,15	0,003	0,00	2,55
BS-4	Kozaklı	Ekim 2017	9,8	316	8,50	56,5	4,9	2,44	0,36	2,29	6,6	176,9	0,05	0,20	0,001	0,00	3,64
	Kozaklı	Mayıs 2018	11,3	303	7,75	52,4	5,1	2,21	0,35	2,42	6,6	170,8	0,03	0,00	0,001	0,02	2,13
BS-5	Erikli	Ekim 2017	11,2	397	8,26	59,4	19,3	3,02	1,33	2,95	8,3	256,2	0,07	1,82	0,002	0,11	2,82
	Erikli	Mayıs 2018	13,0	361	7,73	56,4	17,7	2,61	1,12	2,59	8,2	246,8	0,06	1,73	0,002	0,00	1,42
BS-6	44153 nolu kuyu	Ekim 2017	23,7	1065	6,79	184,1	43,7	15,98	2,37	4,61	200,6	516,6	0,56	0,06	0,030	0,16	2,89
	44153 nolu kuyu	Mayıs 2018	24,0	1009	6,81	179,8	44,5	16,61	2,43	5,05	220,2	500,4	0,47	0,00	0,025	0,17	1,85
BS-7	20019 nolu kuyu	Ekim 2017	19,8	795	7,11	133,0	36,2	8,60	1,36	3,78	134,0	384,8	0,43	1,93	0,012	0,16	4,24
	20019 nolu kuyu	Mayıs 2018	20,4	766	7,09	136,0	36,0	9,09	1,39	3,37	140,9	402,7	0,40	2,07	0,012	0,00	2,76

**Tablo 5.3:** İnceleme alanı sularının kimyasal analiz sonuçları ( $\mu\text{g/l}$ ), (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

No	Adı	Ag	Al	As	Au	B	Ba	Be	Bi	Br	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy
BS-1.1	Pınarbaşı-1	<0,05	2	21,2	<0,05	34	41,99	<0,05	<0,05	15	<0,05	0,04	<0,02	1,8	0,58	0,7	<0,01
BS-1.2	Pınarbaşı-2	<0,05	7	20,0	<0,05	41	40,89	<0,05	<0,05	17	<0,05	0,15	<0,02	1,9	0,57	2,4	<0,01
BS-1.3	Pınarbaşı-3	<0,05	3	19,2	<0,05	37	43,30	0,07	<0,05	10	<0,05	0,08	<0,02	2,1	0,59	1,5	<0,01
BS-1.4	Pınarbaşı-4	<0,05	4	20,2	<0,05	33	43,22	<0,05	<0,05	10	<0,05	0,18	<0,02	2,2	0,57	1,3	<0,01
BS-1.5	Pınarbaşı-5	<0,05	3	20,4	<0,05	31	42,34	<0,05	<0,05	10	<0,05	0,04	<0,02	2,1	0,56	1,5	<0,01
BS-1.6	Pınarbaşı-6	<0,05	2	19,9	<0,05	30	43,50	<0,05	<0,05	10	0,08	<0,01	<0,02	2,1	0,58	0,7	<0,01
BS-1.7	Pınarbaşı-7	<0,05	2	20,5	<0,05	30	41,07	<0,05	<0,05	10	<0,05	<0,01	<0,02	2,2	0,59	0,7	<0,01
BS-1.8	Pınarbaşı-8	<0,05	3	18,7	<0,05	29	38,21	<0,05	<0,05	10	<0,05	0,08	<0,02	1,9	0,55	1,8	<0,01
BS-1.9	Pınarbaşı-9	<0,05	3	19,5	<0,05	26	40,35	<0,05	<0,05	10	0,05	<0,01	<0,02	2,1	0,56	0,6	<0,01
BS-1.10	Pınarbaşı-10	<0,05	2	20,2	<0,05	30	44,27	<0,05	<0,05	10	<0,05	0,02	<0,02	2,0	0,57	2,5	<0,01
BS-2	Kayapınar*	<0,05	2	1,5	<0,05	8	180,14	<0,05	<0,05	10	<0,05	<0,01	<0,02	<0,5	<0,01	0,3	<0,01
	Kayapınar	<0,05	8	3,5	<0,05	<5	81,06	<0,05	<0,05	5	0,05	0,04	0,03	0,6	0,04	1,5	<0,01
BS-3	Kızılpınar*	<0,05	2	1,8	<0,05	8	188,57	<0,05	<0,05	9	<0,05	<0,01	<0,02	<0,5	<0,01	0,3	<0,01
	Kızılpınar	<0,05	6	1,0	<0,05	<5	280,99	<0,05	<0,05	6	0,11	0,05	<0,02	<0,5	<0,01	1,9	<0,01
BS-4	Kozaklı*	<0,05	<1	1,0	<0,05	8	70,40	<0,05	<0,05	15	<0,05	<0,01	<0,02	0,7	<0,01	0,3	<0,01
	Kozaklı	<0,05	7	1,2	<0,05	<5	73,46	<0,05	<0,05	10	0,10	0,01	<0,02	1,1	<0,01	0,3	<0,01
BS-5	Erikli*	<0,05	12	11,5	<0,05	28	42,63	<0,05	<0,05	19	<0,05	0,11	0,03	4,1	0,06	1,3	<0,01
	Erikli	<0,05	7	11,4	<0,05	17	42,48	<0,05	<0,05	12	0,09	0,04	0,04	3,8	0,02	0,7	<0,01
BS-6	44153*	<0,05	<1	92,1	<0,05	168	41,18	0,07	<0,05	23	<0,05	<0,01	1,56	<0,5	3,52	1,5	<0,01
	44153	<0,05	13	98,2	<0,05	157	42,02	<0,05	<0,05	14	<0,05	0,13	1,72	<0,5	3,36	3,6	0,01
BS-7	20019*	<0,05	<1	24,9	<0,05	71	41,59	<0,05	<0,05	17	<0,05	<0,01	0,07	1,3	1,21	1,0	<0,01
	20019	<0,05	6	26,1	<0,05	60	42,49	<0,05	<0,05	11	0,08	0,07	0,09	2,9	1,21	1,9	<0,01

**Tablo 5.3:** (devam), (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

No	Adı	Er	Eu	Fe	Ga	Gd	Ge	Hf	Hg	Ho	In	La	Lu	Mn	Mo	Nb	Nd
BS-1.1	Pınarbaşı-1	<0,01	<0,01	<10	<0,05	0,01	0,07	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,11	1,1	<0,01	0,01
BS-1.2	Pınarbaşı-2	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,08	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,07	<0,01	0,27	1,1	<0,01	0,02
BS-1.3	Pınarbaşı-3	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,07	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,05	<0,01	0,17	1,3	<0,01	<0,01
BS-1.4	Pınarbaşı-4	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	0,16	1,2	<0,01	<0,01
BS-1.5	Pınarbaşı-5	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,07	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,10	1,3	<0,01	<0,01
BS-1.6	Pınarbaşı-6	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,26	1,2	<0,01	<0,01
BS-1.7	Pınarbaşı-7	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,07	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	1,2	<0,01	<0,01
BS-1.8	Pınarbaşı-8	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,20	1,2	<0,01	<0,01
BS-1.9	Pınarbaşı-9	<0,01	<0,01	27	<0,05	<0,01	0,07	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,44	1,2	<0,01	0,01
BS-1.10	Pınarbaşı-10	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,06	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,19	1,2	<0,01	<0,01
BS-2	Kayapınar*	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,4	<0,01	0,01
	Kayapınar	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,83	0,2	<0,01	<0,01
BS-3	Kızılpınar*	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	0,2	<0,01	<0,01
	Kızılpınar	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,30	0,3	<0,01	<0,01
BS-4	Kozaklı*	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	<0,1	<0,01	<0,01
	Kozaklı	<0,01	<0,01	13	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,82	0,1	<0,01	<0,01
BS-5	Erikli*	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,06	<0,01	0,47	0,1	<0,01	0,01
	Erikli	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	<0,05	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	0,34	0,1	<0,01	<0,01
BS-6	44153*	0,03	<0,01	23	<0,05	0,02	0,26	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	18,30	0,8	<0,01	0,02
	44153	<0,01	<0,01	70	<0,05	<0,01	0,23	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,09	<0,01	20,83	0,9	<0,01	0,04
BS-7	20019*	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,13	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,05	0,9	<0,01	<0,01
	20019	<0,01	<0,01	<10	<0,05	<0,01	0,11	<0,02	<0,1	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,31	1,2	<0,01	<0,01



**Tablo 5.3:** (devam), (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

No	Adı	Ni	P	Pb	Pd	Pr	Pt	Rb	Re	Rh	Ru	S	Sb	Sc	Se	SiO <sub>2</sub>	Sm
BS-1.1	Pınarbaşı-1	<0,2	16	0,3	<0,01	<0,01	<0,01	1,80	0,01	0,03	<0,05	39	0,06	<1	<0,5	11,63	<0,02
BS-1.2	Pınarbaşı-2	<0,2	31	0,5	<0,01	<0,01	0,01	1,81	<0,01	0,02	<0,05	38	0,06	<1	<0,5	12,46	<0,02
BS-1.3	Pınarbaşı-3	0,5	20	1,3	<0,01	<0,01	<0,01	1,78	<0,01	0,02	<0,05	39	0,09	<1	<0,5	12,80	<0,02
BS-1.4	Pınarbaşı-4	0,5	25	1,2	<0,01	<0,01	<0,01	1,82	<0,01	0,02	<0,05	39	0,07	<1	<0,5	12,36	<0,02
BS-1.5	Pınarbaşı-5	0,8	21	0,9	<0,01	<0,01	<0,01	1,85	<0,01	0,02	<0,05	38	0,14	<1	<0,5	12,62	<0,02
BS-1.6	Pınarbaşı-6	0,4	30	1,4	0,01	<0,01	<0,01	1,77	<0,01	0,02	<0,05	39	0,10	<1	<0,5	12,80	<0,02
BS-1.7	Pınarbaşı-7	<0,2	14	0,7	<0,01	<0,01	<0,01	1,85	<0,01	0,02	<0,05	37	0,17	<1	<0,5	13,01	<0,02
BS-1.8	Pınarbaşı-8	0,4	25	1,0	<0,01	<0,01	<0,01	1,73	<0,01	0,02	<0,05	37	0,05	<1	0,5	12,54	<0,02
BS-1.9	Pınarbaşı-9	0,6	24	1,2	0,01	<0,01	<0,01	1,74	<0,01	0,02	<0,05	37	0,32	<1	<0,5	12,97	<0,02
BS-1.10	Pınarbaşı-10	0,2	23	1,2	<0,01	<0,01	<0,01	1,77	<0,01	0,02	<0,05	38	1,16	<1	<0,5	12,90	<0,02
BS-2	Kayapınar**	<0,2	18	0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	<0,01	<0,01	<0,05	3	<0,05	<1	<0,5	7,79	<0,02
	Kayapınar	0,6	24	1,5	<0,01	<0,01	<0,01	0,45	<0,01	<0,01	<0,05	3	0,19	<1	<0,5	6,38	<0,02
BS-3	Kızılpınar*	<0,2	12	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,29	<0,01	<0,01	<0,05	2	<0,05	<1	<0,5	7,90	<0,02
	Kızılpınar	0,4	33	2,0	<0,01	<0,01	<0,01	0,37	<0,01	<0,01	<0,05	3	0,08	<1	<0,5	10,55	<0,02
BS-4	Kozaklı*	<0,2	16	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	<0,01	<0,01	<0,05	4	0,07	<1	<0,5	8,81	<0,02
	Kozaklı	<0,2	32	2,2	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	<0,01	<0,01	<0,05	4	0,08	<1	<0,5	9,24	<0,02
BS-5	Erikli*	0,6	17	0,4	<0,01	<0,01	<0,01	0,36	<0,01	<0,01	<0,05	4	0,06	<1	<0,5	27,79	<0,02
	Erikli	1,0	27	1,7	<0,01	<0,01	<0,01	0,22	<0,01	<0,01	<0,05	3	<0,05	<1	<0,5	29,10	<0,02
BS-6	44153*	6,4	14	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	6,61	<0,01	0,03	<0,05	64	0,14	<1	<0,5	15,24	<0,02
	44153	9,1	25	1,5	0,01	<0,01	<0,01	6,32	<0,01	0,03	<0,05	61	0,22	<1	<0,5	15,13	<0,02
BS-7	20019*	0,5	18	<0,2	<0,01	<0,01	<0,01	3,04	0,01	0,03	<0,05	45	0,07	<1	<0,5	13,08	<0,02
	20019	1,8	26	1,4	0,01	<0,01	<0,01	3,13	<0,01	0,03	<0,05	44	0,18	<1	<0,5	13,77	<0,02

**Tablo 5.3:** (devam) (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

No	Adı	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr
BS-1.1	Pınarbaşı-1	<0,05	1185,10	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,04	0,5	0,03	0,04	<0,01	1,3	<0,02
BS-1.2	Pınarbaşı-2	<0,05	1138,49	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,02	0,5	0,05	0,04	<0,01	3,3	<0,02
BS-1.3	Pınarbaşı-3	<0,05	1199,21	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,96	0,5	0,04	0,03	<0,01	1,9	<0,02
BS-1.4	Pınarbaşı-4	<0,05	1191,39	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,99	0,5	0,03	0,03	<0,01	2,0	<0,02
BS-1.5	Pınarbaşı-5	<0,05	1179,95	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,93	0,5	0,04	0,03	<0,01	1,8	<0,02
BS-1.6	Pınarbaşı-6	<0,05	1180,23	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,92	0,4	0,05	<0,01	<0,01	0,9	<0,02
BS-1.7	Pınarbaşı-7	<0,05	1193,38	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,91	0,4	0,06	0,03	<0,01	1,3	<0,02
BS-1.8	Pınarbaşı-8	<0,05	1056,96	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,89	0,4	0,06	<0,01	<0,01	1,0	<0,02
BS-1.9	Pınarbaşı-9	<0,05	1141,91	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,93	0,4	0,04	0,03	<0,01	1,1	<0,02
BS-1.10	Pınarbaşı-10	<0,05	1227,07	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,05	0,4	0,04	0,02	<0,01	2,3	<0,02
BS-2	Kayapınar*	<0,05	139,98	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,92	<0,2	<0,02	0,05	<0,01	<0,5	<0,02
	Kayapınar	<0,05	72,22	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,26	<0,2	<0,02	<0,01	<0,01	2,7	<0,02
BS-3	Kızılpınar*	<0,05	141,53	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,96	<0,2	<0,02	0,06	<0,01	<0,5	<0,02
	Kızılpınar	<0,05	202,68	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	1,41	<0,2	<0,02	0,06	<0,01	0,8	<0,02
BS-4	Kozaklı*	<0,05	113,78	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,29	<0,2	<0,02	<0,01	<0,01	<0,5	<0,02
	Kozaklı	<0,05	110,14	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,27	<0,2	<0,02	<0,01	<0,01	<0,5	<0,02
BS-5	Erikli*	<0,05	146,26	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,73	1,2	0,05	0,02	<0,01	2,2	<0,02
	Erikli	<0,05	127,47	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,55	1,1	0,06	<0,01	<0,01	1,0	<0,02
BS-6	44153*	<0,05	1833,90	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,68	0,8	0,16	0,25	0,03	4,0	0,03
	44153	<0,05	1715,63	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,60	0,9	0,15	0,26	<0,01	5,4	<0,02
BS-7	20019*	<0,05	1424,54	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,94	0,9	0,05	0,11	<0,01	2,7	<0,02
	20019	<0,05	1329,92	<0,02	<0,01	<0,05	<0,05	<10	<0,01	<0,01	0,90	0,8	0,06	0,11	<0,01	1,8	<0,02

### 5.2.1 İnceleme alanı sularının sınıflaması

#### *Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması*

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, kaya su etkileşimlerini araştırmak ve k3k3eni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların t3r3n3n belirlenmesine y3nelik 7eşitli y3ntemler 3nerilmiş olup, bu 7alışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) sınıflaması kullanılmıştır. Buna g3re suda 73z3nm3ř başlıca anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak 3zere mek/l olarak hesaplanmış % 20' den fazla 73z3nm3ř bulunan iyonlar, 3nce katyonlar sonra anyonlar yazılarak su t3r3n3n3 belirlemektedir (IAH 1979).

İnceleme alanı sularının IAH sınıflaması Tablo 5.4'de verilmiştir. Buna g3re beslenme alanı soğuk su kaynaklarından Kayapınar, Kızılpınar ve Kozaklı kaynakları Ca-HCO<sub>3</sub>, Erikli kaynağı Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, 20019 ve 44153 nolu sondaj suları ile Pınarbaşı kaynağı Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipindedir.

#### *73z3nm3ř toplam katı madde miktarına g3re sınıflama*

Bu sınıflamada toplam iyon miktarları 1000 mg/l'den d3ř3k sular “tatlı sular”, 1000-10.000 mg/l arasında olanlar “hafif tuzlu su” sınıfına girer. Buna g3re, toplam iyon miktarları 246-978 mg/l arasında olan inceleme alanı suları “tatlı sular” sınıfına girer (Tablo 5.4).

#### *Schoeller sınıflaması*

Schoeller, suları klor3r, s3lfat ve bikarbonat miktarlarına g3re sınıflamıştır. Bu sınıflamaya g3re inceleme alanı sularının t3m3 olağan klor3rl3 (rCl<15 mek/l), olağan s3lfatlı (SO<sub>4</sub><6 mek/l), 44153 nolu sondaj suyu “hiperkarbonatlı” (HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> > 7mek/l) ve diğer sular “olağan karbonatlı” (2 mek/l <HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub> < 7mek/l) sular sınıfına girmektedir (Tablo 5.4).

### ***Yarı logaritmik diyagram***

Yarı logaritmik diyagramda aynı rezervuardan gelen veya yeraltında benzer jeokimyasal süreçten geçmiş sular birbiriyle çakışan veya birbirine yakın ve az-çok paralel doğrular oluştururlar.

Yarı logaritmik diyagramda (Şekil 5.1), beslenme alanı soğuk sularını oluşturan Kayapınar, Kızılpınar, Kozaklı ve Erikli kaynakları hemen hemen birbiriyle çakışan doğrular oluşturmuşlardır. Bu durum, bu suların aynı akiferden geldiklerini gösterir. Tüm majör iyonlar beslenme alanı kaynak suları, Pınarbaşı kaynağı, 20019 ve 44153 kuyu suları sıralaması ile artış gösterirler. Bu artış en fazla Ca, Mg ve SO<sub>4</sub> miktarında görülmektedir (Şekil 5.1). Bu durum, olasılıkla, termal suların yüzeye yükselirken soğuk yeraltı suları ile karışımı ve katyon değişiminden kaynaklanmaktadır. Pınarbaşı kaynağı, 20019 ve 44153 nolu sondaj sularının yüksek SO<sub>4</sub> içerikleri termal suların rezervuardan yüzeye yükselirken içerdiği H<sub>2</sub>S gazının oksitlenerek sülfata dönüşmesi ve Sandak birimindeki jipslerin çözünmesi nedeniyledir.

Sölestin mineralinin genellikle jipslerle birlikte bulunması ve inceleme alanı sularında sülfat ve stronsiyum arasındaki doğrusal ilişki, sulardaki Sr zenginleşmesini de açıklamaktadır.

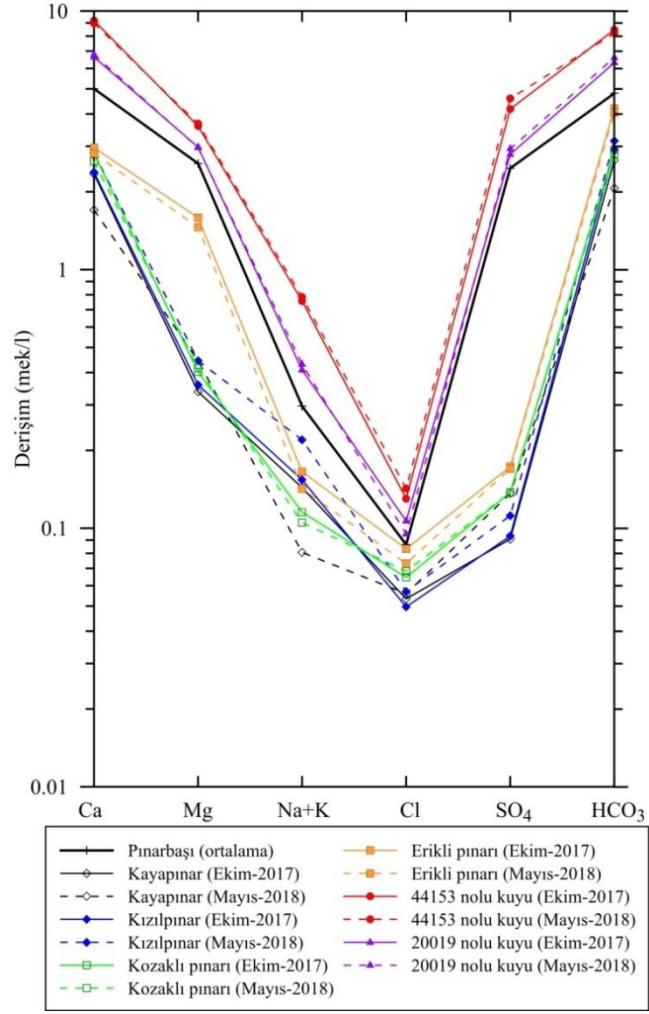
### ***Piper sınıflaması***

Piper, üçgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflanmaya göre her bir üçgende, anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür. İnceleme alanındaki suların içerdiği iyonlar % mek/l cinsinden Piper diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 5.2). Buna göre, inceleme alanı sularında

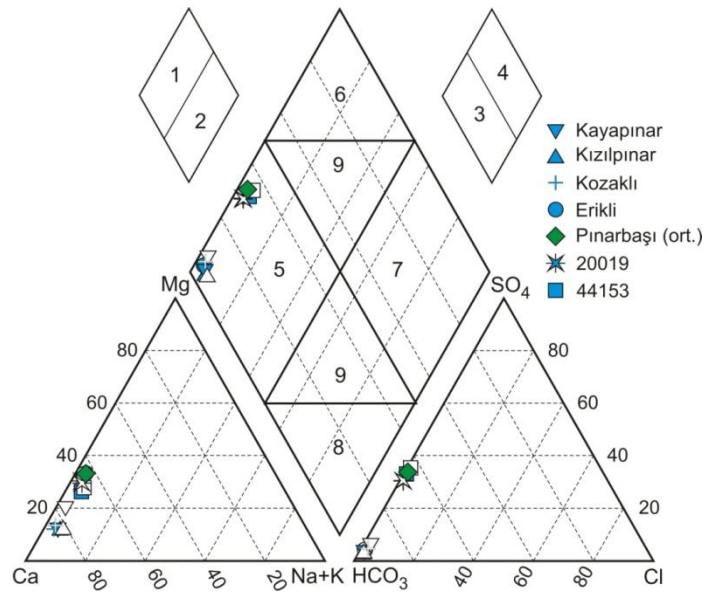
- alkali toprak elementler (Ca+Mg), alkali elementlerden (Na+K) fazladır,
- zayıf asit kökleri (HCO<sub>3</sub>+CO<sub>3</sub>), güçlü asit köklerinden (Cl+SO<sub>4</sub>) fazladır ve
- bu sular karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır (CaCO<sub>3</sub> ve MgCO<sub>3</sub>'lü sular).

**Tablo 5.4:** İnceleme alanı sularının sınıflaması (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

No	Adı	TDS’ye göre	Schoeller Sınıflaması	Fasiyes	IAH sınıflaması
BS-1.1	Pınarbaşı-1	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.2	Pınarbaşı-2	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.3	Pınarbaşı-3	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.4	Pınarbaşı-4	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.5	Pınarbaşı-5	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.6	Pınarbaşı-6	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.7	Pınarbaşı-7	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.8	Pınarbaşı-8	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.9	Pınarbaşı-9	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-1.10	Pınarbaşı-10	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-2	Kayapınar*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
	Kayapınar	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
BS-3	Kızılpınar*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
	Kızılpınar	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
BS-4	Kozaklı*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
	Kozaklı	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-HCO <sub>3</sub>
BS-5	Erikli*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
	Erikli	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
BS-6	44153*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	44153	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, hiper karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
BS-7	20019*	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
	20019	Tatlı sular	Olağan klorürlü, olağan sülfatlı, olağan karbonatlı	Ca-HCO <sub>3</sub>	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>



Şekil 5.1: Yarı logaritmik diyagram.



Şekil 5.2: Piper diyagramı (renkli simgeler Ekim-2017 örneklerini göstermektedir).

### 5.3 Kaynak Kaya

İnceleme alanı sularının çeşitli iyon derişimleri arasındaki ilişkiler Şekil 5.3'de gösterilmiştir.

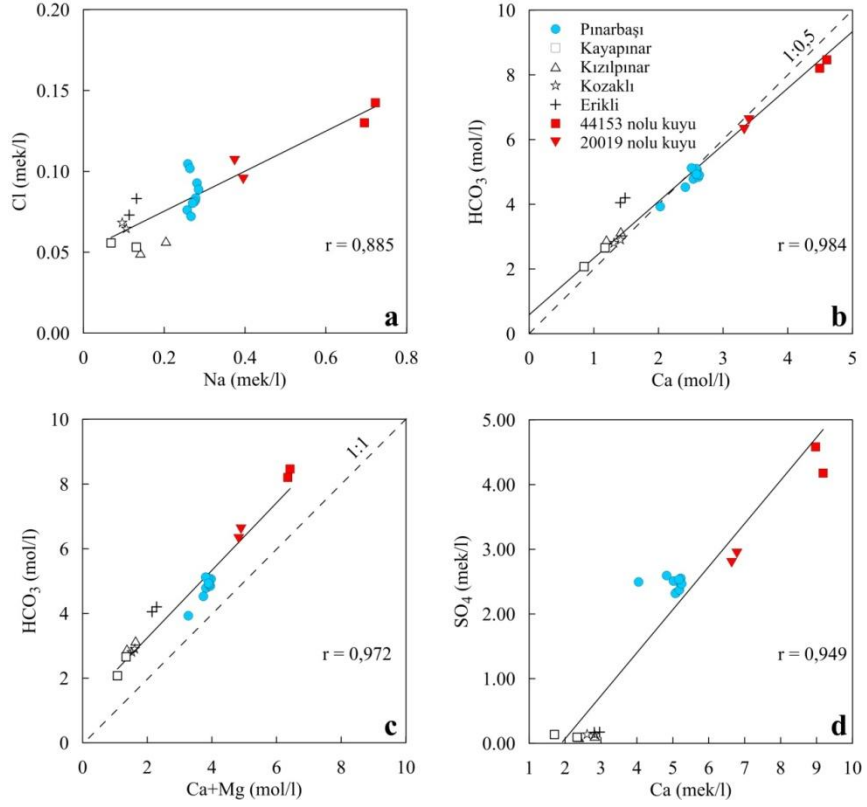
Na ve Cl iyonları arasındaki güçlü pozitif korelasyon, bu iyonların artan sıcaklıkta yükselen derişimlerine işaret edebilir (Şekil 5.3a).

Sulardaki iyon oranları suyun geldiği kayaç hakkında bilgi verebilir. Ca/HCO<sub>3</sub> molar oranı 0,5 ise suyun kireçtaşından, Ca+Mg/HCO<sub>3</sub> oranı 1 ise suyun dolomitten, Ca/SO<sub>4</sub> oranı 1 ise suyun jipslerden geldiği yorumu yapılabilir. Karbonat mineralinin çözünme ve çökelme süreçleri, Ca ve HCO<sub>3</sub> konsantrasyonlarının değişiminde önemli bir kontrol sağlar. Şekil 5.3b'de inceleme alanı sularının Ca/HCO<sub>3</sub> molar oranı 1:0,5 çizgisi üzerinde veya çok yakınında olduğu görülmektedir. Bu, inceleme alanı sularının tamamının Ca-HCO<sub>3</sub> fasiyesinde olduğu da dikkate alınır, suların kalsitçe zengin bir karbonat kayaçtan geldiğini göstermektedir.

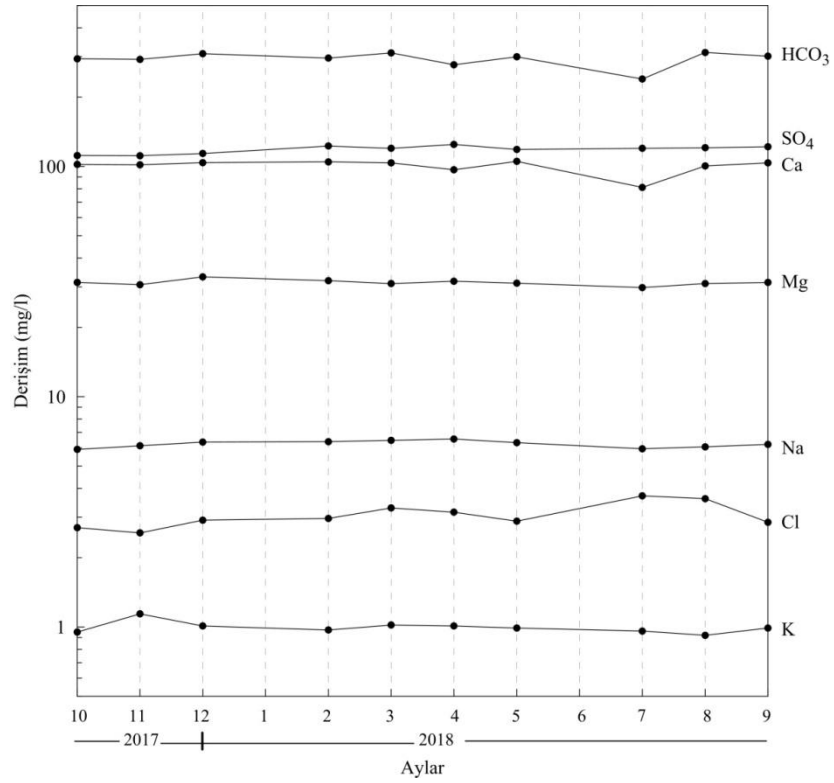
İnceleme alanı suları Ca+Mg/HCO<sub>3</sub> oranı 1:1 çizgisi üzerine düşmemektedir (Şekil 5.3c). Ancak Ca+Mg ile HCO<sub>3</sub> arasında kuvvetli bir pozitif korelasyon vardır. Yüksek kotlarda beslenme alanında bulunan sular hariç olmak üzere sular IAH sınıflamasında Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> sınıfında yer alırlar. Bu da kalsitçe zengin karbonat kayaçlarda dolaşan sularda dolomit ve/veya silikatlardan Mg katkısı olabileceğini göstermektedir.

Suların Ca/SO<sub>4</sub> molar oranı ortalama 2'dir. Bu durum suların jipslerden gelmediğini göstermektedir. Sülfat sulara kireçtaşları katmanları arasındaki olası jips düzeylerinden geçmiş olmalıdır.

Şekil 5.4, 10 ay boyunca aylık periyotlarla Pınarbaşı kaynağının kimyasal kompozisyonundaki değişimi göstermektedir. İzlenen dönem boyunca kaynağın majör iyonlarında önemli bir değişim olmadığı ve kimyasal kompozisyonun yıl boyunca hemen hemen sabit kaldığı söylenebilir. Bunun nedeni akifer ve içinde dolaşan su hacminin önemli miktarda büyük olmasındandır



Şekil 5.3: İnceleme alanı sularının çeşitli iyon derişimleri arasındaki ilişkiler.



Şekil 5.4: Pınarbaşı kaynağının kimyasal kompozisyonunun zamanla değışimi.



## 5.4 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları

Suyun duraylı izotopları olan  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  (döteryum) ile radyoizotopu olan  $^3\text{H}$  (trityum) değerlerinin bilinmesi suların kökeni, su-kaya etkileşimi, karışım, buharlaşma ve suyun yeraltındaki sirkülasyon zamanı hakkında aydınlatıcı bilgi verir. Bu nedenle yukarıda anılan izotopların Ekim-2017 dönemindeki örnekler için analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5.5’de verilmiştir.

### 5.4.1 Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta^2\text{H}$ ) izotopları

İzotopik çevrimde yeraltı suyunun en büyük kaynağı okyanuslar olup kararlı izotop konsantrasyonu sabittir. Diğer bütün suların izotop değerleri,  $\delta$  değeri sıfır kabul edilen SMOW (Standard Mean Ocean Water)’a göre ölçülmektedir (Fritz ve Fontes, 1980). Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen doğrusal bir ilişki vardır.

$$\delta\text{D}=\text{A}*\delta^{18}\text{O}+\text{B} \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’de A (eğim) ve B (döteryum fazlası) değeri, hidrolojik çevrim boyunca buharlaşma, yağış, nem, coğrafî konum ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su doğrusu vardır.  $^{18}\text{O}$  ve  $\text{D}(^2\text{H})$  izotoplarının bu özellikleri, yeraltı sularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Dünya Meteorik Su Doğrusu (GMWL) olarak bilinen doğrunun denklemi;

$$\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10 \text{‰ (SMOW)} \quad (5.2)$$

dir (Craig, 1961). Bu doğru buharlaşma etkisinde olmayan sular için geçerlidir. Çeşitli etkiler nedeni ile A ve B değerleri genel denklemi ifade eden 8 ve 10 değerlerinden sapmalar gösterirler. Döteryum fazlalığı genel olarak okyanus ve deniz kenarındaki atmosferik neme yani klimatolojik faktörlere bağlıdır (Çifter ve Sayın, 2002).

Bu çalışmada inceleme alanı sularının duraylı izotop değerlerini yorumlamak için GMWL ve Akdeniz meteorik su doğrusu (MMWL) kullanılmıştır. Gat ve Carmi (1970) tarafından verilen Akdeniz meteorik su doğrusunun denklemi şöyledir:

$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 22 \text{ ‰ (SMOW)} \quad (5.3)$$

Çalışma alanı sularının  $\delta^{18}O$  değerleri ‰-54,37 ile -60,28 ve  $\delta^2H$  değerleri ‰-8,43 ile -9,66 arasındadır (Tablo 5.5). Ekim-2017 ile Eylül-2018 aralığında Pınarbaşı kaynağının  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri sırasıyla -8,86 ile -9,15 ve -55,30 ile -57,28 arasında olup mevsimsel olarak önemli bir değişim göstermemektedir. Kayapınar, Kızılpınar ve Erikli kaynaklarının  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  değerleri Pınarbaşı kaynağına göre daha negatif olup daha yüksek kotlardan beslenmeyi işaret etmektedir. Bu sulara Ekim örnekleri Mayıs örneklerine göre daha negatiftir. 44153 ve 20019 nolu sondaj sularının duraylı izotop değerleri birbirine çok yakındır. Suların tümü Dünya meteorik su doğrusunun solunda ve Akdeniz meteorik su doğrusunun sağında kalmaktadır. Bu da bu suların meteorik kökenli olduğunu ve Akdeniz kökenli nemin oluşturduğu yağışlardan beslendiğini göstermektedir.

#### 5.4.2 Tritiyum

Suyun radyoaktif izotopu olan trityum ( $^3H$ ) suların yeraltındaki sirkülasyon zamanlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır. Yarılanma ömrü 12,4 yıldır. Atmosferdeki  $10^{18}$  hidrojen atomundan sadece bir tanesi trityumdur. Atmosferdeki trityum değeri 1953 yılı öncesi yaklaşık 25 TU (trityum birimi) iken bu tarihte başlayan nükleer denemeler nedeniyle giderek artmış ve 1964 yılında 2200 TU ile maksimum değerine ulaşmıştır (Faure 1986) ve bu tarihten sonra azalmaya başlamıştır.

İnceleme alanı sularının trityum değerleri Tablo 5.5’de verilmiştir. İnceleme alanı sularında 1964 öncesi trityum değerlerine ilişkin bir kayıt yoktur. Bununla birlikte ilksel tritium değeri (yağışla akifere giren) 1963 yılında nükleer denemeler başlamadan önceki ortalama değer olan 10 TU olarak kabul edilirse güncel trityum değerleri aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilir (Kendall ve Caldwell 1998):

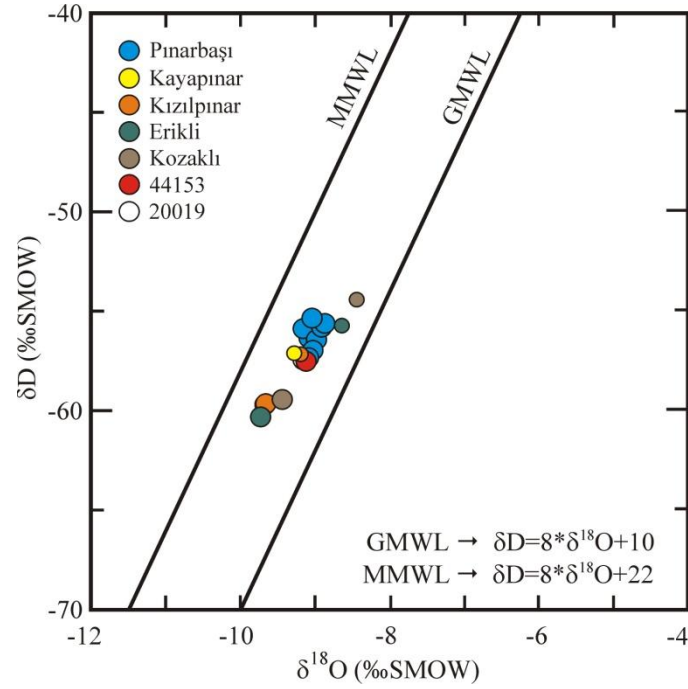
$$A_1 = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (5.4)$$

Denklemden  $A_0$ : ilksel trityum derişimi (10 TU),  $A_1$ : güncel trityum derişimi,  $\lambda$ : trityumun yarılanma ömrü ( $0.056 \text{ years}^{-1}$ ) ve  $t$ : zaman aralığıdır.

Bu denklemlerle 1963-2018 aralığı için ilksel trityum değeri 0,46 TU olarak hesaplanmıştır. Örneklenen sularda trityum değeri 0,46 TU'dan düşük olan örnek yoktur. Buna göre inceleme alanı suları yeraltındaki sirkülasyon süreleri 55 yıldan daha az olan genç sulardır. Yüksek kotta bulunan düşük EC değerine sahip Kayapınar (4,94 TU) ve Kızılpınar (5,11 TU) kaynakları en yüksek trityum değerlerine sahiptir. Trityum değeri 5,64 TU olan yağmur suyu girdi olarak kabul edilirse TU değeri 0,46'dan yüksek olan suların göreceli yaşlarının minimum 2 ile 34 yıl arasında olduğu söylenebilir. Daha gerçekçi sonuçlar için uzun dönem yağışlardaki trityum değerlerinin izlenmesi gerekmektedir.

**Tablo 5.5:** Suların izotop kompozisyonları.

No	Adı	Tarih	$\delta^{18}\text{O}(\text{H}_2\text{O})$	$\delta\text{D}(\text{H}_2\text{O})$	T (TU)
			(VSMOW)		
BS-1.1	Pınarbaşı-1	Ekim 2017	-9,08	-57,28	2,19±0,30
BS-1.2	Pınarbaşı-2	Kasım 2017	-9,02	-56,92	-
BS-1.3	Pınarbaşı-3	Aralık 2017	-9,03	-55,30	-
BS-1.4	Pınarbaşı-4	Şubat 2018	-9,15	-55,83	-
BS-1.5	Pınarbaşı-5	Mart 2018	-9,12	-55,78	-
BS-1.6	Pınarbaşı-6	Nisan 2018	-	-	3,87±0,51
BS-1.7	Pınarbaşı-7	Mayıs 2018	-8,90	-55,76	2,06±0,47
BS-1.8	Pınarbaşı-8	Temmuz 2018	-9,07	-56,30	2,69±0,46
BS-1.9	Pınarbaşı-9	Ağustos 2018	-8,86	-55,57	1,64±0,41
BS-1.10	Pınarbaşı-10	Eylül 2018	-8,97	-56,38	1,73±0,41
BS-2	Kayapınar	Ekim 2017	-9,66	-59,66	2,88±0,30
	Kayapınar	Mayıs 2018	-9,27	-57,07	4,94±0,48
BS-3	Kızılpınar	Ekim 2017	-9,65	-59,61	3,53±0,33
	Kızılpınar	Mayıs 2018	-9,18	-57,12	5,11±0,48
BS-4	Kozaklı	Ekim 2017	-9,43	-59,40	3,07±0,32
	Kozaklı	Mayıs 2018	-8,43	-54,37	4,74±0,48
BS-5	Erikli	Ekim 2017	-8,63	-55,68	2,95±0,31
	Erikli	Mayıs 2018	-9,72	-60,28	4,63±0,46
BS-6	44153	Ekim 2017	-9,11	-57,48	1,39±0,28
	44153	Mayıs 2018	-	-	0,83±0,40
BS-7	20019	Ekim 2017	-9,15	-57,40	0,95±0,27
	20019	Mayıs 2018	-	-	2,31±0,42
BS-8	Yağmur suyu	Kasım 2017	-	-	5,64±0,38



**Şekil 5.5:** Suların  $\delta D - \delta^{18}O$  diyagramı (küçük daireler Ekim 2017 döneminde örneklenmiş suları gösterir).

## 5.5 Suların Mineral Doymulukları

Suların mineral doymuluklarının bilinmesi, suların sondaj yoluyla çıkarılması ve iletimi veya kaynak sularının işletme ve iletimi sırasında ortaya çıkabilecek kabuklaşma sorunları hakkında bilgi vermesi nedeniyle önemlidir. Sondaj ve iletim borularında meydana gelecek kabuklaşma probleminin giderilmesi işletme giderlerine ek bir maliyet getirir. Bu nedenle sularda kabuk oluşturabilecek minerallerin denge durumlarının incelenmesi ve çökeltme eğiliminde olan minerallerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu bölümde inceleme alanı suları için çeşitli minerallerin örnekleme sıcaklığındaki doymulukları PhreeqCi programı (Parkhurst ve Appelo, 1999) ile hesaplanmış ve değerler Tablo 5.5’de verilmiştir. Bu tablolardaki negatif değerler doymuluk altı değerinde olup minerali çözücü özellikte, pozitif değerler ise doymuluk üstü yani o minerali çökeltmeye eğilimli olarak değerlendirilmektedir. Buna göre, suların tümü jips, sölestin ve kalsedon çözüldürme ve kuvars çökeltme eğilimindedir.

**Tablo 5.6:** İnceleme alanı sularının bazı minerallere göre doygunluk durumları (\*Pınarbaşı kaynağı dışında Ekim 2017’de alınan örnekleri simgeler).

Adı	Kalsit	Aragonit	Dolomit	Barit	Jips	Sölestin	Kalsedon	Kuvars
Pınarbaşı-1	0,17	0,02	0,09	0,07	-1,46	-1,69	-0,09	0,36
Pınarbaşı-2	0,14	-0,01	0,02	0,06	-1,46	-1,71	-0,06	0,39
Pınarbaşı-3	0,11	-0,04	-0,02	0,08	-1,45	-1,69	-0,04	0,40
Pınarbaşı-4	0,02	-0,13	-0,21	0,11	-1,42	-1,66	-0,06	0,39
Pınarbaşı-5	0,31	0,16	0,35	0,09	-1,43	-1,67	-0,05	0,40
Pınarbaşı-6	-0,04	-0,19	-0,30	0,13	-1,43	-1,65	-0,04	0,40
Pınarbaşı-7	0,18	0,03	0,10	0,07	-1,43	-1,67	-0,04	0,41
Pınarbaşı-8	-0,22	-0,37	-0,62	0,08	-1,50	-1,69	-0,05	0,40
Pınarbaşı-9	0,19	0,04	0,13	0,07	-1,44	-1,68	-0,04	0,41
Pınarbaşı-10	-0,03	-0,18	-0,32	0,11	-1,42	-1,65	-0,04	0,41
Kayapınar	0,51	0,35	0,06	-0,26	-2,98	-3,85	-0,15	0,33
Kayapınar*	-0,22	-0,37	-1,16	-0,37	-2,90	-3,94	-0,21	0,27
Kızılpınar	-0,10	-0,26	-1,11	-0,26	-2,96	-3,84	-0,16	0,32
Kızılpınar*	-0,13	-0,28	-1,08	-0,12	-2,84	-3,61	-0,08	0,38
Kozaklı	0,83	0,67	0,72	-0,69	-2,91	-3,95	-0,11	0,37
Kozaklı*	0,08	-0,07	-0,70	-0,53	-2,77	-3,79	-0,10	0,38
Erikli	0,77	0,62	1,20	-0,73	-2,69	-3,63	0,38	0,85
Erikli*	0,25	0,10	0,17	-0,77	-2,71	-3,68	0,38	0,85
44153	0,15	0,01	0,00	0,07	-1,09	-1,37	-0,03	0,41
44153*	0,15	0,00	0,02	0,11	-1,06	-1,36	-0,03	0,40
20019	0,19	0,04	0,10	0,07	-1,32	-1,58	-0,05	0,40
20019*	0,21	0,06	0,12	0,08	-1,30	-1,60	-0,03	0,41

## 6. SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ

### 6.1 Suların İçilebilme Özellikleri

İnsan hayatı için önemli olan su, ancak içme suyu standartlarına uygunsuzsa içilebilir. Çeşitli kurum ve örgütler (Türk Standartları Enstitüsü TSE 266 (2005); 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı resmi gazetede yayımlanan Sağlık Bakanlığı'nın "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik İTASHY (2005); US Environmental Protection Agency (EPA) ve World Health Organization (WHO) gibi) birbiriyle genelde benzer olan içme suyu standartlarını belirlemişlerdir.

Bu bölümde inceleme alanı sularının içilebilirliği İTASHY (2005) ve TSE 266 (2005) standartlarına göre incelenmiştir. Bu iki standart genel olarak benzer kabul edilebilir. Bu standartlarda verilen limit değerler ve inceleme alanı sularının analiz edilen değerler kapsamında içilebilme özellikleri Tablo 6.1'de sunulmuştur. Buna göre inceleme alanı sularından Kayapınar, Kızılpınar ve Erikli kaynaklarının suyu TSE266 ve İTASHY'de verilen standartlara uygun olup içilebilir özelliktedir. Diğer sular (Pınarbaşı ve Kozaklı kaynakları ile 20019 ve 44153 nolu kuyu suları) yüksek arsenik değerleri nedeniyle içilemezler. Arsenik özellikle 44153 nolu kuyu suyunda 100 µg/l civarındadır ve standartlarda belirtilen limit değerden 10 kat daha fazladır. Ancak, analiz edilmeyen element, bakteri, tarımsal kalıntı ve radyoaktivite yönüyle olabilecek bir anomalinin içilebilir suları da içilmez kılması olasıdır. İçilebilirlik değerlendirmesi sadece analizi yapılan iyonlar, elementler, EC ve pH değerlerine göre yapılmıştır.

**Tablo 6.1:** İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilirlik özellikleri (PAH: Polisiklik aromatik hidrokarbonlar; TOC: Toplam Organik Karbon; ADY: Anormal değişim yok; TKE: Tüketicilerce kabul edilebilir; -: Analizi yapılmayan parametre).

<b>Kimyasal Parametreler</b>	<b>İTASHY (2005)</b>	<b>TSE 266 (2005)</b>	<b>İçmeye uygunluk</b>
Akrilamid	0.1 µg/l	-	-
Antimon	5.0 µg/l	5.0 µg/l	Tümü
Arsenik	10 µg/l	10 µg/l	Kayapınar, Kızılınar,
Benzen	1.0 µg/L	1.0 µg/l	-
Benzo (a) piren	0,010 µg/l		-
Bor	1 mg/l	1 mg/l	Tümü
Bromat	10 µg/l	10 µg/l	-
Kadmiyum	5,0 µg/l	5,0 µg/l	Tümü
Krom	50 µg/l	50 µg/l	Tümü
Bakır	2 mg/l	2 mg/l	Tümü
Siyanür	50 µg/l	50 µg/l	-
1,2-dikloretan	3,0 µg/l		-
Epikloridin	0,10 µg/l		-
Florür	1,5 mg/l	1,5 mg/l	Tümü
Kurşun	10 µg/l	10 µg/l	Tümü
Cıva	1,0 µg/l	1,0 µg/l	Tümü
Nikel	20 µg/l	20 µg/l	Tümü
Nitrat	50 mg/l	50 mg/l	Tümü
Nitrit	0,50 mg/l	0,50 mg/l	Tümü
Pestisitler	0,10 µg/l	0,10 µg/l	-
Toplam pestisitler	0,50 µg/l	0,50 µg/l	-
PAH	0,10 µg/l	0,10 µg/l	-
Selenyum	10 µg/l	10 µg/l	Tümü
Tetrakloretan ve trikloretan	10 µg/l		-
Trihalometanlar-toplam	100 µg/l		-
Vinil Klorür	0,50 µg/l		-
<b>Gösterge Parametreleri</b>			
Alüminyum	200 µg/l	200 µg/l	Tümü
Amonyum	0,50 mg/l	0,50 mg/l	Tümü
Klorür	250 mg/l	250 mg/l	Tümü
C. perfringens	0 sayı/100 ml	0 sayı/100 ml	-
Renk	TKE	20 mg/l (Pt-Co)	Tümü
İletkenlik (20 °C'de)	2500 µS/cm	2500 µS/cm	Tümü
PH	≥6,5 ve 9,5≥	≥6,5 ve 9,5≥	Tümü
Demir	200 µg/l	200 µg/l	Tümü
Mangan	50 µg/l	50 µg/l	Tümü
Koku	TKE	TKE	-
Oksitlenebilirlik	5,0 mg/L O <sub>2</sub>		-
Sülfat	250 mg/l	250 mg/l	Tümü
Sodyum	200 mg/l	200 mg/l	Tümü
Tat	TKE	TKE	-
Koliform bakteri	0 Sayı/100 ml	0 Sayı/100 ml	-
TOC	ADY	ADY	-
Bulanıklık	TKE	5 NTU	-
<b>Radyoaktivite</b>			
Trityum	100 Bq/l	100 Bq/l	-
Toplam gösterge dozu	0,10 mSv/yıl	0,10 mSv/yıl	-
Alfa yayınlayıcılar	0.1 Bq/l	0.1 Bq/l	-
Beta yayınlayıcılar	1 Bq/l	1 Bq/l	-

## 6.2 Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri

Günümüzde sulama suyu sıkıntısı çeken birçok ülke, yüzey ve yeraltı sularından en verimli şekilde yararlanmaya çalışmaktadır. Ancak, tarımda yüksek verim almak için su faktörü tek başına yeterli değildir. Bunun yanında toprağın akaçlanması ve sulama suyunun kimyasal özellikleri de önem taşımaktadır.

Sulamada kullanılan sularda iyon konsantrasyonunun yüksekliği verimi düşüren bir faktördür. Tuzlu sulardaki sodyum, zemindeki kalsiyum ile yer değiştirerek toprağın geçirgenliğini ve havalandırmasını azaltır; böylece bitkilerin gelişmesi yavaşlar. Sularda bor ve klorür gibi iyonların varlığı da bitki gelişmesi üzerine olumsuz etki yapar.

Bu bölümde, sulama sularını sınıflamak için önerilen değişik diyagram ve sınır değerler kullanılarak inceleme alanı sularının sulama suyu olarak kullanılabilirlikleri ve sınıfları belirlenmiştir.

### 6.2.1 Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramında sular sodyum yüzdeleri ve EC değerlerine göre sınıflanır. % Na değeri eşitlik (6.1)'den hesaplanır (değerler mek/l'dir):

$$\%Na = \frac{Na}{Ca+Mg+Na+K} \times 100 \quad (6.1)$$

Bu sınıflamaya göre 44153 ve 20019 nolu sondaj suları sulama suyu olarak “iyi-kullanılabilir”, diğer sular ise “çok iyi-iyi” sınıfında yer alırlar (Şekil 6.1, Tablo 6.1).

### 6.2.2 Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

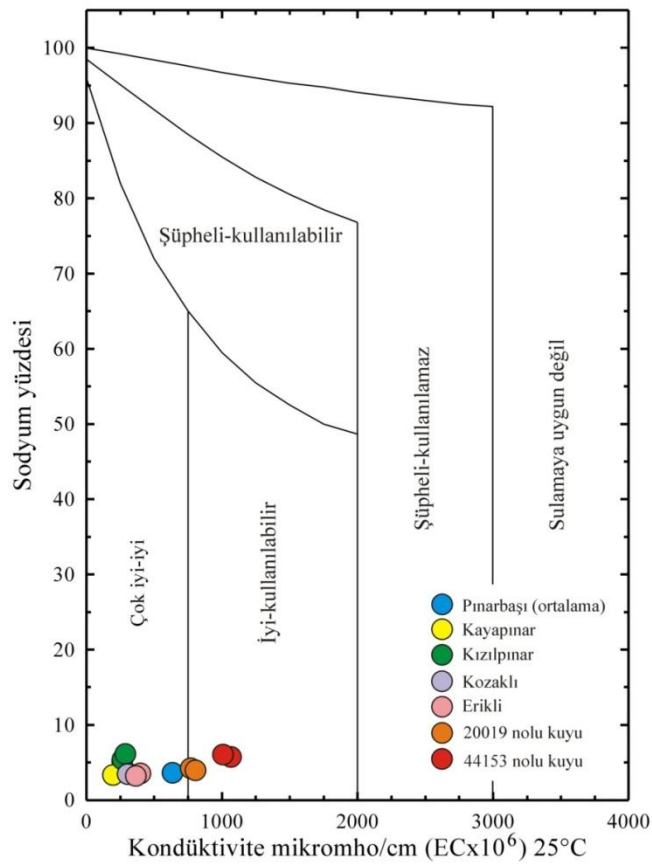
Sulama sularındaki yüksek sodyum derişimi toprağın geçirgenliğini azaltır. Sodyum, toprağın üst seviyelerinde soğurulur. Bu da toprak yüzeyinde sert bir



kabuğun (kaymak) oluşmasına neden olur. Sodyumlu sularla sulanan her tür bitki, ya az gelişir ya da yetişmez. SAR aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (değerler mek/l'dir):

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} \quad (6.2)$$

İnceleme alanı sularının SAR değeri en fazla 0,28'dir. Bu durumda sadece SAR değerleri dikkate alındığında suların tümü çok iyi özellikte sulama suları sınıfına girerler (Tablo 6.2).



Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı.

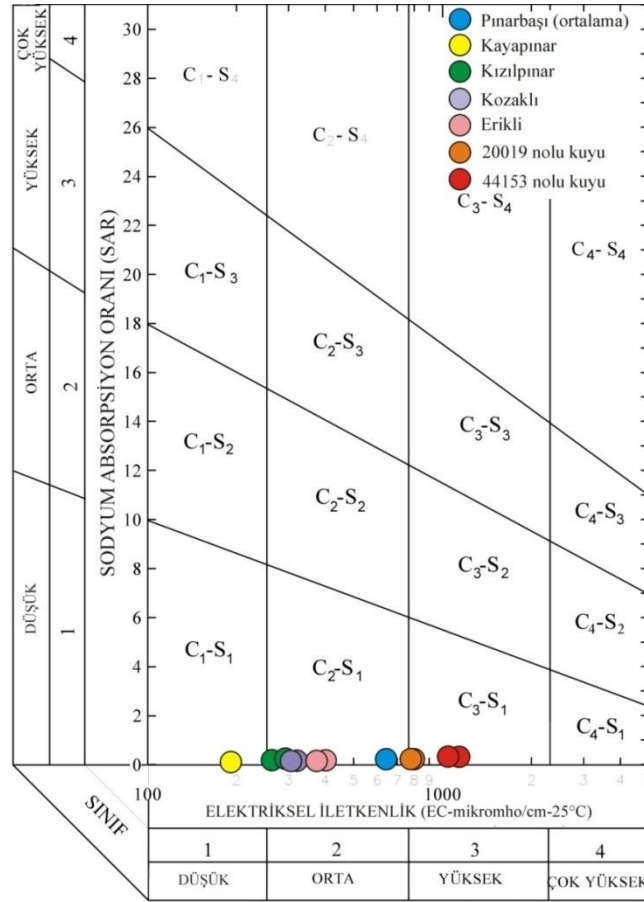
### 6.2.3 ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında sular EC ve SAR değerlerine göre 16 sınıfa ayrılmıştır. Bu diyagramda 20019 ve 44153 nolu sondaj suları C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alırlar (Şekil 6.2, Tablo 6.2). Bu sınıftaki sular tuzlu ve az sodyumlu sulardır. Sodyumun düşük olması nedeniyle hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi

yaratmadan kullanılabilir olmasına karşın tuzlu olmalarından dolayı akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamazlar. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekir. Bu özellikteki sularla tuza dayanıklı bitkiler sulanabilir. Kayapınar Mayıs 2018 döneminde C<sub>1</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında olup her tür toprakta tüm bitkilerin sulamasında kullanılabilir. Diğer suların tümü her dönem için C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alırlar. Yani orta tuzlu ve az sodyumlu sulardır. Bu sularla orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

**Tablo 6.2:** İnceleme alanı sularının sulama suyu sınıfları.

No	Adı	EC	Wilcox		ABD Tuzluluk Laboratuvarı	
			%Na	Sınıfı	SAR	Sınıfı
BS-1.1	Pınarbaşı-1	657	3,53	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.2	Pınarbaşı-2	645	3,74	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.3	Pınarbaşı-3	636	3,67	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.4	Pınarbaşı-4	620	3,71	Çok iyi-iyi	0,14	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.5	Pınarbaşı-5	625	3,82	Çok iyi-iyi	0,14	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.6	Pınarbaşı-6	623	4,01	Çok iyi-iyi	0,14	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.7	Pınarbaşı-7	625	3,70	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.8	Pınarbaşı-8	617	4,17	Çok iyi-iyi	0,14	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.9	Pınarbaşı-9	618	3,65	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS-1.10	Pınarbaşı-10	611	3,67	Çok iyi-iyi	0,13	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS2	Kayapınar	259	5,08	Çok iyi-iyi	0,11	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
	Kayapınar	188	3,61	Çok iyi-iyi	0,06	C <sub>1</sub> -S <sub>1</sub>
BS3	Kızılpınar	258	5,31	Çok iyi-iyi	0,12	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
	Kızılpınar	288	6,29	Çok iyi-iyi	0,15	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS4	Kozaklı	316	3,45	Çok iyi-iyi	0,08	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
	Kozaklı	303	3,35	Çok iyi-iyi	0,07	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS5	Erikli	397	3,50	Çok iyi-iyi	0,08	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
	Erikli	361	3,22	Çok iyi-iyi	0,07	C <sub>2</sub> -S <sub>1</sub>
BS6	44153	1065	5,58	İyi-kullanılabilir	0,27	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
	44153	1009	5,84	İyi-kullanılabilir	0,28	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
BS7	20019	795	4,08	İyi-kullanılabilir	0,17	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>
	20019	766	4,23	İyi-kullanılabilir	0,17	C <sub>3</sub> -S <sub>1</sub>



Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.

#### 6.2.4 Klorür Tehlikesi

Sulama sularında fazla miktarda bulunan klorür (özellikle 5 mek/l'den fazla) bitkiler tarafından soğurularak yaprak yanmasına neden olur. İnceleme alanı sularında Cl değeri çok düşük olduğu için (0,14 mek/l) böyle bir tehlike yoktur

#### 6.2.5 Bor Tehlikesi

Sulama sularında fazla miktardaki bor bitkiler için zehirleyici etki yapar. Bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları farklıdır. Başta narenciye olmak üzere meyveler bora karşı çok duyarlıdır. Bor miktarlarına göre sulama sularının sınıflaması Tablo 6.3'de, değişik bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları Tablo 6.4'de verilmiştir. İnceleme alanı sularının bor değeri en fazla 0,168 mg/l olduğundan duyarlı bitkiler dahil olmak üzere sulamada kullanılmasında bir sakınca yoktur.

**Tablo 6.3:** Bor değerlerine göre sulama sularının sınıflaması.

Suyun Sınıfı	Suda bulunan bor (mg/lt)		
	Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Dayanıklı bitkiler
Çok iyi	<0.33	<0.67	<1.00
İyi	0.33-0.67	0.67-1.33	1.00-2.00
Kullanılabilir	0.67-1.00	1.33-2.00	2.00-3.00
Şüpheli	1.00-1.25	2.00-2.50	3.00-3.75
Kullanılmaz	>1.25	>2.50	>3.75

**Tablo 6.4:** Değişik bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları (Tabloda yukarıdan aşağı doğru bora karşı direnci artan bitkiler sıralanmıştır).

Duyarlı bitkiler	Yarı dayanıklı bitkiler	Dayanıklı bitkiler
Limon	Fasulye	Havuç
Greyfurt	Tatlı patates	Kıvırcık
Portakal	Sivri biber	Lahana
Böğürtlen	Kabak	Şalgam
Kayısı	Yulaf	Şeker pancarı
Şeftali	Mısır	Hurma
Kiraz	Buğday	Kuşkonmaz
İncir	Patates	Soğan
Üzüm	Arpa	Yonca
Elma	Zeytin	
Armut	Bezelye	
Erik	Turp	
Amerikan fıstığı	Tatlı bezelye	
	Domates	
	Pamuk	
	Ayçiçeği	

### 6.2.6 Sulama Suyu Sınıflamalarının Sentezi

Sulama sularının EC, %Na, Cl ve SO<sub>4</sub> değerlerine göre sulamaya uygunluğu için aşağıdaki sınıflama verilmiştir (Şahinci, 1991):

Suyun sınıfı	%Na	rCl	rSO <sub>4</sub>	EC
Çok iyi	<20	<4	<4	<250
İyi	20-40	4-7	4-7	250-750
Kullanılabilir	40-60	7-12	7-12	750-2000
Şüpheli	60-80	12-20	12-20	2000-3000
Kullanılmaz	>80	>20	>20	>3000

Bu sınıflamaya göre 20019 ve 44153 nolu sondaj suları “kullanılabilir”, Kayapınar Mayıs 2018 döneminde “Çok iyi” ve diğer suların tümü her örnekleme dönemi için “iyi” sulama suları sınıfında yer alırlar (Tablo 6.5).

**Tablo 6.5:** Sulama suyu sınıflarının sentezi.

No	Adı	EC	%Na	rCl	rSO <sub>4</sub>	Sulama suyu sınıfı
BS-1.1	Pınarbaşı-1	657	3,53	0,076	2,323	İyi
BS-1.2	Pınarbaşı-2	645	3,74	0,072	2,318	İyi
BS-1.3	Pınarbaşı-3	636	3,67	0,082	2,369	İyi
BS-1.4	Pınarbaşı-4	620	3,71	0,083	2,551	İyi
BS-1.5	Pınarbaşı-5	625	3,82	0,092	2,495	İyi
BS-1.6	Pınarbaşı-6	623	4,01	0,088	2,594	İyi
BS-1.7	Pınarbaşı-7	625	3,70	0,081	2,466	İyi
BS-1.8	Pınarbaşı-8	617	4,17	0,104	2,493	İyi
BS-1.9	Pınarbaşı-9	618	3,65	0,101	2,509	İyi
BS-1.10	Pınarbaşı-10	611	3,67	0,080	2,534	İyi
BS2	Kayapınar	259	5,08	0,053	0,090	İyi
	Kayapınar	188	3,61	0,055	0,136	Çok iyi
BS3	Kızılpınar	258	5,31	0,049	0,093	İyi
	Kızılpınar	288	6,29	0,056	0,111	İyi
BS4	Kozaklı	316	3,45	0,064	0,137	İyi
	Kozaklı	303	3,35	0,068	0,137	İyi
BS5	Erikli	397	3,50	0,083	0,173	İyi
	Erikli	361	3,22	0,073	0,169	İyi
BS6	44153	1065	5,58	0,130	4,176	Kullanılabilir
	44153	1009	5,84	0,142	4,584	Kullanılabilir
BS7	20019	795	4,08	0,106	2,789	Kullanılabilir
	20019	766	4,23	0,095	2,934	Kullanılabilir

### 6.3 Suların beton üretiminde kullanılabilme özellikleri

T.S. 3440, doğadaki suların beton üzerine zararlı etkinlik dereceleri için aşağıdaki sınır değerler verilmiştir.

	<u>Zararlı etkinlik derecesi</u>		
	<u>Zayıf</u>	<u>Kuvvetli</u>	<u>Çok kuvvetli</u>
PH	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5'dan küçük
Magnezyum(mg/l)	100-300	300-500	1500'den büyük
Sülfat(mg/l)	200-600	600-3000	3000'den büyük

Suların beton üzerine iki türlü etkisi vardır. Birincisi, suyun beton karışım suyu olarak kullanılmasıyla ortaya çıkar. Suyun pH'ı 6,5'dan küçükse suda çözülmüş CO<sub>2</sub>, önce H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> ve daha sonra Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> oluşturarak betonun ayrışmasına neden olur. Beton üretiminde kullanılan sülfatlı suların etkisi çimento ile reaksiyona girerek betonda hacim artışı ve patlamalara neden olmalarıdır. Magnezyumun zararı da sülfat gibidir, ancak etkisi sülfattan iki kat daha fazladır. Beton üzerine ikinci etkisi, saldırgan yeraltı sularının bina temellerine verdikleri zarardır. Bu etki yeraltı su seviyesinin yüksek ve suyun hareketli olmasıyla artar.

TS3440'da verilen değerler, durgun veya yavaş akan, beton ile doğrudan temas halinde olan ve büyük miktarlarda bulunan sular için geçerlidir. Suların sıcaklık ve basıncının artması ve/veya betonun bu suyun hızlı ya da çalkantılı akıntı gibi etkileri karşısında kalması durumunda zararlı etkinlik derecesi artar.

İnceleme alanı sularından sadece 44153 nolu sondaj suyu, sülfat değerinin 200 mg/l'yi aşması nedeniyle, beton üretiminde kullanıldığında ya da bina temelleri ile dokanakta olduğunda betona zayıf derecede zarar verir. Diğer sular için zararlı etkinlik derecesi yoktur.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanındaki kayaçlar “Tektonik Birimler” ve “Tektonizma Sonrası Birimler” olarak ayrılmıştır. Tektonik birimler Honaz şeyli, Menderes Masifi'nin rekristalize kireçtaşları ve Göbecik Tepe kireçtaşlarından oluşur. Tektonizma sonrası birimler Senozoyik yaşlı çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn, kireçtaşı, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenlerden yapılıdır.

Çalışma alanında bulunan geçirimli kayaçlar Yılanlı Formasyonu, Çatalcatepe Formasyonu, traverten, alüvyon ve alüvyon yelpazesidir. Pınarbaşı kaynağı Yılanlı formasyonundan boşalmaktadır.

Pınarbaşı kaynağının debisi uzun dönem ölçümlere göre 0,9 ile 1,4 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir. Ortalama debi 1,0 m<sup>3</sup>/s'nin üzerindedir. Pınarbaşı kaynağı “fazla yüksek debili kaynaklar” ve “debi değişimi orta kaynaklar” Uzun süreli debi ölçümlerine göre bulunan bu değerler, olağanüstü koşullar dışında (depremler veya suni patlatmalarla kaynak debisinin önemli oranda değişimi ya da kaynağın kuruması, uzun dönem kuraklık gibi) Pınarbaşı kaynağının sürdürülebilir kullanımında risk oluşturacak bir durum olmadığını göstermektedir.

İncelenen dönemde Pınarbaşı kaynağının boşalım katsayısı 0,002 gün<sup>-1</sup>, depolama kapasitesi 60.134.400 m<sup>3</sup> ve 120 günde hazneden boşalan su miktarı da 16.309.502 m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

İnceleme alanı sularının sıcaklıkları 9,3 ile 23,7 °C, EC değerleri 188 ile 1065 µS/cm ve pH değerleri 6,79 ile 8,50 arasında değişmektedir. Yukarı Çürüksu Havzası düşük sıcaklıklı bir jeotermal sahadır. 44153 nolu suyun sıcaklığının yüksek ve kimyasal kompozisyonunun diğer sulardan farklı (yüksek iyon derişimi) olması bu suda bir miktar jeotermal akışkan katkısının olduğunu göstermektedir.

Pınarbaşı kaynağı ve sondaj suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipinde iken beslenme alanındaki kaynaklar Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Tüm suların Ca/HCO<sub>3</sub> molar oranlarının 0,5:1 olması geldikleri kayacın kalsitçe zengin karbonatlar olduğunu (Yılanlı formasyonu) olduğunu göstermektedir.

Pınarbaşı kaynağından 1 yıllık dönemde aylık periyotlarla yapılan analizlerde zaman içinde kaynağın kimyasal kompozisyonunda önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bunun nedeni akifer içindeki su hacminin önemli miktarda olmasındandır.

Çalışma alanı sularının  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰-54,37 ile -60,28 ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri ‰-8,43 ile -9,66 arasında olup meteorik kökenlidirler. Nispeten yüksek trityum içerikleri göz önüne alındığında sığ dolaşım yapan ve genç yağışlardan beslenen sular oldukları söylenebilir.

İnceleme alanı sularının tümü jips, sölestin ve kalsedon çözündürme ve kuvars çökeltme eğilimindedir. Pınarbaşı kaynağı ile 20019 ve 44153 nolu sondaj suları barit ve izleme periyodunun genelinde kalsit, dolomit ve kalsit çökeltme eğilimindedir.

Pınarbaşı ve Kozaklı kaynakları ile 20019 ve 44153 nolu kuyu suları yüksek arsenik değerleri nedeni ile içilemezler. Diğer sular içme suyu olarak kullanılabilirler.

İnceleme alanındaki tüm sular sulama suyu olarak kullanılabilir. Sadece C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sulama suyu sınıfında yer alan 20019 ve 44153 nolu sondaj suları tuzlu olmalarından dolayı akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılmamalıdır.

44153 nolu sondaj suyu, 200 mg/l'yi aşan sülfat değeri nedeniyle beton üretiminde kullanıldığında ya da bina temelleri ile dokanakta olduğunda betona zayıf derecede zarar verir. Diğer sular için zararlı etkinlik derecesi yoktur.



## 8. KAYNAKLAR

Aydan, Ö., Kumsar, H. and Tano, H., “Multiparameter changes in the earth’s crust and their relation to earthquakes in Denizli region of Turkey”, In Proceedings of the World Geothermal Congress Antalya, Türkiye, pp: 1–10, (2005).

Bernoulli, D., Graciansky, P.C. and Monod, O., “The extension of the Lycian Nappes (SW Turkey) into the Southeastern Aegean Islands”, *Eclogae Geol. Helv.*, 67, 39-90, (1974).

Bozkurt, E., “Neotectonics of Turkey – A synthesis”, *Geodinamica Acta*, 14, 3–30, (2001).

Bozkuş, C., Kumsar, H., Özkul, M. ve Hançer, M., “Seismicity of active Honaz fault under an extentional regime”, International Earth Science Colloquium of the Aegean Region (IESCA), İzmir, Turkey, 7–12, (2001).

Calmbach, L., AquaChem Computer Code-Version 3.7.42. Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ont., Canada N2L 3L3., (1997).

Craig, H., “Isotopic variations in meteoric waters”, *Science*, 133, 1702-B, (1961).

Çağlayan, A., Öztürk, E.M., Öztürk, Z., Sav, H ve Akat, U., “Menderes masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorum”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 10, 9-17, (1980).

Çakır, Z., “Along-strike discontinuity of active normal faults and its influence on Quaternary travertine deposition; examples from western Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 8(1), 67-80, (1999).

ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, Denizli İli 2017 Yılı Çevre Durum Raporu, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Denizli, (2018).

Çifter, C. and Sayın, M., “İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması”, *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Semp.*, 1-15, (2002).

Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S. ve Elmacı, H., 1:250.000 scale active fault map series of Turkey, Denizli (NJ 35-12) Quadrangle. Serial number: 12,

General Directorate of Mineral Research and Exploration, Ankara, Turkey, (2011).

Erakman, B., Meşhur, M., Gül, M.A., Alkan, H., Öztaş, Y. ve Akpınar, M., “Fethiye-Köyceğiz-Tefenni-Elmalı- Kalkan arasında kalan alanın jeolojisi”, (eds: Güven, A., Dinçer, A., Derman, A.S.), Türkiye Altıncı Petrol Kong., Jeoloji Bildirileri, Ankara, 23-32, (1986).

Ercan, T., Günay, E. ve Baş, H., “Denizli volkanitlerinin petrolojisi ve plaka tektoniği açısından bölgesel yorumu”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 26, 153-160, (1983).

Erişen, B., Denizli – Dereköy Sahasının Jeolojik Etüdü ve Jeotermal Enerji İmkanları, M.T.A. Rapor No:4665, Ankara, (1971).

Faure, G., Principles of Isotope Geology, J. Wiley & Sons, (1986).

Fritz, P. and Fontes, J.C., Introduction Handbook of Enviromental Isotope Geochemistry, Vol. 1, New York, Elsevier, 1-19,, (1980).

Gatt, J.R. and Carmi, I., “Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea”, *J. Geophys. Res.*, 75, 3032-3048, (1970).

Gökgöz, A., Demirel, Ö. ve Asal, İ., “Pınarbaşı Karst Kaynağı ve Çevresinin (Honaz-Denizli) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal İncelemesi”, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu MÜHJEO’2015*, Trabzon, 428–435, (2015).

Göktaş, F., Denizli M22-b1 , M22-b2 ve M22-b3 paftalarının Jeolojisi. M.T.A. Raporu, No: 9114, İzmir, (1990).

Gündoğan, İ., Helvacı, C. ve 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).

Hakyemez, Y.H., “Geology and stratigraphy of the Cenozoic sedimentary rocks in the Kale-Kurbalık area, Denizli-southwestern Turkey”, *Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Bulletin*, 109, 1-14, (1989).

IAH, Map of mineral and thermal water of Europe. Scale 1:500.000. International Association of Hydrogeologists, United Kingdom, (1979).

İTASHY, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik. 17.02.2005, 25730 sayılı resmi gazete, Ankara, (2005).

Jackson, J.A., “Active tectonics of the Aegean region” *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 22, 239–271, (1994).

Kastelli, M., Denizli Vilayeti güneyinin jeolojik incelemesi ve jeotermal alan olanakları. M.T.A. Rapor No.5199, Ankara, (1971).

Kaymakçı, N., “Kinematic development and paleostress analysis of the Denizli Basin (Western Turkey): Implications of spatial variation of relative paleostress magnitudes and orientations”, *Journal of Asian Earth Sciences*, 27, 207–222, (2006).

Kendall, C. and Caldwell, E.A., “Fundamentals of isotope geochemistry”, (eds: C. Kendall and J.J. McDonnell), *Isotope tracers in catchment hydrology*. (4. press) (51-84). Elsevier, The Netherlands, p.839, (1998).

Koçyiğit, A., “Güneybatı Türkiye ve Yakın Dolayında Levha İçi Yeni Tektonik Gelişim”, *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 27, 1-16, (1984).

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).

Koçyiğit, A. ve Deveci, Ş., “A N–S-trending active extensional structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement age of the extensional neotectonic period in the Isparta Angle, SW Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 16, 391–416, (2007).

Konak, N. ve Şenel, M., Geological map of Turkey. Denizli sheet 1:500 000. Ankara, Türkiye: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (2002).

Konak, N., Akdeniz, N. ve Öztürk, E.M., “Geology of the south of Menderes Massif”, *Guide Book for the Field Excursion along Western Anatolia, Turkey*, 42-53, (1987).

Maillet, E., *Essai D’hydraulique souterraine et fluviale*, Libraire Sci. A. Herman, Paris, (1905).

Meşhur, M. ve Akpınar, M., Yatağan-Milas-Bodrum ve Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas civarlarının jeolojisi ve petrol olanakları. TPAO Arama Grubu Rap., 1963, (1984).

Okay A.İ., “Denizli’nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya naplarının jeolojisi”, *MTA Dergisi*, 109, 45-58, (1989).

Önhon, E., Ertan, I., Güler, S., Nazik, M. and Kaplan, A., Research on the origin of the karst waters in Yukarı Çürüksu plain using isotope techniques. DSİ Raporu, Ankara, (1988).

Özdamar, A.R., Denizli-Honaz-Kızılyer sulama kooperatifi ilave saha hidrojeolojik etüd raporu. DSİ Raporu, DSİ 21. Bölge Md., Aydın, (1991).

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).

Özkul, M., Varol, B. and Alçiçek, M.C., “Depositional environments and petrography of the Denizli travertines”, *MTA Dergisi*, 125, 13–29, (2002).

Özkul, M., Kele, S., Gökğöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Förizs, I., Németh, T., Chang, Y.W. and Alçiçek, M.C., “Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli Extensional Basin based on their depositional and geochemical data”, *Sedimentary Geology*, 294, 179-204, (2013).

Özler, H.M., “Hydrogeology and geochemistry in the Çürüksu (Denizli) hydrothermal field, western Turkey”, *Environmental Geology*, 39(10), 1169-1180, (2000).

Özler, H.M., “Büyük Menderes Havzası Yukarı Çürüksu kesiminin hidrojeoloji incelemesi”, (Doktora Tezi), İstanbul Üniv., (1996).

Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J., User's guide to PHREEQC (Version 2)—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 99–4259, 312 pp., (1999).

Poisson, A., “Resherches geologiques dans les Taurides occidentales (Turquie)”, Doktora Tezi, Paris-Sud Üniversitesi (Centre D'Orsay), (1977).

Sözbilir, H., “Geometry and origin of folding in the Neogene sediments of the Gediz Graben, western Anatolia, Turkey”, *Geodinamica Acta*, 15, 277–288, (2002).

Sun, S., Denizli-Uşak arasının jeolojisi ve linyit olanakları. MTA Raporu, Rapor No:9985, Ankara, 92 s., (1990).

Şahinci, A., Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, İzmir, 548 s., (1991).

Şengör, A.M.C., Görür, N. and Şaroğlu, F., “Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study”, (eds: K.T. Biddle, N., Christie-Blick), Strike-slip faulting and basin formation Society of Economic Paleontologists Mineralogists Special Publications, 37, 227–264, (1985).

Şimşek, Ş., “Denizli-Sarayköy-Buldan Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları”, *İ.Ü. Yer Bil. Fak. Yayın Organı*, 3, 145-162, (1984).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 82, 89-127, (1974<sup>a</sup>).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 83, 145-178, (1974<sup>b</sup>).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojenin Paleontolojik ve Stratigrafik Etüdü”, *MTA Dergisi*, 85, 45-67, (1975).

Taner, G., “Denizli Bölgesi Neojen’ine ait katların stratigrafik konumlarında yeni düzenleme”, 54. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 54-79, (2001).

Taymaz, T., Jackson, J. A. and McKenzie, D., “Active tectonics of the north and central Aegean Sea”, *Geophysical Journal International*, 106, 433–490. (1991).

Thornthwaite, C., “An approach toward a rational classification of climate”, *Geog. Rev.*, 38, 55-94, (1948).

TSE 266, Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 10 s., (2005).

TS-3440, Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 28 s., (2014).

Turc, L., "Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date", *Annals of Agronomy* , 12, 13-49, (1961).

Westaway, R., "Neogene Evolution of the Denizli Region of Western Turkey", *Structural Geology*, 15, 1, 37 -53, (1993).

## 9. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilge SEMERCİ AYGÜN

Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli, 05.01.1990

Lisans Üniversite : Süleyman Demirel Üniversitesi

Elektronik posta : baygun12@posta.pau.edu.tr

İletişim Adresi : 1200 Evler Mahallesi, 2040/2 Sokak No:5  
Kat:2 Merkezefendi-DENİZLİ