

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

**DENİZLİ İL MERKEZİ İÇME SUYU KAYNAKLARININ  
HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OSMAN KURT**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022**

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



**DENİZLİ İL MERKEZİ İÇME SUYU KAYNAKLARININ**  
**HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**OSMAN KURT**

**DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022**

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinasyon Birimtarafından 2020FEBE039nolu 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.**

**OSMAN KURT**

## ÖZET

### DENİZLİ İL MERKEZİ İÇME SUYU KAYNAKLARININ HİDROJEOLJİK VE HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ YÜKSEK LİSANS TEZİ

OSMAN KURT

### PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. ALİ GÖKGÖZ)  
DENİZLİ, AĞUSTOS - 2022

İnceleme alanı neotektonik dönemde gelişen Çürüksu Grabeni (Denizli Havzası) içinde bulunur. İnceleme alanının temelini Menderes Masifi metamorfitleri ve Likya napları (Honaz şeyli, çörtlü mermer, Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti) oluşturur. Temel kayalar üzerine uyumsuzlukla Senozoyik yaşlı birimler gelir. Senozoyik yaşlı birimler çakıltası, kumtaşı, siltaşı, kıltaşı, marn ve kireçtaşından oluşur. Kuvaterner, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenler ile temsil edilir. Menderes masifinin mermer, rekristalize kireçtaşı, kuvarsit, kuvarssist ve kalkıştleri, Likya naplarının kireçtaşı ve dolomitleri ile Kuvaterner traverten karstik-çatlaklı kaya akiferlerini, alüvyon ve alüvyon yelpazesi ise gözenekli kaya akiferlerini oluşturur. İnceleme alanındaki D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylar kaynak çıkışlarını kontrol eder. İnceleme alanında Denizli il merkezine içme suyu temin eden çok sayıda kaynak ve sondajdan 26 adedi örneklenerek kimyasal ve izotopik analizi yapılmıştır. Örneklenen suların sıcaklıkları 9,6 ile 21,0 santigrat derece, elektriksel iletkenlikleri 297 ile 890 mirosiemens/cm ve pH değerleri 7.11-8.13 arasında değişmektedir. Suların çoğunluğu kalsiyum-magnezyum-bikarbonat tipindedir. Suların kimyasal kompozisyonu başlıca karbonat çözünmesi ile şekillenmiştir. Suların delta oksijen-18 değerleri binde -6,43 ile -9,54 (binde VSMOW) ve döteryum değerleri binde -45,57 ile -60,90 arasında olup meteorik kökenlidirler. Tritiyum değerleri 0,51 ile 4,95 TU arasındadır. Bu değerler inceleme alanı sularının beslenmesinde güncel yağışların etkin olduğunu göstermektedir. Suların delta 13C (DIC) (binde VPDB) değerlerine göre sulardaki karbonun başlıca kökeni akifer kayalarındaki kalsit veya diğer karbonat minerallerinin çözünmesidir. Örnekleme sıcaklığı ve pH'ında, inceleme alanı suları kalsit, aragonit ve dolomit minerallerince doygunudur. Suların tümü çok iyi ya da iyi kaliteli içme suyu özelliğindedir. Genellikle sular tarımsal sulama suyu olarak C2-S1 (orta tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında olup orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Çürüksu, Denizli, içme suyu, hidrojeokimya, izotop

## **ABSTRACT**

**HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL  
INVESTIGATION OF DRINKING WATER SOURCES OF DENİZLİ  
CITY CENTER  
MSC THESIS  
OSMAN KURT  
PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
GEOLOGICAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR:DOÇ.DR. ALİ GÖKGÖZ)**

**DENİZLİ, AUGUST 2022**

The study area is located in the Çürüksu Graben (Denizli Basin), which developed during the neotectonic period. The Menderes Massif metamorphics and Lycian nappes (Honaz shale, cherty marble, Sandak unit and Honaz ophiolite) form the basement rocks of the study area. The basement rocks are unconformably overlain by Cenozoic units which consist of conglomerate, sandstone, siltstone, claystone, marl and limestone. The Quaternary is represented by alluvium, alluvial fan, talus and travertines. Marble, recrystallized limestone, quartzite, quartzschist and calcschists of the Menderes massif, limestone and dolomites of the Lycian nappes and travertine karst-jointed rock aquifers, alluvium and alluvial fan units form porous rock aquifers. The emergence of the springs is controlled by faults in the E-W, NE-SW and NW-SE direction. In the study area, chemical and isotopic analysis were carried out by taking samples from 26 of the many springs and wells that supply drinking water to Denizli city center. The temperatures of the sampled waters vary between 9.6 and 21.0 degrees Celsius, their electrical conductivity varies between 297 and 890 microsiemens/cm and pH values between 7.11 and 8.13. Most of the waters are of the calcium-magnesium-bicarbonate type. The chemical composition of the spring waters is mainly controlled by the dissolution of carbonate minerals. Delta oxygen-18 values of the waters are between -6.43 and -9.54 per thousand (VSMOW) and deuterium values are between -45.57 and -60.90 per thousand, and they are of meteoric origin. Tritium values range from 0.51 to 4.95 TU. These values show that the modern rainfall is effective in feeding the waters of the study area. According to the delta 13C (DIC) (VPDB) values of the waters, the main source of carbon in the waters is the dissolution of calcite or other carbonate minerals in aquifer rocks. At the sampling temperature and pH, the waters of the study area are saturated with respect to calcite, aragonite and dolomite minerals. All of the waters have the characteristics of very good or good quality drinking water. Generally, the waters are in the class of C2-S1 (water with medium salt and low sodium) as agricultural irrigation water, and all plants can be irrigated without salinity and sodium hazard for medium drainage soils.

**KEYWORDS:**Çürüksu, Denizli, drinking water, hydrogeochemistry, isotope

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	vii
ÖNSÖZ.....	ix
<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 .....	5
<b>2. JEOLJİ.....</b>	<b>8</b>
2.1 Stratigrafi.....	8
2.1.1 Temel Kayaçları.....	8
2.1.1.1 Menderes Masifi.....	8
2.1.1.2 Likya Napları .....	11
2.1.1.3 Supra-alloktan Örtü Birimleri .....	13
2.1.1.4 Otokton Örtü Birimleri.....	14
2.2 Yapısal Jeoloji .....	15
2.2.1 Naplar.....	17
2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar .....	17
2.2.3 Kıvrımlar.....	18
<b>3. İKLİM ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>19</b>
3.1 Yağış ve Sıcaklık.....	19
3.2 Su Bütçesi.....	20
3.2.1 Thornthwaite Yöntemi .....	20
3.2.2 Turc Yöntemi.....	23
3.3 İklim Tipi.....	23
<b>4. HİDROJEOLJİ .....</b>	<b>25</b>
4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	25
4.1.1 Geçirimli Birimler.....	25
4.1.2 Yarı Geçirimli Birimler .....	27
4.1.3 Geçirimsiz Birimler .....	27
4.2 İçme Suyu Kaynak ve Sondajları .....	28
4.2.1 Kaynaklar .....	30
4.2.2 Sondajlar .....	32
<b>5. HİDROKİMYA .....</b>	<b>34</b>
5.1 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri .....	34
5.1.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri .....	34
5.1.2 İnceleme Alanı Sularının Majör İyon ve Element İçerikleri .....	34
5.1.3 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması .....	35
5.1.3.1 Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Sınıflama....	35
5.1.3.2 Schoeller Sınıflaması .....	35
5.1.3.3 Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması .....	38

5.1.3.4	Yarı Logaritmik Diyagram.....	38
5.1.3.5	Piper Sınıflaması .....	38
5.1.4	Su Kimyasını Etkileyen Süreçler .....	40
5.1.5	İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları .....	43
5.1.5.1	Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta\text{D}$ ) İzotopları .....	43
5.1.5.2	İnceleme Alanı Sularının Trityum İçerikleri.....	47
5.1.5.3	İnceleme alanı sularının $\delta^{13}\text{C}$ kompozisyonları .....	49
5.1	Suların Mineral Doygunlukları.....	51
<b>6.</b>	<b>SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ .....</b>	<b>53</b>
6.1	Suların İçilebilme Özellikleri .....	53
6.2	Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri.....	55
6.2.1	Suyun pH değeri .....	55
6.2.2	Toplam sertlik (TH) .....	56
6.2.3	Elektriksel iletkenlik (EC) .....	57
6.2.4	Sodyum tehlikesi.....	58
6.2.4.1	%Na değeri.....	58
6.2.4.2	Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR) .....	59
6.2.5	Kalıntı sodyum karbonat (RSC) .....	61
6.2.6	Magnezyum oranı (MR) .....	62
6.2.7	Klorür tehlikesi .....	63
6.2.8	Bor tehlikesi .....	63
6.3	Suların Beton Üretiminde Kullanılabilme Özellikleri.....	64
<b>7.</b>	<b>SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>66</b>
<b>8.</b>	<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>68</b>
<b>9.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>76</b>



# ŞEKİL LİSTESİ

## Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma alanının lokasyonu.....	1
Şekil 1.2: Çalışma alanında örneklenen kuyu ve kaynakların lokasyonları.....	2
Şekil 2.1: Çalışma alanı ve civarının sadeleştirilmiş jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu.....	9
Şekil 2.2: (a) Domuzderesi vadisi ve (b) Ornaz vadisi içindeki şistlerden görünüm. ....	10
Şekil 2.3: Menderes masifi içindeki şeker dokulu beyaz mermerler. ....	10
Şekil 2.4: Yılanlı formasyonunun rekristalize kireçtaşları (Cankurtaran-2 kaynağı kaptajından kuzeye-Honaz Dağı- bakış. ....	10
Şekil 2.5: Tavas napındaki mermerlerden görünüm (PAÜ kampüs alanının güneyi, Seyir Tepesi).....	11
Şekil 2.6: Çatalcatepe kireçtaşlarından görünüm (Çakıroluk kaynağı güneyi). 12	
Şekil 2.7: (a) Karadere formasyonunun çakıltaşları ve (b) Mortuma formasyonundan görünümler. ....	13
Şekil 2.8: (a) Kolankaya formasyonunun çakıltaşları ve (b) kumtaşı-silttaşı-kiltaş-marn ardalması. ....	14
Şekil 2.9: DGHS içinde çalışma alanının konumu.....	16
Şekil 3.1: Denizli il merkezi için 1957-2021 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması. ....	20
Şekil 3.2: Denizli il merkezi için su bilançosu diyagramı (1957-2021 yılları arası). ....	21
Şekil 4.1: SCADA izleme odası.....	29
Şekil 4.2: SCADA sistemi ile izlenen içme suyu deposuna ait arayüz ekranı. .	29
Şekil 4.3: Gökpınar kaynağından drone görüntüsü.....	31
Şekil 4.4: (a) Cankurtaran kaynağı-2 kaptajı, (b) yöredeki insan ve hayvan ihtiyacı için kaynak suyunun verildiği çeşme. ....	31
Şekil 4.5: (a) Denizcik kaptajı, (b) yöredeki insan ve hayvan ihtiyacı için kaynak suyunun verildiği boru.....	31
Şekil 4.6: Ornaz vadisi içindeki Ornaz kaynağı.....	32
Şekil 4.7: Çakıroluk kaynağı kaptajı ve çeşmesi. ....	32
Şekil 5.1: Yarı logaritmik diyagram. ....	39
Şekil 5.2: Piper diyagramı.....	40
Şekil 5.3: Suların çeşitli iyon konsantrasyonları arasındaki ilişkiler. ....	43
Şekil 5.4: Suların $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta\text{D}$ grafiği. ....	46
Şekil 5.5: Suların (a) $\delta^{18}\text{O}$ – kot ve (b) $\delta\text{D}$ – kot grafikleri.....	46
Şekil 5.6: Suların trityum-klorür grafiği. ....	49
Şekil 5.7: Çeşitli ortamların $\delta^{13}\text{C}$ değerleri. Kırmızı çizgiler inceleme alanı sularını gösterir.....	50
Şekil 5.8: İçme suyu iletim borularında meydana gelen kabuklaşma.....	52
Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Schoeller'e göre içilebilirlik diyagramı.....	54
Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı.....	59
Şekil 6.3: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.....	62

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1:</b> Kimyasal ve izotop analizleri için alınan örnek sayıları ve örnekleme tarihleri .....	5
<b>Tablo 3.1:</b> Denizli il merkezi meteoroloji istasyonu için 1957-2021 yılları arasındaki aylık sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları. ....	19
<b>Tablo 3.2:</b> Denizli il merkezi deneştirmeli su bilançosu. ....	22
<b>Tablo 4.1:</b> Denizli il merkezine içme suyu sağlayan kaynak ve sondajların ortalama debi değerleri. ....	28
<b>Tablo 4.2:</b> Denizli il merkezine içme suyu sağlayan (Çakıroluk kaynağı ve DS-19 kodlu sondaj hariç) kaynak ve sondajların kotları ve örnekleme anındaki debi değerleri. ....	30
<b>Tablo 4.3:</b> Deniz il merkezine içme suyu sağlayan sondaj kuyularının açıldıkları tarihteki statik (S.S)–dinamik seviyeleri (D.S.) ve debi değerleri.....	33
<b>Tablo 5.1:</b> Örneklenen kaynak ve sondaj sularının, örnekleme tarihindeki sıcaklık, EC ve pH değerleri. ....	35
<b>Tablo 5.2:</b> İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur suyunun iyon analiz sonuçları (mg/l) ve su tipleri (EN:Elektro-nötralite-%). ....	36
<b>Tablo 5.3:</b> İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur suyunun element analiz sonuçları (µg/l). ....	37
<b>Tablo 5.4:</b> İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta\text{D}$ analiz sonuçları (‰VSMOW). ....	45
<b>Tablo 5.5:</b> İnceleme alanı sularının trityum ve klorür değerleri. ....	48
<b>Tablo 5.6:</b> İnceleme alanı sularının $\delta^{13}\text{C}$ değerleri. ....	50
<b>Tablo 5.7:</b> İnceleme alanı sularının aragonit (Sa), kalsit (Sc), dolomit (Sd) minerallerine göre doygunlukları ve kısmi $\text{CO}_2$ gazı basınçları ( $\text{P}_{\text{CO}_2}$ ). ....	51
<b>Tablo 6.1:</b> İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilme özellikleri.....	53
<b>Tablo 6.2:</b> İnceleme alanı sularının sulamada kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler. ....	56
<b>Tablo 6.3:</b> Sulama suyu sınıfları ve inceleme alanı sularının sulamaya uygunluğu. ....	57
<b>Tablo 6.4:</b> Bor içeriklerine göre sulama sularının sınıflaması .....	63
<b>Tablo 6.5:</b> Değişik bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları .....	64
<b>Tablo 6.6:</b> Suların beton üzerine zararlı etkinlik dereceleri .....	64

## SEMBOL LİSTESİ

<b>°C</b>	: Santigrat Derece
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>BDİ</b>	: Baz Değişim İndeksi
<b>ÇED</b>	: Çevresel Etki Değerlendirmesi
<b>DENÇEV</b>	: Denizli Çevre Kalite Laboratuvarı
<b>DESKİ</b>	: Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü
<b>DGHS</b>	: Denizli graben-horst sistemi
<b>DS</b>	: Derin sondaj
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
<b>EC</b>	: Elektriksel iletkenlik
<b>Etp</b>	: Potansiyel Buharlaşma-Terleme
<b>Etr</b>	: Gerçek Buharlaşma-Terleme
<b>FS</b>	: Fransız sertliği
<b>KMSD</b>	: Küresel Meteorik Su Doğrusu
<b>GSM</b>	: Global System for Mobile Communications
<b>HDPE</b>	: High Density Polyethylene
<b>IC</b>	: İyon Kromatografi
<b>ICP-OES</b>	: İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometre
<b>İTASHY</b>	: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
<b>KOERİ</b>	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>AMSD</b>	: Akdeniz meteorik su doğrusu
<b>MR</b>	: Magnezyum Oranı
<b>pH</b>	: Hidrojen iyon konsantrasyonu

**RSC** : Kalıntı Sodyum Karbonat  
**SAR** : Sodyum Adsorpsiyon Oranı  
**SCADA** : Supervisory Control and Data Acquisition  
**VSMOW** : Vienna Standard Mean Ocean Water

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada Denizli il merkezine içme suyu sağlayan sondaj ve kaynak sularının kimyasal ve izotopik analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları çeşitli yöntem ve sınıflamalarla değerlendirilmiş ve suların kimyasal ve izotopik kompozisyonunu etkileyen süreçler yorumlanmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleşmesi ve sonuçlanmasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Ali GÖKGÖZ'e, jüri üyeleri Doç. Dr. Ali BÜLBÜL ve Dr. Öğretim Üyesi Can BAŞARAN'a saygı ve teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisans eğitimim süresinde dersime giren, değerli bilgilerini sunan tüm hocalarıma teşekkür ederim. Laboratuvar çalışmaları için destek olan İbrahim Köse'ye, su numunelerinin analiz için ilgili laboratuvarlara ulaşmasını sağlayan Özgün KURT'a, Dr. Ahmet Selim KADIOĞLU'na, Özdemir GÖNÜLATEŞ'e alkalinite analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Dr. Araş. Gör. Taylan AKIN'a ve bu tez çalışmasını destekleyen Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür ederim.

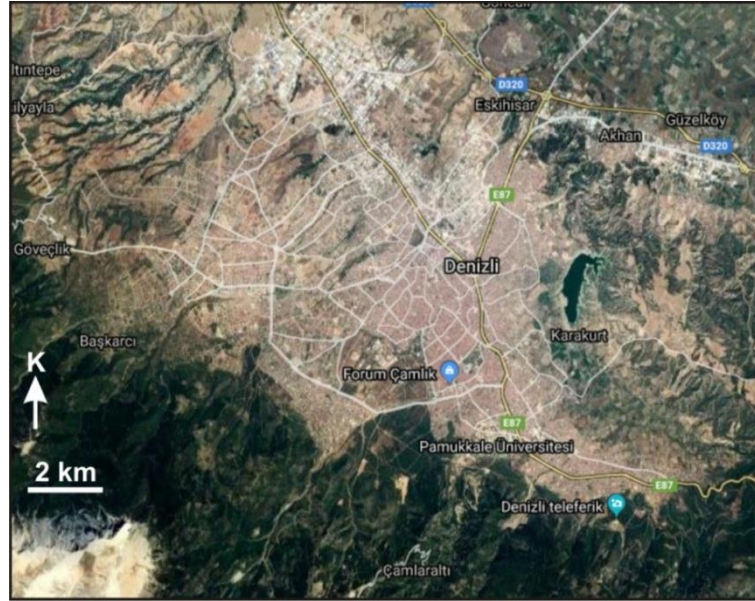
Ayrıca, her konuda bana destek olan eşim Hatice KURT, oğlum Arda Enes KURT, kızım Elif Nisa KURT a çok teşekkür ederim.

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Genel Özellikleri

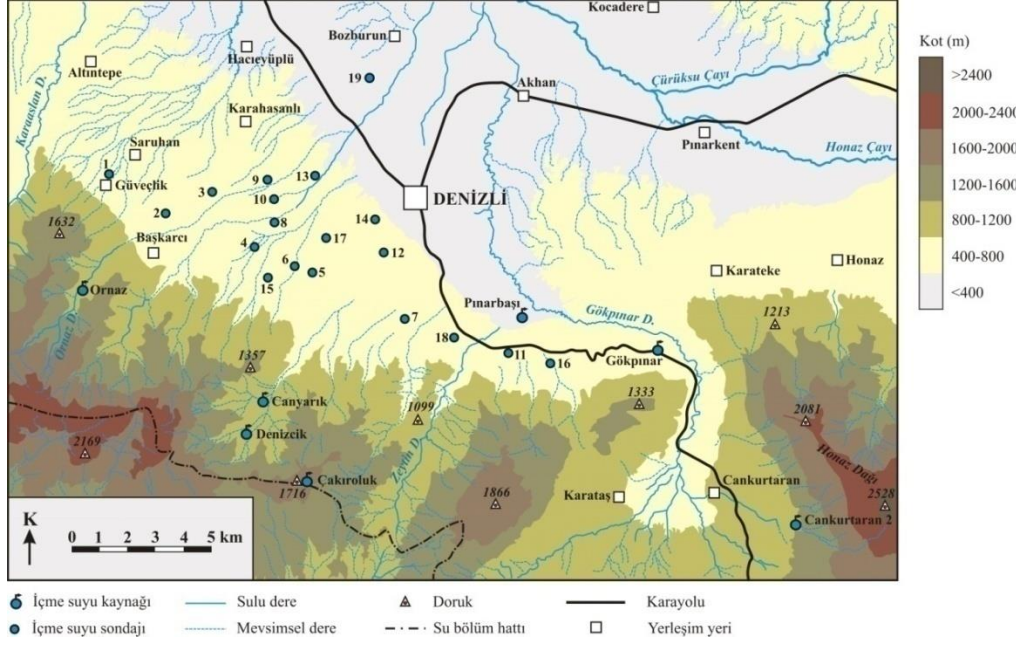
İnceleme alanı neotektonik dönemde gelişen Çürüksu Grabeni (Denizli Havzası) içinde bulunur. Denizli il merkezi ve yakın çevresini içeren çalışma alanı 1/25.000 ölçekli Denizli M21-b3, M21-c2, M22-a3, M22-a4, M22-d1 ve M22-d2 paftalarında yaklaşık 360 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kapsar (Şekil 1.1).

Çalışma alanının topoğrafyası, graben tektoniğine bağlı olarak şekillenmiştir. Güney kesimde Babadağ horstu ve Honazdağı horstu sarp yükseltileri oluştururken orta ve kuzey kesimler düşük kotlu ve nispeten düzgün bir topoğrafya ile temsil edilir (Şekil 1.2). İnceleme alanının en yüksek noktası Ege Bölgesi'nin en yüksek dağı olan Honaz Dağı'ndaki Kılıç Tepe (2528m)'dir. Diğer önemli yükseltiler, Yarılgam Tepe (2169 m), Ayıpınarı Tepe (2081 m), Ortaca Dağı (1866 m), Çakıroluk Tepe (1716 m), Göktepe (1632 m), Çatalca Tepe (1333 m), Dede Tepe (1213 m) ve Asar Tepe (1099 m)'dir.



Şekil 1.1: Çalışma alanının lokasyonu.

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 ortalama debisi 9,26 m<sup>3</sup>/s'dir (ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, 2018). Diğer akışlı dereler Karaaslan, Ornaz, Zeytin, Gökpınar, Kuzgun, Botlarık, Okçuiçi, Akpınar, Çayboğazı ve Gümüşçay dereleridir (Şekil 1.2).



Şekil 1.2: Çalışma alanında örneklenen kuyu ve kaynakların lokasyonları.

Denizli il merkezi 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. Genellikle 1500 metre üzerindeki yükseltiler kış ve ilkbahar aylarında karla kaplıdır.

Çalışma alanının engebeli ve yüksek kesimlerinde başlıca çam ağaçlarından oluşan ormanlık alanlar yaygındır. 2000 metreden daha yüksek alanlarda yüksek dağ step vejetasyonu egemendir (ÇED ve Çevre İzinleri Şube Müdürlüğü, 2018). Düşük kotlarda ve ovada tarımsal üretim olarak kiraz, erik, cennet hurması, nar, ayva, üzüm ve çeşitli sebzeler yanında pamuk, arpa ve buğday yetiştirilmektedir.

İnceleme alanında Pamukkale, Merkezefendi, Sarayköy ve Honaz ilçeleri ve çok sayıda mahalle yer almaktadır. Tüm yerleşim yerleri birbirine asfalt yolla bağlı

olup ulaşım sorunu yoktur. Çalışma alanındaki yerleşim yerlerinin toplam nüfusu 2021 yılı TÜİK verilerine göre 662.770 kişidir.

## 1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Denizli il merkezine içme suyu sağlayan sondaj ve kaynak sularının kimyasal bileşimini, hidrokimyasal sınıflarını, kökenlerini, yeraltındaki sirkülasyon zamanlarını, yeraltında geçirdikleri jeokimyasal süreçleri, mineral doygunluklarını ve içme, sulama ve beton üretiminde kullanılabilme özelliklerini belirlemektir.

## 1.3 Literatür Özeti

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

Taner (1974<sup>a,b</sup> 1975), Paleozoik yaşlı metamorfitletlerin üzerine uyumsuz olarak Alt Pliyosen yaşlı konglomera, marn ve kalkerlerin geldiğini ifade etmiştir. Araştırmacı, Pliyosen'de, küçük kapalı bir havza şeklinde gelişen Denizli havzası göl ortamının derinliğinin az ve sakin olduğunu, tatlı su içerdiğini, ancak daha sonraları biraz tuzlandığını ileri sürmüştür. Taner (2001), daha sonra bu birimlerin yaşını revize ederek Alt Miyosen'e çekmiştir.

Ercan ve diğ. (1983), Denizli volkanitlerinin kıtasal riftleşme ürünü olarak meydana geldiklerini ve tümünün Üst Pliyosen yaşlı şoşonitik bazalt, latit ve trakit türünde olduklarını belirtmişlerdir.

Şimşek (1984), Denizli il merkezi ve civarında yaptığı çalışmada, temel kayaların altta otojenik gnays ve şistler, üstte ise kuvarsit, mikaşist ve mermer ardalanmasından yapıları Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfitletlerinden oluştuğunu ve bu kayalar üzerine dört litolojik birim olarak ayrılabilen Neojen yaşlı



karasal ve gölssel çökellerin geldiğini belirtir. Araştırmacı bu çökelleri alttan üste Kızılburun Formasyonu, Sazak Formasyonu, Kolankaya Formasyonu ve Tosunlar Formasyonu olarak adlandırmıştır.

Okay (1989), Honaz Dağı civarında yaptığı çalışmada Göbecik Tepe birimi, Honaz şeyli, Menderes masifi, Sandak birimi ve Honaz ofiyolitinden oluşan beş ana tektonik birim ayırtlamış, Menderes masifi istifinin allokon konumda olup Göbecik tepe birimi ve Honaz şeyli üzerine itildiğini belirtmiştir.

Gökgöz (1994), Honaz civarındaki yeraltı sularının Yukarı Çürüksu Ovası'nın diğer kesimlerinden farklı bir kimyasal bileşime sahip olduğunu, ovadaki yeraltı sularının yüksek sülfat derişiminin Triyas ve Neojen birimleri içindeki jipsli düzeylerden kaynaklandığını belirtmiştir.

Çakır (1999), Büyük Menderes ve Gediz grabenlerindeki aktif normal fayların tek bir düzlem olmayıp, doğrultuları boyunca 13 km uzunluklara varan çeşitli geometrik segmentlere ayrıldığını ve grabeni kuzeyden sınırlayan ana fayların olasılıkla karbonatça zengin yeraltı sularının yeryüzüne çıkmasında bir kanal görevi gördüğünü ifade etmiştir.

Özler (1999 ve 2000), Çürüksu havzasındaki yeraltı sularının meteorik kökenli olduğunu ve büyük bir depolama kapasitesine sahip oldukları için yöredeki karstik kaynakların debilerinin mevsimsel değişimlerden etkilenmediğini belirtmiştir.

Gökgöz ve diğ. (2005) Denizli il merkezi ve yakın çevresinde (a) alüvyon, (b) alüvyon yelpazesi ve (c) Neojen yaşlı gölssel çökellerden oluşan üç akifer sisteminin kombinasyonunun birleşik bir hidrolik sistem meydana getirdiğini, bu sistemin bazı alanlarda birleşik basınçlı akifer formasyonunu ve basınçlı akiferi, bazı alanlarda ise serbest akiferleri oluşturduğunu belirtmişlerdir. Yeraltı sularının iyon derişiminin akım yönünde arttığını ve kimyasal kompozisyonun kalsiyum bikarbonatlı tipten magnezyum sülfatlı tipe döndüğünü vurgulayan araştırmacılar bunun Neojen birimleri içindeki tuz oluşuklarının yeraltı suları tarafından yıkanması nedeniyle olduğunu ifade etmişlerdir.

Koçyiğit (2005), Honaz ve Küçükmalıdağ fay zonlarının hala aktif olduğunu ve büyüklüğü 6 veya daha yüksek olan bir deprem üretebileceğine işaret etmiştir.

Gökgöz ve diğ. (2015), Çürüksu havzasındaki en yüksek debili kaynak olan Pınarbaşı kaynağının (Honaz) hidrokimyasal olarak 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.

Gökgöz ve Tabancalı (2021), yeraltısuyu potansiyeli yüksek olmasına karşın içilebilir kalitede su kaynağının çok az olduğu Çürüksu Havzası'nda bulunan 21 mahallede en az 24.000 nüfusun içme suyu ihtiyacını karşılayan Böceli ve Kazanpınar karst kaynaklarının (Honaz-Pınarkent) su kalitesinde önemli bir mevsimsel değişim olmadığını belirlemişlerdir.

#### 1.4 Yöntem

Hidrokimya çalışmaları kapsamında inceleme alanındaki 19 sondaj ve 7 kaynak suyundan ve ayrıca 2 adet yağmur suyu olmak üzere toplam 28 su noktasından ölçüm, örnekleme ve analiz yapılmıştır. Örnekleme için alansal dağılımı en iyi temsil edebilecek kaynak ve sondajlar seçilmiş, ayrıca eski su analizlerinden hareketle nispeten farklı kimyasal kompozisyona sahip su noktaları da örneklemeye dahil edilmiştir. Örneklenen kuyu ve kaynakların inceleme alanındaki dağılımı Şekil 1.2'de, kimyasal ve izotop analizleri için alınan örnek sayıları ve örnekleme tarihleri de Tablo 1.1'de verilmiştir. Örnekleme tarihleri analizi yapacak laboratuvarların uygunluk durumuna göre belirlenmiştir.

**Tablo 1.1:** Kimyasal ve izotop analizleri için alınan örnek sayıları ve örnekleme tarihleri.

Örnekleme Tarihi	Kimyasal analiz				δ <sup>18</sup> O ve δD analizi				Tritiyum analizi				δ <sup>13</sup> C analizi		
	K	DS	Y	Top.	K	DS	Y	Top.	K	DS	Y	Top.	K	DS	Top.
20.10.2020	2	8	1	11	2	8	1	11	2	9	1	12	-	-	-
26.10.2020	-	8	-	8	-	8	-	8	-	9	-	9	-	-	-
03.11.2020	1	3	-	4	1	3	-	4	1	-	-	1	-	-	-
18.11.2020	3	-	-	3	3	-	-	3	3	-	-	3	-	-	-
08.11.2021	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	9	12
07.03.2021	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	-
29.04.2022	1	-	-	1	6	6	-	12	1	-	-	1	-	-	-
<b>TOPLAM</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>1</b>	<b>27</b>	<b>12</b>	<b>25</b>	<b>2</b>	<b>39</b>	<b>7</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>9</b>	<b>12</b>

Suların sıcaklıkları, EC ve pH değerleri HACH-LANGE HQ40D model multiparametre cihazı ile ölçülmüş, ölçümlerden önce, her parametre için cihaz standart çözeltilerle kalibre edilmiştir. Suların örnekleme koşullarındaki alkalinite değerleri de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> titrasyonu ile (mikrotitrator, HACH-LANGE kimyasalları ve H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> şırıngalarının kullanımıyla) belirlenmiştir.

İyon analizleri için su örnekleri 250 ml. lik çift tıpalı yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) şişelere filtre edilerek (0.45 µm) alınmıştır. Element analizleri için 100 ml. lik HDPE şişelere filtre edilerek alınan örneklere ultra saf HNO<sub>3</sub> ilave edilmiş ve örnek pH'ı 2 veya altına indirilmiştir. Örnekler oksijen-18 ve döteryum ( $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$ ) analizleri için 50 ml, trityum ( $^3\text{H}$ ) analizi için 500 ml. lik çift tıpalı HDPE şişelere, karbon-13 ( $\delta^{13}\text{C}$ ) analizi için ise 100 ml. lik kahverengi cam şişelere hava kabarcığı bırakmadan alınmıştır. Örnekleme tamamlanırken yeni şişeler kullanılmış ve şişeler örnekleme öncesi örneklenecek suyla 3 kez çalkalanmıştır.

Suların kimyasal analizi (iyon ve element) Denizli Büyükşehir Belediyesi, DESKİ Genel Müdürlüğü, İçme Suyu ve Kanalizasyon Dairesi Başkanlığı, Su Yönetim Şube Müdürlüğü, DENÇEV Denizli Çevre Kalite Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. İyon analizleri (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Li<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, F<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) Thermo Scientific marka IC (iyon kromatografi) ve element analizleri (Al, As, B, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Se) Perkin Elmer marka ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometre) cihazları ile yapılmıştır. Bu cihazlarda en düşük okunan sınır değerler iyon analizleri için 0,02 ile 0,2 mg/l, element analizleri için ise 2,5 ile 100 µg/l'dir. İyon analizlerinde analiz hatası %-2,43 ile %+6,45 arasında olmuştur.

Suların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda Picarro L-2130i model "Lazer Spektrometresi", trityum değerleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel İzotop Laboratuvarı'nda Perkin Elmer Quantulus 1220 model "Sıvı Sayma Sintilasyon Sistemi" ve  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri de Ortadoğu Teknik Üniversitesi, ARGE Eğitim ve Ölçme Merkezi, Duraylı İzotop Oranı Kütle Spektroskopi Laboratuvarı'nda (DİL)ThermoFinnigan DeltaPlus XP marka "İzotop Oranlayıcı Kütle Spektrometresi" cihazı ile belirlenmiştir. Analiz hassasiyeti trityum,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta\text{D}$

ve  $\delta^{13}\text{C}$  için sırasıyla  $\pm 1$  sigma,  $\text{‰}\pm 0,2$  (VSMOW),  $\text{‰}\pm 1$  (VSMOW) ve  $\text{‰}\pm 0,2$  (VPDB) aralığında olmuştur.

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

## **2. JEOLOJİ**

### **2.1 Stratigrafi**

İnceleme alanının temelini Menderes Masifi metamorfikleri ve Likya napları (Honaz şeyli, çörtlü mermer, Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti) oluşturur. Temel kayaçlar üzerine uyumsuzlukla Senozoyik yaşlı birimler gelir (Şekil 2.1).

#### **2.1.1 Temel Kayaçları**

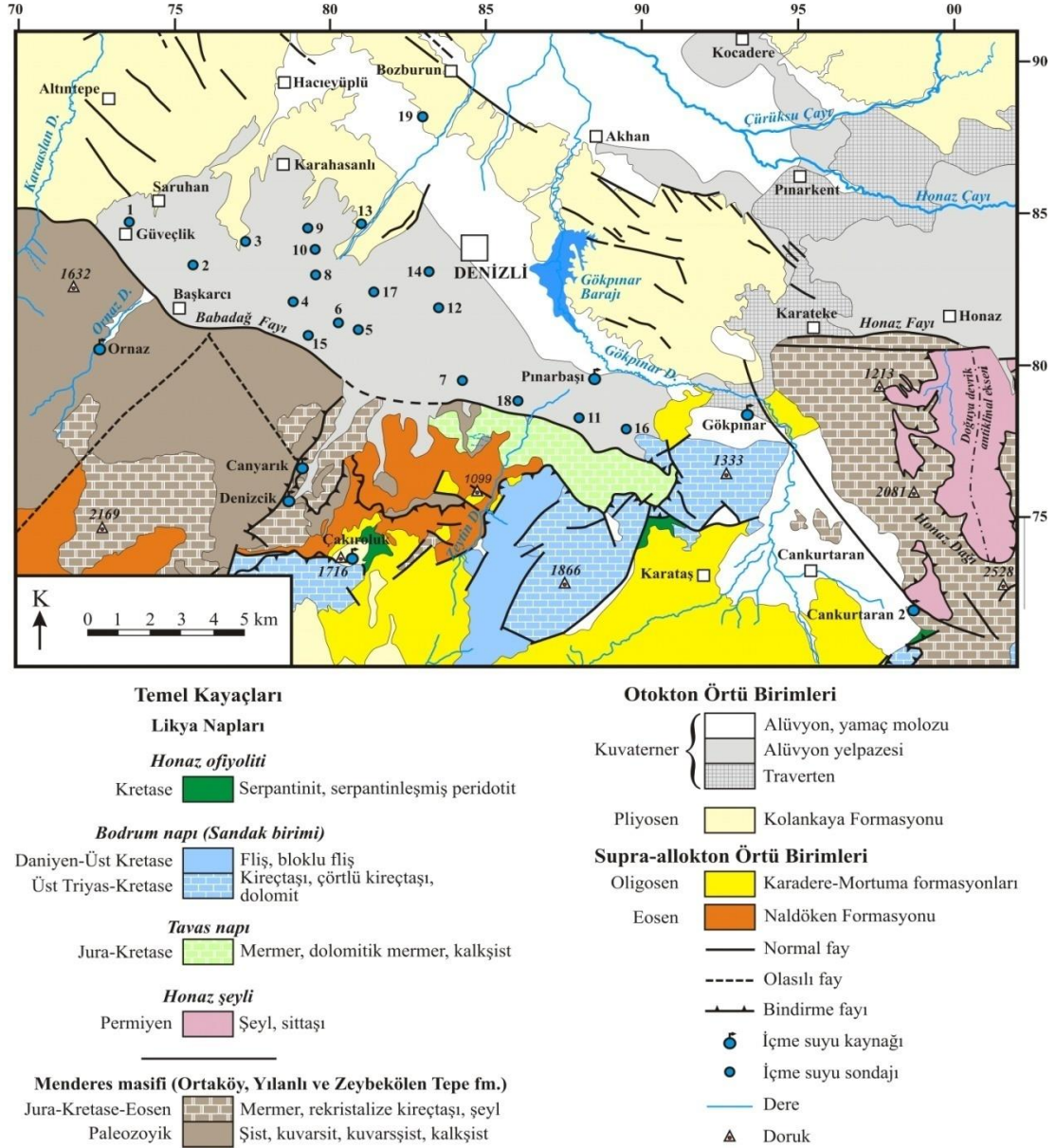
##### **2.1.1.1 Menderes Masifi**

Menderes masifi inceleme alanında Ortaköy, Yılanlı ve Zeybekölen Tepe formasyonları ile temsil edilir.

Ortaköy formasyonu inceleme alanının güneybatı kesiminde geniş bir yayılım gösterir. Formasyon grafitşist, iki mikalı şist, fillat ve serizit kloritşist, kuvarsit, kuvarşşist, muskovitşist, mermer mercekleri ve bantları ve mermerlerden oluşur (Şekil 2.2). Mermerler içinde bulunan fosillere dayanılarak formasyona Paleozoyik yaşlı verilmiştir (Sun 1990). Formasyonun Babadağ fayının taban bloğunda bulunan Ornaz kaynağı ve 1357 m yükselteli tepe arasında kalan bölümünde kuvarsit ve kuvarşşistler egemendir. Paleozoyik istif üzerinde olası olarak Triyas yaşlı şistler ve Jura-Kretase yaşlışeker dokulu beyaz mermerler (Şekil 2.3) yer alır (Çakmakoğlu 2017).

İnceleme alanının güneydoğu kesimindeki Honaz Dağı civarında Menderes masifinin Yılanlı ve Zeybekölen Tepe formasyonları gözlenir. Yılanlı formasyonu gri, açık gri, kalın tabakalı- masif, ince taneli, yer yer gastrapod fosilli rekristalize kireçtaşlarından oluşur (Şekil 2.4) (Meşhur ve Akpınar 1984, Konak ve diğ. 1987, Okay 1989). Formasyon Üst Kretase yaşlıdır ve görünür kalınlığı 1500 metredir (Okay 1989). Yılanlı Formasyonunun üzerinde uyumlu olarak bulunan Zeybekölen

Tepe Formasyonu ince-orta katmanlı rekristalize gri pelajik kireçtaşı, pembe kireçtaşı, karbonatlı şeyl ve şeylden oluşur (Okay 1989). Görünür kalınlığı 1000 metreyi aşan formasyonun yaşı olasılıkla Paleosen-Alt Eosen'dir (Okay 1989).



**Şekil 2.1:** Çalışma alanı ve civarının sadeleştirilmiş jeoloji haritası ve örneklenen suların lokasyonu (Okay 1989; Konak ve Şenel 2002; Konak 2003, 2007a, b; Konak ve Çakmaköglü 2007a, b, 2009; Konak ve diğ. 2016 ve Çakmaköglü 2017'den modifiye edilmiştir).



**Şekil 2.2:** (a) Domuzderesi vadisi ve (b) Ornaz vadisi içindeki şistlerden görüntüm.



**Şekil 2.3:** Menderes masifi içindeki şeker dokulu beyaz mermerler (çekiç boyu 30 cm; koordinat: 29°05'18.76"D–37°43'13.60"K).



**Şekil 2.4:** Yılanlı formasyonunun rekristalize kireçtaşları (Cankurtaran-2 kaynağı kaptajından kuzeye-Honaz Dağı- bakış).



### 2.1.1.2 Likya Napları

İnceleme alanının güney ve güneydoğusunda geniş yayılım sunan Likya napları Honaz şeyli, Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti ile temsil edilir.

**Honaz şeyli:** Honaz'ın güneyinde ve Honaz Dağı'nın batı ve kuzey kesimlerinde geniş alanlarda yüzeyleyen birim bol kırıklı ve kıvrımlı, hafif metamorfizma geçirmiş, koyu mavimsi yeşil şeyl ve silttaşından yapıdır (Okay 1989). Yer yer kırmızı silttaşı, çakıllı kumtaşı ve çakıltaşı katmanları şeylerle ardalanmalı olarak bulunur (Okay 1989). Yaşı Permilen olarak kabul edilir (Konak ve Şenel 2002).

**Çörtlü mermerler:**Denizli il merkezinin, özellikle Bağbaşı ve Zeytinköy yerleşim alanları ile Pamukkale Üniversitesi kampüs alanının güneyinde gözlenir. Birim Kretase yaşlı gri, koyu gri, yer yer siyah dolomitik mermer ve çörtlü mermerlerden oluşur (Şekil 2.5). Üzerine uyumsuzlukla Alt Eosen-Paleosen yaşlı bordo renkli mermer ve kalkışistler gelir (Çakmakoğlu 2017). Birim Tavas napına dahildir ve Tavas napının metamorfizma etkisi taşıyan litolojilerine karşılık gelir (Çakmakoğlu 2017).



Şekil 2.5: Tavas napındaki mermerlerden görünüm (PAÜ kampüs alanının güneyi, Seyir Tepesi).



**Sandak birimi:** Likya naplarından Bodrum napına dahil olan birim, inceleme alanında Gereme formasyonu ve Çatalca Tepe kireçtaşı ile temsil edilir. Üst Triyas-Liyas yaşındaki (Bernoulli ve diğ. 1974) Gereme formasyonu breşik ve dilimlenmiş bir yapı gösteren, masif-kalın tabakalı gri, koyu gri ve siyah dolomit ve dolomitik kireçtaşlarından oluşur (Okay 1989). Bu dolomit ve dolomitik kireçtaşları yer yer kalın jips katmanları ile ardalanmalıdır (Gündoğan ve diğ. 2008). Şekil 2.1’de verilen harita alanı dışında Honaz ilçe merkezi doğusunda işletilen jips yatakları vardır. Gereme formasyonunun üzerine uyumlu dokanakla gelen Dogger-Üst Kretase yaşlı Çatalca Tepe kireçtaşı birimi gri, koyugri, masif-kalın tabakalı, çört yumrulu kireçtaşlarından oluşur (Şekil 2.6) (Okay 1989). İstifin en üst kesiminde çok iri kireçtaşı ve serpantin blokları içeren Kretase yaşlı fliş birimi yer alır (Erakman ve diğ. 1986). Okay (1989) bu birimi Zeytinyayla formasyonu olarak adlandırmış ve ilksel olarak Sandak biriminin en üst kesimi olmasının mümkün olabileceğini ifade etmiştir.



**Şekil 2.6:** Çatalcatepe kireçtaşlarından görünüm (Çakıroluk kaynağı güneyi).

**Honaz ofiyoliti:** Harita alanında (Şekil 2.1) ancak dar alanlarda yüzeyleyen birim Honaz Dağı’nın doğusunda geniş yayılım gösterir. Bölgedeki nap istifinin en üst tektonik birimini oluşturan Honaz ofiyoliti başlıca koyu yeşil renkli serpantinleşmiş peridotitlerden yapıdadır (Okay 1989). Yaşı Kretase olarak kabul edilmiştir (Gündoğan ve diğ. 2008).

### 2.1.1.3 Supra-allokon Örtü Birimleri

İnceleme alanının güney kesiminde geniş yayılım gösteren supra-allokon örtü birimleri Akçay Grubu'nun Oligosen yaşlı Karadere ve Mortuma formasyonları ve Eosen yaşlı Naldöken formasyonu ile temsil edilir.

**Karadere formasyonu:** Karadere formasyonu koyu kırmızı ve zeytin yeşili renkte izlenir. Alttan üste çok kötü boylanmalı çakıltaşı ve çamurtaşı, çapraz ve paralel katmanlı çakıltaşı ve kumtaşı, paralel katmanlı çakıltaşı, paralel laminalı ve çapraz tabakalı kumtaşı ve ince tabakalı çamurtaşından oluşan formasyondaki çakıltaşları başlıca ofiyolit, mermer ve kireçtaşlarından türemiştir (Hakyemez 1989) (Şekil 2.7a). Çökelme ortamı gerileyen alüvyon yelpazesi olarak kabul edilen formasyon en fazla 425 m kalınlığa sahiptir (Hakyemez 1989).

**Mortuma formasyonu:** Karadere formasyonu üzerinde geçişli dokanakla bulunan Mortuma formasyonu sarımsı kahverengi ve gri renkli, paralel ve çapraz tabakalı çakıltaşı ve kumtaşı ardalanması, sarımsı kahverengi, gri ve yeşil renkli çakıltaşı, çapraz, paralel tabakalı ve laminalı kumtaşları, linyitli ince silttaşları ve kumtaşı arakatlı kilttaşlarından oluşur (Hakyemez 1989) (Şekil 2.7b). Kalınlığı 2500 m civarında olan formasyon örgülü (en alttaki 180 metrelik kısım) ve menderesli akarsu ortamında çökelmiştir (Hakyemez 1989).



**Şekil 2.7:** (a) Karadere formasyonunun çakıltaşları (koordinat: 29°09'27.82"D–37°40'31.76"K) ve (b) Mortuma formasyonundan (koordinat: 29°09'28.20"D–37°40'14.58"K) görünümüler.

**Naldöken formasyonu:** Naldöken formasyonu genel olarak Tavas ve Babadağ naplarının Paleosen-Eosen yaşlı kayaçları üzerinde düşük açılı bir bindirmeyle gelir (Konak 2003, Çakmakoglu 2017). Olasılıkla Orta-Üst Eosen yaşlı olan ve olistostromal breşik karakterli çökellerden oluşan formasyondaki malzemeler başlıca alttaki Babadağ, Akbabatepe ve Bodrum naplarına ait mermer, kireçtaşı, dolomit ve ofiyolitik kayaçlardan türemiştir (Konak 2003, Çakmakoglu 2017).

#### 2.1.1.4 Otokton Örtü Birimleri

İnceleme alanında otokton örtü birimleri Üst Pliyosen yaşlı Kolankaya formasyonu ile alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve traverten birimlerinden oluşan Kuvaterner yaşlı çökellerle temsil edilir.

**Kolankaya Formasyonu:** Kolankaya formasyonu inceleme alanının kuzeybatı, kuzeydoğu ve orta kesimlerinde yayılım göstermektedir. Formasyon açık gri, yeşilimsi renkte çakıltaşı, kumtaşı, jipsli kumtaşı, siltaşı, kiltası, kumtaşı-kiltası arakatkılı killi kireçtaşı ve marn birimleri ile bunların ardalanmasından oluşmaktadır (Şekil 2.8a ve b). Egemen litoloji kumtaşıdır. Kumtaşları genellikle bol mikalıdır. Birim bol Mollusk (*Bivalvia*) fosillidir. Güney kesimde kalınlığı 500 metreye ulaşan birim sığ-derin göl ve kıyı alüvyon yelpazesi ortamında çökelmiştir (Alçiçek 2007). Formasyonun yaşı Üst Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Yalçınlar 1983, Kaymakçı 2006).



**Şekil 2.8:** (a) Kolankaya formasyonunun çakıltaşları (koordinat: 28°57'52.84"D-37°48'13.17"K) ve (b) kumtaşı-silttaşı-kiltası-marn ardalanması (koordinat: 28°57'55.09"D-37°48'18.27"K).

**Traverten:** Kuvaterner yaşlı travertenler inceleme alanının kuzeydoğu kesiminde geniş bir yayılım gösterir. Fissür sırtı, fay önü ve yamaç tipi gibi değişik morfolojilerde gözlenen travertenler inceleme alanının doğusundaki bazı kesimlerde 100 m.yi aşan kalınlığa sahiptir ve yer yer alüvyal birimlerle ardalanmalıdır (yayımlanmamış DSİ sondaj verileri). Genellikle başlıca Honaz Fayı önündeki fay ve açılma çatlakları yoluyla Mesozoyik karbonatlı kayaçlarından boşalan karstik, yüksek debili ve kalsiyum bikarbonatça zengin termal sulardan ( $> 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) çökelmişlerdir (Gökgöz ve diğ. 2022, Özkul ve diğ. 2013). Gökpınar kaynağı civarında ise soğuk kaynak sularından çökelmiş tufa gözlenmektedir (Özkul ve diğ. 2021).

**Alüvyon:** Çalışma alanında özellikle Çürüksu Çayı boyunca geniş yayılım gösteren ve kalınlığı 150 m.ye kadar ulaşabilen (yayımlanmamış DSİ sondaj verileri) Kuvaterner alüvyon orta-kötü boylanmalı çakıl, kum, silt ve kilden yapılıdır.

**Alüvyon yelpazesi:** Babadağ ve Honaz fayları boyunca tavan bloklarında oldukça geniş yayılım sunarlar. Kuvaterner yelpaze çökelleri kötü-çok kötü boylanmalı blok, çakıl, kum, silt ve kilden oluşur. Oldukça büyük boyutlu olan sıralı yelpazeler genellikle birleşmişlerdir ve dolayısıyla birbirleriyle yanal geçişler gösterirler. Honaz civarında, yelpaze eğimleri apekte  $10\text{--}15^{\circ}$ , uç kısımlarda ise  $2\text{--}5^{\circ}$ 'dir (Bozkuş ve diğ. 2001).

**Yamaç Molozu:** Özellikle Babadağ ve Honaz fayları ile diğer yüksek açılı fayların önünde gözlenir. Kuvaterner yaşlı yamaç molozları genellikle taban bloğundaki karbonatlı kayaçlardan türemiş olan kötü boylanmalı malzeme içerirler.

## 2.2 Yapısal Jeoloji

Türkiye Alp-Himalaya orojenik kuşağı içinde yer almaktadır. Bölge, Tetis'in evrimi ile ilişkili olarak paleotektonik ve neotektonik dönemlerde sırasıyla sıkışma ve genişleme tektoniği yaşamıştır. İnceleme alanındaki naplar paleotektonik dönemde gelişen yapısal unsurlardır ve en üstteki napın yerleşim yaşı Orta Eosen sonrasıdır (Alan ve diğ. 2019). Neotektonik dönem Tortoniyen'de (yaklaşık 12 my) Afrika-Arap ve Avrasya levhalarının Bitlis kenet kuşağı boyunca çarpışmasıyla



başlamıştır. Bu çarpışma, bölgede, yitim, orojenez, kabuk genişlemesi ve büyük ölçekli doğrultu atımlı faylanmayı sonuçlamıştır. Bu çarpışma sonucunda Doğu Anadolu sıkışmış, kıtasal kabuk kalınlığı artmış ve sonuç olarak Kuzey ve Doğu Anadolu doğrultu atımlı fayları meydana gelmiştir. Bu faylarla sınırlanan Anadolu levhası Doğu Anadolu'daki sıkışma etkisiyle batıya itilmiştir. Yunan makaslama zonu tarafından bu batıya hareketin önlenmesiyle Batı Anadolu'da doğu-batı yönlü bir sıkışma rejimi ortaya çıkmıştır. Levant okyanus kabuğunun Anadolu levhası altına dalmasıyla da Menderes masifi altında bir anateksis zonu ve masife ait intrüzyonlar gelişmiş ve Menderes masifi yükselmiştir (Şengör ve Yılmaz 1981). Yaklaşık doğu-batı yönlü bu sıkışma sonucunda Batı Anadolu'da D–B, KD–GB ve KB–GD doğrultulu horst-graben yapıları gelişmiştir (Şengör ve diğ. 1985, Taymaz ve diğ. 1991, Jackson 1994, Bozkurt 2001, Sözbilir 2002, Koçyiğit 2005, Kaymakçı 2006, Koçyiğit ve Deveci 2007). Bu graben-horst sistemlerinden biri de çalışma alanının içinde yer aldığı 62 km uzunluk ve 7–28 km genişlikteki Denizli graben-horst sistemi (DGHS)'dir (Şekil 2.9) (Koçyiğit 2005).



Şekil 2.9: DGHS içinde çalışma alanının konumu

İnceleme alanındaki başlıca yapısal öğeler naplar, eğim atımlı normal faylar ve kıvrımlardır.

### **2.2.1 Naplar**

İnceleme alanında özellikle Honaz Dağı civarında ve Denizli il merkezi güneyine naplar ve bindirme fayları egemendir. Honaz Dağı civarındaki naplar Okay (1989) tarafından incelenmiş ve aşağıda özetlenmiştir:

Bölgede gözlenen nap silsilesinin en altında Honaz şeyli yer alır. Honaz şeylinin üzerinde tektonik dokanakla Menderes Masifinin Mesozoyik örtü birimi bulunur. Masifin üzerinde tektonik dokanakla Likya naplarına ait Sandak birimi ve en üstte de Honaz ofiyoliti yer alır. Honaz ofiyolitinin Sandak birimi üzerine yerleşim yaşına ilişkin veri olmamasına karşın Toros'lardaki ofiyolitler göz önüne alınarak Geç Kretase kabul edilebilir. Aynı şekilde Sandak biriminin Menderes Masifi üzerine bindirmesinin inceleme alanı dışındaki verilere göre Orta Eosen'de olduğu söylenebilir.

### **2.2.2 Eğim Atımlı Normal Faylar**

DGHS'de, eğim atımlı normal faylar basamaklı bir yapı kazanmışlardır. Fayların eğimi genellikle 50° ile 80° arasında olup fay hatlarının uç kısımlarında ve onların gerilmeli sıçrama zonlarında açılma çatlakları bulunmaktadır (Çakır 1999).

Bölge, KB-GD yönündeki sıkışmadan sonra gerilmeye maruz kalmış ve bunun sonucunda, Akitanıyen'den sonra, KD-GB ve BKB-DGD gidişli normal faylar oluşmuştur (Okay 1989). Çalışma alanındaki başlıca normal faylar Honaz ve Babadağ faylarıdır.

Honaz Fayı zonu 15 km uzunluğundadır ve güncel grabeni güneyden sınırlar (Okay 1989, Bozkuş ve diğ. 2001, Aydan ve diğ. 2005, Koçyiğit 2005, Kaymakçı 2006, Gündoğan ve diğ. 2008, Özkul ve diğ. 2013). Fayın doğrultusu yaklaşık D-B fay zonunun genişliği 500 m ile 2 km arasında değişmektedir (Özkaymak 2015).

Honaz Fayı, termal su çıkışları (Gökgöz ve diğ. 2022), alüvyon yelpazeleri ve büyüklüğü 5.7 (Ms)'ye (13.06.1965) ulaşan deprem aktivitesinin (KOERİ 2021) işaret ettiği üzere aktif bir faydır.

Babadağ fayı yaklaşık 50 km toplam uzunluğa sahiptir. Doğrultusu K80°B ile K45°B arasında değişir ve yaklaşık 35° – 45° KD'ya eğimlidir (Hançer 2013). Babadağ Fayı Denizli grabenini güneybatıdan sınırlayan aktif bir faydır. Fay boyunca gözlenen alüvyon yelpazeleri, ürettiği depremler (1976'da M = 5,0 ve 5,3) (Hançer 2013) ve inceleme alanı dışında fayın batı uzantısındaki yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalara (Şimşek 1984) bunun bir göstergesidir.

### **2.2.3 Kıvrımlar**

Honaz Dağı civarında napların yerleşimini takiben meydana gelen KB–GD yönlü sıkışma, neticesinde KKD–GGB gidişli, batıya dalımlı bindirmelerin ve aynı yönde, doğuya devrik büyük ölçekli kapalı izoklinal kıvrımların oluşmasını sonuçlamıştır (Okay 1989). İnceleme alanında Honaz Dağı boyunca gözlenen ve çekirdeğinde Honaz şeyli, kanatlarında ise Menderes masifinin Mesozoyik örtü birimleri bulunan büyük ölçekli bir antiklinal mevcuttur (Şekil 2.1). Bu antiklinal, eksen uzunluğu yaklaşık 10 km olan K–G gidişli, doğuya devrik bir kapalı antiklinal olup antiklinal devrik kanadı boyunca yırtılmıştır (Okay 1989).

### 3. İKLİM ÖZELLİKLERİ

Bu bölümde çalışma alanının hidroklimatolojik karakteristiklerini ortaya koyabilmek amacıyla Denizli il merkezinin 1957-2021 yılları arasındaki aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Bu veriler değerlendirilerek çalışma alanının iklim tipi belirlenmiş ve su bilançosu hazırlanmıştır.

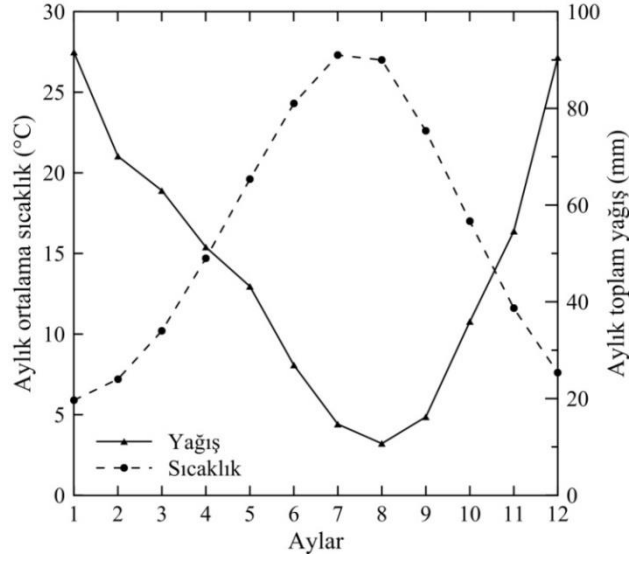
#### 3.1 Yağış ve Sıcaklık

Denizli il merkezi meteoroloji istasyonu için 1957-2021 yılları arasındaki aylık sıcaklık ve aylık toplam yağış ortalamaları Tablo 3.1’de, bu değerlerin karşılaştırılması ise Şekil 3.1’de verilmiştir. Buna göre en fazla yağış Ocak (91,6 mm) ve Aralık (90,5 mm) aylarında, en az yağış Ağustos (10,7 mm) ayında gözlenmektedir. En yüksek sıcaklık Temmuz (27,3 °C) ve Ağustos (27,0 °C) aylarında, en düşük sıcaklık ise Ocak (5,9 °C) ayında kaydedilmiştir (Tablo 3.1). Günlük toplam en yüksek yağış 105,6 mm ile 09.07.1995, en yüksek kar 38 cm ile 06.01.2002 tarihinde görülmüştür. Uzun dönemde kaydedilen maksimum ve minimum hava sıcaklığı değerleri sırasıyla 44,4 °C (15.08.2007) ve -11,4 °C (09.02.1965) olmuştur.

**Tablo 3.1:** Denizli il merkezi meteoroloji istasyonu için 1957-2021 yılları arasındaki aylık sıcaklık ve toplam yağış ortalamaları.

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	YILLIK
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	5,9	7,2	10,2	14,7	19,6	24,3	27,3	27,0	22,6	17,0	11,6	7,6	16,2
Yağış ( mm)	91,6	70,1	63	51,3	43,2	26,9	14,7	10,7	16,2	35,9	54,6	90,5	568,70





**Şekil 3.1:** Denizli il merkezi için 1957-2021 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin karşılaştırılması.

## 3.2 Su Bütçesi

İnceleme alanının su bütçesi hesaplamaları Thornthwaite (1948) ve Turc (1961) yöntemleriyle yapılmıştır.

### 3.2.1 Thornthwaite Yöntemi

Bu yöntemde aylık potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) eşitlik (3.1) ile hesaplanır:

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

Formülde

Etp = aylık potansiyel buharlaşma-terleme miktarı (mm),

t = aylık sıcaklık ortalaması (°C),

I = sıcaklık indisi ( $\sum i$ )'dir.

$$i = \left(\frac{t}{5}\right)^{1,514},$$

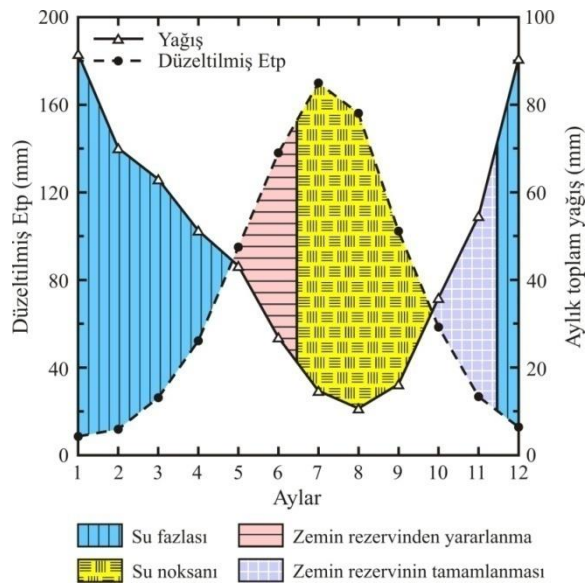
$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \times I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} \times I + 0,492$$

şeklindedir.

Thorntwaite yöntemiyle hesaplanan aylık potansiyel buharlaşma-terleme değerleri Denizli meteoroloji istasyonunun bulunduğu enlem (37°47') göz önüne alınarak enlem düzeltme katsayıları ile çarpılmış ve düzeltilmiş Etp değerleri elde edilmiştir. Bu yöntemle, 1957-2021 yılları arasında yıllık düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etp) 858,47 mm, yıllık gerçek buharlaşma-terleme (Etr) ise 385,21 mm olarak hesaplanmıştır (Tablo 3.2). Mart ayı sonuna kadar yağış Etp'den fazla olduğundan Ocak, Şubat ve Mart aylarında Etp, Etr'ye eşit olur. Bu aylarda toplam yağış fazlası Yağış fazlası 177,98 mm'dir. Yağışın bir kısmı yüzeysel akışa geçerken bir kısmı da yeraltına süzülür. Mart 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 (tarım su açığı) vardır. Etp'nin yağıştan fazla olduğu kurak dönemde Etp 772,16 mm ve yağış 198,90 mm'dir. Buna göre su noksanı:

$$772,16 - (198,90 + 100) = 473,26 \text{ mm}$$

olur. Kasım ayından itibaren yağış Etp'den fazladır. Aralık ayı ortalarında fazla yağış zemin rezervini tamamlar. Bu hesaplamalara göre yıllık toplam yağışın %67,7'sine karşılık gelen 385,21 mm, buharlaşma-terleme ile atmosfere geri dönmektedir. Ocak, Şubat, Mart ve Aralık aylarında görülen su fazlası toplam yağışın %32,3'üdür. Bu durumda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında tarımsal sulamaya ihtiyaç vardır (Tablo 3.2, Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Denizli il merkezi için su bilançosu diyagramı (1957-2021 yılları arası).

**Tablo 3.2:** Denizli il merkezi deneştirmeli su bilançosu.

METEOROLOJİK ELEMENLAR	AYLAR (1957-2021, 65 yıl)												YILLIK
	Ocak	şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
Aylık ortalama sıcaklık (°C)	5,9	7,2	10,2	14,7	19,6	24,3	27,3	27,0	22,6	17,0	11,6	7,6	16,2
Aylık endeks (i)	1,285	1,737	2,943	5,118	7,911	10,954	13,065	12,848	9,815	6,378	3,576	1,885	77,51
Etp (mm)	10,06	14,12	25,51	47,48	77,42	111,55	135,95	133,42	98,61	60,78	31,75	15,47	762,13
Düzeltilme katsayısı	0,8525	0,84	1,03	1,1	1,2275	1,2375	1,25	1,17	1,0375	0,9625	0,8425	0,83	
Düzeltilmiş Etp (mm)	8,58	11,86	26,28	52,23	95,03	138,04	169,94	156,11	102,31	58,50	26,75	12,84	858,47
Yağış ( mm)	91,6	70,1	63	51,3	43,2	26,9	14,7	10,7	16,2	35,9	54,6	90,5	568,70
Zemin rezerv değişimi (mm)				-0,93	-51,83	-47,24					27,85	72,15	
Zemin rezervi (mm)	100	100	100	99,07	47,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	27,85	100	
Etr (mm)	8,58	11,86	26,28	52,23	95,03	74,14	14,70	10,70	16,20	35,90	26,75	12,84	385,21
Tarım su açığı (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	63,90	155,24	145,41	86,11	22,60	0,00	0,00	473,26
Su fazlası (mm)	83,02	58,24	36,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,51	183,49

### 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

$$L = 300 + 25 \times t + 0,05 \times t^3$$

bağıntısıyla verilen bir katsayıdır.

İnceleme alanı için P = 568,70 mm, t = 16,2 °C'dir. Buradan L katsayısı

$$L = 300 + 25 \times 16,2 + 0,05 \times 16,2^3 = 300 + 427,75 + 250,45 = 917,58$$

olarak bulunur. Buna göre 1957-2021 yılları arasındaki yıllık Etr değeri Turc yöntemiyle 501,85 mm olarak hesaplanmıştır.

### 3.3 İklim Tipi

Denizli ve yakın civarı yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı Akdeniz iklimi ile yazları sıcak ve kurak, kışları yağışlı ve soğuk olan karasal İç Anadolu iklimi arasındaki geçiş kuşağında bulunmaktadır. İnceleme alanının iklim tipi Thornthwaite (1948) sınıflamasına göre yapılmıştır. Bu sınıflamada iklim tipi nemlilik indisi, sıcaklık şartları, yağış rejimi ve sıcaklık rejimine göre belirlenir ve bu parametrelerin belirlenmesinde Tablo 3.2'deki değerlerden yararlanılır.

Nemlilik indisi ( $I_m$ ) eşitlik (3.3) ile hesaplanır.

$$I_m = \frac{100 \times s - 60 \times d}{n} \quad (3.3)$$

Bağıntıda,

$s$  = Aylık su fazlasının yıllık toplamı,

$d$  = Aylık su noksanının yıllık toplamı ve

$n$  = Düzeltilmiş Etp'nin yıllık değeridir.

İnceleme alanı için nemlilik indisi

$$I_m = \frac{100 \times 183,49 - 60 \times 473,26}{858,47} = \frac{18349 - 28396}{858,47} = -11,70$$

olarak hesaplanmıştır. Bu değer kurak-yarı nemli bir iklim tipini (**C1**) belirler. Sıcaklık şartlarına göre yıllık Etp değeri olan 85,847 cm “mezotermal” (**B'3**) tipe karşılık gelir. Yağış rejimine göre kurak iklimlerde humidite indisi ( $I_h$ ) eşitlik (3.4) ile hesaplanır:

$$I_h = \frac{100 \times s}{n} \quad (3.4)$$

Bu bağıntıyla hesaplanan humidite indisi 21,37'dir ve bu değer “kışın çok kuvvetli su fazlası”nı gösterir (**s2**). Son olarak sıcaklık rejimine göre yazlık Etp/yıllık Etp oranı olan %54 değeri ( $464,09 / 858,47$ ) okyanusala daha yakın (**b'3**) iklim tipine işaret eder. Bu hesaplamalar sonucunda Denizli il merkezi için iklim tipi simgesi **C1**, **B'3**, **s2**, **b'3** olarak belirlenmiştir. Bu simge yarı kurak-az nemli, 3. derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan, okyanusala daha yakın iklim tipini tanımlar.

## 4. HİDROJEOLOJİ

### 4.1 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

#### 4.1.1 Geçirimli Birimler

*Menderes Masifi'nin mermer, rekristalize kireçtaşı, kuvarşist, kalkşist ve kuvarsitleri:* İnceleme alanının GB'sında yaygın olan Paleozoyik yaşlı kuvarsit, kuvarşist ve kalkşistler çok kırıklı, çatlaklı ve boşluklu yapısı nedeniyle geçirimlidir. Bu birimlerden gelen kaynaklar genellikle düşük debili olup mermerlerden de beslenen Ornaz kaynağı en yüksek debili kaynaktır (<50 l/s). İnceleme alanı GD'sunda geniş yayılım sunan Yılanlı formasyonunun rekristalize kireçtaşları bol kırıklı, çatlaklı ve çatlak ve katman yüzeyleri boyunca ilerlemiş karstik boşluklara sahiptir. Bu nedenle ikincil gözeneklik ve geçirgenliği yüksektir. Ayrıca birimin kalın (görünür kalınlık 1500 m) ve yayılımının geniş olması depolama hacminin yüksek olmasını sağlar. Birimin yağmur suyu dışında kış ve ilkbahar aylarında Honaz Dağı'nı örten ve yaz aylarında eriyen kar örtüsünden de beslenir. Bu faktörler birime verimli bir karstik akifer özelliği kazandırmıştır. Formasyondaki kırık ve çatlak sistemleri ile çözünme boşlukları yeraltı suyunun beslenmesinde ve dolaşımında önemli rol oynar (Özler 1996). Bu akiferdeki yeraltı suları Honaz ve Pınarkent civarında Honaz fayı ve ovadaki gömülü faylar boyunca Pınarbaşı, Kazanpınar ve Böceli gibi yüksek debili karstik kaynaklardan boşalırlar. Ayrıca Honaz Dağı'nın yüksek kotlarında bulunan bazı kaynaklar Honaz ilçe merkezine içme suyu sağlamaktadır. Honaz Fayı'nın tavan bloğunda, fay düzlemine yakın lokasyonda açılan ve Yılanlı formasyonunu kesen sondajlar pozitif artezyen özelliğinde olup verimleri yüksektir (Gökgöz ve diğ. 2022).

*Tavas napının mermer ve dolomitik mermerleri:* Tavas napında gözlenen çörtlü mermer, dolomitik mermer ve kalkşistleri ikincil gözeneklik ve geçirgenliğe sahiptir. Birimin alüvyal birimlerle olan dokanağında az sayıda kaynak vardır.

Babadağ fayının tavan bloğunda fay düzlemine yakın noktalarda açılan sondajlardan bu birimden boşalan yeraltı suyu alınmaktadır.

***Bodrum napının Sandak birimi:*** Sandak biriminin Gereme formasyonuna ait dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile Çatalcatepe kireçtaşları oldukça kırıklı, çatlaklı ve karstiktir ve bu özellikleri nedeniyle verimli bir akifer oluştururlar. İnceleme alanı dışında, Malı Dağı güneyindeki ve Aşağıdağdere Köyü batısındaki (Kelkaya kaynağı) yüksek debili kaynaklar bu birimden boşalır. İnceleme alanında ise Honaz Dağı'nın batısında bu birimden boşalan en önemli karstik kaynak Gökpınar kaynağıdır (~500 l/s). Birim içinde flişin yaygın olduğu kesimler ile hem fliş hem de kireçtaşlarının Oligosen yaşlı birimlerle olan dokanaklarından düşük debili kaynak çıkışları vardır.

***Traverten:*** Travertenler kırıklı, çatlaklı ve faylı bir yapıya sahiptir. Süreksizlik düzlemleri boyunca çözünme boşlukları gelişmiştir. DSİ sondaj verilerine göre çakıltası ara düzeyleri içeren travertenlerin toplam 90 m. kalınlığa eriştiği anlaşılmaktadır (Önhon ve diğ. 1988). Birim, özelliğindedir. Travertenlerde çatlakların yanı sıra çözünme boşluklarının da gözlenmesi, birimin iyi bir karstik akifer özelliğinde olduğunu göstermektedir (Önhon ve diğ. 1988). Çalışma alanının doğu kesiminde açılan DSİ sondajlarından bazıları ya tümüyle ya da değişik derinliklerde farklı kalınlıklarda traverten kesmiş ve bu sondajlardan yüksek verim alınmıştır.

***Alüvyon ve alüvyon yelpazesi:*** Yağış suları ile doğrudan ve Mesozoyik kireçtaşlarından boşalan yeraltı suları ile de dolaylı olarak da beslenen alüvyon ve alüvyon yelpazeleri çalışma alanındaki en önemli gözenekli akiferlerdir. Kalınlığı 150 m'ye ulaşan alüvyonun çakıllı ve kumlu düzeylerinden bol miktarda su alınabilir. Alüvyon yelpazelerinin alt düzeylerinde yer yer killi seviyeler olduğundan akifere yarı basınçlı bir özellik kazandırmaktadır. Alüvyon yelpazelerinin memba tarafında iri çakıllar egemendir ve bu kesimde açılan kuyulardan bol miktarda su alınmaktadır (Önhon ve diğ. 1988).

#### 4.1.2 Yarı Geçirimli Birimler

**Zeybekölen Formasyonu:** Formasyonun karbonatlı şeyl ve şeyl düzeyleri geçirgenliği kısıtlamakta ve şeyllerin üzerine düşen yağış suları yüzeysel akışa geçmektedir. Çatlaklı kireçtaşlarının yeraltı suyu hareketine izin vermesine karşın yeraltı suyu akımını sınırlayan şeyl düzeyleri nedeniyle formasyon yarı geçirimli olarak değerlendirilmiştir.

**Karadere ve Mortuma formasyonları:** Molas karakterinde olan bu formasyonların çakıltaşı ve kumtaşı düzeyleri yeraltı suyu içerir. Karataş civarında bu birimden boşalan az sayıda düşük debili kaynak vardır ve yörede açılan sondajlarla çakıltaşı ve kumtaşı düzeylerinden yeraltı suyu alınmaktadır. Ancak silttaşı ve çamurtaşı seviyeleri bu formasyonlardaki yeraltı suyu hareketini kısıtlar.

#### 4.1.3 Geçirimsiz Birimler

**Honaz Şeyli ve Honaz Ofiyoliti:** Honaz şeyli geçirimsizdir. Üzerindeki Yılanlı formasyonunun karstik rekristalize kireçtaşları altında geçirimsiz bir taban oluşturur ve bu kireçtaşlarındaki yeraltı sularının havzaya yönelmesini ve karstik kaynakları beslemesini sağladığından önem taşır. Honaz ofiyoliti, baskın olarak aşırı ayrılmış ve serpantinleşmiş peridotitlerden yapılıdır ve geçirimsizdir. Yersel olarak yüzeyden az bir derinliğe kadar yeraltı suyu taşıyabilen birimde düşük debili ve sürekli olmayan kaynaklar mevcuttur.

**Naldöken Formasyonu:** Formasyonun kötüboylanmalı ve siltli, killi litolojilerin baskın olması nedeniyle geçirimsiz olarak kabul edilmiştir. Arazi çalışmalarında bu formasyondan boşalan bir kaynak gözlenmemiştir.

**Kolankaya Formasyonu:** Baskın olarak kumtaşı, marn ve kilitaş ardalanmasından oluşan formasyondaki süreksizliklerin geçirgenliğe etkisi yok denecek kadar azdır ve bu formasyondaki çok ince dokuda dentritik drenaj ağı geçirimsizliğin göstergesidir (Şimşek 1984). Aynı zamanda bu formasyon Denizli jeotermal sahalarında jeotermal rezervuar üzerinde geçirimsiz örtü kayayı oluşturur.



Ancak bu formasyonun komşu karstik akiferlerden yanal olarak beslenen lokasyonlarında çakıltası ve kumtaşı düzeyleri yanal yeraltısuyu hareketine izin verir.

## 4.2 İçme Suyu Kaynak ve Sondajları

Günümüzde Denizli il merkezinin içme ve kullanma suyu ihtiyacı, bir kısmı karstik olan 36 adet kaynak ve derinlikleri 74 ile 260 m arasında değişen 91 adet aktif sondajdan karşılanmaktadır (Tablo 4.1). Debisi en yüksek içme suyu kaynakları Gökpınar, Derindere, Erceviz, Yukarı Santral, Pınarbaşı ve İsrafil kaynaklarıdır. Bu kaynakların son 1 yıllık ortalama debileri 15 l/s ile 500 l/s arasında değişmektedir. Diğer 36 kaynağın toplam debisi ise ortalama 364 l/s'dir. Günümüzde faal olan 91 sondaj kuyusunun toplam debisi 1261 l/s olup kaynaklarla birlikte toplam debi 2685 l/s olmaktadır. Sondaj ve kaynaklardan sisteme günde 231.120 ton su verilmekte olup kullanılan su miktarı ise 143.158 ton olmaktadır. Başka bir deyişle yaklaşık olarak %38 oranında su kaçağı vardır. Şimdilik yeterli görünse de Denizli il merkezinin yakın gelecekte içme suyu problemi yaşaması olasıdır.

**Tablo 4.1:** Denizli il merkezine içme suyu sağlayan kaynak ve sondajların ortalama debi değerleri.

<b>Kaynaklar ve Sondajlar</b>	<b>Son 1 yıllık ortalama debi (l/s)</b>
Gökpınar Kaynağı	500
Derindere Kaynağı	150
Ornaz Deresi Erceviz Kaynağı	65
Yukarı Santral Kaynakları	130
Bağbaşı Pınarbaşı Kaynakları	200
İsrafil Kaynağı	15
Diğer Kaynaklar: Çalışma alanı içerisinde toplam 36 adet kaynak bulunmaktadır.	364
Sondajlar:Denizli kent merkezinde faal 91 kuyu vardır.	1261
<b>TOPLAM DEBİ (l/s)</b>	<b>2685</b>

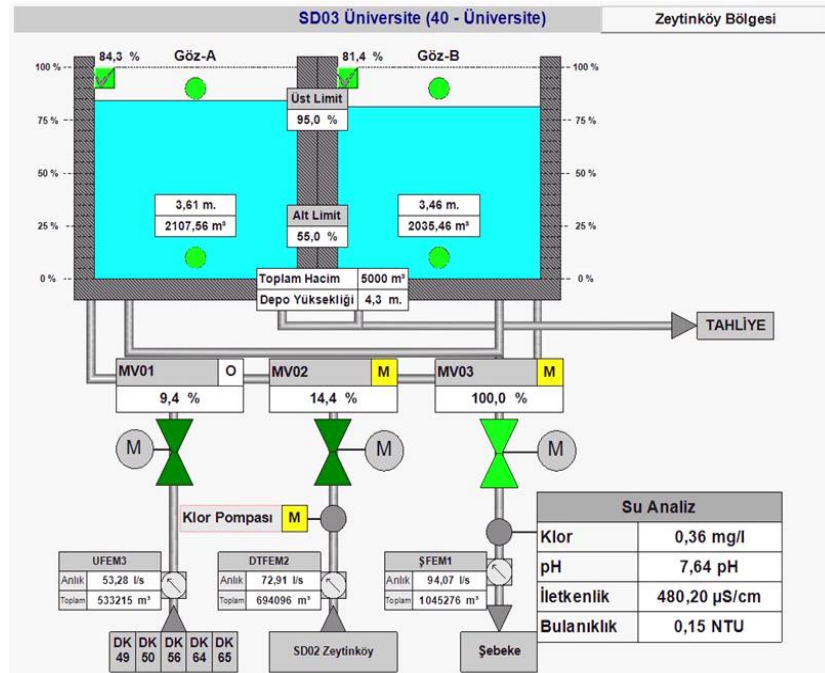
2016 yılında merkezi DESKİ Genel Müdürlüğü binasında olan SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition - Gözetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi) sistemi kurulmuştur. SCADA sistemi ile 8 adet pompa istasyonu, 82 adet derin kuyu, 55 adet su deposu anlık olarak izlenebilmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2). Denizli içme suyu SCADA sisteminde Dünya standartlarında Ethernet altyapılı

DNP3 haberleşme protokolü kullanılmıştır. Gerekli bilgiler GSM modemler üzerinden bu protokol kullanılarak SCADA merkezine gönderilmektedir.

SCADA sistemi ile içme suyu deposuna iletilen suların anlık klor, pH, iletkenlik, bulanıklık analizleri, ilgili şebekeye verilen su miktarı, şebekedeki basınç salınımları, içme suyu deposunun doluluk oranına göre ilgili derin kuyunun otomatik olarak çalıştırılması, oluşan ya da oluşabilecek arızaların sistemden önceden tespit edilmesi gibi birçok uygulama SCADA uzaktan izleme ve kontrol sistemi ile etkin şekilde kullanılmaktadır.



Şekil 4.1: SCADA izleme odası.



Şekil 4.2: SCADA sistemi ile izlenen içme suyu deposuna ait arayüz ekranı.

#### 4.2.1 Kaynaklar

Denizli il merkezi içme suyu kaynakları genellikle Mesozoyik kireçtaşlarından boşalan karstik kaynaklardır. Bu çalışma kapsamında örneklenen içme suyu kaynakları Gökpinar, Cankurtaran-2, Canyarık, Denizcik, Pınarbaşı ve Ornaz kaynaklarıdır. Bu içme suyu kaynakları dışında, havzanın su bölüm hattında yer alan 1620 m kotundaki Çakıroluk kaynağı da örneklenmiştir. Örneklenen kaynakların örnekleme anındaki debileri SCADA sisteminden ya da belirli hacim-zaman yöntemiyle ölçülmüştür. Kaynakların kotları ve örnekleme anındaki debi değerleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Kotları 377 ile 1620 m arasında olan bu kaynakların ölçülen debileri 2,5 ile 409 l/s arasında olmuştur. Gökpinar kaynağının 20.10.2020 tarihindeki debi değeri 409 l/s iken, 30.11.2020 tarihindeki debisi 142 l/s artarak 551 l/s’ye yükselmiştir. Pınarbaşı kaynakları Bağbaşı Mahallesi’nde birbirine yakın 5 noktadan çıkmaktadır ve Tablo 4.2’de verilen debi değeri bu 5 kaynağın toplam debisidir. Honaz Dağı’nın fay düzlemi önünden çıkan ve içme suyu olarak kullanılmayan diğer bir karstik kaynağın adı da Pınarbaşı kaynağıdır. Bu kaynağın debisi genellikle 1000 l/s’nin üzerindedir ve sulamada kullanılmaktadır. Bu çalışmada örneklenen aynı isimli içme suyu kaynağı ise Bağbaşı Mahallesi’ndeki Pınarbaşı kaynaklarıdır. Örneklenen kaynaklardan bazılarının görünümüne Şekil 4.3-4.7’de verilmiştir.

**Tablo 4.2:** Denizli il merkezine içme suyu sağlayan (Çakıroluk kaynağı ve DS-19 kodlu sondaj hariç) kaynak ve sondajların kotları ve örnekleme anındaki debi değerleri.

No	Adı	Kot (m)	Örnekleme Tarihi	Debi (l/s)	No	Adı	Kot (m)	Örnekleme Tarihi	Debi (l/s)
1	Gökpinar	583	20.10.2020	409	14	DS-7	488	20.10.2020	20
			30.11.2020	551	15	DS-8	495	26.10.2020	10
2	Cankurtaran-2	1057	20.10.2020	5	16	DS-9	493	26.10.2020	5
3	Pınarbaşı	377	03.11.2020	110	17	DS-10	487	03.11.2020	13,8
4	Canyarık	852	18.11.2020	40	18	DS-11	481	26.10.2020	14,5
5	Denizcik	840	18.11.2020	5	19	DS-12	439	20.10.2020	9
6	Ornaz	997	18.11.2020	50	20	DS-13	417	26.10.2020	5,75
7	Çakıroluk	1620	29.04.2022	2,5	21	DS-14	413	20.10.2020	11,64
8	DS-1	678	26.10.2020	4	22	DS-15	626	20.10.2020	9,9
9	DS-2	685	26.10.2020	5	23	DS-16	541	20.10.2020	6,5
10	DS-3	582	26.10.2020	8,5	24	DS-17	465	20.10.2020	15
11	DS-4	534	26.10.2020	3,1	25	DS-18	432	20.10.2020	30,5
12	DS-5	524	03.11.2020	18	26	DS-19	320	03.11.2020	5
13	DS-6	518	20.10.2020	15,5					



Şekil 4.3: Gökpınar kaynağından drone görüntüsü.



(a)



(b)

Şekil 4.4: (a) Cankurtaran kaynağı-2 kaptajı, (b) yöredeki insan ve hayvan ihtiyacı için kaynak suyunun verildiği çeşme.



(a)



(b)

Şekil 4.5: (a) Denizcik kaptajı, (b) yöredeki insan ve hayvan ihtiyacı için kaynak suyunun verildiği boru.





Şekil 4.6: Ornaz vadisi içindeki Ornaz kaynağı.



Şekil 4.7: Çakıroluk kaynağı kaptajı ve çeşmesi.

#### 4.2.2 Sondajlar

Denizli İl merkezi sınırları içerisinde İller Bankası, DSİ ve Denizli Büyükşehir Belediyesi tarafından açılmış çok sayıda kuyu vardır. Günümüz itibariyle faal sondaj sayısı 91'dir. Bu kuyular birçok farklı bağlantı ile şehir şebeke ve depolarını beslemektedir. Örneklenen sondaj kuyularının kotları 413 m ile 685 m ve örnekleme anında ölçülen debi değerleri 3,1 ile 30,5 l/s arasındadır. Sondaj kuyularından Kotu 320 m olan DS-19 nolu kuyu şahıs kuyusudur. Bu sondaj kuyularının çoğu 25 yıl ve daha öncesinde açılmıştır ve hiçbirinde kuyu teçhizi, jeoloji logu, düşüm ve yükselim testlerine ilişkin veriye ulaşamamıştır. Bazı sondaj

kuyuları için elde edilen açılma yılları, derinlikleri, açıldıkları tarihteki statik ve dinamik seviyeleri ile debileri Tablo 4.3’de sunulmuştur.

**Tablo 4.3:** Deniz il merkezine içme suyu sağlayan sondaj kuyularının açıldıkları tarihteki statik (S.S) – dinamik seviyeleri (D.S.) ve debi değerleri.

Kuyu No	Açılma Yılı	Derinlik (m)	S.S. (m)	D.S. (m)	Debi (l/s)
DS-1	1989	90	40	80	6
DS-3	-	180	-	90	10
DS-5	1986	150	67	68	30
DS-6	-	-	-	93	-
DS-8	1993	150	58	64	30
DS-9	-	250	-	63	12
DS-10	-	260	-	60	20
DS-11	1995	202	36	84	45
DS-12	-	-	-	65	-
DS-14	1987	100	1	32	25
DS-15	2014	200	146	180	15
DS-16	-	204	80	135	13
DS-18	2017	74	2	63	26

## **5. HİDROKİMYA**

### **5.1 İnceleme Alanı Sularının Kimyasal Özellikleri**

#### **5.1.1 Suların Sıcaklık, Elektriksel İletkenlik ve pH Değerleri**

İnceleme alanında, hidrojeolojik sistemin beslenme alanını temsil eden ve 840 m ile 1620 m arasındaki kotlardan boşalan Cankurtaran-2, Canyonik, Denizcik, Ornaz ve Çakıroluk kaynaklarının sıcaklıkları 9,6 ile 13,6°C, 297 ile 442 µS/cm ve pH değerleri 7,15 ile 8,13 arasında değişmektedir. Boşalım kotu 583 m olan Gökpınar kaynağı ile zemin kotları 320 m ile 685 m arasında değişen sondaj sularında bu değerler sırasıyla 13,9°C ile 21,0°C, 503 ile 890 µS/cm ve 7,11 ile 7,90 aralığındadır (Tablo 5.1).

#### **5.1.2 İnceleme Alanı Sularının Majör İyon ve Element İçerikleri**

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

Örneklenen sondaj ve kaynak sularının analiz sonuçları Tablo 5.2 ve 5.3'de verilmiştir.

**Tablo 5.1:** Örneklenen kaynak ve sondaj sularının, örnekleme tarihindeki sıcaklık, EC ve pH değerleri.

No	Adı	Sıcaklık (°C)	EC (µS/cm)	pH	No	Adı	Sıcaklık (°C)	EC (µS/cm)	pH
1	Gökpınar	13,9	663	7,48	15	DS-8	14,8	503	7,37
2	Cankurtaran-2	13,6	412	7,73	16	DS-9	19,0	539	7,32
3	Pınarbaşı	16,4	580	7,20	17	DS-10	16,1	546	7,51
4	Canyarık	11,9	442	8,08	18	DS-11	16,5	546	7,45
5	Denizcik	10,4	297	8,13	19	DS-12	16,6	659	7,63
6	Ornaz	11,3	432	7,78	20	DS-13	18,5	568	7,43
7	Çakıroluk	9,6	434	7,15	21	DS-14	17,7	560	7,71
8	DS-1	17,5	890	7,11	22	DS-15	17,2	555	7,49
9	DS-2	16,6	696	7,11	23	DS-16	16,6	531	7,51
10	DS-3	18,0	692	7,12	24	DS-17	16,6	560	7,50
11	DS-4	14,9	580	7,19	25	DS-18	16,5	509	7,90
12	DS-5	15,5	527	7,44	26	DS-19	21,0	884	7,46
13	DS-6	16,5	570	7,30	27	Yağmur suyu	17,2	61,5	8,56
14	DS-7	20,0	830	7,56					

### 5.1.3 İnceleme Alanı Sularının Sınıflaması

#### 5.1.3.1 Çözünmüş Toplam Katı Madde Miktarına Göre Sınıflama

Bu sınıflamada toplam iyon miktarları 1000 mg/l'den düşük sular “tatlı sular”, 1000-10.000 mg/l arasında olanlar “hafif tuzlu su” sınıfına girer. Buna göre, toplam iyon miktarları 254-779 mg/l arasında olan inceleme alanı suları “tatlı sular” sınıfına girer.

#### 5.1.3.2 Schoeller Sınıflaması

Schoeller, suları klorür, sülfat ve bikarbonat miktarlarına göre sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre inceleme alanı sularının tümü olağan klorürlü ( $rCl < 15$  mek/l), olağan sülfatlı ( $SO_4 < 6$  mek/l), DS-1, DS-2 ve DS-19 nolu sondaj suları “hiperkarbonatlı” ( $HCO_3 + CO_3 > 7$  mek/l) ve diğer sular “olağan karbonatlı” ( $2$  mek/l  $< HCO_3 + CO_3 < 7$  mek/l) sular sınıfına girmektedir.



**Tablo 5.2:** İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur suyunun iyon analiz sonuçları (mg/l) ve su tipleri (EN:Elektro-nötralite-%).

No	Adı	Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Li <sup>+</sup>	Br <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	EN	Su Tipi
1	Gökpınar	112,9	24,2	3,78	0,81	4,14	140,8	305,0	<0,02	9,64	0,26	0,05	0,19	<0,025	1,07	-2,43	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
2	Cankurtaran-2	68,9	15,6	3,17	1,13	2,09	24,9	245,8	<0,02	0,93	0,06	<0,02	0,14	<0,025	0,79	2,77	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
3	Pınarbaşı	92,5	22,9	6,49	1,16	8,99	14,5	345,6	<0,02	17,94	0,07	0,04	0,17	0,03	1,34	2,25	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
4	Canyarık	87,1	19,1	2,37	0,47	4,83	47,3	268,2	<0,02	0,32	0,03	0,03	0,14	0,23	1,07	4,40	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
5	Denizcik	44,3	12,3	1,31	0,43	1,91	8,9	183,7	<0,02	0,96	0,03	<0,02	0,07	0,04	0,54	0,28	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
6	Ornaz	68,3	14,6	1,39	0,49	2,13	17,9	244,2	<0,02	1,18	0,02	0,03	0,13	0,04	1,17	2,50	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
7	Çakıroluk	84,8	7,6	1,50	1,23	8,54	6,2	261,2	-	-	-	-	-	-	-	3,08	Ca-HCO <sub>3</sub>
8	DS-1	152,7	28,3	13,38	1,31	35,31	40,9	461,5	<0,02	43,09	0,07	0,07	0,32	<0,025	1,59	3,45	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
9	DS-2	102,9	36,5	6,72	1,19	12,20	17,9	441,8	<0,02	11,98	0,04	<0,02	0,26	0,03	1,33	2,66	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
10	DS-3	110,5	28,0	8,83	0,97	14,72	22,0	394,6	<0,02	36,70	0,03	<0,02	0,26	0,03	1,33	1,81	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
11	DS-4	90,9	27,6	4,51	1,04	6,94	22,1	367,1	<0,02	13,94	0,03	0,05	0,20	<0,025	1,06	0,92	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
12	DS-5	80,4	23,1	4,29	1,09	5,63	25,5	310,7	<0,02	11,15	0,04	0,04	0,17	0,03	1,34	1,33	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
13	DS-6	87,3	28,3	5,06	1,17	7,32	24,6	358,6	<0,02	13,91	0,03	0,05	0,19	<0,025	1,06	0,82	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
14	DS-7	99,0	45,3	21,43	1,65	19,69	204,9	263,2	<0,02	4,90	0,36	0,07	0,25	0,03	1,33	2,26	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
15	DS-8	70,8	27,6	4,29	1,22	6,33	22,2	304,0	<0,02	12,97	0,02	0,05	0,19	0,03	1,06	1,61	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
16	DS-9	72,4	31,0	5,17	0,81	7,03	15,2	328,3	<0,02	19,62	0,03	<0,02	0,20	0,04	1,06	1,54	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
17	DS-10	75,0	27,7	5,96	1,28	7,99	24,4	293,3	<0,02	21,72	0,04	0,04	0,17	0,03	1,34	3,43	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
18	DS-11	77,1	29,3	6,72	1,27	5,65	25,7	324,1	<0,02	11,68	0,31	0,05	0,20	<0,025	1,07	3,03	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
19	DS-12	100,9	33,2	2,39	0,92	3,06	154,9	285,4	<0,02	4,94	0,19	<0,02	0,24	0,03	1,33	-1,10	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
20	DS-13	78,8	33,2	6,52	1,06	11,92	25,8	314,9	<0,02	25,43	0,04	0,05	0,21	0,13	1,06	3,93	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
21	DS-14	77,8	32,9	4,53	1,27	6,62	46,4	315,6	<0,02	12,55	0,06	0,05	0,19	<0,025	1,06	2,17	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
22	DS-15	86,5	26,0	4,89	1,07	4,05	63,8	301,0	<0,02	5,74	0,13	0,05	0,19	<0,025	1,06	1,70	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub> -SO <sub>4</sub>
23	DS-16	75,2	30,3	5,80	1,24	7,69	8,3	341,2	<0,02	12,27	0,08	0,05	0,20	0,04	1,13	2,75	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
24	DS-17	80,0	31,1	4,55	1,03	7,52	25,4	328,8	<0,02	18,71	0,03	0,05	0,20	<0,025	1,06	2,58	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
25	DS-18	69,4	27,8	6,99	1,02	5,85	48,2	274,2	<0,02	2,99	0,28	0,05	0,19	<0,025	1,07	3,15	Ca-Mg-HCO <sub>3</sub>
26	DS-19	69,8	59,7	20,50	2,35	40,82	32,5	430,2	<0,02	0,22	0,28	0,08	0,27	10,52	1,95	3,53	Mg-Ca-HCO <sub>3</sub>
27	Yağmur suyu	9,2	1,0	0,57	1,63	0,92	3,2	25,4	0,20	1,62	0,07	<0,02	<0,06	1,24	0,91	6,45	Ca-HCO <sub>3</sub>

**Tablo 5.3:** İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur suyunun element analiz sonuçları (µg/l).

No	Adı	Al	As	B	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Se
1	Gökpınar	<8,04	1,76	<68,85	<0,95	5,30	<1,56	<1,22	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,538
2	Cankurtaran-2	<8,04	1,57	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	1,41	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,532
3	Pınarbaşı	<8,04	0,73	<68,85	<0,95	12,72	<1,56	115,34	1,310	<4,62	6,0	<0,378	0,352
4	Canyarık	<8,04	<0,37	28,51	<0,95	<0,59	<1,56	4,47	0,56	<4,62	6,5	0,560	0,544
5	Denizcik	<8,04	<0,37	35,93	<0,95	1,41	<1,56	3,86	0,53	<4,62	7,3	0,468	0,461
6	Ornaz	<8,04	<0,37	19,24	<0,95	<0,59	<1,56	5,30	0,30	<4,62	8,1	<0,378	0,647
8	DS-1	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	1,07	<1,56	2,51	1,41	<4,62	14,0	1,061	0,488
9	DS-2	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	<1,22	0,87	<4,62	8,9	0,587	0,444
10	DS-3	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	0,99	<1,56	20,84	6,82	<4,62	9,0	0,614	0,295
11	DS-4	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	<1,22	0,85	<4,62	7,6	<0,378	0,306
12	DS-5	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	0,81	<1,56	35,17	1,40	<4,62	7,8	<0,378	0,305
13	DS-6	<8,04	0,46	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	<1,22	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,549
14	DS-7	<8,04	0,55	<68,85	<0,95	1,15	<1,56	204,36	9,15	<4,62	<4,5	<0,378	0,451
15	DS-8	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	15,50	0,89	<4,62	5,4	<0,378	0,248
16	DS-9	81,90	<0,37	<68,85	<0,95	1,13	<1,56	182,97	9,84	<4,62	7,0	0,753	0,400
17	DS-10	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	1,87	<1,56	17,93	1,16	<4,62	6,3	<0,378	0,336
18	DS-11	<8,04	1,47	<68,85	<0,95	7,76	<1,56	<1,22	0,94	<4,62	6,5	<0,378	0,318
19	DS-12	<8,04	0,59	<68,85	<0,95	1,17	<1,56	3,11	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,435
20	DS-13	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	1,57	<1,56	12,50	1,66	<4,62	4,5	<0,378	0,355
21	DS-14	<8,04	0,58	<68,85	<0,95	1,09	<1,56	26,01	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,660
22	DS-15	<8,04	0,52	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	51,21	2,37	<4,62	<4,5	0,553	0,450
23	DS-16	<8,04	1,56	<68,85	<0,95	16,50	<1,56	<1,22	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	0,717
24	DS-17	<8,04	0,79	<68,85	<0,95	2,65	<1,56	5,46	<0,21	<4,62	<4,5	0,621	0,524
25	DS-18	<8,04	2,22	<68,85	<0,95	3,70	<1,56	43,06	1,44	<4,62	<4,5	<0,378	0,518
26	DS-19	<8,04	2,83	139,52	<0,95	<0,59	<1,56	379,85	40,96	<4,62	6,1	<0,378	<0,218
27	Yağmur suyu	<8,04	<0,37	<68,85	<0,95	<0,59	<1,56	<1,22	<0,21	<4,62	<4,5	<0,378	<0,218

### 5.1.3.3 Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH) Sınıflaması

Suları adlandırmak, birbiri ile karşılaştırmak, kaya su etkileşimlerini araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların türünün belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiş olup, bu çalışmada Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH 1979) sınıflaması kullanılmıştır. Buna göre anyon ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere suda çözülmüş iyon derişimleri %mek/l olarak hesaplanmış ve %20' den fazla olan iyonlar, önce katyonlar sonra anyonlar şeklinde büyükten küçüğe doğru sıralanarak su tipi belirlenmiştir.

İnceleme alanı sularının IAH sınıflaması Tablo 5.2'de verilmiştir. Buna göre suların çoğunluğu Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Çakıroluk kaynağı Ca-HCO<sub>3</sub>, DS-19 sondaj suyu Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Gökpınar kaynağı ile DS-7, DS-12 ve DS-15 nolu sondaj suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> tipindedir.

### 5.1.3.4 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.

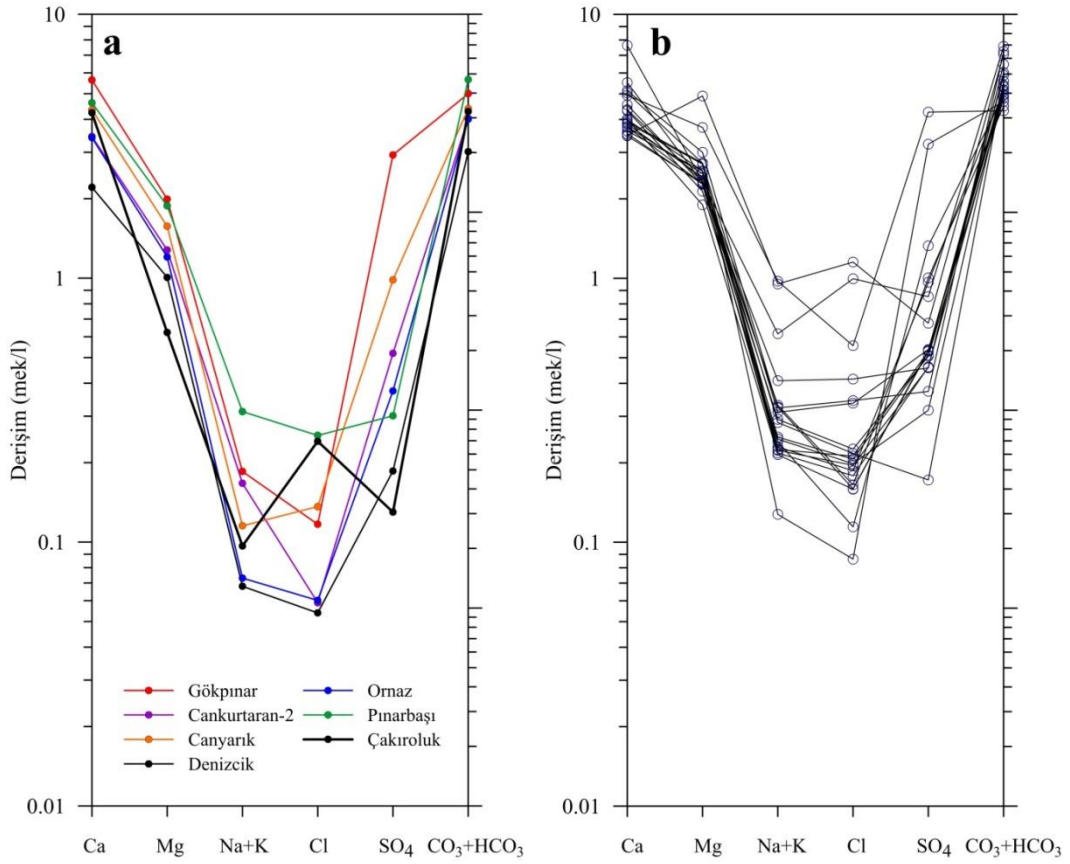
Yarı logaritmik diyagramdan (Şekil 5.1) kaynak sularının nispeten daha düşük iyon derişimlerine sahip olmakla birlikte hemen hemen tüm suların baskın olarak karbonat litolojiye sahip akiferlerden geldikleri ve benzer kimyasal süreçlerden geçtikleri anlaşılmaktadır.

### 5.1.3.5 Piper Sınıflaması

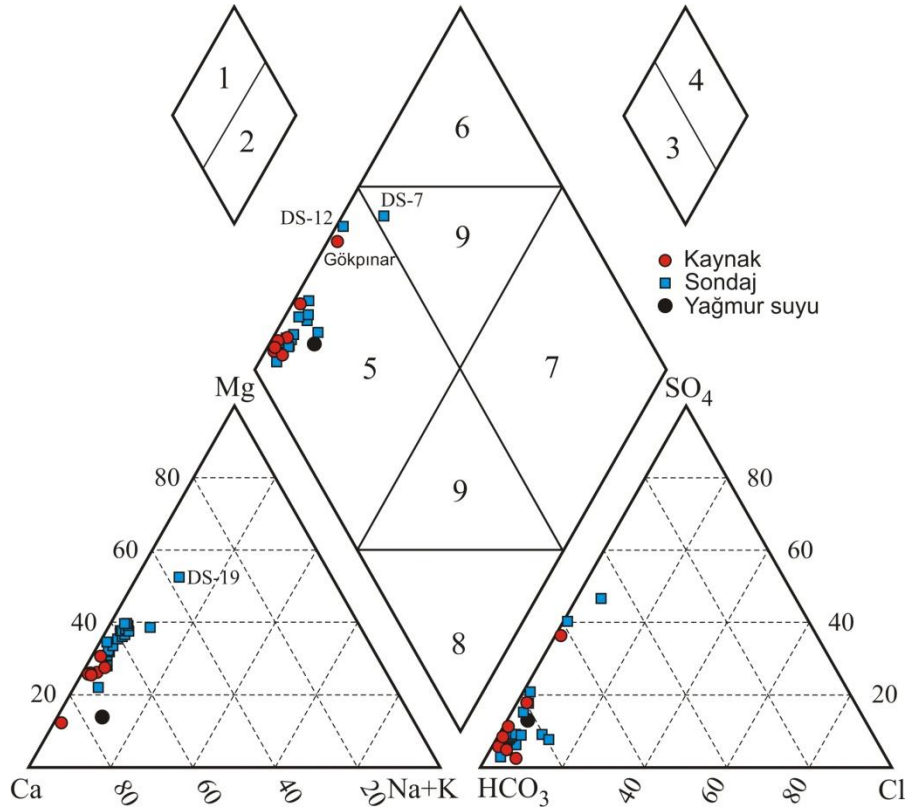
Piper, üçgen diyagramlarla suları sınıflandırmıştır. Bu sınıflanmaya göre her bir üçgende, anyon ve katyonların kimyasal özelliklerini saptamak mümkündür. İnceleme alanındaki suların içerdiği iyonlar % mek/l cinsinden Piper diyagramına

yerleştirilmiştir (Şekil 5.2). Buna göre, inceleme alanı sularının hemen hemen tamamında

- alkali toprak elementler (Ca+Mg), alkali elementlerden (Na+K) fazladır,
- zayıf asit kökleri ( $\text{HCO}_3+\text{CO}_3$ ), güçlü asit köklerinden (Cl+ $\text{SO}_4$ ) fazladır ve
- bu sular karbonat sertliği %50'den fazla olan sulardır ( $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lı sular).



Şekil 5.1: Yarı logaritmik diyagram.



Şekil 5.2: Piper diyagramı.

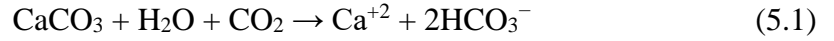
#### 5.1.4 Su Kimyasını Etkileyen Süreçler

$\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  oranı, sularındaki sodyumun kaynağı için iyi bir göstergedir. Sudaki sodyumun ana kaynağı,  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  oranı bire yakınsa halit mineralinin çözünmesi, birden büyükse silikat bozunma reaksiyonlarıdır (Meybeck 1987). İnceleme alanı sularının  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  oranı 0,27 (Çakıroluk kaynağı) ile 1,86 (DS-15) arasında değişmektedir.  $\text{Na}^+ - \text{Cl}^-$  grafiğinde (Şekil 5.3a),  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  arasında güçlü bir pozitif korelasyon görülmektedir. Bu oran 13 su numunesi için  $>1$ , 8 su numunesi için  $<1$  ve 5 numune için 1'dir (Ornaz, Denizcik, DS-4, DS-8 ve DS-14).  $\text{Na}^+/\text{Cl}^-$  oranı  $>1$  olan sularındaki sodyum fazlalığı, negatif baz değişim indeksi (BDİ) değerleriyle de yansıtılır (-1,83 ile -0,06 arasında). Negatif BDİ değerleri, sudaki  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$ 'un minerallerdeki  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonları ile değişimini gösterir. Menderes masifi metamorfiklerinden gelen sulara meydana gelen bu tür iyon değişim reaksiyonları  $\text{Na}^+$  fazlalığı ile sonuçlanır. Neojen birimlerinde yaygın olarak bulunan kil mineralleri ve yeraltı suyu arasında meydana gelen iyon değişimi, incelenen

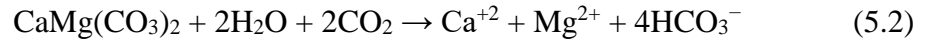
sulardaki sodyum fazlalığından sorumlu olan başka bir mekanizmadır. Pozitif BDİ değerlerine (0,01 ile 0,60 arasında) sahip olan sular için sudaki Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup>'un kil minerallerdeki Ca<sup>+2</sup> ve Mg<sup>+2</sup> ile iyon değişimi yaptığı söylenebilir. Denizel kireçtaşları çok az da olsa halit minerali içerebilir. İnceleme alanındaki Neojen birimlerinde de halit minerali bulunmaktadır (Alçıçek ve diğ. 2007). Sonuç olarak sulardaki Na<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> derişimlerinin halit mineralinin çözünmesi, silikat ayrışması ve iyon değişimi reaksiyonları ile denetlendiği söylenebilir. Ayrıca Cl<sup>-</sup> miktarı diğer sulara oranla oldukça yüksek olan DS-1 ve DS-19 sondaj suları, DS-1 kuyusundaki yüksek nitrat değeri de dikkate alındığında, antropojenik kirlenme etkisi altında olabilir.

İnceleme alanındaki karbonatlı kayalar kireçtaşı, dolomitik kireçtaşı, dolomit ve mermerden oluşmaktadır. Yağış sırasında, atmosferik karbondioksitin çözünmesi nedeniyle yağmur suyu hafif asidiktir (karbonik asit - H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Suyun yeraltına süzülmesi sırasında toprak karbondioksiti bu reaksiyona daha büyük oranda katkı sağlar. Sonuç olarak CO<sub>2</sub> bakımından zengin yağmur suyunun karbonatlı kayalar ile etkileşimi, aşağıdaki ayrışma reaksiyonları yoluyla Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup> ve HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>'ı çözer:

Kireçtaşı çözünmesi:



Dolomit çözünmesi:



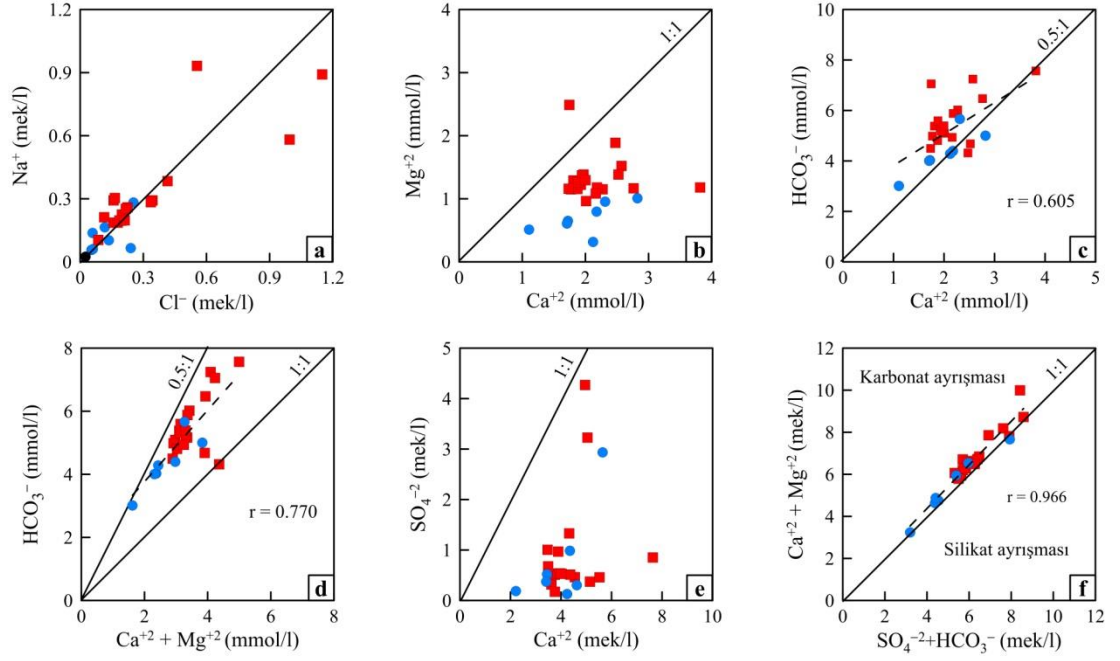
Sulardaki molar Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> oranı, çözülmüş karbonatlı kayacın türünü işaret eden önemli bir göstergedir. Örneğin Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> oranının bire yakın olması dolomit çözünmesini, daha yüksek değerler kalsit mineralinin çözünmesini gösterir (Mayo ve Loucks 1995). Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> oranı DS-19 sondaj suyu dışındaki tüm sular için 1'den yüksek olup 1,31 ile 6,69 arasındadır. Ca<sup>+2</sup>-Mg<sup>+2</sup> diyagramında, düşük Ca<sup>+2</sup>/Mg<sup>+2</sup> oranına sahip DS-19 hariç, tüm sular 1:1 çizgisinin altındadır (sağ tarafında) ve bu da Ca<sup>+2</sup> bakımından zengin bir kaynak kayayı gösterir (Şekil 5.3b).

Suların molar  $\text{Ca}^{+2}/\text{HCO}_3^-$  oranı 0,34 ile 0,57 arasındadır.  $\text{Ca}^{+2}-\text{HCO}_3^-$  grafiğinde (Şekil 5.3c), 05:1 çizgisi, kireçtaşı (kalsit) ayrışmasının  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarının ana kaynağı olduğunu gösterir. Bu çizgi ve yakınına düşen kaynak suları ve bazı sondaj sularının (DS-1 ve DS-12 gibi) kalsiyumca zengin karbonatlı kayalardan geldiği söylenebilir.

Suların  $(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}) / \text{HCO}_3^-$  oranları 0,54 ile 1,01 arasında değişmektedir. Suların  $(\text{Ca}^{+2}+\text{Mg}^{+2}) -\text{HCO}_3^-$  grafiğinde (Şekil 5.3d), tüm sular 0,5:1 ile 1:1 çizgisi arasına konumlanmıştır. Bu da sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarının başlıca kaynağının karbonat ayrışması olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu iyonlar, daha az oranda olmak üzere, silikatlı kayaçların (metamorfik kayalar, serpantin gibi) çözünmesi ile de yeraltı sularına katılmış olabilir.

Suların  $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$  oranı 1,16 ile 32,82 arasında değişmektedir. Sulardaki  $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$  oranının 1 olması sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonlarının kaynağının başlıca jips (anhidrit) içeren evaporitik kayalar ile ilişkili olduğunu gösterir. İnceleme alanı sularının  $\text{Ca}^{+2}-\text{SO}_4^{-2}$  grafiğinde suların tamamının 1:1 çizgisinin sağında yer almaktadır (Şekil 5.3e). Bu da jips çözünmesi ile yeraltı sularına  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonu katkısının çok az olduğunu göstermektedir. İnceleme alanı doğusunda özellikle Honaz Dağı'nın KD kesiminde Sandak birimi içindeki yaygın jips düzeyleri nedeniyle bu civardaki yeraltı sularında  $\text{Ca}^{+2}/\text{SO}_4^{-2}$  oranı jips çözünmesini gösteren 1 civarındadır (Gökgöz ve diğ. 2022).

Suların  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / (\text{SO}_4^{-2} + \text{HCO}_3^-)$  oranı 0,96 ile 1,19 arasında değişmektedir. Eğer sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonlarının kaynağı kireçtaşı (kalsit), dolomit ve jipsin basit çözünmesi ise  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$  ve  $(\text{SO}_4^{-2} + \text{HCO}_3^-)$  yaklaşık 1:1 oranında korelasyon göstermelidir (McLean ve diğ. 2000).  $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$  ve  $(\text{SO}_4^{-2} + \text{HCO}_3^-)$  diyagramında, bu iki iyon çifti arasında güçlü bir pozitif korelasyon vardır ( $r = 0.966$ ) ve incelenen sular 1:1 çizgisine çok yakındır (Şekil 5.3f). Bölgedeki akifer litolojilerinin mineral bileşimi göz önüne alındığında, su kimyasının temel olarak karbonat çözünmesi ile şekillendiği, evaporit çözünmesi, silikat ayrışması ve iyon değişimi reaksiyonlarının da sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  iyonlarının derişimine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır.



**Şekil 5.3:** Suların çeşitli iyon konsantrasyonları arasındaki ilişkiler (mavi daire kaynak sularını, kırmızı kare sondaj sularını ve siyah daire yağmur suyunu simgeler).

### 5.1.5 İnceleme Alanı Sularının İzotop Kompozisyonları

Suyun duraylı izotopları olan  $^{18}\text{O}$  ve D ( $^2\text{H}$ -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 analizi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Tablo 5.4 ve 5.5’de verilmiştir.

#### 5.1.5.1 Duraylı Oksijen ( $\delta^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $\delta\text{D}$ ) İzotopları

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.

$$\delta\text{D} = A \times \delta^{18}\text{O} + B \quad (5.3)$$



Eşitlik 5.3’de A (eğim) ve B (döteryum fazlası) değeri, hidrolojik çevrim boyunca buharlaşma, yağış, nem, coğrafi konum ve iklim koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle her bölgenin kendisini karakterize eden bir meteorik su doğrusu vardır.  $^{18}\text{O}$  ve döteryum izotoplarının bu özellikleri, yeraltı sularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) olarak bilinen doğrunun denklemi Craig (1961) tarafından verilmiştir (Eşitlik 5.4):

$$\delta\text{D}=8\times\delta^{18}\text{O}+10\text{‰ (SMOW)} \quad (5.4)$$

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 KMSD ve Akdeniz meteorik su doğrusu (AMSD) kullanılmıştır. Gat ve Carmi (1970) tarafından verilen AMSD’nin denklemi şöyledir:

$$\delta\text{D}=8\times\delta^{18}\text{O}+22\text{‰ (SMOW)} \quad (5.5)$$

Çalışma alanı kaynak sularının Ekim-Kasım 2020 örnekleme dönemindeki  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri ‰-6,70 ile ‰-8,36 ve  $\delta\text{D}$  değerleri ‰-45,62 ile ‰-57,85 arasındadır (Tablo 5.4). Nisan 2022 döneminde bu değerler daha negatif olup  $\delta^{18}\text{O}$  için ‰-8,28 ile ‰-9,54 ve  $\delta\text{D}$  için ‰-51,18 ile ‰-60,90 arasındadır. Sondaj sularındaki  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri kaynak sularına göre daha pozitifdir (Ekim-Kasım 2020 dönemi için  $\delta^{18}\text{O}$ : ‰-6,43 ile ‰-7,68 ve  $\delta\text{D}$ : ‰-45,57 ile ‰-50,97 arasında).

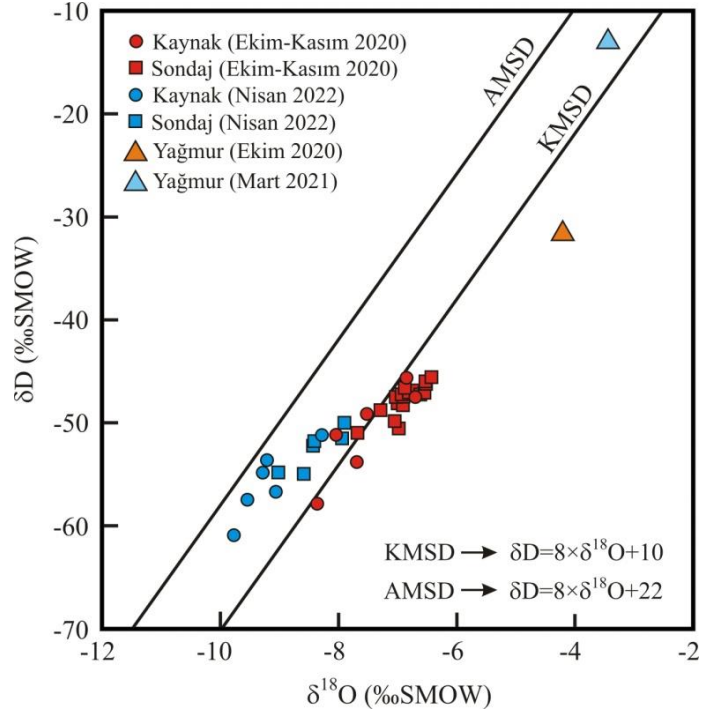
Özellikle Çakıroluk, Cankurtaran-2, Ornaz ve Denizcik kaynaklarının  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri diğer sulara göre daha negatif olup daha yüksek kotlardan beslenmeyi işaret etmektedir.  $\delta^{18}\text{O}$  -  $\delta\text{D}$  grafiği suların tümünün meteorik kökenli olduğunu ve Akdeniz kökenli nemin oluşturduğu yağışlardan beslendiğini göstermektedir (Şekil 5.4). Ekim 2020’de alınan yağmur suyunun KMSD’nin sağında kalması olası olarak yağış sırasında gerçekleşen buharlaşma nedeniyledir.

**Tablo 5.4:** İnceleme alanında örneklenen kaynak, sondaj (DS=derin sondaj) ve yağmur sularının  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  analiz sonuçları ( $\text{‰VSMOW}$ ).

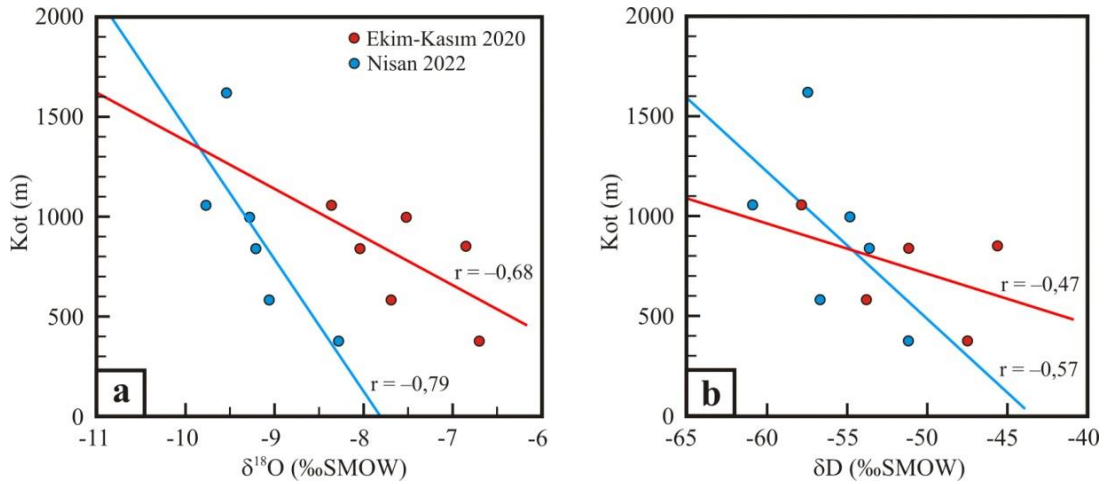
Numune Adı	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	Hata	$\delta\text{D}$	Hata	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$	Hata	$\delta\text{D}$	Hata
Gökpınar	20.10.20	-7,69	$\pm 0,12$	-53,80	$\pm 0,32$	29.04.22	-9,06	$\pm 0,06$	-56,69	$\pm 0,56$
Cankurtaran-2	20.10.20	-8,36	$\pm 0,12$	-57,85	$\pm 0,33$	29.04.22	-9,77	$\pm 0,07$	-60,90	$\pm 0,56$
Pınarbaşı	03.11.20	-6,70	$\pm 0,05$	-47,49	$\pm 0,27$	29.04.22	-8,28	$\pm 0,05$	-51,18	$\pm 0,56$
Canyarık	18.11.20	-6,85	$\pm 0,04$	-45,62	$\pm 0,27$	-	-	-	-	-
Denizcik	18.11.20	-8,04	$\pm 0,05$	-51,16	$\pm 0,27$	29.04.22	-9,21	$\pm 0,05$	-53,62	$\pm 0,56$
Ornaz	18.11.20	-7,52	$\pm 0,04$	-49,13	$\pm 0,28$	29.04.22	-9,28	$\pm 0,04$	-54,83	$\pm 0,56$
Çakıroluk	-	-	-	-	-	29.04.22	-9,54	$\pm 0,05$	-57,46	$\pm 0,56$
DS-1	26.10.20	-6,55	$\pm 0,05$	-47,05	$\pm 0,30$	29.04.22	-7,94	$\pm 0,05$	-51,50	$\pm 0,46$
DS-2	26.10.20	-6,67	$\pm 0,05$	-46,86	$\pm 0,30$	-	-	-	-	-
DS-3	26.10.20	-6,43	$\pm 0,05$	-45,57	$\pm 0,30$	-	-	-	-	-
DS-4	26.10.20	-6,93	$\pm 0,05$	-47,21	$\pm 0,30$	29.04.22	-8,41	$\pm 0,05$	-51,77	$\pm 0,46$
DS-5	03.11.20	-6,90	$\pm 0,04$	-47,46	$\pm 0,28$	-	-	-	-	-
DS-6	20.10.20	-7,02	$\pm 0,07$	-47,72	$\pm 0,31$	-	-	-	-	-
DS-7	20.10.20	-6,91	$\pm 0,12$	-48,28	$\pm 0,31$	29.04.22	-8,43	$\pm 0,05$	-52,22	$\pm 0,46$
DS-8	26.10.20	-7,03	$\pm 0,05$	-47,48	$\pm 0,31$	-	-	-	-	-
DS-9	26.10.20	-6,53	$\pm 0,05$	-45,97	$\pm 0,30$	-	-	-	-	-
DS-10	03.11.20	-6,52	$\pm 0,04$	-46,21	$\pm 0,27$	29.04.22	-7,90	$\pm 0,05$	-49,99	$\pm 0,45$
DS-11	26.10.20	-7,05	$\pm 0,10$	-49,83	$\pm 0,28$	-	-	-	-	-
DS-12	20.10.20	-7,29	$\pm 0,12$	-48,76	$\pm 0,32$	-	-	-	-	-
DS-13	26.10.20	-6,62	$\pm 0,05$	-47,23	$\pm 0,27$	-	-	-	-	-
DS-14	20.10.20	-6,95	$\pm 0,06$	-47,66	$\pm 0,30$	-	-	-	-	-
DS-15	20.10.20	-6,88	$\pm 0,05$	-46,61	$\pm 0,32$	-	-	-	-	-
DS-16	20.10.20	-7,00	$\pm 0,12$	-48,10	$\pm 0,31$	-	-	-	-	-
DS-17	20.10.20	-6,81	$\pm 0,05$	-47,03	$\pm 0,31$	-	-	-	-	-
DS-18	20.10.20	-7,68	$\pm 0,12$	-50,97	$\pm 0,31$	29.04.22	-9,03	$\pm 0,05$	-54,74	$\pm 0,45$
DS-19	03.11.20	-6,98	$\pm 0,06$	-50,54	$\pm 0,28$	29.04.22	-8,59	$\pm 0,05$	-54,93	$\pm 0,45$
Yağmur suyu	20.10.20	-4,21	$\pm 0,12$	-31,46	$\pm 0,33$	-	-	-	-	-
Yağmur suyu	07.03.21	-3,44	$\pm 0,05$	-12,77	$\pm 0,31$	-	-	-	-	-

Kaynak sularının çıkış kotları arttıkça doğal olarak  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta\text{D}$  değerleri daha negatif olmaktadır. Ekim-Kasım 2020 örneklemelelerinde bu değişimin değeri her 100 m için  $\delta^{18}\text{O}$ 'de  $\text{‰}0,415$  ve  $\delta\text{D}$ 'de  $\text{‰}3,98$  olarak belirlenmiştir. Nisan 2022 örneklemelelerinde ise bu değerler her 100 m için  $\delta^{18}\text{O}$ 'de  $\text{‰}0,154$  ve  $\delta\text{D}$ 'de  $\text{‰}1,36$  olmuştur. Suların  $\delta^{18}\text{O}$  - kot ve  $\delta\text{D}$  - kot grafiklerinde Nisan 2022 dönemi

örneklerinin regresyon doğrularının korelasyon katsayıları Ekim-Kasım 2020 dönemi örneklerine göre daha yüksektir (Şekil 5.5).



Şekil 5.4: Suların  $\delta^{18}\text{O}$  –  $\delta\text{D}$  grafiği.



Şekil 5.5: Suların (a)  $\delta^{18}\text{O}$  – kot ve (b)  $\delta\text{D}$  – kot grafikleri.

### 5.1.5.2 İnceleme Alanı Sularının Tritiyum İçerikleri

Suyun radyoaktif izotopu olan trityum ( $^3\text{H}$ ) suların yeraltındaki sirkülasyon zamanlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılır.

Atmosferdeki  $10^{18}$  hidrojen atomundan sadece bir tanesi trityumdur (Evans 1996) ve yarılanma ömrü 12,32 yıldır (Lucas ve Unterweger 2000). 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. Tritiyum değeri  $<0,8$  TU olan sular 1952 yılı öncesi beslenmeye sahip suları, 0,8 ile  $\sim 4$  TU arasında olan sular genç ve yaşlı suların karışımını, 5–15 TU arasında olan sular ise güncel suları (5–10 yıl) göstermektedir (Clark ve Fritz 1997).

İnceleme alanı sularının trityum değerleri 0,51 ile 4,95 TU arasında değişmektedir (Tablo 5.5). Mart-2021 ve Ekim-2021 aylarında alınan yağmur suyu örneklerindeki trityum değerleri ise sırasıyla 6,05 TU ve 9,00 TU'dur. Birikimli yağışa ait trityum değeri bilinmemekle birlikte bir yaklaşımda bulunmak üzere inceleme alanı sularının yeraltındaki sirkülasyon zamanları eşitlik (5.6) ile hesaplanabilir (Clark ve Fritz 1997).

$$t = -17,93 \times \ln \frac{\alpha_t {}^3\text{H}}{\alpha_0 {}^3\text{H}} \quad (5.6)$$

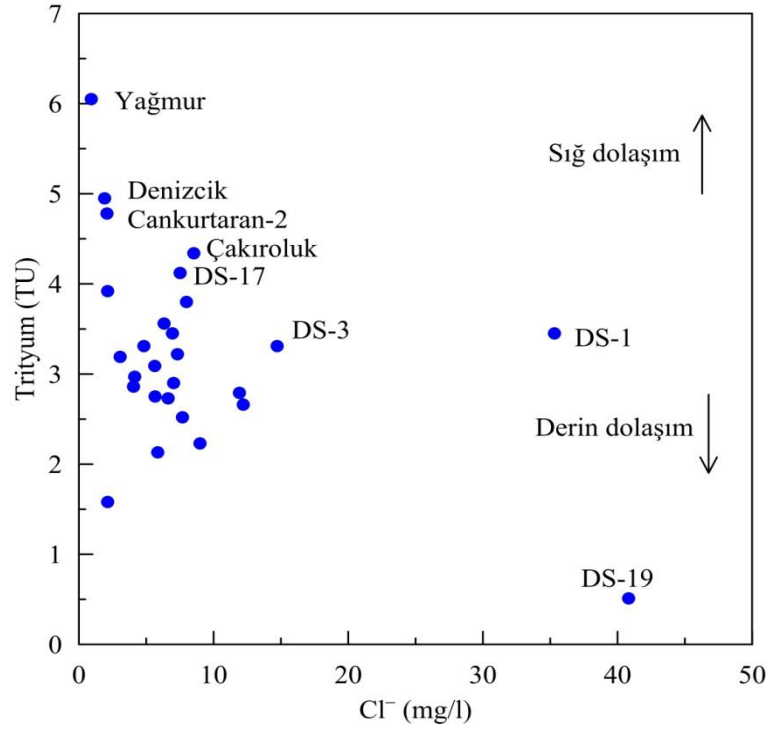
Eşitlik (5.6)'da  $\alpha_0 {}^3\text{H}$ : ilksel tritium aktivitesi,  $\alpha_t {}^3\text{H}$ : örnekten ölçülen tritium aktivitesidir.

Buna göre Ekim-2021 yağış suyunun trityum değeri (6,05 TU) baz alındığında inceleme alanındaki sularının yeraltında dolaşım süreleri kaynak suları için 11 ile 25 yıl, sondaj suları için ise 14 ile 31 yıl arasında hesaplanmıştır. DS-19 sondaj suyunun trityum değeri 1952 yılı öncesi beslenmeye işaret etmektedir. Yüksek kotlarda, beslenme alanında bulunan düşük EC değerine sahip kaynak suları en kısa dolaşım sürelerine sahiptir. Mart-2021 yağışının trityum değeri göz önünde

alındığında daha kısa dolaşım süreleri elde edilir (3,5 yıl ile 45 yıl arasında). İnceleme alanı sularının trityum-klorür diyagramına göre Cankurtaran-2 ve Denizcik kaynakları güncel yağış katkısı en fazla olan (sığ dolaşım), DS-19 sondaj suyu ise derin dolaşım yapan sulardır (Şekil 5.6). Diğer sular güncel ve submodern beslenmeye sahip suların karışımını yansıtır.

**Tablo 5.5:** İnceleme alanı sularının trityum ve klorür değerleri.

No	Adı	Örnekleme Tarihi	Trityum (TU)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	No	Adı	Örnekleme Tarihi	Trityum (TU)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)
1	Gökpınar	20.10.2020	2,97±0,38	4,14	15	DS-8	26.10.2020	3,56±0,39	6,33
2	Cankurtaran-2	20.10.2020	4,78±0,41	2,09	16	DS-9	26.10.2020	2,90±0,38	7,03
3	Pınarbaşı	03.11.2020	2,23±0,40	8,99	17	DS-10	03.11.2020	3,80±0,41	7,99
4	Canyarık	18.11.2020	3,31±0,41	4,83	18	DS-11	26.10.2020	2,75±0,38	5,65
5	Denizcik	18.11.2020	4,95±0,43	1,91	19	DS-12	20.10.2020	3,19±0,37	3,06
6	Ornaz	18.11.2020	3,92±0,40	2,13	20	DS-13	26.10.2020	2,79±0,38	11,92
7	Çakıroluk	29.04.2022	4,34±0,75	8,54	21	DS-14	20.10.2020	2,73±0,36	6,62
8	DS-1	26.10.2020	3,45±0,40	35,31	22	DS-15	20.10.2020	2,86±0,38	4,05
9	DS-2	26.10.2020	2,66±0,37	12,20	23	DS-16	20.10.2020	2,52±0,36	7,69
10	DS-3	26.10.2020	3,31±0,39	14,72	24	DS-17	20.10.2020	4,12±0,39	7,52
11	DS-4	26.10.2020	3,45±0,39	6,94	25	DS-18	20.10.2020	2,13±0,35	5,85
12	DS-5	03.11.2020	3,09±0,41	5,63	26	DS-19	03.11.2020	0,51±0,32	40,82
13	DS-6	20.10.2020	3,22±0,38	7,32	27	Yağmur	20.10.2020	9,00±0,48	-
14	DS-7	20.10.2020	1,58±0,33	2,13	28	Yağmur	07.03.2021	6,05±0,45	0,92



Şekil 5.6: Suların trityum-klorür grafiği.

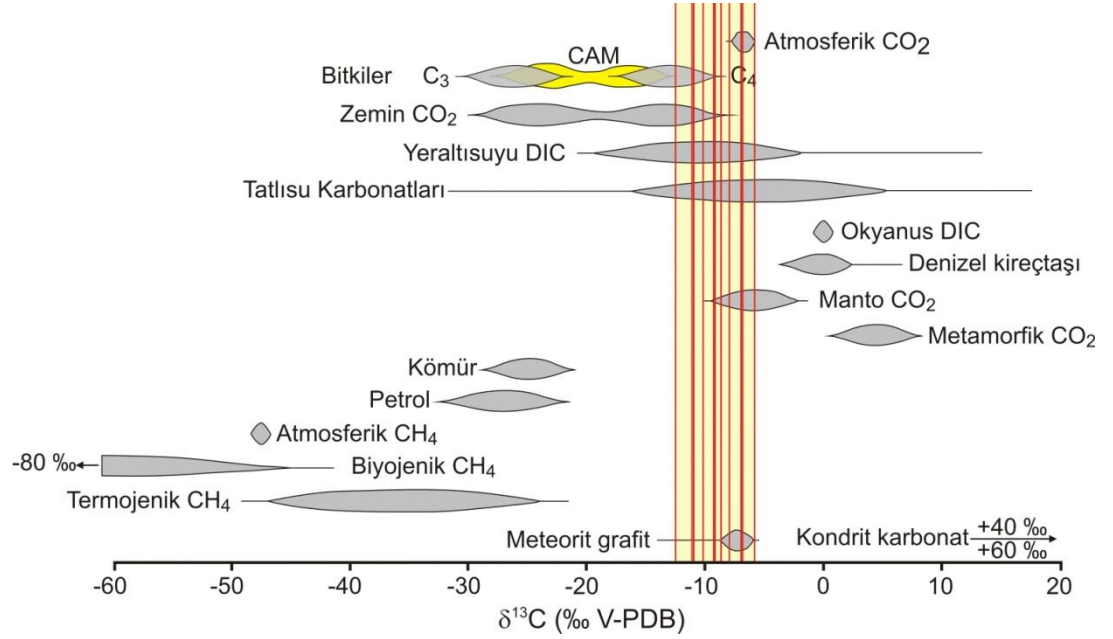
### 5.1.5.3 İnceleme alanı sularının $\delta^{13}\text{C}$ kompozisyonları

Sulardaki karbon, başlıca atmosfer, topraktaki organik maddenin çürümesi, karbonatlı kayaçların çözünmesi ve manto gibi bir dizi kaynaktan türemiş olabilir (Şekil 5.7). Genellikle doğal yeraltı sularındaki çözülmüş inorganik karbon (DIC) bu kaynaklardan salınan karbonun bir karışımını yansıtır. Bu farklı karbon girdilerinin karbon izotop bileşimi de değişken olup geniş bir aralıkta yer alırlar. Örneğin  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri kömür için oldukça negatifken (‰-30) atmosferik  $\text{CO}_2$  için daha pozitifdir (‰-6 ile ‰-7; Clark ve Fritz 1997). Organizmalar karbonun ( $^{12}\text{C}$ ) hafif izotopunu tükettiğinden, organik kökenli karbonun değeri son derece negatif  $\delta^{13}\text{C}$  değerine sahip olabilir (örneğin -50 ‰) (Clark ve Fritz 1997). Topraktaki  $\text{CO}_2(\text{g})$ 'den salınan karbonu içeren yeraltı suyunda  $\delta^{13}\text{C}$  değeri ‰-15'dir (Clark ve Fritz 1997). Akiferde bulunan kalsit ve diğer karbonat minerallerinin çözünmesinden ortaya çıkan karbonun  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri ise denizel kireçtaşları için ‰-3 ile ‰+3 ve tatlısu karbonatları için ‰-15 ile ‰+5 arasındadır (Clark ve Fritz 1997). Porowska (2015), kayaktan kalsit veya diğer karbonat minerallerinin çözünmesinden türeyen  $\delta^{13}\text{C}$ 'ün değerinin ‰-14 ile ‰+1 arasında olacağını belirtmiştir.

İnceleme alanı sularının  $\delta^{13}\text{C}$  (DIC) değerleri ‰-12,43 ile -5,82 (‰ VPDB) arasında değişmektedir (Tablo 5.6). Buna göre sulardaki karbonun başlıca kökeni akifer kayalarındaki kalsit veya diğer karbonat minerallerinin çözünmesidir. Ancak bir miktar atmosferik  $\text{CO}_2$  ve zemin  $\text{CO}_2$  katkısı da olabilir.

**Tablo 5.6:** İnceleme alanı sularının  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri.

Adı	Örnekleme Tarihi	$\delta^{13}\text{C}$ - DIC (‰ VPDB)	Adı	Örnekleme Tarihi	$\delta^{13}\text{C}$ - DIC (‰ VPDB)
Gökpınar	08.11.2021	-6,79	DS-8	08.11.2021	-8,61
Cankurtaran-2	08.11.2021	-10,87	DS-11	08.11.2021	-9,24
Denizcik	08.11.2021	-9,14	DS-12	08.11.2021	-7,92
DS-1	08.11.2021	-12,43	DS-15	08.11.2021	-11,08
DS-3	08.11.2021	-10,16	DS-18	08.11.2021	-8,62
DS-7	08.11.2021	-6,93	DS-19	08.11.2021	-5,82



**Şekil 5.7:** Çeşitli ortamların  $\delta^{13}\text{C}$  değerleri (Clark ve Fritz 1997'den modifiye edilmiştir). Kırmızı çizgiler inceleme alanı sularını gösterir.

## 5.1 Suların Mineral Doygunlukları

Yüzey ve yeraltı suları, debi ve fizikokimyasal özellikleri uygunsa içme, sulama ve endüstride kullanılabilir. Ancak, bu kullanımda, su kimyasına bağlı olarak hem işletilen sondaj kuyularında hem de yüzey, sondaj ve kaynak sularının iletim boruları içinde mineral çökeli (kabuklaşma) meydana gelebilir. Bu kabuklaşma probleminin giderilmesi işletme giderlerine ek bir maliyet getirir. Bu nedenle suların mineral doygunluklarının ve dolayısıyla çökeltme eğiliminde olan minerallerin belirlenmesi önem taşımaktadır.

Bu bölümde inceleme alanı suları için karbonat minerallerinin (aragonit, kalsit, dolomit) örnekleme sıcaklığındaki doygunlukları ve kısmi CO<sub>2</sub> gazı basınçları PhreeQC programı (Parkhurst ve Appelo 1999) ile hesaplanmış ve değerler Tablo 5.7’de verilmiştir. Tablo 5.7’deki karbonat minerallerin doygunluklarına ilişkin pozitif değerler suyun ilgili mineralce doymuş ve o minerali çöktürmeye eğilimli olduğunu, negatif değerler (doygunluk altı) ise suyun o minerali çözücü özellikte olduğunu gösterir. Buna göre, inceleme alanındaki suların tümü jips, silestin ve kalsedon çözdürme ve kuvars çöktürme eğilimindedir.

**Tablo 5.7:** İnceleme alanı sularının aragonit (Sa), kalsit (Sc), dolomit (Sd) minerallerine göre doygunlukları ve kısmi CO<sub>2</sub> gazı basınçları (P<sub>CO2</sub>).

Adı	Sa	Sc	Sd	P <sub>CO2</sub>	Adı	Sa	Sc	Sd	P <sub>CO2</sub>
Gökpınar	0,17	0,32	0,17	-2,09	DS-7	0,19	0,34	0,62	-2,21
Cankurtaran-2	0,18	0,33	0,20	-2,43	DS-8	-0,07	0,08	-0,04	-1,97
Pınarbaşı	-0,05	0,10	-0,18	-1,74	DS-9	-0,02	0,13	0,16	-1,86
Canyarık	0,61	0,76	1,02	-2,76	DS-10	0,09	0,24	0,28	-2,12
Denizcik	0,24	0,40	0,36	-2,96	DS-11	0,09	0,24	0,29	-2,01
Ornaz	0,19	0,35	0,17	-2,49	DS-12	0,28	0,43	0,61	-2,26
Çakıroluk	-0,34	-0,18	-1,30	-1,83	DS-13	0,09	0,24	0,37	-2,00
DS-1	0,16	0,31	0,14	-1,53	DS-14	0,35	0,50	0,87	-2,28
DS-2	-0,00	0,15	0,07	-1,56	DS-15	0,14	0,29	0,31	-2,08
DS-3	0,00	0,15	-0,03	-1,60	DS-16	0,17	0,32	0,47	-2,05
DS-4	-0,08	0,08	-0,16	-1,71	DS-17	0,16	0,31	0,44	-2,06
DS-5	0,07	0,22	0,12	-2,03	DS-18	0,42	0,57	0,97	-2,54
DS-6	0,03	0,18	0,11	-1,82	DS-19	0,21	0,35	0,94	-1,89



Geçmiş yıllarda Denizli il merkezine içme suyu sağlayan sondajlarda ve sondaj ve kaynak sularının şebeke borularında kabuklaşma gözlenmiş (Şekil 5.8) ve bu da debi azalmasına ve ayrıca mali kayba neden olmuştur. Bu sorun şebeke borularının yenilenmesiyle giderilmektedir.



**Şekil 5.8:** İçme suyu iletim borularında meydana gelen kabuklaşma.

## 6. SULARIN KULLANILABİLME ÖZELLİKLERİ

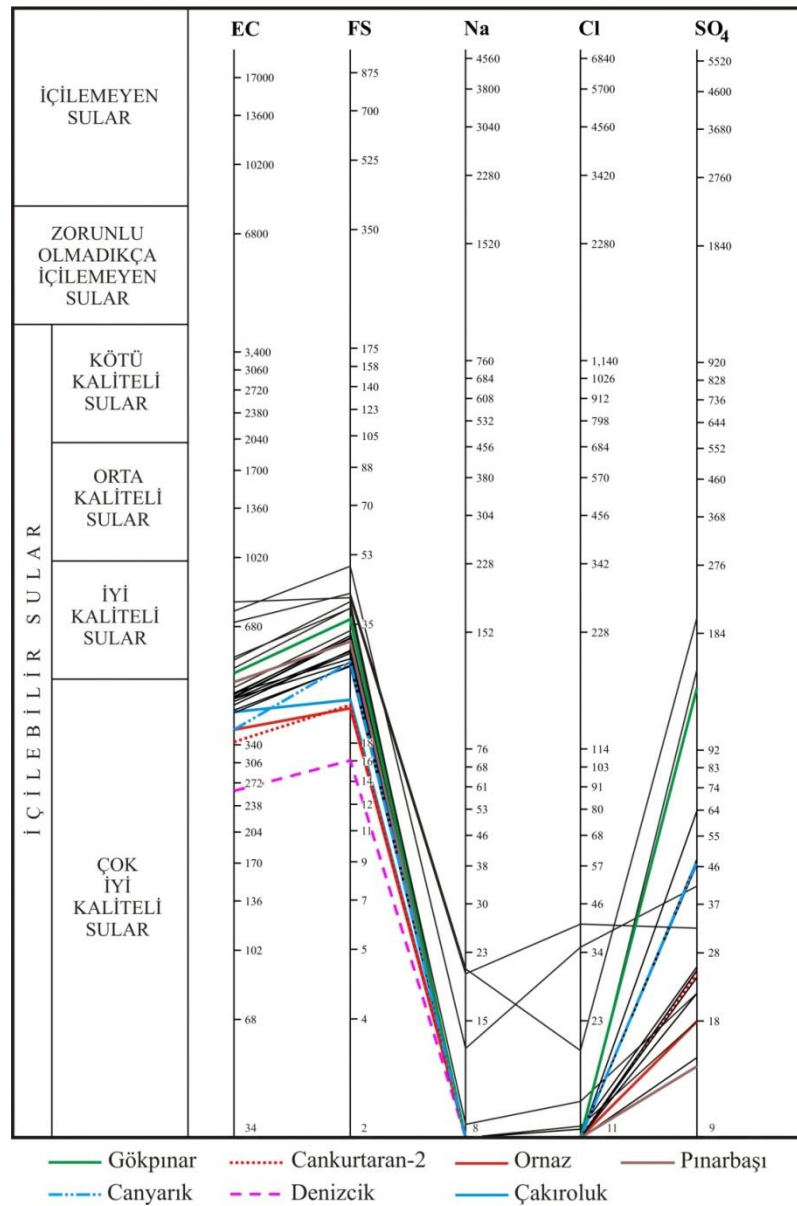
### 6.1 Suların İçilebilme Özellikleri

İnsan hayatı için önemli olan su, ancak içme suyu standartlarına uygunsa içilebilir. İnceleme alanı sularının içilebilirliği 17 Şubat 2005 tarih ve 25730 sayılı resmi gazetede yayımlanan Sağlık Bakanlığı'nın "İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik İTASHY (2005) standartlarına göre incelenmiştir. Bu standartta verilen limit değerler ve analiz edilen parametreler kapsamında inceleme alanında örneklenen suların tümü İTASHY (2005)'de verilen standartlara uygun olup içilebilir özelliktedir (Tablo 6.1)

**Tablo 6.1:** İçme suyu standartlarına göre inceleme alanı sularının içilebilme özellikleri (TKE: Tüketicilerce kabul edilebilir).

Kimyasal Parametreler	İTASHY (2005)	Örneklenen sulardaki maksimum değer	İçmeye uygunluk
Antimon	5.0 µg/l	1,061 µg/l	Tümü
Arsenik	10 µg/l	2,220 µg/l	Tümü
Bor	1 mg/l	0,139 mg/l	Tümü
Bromat	10 µg/l	<1 µg/l	Tümü
Kadmiyum	5,0 µg/l	<0,95 µg/l	Tümü
Krom	50 µg/l	16,50 µg/l	Tümü
Bakır	2 mg/l	<1,56 mg/l	Tümü
Florür	1,5 mg/l	0,36 mg/l	Tümü
Kurşun	10 µg/l	10,0 µg/l	Tümü
Nikel	20 µg/l	4,62 µg/l	Tümü
Nitrat	50 mg/l	43,09 mg/l	Tümü
Nitrit	0,50 mg/l	<0,02 mg/l	Tümü
Selenyum	10 µg/l	0,717 µg/l	Tümü
<b>Gösterge Parametreleri</b>			
Alüminyum	200 µg/l	81,90 µg/l	Tümü
Amonyum	0,50 mg/l	0,23 mg/l	Tümü
Klorür	250 mg/l	35,31 mg/l	Tümü
Renk	TKE	TKE	Tümü
İletkenlik (20 °C'de)	2500 µS/cm	890 µS/cm	Tümü
PH	≥6,5 ve 9,5≤	7,11-8,13 arası	Tümü
Demir	200 µg/l	194,36 µg/l	Tümü
Mangan	50 µg/l	9,84 µg/l	Tümü
Sülfat	250 mg/l	204,9 mg/l	Tümü
Sodyum	200 mg/l	21,43 mg/l	Tümü

Schoeller doğal suların içilebilirliğini ve içme suyu kalitesini gösteren bir diyagram vermiştir. Diyagram suların EC, Fransız sertliği (FS) ve mg/l cinsinden sodyum, klorür ve sülfat değerlerini baz alarak hazırlanmıştır. Suların mek/l cinsinden kalsiyum ve magnezyum değerleri toplamının 5'le çarpılması sonucu elde edilen Fransız sertlik dereceleri 16 (Denizcik kaynağı) ile 50 (DS-1) arasında değişmektedir (ortalama 32). İnceleme alanı suları bu diyagrama yerleştirildiğinde Cankurtaran-2, Denizcik, Ornaz ve Çakıroluk kaynaklarının “çok iyi kaliteli içme suları”, diğer suların ise “iyi kaliteli içme suları” sınıfında yer aldıkları görülmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1: İnceleme alanı sularının Schoeller'e göre içilebilirlik diyagramı.

## 6.2 Suların Sulamada Kullanılabilme Özellikleri

Günümüzde birçok ülke sulama suyu sıkıntısı çekmekte ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak için yüzey ve yeraltı sularını en verimli şekilde kullanmaya çalışmaktadır. Ancak, tarımda yüksek verim almak için sulama suyu varlığı tek başına yeterli değildir. Bir bölgede yetiştirilen ürünün verimi toprağın yapısı, kompozisyonu, geçirgenliği, akaçlama, iklim koşulları, sulama suyu sıcaklığı, kullanılan su miktarı, sulama şekli, seçilen bitki türü ve yetiştirme şekli, sulama suyu kalitesi vb. birçok faktöre bağlıdır.

Bu bölümde, inceleme alanında sulamada da kullanılan kaynak ve sondaj sularının sulama suyu kalitesi araştırılmıştır. Sulama suyu kalitesini belirlemek için sulama suyunun kimyasal analizinden yararlanarak başlıca suyun pH değeri, sertliği (TH), elektriksel iletkenliği (EC), sodyum tehlikesi (%Na ve SAR-sodyum adsorpsiyon oranı), kalıntı sodyum karbonat (RSC) miktarı, magnezyum oranı (MR), klorür tehlikesi ve bor tehlikesi gibi kriterler değerlendirilir. Bu kriterlerin inceleme alanı sularındaki değerleri Tablo 6.2’de, klorür ve bor dışındaki kriterlere ilişkin sınır değerler ve sulama suyu sınıfları Tablo 6.3’de verilmiştir.

### 6.2.1 Suyun pH değeri

Sulama suyunun pH değerinin karbonat dengesini, ağır metal içeriğini ve azot bileşenlerinin bağıl oranını etkilemesi nedeniyle toprak kalitesi ve bitki büyümesi üzerine belirleyici etkisi vardır. Asitli sulara Ca, Mg ve Al bitkiler tarafından yeterince absorbe edilemezken bazı sular bitkilerin bazı metal ve besin maddeleri alımı için daha iyi bir ortam sağlar (Şimşek ve Gündüz 2007). Sulamada kullanılacak yeraltı ve yerüstü sularının pH değeri 6,5-8,4 arasında olmalıdır (Ayers ve Westcot 1985). İnceleme alanı sularının pH değerleri 7,11 ile 8,13 arasında (ortalama 7,49) değişmekte olup sulama suyu olarak kullanılmalarında pH açısından bir sorun yoktur (Tablo 6.3).

## 6.2.2 Toplam sertlik (TH)

Sertlik, su içinde çözülmüş halde bulunan  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyonlarından kaynaklanır ve mg/l  $CaCO_3$  cinsinden (6.1) bağıntısı ile hesaplanır:

$$TH = 2,497 \times Ca + 4.115 \times Mg \quad (6.1)$$

Sert su yumuşak toprak, yumuşak su ise sert toprak oluşturduğundan (Sağlam ve Adiloğlu 1997) ve genellikle sert sular bitkiler için bir sorun oluşturmadığından (Şimşek ve diğ. 2017) sulama suyu olarak sert sular tercih edilir. İnceleme alanı sularının sertlikleri 161 (Denizcik) ile 498 mg/l  $CaCO_3$  (DS-1) arasında değişmektedir (ortalama 327 mg/l  $CaCO_3$ ). Buna göre 8 su örneği “sert”, 18 su örneği ise “çok sert” sular sınıfında yer almaktadır (Tablo 6.3). Dolayısıyla bu suların sulamada kullanılmasında TH değerleri açısından bir sorun yoktur.

**Tablo 6.2:** İnceleme alanı sularının sulamada kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan parametreler.

Adı	pH	TH	EC	%Na	SAR	RSC	MR	Cl (mek/l)	B (µg/l)
Gökpınar	7,48	381	663	2,105	0,084	-2,66	26,3	0,126	<68,85
Cankurtaran-2	7,73	236	412	2,823	0,090	-0,72	27,4	0,059	<68,85
Pınarbaşı	7,20	325	580	4,148	0,157	-0,87	29,2	0,253	<68,85
Canyarık	8,08	296	442	1,709	0,060	-1,55	26,8	0,136	<68,85
Denizcik	8,13	161	297	1,735	0,045	-0,23	31,6	0,054	-
Ornaz	7,78	231	432	1,291	0,040	-0,63	26,3	0,060	<68,85
Çakıroluk	7,15	243	434	1,319	0,042	-0,59	13,0	0,241	<68,85
DS-1	7,11	498	890	5,512	0,261	-2,43	23,6	0,995	<68,85
DS-2	7,11	407	696	3,458	0,145	-0,94	37,2	0,344	<68,85
DS-3	7,12	391	692	4,671	0,194	-1,39	29,7	0,415	<68,85
DS-4	7,19	341	580	2,792	0,106	-0,83	33,6	0,195	<68,85
DS-5	7,44	296	527	3,049	0,109	-0,85	32,4	0,159	<68,85
DS-6	7,30	334	570	3,175	0,120	-0,84	35,1	0,206	<68,85
DS-7	7,56	434	830	9,672	0,448	-4,41	43,3	0,555	<68,85
DS-8	7,37	290	503	3,099	0,110	-0,86	39,4	0,178	<68,85
DS-9	7,32	308	539	3,511	0,128	-0,82	41,6	0,198	<68,85
DS-10	7,51	301	546	4,111	0,149	-1,25	38,1	0,225	<68,85
DS-11	7,45	313	546	4,443	0,165	-0,98	38,8	0,159	<68,85
DS-12	7,63	389	659	1,317	0,053	-3,13	35,4	0,086	<68,85
DS-13	7,43	333	568	4,069	0,155	-1,54	41,3	0,336	<68,85
DS-14	7,71	330	560	2,891	0,109	-1,46	41,3	0,186	<68,85
DS-15	7,49	323	555	3,179	0,118	-1,56	33,4	0,114	<68,85
DS-16	7,51	312	531	3,865	0,143	-0,69	40,2	0,217	<68,85
DS-17	7,50	328	560	2,923	0,109	-1,20	39,3	0,212	<68,85
DS-18	7,90	288	509	5,000	0,179	-1,29	40,0	0,165	<68,85
DS-19	7,46	420	884	9,546	0,435	-1,41	58,8	1,150	139,52

**Tablo 6.3:** Sulama suyu sınıfları ve inceleme alanı sularının sulamaya uygunluğu (SUO: sulamaya uygun olmayan).

Parametre	En az	En çok	Aralıklar	Su sınıfı	Adet	%	SUO	
1	pH <sup>1</sup>	7,11	8,13	6,5–8,4	Uygun	26	100	–
2	TH <sup>2</sup> (mg/l CaCO <sub>3</sub> )	161	498	< 75 75–150 150–300 > 300	Yumuşak Orta sert Sert Çok sert	– – 8 19	– – 31 69	–
3	EC <sup>3</sup> (µS/cm)	297	890	< 250 250–750 750–2250 2250–5000 > 5000	Mükemmel İyi İzin verilebilir Şüpheli Uygun değil	– 23 3 – –	– 88 12 – –	–
4	%Na <sup>3</sup>	1,20	14,69	< 20 20–40 40–60 60–80 > 80	Mükemmel İyi İzin verilebilir Şüpheli Uygun değil	26 – – – –	100 – – – –	–
	SAR <sup>4</sup>	0,075	0,768	< 10 10–18 18–26 > 26	Mükemmel İyi Şüpheli Uygun değil	26 – – –	100 – – –	–
5	RSC <sup>4</sup>	-4,41	-0,23	< 1,25 1,25–1,75 > 1,75	Güvenli Normal Uygun değil	26 – –	100 – –	–
6	MR <sup>5</sup>	30,3	77,1	< 50 > 50	Uygun Uygun değil	25 1	96 4	DS-19

<sup>1</sup>Ayers ve Westcod (1985); <sup>2</sup>Todd (1980); <sup>3</sup>Wilcox (1955); <sup>4</sup>Eaton (1950) ve Richards (1954);

<sup>5</sup>Paliwal (1972).

### 6.2.3 Elektriksel iletkenlik (EC)

Elektriksel iletkenlik değeri suların içindeki çözülmüş madde derişimini ifade eder. Suların içindeki çözülmüş madde miktarları ile EC değerleri arasında kuvvetli bir pozitif korelasyon vardır. Su içindeki iyon derişimi arttıkça suyun elektriği iletme derecesi de (EC) yükselir. Bu nedenle sulardaki tuz derişiminin bir göstergesi olarak kullanılır.

Sudaki yüksek iyon derişimi bitki yapısındaki hücrelerde osmotik basıncı azaltarak suyun dal ve yapraklara erişimini engeller ve bitki metabolizmasını bozar, dolayısıyla tarım toprağı ve bitkilere olan bu olumsuz etkisi nedeniyle verim düşer

(Şahinci 1991). Bitkilerin sudaki tuzlara karşı dirençleri farklıdır. Geçirgenliği fazla, akaçlaması iyi tarım topraklarında su tuzlu da olsa bitki gelişimini engellemezken tersi durumda su az tuzlu olsa bile bitki köklerinde tuz birikmesi nedeniyle bitkilerin gelişimi güçleşir (Şahinci 1991).

İnceleme alanı sularının EC değerleri 297 (Denizcik) ile 890  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (DS-1) arasında değişmektedir (ortalama 577  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) (Tablo 6.2). Suların EC değerlerine göre 23 su örneği “iyi”, 3 su örneği ise “izin verilebilir” sulama suyu sınıfında yer almaktadır (Tablo 6.3) ve sulama suyu olarak kullanılmalarında bir sakınca yoktur.

#### 6.2.4 Sodyum tehlikesi

Sulama suyunda fazla miktarda bulunan sodyum iyonunun topraktaki kalsiyum iyonları ile yer değiştirmesi sonucu toprağın geçirgenliği ve havalanması azalır ve dolaylı olarak bitki gelişimi yavaşlar. Sulama sonrası toprağın üst seviyelerinde soğurulan sodyum toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olur, bu da bitki köklerinin havalanmasını engeller. Sodyumca doymuş topraklarda bitki yetişmez veya çok az gelişir (Şahinci 1991). Sulama suyundaki sodyum tehlikesini değerlendirmek için suları %Na ve SAR değerlerinin belirlenmesi önemlidir.

##### 6.2.4.1 %Na değeri

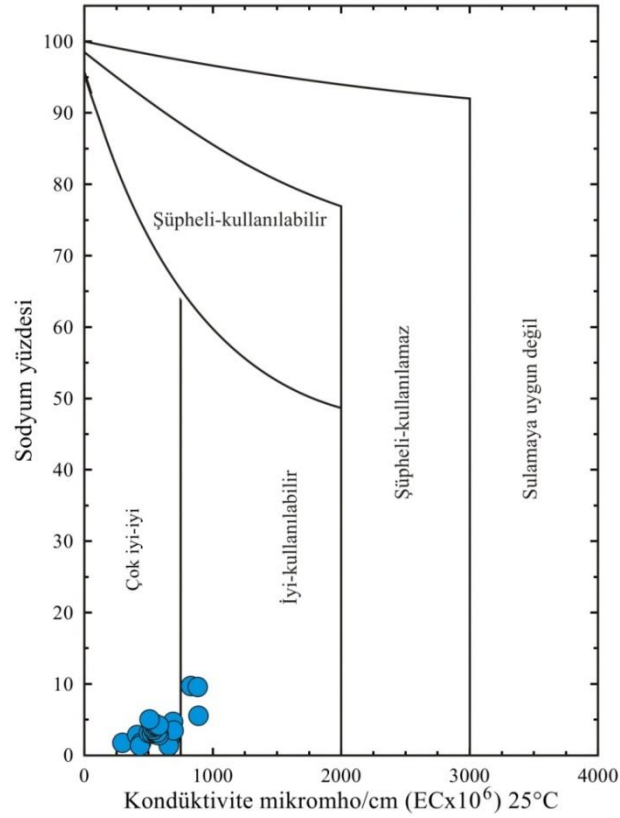
Sudaki sodyum miktarı Wilcox (1955) tarafından verilen eşitlik (6.2)'den hesaplanır (değerler mek/l'dir):

$$\%Na = \frac{Na^+}{Ca^{+2}+Mg^{+2}+Na^++K^+} \times 100 \quad (6.2)$$

Yüksek %Na değeri yumuşak suya, düşük %Na değeri ise sert suya işaret eder.

İnceleme alanındaki suların %Na değerleri 1,29 (Ornaz) ile 9,67 (DS-7) arasında değişmektedir (ortalama 3,67). Bu değerlere göre örneklenen sular %Na açısından “mükemmel” sulama suyu sınıfına girmektedir (Tablo 6.3).

Wilcox (1955) suların sulamaya uygunluğunu değerlendirmek için suların EC ve eşitlik (6.1)’den hesaplanan %Na değerlerini kullanarak bir grafik sınıflama vermiştir. Wilcox diyagramı olarak adlandırılan diyagramda beş sulama suyu sınıfı vardır (Şekil 6.2). Bu diyagramda inceleme alanı sularından 23’ü “çok iyi-iyi”, 3’ü (DS-1, DS-7 ve DS-19) “iyi-kullanılabilir” sınıfta yer almaktadır.



Şekil 6.2: İnceleme alanı sularının Wilcox diyagramındaki dağılımı.

#### 6.2.4.2 Sodyum adsorpsiyon oranı (SAR)

Sulama suyunun SAR değerleri ile sodyumun toprak tarafından soğurulma derecesi arasında önemli bir ilişki vardır. Sulama için kullanılan su sodyumca yüksek ve kalsiyumca düşük ise katyon değişim kompleksi sodyum ile doymuş hale gelebilir.



Bir suyun SAR değeri toprak ve bitkiler için suyun sodyum tehlikesini gösteren yararlı bir indekstir. Sulama sularında sodyum tehlikesinin değerlendirilmesinde eşitlik (6.2)'den daha kullanışlı olan SAR, Richards (1954) tarafından önerilen eşitlik (6.3) ile hesaplanabilir (değerler mek/l'dir):

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{+2}+Mg^{+2}}{2}}} \quad (6.3)$$

İnceleme alanı sularının SAR değeri 0,04 (Ornaz) ile 0,45 (DS-7) arasında değerler vermiştir (ortalama 0,15) (Tablo 6.2). Bu değerler "mükemmel" sulama suyu sınıfını gösterir (Tablo 6.3).

Sulardaki sodyum tehlikesinin değerlendirilmesi için yaygın olarak kullanılan diğer bir diyagram ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramıdır (Richards, 1954). Diyagramda sular sulama suyu için en önemli iki parametre olan sodyum ve tuzluluk tehlikelerine göre sınıflanır. Suların EC ve SAR değerlerine göre oluşturulan bu diyagramda 16 sulama suyu sınıfı bulunmaktadır (Şekil 6.3). ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki simgelere ilişkin açıklama aşağıda verilmiştir (Wilcox 1955, Şahinci 1991):

**C<sub>1</sub>: Az tuzlu sular** (EC 250 µS/cm'den az). Her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasına uygundur.

**C<sub>2</sub>: Orta tuzlu sular** (EC 250–750 µS/cm arası). Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

**C<sub>3</sub>: Tuzlu sular** (EC 750–2250 µS/cm arası). Akaçlaması kötü olan arazilerde, sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular sulamada kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.

**C<sub>4</sub>: Çok tuzlu sular** (EC 2550 µS/cm'den fazla). Normal koşullar altında sulamaya uygun değildir. Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza fazla dayanıklı bitki türleri seçilmelidir.

**S<sub>1</sub>: Az sodyumlu sular.** Hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.

**S<sub>2</sub>: Orta sodyumlu sular.** Geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Hemen tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir. Bununla birlikte, sodyuma duyarlı bitkiler (çekirdekli meyve ağaçları ve avokado) zararlı konsantrasyonlarda sodyum biriktirebilir.

**S<sub>3</sub>: Yüksek sodyumlu sular.** Birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanarak, belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir.

**S<sub>4</sub>: Çok yüksek sodyumlu sular.** Genellikle sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşükse sulamada kullanılabilir.

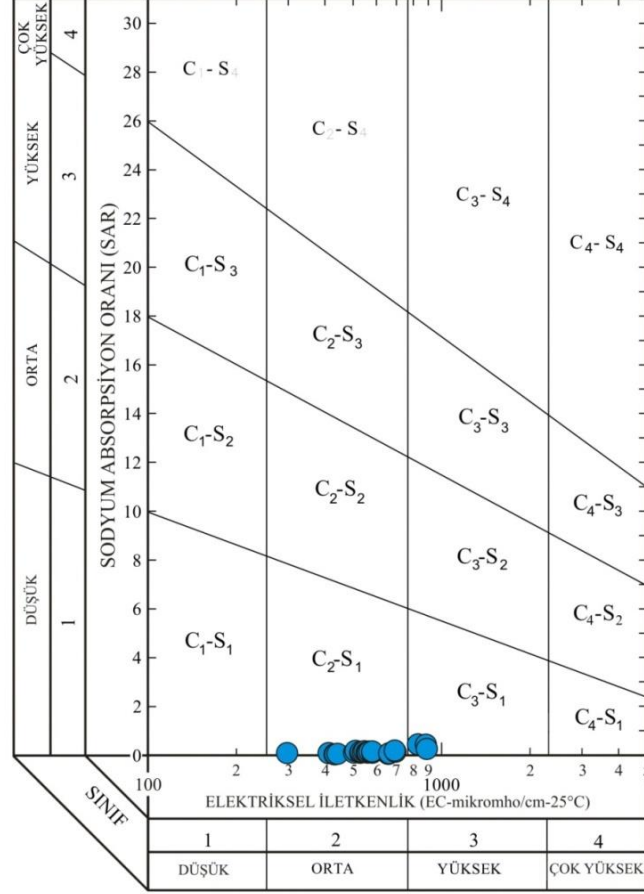
Bu diyagramda inceleme alanı sularından 23'ü "C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>", 3'ü (DS-1, DS-7 ve DS-19) "C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub>" sınıfta yer almaktadır. C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> (orta tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yer alan sularla orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir. C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> (tuzlu ve az sodyumlu sular) sınıfında yer alan sularla ise akaçlaması iyi topraklarda sodyum tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

### 6.2.5 Kalıntı sodyum karbonat (RSC)

Sulama sularında karbonat ve bikarbonat toplamının kalsiyum ve magnezyum toplamından fazla olması durumunda (pozitif RSC değeri), karbonat ve bikarbonat iyonları ortamdaki sodyum ile birleşerek kalıcı sodyum karbonat oluşturabilir. Bu da toprakta sodikleşmeye neden olarak sodyum tehlikesi yaratabilir. Bu nedenle sulama sularında RSC değerinin 1,75 mek/l'nin altında olması istenir (Tablo 6.3). RSC değeri eşitlik (6.4)'le hesaplanır (değerler mek/l'dir) (Eaton 1950):

$$RSC = (CO_3^{-2} + HCO_3^{-}) - (Ca^{+2} + Mg^{+2}) \quad (6.4)$$

İnceleme alanı sularındaki RSC değerlerinin tümü negatif olup -4,41 (DS-7) ile -0,23 (Denizcik) arasındadır (Tablo 6.2 ve Tablo 6.3). Bu durumda tüm sular herhangi bir sodyum tehlikesi yaratmadan sulamada kullanılabilir.



Şekil 6.3: İnceleme alanı sularının ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramındaki dağılımı.

### 6.2.6 Magnezyum oranı (MR)

MR, sulama suyundaki magnezyumun toprak yapısında neden olduğu hasarın derecesini gösterir. Suda yüksek derişimdeki magnezyum toprak alkalinitesine yol açar; ayrıca, magnezyum ve kil partikülleri arasında büyük miktarda su adsorbe edilerek toprağın geçirgenliğini azaltır ve bu da bitki gelişimi ve verimi üzerinde olumsuz etki yaratır. Sudaki yüksek magnezyum oranı toprağı tuzlandırmakta, bitki büyümesini ve verimini olumsuz etkilemektedir (Joshi ve diğ. 2009, Venugopal ve diğ. 2009). Magnezyum oranı eşitlik (6.5)'le hesaplanır (değerler mek/l'dir) (Paliwal 1972):

$$MR = \frac{Mg^{+2}}{(Ca^{+2}+Mg^{+2})} \times 100 \quad (6.5)$$

MR değeri 50'den az olan sular sulama için uygun, 50'den yüksek olan sular ise sulama için uygun olmayan sular olarak değerlendirilir. DS-19 hariç olmak üzere inceleme alanı sularının tamamı 50'den düşük MR değerlerine sahiptir ve sulamaya uygundur (Tablo 6.2 ve Tablo 6.3).

### 6.2.7 Klorür tehlikesi

Sulama sularında fazla miktarda bulunan klorür (özellikle 5 mek/l'den fazla) bitkiler tarafından soğurularak yaprak yanmasına neden olur ve bitkilerin gelişimini engeller. İnceleme alanı sularında Cl<sup>-</sup> değeri çok düşük olduğu için (0,995 mek/l) böyle bir tehlike yoktur

### 6.2.8 Bor tehlikesi

Sulama sularında bulunan 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 6.4'de, değişik bitki türlerinin bora karşı duyarlılıkları Tablo 6.5'de verilmiştir. İnceleme alanı sularının bor değeri en fazla 0,139 mg/l olduğundan duyarlı bitkiler dahil olmak üzere sulamada kullanılmasında bir sakınca yoktur.

**Tablo 6.4:** Bor içeriklerine göre sulama sularının sınıflaması.

Suyun Sınıfı	Suda bulunan bor (mg/l)		
	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 6.5:** 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
Avokado	Sivri biber	Lahana
Portakal	Kabak	Şalgam
Böğürtlen	Yulaf	Şeker pancarı
Kayısı	Mısır	Hurma
Şeftali	Buğday	Kuşkonmaz
Kiraz	Patates	Soğan
Trabzon hurması	Arpa	Yonca
İncir	Zeytin	
Üzüm	Bezelye	
Elma	Turp	
Armut	Tatlı bezelye	
Erik	Domates	
Amerikan fıstığı	Pamuk	
Ceviz	Ayçiçeği	

### 6.3 Suların Beton Üretiminde Kullanılabilme Özellikleri

Doğadaki suların pH, magnezyum ve sülfat değerlerinin beton üzerine zararlı etkinlik dereceleri Tablo 6.6'daki sınır değerler verilmiştir.

**Tablo 6.6:** Suların beton üzerine zararlı etkinlik dereceleri

	Zararlı etkinlik derecesi		
	Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli
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 (Şahinci, 1991).

TS-3440'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 DS-7 nolu sondaj suyu, sülfat değerinin 200 mg/l'yi aşması nedeniyle, beton üretiminde kullanıldığında ya da bina temelleri ile dokanakta olduğu zaman betona zayıf derecede zarar verir. Diğer sular için zararlı etkinlik derecesi yoktur.

## 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnceleme alanının temelini Menderes Masifi metamorfizmaları ve Likya napları (Honaz şeyli, çörtlü mermer, Sandak birimi ve Honaz ofiyoliti) oluşturur. Temel kayalar üzerine uyumsuzlukla Senozoyik yaşlı birimler gelir. Senozoyik yaşlı birimler çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası, marn ve kireçtaşıdır. Kuvaterner, alüvyon, alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve travertenler ile temsil edilir.

Çalışma alanındaki geçirimli birimler Menderes masifinin mermer, kuvarsit, kuvarşist ve kalkşistleri ile Yılanlı formasyonu, Tavas napına ait mermer ve dolomitik mermerler, Sandak birimi, traverten, alüvyon ve alüvyon yelpazesidir. Menderes masifinin Zeybekölen Tepe formasyonu ile Oligosen yaşlı Karadere ve Mortuma formasyonları yarı geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Geçirimsiz birimler Honaz şeyli, Honaz ofiyoliti, Eosen Naldöken formasyonu ve Üst Pliyosen Kolankaya formasyonudur. İnceleme alanındaki D-B, KD-GB ve KB-GD doğrultulu faylar kaynak çıkışlarını kontrol eder.

İnceleme alanındaki suların sıcaklıkları 9,6 ile 21,0 °C, elektriksel iletkenlikleri 297 ile 890 µS/cm ve pH değerleri 7,11–8,13 arasında değişmektedir. Çakıroluk kaynağı Ca-HCO<sub>3</sub>, DS-19 sondaj suyu Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Gökpınar kaynağı ile DS-7, DS-12 ve DS-15 nolu sondaj suları Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub> ve diğer suların tümü Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipindedir. Bölgedeki akifer litolojilerinin mineral bileşimi göz önüne alındığında, su kimyasının temel olarak karbonat çözünmesi ile şekillendiği, evaporit çözünmesi, silikat ayrışması ve iyon değişimi reaksiyonlarının da sulardaki Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Na<sup>+</sup> ve K<sup>+</sup> iyonlarının derişimine katkıda bulunduğu anlaşılmaktadır.

Suların tümü meteorik kökenli olup Akdeniz kökenli yağıştan beslenmektedir. Tritiyum değerleri suların beslenmesinde güncel yağışların etkin olduğuna işaret etmektedir. Sulardaki karbonun başlıca kökeni akifer kayalarındaki kalsit veya diğer karbonat minerallerinin çözünmesidir. Ancak bir miktar atmosferik CO<sub>2</sub> ve zemin CO<sub>2</sub> katkısı da olabilir.

İnceleme alanı suları, örnekleme sıcaklığı ve pH'ında, genellikle kalsit, aragonit ve dolomit minerallerince doygundur. Bu nedenle sondaj ve şebeke borularında kabuklaşma görülebilir.

İnceleme alanında örneklenen suların tümü İTASHY (2005)'de verilen standartlara uygun olup içilebilir özelliktedir. Cankurtaran-2, Denizcik, Ornaz ve Çakıroluk kaynakları “çok iyi kaliteli içme suları”, diğer sular ise “iyi kaliteli içme suları”dır.

Suların çoğunluğu “C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub>” (orta tuzlu ve az sodyumlu sular) sulama suyu sınıfında olup orta akaçlama özelliğindeki topraklarda tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.

İnceleme alanı sularından sadece DS-7 nolu sondaj suyu, sülfat değerinin 200 mg/l'yi aşması nedeniyle, beton üretiminde kullanıldığında ya da bina temelleri ile dokanakta olduğu zaman betona zayıf derecede zarar verir. Diğer sular için zararlı etkinlik derecesi yoktur.

İçme suyu kaynakları ve sondajlarından sürdürülebilir yararlanma için belli periyotlarla içme suyu analizlerinin yapılması, kaynak debilerinin en azından aylık periyotlarla izlenmesi, yeni açılacak sondajlarda kuyu loglarının titizlikle hazırlanması ve pompa testlerinin yapılması, gözlem kuyuları açılarak yeraltı su seviyelerinin gözlenmesi ve mevcut debinin gelecekte yetersiz kalabileceği gözönüne alınarak il merkezine yaklaşık 35 km mesafedeki Akbaş Barajı (Honaz) gibi rezervuar sularının da bir an önce sisteme dahil edilmesi gerekmektedir. İçme suyu kaynaklarının koruma alanlarının belirlenmesi ve bu alanlar için ilgili kanun ve yönetmelikte belirtilen sınırlamalara uyulması önem arz etmektedir.



## 8. KAYNAKLAR

Alan, İ., Keskin, H., Böke, N., Altun, İ., Balci, V., Elibol, H., Demirbağ, H., Bakırhan, B., Arman, S., Soyakıl, M., Hanılçı, N., Çelik, Ö.F. ve Candan, O., “Menderes Masifi’nin tektono-stratigrafik özellikleri projesi kapsamında elde edilen son bulgular”, *MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni*, 28, 41-48, (2019).

Alçıçek, H., “Denizli havzası (Sarayköy-Buldan bölgesi, GB Türkiye) Neojen çökellerinin sedimantolojik incelemesi”, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, (2007).

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

Ayers, R. S. and Westcot, D. W., *Water Quality for Agriculture*, Rome: Food and Agriculture, Organization of the United Nations FAO Irrigation and Drainage Paper 29, Rev. 1., (1985).

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”, (eds: O.Ö. Dora, İ. Özgenç and H. Sözbilir), *International Earth Science Colloquium of the Aegean Region (IESCA)*, İzmir, Turkey, 7–12, (2001).

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

Clark, I.D. and Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, New York: Lewis Publishers, 328 pp., (1997).

Craig, H., “Isotopic variations in meteoric waters”, *Science*, 133 (3465), 1702-1703, (1961).

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).

Çakmakoğlu, A., “Afrodisias Çevresinin (Karıncalıdağ-Babadağ ve Tavas arası) Jeolojisi ve Antik Mermer Ocaklarının Tektono-Stratigrafik Yeri”, *IV. Uluslararası Taş Kongresi, İzmir-Türkiye, 775-795*, (2017).

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

Çifter, C. ve Sayın, M., “İzotopların Hidrojeolojide Kullanılması”, *Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana, 1-14, (2002).

Eaton, E. M., “Significance of carbonate in irrigation waters”, *Soil Science*, 69, 123–133, (1950).

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

Evans, E.A., *Tritium and its Compounds*, Princeton, N.J.: Van Nostrand, 441p. (1966).

Faure, G., *Principles of Isotope Geology*, New York: J. Wiley & Sons, (1986).

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

Gat, 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., Mutlu, H., Akman, M.A., “Hydrochemical characteristics and geothermometry applications of thermal waters in the Çürüksu Graben, western Turkey”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(3), 260-283, (2022).

Gökgöz, A., “Pamukkale Karahayıt-Gölemezli Hidrotermal Karstının Hidrojeolojisi”, Doktora Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, (1994).

Gökgöz, A. ve Tabancalı, Y., “Böceli ve Kazanpınar karst kaynaklarının (Denizli) hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(3), 420-430, (2021).

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

Gökgöz, A., Taşdelen, S., Kaya, M. ve Bülbül, A., “Denizli Belediyesi Mücavir Alanının Hidrojeolojik ve Hidrokimyasal İncelemesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 53-62, (2005).

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, H. Yavuz. “Kale-Kurbalık (GB Denizli) bölgesindeki Senozoyik yaşlı çökel kayalann jeolojisi ve stratigrafisi”, *MTA Dergisi*, 109, 9-21, (1989).

Hançer, M., “Study of the Structural Evolution of the Babadağ-Honaz and Pamukkale Fault Zones and the Related Earthquake Risk Potential of the Buldan Region in SW Anatolia, East of the Mediterranean”, *Journal of Earth Science*, 24(3), 397–409, (2013).

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).

Joshi, D. M., Kumar, A. and Agrawal, N., “Assessment of the irrigation water quality of river Ganga in Haridwar district”, *Rasayan J. Chem.*, 2, 285–292, (2009).

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*, Amsterdam: Elsevier, 51-86, (1998).

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. and 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).

KOERI, “Türkiye ve yakın çevresindeki son depremler [online]”, (08 Nisan 2021), <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/default.asp>,. (2021).

Konak, N., “Menderes Masifi'nin Güney ve Güneydoğusundaki Naplı Yapılar”, *Menderes Masifi Teknik Gezi Kitabı*, Menderes Masifi Kolokyumu, İzmir, 33-48, (2007a).

Konak, N., “Menderes Masifi'nin Prekambriyen-Paleozoyik İstiflerinin Tektonik Üniteler Bazında Tartışılması”, *Menderes Masifi Kolokyumu*, Ankara, 17-23, (2007b).

Konak, N., “Menderes Masifi'nin Güneydoğusundaki Naplı Yapılar”, *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 304-306, (2003).

Konak, N., Alan, İ., Bakırhan, B., Bedi, Y., Dönmez, M., Pehlivan, Ş., Sevin, M. Türkecan, A. ve Yusufoglu, H., Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü 1/1.000.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası, (2016).

Konak, N. ve Çakmakoglu A., “Menderes Masifi ve Tavas Napı'ndaki Geç Kretase-Erken Tersiyer Olayları”, *62. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, Ankara, 948-949, (2009).

Konak, N. ve Çakmakoglu A., “Göktepe Napı-Bodrum Napı”, *Menderes Masifi Teknik Gezi Kitabı*, JMO Teknik Gezi Kitapları Serisi, No: 5, Ankara, 55-64, (2007a).

Konak, N. ve Çakmakoglu A., “Menderes Masifi ve Yakın Çevresindeki Mesozoyik-Alt Tersiyer İstiflerinin Tektonik Üniteler Bazında Tartışılması”, *Menderes Masifi Kolokyumu*, Ankara, 56-64, (2007b).

Konak, N. ve Şenel, M., 1/500.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası-Denizli Paftası Ankara, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (2002).

Konak, N., Akdeniz, N. and Öztürk, E.M., “Geology of the south of Menderes Massif”, *I.G.C.P. project no:5, Correlation of Variscan and pre-Variscan events of the Alpine Mediterranean mountain belt, field meeting*, Mineral Research and Exploration Institute, Turkey, 42-53.(1987).

Lucas, L.L. and Unterweger, M.P., “Comprehensive review and critical evaluation of the half-life of tritium”, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 105 (4), 541–549, (2000).

McLean, W., Jankowski, J. and Lavitt, N., “Groundwater quality and sustainability in an alluvial aquifer, Australia”, (eds: O. Sililo et al.), *Groundwater, Past Achievements and Future Challenges*. Rotterdam, The Netherlands: A.A. Balkema, 567–573, (2000).

Meybeck, M., “Global chemical weathering of surficial rocks estimated from river dissolved loads”, *American Journal of Science*, 287 (5), 401–428, (1987).

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).

Özkul, M., Çağdaş, G., Gökgöz, A ve Elçi, G., “Gökpınar (Denizli, GB Türkiye) Akarsu Tufalarının Sedimentolojisi ve Jeokimyasal Kayıtları”, *Sedimentoloji Çalışma Grubu 2020 Çalıştayı*, Balıkesir, 45-46, (2021).

Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Fózis, 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”, *Environ Geol*, 39(10), 1169-1180, (2000).

Özler, H.M., “Water Balance and Water Quality in the Çürüksu Basin in Western Turkey”, *Hydrogeol J*, 7(4), 405-418, (1999).

Özler, H.M., “Büyük Menderes Havzası Yukarı Çürüksu kesiminin hidrojeoloji incelemesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, (1996).

Paliwal, K. V., *Irrigation with saline water*, Monogram no. 2, new series (p. 198) New Delhi: IARI, (1972).

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).

Porowska, D., “Determination of the Origin of Dissolved Inorganic Carbon in Groundwater around a Reclaimed Landfill in Otwock Using Stable Carbon Isotopes”, *Waste Manag.*, 39, 216–225, (2015).

Richards, L. A., *Diagnosis and Improvement of Saline Alkali Soils*, Washington DC: Agriculture, Handbook 60, U.S. Department of Agriculture, 160 pp, (1954).

Sağlam, M. T. ve Adiloğlu, A., *Su Kalitesi*, Tekirdağ: Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Yayın no: 230, Ders Kitabı No: 27, (1997).

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*, İzmir: Reform Matbaası, 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).

Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., “Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach”, *Tectonophysics*, 75, 181–241, (1981).

Şimşek, Ş., Denizli–Kızıldere–Tekkehamam–Tosunlar–Buldan–Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları, *MTA Rapor no: 7846*, Ankara, 85 sy., (1984).

Şimşek, C. ve Gündüz, O., “IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess Irrigation Water Quality”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 128, 277–300, (2007).

Şimşek, G., Çanlı, M., Karadavut, U., Yazıcı, M. E. ve Soğancı, K., “Sulama Yapılan Alanların Bazı Su Parametreleri Açısından Ayırma (Discriminant) Analizi Kullanılarak İncelenmesi”, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 4(3), 339–346, (2017).

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

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

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

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

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).

Todd, D. K., “*Groundwater Hydrology*” New York: John Wiley and Sons, 552 pp., (1980).

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).

Venugopal, T., Giridharan, L., Jayaprakash, M. and Periakali, P., “Environmental Impact Assessment and Seasonal Variation Study of the Groundwater in the Vicinity of River Adyar, Chennai, India”, *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 81-97, (2009).

Wilcox, L. V., *Classification and use of irrigation waters*, Washington DC: U.S. Dept. Agric. Circ. 969, 19p, (1955).

Yalçınlar, İ., *Türkiye`de Neojen ve Kuvaterner omurgalı araziler ve jeomorfolojik karakterleri*, İstanbul: İTÜ Edebiyat Fak. Yayınları, 2741, 240 s., (1983).