

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇARŞAMBA AKİFERİ YERALTI SUYUNUN HİDROJEOLJİK VE  
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**DOKTORA TEZİ**

**Abdourazakou MAMAN HASSAN**

**TEMMUZ 2021**  
**TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ÇARŞAMBA AKİFERİ YERALTI SUYUNUN HİDROJEOLojİK VE  
HİDROJEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Abdourazakou MAMAN HASSAN**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“DOKTOR (JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ)”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 05/05/2021  
Tezin Savunma Tarihi : 01/07/2021**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY**

**Trabzon 2021**

## ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Uygulamalı Jeoloji programında “Çarşamba Akiferi Yeraltı Suyunun Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması” konulu doktora tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle bu çalışmanın hazırlanmasında beni yönlendiren, değerli bilgileri ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, maddi manevi desteğini esirgemeyen çok değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY’a teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim. Bu ülkede ve Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde eğitim alma fırsatı veren Yurtdışı Türkler ve Akraba Toplulukları Başkanlığı, YTB’ye teşekkürlerimi sunarım. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP)’ne teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında, çok değerli katkı, bilgi, tecrübe ve görüşlerini esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Fatma GÜLTEKİN’e, Dr.Öğr. Üyesi Esra HATİPOĞLU TEMİZEL’e, Arş. Gör Murat KARAHAN’a, Arş. Gör Muhammet Oğuz SÜNNETÇİ’e, Arş. Gör Kübra AKBULUT’a, Arş. Gör Bahrican AR’a, Jeofizik Mühendisi Rasim Taylan KARA’ya ve değerli arkadaşım Mahamadou KONARE’ye, Mühendis Murat KAYIKÇI ve Bilgisayar işletmeni Abdullah ŞAHİN’e çok teşekkür ederim. Arazi ve büro çalışmalarım esnasında, her türlü bilgi ve doküman açısından, ulaşım ve su örneklenmesini sağlayan Devlet Su İşleri VII. Bölge Müdürlüğü’ne, Jeoloji Mühendisi Mete TÜRKER’e, Jeoloji Mühendisi Cengiz TÜTÜNCÜOĞLU’ya, Jeofizik Mühendisi Osman KARADAĞ’a, Jeoloji Yüksek Mühendisi Hülya BAŞAR’a ve Yeraltısuları Şubesi teknik personeline teşekkürü bir borç bilirim. Suların fiziksel, kimyasal ve izotop analizleri gerçekleştirilmesinde emeği geçen DSİ VII. Bölge Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü’ne ve şube Müdürü Dr. Nazlı AYYILDIZ TURAN’a, Kimya Mühendisi Hava YILDIZ ÖZGÜL’e ve laboratuvar teknik personeline sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tüm eğitimim ve yaşamım boyunca her zaman yanımda olan, benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen rahmetli babam Maman HASSAN’a ve annem Kubra OUMAROU’ya, tez çalışmam süresince benimle birlikte tüm zorlukları paylaşan ve bana güç veren eşim Amina YACOUBA’ya ve Trabzon’da yaşamım boyunca benden yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen değerli abilerim Taner TAŞ’a, Levent ÖZKAN’a, Ömer KARAKAŞ’a, Naci ÇELİK’e ve ismini saymadığım herkese sonsuz teşekkür ederim.

Abdourazakou MAMAN HASSAN  
Trabzon, 2021

## **TEZ ETİK BEYANNAMESİ**

Doktora Tezi olarak sunduğum “Çarşamba Akiferi Yeraltı Suyunun Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY’un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 01/07/2021

Abdourazakou MAMAN HASSAN

## İÇİNDEKİLER

|                                        | <u>Sayfa No</u> |
|----------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ.....                             | III             |
| TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....              | IV              |
| İÇİNDEKİLER.....                       | V               |
| ÖZET .....                             | IX              |
| SUMMARY .....                          | X               |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                  | XI              |
| TABLolar DİZİNİ.....                   | XV              |
| SEMBOLLER DİZİNİ .....                 | XVIII           |
| 1. GİRİŞ.....                          | 1               |
| 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı ..... | 1               |
| 2. GENEL BİLGİLER.....                 | 3               |
| 2.2. Nüfus, Yerleşim ve Ulaşım .....   | 5               |
| 2.3. İklim ve Bitki Örtüsü.....        | 6               |
| 2.3.1. Yağış.....                      | 7               |
| 2.3.2. Buharlaşma .....                | 12              |
| 2.3.3. Sıcaklık .....                  | 17              |
| 2.4. Bitki Örtüsü .....                | 20              |
| 2.5. Ekonomik ve Sosyal Durum.....     | 20              |
| 2.6. Önceki Çalışmalar .....           | 20              |
| 3. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....             | 28              |
| 3.1. Arazi Çalışmaları.....            | 28              |
| 3.2. Laboratuvar Çalışmaları .....     | 30              |
| 3.3. Büro Çalışmaları.....             | 31              |
| 4. BULGULAR.....                       | 32              |
| 4.1. Bölgesel Jeoloji.....             | 32              |
| 4.1.1. Litostratigrafi .....           | 32              |
| 4.2. Yapısal Jeoloji .....             | 39              |
| 4.3. Çalışma Alanının Jeolojisi.....   | 40              |
| 5. HİDROJEOLJİ.....                    | 43              |
| 5.1. Su Noktaları.....                 | 43              |
| 5.1.1. Akarsuları .....                | 43              |

|          |                                                                                                                                |    |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1.2.   | Göller .....                                                                                                                   | 44 |
| 5.2.     | Çarşamba Ovası'nda Akiferlerin Hidrojeolojik Özellikleri .....                                                                 | 45 |
| 5.3.     | Kaynaklar.....                                                                                                                 | 47 |
| 5.4.     | Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi .....                                                       | 48 |
| 5.4.1.   | Alüvyon (Qal).....                                                                                                             | 48 |
| 5.4.2.   | Eski Kumsal Çökelleri (Qek).....                                                                                               | 52 |
| 5.4.3.   | Eski Akarsu Kanalı Çökelleri (Qea).....                                                                                        | 52 |
| 5.4.4.   | Eski Alüvyon Yelpezesi Çökelleri (Qey) .....                                                                                   | 52 |
| 5.4.5.   | Eski Taşkın Ovası Çökelleri (Qet).....                                                                                         | 52 |
| 5.4.6.   | Güncel Akarsu Kanalı Çökelleri (Qa) .....                                                                                      | 53 |
| 5.4.7.   | Tekkeköy Formasyonu .....                                                                                                      | 53 |
| 5.4.8.   | Sarıyurt Formasyonu .....                                                                                                      | 53 |
| 5.5.     | Akiferin Hidrodinamik Parametrelerinin Belirlenmesi .....                                                                      | 53 |
| 6.       | HİDROJEOKİMYA .....                                                                                                            | 56 |
| 6.2.     | Yeraltısularının Fiziksel Parametreleri .....                                                                                  | 58 |
| 6.2.1.   | Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH) .....                                                                                        | 60 |
| 6.2.2.   | Elektriksel İletkenlik (EC).....                                                                                               | 61 |
| 6.2.3.   | Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS).....                                                                                          | 63 |
| 6.2.4.   | Suların Sertliği.....                                                                                                          | 64 |
| 6.3.     | Yeraltı Sularının Kimyasal Özellikleri .....                                                                                   | 67 |
| 6.3.1.   | Majör Katyonlar.....                                                                                                           | 67 |
| 6.3.1.1. | Sodyum .....                                                                                                                   | 67 |
| 6.3.1.2. | Potasyum .....                                                                                                                 | 69 |
| 6.3.1.3. | Kalsiyum.....                                                                                                                  | 70 |
| 6.3.1.4. | Magnezyum .....                                                                                                                | 71 |
| 6.3.2.   | Majör Anyonlar .....                                                                                                           | 72 |
| 6.3.2.1. | Klorür.....                                                                                                                    | 72 |
| 6.3.2.2. | Sülfat.....                                                                                                                    | 74 |
| 6.3.2.3. | Alkalinite (Karbonat ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) ve Bikarbonat ( $\text{HCO}_3^-$ )) .....                                          | 76 |
| 6.4.     | Yeraltısularının Kirlilik Parametreleri .....                                                                                  | 79 |
| 6.4.1.   | Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) .....                                                                                               | 79 |
| 6.4.2.   | Nitrit ( $\text{NO}_2$ ).....                                                                                                  | 82 |
| 6.4.3.   | Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ).....                                                                                               | 83 |
| 6.5.     | Yeraltısuyunun Fiziksel ve Kimyasal Parametreleri Açısından Mevsimsel Değişiminin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi ..... | 87 |

|            |                                                                                    |     |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5.1.     | Korelasyon Analizi .....                                                           | 87  |
| 6.5.2.     | Temel Bileşen Analizi (TBA).....                                                   | 90  |
| 6.6.       | Yeraltısularında Bulunan İz Elementler .....                                       | 99  |
| 6.6.1.     | Nikel .....                                                                        | 100 |
| 6.6.2.     | Bor .....                                                                          | 102 |
| 6.6.3.     | Kurşun.....                                                                        | 103 |
| 6.6.4.     | Molibden.....                                                                      | 105 |
| 6.6.5.     | Selenyum .....                                                                     | 106 |
| 6.6.6.     | Mangan .....                                                                       | 108 |
| 6.6.7.     | Arsenik.....                                                                       | 109 |
| 6.6.8.     | Titanyum.....                                                                      | 111 |
| 6.6.9.     | Alüminyum .....                                                                    | 112 |
| 6.6.10.    | Krom .....                                                                         | 114 |
| 6.6.11.    | Kadmiyum .....                                                                     | 115 |
| 6.6.12.    | Kobalt .....                                                                       | 116 |
| 6.6.13.    | Baryum .....                                                                       | 117 |
| 6.6.14.    | Vanadyum.....                                                                      | 119 |
| 6.6.15.    | Bakır .....                                                                        | 120 |
| 6.6.16.    | Çinko .....                                                                        | 122 |
| 6.6.17.    | Yeraltısuların Ağır Metal Kirliliği ve Değerlendirme İndeksleri (HPI ve HEI) ..... | 125 |
| 6.6.18.    | Ficklin-Caboi Diyagramına Göre Yeraltısularının Sınıflanması.....                  | 129 |
| 6.7.       | Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Sınıflandırılması.....                           | 131 |
| 6.7.1.     | Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi .....                                 | 131 |
| 6.7.1.1.   | Stuyfzand Sınıflama Sistemine Göre Yeraltı Sularının Sınıflanması.....             | 132 |
| 6.7.1.1.1. | Yeraltı Sularının Ana Türünün Belirlenmesi.....                                    | 132 |
| 6.7.1.1.2. | Yeraltısularının Türünün Belirlenmesi .....                                        | 135 |
| 6.7.1.1.3. | Yeraltısularının Alt Tür ve Sınıfının Belirlenmesi .....                           | 137 |
| 6.7.1.2.   | Yeraltısularının Tipleri .....                                                     | 144 |
| 6.7.2.     | Piper Diyagramı.....                                                               | 145 |
| 6.7.3.     | Chadha Diyagramı .....                                                             | 148 |
| 6.7.4.     | Gibbs Diyagramı.....                                                               | 151 |
| 6.7.5.     | Schoeller Diyagramı .....                                                          | 153 |
| 6.8.       | Yeraltısularının Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi.....                      | 157 |
| 6.8.1.     | ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....                                           | 157 |

|          |                                                                                                          |     |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.8.2.   | Wilcox Diyagramına Göre Suların Değerlendirmesi .....                                                    | 159 |
| 6.8.3.   | Sodyum Yüzdesi (%Na) .....                                                                               | 162 |
| 6.8.4.   | Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) .....                                                                     | 164 |
| 6.8.5.   | Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC) .....                                                                       | 166 |
| 6.8.6.   | Kelly İndeksi (KI) .....                                                                                 | 167 |
| 6.8.7.   | Magnezyum Tehlikesi (MH) .....                                                                           | 169 |
| 6.8.8.   | Permeabilite İndeksi (Pİ) .....                                                                          | 171 |
| 6.8.9.   | Potansiyel Tuzluluk (PS) .....                                                                           | 172 |
| 7.       | İZOTOP HİDROLOJİSİ .....                                                                                 | 174 |
| 7.1.     | Giriş .....                                                                                              | 174 |
| 7.2.     | Oksijen-18 ( <sup>18</sup> O) ve Döteryum ( <sup>2</sup> H) Duraylı İzotopları .....                     | 175 |
| 7.2.1.   | Oksijen-18 ( <sup>18</sup> O) ve Döteryum ( <sup>2</sup> H) İlişkisi .....                               | 177 |
| 7.2.2.   | Oksijen-18 ( <sup>18</sup> O) - Cl <sup>-</sup> ve Oksijen - 18 ( <sup>18</sup> O) - EC İlişkileri ..... | 179 |
| 7.3.     | Tritiyum .....                                                                                           | 181 |
| 7.3.1.   | EC- <sup>3</sup> H ve Cl- <sup>3</sup> H İlişkileri .....                                                | 182 |
| 7.3.2.   | İnceleme Alanında Örneklenen Yeraltısularının <sup>3</sup> H- <sup>18</sup> O İlişkisi .....             | 185 |
| 8.       | TARTIŞMA .....                                                                                           | 187 |
| 9.       | SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                                                               | 195 |
| 10.      | KAYNAKLAR .....                                                                                          | 202 |
| 11.      | EKLER .....                                                                                              | 211 |
| ÖZGEÇMİŞ |                                                                                                          |     |



Doktora Tezi

ÖZET

ÇARŞAMBA AKİFERİ YERALTI SUYUNUN HİDROJEOLOJİK VE HİDROJEOKİMYASAL  
ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdourazakou MAMAN HASSAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY

2021, 210 Sayfa, 4 Sayfa Ek

Bu çalışma Çarşamba akiferi yeraltı suyunun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılması amacıyla hazırlanmıştır. Çarşamba ovasının batı bölümünde seçilen inceleme alanı Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından kaplanmaktadır. Bu alüvyonlar hidrojeolojik özelliklerine göre geçirimli birim olup iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Suların hidrojeokimyasal karakteristiklerini ve tuzlu su ile tatlı su arasında meydana gelen kation değişim olaylarını belirlemek için Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemi kullanılmıştır. Bu modelleme sistemine göre yeraltısularının çoğunlukla F3-CaHCO<sub>3</sub>+, F2-CaHCO<sub>3</sub>+ ve F3-CaMix+ olduğu belirlenmiştir. Yeraltısuyunun hidrokimyasal fasiyesini belirlemek için Piper ve Chadha diyagramları kullanılmıştır. Buna göre suların çoğunlukla Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> ve Ca-Mg-Cl'lu su fasiyesinde olduğu belirlenmiştir. Suların hangi işlev veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için Gibbs diyagramı kullanılmıştır. Bu diyagrama göre örnekler “kayaç baskın” ve “evaporasyon-kristalizasyon” baskın bölgelerinde yer almaktadır. Suların fiziksel parametreleri, majör iyonları ve kirlilik parametrelerinin analiz sonuçları Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği, Dünya Sağlık Örgütü ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre birçok yeraltı su kuyusunda Al, Mn, NO<sub>2</sub> ve NH<sub>4</sub> içeriklerinin sınır değeri aştığı tespit edilmiştir. Suların sulamada uygunluğunun belirlenmesinde ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramı, %Na, SAR, PS, Pİ, Kİ, RSC ve MH değerleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre suların büyük bölümünün tarımsal sulama için uygun olduğu görülmektedir. Yeraltı suyunun kökeni, bağlı yaşı ve akifere deniz suyu girişimi olup olmadığını belirlemek için δ<sup>18</sup>O, δ<sup>2</sup>H ve <sup>3</sup>H analizleri yapılmıştır. Sonuçlara göre yeraltısuyu meteorik kökenli olup, sık dolaşım ve yeraltında kısa kalış süresine sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Çarşamba Akiferi, Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi, Hidrokimyasal Fasiyesi

PhD. Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF HYDROGEOLOGICAL AND HYDROGEOCHEMICAL PROPERTIES  
OF ÇARŞAMBA AQUIFER GROUNDWATER

Abdourazakou MAMAN HASSAN

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Geological Engineering Graduate Program  
Supervisor: Assoc. Prof. Arzu Fırat ERSOY  
2021, 210 Pages, 4 Pages Appendix

The aim of this study is to investigate the hydrogeological and hydrogeochemical properties of the Çarşamba aquifer. The study area which is located in the western part of the Çarşamba plain, is entirely covered with Quaternary alluvium. According to its hydrogeological properties these alluviums are permeable and can be considered as important groundwater reservoirs. The Stuyfzand hydrogeochemical modeling system was used to determine the hydrogeochemical characteristics of water and the phenomena of cation exchange that occurs between salt water and fresh water. According to this system, it was determined that the water samples are mainly of the F3-CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup>, F2-CaHCO<sub>3</sub><sup>+</sup> and F3-CaMix<sup>+</sup> types. Piper and Chadha diagrams were used to determine the hydrochemical facies of the water samples. Accordingly, it was determined that mostly of water samples are found in the Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> and Ca-Mg-Cl facies. Gibbs diagram was used for to determine the major mechanisms controlling the groundwater chemistry in the study area. According to this diagram, water samples fall in rock-dominance and the evaporation-crystallization dominance zone. The physical, major ions and pollution parameters of the waters were evaluated according to the Regulation on the Waters for Human Consumption, the Regulation on the Quality Control of Inland Water Resources and the Regulation of World Health Organization. Accordingly, it was determined that the values of Al, Mn, NO<sub>2</sub> and NH<sub>4</sub> in many wells exceeded the permissible upper limit. The suitability of groundwater for irrigation was evaluated according to %Na, SAR, RSC K<sub>I</sub>, MH, PS, P<sub>I</sub> values, USSL salinity and Wilcox diagrams. According to the results, almost all samples are suitable for irrigation.  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  and  $^3\text{H}$  were carried out to determine the origin, the relative age of the groundwater and if there was seawater intrusion into the aquifer. According to the results, the groundwaters have meteoric origin, have shallow circulation and a short circulation time.

**Key Words:** Çarşamba Aquifer, Stuyfzand Hydrogeochemical Modeling System, Hydrochemical Facies

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|           | <u>Sayfa No</u>                                                                                                                             |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Şekil 1.  | Çalışma alanının yer bulduru haritası..... 4                                                                                                |
| Şekil 2.  | Çalışma alanının yükselti haritası ..... 5                                                                                                  |
| Şekil 3.  | Çalışma alanı ve yakın çevresinin yağış haritası..... 7                                                                                     |
| Şekil 4.  | Thiessen yöntemiyle Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerine yıllık düşen ortalama yağış miktarının belirlenmesi ..... 9                             |
| Şekil 5.  | Çarşamba havalimanı 17031 nolu gözlem istasyonunun 2009-2018 arasındaki yıllara ait eklenik sapma grafiği..... 10                           |
| Şekil 6.  | Çarşamba'nın yağış ve potansiyel buharlaşma terleme grafiği ..... 15                                                                        |
| Şekil 7.  | Çalışma alanının gerçek buharlaşma terleme dağılım haritası..... 17                                                                         |
| Şekil 8.  | Çalışma alanının sıcaklık dağılım haritası ..... 18                                                                                         |
| Şekil 9.  | Tekkeköy belediyesine ait sondaj kuyusundan su örneği alımı ..... 29                                                                        |
| Şekil 10. | Karadeniz'den su örneği alımı ..... 29                                                                                                      |
| Şekil 11. | Laboratuvarda kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesi..... 30                                                                               |
| Şekil 12. | Samsun doğu kısmına ait jeoloji haritası..... 38                                                                                            |
| Şekil 13. | İnceleme alanının jeoloji haritası ..... 41                                                                                                 |
| Şekil 14. | İnceleme alanının jeoloji haritasında alınan A-A' jeoloji kesiti ..... 42                                                                   |
| Şekil 15. | Çarşamba Ovası'nın hidrojeoloji haritası ..... 46                                                                                           |
| Şekil 16. | İnceleme alanının hidrojeoloji haritasında alınan B-B'jeoloji kesiti ..... 47                                                               |
| Şekil 17. | Alüvyon (Qal) birimine ait kuyu logları (C-C')..... 49                                                                                      |
| Şekil 18. | İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait EC değerlerinin dağılım haritası..... 63                                          |
| Şekil 19. | İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait Na <sup>+</sup> iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası ..... 68               |
| Şekil 20. | İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait Cl <sup>-</sup> iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası ..... 73                       |
| Şekil 21. | İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası ..... 76 |
| Şekil 22. | İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası ..... 81          |
| Şekil 23. | İnceleme alanındaki Aralık ayına ait NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası..... 83                        |
| Şekil 24. | İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> iyonlarının dağılım haritası ..... 85                        |

|           |                                                                                          |     |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 25. | Temmuz ayına ait Faktör yüklerinin birbirlerine göre değişimleri ve ilişkileri.....      | 94  |
| Şekil 26. | Temmuz ayı için kuyulara ait skor değerleri.....                                         | 95  |
| Şekil 27. | Aralık ayına ait Faktör yüklerinin birbirlerine göre değişimleri ve ilişkileri.....      | 98  |
| Şekil 28. | Aralık ayı için kuyulara ait skor değerleri.....                                         | 99  |
| Şekil 29. | Temmuz ayında örneklenen suların Nikel konsantrasyonunun dağılım haritası .....          | 101 |
| Şekil 30. | Temmuz ayında örneklenen suların bor konsantrasyonunun dağılım haritası .....            | 103 |
| Şekil 31. | Temmuz ayında örneklenen suların kurşun konsantrasyonunun dağılım haritası .....         | 104 |
| Şekil 32. | Temmuz ayında örneklenen suların molibden konsantrasyonunun dağılım haritası .....       | 106 |
| Şekil 33. | Temmuz ayında örneklenen suların Selenyum konsantrasyonunun dağılım haritası .....       | 107 |
| Şekil 34. | Temmuz ayında örneklenen suların mangan konsantrasyonunun dağılım haritası .....         | 109 |
| Şekil 35. | Temmuz ayında örneklenen suların arsenik konsantrasyonunun dağılım haritası .....        | 110 |
| Şekil 36. | Temmuz ayında örneklenen suların titanyum konsantrasyonlarının dağılım haritası .....    | 112 |
| Şekil 37. | Temmuz ayında örneklenen suların alüminyum konsantrasyonlarının dağılım haritası .....   | 113 |
| Şekil 38. | Temmuz ayında örneklenen suların krom konsantrasyonlarının dağılım haritası .....        | 115 |
| Şekil 39. | Temmuz ayında örneklenen suların kobalt konsantrasyonlarının dağılım haritası .....      | 117 |
| Şekil 40. | Temmuz ayında örneklenen suların baryum konsantrasyonlarının dağılım haritası .....      | 118 |
| Şekil 41. | Temmuz ayında örneklenen suların vanadyum konsantrasyonlarının dağılım haritası .....    | 120 |
| Şekil 42. | Temmuz ayında örneklenen suların bakır konsantrasyonlarının dağılım haritası .....       | 121 |
| Şekil 43. | Temmuz ayında örneklenen suların çinko konsantrasyonlarının dağılım haritası .....       | 123 |
| Şekil 44. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının HPI ve HEI değerlerinin dağılım haritası ..... | 129 |
| Şekil 45. | Ficklin-Caboi diyagramı .....                                                            | 130 |
| Şekil 46. | Temmuz ayında örneklenen suların ana türünün dağılım haritası .....                      | 134 |

|           |                                                                                                                                                          |     |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Şekil 47. | Aralık ayında örneklenen suların ana türünün dağılım haritası .....                                                                                      | 134 |
| Şekil 48. | Temmuz ayında örneklenen suların türünün dağılım haritası .....                                                                                          | 136 |
| Şekil 49. | Aralık ayında örneklenen suların türünün dağılım haritası .....                                                                                          | 137 |
| Şekil 50. | Temmuz ayında örneklenen suların alt türlerinin belirlenmesi.....                                                                                        | 139 |
| Şekil 51. | Aralık ayında örneklenen suların alt türlerinin belirlenmesi.....                                                                                        | 139 |
| Şekil 52. | Temmuz ayında örneklenen suların alt türlerinin Ca ve Na, Ca ve Mg, Ca ve HCO <sub>3</sub> , Ca ve Cl ile Na ve HCO <sub>3</sub> arasındaki ilişki ..... | 142 |
| Şekil 53. | Aralık ayında örneklenen suların alt türlerinin Ca ve Na, Ca ve Mg, Ca ve HCO <sub>3</sub> , Ca ve Cl ile Na ve HCO <sub>3</sub> arasındaki ilişki.....  | 143 |
| Şekil 54. | Piper'in sınıflanmasına göre suların fasiyesinin belirlenmesi.....                                                                                       | 146 |
| Şekil 55. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısularına ait Piper diyagramı.....                                                                                        | 147 |
| Şekil 56. | Aralık ayında örneklenen yeraltısularına ait Piper diyagramı.....                                                                                        | 148 |
| Şekil 57. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Chadha diyagramı.....                                                                               | 150 |
| Şekil 58. | Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Chadha diyagramı.....                                                                               | 151 |
| Şekil 59. | Temmuz ayında örneklenen sularına ait Gibbs diyagramı.....                                                                                               | 152 |
| Şekil 60. | Aralık ayında örneklenen sularına ait Gibbs diyagramı.....                                                                                               | 153 |
| Şekil 61. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Shoeller diyagramı.....                                                                             | 155 |
| Şekil 62. | Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Shoeller diyagramı.....                                                                             | 156 |
| Şekil 63. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait ABD tuzluluk diyagramı.....                                                                         | 158 |
| Şekil 64. | Aralık ayında örneklenen yeraltısularına ait ABD tuzluluk diyagramı.....                                                                                 | 159 |
| Şekil 65. | Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagramı.....                                                                               | 161 |
| Şekil 66. | Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagra .....                                                                                | 162 |
| Şekil 67. | Temmuz ayında örneklenen sulara ait $\delta^{2}\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişkisi.....                                                  | 178 |
| Şekil 68. | Aralık ayında örneklenen sulara ait $\delta^{2}\text{H} - \delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişkisi.....                                                  | 179 |
| Şekil 69. | Temmuz ayında örneklenen sulara ait EC - $\delta^{18}\text{O}$ ve EC - $\delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişkiler .....                                  | 180 |
| Şekil 70. | Aralık ayında örneklenen sulara ait EC - $\delta^{18}\text{O}$ ve EC - $\delta^{18}\text{O}$ arasındaki ilişkiler.....                                   | 180 |
| Şekil 71. | Temmuz ayında örneklenen sulara ait EC- <sup>3</sup> H ve Cl- <sup>3</sup> H arasındaki ilişkiler.....                                                   | 184 |
| Şekil 72. | Aralık ayında örneklenen sulara ait EC- <sup>3</sup> H ve Cl- <sup>3</sup> H arasındaki ilişkil .....                                                    | 185 |

Şekil 73. Temmuz (a) ve Aralık (b) aylarında örneklenen yeraltı sularının  $^3\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$  grafiği..... 186



## TABLolar DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                       | <u>Sayfa No</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| Tablo 1. Çarşamba İlçesi'nin 2007 ile 2018 arasındaki nüfusu .....                                                                                                                                    | 6               |
| Tablo 2. Tekkeköy İlçesi'nin 2007 ile 2018 yılları arasındaki nüfusu .....                                                                                                                            | 6               |
| Tablo 3. Devlet Meteoroloji İstasyonlarında ölçülen yıllık ortalama yağış değerleri.....                                                                                                              | 8               |
| Tablo 4. 2014-2018 arasındaki aylık ortalama yağış değerleri (mm).....                                                                                                                                | 8               |
| Tablo 5. Çarşamba istasyonuna ait 2009-2018 arasındaki yıllar yağış miktarı ve eklenik sapma değerleri.....                                                                                           | 11              |
| Tablo 6. Çarşamba meteoroloji istasyonu için hazırlayan Thornwaite (1948) buharlaşma - terleme bilançosu.....                                                                                         | 14              |
| Tablo 7. Turc yöntemiyle hesaplanan gerçek-buharlaşma terleme değerleri .....                                                                                                                         | 16              |
| Tablo 8. 2014-2018 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklık değerleri (°C) .....                                                                                                                    | 19              |
| Tablo 9. Kaynak sularına ait bilgiler .....                                                                                                                                                           | 47              |
| Tablo 10. Alüvyon (Qal) formasyonunda açılmış kuyular .....                                                                                                                                           | 49              |
| Tablo 11. Hesaplanan hidrolik parametreler .....                                                                                                                                                      | 55              |
| Tablo 12. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve TSS-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2006) standartlarının değerleri ..... | 58              |
| Tablo 13. İncelenen suların 2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarına ait fiziksel analiz sonuçları.....                                                                                                    | 59              |
| Tablo 14. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması .....                                                                                                                                         | 61              |
| Tablo 15. Suların EC değerlerine göre sınıflandırılması .....                                                                                                                                         | 62              |
| Tablo 16. TDS değerlerine göre yeraltı sularının sınıflandırılması.....                                                                                                                               | 64              |
| Tablo 17. Suların sertlik değerlerine göre sınıflandırılması .....                                                                                                                                    | 65              |
| Tablo 18. KİSKKY, DSÖ ve TSS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların değerlendirilmesi .....                                                                            | 66              |
| Tablo 19. Fiziksel parametrelere göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların sınıflandırılması.....                                                                                            | 66              |
| Tablo 20. KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların değerlendirilmesi .....                                                                             | 77              |
| Tablo 21. Temmuz ayında örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları.....                                                                                                                             | 78              |
| Tablo 22. Aralık ayında örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları.....                                                                                                                             | 79              |
| Tablo 23. Yeraltısularının kirlilik parametreleri.....                                                                                                                                                | 86              |

|           |                                                                                                                                           |     |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 24. | KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların kirlilik parametrelerinin değerlendirilmesi ..... | 86  |
| Tablo 25. | 2019-Temmuz ayına ait Spearman korelasyon sonuçları .....                                                                                 | 89  |
| Tablo 26. | 2019-Aralık ayına ait Spearman korelasyon analiz sonucu .....                                                                             | 89  |
| Tablo 27. | Temmuz ve Aralık aylarına ait KMO ve Barlett testi sonucu.....                                                                            | 90  |
| Tablo 28. | Temmuz ayına ait açıklanan toplam varyansı .....                                                                                          | 91  |
| Tablo 29. | Temmuz ayına ait döndürülmüş Temel Bileşen Analiz matrisi.....                                                                            | 92  |
| Tablo 30. | Aralık ayına ait açıklanan toplam varyans .....                                                                                           | 96  |
| Tablo 31. | Aralık ayına ait döndürülmüş temel bileşen analiz matrisi .....                                                                           | 97  |
| Tablo 32. | Temmuz ayında örneklenen suların iz element analiz sonucu.....                                                                            | 123 |
| Tablo 33. | KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ayında örneklenen suların iz elementlerinin değerlendirilmesi .....                      | 125 |
| Tablo 34. | Temmuz ayında örneklenen yeraltı sularının HPI ve HEI değerleri.....                                                                      | 127 |
| Tablo 35. | Yeraltısularının kirlilik seviyelerine göre sınıflandırılması.....                                                                        | 128 |
| Tablo 36. | Cl değerlerine göre suyun ana türünün belirlenmesi.....                                                                                   | 132 |
| Tablo 37. | Temmuz ve aralık aylarında örneklenen suların ana türü .....                                                                              | 133 |
| Tablo 38. | Toplam sertlik değerlerine göre suyun türünün belirlenmesi.....                                                                           | 135 |
| Tablo 39. | Temmuz ve Aralık ayında örneklenen suların türü.....                                                                                      | 135 |
| Tablo 40. | Yeraltısuyunun alt türünün belirlenmesi .....                                                                                             | 137 |
| Tablo 41. | Katyon değişim kodlarına göre suyun tipinin belirlenmesi .....                                                                            | 138 |
| Tablo 42. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların alt türleri .....                                                                           | 140 |
| Tablo 43. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların tipleri .....                                                                               | 144 |
| Tablo 44. | %Na değerlerine göre sulama suyunun sınıflandırılması.....                                                                                | 163 |
| Tablo 45. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların %Na değerlerine göre değerlendirilmesi .....                                                | 163 |
| Tablo 46. | SAR değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması .....                                                                             | 164 |
| Tablo 47. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların SAR değerlerine göre değerlendirilmesi.....                                                 | 165 |
| Tablo 48. | RSC değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması.....                                                                              | 166 |
| Tablo 49. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin RSC değerlerine göre değerlendirilmesi.....                                | 167 |
| Tablo 50. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Kİ değerlerine göre değerlendirilmesi.....                                                  | 168 |
| Tablo 51. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların MH değerlerine göre değerlendirilmesi.....                                                  | 170 |
| Tablo 52. | Pİ değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması.....                                                                               | 171 |



|           |                                                                                               |     |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tablo 53. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Pİ değerlerine göre değerlendirilmesi.....      | 171 |
| Tablo 54. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların PS değerlerine göre değerlendirilmesi.....      | 173 |
| Tablo 55. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların $^2\text{H}$ ve $^{18}\text{O}$ değerleri ..... | 176 |
| Tablo 56. | Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların $^3\text{H}$ değerleri.....                     | 181 |



## SEMBOLLER DİZİNİ

|                        |                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>As</b>              | : Arsenik                                           |
| <b>Al</b>              | : Alüminyum                                         |
| <b>B</b>               | : Bor                                               |
| <b>Ba</b>              | : Baryum                                            |
| <b>Ca</b>              | : Kalsiyum                                          |
| <b>CO<sub>3</sub></b>  | : Karbonat                                          |
| <b>Cl</b>              | : Klor                                              |
| <b>Cr</b>              | : Krom                                              |
| <b>Cu</b>              | : Bakır                                             |
| <b>Cd</b>              | : Kadmiyum                                          |
| <b>Co</b>              | : Kobalt                                            |
| <b>DSİ</b>             | : Devlet Su İşleri                                  |
| <b>DET</b>             | : Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon         |
| <b>ET</b>              | : Evapotranspirasyon                                |
| <b>EC</b>              | : Elektrik iletkenlik                               |
| <b>Fe</b>              | : Demir                                             |
| <b>F<sup>0</sup></b>   | : Fransız sertlik derecesi                          |
| <b>RET</b>             | : Gerçek Evapotranspirasyon                         |
| <b><sup>2</sup>H</b>   | : Deteriyum                                         |
| <b><sup>3</sup>H</b>   | : Tritiyum                                          |
| <b>HCO<sub>3</sub></b> | : Bikarbonat                                        |
| <b>K</b>               | : Potasyum                                          |
| <b>KİSKKY</b>          | : Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği |
| <b>Kİ</b>              | : Kelly İndeksi                                     |
| <b>Mo</b>              | : Molibden                                          |
| <b>Mn</b>              | : Mangan                                            |
| <b>Mg</b>              | : Magnezyum                                         |
| <b>MH</b>              | : Magnezyum Tehlikesi                               |
| <b>MGM</b>             | : Meteoroloji Genel Müdürlüğüne                     |
| <b>MTA</b>             | : Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü             |
| <b>Na</b>              | : Sodyum                                            |
| <b>NO<sub>2</sub></b>  | : Nitrit                                            |

|                       |                                             |
|-----------------------|---------------------------------------------|
| <b>NO<sub>3</sub></b> | : Nitrat                                    |
| <b>NH<sub>4</sub></b> | : Amonyum                                   |
| <b>Ni</b>             | : Nikel                                     |
| <b>%Na</b>            | : Sodyum Yüzdesi                            |
| <b><sup>18</sup>O</b> | : Oksijen-18                                |
| <b>pH</b>             | : Hidrojen iyonun aktivitesinin logaritması |
| <b>Pb</b>             | : Kurşun                                    |
| <b>PI</b>             | : Permeabilite İndeksi                      |
| <b>PS</b>             | : Potansiyel Tuzluluk                       |
| <b>PET</b>            | : Potansiyel Evapotranspirasyon             |
| <b>P</b>              | : Yıllık ortalama yağış                     |
| <b>Q</b>              | : Debi                                      |
| <b>R</b>              | : Yarıçapı                                  |
| <b>RSC</b>            | : Kalıcı Sodyum Karbonat                    |
| <b>SO<sub>4</sub></b> | : Sülfat                                    |
| <b>SAR</b>            | : Sodyum Adsorpsiyon oranı                  |
| <b>Se</b>             | : Selenyum                                  |
| <b>T</b>              | : Sıcaklık                                  |
| <b>Ti</b>             | : Titanyum                                  |
| <b>TDS</b>            | : Toplam çözünmüş katı maddeler             |
| <b>TS</b>             | : Türk Standardı                            |
| <b>TBA</b>            | : Temel Bileşen Analizi                     |
| <b>UP</b>             | : Potansiyel Buharlaşma Terleme             |
| <b>UG</b>             | : Gerçek Buharlaşma Terleme                 |
| <b>V</b>              | : Vanadyum                                  |
| <b>WHO</b>            | : Dünya Sağlık Örgütü                       |
| <b>Zn</b>             | : Çinko                                     |

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yeryüzünde yüzey ve yeraltısularının esas kaynağını oluşturan yağışın dünya ortalaması 1000 mm iken bu rakam Türkiye’de 646 mm’dir. Bu durum Türkiye’nin su kaynakları bakımından zengin ülkeler arasında yer almadığını göstermektedir. Bu nedenle Türkiye’de su kaynaklarının rezervi tükenmeden ve kaliteyi bozmadan yararlanma zorunluluğu artmaktadır. Türkiye’de, artan nüfusla, kişi başına düşen su potansiyeli her yıl biraz daha azalmaktadır. Öte yandan, yanlış arazi kullanımı, kentleşme ve sanayi kuruluşları, vahşi depolama alanları, sıvı atıkların arıtılmaksızın su havzalarına deşarjı gibi olumsuz etkenler yüzey ve yeraltısularının hızla kirlenmesine neden olmaktadır.

Günümüzde en önemli çevresel sorunlardan biri, yeraltısuyunun kirlenmesidir ve su kaynaklarını etkileyen çok çeşitli kirleticiler arasında ağır metaller, düşük konsantrasyonlarda bile güçlü toksisiteleri göz önüne alındığında özellikle endişe duyulmaktadır (Hooda vd., 1998).

Özellikle kıyı akiferlerinde aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda, yeraltısuyu seviyesi düşmekte ve bunun sonucunda da deniz suyu iç bölgelere doğru hareket etmektedir (Barlow vd., 2003). Bu nedenle kıyı bölgelerde yer alan akiferlerde su seviyelerinin ve kalitelerinin düzenli olarak ölçülmesi ve izlenmesi gerekmektedir.

Deniz suyu girişimine maruz kalmış akiferlerde bulunan yeraltısuyu ile sulama yapılan tarım alanlarında toprakta tuzlanma ve sodyum içeriğinin artması, toprağın verimliliğini azalması ve toprağın geçirimsiz hale gelmesi gibi problemler yaşanmaktadır.

Türkiye’de Karadeniz’in en büyük 2 ovasından bir tanesi Samsun ili sınırları içinde yer alan Çarşamba Ovasıdır. Çarşamba Ovası bu nedenle yoğun tarımsal faaliyetlerin yapıldığı bir bölge konumundadır. Bu bölge Karadeniz kıyısında yer aldığından, aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda deniz suyu girişimi problemi ile karşı karşıya kalmaktadır. Ayrıca tarım alanlarında aşırı derecede gübre kullanımı da yeraltısularının nitrat, nitrit ve amonyum açısından kirlenmesine neden olmaktadır.

Bu çalışmalar kapsamında, Türkiye’nin en önemli kıyı akiferlerinden biri olan Çarşamba Akiferinde, akiferin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup

olmadığının araştırılması amaçlanmaktadır. Bu çalışmaların gerçekleştirilmesi için Çarşamba Akiferi'nden yeraltısuyu ve deniz suyu örnekleri alınmış ve örnekler üzerinde fiziksel parametreler (Sıcaklık, EC, TDS ve pH), majör katyonlar (Na, Ca, K, Mg), majör anyonlar ( $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ), kirlilik parametreleri ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$  ve  $\text{NH}_4$ ), iz elementler (Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V, Ba), Döteryum, Oksijen-18 ve Tritiyum izotop analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar kullanarak yeraltısuyunda bulunan majör iyon ve iz element içerikleri belirlenmiş, ağır metal kirlilik indeksi (HPI), ağır metal değerlendirme indeksi (HEI), Sodyum Yüzdesi, SAR içeriği, Kelly indeksi, RSC değeri, Permeabilite indeksi, Mg zararı değeri belirlenmiştir. İçme ve sulama suyu açısından sorun oluşturan ağır metal ve diğer kirlilik parametrelerinin alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır ve bunun sonucunda problemin daha fazla olduğu bölgeler tespit edilmiştir.

Yeraltısuyunun tipi, kökeni ve hidrojeokimyasal evriminin belirlenmesi için Stuyfzand Sınıflanma Sistemi, Piper, Shoeller, Gibbs ve Chadha diagramları kullanılarak akiferde yeraltısuyunun gelişimi hakkında bilgi elde edilmiştir. Yeraltısularında yapılmış olan analizler, Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımları kullanılarak sayısal hale getirilmiş ve dağılım haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca, yeraltısuyu örneklerinin istatistiksel olarak değişimini belirlemek amacıyla Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen analizi uygulanmıştır.

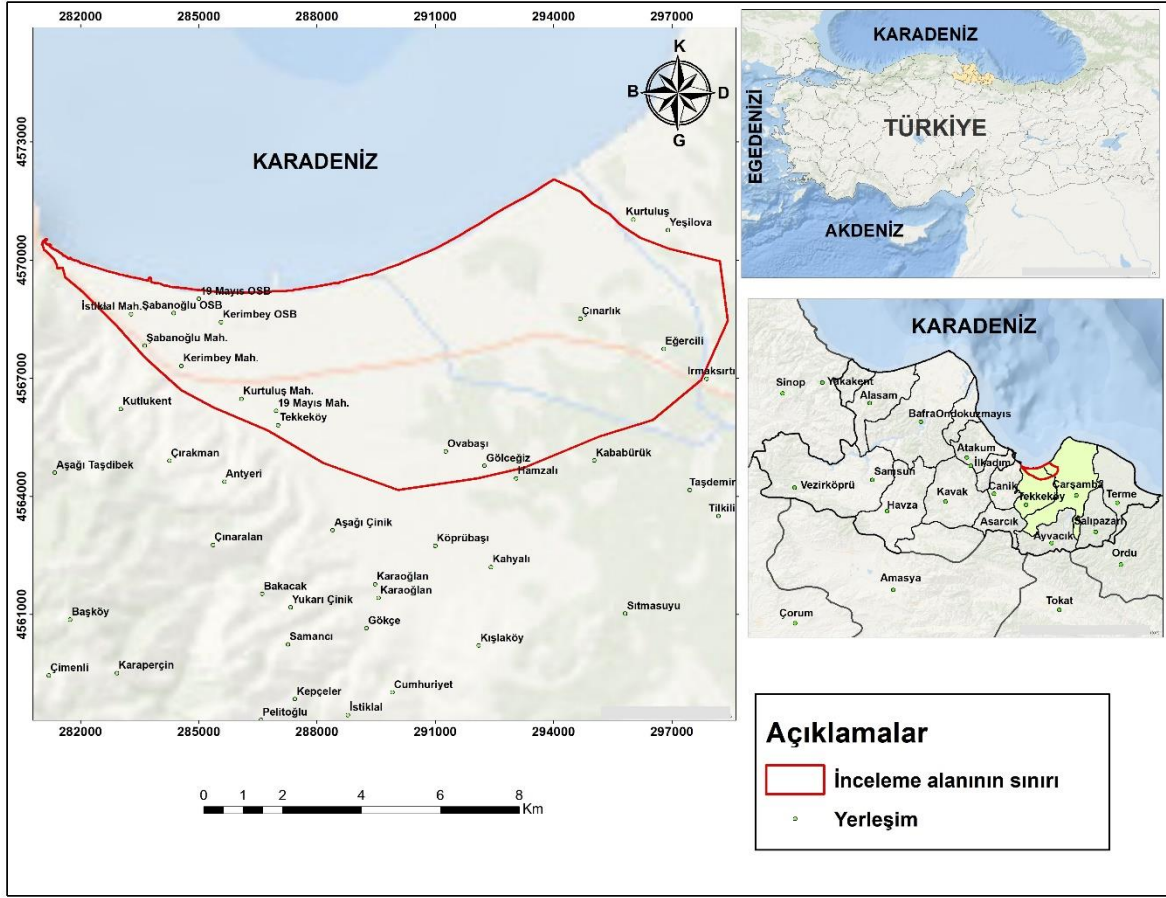
Jeoloji ve Hidrojeoloji Çalışmaları için çalışma alanında bulunan jeolojik birimler önceki çalışmalar dikkate alınarak arazi çalışmaları ile kontrol edilmiştir. Hidrojeoloji çalışmalarında, elde edilen jeolojik bilgiler ışığında çalışma alanında bulunan jeolojik birimler su bulundurabilme ve geçirimsizlik özelliklerine göre sınıflandırılmıştır ve akifer olabilecek birimler belirlenmiştir. Akifer olarak tespit edilen litolojik birimler ayrıntılı olarak açıklanmış ve Çarşamba Ovası'nın hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Çarşamba akiferinin hidrolik parametrelerinin tespitinde daha önceden bölgede yapılmış pompaj deneylerinin düşüm-zaman değerleri Jacob yöntemine uygulanmış ve akiferin Permeabilite (K) ve Transmissibilite (T) Katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Bu doktora tez çalışmasında gerçekleştirilmiş olan hedefler Giriş, Genel Bigiler, Yapılan Çalışmalar, Bulgular, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, İzotop Hidrolojisi, Tartışma, Sonuç ve Öneriler olmak üzere 9 ana başlık altında detaylı bir şekilde incelenmiştir.

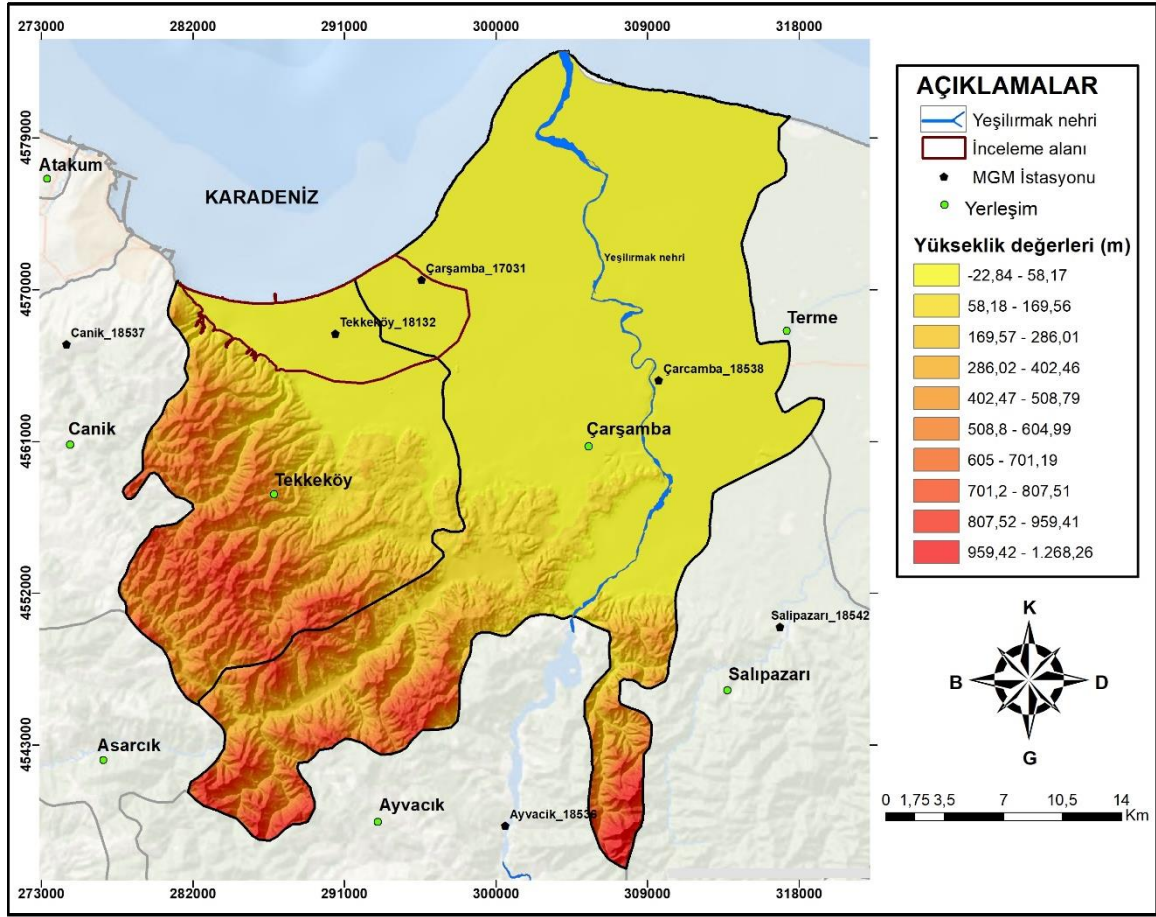
## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Çalışma Alanının Coğrafi Konumu ve Morfolojisi

Çalışma alanı Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde Çarşamba ovasında, Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Çarşamba ovası Türkiye'nin kuzeyinde, Karadeniz bölgesi sınırları içerisinde,  $41^{\circ} 0' 45''$  -  $41^{\circ} 22' 55''$  kuzey enlemleri ile  $36^{\circ} 25' 53''$  -  $37^{\circ} 14' 42''$  doğu boylamları arasında yer almaktadır. Çarşamba ilçesi  $36^{\circ} 43'$  ile  $36^{\circ} 44'$  doğu boylamı,  $41^{\circ} 10'$  ile  $41^{\circ} 13'$  kuzey enlemi arasında yer almaktadır. İlçe, doğusunda Terme ilçesi, batısında Tekkeköy ilçesi, Güneyinde Salıpazarı ve Ayvacık ilçeleriyle çevrilidir. Canik Dağları 700-800 metre yüksekliğinde olup şehir rakımı 15 metredir. İlçe denizden Caniklere doğru yükselmekte olup deniz kıyısında rakım azalmakta hatta bazı yerlerde deniz seviyesinin altına düşmektedir. Tekkeköy ilçesi ise  $36^{\circ} 21' 30''$  -  $36^{\circ} 35' 30''$  doğu boylamları ile  $41^{\circ} 01' 20''$  -  $41^{\circ} 15' 50''$  kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. İlçe batısından Canik, doğu ve güneydoğusundan Çarşamba, güneyinden ise Asarcık ilçeleri ile komşu iken, kuzeyinden Karadeniz'e 11,6 km kıyısı bulunmaktadır. Tekkeköy ilçesinin yüzölçümü yaklaşık  $345 \text{ km}^2$  olup en kuzeyinden en güneyine 23 km, en doğusundan en batısına 19 km uzunluğa sahiptir. İlçenin jeomorfolojik özelliklerine göre, Yeşilirmak Deltası üzerinde kalan düz saha, birikinti koni ve yelpazelerinden oluşan geçiş sahası ve delta gerisindeki dağlık arazi olmak üzere üç farklı morfolojik birime ayrılması mümkündür. İlçenin yükseklik değerleri dağlık sahada 1000 m üzerine çıkabilirken delta üzerinde kalan kesimlerinde 0-50 m arasında değişmektedir (Şekil 2). İnceleme alanı Yeşilirmak Havzası'nın sol sahilinde ve Çarşamba ovasının batı bölümünde (havaalanı ile sanayi bölgesi alanı arasında) kalacak şekilde ve 1/25000 ölçekli F36c2, F37a4, F37a3, F37d1 ve F37d2 paftaları içerisinde yer almaktadır. Bu alan içerisinde, birçok endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri yer alması nedeniyle inceleme alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası



Şekil 2. Çalışma alanının yükselti haritası

## 2.2. Nüfus, Yerleşim ve Ulaşım

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2018 nüfus sayımı verilerine göre Çarşamba ve Tekkeköy ilçesinin nüfusu sırasıyla 138840 ve 52258 kişidir. Bu nüfus Çarşamba ilçesi için 69474 erkek ve 69366 kadından oluşurken Tekkeköy ilçesi için 26229 erkek ve 26029 kadından oluşmaktadır. Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerinin 2007 ve 2018 arasındaki yıllarına ait nüfusları Tablo 1'de ve Tablo 2'de verilmektedir. Tablodaki değerler incelendiğinde Çarşamba ilçesinin nüfusunun Tekkeköy ilçesinden daha fazla olduğu göstermektedir.

Tekkeköy ve Çarşamba ilçesine ulaşım genellikle karayolu ile yapılmaktadır. Samsun'a uzaklığı 14 km'dir. Samsun'dan Tekkeköy'e ve Çarşamba'ya her an araç bulmak mümkündür. Samsun-Çarşamba demiryolu da ilçeden geçmektedir.



Tablo 1. Çarşamba İlçesi'nin 2007 ile 2018 arasındaki nüfusu

| Yıl  | Çarşamba Nüfusu | Erkek Nüfusu | Kadın Nüfusu |
|------|-----------------|--------------|--------------|
| 2018 | 138840          | 69474        | 69366        |
| 2017 | 137576          | 68628        | 68948        |
| 2016 | 137739          | 68837        | 68902        |
| 2015 | 136775          | 68162        | 68613        |
| 2014 | 136964          | 68416        | 68548        |
| 2013 | 136184          | 67888        | 68296        |
| 2012 | 136802          | 67849        | 68953        |
| 2011 | 137538          | 68414        | 69124        |
| 2010 | 137362          | 68039        | 69323        |
| 2009 | 138527          | 69003        | 69524        |
| 2008 | 138290          | 68696        | 69594        |
| 2007 | 136343          | 67443        | 68900        |

Tablo 2. Tekkeköy İlçesi'nin 2007 ile 2018 yılları arasındaki nüfusu

| Yıl  | Tekkeköy Nüfusu | Erkek Nüfusu | Kadın Nüfusu |
|------|-----------------|--------------|--------------|
| 2018 | 52258           | 26229        | 26029        |
| 2017 | 50955           | 25579        | 25376        |
| 2016 | 50149           | 25188        | 24961        |
| 2015 | 49843           | 25042        | 24801        |
| 2014 | 49579           | 24856        | 24723        |
| 2013 | 50124           | 25123        | 25001        |
| 2012 | 48997           | 24523        | 24474        |
| 2011 | 49245           | 24584        | 24661        |
| 2010 | 49302           | 24534        | 24768        |
| 2009 | 49462           | 24630        | 24832        |
| 2008 | 49495           | 24534        | 24961        |
| 2007 | 49046           | 24342        | 24704        |

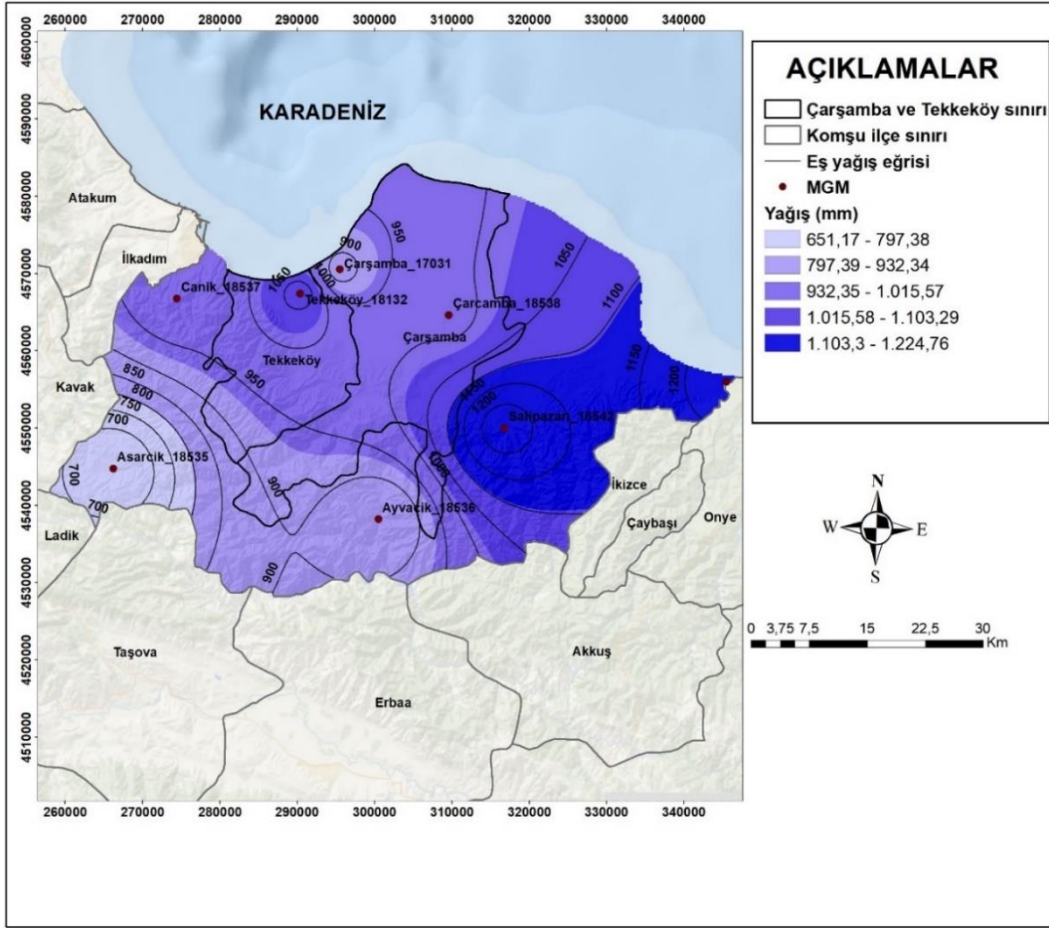
### 2.3. İklim ve Bitki Örtüsü

Çalışma alanı tipik Orta Karadeniz iklimi özelliklerini taşımaktadır. Yazlar serin, kışlar ılık ve yağışlıdır. Yıllık ortalama yağış miktarı 600-700 mm arasında değişmekte ve en çok yağmur yağdığı dönem Ekim ayından Aralık ayının sonuna kadardır. Yıllık sıcaklık ortalaması ise 15-17° C arasında değişmektedir. En sıcak aylar; Temmuz ve Ağustos, en soğuk aylar ise Ocak ve Şubat aylarıdır. Denizin etkisiyle yaz ve kış ayları arasında fazla bir sıcaklık farkı görülmez.

Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğü İstasyonlarının ölçümleri değerlendirilerek bölgenin yağış, buharlaşma ve sıcaklık bileşenleri belirlenmiştir.

### 2.3.1. Yağış

Çalışma alanına düşen yıllık ortalama yağış miktarını belirlemek için Çarşamba ve Tekkeköy ile çevresinde bulunan Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait istasyonlardan elde edilen 2014-2018 yıllarına ait 5 yıllık yağış verilerinden yararlanmıştır (Tablo 3). Yağış ölçümleri için aynı dönemler içerisinde olan istasyon verileri kullanılmıştır. Bölgenin yağış dağılımını belirlemek için Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak eş yağış haritası çizilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Çalışma alanı ve yakın çevresinin yağış haritası

Bölgenin yağış dağılım haritasına bakıldığında Terme ve Salıpazarı ilçelerinde bulunan meteoroloji istasyonlarına daha fazla yağış düştüğü görülmektedir. Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerinin kuzeybatı ve güneydoğusuna doğru gidildikçe yağış değerlerinin arttığı görülürken

güneyine ve güneybatısına doğru gidildikçe azaldığı görülmektedir. Çarşamba ilçesinin güney doğusuna bakıldığında ise yağış değerlerinin arttığı görülmektedir.

Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerinde bulunan istasyonların 2014-2018 yılları arasındaki yağış verileri aylara göre incelendiğinde, yağışın en fazla kış aylarında özellikle Ocak ve Aralık, en az yağışın ise Şubat, Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında olduğu görülmektedir (Tablo 4).

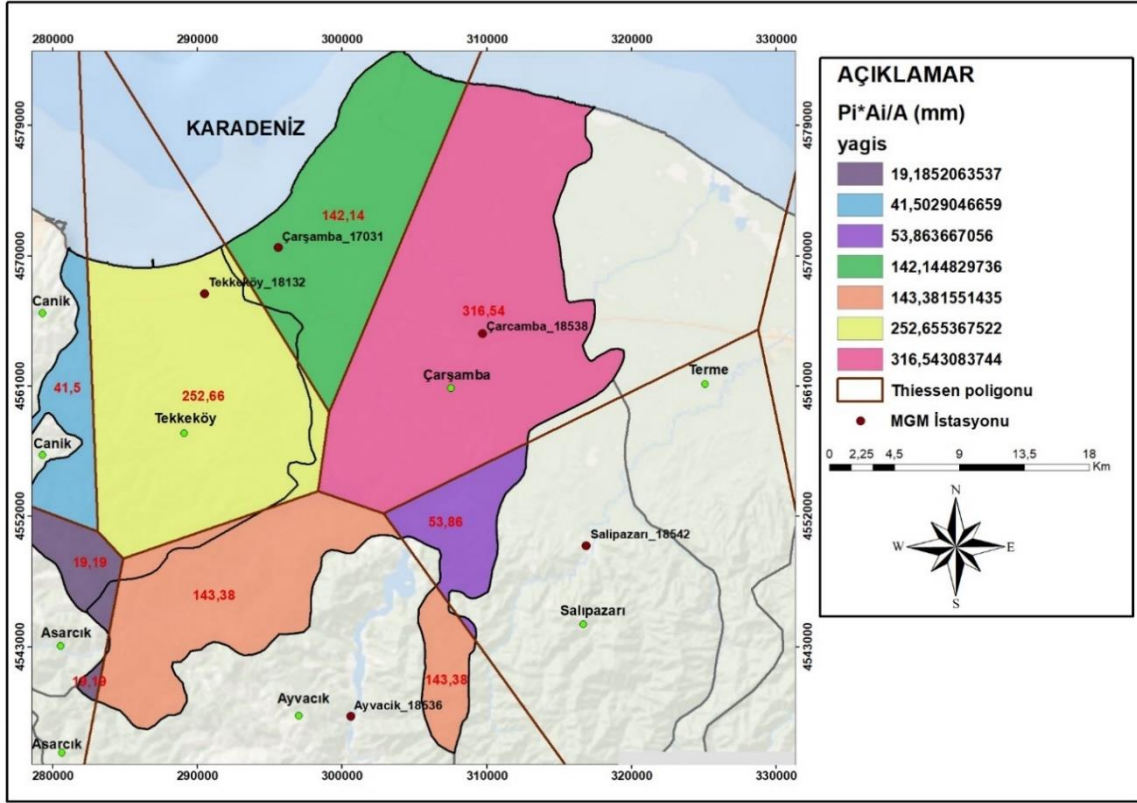
Tablo 3. Devlet Meteoroloji İstasyonlarında ölçülen yıllık ortalama yağış değerleri

| MGM istasyonu    | Boylam | Enlem | Yıllık ortalama yağış (mm) |
|------------------|--------|-------|----------------------------|
| Çarşamba_17031   | 36,56  | 41,26 | 883,225                    |
| Ayvacık_18536    | 36,73  | 41,21 | 992,7                      |
| Tekkekoy_18132   | 36,5   | 41,23 | 1066,05                    |
| Çarşamba_18538   | 36,63  | 40,97 | 858,975                    |
| Salıpazarı_18542 | 36,82  | 41,08 | 1224,8                     |
| Terme_18544      | 37,16  | 41,14 | 1220,475                   |
| Asarcık_18535    | 36,22  | 41,02 | 651,15                     |
| Canik_18537      | 36,31  | 41,22 | 968,88                     |

Tablo 4. 2014-2018 arasındaki aylık ortalama yağış değerleri (mm)

| Aylar   | 2014-2018 arasındaki aylık ortalama yağış verileri (mm) |                  |                   |                   |                     |                |                  |                |
|---------|---------------------------------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|
|         | Çarşamba<br>17031                                       | Ayvacık<br>18535 | Tekkeköy<br>18132 | Çarşamba<br>18538 | Salıpazarı<br>18542 | Terme<br>18544 | Asarcık<br>18535 | Canik<br>18537 |
| Ocak    | 128,30                                                  | 100,15           | 146,15            | 145,67            | 172,07              | 167,80         | 60,96            | 114,28         |
| Şubat   | 49,85                                                   | 39,17            | 50,15             | 56,60             | 83,92               | 64,95          | 39,95            | 69,30          |
| Mart    | 89,37                                                   | 102,50           | 88,05             | 68,45             | 111,47              | 95,85          | 77,17            | 99,80          |
| Nisan   | 52,20                                                   | 61               | 60,38             | 58,40             | 76,35               | 62             | 79,62            | 64,16          |
| Mayıs   | 82,10                                                   | 84,42            | 93,65             | 96,27             | 103,32              | 116,45         | 91,12            | 101,70         |
| Haziran | 59,50                                                   | 98,95            | 56                | 97,57             | 99,76               | 98,35          | 74,20            | 73,92          |
| Temmuz  | 23,70                                                   | 32,62            | 46,75             | 31,95             | 92,60               | 86,60          | 22,52            | 35,44          |
| Ağustos | 32,35                                                   | 55,80            | 27,5              | 83,20             | 85,82               | 121,07         | 25,20            | 30,84          |
| Eylül   | 68,55                                                   | 56               | 77,72             | 77,90             | 79,82               | 103,15         | 32,70            | 66,28          |
| Ekim    | 100,05                                                  | 72,37            | 200               | 72,27             | 114,17              | 95,62          | 52,57            | 103,42         |
| Kasım   | 52,15                                                   | 36,37            | 69,12             | 60,37             | 65,35               | 62,92          | 28,30            | 85,66          |
| Aralık  | 145,10                                                  | 120,12           | 150               | 158,17            | 165,05              | 145,70         | 82,05            | 124,08         |

Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerine yıllık düşen ortalama yağış miktarını belirlemek için Thiessen yöntemi kullanılmıştır (Şekil 4). Bu yönteme göre bölgeye düşen yıllık ortalama yağış miktarı 968,08 mm olarak hesaplanmıştır.

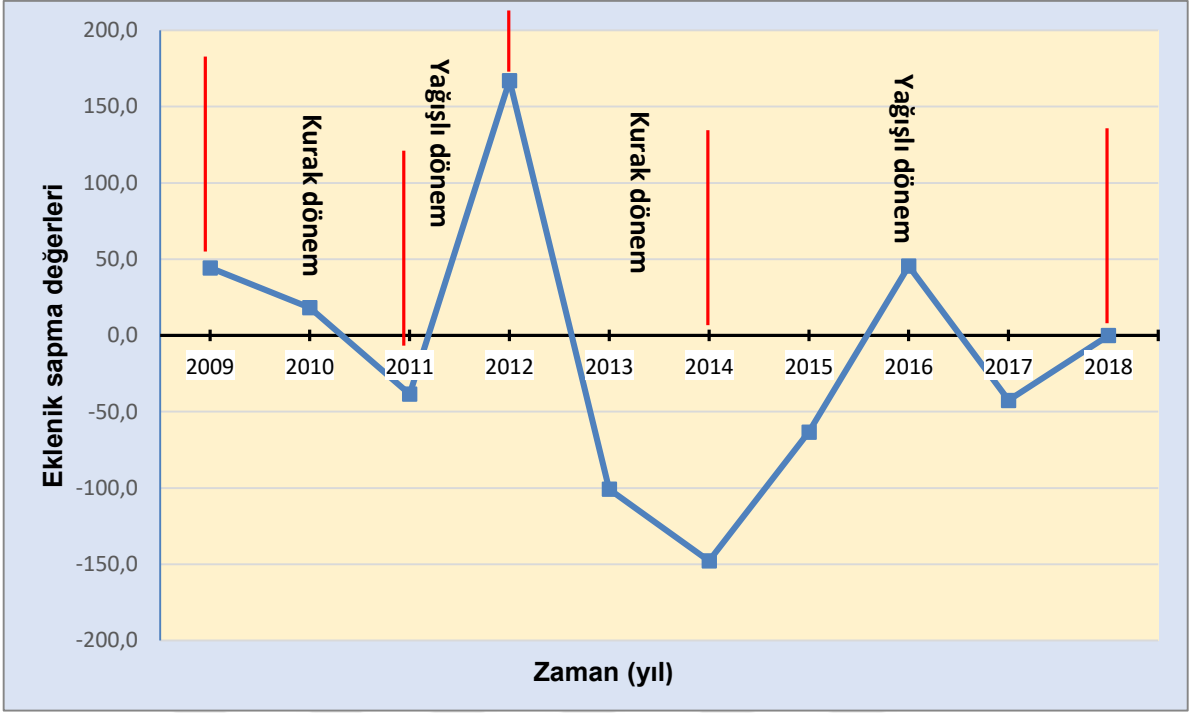


Şekil 4. Thiessen yöntemiyle Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerine yıllık düşen ortalama yağış miktarının belirlenmesi

Çalışma alanının yağış rejimini belirlemek için Çarşamba havalimanı 17031 nolu gözlem istasyonunun 2009-2018 yılları arasındaki yağışlarının yıllık ortalama değerlerinden eklenik sapma değerleri hesaplanmıştır (Tablo 5). Akiferlerde yeraltı suyu beslenimi, boşalımı ve seviyesi sadece inceleme yılına ait yağışlara değil, daha önceki yılların yağışlarına da bağlı olarak değişmektedir. Bundan dolayı eklenik sapma değerlerinden inceleme alanının yağışlı ve kurak dönemlerini yorumlamak amacıyla eklenik sapma grafiği çizilmiştir (Şekil 5).

Grafikte yağış eğrilerinin pik yaptığı yerler yağışın arttığını, yağışlı döneme girildiğini, bunun tam tersi olan yerler ise yağışın azaldığını ve kurak döneme girildiğini ifade etmektedir.

Eklenik sapma grafiğine göre 2009-2011 yılları arası kurak dönem, 2011-2012 arası yağışlı dönem, 2012-2014 arası kurak dönem ve 2014-2018 dönemleri arasında ise yağışlı dönemi temsil etmektedir.



Şekil 5. Çarşamba havalimanı 17031 nolu gözlem istasyonunun 2009-2018 arasındaki yıllara ait eklenik sapma grafiği

Tablo 5. Çarşamba istasyonuna ait 2009-2018 arasındaki yıllar yağış miktarı ve eklenik sapma değerleri

| Yıl/Ay        | 1     | 2     | 3     | 4    | 5     | 6     | 7    | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    | Toplam (mm) | Ortalama (mm) | Sapma ( $\Delta P_i = P_i - \text{Ortalama}$ ) | Eklenik sapma ( $\Delta P_{i-1, \text{eklenik}} + \Delta P_i$ ) |
|---------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|---------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 2009          | 105,2 | 100,6 | 94,6  | 23,1 | 58,4  | 13,9  | 57,8 | 29,6  | 72,4  | 88,9  | 143,4 | 102,8 | 890,7       | 74,23         | 44,4                                           | 44,4                                                            |
| 2010          | 104,2 | 35    | 83,6  | 70   | 16    | 109,5 | 19,4 | 8     | 23,6  | 211,3 | 9,9   | 129,6 | 820,1       | 68,34         | -26,2                                          | 18,2                                                            |
| 2011          | 117,2 | 45,4  | 95,6  | 60,6 | 66,1  | 49,6  | 26   | 14,2  | 39,1  | 61,9  | 149,5 | 64,4  | 789,6       | 65,80         | -56,7                                          | -38,4                                                           |
| 2012          | 98    | 70,8  | 81,6  | 10,4 | 34,4  | 24,4  | 96   | 114,8 | 113   | 99,8  | 180   | 128,6 | 1051,8      | 87,65         | 205,5                                          | 167,1                                                           |
| 2013          | 93,6  | 35,6  | 71,6  | 64,2 | 8,9   | 49,7  | 43,6 | 26,5  | 44,9  | 68,6  | 21,2  | 50,1  | 578,5       | 48,21         | -267,8                                         | -100,7                                                          |
| 2014          | 5,4   | 14,2  | 41,5  | 16,8 | 48,6  | 115,4 | 46,4 | 95,8  | 101,2 | 103,9 | 116,2 | 93,8  | 799,2       | 66,60         | -47,1                                          | -147,8                                                          |
| 2015          | 114,6 | 110,2 | 99    | 70,4 | 22,4  | 74,2  | 14,8 | 59    | 35,4  | 172,6 | 36,4  | 121,8 | 930,8       | 77,57         | 84,5                                           | -63,3                                                           |
| 2016          | 140   | 31,6  | 108,1 | 44,4 | 191,8 | 39,2  | 44,6 | 12,2  | 76,4  | 49,4  | 61,4  | 156   | 955,1       | 79,59         | 108,8                                          | 45,6                                                            |
| 2017          | 133,4 | 20,6  | 57,8  | 81,8 | 59    | 110,6 | 1,6  | 15    | 7,4   | 58    | 41,8  | 171,2 | 758,2       | 63,18         | -88,1                                          | -42,5                                                           |
| 2018          | 125,2 | 37    | 92,6  | 12,2 | 55,2  | 14    | 33,8 | 43,2  | 155   | 120,2 | 69    | 131,4 | 888,8       | 74,07         | 42,5                                           | 0                                                               |
| Toplam (mm)   |       |       |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       | 8462,8      |               |                                                |                                                                 |
| Ortalama (mm) |       |       |       |      |       |       |      |       |       |       |       |       | 846,28      |               |                                                |                                                                 |

### 2.3.2. Buharlaşma

Çarşamba ve Tekkeköy ilçelerinde gerçekleşen buharlaşma miktarını tespit edebilmek amacıyla Thornthwaite ve Turc yöntemleri kullanılmıştır. Thornthwaite metodu, yalnızca meteorolojik koşullara bağlı olarak potansiyel evapotranspirasyon miktarını (PET) hesaplamaktadır. Bu yöntemde hesaba katılan iki ana faktör aylık ortalama hava sıcaklığı ve gün ışığı saatidir. Özellikle nemli bölgelerde yıllık potansiyel ET'nin tahmininde başarılı sonuçlar verir. Bu yöntemle bölgenin potansiyel ve gerçek evapotranspirasyonunun hesaplanması için aşağıdaki aşamalar kullanılmıştır:

- Her ayın ortalama sıcaklığına göre aylık sıcaklık indisleri 1 nolu formül ile belirlenmektedir.

$$i = (T/5)^{1,514} \quad (1)$$

Burada; i, aylık sıcaklık indisi, t, ortalama aylık sıcaklık (°C)'dir. Yıllık ısı indeksi (I) tüm ayların indisleri toplayarak hesaplanmaktadır.

- Düzeltilmemiş PET aşağıdaki eşitlikler yardımıyla her ay için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

$$PET = 16 * (10T/i)^a \quad (2)$$

Burada; PET, potansiyel evapotranspirasyon (mm/ay); t, ortalama aylık sıcaklık (°C); I, yıllık sıcaklık indisi; a, katsayı'dır.

$$a = 0,000000675 * I^3 - 0,000077 * I^2 + 0,01792 * I + 0,49239 \quad (3)$$

formüyle hesaplanmaktadır.

- Düzeltilmiş Potansiyel Evapotranspirasyon (DET, mm/ay) miktarını bulmak için, her aya ait evapotranspirasyon ile enlem düzeltme katsayısını çarpmak yeterli olmaktadır. Enlem düzeltme katsayısı (G), ortalama güneşlenme sürelerine göre değişen bir değerdir. DET aşağıdaki formülü ile hesaplanmaktadır.

$$DET = PET * G \quad (4)$$

- Her ay için yağış ( $P$ , mm) > PET ise:
  - Gerçek Evapotranspirasyon (RET) = PET
  - $P$  ile PET arasındaki fark zemin rezervini arttırır.
  - Zemin nemi maksimum değerine ulaştıktan sonra suyun fazlası akış haline geçecektir.
- Herhangi bir ay için  $P < PET$  ise:
  - Gerçek evapotranspirasyon miktarı o ayın yağış yüksekliği ile mevcut zemin neminin bir kısmının veya hepsinin toplamına eşit olacaktır.
  - Zemin rezervinin kuruma noktasına ulaşması ile PET miktarı  $P$  miktarına eşit olur.
  - Akış hesap edilirken, su fazlasının olduğu aydan başlanır ve bu aydaki su fazlasının yarısı akış hanesine kaydedilir. Diğer yarısı da bir sonraki ayın su fazlasına eklenir.

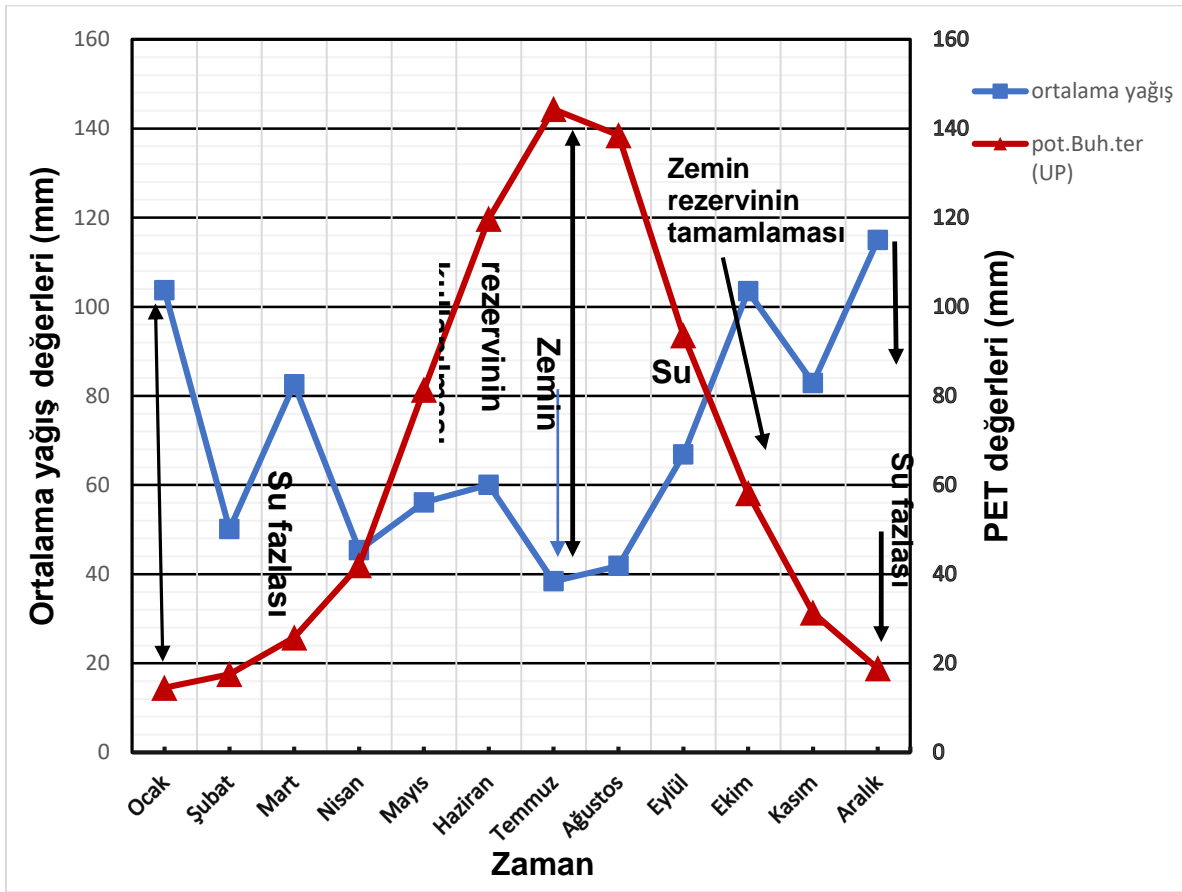
Thornthwaite yöntemiyle çalışma alanının potansiyel ve gerçek buharlaşma değerlerini hesaplamak için sadece Çarşamba havalimanındaki 17031 nolu istasyonun verileri kullanılmıştır (Tablo 6). Tablonun incelenmesi sonucunda bölgenin potansiyel evapotranspirasyon değerinin 786 mm olmasına rağmen gerçek evapotranspirasyon değerinin 572 mm olduğu görülmektedir.



Tablo 6. Çarşamba meteoroloji istasyonu için hazırlayan Thornwaite (1948) buharlaşma - terleme bilançosu

| Aylar                | Ocak | Şubat | Mart | Nisan | Mayıs | Haziran | Temmuz | Ağustos | Eylül | Ekim | Kasım | Aralık | Yıllık |
|----------------------|------|-------|------|-------|-------|---------|--------|---------|-------|------|-------|--------|--------|
| Yağış (mm)           | 104  | 50    | 83   | 45    | 56    | 60      | 38     | 42      | 67    | 103  | 83    | 115    | 846    |
| PET (mm)             | 15   | 18    | 26   | 42    | 81    | 120     | 144    | 138     | 94    | 58   | 31    | 19     | 786    |
| Top. Nem değ.        | -    | -     | -    | -     | -25   | -60     | -15    |         |       | 45   | 52    | 3      |        |
| Top. su rezervi (mm) | 100  | 100   | 100  | 100   | 75    | 15      | 0      | 0       | 0     | 45   | 97    | 100    |        |
| RET (mm)             | 15   | 18    | 26   | 42    | 81    | 120     | 53     | 42      | 67    | 58   | 31    | 19     | 572    |
| Su eksigi            |      |       |      |       |       |         | 91     | 96      | 27    |      |       |        | 214    |
| Fazla su (mm)        | 89   | 32    | 57   | 3     |       |         |        |         |       |      |       | 93     | 274    |
| Akış (mm)            | 68   | 50    | 53   | 28    | 14    | 7       | 3      | 2       | 1     | 1    |       | 47     | 274    |

Ayrıca, bu verilerden yararlanılarak yağış ve potansiyel buharlaşma grafiği (Şekil 6) hazırlanmıştır. Bu grafiğe göre Ocak ayından Nisan ayına kadar ve Ekim ile Aralık arasında yağış potansiyel buharlaşmadan fazladır. Bu dönemde potansiyel ve gerçek buharlaşma terleme değerlerine eşittir ve su fazlası 274 mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm olarak kabul edilen zemin nem rezervi Mayıs ayından Temmuz ayının ortalarına kadar harcanmıştır. Temmuz ayından Eylül ayı ortalarına kadar gerçekleşen su eksikliği ise 214 mm'dir. Eylül ayının ortalarından itibaren yağış, buharlaşma-terleme miktarından fazla olması nedeniyle toprak suyu depolamaktadır.



Şekil 6. Çarşamba'nın yağış ve potansiyel buharlaşma terleme grafiği

Turc (1954) yöntemine göre çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarının verileri kullanılarak her bir istasyon için gerçek buharlaşma-terleme (ETg) değeri hesaplanmıştır (Tablo 7). Bu yöntemde buharlaşma-terleme kayıplarının hesaplanmasında kullanılan 5 ve 6 nolu formüller aşağıda belirtilmiştir:

$$ETg = P / \left[ \left\{ 0,9 + \left( \frac{P^2}{L^2} \right) \right\}^{0,5} \right] \quad (5)$$

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3 \quad (6)$$

Burada:

Etg: Yıllık gerçek buharlaşma-terleme değeri (mm)

P: Yıllık ortalama yağış değeri (mm)

T: Yıllık ortalama hava sıcaklığı (°C)

L: Sıcaklığa bağlı hesaplanan katsayı

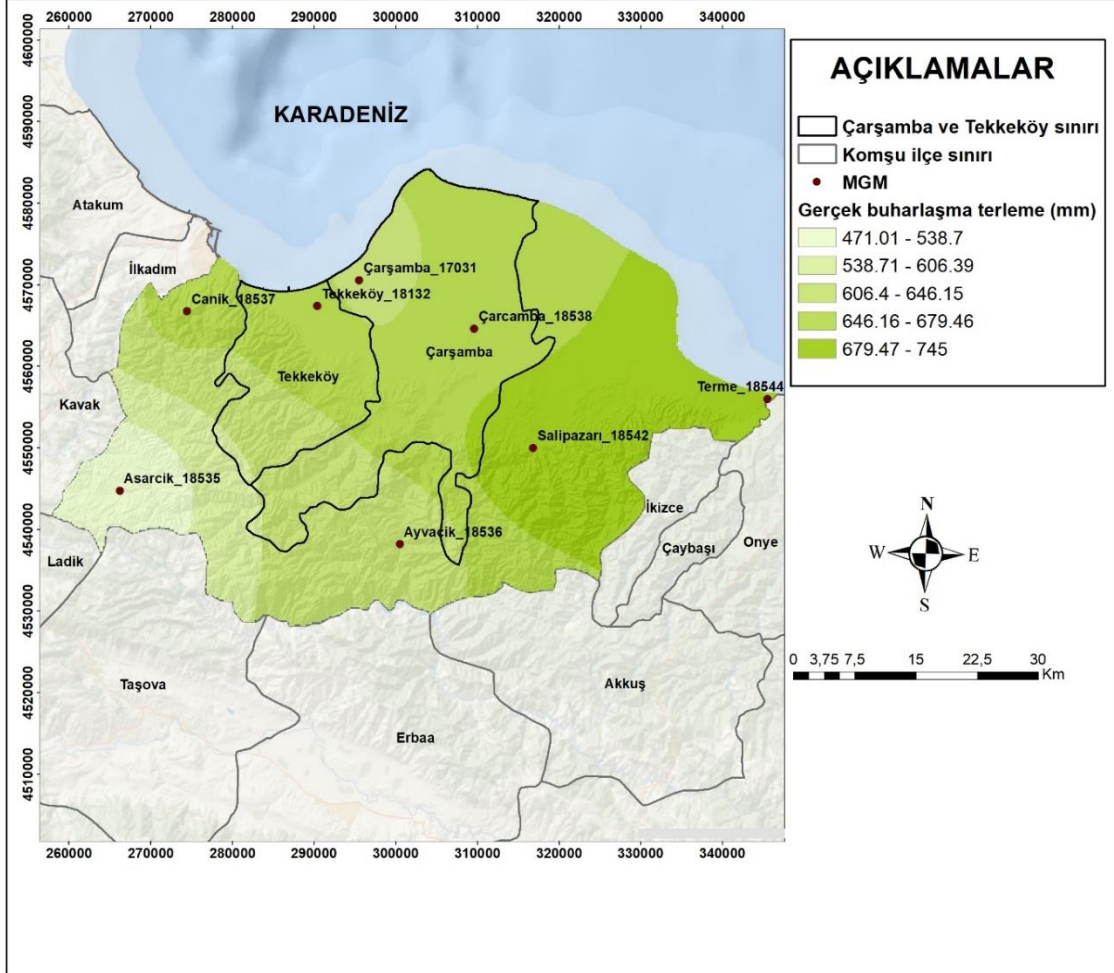
Tablo 7. Turc yöntemiyle hesaplanan gerçek-buharlaşma terleme değerleri

| İstasyon            | Yıllık ortalama yağış | Yıllık ortalama sıcaklık | Gerçek Buharlaşma-Terleme $ETg = P / \left[ \left\{ 0,9 + \left( \frac{P^2}{L^2} \right) \right\}^{0,5} \right]$ (mm) |
|---------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Çarşamba<br>17031   | 883,25                | 14,78                    | 619,93                                                                                                                |
| Çarşamba<br>18538   | 992,7                 | 15,48                    | 670,10                                                                                                                |
| Tekkeköy<br>18132   | 1066,05               | 15,37                    | 685,83                                                                                                                |
| Ayvacık<br>18536    | 859                   | 15,49                    | 628,49                                                                                                                |
| Salıpazarı<br>18542 | 1224,8                | 15,17                    | 712,15                                                                                                                |
| Terme<br>18544      | 1220,5                | 16,16                    | 745,64                                                                                                                |
| Asarcık<br>18535    | 651,15                | 11,13                    | 470,87                                                                                                                |
| Canik<br>18537      | 968,88                | 15,12                    | 653,70                                                                                                                |

Hesaplanan buharlaşma-terleme (ETg) değerlerine bakıldığında yıllık ortalama en yüksek buharlaşma-terleme değeri Ayvacık\_18536 nolu istasyonunda 685,83 mm, en az buharlaşma-terleme değeri ise Asarcık\_18535 nolu istasyonunda 470,87 mm olarak hesaplanmıştır.

Yıllık gerçek buharlaşma-terleme (ETg) değeri kullanarak bölgenin gerçek buharlaşma dağılım haritası hazırlanmıştır (Şekil 7). Bu dağılım haritasına bakıldığında

bölgenin güneyine ve güneybatısına doğru giderken gerçek buharlaşma terleme değerlerinin azaldığı görülürken doğusunda ve güneydoğusunda artışı görülmektedir.



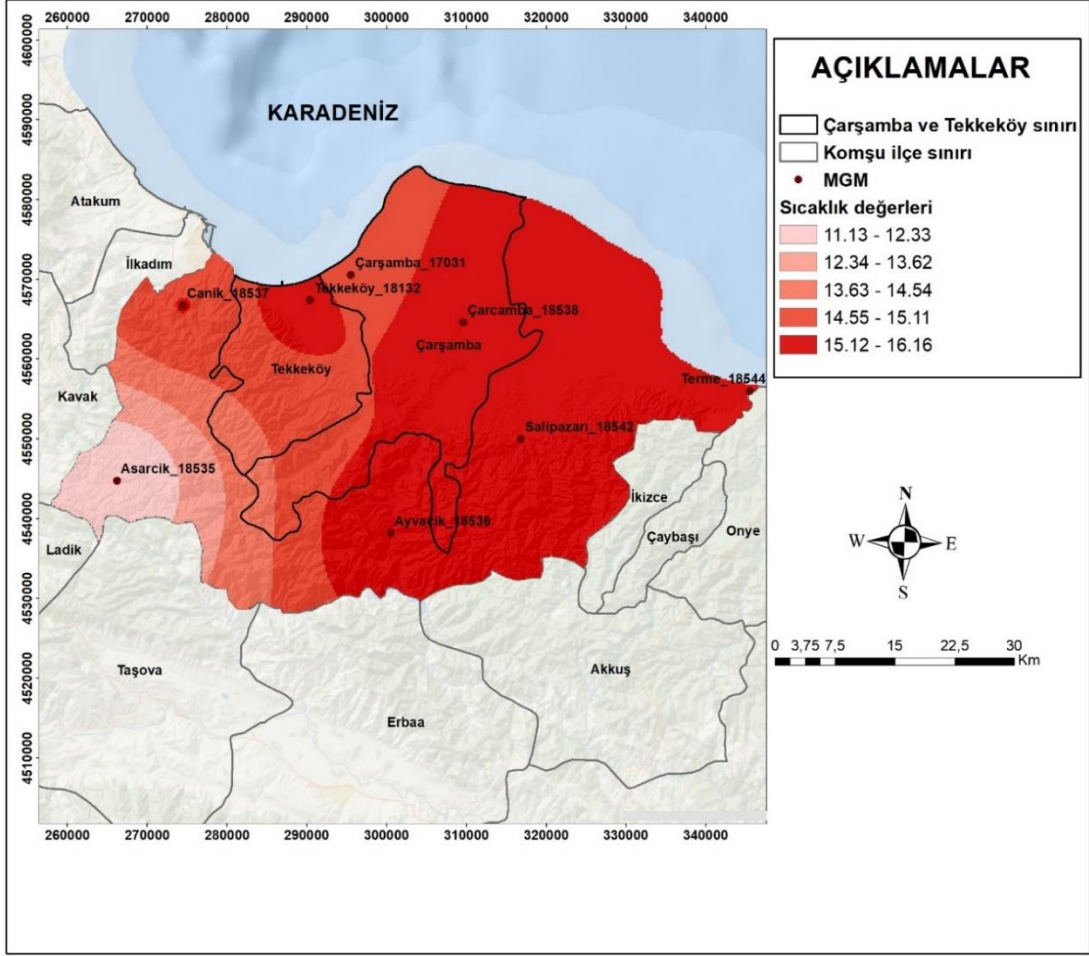
Şekil 7. Çalışma alanının gerçek buharlaşma terleme dağılım haritası

### 2.3.3. Sıcaklık

Çalışma alanı ve yakın çevresindeki istasyonun 2014-2018 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değerleri Tablo 8’de sunulmaktadır. Bölgenin yıllık sıcaklık değerlerinin değişimini belirlemek amacıyla sıcaklık dağılım haritası hazırlanmıştır.

Tablo 8’deki değerlere bakıldığında en sıcak aylar Haziran, Temmuz, Ağustos, en soğuk aylar ise Aralık, Ocak ve Şubat aylarıdır. Bölgenin yıllık ortalama en yüksek sıcaklık değeri Terme\_18544 nolu istasyonunda  $16,16^{\circ}\text{C}$  olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonda bölgenin en yüksek buharlaşma terleme değeri de görülmektedir.

En düşük sıcaklık değeri Asarcık\_18535 nolu istasyonunda hesaplanmıştır. Bu istasyonda da bölgenin en düşük buharlaşma terleme değeri hesaplanmıştır. Bölgenin yıllık sıcaklık dağılım haritası incelendiğinde bölgenin batısına ve güneybatısına doğru giderken sıcaklık değerlerinin azaldığı görülürken doğusunda ve güneydoğusunda arttığı görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. Çalışma alanının sıcaklık dağılım haritası

Tablo 8. 2014-2018 yılları arasındaki ortalama aylık sıcaklık değerleri (°C)

| Aylar   | Ortalama sıcaklık değerleri |                  |                   |                   |                     |                |                  |                |
|---------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------|----------------|------------------|----------------|
|         | Çarşamba<br>17031           | Ayvacık<br>18535 | Tekkeköy<br>18132 | Çarşamba<br>18538 | Salıpazarı<br>18542 | Terme<br>18544 | Asarcık<br>18535 | Canik<br>18537 |
| Ocak    | 6,58                        | 7,18             | 6,94              | 9,10              | 8,78                | 8,82           | 1,20             | 5,04           |
| Şubat   | 8,30                        | 9,10             | 8,70              | 8,78              | 8,46                | 8,16           | 4,33             | 6,60           |
| Mart    | 9,56                        | 10,73            | 9,90              | 11,10             | 10,48               | 9,36           | 7,00             | 9,52           |
| Nisan   | 11,70                       | 12,95            | 12,04             | 13,18             | 13,28               | 11,28          | 10,33            | 11,44          |
| Mayıs   | 16,32                       | 17,13            | 16,86             | 18,08             | 17,46               | 16,12          | 13,68            | 15,86          |
| Haziran | 20,90                       | 20,98            | 21,60             | 21,88             | 21,45               | 20,90          | 17,05            | 18,74          |
| Temmuz  | 23,56                       | 22,85            | 24,32             | 24,18             | 23,80               | 23,28          | 19,13            | 21,08          |
| Ağustos | 24,64                       | 23,90            | 25,16             | 23,78             | 23,94               | 24,30          | 20,53            | 20,90          |
| Eylül   | 20,72                       | 21,03            | 21,32             | 20                | 20,94               | 20,72          | 17,43            | 17,74          |
| Ekim    | 15,76                       | 16,25            | 16,12             | 15,28             | 15,98               | 15,94          | 12,13            | 37,42          |
| Kasım   | 11,40                       | 12,45            | 11,84             | 12,08             | 11,70               | 11,66          | 8,18             | 8,88           |
| Aralık  | 7,92                        | 7,88             | 8,30              | 8,42              | 7,98                | 8,16           | 2,73             | 8,24           |

## 2.4. Bitki Örtüsü

Çarşamba Ovası'nda tarım arazileri, bahçe, çayır ve ekili alanlar önemli yer tutmaktadır. Çarşamba'da geniş meraların yanında sazlık ve bataklıklar da mevcuttur. En önemli tarımsal ürünleri, buğday, tütün, mısır, sebze, ayçiçeği, şekerpancarı, fındık ve çeltiktir. Çalışma alanının kuzey kesimlerinde ladin, kayın ormanları, akarsu boyları ile kıyı kesimlerinde ise kavak ve söğüt ağaçları yaygındır. Alanda yaygın olarak bulunan orman vejetasyonunda dominant ve karakteristik türler *Fraxinus angustifolia*, *Acer campestre*, *Carpinus orientalis*, *Carpinus betulus*'tur. Ovanın güney kesiminin bitki örtüsünde meşe, ahlat, alıç ağaçları ile çayır otları hakimdir.

## 2.5. Ekonomik ve Sosyal Durum

İnceleme alanının sosyo-ekonomik yapısında tarım ve hayvancılık önemli bir rol oynamaktadır. Tekkeköy ve Çarşamba ilçelerinin topraklarında Yeşilirmak'ın biriktirdiği verimli delta ovasının devamı olup, sulu tarıma elverişlidir. İlçede yetiştirilen karalahana, marul ve diğer sebze türleri ilçede, Samsun'da ve İstanbul'a sevk edilerek satılmaktadır. Tekkeköy İlçesinde 1944 yılında kurulan Gelemen Devlet Üretim Çiftliği yer almaktadır.

Karadeniz bölgesinin kaliteli tohumluk ve yem ihtiyacını karşılamak amacıyla 46 bin dönümlük araziye kurulmuştur. Çiftlikte meyvecilik ve fidancılık da oldukça gelişmiştir. Kümes hayvancılığı alanında da üretim yapılmaktadır. Bir de tarım aletleri ve makineleri tamirinin yapıldığı atölyeler vardır. Karadeniz Bakır İşletmeleri, Azot Fabrikası, Kutlu kent yöresindeki Sanayi ve organize Sanayi Bölgeleri ilçenin ekonomik alanda gelişmiş olduğunu göstermektedir. Tekkeköy ve Çarşamba ilçeleri arasında yapılan ve 1999 yılında faaliyete geçen Havaalanı ilçeye hareketlilik kazandırmıştır.

## 2.6. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ile çevresinde farklı amaçlara yönelik çok sayıda jeoloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimyasal incelemeler yapılmıştır. Bu çalışmanın konusu ile yakından ilgili olan ve Türkiye'de ve yurtdışında yapılan bazı araştırmalar aşağıda kronolojik olarak sunulmuştur.

Kaya vd. (2018) yayımladıkları çalışmalarında Çorum'da bulunan Kargı ofiyolitik melanjı içerisindeki fay zonlarında gözlenen damar tipi Cu ± Zn mineralizasyonunun jeolojisi ve oluşumunu çalışmışlardır. Bu amaç doğrultusunda mineralizasyon zonu ve çevresinin jeoloji haritası hazırlanıp, cevher dokanaklarında, kırık altında, cevher zonlarındaki pirit ve kalkopirit örnekleri alınıp ve örnekler üzerinde petrografik çalışmaları, iz element analizi, izotop ve sıvı kapanımı çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre cevherleşmede yapısal kontrolün etkili olduğu, bu süreksizliklerde damar tipi hidrotermal Cu±Zn cevherleşmelerinin meydana geldiği ve bölgede önemli derecede zenginleşmenin olmadığı ortaya koymaktadır. Kargı Ofiyolitik Melanjı içerisindeki mineralizasyonun faylanma ile ilişkili damar tipi hidrotermal bir yatağı karakterize ettiği saptanmıştır.

Karaca (2017) yüksek lisans tezinde Samsun İli Ondokuzmayıs İlçesi'nde bulunan Engiz Çayı akiferinin hidrojeolojik, hidrokimyasal açısından incelenmesi ve su kalitesini çalışmıştır. Çalışma alanı içerisinde açılmış 12 adet derin kuyudan ve 3 adet sığ kuyudan su örnekleri alınarak örneklerin fiziksel ve kimyasal ve kirlilik analizleri yapılmıştır. Yeraltısularının anyon ve katyon değerleri açısından Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği'ne göre ve içme suyu yönünden TS 266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği (2005)'e göre çoğu parametre açısından uygun sınırlar içerisinde olduğunu belirlemiştir.

Kobyay ve Yeşilkana (2017) yaptıkları çalışmada; Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki 7 ilde doğal kaynak suyu numunelerinde element analizi yaparak, sularda bulunan ağır metal miktarlarını belirlemiş ve bu analiz yardımıyla, jeostatistik analiz yöntemi kullanılarak bölgenin tamamının elemental olarak dağılımını belirlemişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki doğal kaynak sularında genel anlamda ve kısa vadede insan sağlığını tehdit edebilecek seviyede bir element bulunmamıştır.

Benzer (2017) Amasya'da Yeşilirmak havzasında, Yapay Sinir Ağları kullanarak yeraltısuyu ve yüzey sularındaki nitrat tahmininin modellenmesi yapılmıştır. Bu çalışma 2010 yılında Yeşilirmak havzasındaki 30 istasyonda ölçülen veriler ile yürütülmüştür. Yapay Sinir Ağları ile nitrat tahmininin modellenmesi için geri yayılım algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Yeşilirmak havzasında 2020 ile 2030 yıllarında suların nitrat konsantrasyonunun ortalama olarak sırasıyla 16,99 mg/l ve 17,75 mg/l olacağı tahmin edilmiştir.

Dişli (2017) Diyarbakır-Batman'da, Yukarı Tigris nehri havzasında, yüzey ve yeraltısularının hidrokimyasal özelliklerini belirleyip, içme, kullanma ve sulamaya



uygunluğunun belirlenmesini çalışmıştır. Çalışma alanında yüzey ve yeraltısularından 73 adet su örneği alınmış ve örneklerin üzerinde EC, PH, TDS, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> analizleri yapılmıştır. Su kalitesinin içme açısından belirlenmesinde TS-266 ve Dünya Sağlık Örgütü Standartları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre baskın olan sularının Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Mg-Ca-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-SO<sub>4</sub>, Ca-Na-Mg-SO<sub>4</sub>-HCO<sub>3</sub>, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>-Cl fasiyeslerinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Arslan (2016) Jeostatistiksel teknikleri kullanarak Çarşamba ovasında sulama amacıyla kullanılan sahildeki yeraltısularının zamansal ve uzaysal olarak varyasyonlarının ve uygunluğunun belirlenmesini çalışmıştır. Bu çalışma için 1990 ile 2012 yılları arasında 125 istasyondan su örnekleri alınıp örnekler üzerinde EC, PH, TDS, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> analizleri yapılmıştır. Yeraltısularının sulama açısından uygunluğunu belirlemek için RSC miktarı, SAR, %Na, tuzluluk potansiyeli (PS), Mg oranı ve Kelly İndeksi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre inceleme alanındaki yeraltısuyu kalite parametrelerinin 1990'dan 2012'ye kadar bozulduğu ortaya konulmuştur.

Arslan ve Turan (2015) Türkiye'nin orta Karadeniz bölgesinde interpolasyon yöntemleri ve çok değişkenli istatistiksel teknikleri kullanarak yeraltısularındaki ağır metallerinin uzaysal dağılımı tahmin edip suların içme ve sulama uygunluğunu belirlemeye çalışmışlardır.

Temizel vd. (2016) Türkiye'de Bafra çevresindeki Eosen yaşlı volkanik kayaların jeokronolojisi ve jeokimyası ile ilgili çalışmışlardır. Bu amaç doğrultusunda, 2015 yılında çalışma alanındaki lav akıntısı ve volkanik kayalardan 75 adet örnek alınıp polarize bir mikroskop kullanarak örneklerin mineralojik bileşimleri ve dokusal petrografik özellikleri belirlenmiştir. Petrografik çalışmalar açısından örneklerin mineral kimyası, ana elementleri, izleri ve tüm kayaların nadir toprakları, Sr-Nd izotopik bileşimleri ve <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre volkanik kayaların yaşları 51.38 ± 0.21 Ma ile 44.13 ± 0.28 Ma arasında değişmekte ve tefritik ve traktik lav akıntılarında ve ince taneli porfir, hyalo-mikrolitik dokular ve nadir görülen kesişme noktalarında, traktik, akışkan ve glomeroporfik dokulardan oluşan nadir dayklardan oluşmaktadır.

Yolcubal vd. (2014) yayımladıkları çalışmalarında Tokat ilinin kuzeybatısındaki stratigrafik birimleri incelenmişlerdir. Bu çalışma için 9 adet ölçülü stratigrafi kesiti alınmış ve sistematik olarak derlenmiş kayaç örnekleri üzerine de ayrıntılı paleontolojik ve biyostratigrafik çalışmalar yapmışlardır.

Ahangar vd. (2013) İran'da Sistan-Balochistan bölgesinde yapay sinir ağıları kullanarak Chahnimeh1 rezervuarındaki Mn konsantrasyonunun tahmini için çalışmışlardır. Bu çalışma için rezervuardan alınan örnekler üzerinde EC, pH, T, TDS ve Mn analizleri yapılmıştır. Yapay Sinir Ağları kullanımında üç katmanlı ve Levenberg–Marquardt algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Mn konsantrasyonunun tahmin edilmesinde 10 gizli nöronlu ağı daha doğru olduğunu göstermektedir. Deneysel veriler ve model çıktıları arasındaki ortalama karesel hata (MSE) ve korelasyon katsayısı (R), eğitim için 0,0011 ve 0,9515 ve doğrulama için 0,0034 ve 0,8934 olarak hesaplanmıştır.

Farid vd. (2012) Orta Tunus'ta bir sulama alanındaki yeraltısuyu etkileyen hidrojeokimyasal süreçlerinin incelenmesini çalışmışlardır. Çalışma alanında 2009 ile 2010 arasında 61 istasyondaki su örnekleri üzerinde T, pH, majör bileşenler ve minör bileşenlerin analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bölgedeki su kaynaklarının Cl-SO<sub>4</sub>-Ca, Ca-Cl-SO<sub>4</sub> ve Cl-Na sular türlerinde olduğu tespit edilmiştir. Su ile kayaç etkileşimleri ve kil minerali ile kation değişimi arasındaki reaksiyonlar, yeraltısuyu tuzlanmasını kontrol eden başlıca süreçler olarak ortaya konulmaktadır.

Senthil Kumar (2012) Hindistan'da Lekkur havzasındaki yeraltısularının hidrokimyasal özelliklerinin belirlemesini çalışmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 2012 yılında çalışma alanında 30 istasyondan su örnekleri alınıp örnekler üzerinde T, pH, TH, EC, majör bileşenler ve minör bileşenlerin analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre muson mevsimi boyunca yeraltısularının kalitesinin içme ve sulama açısından uygun olmadığını göstermektedir. Stuyfzand sınıflama sistemine göre su örneklerinin %50'si oligohalin ve taze su tipindedir.

Arslan ve Demir (2011) Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanarak, Bafra ovası sağ sahilinde sulama alanındaki bulunan tarım arazilerinin aylık ve mevsimlik taban suyu seviye değişimlerini incelemiş ve problemleri belirlemiştir. Yeraltısuyu seviyelerinin değerlendirilmesinde GIS analiz fonksiyonu kullanılmıştır. Gözlem değerlerinin enterpolasyonu yapılmasında IDW yöntemi kullanılmıştır. Taban suyundan kaynaklanan problemlerin belirlenmesi için en yüksek ve en düşük taban suyu belirlenmiş ve drenaj açısından problemlili alanların haritaları hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yıl boyunca taban suyu problemi ile karşı karşıya bulunan bu alanda derin drenajın yapılmasının zorunlu olduğu ortaya çıkmaktadır.

Arslan ve Demir (2011) Bafra Ovasının kıyı bölgelerinde yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığını araştırmış ve deniz suyu girişiminin yeraltısuyu kalitesi üzerine

olan etkilerini belirlemeye çalışmıştır. Bu amaçla ovada çiftçiler tarafından sulamada kullanılan 32 adet yeraltısuyu kuyusu belirlenmiş ve bu kuyulardan sulama mevsim öncesi ve sulama mevsim sonrası su numunesi alınmış ve numuneler üzerinde EC, pH, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub>, Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> analizleri yapılmıştır. Yeraltısuyuna deniz suyu karışım oranını belirlemek için Cl<sup>-</sup> değerleri kullanılmış ve böylece deniz suyu girişiminin boyutu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ovanın kıyı bölgelerinde yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olduğu ve deniz suyu girişimi ile yeraltısuyu kalite parametreleri arasında istatistiksel olarak önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Vandenbohede ve Lebbe (2011) Belçika Orta Kıyı Ovasındaki yeraltısularının kimyasal modellerini yapmışlardır. Bu çalışma için 190 istasyondan alınan 436 su örneğinin fiziksel ve kimyasal özellikleri kullanılmıştır. Suların tiplerini belirlemede Stuyfzand sınıflama sistemi kullanılmıştır. Yeraltı sularının kökeni ve evrimi açıklamak için Piper diyagram ile jeokimyasal hesaplamalar (PHREEQC) kullanılmıştır.

Gültekin vd. (2010) yayımladıkları çalışmalarında Ladik-Hamamayağı'nda (Samsun) bulunan sıcak ve soğuk kaynak sularının hidrojeokimyası ve kökenleri ile ilgili çalışmışlardır. Bu çalışmaların doğrultusunda, çalışma alanında sıcak su kaynağından ve kaynağın çevresinde yer alan bir akarsu ve yeraltısuyunu temsil eden soğuk bir kaynak olmak üzere toplam 4 adet su noktasından yağışlı, kurak ve ara dönemlerde örnekler alınıp örnekler üzerinde anyon (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), kation (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>), oksijen-18, döteryum, trityum, karbon-13 ve kükürt-34 izotop analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sıcak su kaynağı CaMg-HCO<sub>3</sub>, soğuk su kaynağı CaHCO<sub>3</sub> su tipinde olup ikisi de meteorik kökenlidir. Sıcak su kaynağında bulunan karbon, inceleme alanında yüzeylenen tatlı su karbonatlarından kaynaklanırken sıcak su ile soğuk sulardaki kükürtün farklı kaynaklardan geldiğini düşündürmektedir. Sıcak suyun kükürt izotop içerikleri, indirgenmiş kükürt bileşiklerinin bulunduğu kayalardan gelip soğuk su kaynağında ve Hamamayağı Deresi'ndeki kükürtün kaynağını Akdağ formasyonuna ait kireçtaşları ve Çerkeş formasyonuna ait şeyller oluşturmaktadır.

Ersoy ve Ersoy (2009) yayımladıkları çalışmalarında Stuyfzand hidrojeokimyasal sınıflama sistemi kullanarak Merzifon-Gümüşhacıköy Havzası sınırları içerisinde yer alan Gümüşhacıköy Akiferi'nin hidrojeokimyasal evriminin belirlenmesini çalışmışlardır. Bu çalışma için 1951 ile 1972 yılları arasında kapsayan 37 örnek ve 2003 ile 2004 yılları arasında kapsayan 42 su örneğinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre akiferin güney ve güneybatı kısımları 1951-1972 yıllarına ait analiz

sonuçlarına göre  $\text{CaHCO}_3\phi$  su tipinden oluşurken 2003-2004 yıllarına ait analiz sonuçlarına göre  $\text{CaHCO}_3+$  su tipindedir.

Baba vd. (2008), Kazdağları kuzey doğusunda bulunan yeraltısularının çevresel izotop içerikleri ve fiziksel özelliklerini birlikte değerlendirerek soğuk su kaynaklarının birbirleri ile ilişkileri belirlemeye çalışmıştır. Bu amaç doğrultusunda, Nisan ve Temmuz 2012 dönemlerinde 30 adet su numunesi alarak örnekler üzerinde arazide fiziksel parametrelerin analizleri ve Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ ), Döteryum ( $^2\text{H}$ ) ve Tritiyum ( $^3\text{H}$ ) izotopları analizleri yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre suların sıcaklık değerleri mevsimsel olarak farklılık göstermekte, pH ve elektriksel iletkenlik değerleri büyük farklılık göstermemektedir. Çalışma alanındaki tüm soğuk su kaynakları yağışlarla beslenmektedir.

Yıldız vd. (2008) yayımladıkları çalışmalarında doğal izotoplar (Oksijen-18, Döteryum ve trityum) kullanarak Develi Kapalı Havzası'nda buluna akiferle yüzey suyunun ilişkisinin olup olmadığını belirlemeye çalışmışlardır. Hedeflerine ulaşabilmek için 2004 ile 2005 yıllarının farklı dönemlerinde Develi Kapalı Havzası'nda 21 adet derin sondaj kuyusundan ve 15 adet kaynaktan su örnekleri toplamış ve örnekler üzerinde izotop analizleri (Oksijen-18, Döteryum ve Tritiyum izotopları) yaptırmışlardır. Bu izotop analiz sonuçları 2003 yılında Sultansazlığı'nın yüzey suyunu temsilen Güney Sazlığı'nda bulunan Eğri Göl ve Sap Göl'den alınmış olan yüzeysel sazlık suyu örneklerinin izotop analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre derin sondaj ve kaynak sularının döteryum ve oksijen-18 izotop içeriklerinin yüzey suyu örneklerinin içeriklerinden farklı olduklarını göstermektedir. Tritiyum ve su kimyası analizlerine göre kuyu ve kaynak suyu örneklerinin yaşlı derin dolaşım suyu olduğu ve bu suların Sultansazlığı'nın yüzey suyu ile beslenmediği belirlenmiştir.

Şirin ve Demir (2007) Çarşamba ovası sol sahilindeki bazı köylerde içme ve kullanma suyu problemleri çözümüne ilişkin öneriler getirmeye çalışmışlardır. Suların kalitesini belirlemek için çalışma alanında yer alan 16 köy ve 1 beldenin mevcut yeraltısuyu kaynaklarının fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik analizleri yapılmıştır. Çalışma alanındaki yerleşim birimlerinin gereksinim duydukları içme ve kullanma suyu miktarını belirlemek için, 30 yıllık içme ve kullanma su ihtiyacı debisi hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre su kaynaklarının değerlendirilmesinde köylerin %24'ünde suyun yeterli olduğu, %76'sında ise yetersiz olduğu görülmüştür. İncelenen içme ve kullanma sularının %26'sı fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin uygun nitelikte olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplara göre 30 yıl sonraki sistem ihtiyaç debisi 96,524 l/s olarak bulunmuştur. Mevcut su

kaynağının kapasitesinin gerekli önlemler alınmağı takdirde gelecekte yetersiz kalacağı saptanmıştır.

Arslan vd. (2007) Bafra ovası sağı sahil sulama alanında sulama amaçlı kullanılan yeraltısularının kalitesinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Hedefe ulaşmak için sulama amaçlı kullanılan 10 adet sondaj kuyusundan su örnekleri alıp örnekler üzerinde EC, pH, Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> analizleri yapılmıştır. Sodyumun zararının belirlenmesi için SAR değeri ve RSC miktarını hesaplanmıştır. Sulama sularının niteliklerinin sınıflandırılması için ABD tuzluluk laboratuvar sistemi kullanılmıştır. Sonuçlara göre ovada denize yakın bulunan kuyuların deniz suyu tarafından etkilendiğı görülmüştür.

Sonel vd. (1989) Boyabat Havzasında (Sinop) Ekinveren fayının petrol aramalarının önemi üzerinde çalışmışlardır. Bu amaca ulaşabilmek için saha çalışmaları 1/25 000 ölçekli jeolojik haritası kullanılarak ve gerek görülen yerlerden stratigrafi kesitlerinin ölçülmesiyle sürdürülmüştür. Çalışmalarında bölgede bulunan bütün formasyonlar göz önüne alınarak Ekinveren Fay zonuna ve birkaç doğal gaz çıkışı tespit edilen bölgelere özen gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Ekinveren fayının, incelenen alandaki hidrokarbon tuzağı üzerinde önemli bir rol oynamaktadır. Ekinveren fay zonunun güneyi ve kuzey zonları ve Yemişliçay formasyonu altındaki Çağlayan ve İnatlı formasyonlarının genişleme alanı Boyabat havzasında önemli keşif hedefleri olmaktadır.

Karaalioğlu ve İslamoğlu (1988), Samsun Devlet Su İşleri için, Bafa Ovası'nın hidrojeolojik incelemesini yapmışlardır. Çalışmalarında Bavra Ovası'nda yeraltısularının nerelerde, hangi derinlikte, ne miktarda ve kalitede bulunduğu ortaya konulmaktadır. Çalışma alanında akiferi teşkil eden jeolojik ünite, Kızılırmak ve diğer akarsuların ortaklaşa meydana getirdiğı Bafra delta Ovası ile Neojen'e ait kumtaşı ve konglomera seviyelerinden oluşmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre ova yeraltısuyu rezervi 95,2.10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> /yıl, akiferin iletkenlik katsayısı 18-8320 m<sup>3</sup>/gün/m, özgül verim 0,1-27 l/s/m; elektrik kondüktivite değerleri de 410 ile 6360 micromhos/cm arasında değerler değişmektedir. Ova bölümünde EC değeri 2250 micromhos/cm'in üstünde olduğundan kötü kaliteli yani sulamada kullanılmaz niteliktedir.

Ersun vd. (1988), Samsun Çarşamba ilçesinde bulunan Kretase oluşuklarının stratigrafik açısından incelenmesi için çalışmıştır. Bu çalışma doğrultusunda çalışma alanının 1/25 000 ölçekli jeolojik haritası yapılmış, Maestrihtiyen-Lütesiyen-Priaboniyen katlarına ait çökeller tespit edilmiştir. Ölçülen stratigrafi kesitinden toplanan tortul kayaç örneklerinin içerdiği 40 kalkerli nannoplankton türü ile 7 planktonik foraminifer

tanımlanmıştır. Bunun dışında yörede ilk kez *Lithraphidites quadratus*, *Nannotetrina fulgens*, *Discoaster tani nodifer*, *Chiasmolithus oamaruensis* nannoplankton zonları belirlenmiş olup ve onlara ait fosil türlerinin sistematığı sunulmuştur.

Doyuran vd. (1985) yayımladıkları çalışmalarında Samsun yerleşim alanının mikro bölgeleştirmesini için çalışmışlardır. Bu çalışmalar doğrultusunda inceleme alanının ayrıntılı jeolojik, morfolojik, hidrojeolojik ve jeoteknik çalışmaları yapılmıştır. Çalışmaların sonucunda inceleme alanında yapılaşmanın tamamen sakıncalı olduğu, mevcut yapıların boşaltılması gereken alanlar, yeni yapılaşmanın sakıncalı olduğu, mevcut yapıların dondurulması gereken alanlar, belirli koşullarla yeni yapılaşmaya izin verilecek alanlar olmak üzere üç bölge tespit edilmiştir.

Gedik vd. (1982) yayımladıkları çalışmalarında Orta Karadeniz (Samsun-Sinop) Havzasında bulunan tortul kaya birimlerinin ayrıntılı stratigrafisini ve birkaç evrede oluşan farklı kökenli volkanitlerin petrokimyasal incelemelerini çalışmışlardır. Petrografik çalışmalar doğrultusunda havzada bulunan Hamsaros formasyonu, Yemişliçay formasyonunun volkanik birimleri, Tekkeköy formasyonunun volkanik birimleri ve Akyörük bazaltı tek tek ayrıntılı olarak incelenmiştir. Petrokimyasal analizlerin yapılması için Hamsaros volkaniklerinden 10, Yemişliçay formasyonundan 5, Yemişliçay formasyonu Çokran üyesinden 4, Tekkeköy formasyonundan 3 ve Akyörük bazaltından 7 örnek olmak üzere toplam 29 örneğin kimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre inceleme alanının içinde bulunduğu tüm Pontidler'deki Üst Kretase-Eosen yaşlı volkanitlerin ada yayı volkanitleri grubundan olduğu ortaya konulmakta volkanitlerin tipik adayayı volkanizması grubundan oldukları, majör element kimyasal analizleri, petrografik çalışmalar ve bölgesel jeodinamik yorumları ile belirlenmiş olmaktadır. İnceleme alanındaki en genç volkanizma olan Pliyo-Kuvaterner yaşlı Akyörük bazaltı ise, diğer volkanitlerin aksine ada yayı grubundan olmadığı ortaya konulmaktadır.

Yukarıda verilen önceki çalışmaların incelenmesi sonucunda, bu çalışma kapsamında seçilen inceleme alanının güncel hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasının yeterince yapılmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada seçilen inceleme alanının sınırlarında akiferin hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi, yeraltısuyunun hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması gerçekleştirilmiştir.

### **3. YAPILAN ÇALIŞMALAR**

Doktora tez çalışması için inceleme alanı olarak Yeşilirmak Havzası'nın sol sahilinde Çarşamba ovasının batı bölümünde (havaalanı ile sanayi bölgesi alanı arasında) 1/25 000 ölçekli F36c2, F37a4, F37a3, F37d1 ve F37d2 paftaları içerisinde yer alan bölge seçilmiştir.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesi için Çarşamba akiferi sınırları içinde daha önceki dönemlerde çeşitli kurum, kuruluş, tüzel ve özel kişiler tarafından yapılmış bulunan topografik, jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve su kalitesi ile ilgili çalışmalar toparlanarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmaların sonucunda elde edilen bilgilerin ışığında yapılan çalışmalar; arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç başlık altında gerçekleştirilmiştir.

#### **3.1. Arazi Çalışmaları**

1/25 000 ölçekli F36c2, F37a4, F37a3, F37d1 ve F37d2 paftaları içerisinde seçilmiş olan inceleme alanında arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar doğrultusunda Çarşamba akiferinde açılmış çeşitli sondaj kuyu noktalarından ve denizden örnekleme noktaları belirlenmiş ve bu noktalar GPS ile kaydedilmiştir. Örnekleme çalışmaları iki dönemde (Temmuz ve Aralık aylarında) gerçekleştirilmiştir. Birinci dönem için inceleme alanında 33 noktadan yeraltısuyu ve 3 noktadan deniz suyu örnekleme yapılmıştır (Şekil 9 ve 10). İkinci dönem için ise 30 noktadan yeraltısuyu ve 3 noktadan deniz suyu örnekleri alınmıştır. Bu örnekleme için kilit kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Anyon-kasyon analizleri için 2 adet 1,5 litrelik, ağır metal analizleri için 2 adet 100 ml'lik ve Döteryum ve Oksijen-18 için 1 litrelik, Tritiyum için 1 litrelik kilit kapaklı polietilen şişeler kullanılmıştır. Şişeler numunenin alındığı su ile en az iki kez çalkalanmış ve üzerinde hava kalmayacak şekilde tamamen doldurulmuştur. Arazi çalışmaları sırasında çalışma alanının jeolojik yapısı gözlemlenmiş ve formasyonlar incelenmiştir.



Şekil 9. Tekkeköy belediyesine ait sondaj kuyusundan su örneği alımı



Şekil 10. Karadeniz'den su örneği alımı



### 3.2. Laboratuvar Çalışmaları

Arazi çalışmalarından sonra alınan su örneklerinin kimyasal analizlerinin yapılması için su örnekleri Devlet Su İşleri VII. Bölge Müdürlüğündeki Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğüne getirilmiştir (Şekil 11). Katyon analizleri için getirilen su numunelerine çökelmeyi veya yüzeye tutunmayı önlemek için 0,2 ml kadar saf HNO<sub>3</sub> eklenmiştir. Ancak anyon analizleri için su numunesine herhangi bir kimyasal madde eklenmemiştir. Fiziksel parametreler (Sıcaklık, EC, TDS, pH, DO), major katyon (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>), major anyonlar (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) ve kirlilik parametreleri (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, KOİ) DSİ 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünde yapılmıştır. Ağır metal (Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V, Ba) analizleri ise DSİ İstanbul 14. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğü'nde yaptırılmıştır. Döteryum, Tritiyum ve Oksijen-18 analizleri Ankara DSİ Genel Müdürlüğü Laboratuvarları Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığındaki İzotop Laboratuvarı Şube Müdürlüğü'nde gerçekleştirilmiştir. Fiziksel parametrelerin (Sıcaklık, EC, TDS, DO) ölçümleri için HQ440D – Multi masa üstü cihazı, pH için elektrot kullanılmıştır. Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup> analizleri için Spektrofotometri yöntemi, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> kimyasal analizler için titrasyon yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 11. Laboratuvarda kimyasal analizlerin gerçekleştirilmesi

### 3.3. Büro Çalışmaları

Büro çalışmaları için öncelikle doktora tez konusu ile ilgili Türkiye’de ve uluslararası yapılmış çalışmalar hakkında literatür araştırması yapılmıştır. Daha sonra Samsun İli ve yakın çevresinde daha önceki dönemlerde çeşitli kurum, kuruluş, tüzel ve özel kişiler tarafından yapılmış olan topografik, jeolojik, hidrolojik, hidrojeolojik ve su kalitesi ile ilgili çalışmalar bir araya getirilerek değerlendirilmiştir.

Literatür çalışmalarından sonra DSİ 7. Bölge Müdürlüğünden ve MTA’dan inceleme alanı ve yakın çevresine ait 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları ve topografik paftaları ve arşivlerinde bulunan sondaj kuyu log raporları, pompaj deney verileri ve daha önce yapılmış olan su kimyası analizlerinin sonuçları alınmıştır. Bu verileri yardımıyla ArcGIS programı kullanılarak çalışma alanı ve yakın çevresinin jeoloji, hidrojeoloji ve hidroloji haritaları hazırlanmıştır.

Laboratuvarda elde edilen kimyasal, izotop, ağır metaller ve kirlilik parametrelerinin analiz sonuçları değerlendirilip ArcGIS programıyla çeşitli dağılım haritaları oluşturulmuştur.

Yeraltısularının hidrojeokimyasal fasiyesinin belirlenmesinde, deniz suyu girişiminin olup olmadığı, majör iyonlar ile fiziksel parametreler, Döteryum, Trityum ve Oksijen-18 arasındaki ilişkilerin yorumlanması için Diagrammes, Grapher ve Excel programları kullanılmıştır. İnceleme alanında 2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin istatistiksel olarak değişimini belirlemek için SPSS programı da kullanılmıştır.

## **4. BULGULAR**

### **4.1. Bölgesel Jeoloji**

#### **4.1.1. Litostratigrafi**

Çalışma alanı, Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında yer almaktadır. Bu bölgede daha önce 1985 yılında MTA tarafından hazırlanan genelleştirilmiş dikme kesit (Ek şekil 1) incelendiğinde Samsun ilinde izlenen en yaşlı formasyonun yeşil şist fasiyesinde metamorfizma geçiren kayalardan oluşan Paleozoyik yaşlı Boyabat metamorfitleri olduğu belirlenmiştir. Bu formasyondan sonra Permiyen yaşlı Akdağ formasyonu ve Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı Aktaş formasyonu bulunmaktadır. Akdağ formasyonu Eosen yaşlı olan Ladik formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla örtülmektedir (Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Aktaş formasyonu'un üzerine Triyas yaşlı olan Kunduz formasyonu yanal geçişli olarak gelmektedir. Kunduz Formasyonu yer yer Kuzey Anadolu Fayı tarafından kesilmektedir. Bu formasyon üzerine Triyas-Liyas yaşlı olan Bekirli Formasyonu gelmektedir. Bekirli formasyonunun epi-ofiyolitik örtü olduğu kabul edilmektedir (Yılmaz ve Tüysüz, 1984). Bu formasyonun üzerine uyumsuz olarak Triyas yaşlı Akgöl formasyonu gelmektedir (Ek Şekil 1).

Akgöl formasyonu Üst Jura-Neokamien yaşlı İnatlı ve Permiyen ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Çağlayan formasyonları ve Tersiyer çökelleri tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Kavak yöresinde Ladik Gölü kuzeyinde ve Belalan dolayında Üst Jura-Neocomien yaşlı Belalan kireçtaşı gözlenmektedir. Çağlayan formasyonu üzerine Üst Kretase (Santonien- Kampanien) yaşlı Kapanboğazı formasyonu geçişli olarak gelmektedir. Bu formasyonun altında Kavak formasyonu açısız uyumsuzlukla yer alırken üzerine gelen Üst Kretase yaşlı Yemişliçay formasyonu ile uyumlu olarak örtülmektedir (Gedik ve Korkmaz, 1984). Yemişliçay formasyonu üzerine türbiditik fasiyesteki Cankurtaran Formasyonu gelmektedir (Gedik ve Korkmaz, 1984; Yoldaş vd., 1985).

Cankurtaran formasyonu üzerine havza karbonat platformundan beslenmiş ve değişik akış rejimli türbiditik akıntılar tarafından çökelen Akveren formasyonu gelmektedir. Bu formasyondan sonra Alt Eosen yaşlı Atbaşı formasyonu gelmektedir. Bu formasyonun üstünde uyumsuzlukla Orta Eosen (Lütesien) yaşlı Kusuri formasyonu bulunmaktadır.

Kusuri formasyonu üzerine Tekkeköy formasyonu uyumlu ve dikey geçişli olarak gelmektedir (Ek Şekil 1).

Bu formasyonun üzerine uyumsuz olarak Samsun formasyonun  st Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı İlyaslı  yesi ve düşük açılı bir uyumsuzlukla  st Eosen yaşlı Sarıyurt formasyonu gelmektedir.

Samsun formasyonundan sonra Orta Miyosen yaşlı Köprübaşı formasyonu ve üzerine uyumsuzlukla  st Miyosen-Pliyosen yaşlı Hacılı formasyonu bulunmaktadır. Bu formasyonların üstünde  st Miyosen-Pliyosen yaşlı Dindardibi ve Pliyosen yaşlı erkeş formasyonu gözlenmektedir. Çerkeş formasyonun altında bulunan birimler üzerinde uyumsuz olarak yer alırken Kuvaterner yaşlı alüvyonlar tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür (Ek Şekil 1).

Samsun ilinin doğu kısmında gözlemlenen tüm jeolojik birimler yaşlıdan gence ilerleyen bir sıralama ile aşağıda sunulmuştur. Ayrıca Samsun ilinin doğu kısmına ait jeolojik haritası Şekil 12’de verilmiştir.

#### ❖ Belalan Kireçtaşı (JKb)

Birim Belalan köyü dolayında tipik olarak izlenip Kavak yöresinde Ladik Gölü kuzeyinde ve Belalan dolayında yüzeylenmektedir. Bu formasyon açık bej renkli, masif ve çatlaklı kireçtaşlarından oluşmaktadır. Ladik Gölü dolayında klip Şeklinde izlenmekte ve kireçtaşları Kavak, Kapanboğazı, Yemişliçay ve Cankurtaran formasyonları ile dokanak halindedir. Kalınlığı 150-200 m civarında olup Belalan kireçtaşlarında saptanan fosillere göre  st Jura-Neocomiyen yaşı verilmektedir (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ Kavak Formasyonu (Kka)

Birim boz renkli kumtaşı, kumlu kireçtaşı, gri-bej renkli kireçtaşı ara seviyeli, gri-siyah renkli laminealı Şeyl ve marn ardalanması Şeklinde olup Kavak yöresinde ve İnoz  ve Kuzulan antiklinali çekirdeğinde yaklaşık 120 km<sup>2</sup>’lik bir alanda yüzeylenmektedir (Yoldaş vd., 1985).

Çapları 25 ile 400-500 m arasında değişen kireçtaşı olistolitleri dolomitleşmiş mikrosparit, biyopelsparit ve dolomitik kireçtaşı litolojisindedir. Birimin yaşı içinde bulunan fosillere göre Malm-Alt Kretase (Berriasiyen) olarak kabul edilmektedir (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ ağlayan Formasyonu (K)

Birim Ketin ve Gümüş (1963) ve Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından ağlayan formasyonu olarak tanımlanmıştır. Şeyl, kumtaşı ve kireçtaşı ardalanması ile bunların arasında olistostromal düzeyler ve sık iri olistolitlerinden oluşmakta ve Samsun batısında

Altinkaya baraj gölü dolayında yüzeylemektedir. Kalınlığı 1500 m'ye kadar olup birimin altında Akgöl formasyonu uyumsuz olarak gelmektedir. Çağlayan formasyonu İnathlı formasyonu ile geçişlidir (Ek Şekil 1). Üzerine Kapanboğazı formasyonu da geçişli olarak gelmektedir. Birim tektonik etkinliğin fazla olduğu yüksek enerjili bir ortamda çökelmeye başlamış; zamanla derinleşen bir havzada çökelim devam etmiştir. Formasyon içinde Permian ve Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı blokları oldukça yaygındır (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ Cankurtaran Formasyonu (Kc)

Birim ilk defa Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Gürsökö formasyonu olarak tanımlanmıştır. Daha sonra Gedik vd., (1981), Gedik ve Korkmaz (1984) Cankurtaran formasyonu olarak değerlendirmiştir. Bu formasyon Kavak ilçesi dolayında olistostromlar ve yakınsak türbiditler ile temsil edilmektedir. Kalınlığı 850-1800 m arasında değişmekte ve kumlu kireçtaşı, tüfit, tuf ve marn ara seviyeli kumtaşı-şey aralanmasından oluşmaktadır. Birime içinde saptanan fosillere göre Kampaniyen-Alt Maastrichtiyen yaşı verilmiştir (Gedik ve Korkmaz, 1984).

#### ❖ Atbaşı Formasyonu (Ta)

Birim ilk defa Ketin ve Gümüş (1963) Atbaşı formasyonu olarak tanımlanmıştır, daha sonra Gedik ve Korkmaz (1984) tarafından aynı ad altında incelenmiştir. Kalınlığı 150-450 m arasında değişen birimin üst seviyeleri ince orta-tabaklı, kireçtaşı, marn ve kumlu kireçtaşı aralanmasından, orta seviyeleri ince-tabaklı kumtaşı ve kalın-çok kalın tabakalı marn aralanmasından ve alt seviyeleri orta-tabakalı marn ve ince-tabakalı kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır. Formasyonun altında Akveren formasyonu bulunur ve onunla geçişlidir, üstünde bulunan Kusuri formasyonu ile uyumsuzluk göstermektedir (Ek Şekil 1). Birime içinde bulunan fosillere göre Alt Eosen yaşı verilmiştir (Gedik ve Korkmaz, 1984).

#### ❖ Kusuri Formasyonu (Tk)

Birim ilk olarak Ketin ve Gümüş (1963) tarafından Ayvancık formasyonu olarak sonra da Kusuri formasyonu olarak tanımlanmıştır. Bu formasyon kumtaşı, ince-tabakalı, kireçli kumtaşı ile bej-krem renkli kireçtaşı aratabakalı marn istifinden oluşmaktadır. Kalınlığı 250-850 m arasında değişen Kusuri formasyonu Atbaşı formasyonu üzerine uyumlu ve dikey geçişli olarak gelmektedir. Üzerinde tektonik olarak Erikli fay ile Akveren ve Cankurtaran formasyonları uyumlu ve dikey olarak gözlenmektedir (Ek Şekil 1). Birime içinde bulunan fosillere göre Orta Eosen (Lütesiyen) yaşı verilmiştir (Gedik ve Korkmaz, 1984).

#### ❖ Tekkeköy Formasyonu (Tt)

Birim ilk defa Yoldaş ve diğ. (1985) tarafından tanımlanmıştır. Kalınlığı Yoldaş ve diğerleri (1985) tarafından 3000 m, Hakyemez ve diğerleri (1989) tarafından 2000 m kalınlığa ulaşabileceği belirlenmiştir. Formasyonun tabanında kumtaşı, marn ve tüfit aralanması ile bazalt ve aglomeradan oluşmaktadır. Alt dokanağı Erikli Fayı ile sınırlandırılırken ve yer yer Kusuri formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alırken formasyonun üzerine uyumsuz olarak Samsun formasyonun İlyaslı Üyesi gelmektedir. Formasyona içinde saptanan fosillere göre Orta-Üst Eosen yaşı verilmiştir (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ Sarıyurt Formasyonu (Ts)

Birim kumtaşı, silttaşı, marn ve çakıltaşlarından oluşmaktadır. Kalınlığı 200 m civarında olup birimin üst kısmında kumtaşı arakatmanlı silttaşı ve marn yer alırken orta kısımlarda kumtaşları ile aralanma gözlenmektedir. En alt kısımlarda çok kötü boylanmalı çakıltaşları ile üzerine çakıltaşlarını birkaç düzey halinde içeren kumtaşları bulunmaktadır.

Birimin altında Tekkeköy formasyonu uyumsuz olarak gelirken üzerine Çakmak formasyonu yine uyumsuzlukla gelmektedir. Formasyona içinde saptanan fosillere göre Üst-Eosen yaşı verilmiştir (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ Mahmurdağ Volkanitleri (Tvm)

Birim dağınık yüzeylenmeler şeklinde gözlenen koyu siyah ve krem-beyaz renkli ve porfirik dokulu bazaltlar, tuf, aglomera, andezit ile bazaltik batolit, dayk ve sillerden oluşmaktadır. Formasyon içinde bulunan bazaltlar batolit, dayk ve siller şeklinde diğer formasyonları keserek aralarına yerleşmiştir (Ek Şekil 1). Birimin yaşı içinde bulunan fosillere göre Üst Miyosen-Pliyosen olarak kabul edilmiştir (Yoldaş vd., 1985).

#### ❖ Samsun Formasyonu (Ts)

Birim altta gri-mavi denizel marn, arada jips bantları içeren kırıntılıları ve kil ara seviyeleri içeren kumtaşı, silttaşı ve çakıltaşlarından oluşan geçiş düzeyi ve en üstte silttaşı, kumtaşı ve marn mercceklerini kapsayan karasal konglomera düzeylerinden oluşmaktadır. Formasyonun alt düzeylerini oluşturan denizel marn ve üzerindeki geçiş düzeyi İlyas Üyesi olarak adlandırılmıştır. İlyas üyesi volkanik çakıllardan oluşan bir taban konglomerası ile başlayarak daha üstte gri-mavi renkli denizel marn ile kil ve jips ara bantlı kumtaşı, silttaşı ve çakıltaşı düzeyleri yer almaktadır. İlyas Üyesi Tekkeköy formasyonu üzerine uyumsuz olarak gelmekte ve içinde belirlenen fosillere göre Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşı verilmektedir (Yoldaş vd., 1985). Samsun formasyonunun en üst kısımlarda Karasamsun Üyesi

olarak bulunmaktadır. Karasamsun üyesinin tabanı İlyas Üyesinin en üst kısmını oluşturan geçiş düzeyi ile dereceli geçişlidir, üzerine alüvyon çökelleri gelmektedir. Birime akarsu ortamında çökmesi, İlyas Üyesi ile dereceli geçişli olması nedeniyle Alt Pliyosen yaşı verilmiştir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Köprübaşı Formasyonu (Tkö)

Bu formasyonun Kalınlığı 250 m civarında olup çoğunlukla volkanik breşlerden oluşan andezit çakıl ve blokları ince taneli andezitik bir matriks içinde yer almaktadır. Birim içinde tüfit ve tüflü killi-siltli düzeyler ile andezitik-bazaltik kayalar da yer yer izlenmektedir. Birime içinde bulunan fosillere göre Orta Miyosen yaşı verilmiştir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Eski Alüvyon (Qe)

Birim Yeşilirmak, Kızılırmak ve Terme çayının eski kanal çökelleri olup çakıltaşı, kum, az tutturulmuş kumtaşı ve çakıllardan oluşmaktadır. Bu formasyon Kızılırmak ve Yeşilirmak deltalarında kanallar halinde bulunmaktadır (Yoldaş vd., 1985).

❖ Eski Alüvyon Yelpezesi Çökelleri (Qey)

Birim kırmızımsı açık kahverengi renkli çakıl, çamur, çakıltaşı ve kumlardan oluşmakta ve az eğimli düzlükler halinde Çarşamba doğusunda ve batısında gözlenmektedir. Katman içlerinde çökme yapısı içermekte ve çakıl ve çakıltaşı katmanları çamur ve kum katmanları ile ardalanmalı bulunmaktadır. Birim içinde bulunan çakıllar kötü boylanmalı olup yarı köşeli ve yuvarlaktır (Yoldaş vd., 1985).

❖ Eski Taşkın Ovası Çökelleri (Qet)

Birim silt, ince kum ve killerden oluşmakta ve Yeşilirmak'ın batı ve doğusunda, Çarşamba ilçe merkezinin kuzey ve güneyinde, Abdal deresi ve Gökçe çakmak Barajı çevresinde gözlenmektedir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Eski Kumsal Çökelleri (Qek)

Birim grimsi beyaz renkli kum ve az tutturulmuş kumtaşlarından oluşmakta ve Yeşilirmak delta lobunun batı ve doğu yakasında ve deltanın kuzey doğu-güney doğu uzanımlı güncel kıyısının gerisinde gözlenmektedir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Eski Akarsu Kanalı Çökelleri (Qea)

Birim tutturulmamış iyi yuvarlaklaşmış ve orta boylanmalı çakıllar ve tutturulmuş çapraz ve paralel katmanlı kumtaşlarından oluşan Yeşilirmak, Abdal deresi, Kızılırmak ve Terme Çayı'nın eski kanal çökelleridir. Birimin kalınlığı 45 m civarında olmaktadır (Yoldaş vd., 1985).

❖ Güncel Taşkın Ovası Çökelleri (Qt)

Kalınlığı 10-20 m arasında değişen Güncel Taşkın Ovası Çökelleri çok ince kumlar ve siltlerden oluşmakta ve Çarşamba ilçesi ve Yeşilirmak deltasının düzlüğünü oluşturmaktadır. Birim Çarşamba-Salıpazarı yarmasında tipik olarak gözlenir ve Çarşamba Ovasındaki güncel taşkın ovası çökelleri Yeşilirmak, Terme Çayı ve Abdal Deresi'nin mevsimsel taşkınlarının ürünleridir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Güncel Kumsal Çökelleri (Qk)

Birim gri ve siyah renkli kumsal çökelleri ve iyi boylanmış ağır mineral düzeyleri ile laminalanması belirgin kumlardan oluşmakta ve Kızılırmak ve Yeşilirmak deltasında dar ve şeritler halinde izlenmektedir (Yoldaş vd., 1985).

❖ Heyelanlar (Qh)

Bu heyelanlar Karadağ köyü ve dolayında gözlenir ve duraysız topografik konumu ve litolojisindeki marn ve şeyllerin kaygan yüzeyler oluşturmalarına bağlı olarak oluşur. Cankurtaran formasyonu kendi içinde ve topografik olarak daha aşağıdaki birimler üzerine kaymış ve yayılmıştır (Yoldaş vd., 1985).

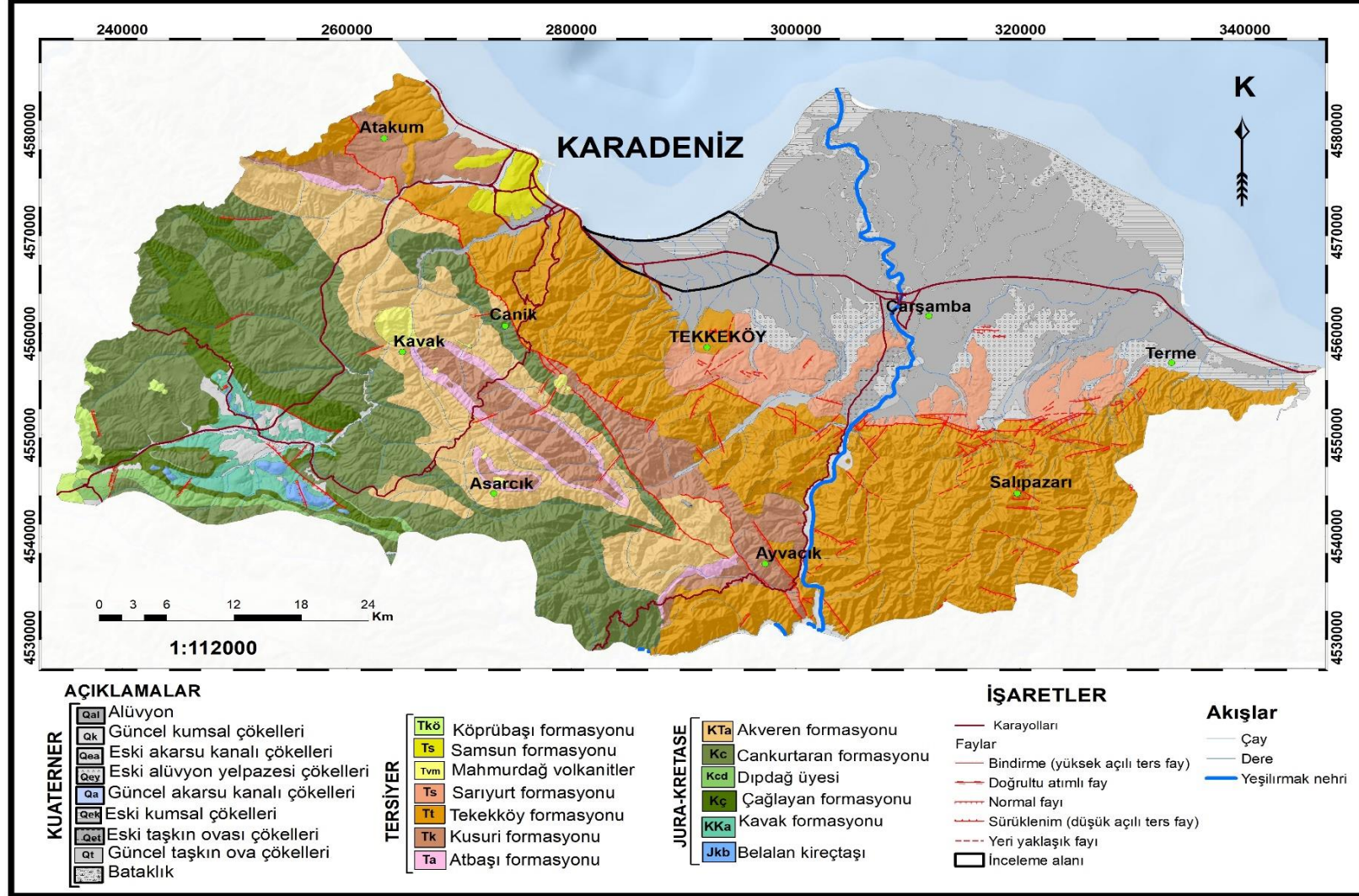
❖ Taraçalar (Qta)

Birim daha yaşlı formasyonların çakıllarından oluşmakta ve Mert Irmağı ve Kürtün Irmağı vadilerinde, Yeşilirmak -Kızılırmak vadisi boyunca izlenmektedir. Taraçalar oldukça düz, yatay ve yer yer uzun ve dar olarak gevşek çimentolu veya çimentosuz halde bulunmaktadır (Yoldaş vd., 1985).

❖ Alüvyon (Qal)

Kuvaterner çökelleri simgesi ile belirtilmiş olup çakıl, kum, silt ve killerden oluşmakta ve en geniş yayılımı Tekkeköy çevresinde, Yeşilirmak deltasının batı kısımlarında izlenmektedir (Yoldaş vd., 1985).





Şekil 12. Samsun doğu kısmına ait jeoloji haritası

## 4.2. Yapısal Jeoloji

Bölgede Hersiniyen ve Alpin orojenik hareketleri ve KD-GB yönündeki kompresyonel kuvvetlerin etkisinin sonucunda KB-GD doğrultusunda ters faylar, bindirmeler, kıvrımlı yapılar, doğrultu atımlı faylar ve eklem sistemleri gibi yapısal unsurlar oluşturmuştur.

Normal faylar ise kompresyonel kuvvetlerin arasında oluşan tansiyonel kuvvetlerin etkisi sonucunda oluşmuştur. Normal fayın uzunluğu 15 km kadar olup genel uzanımı KB-GD yönlüdür. Bu normal fay Kavak ilçesi kuzeyinde KB-GD doğrultusunda uzanmakta ve Yemişliçay ve Kapanboğazı formasyonları arasında gelişmekte ve üzerinde güneydeki blok yükselmiş kuzeydeki blok ise alçalmaktadır (Yoldaş vd., 1985).

Samsun ili sınırlarında Erikli Ters Fayı ve Çarşamba Ters Fayı da bulunmaktadır. Erikli Ters fayının uzunluğu 85 km civarındadır ve Samsun GB'sında yaklaşık K40° B doğrultulu 15 Km uzunluğunda ayrı bir ters fay ile birleşerek bir zon halinde KB-GD doğrultusunda Cevizlik yakınlarına kadar uzanmaktadır. Erikli fayı'ndan dolayı Akveren formasyonu, Atbaşı formasyonu üzerinde bulunmaktadır. Bu fayın düzlemi 45°-85° arasında değişen eğimlerle GB'ya eğimli olup onun boyunca Cankurtaran ve Akveren formasyonları, Kusuri ve Tekkeköy formasyonları üzerinde yer almaktadır. Çarşamba Ters Fayı ise Üst Lütesiyen yaşlı Sarıyurt formasyonunu etkileyerek Salıpazarı'ndan itibaren doğuya doğru önce düşey, daha sonra yüksek açılı normal faya dönüşmektedir (Yoldaş vd., 1985).

Çarşamba ters fayının kuzeyinde ve Salıpazarı'nın doğusunda bulunan düşey faylar çok sayıda ve KB-GD yönlü olup Vezirköprü kuzeyinde Bekirli, Çağlayan, İnatlı ve Cankurtaran formasyonları içinde çok gelişmiştir. Bu düşey fayların uzunlukları birkaç km olup Vezirköprü güneyinde Kretase-Tersiyer yaşlı birimlerde de gelişmiş KB-GD yönlü yaygındır (Yoldaş vd., 1985).

Bölgede KD-GB yönünde gelişen kompresyonel kuvvetlerin etkisiyle KB-GD gidişli antiklinal ve senklinal oluşmuştur. Bu kıvrımlar Akdağ formasyonunun Ladik yöresindeki mostralari, Çarşamba güneyindeki ters fay kuşaklarında yer alırken en yoğun olduğu kesim Erikli fayının doğu devamındaki ters fay ile bunun güneyinde yer alan ters fay dolaydır (Yoldaş vd., 1985).

Doğrultusu KD-GB ve yönleri KG olan bindirmeler Samsun güneybatısında Bekirli ve Aktaş formasyonu ile Kirazbaşı karmaşığı arasında bulunmaktadır. Ayrıca bu faylar Ladik Gölü kuzeydoğusunda Belalan kireçtaşı Yemişliçay ve Cankurtaran formasyonları

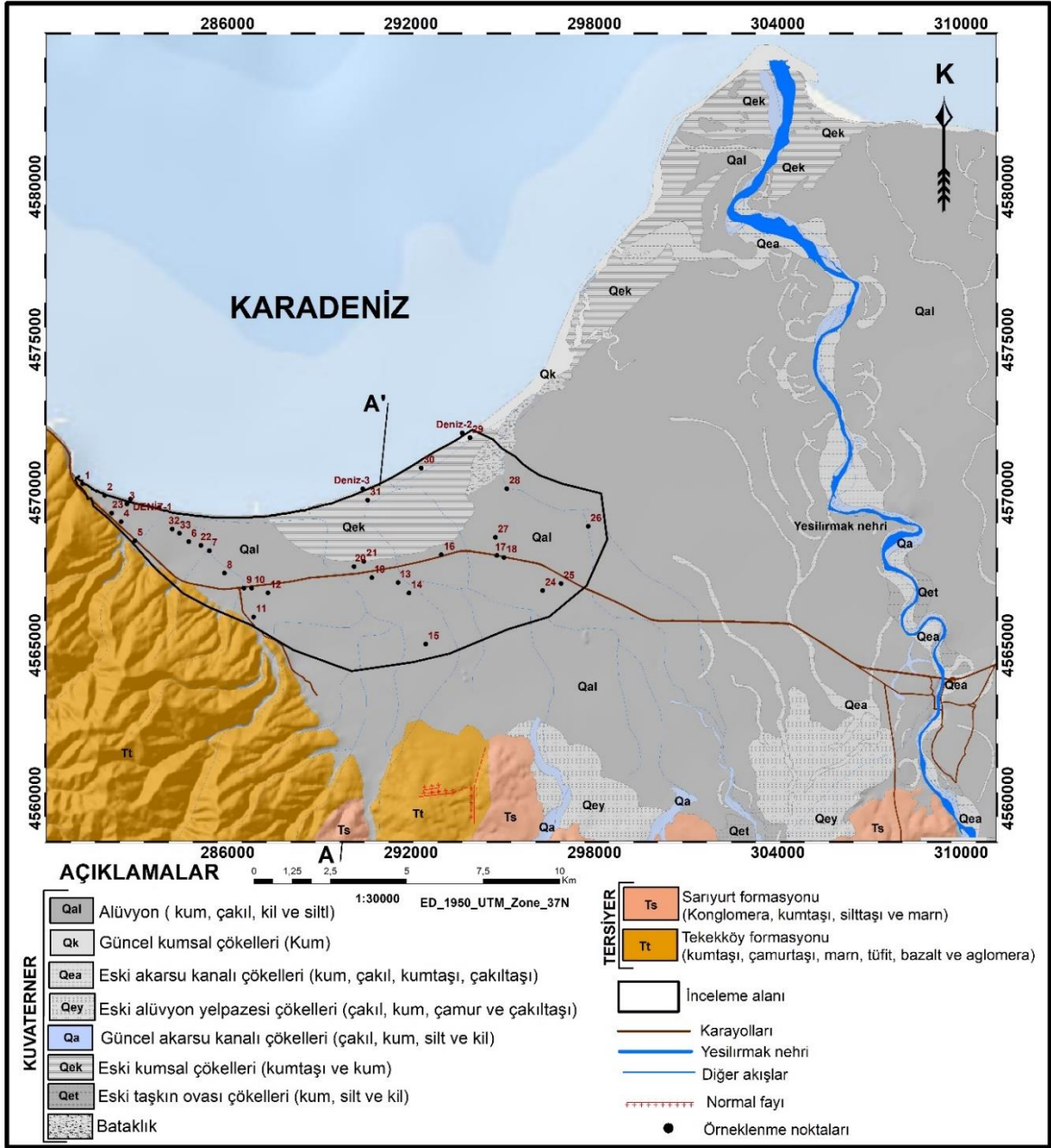
üzerinde klip şeklinde yer almış ve Bekirli formasyonu Elekdağ metaofiyolitine Aktaş formasyonu da Bekirli formasyonuna bindirmiştir (Yoldaş vd., 1985).

Bu faylardan başka Samsun il sınırlarında 100 Km uzunluğunda doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fayı bulunmaktadır. Bu fay Destek Boğazı'ndan geçerek Ladik Gölüne daha sonra Samsun-Ladik karayoluna ulaşıp Permiyen kireçtaşlarının güney sınırını izleyerek Havza kuzeydoğusunda Samsun - Ankara karayolunu geçmektedir. Kuzey Anadolu Fayı doğudan batıya doğru Çerkeş formasyonu, Akdağ kireçtaşı, Cankurtaran formasyonu, Mahmurdağ volkanitleri, Köprübaşı formasyonu, Hacılı formasyonu, Dindardibi ve Veziköprü formasyonlarını kesmektedir. Kuzey Anadolu Fayı Türkiye'de deprem üreten önemli ve aktif bir kırık hattı olup atımı araştırmacıların çalıştıkları alanlara göre değiştiğine dikkat edilmelidir (Yoldaş vd., 1985).

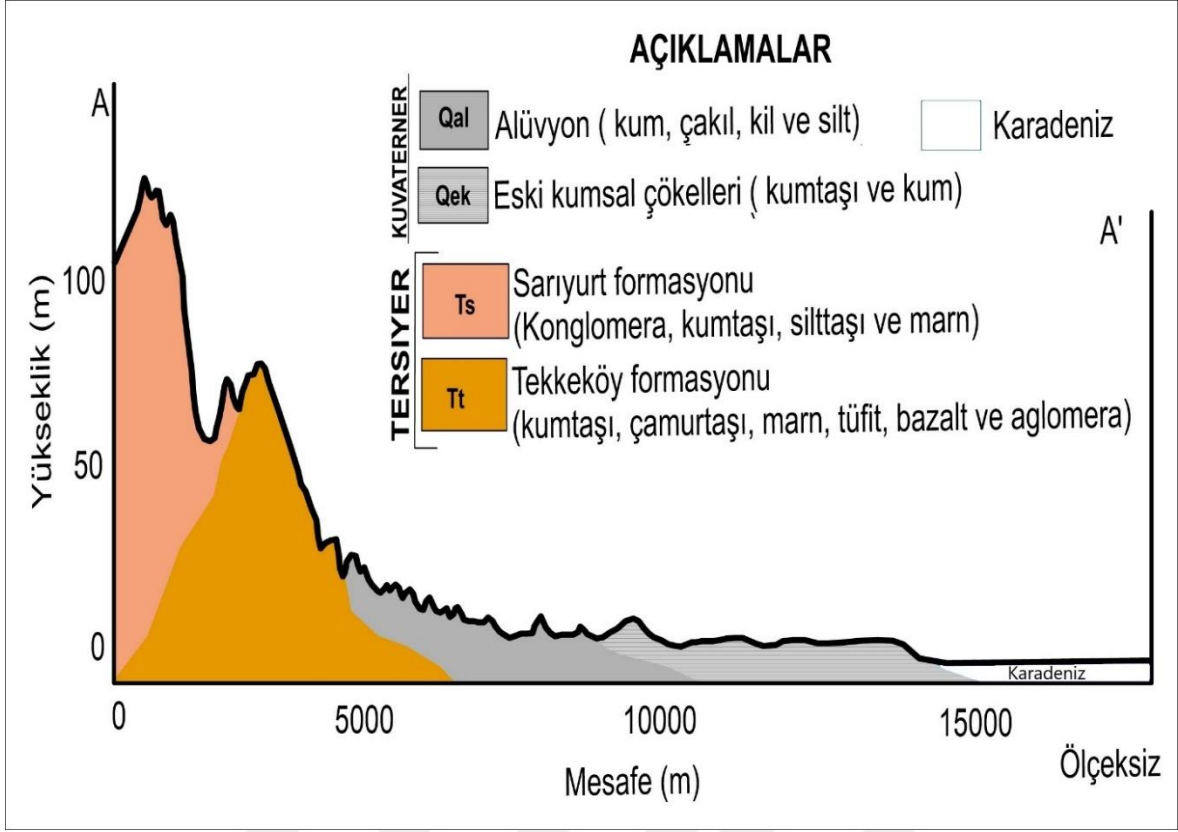
### **4.3. Çalışma Alanının Jeolojisi**

İnceleme alanında ve çok yakın çevresinde yaşlıdan gence doğru Tersiyer yaşlı Tekkeköy ve Sarıyurt formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Güncel taşkın ovası çökelleri, Güncel kumsal çökelleri, Güncel akarsu kanalı çökelleri, Eski alüvyon yelpazesi çökelleri, Eski akarsu kanalı çökelleri, Eski kumsal çökelleri ve Eski taşkın ovası çökelleri bulunmaktadır (Şekil 13).

Tekkeköy formasyonu, inceleme alanının kuzey batısında ve güney doğusunda geniş bir alanda gözlenirken Sarıyurt formasyonu çalışma alanının güney batısında gözlenmektedir. Güncel taşkın ovası çökelleri inceleme alanında en geniş yayımlı birimdir ve Çarşamba-Salıpazarı yol yarmasında tipik olarak gözlenmektedir. Bu birim inceleme alanının doğu, batı ve güney kısmında izlenmektedir. Güncel kumsal çökelleri ise inceleme alanında deniz kıyısına paralel olarak gözlenmektedir. Eski alüvyon yelpazesi çökelleri inceleme alanının güney batısı ve doğusunda küçük bir kesimde yer yer gözlenirken Eski taşkın ovası çökelleri kuzey doğusunda ve batısında Yeşilirmak nehrinin kenarında izlenmektedir. Eski kumsal çökelleri inceleme alanının kuzey doğusunda yer yer gözlenmektedir. Güncel akarsu kanalı çökelleri ise inceleme alanının kuzey doğusunda ve güney doğusunda yer yer Yeşilirmak nehrin yatağında yüzeyleyirken Eski akarsu kanalı çökelleri inceleme alanının doğusunda yer yer izlenmektedir. Çalışma alanı ve çok yakın çevresine ait jeoloji haritası Şekil 13'te verilmiştir. Ayrıca bu jeoloji haritasında alınan A-A' jeoloji kesiti şekil 14'te verilmiştir.



Şekil 13. İnceleme alanının jeoloji haritası



Şekil 14. İnceleme alanının jeoloji haritasında alınan A-A' jeoloji kesiti

## 5. HİDROJEOLOJİ

Hidrojeoloji çalışmalarının gerçekleştirilmesi için çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan kaynakların ve akiferlerin özellikleri araştırılmıştır ve jeolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre değerlendirilerek hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır. Çarşamba akiferinin hidrolik parametrelerinin tespitinde daha önceden çalışma alanında ve yakın bölgede yapılmış pompaj deneylerinin düşüm-zaman değerleri Cooper-Jacob yöntemiyle değerlendirilerek akiferin hidrolik iletkenlik (K) ve iletimlilik (T) katsayısı değerleri hesaplanmıştır.

Bu çalışma kapsamında Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanında bulunan kuyuların statik seviyelerinin ölçülmesi mümkün olmadığından dolayı yeraltısuyu tablası ve akış yönü haritası çizilmemiştir.

### 5.1. Su Noktaları

#### 5.1.1. Akarsuları

##### ➤ Yeşilırmak Nehri

Çarşamba Ovasında bulunan ve etkin rol oynayan en önemli akarsu Yeşilırmak nehridir. Bu nehir 36000 km<sup>2</sup> drenaj havzasına sahip olup Sivas'ın Koyulhisar ilçe merkezinin güneydeki Kösedag'dan doğarak Tozanlı ana kolu, Tokat yöresinde Yeşilırmak adını aldıktan sonra Amasya civarında Çekerek ve Tersakan Irmakları ile birleşmektedir. Yeşilırmak nehri Erbaa ve Taşova arasında bulunan Kelkit Irmağını bünyesine alarak ve Karadeniz kıyı dağlarının vadisinden geçip ve Çarşamba delta ovasını iki parçaya ayırarak Civa burnundan Karadeniz'e dökülmektedir. 1964 ile 1986 yılları arasında yapılan araştırmalara göre Yeşilırmak nehri 5727 hm<sup>3</sup>/yıl ortalama akım değerlerine sahip olup en yüksek taşıdığı su miktarı Nisan ve Mayıs aylarında, en düşük değerleri Ağustos ayında sırasıyla 1109,7 hm<sup>3</sup> ile 148,2 hm<sup>3</sup> olduğunu göstermektedir. Yeşilırmak'ın Nisan ayı debisi 60,8 m<sup>3</sup>/s ile 589 m<sup>3</sup>/s arasında, Ağustos ayı debisi de 1,18 m<sup>3</sup>/s ile 61,6 m<sup>3</sup>/s arasında değişmektedir (DSİ, 1993).

➤ Abdal Deresi

Bu dere kuzeybatı yönünde akış göstermekte ve Asarcık ilçesi arazilerindeki 1200 m kotlarından başlamaktadır ve Irmaksırtı mevkiinde Samsun-Ordu karayolundan geçtikten sonra Karadeniz'e boşalmaktadır.

Abdal deresinin yağış alanı 502 km<sup>2</sup> ve kotu 8 m olup Samsun il merkezine içme ve kullanma suyu sağlayan Çakmak Barajı, Aptal Irmağı yağış alanının 476 km<sup>2</sup>'lik kısmını kontrol etmektedir. Derenin yıllık ortalama akımı 168 hm<sup>3</sup> ve buna göre yıllık ortalama debisi 5,34 m<sup>3</sup> / s olup akımın en az olduğu ay Eylül, en fazla ise Mart ayıdır (DSİ, 1993).

➤ Gelemen Kanalı

Bu kanalın yağış alanı 198 km<sup>2</sup>'lik olup yukarı havzasında yer alan üç ayrı dere ile tarım arazilerinin drenaj sularını Karadeniz'e tahliye etmektedir. Kanalın yağış alanının güney yamaçlarındaki en yüksek kısımlarında yükselti 900 m'ye kadar ulaşmakta ve en uzun akarsu boyu 37 km'dir (DSİ, 1993).

➤ Tekkeköy Deresi

Bu derenin yağış alanının en yüksek kısımlarında kotlar 850 m'ye kadar ulaşmakta ve Tekkeköy ilçe merkezindeki yağış alanı 47 km<sup>2</sup> olup boyu 18 km civarında olmaktadır. İlçe merkezindeki yağış alanının yükseltisi ise 25 m civarında olup Tekkeköy deresi Tekkeköy kanalına katılmaktadır. Bu kanal Samsun-Ordu karayolunu geçerek Karadeniz'e birleşmektedir (DSİ, 1993).

➤ Kirazlık Deresi

Kirazlık deresinin yağış alanının yükseltisi 4 m'den 850 m'ye kadar olup Samsun organize sanayi sahası içerisinden geçerek Karadeniz'e birleşmektedir. Bu derenin Samsun-Ordu karayolu yağış alanı 45 km<sup>2</sup> olup boyu 15 km civarındadır (DSİ, 1993).

### 5.1.2. Göller

Çalışma alanında bulunan göller doğal ve yapay göller olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Çarşamba ovasındaki doğal göller irili ufaklı lagün gölleri olarak ovanın kuzeyinde, kuzeydoğusunda ve kuzeybatısında bulunmaktadır. Bunların en önemlileri Akgöl, Simenit Gölü, Sarıklık Gölü, Akarcık Gölü, Dumanlı Göl ve Kaynarca Gölü'dür. Ova içerisinde, akarsu yataklarının değişmesi sonucu oluşan çukurların su ile dolması sonucunda Körürmak ve Kuşçulu Gölü gibi tatlı su gölleri oluşmuştur. Çarşamba ilçesinin

20 km güneybatısında Abdal Irmağı üzerinde yapay göl olarak Çakmak Baraj Gölü bulunmaktadır (DSİ, 1993).

## 5.2. Çarşamba Ovası'nda Akiferlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Çarşamba ovasındaki akiferin hidrojeolojik özelliklerinin değerlendirilmesi için ova içinde 1993 yılında DSİ tarafından daha önceden yapılmış olan hidrojeolojik çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmaların incelenmesinin ışığında Çarşamba Ovası Yeşilirmak sol sahili ve Yeşilirmak sağ sahili olmak üzere iki parçaya ayrılarak hidrojeolojik özellikleri değerlendirilmiştir. Yeşilirmak sol sahilinde akifer tavan derinliği genel olarak 4 ile 40 m arasında; kalınlığı 1 ile 20 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri, genelde çakıl, killi-kumlu çakıl, silt-kum, killi-kavkılı çakıl ve siltli kumdan oluşmakta ve sahalara göre serbest veya yarı basınçlı özellikler göstermektedir (DSİ, 1993).

Hamzalı, Kâhyalı, Taşdemir, Bayramlı, Otluk, Dikbıyık, Çelikli, Kuşhane, Üçköprü, Damlataş, Yeni Karacalı ve Ahubaba köylerinde yer alan saha yarı basınçlı akifer bölümünü oluşturmaktadır. Bu sahalarda akifer seviyelerindeki kil kalınlıkları yüksek olup bazı yerlerde 50 m'ye kadar ulaşmıştır. Yeşilirmak nehri sol sahilinde batıda Kirazlık Mevkii, Tekkeköy ilçe merkezi ve civarı ile Ovabaşı, Gölceğiz, Karabük, Irmaksırtı ve Ovacık köylerinin kuzeyinde kalan saha serbest akifer bölümünü oluşturmaktadır (DSİ, 1993).

Yeşilirmak sağ sahilinde ise akifer derinliği 5 ile 58 m arasında; kalınlığı ise 2 ile 15 m arasında değişmektedir. Akifer seviyeleri genellikle çakıl, killi-kumlu çakıl, siltli-kavkılı kum, killi-kavkılı çakıl, siltli kum ve bloklu kum-çakıllardan oluşmakta ve sahalara göre basınçlı-yarı basınçlı veya serbest akifer özellikleri göstermektedir. Bu bölgede yer alan Çarşamba-Terme arasında yelpaze şeklinde kuzeye doğru açılan saha, Yeşilirmak sağ sahilinin basınçlı-yarı basınçlı bölümünü oluşturmakta bunun dışında kalan saha serbest akifer seviyelerinden meydana gelmektedir (DSİ, 1993).

Ova içinde bulunan volkanik kayalar ise, ovanın yeraltısuyu açısından alüvyondan sonra ikinci derecede akifer özelliği gösteren jeolojik formasyonudur. Bu formasyonlarda altere olmuş bazaltlar ve özellikle aglomera seviyeleri içinde gelişmiş olan birbirleriyle bağlantılı ve beslenmeli çatlaklar ve kırık sistemleri yeraltısuyu taşımaktadır (DSİ, 1993).

Çarşamba Ovası'ndaki akifer seviyeleri, bölgenin jeolojik birimlerinin litolojik ve hidrodinamik özelliklerinden dolayı yağıştan, yüzeysel akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir. Ovanın jeolojik haritası incelendiğinde;

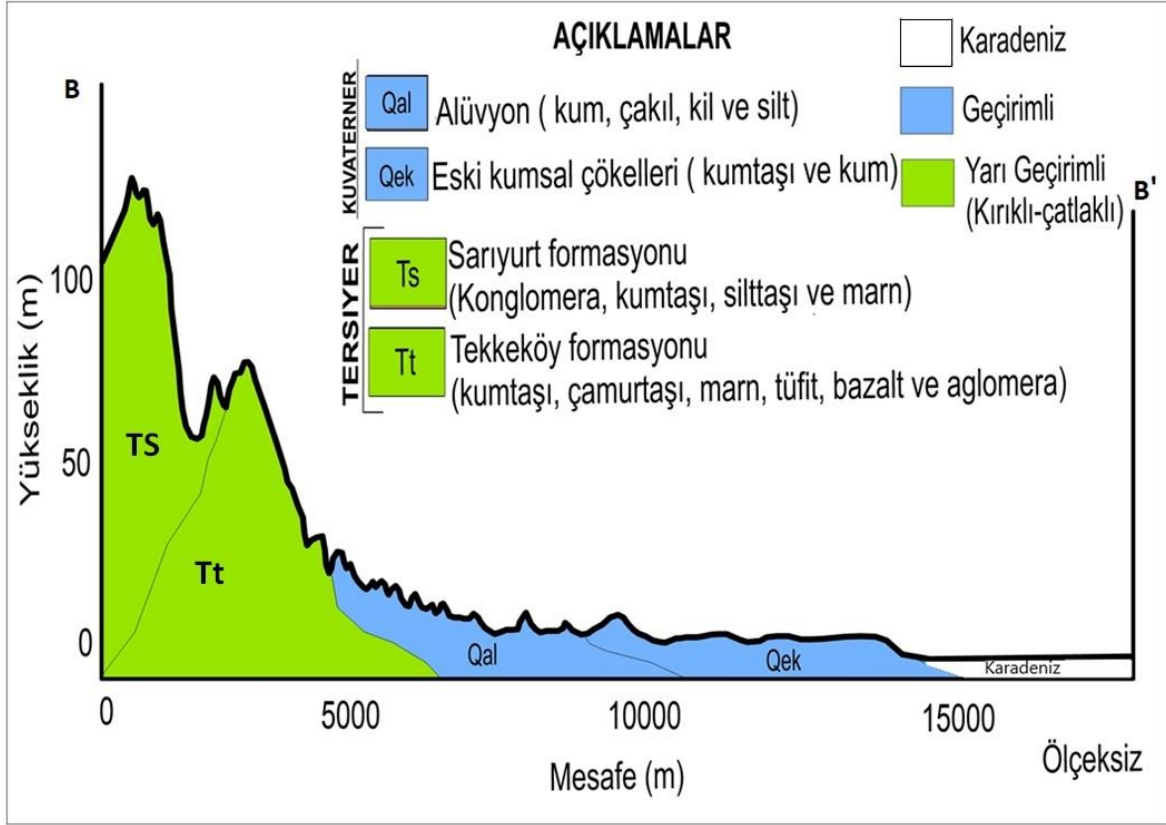


alüvyonun kuzeyden Karadeniz, güneyden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelendiği görülmektedir.

Eosen ve Neojen yaşlı jeolojik formasyonlar litolojik ve hidrodinamik özellikleri nedeniyle ovadaki yeraltısuyu rezervini sadece yüzeysel akış yönünden etkilemektedir. Çarşamba ovası'nın hidrojeoloji haritası Şekil 15'te verilmiştir. Ayrıca bu hidrojeoloji haritasında alınan B-B' hidrojeoloji kesiti şekil 16'da verilmiştir. İnceleme alanında alüvyon Qal içinde açılmış olan 34947, 38998, 38581, 30097 ve 13358 nolu kuyu logları (C-C') şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 15. Çarşamba Ovası'nın hidrojeoloji haritası



Şekil 16. İnceleme alanının hidrojeoloji haritasında alınan B-B'jeoloji kesiti

### 5.3. Kaynaklar

Çalışma alanında ve güneyinde bulunan alüvyonlar, Eosen yaşlı fliş ve volkanik serilerde önemli kaynak boşalimleri bulunmaktadır. Ayrıca Eosen yaşlı fliş ve volkanik serilerde bulunan jeolojik birimlerin birbirleriyle bağlantılı kırık ve çatlaklarında az da olsa bir miktar yeraltısuyu bulunmaktadır. Bu sular kırıklar boyunca ve sızıntılar şeklinde yeryüzüne çıkmaktadır. 1991 yılında Devlet Su İşleri tarafından yapılan çalışmalara göre bu kaynak sularının debisi 0.1 lt/sn ile 4 l/s arasında değişmektedir. 0.1 l/s'nin üstünde debi değerlerine sahip olan kaynaklar aşağıdaki tabloda sunulmuştur (Tablo 9).

Tablo 9. Kaynak sularına ait bilgiler

| Kaynak adı                        | Debisi (l/s) | Çıktığı Formasyon |
|-----------------------------------|--------------|-------------------|
| Sıtmasıyu-Soğuk Pınarı            | 0,8          | Alüvyon           |
| Kumköy-Orta mahalle Pınarı        | 2            | Fliş serisi       |
| Şengüven-Soğuksu Pınarı           | 4            | Alüvyon           |
| Karaoğlan köyü-Karapınarı Kaynağı | 0,1          | Volkanik seri     |

Tablo 9'un devamı

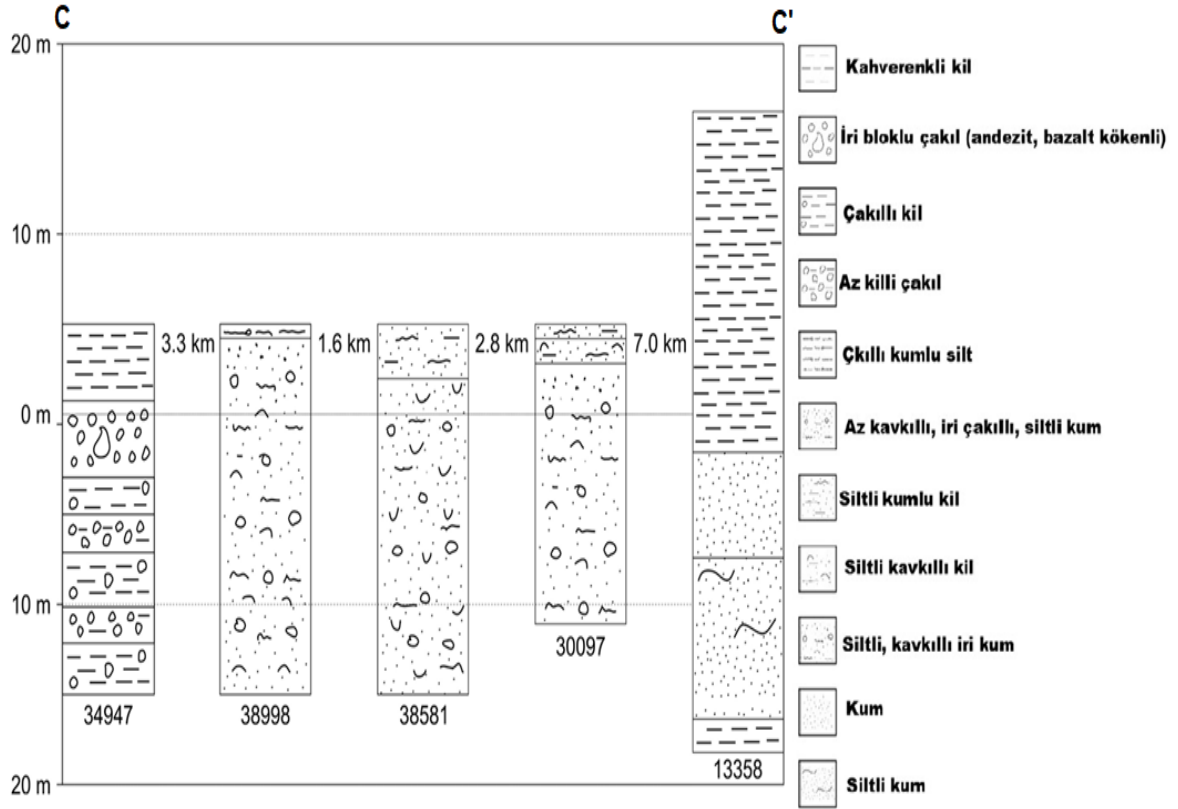
| <b>Kaynak adı</b>              | <b>Debisi (l/s)</b> | <b>Çıktığı Formasyon</b> |
|--------------------------------|---------------------|--------------------------|
| Gökçe Köyü-Dere Kaynağı        | 0,2                 | Volkanik seri            |
| Aşağıçinik A. Çeşme Kaynağı    | 0,5                 | Volkanik seri            |
| Aşağıçinik-Doktorun suyu       | 3                   | Volkanik seri            |
| Biçme Köyü-Soğuksu Pınarı      | 0,5                 | Fliş serisi              |
| Kerpiçli Köyü-Gariyani Kaynağı | 1,2                 | Fliş serisi              |
| Kerpiçli Köyü-Köyaltı Kaynağı  | 0,5                 | Fliş serisi              |

#### 5.4. Jeolojik Birimlerin Hidrojeolojik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

##### 5.4.1. Alüvyon (Qal)

İnceleme alanı içerisinde bulunan Kuvaterner yaşlı alüvyon (Qal) verimli gözenekli-geçirimli akiferi oluşturmaktadır. Formasyonun hidrojeolojik özelliklerinin değerlendirilmesi için birim içerisinde DSİ tarafından açılmış 58 sondaj kuyusuna ait loglar incelenmiştir (Tablo 10). Bu formasyon çalışma alanında en geniş yayımlı olup çoğunlukla çakıl, kum, kavrı, kil ve silt malzemelerinden oluşmakta ve geçirimli formasyon olarak ayırtlanmaktadır. İncelenen kuyu loglarına göre formasyonun üst seviyelerinde çoğunlukla bitkisel toprak, kil, silt, killi kum ve siltli kum, çakıllı kil bulunmaktadır. Bu üst seviyedeki birimlerin kalınlığı çoğunlukla 1 ile 4 m arasında değişmektedir. Ancak açılmış olan 29925, 3840 ve 4197 nolu kuyuların üst seviyelerindeki kil ve silt birimlerinin kalınlığı sırasıyla 22 m, 8 m ve 13m'ye kadar ulaşmaktadır (Ek şekil 2 ve k Şekil 4). Üst seviyelerde bulunan kil, silt birimleri yeraltısuyu bulundurmayan geçirimsiz ortamları oluştururken killi kum, siltli kum ve çakıllı kil yarı geçirimli ortamları oluşturmaktadır. Sondaj kuyu verilerine göre kuyuların derinliği çoğunlukla 10 m'den 100 m'ye kadar ulaşmaktadır. Formasyonun ara seviyelerinde çoğunlukla çakıl, kum, çakılı silt, siltli kum, kumlu çakıl, kavrılı kum, kavrılı çakıl bulunmakta bu seviyelerden 0,5 ile 27,62 l/s arasında verimle su elde edilmektedir. Azot fabrikasında açılmış 10762 nolu kuyuda çakıllı seviyelerden 27,62 l/s, 10759 nolu kuyuda çakıl, çakıllı silt ve kavrılı çakıl seviyelerden 20 lt/sn, 28652 nolu kuyuda kum ve kavrı seviyelerden 25 l/s verimli debiye ulaşılmıştır. 3820 nolu kuyuda killi çakıl seviyelerden, 4197 nolu kuyuda ince taneli lameli Branchiata fosilli çakıl seviyelerden, 34947 nolu kuyuda iri bloklu çakıl, çakıllı kil ve killi çakıl seviyelerden sırasıyla 0,5 l/s, 4,8 l/s ve 5 l/s düşük verimle su elde edilmiştir. Formasyonun alt seviyelerinde sondajların

çoğunlukla geçirimsiz marn, kil ve aglomera bulunmaktadır. İncelen kuyu loglarına göre suyun statik seviyesi 0,3 ile 5,35 m arasında değişirken dinamik seviyesi de 4 ile 13,68 m arasında değişmektedir.



Şekil 17. Alüvyon (Qal) birimine ait kuyu logları (C-C')

Tablo 10. Alüvyon (Qal) formasyonunda açılmış kuyular

| Kuyu No | Kuyu adı            | Derinlik (m) | Statik seviye (m) | Dinamik seviye (m) | Verim l/s | Litoloji                                                     |
|---------|---------------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------|--------------------------------------------------------------|
| 10759   | Azot Fabrikası      | 63           | 2                 | 6                  | 20        | Kumlu kil, silt, kum, çakıllı kil, çakıllı silt, çakıl, marn |
| 10762   | Azot Fabrikası      | 77           | 4                 | 9                  | 27,60     | Kil, çakıllı kil, çakıl ve marn                              |
| 13358   | Irmak sırtı         | 35           | 3                 | 5,50               | 10        | Kil, kum, çakıl, silt                                        |
| 20309   | Tekkeköy belediyesi | 34           | 5,35              |                    | 20        | Çakıllı kil, çakıl, kıl, kumlu kil, çakıllı kil              |
| 26708   | Kavacılık arş       | 20           | 2                 | 4                  | 8         | Silt, kum, kavkı                                             |
| 26709   | Kavacılık arş       | 21           | 2                 |                    | 12        | Bitkisel toprak, silt, kum, kavkı                            |
| 28652   | Bakır işletmeleri   | 22           | 1,65              | 5,86               | 25        | Killi silt, silt, kil, kavkı                                 |
| 28653   | Bakır işletmeleri   | 22           | 1,95              |                    | 8         | Killi silt, silt, kum, kavkı                                 |

Tablo 10'un devamı

| Kuyu No | Kuyu adı           | Derinlik (m) | Statik seviye (m) | Dinamik seviye (m) | Verim l/s | Litoloji                                                              |
|---------|--------------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------|-----------------------------------------------------------------------|
| 28654   | Bakır işletmeleri  | 18           | 1,75              |                    | 10        | Siltli bitkisel toprak, kum, silt, kavkı                              |
| 28655   | Bakır işletmeleri  | 18           | 0,95              | 4,90               | 15        | Siltli bitkisel toprak, kum, silt, kavkı                              |
| 28656   | Bakır işletmeleri  | 18           | 1,30              | 6,90               | 20        | Siltli bitkisel toprak, kum, silt, kavkı                              |
| 28720   | Azot Fabrikası     | 19           | 1,05              | 5,05               | 9,20      | Siltli bitkisel toprak, çakıl, kum, silt, kavkı                       |
| 28721   | Azot Fabrikası     | 19           | 1,60              | 5,15               | 9,50      | Kum, silt, kavkı                                                      |
| 28722   | Azot Fabrikası     | 19           | 2,25              | 10,8               | 14        | Silt, çakıl, kum, kavkı                                               |
| 28723   | Azot Fabrikası     | 19           | 1,9               | 11,86              | 7         | Bitkisel toprak, çakıl, kum, silt, kavkı                              |
| 28846   | Gelemen zirai      | 18           | 1,55              | 13,70              | 12        | Bitkisel toprak, kil, bataklık kil, silt, kum, kavkı                  |
| 28847   | Zirai araş         | 18           | 1,1               | 4,70               | 12        | Kil, bataklık killi, silt, kum, kavkı                                 |
| 30072   | Gelemen düç        | 14           | 2,15              | 4,60               | 10        | Kil, kavkı, siltli kil                                                |
| 30073   | Gelemen düç        | 10           | 2                 | 4,8                | 9         | Siltli kil, siltli kum, kavkı                                         |
| 30074   | Gelemen düç        | 10           | 3,15              | 4,99               | 20        | Siltli kum, kavkılı kum                                               |
| 30075   | Gelemen düç        | 10           | 2,50              | 4,80               | 10        | Siltli kil, siltli kum, kavkılı kum                                   |
| 30097   | Ziraat fak bahçesi | 16           | 2,30              | 5,15               | 8         | Kil, siltli kum, kavkılı kum                                          |
| 30365   | Gelemen düç        | 10           | 1,40              | 5,05               | 10        | Silt, kum, kavkı                                                      |
| 30366   | Gelemen düç        | 10           | 1,60              | 5,01               | 10        | Silt, kum, kavkı                                                      |
| 30367   | Gelemen düç        | 10           | 0,45              | 4,90               | 9         | Nebati toprak, silt, kum, kavkı                                       |
| 30736   | Azot Fabrikası     | 20           | 1,60              | 8,07               | 20        | Silt, kum, kavkı                                                      |
| 30737   | Azot Fabrikası     | 21           | 1,35              | 9,85               | 12        | Siltli nebatı toprak, siltli çakıl, kumlu çakıl, kavkılı çakıl        |
| 3166    | Epçeli             | 99,90        | 2,80              | 4,60               |           | Kil, Kum, siltli kavkı ve kavkı                                       |
| 3287    | Gelemen düç        | 68,40        | 2,34              |                    |           | Nebati toprak, siltli kum, kumlu kavkı, kavkılı kil, kavkılı kum, kil |
| 34947   | Kirazlık elektrik  | 20           | 1,60              | 11,70              | 5         | Kil, iri çakıl, çakıllı kil, killi çakıl                              |
| 36954   | Azot Fabrikası     | 20           | 1,30              | 8,28               | 20        | Kil, çakıl, silt, kum, çakıl, kavkılı silt, kumlu çakıl               |
| 36955   | Azot Fabrikası     | 20           | 1,10              | 10,05              | 17        | Kil, kum, silt, kavkı, kavkılı silt                                   |
| 36956   | Azot Fabrikası     | 20           | 0,90              | 10                 | 18        | Silt, kum, çakıl, kavkılı kum, siltli kum                             |
| 36957   | Azot Fabrikası     | 20           | 0,65              | 11,75              | 18        | Siltli kil, silt, kum, çakıl, kavkılı silt                            |
| 36958   | Azot Fabrikası     | 20           | 1,6               | 13                 | 7         | Silt, kum, çakıl, kavkılı silt                                        |
| 36959   | Azot Fabrikası     | 20           | 1,9               | 12,05              | 6         | Silt, kum, çakıl, kavkılı silt                                        |
| 3820    | Tekkeköy           | 40,65        | 4,02              | 11,82              | 0,5       | Çakıl, kil, aglomera                                                  |
| 3840    | Güdedi köyü        | 59,75        | 2,81              | 6,50               | 12        | Çakıllı kil, kumlu çakıl, kil                                         |

Tablo 10'un devamı

| Kuyu No | Kuyu adı              | Derinlik (m) | Statik seviye (m) | Dinamik seviye (m) | Verim l/s | Litoloji                                                                         |
|---------|-----------------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 38575   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,65              | 5,47               | 15        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38576   | Bakır işletmeleri     | 20           | 1,79              | 7,54               | 15        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38577   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,76              | 6,02               | 12        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38578   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,30              | 7,24               | 20        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38579   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,72              | 8,79               | 10        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38580   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,82              | 5                  | 15        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38581   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,86              | 7,75               | 15        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38582   | Bakır işletmeleri     | 20           | 0,40              | 6,49               | 15        | Siltli kum, killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum                                  |
| 38585   | Kirazlık çaykur tesis | 10           | 2,24              | 5,03               | 5,30      | Siltli kum, kum, çakıl, bataklık kil                                             |
| 38997   | Azot Fabrikası        | 20           | 2,82              | 5,63               | 15        | Siltli nebatı toprak, çakıllı kum, siltli kum, kavkılı kum                       |
| 38998   | Azot Fabrikası        | 20           | 1,28              | 8,94               | 6         | Çakıllı ve kumlu silt, kavkılı çakıllı ve siltli kum                             |
| 38999   | Azot fabrikası        | 20           | 1,92              | 7,86               | 12        | Siltli nebatı toprak, kil, çakıllı kil, çakıllı kum, kavkılı kum, siltli kum     |
| 39000   | Azot Fabrikası        | 20           | 1,60              | 9,47               | 22        | Siltli kil, çakıllı kum, kavkılı kum, siltli kum                                 |
| 39302   | DSİ selyeri tes       | 24           | 3,95              | 9,49               | 15        | Nebatı toprak, siltli kum, çakıl, siltli kavkı, kumlu kavkı, çakıllı kavkı       |
| 4197    | Kütüklü mah           | 97,15        | 1,17              | 6,33               | 4,80      | Kil, silt, siltli kil, çakıl, bataklık                                           |
| 4206    | Hamzalı köyü          | 60           | 4,17              | 8,70               | 10        | Silt, kil, çakıllı kil, killi çakıl, kum                                         |
| 46874   | Tekkeköy merkez       | 30           | 3,60              | 13,88              | 15        | Nebatı toprak, kavkılı kum, siltli kum, kavkılı çakıl, siltli çakıl, kumlu çakıl |
| 47039   | DSİ selyeri tes       | 48           | 3,93              | 4,26               | 6,50      | Nebatı toprak, çakıllı kum, kavkılı kum, çakıl, kavkılı kil, siltli kil          |
| 47637   | Azot Fabrikası        | 20           | 1,40              | 9,15               | 15        | Killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum, siltli kum                                  |
| 47638   | Azot Fabrikası        | 20           | 1,40              | 8,47               | 13        | Killi kum, çakıllı kum, kavkılı kum, siltli kum                                  |

#### **5.4.2. Eski Kumsal Çökelleri (Qek)**

Eski kumsal çökelleri, inceleme alanında kıyı kısımlarda çoğunlukla bulunmaktadır. Bu birim kum ve kumtaşlarından oluşmakta ve geçirimli bir ortam oluşturmaktadır. Bu çalışmada eski kumsal çökelleri geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır.

#### **5.4.3. Eski Akarsu Kanalı Çökelleri (Qea)**

Bu birim incelenme alanının doğusunda yer yer izlenip tutturulmamış iyi yuvarlaklaşmış ve orta boylanmalı çakıl ve kum, az tutturulmuş çapraz ve paralel katmanlı kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşmakta ve geçirimli bir ortam oluşturmaktadır. Bu çalışmada eski akarsu kanalı çökelleri geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır. Birim içinde bulunan çakıltaşları yarı geçirimli olarak ayırtlanmıştır.

#### **5.4.4. Eski Alüvyon Yelpazesi Çökelleri (Qey)**

Bu birim inceleme alanının doğusunda ve güney doğusunda küçük bir kısımda yer yer gözlenir. Birim tutturulmamış çakıl, çamurtaşı, çakıltaşı ve kumlardan oluşur ve bu çalışmada geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır. Birim içinde bulunan çakıl ve kum gibi yeraltısuyu bulunduran geçirimli ortamları oluşturulurken çamurtaşı ve çakıltaşı sırasıyla geçirimsiz ve yarı geçirimli ortamları oluşturulmaktadır.

#### **5.4.5. Eski Taşkın Ovası Çökelleri (Qet)**

Bu birim inceleme alanının kuzeydoğusunda ve batısında Yeşilırmak nehrin kenarında gözlenir. Birim silt, ince kum ve killerden oluşur ve geçirimli bir ortam olarak sınıflandırılmıştır. Birim içinde bulunan kil ve silt geçirimsiz bir ortam oluştururken ince kumları geçirimli ortamları oluşturulmaktadır.

#### **5.4.6. Güncel Akarsu Kanalı Çökelleri (Qa)**

Bu birim incelenme alanının kuzeydoğusunda ve güneydoğusunda yer yer Yeşilirmak nehrinin yatağında yüzeyleyir ve çakıl, kum, kil ve siltlerden oluşup bu çalışmada geçirimli bir ortam olarak ayırtlanmıştır. Birim içinde bulunan silt ve kil yeraltısuyu bulundurmeyan geçirimsiz ortamları oluşturulmaktadır.

#### **5.4.7. Tekkeköy Formasyonu**

Bu formasyon inceleme alanının batısında ve güneyinde gözlenmektedir. Kumtaşı, çamurtaşı, marn ve tüfit ardalanması ile bazalt ve aglomeradan oluşmaktadır. Bu formasyonda geçirimli olan kumtaşı seviyelerinde, altere olmuş bazaltlar ve özellikle aglomera seviyeleri içinde gelişmiş olan birbirleriyle bağlantılı ve beslenmeli çatlakları ve kırık sistemleri yeraltısuyu taşımaktadır. Birim içinde bulunan çamurtaşı, marn, masif bazalt ve aglomera gibi birimler yeraltısuyu bulundurmeyan geçirimsiz ortamları oluşmaktadır. Bu çalışmada Tekkeköy formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır.

#### **5.4.8. Sarıyurt Formasyonu**

Bu formasyon inceleme alanının güney doğu ve batısında yüzeylenmekte ve kumtaşı, silttaşı, marn ve çakıltaşlarından oluşmaktadır. Birimin üst ve orta kesimlerinde bulunan kumtaşları yeraltısuyu bulunduran ortamları oluştururken marn ve silttaşları geçirimsiz ortamı oluşturulmaktadır. Birimin alt kısımlarda bulunan çakıltaşları ile üzerine çakıltaşlarını birkaç düzey halinde içeren kumtaşları geçirimli birimler olup yeraltısuyu taşıyabilecek bir ortam oluşturulmaktadır. Bu çalışmada Sarıyurt Formasyonu yarı geçirimli birim olarak sınıflandırılmıştır.

### **5.5. Akiferin Hidrodinamik Parametrelerinin Belirlenmesi**

Çalışma alanındaki akiferin hidrodinamik parametreleri olan hidrolik iletkenlik katsayısı (K) ve iletimlilik katsayısını (T) belirlemek amacıyla inceleme alanında ve yakın çevresinde Samsun DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış kuyuların açıldıkları



tarihlerde yapılan pompaj deney sonuçları kullanılmıştır. Akiferin hidrodinamik parametrelerini belirlemek için Cooper-Jacob yaklaşık yöntemi kullanılmıştır.

Bu yöntemiyle T ve S parametrelerinin hesaplanmasında aşağıdaki denkelmleri kullanılmaktadır.

$$s = 0,183 \frac{Q}{T} \log \frac{2.25 T t}{r^2 S} \quad (7)$$

Burada;

$$u = \frac{r^2 S}{4 T t} < 0.01 \text{ olması gerekmektedir.}$$

s = düşüm (m)

Q = debi (m/gün)

T = transmissibilite katsayısı (m<sup>2</sup>/gün)

r = gözlem kuyusunun uzaklığı (m)

S = depolama katsayısı (boyutsuz)

t = pompalama süresi (gün)

T ve K değerleri grafik yöntemiyle aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

- Yarı logaritmik bir kağıt üzerine gözlem kuyularından birisi için aritmetik eksen de s değerleri logaritmik eksen de kendilerine karşılık gelen t zamanına bağlı olarak işaretlenerek bir doğru elde edilmektedir.
- Çizilmiş doğru da bir log devresi zaman için Δs düşüm farkı belirlenirken T değeri hesaplanmaktadır (denklem 8). Δs düşüm belirlemek için doğru üzerinde bir log devresi zamana ait (t<sub>1</sub> ve t<sub>2</sub>) iki nokta için düşüm değerlerini yazarak farkları alınmaktadır.

$$T = 0,183 Q / \Delta s \quad (8)$$

- Permeabilite katsayısının hesaplamasında belirlenen T değeri ile akiferi kalınlığının değeri kullanılmaktadır:

$$K = T/h \quad (9)$$

Burada K permeabilite katsayısı ve h akiferin kalınlığını ifade edilmektedir.

İnceleme alanındaki akiferin hidrolik parametreleri DSİ 7. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyularından temsili olarak seçilen 28 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli pompaj deneyi verileri kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 11). Hesaplanan parametrelere göre akiferin hidrolik iletkenlik katsayısı  $2,51 \times 10^{-3}$ -  $1,27 \times 10^{-1}$  cm/s ve iletimlilik katsayısı  $5,01 \times 10^{-4}$ - $2,29 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmektedir. T ve K katsayılarının en yüksek değerleri 38997, 38581, 28720 ve 39302 nolu kuyularda izlenmektedir. Bu kuyuların derinliği ve statik seviyeleri sırasıyla 19-24 m ve 0,86-3,95 m arasında değişmektedir. Bu kuyularda akiferin seviyeleri az çakıllı, siltli ve bol kavkılı kumlardan oluşmaktadır. T ve K katsayılarının en düşük değerleri ise 38998 nolu kuyuda izlenmektedir. Bu kuyuda akiferin seviyesi az kavkılı iri çakıllı ve siltli kumlardan oluşmaktadır.

Tablo 11. Hesaplanan hidrolik parametreler

| Kuyu No | $\Delta s$ (m) | $t_0$ (s) | Q (m <sup>3</sup> /s) | R (m)  | Akifer kalınlığı (m) | T (m <sup>2</sup> /s) | K (m/s)              |
|---------|----------------|-----------|-----------------------|--------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| 39302   | 0,18           | 1,80      | 0,015                 | 0,2413 | 24                   | $1,53 \cdot 10^{-2}$  | $6,35 \cdot 10^{-4}$ |
| 47637   | 0,52           | 18        | 0,015                 | 0,2159 | 20                   | $5,28 \cdot 10^{-3}$  | $2,64 \cdot 10^{-4}$ |
| 10762   | 2              | 42        | 0,0225                | 0,2159 | 34                   | $2,06 \cdot 10^{-3}$  | $6,06 \cdot 10^{-5}$ |
| 28720   | 0,104          | 19,2      | 0,0092                | 0,2159 | 19                   | $1,62 \cdot 10^{-2}$  | $8,52 \cdot 10^{-4}$ |
| 28722   | 0,96           | 12        | 0,014                 | 0,2159 | 15                   | $2,67 \cdot 10^{-3}$  | $1,78 \cdot 10^{-4}$ |
| 39000   | 0,5            | 12        | 0,022                 | 0,2794 | 20                   | $8,05 \cdot 10^{-3}$  | $4,03 \cdot 10^{-4}$ |
| 38999   | 0,28           | 1,2       | 0,012                 | 0,2794 | 18                   | $7,84 \cdot 10^{-3}$  | $4,36 \cdot 10^{-4}$ |
| 36959   | 0,8            | 1,8       | 0,006                 | 0,3048 | 20                   | $1,37 \cdot 10^{-3}$  | $6,86 \cdot 10^{-5}$ |
| 38998   | 2,92           | 18        | 0,008                 | 0,2794 | 20                   | $5,01 \cdot 10^{-4}$  | $2,51 \cdot 10^{-5}$ |
| 36958   | 1,1            | 24        | 0,007                 | 0,3048 | 20                   | $1,16 \cdot 10^{-3}$  | $5,82 \cdot 10^{-5}$ |
| 38997   | 0,12           | 6         | 0,015                 | 0,2794 | 18                   | $2,29 \cdot 10^{-2}$  | $1,27 \cdot 10^{-3}$ |
| 36956   | 2,6            | 96        | 0,012                 | 0,2164 | 20                   | $8,45 \cdot 10^{-4}$  | $4,22 \cdot 10^{-5}$ |
| 36955   | 0,84           | 9         | 0,017                 | 0,2159 | 20                   | $3,70 \cdot 10^{-3}$  | $1,85 \cdot 10^{-4}$ |
| 30737   | 1              | 23,40     | 0,012                 | 0,1905 | 19                   | $2,20 \cdot 10^{-3}$  | $1,16 \cdot 10^{-4}$ |
| 30736   | 0,22           | 1,8       | 0,02                  | 0,1905 | 20                   | $1,66 \cdot 10^{-2}$  | $8,32 \cdot 10^{-4}$ |
| 28723   | 0,9            | 18        | 0,007                 | 0,2159 | 19                   | $1,42 \cdot 10^{-3}$  | $7,49 \cdot 10^{-5}$ |
| 25478   | 2              | 60        | 0,018                 | 0,254  | 20                   | $1,65 \cdot 10^{-3}$  | $8,24 \cdot 10^{-5}$ |
| 38582   | 0,7            | 24        | 0,015                 | 0,2794 | 20                   | $3,92 \cdot 10^{-3}$  | $1,96 \cdot 10^{-4}$ |
| 38581   | 0,16           | 0,012     | 0,015                 | 0,2794 | 20                   | $1,72 \cdot 10^{-2}$  | $8,58 \cdot 10^{-4}$ |
| 38580   | 0,42           | 17,40     | 0,015                 | 0,2794 | 20                   | $6,54 \cdot 10^{-3}$  | $3,27 \cdot 10^{-4}$ |
| 38579   | 0,6            | 0,6       | 0,01                  | 0,2794 | 20                   | $3,05 \cdot 10^{-3}$  | $1,53 \cdot 10^{-4}$ |
| 38578   | 0,8            | 42        | 0,02                  | 0,2794 | 20                   | $4,58 \cdot 10^{-3}$  | $2,29 \cdot 10^{-4}$ |
| 38577   | 0,4            | 0,06      | 0,012                 | 0,2159 | 20                   | $5,49 \cdot 10^{-3}$  | $2,75 \cdot 10^{-4}$ |
| 38576   | 0,52           | 7,2       | 0,015                 | 0,2159 | 20                   | $5,28 \cdot 10^{-3}$  | $2,64 \cdot 10^{-4}$ |
| 38575   | 0,3            | 30        | 0,015                 | 0,2159 | 20                   | $9,15 \cdot 10^{-3}$  | $4,58 \cdot 10^{-4}$ |
| 28656   | 0,72           | 42        | 0,02                  | 0,1905 | 18                   | $5,08 \cdot 10^{-3}$  | $2,82 \cdot 10^{-4}$ |
| 28655   | 0,4            | 60        | 0,015                 | 0,1905 | 18                   | $6,86 \cdot 10^{-3}$  | $3,81 \cdot 10^{-4}$ |
| 28652   | 2,5            | 60        | 0,025                 | 0,1905 | 22                   | $1,83 \cdot 10^{-3}$  | $8,32 \cdot 10^{-5}$ |

## 6. HİDROJEOKİMYA

### 6.1. Giriş

Yeraltısuyu, yaşam kaynağı olarak, doğal kaynaklar arasında insanlık için olmazsa olmazdır. Uzun zamandır tükenmez ve değiştirilemez gibi görünen su, şimdi tüm dikkatleri hak eden çok değerli bir kaynak olarak algılanmaktadır. Bir akiferin hidrolik özellikleri ne kadar iyi olursa olsun bu akiferde bulunan sular kalitesiz olduğunda önemsiz kalabilmektedir. Aslında yeraltısularının kökeni yağış sularıdır. Bu sular ilk oluştuğlarında H<sub>2</sub>O bileşiminde olup daha sonra atmosferle temas ettiği andan itibaren CO<sub>2</sub> ve diğer gazları çözerek bünyesine almaktadır. Yeryüzüne düşen yağış suları, akifere ulaşmadan önce toprak zeminde süzülürler ve böylece kimyasal özelliklerinin az veya çok değişmesine neden olurlar. Ayrıca yeraltısularında bulunan majör, minör ve iz inorganik bileşenlerin konsantrasyonları; suyun içinden geçtiği zemin veya kayada bu elementlerin varlığı, çözünürlük ve adsorpsiyon, jeokimyasal süreçlerin hızı, suyun akış yolundaki etkileştiği jeolojik birimlerde bulunan değişik mineraller gibi faktörlere bağlıdır.

Yeraltısularında egemen olarak bulunan Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve Cl<sup>-</sup> majör iyonlar miktarları yönünden incelendiğinde magmatik kayaçlarda, ultrabazik ve baziklerde  $rMg^{2+} > rCa^{2+} > rNa^{+} > rK^{+}$  şeklinde bulunurken asidik kayaçlarda  $rNa^{+} > rK^{+} > rCa^{2+} > rMg^{2+}$  şeklinde izlenmektedir. Magmatik kayaçlarda silis ve demir miktarları yüksek olmasına rağmen bu kayaçlardan gelen yeraltısularında çözelti halinde çok az miktarı bulunmaktadır. Asidik kayaçlarda genel olarak sertlikleri düşük olup Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> çok az bulunmaktadır. Granitik kayaçlarda potasyum konsantrasyonu sodyum konsantrasyonundan daha fazla olmasına rağmen bu kayaçların minerallerinin bozunumundan sonra ortaya çıkan potasyumun, killer ve bitkiler tarafından soğrulması nedeniyle yeraltı sularında Na<sup>+</sup> konsantrasyonu potasyumundan daha fazla olarak izlenmektedir. Bazaltlardan gelen yeraltısularında genel olarak sülfat ve klorür iyonları az miktarda bulunurken CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> iyonları diğer yüzey magmatik kayaçlardan daha yüksek miktarı izlenmektedir. Bu kayaçlardan gelen sularının Ca<sup>2+</sup>/Mg<sup>2+</sup> oranı genel olarak birden daha büyük olmaktadır. Bazaltik kayaçlarda demir fazla olmasına rağmen bu kayaçlardan gelen suların pH bazik olduğu için sularında demir iyonlarının az bulunmasını sağlamaktadır. Nötr kayaçlarda bulunan amfiboller ve plajiyoklazların bozunumundan gelen SiO<sub>2</sub>, Na, Ca ve Fe gibi elementler,

yeraltısularında fazla olarak bulunmaktadır. Bu kayaçlarda da  $r\text{Ca}^{2+}$  ve  $r\text{Mg}^{2+}$  iyonlarının siyenitten asidik granite doğru azalması izlenmektedir (Şahinci, 1991).

Arduvaz, şist ve gnayslar gibi metamorfik kayaçları genel olarak doğada sık rastlanmakta ve bu kayaçların geçirimsizliğinin düşük ve kristal boyutlarının küçük olması nedeniyle yeraltısuları ile bu kayaçları dokanak yüzeyi ve süresinin artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle metamorfik kayaçlardan gelen sulara genel olarak tüm iyonlar bol miktarda bulunmaktadır.

Metamorfik kayaçlardan (şist, arduvaz, gnays gibi) gelen yeraltısularında genel olarak  $r\text{Ca}^{2+}/r\text{Mg}^{2+}$ ,  $r(\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+})/r\text{Na}^+$  ve  $r\text{Na}^+/\text{K}^+$  oranları birden küçük bulunurken,  $r(\text{Cl}^-/\text{Na}^+)/r\text{Cl}^-$  oranı eksi olarak izlenmektedir (Şahinci, 1991).

Kireçtaşlarından ve dolomitlerden gelen sulara karbonat miktarı yüksek ve  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonları düşük olarak bulunurken jipsli ve tuzlu kayaçlardan gelen sulara  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{Na}^+$  iyonları fazla olarak izlenmektedir. Killerden gelen sulara bulunan  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{Cl}^-$  iyonları, jipsli arazilerden gelen sularındakinden hariç diğer kayalardan gelen sularındakinden daha fazla olarak izlenmektedir. Ayrıca killerden gelen sularının  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{Cl}^-$  miktarı yüksek olması nedeniyle sırasıyla  $\text{Ca}^{2+}$  ile  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{Na}^+$  iyonları artmaktadır. Killi arazilerden gelen suların karbonat konsantrasyonu ise diğer kayaçlardan gelenlerinkilerden farklı olmamaktadır. Killi arazilerde genel olarak önemli iyon değişimi gerçekleşmektedir. Bu arazilerde bulunan  $\text{Na}^+$  iyonları ile suların  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$  iyonları, iyon değişimi yaparak suların  $\text{Na}^+$  iyonları açısından zengin olmasına neden olmaktadır. Kalsiyumlu killerde ise bu iyon değişiminin ters yönde gerçekleştirilmesi izlenmektedir. Kum ve kumtaşlarından gelen sulara bulunan  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{Ca}^{2+}$  iyonları kireçtaşlarından gelen sularındakinden daha fazla olarak bulunmaktadır. Ayrıca saf silisli kum ve kumtaşlarında  $\text{CaCO}_3$  bulunmayışı nedeniyle, bu kayaçlardan gelen sulara  $\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{CO}_3^{2-}$  iyonlarının azlığına neden olmaktadır (Şahinci, 1991).

Bu bölüm, inceleme alanındaki yeraltısularının hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, izotop hidrojeolojisinin belirlenmesi, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması, suların kirlilik parametrelerinin incelenmesi, suların sulamaya ve içmeye uygunluğunun incelenmesinin belirlenmesi amacı ile hazırlanmıştır. Bu çalışmalar doğrultusunda inceleme alanında iki dönemde (2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarında) örneklenen yeraltısuyu ve deniz suyu örneklerinin fiziksel parametreleri, majör katyon ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), majör anyonlar, kirlilik parametreleri, iz elementleri, Oksijen-18, Döteryum ve Tritiyum analizleri kullanılmıştır. Ölçülmüş olan bütün fiziksel ve kimyasal parametreler

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik ve diğer standartlara göre değerlendirilmiştir (Tablo 12).

Tablo 12. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004), Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) ve TSS-266 İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2006) standartlarının değerleri

| Fiziksel ve Kimyasal parametreler | TS-266   | WHO       | KITA İÇİ SU KAYNAKLARININ SINIFLARINA GÖRE |          |           |                 |
|-----------------------------------|----------|-----------|--------------------------------------------|----------|-----------|-----------------|
|                                   |          |           | Sınıf I                                    | Sınıf II | Sınıf III | Sınıf IV        |
| pH                                | 6,5- 9,5 | 6,5 - 9,5 | 6,5-8,5                                    | 6,5-8,5  | 6,0-9,0   | 6,0-9,0 dışında |
| EC ( $\mu$ S/cm)                  | 2500     |           |                                            |          |           |                 |
| TDS (mg/l)                        |          | 1.000     | 500                                        | 1500     | 5000      | > 5000          |
| Sertlik (mg/l)                    |          | 50        |                                            |          |           |                 |
| Sodyum (mg/l)                     | 200      | 200       | 125                                        | 125      | 250       | > 250           |
| Klorür (mg/l)                     | 250      | 250       | 25                                         | 200      | 400       | > 400           |
| Sülfat (mg/l)                     | 250      | 250       | 200                                        | 200      | 400       | > 400           |
| Nitrat (mg/l)                     | 50       | 50        | 5                                          | 10       | 20        | > 20            |
| Nitrit (mg/l)                     | 0,5      |           | 0,002                                      | 0,01     | 0,05      | > 0,05          |
| Amonyum (mg/l)                    | 0,5      | 1,5       | 0,2                                        | 1        | 2         | >2              |
| <b>İz elementler</b>              |          |           |                                            |          |           |                 |
| Nikel ( $\mu$ g/l)                | 20       | 20        | 20                                         | 50       | 200       | > 200           |
| Bor (mg/l)                        | 1000     |           | 1000                                       | 1000     | 1000      | > 1000          |
| Kurşun ( $\mu$ g/l)               | 10       |           | 10                                         | 20       | 50        | > 50            |
| Molibden ( $\mu$ g/l)             |          | 70        |                                            |          |           |                 |
| Selenyum ( $\mu$ g/l)             | 10       | 10        | 10                                         | 10       | 20        | > 20            |
| Mangan ( $\mu$ g/l)               | 50       | 100       | 100                                        | 500      | 3000      | > 3000          |
| Arsenik ( $\mu$ g/l)              | 10       | 10        | 20                                         | 50       | 100       | > 100           |
| Alüminyum ( $\mu$ g/l)            | 200      | 200       |                                            |          |           |                 |
| Krom ( $\mu$ g/l)                 | 50       |           | 20                                         | 50       | 200       | > 200           |
| Kadmiyum ( $\mu$ g/l)             | 5        | 3         | 3                                          | 5        | 10        | > 10            |
| Kobalt ( $\mu$ g/l)               |          |           | 10                                         | 20       | 200       | > 200           |
| Baryum ( $\mu$ g/l)               |          | 700       | 1000                                       | 2000     | 2000      | > 2000          |
| Bakır (mg/l)                      | 2        | 2         | 20                                         | 50       | 200       | > 200           |
| Çinko ( $\mu$ g/l)                |          | 3000      | 200                                        | 500      | 2000      | > 2000          |

## 6.2. Yeraltısularının Fiziksel Parametreleri

Bu çalışma kapsamında inceleme alanında örnekleme çalışmaları iki dönemde (2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarında) gerçekleştirilmiştir ve birinci dönem için inceleme

alanında 36 noktada, ikinci dönem için 33 noktada yeraltısuyu ve deniz suyu örneklenmesi yapılmıştır. Bunlardan birinci döneme ait örneklerin 33 adedi kuyulardan ve 3 adedi Karadeniz'den, ikinci döneme ait ise 30 adedi kuyulardan ve 3 adedi Karadeniz'den alınmıştır. Bu örneklenmiş numuneler için Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH), Elektriksel İletkenlik (EC) ve Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS) parametreleri DSİ 7. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünde belirlenmiştir. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının fiziksel parametreleri Tablo 13'te verilmiştir.

Tablo 13. İncelenen suların 2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarına ait fiziksel analiz sonuçları

| Kuyu No | Temmuz 2019 |            |            |         | Aralık 2019 |            |            |         |
|---------|-------------|------------|------------|---------|-------------|------------|------------|---------|
|         | pH          | EC (µS/cm) | TDS (mg/l) | TH (°F) | pH          | EC (µS/cm) | TDS (mg/l) | TH (°F) |
| 1       | 7,54        | 834        | 567,12     | 22,9    | 7,44        | 840        | 571,2      | 34,05   |
| 2       | 7,67        | 1109       | 754,12     | 41,15   | 6,97        | 1251       | 850,68     | 63,05   |
| 3       | 7,91        | 745        | 506,6      | 30,75   | 7,33        | 769        | 522,9      | 37,6    |
| 4       | 7,65        | 1010       | 686,8      | 32,15   | 6,99        | 1033       | 702,44     | 44,15   |
| 5       | 7,47        | 1342       | 912,56     | 43,45   | 7,16        | 1418       | 964,24     | 54,8    |
| 6       | 7,17        | 1027       | 698,36     | 35,65   | 6,92        | 1067       | 725,56     | 51      |
| 7       | 7,13        | 1399       | 951,32     | 48,4    | 6,96        | 1383       | 940,44     | 58,15   |
| 8       | 7,16        | 1272       | 864,96     | 47,2    | 7,13        | 1244       | 845,92     | 56,3    |
| 9       | 6,93        | 872        | 592,96     | 49,35   | 6,64        | 868        | 590,24     | 46,75   |
| 10      | 6,96        | 1183       | 804,44     | 70,35   | 6,55        | 1436       | 976,8      | 81,7    |
| 11      | 6,78        | 1222       | 830,96     | 43,6    | 6,72        | 1186       | 806,48     | 60,2    |
| 12      | 6,87        | 811        | 551,48     | 37,5    | 6,98        | 718        | 488,24     | 40,55   |
| 13      | 7,22        | 3940       | 2679,2     | 85,55   |             |            |            |         |
| 14      | 7,23        | 1737       | 1181,16    | 48      | 7,13        | 984        | 669,12     | 45,5    |
| 15      | 7,37        | 718        | 488,24     | 27,6    | 7,31        | 716        | 486,88     | 36,1    |
| 16      | 7,22        | 1418       | 964,24     | 31,85   | 6,89        | 1568       | 1066,24    | 70,1    |
| 17      | 6,73        | 1290       | 877,2      | 51,7    | 6,74        | 1265       | 860,2      | 68,3    |
| 18      | 6,72        | 1296       | 881,28     | 54,9    | 6,65        | 1311       | 891,48     | 71,9    |
| 19      | 7,39        | 1195       | 812,6      | 35,75   | 7,42        | 899        | 611,32     | 34,35   |
| 20      | 7,25        | 903        | 614,04     | 49,45   | 7,29        | 1021       | 694,28     | 41,4    |
| 21      | 7,35        | 854        | 580,72     | 45,9    | 7,4         | 781        | 531,08     | 39,45   |
| 22      | 7,27        | 1900       | 1292       | 48,35   | 7,31        | 2007       | 1364,76    | 53,2    |
| 23      | 7,99        | 1120       | 761,6      | 21      | 7,93        | 1128       | 764,04     | 10,15   |
| 24      | 6,5         | 1344       | 913,92     | 54,05   |             |            |            |         |
| 25      | 6,5         | 1344       | 913,92     | 67,3    | 6,64        | 1615       | 1098,2     | 62,05   |
| 26      | 7,04        | 1696       | 1153,28    | 50,1    | 7,47        | 878        | 597,04     | 33,05   |
| 27      | 6,86        | 1078       | 733,04     | 42,65   |             |            |            |         |
| 28      | 7,25        | 2074       | 1410,32    | 40,7    | 7,1         | 1947       | 1323,96    | 48,4    |
| 29      | 7,56        | 587        | 399,16     | 27,1    | 7,52        | 584        | 397,12     | 27,95   |
| 30      | 7,52        | 876        | 595,68     | 29,2    | 7,38        | 1045       | 710,6      | 44,35   |
| 31      | 7,67        | 710        | 482,8      | 47,4    | 7,49        | 844        | 573,92     | 62,55   |
| 32      | 7,22        | 1150       | 782        | 51,8    | 6,92        | 1266       | 860,88     | 53,15   |
| 33      | 7,09        | 1307       | 888,76     | 46,75   | 6,92        | 1266       | 860,88     | 53,15   |

### 6.2.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin ölçüsüdür ve suyun asitlik veya bazlık durumunu gösteren bir parametredir. Bu parametre, hidrojen iyonu üreten veya oluşturan ve birbirleri ile ilişkili kimyasal reaksiyonlar tarafından kontrol edilmektedir. Genel olarak yeraltısularının pH'ı 4.0-9 arasında değişmektedir. Ancak termal sularda düşük pH değerleri de görülebilmektedir. pH değeri 8.5'ten fazlasına sahip olan yeraltısularında sodyum, karbonat ve bikarbonat sık izlenirken 4'ten küçük pH değerlerine sahip olan sularda serbest asit izlenmektedir (Şahinci, 1991). Yeraltısularının pH değerine göre sınıflandırılması Tablo 14'te verilmiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarında pH değerleri 6,5-9,5 arasında olarak belirlemiştir. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması Tablo'14'te verilmiştir.

İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin pH değerleri 2019-Temmuz ayında 6,5 ile 8 arasında; 2019-Aralık ayında ise 6,55 ile 7,93 arasında değişmektedir. Tablo 14'te verilen genel sınıflandırmaya göre Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının 72,27% 'si ve 27,73%'ü sırasıyla "Bazik karakterli" ve "Asidik karakterli" sınıflarında; Aralık ayında ise 53,33%'ü ve 46,67'si sırasıyla "Bazik karakterli" ve "Asidik karakterli" olduğu görülmektedir. İnceleme alanının kıyı kesimlerine, kuzeyine ve kuzeybatısına doğru giderken pH değerlerinin arttığı görülürken güneyinde ve güneydoğusunda azaldığı görülmektedir. Temmuz ve Aralık aylarında ölçülen en yüksek pH değerleri inceleme alanının güneybatısındaki 23 nolu kuyuda izlenmektedir. Temmuz ayında ölçülen en düşük pH değeri 25 nolu kuyuda izlenirken Aralık ayında düşük pH değeri 10 nolu kuyuda görülmektedir.

Temmuz ve Aralık ayında ölçülen bölgenin yüksek pH değerleri, çoğunlukla kıyı kesimlerine doğru batı ve kuzey kesiminde görülmektedir.

Bu yüksek pH değerleri, kıyı kesimlere doğru sıcaklık değerlerinin yükselmesi ve yeraltısuyu seviyelerinin düşük olması nedeniyle izlenmektedir. Temmuz ayında ölçülen düşük pH değerleri çoğunlukla bölgenin güneydoğusunda ve güneyinde görülmektedir. Bu bölge akiferin beslenme alanına yakın olmasına bağlı olarak suların hidrojen iyon konsantrasyonlarının artması nedeniyle düşük pH değerleri izlenmektedir. Aralık ayında izlenen asidik karakterli numunelerin oranı, Temmuz ayında görülen olanlardan daha fazla olduğu görülmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde (Tablo 14) Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen tüm yeraltısuyu örneklerinin pH değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanındaki yeraltısularının pH değerlerine göre I. ve II. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır.

Tablo 14. Suların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

| <b>pH değerleri</b> | <b>Su sınıfı</b>  |
|---------------------|-------------------|
| > 8,5               | Bazik             |
| 7 - 8,5             | Bazik karakterli  |
| 7                   | Nötr              |
| 4,5 - 7             | Asidik karakterli |
| < 4,5               | Asidik            |

### 6.2.2. Elektriksel İletkenlik (EC)

Bu parametre, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal olarak ifadesidir ve suyun sıcaklığına, su içinde çözülmüş olarak bulunan iyonların cinsine ve konsantrasyonuna bağlıdır. Genel olarak su analizlerinde EC değerleri mikrosimens cinsinden ifade edilmektedir. Suyun elektrik iletkenlik değeri ile suda çözülmüş toplam iyon miktarı arasında doğrusal bir ilişki izlenmektedir. Suyun sıcaklık değeri artıkça elektriksel iletkenlik değeri de artış göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarında EC için herhangi bir sınır belirtilmezken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TSE-266, 2005) standardı EC üst sınır değerini 2500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  olarak belirlemiştir. Yeraltısularının EC değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 15'te verilmiştir.

İnceleme alanında su noktalarından alınan örneklerin EC değerleri Temmuz ayında 587 ile 3940  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında; Aralık ayında ise 584 ile 2007  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Temmuz ayında en yüksek EC değeri inceleme alanının orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda, Aralık ayında ise bu değer alanın batısında bulunan 22 nolu kuyuda izlenmektedir. Temmuz ve Aralık aylarında ölçülen en düşük EC değerleri inceleme alanının güney doğusunda bulunan 29 nolu kuyuda görülmektedir (Şekil 18).



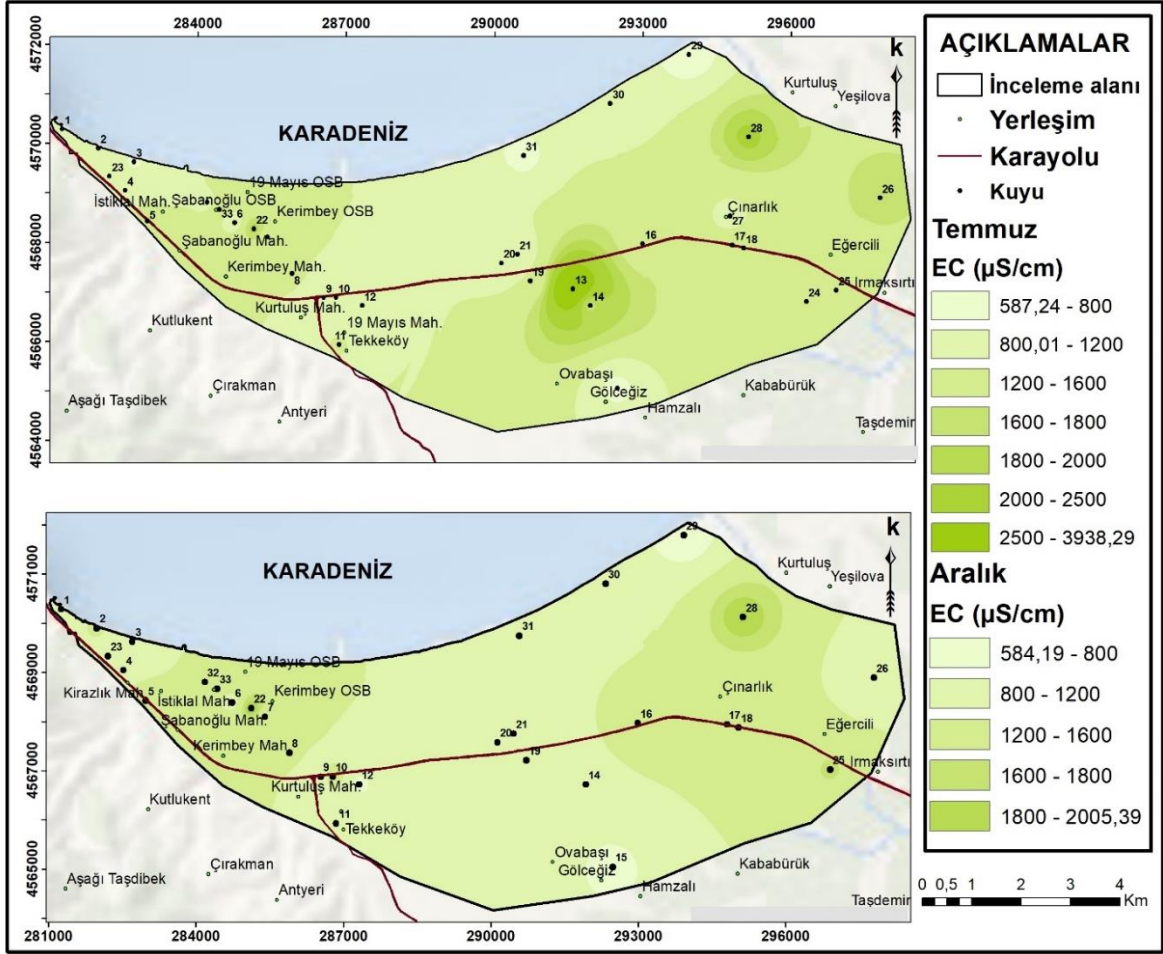
Temmuz ve Aralık aylarında izlenen yüksek EC değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki sondajlarda izlenmektedir. Bu kuyulardan yeraltısuyunun aşırı çekiminin yapılması nedeniyle denizi suyu girişimi olduğu düşünölmektedir.

Tablo 15'te verilen sınıflandırmaya göre Temmuz ayında örneklerin %81,82'si, %12,12'si ve %3,03'ü sırasıyla kullanılabilir, "iyi" ve "şüpheli" sınıflarında; Aralık ayında ise %86,67'si, %10'u ve %3,33'ü sırasıyla kullanılabilir, "iyi" ve "şüpheli" sınıflarında olduğu görölmektedir. Sadece 13 nolu kuyundan Temmuz ayında alınan su örneğinin "kullanılmaz" su sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Bu kuyudan gelen yeraltısuyu sulamaya ve içmeye uygun olmamaktadır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı'na (TS-266, 2005) göre değerlendirildiğinde yaklaşık tüm yeraltısuyu örneklerinin EC değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görölmektedir. Ancak Temmuz ayında 13 nolu kuyuda görölen EC değeri sınır değeri aştığından dolayı standarda uygun değildir.

Tablo 15. Suların EC değerlerine göre sınıflandırılması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973)

| EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Sınıf          |
|--------------------------------|----------------|
| < 250                          | Çok iyi        |
| 250 - 750                      | İyi            |
| 750 - 2000                     | Kullanılabilir |
| 2000 - 3000                    | Şüpheli        |
| > 3000                         | Kullanılmaz    |



Şekil 18. İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait EC değerlerinin dağılım haritası

### 6.2.3. Toplam Çözünmüş Katı Madde (TDS)

Toplam Çözünmüş Katılar (TDS), filtreden geçirilen suyun buharlaştırılması sonucu kalan kalıntı madde miktarının mg/l cinsinden ölçüsüdür. Bu parametre, sudaki anyon ve katyon konsantrasyonların toplamıdır. Yüksek Toplam Çözünmüş Katı değeri, insan vücudunda ishal gibi birçok hastalığa neden olabilirken, düşük değerleri de suda agresif ve korozif özelliklere neden olabilmektedir.

Çalışma alanından alınan yeraltısu örneklerinin TDS değerleri 2019-Temmuz ayında 399,16 ile 2679,2 mg/l arasında; 2019-Aralık ayında ise 397,12 ile 1364,76 mg/l arasında değişmektedir.

Temmuz ayında ölçülen en yüksek EC değerine sahip 13 nolu kuyuda TDS değeri de 2679,2 mg/l ile en yüksek değerdedir. Aralık ayında ise en yüksek TDS değeri 22 nolu

kuyuda izlenmiş ve aynı kuyuda da yine en yüksek EC değeri ölçülmüştür. Temmuz ve Aralık aylarında en düşük TDS değerine sahip olan 29 nolu kuyuda en düşük EC değeri de ölçülmüştür. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı TDS için herhangi bir sınır belirlemezken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) TDS üst sınır değerini 1000 mg/l olarak belirlemiştir.

Yeraltısularının TDS değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 16’da verilmiştir. Bu sınıflamaya göre Temmuz ayında inceleme alanında yeraltısularının %84,85’i ve %15,15’i sırasıyla tatlı su ve az tuzlu su; Aralık ayında ise %86,67’si ve %13,33’ü sırasıyla “tatlı su” ve “az tuzlu su” sınıflarında olduğu görülmektedir.

Tablo 16. TDS değerlerine göre yeraltı sularının sınıflandırılması (Freeze ve Cherry, 1979).

| TDS (mg/l)    | Sınıf        |
|---------------|--------------|
| < 1000        | Tatlı su     |
| 1000 - 3000   | Az tuzlu su  |
| 3000 - 10000  | Tuzlu su     |
| 10000 - 35000 | Çok tuzlu su |
| > 35000       | Deniz su     |

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde, Temmuz ve Aralık aylarında incelenen yaklaşık bütün yeraltısuyu örneklerinin TDS değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu kuyularda ölçülen TDS değerleri Dünya Sağlık Örgütü’nün sınır değerini aştığından dolayı standarda uygun değildir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)’ne göre Temmuz ayında örneklerin %9,09’ü, %87,88’i ve %3,03’ü sırasıyla I., II. ve III. Sınıf su; Aralık ayında ise %10’u ve %90’ı sırasıyla I. ve II. sınıf su kapsamında yer almaktadır (Tablo 18).

#### 6.2.4. Suların Sertliği

Sertlik, suların içinde çözünmüş halde bulunan iyonlara bağlı olan bir özelliktir. Bu özellik suda çözünmüş halde bulunan başta magnezyum, kalsiyum, bikarbonat iyonları olmak üzere, Ca-Mg nitrat, Ca-Mg sülfat ve +2 veya daha yüksek değeriğe sahip katyonlarından ileri gelmektedir. Suyun sertliği geçici ve kalıcı sertlik olmak üzere ikiye

ayrılmaktadır. Geçici sertlik, Ca ve Mg bikarbonatlardan ileri gelirken kalıcı sertlik Mg ve Ca'un karbonatlardan başka tuzlardan ileri gelmektedir. Bu iki tür sertliğin toplamı ise suyun toplam sertliğini vermektedir. Suların toplam sertliğini hesaplamak için aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\text{Toplam Sertlik (CaCO}_3\text{'a eşdeğerli)} = 2,495\text{Ca}^{2+} + 4,115\text{Mg}^{2+} + 1,792\text{Fe} + 1,822\text{Mn} \quad (10)$$

Suların sertliğini belirlemek için değişik yöntemler kullanılabilir. Bir Alman sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg Ca miktarı, bir Fransız sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg CaCO<sub>3</sub> miktarı, bir İngiliz sertliği ise 70 ml suda bulunan 1 mg CaCO<sub>3</sub> miktarıyla tanımlanmaktadır. Türkiye'de genel olarak suların sertliği tanımlanmak için Fransız sertlik derecesi kullanılmaktadır. Suyun sertliğini Fransız sertliği cinsinden basit bir şekilde hesaplamak için suyun Ca ve Mg değerlerini meq/l cinsinden değerinin toplamı 5 ile çarpmak gerekmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) sertlik derecesi için herhangi bir sınır belirlemezken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sertlik üst sınır değerini 50 olarak belirlemiştir. Suların sertlik değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 17'de verilmiştir.

Temmuz ayında inceleme alanından alınan suların sertliği 21 ile 85,55 F<sup>0</sup> arasında değişmekte olup örneklerin %60,61'i, %15,15'i, %21,21'i ve %3,03'ü sırasıyla sert, çok sert, oldukça sert ve az sert sınıflarında yer almaktadır. En yüksek sertlik değeri 13 nolu kuyuda görülmekte, aynı kuyuda da en yüksek TDS ve EC değerleri ölçülmüştür. Aralık ayında ise yeraltısularının sertlik değerleri 10,15 ile 81,70 F<sup>0</sup> arasında değişmekte, örneklerin %36,67'si, %56,67'si ve %3,33'ü sırasıyla "çok sert", "sert" ve "oldukça sert" sınıflarında yer almaktadır.

Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ve Aralık aylarında incelenen suların sırasıyla %72,73'ü ve %56,67'si uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 18).

Tablo 17. Suların sertlik değerlerine göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991)

| Suyun sınıfı | Sertlik derecesi (F <sup>0</sup> ) |
|--------------|------------------------------------|
| Çok yumuşak  | 0-7,2                              |
| Yumuşak      | 7,2-14,5                           |
| Az sert      | 14,5-21,5                          |

Tablo 17'nin devamı

| Suyun sınıfı | Sertlik derecesi (F°) |
|--------------|-----------------------|
| Oldukça sert | 21,5-32,5             |
| Sert         | 32,5-54               |
| Çok ser      | > 54                  |

Tablo 18. KİSKKY, DSÖ ve TSS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 (örnek sayısı: 33) |        |       |      |       |                                            |      |          |       |           |      |          |      |
|--------------------------------|--------|-------|------|-------|--------------------------------------------|------|----------|-------|-----------|------|----------|------|
| Fiziksel parametreleri         | TS-266 |       | WHO  |       | KITA İÇİ SU KAYNAKLARININ SINIFLARINA GÖRE |      |          |       |           |      |          |      |
|                                | Sayı   | Oran  | Sayı | Oran  | Sınıf I                                    |      | Sınıf II |       | Sınıf III |      | Sınıf IV |      |
|                                |        |       |      |       | Sayı                                       | Oran | Sayı     | Oran  | Sayı      | Oran | Sayı     | Oran |
| pH                             | 33     | 100   |      |       | 33                                         | 100  | 33       | 100   | 0         |      | 0        | 0    |
| EC (µS/cm)                     | 32     | 96,97 |      |       |                                            |      |          |       |           |      |          |      |
| TDS (mg/l)                     |        |       | 28   | 84,85 | 3                                          | 9,09 | 29       | 87,88 | 1         | 3,03 | 0        | 0    |
| Sertlik derecesi (F°)          |        |       | 24   | 72,73 |                                            |      |          |       |           |      |          |      |
| Aralık 2019 (örnek sayısı: 30) |        |       |      |       |                                            |      |          |       |           |      |          |      |
| pH                             | 30     | 100   | 30   | 100   | 30                                         | 100  | 30       | 100   | 0         | 0    | 0        | 0    |
| EC (µS/cm)                     | 30     | 100   |      |       |                                            |      |          |       |           |      |          |      |
| TDS (mg/l)                     |        |       | 26   | 86,67 | 3                                          | 10   | 27       | 90    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Sertlik derecesi (F°)          |        |       | 17   | 56,67 |                                            |      |          |       |           |      |          |      |

Tablo 19. Fiziksel parametrelere göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların sınıflandırılması

| Fiziksel Parametreleri | Sınıfı            | Temmuz 2019  |           | Aralık 2019  |           |
|------------------------|-------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
|                        |                   | Örnek sayısı | Oranı (%) | Örnek sayısı | Oranı (%) |
| pH                     |                   |              |           |              |           |
| > 8,5                  | Bazik             | 0            | 0         | 0            | 0         |
| 7 - 8,5                | Bazik karakterli  | 24           | 72,72     | 16           | 53,33     |
| 7                      | Nötr              | 0            | 0         | 0            | 0         |
| 4,5 - 7                | Asidik karakterli | 9            | 27,28     | 14           | 46,67     |
| < 4,5                  | Asidik            | 0            | 0         | 0            | 0         |
| EC (µS/cm)             |                   |              |           |              |           |
| < 250                  | Çok iyi           | 0            | 0         | 0            | 0         |
| 250 - 750              | İyi               | 4            | 12,12     | 3            | 10        |
| 750 - 2000             | Kullanılabilir    | 27           | 81,82     | 26           | 86,67     |
| 2000 - 3000            | Şüpheli           | 1            | 3,03      | 1            | 3,33      |
| > 3000                 | Kullanılamaz      | 1            | 3,03      | 0            | 0         |

Tablo 19'un devamı

| Fiziksel Parametreleri       | Sınıfı       | Temmuz 2019  |          | Aralık 2019  |          |
|------------------------------|--------------|--------------|----------|--------------|----------|
|                              |              | Örnek sayısı | Oran (%) | Örnek sayısı | Oran (%) |
| <b>pH</b>                    |              |              |          |              |          |
| <b>TDS (mg/l)</b>            |              |              |          |              |          |
| < 1000                       | Tatlı su     | 28           | 84,85    | 26           | 86,67    |
| 1000 - 3000                  | Az tuzlu su  | 5            | 15,15    | 4            | 13,33    |
| 3000 - 10000                 | Tuzlu su     | 0            | 0        | 0            | 0        |
| 10000 - 35000                | Çok tuzlu su | 0            | 0        | 0            | 0        |
| > 35000                      | Deniz su     | 0            | 0        | 0            | 0        |
| <b>Sertlik derecesi (F°)</b> |              |              |          |              |          |
| 0-7,2                        | Çok yumuşak  | 0            | 0        | 0            | 0        |
| 7,2-14,5                     | Yumuşak      | 0            | 0        | 1            | 3,33     |
| 14,5-21,5                    | Az sert      | 1            | 3,03     | 0            | 0        |
| 21,5-32,5                    | Oldukça sert | 7            | 21,21    | 1            | 3,33     |
| 32,5-54                      | Sert         | 20           | 60,61    | 17           | 56,67    |
| > 54                         | Çok sert     | 5            | 15,15    | 11           | 36,67    |

### 6.3. Yeraltı Sularının Kimyasal Özellikleri

#### 6.3.1. Majör Katyonlar

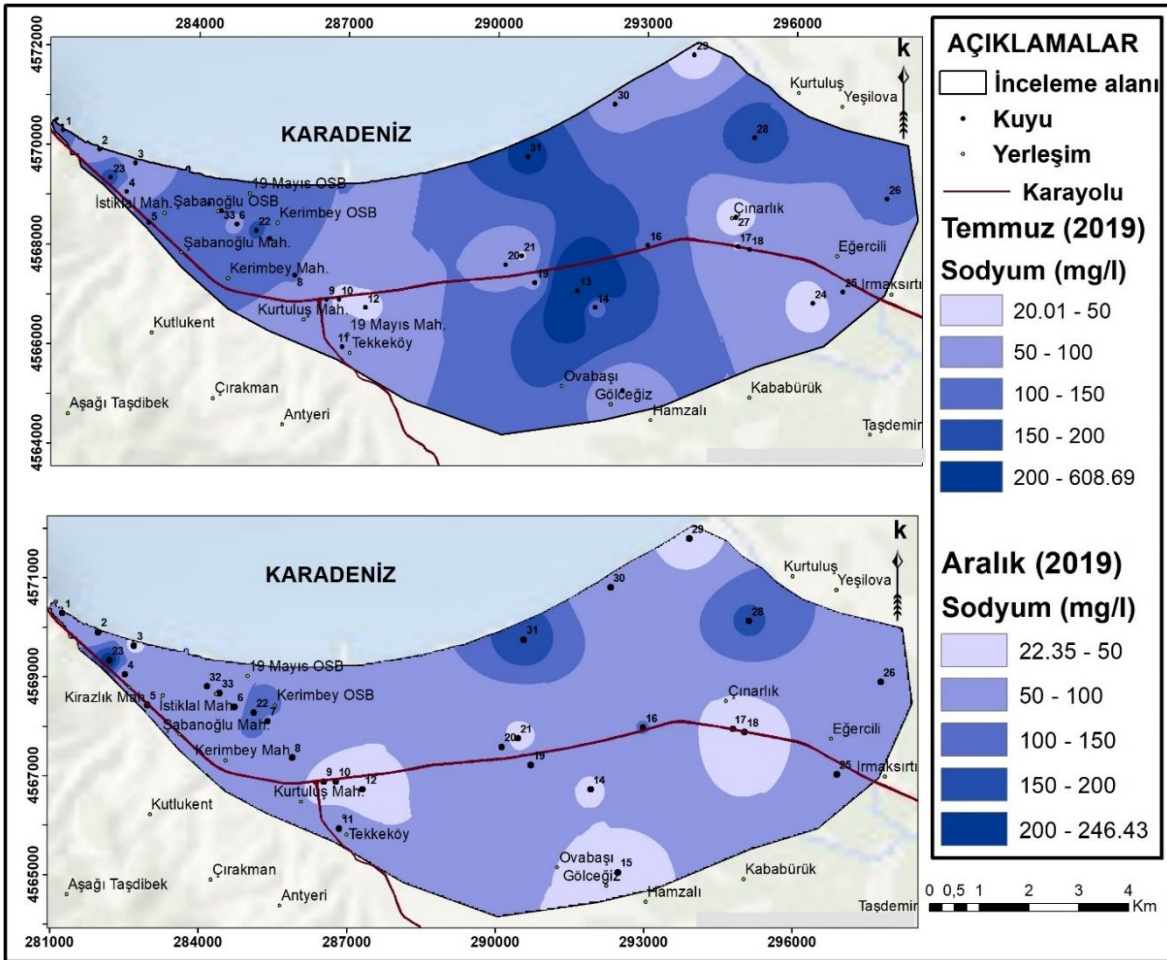
##### 6.3.1.1. Sodyum

Sodyum, yer kabuğunda alkali metaller arasında en fazla bulunan elementtir. Bu element tatlı sularda yedinci sırada yer alırken deniz suyunda klordan sonra dördüncü sırada yer almaktadır. Doğada genel olarak evaporitlerin ve Na<sup>+</sup> içeren kil minerallerin, feldspatların, feldspatoidlerin ve magmatik kayaların yağış suları tarafından kimyasal olarak bozulmaları nedeniyle Na<sup>+</sup> yüzey ve yeraltı sularına karışmaktadır.

Yeraltı sularında bulunan kalsiyum iyonları bazı durumlarda sodyum içeren kayalarla temas ettiğinde sodyum ile kalsiyum iyonları yer değiştirerek yeraltı suları da sodyum açısından zenginleşmektedir. Ayrıca Na<sup>+</sup> içeren kayaların ve minerallerin dışında buzlu yollara atılan tuzlar, lağım ve fabrika atık suları, tarımsal gübreler, suları dezenfekte etmek, sertliğini düşürmek, çürütmeyi ve bazı çökelmeleri önlemek veya çökelmeleri sağlamak için kullanılan NaF, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>, NaOH, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaHClO<sub>3</sub> gibi sodyumlu kimyasal maddeler yapay olarak yeraltı sularını sodyum açısından zenginleştirmektedir. Kıyı

bölgelerinde de yeraltısularına deniz suyu girişimleri nedeniyle yeraltısularında yüksek sodyum konsantrasyonu gözlenmektedir (Şahinci, 1991).

İncelenen suların  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonu, Temmuz (2019) ayında 20,01 ile 609,04 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 22,31 ile 246,79 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22). Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonunun dağılım haritaları şekil 19’da verilmiştir. Bu dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ayında inceleme alanının orta kesimlere doğru ve güneydoğusunda yüksek değerler görülürken Aralık ayında bu kısımlarda  $\text{Na}^+$  değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 19).



Şekil 19. İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Temmuz ayında en yüksek  $\text{Na}^+$  değeri inceleme alanındaki orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük değeri ise inceleme alanının güneybatısında bulunan

24 nolu kuyuda izlenmektedir. Aralık ayında en yüksek Na<sup>+</sup> değeri 23 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük Na<sup>+</sup> değeri 12 nolu kuyuda görülüp aynı kuyuda da Temmuz ayında düşük değer izlenmektedir. Temmuz ayında inceleme alanındaki yüksek Na<sup>+</sup> değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda gözlenmektedir. Bu kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişimi olduğuna işaret etmektedir. Ayrıca yüksek Na<sup>+</sup> değerleri endüstriyel faaliyetlerinden ve tarımsal alanlarında kullanılan gübrelere de kaynaklanabilmektedir. Yüksek sodyum konsantrasyonu toprağın fiziksel yapısını bozarak bitkilerinin büyümesini yavaşlatmaktadır (Sema vd., 2010). Ayrıca fazla sodyum insanlarda hipertansiyon ve ödem hastalıkları gibi hastalıklar meydana getirebilmektedir (Simgel vd., 2008). İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) Na<sup>+</sup> üst sınır değerini 200 mg/l olarak belirlemiştir.

İnceleme alanında denize yakın bulunan kuyuların Na<sup>+</sup> iyonlarınca zenginleşmesi beklenen bir durum olmasına rağmen bu kuyular bahçe kuyuları olduğu için, derinliği düşük olması nedeniyle ve bu kuyulardan az miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle, Na<sup>+</sup> değerlerinin düşük olduğu görülmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayındaki 13 ve 31 nolu su örnekleri hariç ve Aralık ayındaki 23 nolu su örnekleri hariç bütün su örneklerinin Na<sup>+</sup> değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 20).

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının %78,79'u I. ve II. sınıf, %18,18'u III. sınıf ve %3,03'ü IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 20). Aralık ayında ise örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıf ve %13,33'ü III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 20).

### **6.3.1.2. Potasyum**

Potasyum, yer kabuğunda sodyumla eşit miktarda bulunan bir elementtir. Bu element magmatik kayalarda sodyumdan daha az bulunurken tortul kayalarda yaygın olarak gözlenmektedir. Silikat ve alüminosilikat minerallerinden potasyumun suya geçmesi kolay olmamaktadır. Potasyum iyonları yerinde, ayrışma ürünleri, özellikle bazı kil mineralleri ve



bitkiler tarafından kuvvetli bir şekilde soğrulmaktadır. Bu nedenle karalarda tutulan potasyum miktarı okyanuslara taşınan miktardan fazla olmaktadır (Şahinci, 1991).

Temmuz ayında alınan yeraltısuyu örneklerinin potasyum değerleri 1,56 ile 25,35 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 1,95 ile 23,40 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22).

Temmuz ayında en yüksek  $K^+$  değeri 13 nolu kuyuda; Aralık ayında ise 3 nolu kuyuda gözlenmektedir. Bazı kuyularda gözlenen yüksek potasyum değerleri alüvyonlarda bulunan potasyumlu kil minerallerinden kaynaklanabilmektedir. Potasyum hayvanlar ve bitkiler için önemli bir besin kaynağı olup içme sularındaki konsantrasyonun yüksek veya düşük olmasının insanlarda herhangi bir olumsuz etkisi gözlenmemiştir (Aldemir, 2016). Temmuz ayında en düşük  $K^+$  değeri ise 12 nolu kuyuda gözlenip aynı kuyuda Aralık ayında da en düşük değer görülmektedir.

Potasyum için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standardında herhangi bir sınır değeri belirtilmemektedir.

### 6.3.1.3. Kalsiyum

Bu element ağırlık yüzdesine göre, yer kabuğunda beşinci, deniz suyunda yedinci ve tatlı sularda üçüncü sırada yer almaktadır. Doğada kalsiyumun 385 serbest minerali bulunmaktadır. Bu minerallerinden en çok rastlanılan  $CaCO_3$ ,  $CaCO_3.MgCO_3$  ve  $CaSO_4.2H_2O$  mineralleridir. Sularda kalsiyumun çözünürlüğü çözünmüş  $CO_2$  miktarına bağlı olup  $CO_2$  miktarı arttıkça kalsiyumun çözünürlüğü yükselmektedir.

Yeraltısularında bulunan  $Ca^{+2}$  aragonit, dolomit, anhidrit, kalsit ve jips minerallerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca yeraltısularındaki kalsiyum, magmatik ve metamorfik kayaçların minerallerinden de kaynaklanabilmektedir. Büyük çapları nedeniyle, kalsiyum iyonları kil minerallerinin ağ yapısında ve oksijenin alüminyum ve magnezyum ile yaptığı tetraedr ve oktaedr yapılarında yer almamaktadır. Bu sebeple kalsiyum genellikle yeraltısuyunda  $Ca^{2+}$  iyonları olarak bulunur, ancak yüksek konsantrasyonlarda kalsiyum bikarbonat veya sülfat içeren çözeltilerde,  $CaHCO_3$ ,  $CaSO_4$  karmaşık iyon ve molekülleri bulunabilmektedir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanındaki suların kalsiyum miktarları Temmuz ayında 52,91 ile 186,77 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 21,84 ile 238,68 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22). Temmuz ayında gözlenen en yüksek  $Ca^{2+}$  değeri inceleme alanının güneybatısındaki 10

nolu kuyuda görülüp aynı kuyuda da Aralık ayında en yüksek değer gözlenmektedir. Gözlenen yüksek  $Ca^{2+}$  değerlerinin kaynağını alüvyonlarda bulunan karbonatlı ve sülfatlı  $Ca^{2+}$  teşkil edebilmektedir. Kalsiyumun en düşük değerleri ise Temmuz ve Aralık ayında 23 nolu kuyuda gözlenmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları kalsiyum için herhangi sınır değer belirtmemektedir.

#### 6.3.1.4. Magnezyum

Magnezyum, yer kabuğunda ve tatlı sularında sekizinci, deniz suyunda beşinci sırada yer almaktadır. Doğada bu elementin 196 serbest mineralleri bulunup en çok silikat minerallerinde, fosfat ve arsenatlarda, sülfatlarda, boratlarda, karbonatlarda, oksit ve birleşiklerde  $MgO_4^{6-}$ , halojenlerde ve niobat ile titanatlarda gözlenmektedir (Ali Şahinci, 1991). Yer kabuğunda bulunan magnezyum konsantrasyonunun genellikle kalsiyum konsantrasyonundan daha az bulunması nedeniyle, yeraltısularında magnezyum miktarı kalsiyumdan az gözlenmektedir. Kalsiyum konsantrasyonu yeraltısuyu ve yüzey suyunda, genellikle Mg'den birkaç kat daha yüksek olabilmektedir (Kozisek, 2003).

Yeraltısularında bulunan  $Mg^{2+}$  iyonları, dolomit, evaporit minerallerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca magmatik kayalarda bulunan olivin, biyotit, hornblend ve tremolit gibi minerallerden ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk ve diopsid minerallerden de kaynaklanabilmektedir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanındaki suların  $Mg^{2+}$  miktarları Temmuz ayında 16,65 ile 114,21 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 11,42 ile 81,41 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22). En yüksek  $Mg^{2+}$  değeri temmuz ve aralık aylarında inceleme alanının orta kısmında bulunan sırasıyla 13 ve 16 nolu kuyularda gözlenip aynı kuyularda da yüksek  $Ca^{2+}$  değerleri görülmektedir. İnceleme alanındaki suların  $Mg^{2+}$  konsantrasyonu  $Ca^{2+}$  gibi karbonatlı kayalardan kaynaklanabilmektedir. En düşük  $Mg^{2+}$  değeri ise Temmuz ve Aralık ayında sırasıyla 29 ve 23 nolu kuyularda gözlenip bu kuyularda da düşük  $Ca^{2+}$  değeri ölçülmüştür.

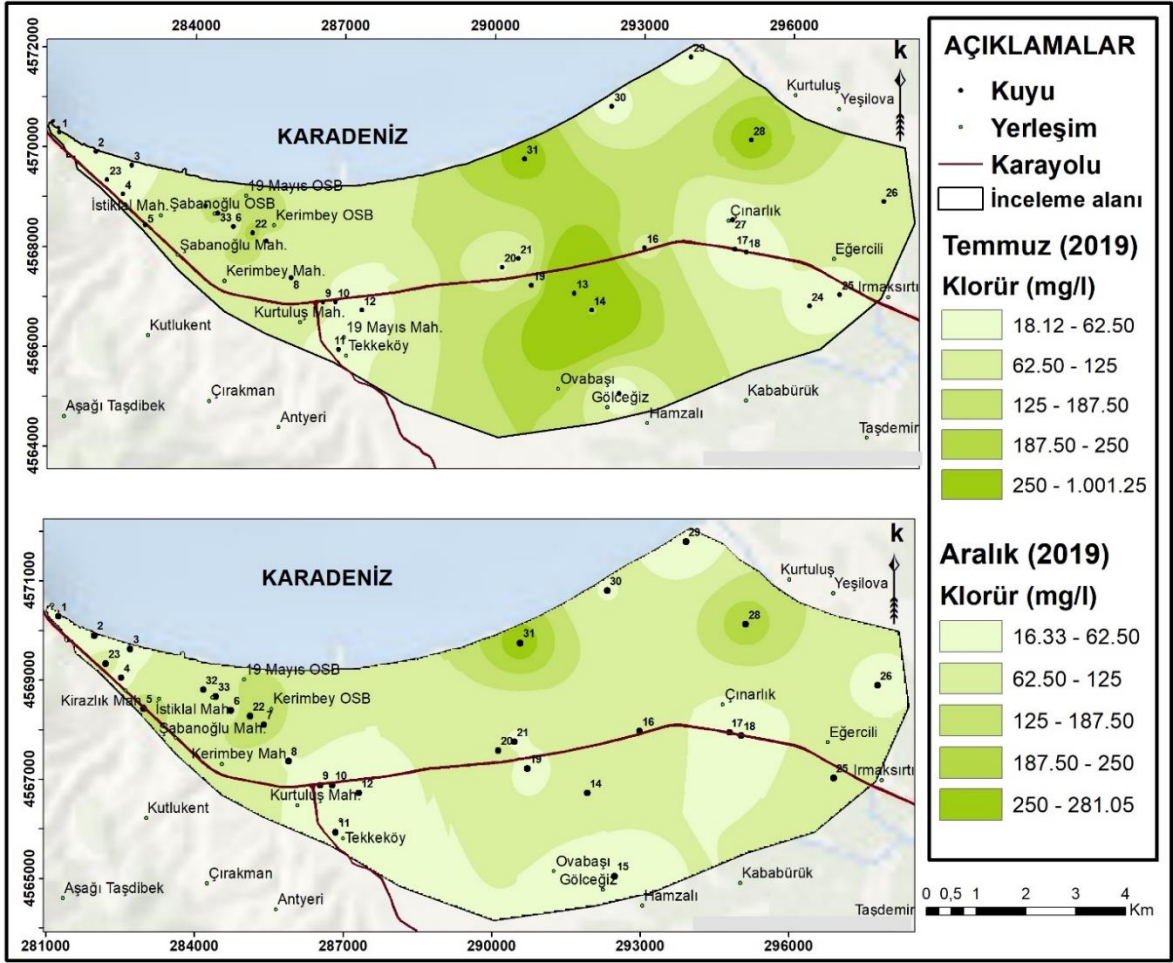
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları magnezyum için herhangi sınır değer belirtmemektedir.

### 6.3.2. Majör Anyonlar

#### 6.3.2.1. Klorür

Klorür, halojen grubunun bir elementtir ve elementlerine göre doğada daha fazla bulunmaktadır. Doğada bu element,  $Cl^{-1}$ ,  $Cl^0$ ,  $Cl^{+1}$ ,  $Cl^{+3}$ ,  $Cl^{+5}$  ve  $Cl^{+7}$  değerliklerinde bulunurken doğal sulara yalnızca  $Cl^{-1}$  önemlidir. Klorür yeraltısularında genel olarak çok az bulunurken deniz sularında çok fazla bulunmaktadır. Yeraltısularında bulunan klorür tuzları çoğunlukla evaporitlerden kaynaklanmaktadır. Magmatik kayalarda klorür tuzları olmasına rağmen yeraltısularına önemsiz miktarı taşınmaktadır (Şahinci, 1991). Ayrıca yeraltısularında bulunan  $Cl^{-}$  tarımsal faaliyetlerde yapay gübre kullanılmasından, tuz yataklarından, evsel atık sularından, yollarda buzlanmayı önlemek amacıyla kullanılan tuzlardan veya tuz yataklarından da kaynaklanabilmektedir (Aldemir, 2016). Ayrıca kıyı bölgelerinde de aşırı miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması durumunda, yeraltısuyu seviyesi düşmekte ve bunun sonucunda da deniz suyu iç bölgelere doğru hareket etmektedir (Barlow vd., 2003). Akifere bu deniz suyu girişiminin sonucunda yeraltısularının klorür içeriği önemli miktarda artmaktadır.

İnceleme alanındaki yeraltısularının  $Cl^{-}$  iyonu konsantrasyonu Temmuz ayında 18,08 ile 1001,82 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 16,31 ile 281,12 mg/l arasında değişim göstermektedir (Tablo 22).  $Cl^{-}$  değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ayında inceleme alanının orta kesimlere doğru ve güneydoğusunda yüksek değerleri görülürken Aralık ayında bu kısımlarda  $Cl^{-}$  değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 20). Temmuz ayında en yüksek  $Cl^{-}$  değeri inceleme alanındaki orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda görülüp aynı kuyuda en yüksek  $Na^{+}$  değeri de gözlenmektedir. Aralık ayında ise en yüksek  $Cl^{-}$  değeri inceleme alanında kuzey kısımda bulunan 31 nolu kuyuda görülmektedir.



Şekil 20. İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait  $Cl^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

Yüksek klorür konsantrasyonu, bitkilerin gelişmesini önler ve zehir etkisi göstermektedir. Ayrıca fazla klorür insanlarda hipertansiyon ve kalp hastalıkları gibi hastalıklar meydana getirebilmektedir (Şahinci, 1991).

İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları  $Cl$  için üst sınır değerini 250 mg/l olarak belirlemiştir.

Temmuz ve Aralık aylarında en düşük  $Cl^-$  değerleri inceleme alanının kuzeybatısında bulunan 29 nolu kuyuda gözlenmektedir. Bu kuyularda da  $Na^+$  değeri düşük olarak gözlenmektedir. İnceleme alanındaki yüksek  $Cl^-$  değerleri  $Na^+$  değerleri gibi sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda gözlenmektedir. Bu kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişi olduğu işaret etmektedir. Ayrıca yüksek  $Cl^-$  değerleri endüstriyel faaliyetlerden ve tarım alanlarında kullanılan gübrelere de kaynaklanabilmektedir.

Çalışma alanında denize yakın bulunan kuyuların  $\text{Cl}^-$  iyonlarınca zenginleşmesi beklenen bir durum olmasına rağmen bu kuyular bahçe kuyuları olduğu için, derinliği düşük olması nedeniyle ve bu kuyulardan az miktarda yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle,  $\text{Cl}^-$  değerlerinin  $\text{Na}^+$  değerleri gibi düşük olduğu görülmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayındaki 13, 28 ve 31 nolu ve Aralık ayındaki 31 nolu su örnekleri hariç tüm yeraltısuyu örneklerinin  $\text{Cl}^-$  değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 20). Yüksek  $\text{Cl}^-$  değerlerine sahip olan 13, 28 ve 31 nolu kuyularda kirlenme olduğu düşünülmektedir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının %9,09'u, %75,76'sı, %12,12'si ve %3,03 'ü sırasıyla I., II., III. ve IV. sınıflarında olduğu görülmektedir (Tablo 20).

Aralık ayında ise örneklerin %6,67'si, %86,66'sı ve %6,67'si sırasıyla I., II. ve III. sınıflar kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 20).

### 6.3.2.2. Sülfat

Doğada çoğunlukla sülfat iyonları, piritlerin oksitleşmesinden, volkanlardan, organik maddelerin bozunumundan, atmosfere ulaşan  $\text{H}_2\text{S}$  gazının fotokimyasal yolla oksitleşmesinden, jips ve anhidritlerin suda çözünmesinden, deniz sularından buharlaşma ve rüzgâr etkisiyle atmosfere taşınmasından, fabrikalardan, konutlarda yakılan petrolden, kömürden, doğal gazların kül ve dumanlarının atmosfere atılmasından kaynaklanmaktadır (Şahinci, 1991).

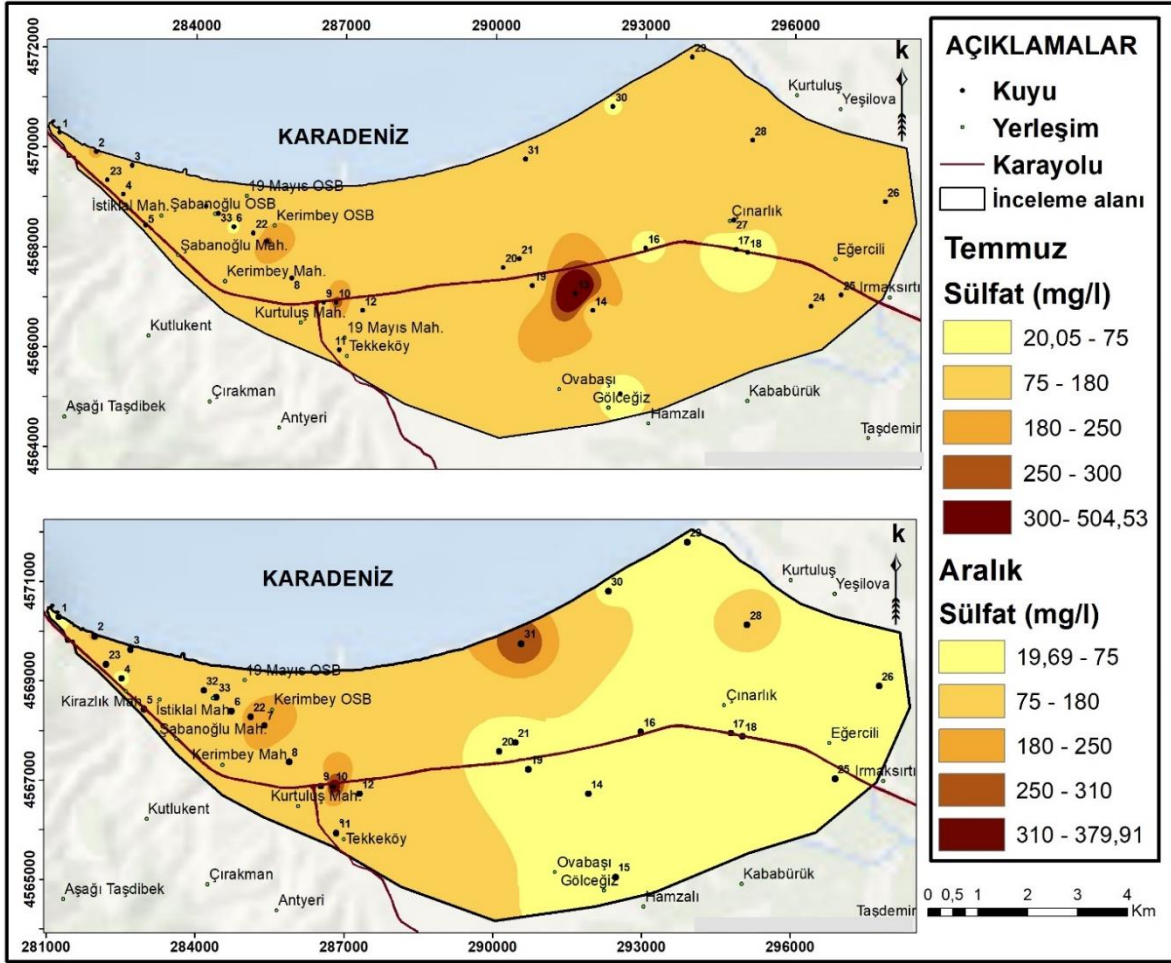
Yeraltısularında bulunan sülfat genel olarak anhidrit ve jipslerin çözünmesi ve ayrıca pirit mineralinin oksitlenmesiyle magnezyum, sodyum demir gibi bileşiklerden ve volkanlardan kaynaklanmaktadır (Aldemir, 2016). Ayrıca, endüstriyel atıklar, gübreler ve toprak iyileştiricileri gibi antropojenik kaynaklardan türetilen sülfat da yeraltısularında ek bir sülfat kaynağı sağlayabilmektedir (Gu A., 2005). İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları  $\text{SO}_4$  için üst sınır değerini 250 mg/l olarak belirlemiştir.

Çalışma alanında Temmuz ayında alınan yeraltısuyu örneklerinin sülfat değerleri 19,69 ile 504,80 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 19,69 ile 382,32 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22). Temmuz ayında en yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  değeri inceleme alanındaki orta

kısımında bulunan 13 nolu kuyuda gözlenip aynı kuyuda da en yüksek  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Cl}^-$  değerleri gözlenmektedir (Şekil 21). Aralık ayında ise en yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  değeri inceleme alanındaki orta kısımda bulunan 30 nolu kuyuda gözlenmektedir (Şekil 21). İnceleme alanında bazı kuyularda izlenen yüksek sülfat değerleri endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve toprak iyileştiricilerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu yüksek sülfat değerleri deniz suyu girişiminden dolayı da meydana gelebilmektedir. Sülfatın toprağın tuzu arttırmaktan başka zararlı bir etkisi yoktur. Sulama suyunda 250 mg/l' ye kadar olan miktarların bitki beslenmesi için faydalı olduğu düşünülmektedir (Simge ve Mediha, 2005).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre Temmuz ayında incelenen suların %90,91'i, Aralık ayında ise %93,33'ü uygun sınır içerisinde olduğu göstermektedir (Tablo 20). Temmuz ayında yüksek  $\text{SO}_4^{2-}$  değerlerine sahip olan 7, 10 ve 13 nolu kuyular ve Aralık ayında yüksek değerlerine sahip olan 10 ve 31 nolu kuyular İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün sınır değerini aştığından dolayı standarda uygun değildir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ayında inceleme alanındaki yeraltısularının %90,91'i I. ve II. sınıfları, %6,06'sı III. sınıfı ve %3,03'ü IV. sınıflarında yer almaktadır (Tablo 20). Aralık ayında ise örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıfları ve %13,33'ü III. sınıfı kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 20).



Şekil 21. İnceleme alanındaki suların Temmuz ve Aralık aylarına ait  $SO_4^{2-}$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

### 6.3.2.3. Alkalinite (Karbonat ( $CO_3^{2-}$ ) ve Bikarbonat ( $HCO_3^-$ ))

Doğal sularda alkalitenin en önemli kısmı, karbonat, bikarbonat ve hidrojen iyonları olmak üzere 3 tür maddeden ileri gelmektedir. Suların pH değerlerinin 8,2 üzerinde bikarbonat iyonları, karbonat ve hidrojen iyonlarına ayrılmaktadır.

Suların pH değeri 8,2 altında olduğunda  $HCO_3^-$  egemen olarak izlenmektedir. Yeraltısularında genel olarak bikarbonatın konsantrasyonu 50-400 mg/l arasında değişmektedir (Şahinci, 1991).

Bir suyun alkalitesi, bu suyun asitleri nötralize etme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Doğal suların alkalitesi, zayıf asitlerin tuzlarından gelmektedir. Karbonat ve bikarbonat, suların alkalinite özelliği kazandıran başlıca önemli kaynağıdır.

Yeraltılarında bulunan karbonat ve bikarbonat iyonlarının çoğunlukla atmosferdeki ve topraktaki CO<sub>2</sub>'den ve karbonatlı kayaçların erimesiyle meydana gelmektedir (Aldemir, 2016).

Çalışma alanındaki yeraltılarının HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> değerleri Temmuz ayında 248,92 ile 822,41 mg/l arasında (Tablo 21); Aralık ayında ise 272,71 ile 860,24 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 22). Temmuz ayında en yüksek HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> değeri inceleme alanının doğusunda bulunan 25 nolu kuyuda; aralık ayında ise en yüksek değeri 16 nolu kuyuda izlenmektedir. Bikarbonatın en düşük değeri ise Temmuz ayında inceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan 29 nolu kuyuda; aralık ayında ise inceleme alanının kuzeybatısında bulunan 3 nolu kuyuda gözlenmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> için herhangi sınır belirtmemektedir.

Tablo 20. KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 (örnek sayısı: 33) |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
|--------------------------------|--------|-------|------|-------|--------------------------------------------|-------|----------|-------|-----------|-------|----------|------|
| Kimyasal parametreleri         | TS-266 |       | WHO  |       | KITA İÇİ SU KAYNAKLARININ SINIFLARINA GÖRE |       |          |       |           |       |          |      |
|                                | Sayı   | Oran  | Sayı | Oran  | Sınıf I                                    |       | Sınıf II |       | Sınıf III |       | Sınıf IV |      |
|                                |        |       |      |       | Sayı                                       | Oran  | Sayı     | Oran  | Sayı      | Oran  | Sayı     | Oran |
| Kalsiyum                       |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Magnezyum                      |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Potasyum                       |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Sodyum                         | 31     | 93,93 | 31   | 93,93 | 26                                         | 78,79 | 26       | 78,79 | 6         | 18,18 | 1        | 3,03 |
| Klorür                         | 30     | 90,90 | 30   | 90,90 | 3                                          | 9,09  | 25       | 75,76 | 4         | 12,12 | 1        | 3,03 |
| Bikarbonat                     |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Sülfat                         | 30     | 90,91 | 30   | 90,91 | 30                                         | 90,91 | 30       | 90,91 | 2         | 6,06  | 1        | 3,03 |
| Aralık 2019 (örnek sayısı: 30) |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Kalsiyum                       |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Magnezyum                      |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Potasyum                       |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Sodyum                         | 29     | 96,67 | 29   | 96,67 | 26                                         | 86,67 | 26       | 86,67 | 4         | 13,33 | 0        | 0    |
| Klorür                         | 29     | 96,67 | 29   | 96,67 | 2                                          | 6,67  | 26       | 86,66 | 2         | 6,67  | 0        | 0    |
| Bikarbonat                     |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |      |
| Sülfat                         | 28     | 93,33 | 28   | 93,33 | 26                                         | 86,67 | 26       | 86,67 | 4         | 13,33 | 0        | 0    |



Tablo 21. Temmuz ayında örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları

| Kuyu No | Temmuz           |                  |                 |                |                 |                               |                               | %Hata |
|---------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|-------|
|         | Katyonlar (mg/l) |                  |                 |                | Anyonlar (mg/l) |                               |                               |       |
|         | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |       |
| 1       | 55,51            | 21,99            | 104,42          | 6,24           | 70,9            | 289,8                         | 84,05                         | 5,76  |
| 2       | 123,25           | 25,27            | 73,6            | 6,24           | 22,69           | 305,05                        | 192,12                        | 2,54  |
| 3       | 87,17            | 21,87            | 63,25           | 13,26          | 33,68           | 284,31                        | 96,06                         | 6,36  |
| 4       | 76,35            | 31,83            | 74,75           | 3,51           | 33,32           | 427,68                        | 115,27                        | -2,6  |
| 5       | 101,8            | 43,86            | 109,25          | 3,12           | 102,45          | 386,8                         | 144,09                        | 2,81  |
| 6       | 95,79            | 28,55            | 80,5            | 7,41           | 90,4            | 405,11                        | 49,95                         | 3,37  |
| 7       | 141,68           | 31,71            | 130,64          | 5,46           | 101,03          | 366,67                        | 264,17                        | 3,23  |
| 8       | 111,82           | 46,9             | 101,66          | 7,8            | 65,94           | 542,99                        | 148,89                        | 1,59  |
| 9       | 139,08           | 35,6             | 69,92           | 1,95           | 94,65           | 436,22                        | 98,46                         | 4,63  |
| 10      | 186,77           | 57,71            | 27,6            | 1,95           | 31,91           | 496,62                        | 284,34                        | 1,82  |
| 11      | 98               | 46,53            | 93,38           | 2,73           | 41,48           | 585,7                         | 98,46                         | 0,59  |
| 12      | 116,43           | 20,53            | 40,94           | 1,56           | 24,46           | 378,26                        | 96,06                         | 1,4   |
| 13      | 154,51           | 114,21           | 609,04          | 25,35          | 1001,82         | 611,93                        | 504,8                         | -4,28 |
| 14      | 114,83           | 47,02            | 110,63          | 12,48          | 230,43          | 430,12                        | 126,32                        | -3,4  |
| 15      | 78,16            | 19,68            | 51,75           | 2,73           | 29,42           | 375,21                        | 50,43                         | 0,91  |
| 16      | 65,33            | 37,79            | 146,28          | 9,75           | 109,9           | 608,27                        | 55,23                         | -2,49 |
| 17      | 149,3            | 35,11            | 47,84           | 6,24           | 29,78           | 793,13                        | 19,69                         | -3,46 |
| 18      | 167,13           | 32,08            | 68,31           | 6,24           | 30,13           | 722,97                        | 70,6                          | 2,05  |
| 19      | 96,99            | 28,07            | 89,93           | 5,07           | 132,94          | 397,18                        | 132,08                        | -5,96 |
| 20      | 127,65           | 42,77            | 64,4            | 3,9            | 56,72           | 411,82                        | 134,48                        | 7,10  |
| 21      | 133,27           | 30,74            | 44,85           | 3,9            | 56,37           | 377,65                        | 124,88                        | 4,37  |
| 22      | 130,66           | 38,27            | 175,03          | 14,43          | 235,03          | 415,48                        | 120,08                        | 6,13  |
| 23      | 52,91            | 18,95            | 176,41          | 3,12           | 54,95           | 513,09                        | 103,74                        | 1,19  |
| 24      | 167,53           | 29,77            | 20,01           | 1,95           | 49,98           | 639,38                        | 76,37                         | -4,55 |
| 25      | 180,56           | 54,07            | 89,01           | 1,95           | 49,98           | 822,41                        | 124,4                         | 1,81  |
| 26      | 91,38            | 66,34            | 108,79          | 18,72          | 91,46           | 733,95                        | 118,15                        | -3,57 |
| 27      | 126,45           | 26,97            | 23,69           | 5,07           | 27,65           | 464,29                        | 105,19                        | -3,33 |
| 28      | 93,59            | 42,16            | 199,87          | 14,04          | 299,2           | 502,72                        | 150,33                        | -5,78 |
| 29      | 81,16            | 16,65            | 23,23           | 3,12           | 18,08           | 248,92                        | 82,13                         | 0,36  |
| 30      | 64,33            | 31,95            | 78,43           | 11,31          | 41,48           | 310,54                        | 72,53                         | 6,57  |
| 31      | 132,46           | 34,87            | 217,12          | 8,97           | 275,09          | 385,58                        | 175,31                        | 4,74  |
| 32      | 133,67           | 44,83            | 103,27          | 6,63           | 125,85          | 485,03                        | 169,07                        | 1,43  |
| 33      | 132,06           | 33,53            | 114,77          | 9,75           | 132,94          | 396,57                        | 171,95                        | 2,16  |

Tablo 22. Aralık ayında örneklenen suların kimyasal analiz sonuçları

| Kuyu No | Aralık (2019)    |                  |                 |                |                 |                               |                               | % Hata |
|---------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
|         | Katyonlar (mg/l) |                  |                 |                | Anyonlar (mg/l) |                               |                               |        |
|         | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> |        |
| 1       | 81,96            | 33,05            | 74,75           | 8,19           | 56,72           | 388,63                        | 48,03                         | 5,55   |
| 2       | 187,37           | 39,61            | 48,07           | 10,14          | 26,94           | 375,82                        | 190,2                         | 5,71   |
| 3       | 89,18            | 37,3             | 28,75           | 23,4           | 30,49           | 272,71                        | 93,66                         | 7,16   |
| 4       | 101,8            | 45,56            | 67,16           | 4,68           | 40,41           | 321,52                        | 67,24                         | 6,91   |
| 5       | 143,09           | 46,41            | 99,13           | 3,9            | 161,3           | 364,84                        | 113,83                        | 4,70   |
| 6       | 135,87           | 41,55            | 51,98           | 11,31          | 92,88           | 409,99                        | 76,37                         | 6,36   |
| 7       | 178,96           | 32,81            | 93,61           | 10,53          | 144,64          | 355,69                        | 237,27                        | 2,79   |
| 8       | 119,44           | 64,4             | 77,28           | 9,75           | 58,85           | 541,16                        | 136,89                        | 4,45   |
| 9       | 134,07           | 32,32            | 33,12           | 17,16          | 30,84           | 435                           | 61                            | 8,03   |
| 10      | 238,68           | 53,82            | 38,64           | 1,95           | 29,42           | 527,74                        | 382,32                        | 1,13   |
| 11      | 132,66           | 65,85            | 78,43           | 3,51           | 51,76           | 568                           | 86,93                         | 8,49   |
| 12      | 118,44           | 26,73            | 22,31           | 1,95           | 22,33           | 363,01                        | 68,68                         | 4,80   |
| 14      | 138,4            | 26,48            | 46,92           | 7,02           | 79,05           | 413,64                        | 49                            | 3,45   |
| 15      | 99,4             | 27,46            | 33,35           | 3,51           | 30,49           | 367,28                        | 38,9                          | 4,44   |
| 16      | 146,69           | 81,41            | 101,43          | 9,75           | 83,66           | 860,24                        | 19,69                         | 4,95   |
| 17      | 199,4            | 45,08            | 32,43           | 8,58           | 36,16           | 771,78                        | 19,69                         | 4,29   |
| 18      | 217,03           | 43,13            | 28,52           | 7,8            | 31,55           | 817,53                        | 19,69                         | 3,15   |
| 19      | 78,36            | 35,96            | 62,1            | 2,73           | 47,15           | 341,66                        | 51,87                         | 7,11   |
| 20      | 121,24           | 27,09            | 63,48           | 5,85           | 105,29          | 358,74                        | 48,03                         | 4,80   |
| 21      | 117,84           | 24,42            | 36,8            | 5,07           | 51,76           | 342,88                        | 64,36                         | 5,39   |
| 22      | 139,88           | 44,47            | 155,94          | 20,28          | 199,23          | 382,53                        | 223,34                        | 2,12   |
| 23      | 21,84            | 11,42            | 246,79          | 3,51           | 84,37           | 483,81                        | 74,45                         | 2,93   |
| 25      | 166,53           | 49,82            | 55,89           | 5,46           | 101,39          | 781,54                        | 53,31                         | -7,51  |
| 26      | 53,91            | 47,63            | 95,45           | 16,77          | 52,82           | 463,68                        | 21,13                         | 7,17   |
| 28      | 115,23           | 47,75            | 162,15          | 11,7           | 221,56          | 533,84                        | 91,74                         | 0,34   |
| 29      | 75,55            | 22,11            | 23              | 6,24           | 16,31           | 278,21                        | 33,14                         | 5,39   |
| 30      | 95,19            | 50,06            | 72,45           | 19,5           | 59,91           | 428,9                         | 72,53                         | 6,54   |
| 31      | 170,74           | 48,48            | 197,34          | 22,62          | 281,12          | 447,81                        | 300,19                        | -0,36  |
| 32      | 159,72           | 32,32            | 100,28          | 14,82          | 124,78          | 414,26                        | 123,44                        | 6,84   |
| 33      | 159,72           | 32,32            | 100,28          | 14,82          | 124,78          | 414,26                        | 123,44                        | 6,84   |

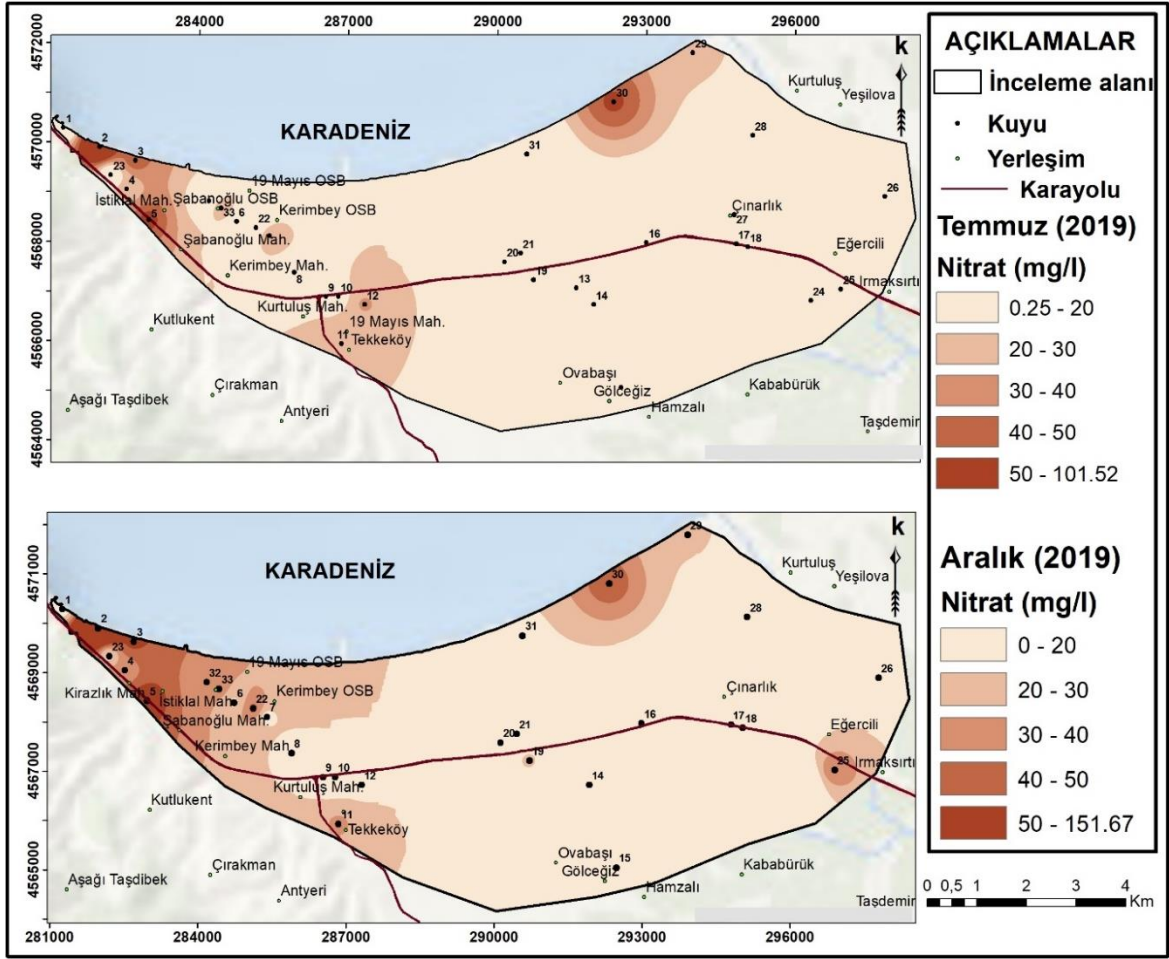
#### 6.4. Yeraltısularının Kirlilik Parametreleri

##### 6.4.1. Nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Nitrat, doğada kimyasal ve biyolojik reaksiyonlara katılan, sudaki azotun ana kimyasal türüdür. Oksitleyici koşullar altında, yüksek çözünürlüğü ve reaktif olmayan davranışı, nitrat yeraltısularında kirliliğinin yararlı bir göstergesi yapmaktadır (Daniel vd., 2014).

Yeraltısularında bulunan nitrat, ayrışmış bitki ve hayvan artıklarından, tarımda kullanılan nitratlı gübrelerden, endüstri artıklarından ve lağım sularından kaynaklanmaktadır. Genel olarak yeraltısularında nitrat konsantrasyonu 0,1-10 mg/l arasında değişmektedir. İçme sularında, yüksek nitrat konsantrasyonu (45 mg/l'nin üzerinde) küçük siyanos hastalığı gibi hastalık meydana getirebilmektedir. Ancak bu hastalık büyük çocuklarda ve ergenlerde izlenmektedir (Şahinci, 1991). İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları nitrat için üst sınır değerini 50 mg/l olarak belirlemiştir.

Çalışma alanındaki suların nitrat miktarları Temmuz ayında 0,248 ile 101,68 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 151,90 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 23). Örneklenen suların nitrat değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının batısında ve güneydoğusunda bulunan kuyuların yüksek nitrat değerleri görülürken orta kısmında, güneyinde ve doğusunda bulunan çoğu kuyularda düşük değerler görülmektedir (Şekil 22). En yüksek nitrat değeri Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanının batısında bulunan 2 nolu kuyuda izlenmektedir. Düşük nitrat değerleri Temmuz ve Aralık aylarında çoğunlukla inceleme alanının orta kısmında, güneyinde ve doğusunda izlenmektedir. Yüksek nitrat değerleri Çarşamba ovasındaki çok elverişli olan alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlere bağlı olarak yüksek olmaktadır. Ayrıca yüksek nitrat konsantrasyonu endüstriyel atıklarından ve lağım sularından da kaynaklanabilmektedir.



Şekil 22. İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{NO}_3^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ve Aralık aylarında yaklaşık tüm yeraltısularının nitrat değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ayında 2, 5 ve 30 nolu kuyularda ve Aralık ayında 2, 3 ve 5 nolu kuyularda ölçülen nitrat değeri sınır değeri aştığından dolayı standartlara uygun değildir. Yüksek nitrat değerlerine sahip olan bu kuyularda kirlenme olduğu düşünülmektedir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısularının Temmuz ayında %48,49'u, %21,21'i ve %30,30'u sırasıyla I., III. ve IV. Sınıf içerisinde yer almaktadır (Tablo 24). Aralık ise ayında örneklerin %6,67'si, %50'si ve %43,33'ü sırasıyla I., III. ve IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 24).

### 6.4.2. Nitrit (NO<sub>2</sub>)

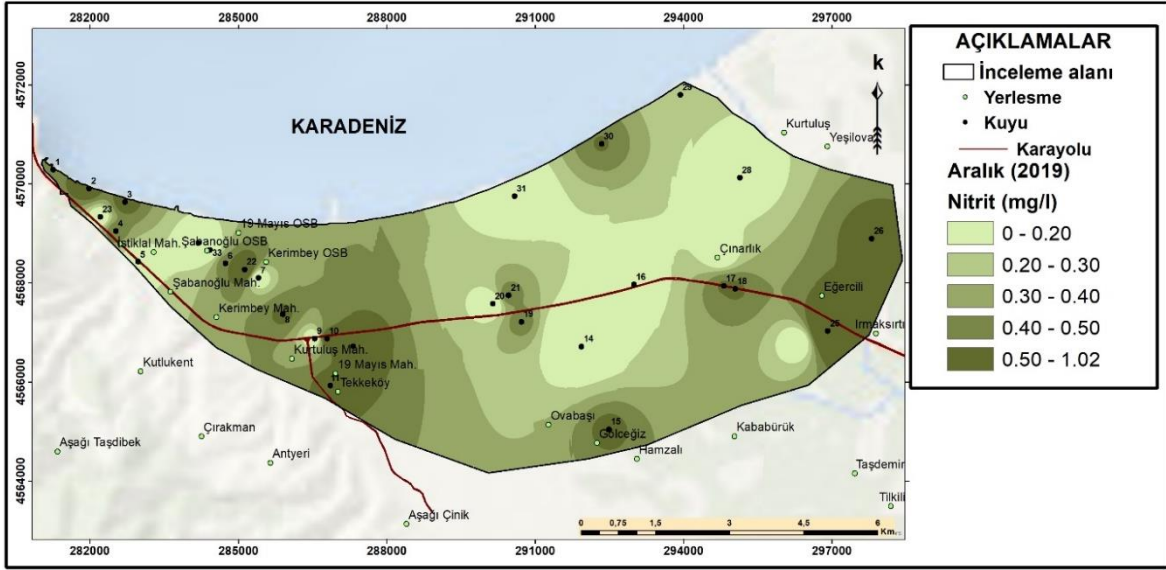
Nitrit, amonyumun nitrit ve daha sonra oksijenli bir ortamda nitrat iyonlarına oksitlendiği nitrifikasyon reaksiyonları sırasında oluşan bir ara üründür. Nitrat ve nitrit, doğada her yerde kolayca bulunabilecek elementlerin arasındadır. Bunlar, azot döngüsünün nitrifikasyon aşamasında azot tutucu bakteriler tarafından doğal olarak oluşturulan inorganik iyonlardır. Bu elementin bir geçiş fazı olması nedeniyle yeraltısularında genel olarak çok az miktarda bulunmaktadır. Evsel, endüstriyel ve tarımsal atıkları ve özellikle çok azotlu gübreler; yeraltısuyu, toprak ve tarım ürünlerinde azot miktarının artmasına neden olmaktadır.

Bu azotun artışının sonunda yeraltısularının nitrit ve nitrat açısından zenginleşmesine neden olmaktadır (Yetiş vd., 2018).

Ayrıca nitrit, galvanizli çelik borularda nitrat içeren ve oksijen bakımından fakir içme suyunun durgunluğu sırasında veya artık dezenfektan sağlamak için kloraminasyon kullanıldığında ve işlem yeterince iyi kontrol edilmediğinde nitrosomonas bakterileri tarafından dağıtım borularında kimyasal olarak oluşturulabilmektedir (WHO vd., 2016). Nitratın insanlar için toksisitesi, esas olarak nitritin indirgenmesinden kaynaklanmaktadır.

Nitritin insanlardaki en büyük biyolojik etkisi, normal Hb'nin dokulara oksijen taşıyamayan metHb'ye oksidasyonuna dahil olmasıdır. MetHb konsantrasyonları, normal Hb konsantrasyonlarının %10'una ve üstüne ulaştığında, azaltılmış oksijen taşınması klinik olarak belirginleşir; methemoglobinemi adı verilen durum siyanoz ve daha yüksek konsantrasyonlarda boğulmaya neden olmaktadır (WHO vd., 2003). Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre nitrit için her hangi bir sınır değeri bulunmazken TS-266 standartları 0,5 mg/l olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanında Temmuz ayında ölçülen nitrit değerleri bütün örnekler için 0,05 mg/l'den küçük olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise incelenen suların nitrit iyon konsantrasyonu 0 ile 1,02 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 23). Aralık ayına ait nitrit iyonlarının dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının büyük kısımlarda bulunan kuyularda yüksek nitrit değerleri görülmektedir (Şekil 23). En yüksek nitrit değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda gözlenmektedir.



Şekil 23. İnceleme alanındaki Aralık ayına ait  $\text{NO}_2^-$  iyon konsantrasyonlarının dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ayında örneklenen tüm yeraltısularının nitrat değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 24). Aralık ayında ise sadece örneklerin %43,33'ü uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 24). Bu yüksek nitrat değerleri çoğunlukla tarımsal alanlarda kullanılan gübrelere kaynaklanabilmektedir.

#### 6.4.3. Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ )

Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ), doğada bulunan azot türlerinden bir katyondur. Bu element, yeraltısularında doğal olarak organik maddelerin anaerobik bozuşmasından veya yapay olarak organik atıkların ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır.

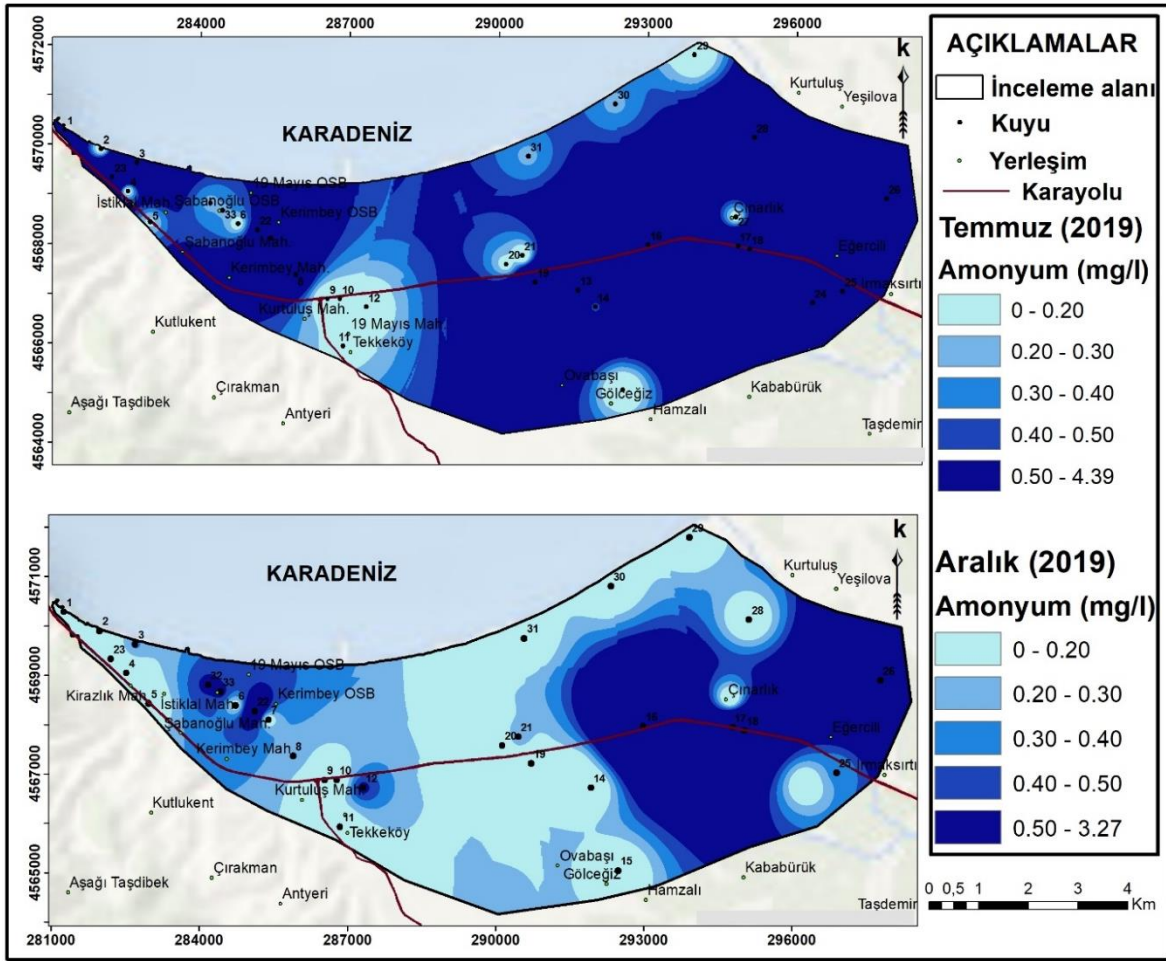
Amonyum çoğu kirlenmiş yeraltısularının önemli bir bileşenidir, ancak akiferlerde bu elementin hareketi karmaşıktır ve yeteri kadar belgelenmemiştir (Böhlke vd., 2006). Azotlu organik bileşiklerin suda ayrışmasından amonyak oluşmaktadır. Bu oluşan amonyak su içinde çözülerek su ile reaksiyona girer ve amonyum hidroksit oluşturmaktadır. Amonyak azotunun iki türü (serbest amonyak ve amonyum iyonu) oranları pH değerine bağlı olarak değişmektedir. Doğal suların pH değerleri 8 civarında olduğundan bu sular içinde bulunan

amonyak büyük bir kısmı ile amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) iyonu şeklinde bulunmaktadır (Karaca, 2017).

Yeraltısularında genel olarak amonyak konsantrasyonu 0,2 mg/l'den az bulunmaktadır. Ancak hümik maddeler veya demir açısından zengin tabakalarda ve ormanlarda daha yüksek amonyak konsantrasyonu izlenmektedir. Yüzey sularında amonyak konsantrasyonu 12 mg/l'ye kadar bulunabilmektedir. Klorominlerle içme sularının dezenfeksiyonundan sulara amonyak gözlenebilmektedir (WHO vd., 2002). İçme suyundaki nitrat miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 1,5 mg/l olarak belirlerken TS-266 bu sınırı daha da düşürerek 0,5 mg/l ile sınırlandırmıştır.

İncelenen suların  $\text{NH}_4^+$  iyon konsantrasyonu Temmuz (2019) ayında 0 ile 4,39 mg/l arasında; Aralık ayında ise 0 ile 3,27 mg/l arasında değişmektedir (Tablo 23). Temmuz ve Aralık aylarında amonyum değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında mevsimsel olarak belirgin değişim gözlenmektedir (Şekil 24).

Temmuz ayına ait amonyum değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanında bulunan kuyularda çoğunlukla yüksek değerler görülürken Aralık ayında sadece inceleme alanının batısında, güneybatısında ve kuzeydoğusunda yüksek amonyum değerleri izlenmektedir. En yüksek  $\text{NH}_4^+$  değeri Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanının doğusunda bulunan 26 ve 16 nolu kuyularda izlenmektedir.



Şekil 24. İnceleme alanındaki Temmuz ve Aralık aylarına ait  $\text{NH}_4^+$  iyonlarının dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre Temmuz ayında incelenen suların %54,55'i; Aralık ayında ise %73,33'ü uygun sınır içerisinde olduğu göstermektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre ise değerlendirildiğinde Temmuz ayında incelenen örneklerin %72,73'ü amonyum değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Ancak Aralık ayında sadece örneklerin 20%'sinin uygun sınırlar içerisinde olduğu gözlenmektedir. Bu yüksek  $\text{NH}_4^+$  değerlerinin inceleme alanındaki tarım arazilerde kullanılan gübrelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısularının Temmuz ayında %39,40'u, %24,24'ü, %12,12'si ve %24,24'i sırasıyla I., II., III. ve IV. Sınıflarında yer almaktadır (Tablo 24). Aralık ayında ise örneklerin %56,67'si, %26,67'si, %10'u ve %6,66'sı I., II., III. ve IV sınıfları kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 24).



Tablo 23. Yeraltısularının kirlilik parametreleri

| Kuyu No | Temmuz 2019                         |                                     |                                     | Aralık 2019                         |                                     |                                     |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|         | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l) | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l) | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l) |
| 1       | 1,07                                | 0,25                                | < 0,05                              | 0                                   | 13,02                               | 0,49                                |
| 2       | 0,08                                | 101,68                              | < 0,05                              | 0                                   | 151,90                              | 0,66                                |
| 3       | 2,01                                | 46,62                               | < 0,05                              | 0,32                                | 52,02                               | 0,64                                |
| 4       | 0,09                                | 21,82                               | < 0,05                              | 0,05                                | 31,99                               | 0,51                                |
| 5       | 0,17                                | 54,75                               | < 0,05                              | 0                                   | 62                                  | 0                                   |
| 6       | 0,09                                | 14,14                               | < 0,05                              | 0,12                                | 17,98                               | 0,50                                |
| 7       | 1,96                                | 29,95                               | < 0,05                              | 0,10                                | 16                                  | 0                                   |
| 8       | 0,98                                | 14,69                               | < 0,05                              | 0,24                                | 13,89                               | 0,55                                |
| 9       | 0                                   | 18,91                               | < 0,05                              | 0                                   | 18,04                               | 0                                   |
| 10      | 0,09                                | 15,44                               | < 0,05                              | 0,05                                | 13,21                               | 0,67                                |
| 11      | 0,14                                | 25,17                               | < 0,05                              | 0                                   | 31,99                               | 0,56                                |
| 12      | 0                                   | 31,43                               | < 0,05                              | 0,54                                | 18,41                               | 0,67                                |
| 13      | 2,08                                | 0,25                                | < 0,05                              |                                     |                                     |                                     |
| 14      | 0,45                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0,49                                | 23,56                               | 0,55                                |
| 15      | 0                                   | < 0,248                             | < 0,05                              | 0                                   | 19,41                               | 0,55                                |
| 16      | 1,38                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 3,27                                | 13,21                               | 0                                   |
| 17      | 0,84                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 1,14                                | 0                                   | 0,52                                |
| 18      | 2,04                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 1,27                                | 12,90                               | 0,54                                |
| 19      | 2,36                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0                                   | 21,02                               | 0,50                                |
| 20      | 0,12                                | 16,74                               | < 0,05                              | 0                                   | 19,53                               | 0                                   |
| 21      | 0                                   | 13,95                               | < 0,05                              | 0,28                                | 13,52                               | 0,52                                |
| 22      | 0,56                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 1,14                                | 43,03                               | 0,94                                |
| 23      | 2,76                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0                                   | 16                                  | 0                                   |
| 24      | 2,11                                | < 0,248                             | < 0,05                              |                                     |                                     |                                     |
| 25      | 2,11                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0,31                                | 39                                  | 1,02                                |
| 26      | 4,39                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 2,73                                | 17,42                               | 0,59                                |
| 27      | 0,12                                | 14,14                               | < 0,05                              |                                     |                                     |                                     |
| 28      | 1,19                                | < 0,248                             | < 0,05                              | < 0,05                              | < 0,248                             | < 0,05                              |
| 29      | 0                                   | 24,06                               | < 0,05                              | 0                                   | 21,39                               | 0,23                                |
| 30      | 0,28                                | 52,20                               | < 0,05                              | 0                                   | 46                                  | 0,51                                |
| 31      | 0,28                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0                                   | 18,97                               | 0                                   |
| 32      | 0,26                                | < 0,248                             | < 0,05                              | 0,54                                | 33,98                               | 0                                   |
| 33      | 0,28                                | 30,19                               | < 0,05                              | 0,54                                | 33,976                              | 0                                   |

Tablo 24. KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların kirlilik parametrelerinin değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 (örnek sayısı: 33) |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |       |
|--------------------------------|--------|-------|------|-------|--------------------------------------------|-------|----------|-------|-----------|-------|----------|-------|
| Kirlilik parametreleri         | TS-266 |       | WHO  |       | KITA İÇİ SU KAYNAKLARININ SINIFLARINA GÖRE |       |          |       |           |       |          |       |
|                                |        |       |      |       | Sınıf I                                    |       | Sınıf II |       | Sınıf III |       | Sınıf IV |       |
|                                | Sayı   | Oran  | Sayı | Oran  | Sayı                                       | Oran  | Sayı     | Oran  | Sayı      | Oran  | Sayı     | Oran  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   | 18     | 54,55 | 24   | 72,73 | 13                                         | 39,40 | 8        | 24,24 | 4         | 12,12 | 8        | 24,24 |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 27     | 91    | 27   | 91    | 16                                         | 48,49 | 0        | 0     | 7         | 21,21 | 10       | 30,30 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   | 33     | 100   |      |       | 33                                         | 100   |          |       |           |       |          |       |
| Aralık 2019 (örnek sayısı: 30) |        |       |      |       |                                            |       |          |       |           |       |          |       |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>   | 22     | 73,33 | 6    | 20    | 17                                         | 56,67 | 8        | 26,67 | 3         | 10    | 2        | 6,67  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>   | 27     | 90    | 27   | 90    | 2                                          | 6,67  | 0        | 0     | 15        | 50    | 13       | 43,33 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>   | 13     | 43,33 |      |       | 10                                         | 33,33 | 0        | 0     | 0         | 0     | 20       | 66,67 |

## 6.5. Yeraltısuyunun Fiziksel ve Kimyasal Parametreleri Açısından Mevsimsel Değişiminin İstatistiksel Olarak Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2019-Temmuz ve 2019-Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin istatistiksel olarak değişimini belirlemek amacıyla Korelasyon Analizi ve Temel Bileşen analizi uygulanmıştır.

### 6.5.1. Korelasyon Analizi

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin analizleri sonucunda elde edilen fiziksel ve kimyasal parametreler arasında bir korelasyon olup olmadığını belirlemek için Spearman korelasyon analizi kullanılmaktadır. Spearman korelasyon yöntemi, kullanılan bazı parametreler normal dağılım olmadığından dolayı kullanılmıştır. Korelasyon katsayısı pozitif olduğunda iki değişken arasındaki doğru orantıyı, negatif olduğunda ters orantıyı ve 0'a yakın değerler değişkenlerin arasında ilişki olmadığını ifade etmektedir.  $r$  değeri 0,7'den büyük olduğunda kuvvetli korelasyon, 0,5 ile 0,7 arasında ise orta derecede korelasyonu ifade etmektedir. Korelasyon katsayısı çok yüksek olduğu zaman ( $r = +1$  veya  $= -1$ ) değişkenler arasında güçlü bir ilişki olduğunu göstermektedir (Manish vd., 2006). Bu yöntemle Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametreleri arasında hesaplanan korelasyon değerleri Tablo 25 ve 26'da verilmiştir.

Tablo 25 incelendiğinde Temmuz ayında örneklenen suların Spearman korelasyon analiz sonuçlarına göre Na ile Cl arasında kuvvetli pozitif korelasyon ( $r = 0,816$ ); Mg-HCO<sub>3</sub> ( $r = 0,615$ ), Na-K ( $r = 0,588$ ), Na-EC ( $r = 0,520$ ), K-Cl ( $r = 0,551$ ), NH<sub>4</sub>-EC ( $r = 0,601$ ), Cl-EC ( $r = 0,522$ ), HCO<sub>3</sub>-EC ( $r = 0,640$ ), ve Mg-EC ( $r = 0,642$ ) arasında pozitif zayıf korelasyon; HCO<sub>3</sub>-pH ( $r = -0,659$ ), Ca-pH ( $r = -0,627$ ), NH<sub>4</sub>-NO<sub>3</sub> ( $r = -0,513$ ), HCO<sub>3</sub>-NO<sub>3</sub> ( $r = -0,548$ ) arasında ise negatif zayıf korelasyon olduğu görülmektedir. Tablo 26 incelendiğinde ise Aralık ayında örneklenen suların Spearman korelasyon analiz sonuçlarına göre Ca-pH ( $r = -0,723$ ) arasında negatif kuvvetli korelasyon ve Na-Cl ( $r = 0,817$ ) arasında pozitif kuvvetli korelasyon olduğu görülürken Ca-EC ( $r = 0,609$ ), Mg-HCO<sub>3</sub> ( $r = 0,639$ ), Mg-EC ( $r = 0,525$ ), Cl-EC ( $r = 0,513$ ), HCO<sub>3</sub>-EC ( $r = 0,527$ ) arasında pozitif zayıf korelasyon; pH-EC ( $r = -0,552$ ) arasında ise negatif zayıf korelasyon olduğu görülmektedir.

Temmuz ve Aralık ayında görülen Na ile Cl iyonlarının arasındaki yüksek korelasyon değeri, yeraltısuyuna deniz suyu girişimini ifade etmektedir.

Temmuz ayında görülen Cl-Mg ( $r = 0,496$ ), Cl-K ( $r = 0,551$ ), Na-Mg ( $r = 0,397$ ), Na-SO<sub>4</sub> ( $r = 0,429$ ) ve Cl-SO<sub>4</sub> ( $r = 0,467$ ) arasındaki korelasyon katsayıları çok zayıf olmasına rağmen ihmal edilmeyecek değerlerdir. Ayrıca Aralık ayında yapılan analizlerin sonucuna göre korelasyon katsayısı değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir.



Tablo 25. 2019-Temmuz ayına ait Spearman korelasyon sonuçları

|                               | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | pH     | EC     |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| Ca <sup>2+</sup>              | 1                | 0,414            | -0,173          | -0,187         | 0,022                        | 0,073           | 0,380                         | 0,379                         | -0,116                       | -0,627 | 0,3    |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0,414            | 1                | 0,397           | 0,282          | 0,237                        | 0,496           | 0,615                         | 0,454                         | -0,213                       | -0,403 | 0,642  |
| Na <sup>+</sup>               | -0,173           | 0,397            | 1               | 0,588          | 0,475                        | 0,816           | 0,142                         | 0,429                         | -0,296                       | 0,258  | 0,520  |
| K <sup>+</sup>                | -0,187           | 0,282            | 0,588           | 1              | 0,401                        | 0,551           | 0,018                         | 0,180                         | -0,223                       | 0,247  | 0,390  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,022            | 0,237            | 0,475           | 0,401          | 1                            | 0,396           | 0,485                         | 0,058                         | -0,513                       | -0,112 | 0,601  |
| Cl <sup>-</sup>               | 0,073            | 0,496            | 0,816           | 0,551          | 0,396                        | 1               | 0,147                         | 0,467                         | -0,380                       | 0,101  | 0,522  |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,380            | 0,615            | 0,142           | 0,018          | 0,485                        | 0,147           | 1                             | -0,040                        | -0,548                       | -0,659 | 0,640  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0,379            | 0,454            | 0,429           | 0,180          | 0,058                        | 0,467           | -0,040                        | 1                             | 0,122                        | 0,132  | 0,304  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | -0,116           | -0,213           | -0,296          | -0,223         | -0,513                       | -0,380          | -0,548                        | 0,122                         | 1                            | 0,159  | -0,355 |
| pH                            | -0,627           | -0,403           | 0,258           | 0,247          | -0,112                       | 0,101           | -0,659                        | 0,132                         | 0,159                        | 1      | -0,415 |
| EC                            | 0,300            | 0,642            | 0,520           | 0,390          | 0,601                        | 0,522           | 0,640                         | 0,304                         | -0,355                       | -0,415 | 1      |

Tablo 26. 2019-Aralık ayına ait Spearman korelasyon analiz sonucu

|                               | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | Cl <sup>-</sup> | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> | pH     | EC     |
|-------------------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------|--------|
| Ca <sup>2+</sup>              | 1                | 0,300            | -0,010          | 0,058          | 0,328                        | 0,188           | 0,350                         | 0,314                         | -0,039                       | 0,054                        | -0,723 | 0,609  |
| Mg <sup>2+</sup>              | 0,300            | 1                | 0,326           | 0,206          | 0,106                        | 0,194           | 0,639                         | 0,198                         | -0,045                       | 0,221                        | -0,339 | 0,525  |
| Na <sup>+</sup>               | -0,010           | 0,326            | 1               | 0,280          | -0,073                       | 0,817           | 0,287                         | 0,403                         | 0,049                        | -0,447                       | 0,209  | 0,478  |
| K <sup>+</sup>                | 0,058            | 0,206            | 0,280           | 1              | 0,182                        | 0,294           | 0,059                         | 0,252                         | 0,090                        | -0,161                       | 0,069  | 0,077  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,328            | 0,106            | -0,073          | 0,182          | 1                            | 0,026           | 0,277                         | -0,182                        | -0,168                       | 0,317                        | -0,330 | 0,282  |
| Cl <sup>-</sup>               | 0,188            | 0,194            | 0,817           | 0,294          | 0,026                        | 1               | 0,154                         | 0,354                         | 0,068                        | -0,482                       | 0,088  | 0,513  |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,350            | 0,639            | 0,287           | 0,059          | 0,277                        | 0,154           | 1                             | -0,124                        | -0,393                       | 0,055                        | -0,495 | 0,527  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0,314            | 0,198            | 0,403           | 0,252          | -0,182                       | 0,354           | -0,124                        | 1                             | 0,327                        | 0,017                        | -0,070 | 0,329  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | -0,039           | -0,045           | 0,049           | 0,090          | -0,168                       | 0,068           | -0,393                        | 0,327                         | 1                            | 0,185                        | 0,109  | -0,036 |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | 0,054            | 0,221            | -0,447          | -0,161         | 0,317                        | -0,482          | 0,055                         | 0,017                         | 0,185                        | 1                            | -0,148 | -0,033 |
| pH                            | -0,723           | -0,339           | 0,209           | 0,069          | -0,330                       | 0,088           | -0,495                        | -0,070                        | 0,109                        | -0,148                       | 1      | -0,552 |
| EC                            | 0,609            | 0,525            | 0,478           | 0,077          | 0,282                        | 0,513           | 0,527                         | 0,329                         | -0,036                       | -0,033                       | -0,552 | 1      |

### 6.5.2. Temel Bileşen Analizi (TBA)

Temel Bileşen Analizi çok değişkenli istatistiksel analizlerin en sık kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu yöntemler çok sayıda değişken arasındaki ilişkileri ölçme ve açıklamada kullanılmaktadır (Çakır, 1994).

Temel Bileşen Analizi yönteminin temel amacı fazla sayıdaki değişkeni, daha küçük sayıda bileşen altında azaltarak en önemli faktör ana bileşen sayısının belirlenip, toplamak isteyen araştırmacı için bir çözüm yolu bulmasıdır. Bu yöntemle Faktör analizi sonucunda elde edilen faktörler, 0,75'ten büyük olduğunda güçlü, 0,50 ile 0,75 arasında olduğunda orta ve 0,30 ile 0,50 arasında olduğunda ise zayıf olarak değerlendirilmektedir (Liu vd., 2003).

Toplanan verilerin temel bileşen analizine uygun olup olmadığını belirlemek için Kaiser-Mayer-Olkin (KMO) katsayısı ve Barlett Testi (Küresellik Testi) yapılmaktadır. "Kaiser-Meyer-Olkin" (KMO) ölçüsü, gözlenen korelasyon katsayısı ile kısmi korelasyon katsayılarının önemini karşılaştırarak örnek kütesinin faktör analizi için uygunluğunu test eden bir indeks değeridir. Bu değer 0,50'nin altında olduğunda veriler TBA için kabul edilmezdir. Barlett testi ise değişkenler arasında ilişki varsa bunların önemli olup olmadığını anlamak için uygulanmaktadır (Kellekçi vd., 2006). Barlett testi "korelasyon matrisi, birim matrise eşittir" hipotezini test etmektedir. Bu test için iki hipotez kurulmaktadır:

H0: İlişki matrisi ile birim matris arasında hiçbir fark yoktur. Değişkenler arasındaki ilişkiler önemsizdir.

H1: İlişki matrisi ile birim matris arasında bir fark vardır. Değişkenler arasındaki ilişkiler önemlidir.

TBA analizinde verilerin kabul edilmesi için olasılık değeri olan Sig değerinin 0,05'ten küçük olması gerekmektedir, başka bir deyişle Ho hipotezi reddedilmelidir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen su örneklerinin fiziksel ve kimyasal parametreleri üzerine uygulanan KMO ve Barlett testi sonuçları Tablo 27'de verilmiştir.

Tablo 27. Temmuz ve Aralık aylarına ait KMO ve Barlett testi sonucu

| <b>Temmuz 2019</b>                 |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Ölçek Geçerliği |         | 0,568   |
| Bartlett Küresellik Testi          | Ki Kare | 362,226 |
|                                    | Sd      | 55      |
|                                    | P       | 0,000   |

Tablo 27'nin devamı

| <b>Aralık 2019</b>                 |         |         |
|------------------------------------|---------|---------|
| Kaiser-Meyer-Olkin Ölçek Geçerliği |         | 0,580   |
| Bartlett's Küresellik Testi        | Ki Kare | 208,065 |
|                                    | Sd      | 66      |
|                                    | P       | 0,000   |

Tablo 27 incelendiğinde Temmuz ve Aralık ayları için değişkenlerin KMO değeri sırasıyla 0,568 ve 0,580 bulunmuş ve Barlett testi için önemlilik değeri 0 olduğu için, değişkenlerin temel bileşen analizine uygun olduğu belirlenmiştir.

Temmuz ayında örneklenen suların fiziksel ve kimyasal parametrelerinin açıklanan toplam varyans değerleri ve öz değerleri Tablo 28 'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde öz değerleri birden büyük olan 3 faktör oluşmuştur. Bu 3 faktör toplam varyansın %82,14'ünü açıklamaktadır. Temmuz ayında yeraltısularının hidrojeokimyası bu üç faktör tarafından kontrol edilmektedir. Elde edilen 1. faktör toplam varyansın %46,82'sini, 2. faktör toplam varyansın %22,15'ini ve 3. faktör toplam varyansın %13,16'ısını açıklamaktadır.

Tablo 28. Temmuz ayına ait açıklanan toplam varyansı

| Faktörler | Başlangıç Öz değerleri |           |             |
|-----------|------------------------|-----------|-------------|
|           | Toplam                 | Varyans % | Kümülatif % |
| 1         | 5,150                  | 46,821    | 46,821      |
| 2         | 2,437                  | 22,156    | 68,977      |
| 3         | 1,449                  | 13,169    | 82,145      |
| 4         | 0,713                  | 6,482     | 88,627      |
| 5         | 0,464                  | 4,215     | 92,842      |
| 6         | 0,296                  | 2,695     | 95,537      |
| 7         | 0,198                  | 1,799     | 97,336      |
| 8         | 0,167                  | 1,517     | 98,854      |
| 9         | 0,075                  | 0,677     | 99,531      |
| 10        | 0,041                  | 0,373     | 99,904      |
| 11        | 0,011                  | 0,096     | 100         |

Temmuz ayına ait oluşturulan döndürülmüş Temel Bileşenler Faktör Matrisi Tablo 29'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde toplam varyansın % 46,82'sini açıklayan 1. faktör

Cl, Na, EC, SO<sub>4</sub>, Mg ve K pozitif yönde güçlü temsil edilmektedir. Bu 1. faktördeki Cl, Na, EC SO<sub>4</sub>, Mg ve K değişkenleri yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle bu faktör tuzluluk faktörü olarak adlandırıp faktördeki suların tuzlu sular olduğu düşünülmektedir. Şekil 25.a'da 1. faktörü temsil eden eksene bakıldığında tatlı suları temsil eden Ca ve HCO<sub>3</sub> değişkenlerinin sıfıra yakın faktör yük değeri gösterdiği ve bu 1. faktörün tatlı suların tuzlu su tarafından etkilendiği de ifade edilebilmektedir. Faktörlerin hangi kuyularda etkili olduğunu belirlemek için Şekil 26'te kuyulara ait faktör skor sonuçları verilmiştir. Şekil 26.a incelendiğinde 1. faktörün en çok etkili olduğu kuyular 13, 28 ve 12 nolu kuyulardır. Toplam varyansın %22,15'ini açıklayan 2. faktör pH negatif yönde ve Ca pozitif yönde temsil edilmektedir.

Şekil 25.a'da bu 2. faktörünü temsil eden eksene bakıldığında Ca ve pH yüksek yük değerlerine sahip olup bu iki değişken ters orantılıdır. Ayrıca bu 2. Faktörünü temsil eden eksene göre HCO<sub>3</sub> için yük değeri (0,581) de önemlidir. Bu nedenle bu faktörün kayaç-su etkileşimini temsil ettiği düşündürmektedir. Bu faktördeki suların inceleme alanında karbonatlı birimler ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Şekil 26.a incelendiğinde bu faktörün en çok 25, 10 ve 23 nolu kuyularda etkili olduğu görülmektedir. Toplam varyansın % 13,16'sını açıklayan 3. faktör NH<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> pozitif yönde ve NO<sub>3</sub> negatif yönde temsil edilmektedir. Şekil 25.b'de bu faktörü temsil eden eksene bakıldığında yüksek yük değerlerine sahip olup bu iki değişkenin ters orantılı olduğu görülmektedir. Bu değişkenler yeraltısuyu kirliliğini gösteren parametrelerdir. Tarımsal arazilerde kullanılan azotlu suni gübreler yağmur suları ile yeraltına geçmekte ve kuyu sularının kalitelerini riskli duruma getirmektedir. 3. faktör inceleme alanında alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlerde kullanılan gübreler nedeniyle kirlenmiş yeraltısularını temsil etmektedir. Şekil 26.b incelendiğinde bu faktörün en çok 26 ve 2 nolu kuyularda etkili olduğu görülmektedir.

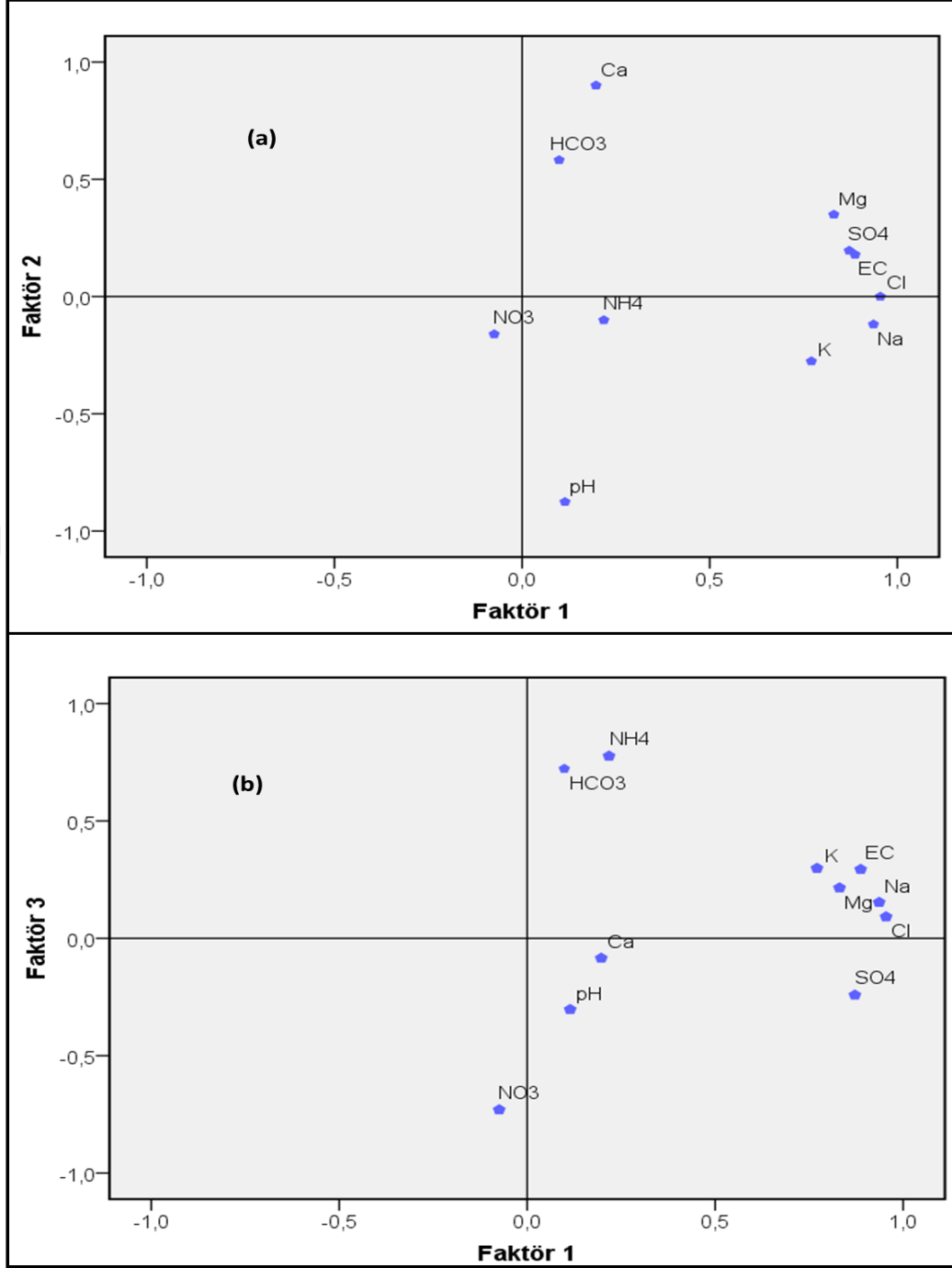
Tablo 29. Temmuz ayına ait döndürülmüş Temel Bileşen Analiz matrisi

| Değişkenler                   | Bileşenler   |        |        |
|-------------------------------|--------------|--------|--------|
|                               | 1            | 2      | 3      |
| Cl <sup>-</sup>               | <b>0,955</b> | -0,012 | 0,071  |
| Na <sup>+</sup>               | <b>0,935</b> | -0,131 | 0,133  |
| TDS                           | <b>0,909</b> | 0,170  | 0,279  |
| EC                            | <b>0,909</b> | 0,170  | 0,279  |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | <b>0,861</b> | 0,184  | -0,262 |

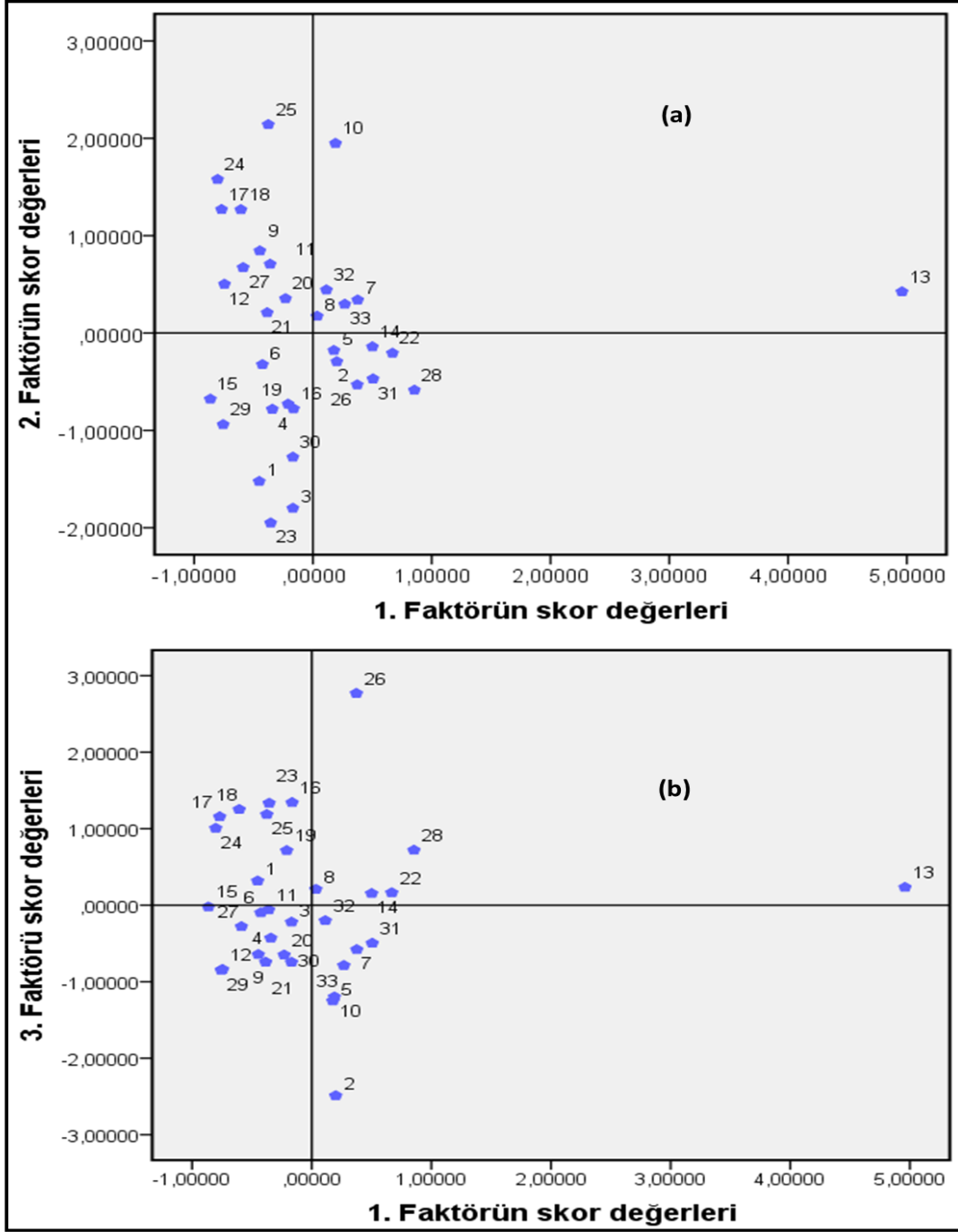
Tablo 29'un devamı

| Değişkenler                   | Bileşenler   |               |               |
|-------------------------------|--------------|---------------|---------------|
|                               | 1            | 2             | 3             |
| Mg <sup>2+</sup>              | <b>0,835</b> | 0,338         | 0,196         |
| K <sup>+</sup>                | <b>0,774</b> | -0,285        | 0,282         |
| Ca <sup>2+</sup>              | 0,199        | <b>0,897</b>  | -0,090        |
| pH                            | 0,090        | <b>-0,878</b> | -0,307        |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,228        | -0,104        | <b>0,771</b>  |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | -0,082       | -0,158        | <b>-0,726</b> |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | 0,123        | 0,581         | <b>0,721</b>  |





Şekil 25. Temmuz ayına ait Faktör yüklerinin birbirlerine göre değişimleri ve ilişkileri



Şekil 26. Temmuz ayı için kuyulara ait skor değerleri

Aralık ayında ise örneklenen suların fiziksel ve kimyasal parametrelerinin açıklanan toplam varyans değerleri Tablo 30’da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde ilk 3 faktör toplam varyansın %74,83’ünü açıklamaktadır. Elde edilen 1. faktör toplam varyansın %32,11’isini, 2. faktör toplam varyansın %27,36’ısını ve 3. faktör toplam varyansın %15,35’isini açıklamaktadır.

Tablo 30. Aralık ayına ait açıklanan toplam varyans

| Faktörler | Başlangıç öz değerleri |           |             |
|-----------|------------------------|-----------|-------------|
|           | Toplam                 | Varyans % | Kümülatif % |
| 1         | 3,854                  | 32,116    | 32,116      |
| 2         | 3,283                  | 27,362    | 59,478      |
| 3         | 1,843                  | 15,355    | 74,833      |
| 4         | 0,846                  | 7,052     | 81,886      |
| 5         | 0,618                  | 5,152     | 87,038      |
| 6         | 0,423                  | 3,525     | 90,562      |
| 7         | 0,335                  | 2,793     | 93,355      |
| 8         | 0,301                  | 2,503     | 95,858      |
| 9         | 0,250                  | 2,083     | 97,941      |
| 10        | 0,193                  | 1,608     | 99,549      |
| 11        | 0,036                  | 0,300     | 99,884      |
| 12        | 0,014                  | 0,116     | 100,000     |

Aralık ayına ait döndürülmüş temel bileşenler faktör matrisi Tablo 31’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde toplam varyansın %32,11’sini açıklayan 1. faktör pH negatif yönde, Ca, HCO<sub>3</sub>, Mg ve EC pozitif yönde temsil edilmektedir.

Bu 1. faktördeki değişkenlerden HCO<sub>3</sub>, Ca ve Mg’un tatlı suyun bir göstergesi olması, bu faktörün tatlı su faktörü olduğu düşündürmektedir. Aralık ayının yağışlı ay olması ve bu dönemde tarım arazilerinde yeraltısuyu çekiminin yapılmaması nedeniyle, akifere olan deniz suyu girişimi azalmaktadır. Ayrıca, Aralık ayında yağışlardan gelen sular akiferin beslenmesine büyük katkı sağlamaktadır.

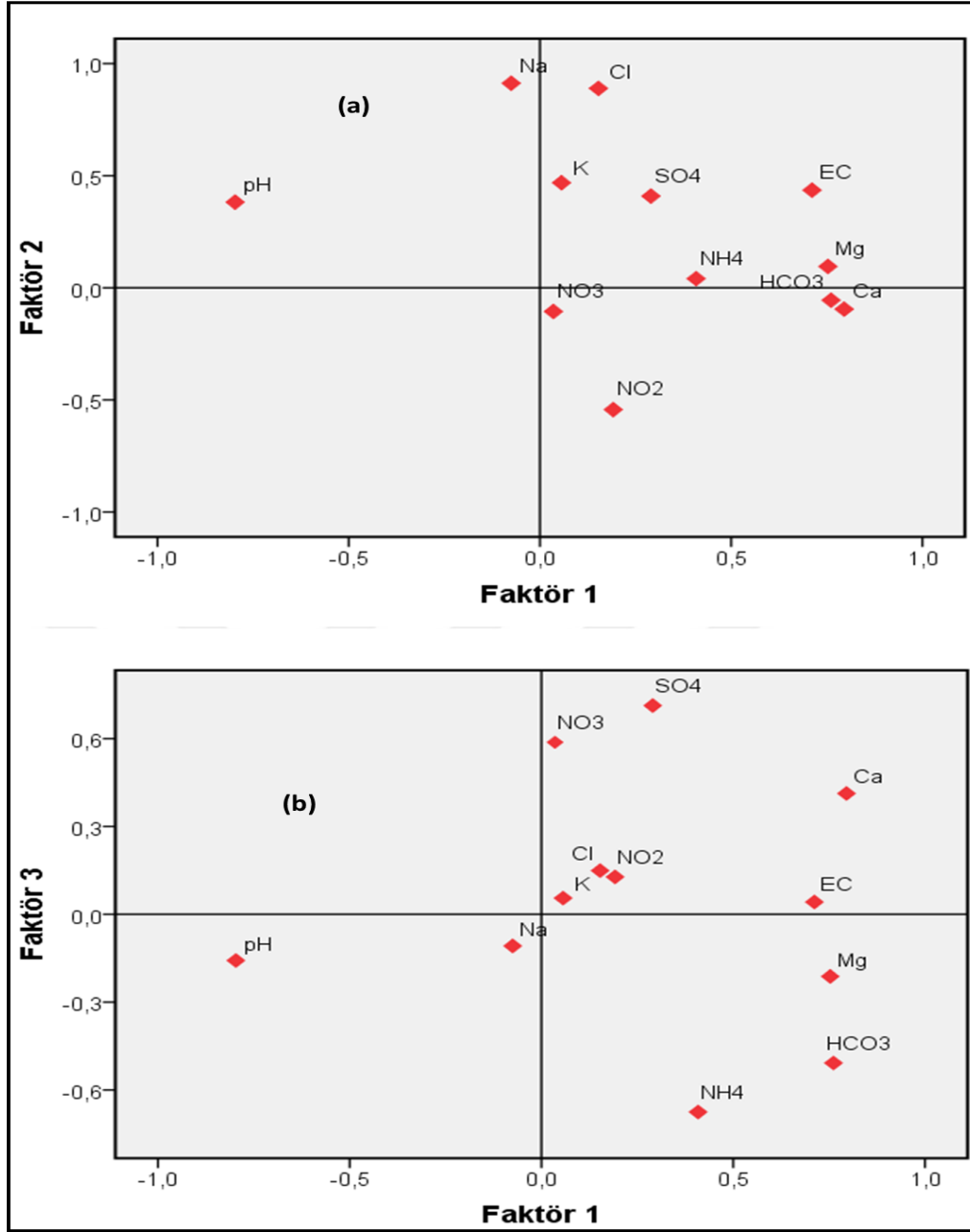
Şekil 27.a’da 1. faktörünü temsil eden eksene bakıldığında tuzlu suları temsil eden Na ve Cl değişkenlerinin sıfıra yakın faktör yük değeri gösterdiği ve bu faktörün tuzlu suların tatlı su tarafından etkilendiği de ifade edilebilmektedir.

Şekil 28.a incelendiğinde bu faktörün en çok 16, 10 ve 23 nolu kuyularda etkili olduğu görülmektedir. Toplam varyansın %27,36’sını açıklayan 2. faktör Na, Cl pozitif yönde ve NO<sub>2</sub> negatif yönde temsil edilmektedir. Bu faktördeki değişkenler tatlı suyun tuzlu su tarafından etkilendiğini ifade etmektedir. Bu faktördeki suların tuzlu sular olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu faktördeki değişkenlerden görülen NO<sub>2</sub> faktör nitrit açısından kirlenmiş suları da temsil ettiği düşündürmektedir. Şekil 28.a incelendiğinde 2. faktörün en çok etkili olduğu kuyular 31 ve 28 nolu kuyulardır. Toplam varyansın % 15,35’ini açıklayan 3. Faktör NH<sub>4</sub> negatif yönde, NO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> pozitif yönde temsil edilmektedir (Şekil 27.b). Bu değişkenlerin yeraltısuyu kirliliğini gösteren parametreler olması nedeniyle 3. faktörün

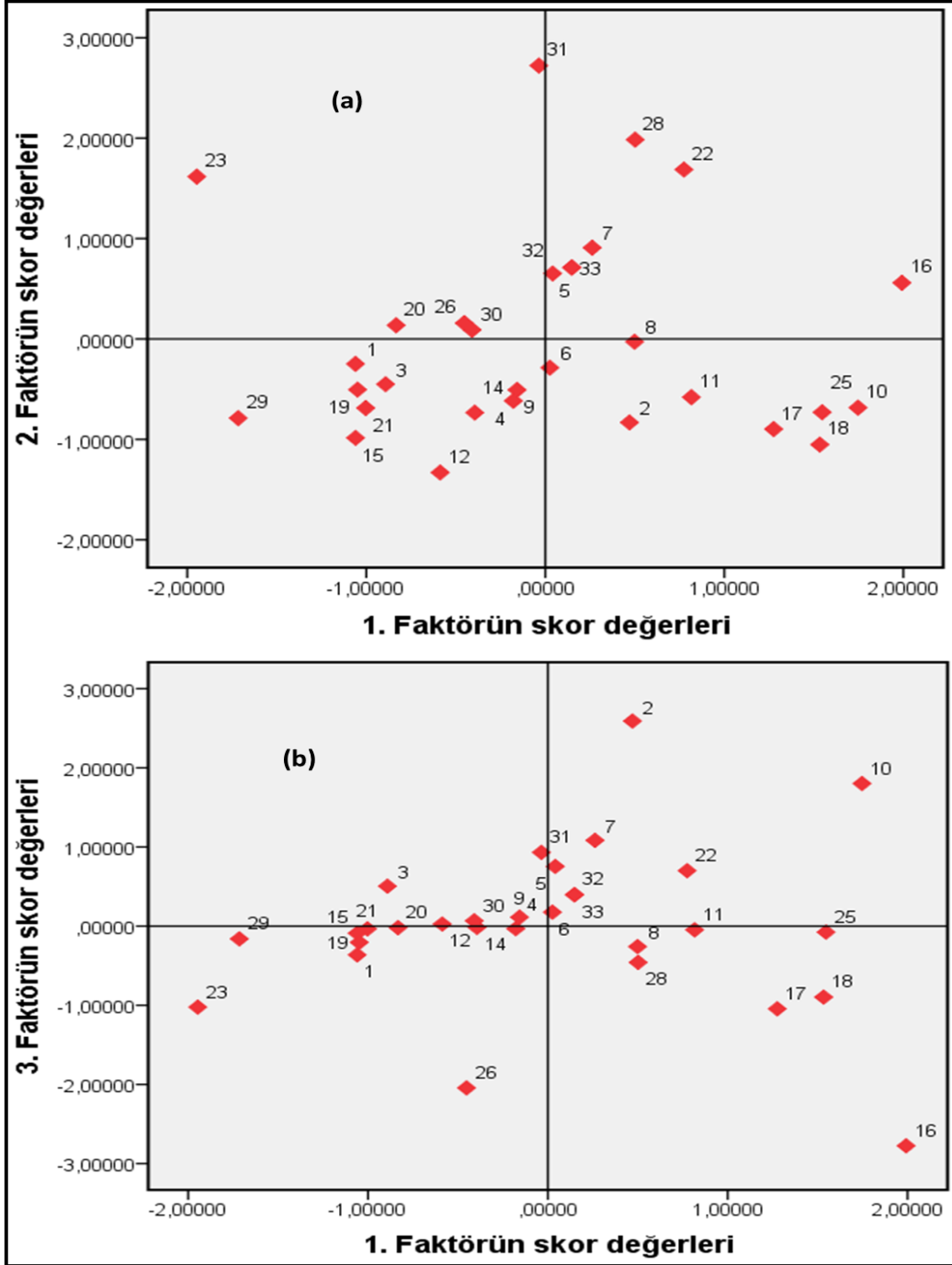
kirlenmiş kuyuları temsil ettiği düşünülmektedir. Şekil 28.b incelendiğinde bu faktörün en çok 2 ve 16 nolu kuyularda etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 31. Aralık ayına ait döndürülmüş temel bileşen analiz matrisi

| Değişkenler                   | Component     |               |               |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|
|                               | 1             | 2             | 3             |
| pH                            | <b>-0,797</b> | 0,382         | -0,158        |
| Ca <sup>2+</sup>              | <b>0,795</b>  | -0,095        | 0,413         |
| HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | <b>0,761</b>  | -0,055        | -0,508        |
| Mg <sup>2+</sup>              | <b>0,753</b>  | 0,095         | -0,212        |
| EC                            | <b>0,712</b>  | 0,436         | 0,042         |
| Na <sup>+</sup>               | -0,075        | <b>0,913</b>  | -0,108        |
| Cl <sup>-</sup>               | 0,153         | <b>0,889</b>  | 0,149         |
| NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | 0,192         | <b>-0,543</b> | 0,128         |
| K <sup>+</sup>                | 0,056         | <b>0,469</b>  | 0,055         |
| SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | 0,290         | 0,409         | <b>0,713</b>  |
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | 0,408         | 0,041         | <b>0-,675</b> |
| NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | 0,035         | -0,105        | <b>0,587</b>  |



Şekil 27. Aralık ayına ait Faktör yüklerinin birbirlerine göre değişimleri ve ilişkileri



Şekil 28. Aralık ayı için kuyulara ait skor değerleri

## 6.6. Yeraltısularında Bulunan İz Elementler

Bu çalışmada, Temmuz ayında örneklenen yeraltısuların Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V ve Ba analizleri de yaptırılmıştır. Bu iz element analizlerinden elde edilen sonuçlara suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde Türk

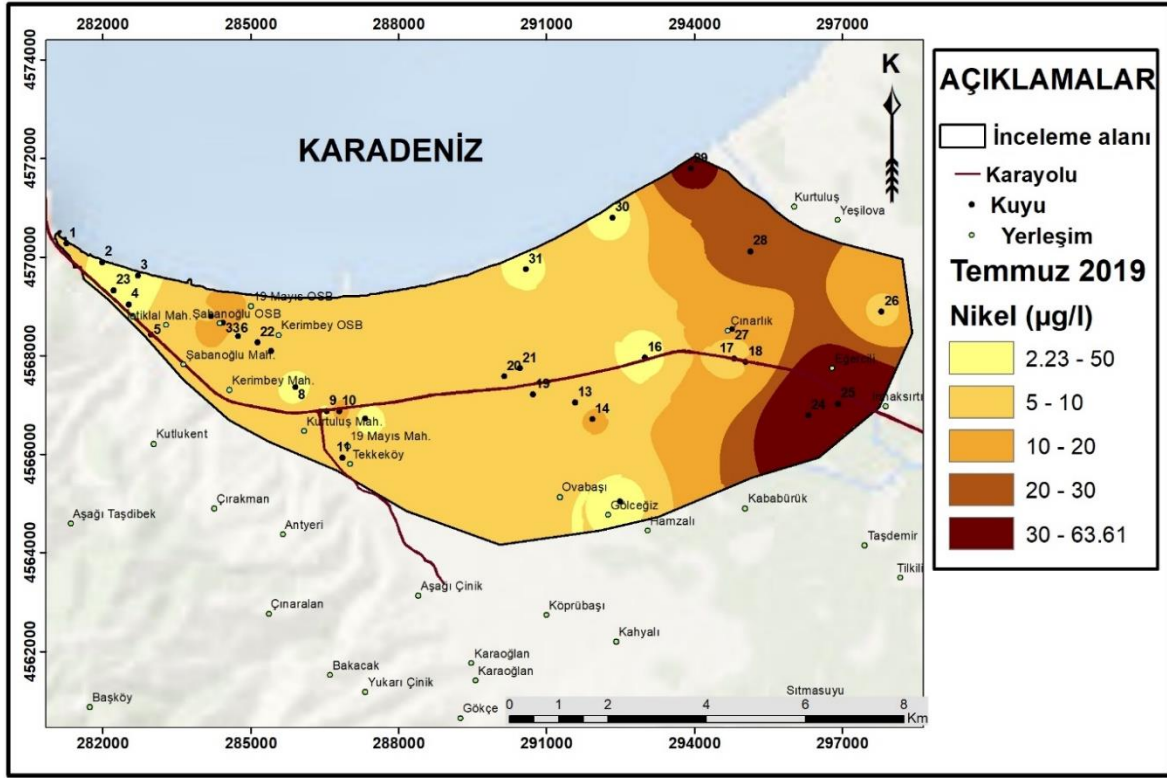
İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları karşılaştırılmıştır. Yeraltısularının kirlilik seviyeleri belirlemek için ağır metal kirlilik ve değerlendirme indeksleri de hesaplanmıştır. Ayrıca yeraltısuyu örnekleri Ph metal yük değerlerine göre sınıflanması için Ficklin-Caboi diyagramı da kullanılmıştır. Ayrıca HPI, HEI ve içme ve sulama suyu açısından sorun oluşturan iz elementleri için alansal dağılım haritaları hazırlanmıştır ve bu şekilde problemin daha fazla olduğu bölgeler tespit edilmiştir.

### 6.6.1. Nikel

Nikel, yerkabuğunda %0,008 oranında bulunan metal olup çoğunlukla demir ve kobalt ile birlikte oksitler, sülfatlar ve silikatlar şeklinde oluşmaktadır. Bu element asidik kayalarda çok az bulunurken ultrabazik ve bazik kayalarda daha çok bulunmaktadır. Nikelin ortalama konsantrasyon değeri bazik kayalarda 134 ppm, ultrabazik kayalarda 2000 ppm, granitlerde 8 ppm, sedimanter kayalardan arduvazlarda 68 ppm, kumtaşlarında 2 ppm, karbonatlı kayalarda 20 ppm, şeylerde 70 ppm ve toprak zeminde 30 ppm'dir (Şahinci, 1991). Doğada Nikel,  $Ni^{+2}$  ve  $Ni^{+3}$  değerliklerinde bulunurken doğal sulara genellikle  $Ni^{2+}$  şeklinde bulunmaktadır. İçme suyundaki nikel miktarının limit değeri Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 tarafından 20  $\mu\text{g/l}$  olarak belirlenmişlerdir. Her ne kadar nikel hayvanlar için önemli bir element olsa da beslenme eksikliği insanlar için bir problem olarak tanımlanmamıştır. Bu element; düşük toksisiteye sahip bir element olup dokularda birikmesi hiç gözlenmemiştir. Ancak yüksek nikel sülfat ve nikel klorür konsantrasyonlu sularının (1,63 g/l) içilmesi nedeni ile insanlarda kusma, ishal, baş dönmesi, halsizlik, baş ağrısı, nefes kesilmesi ve geçici körlük gibi semptomlar görülmüştür (Tuğba, 2015). İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları Ni üst sınır değerini 20  $\mu\text{g/l}$  olarak belirlemiştir.

İnceleme alanında yeraltısularının Ni değerleri 2,23 ile 63,61  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir (Tablo 32). Şekil 29'da nikel konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında alanın batısında, orta kısımlarda, kuzeyinde ve güneyinde düşük değerler görülürken doğusunda, güney ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir. Suların yüksek Ni konsantrasyonu inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 24 ve 25 nolu kuyularda 63,61  $\mu\text{g/l}$  ve kuzeydoğusunda deniz kıyısında Yalı mahallesinde bulunan 29 nolu kuyuda 33,94  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Bu yüksek Ni değerlerinin bölgede bulunan Agropark, Albayrak Demir Çelik gibi tesislerinden

kaynaklandığı düşünülmektedir. Düşük değerler ise inceleme alanının güneyinde bulunan 15 nolu kuyuda 2,23 µg/l, orta kısmında bulunan 16 nolu kuyuda 2,59 µg/l ve kuzeyinde bulunan 30 nolu kuyuda 2,83 µg/l olarak ölçülmüştür.



Şekil 29. Temmuz ayında örneklenen suların Nikel konsantrasyonunun dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde 24, 25, 28, 29 ve 33 nolu su örnekleri hariç tüm yeraltısuyu örneklerinin Ni değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33).

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %84,84'ü, %9,09'u ve %6,07'si sırasıyla I., II. ve III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).

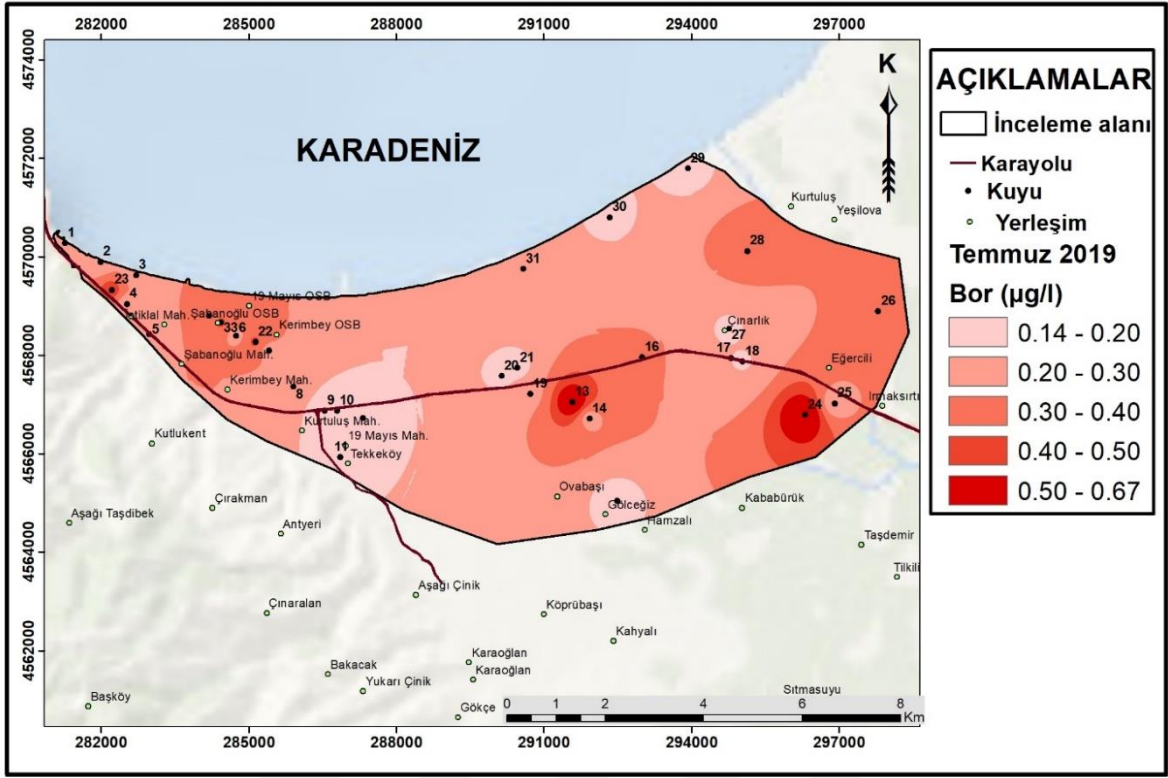


### 6.6.2. Bor

Bor, yer kabuğunda az rastlanan elementlerden biridir.  $B^{3+}$  katyonunun yarıçapı çok küçük ( $0.23 \text{ \AA}$ ) olup serbest halde bulunmaz ve genel olarak doğada Ca, Na ve Mg'un tuzları şeklinde bulunup yüksek konsantrasyonlarda ve ekonomik boyutlardaki bor yatakları; borun oksijen ile bağlanmış bileşikleri şeklinde borat adı verilen element şeklinde bulunmaktadır.

Borun bulunuş şekli suyun pH'ına bağlı olarak değişmektedir. Nötr ve alkali doğal sulara tetra-penta-hekza ve diğer poliboratlar gözlenirken asitli sulara ortoborik asit egemen olarak bulunmaktadır. Borun ortalama konsantrasyonun değeri, zeminde 12 ppm olup sıcak iklimlerde 2-145 ppm, nemli tropikal iklimlerde 1-3 ppm arasında değişmektedir. Kumtaşı ve kumlarda konsantrasyonu 5-70 ppm arasında değişirken çamur ve şeylerde 25-800 ppm arasında değişmektedir. Kireçtaşlarında konsantrasyon 2-95 ppm arasında değişip tatlı su kireçtaşlarında çok az bulunurken killi kireçtaşı ve dolomitlerde çok fazla bulunmaktadır. (Şahinci, 1991). Bor konsantrasyonu yeraltısularında bütün dünyada 0.3-100 ppm arasında değişirken, tatlı sulara 0,01-1,5 ppm, kanalizasyon atık sularında 5-100 ppm aralıklarında bulunmaktadır. Bu element cam ve nükleer endüstrilerinde, temizleme ürünlerinde, kanser tedavisinde, ilaç ve kozmetik üretiminde gibi çok kullanılmaktadır (Başkan ve Atalay, 2013). İçme suyundaki bor konsantrasyonu için Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre herhangi bir sınır değeri bulunmazken TS-266 göre tarafından 1000  $\mu\text{g/l}$  olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının bor değerleri 0,14 ile 0,67  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir (Tablo 25). Bor konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında en yüksek bor değerleri inceleme alanının doğusu, güney-doğusunda ve orta kısmının küçük bir bölümünde görülmektedir (Şekil 30). En yüksek bor konsantrasyon değeri inceleme alanının güney-doğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 24 nolu kuyuda 0,67  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülüp aynı kuyuda da en yüksek Ni değeri gözlenmektedir. İnceleme alanında görülen yüksek bor değerlerinin tarımsal gübrelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca inceleme alanında bulunan alüvyonlar içerisindeki çamurtaşı ve marn seviyelerinde çok düşük olsa da bor minerallerin varlığı düşünülmektedir. Düşük değerler ise inceleme alanının güney-batısında bulunan 12 nolu kuyuda 0,14  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür.



Şekil 30. Temmuz ayında örneklenen suların bor konsantrasyonunun dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standartlarına (TS-266, 2005) göre tüm yeraltısularının bor değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33).

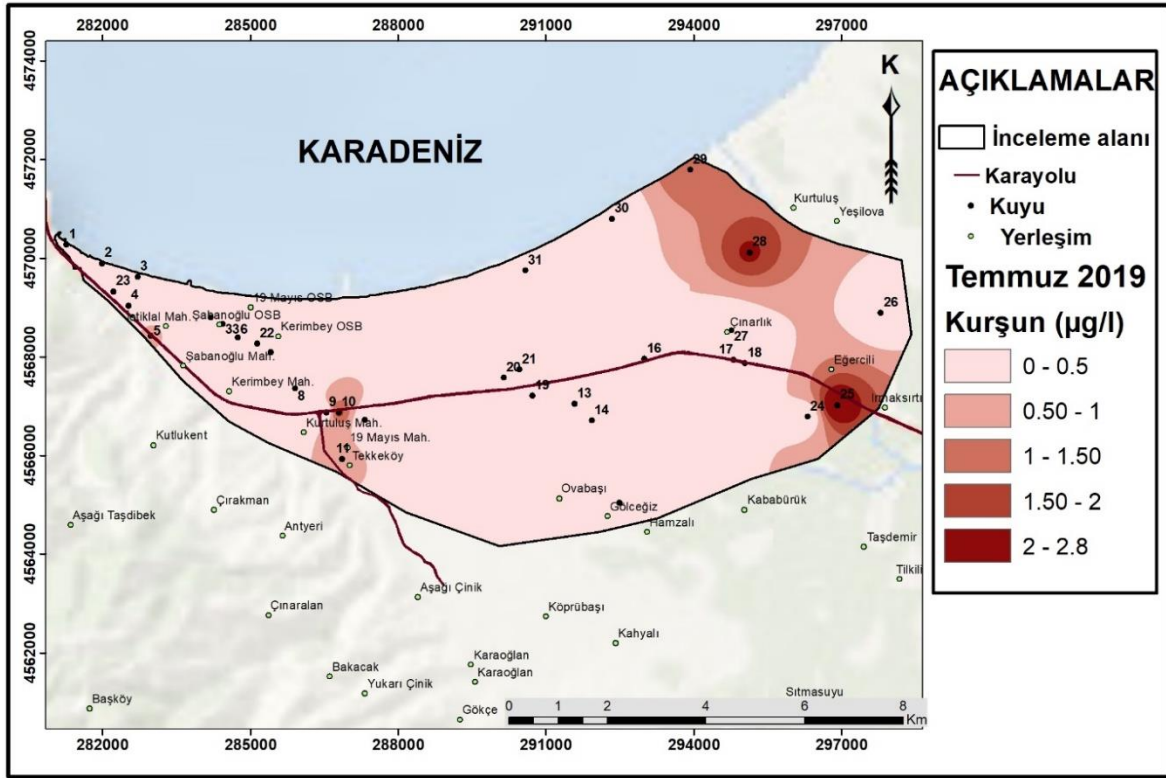
Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin tümü I., II. ve III. sınıflar kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).

### 6.6.3. Kurşun

Kurşun, yer kabuğunda doğal metal olarak bulunmaktadır. Doğada,  $Pb^{+2}$  ve  $Pb^{+4}$  değerlikte bulunup en çok rastlanan ve duraylı olan  $Pb^{2+}$ 'dir. Bu element çoğunlukla gümüş, bakır, çinko, antimon ve demir metalleriyle birleşmiş halde bulunup insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme ciddi zarar veren ilk metaldir (Seven vd., 2013). Kurşun yüksek konsantrasyonu insanlarda hızlı kalp çarpıntısı, hafıza kaybı, sinir hastalıkları, gut, kronik nefrit gibi hastalıklar meydana gelebilmektedir.

Yeraltılarında doğal olarak kurşun bulunmamaktadır. Ancak endüstriyel atık deşarjları, kurşun boruların korozyona uğraması ve yanma olayları nedeniyle kurşun sulara karışmaktadır. Kurşunun yerkabuğunda ortalama konsantrasyonu 12 ppm olup gabro ve bazaltlarda 3,2 ppm, diyorit ve andezitlerde 10,6 ppm, granitlerde 20 ppm, kumtaşlarında 10 ppm, kil ve şeyllerde 21,6 ppm, killi kireçtaşlarında 33,5 ppm olarak bulunmaktadır (Şahinci, 1991). İçme suyundaki kurşun konsantrasyonu Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre herhangi bir sınır değeri bulunmazken TS-266 standardında 10 µg/l olarak belirlenmiştir.

İnceleme alanında yeraltılarının kurşun konsantrasyonu 0 ile 2,80 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 31). Şekil 31'de kurşun konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında en yüksek kurşun değerleri inceleme alanının güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda izlenmektedir. En yüksek kurşun konsantrasyonu inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 25 nolu kuyuda 2,80 µg/l olarak ölçülmüştür. Aynı bölgede de en yüksek Ni ve B değerleri gözlenmektedir. Çubukçu ve Tüysüz (2001) tarafından yapılan çalışmalarına göre inceleme alanındaki Pb'nin sanayi tesislerinden kaynaklandığını belirlemişlerdir.



Şekil 31. Temmuz ayında örneklenen suların kurşun konsantrasyonunun dağılım haritası

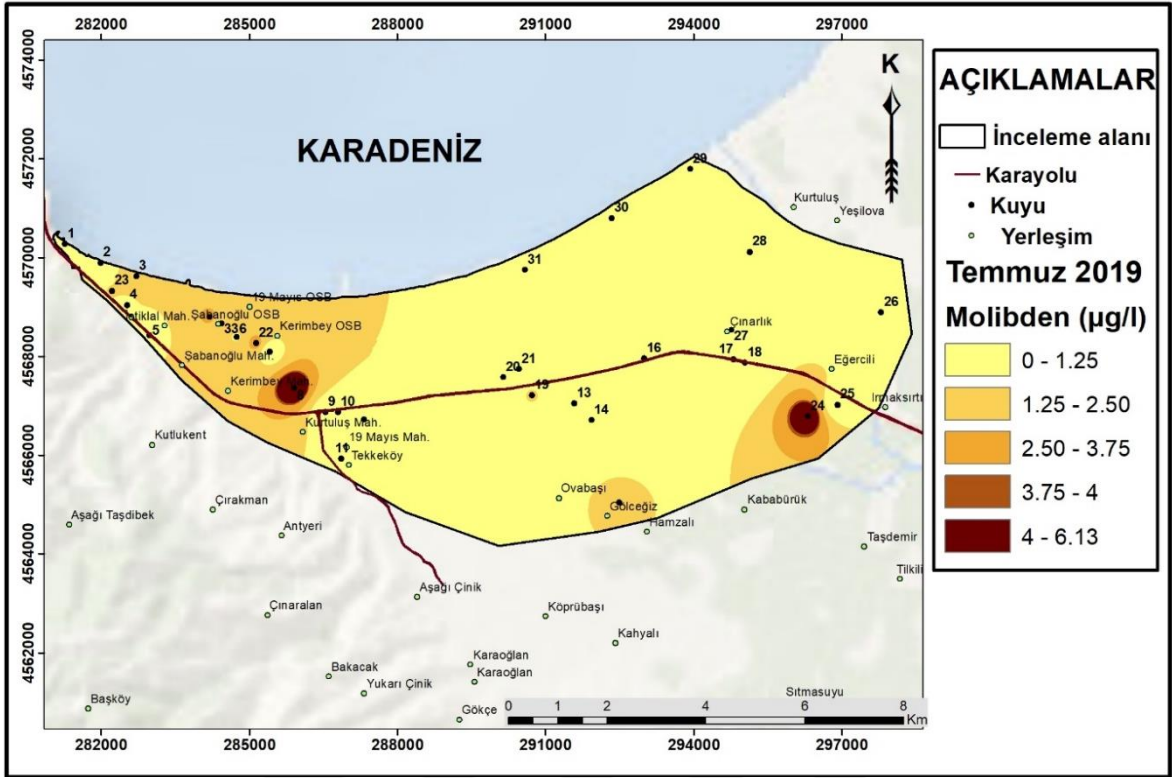
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standartlarına göre değerlendirildiğinde örneklenen bütün yeraltısularının kurşun konsantrasyonunun uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 26). Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin tümü I. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).

#### 6.6.4. Molibden

Molibden, yer kabuğunda 1,5 ppm konsantrasyonunda bulunan bir elementtir. Çoğu kayalarda ve toprakta molibden çok küçük konsantrasyonda bulunup (1 ile 10 mg/kg arasında) tatlı sularda daha düşük bazen 10 µg/l'den daha düşük konsantrasyonlarda bulunmaktadır (Pauline ve David, 2017). Bu elementin ortalama konsantrasyonu bazaltlarda 1,5 ppm, ultrabaziklerde 0,3 ppm, granitlerde 1 ppm, kumtaşlarında 0,2 ppm, şeylerde 3 ppm ve zeminde 2 ppm izlenmektedir. İçme sularında Molibden konsantrasyonu 0,01 mg/l'den az bulunmalıdır (Şahinci, 1991). Molibden, insan sağlığı için önemli bir iz element olarak kabul edilir ve yetişkinlerin 75-250 µg aralığında günlük bir gereksinimi olduğu tahmin edilmektedir. Ancak fazla miktarda bu element insan ve hayvanlar için zararlı olabilmektedir (Pauline ve David, 2017). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı Mo için herhangi bir sınır belirlemezken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları Mo üst sınır değerini 70 µg/l olarak belirlemiştir.

Çalışma alanında ölçülen molibden konsantrasyonu düşük olup 0 ile 6,13 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 32). Molibden konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının büyük kısmında bulunan kuyularda çok düşük değerler görülmektedir (Şekil 32). En yüksek molibden değerleri inceleme alanının batısında Kerimbey mahallesindeki sanayi bölgesinde ve güneydoğusunun küçük bir kısmında Irmaksırtı mahallesinde gözlenmektedir. İnceleme alanında örneklenen sularda görülen molibden konsantrasyonunun sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde örneklenen tüm yeraltısuyu örneklerinin molibden değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33).



Şekil 32. Temmuz ayında örneklenen suların molibden konsantrasyonunun dağılım haritası

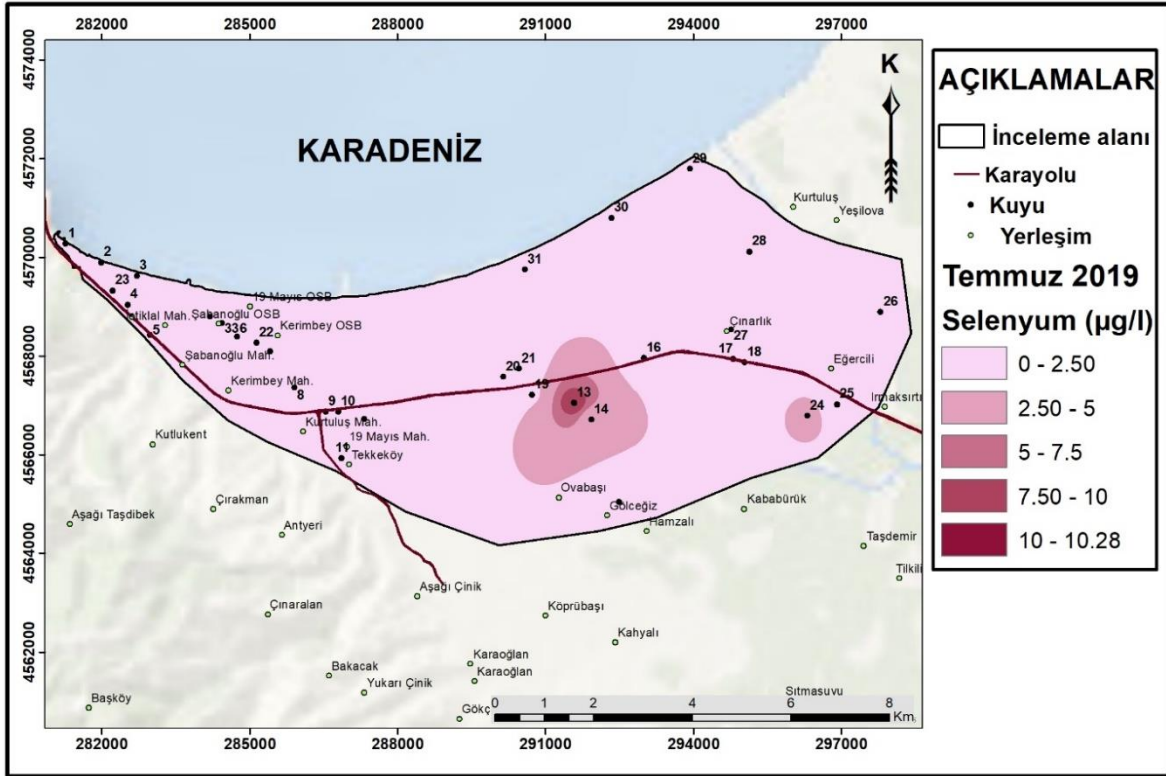
### 6.6.5. Selenyum

Selenyum, bir metalik element olup doğal ve insan faaliyetleri kaynaklı olarak doğada bulunabilmektedir. Bu element asidik ve bazik kayalarda benzer konsantrasyonunda (0,05 ppm) bulunurken kumtaşlarında 0,05 ppm, şeylerde 0,6 ppm, karbonatlı kayalarda 0,08 ppm ve toprak zeminde 0,2 ppm konsantrasyonuna kadar bulunmaktadır (Şahinci, 1991).

Selenyum çeşitli gıdalarında doğal olarak bulunup canlıların üremesi ve büyümesi için vazgeçilmez bir maddedir; Evcil hayvanlarda birçok dejeneratif hastalığın önlenmesinde ve tedavisinde etkilidir. Ancak fazla selenyum insanlarda sinir sisteminde, saç ve tırnaklarda, karaciğer, böbrek ve sinir hastalıkları gibi meydana gelebilmektedir. Türkiye’de içme suyu yönetmeliklerine göre içme suyunun Selenyum konsantrasyonu 10 µg/l’den fazla olmamalıdır (Fusun ve Ahmet, 2009; Şahinci, 1991). İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları Se üst sınır değerini 10 µg/l olarak belirlemiştir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının selenyum değerleri 0 ile 10,29 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 32). Şekil 33’te selenyum konsantrasyonunun dağılım

haritasına bakıldığında inceleme alanının yaklaşık tümünde çok düşük selenyum konsantrasyon değerleri izlenmektedir. Suların en yüksek Se konsantrasyonu inceleme alanının orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda 10,29  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. İnceleme alanında bu kuyuda gözlenen yüksek Se değerleri tarımsal alanlarında kullanılan gübrelerden kaynaklanabilmektedir.



Şekil 33. Temmuz ayında örneklenen suların Selenyum konsantrasyonunun dağılım haritası

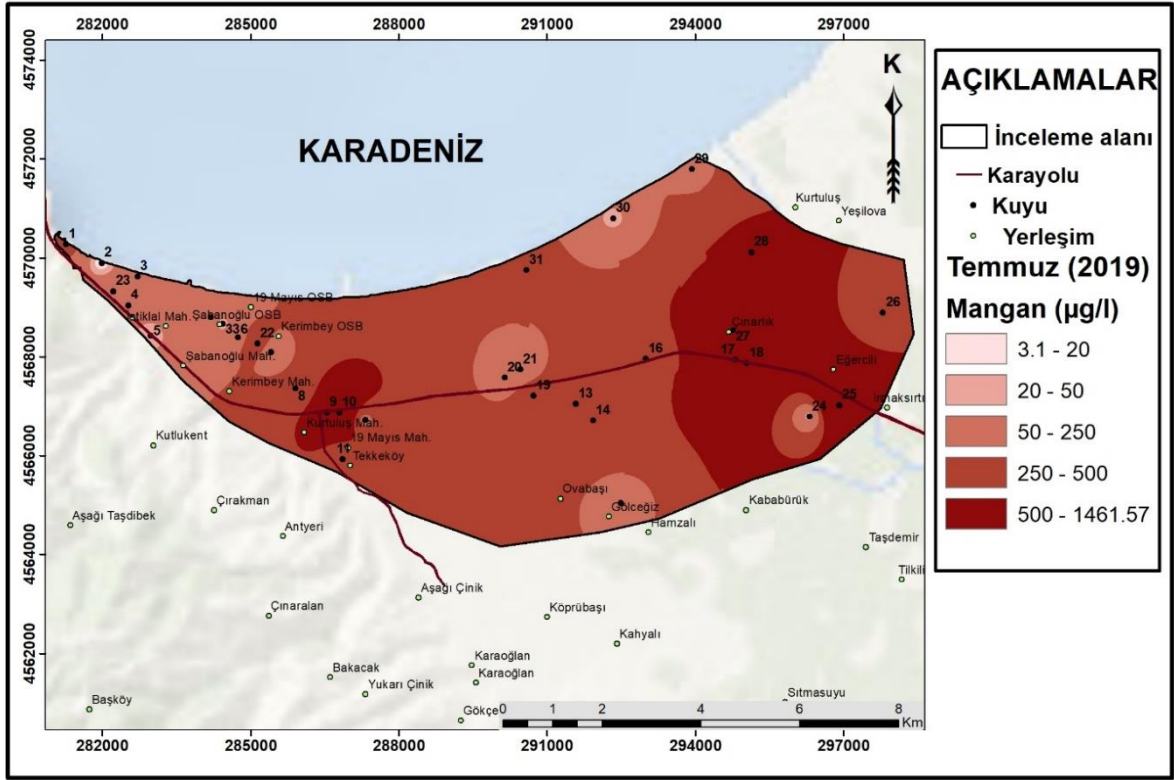
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde 13 nolu su örneği hariç tüm yeraltısuyu örneklerinin Se değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33).

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %97,97'si ve %3,03'ü sırasıyla I. ve II. sınıflar kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır.

### 6.6.6. Mangan

Mangan, yer kabuğunda en çok bulunan metallere biridir. Bu element yeraltısuyu kaynaklarında istenmeyen madde olup yeraltısularına kayalardan sızma yoluyla geçmektedir. Mangan doğal sularında 0,2 mg/l'den az bulunurken yeraltısularında 10 mg/l'ye kadar ulaşabilmektedir (Zöhre vd., 2010). İçme suyundaki Mn miktarının üst sınırını Dünya Sağlık Örgütü 100 µg/l olarak belirlerken İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) bu sınırı daha düşürerek 50 µg/l ile sınırlandırmıştır. Yer kabuğunda 950 ppm ortalama konsantrasyonunda Mangan bulunurken ultrabazik kayalarda 0,00162 ppm, siyenitlerde 0,085 ppm, granitlerde 0,06 ppm ve karbonatlı kayalarda 0,0011 ppm ortalama konsantrasyonunda bulunmaktadır. Asidik ve hafif alkali sularında  $Mn^{+2}$  iyon şeklinde bulunurken alkali sularında  $Mn^{+4}$  şeklinde, doğal sularında duraysız  $Mn^{3+}$  ve ara kimyasal tepkimelerde izlenmektedir. Organik madde içeren ortamlarda, bakteriler manganezin redoks reaksiyonunu büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca, bu element bakterilerin çoğalmasına yardım ettiği gibi bazı bakteriler manganez oksitleyerek, su depoları ve borularda siyah çökeltiler meydana getirmektedir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Mn değerleri 2,85 ile 1469,68 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 32). Mn değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda ve orta kısımlarda yüksek Mn değerleri görülürken batısında düşük değerler izlenmektedir (Şekil 34). En yüksek Mn değerleri inceleme alanının güneybatısında bulunan 10 nolu kuyuda 1469,68 µg/l, güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda 1446,58 µg/l ve doğusunda bulunan 18 nolu kuyuda 1036,13 µg/l olarak ölçülmüştür. Gözlenen yüksek Mn konsantrasyonu inceleme alanında bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. En düşük değerler ise inceleme alanının batısında bulunan 2 nolu kuyuda 2,85 µg/l ve 33 nolu kuyuda 7,46 µg/l olarak ölçülmüştür.



Şekil 34. Temmuz ayında örneklenen suların mangan konsantrasyonunun dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardına (TS-266, 2005) göre 2, 5, 7, 24, 30 ve 33 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin Mn değeri sınır değeri aştığından dolayı standarda uygun olmadığı belirlenmiştir (Tablo 33). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre ise değerlendirildiğinde örneklerin sadece %12,12'sinin uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33).

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %33,30'u, %51,50%'si ve %18,20'si sırasıyla I., II. ve III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).

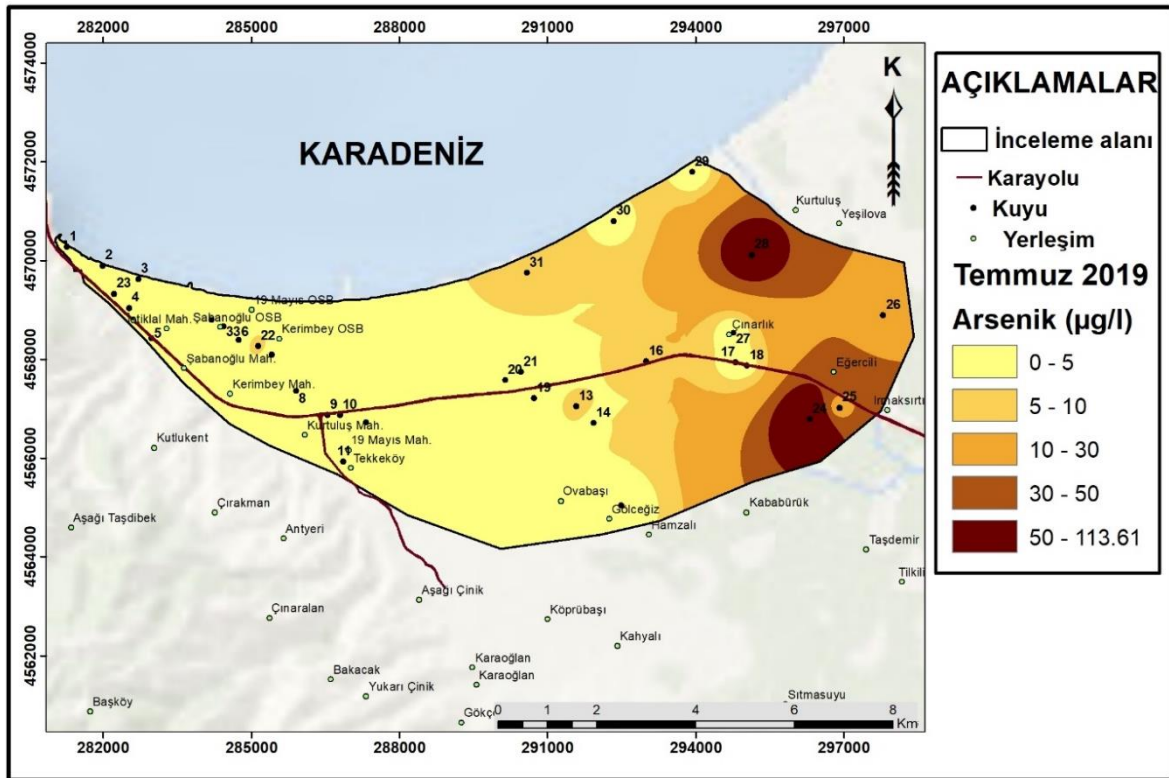
### 6.6.7. Arsenik

Arsenik, gümüş-beyaz renkte, kırılğan, kristal yapıda, metaloid katı bir kimyasal elementtir. Bu element genel olarak Ni-Cu sülfid yataklarında, bakırlı şeyl ve kumtaşlarında hidrotermal damalarda, oksitlerde ve fosfatlı kayalarda izlenmektedir. Arsenik ortalama konsantrasyonu magmatik kayalarda 1,5 ppm, toprak zeminde 5-10 ppm, kil ve şeyllerde



13 ppm, kumtaşları, karbonat ve dolomitlerde 1 ppm ve fosfatlı kayalarda 21 ppm olarak bulunmaktadır (Şahinci, 1991). Arsenik bileşikleri tarım ve ormancılıkta pestisitler, herbisitler ve silisitler olarak kullanılmaktadır. Ancak tarımsal ilaçların kullanılması, madencilik, demir-dışı metallerin eritilmesi, fosil yakıtların yanması ve kimyasal sanayi atıkları gibi nedeniyle arsenik tarafından çevre, yüzey ve yeraltıları kirlenmektedir. Dünya Sağlık Örgütü'nün önerilerine göre içme suyunda arsenik için sınır değerin 10 µg/l' yi geçmemesi gerekmesine rağmen, birçok ülke hala önceki 50 µg/l' lik sınır değerini uygulamaktadır (Öztürk, 2017).

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının arsenik konsantrasyonu 0 ile 113,61 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 32). As değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda ve güneydoğusunda yüksek As değerleri görülürken batısında ve orta kısmında düşük değerleri izlenmektedir (Şekil 35). En yüksek As değerleri inceleme alanının güneydoğusunda İrmaksırtı mahallesinde bulunan 24 nolu kuyuda 113,61 µg/l ve doğusunda Fatih mahallesinde bulunan 28 nolu kuyuda 78,70 µg/l olarak ölçülmüştür.



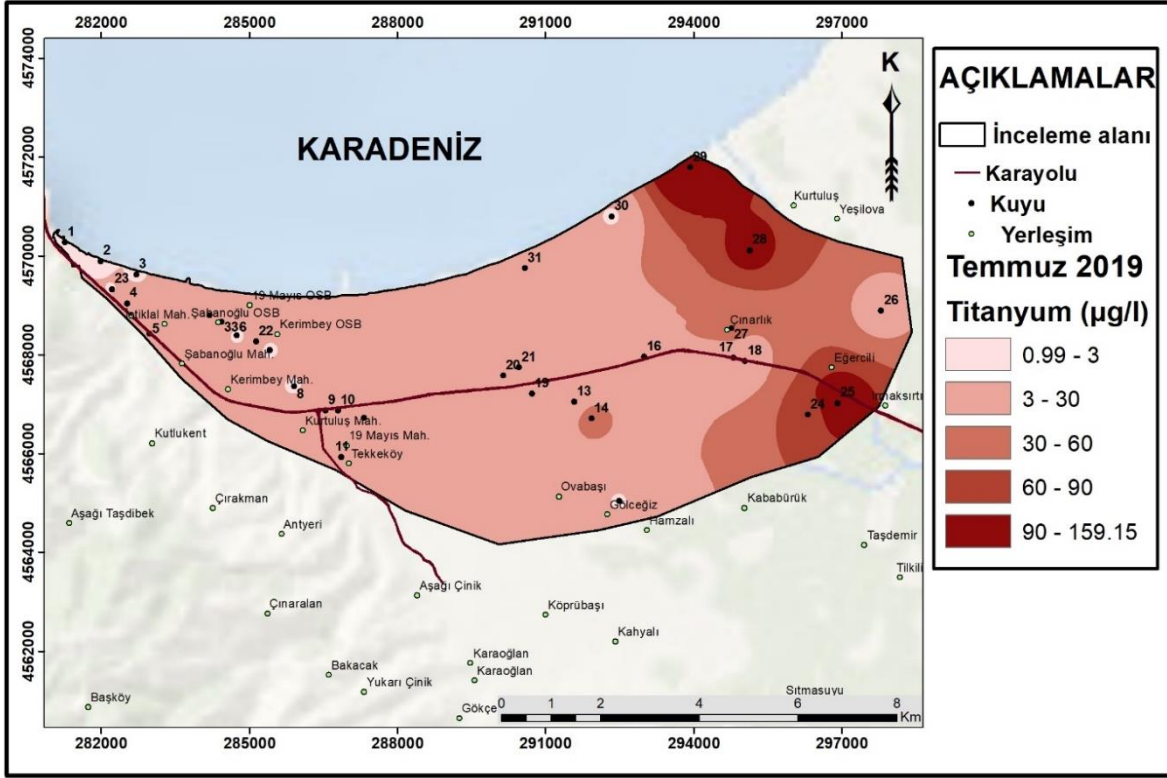
Şekil 35. Temmuz ayında örneklenen suların arsenik konsantrasyonunun dağılım haritası

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre 24, 25, 26 ve 28 nolu kuyular hariç bütün su örneklerinin As değerlerinin standartlar açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33). İnceleme alanında gözlenen yüksek As değerlerinin sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca yüksek arsenik konsantrasyonu fosil yakıtların yanmasından ve tarımsal arazilerde kullanılan pestisitlerden de kaynaklanabilmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %87,88'i ve %6,06'sı, %3,03'ü ve %3,03'ü sırasıyla I., II., III. ve IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).

### 6.6.8. Titanyum

Titanyum, parlak, güçlü, hafif, korozyona karşı dirençli grimsi bir geçiş metalidir. Bu element yer kabuğunda dokuzuncu en bol bulunan elementtir ve dördüncü en bol bulunan metal olup genel olarak volkanik kayalarda ve tortul tabakalarda bulunmaktadır. Titanyum dioksit ( $TiO_2$ ), birçok uygulamada (gıda katkı maddesi, kozmetik, pigmentler), özellikle ultraviyole ışınlarının adsorpsiyon özellikleri ve beyaz renklendirme karakteri için kullanılmaktadır. Bu element yeraltısularında 0,003 ppm ortalama konsantrasyonunda bulunurken deniz suyunda  $Ti^{2+}$  ve  $Ti(OH)_4$  iyon ve molekülleri şeklinde 0,001 ppm ortalama konsantrasyonunda izlenmektedir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanında örneklenen yeraltısularının Ti değerleri 0,98 ile 159,19  $\mu g/l$  arasında değişmektedir (Tablo 33). Şekil 36'da Ti değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yüksek Ti değerleri görülürken batısında ve orta kısmında düşük değerleri izlenmektedir. Yüksek Ti değerleri inceleme alanının kuzeydoğusunda Yalı mahallesinde bulunan 29 nolu kuyuda 159,19  $\mu g/l$ , güneydoğusunda İrmaksırtı mahallesinde bulunan 25 nolu kuyuda 133,28  $\mu g/l$  ve doğusunda Fatih mahallesinde bulunan 28 nolu kuyuda 106,44  $\mu g/l$  gözlenmektedir. Normal yeraltısularında 0,003 ppm ortalama Ti konsantrasyonu bulunurken inceleme alanında örneklenen suların %66,66'sının Ti değerlerinin 3  $\mu g/l$ 'den fazla olduğu görülmektedir. Bu yüksek Ti konsantrasyonu inceleme alanındaki sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları Ti için herhangi sınır belirtmemektedir.



Şekil 36. Temmuz ayında örneklenen suların titanyum konsantrasyonlarının dağılım haritası

### 6.6.9. Alüminyum

Alüminyum, yeryüzünde üçüncü en çok bulunan metaldir. Bu element yer kabuğunda önemli miktarda bulunmasına rağmen çözünürlüğünün az olması nedeniyle, yeraltısularında önemsiz miktarlarda bulunup genellikle konsantrasyonları 0,005-0,3 ppm arasında izlenmektedir. İçme suyundaki alüminyum miktarının limit değeri Dünya Sağlık Örgütü ve TS-266 tarafından 200 µg/l olarak belirlenmişlerdir.

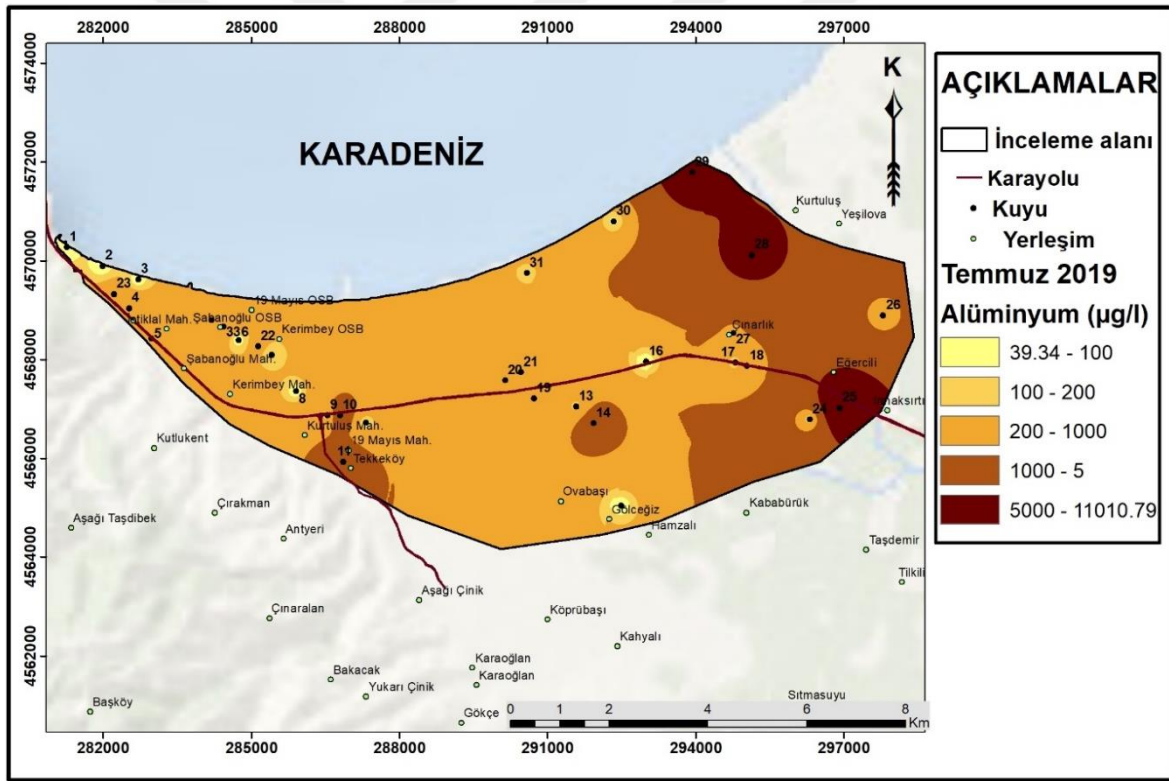
Alüminyum elektrik sanayisinde, inşaat sektöründe, otomobil ve uçak fabrikalarında, trafik işaretleri, dekorasyon, yiyecek paketleri, korozyon dayanıklı laboratuvar aletleri gibi sektörde çeşitli ve yaygın kullanım alanına sahiptir (Aktaş ve Bengisu, 2016).

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Al değerleri 38,94 ile 11014,83 µg/l arasında değişmektedir (Tablo 32). Alüminyum konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda Al yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 37). En yüksek Al konsantrasyonu inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda 11014,83 µg/l, doğusunda Fatih mahallesinde

bulunan 28 nolu kuyuda 9098,83  $\mu\text{g/l}$ , kuzeydoğusunda Yalı mahallesinde bulunan 29 nolu kuyuda 7360,66  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür.

İnceleme alanında gözlenen bu yüksek Al konsantrasyonu sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. Alüminyum miktarı akarsuların taşıdığı süspansiyon nedeniyle kıyılarda fazla olabilmektedir (Şahinci, 1991). En düşük değerleri ise inceleme alanının güneybatısında bulunan 2 nolu kuyuda 38,94  $\mu\text{g/l}$  ve kuzeydoğusunda bulunan 9 nolu kuyuda 44,43  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde örneklenen yeraltısuyu örneklerinin %54,55'inin alüminyum konsantrasyonu açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir (Tablo 33).



Şekil 37. Temmuz ayında örneklenen suların alüminyum konsantrasyonlarının dağılım haritası

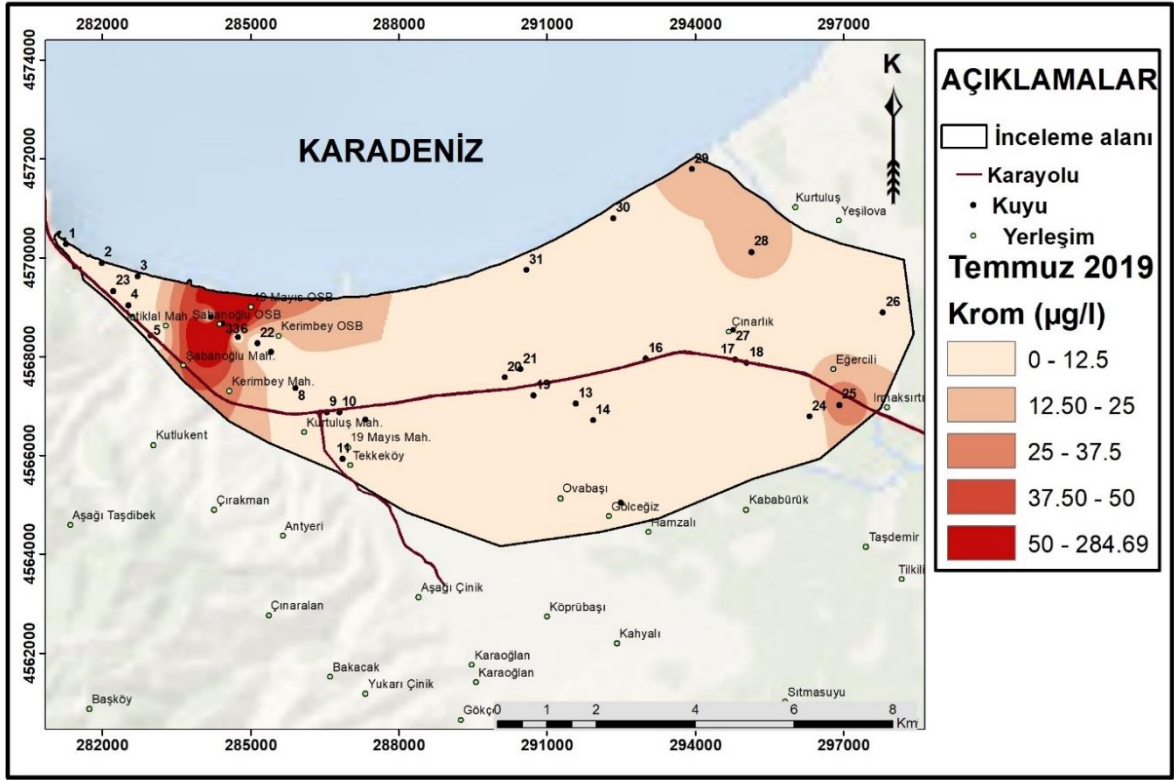
### 6.6.10. Krom

Krom, grimsi-beyaz renkte, kristal yapıda, çok sert, metalik bir kimyasal elementtir. Bu element doğada oksitlenmiş ortamlarda daha çok +6 ve +3 değerliklerinde bulunmaktadır. Yüksek konsantrasyonlu Krom (III) insan vücudunda herhangi bir olumsuz etkisi gözlenmemişken krom (IV) solunması halinde akciğer kanserine sebep olduğu epidemiyolojik çalışmalar neticesinde kanıtlanmıştır (Tuğba, 2015). İçme suyundaki krom miktarının limit değeri TS-266 tarafından 50 µg/l olarak belirlenirken Dünya Sağlık Örgütü standartlarına göre herhangi bir sınır değeri bulunmamaktadır (Tablo 33).

Kromun ortalama konsantrasyonu magmatik kayalarda 100 ppm, şeyllerde 100 ppm, kumtaşlarında 35 ppm, kireçtaşlarında 10 ppm, toprak zeminde 50 ppm ve yüzey sularında 0,001 ppm olarak izlenmektedir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının Cr konsantrasyonu 0 ile 286,54 µg/l arasında değişmektedir. Krom değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının batısında yüksek Cr değerleri görülürken diğer kısımlarda çok düşük değerleri izlenmektedir (Şekil 38). En yüksek Cr değerleri inceleme alanının batısında tıbbi alet fabrikasında bulunan 33 nolu kuyuda 286,54 µg/ olarak ölçülmüştür. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre 33 nolu kuyu hariç bütün su örneklerinin Cr değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir (Tablo 33). 33 nolu kuyuda gözlenen yüksek Cr konsantrasyonu sınır değeri aştığından dolayı kirlenmiş olduğu düşünülmektedir. İnceleme alanında gözlenen yüksek krom konsantrasyonunun sanayi tesisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %90,91'i ve %6,06'sı, %6,06'sı ve %3,03'ü sırasıyla I., II. ve IV. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).



Şekil 38. Temmuz ayında örneklenen suların krom konsantrasyonlarının dağılım haritası

### 6.6.11. Kadmiyum

Kadmiyum, yumuşak ve mavi-beyaz metalik bir elementtir. Genel olarak bu element minerali çinko yataklarının bozunumundan ortaya çıkan kadmiyum iyon tarafından oluşturulup en çok bulunan kadmiyum minerali CdS, CdCO<sub>3</sub> ve CdO'dur. Kadmiyum önemli çevresel kirletici olup bilinen biyolojik fonksiyonu bulunmayan potansiyel olarak toksik bir ağır metaldir. Kayaçlarda Cd konsantrasyonu 0,1 ile 11 mg/kg arasında izlenmektedir (Vig vd., 2003). Kadmiyumun ortalama konsantrasyonu magmatik kayaçlarda 0,2 ppm, şeyllerde 0,2 ppm ve kireçtaşlarında 0,1 ppm olarak izlenmektedir (Şahinci, 1991). Yeraltısularında kadmiyumun konsantrasyonu genel olarak çok düşüktür, ancak antropojenik faaliyetler nedeniyle yeraltısularında yüksek Cd konsantrasyonu izlenilebilmektedir. Endüstriyel atık bertarafı, gübre kullanılması ve arazi üzerindeki kanalizasyon çamuru bertarafı gibi antropojenik faaliyetler toprakta ve gıda ürünlerinde Cd birikmesine de neden olmaktadır (Alloway, 1990; Naidu vd., 1997). İnceleme alanında örneklenen bütün yeraltısuyu örneklerinde kadmiyuma rastlanmamıştır.

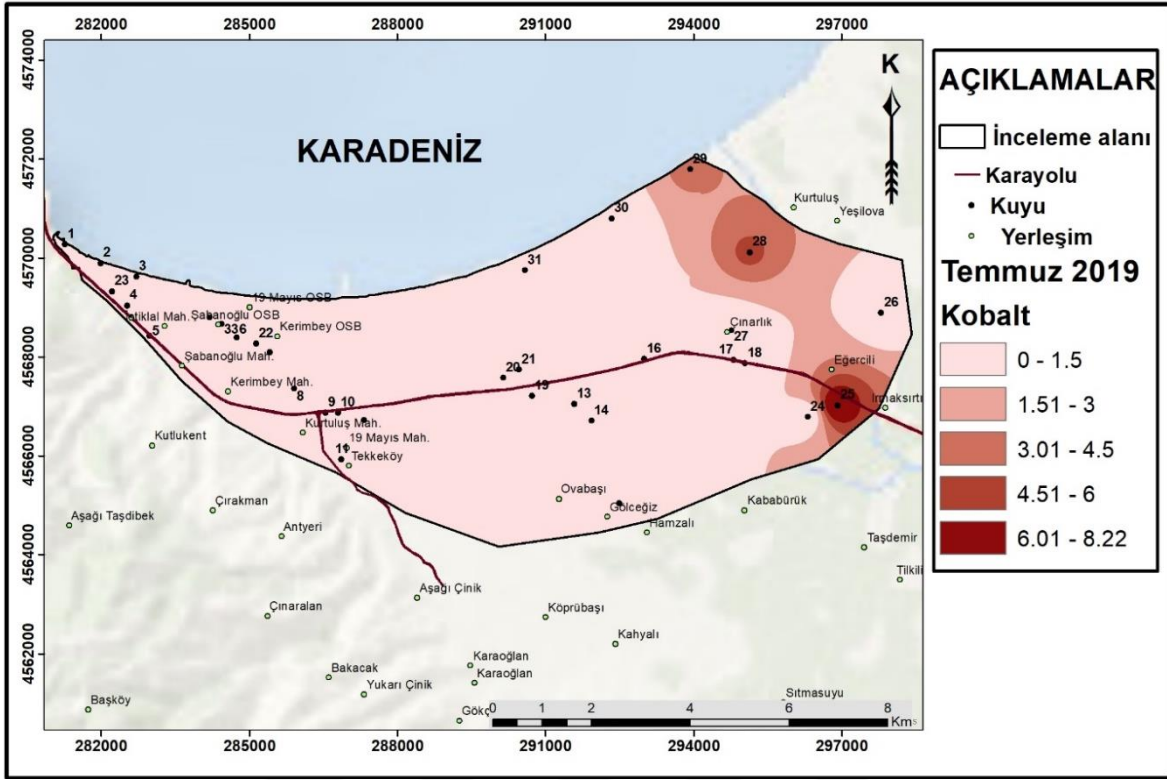
### 6.6.12. Kobalt

Kobalt, kırılğan, demir ve nikel benzeyen metal kimyasal bir elementtir. Bu elementin ortalama konsantrasyonu mafik kayalarda 50 ppm, magmatik kayalarda 25 ppm, şeyllerde 20 ppm, kumtaşlarında 0,3 ppm, kireçtaşlarında 4 ppm ve toprak zeminde 10 ppm olarak izlenmektedir (Şahinci, 1991).

Fosfat gübrelere, fosil yakıtların yanması, atık su çamuru, madencilik ve kobalt bileşiklerini işleyen endüstriler gibi antropojenik faaliyetleri nedeniyle çevre, kobalt açısından kirlenmiş olabilmektedir. Fazla kobalt kültür bitkilerine toksik etki yapıp insanlarda akciğer ve kan şekeri, kolesterol ve yağ düzeylerinde artış, kanser, düşük ve kırsılık gibi hastalıkları meydana getirebilmektedir (Sevinç ve Turgut, 2015). Doğal olarak yüzey ve yeraltısularında kobalt konsantrasyonları düşüktür.

Çalışma alanındaki yeraltısuyu örneklerinin Co değerleri 0 ile 8,22 µg/l arasında değişmektedir. Kobalt değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının güneydoğusu ve kuzeydoğusu hariç bütün alanda çok düşük Co değerleri görülmektedir (Şekil 39). En yüksek Co değeri inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 25 nolu kuyuda gözlenmektedir. Bu bölgede gözlenen yüksek kobalt konsantrasyonunun sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak yüksek Co değerleri Çarşamba ovasındaki çok elverişli olan alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlere de bağlı olabilmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları kobalt için herhangi sınır belirtmemektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin tümü I. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).



Şekil 39. Temmuz ayında örneklenen suların kobalt konsantrasyonlarının dağılım haritası

### 6.6.13. Baryum

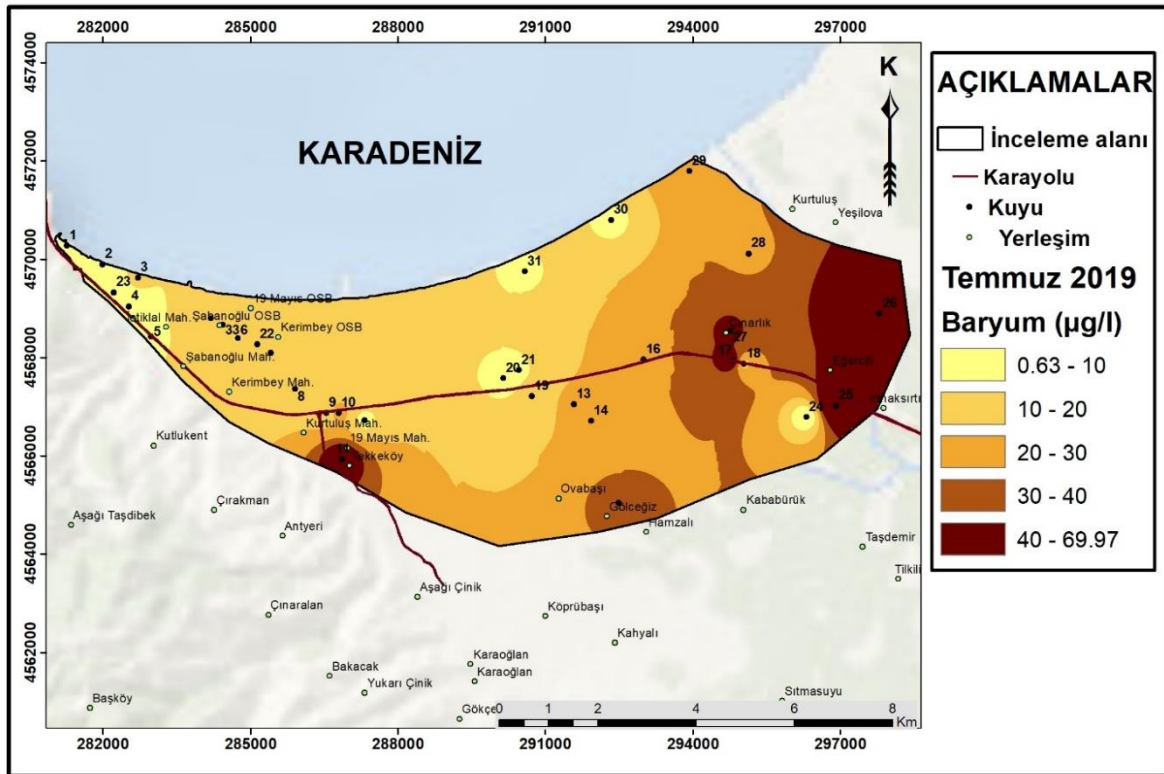
Baryum, gümüş-mavi renkte ve kolay işlenebilen metalik bir kimyasal elementtir. Bu element hem magmatik hem de tortul kayalarda eser element olarak bulunmaktadır. Bu elementin bileşikleri çeşitli endüstriyel uygulamalarda kullanılır; bununla birlikte, sudaki baryum esas olarak doğal kaynaklardan gelmektedir (WHO, 2011). Baryumun ortalama konsantrasyonu gabrolarda 246 ppm, granitlerde 723 ppm, granodiyorit ve kuvarsitlerde 873 ppm, kumtaşlarında 316 ppm, şeyllerde 628 ppm ve karbonatlı kayalarda 90 ppm olarak izlenmektedir. Akarsularda baryumun ortalama konsantrasyonu 0,045 ppm'e kadar bulunmakta doğal sularda çok az bulunmaktadır (Şahinci, 1991).

Baryumun kanserojen veya mutajenik olduğuna dair bir kanıt yoktur. Ancak bu elementin hayvanlarında böbrek hastalığına neden olduğu gösterilip insanlarda en ciddi endişenin hipertansiyona neden olma potansiyeli olduğu görülmektedir (WHO, 2011). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı baryum için herhangi bir sınır belirlemezken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartları Ba üst sınır değerini 700 µg/l olarak belirlemiştir.



Örneklenen yeraltısuyu örneklerinin baryum değerleri 0,63 ile 69,98  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Baryum konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda Ba içeriklerinin yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 40). Gözlenen yüksek Ba değerleri inceleme alanının doğusunda bulunan sanayi tesislerinden kaynaklanmaktadır. En yüksek Ba konsantrasyonu inceleme alanının doğusunda bulunan 26 nolu kuyuda 69,98  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. En düşük değeri ise inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 24 nolu kuyuda izlenmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde örneklenen tüm yeraltısuyu örneklerinin baryum değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin tümü I. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).



Şekil 40. Temmuz ayında örneklenen suların baryum konsantrasyonlarının dağılım haritası

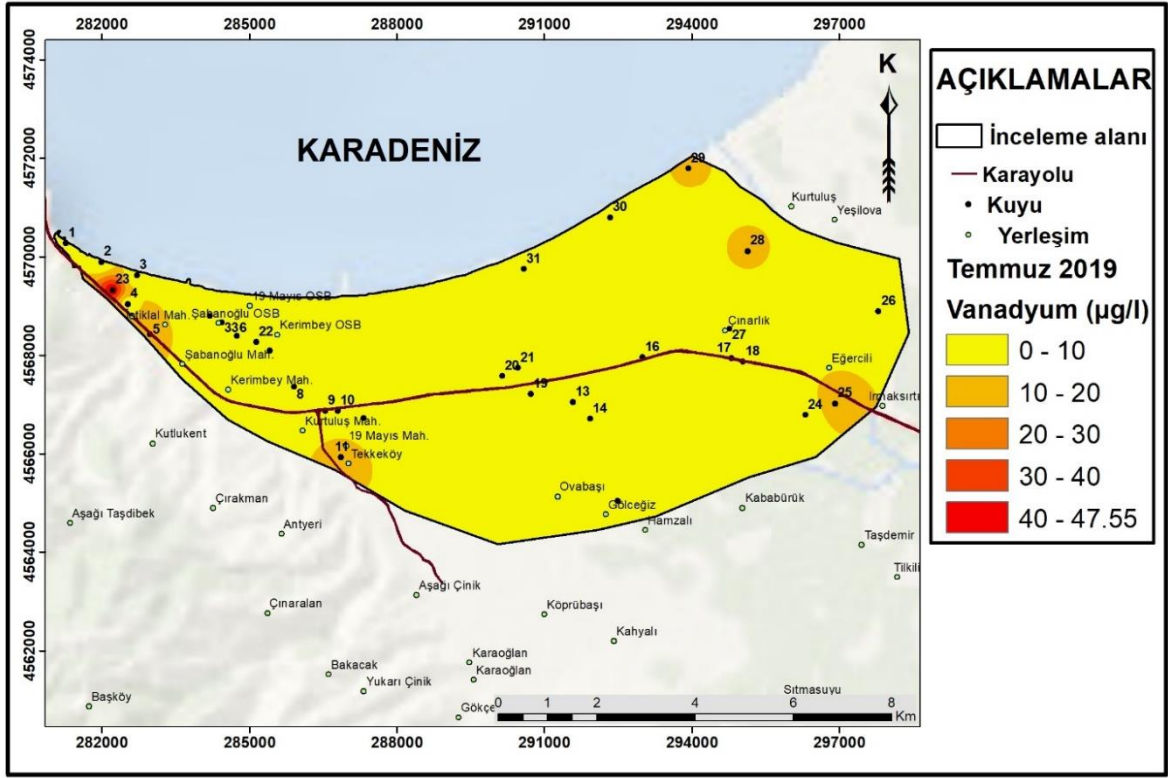
#### 6.6.14. Vanadyum

Vanadyum, dünyada en bol bulunan elementler arasında 22. sırada yer almaktadır. Bu element doğada  $V^{+2}$ ,  $V^{+3}$  ve  $V^{+5}$  değerlikte bulunup en çok rastlanan  $V^{+3}$ 'tür. Vanadyumun yer kabuğunda ortalama konsantrasyonu 135 ppm olup kumtaşlarında ve karbonatlı kayalarda 20 ppm, şeyllerde 130 ppm, granitlerde 3-310 ppm arasında, siyenitlerde 7-300 ppm arasında ve zeminde 80 ppm olarak izlenmektedir (Şahinci, 1991).

Vanadyum, çevrede doğal kökenli olabildiği gibi antropojenik kökenli de olabilmektedir. Bu element demir metalürji endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Metalürjik tesislerden de kaynaklanan sıvı atıklar ve yıkama sularında litrede vanadyum konsantrasyonu birkaç yüz miligram olabilmektedir. Vanadyum ile zenginleştirilmiş fosil yakıtların ham petrol şeklinde yanması da günümüzde atmosfere önemli miktarda antropojenik vanadyum emisyonu kaynağıdır. Yeraltısularındaki vanadyum genellikle vanadyum açısından zengin kayaların veya endüstriyel proseslerden atık akımlarının çözülmesinden kaynaklanmaktadır (Wright ve Kenneth, 2009).

Çalışma alanındaki yeraltısularının vanadyum değerleri 0 ile 47,63  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Vanadyum değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının yaklaşık tümünde çok düşük V değerleri görülmektedir (Şekil 41). En yüksek vanadyum değeri inceleme alanının güneybatısında petrol ofisinde bulunan 23 nolu kuyuda gözlenmektedir. Yüksek V konsantrasyonu endüstriyel proseslerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak inceleme alanında gözlenen V konsantrasyonu alüvyonlardan da kaynaklanabilmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları vanadyum için herhangi bir sınır değer belirtmemektedir.



Şekil 41. Temmuz ayında örneklenen suların vanadyum konsantrasyonlarının dağılım haritası

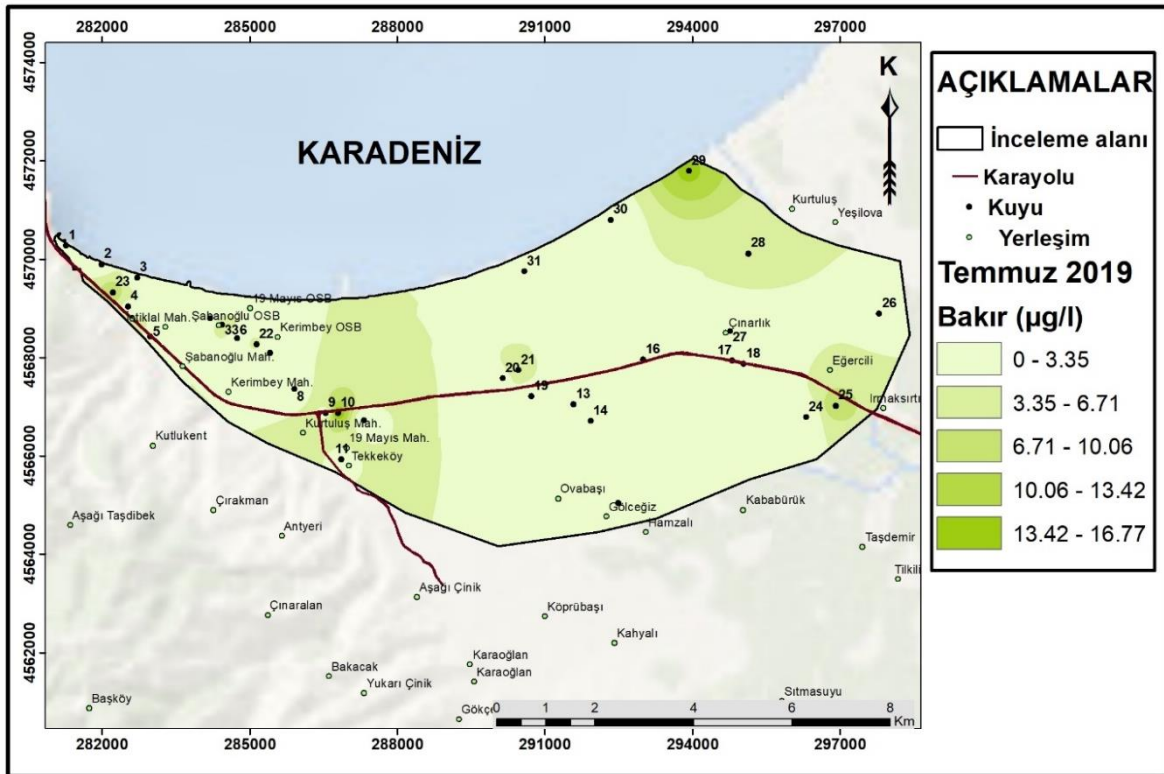
### 6.6.15. Bakır

Bakır, yer kabuğunda 0,01% oranında bulunan bir kimyasal elementtir. Bu element daha çok mafik kayalarda bulunup ortalama konsantrasyonu kireçtaşlarda 15 ppm, şeyllerde 50 ppm, kumtaşlarda 10 ppm ve toprak zeminde 20 ppm olarak izlenmektedir. Bakır doğada  $Cu^0$ ,  $Cu^+$  ve  $Cu^{+2}$  değerlikte bulunup magmatik ve metamorfik olaylarda oksijenin sınırlı olması nedeniyle en çok rastlanan  $Cu^+$  olarak izlenmektedir. Ancak doğal sularda  $Cu^{++}$  iyonu  $Cu^0$  ve  $Cu^+$  iyonlardan daha çoktur (Şahinci, 1991).

Bu elementin çok önemli özelliklerine sahip olup bu özelliklerinden yüksek elektrik ve ısı iletkenliği, aşınmaya karşı direnci maddeden çekilebilme ve dövülebilme özelliği antikorozyon özellikleri sayılabilmektedir. Bakır, inşaatta, ulaşım makina ve teçhizatında, elektrik üretim ve iletimi ile ilgili tesislerde gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları Cu üst sınır değerini 2 mg/l olarak belirlemiştir.

Çalışma alanında alınan yeraltısuyu örneklerinin bakır değerleri 0 ile 16,89  $\mu\text{g/l}$  arasında değişmektedir. Bakır konsantrasyonunun dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının büyük kısmında bulunan kuyularda çok düşük Cu değerleri görülmektedir. İnceleme alanının kuzeydoğusunda ve batısında orta kesimlere yakın Cu yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 42). En yüksek bakır değeri inceleme alanının güneybatısında Tekkeköy merkezinde bulunan 10 nolu kuyuda 16,89  $\mu\text{g/l}$  olarak ölçülmüştür. Yüksek Cu değerleri inceleme alanında yapılan tarımsal faaliyetlerde kullanılan ilaçlardan kaynaklanabilmektedir. Ayrıca sanayi atık sularından, alg ile mücadele programı çevresinde rezervuarlara atılan bakır sülfattan da kaynaklanmış olabilmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde örneklenen tüm yeraltısuyu örneklerinin bakır değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin tümü I. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).



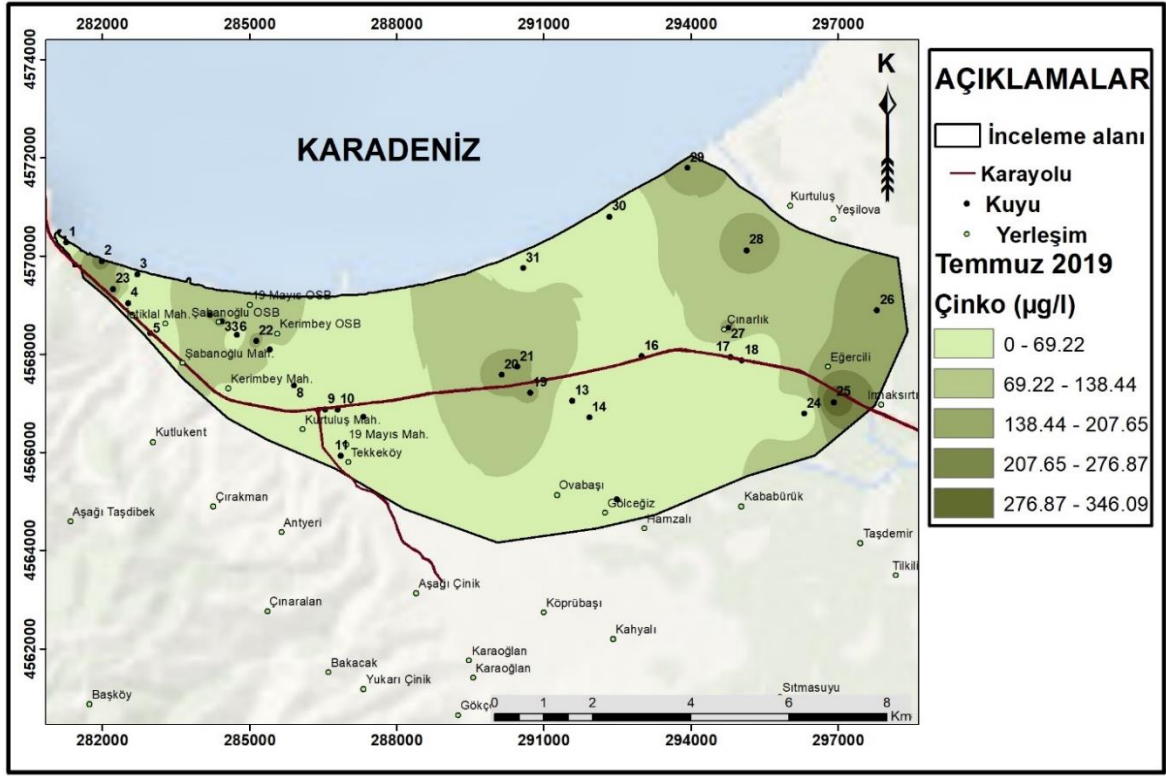
Şekil 42. Temmuz ayında örneklenen suların bakır konsantrasyonlarının dağılım haritası

### 6.6.16. Çinko

Çinko, doğada en çok bulunan elementler arasında 23. Sıradadır. Bu elementin temel cevherleri sfalerit ve wurtzit gibi sülfürlerdir. Çinko daha çok bazik ve ultrabazik kayalarında bulunup ortalama konsantrasyonu magmatik kayalarda 70 ppm, kireçtaşlarında 20 ppm ve şeyllerde 120 ppm olarak izlenmektedir. Bu element kuru pil yapımında, kauçuk, boya, seramik, tekstil, eczacılık, kimya sanayinde gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır (Şahinci, 1991). Doğal yüzey sularında, çinko konsantrasyonu genellikle 0,010 mg /l' den az olup yeraltısularında bu konsantrasyonu 0,010 ve 0,040 mg /l arasında değişmektedir (Batayneh, 2012). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standardı Zn için herhangi bir sınır belirlemezken Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları Zn üst sınır değerini 3 mg/l olarak belirlemiştir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin çinko konsantrasyonu 0 ile 346,21 µg / l arasında değişmektedir. Zn değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda ve güney ve kuzey-doğusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 43). En yüksek Zn değerleri inceleme alanının güneydoğusunda Irmaksırtı mahallesinde bulunan 25 nolu kuyuda 346,21 µg/l ve güneybatısında Çaykur işletme fabrikasında bulunan 2 nolu kuyuda 242,6 µg/l olarak ölçülmüştür. İnceleme alanında gözlenen yüksek Zn konsantrasyonlarının sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre incelenen bütün su örneklerinin Zn değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısuyu örneklerinin %93,94'ü ve %6,06'sı sırasıyla I. ve II. sınıflar kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır (Tablo 33).



Şekil 43. Temmuz ayında örneklenen suların çinko konsantrasyonlarının dağılım haritası

Tablo 32. Temmuz ayında örneklenen suların iz element analiz sonucu

| Kuyu No | Ağır metaller (µg/l) |      |      |      |       |         |      |       |
|---------|----------------------|------|------|------|-------|---------|------|-------|
|         | Ni                   | B    | Pb   | Mo   | Se    | Mn      | As   | Ti    |
| 1       | 8,07                 | 0,23 | 0    | 1,25 | 0,3   | 325,21  | 0,85 | 1,98  |
| 2       | 4,25                 | 0,2  | 0    | 0,48 | 0     | 2,85    | 0    | 0,98  |
| 3       | 2,79                 | 0,25 | 0    | 1,84 | 0     | 87,37   | 4,32 | 1,72  |
| 4       | 3,4                  | 0,24 | 0    | 1,17 | 0     | 83,41   | 0,73 | 12,21 |
| 5       | 5,99                 | 0,23 | 0,65 | 0,51 | 1,46  | 20,15   | 0    | 13,55 |
| 6       | 4,38                 | 0,26 | 0    | 1,12 | 0,64  | 181,78  | 2,22 | 1,54  |
| 7       | 4,96                 | 0,27 | 0    |      | 0,82  | 41,99   | 2,16 | 2,31  |
| 8       | 3,61                 | 0,22 | 0    | 6,13 | 0     | 256,17  | 2,05 | 2,06  |
| 9       | 3,72                 | 0,19 | 0    | 0,39 | 0     | 487,38  | 0    | 2,28  |
| 10      | 13,91                | 0,15 | 1,73 | 0,38 | 0     | 1469,68 | 0,9  | 29,08 |
| 11      | 5,23                 | 0,18 | 0,62 | 1,02 | 0,56  | 323,26  | 0    | 26,39 |
| 12      | 3,25                 | 0,14 | 0    |      | 0,55  | 196,78  | 0    | 2,62  |
| 13      | 6,68                 | 0,67 | 0    | 0,58 | 10,29 | 454,74  | 6,05 | 5,58  |
| 14      | 11,3                 | 0,26 | 0,36 | 0,43 | 2,64  | 451,91  | 4,27 | 43,65 |
| 15      | 2,23                 | 0,15 | 0    | 1,54 | 0     | 115,04  | 0    | 2,35  |
| 16      | 2,59                 | 0,32 | 0    | 0,6  | 1,52  | 332,23  | 8,6  | 3,6   |
| 17      | 4,62                 | 0,2  | 0    | 0    | 0     | 639,37  | 0,36 | 4,51  |
| 18      | 10,53                | 0,19 | 0    | 0    | 0     | 1036,13 | 3,5  | 12,87 |
| 19      | 6,35                 | 0,27 | 0    | 1,35 | 2,31  | 396,41  | 2,26 | 14,6  |
| 20      | 6,86                 | 0,18 | 0    | 0,31 | 0,36  | 181,21  | 0    | 6,73  |
| 21      | 7,62                 | 0,16 | 0    | 0    | 0,62  | 79,09   | 2,68 | 3,01  |
| 22      | 7,74                 | 0,42 | 0    | 3,03 | 2,2   | 488,9   | 6,67 | 4,03  |
| 23      | 4,76                 | 0,47 | 0    | 1,26 | 0,65  | 92,03   | 1,3  | 2,5   |

Tablo 32'nin devamı

| Kuyu No | Ağır metaller (µg/l) |        |      |      |       |         |        |        |
|---------|----------------------|--------|------|------|-------|---------|--------|--------|
|         | Ni                   | B      | Pb   | Mo   | Se    | Mn      | As     | Ti     |
| 24      | 63,61                | 0,67   | 0    | 5,3  | 3,27  | 27,8    | 113,61 | 70,45  |
| 25      | 63,61                | 0,23   | 2,8  | 0    | 1,3   | 1446,58 | 22,5   | 133,28 |
| 26      | 7,53                 | 0,31   | 0    | 0    | 1,91  | 255,55  | 23,56  | 12,57  |
| 27      | 10,42                | 0,18   | 0    | 0    | 0     | 761,01  | 0      | 45,03  |
| 28      | 27,6                 | 0,39   | 2,12 | 0,66 | 2,44  | 538,82  | 78,7   | 106,44 |
| 29      | 33,94                | 0,17   | 1,43 | 0    | 0     | 202,81  | 1,54   | 159,19 |
| 30      | 2,83                 | 0,18   | 0    | 1,02 | 0     | 34,86   | 2,78   | 1,29   |
| 31      | 4,23                 | 0,21   | 0,38 | 0,83 | 0     | 299,85  | 9,6    | 3,09   |
| 32      | 8,59                 | 0,30   | 0    | 2,74 | 0,62  | 237,55  | 4,45   | 3,81   |
| 33      | 20,88                | 0,42   | 0    | 1,99 | 0     | 7,46    | 3,76   | 15,55  |
| Kuyu No | Ağır metaller (µg/l) |        |      |      |       |         |        |        |
|         | Al                   | Cr     | Cd   | Co   | Ba    | V       | Cu     | Zn     |
| 1       | 59,83                | 0      | 0    | 0    | 5,5   | 2,05    | 1,57   | 13,77  |
| 2       | 38,94                | 0      | 0    | 0    | 8,51  | 0       | 1,02   | 242,6  |
| 3       | 45,25                | 0      | 0    |      | 12,8  | 0       | 1,08   | 0      |
| 4       | 605,5                | 0      | 0    | 0,36 | 4,94  | 5,69    | 2,73   | 2,82   |
| 5       | 616,14               | 0      | 0    |      | 8,14  | 16,44   | 3,34   | 0      |
| 6       | 46,81                | 0      | 0    |      | 9,28  | 1,02    | 2,98   | 0      |
| 7       | 85,89                | 0      | 0    | 0,31 | 15,36 | 0,89    | 0,94   | 55,33  |
| 8       | 50                   | 0      | 0    |      | 11,71 | 1,59    | 1,04   | 0      |
| 9       | 44,43                | 0      | 0    |      | 13,13 | 1,46    | 1,27   | 0      |
| 10      | 2286,44              | 3,84   | 0    | 1,44 | 23,13 | 5,86    | 16,89  | 25,57  |
| 11      | 1920,62              | 2,82   | 0    | 0,57 | 60,04 | 18,88   | 2,42   | 0      |
| 12      | 48,01                | 0      | 0    | 0    | 6,59  | 3,71    | 0,61   | 0      |
| 13      | 136,55               | 0      | 0    | 0    | 23,3  | 0,44    | 0,46   | 33,3   |
| 14      | 2005,41              | 6,17   | 0    | 1,39 | 26,38 | 3,02    | 1,48   | 0      |
| 15      | 55,99                | 0      | 0    | 0    | 35,34 | 4,54    | 2,15   | 0      |
| 16      | 51,68                | 0      | 0    | 0    | 28,68 | 0       | 0,47   | 0      |
| 17      | 47,74                | 0      | 0    | 0    | 51,29 | 0       | 0,36   | 0      |
| 18      | 631,15               | 1,92   | 0    | 0,49 | 15,96 | 1,31    | 1,2    | 2,93   |
| 19      | 864,06               | 1,52   | 0    | 0    | 11,01 | 0,9     | 2,35   | 149,79 |
| 20      | 509,81               | 0,4    | 0    | 0    | 6,42  | 0,52    | 2,53   | 160,46 |
| 21      | 300,88               | 0      | 0    | 0    | 9,11  | 0       | 4,85   | 151,87 |
| 22      | 296,54               | 0      | 0    | 0    | 15,4  | 0,45    | 3,65   | 179,86 |
| 23      | 313,02               | 0      | 0    | 0    | 1,26  | 47,63   | 10,02  | 184,43 |
| 24      | 44,93                | 0      | 0    | 0    | 0,63  | 0       | 0      | 0      |
| 25      | 11014,83             | 37,19  | 0    | 8,22 | 68,63 | 18,37   | 8,63   | 346,21 |
| 26      | 676,72               | 0,68   | 0    | 0    | 69,98 | 1,15    | 2,4    | 167,14 |
| 27      | 927,36               | 3,21   | 0    | 0,56 | 42,73 | 2,29    | 1,86   | 152,76 |
| 28      | 7098,83              | 17,85  | 0    | 4,96 | 27,49 | 11,95   | 5,08   | 164,35 |
| 29      | 7360,66              | 22,39  | 0    | 3,43 | 27,77 | 11,07   | 14,02  | 166,28 |
| 30      | 79,42                | 0      | 0    | 0    | 7,45  | 1,57    | 0,82   | 0      |
| 31      | 160,17               | 0      | 0    | 0    | 8,42  | 0,6     | 0,59   | 57,34  |
| 32      | 332,64               | 0      | 0    | 0,65 | 16,1  | 0,37    | 1,85   | 141,78 |
| 33      | 587,28               | 286,54 | 0    | 1,52 | 20,13 | 1,62    | 4,22   | 152,63 |

Tablo 33. KİSKKY, DSÖ ve TS-266 standartlarına göre Temmuz ayında örneklenen suların iz elementlerinin değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 (örnek sayısı: 33) |        |       |      |       |                                            |       |          |      |           |      |          |      |
|--------------------------------|--------|-------|------|-------|--------------------------------------------|-------|----------|------|-----------|------|----------|------|
| Ağır metaller                  | TS-266 |       | WHO  |       | Kıta İçi Su Kaynaklarının Sınıflarına göre |       |          |      |           |      |          |      |
|                                | Sayı   | Oran  | Sayı | Oran  | Sınıf I                                    |       | Sınıf II |      | Sınıf III |      | Sınıf IV |      |
|                                |        |       |      |       | Sayı                                       | Oran  | Sayı     | Oran | Sayı      | Oran | Sayı     | Oran |
| Ni                             | 28     | 84,84 | 28   | 84,84 | 28                                         | 84,84 | 3        | 9,09 | 2         | 6,06 | 0        | 0    |
| B                              | 33     | 100   |      |       | 33                                         | 100   | 33       | 100  | 33        | 100  | 0        | 0    |
| Pb                             | 33     | 100   |      |       | 33                                         | 100   | 0        | 0    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Mo                             |        |       | 33   | 100   |                                            |       |          |      |           |      |          |      |
| Se                             | 32     | 96,97 | 32   | 96,97 | 32                                         | 96,97 | 1        | 3,03 | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Mn                             | 6      | 18,18 | 4    | 12,12 | 10                                         | 30,3  | 17       | 51,5 | 6         | 18,2 | 0        | 0    |
| As                             | 29     | 87,88 | 29   | 87,88 | 29                                         | 87,88 | 2        | 6,06 | 1         | 3,03 | 1        | 3,03 |
| Al                             | 15     | 45,45 | 15   | 45,45 |                                            |       |          |      |           |      |          |      |
| Cr                             | 32     | 96,97 |      |       | 30                                         | 90,91 | 2        | 6,06 | 0         | 0    | 1        | 3,03 |
| Cd                             | 33     | 100   | 33   | 100   | 33                                         | 100   | 0        | 0    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Co                             |        |       |      |       | 33                                         | 100   | 0        | 0    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Ba                             |        |       | 33   | 100   | 33                                         | 100   | 0        | 0    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Cu                             | 33     | 100   | 33   | 100   | 33                                         | 100   | 0        | 0    | 0         | 0    | 0        | 0    |
| Zn                             |        |       | 33   | 100   | 31                                         | 93,94 | 2        | 6,06 |           | 0    | 0        | 0    |

#### 6.6.17. Yeraltısuların Ağır Metal Kirliliği ve Değerlendirme İndeksleri (HPI ve HEI)

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının kirlilik seviyelerini belirlemek için ağır metal kirliliği indeksi (HPI) ve ağır metal değerlendirme indeksi (HEI) hesaplanmıştır. Ağır metal kirliliği indeksi ve ağır metal değerlendirme indeksi yöntemleri, yüzey ve yeraltısularının ağır metal içeriklerine göre kalitesini değerlendirmek için kullanılan en etkili yöntemlerden biridir (Mohan vd., 1996; Sobhanardakani, 2006). Bu çalışmada ağır metal kirliliği ve değerlendirme indekslerinin hesaplanmasında As, Zn, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, B, Mo, Se ve Al elementleri kullanılmıştır. Kobalt, baryum ve vanadyum elementleri için herhangi bir sınır değerleri olmadığından dolayı HPI ve HEI hesaplamasında kullanılmamıştır.

Ağır metal kirliliği indeksi, seçilen her metalin su kalitesi açısından önemine göre bir ağırlık ( $W_i$ ) değeri atanmasından oluşmaktadır. Bu ağırlık değeri, dikkate alınan her bir parametrenin önemine bağlı olarak 0 ile 1 arasında değişmektedir. Ağırlık değeri, her parametre için sulara önerilen standart değeri ile ters orantılıdır (Horton, 1965; Mohan vd., 1996). Ağır metal kirliliği değeri aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenebilmektedir.



$$HPI = \frac{\sum_{i=1}^n W_i * Q_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (11)$$

Burada  $W_i$  her bir metalin birim ağırlığını,  $n$  toplam metal sayısını ve  $Q_i$  her bir metalin alt indeksini temsil etmektedir. Her bir ağır metalin birim ağırlık değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$W_i = \frac{K}{S_i} \quad (12)$$

Burada  $K$  orantılılık sabit değeri ve  $S_i$  her metal için belirlenen sınır değeri temsil etmektedir. Her bir metalin alt indeks değerini hesaplamak için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$Q_i = \sum_{i=1}^n \frac{|M_i - I_i|}{S_i - M_i} * 100 \quad (13)$$

burada  $M_i$  her metal için ölçülen konsantrasyon değeri,  $I_i$  suda her metalin ideal değeri ve  $S_i$  her metalin kabul edilen standart değeri temsil etmektedir. Bu çalışmada her bir metalin ideal değeri sıfır olarak kabul edilmektedir.

Ağır metal değerlendirme indeksi'nin belirlenmesinde ise aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$HEI = \sum_{i=1}^1 \frac{H_c}{H_{mac}} \quad (14)$$

Burada  $H_c$  her metal için ölçülen konsantrasyon değeri ve  $H_{mac}$  her metal için sularda kabul edebilen maksimum değeri temsil etmektedir. Bu çalışmada her metal için sularda kabul edilen maksimum değerler İnsani Tüketim Amaçlı standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarında tanımlanan değerler kullanılmıştır. İnceleme alanında

Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağır metal kirliliği ve değerlendirme indeksleri Tablo 34’te verilmiştir.

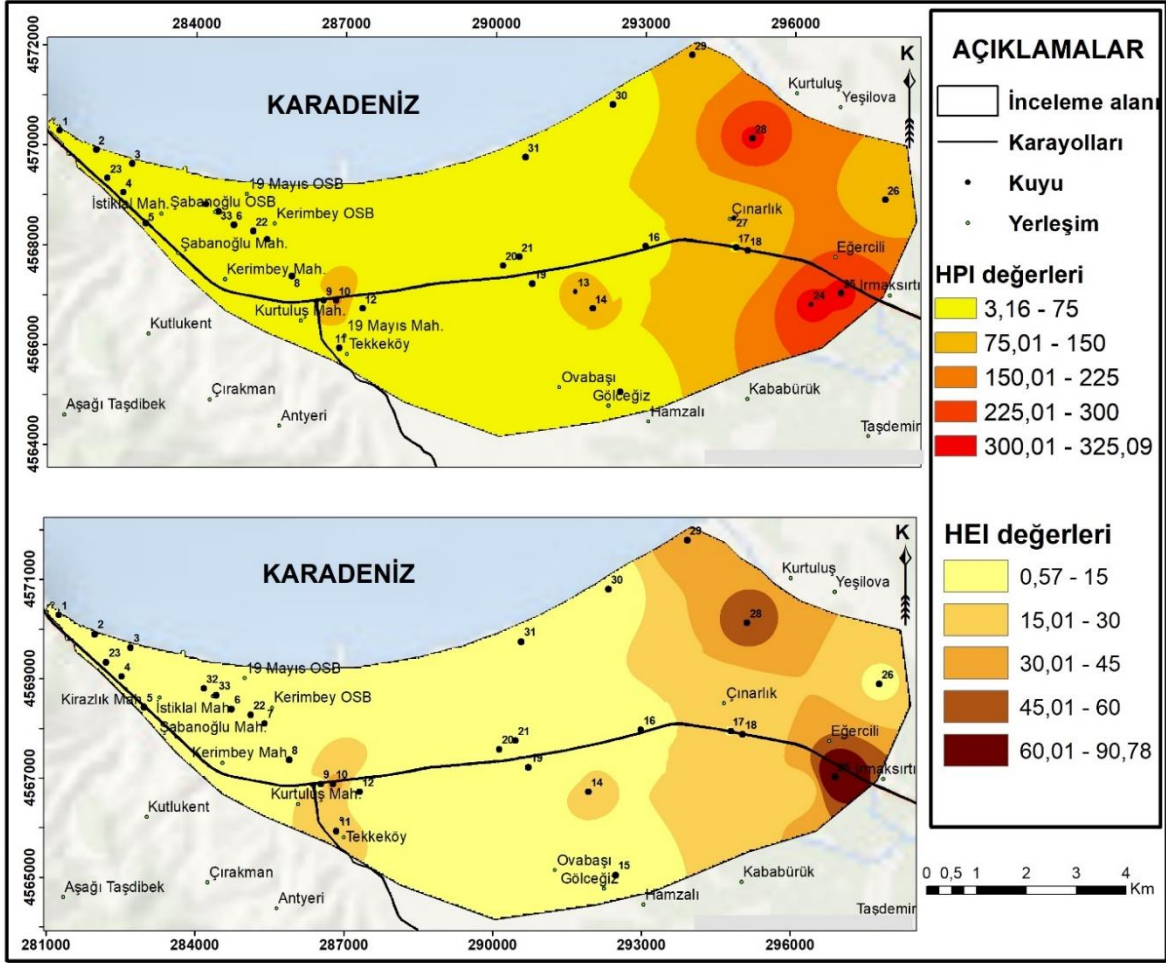
Tablo 34. Temmuz ayında örneklenen yeraltı sularının HPI ve HEI değerleri

| Kuyu No         | $\sum W_i$ | $\sum W_i Q_i$ | HPI    | HEI   |
|-----------------|------------|----------------|--------|-------|
| 1               | 0,41       | 16,35          | 39,64  | 7,35  |
| 2               | 0,41       | 1,29           | 3,12   | 0,56  |
| 3               | 0,41       | 8,67           | 21,01  | 2,59  |
| 4               | 0,41       | 6,46           | 15,65  | 4,97  |
| 5               | 0,41       | 5,97           | 14,46  | 4,02  |
| 6               | 0,41       | 11,37          | 27,56  | 4,41  |
| 7               | 0,41       | 6,12           | 14,83  | 1,86  |
| 8               | 0,41       | 13,45          | 32,61  | 5,86  |
| 9               | 0,41       | 20,55          | 49,81  | 10,18 |
| 10              | 0,41       | 70,78          | 171,56 | 41,92 |
| 11              | 0,41       | 20,37          | 49,36  | 16,61 |
| 12              | 0,41       | 9,36           | 22,68  | 4,40  |
| 13              | 0,41       | 36,56          | 88,62  | 11,80 |
| 14              | 0,41       | 33,45          | 81,07  | 20,53 |
| 15              | 0,41       | 5,34           | 12,94  | 2,77  |
| 16              | 0,41       | 24,20          | 58,67  | 8,09  |
| 17              | 0,41       | 27,22          | 65,98  | 13,37 |
| 18              | 0,41       | 49,24          | 119,35 | 24,82 |
| 19              | 0,41       | 24,27          | 58,82  | 13,14 |
| 20              | 0,41       | 10,62          | 25,75  | 6,63  |
| 21              | 0,41       | 9,12           | 22,12  | 3,86  |
| 22              | 0,41       | 31,17          | 75,55  | 12,66 |
| 23              | 0,41       | 7,63           | 18,50  | 3,93  |
| 24              | 0,41       | 134,12         | 325,09 | 15,73 |
| 25              | 0,41       | 129,41         | 313,68 | 90,81 |
| 26              | 0,41       | 39,31          | 95,29  | 11,59 |
| 27              | 0,41       | 35,50          | 86,06  | 20,56 |
| 28              | 0,41       | 130,19         | 315,59 | 56,44 |
| 29              | 0,41       | 38,87          | 94,23  | 43,40 |
| 30              | 0,41       | 5,10           | 12,37  | 1,54  |
| 31              | 0,41       | 23,45          | 56,84  | 8,05  |
| 32              | 0,41       | 17,61          | 42,69  | 7,46  |
| 33              | 0,41       | 22,25          | 53,94  | 10,35 |
| En düşük değer  |            | 3,12           |        | 0,56  |
| En yüksek değer |            | 325,09         |        | 90,81 |
| Ortalama değer  |            | 75,32          |        | 14,92 |

Bu tablo incelendiğinde örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağır metal kirlilik indeks değerleri 3,12 ve 325,09 arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek HPI değerleri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 24 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük değeri ise inceleme alanının güneybatısında bulunan 2 nolu kuyuda görülmektedir. Suların en kritik HPI değeri 100 olarak kabul edilmektedir. Bu kritik değere göre suların HPI değerleri değerlendirildiğinde inceleme alanında örneklenen suların yaklaşık %85'inin kritik değerin altında olduğu görülmektedir. Yeraltısuyu örneklerinin ortalama HEI ve HPI değerlerin katları kullanılarak yüksek, orta ve düşük kirlilik seviyeleri olmak üzere 3 sınıfa ayrılabilir (Edet ve Offiong, 2002; Prasanna vd., 2012). Böylece örneklerin ortalama HPI değerine göre oluşturulan 3 grup Tablo 35'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde örneklerin %66,66'sı, %21,22'si ve 12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir. Ağır metal indeks değerlerinin dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yüksek HPI değerleri görülürken batısında ve orta kısmında düşük değerler izlenmektedir (Şekil 44). Suların değerlendirme indeks değerleri ise 0,51 ile 90,81 arasında değişmektedir. En yüksek HEI değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük değer ise inceleme alanının güneybatısında bulunan 2 nolu kuyuda görülmektedir. Tablo 35 incelendiğinde örneklerin %72,73'ü, %15,15'i ve %12,12'sinin sırasıyla düşük, orta ve yüksek kirlilik seviye sınıflarına düştüğü görülmektedir. Ağır metal değerlendirme indeksinin dağılım haritasına da bakıldığında yüksek HEI değerlerinin inceleme alanının doğusunda, güneydoğusunda ve kuzeydoğusunda yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 44).

Tablo 35. Yeraltısularının kirlilik seviyelerine göre sınıflandırılması

| <b>Kirlilik indeksleri</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kirlilik seviyesi</b> | <b>Örnek sayısı</b> | <b>Örneklerin oranı (%)</b> |
|----------------------------|--------------|--------------------------|---------------------|-----------------------------|
| <b>HPI</b>                 | < 75         | Düşük                    | 22                  | 66,66                       |
|                            | 75 - 150     | Orta                     | 7                   | 21,22                       |
|                            | > 150        | Yüksek                   | 4                   | 12,12                       |
| <b>HEI</b>                 | < 15         | Düşük                    | 24                  | 72,73                       |
|                            | 15 - 30      | Orta                     | 5                   | 15,15                       |
|                            | > 30         | Yüksek                   | 4                   | 12,12                       |

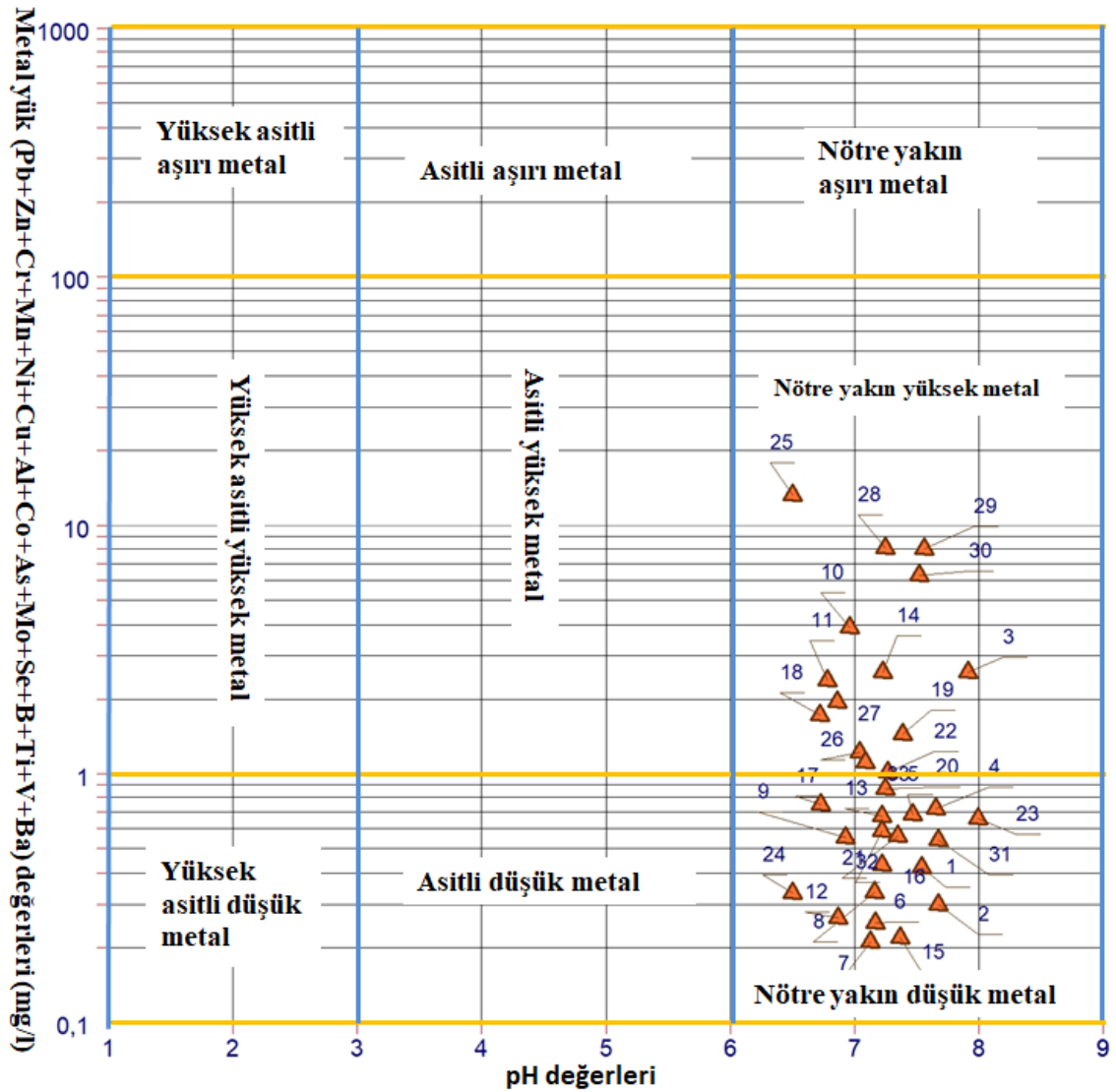


Şekil 44. Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının HPI ve HEI değerlerinin dağılım haritası

### 6.6.18. Ficklin-Caboi Diyagramına Göre Yeraltısularının Sınıflandırılması

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağır metal içeriklerine göre sınıflandırılması için Ficklin-Caboi diyagramı kullanılmıştır. Bu yöntem ilk olarak Ficklin (1992) daha sonra Caboi (1999) tarafından geliştirilmiştir. Bu diyagram suların pH değerleri dikey eksen ve metal yük değerleri yatay eksende yerleştirilerek oluşturmaktadır. Ficklin-Caboi diyagramında pH ve metal yük değerlerine göre sular yüksek asitli aşırı metal, asitli aşırı metal, nötre yakın aşırı metal, yüksek asitli yüksek metal, asitli yüksek metal, nötre yakın yüksek metal, yüksek asitli düşük metal, asitli düşük metal ve nötre yakın düşük metal sınıfları olmak üzere 9 farklı sınıfa ayrılmaktadır. Metal yük değeri, her su örneğinin içerdiği farklı metallerin konsantrasyonlarının toplanmasıyla belirlenmektedir. İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örnekleri Ficklin-Caboi diyagramı üzerine

yerleştirildiğinde, örneklerin %45,45'i ve %54,55'inin sırasıyla “nötre yakın yüksek metal” ve “nötre yakın düşük metal” sınıflarına düştüğü görülmektedir (Şekil 45). En yüksek metal yük değeri inceleme alanının güneydoğusunda bulunan 25 nolu kuyuda, doğusunda bulunan 28 nolu kuyuda ve kuzeydoğusunda bulunan 29 nolu kuyuda izlenmektedir. En düşük metal yük değerleri ise inceleme alanının güneyinde bulunan 15 nolu kuyuda ve batısında bulunan 7 nolu kuyuda görülmektedir.



Şekil 45. Ficklin-Caboi diyagramı

## 6.7. Yeraltısularının Hidrojeokimyasal Sınıflandırılması

### 6.7.1. Stuyfzand Hidrojeokimyasal Modelleme Sistemi

İnceleme alanında yeraltısuyunun hidrojeokimyasal gelişimini belirlemek için Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemi kullanılmıştır. Bu çalışmanın yürütülmesi için 2019 yılında temmuz ve aralık aylarında alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları kullanılmıştır. Her iki döneme ait geliştirilen hidrojeokimyasal model, Stuyfzand Sınıflama Sistemi'ne göre karşılaştırılmış ve ArcGIS 10.3 Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı ile oluşturulan dağılım haritasından yararlanılarak yeraltısuyunun karakteristikleri ve hidrojeokimyasal gelişimi belirlenmiştir.

Stuyfzand sınıflama sistemi, 1986 yılında Stuyfzand tarafından mevcut sınıflama sistemlerinin özellikleri birleştirilerek akifer sistemlerine uygulanan yeni bir sistem olarak geliştirilmiştir. Bu sistem, örneğin tuzlu veya tatlı su girişinden dolayı katyon değişim olaylarının daha kolay tanımlanmasına ve daha geniş bir hidrokimyasal ortam spektrumuna uygulanabilirliğine neden olmaktadır. Stuyfzand sistemi, bir akiferdeki farklı su türlerinin belirlenmesine dayanmakta ve yeraltısularında katyon değişim prensibinin ortaya çıkarmak açısından önemlidir (Fırat Ersoy ve Ersoy, 2008). Bu sistemin ilk versiyonu (Stuyfzand, 1985), kıyılardaki kireçtaşı kumlu akifer sistemlerinde tatlı su-tuzlu su girişimi nedeniyle katyon değişiminin meydana geldiği akifer sistemleri için geliştirilmiştir. Daha sonra bu sınıflama sistemi herhangi bir hidrolojik kompartımanda ve çoğu jeokimyasal sistemlerine uygulanabilir duruma getirmiştir.

Yeraltısuyun akışı, hidrokimyasal sistemleri etkiler, çünkü akış difüzyon karışımını azaltır, beslenme alanındaki biyolojik ve antropojenik değişikliklerin kimyasal izlerini taşımakta ve akifer sistemi yıkanmaktadır. Bireysel hidrozomlar içinde, ilerleme evrim hatları (fasiyes dizisi) normalde yeraltısuyu akışı yönünde gelişmektedir (su kalitesinin büyük dalgalanmasından su kalitesinin hiç dalgalanmamasına kadar, kirlenmiş sulardan kirlenmemiş sulara, asitten bazik, oksitten anoksik - metanojenik, hiç baz değişiminden önemli bir baz değişimine ve tatlı sulardan acı sulara) (Stuyfzand, 1999).

### 6.7.1.1. Stuyfzand Sınıflama Sistemine Göre Yeraltı Sularının Sınıflanması

Stuyfzand sınıflama (Stuyfzand, 1986, 1993) sistemi suyun en önemli kimyasal özelliklerini ana tür, tür, alt tür ve sınıf olmak üzere 4 bileşenlerine ayırmaktadır. Bu 4 bileşen kullanılarak Stuyfzand 6 ana tür, 11 tür, 16 alt tür ve 3 sınıf belirlemiştir ve su türlerinin farklı kombinasyonları ile toplam 3168 tür belirlenmiştir.

#### 6.7.1.1.1. Yeraltı Sularının Ana Türünün Belirlenmesi

Yeraltısuyun ana türü, klorür içeriği (mg/l) dikkate alınarak belirlenmektedir. Böylece suyun ana türü F, F<sub>b</sub>, B, B<sub>s</sub>, S ve H kodları kullanılarak tanımlanmakta ve sular tatlı sulara kadar isimlendirilmektedir (tablo 36).

Tablo 36. Cl değerlerine göre suyun ana türünün belirlenmesi

| Ana tür          | Kod            | Cl (mg/l)     |
|------------------|----------------|---------------|
| Tatlı            | F              | < 150         |
| Tatlı – Az tuzlu | F <sub>b</sub> | 150 - 300     |
| Az tuzlu         | B              | 300 - 1000    |
| Az tuzlu – tuzlu | B <sub>s</sub> | 1000 - 10000  |
| Tuzlu            | S              | 10000 - 20000 |
| Çok tuzlu        | H              | > 20000       |

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının ana türleri Tablo 36'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin klor içeriğine göre ağırlıklı olarak tatlı su sınıfında olduğu diğer bir deyişle örneklerin büyük kısmının F karakteri ile tanımlandığı belirlenmiştir. Ancak yüksek klor konsantrasyonu içeren 13 ve 28 nolu kuyularda az tuzlu-tuzlu (B<sub>s</sub>) su sınıfında ve daha yüksek klor konsantrasyonu içeren 14, 22 ve 31 nolu kuyularda tatlı-az tuzlu (F<sub>b</sub>) sınıfında olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise Temmuz ayındaki gibi örneklenen yeraltısularının klorür içeriğine göre ağırlıklı olarak tatlı su (F) sınıfında olduğu görülmektedir. Ancak 22, 23, 28 ve 31 nolu kuyularda tatlı-az tuzlu (F<sub>b</sub>) suları izlenmektedir.

Tablo 37. Temmuz ve aralık aylarında örneklenen suların ana türü

| Temmuz 2019 |          |       |         |                |                |         |                |                |
|-------------|----------|-------|---------|----------------|----------------|---------|----------------|----------------|
| Kuyu No     | Ana türü | Kod   | Kuyu No | Ana türü       | Kod            | Kuyu No | Ana türü       | Kod            |
| 1           | F        | Tatlı | 12      | F              | Tatlı          | 23      | F              | Tatlı          |
| 2           | F        | Tatlı | 13      | B <sub>s</sub> | Az tuzlu-Tuzlu | 24      | F              | Tatlı          |
| 3           | F        | Tatlı | 14      | F <sub>b</sub> | Tatlı-Az tuzlu | 25      | F              | Tatlı          |
| 4           | F        | Tatlı | 15      | F              | Tatlı          | 26      | F              | Tatlı          |
| 5           | F        | Tatlı | 16      | F              | Tatlı          | 27      | F              | Tatlı          |
| 6           | F        | Tatlı | 17      | F              | Tatlı          | 28      | B <sub>s</sub> | Az tuzlu-Tuzlu |
| 7           | F        | Tatlı | 18      | F              | Tatlı          | 29      | F              | Tatlı          |
| 8           | F        | Tatlı | 19      | F              | Tatlı          | 30      | F              | Tatlı          |
| 9           | F        | Tatlı | 20      | F              | Tatlı          | 31      | F <sub>b</sub> | Tatlı-Az tuzlu |
| 10          | F        | Tatlı | 21      | F              | Tatlı          | 32      | F              | Tatlı          |
| 11          | F        | Tatlı | 22      | F <sub>b</sub> | Tatlı-Az tuzlu | 33      | F              | Tatlı          |
| Aralık 2019 |          |       |         |                |                |         |                |                |
| Kuyu No     | Ana türü | Kod   | Kuyu No | Ana türü       | Kod            | Kuyu No | Ana türü       | Kod            |
| 1           | Tatlı    | F     | 11      | Tatlı          | F              | 22      | Tatlı-Az tuzlu | F <sub>b</sub> |
| 2           | Tatlı    | F     | 12      | Tatlı          | F              | 23      | Tatlı-Az tuzlu | F <sub>b</sub> |
| 3           | Tatlı    | F     | 14      | Tatlı          | F              | 25      | Tatlı          | F              |
| 4           | Tatlı    | F     | 15      | Tatlı          | F              | 26      | Tatlı          | F              |
| 5           | Tatlı    | F     | 16      | Tatlı          | F              | 28      | Tatlı-Az tuzlu | F <sub>b</sub> |
| 6           | Tatlı    | F     | 17      | Tatlı          | F              | 29      | Tatlı          | F              |
| 7           | Tatlı    | F     | 18      | Tatlı          | F              | 30      | Tatlı          | F              |
| 8           | Tatlı    | F     | 19      | Tatlı          | F              | 31      | Tatlı-Az tuzlu | F <sub>b</sub> |
| 9           | Tatlı    | F     | 20      | Tatlı          | F              | 32      | Tatlı          | F              |
| 10          | Tatlı    | F     | 21      | Tatlı          | F              | 33      | Tatlı          | F              |

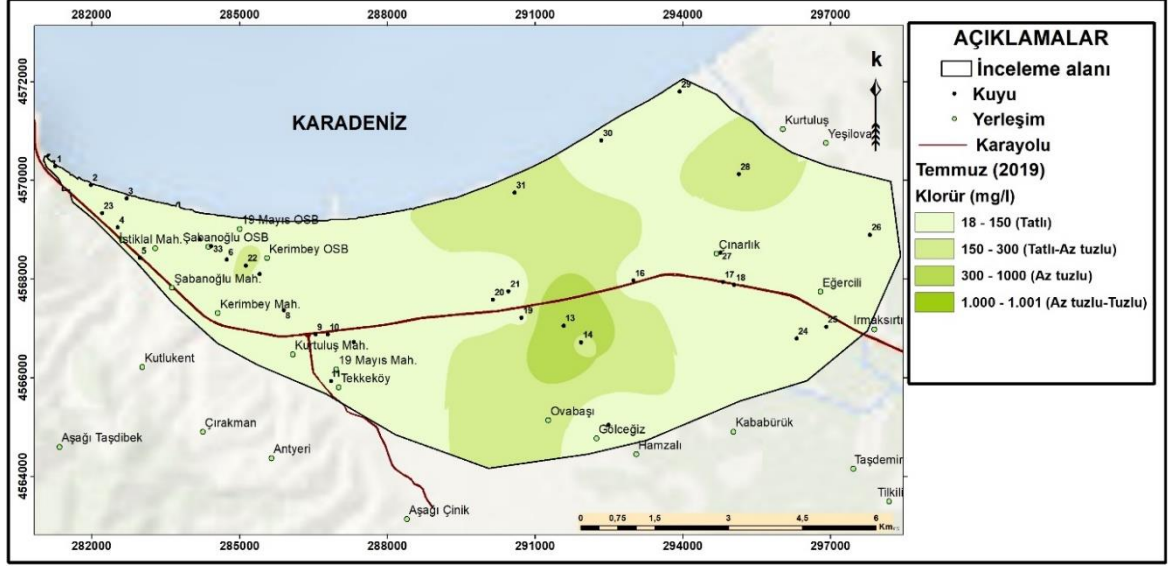
Yeraltısularının ana türlerinin dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ayında inceleme alanı tatlı su bölgesi, tatlı-az tuzlu su bölgesi ve az tuzlu-tuzlu su bölgesi olmak üzere üç farklı bölgeye; Aralık ayında ise inceleme alanı, tatlı su bölgesi ve tatlı-az tuzlu su bölgesi olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılmaktadır (Şekil 46 ve 47). Temmuz ayında tatlı su bölgesi inceleme alanının doğusunda ve batısındaki en büyük kısımlarda gözlenirken tatlı-az tuzlu su bölgesi ve az tuzlu-tuzlu su bölgesi orta kısmında görülmektedir (Şekil 46).

Aralık ayında ise yaklaşık inceleme alanının bütünü tatlı su bölgesi ile kaplanmaktadır. Tatlı-az tuzlu su bölgesi inceleme alanının batısında, doğusunda ve güneyinde yer yer izlenmektedir (Şekil 47).

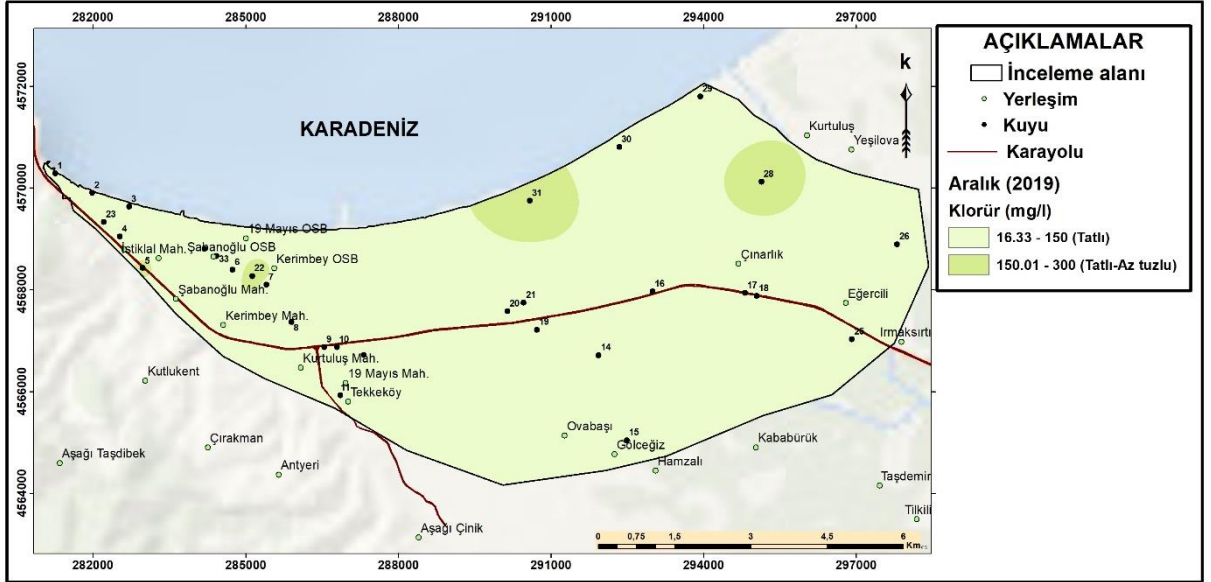
Tatlı-az tuzlu ve az tuzlu-tuzlu sular görülen kuyularda deniz suyu girişiminin etkisinin olduğu ifade edilmektedir. Aralık ayının yağışlı ay olması ve bu dönemde tarım arazilerinde



yeraltısuyunun çekiminin yapılmaması nedeniyle deniz suyu girişimi azalmakta ve az tuzlu-tuzlu su tipleri gözlenmemektedir.



Şekil 46. Temmuz ayında örneklenen suların ana türünün dağılım haritası



Şekil 47. Aralık ayında örneklenen suların ana türünün dağılım haritası

### 6.7.1.1.2. Yeraltısularının Türünün Belirlenmesi

Suyun türü, Toplam Sertlik değerleri dikkate alınarak belirlenmektedir. Böylece suyun türü X, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 kodları kullanılarak numaralandırılmakta ve sular çok yumuşak su ile çok fazla sert su arasında tanımlanmaktadır (Tablo 38).

Tablo 38. Toplam sertlik değerlerine göre suyun türünün belirlenmesi

| Suyun türü     | Kod | Toplam sertlik (°F) | Suyun türü     | Kod | Toplam sertlik (°F) |
|----------------|-----|---------------------|----------------|-----|---------------------|
| Çok yumuşak    | X   | < 5                 | Çok fazla sert | 5   | 160-320             |
| Yumuşak        | 0   | 5-10                | Çok fazla sert | 6   | 320-640             |
| Kısmen sert    | 1   | 10-20               | Çok fazla sert | 7   | 640-1280            |
| Sert           | 2   | 20-40               | Çok fazla sert | 8   | 1280-2560           |
| Çok sert       | 3   | 40-80               | Çok fazla sert | 9   | >2560               |
| Çok fazla sert | 4   | 80-160              |                |     |                     |

Styufzand Sınıflama Sistemi'nde ikinci sembol ile ifade edilen Toplam Sertlik değerine göre inceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında belirlenen yeraltısularının türleri Tablo 39'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının toplam sertlik değerlerine göre ağırlıklı olarak çok sert ve sert sınıfında olduğu diğer bir deyişle örneklerin büyük kısmının 3 ve 2 kodları ile tanımlandığı belirlenmiştir. Ancak Temmuz ayında 13 nolu kuyuda çok fazla sert su; Aralık ayında 10 ve 23 nolu kuyularda sırasıyla çok fazla sert ve kısmen sert su izlenmektedir.

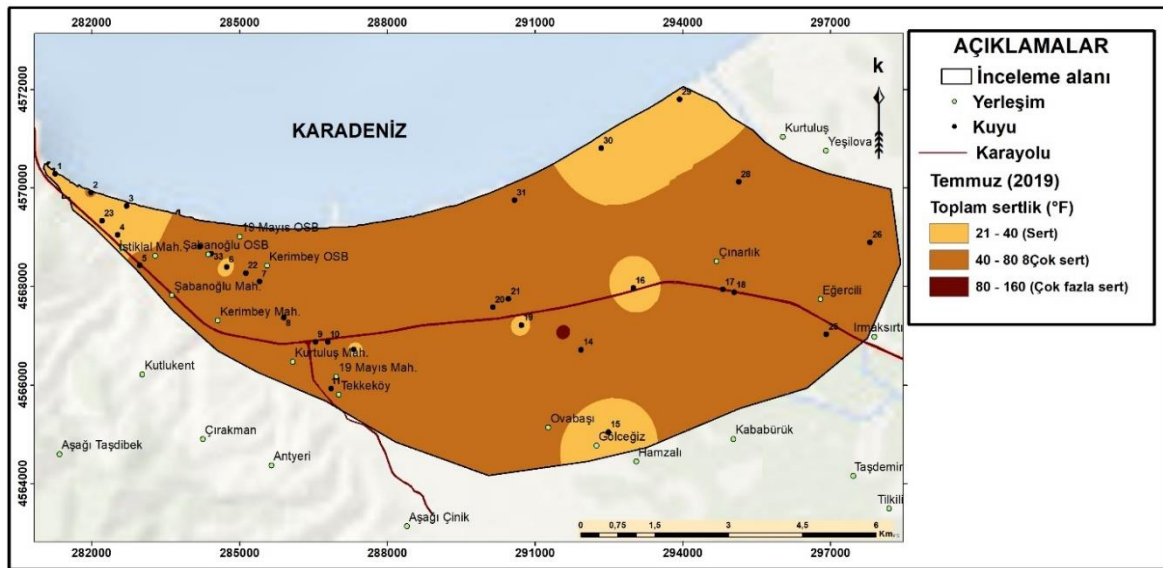
Tablo 39. Temmuz ve Aralık ayında örneklenen suların türü

| Temmuz 2019 |          |     |         |                |     |         |          |     |
|-------------|----------|-----|---------|----------------|-----|---------|----------|-----|
| Kuyu No     | Tür      | Kod | Kuyu No | Tür            | Kod | Kuyu No | Tür      | Kod |
| 1           | Sert     | 2   | 12      | Sert           | 2   | 23      | Sert     | 2   |
| 2           | Çok sert | 3   | 13      | Çok fazla sert | 4   | 24      | Çok sert | 3   |
| 3           | Sert     | 2   | 14      | Çok sert       | 3   | 25      | Çok sert | 3   |
| 4           | Sert     | 2   | 15      | Sert           | 2   | 26      | Çok sert | 3   |
| 5           | Çok sert | 3   | 16      | Sert           | 2   | 27      | Çok sert | 3   |
| 6           | Çok sert | 3   | 17      | Çok sert       | 3   | 28      | Çok sert | 3   |
| 7           | Çok sert | 3   | 18      | Çok sert       | 3   | 29      | Sert     | 2   |
| 8           | Çok sert | 3   | 19      | Sert           | 2   | 30      | Sert     | 2   |
| 9           | Çok sert | 3   | 20      | Çok sert       | 3   | 31      | Çok sert | 3   |
| 10          | Çok sert | 3   | 21      | Çok sert       | 3   | 32      | Çok sert | 3   |
| 11          | Çok sert | 3   | 22      | Çok sert       | 3   | 33      | Çok sert | 3   |

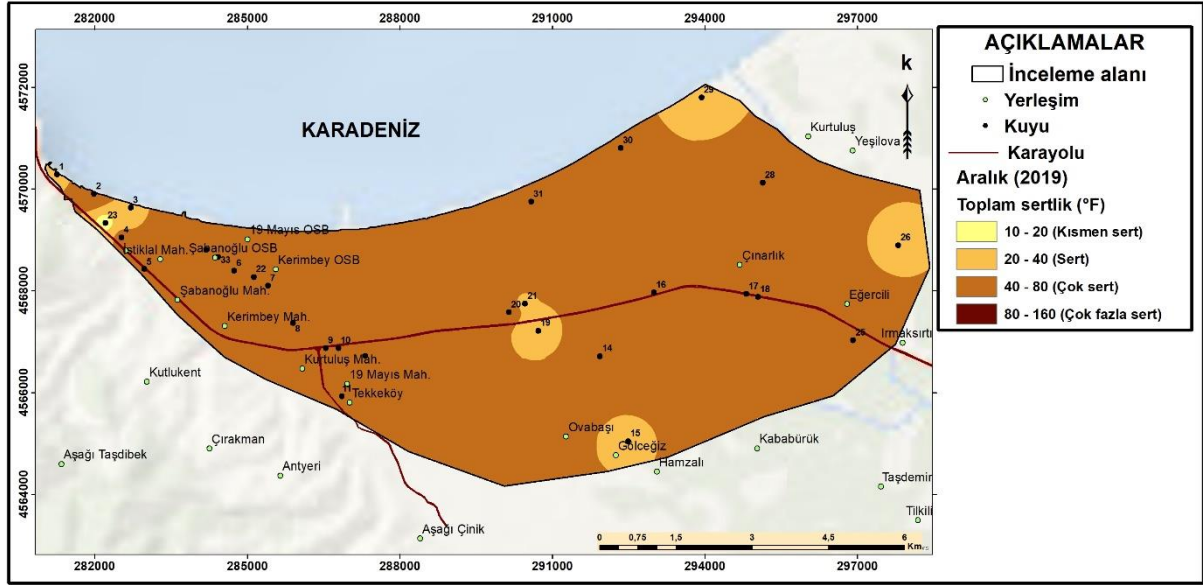
Tablo 39'un devamı

| Aralık 2019 |                |     |         |          |     |         |             |     |
|-------------|----------------|-----|---------|----------|-----|---------|-------------|-----|
| Kuyu No     | Tür            | Kod | Kuyu No | Tür      | Kod | Kuyu No | Tür         | Kod |
| 1           | Sert           | 2   | 11      | Çok sert | 3   | 22      | Çok sert    | 3   |
| 2           | Çok sert       | 3   | 12      | Çok sert | 3   | 23      | Kısmen sert | 1   |
| 3           | Sert           | 2   | 14      | Çok sert | 3   | 25      | Çok sert    | 3   |
| 4           | Çok sert       | 3   | 15      | Sert     | 2   | 26      | Sert        | 2   |
| 5           | Çok sert       | 3   | 16      | Çok sert | 3   | 28      | Çok sert    | 3   |
| 6           | Çok sert       | 3   | 17      | Çok sert | 3   | 29      | Sert        | 2   |
| 7           | Çok sert       | 3   | 18      | Çok sert | 3   | 30      | Çok sert    | 3   |
| 8           | Çok sert       | 3   | 19      | Sert     | 2   | 31      | Çok sert    | 3   |
| 9           | Çok sert       | 3   | 20      | Çok sert | 3   | 32      | Çok sert    | 3   |
| 10          | Çok fazla sert | 4   | 21      | Sert     | 2   | 33      | Çok sert    | 3   |

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının sertlik değerlerine göre hazırlanan dağılım haritasına bakıldığında Temmuz ve Aralık aylarında inceleme alanının büyük kısmında çok sert ve sert su türleri gözlenmektedir. Temmuz ayında inceleme alanının doğusundaki, orta kısmındaki ve batısındaki en büyük kısımlarda çok sert su türü gözlenirken orta kısmında, güney ve kuzey-batısında yer yer sert su türü izlenmektedir (Şekil 48). Aralık ayında ise yaklaşık inceleme alanının bütünü çok sert su türü tarafından kaplanmaktadır (Şekil 49). Ancak inceleme alanında yer yer sert ve kısmen su türü gözlenmektedir.



Şekil 48. Temmuz ayında örneklenen suların türünün dağılım haritası



Şekil 49. Aralık ayında örneklenen suların türünün dağılım haritası

### 6.7.1.1.3. Yeraltısularının Alt Tür ve Sınıfının Belirlenmesi

Suyun alt türü, sudaki majör anyon-kasyon çifti dikkate alınarak belirlenmektedir. Böylece Stuyfzand, majör anyon-kasyon kombinasyonu ile NaCl, NaSO<sub>4</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, NaMix, KNO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>, CaCl, CaSO<sub>4</sub>, CaNO<sub>3</sub>, CaHCO<sub>3</sub>, CaMix, MgCl, MgHCO<sub>3</sub>, MgMix, AlSO<sub>4</sub>, FeSO<sub>4</sub> olmak üzere 16 olası alt tür belirlemiştir. Bu 16 alt türü aşağıdaki Tablo 40'ta açıklanmış kriterlerle belirlenmektedir.

Tablo 40. Yeraltısuyunun alt türünün belirlenmesi

| Alt türü                        | Kriterler                                                                                                    |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NaCl                            | $(Na+K+NH_4) > \frac{1}{2} \Sigma k$ ; $(Na+k) > NH_4$ ; $Na > k$ ; $Cl > \frac{1}{2} \Sigma a$              |
| NaSO <sub>4</sub>               | NaCl kriterler gibi, ancak $(SO_4+NO_3+NO_2) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $SO_4 > (NO_3+NO_2)$                  |
| NaHCO <sub>3</sub>              | NaCl kriterler gibi, ancak $(HCO_3+CO_3) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $HCO_3 > CO_3$                            |
| NaMix                           | NaCl kriterler gibi, ancak Cl ve $(SO_4+NO_3+NO_2)$ ve $(HCO_3+CO_3)$ : $< \frac{1}{2} \Sigma a$             |
| KNO <sub>3</sub>                | NaCl kriterler gibi, ancak $K \geq Na$ ; $(SO_4+NO_3+NO_2) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $(NO_3+NO_2) \geq SO_4$ |
| NH <sub>4</sub> SO <sub>4</sub> | NaSO <sub>4</sub> kriterler gibi, ancak $NH_4 \geq Na+K$                                                     |
| CaCl                            | $(Na+K+NH_4) \leq \frac{1}{2} \Sigma k$ ; $(Ca+Mg) > (Al+H+Fe+Mn)$ ; $Ca > Mg$ ; $Cl > \frac{1}{2} \Sigma a$ |
| CaSO <sub>4</sub>               | CaCl kriterler gibi, ancak $(SO_4+NO_3+NO_2) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $SO_4 > (NO_3+NO_2)$                  |
| CaNO <sub>3</sub>               | CaCl kriterler gibi, ancak $(NO_3+NO_2) \geq SO_4$                                                           |
| CaHCO <sub>3</sub>              | CaCl kriterler gibi, ancak $(HCO_3+CO_3) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $HCO_3 > CO_3$                            |
| CaMix                           | CaCl kriterler gibi, ancak Cl ve $(SO_4+NO_3+NO_2)$ ve $(HCO_3+CO_3)$ : $< \frac{1}{2} \Sigma a$             |
| MgCl                            | CaCl kriterler gibi, ancak $Mg \geq Ca$                                                                      |

Tablo 40'ın devamı

|                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                   |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| MgHCO <sub>3</sub>                                                                                                           | CaHCO <sub>3</sub> kriterler gibi, ancak $Mg \geq Ca$                                                                                                                             |
| MgMix                                                                                                                        | CaMix kriterler gibi, ancak $Mg \geq Ca$                                                                                                                                          |
| AlSO <sub>4</sub>                                                                                                            | $(Na+K+NH_4) \leq \frac{1}{2} \Sigma k$ ; $(Al+H+Fe+Mn) \geq (Ca+Mg)$ ; $(Al+H) \geq (Fe+Mn)$ ; $Al \geq H$ ;<br>$(SO_4+NO_3+NO_2) > \frac{1}{2} \Sigma a$ ; $SO_4 > (NO_3+NO_2)$ |
| FeSO <sub>4</sub>                                                                                                            | AlSO <sub>4</sub> kriterler gibi, ancak $(Fe+Mn) > (Al+H)$ ve $Fe > Mn$                                                                                                           |
| Burada $\Sigma a$ = toplam anyon; $\Sigma k$ = toplam katyon ve bütün kimyasal elemanlar meq/l cinsinden ifade edilmektedir: |                                                                                                                                                                                   |

Suyun sınıfı ise katyon değişim kodu dikkate alınarak bulunmaktadır. Katyon değişim kodu, su örneğindeki Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> toplamı meq/l cinsinden hesaplanarak deniz suyu katkısı kullanılmakta ve düzeltme yapılarak (Na+K+Mg)<sub>fazla</sub>, (Na+K+Mg)<sub>eksik</sub> ve (Na+K+Mg)<sub>dengede</sub> olmak üzere 3 olası su sınıfı belirlenmektedir.

$(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} = (Na+K+Mg)_{hesaplanmış} - 1,061Cl^-$  (8). Buradaki 1,061 faktörü, ortalama okyanus suyu için meq/l cinsinden  $\{(Na + K + Mg) / Cl\}$  'e eşittir. Ayrıca Tüm Cl<sup>-</sup> iyonlarının denizden kaynaklandığı (Eriksson, 1952), ve Cl<sup>-</sup>'nin korunumlu davrandığı varsayılmaktadır. Hesaplanan  $(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş}$  değerine göre aşağıdaki tabloda (Tablo 41) açıklanmış kriterlere göre suyun sınıfının kodu belirlenmektedir.

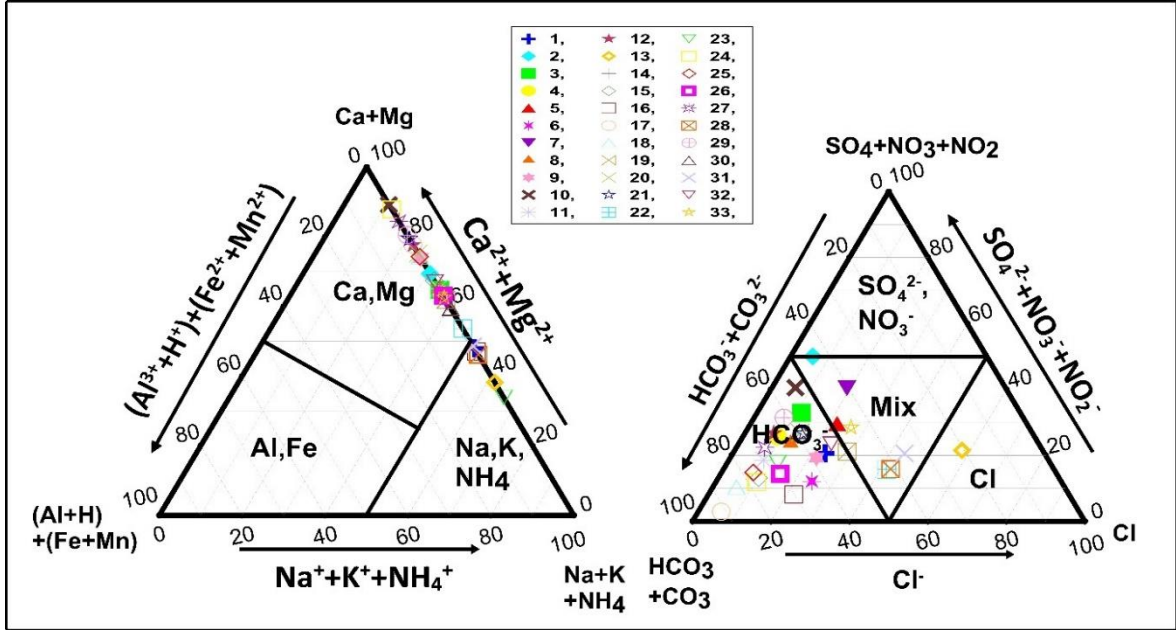
Tablo 41. Katyon değişim kodlarına göre suyun tipinin belirlenmesi

| Sınıf             | Kod | Kriterler (meq/l)                                              |
|-------------------|-----|----------------------------------------------------------------|
| (Na+K+Mg) eksik   | -   | $(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} < -\sqrt{0,5} Cl$                     |
| (Na+K+Mg) fazla   | +   | $(Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} > \sqrt{0,5} Cl$                      |
| (Na+K+Mg) dengede | φ   | $-\sqrt{0,5} \leq (Na+K+Mg)_{düzeltilmiş} \leq +\sqrt{0,5} Cl$ |

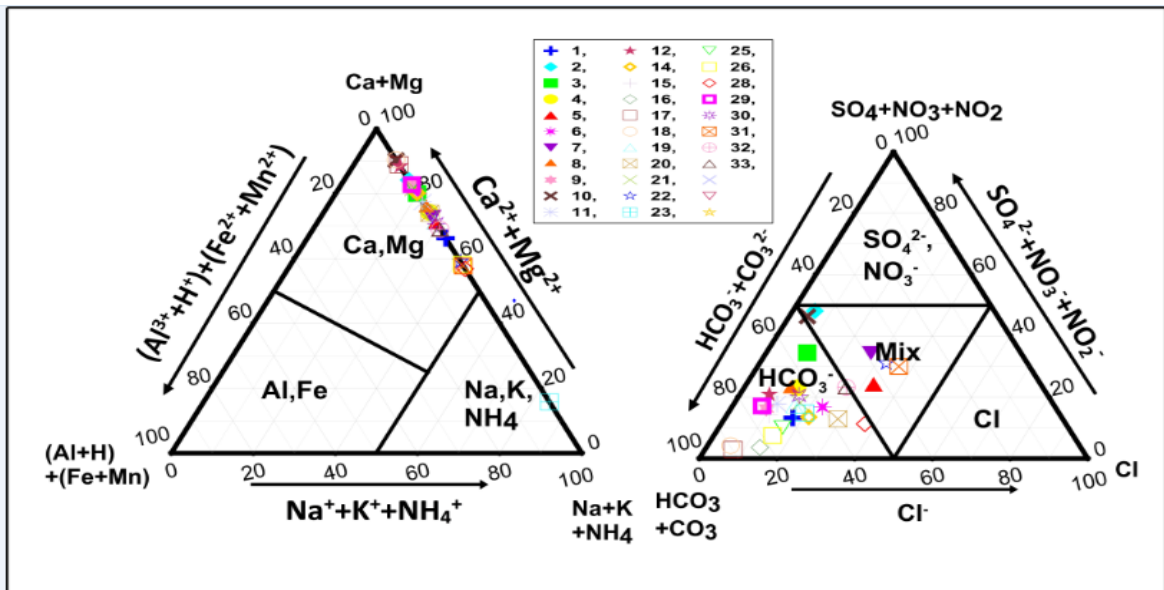
İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının alt türleri Şekil 50 ve 51'deki üçgen diyagramlar kullanılarak belirlenmiştir. Temmuz ve Aralık aylarına ait belirlenen su alt türleri Tablo 42'de verilmiştir.

Şekil 48'deki üçgen diyagramından elde edilen su alt türlerine göre inceleme alanında Temmuz ayında örneklenen suların %60,60'ı CaHCO<sub>3</sub>, %18,19'u CaMix, %6,06'sı NaMix, 3,03%'ü NaCl, %9,09'u NaHCO<sub>3</sub> ve %3,03'ü MgHCO<sub>3</sub> 'lu su sınıflarında olduğu göstermektedir. Aralık ayında ise Şekil 49'daki üçgen diyagramından elde edilen su alt türlerine göre örneklenen suların %76,66'sı CaHCO<sub>3</sub>, %20'si CaMix, %3,33'ü NaHCO<sub>3</sub> ve %3,33'ü MgHCO<sub>3</sub> 'lu su sınıflarında olduğu görülmektedir. Temmuz ayında 14 ve 33 nolu

kuyularda görülen CaMix'lı su alt türü; 28 ve 31 nolu kuyularda görülen NaMix'lı su alt türü; 16 nolu kuyuda görülen NaHCO<sub>3</sub>'lu su alt türü Aralık ayında CaHCO<sub>3</sub>'lu su alt türüne değiştiklerine görülmektedir. Temmuz ve Aralık aylarına ait hesaplanan düzeltilmiş (Na+K+Mg) değerlerine göre inceleme alanında örneklenen yeraltısularının tümü (Na+K+Mg)<sub>fazla</sub> olduğu belirlenmiştir.



Şekil 50. Temmuz ayında örneklenen suların alt türlerinin belirlenmesi



Şekil 51. Aralık ayında örneklenen suların alt türlerinin belirlenmesi

Tablo 42. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların alt türleri

| Temmuz 2019 |                      |         |                      |         |                      |
|-------------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| Kuyu No     | Alt türü ve sınıf    | Kuyu No | Alt türü ve sınıf    | Kuyu No | Alt türü ve sınıf    |
| 1           | NaHCO <sub>3</sub> + | 12      | CaHCO <sub>3</sub> + | 23      | NaHCO <sub>3</sub> + |
| 2           | CaMix+               | 13      | NaCl+                | 24      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 3           | CaHCO <sub>3</sub> + | 14      | CaMix+               | 25      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 4           | CaHCO <sub>3</sub> + | 15      | CaHCO <sub>3</sub> + | 26      | MgHCO <sub>3</sub> + |
| 5           | CaMix+               | 16      | NaHCO <sub>3</sub> + | 27      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 6           | CaHCO <sub>3</sub> + | 17      | CaHCO <sub>3</sub> + | 28      | NaMix+               |
| 7           | CaMix+               | 18      | CaHCO <sub>3</sub> + | 29      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 8           | CaHCO <sub>3</sub> + | 19      | CaHCO <sub>3</sub> + | 30      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 9           | CaHCO <sub>3</sub> + | 20      | CaHCO <sub>3</sub> + | 31      | NaMix+               |
| 10          | CaHCO <sub>3</sub> + | 21      | CaHCO <sub>3</sub> + | 32      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 11          | CaHCO <sub>3</sub> + | 22      | CaMix+               | 33      | CaMix+               |
| Aralık 2019 |                      |         |                      |         |                      |
| Kuyu No     | Alt türü ve sınıfı   | Kuyu No | Alt türü ve sınıfı   | Kuyu No | Alt türü ve sınıfı   |
| 1           | CaHCO <sub>3</sub> + | 11      | CaHCO <sub>3</sub> + | 22      | CaMix+               |
| 2           | CaMix+               | 12      | CaHCO <sub>3</sub> + | 23      | NaHCO <sub>3</sub> + |
| 3           | CaHCO <sub>3</sub> + | 14      | CaHCO <sub>3</sub> + | 25      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 4           | CaHCO <sub>3</sub> + | 15      | CaHCO <sub>3</sub> + | 26      | MgHCO <sub>3</sub> + |
| 5           | CaMix+               | 16      | CaHCO <sub>3</sub> + | 28      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 6           | CaHCO <sub>3</sub> + | 17      | CaHCO <sub>3</sub> + | 29      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 7           | CaMix+               | 18      | CaHCO <sub>3</sub> + | 30      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 8           | CaHCO <sub>3</sub> + | 19      | CaHCO <sub>3</sub> + | 31      | CaMix+               |
| 9           | CaHCO <sub>3</sub> + | 20      | CaHCO <sub>3</sub> + | 32      | CaHCO <sub>3</sub> + |
| 10          | CaMix+               | 21      | CaHCO <sub>3</sub> + | 33      | CaHCO <sub>3</sub> + |

Şekil 52 ve 53’de, Temmuz ve Aralık aylarında çalışma alanındaki farklı su alt türleri için Ca ve Na, Ca ve Mg, Ca ve HCO<sub>3</sub>, Ca ve Cl ile Na ve HCO<sub>3</sub> arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

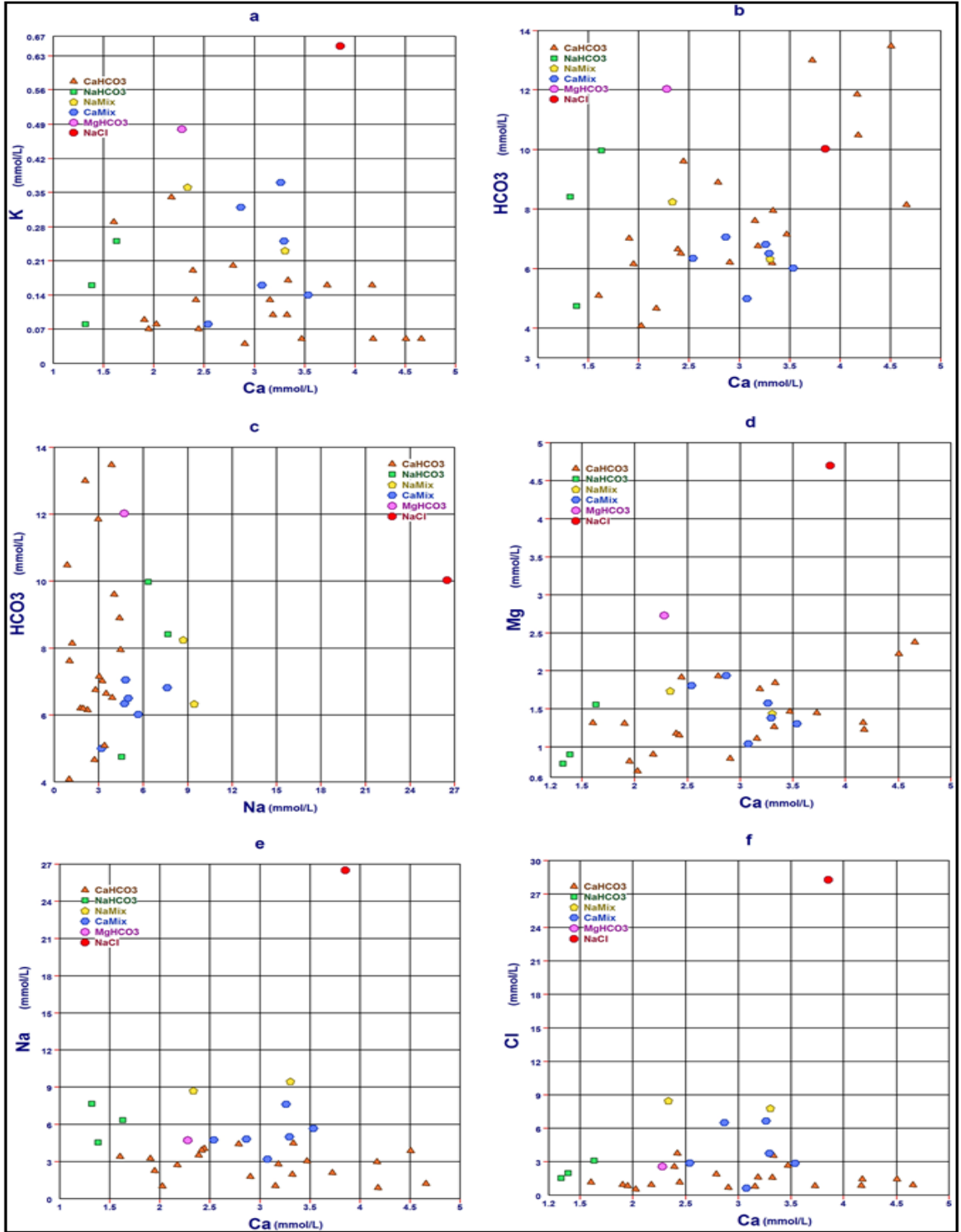
Bu şekiller incelendiğinde Tatlı-CaMix sularında biraz daha yüksek Cl ve daha düşük HCO<sub>3</sub> nedeniyle açıkça baskın anyon bulunmaması açısından tatlı-CaHCO<sub>3</sub> sularından farklı olmaktadır (Şekil 52.b, 53.b, 52.f, 53.f). CaMix alt tür sularında gözlenen Cl değerlerin yükselmesi tatlı sulara olan deniz suyu girişiminden kaynaklanmaktadır.

Tatlı, az tuzlu ve tuzlu-NaMix suları ile tatlı-NaHCO<sub>3</sub> arasında önemli bir fark yoktur, ancak NaMix suları daha düşük HCO<sub>3</sub> (Şekil 52.c, 53.c) ve daha yüksek Cl (Şekil 52.f, 53.f) içeriği nedeniyle NaHCO<sub>3</sub> sularından farklıdır. Ayrıca NaMix sularında NaHCO<sub>3</sub> sularından daha yüksek Na ve K değerleri gözlenmektedir (Şekil 52.a, 53.a, 52.e, 53.e). Bu durum, tatlı sular tarafından tuzlu sularının yıkanması sırasında meydana gelen iyon değişim reaksiyonu

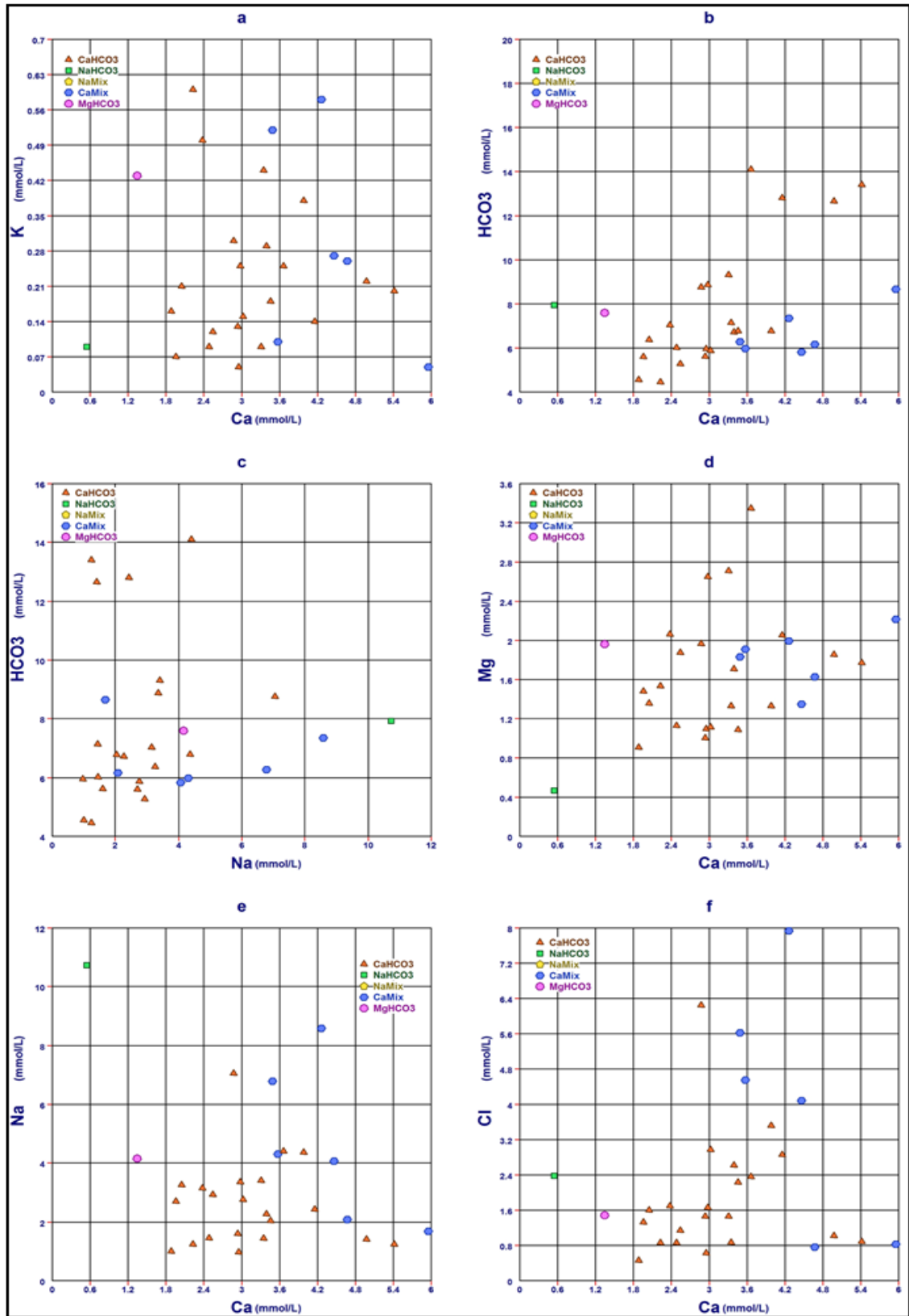
nedeniyle Na ve K değerleri NaMix sularından  $\text{NaHCO}_3$  sularına doğru giderken azalmaktadır. Tatlı- $\text{MgHCO}_3$  alt tür suları ile tatlı- $\text{CaHCO}_3$  alt tür suları arasında da önemli fark yoktur, ancak tatlı  $\text{MgHCO}_3$  alt tür sularında daha düşük Ca ve daha yüksek Mg içeriği nedeniyle tatlı- $\text{CaHCO}_3$  alt tür sularından fark göstermektedir (Şekil 52.d, 53.d).  $\text{MgHCO}_3$  su türü, yüksek Mg konsantrasyonu ve orta Ca konsantrasyonu ile karakterize edilmektedir. Bu durum, tuzlu suların Mg ile tatlı sularının Ca arasında meydana gelen ek iyon değişim reaksiyonu nedeniyle  $\text{MgHCO}_3$  sularında daha yüksek Mg değerli bulunmaktadır (Vandenbohede vd, 2012).  $\text{CaHCO}_3$  alt türü suları yüksek Ca konsantrasyonlarına ve genellikle düşük Na, K ve Mg konsantrasyonlarına sahiptir (Şekil 52.b, 53.b).







Şekil 52. Temmuz ayında örneklenen suların alt türlerinin Ca ve Na, Ca ve Mg, Ca ve HCO<sub>3</sub>, Ca ve Cl ile Na ve HCO<sub>3</sub> arasındaki ilişki



Şekil 53. Aralık ayında örneklenen suların alt türlerinin Ca ve Na, Ca ve Mg, Ca ve HCO<sub>3</sub>, Ca ve Cl ile Na ve HCO<sub>3</sub> arasındaki ilişki

### 6.7.1.2. Yeraltısularının Tipleri

Stuyfzand sınıflama sistemiyle belirlenen yeraltısuyu örneklerinin ana türleri, türler, alt türleri ve sınıfları bir araya getirilerek Temmuz ve Aralık ayları için inceleme alanındaki yeraltısularının tipleri belirlenmiştir (Tablo 43). Tablo 41 incelendiğinde, Temmuz ayında örneklenen suların %40'ı F3-CaHCO<sub>3</sub>+’lu, %21,21’i F2-CaHCO<sub>3</sub>+’lu, %12,12’si F3-CaMix+’lı, %9,09’u F2-NaHCO<sub>3</sub>+’lu, %6,06’sı Fb3-CaMix+’lı, %3,03’ü Bs4-NaCl, %3,03’ü F3-Mg-HCO<sub>3</sub>+’lı, %3,03’ü Bs3-NaMix+’lu ve %3,03’ü Fb3-NaMix+’lu su tiplerinde olduğu göstermektedir. Aralık ayında ise örneklerin %50’si F3-CaHCO<sub>3</sub>+’lu, %20’si F2-CaHCO<sub>3</sub>+’lu, %10’u F3-CaMix+’lu, %6,67’si Fb3-CaMix+’lu, %3,33’ü Fb1-NaHCO<sub>3</sub>+’lu, %3,33’ü F2-MgHCO<sub>3</sub>+’lu ve %3,33’ü Fb3-CaHCO<sub>3</sub>+’lu su tiplerinde olduğu göstermektedir.

Tablo 43. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların tipleri

| Temmuz 2019 |                         |         |                         |         |                                       |
|-------------|-------------------------|---------|-------------------------|---------|---------------------------------------|
| Kuyu No     | Su tipi                 | Kuyu No | Su tipi                 | Kuyu No | Su tipi                               |
| 1           | F2-NaHCO <sub>3</sub> + | 12      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 23      | F2-NaHCO <sub>3</sub> +               |
| 2           | F3-CaMix+               | 13      | B <sub>s</sub> 4-NaCl+  | 24      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 3           | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 14      | F <sub>b</sub> 3-CaMix+ | 25      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 4           | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 15      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 26      | F3-MgHCO <sub>3</sub> +               |
| 5           | F3-CaMix+               | 16      | F2-NaHCO <sub>3</sub> + | 27      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 6           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 17      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 28      | B <sub>s</sub> 3-NaMix+               |
| 7           | F3-CaMix+               | 18      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 29      | F2-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 8           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 19      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 30      | F2-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 9           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 20      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 31      | F <sub>b</sub> 3-NaMix+               |
| 10          | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 21      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 32      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 11          | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 22      | F <sub>b</sub> 3-CaMix+ | 33      | F3-CaMix+                             |
| Aralık 2019 |                         |         |                         |         |                                       |
| Kuyu No     | Su tipi                 | Kuyu No | Su tipi                 | Kuyu No | Su tipi                               |
| 1           | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 11      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 22      | F <sub>b</sub> 3-CaMix+               |
| 2           | F3-CaMix+               | 12      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 23      | F <sub>b</sub> 1-NaHCO <sub>3</sub> + |
| 3           | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 14      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 25      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 4           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 15      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 26      | F2-MgHCO <sub>3</sub> +               |
| 5           | F3-CaMix+               | 16      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 28      | F <sub>b</sub> 3-CaHCO <sub>3</sub> + |
| 6           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 17      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 29      | F2-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 7           | F3-CaMix+               | 18      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 30      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 8           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 19      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 31      | F <sub>b</sub> 3-CaMix+               |
| 9           | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 20      | F3-CaHCO <sub>3</sub> + | 32      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |
| 10          | F4-CaMix+               | 21      | F2-CaHCO <sub>3</sub> + | 33      | F3-CaHCO <sub>3</sub> +               |

### 6.7.2. Piper Diyagramı

İnceleme alanındaki yeraltısularının hidrojeokimyasal fasiyes özelliklerini belirlemek için kullanılan Piper diyagramı, anyonlar ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve  $\text{Cl}^-$ ) ve katyonları ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  ve  $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ ) (% mek/l cinsinden) içeren ayrı ayrı iki üçgen ve tüm iyonların (anyonlar ve katyonlar) birlikte ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Bu diyagramdaki anyon ve katyon üçgenleri, suların hidrojeokimyasal fasiyes tiplerinin belirlemek için değerlendirilirken, eşkenar dörtgen suları sınıflandırmak ve karşılaştırmak için değerlendirilmektedir. Ayrıca eşkenar dörtgen Piper'in sınıflanmasına göre dokuz bölüme ayrılmıştır (Şekil 54):

1 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara toprak alkaliler ( $\text{Ca} > \text{Mg}$ ), alkalilerden ( $\text{Na} > \text{K}$ ) daha fazla olup bu sular karbonatlı ve sülfatlı sulardır;

2 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara alkaliler ( $\text{Na} > \text{K}$ ), toprak alkalilerden ( $\text{Ca} > \text{Mg}$ ) daha fazla olup bu sular tuzlu ve sodalı sulardır;

3 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara zayıf asitler ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ), güçlü asitlerden ( $\text{Cl} + \text{SO}_4$ ) daha fazladır;

4 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara güçlü asitler ( $\text{Cl} + \text{SO}_4$ ), zayıf asitlerden daha fazladır;

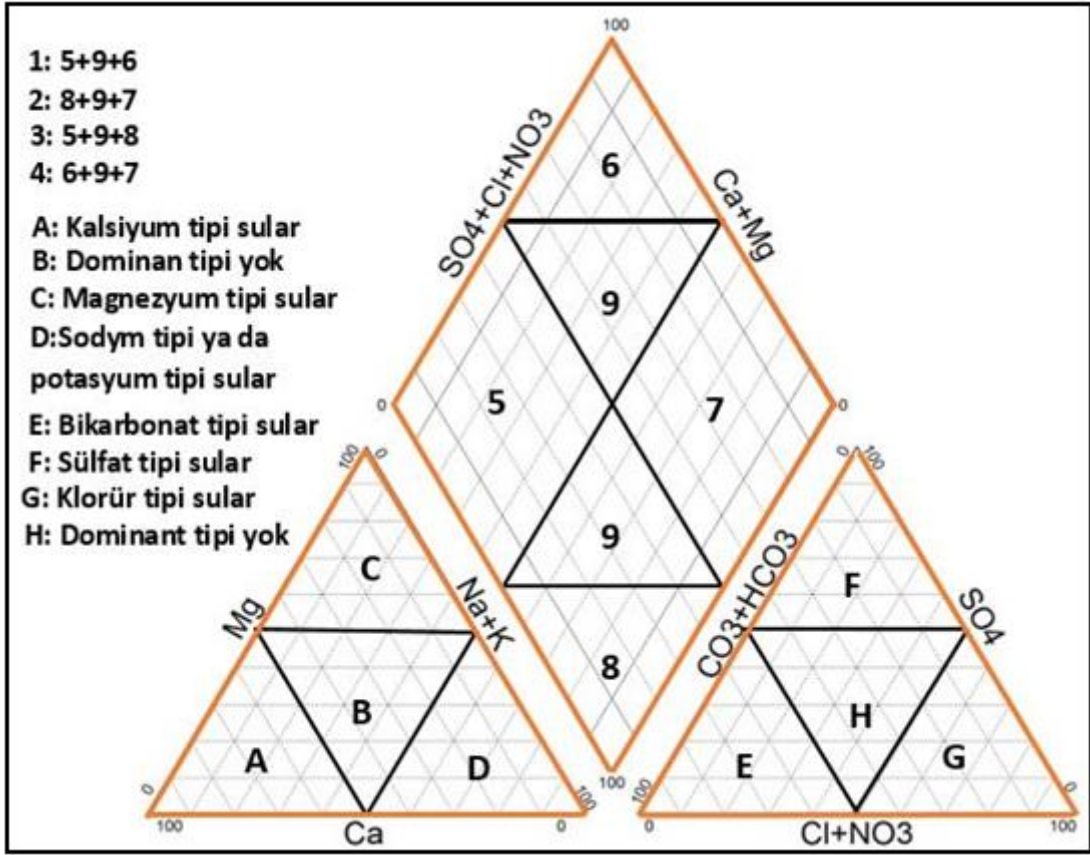
5 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten daha fazla olup bu sular  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lü sulardır;

6 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara karbonat olmayan sertliği, karbonat sertlikten daha fazla olup bu bölümdeki sular  $\text{CaCO}_4$  ve  $\text{MgSO}_4$ 'lü sulardır;

7 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara karbonatlı olmayan alkaliler, karbonatlı alkalilerden daha fazla olup bu bölümdeki sular  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ 'lü sulardır;

8 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara karbonatlı alkaliler, karbonatlı olmayan alkalilerden daha fazla olup bu bölümdeki sular  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ 'lü sulardır;

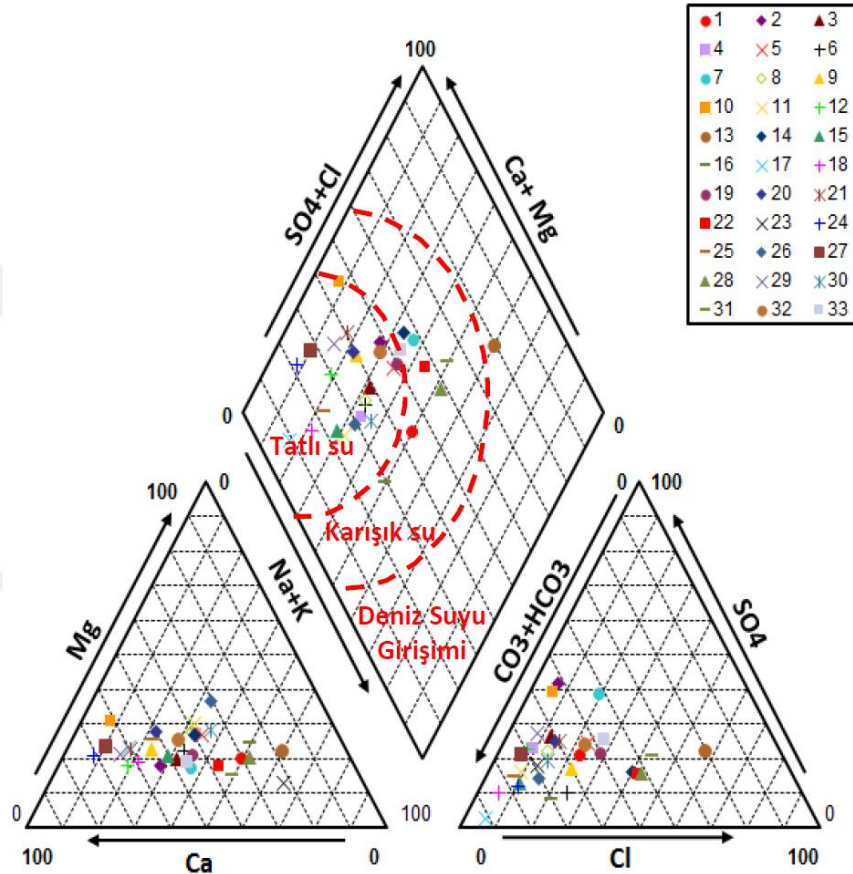
9 nolu bölüm: bu bölüme düşen sulara iyonların hiçbirini %50'yi geçmeyip bu bölümdeki sular karışık sulardır.



Şekil 54. Piper'in sınıflanmasına göre suların fasiyesinin belirlenmesi

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağırlıklı olarak alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg) alkali elementlerin toplamından (Na+K) daha fazla; zayıf asitlerin toplamı ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) güçlü asitlerin toplamından ( $\text{Cl} + \text{SO}_4$ ) daha fazla ve karbonat sertliği %50'den fazla olan sular olarak görülmektedir. Buna göre örneklenen suların büyük bir bölümü Ca-Mg- $\text{HCO}_3$ , Ca- $\text{HCO}_3$ 'lu sular sınıfındadır (Şekil 55). Bu durum su örneklerinin çalışma alanında ve yakın çevresinde yer alan karbonatlı ve sülfatlı birimler ile kayaç-su etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir. 7, 14, 19, 22, 31 ve 33 nolu su örnekleri diyagramın 9 nolu bölümünde yer almakta, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyip bu bölümdeki sular karışık sulardır. Buna göre bu sular karışık Ca-Mg-Cl'lu sular sınıfındadır. 13 ve 28 nolu kuyulardan örneklenen suların karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan sular sınıfında olduğu görülmektedir. Buna göre bu sular NaCl'lu sular sınıfındadır. 1 ve 23 nolu kuyulardan örneklenen sular diyagramın 9 nolu bölümünde yer almakta, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyip bu bölümdeki sular karışık sulardır. Buna göre bu sular karışık Na-Ca- $\text{HCO}_3$ 'lu su sınıfındadır. Deniz suyu girişiminin belirlenmesinde, Kelly (2005) tarafından

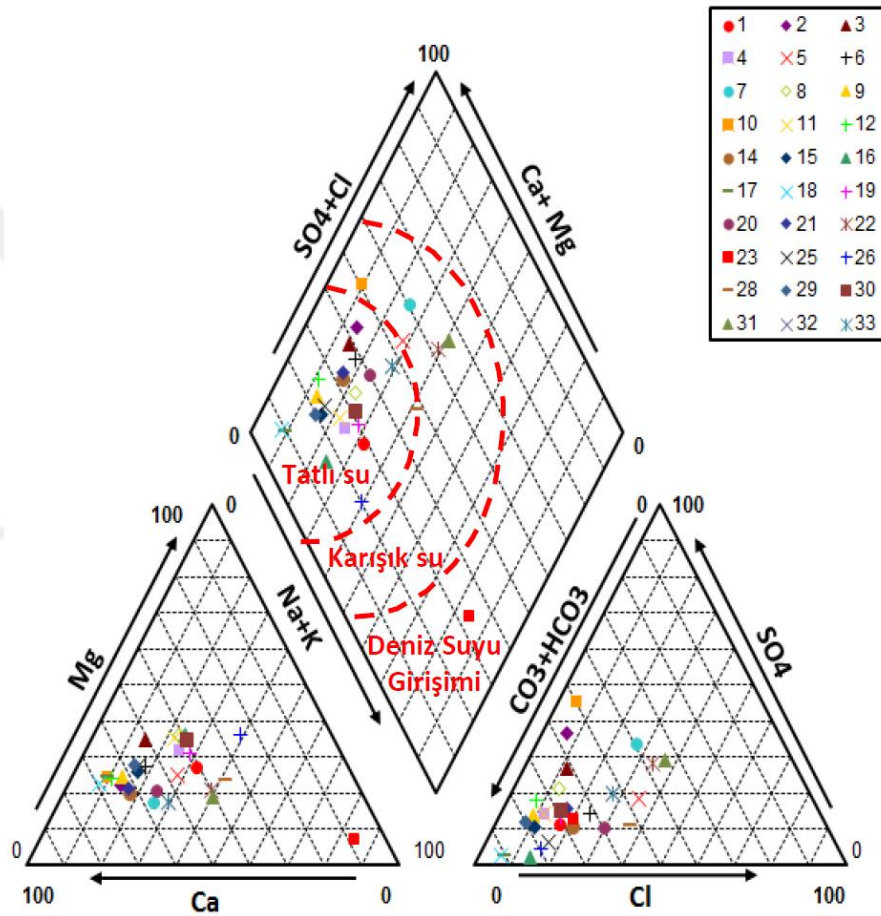
Piper diyagramıyla yapılmış sınıflandırması değiştirilerek kullanılmıştır. Buna göre Temmuz ayında örneklerin 75,76%'sı "tatlı suyu", 21,21%'i "karışık su" ve 3,03%'ü "deniz suyu girişim" sınıflarında yer almaktadır. "Karışık su" ve "deniz suyu girişimi" sınıfındaki örnekler sanayi tesisleri ve tarım arazilerinde açılan sondaj kuyularından alınmıştır. Bu kuyulardan aşırı çekim yapılması nedeniyle denizi suyu girişimi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 55. Temmuz ayında örneklenen yeraltısularına ait Piper diyagramı

Aralık ayında ise örneklenen yeraltısuları Temmuz ayında örneklenenler gibi ağırlıklı olarak alkali toprak elementlerin toplamı (Ca+Mg) alkali elementlerin toplamından (Na+K) daha fazla; zayıf asitlerin toplamı ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) güçlü asitlerin toplamından (Cl+SO<sub>4</sub>) daha fazla ve karbonat sertliği %50'den fazla olan suları göstermektedir (Şekil 56). Buna göre suların büyük bir bölümü Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>, Ca-HCO<sub>3</sub>'lü sular sınıfındadır. 5, 7, 10, 22 ve 31 nolu kuyulardaki sular diyagramın 9 nolu bölümünde yer almakta, iyonların hiçbiri %50'yi geçmeyip bu sular karışık Ca-Mg-Cl'li sular sınıfındadır. 23 nolu kuyudan örneklenen suyu

diyagramın 8 nolu bölümünde yer almakta, karbonatlı alkaliler, karbonatlı olmayan alkalilerden daha fazla olup bu su  $\text{Na-HCO}_3$  su fasiyesindedir. Temmuz ve Aralık aylarında görülen karışık  $\text{Ca-Mg-Cl}$ 'lu, karışık  $\text{Na-Ca-HCO}_3$ 'lu,  $\text{NaHCO}_3$ 'lu ve  $\text{NaCl}$ 'lu suları, akifere deniz suyu girişimini ifade etmektedir. Kelly (2005) tarafından Piper diyagramıyla yapılmış sınıflandırmasına göre Aralık ayında örneklerin %80,31'i "tatlı suyu", %16,66'sı "karışık su" ve %3,03'ü "deniz suyu girişim" sınıflarında yer almaktadır.



Şekil 56. Aralık ayında örneklenen yeraltısularına ait Piper diyagramı

### 6.7.3. Chadha Diyagramı

Bu diyagram inceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerini sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için kullanılmıştır. Chadha diyagramı, Durov diyagramının genişletilmesi ve Piper diyagramının değiştirilmesiyle yapılmaktadır. Chadha diyagramında suların hidrojeokimyasal olayların gelişimi daha net görülebilmektedir

(Chadha, 1999). Bu diyagram genel olarak suların majör katyonlarının değişimleri, doğal sularda bulunan karışım sularının oranlarının belirlenmesi, tuzlu suları, sülfat indirgenmesi ve ilişkileri gibi konularda önemli sonuçlar elde edilmektedir. Diyagramda bulunan dikdörtgen alanları Chadha'nın sınıflanmasına göre sekiz bölüme ayrılmıştır:

1 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda toprak alkaliler ( $Ca > Mg$ ), alkalilerden ( $Na > K$ ) daha fazladır;

2 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda alkaliler ( $Na > K$ ), toprak alkalilerden ( $Ca > Mg$ ) daha fazladır;

3 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda zayıf asitler ( $HCO_3 + CO_3$ ), güçlü asitlerden ( $Cl + SO_4$ ) daha fazladır;

4 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda güçlü asitler ( $Cl + SO_4$ ), zayıf asitlerden daha fazladır;

5 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda zayıf asitleri ( $HCO_3 + CO_3$ ) ve toprak alkali elementler ( $Ca, Mg$ ); alkali elementler ( $Na, K$ ) ve güçlü asit köklerinin ( $SO_4, Cl$ ) her ikisinde ayrı ayrı fazladır. Bu bölümdeki sular  $Ca-Mg-HCO_3$ ,  $Ca-Mg$ -yüksek  $HCO_3$  veya  $HCO_3$  yüksek  $Ca-Mg$  tip sularıdır.

6 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda güçlü asit kökleri ( $SO_4, Cl$ ) zayıf asit köklerinden ( $HCO_3 + CO_3$ ) fazladır ve toprak alkali elementleri ( $Ca, Mg$ ) alkali elementlerden ( $Na, k$ ) fazladır. Bu bölümdeki sular  $Ca-Mg-Cl$ ,  $Ca-Mg$ -yüksek  $Cl$  veya  $Cl$ -yüksek  $Ca-Mg$  tip sularıdır;

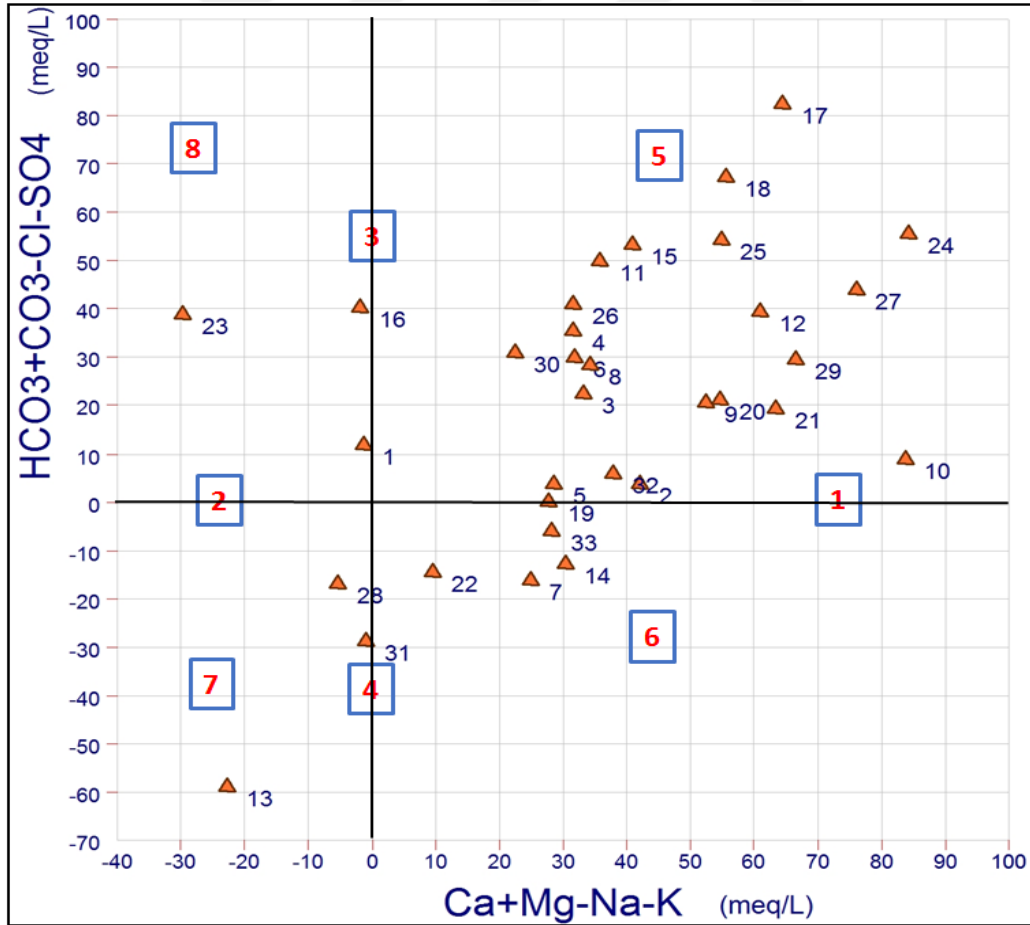
7 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda güçlü asit kökleri ( $SO_4, Cl$ ) zayıf asit köklerinden ( $HCO_3 + CO_3$ ) fazladır ve alkali elementleri ( $Na, K$ ) alkali toprak elementlerden ( $Ca, Mg$ ) fazladır. Bu bölümdeki sular  $Na-Cl$ ,  $NaSO_4$ ,  $Na$ -yüksek  $Cl$  veya yüksek  $Cl-Na$  tip sularıdır.

8 nolu bölüm: bu bölüme düşen sularda zayıf asit kökleri ( $HCO_3 + CO_3$ ) güçlü asit köklerinden ( $SO_4, Cl$ ) fazladır ve alkali elementleri ( $Na, K$ ) alkali toprak elementlerden ( $Ca, Mg$ ) fazladır. Bu bölümdeki sular  $Na-HCO_3$ ,  $Na$ -yüksek  $HCO_3$  veya yüksek  $Na-HCO_3$  tip sularıdır.

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait majör anyon ve katyon analiz sonuçları Chadha diyagramı üzerine yerleştirildiğinde, su örnekleri ağırlıklı olarak 5 nolu bölümünde yer almakta bu bölümdeki sularda zayıf asitleri ( $HCO_3 + CO_3$ ) ve toprak alkali elementler ( $Ca, Mg$ ); alkali elementler ( $Na, K$ ) ve güçlü asit köklerinin ( $SO_4, Cl$ ) her ikisinde ayrı ayrı fazladır. Buna göre örneklerin büyük bölümünün  $Ca-Mg-HCO_3$

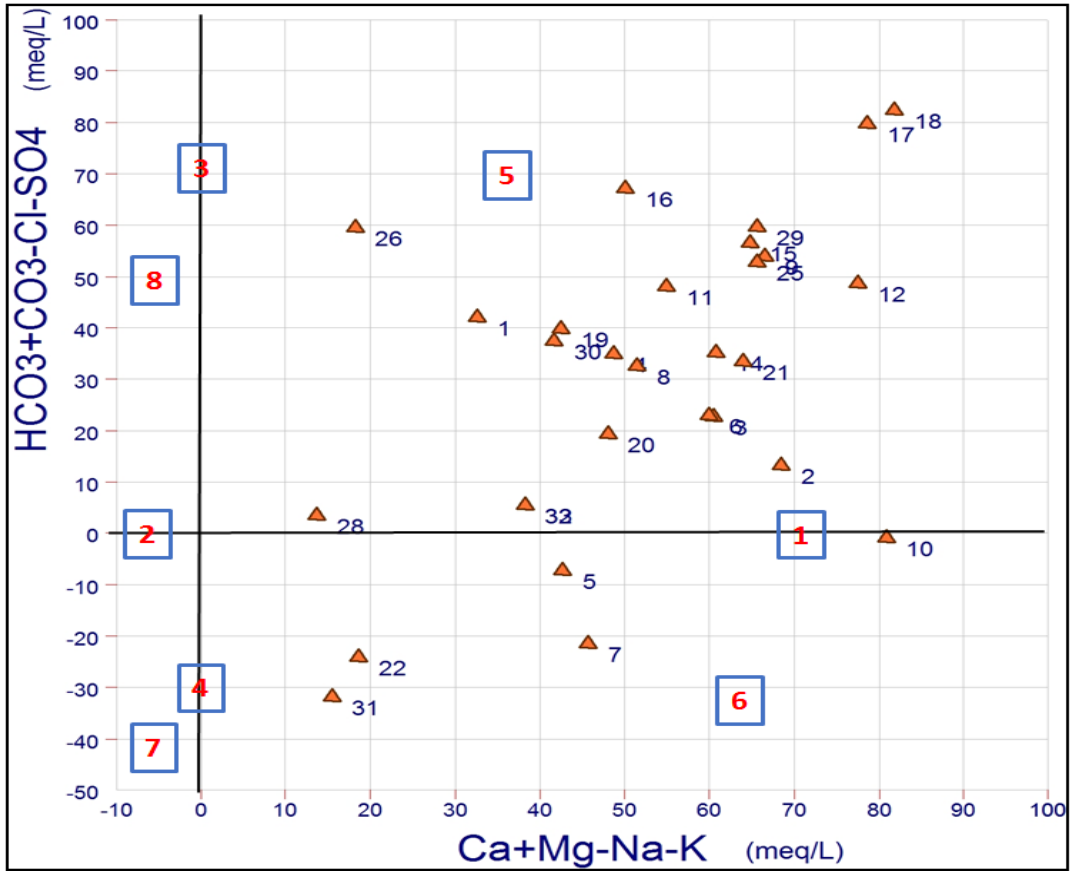


yapısında olduğu görülmektedir (Şekil 57). Bu durum inceleme alanındaki karbonatlı ve sülfatlı kayaların su kaynakları üzerindeki etkisini göstermektedir. 7, 14, 22 ve 33 nolu kuyulardaki su örnekleri diyagramın 6 nolu bölümünde yer almakta bu bölümdeki sulara güçlü asit kökleri ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ) zayıf asit köklerinden ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) fazladır ve toprak alkali elementleri ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) alkali elementlerden ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) fazladır. Buna göre bu örneklerin  $\text{Ca-Mg-Cl}$  su fasiyesinde olduğu görülmektedir. 31, 28 ve 13 nolu kuyulardaki örnekleri diyagramın 7 nolu bölümünde yer almakta bu bölümdeki sulara güçlü asit kökleri ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ) zayıf asit köklerinden ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) fazladır ve alkali elementler ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) alkali toprak elementlerden ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) fazladır. Buna göre bu örneklerin  $\text{Na-Cl}$ 'lu sular fasiyesinde yer aldığı görülmektedir. 1, 16 ve 23 nolu kuyulardaki su örnekleri diyagramın 8 nolu bölümünde yer almakta bu bölümdeki sulara zayıf asit kökleri ( $\text{HCO}_3 + \text{CO}_3$ ) güçlü asit köklerinden ( $\text{SO}_4$ ,  $\text{Cl}$ ) fazladır ve alkali elementler ( $\text{Na}$ ,  $\text{K}$ ) alkali toprak elementlerden ( $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$ ) fazladır. Buna göre bu su örnekleri  $\text{Na-HCO}_3$ 'lu sular fasiyesinde yer almaktadır.



Şekil 57. Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Chadha diyagramı (Chadha, 1999)

Aralık ayında ise örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait analiz sonuçları Chadha diyagramı üzerine yerleştirildiğinde ağırlıklı olarak Temmuz ayındaki gibi 5 nolu bölümünde yer almakta bu su örnekleri Ca-Mg-HCO<sub>3</sub>'lu su fasiyesinde olduğu görülmektedir. 5, 7, 10, 22 ve 31 nolu kuyulardaki su örnekleri diyagramın 6 nolu bölümünde yer almakta bu su örneklerinin Ca-Mg-Cl su fasiyesinde olduğu görülmektedir (Şekil 58).



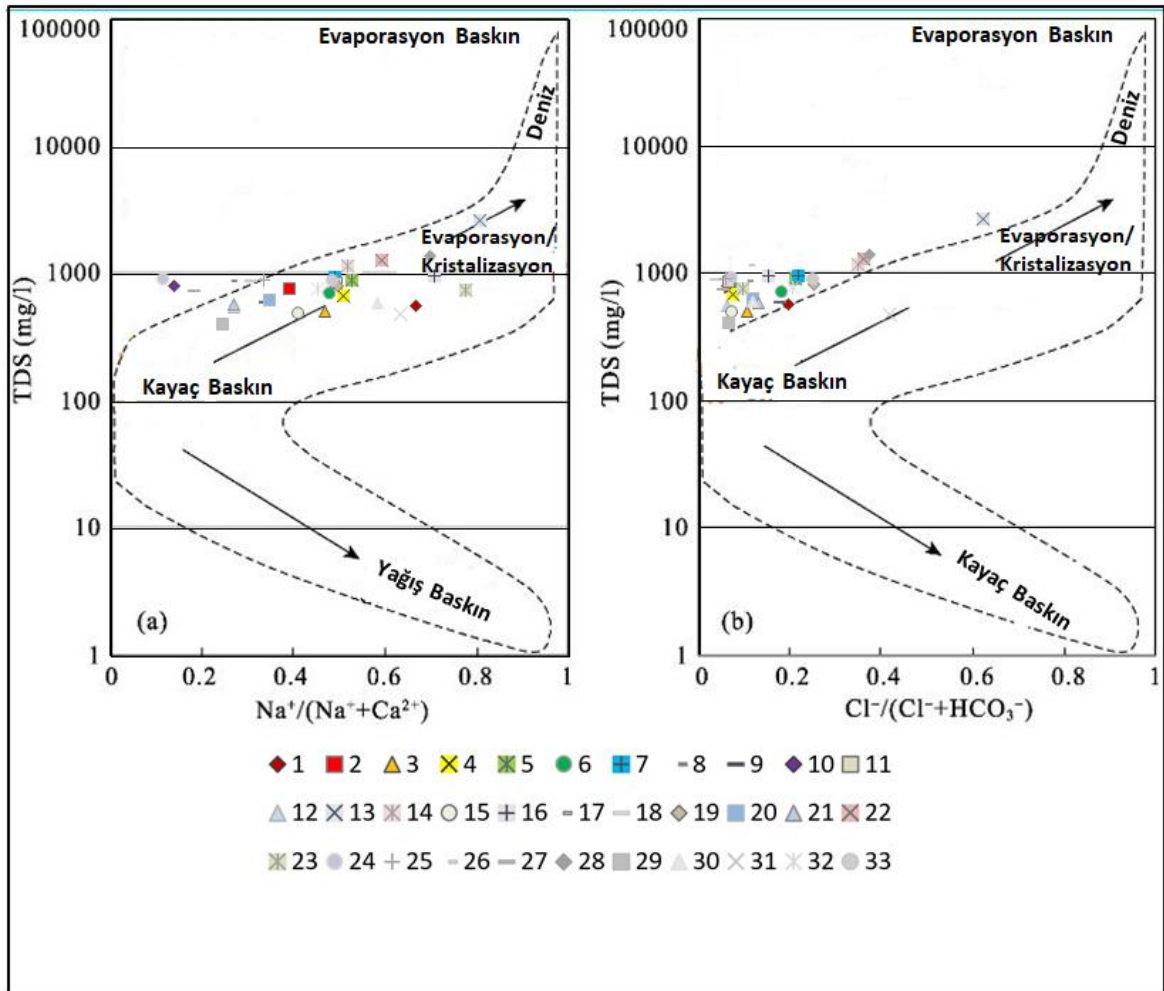
Şekil 58. Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Chadha diyagramı (Chadha, 1999)

#### 6.7.4. Gibbs Diyagramı

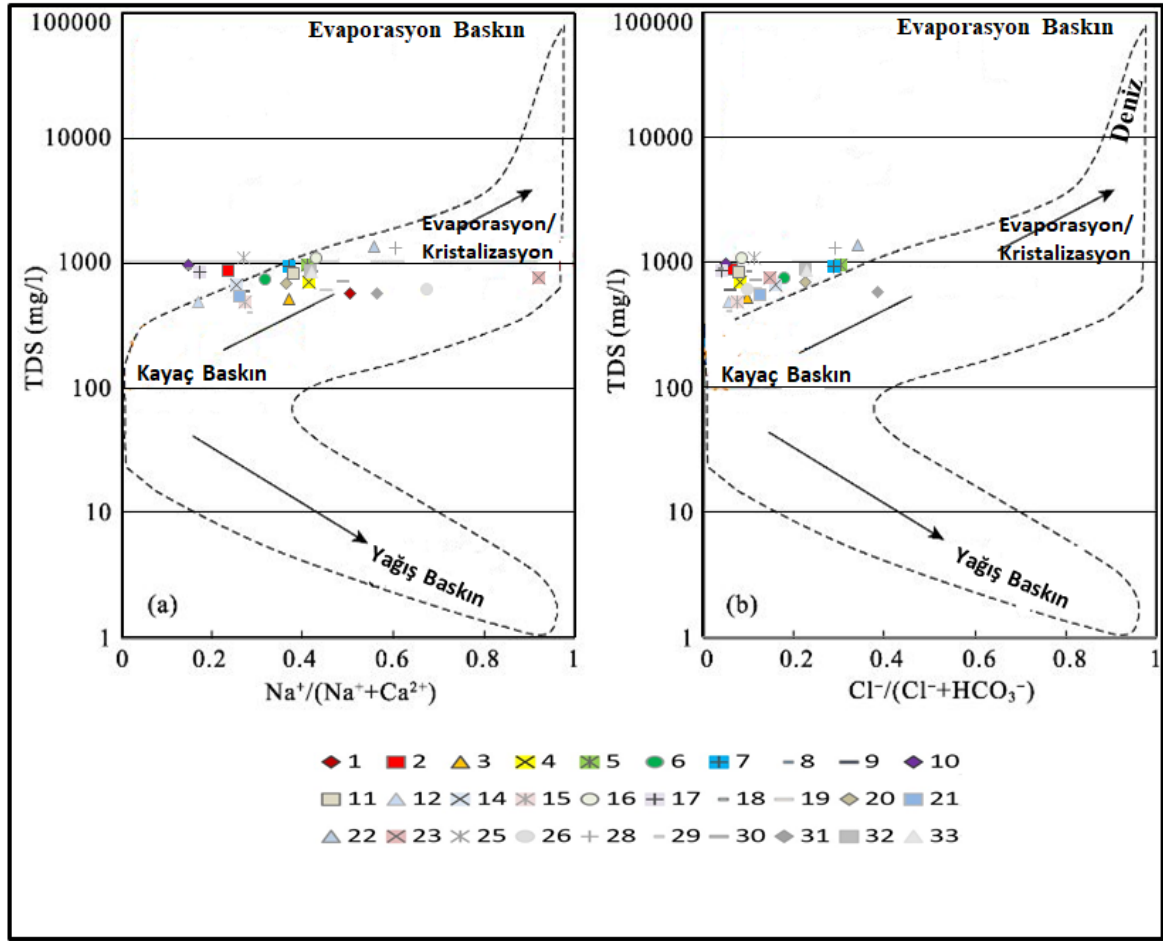
Gibbs diyagramı, inceleme alanında örneklenen suların hangi işlev veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için kullanılmaktadır. Bu diyagramda yeraltısularının tiplerinin gelişmesinde etkin olan süreçlerden kayaç, evaporasyon/kristalizasyon ve yağışın etkin olduğunu belirten 3 farklı bölge tanımlanmıştır. Gibbs diyagramı katyonlar için düşey

eksende suların TDS, yatay ekseninde suların  $\text{Na}^+(\text{Na}^+\text{+Ca}^{2+})$ ; anyonlar için düşey ekseninde suların TDS değerleri, yatay ekseninde suların  $\text{Cl}^-(\text{Cl}^+\text{+HCO}_3^-)$  değerleri yerleştirilerek su kaynaklarında kaya su etkileşiminde etkili olan mekanizmaları belirlemektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuları Gibbs diyagramı üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 59 ve 60). Bu diyagramlar incelendiğinde Temmuz ve Aralık aylarına ait örneklerin ağırlıklı olarak “kayaç baskın” bölgesine düştüğü görülmektedir. Ancak Temmuz ayında 14, 22, 28 ve 13 nolu su örnekleri ve Aralık ayında 28, 22, 16 ve 25 nolu suyu örneklerinin “Evaporasyon-Kristalizasyon” bölgesine düştüğü görülmektedir.



Şekil 59. Temmuz ayında örneklenen sularına ait Gibbs diyagramı



Şekil 60. Aralık ayında örneklenen sularına ait Gibbs diyagramı

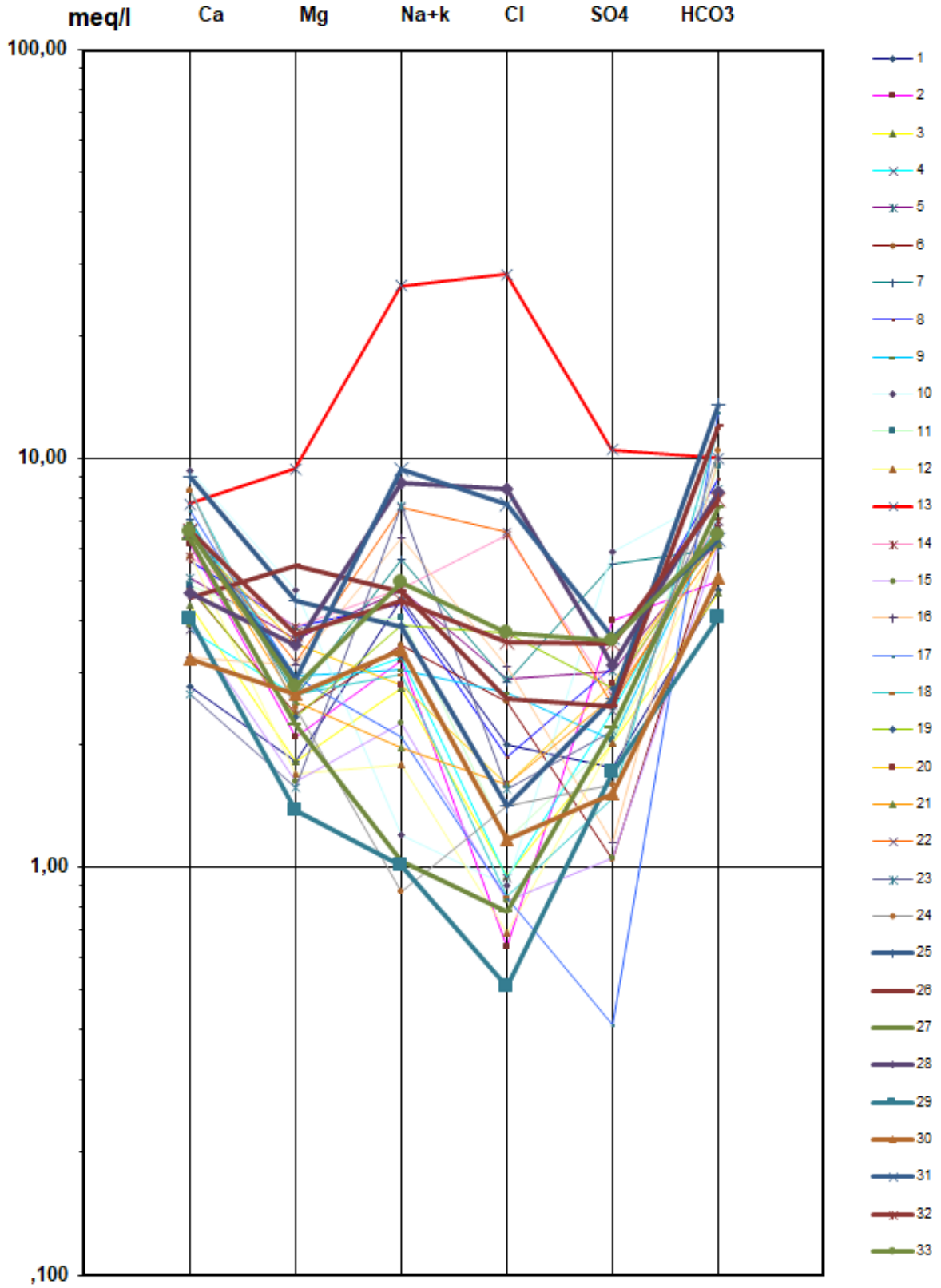
### 6.7.5. Schoeller Diyagramı

Bu diyagram, yatay eksen aritmetik, düşey eksen logaritmik ölçekli kağıt üzerine, eşit aralıklarla yatay eksen üzerine sırasıyla  $rCa^{2+}$ ,  $rMg^{2+}$ ,  $r(Na^{+} + K^{+})$ ,  $rCl^{-}$ ,  $rSO_4^{2-}$  ve  $r(CO_3^{-} + HCO_3^{-})$  iyonları yerleştirilerek çizilmektedir. Yarı-logaritmik Schoeller diyagramında suların ilk bakışta ayırt edilmesi mümkün olurken yüzde ile gösterilen diyagramlarda, kimyasal özelliklerine ve kökenlerine sahip olan çok farklı olan sular bir arada bulunabilmektedir. Ayrıca benzer sular bu diyagramda kırık paralel çizgiler meydana getirebilmektedir.

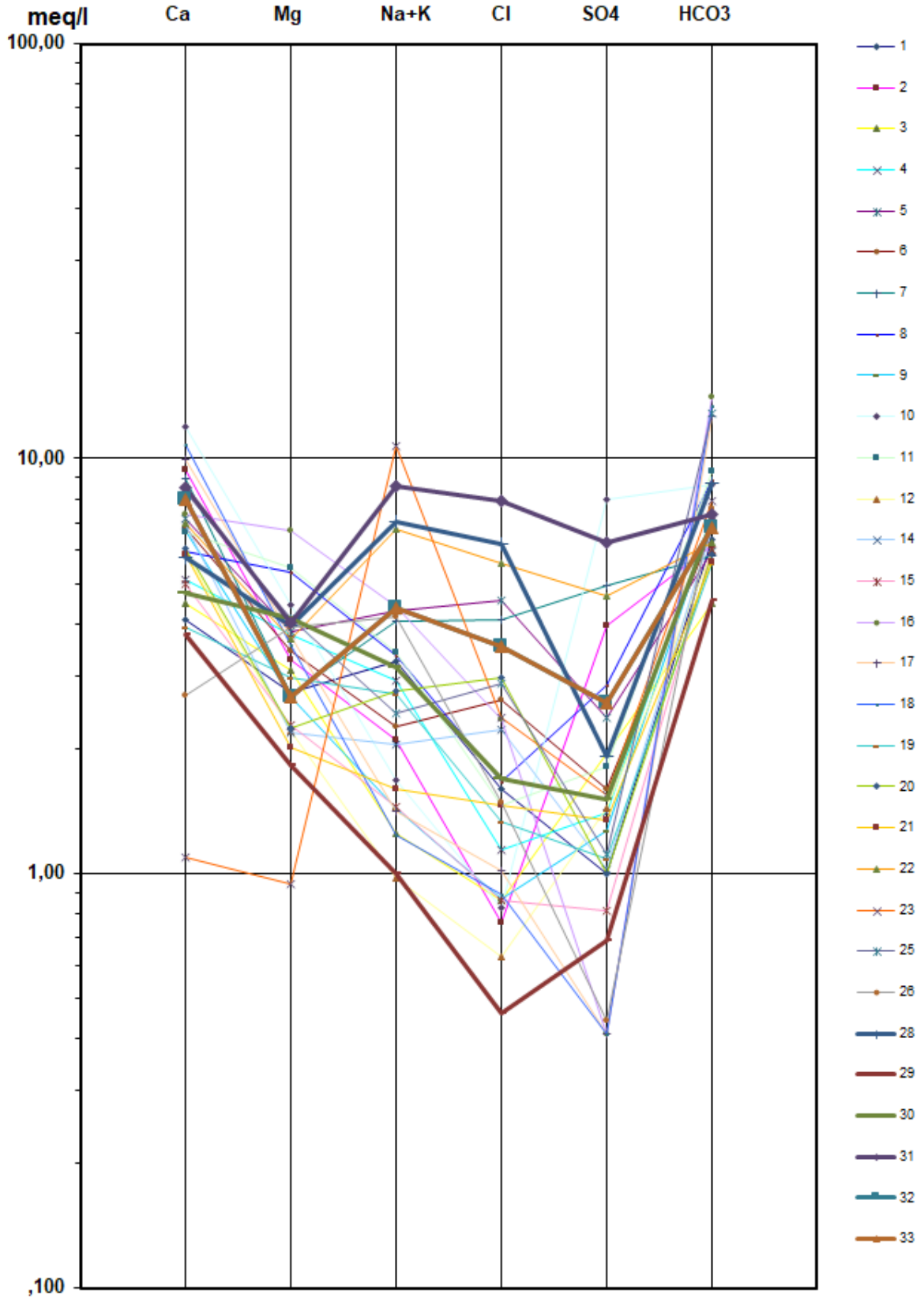
İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısu örnekleri Schoeller diyagramı üzerine yerleştirildiğinde çoğunlukla suların iyon dizilimi katyonlarda  $rCa^{2+} > r(Na^{+} + K^{+}) > rMg^{2+}$ ;  $rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^{+} + K^{+})$  ve  $r(Na^{+} + K^{+}) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$ ; anyonlarda ise çoğunlukla suların dizilimi  $r(HCO_3^{-} + CO_3^{-}) > rSO_4^{2-} > rCl^{-}$  ve  $r(HCO_3^{-} + CO_3^{-})$

$> rCl > rSO_4^{2-}$  olarak belirlenmiştir (Şekil 61). 13 ve 28 nolu kuyu örnekler için anyonlarda sırasıyla  $rCl > rSO_4^{2-} > r(HCO_3^- + CO_3^{2-})$  ve  $rCl > r(HCO_3^- + CO_3^{2-}) > rSO_4^{2-}$  diziliminde olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise örneklenen suların iyon dizilimi katyonlarda  $rCa^{2+} > rMg^{2+} > r(Na^+ + K^+)$ ,  $rCa^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rMg^{2+}$  ve  $r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$ ; anyonlarda ise  $r(HCO_3^- + CO_3^{2-}) > rCl > rSO_4^{2-}$  ve  $r(HCO_3^- + CO_3^{2-}) > rSO_4^{2-} > rCl$  diziliminde olduğu görülmektedir (Şekil 62). Temmuz ve Aralık aylarında katyonlar için  $r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+} > rMg^{2+}$  ve  $Mg^{2+} > r(Na^+ + K^+) > rCa^{2+}$ ; anyonlar için  $rCl > rSO_4^{2-} > r(HCO_3^- + CO_3^{2-})$  ve  $rCl > r(HCO_3^- + CO_3^{2-}) > rSO_4^{2-}$  dizilimdeki kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişimi olduğu düşünülmektedir.





Şekil 61. Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Shoeller diyagramı



Şekil 62. Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Shoeller diyagramı

## 6.8. Yeraltısularının Sulama Suyu Açısından Değerlendirilmesi

### 6.8.1. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

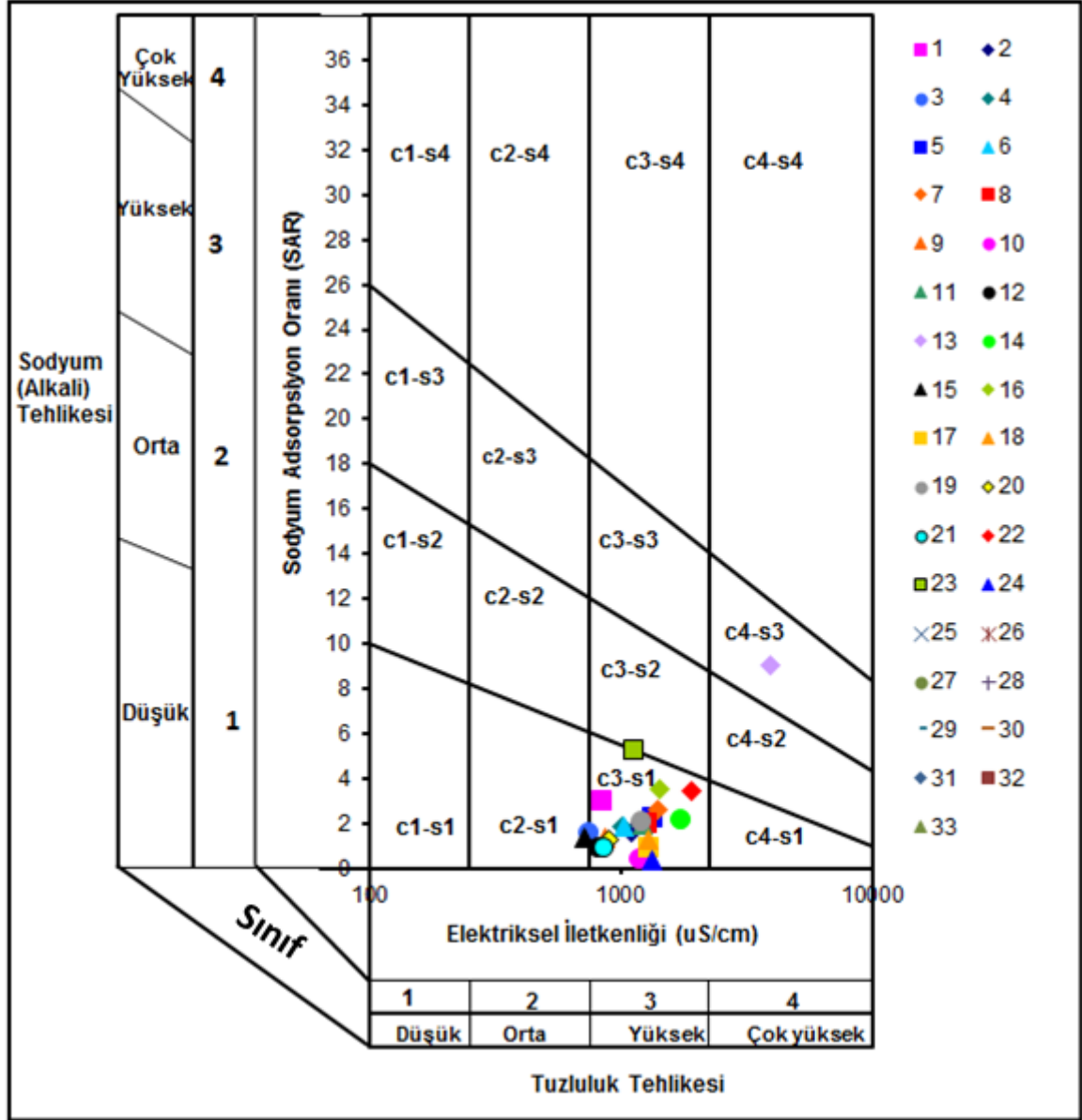
Yeraltısuyunun sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramından genel olarak yararlanılmaktadır. Bu diyagramda Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR) değerleri düşey eksen ve Elektriksel İletkenlik (EC) değerleri yatay eksende bulunmaktadır. Diyagramda sular genel tuzluluk tehlikesine göre 4 farklı sınıfa (C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>) ayrılırken, sodyum tehlikesine göre de 4 sınıf (S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>) tanımlanmaktadır. Suların genel tuzluluk tehlikesi ile sodyum tehlikesine göre oluşturulan sınıflarının kombinasyonu ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında 16 farklı bölgeye ayrılmaktadır.

Bu diyagramın sınıflarının yorumu şöyledir:

- C<sub>1</sub> (EC 250 mikromho/cm'den az) : bu sınıfa giren sular, az tuzlu sular olup her toprakta ve bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir;
- C<sub>2</sub> (EC 250-750 mikromho/cm arası) : bu sınıfa giren sular, orta tuzlu sular olup orta drenaj özelliklerine sahip olan topraklarda ve tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler için kullanılabilir.
- C<sub>3</sub> (EC 750-2250 mikromho/cm arası): bu sınıfa giren sular, tuzlu sular olup kötü drenaj özelliklerine sahip olan arazilerde sulamada kullanılmamaktadır.
- C<sub>4</sub> (EC 2250 mikromho/cm'den fazla): bu sınıfa giren sular, çok tuzlu sular olup sulamada uygun olmamaktadır. Ancak bu sular çok iyi drenaj yapılmış olan arazilerde ve bazı özel durumlarda, sulamada kullanılabilir.
- S<sub>1</sub>: bu sınıfa giren sular az sodyumlu sular olup yaklaşık bütün topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir;
- S<sub>2</sub>: bu sınıfa giren sular orta sodyumlu sular olup permeabilitesi iyi olan veya jipsli arazilerde kullanılabilir.
- S<sub>3</sub>: bu sınıfa giren sular yüksek sodyumlu sular olup çoğu toprak cinslerinde sodyum tehlikesi olabilmektedir. Çok iyi geçirgenlik ve drenaj özelliklerine gösteren arazilerde bol su kullanarak, belirli zamanlarda yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir.
- S<sub>4</sub>: bu sınıfa giren sular çok yüksek sodyumlu sular olup düşük toplam tuzlu miktarına sahip olan suların dışında sulamada kullanılmamaktadır.



Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örnekleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerine yerleştirildiğinde örneklerin büyük bir bölümünün  $C_3S_1$  ve  $C_2S_1$  gruplarında olduğu görülmektedir. Ancak 13 nolu su örneği  $C_4S_3$  grubunda ve 23 nolu örneği de  $C_3S_2$ 'ye yakın grupta yer almaktadır (Şekil 63).

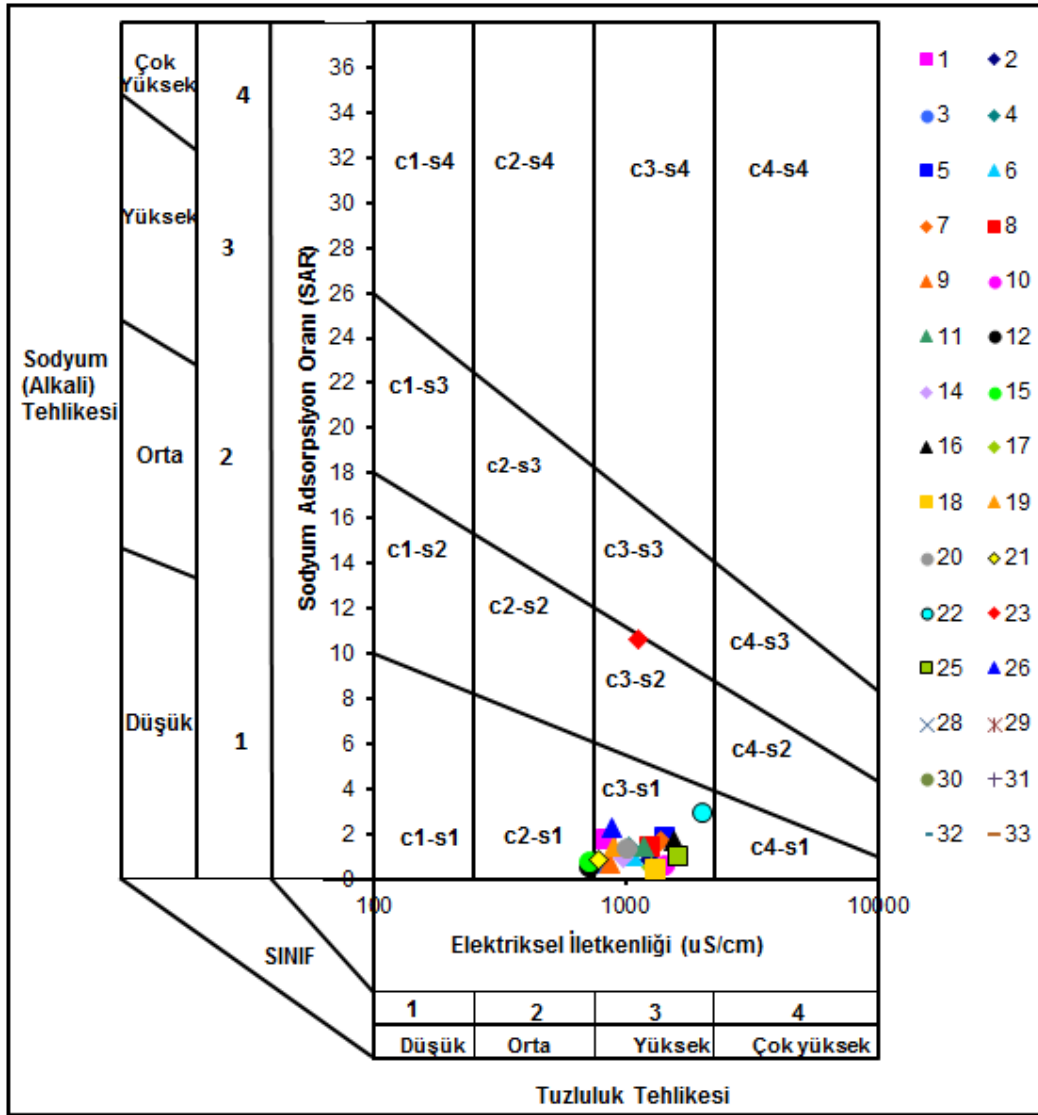


Şekil 63. Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait ABD tuzluluk diyagramı

Aralık ayında ise örneklenen yeraltısuyu örnekleri ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı'nın üzerine yerleştirildiğinde Temmuz ayında gözlendiği gibi örneklerin büyük

bir bölümünün  $C_3S_1$  ve  $C_2S_1$  gruplarında olduğu görülmektedir (Şekil 64). Ancak 23 nolu su örneği  $C_3S_2$  grubunda yer almaktadır.  $C_4S_3$  grubunda yer alan sular sulamada kullanılamaz.

$C_2S_1$  grubu orta tuzlu, az sodyumlu suları içerirken,  $C_3S_1$  grubu ise tuzlu, az sodyumlu sular olup her iki grup sular da tuzluluk ve sodyum tehlikesi olmadan sulamada kullanılabilirler.  $C_3S_2$  grubunda yer alan sular tuzluluk ve sodyum tehlikesi bakımından sulamada bazı özel koşullarda kullanılabilir.



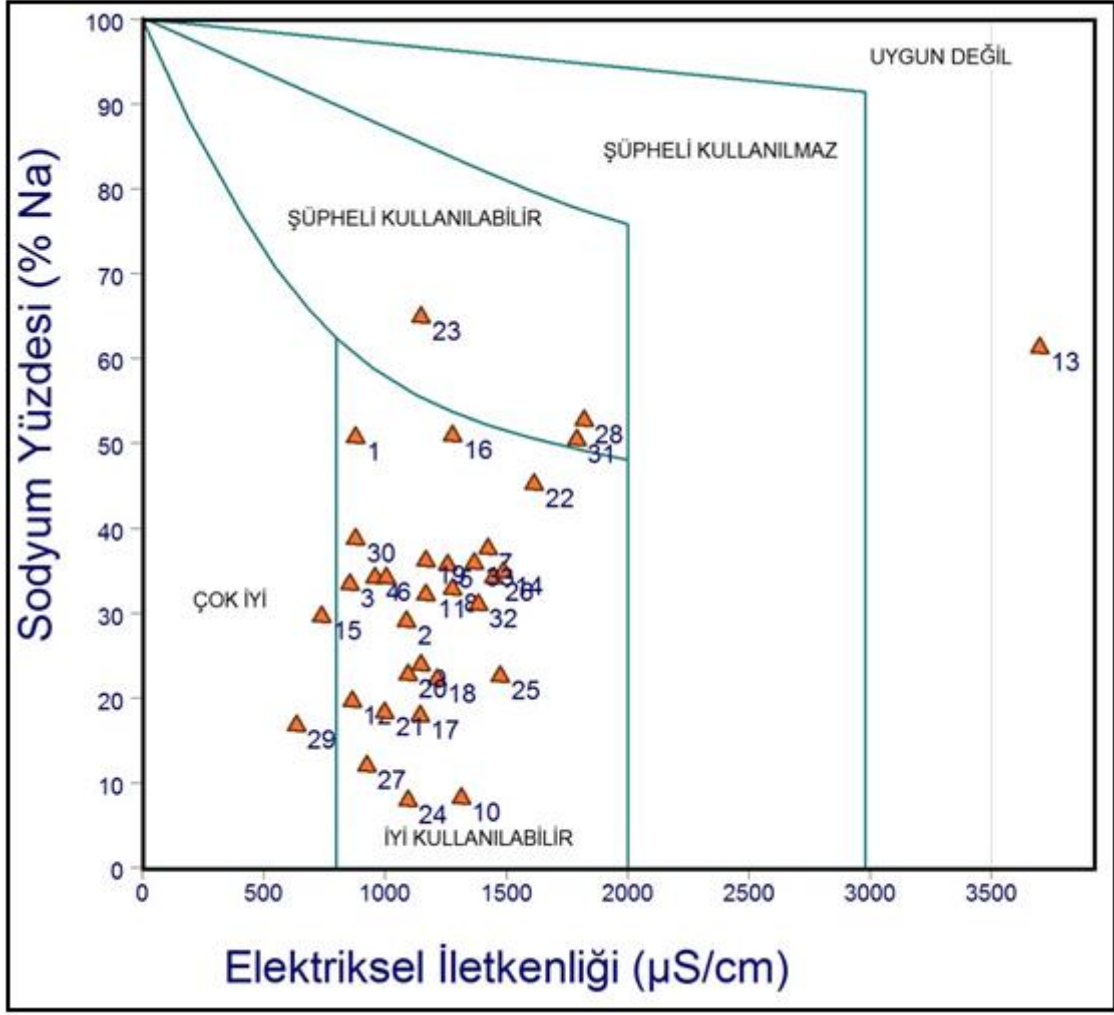
Şekil 64. Aralık ayında örneklenen yeraltısularına ait ABD tuzluluk diyagramı

### 6.8.2. Wilcox Diyagramına Göre Suların Değerlendirmesi

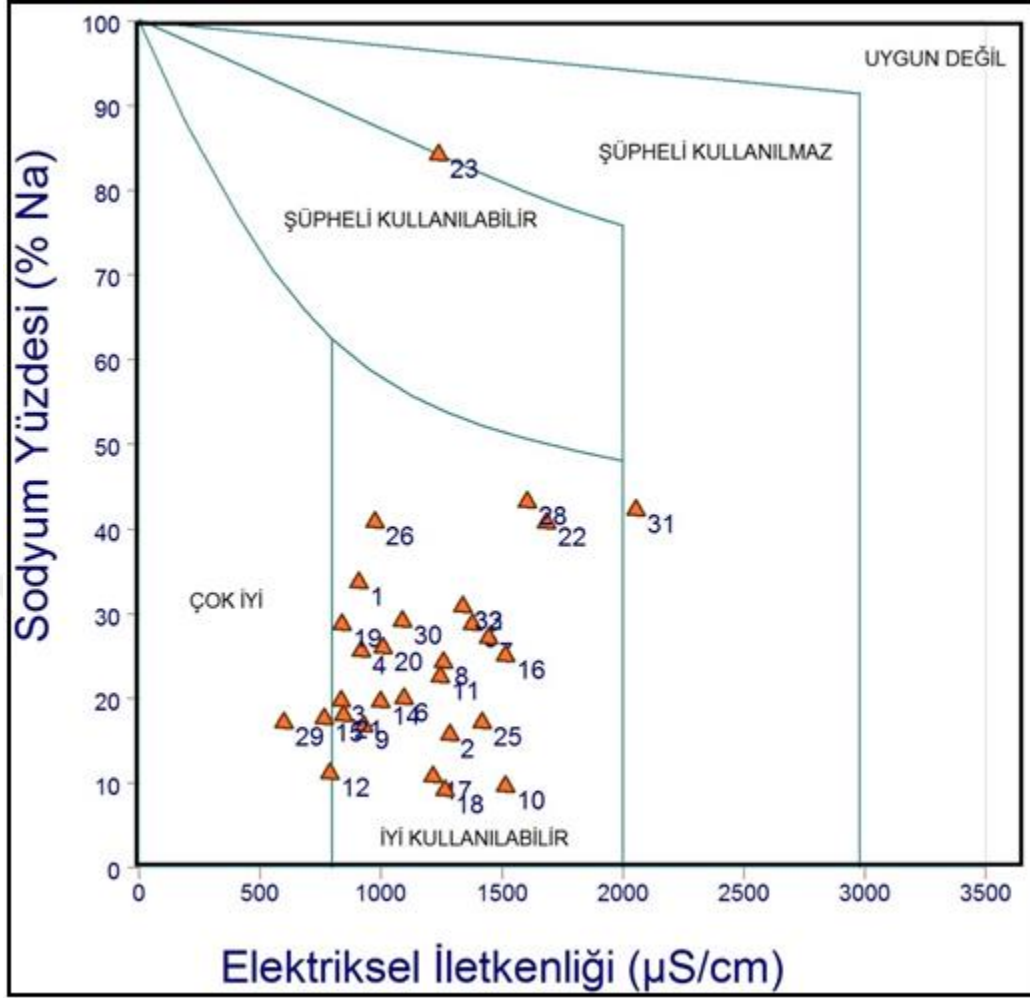
Suların sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramından başka kullanılan bir diğer diyagram da Wilcox diyagramıdır. Bu diyagramda yatay ekseninde Elektriksel İletkenlik (EC), düşey ekseninde Sodyum Yüzdesi (% Na) değerleri bulunmakta ve sular, “çok iyi”, “iyi kullanılabilir”, “şüpheli kullanılabilir”, “şüpheli kullanılamaz” ve “uygun değil” olmak üzere 5 sınıfa ayrılmaktadır.

İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin ağırlıklı olarak “iyi kullanılabilir” sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 65). Ancak 15 ve 29 nolu kuyulardaki suların “çok iyi” sınıfında olduğu görülürken 23, 28 ve 31 nolu kuyuların “şüpheli kullanılabilir” sınıfında olduğu gözlenmektedir. 13 nolu su örneği “uygun değil” sınıfında yer almakta ve bu su sulamada kullanılmaz durumda bulunmaktadır.

Aralık ayında ise örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Temmuz ayında görüldüğü gibi ağırlıklı olarak “iyi kullanılabilir” sınıfında olduğu izlenmektedir (Şekil 66). Ancak 23 ve 31 nolu kuyulardan örneklenen suların sırasıyla “şüpheli kullanılabilir” ve “şüpheli kullanılmaz” sınıflarında olduğu görülmektedir.



Şekil 65. Temmuz ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagramı



Şekil 66. Aralık ayında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait Wilcox diyagramı

### 6.8.3. Sodyum Yüzdesi (%Na)

Yeraltısularının sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan diğer önemli parametre de sodyum yüzdesidir. Bu parametrenin artışı topraktaki kalsiyum ve magnezyumla baz değişikliğine neden olmaktadır. Sulamada kullanılan yüksek sodyumlu sular toprağın geçirimliliğini azaltmakta ve bu tip toprakta bitkiler gelişmemektedir.

$$\%Na = [(Na^+ + K^+) \times 100] / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+) \quad (\text{Wilcox, 1955}) \quad (15)$$

Burada  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir. Sulama sularının Sodyum yüzdesine göre sınıflandırılması Tablo 44'te verilmiştir.

Tablo 44. %Na değerlerine göre sulama suyunun sınıflandırılması

| Su Kalitesi        | % Na (mek/l) |
|--------------------|--------------|
| Çok iyi            | < 20         |
| İyi                | 20-40        |
| Müsaade edilebilir | 40-60        |
| Şüpheli            | 60-80        |
| Kullanılmaz        | > 80         |

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerine ait %Na değerleri Tablo 45'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında tespit edilen %Na değerlerinin Temmuz ayında 64,85 ile 7,84 arasında; Aralık ayında ise 9,10 ile 84,20 arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklerin %78,78'i "iyi ve çok iyi özellikteki sulama suları" sınıfındadır. Ancak Temmuz ayında 1, 16, 22, 28 ve 31 nolu kuyularda örneklenen sular "Müsaade edilebilir özellikteki sulama suları" sınıfında, 13 ve 23 nolu kuyularda örneklenen sular "Şüpheli özellikteki sulama suları" sınıfında olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise 22, 28 ve 31 nolu kuyularda örneklenen sular "Müsaade edilebilir özellikteki sulama suları" sınıfında; 23 nolu kuyuda örneklenen sular "Kullanılmaz özellikteki sulama suları" sınıfında olduğu görülmektedir.

Tablo 45. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların %Na değerlerine göre değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 |       |                    |         |       |                    |
|-------------|-------|--------------------|---------|-------|--------------------|
| Kuyu No     | %Na   | Sınıf              | Kuyu No | %Na   | Sınıf              |
| 1           | 50,65 | Müsaade edilebilir | 17      | 17,81 | Çok iyi            |
| 2           | 28,99 | İyi                | 18      | 22,18 | İyi                |
| 3           | 33,44 | İyi                | 19      | 36,10 | İyi                |
| 4           | 34,19 | İyi                | 20      | 22,67 | İyi                |
| 5           | 35,72 | İyi                | 21      | 18,25 | Çok iyi            |
| 6           | 34,10 | İyi                | 22      | 45,21 | Müsaade edilebilir |
| 7           | 37,55 | İyi                | 23      | 64,85 | Şüpheli            |
| 8           | 32,86 | İyi                | 24      | 7,84  | Çok iyi            |
| 9           | 23,84 | İyi                | 25      | 22,55 | İyi                |
| 10          | 8,16  | Çok iyi            | 26      | 34,21 | İyi                |
| 11          | 32,14 | İyi                | 27      | 11,97 | Çok iyi            |
| 12          | 19,53 | Çok iyi            | 28      | 52,65 | Müsaade edilebilir |
| 13          | 61,32 | Şüpheli            | 29      | 16,74 | Çok iyi            |
| 14          | 34,83 | İyi                | 30      | 38,78 | İyi                |
| 15          | 29,59 | İyi                | 31      | 50,50 | Müsaade edilebilir |
| 16          | 50,92 | Müsaade edilebilir | 32      | 31,03 | İyi                |
|             |       |                    | 33      | 35,92 | İyi                |

Tablo 45'in devamı

| Aralık 2019 |       |         |         |       |                    |
|-------------|-------|---------|---------|-------|--------------------|
| Kuyu No     | %Na   | Sınıf   | Kuyu No | %Na   | Sınıf              |
| 1           | 33,69 | İyi     | 17      | 10,66 | Çok İyi            |
| 2           | 15,71 | Çok İyi | 18      | 9,10  | Çok İyi            |
| 3           | 19,74 | Çok İyi | 19      | 28,73 | İyi                |
| 4           | 25,61 | İyi     | 20      | 26,01 | İyi                |
| 5           | 28,69 | İyi     | 21      | 17,98 | Çok İyi            |
| 6           | 20    | İyi     | 22      | 40,69 | Müsaade edilebilir |
| 7           | 27,18 | İyi     | 23      | 84,20 | Kullanılmaz        |
| 8           | 24,28 | İyi     | 25      | 17,16 | Çok İyi            |
| 9           | 16,74 | Çok İyi | 26      | 40,93 | Müsaade edilebilir |
| 10          | 9,57  | Çok İyi | 28      | 43,16 | Müsaade edilebilir |
| 11          | 22,52 | İyi     | 29      | 17,19 | Çok İyi            |
| 12          | 11,17 | Çok İyi | 30      | 29,15 | İyi                |
| 14          | 19,61 | Çok İyi | 31      | 42,27 | Müsaade edilebilir |
| 15          | 17,58 | Çok İyi | 32      | 30,84 | İyi                |
| 16          | 24,95 | İyi     | 33      | 30,84 | İyi                |

#### 6.8.4. Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR)

Sodyum adsorpsiyon oranı, suların sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Yüksek sodyum konsantrasyonu toprağın yapısını bozarak permeabilitesini azaltmaktadır. Ayrıca sulamada kullanılan yüksek sodyumlu sular toprakta kaymak şeklinde sert bir kabuk oluşmasına neden olmaktadır (Richard,1954). Sodyum yüzdesi değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır;

$$SAR = Na^+ / ((Ca^{2+} + Mg^{2+}) / 2)^{1/2} \text{ (Richards, 1954)} \quad (16)$$

Burada  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir. Sulama sularının sodyum adsorpsiyon oranına göre sınıflandırılması Tablo 46'da verilmiştir.

Tablo 46. SAR değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması

| Su kalitesi | SAR (mek/l) |
|-------------|-------------|
| Çok iyi     | < 10        |
| İyi         | 10-18       |
| Şüpheli     | 18-26       |
| Uygun değil | > 26        |

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin SAR değerleri Tablo 47’de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında tespit edilen SAR değerleri Temmuz ayında 0,37 ile 9,05 arasında; Aralık ayında ise 0,46 ile 10,65 arasındadır; buna göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin tümü “Çok iyi ve iyi özellikteki sulama suları” sınıflarındadır.

Tablo 47. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların SAR değerlerine göre değerlendirilmesi

| <b>Temmuz 2019</b> |            |              |                |            |              |
|--------------------|------------|--------------|----------------|------------|--------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>SAR</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>SAR</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 3          | Çok iyi      | 17             | 0,91       | Çok iyi      |
| 2                  | 1,58       | Çok iyi      | 18             | 1,27       | Çok iyi      |
| 3                  | 1,57       | Çok iyi      | 19             | 2,07       | Çok iyi      |
| 4                  | 1,81       | Çok iyi      | 20             | 1,26       | Çok iyi      |
| 5                  | 2,28       | Çok iyi      | 21             | 0,91       | Çok iyi      |
| 6                  | 1,85       | Çok iyi      | 22             | 3,46       | Çok iyi      |
| 7                  | 2,58       | Çok iyi      | 23             | 5,29       | Çok iyi      |
| 8                  | 2,03       | Çok iyi      | 24             | 0,37       | Çok iyi      |
| 9                  | 1,37       | Çok iyi      | 25             | 1,49       | Çok iyi      |
| 10                 | 0,45       | Çok iyi      | 26             | 2,11       | Çok iyi      |
| 11                 | 1,94       | Çok iyi      | 27             | 0,50       | Çok iyi      |
| 12                 | 0,92       | Çok iyi      | 28             | 4,31       | Çok iyi      |
| 13                 | 9,05       | Çok iyi      | 29             | 0,61       | Çok iyi      |
| 14                 | 2,20       | Çok iyi      | 30             | 2          | Çok iyi      |
| 15                 | 1,35       | Çok iyi      | 31             | 4,34       | Çok iyi      |
| 16                 | 3,56       | Çok iyi      | 32             | 1,97       | Çok iyi      |
|                    |            |              | 33             | 2,31       | Çok iyi      |
| <b>Aralık 2019</b> |            |              |                |            |              |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>SAR</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>SAR</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 1,76       | Çok iyi      | 17             | 0,54       | Çok iyi      |
| 2                  | 0,83       | Çok iyi      | 18             | 0,46       | Çok iyi      |
| 3                  | 0,64       | Çok iyi      | 19             | 1,46       | Çok iyi      |
| 4                  | 1,39       | Çok iyi      | 20             | 1,36       | Çok iyi      |
| 5                  | 1,84       | Çok iyi      | 21             | 0,81       | Çok iyi      |
| 6                  | 1,00       | Çok iyi      | 22             | 2,94       | Çok iyi      |
| 7                  | 1,69       | Çok iyi      | 23             | 10,65      | İyi          |
| 8                  | 1,42       | Çok iyi      | 25             | 0,98       | Çok iyi      |
| 9                  | 0,67       | Çok iyi      | 26             | 2,28       | Çok iyi      |
| 10                 | 0,59       | Çok iyi      | 28             | 3,20       | Çok iyi      |
| 11                 | 1,39       | Çok iyi      | 29             | 0,60       | Çok iyi      |
| 12                 | 0,48       | Çok iyi      | 30             | 1,50       | Çok iyi      |
| 14                 | 0,96       | Çok iyi      | 31             | 3,43       | Çok iyi      |
| 15                 | 0,76       | Çok iyi      | 32             | 1,89       | Çok iyi      |
| 16                 | 1,67       | Çok iyi      | 33             | 1,89       | Çok iyi      |



### 6.8.5. Kalıcı Sodyum Karbonat (RSC)

Kalıcı sodyum karbonat içeriği, sulama suyunun toprakta serbest kalsiyum ve magnezyum miktarını azaltıp azaltamayacağını belirlemek için kullanılan hızlı bir testtir. Bu parametre topraktaki alkalinite tehlikesini ortaya koymak amacıyla kullanılmaktadır. Genel olarak kalıcı sodyum karbonat değeri, yüksek katyon değişim kapasitesine sahip killi topraklarda suyun sulamada uygunluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Sulardaki çözülmüş sodyum konsantrasyonu çözülmüş kalsiyum ve magnezyumdan büyük olduğunda killerde toprak şişmesi veya infiltrasyon kapasitesinin azalmasına neden olmaktadır (Hopkis vd., 2007). Kalıcı sodyum karbonat değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$RSC = (CO_3^{2-} + HCO_3^-) - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (Eaton 1950)} \quad (17)$$

Burada  $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir. Sulama sularının kalıcı sodyum karbonat değerine göre sınıflandırılması Tablo 48’de verilmiştir.

Tablo 48. RSC değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması

| RSC (mek/l) | Su sınıfı     | Değerlendirme |
|-------------|---------------|---------------|
| < 1,25      | I. sınıf su   | Çok iyi       |
| 1.25-2,5    | II. sınıf su  | İyi           |
| > 2,50      | III. sınıf su | Uygun değil   |

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerine kalıcı sodyum karbonat değerleri Tablo 49’da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında örneklenen suların RSC değerleri Temmuz ayında -7,08 ile 4,21 arasında; Aralık ayında ise -7,69 ile 5,90 arasında değişmektedir. Bu değerlerine göre Temmuz ayında örneklerin %90,90’ı, Aralık ayında örneklerin %96,96’sı sulamada “uygun” olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ayında 16, 17 ve 23 nolu kuyularda ve Aralık ayında 7 nolu kuyuda örneklenen yeraltısuyu örneklerinin sulama için uygun olmadığı görülmektedir.

Tablo 49. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin RSC değerlerine göre değerlendirilmesi

| <b>Temmuz 2019</b> |            |              |                |            |              |
|--------------------|------------|--------------|----------------|------------|--------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>RSC</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>RSC</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 0,17       | İyi          | 17             | 2,66       | Uygun değil  |
| 2                  | -3,23      | İyi          | 18             | 0,87       | İyi          |
| 3                  | -1,49      | İyi          | 19             | -0,64      | İyi          |
| 4                  | 0,58       | İyi          | 20             | -3,14      | İyi          |
| 5                  | -2,35      | İyi          | 21             | -2,99      | İyi          |
| 6                  | -0,49      | İyi          | 22             | -2,86      | İyi          |
| 7                  | -3,67      | İyi          | 23             | 4,21       | Uygun değil  |
| 8                  | -0,54      | İyi          | 24             | -0,33      | İyi          |
| 9                  | -2,72      | İyi          | 25             | 0,02       | İyi          |
| 10                 | -5,93      | İyi          | 26             | 2,01       | Orta iyi     |
| 11                 | 0,88       | İyi          | 27             | -0,92      | İyi          |
| 12                 | -1,3       | İyi          | 28             | 0,1        | İyi          |
| 13                 | -7,08      | İyi          | 29             | -1,34      | İyi          |
| 14                 | -2,55      | İyi          | 30             | -0,75      | İyi          |
| 15                 | 0,63       | İyi          | 31             | -3,16      | İyi          |
| 16                 | 3,6        | Uygun değil  | 32             | -2,41      | İyi          |
|                    |            |              | 33             | -2,85      | İyi          |
| <b>Aralık 2019</b> |            |              |                |            |              |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>RSC</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>RSC</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | -0,44      | Çok iyi      | 17             | -1,01      | Çok iyi      |
| 2                  | -6,45      | Çok iyi      | 18             | -0,98      | Çok iyi      |
| 3                  | -3,05      | Çok iyi      | 19             | -1,27      | Çok iyi      |
| 4                  | -3,56      | Çok iyi      | 20             | -2,40      | Çok iyi      |
| 5                  | -4,98      | Çok iyi      | 21             | -2,27      | Çok iyi      |
| 6                  | -3,48      | Çok iyi      | 22             | -4,37      | Çok iyi      |
| 7                  | -5,80      | Çok iyi      | 23             | 5,90       | Uygun değil  |
| 8                  | -2,39      | Çok iyi      | 25             | 0,40       | Çok iyi      |
| 9                  | -2,22      | Çok iyi      | 26             | 0,99       | Çok iyi      |
| 10                 | -7,69      | Çok iyi      | 28             | -0,93      | Çok iyi      |
| 11                 | -2,73      | Çok iyi      | 29             | -1,03      | Çok iyi      |
| 12                 | -2,16      | Çok iyi      | 30             | -1,84      | Çok iyi      |
| 14                 | -2,32      | Çok iyi      | 31             | -5,17      | Çok iyi      |
| 15                 | -1,20      | Çok iyi      | 32             | -3,84      | Çok iyi      |
| 16                 | 0,08       | Çok iyi      | 33             | -3,84      | Çok iyi      |

#### 6.8.6. Kelly İndeksi (KI)

Bu parametre, Kelly (1940) ve Paliwal (1967) tarafından tanıtılmış olup suların  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  ve  $\text{Mg}^{2+}$  konsantrasyonuna göre sulama açısından sınıflandırması için kullanılmaktadır.

Bu sınıflandırmaya göre 1'den büyük Kİ (Kelly İndeksi) değeri olduğunda sularda fazla Na<sup>+</sup> olduğunu işaret etmektedir. Bu nedenle, 1 veya 1'den düşük Kİ değerine sahip olan sular sulamada uygun olurken, 1'den büyük Kİ değerine sahip olan sular sulamada önerilmez. Kİ değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$KI = Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (Kelly, 1963)} \quad (18)$$

Burada Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Kİ değerleri Tablo 50'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında tespit edilen Kİ değerleri Temmuz ayında 0,08 ile 1,83 arasında; Aralık ayında ise 0,09 ile 5,29 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre Temmuz ayında 13, 23 ve 28 nolu kuyular hariç ve Aralık ayında 23 nolu kuyu hariç örneklenen suların tümünün sulama için uygun olduğu görülmektedir. Kelly İndeksi değerlerine göre Temmuz ayında 13, 23 ve 28 nolu su örnekleri ve Aralık ayında 23 nolu su örneği de sulamaya uygun olmamaktadır.

Tablo 50. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Kİ değerlerine göre değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 |      |             |         |      |             |
|-------------|------|-------------|---------|------|-------------|
| Kuyu No     | Kİ   | Sınıf       | Kuyu No | Kİ   | Sınıf       |
| 1           | 0,99 | Uygun       | 17      | 0,20 | Uygun       |
| 2           | 0,39 | Uygun       | 18      | 0,27 | Uygun       |
| 3           | 0,45 | Uygun       | 19      | 0,55 | Uygun       |
| 4           | 0,51 | Uygun       | 20      | 0,28 | Uygun       |
| 5           | 0,55 | Uygun       | 21      | 0,21 | Uygun       |
| 6           | 0,49 | Uygun       | 22      | 0,79 | Uygun       |
| 7           | 0,59 | Uygun       | 23      | 1,83 | Uygun değil |
| 8           | 0,47 | Uygun       | 24      | 0,08 | Uygun       |
| 9           | 0,31 | Uygun       | 25      | 0,29 | Uygun       |
| 10          | 0,09 | Uygun       | 26      | 0,47 | Uygun       |
| 11          | 0,47 | Uygun       | 27      | 0,12 | Uygun       |
| 12          | 0,24 | Uygun       | 28      | 1,07 | Uygun değil |
| 13          | 1,55 | Uygun değil | 29      | 0,19 | Uygun       |
| 14          | 0,50 | Uygun       | 30      | 0,58 | Uygun       |
| 15          | 0,41 | Uygun       | 31      | 1    | Uygun       |
| 16          | 1    | Uygun       | 32      | 0,43 | Uygun       |
|             |      |             | 33      | 0,53 | Uygun       |

Tablo 50'nin devamı

| Aralık 2019 |      |       |         |      |             |
|-------------|------|-------|---------|------|-------------|
| Kuyu No     | Kİ   | Sınıf | Kuyu No | Kİ   | Sınıf       |
| 1           | 0,48 | Uygun | 17      | 0,10 | Uygun       |
| 2           | 0,17 | Uygun | 18      | 0,09 | Uygun       |
| 3           | 0,17 | Uygun | 19      | 0,39 | Uygun       |
| 4           | 0,33 | Uygun | 20      | 0,33 | Uygun       |
| 5           | 0,39 | Uygun | 21      | 0,20 | Uygun       |
| 6           | 0,22 | Uygun | 22      | 0,64 | Uygun       |
| 7           | 0,35 | Uygun | 23      | 5,29 | Uygun değil |
| 8           | 0,30 | Uygun | 25      | 0,20 | Uygun       |
| 9           | 0,15 | Uygun | 26      | 0,63 | Uygun       |
| 10          | 0,10 | Uygun | 28      | 0,73 | Uygun       |
| 11          | 0,28 | Uygun | 29      | 0,18 | Uygun       |
| 12          | 0,12 | Uygun | 30      | 0,36 | Uygun       |
| 14          | 0,22 | Uygun | 31      | 0,69 | Uygun       |
| 15          | 0,20 | Uygun | 32      | 0,41 | Uygun       |
| 16          | 0,31 | Uygun | 33      | 0,41 | Uygun       |

#### 6.8.7. Magnezyum Tehlikesi (MH)

Magnezyum tehlikesi, sularının sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan en önemli parametrelerden biri olarak kabul edilebilmektedir. Sudaki yüksek magnezyum konsantrasyonu toprağın kalitesini olumsuz olarak etkileyip verimini azaltmaktadır.

Paliwal'ın (1972) sınıflandırmasına göre %50'den düşük MH değerine sahip olan sular sulama suyu olarak kullanıma uygun olurken %50 'den fazla MH değerine sahip olan sular sulama için önerilmez. Magnezyum tehlikesi değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır.

$$MH = Mg^{2+} \times 100 / (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (Paliwal, 1972)} \quad (19)$$

Burada  $Ca^{2+}$  ve  $Mg^{2+}$  değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin Magnezyum tehlikesinin değerleri Tablo 51 'de verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında örneklenen suların MH değerleri Temmuz ayında %23,22 ile %59,30 arasında; Aralık ayında ise %22,53 ile %54,94 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre Temmuz

ayında 13 ve 26 nolu kuyular hariç ve Aralık ayında 26 nolu kuyu hariç örneklenen yeraltısularının tümünün sulamada kullanım için uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 51. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların MH değerlerine göre değerlendirilmesi

| <b>Temmuz 2019</b> |           |              |                |           |              |
|--------------------|-----------|--------------|----------------|-----------|--------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>MH</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>MH</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 39,52     | Uygun        | 17             | 27,95     | Uygun        |
| 2                  | 25,27     | Uygun        | 18             | 24,04     | Uygun        |
| 3                  | 29,27     | Uygun        | 19             | 32,31     | Uygun        |
| 4                  | 40,75     | Uygun        | 20             | 35,59     | Uygun        |
| 5                  | 41,54     | Uygun        | 21             | 27,56     | Uygun        |
| 6                  | 32,96     | Uygun        | 22             | 32,57     | Uygun        |
| 7                  | 26,96     | Uygun        | 23             | 37,14     | Uygun        |
| 8                  | 40,89     | Uygun        | 24             | 22,66     | Uygun        |
| 9                  | 29,69     | Uygun        | 25             | 33,06     | Uygun        |
| 10                 | 33,76     | Uygun        | 26             | 54,49     | Uygun değil  |
| 11                 | 43,92     | Uygun        | 27             | 26,03     | Uygun        |
| 12                 | 22,53     | Uygun        | 28             | 42,63     | Uygun        |
| 13                 | 54,94     | Uygun değil  | 29             | 25,28     | Uygun        |
| 14                 | 40,31     | Uygun        | 30             | 45,03     | Uygun        |
| 15                 | 29,35     | Uygun        | 31             | 30,27     | Uygun        |
| 16                 | 48,82     | Uygun        | 32             | 35,62     | Uygun        |
|                    |           |              | 33             | 29,52     | Uygun        |
| <b>Aralık 2019</b> |           |              |                |           |              |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>MH</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>MH</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 39,94     | Uygun        | 17             | 27,16     | Uygun        |
| 2                  | 25,85     | Uygun        | 18             | 24,69     | Uygun        |
| 3                  | 40,82     | Uygun        | 19             | 43,09     | Uygun        |
| 4                  | 42,47     | Uygun        | 20             | 26,93     | Uygun        |
| 5                  | 34,85     | Uygun        | 21             | 25,48     | Uygun        |
| 6                  | 33,53     | Uygun        | 22             | 34,40     | Uygun        |
| 7                  | 23,22     | Uygun        | 23             | 46,31     | Uygun        |
| 8                  | 47,07     | Uygun        | 25             | 33,04     | Uygun        |
| 9                  | 28,45     | Uygun        | 26             | 59,30     | Uygun değil  |
| 10                 | 27,11     | Uygun        | 28             | 40,60     | Uygun        |
| 11                 | 45,02     | Uygun        | 29             | 32,56     | Uygun        |
| 12                 | 27,13     | Uygun        | 30             | 46,45     | Uygun        |
| 14                 | 23,96     | Uygun        | 31             | 31,89     | Uygun        |
| 15                 | 31,30     | Uygun        | 32             | 25,02     | Uygun        |
| 16                 | 47,79     | Uygun        | 33             | 25,02     | Uygun        |

### 6.8.8. Permeabilite İndeksi (Pİ)

Toprakta ve sulama suyunda bulunan  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonları toprağın permeabilitesini etkilemektedir. Permeabilite indeksinin formülü Doneen (1964) tarafından geliştirilmiş olup sularının sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır. Suyun Permeabilite indeksi değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\text{PI} = (\text{Na}^+ + (\text{HCO}_3^-)^{1/2}) \times 100 / (\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (\text{Doneen, 1964}) \quad (20)$$

Burada  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir. Suların permeabilite indeksi değerlerine göre sınıflandırılması Tablo 52’de verilmiştir.

Tablo 52. Pİ değerlerine göre sulama sularının sınıflandırılması

| Pİ (%) | Su sınıfı     | Değerlendirme |
|--------|---------------|---------------|
| > 75%, | I. sınıf su   | Çok iyi       |
| 25–75% | II. sınıf su  | İyi           |
| < 25%  | III. sınıf su | Kullanılmaz   |

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin permeabilite indeksi değerleri Tablo 53’te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında örneklenen suların Pİ değerleri Temmuz ayında 26,54 ile 89,05 arasında; Aralık ayında ise 25,64 ile 106,16 arasında değişmektedir. Bu değerlere göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin tümünün sulamada kullanım için uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 53. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Pİ değerlerine göre değerlendirilmesi

| Temmuz 2019 |       |       |         |       |       |
|-------------|-------|-------|---------|-------|-------|
| Kuyu No     | Pİ    | Sınıf | Kuyu No | Pİ    | Sınıf |
| 1           | 73,68 | İyi   | 17      | 45,78 | İyi   |
| 2           | 47,56 | İyi   | 18      | 45,97 | İyi   |
| 3           | 55,15 | İyi   | 19      | 58,42 | İyi   |
| 4           | 60,93 | İyi   | 20      | 42,54 | İyi   |

Tablo 53'ün devamı

| <b>Temmuz 2019</b> |           |              |                |           |              |
|--------------------|-----------|--------------|----------------|-----------|--------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>PI</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>PI</b> | <b>Sınıf</b> |
| 5                  | 54,08     | İyi          | 21             | 39,87     | İyi          |
| 6                  | 57,17     | İyi          | 22             | 59,14     | İyi          |
| 7                  | 52,94     | İyi          | 23             | 89,05     | İyi          |
| 8                  | 53,41     | İyi          | 24             | 35,17     | İyi          |
| 9                  | 44,26     | İyi          | 25             | 43,52     | İyi          |
| 10                 | 26,54     | İyi          | 26             | 55,58     | İyi          |
| 11                 | 56,01     | İyi          | 27             | 39,63     | İyi          |
| 12                 | 46,01     | İyi          | 28             | 68,69     | İyi          |
| 13                 | 68,01     | İyi          | 29             | 47,12     | İyi          |
| 14                 | 51,81     | İyi          | 30             | 61,26     | İyi          |
| 15                 | 60,87     | İyi          | 31             | 63,18     | İyi          |
| 16                 | 74,76     | İyi          | 32             | 49,22     | İyi          |
|                    |           |              | 33             | 52,58     | İyi          |
| <b>Aralık 2019</b> |           |              |                |           |              |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>PI</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>PI</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 57,39     | İyi          | 17             | 32,96     | İyi          |
| 2                  | 31,10     | İyi          | 18             | 31,37     | İyi          |
| 3                  | 38,36     | İyi          | 19             | 52,94     | İyi          |
| 4                  | 44,39     | İyi          | 20             | 46,96     | İyi          |
| 5                  | 44,24     | İyi          | 21             | 41,84     | İyi          |
| 6                  | 38,94     | İyi          | 22             | 53,30     | İyi          |
| 7                  | 41,30     | İyi          | 23             | 106,16    | Çok iyi      |
| 8                  | 43,35     | İyi          | 25             | 40,49     | İyi          |
| 9                  | 38,09     | İyi          | 26             | 64,19     | İyi          |
| 10                 | 25,64     | İyi          | 28             | 59,82     | İyi          |
| 11                 | 41,82     | İyi          | 29             | 47,58     | İyi          |
| 12                 | 37,55     | İyi          | 30             | 48,26     | İyi          |
| 14                 | 41,69     | İyi          | 31             | 53,53     | İyi          |
| 15                 | 45,02     | İyi          | 32             | 46,47     | İyi          |
| 16                 | 44,30     | İyi          | 33             | 46,47     | İyi          |

### 6.8.9. Potansiyel Tuzluluk (PS)

Potansiyel tuzluluk, sularının sulama açısından kullanılabilirliğinin değerlendirilmesinde kullanılan önemli bir diğer parametredir. 3'ten düşük PS değerine sahip olan sular sulama suyu olarak kullanıma uygun olurken 3'ten fazla PS değerine sahip olan sular sulamada önerilmez. Potansiyel tuzluluk değeri aşağıda verilen formül ile hesaplanmaktadır (Güngör ve Arslan, 2015).

$$PS = Cl^- + SO_4^{2-}/2 \quad (21)$$

Burada Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> değerleri meq/l cinsinden ifade edilmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin potansiyel tuzluluk değerleri Tablo 54'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde inceleme alanında tespit edilen PS değerleri Temmuz ayında 1,05 ile 33,52 arasında; Aralık ayında ise 0,81 ile 11,06 arasında değişmektedir. Temmuz ayında örneklenen suların %51,51'inin; Aralık ayında örneklenen suların %43,33'ünün sulamada kullanım için uygun olmadığı görülmektedir.

Tablo 54. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların PS değerlerine göre değerlendirilmesi

| <b>Temmuz 2019</b> |           |              |                |           |              |
|--------------------|-----------|--------------|----------------|-----------|--------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>PS</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>PS</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 2,88      | Uygun        | 17             | 1,05      | Uygun        |
| 2                  | 2,64      | Uygun        | 18             | 1,59      | Uygun        |
| 3                  | 1,95      | Uygun        | 19             | 5,13      | Kullanılmaz  |
| 4                  | 2,14      | Uygun        | 20             | 3,00      | Kullanılmaz  |
| 5                  | 4,39      | Kullanılmaz  | 21             | 2,89      | Uygun        |
| 6                  | 3,07      | Kullanılmaz  | 22             | 7,88      | Kullanılmaz  |
| 7                  | 5,60      | Kullanılmaz  | 23             | 2,63      | Uygun        |
| 8                  | 3,41      | Kullanılmaz  | 24             | 2,21      | Uygun        |
| 9                  | 3,70      | Kullanılmaz  | 25             | 2,71      | Uygun        |
| 10                 | 3,86      | Kullanılmaz  | 26             | 3,81      | Kullanılmaz  |
| 11                 | 2,20      | Uygun        | 27             | 1,88      | Uygun        |
| 12                 | 1,69      | Uygun        | 28             | 10,01     | Kullanılmaz  |
| 13                 | 33,52     | Kullanılmaz  | 29             | 1,37      | Uygun        |
| 14                 | 7,82      | Kullanılmaz  | 30             | 1,93      | Uygun        |
| 15                 | 1,36      | Uygun        | 31             | 9,59      | Kullanılmaz  |
| 16                 | 3,68      | Kullanılmaz  | 32             | 5,31      | Kullanılmaz  |
|                    |           |              | 33             | 5,54      | Kullanılmaz  |
| <b>Aralık 2019</b> |           |              |                |           |              |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>PS</b> | <b>Sınıf</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>PS</b> | <b>Sınıf</b> |
| 1                  | 2,10      | Uygun        | 17             | 1,23      | Uygun        |
| 2                  | 2,74      | Uygun        | 18             | 1,10      | Uygun        |
| 3                  | 1,84      | Uygun        | 19             | 1,87      | Uygun        |
| 4                  | 1,84      | Uygun        | 20             | 3,47      | Kullanılmaz  |
| 5                  | 5,74      | Kullanılmaz  | 21             | 2,13      | Uygun        |
| 6                  | 3,42      | Kullanılmaz  | 22             | 7,95      | Kullanılmaz  |
| 7                  | 6,55      | Kullanılmaz  | 23             | 3,16      | Kullanılmaz  |
| 8                  | 3,09      | Kullanılmaz  | 25             | 3,42      | Kullanılmaz  |
| 9                  | 1,51      | Uygun        | 26             | 1,71      | Uygun        |
| 10                 | 4,81      | Kullanılmaz  | 28             | 7,21      | Kullanılmaz  |
| 11                 | 2,37      | Uygun        | 29             | 0,81      | Uygun        |
| 12                 | 1,35      | Uygun        | 30             | 2,45      | Uygun        |
| 14                 | 2,74      | Uygun        | 31             | 11,06     | Kullanılmaz  |
| 15                 | 1,27      | Uygun        | 32             | 4,81      | Kullanılmaz  |
| 16                 | 2,57      | Uygun        | 33             | 4,81      | Kullanılmaz  |



## 7. İZOTOP HİDROLOJİSİ

### 7.1. Giriş

İzotoplar aynı atom numarasına fakat farklı kütle numaralarına sahip kimyasal elementlerdir. İzotopların çekirdekdeki nötron sayısının eşitsizliği, atom ağırlıklarında farklılıklara neden olmaktadır. Esas olarak doğada kararlı ve radyoaktif olmak üzere iki izotop türü bulunmaktadır. Radyoaktif izotoplar, kararsız bir çekirdek yapılarına sahip olup çekirdekleri devamlı bozunum göstererek diğer cins atom çekirdeklerine dönüşmektedir. Kararlı izotoplar ise kararlı bir çekirdek yapısına sahiptirler ve kapalı bir sistemde atomik konsantrasyonlarında hiçbir değişiklik olmamaktadır.

Hidrojeoloji çalışmalarında izotop teknikleri önemli bir yere sahip olup sistem içerisinde zamansal ve konumsal değişimlerini etkileyen süreçlerin ayrıntılı bir şekilde belirlenebilmesinde kullanılmaktadır. Bu şekilde, izotopların birlikte hareket ettiği sularla ilgili süreçler de belirlenebilmektedir. Bu süreçler içerisinde izotopların nasıl davrandığının aydınlatılması ile suların kökeni, beslenme alanı, buharlaşma ve karışım süreçleri, akım dinamiği ve depolanma özellikleri ve süresi gibi hidrolojik problemleri çözülmektedir. Hidrojeolojide yaygın olarak kullanılan başlıca izotoplar suyun yapısında bulunan oksijen ve hidrojenin izotoplarıdır. Ayrıca uranyum, toryum, klorür, kükürt, azot ve asal gazlar elementlerinin izotopları da yüzey ve yeraltısularında kirliliğin hareketinin saptanması ve kökenlerinin belirlenmesinde etkin olarak kullanılmaktadır.

Özellikle tuzlu su problemlerinin tespitinde izotop teknikleri günümüzde kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Yeraltısularının tuzlanması, genel olarak suların hareket sırasında litolojik birimler içinde bulunan minerallerin çözünmesi, sulama sırasında buharlaşma sonucu mineral içeriği artan suların süzülmesi, gübrelerin yıkanarak mineral içeriği açısından zenginleşen suların süzülmesi, sanayi veya evsel atıkların karışması, göl ve bataklık gibi buharlaşmaya açık yüzey sularından beslenme ve deniz suyu girişi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır (Ekmekçi, 2008). Yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin tespit edilmesinde kimyasal analizler ve izotop teknikleri başta olmak üzere çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Kimyasal analiz yöntemiyle genel olarak yeraltısularında bulunan anyon ve katyonların konsantrasyonu ile bunların birbirlerine olan oranları dikkate alınarak yeraltısuyuna deniz suyu girişi belirlenmektedir (Arslan vd., 2011).

İzotop teknikleriyle tuzlu su problemlerinin saptanmasında kullanılan başlıca izotoplar  $^{37}\text{Cl}$ ,  $^6\text{Li}$ ,  $^{11}\text{B}$ ,  $^{81}\text{Br}$  izotoplardır (Fontes ve Fritz, 1980). Ancak Li, B ve Br izotopları, ekonomik olmadıklarından dolayı yeraltısularının tuzlmasının kaynağının belirlenmesinde çok az kullanılmaktadır. Oksijen, hidrojen ve karbon izotopları ekonomik olmaları açısından daha uygun oldukları için günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Arslan vd., 2011).

## 7.2. Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $^2\text{H}$ ) Duraylı İzotopları

Hidrojeoloji çalışmalarında suyun yapısında bulunan oksijen ( $^{18}\text{O}$ ) ve hidrojenin ( $^2\text{H}$  ve  $^3\text{H}$ ) ağır izotop içeriklerinin doğal varyasyonlarının analizi, yeraltısuyunun kökeni ve dinamiklerinin incelenmesinde kullanılan izotop hidrolojisinin klasik uygulamalarından biridir.

Yağış sularının izotopik içeriklerinin doğal dağılımı, farklı su kütlelerinin (nehirler, göller, yeraltısuyu) etiketlenmesine yol açmaktadır. Bu etiketleme, her bir su türünün kaynağını ve bunlar arasındaki olası bağlantıyı incelemeyi mümkün kılmaktadır (Araguás, 2003).

Yeraltısuyu ile deniz suyu arasında genel olarak gözlemlenen farklı izotop içerikleri nedeniyle, deniz suyu karışımı nedeniyle tuzlanmış suların duyarlı izotop içerikleri, meteorik kökenli normal suların izotop içeriklerinden kolayca ayrılabilir.

Ayrıca jeolojik dönemlere dayanan salamura gibi aşırı tuzlu sularda  $^{18}\text{O}$  izotopu, su-kayaç etkileşiminden etkilenerek, deniz suyundan daha farklı izotop özellikler sergilemesine neden olmaktadır.

Döteryum ve Oksijen-8 duraylı izotopları yardımıyla suların kökeninin belirlenmesi Şekil 71’te verilmiştir. Bu şekil incelendiğinde ortalama deniz suyunun teorik olarak her iki ekseninde "0" olduğu noktada olması gerekmesine rağmen, buharlaşma eksenini boyunca pozitif  $\delta\text{D}$  ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri gösterebilmektedir. Şekildeki Dünya Meteorik Doğrusu (DMD), Craig (1961) tarafından, tüm dünya üzerindeki değişik iklim ve coğrafya koşullarından toplanan yağış örneklerinin aşağıdaki eşitliğe uyduğunu belirlenmiştir.

$$\delta\text{D} = a * \delta^{18}\text{O} + d \quad (22)$$

Bu eşitlikteki d değeri, şekilde Dünya Meteorik Doğrusunun y eksenini kestiği noktayı ifade etmekte ve bu değer “döteryum fazlası” olarak tanımlanmaktadır. Aynı zamanda yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesi olarak ifade edilmektedir. Su hiç buharlaşmamışsa, "a" değeri 8'dir ve ortalama yağış için fazla döteryumu ifade eden "d" değeri 10'dur. Ancak d değeri dünyadaki bölgelerine göre değişiklik göstermesi nedeniyle izotop hidrojeolojisi çalışmalarında yerel meteorik su doğrusunun oluşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmada  $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10$  olan Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig, 1961) olarak ve  $\delta D = 8 * \delta^{18}O + 16,41$  (Dilaver vd. 2018) olan Sinop Meteorik Su Doğrusu yerel meteorik su doğrusu olarak kullanılmıştır.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının Döteryum ve Oksijen-18 değerleri Tablo 55'te verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde örneklenen yeraltısularının Oksijen-18 değerleri Temmuz ayında -8,89 ile -7,21 arasında; Aralık ayında ise -8,76 ile -8,01 arasında değişmektedir. Yeraltısularının ölçülen Döteryum değerleri Temmuz ayında -56,41 ile -46,64 arasında; Aralık ayında ise -54,94 ile -53,36 arasında değişmektedir. Temmuz ayında örneklenen sularının Döteryum ve Oksijen-18 değerlerinin Aralık ayındaki değerlerden daha pozitif olduğu görülmektedir. Denizden örneklenen suların döteryum değerleri Temmuz ayında -25,37 ile -21,13 arasında; Oksijen-18 değerleri ise -3,4 ile -2,58 arasında değişmektedir. Aralık ayında ise döteryum değerleri -30,77 ile -21,41 arasında; Oksijen-18 değerleri ise -4,75 ile -2,73 arasında değişmektedir. Deniz sularında Temmuz ve Aralık ayında ölçülen çok düşük döteryum ve Oksijen-18 değerleri, denize boşalan çoğu akarsulardan kaynaklanmaktadır.

Tablo 55. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların  $^2H$  ve  $^{18}O$  değerleri

| Kuyu No | Döteryum ( $\delta$ (‰)) |        | Oksijen-18 ( $\delta$ (‰)) |        |
|---------|--------------------------|--------|----------------------------|--------|
|         | Temmuz                   | Aralık | Temmuz                     | Aralık |
| 1       | -54,36                   | -54,94 | -8,48                      | -8,64  |
| 2       | -50,16                   | -51,34 | -7,87                      | -8,18  |
| 3       | -53,41                   | -54,39 | -8,53                      | -8,63  |
| 4       | -55,21                   | -53,70 | -8,75                      | -8,43  |
| 5       | -56,41                   | -53,40 | -8,89                      | -8,71  |
| 6       | -52,75                   | -51,77 | -8,41                      | -8,24  |
| 7       | -51,45                   | -50,35 | -8,22                      | -7,93  |
| 8       | -51,74                   | -51,38 | -8,23                      | -8,07  |
| 9       | -53,42                   | -48,5  | -8,41                      | -7,68  |
| 10      | -55,43                   | -52,58 | -8,66                      | -8,34  |

Tablo 55'in devamı

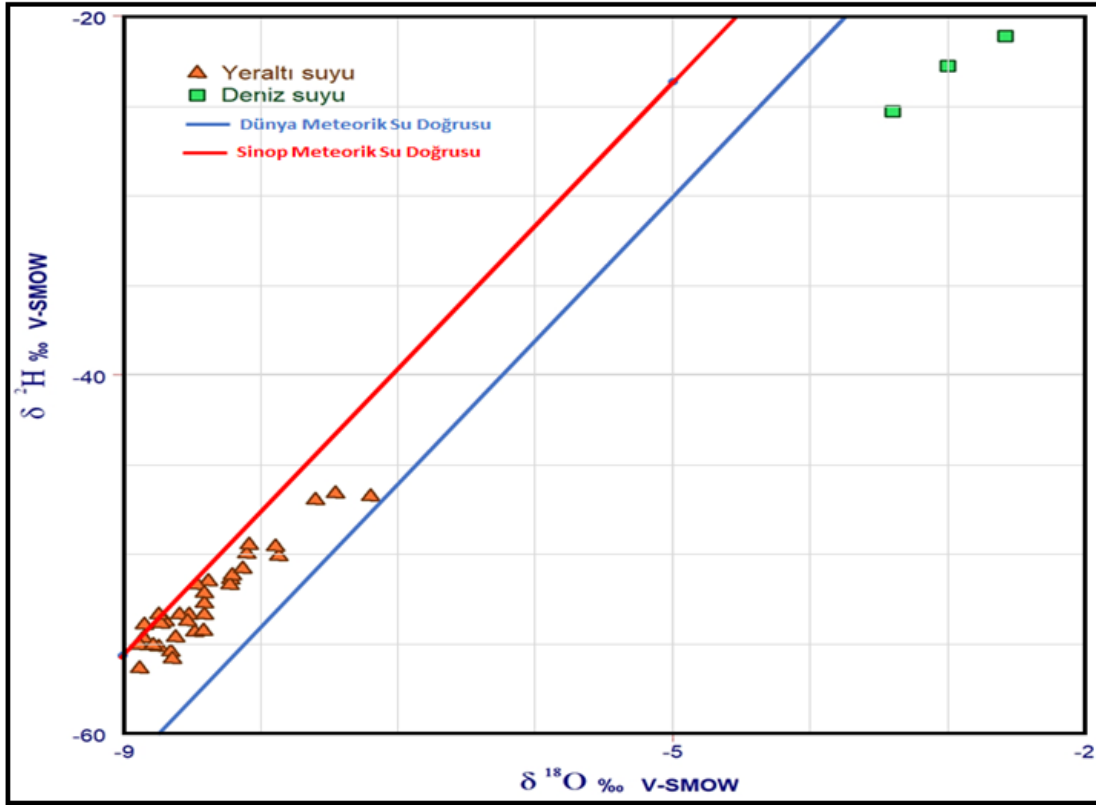
| Kuyu No | Döteryum ( $\delta$ (‰)) |        | Oksijen-18 ( $\delta$ (‰)) |        |
|---------|--------------------------|--------|----------------------------|--------|
|         | Temmuz                   | Aralık | Temmuz                     | Aralık |
| 11      | -54,3                    | -52,71 | -8,42                      | -8,37  |
| 12      | -55,85                   | -54,91 | -8,65                      | -8,71  |
| 13      | -46,81                   |        | -7,21                      |        |
| 14      | -49,59                   | -46,23 | -7,9                       | -7,68  |
| 15      | -53,41                   | -52,15 | -8,6                       | -8,49  |
| 16      | -46,64                   | -49,27 | -7,46                      | -8,09  |
| 17      | -53,73                   | -53,31 | -8,7                       | -8,65  |
| 18      | -51,55                   | -51,63 | -8,39                      | -8,4   |
| 19      | -49,98                   | -48,61 | -8,11                      | -7,85  |
| 20      | -51,22                   | -49,49 | -8,21                      | -7,83  |
| 21      | -54,72                   | -54,22 | -8,86                      | -8,67  |
| 22      | -50,83                   | -49,21 | -8,13                      | -7,69  |
| 23      | -53,92                   | -53,57 | -8,73                      | -8,48  |
| 24      | -55,10                   |        | -8,89                      |        |
| 25      | -51,77                   | -52,84 | -8,47                      | -8,56  |
| 26      | -46,98                   | -49,28 | -7,61                      | -8,75  |
| 27      | -53,97                   |        | -8,85                      |        |
| 28      | -49,50                   | -49,43 | -8,09                      | -8,01  |
| 29      | -53,38                   | -54,27 | -8,75                      | -8,76  |
| 30      | -52,21                   | -53,36 | -8,41                      | -8,46  |
| 31      | -53,74                   | -50,44 | -8,54                      | -8,30  |
| 32      | -55,08                   | -51,12 | -8,79                      | -8,33  |
| 33      | -54,66                   | -52,34 | -8,62                      | -8,27  |
| Deniz 1 | -21,13                   | -21,41 | -2,58                      | -2,73  |
| Deniz 2 | -25,37                   | -21,88 | -3,40                      | -2,9   |
| Deniz 3 | -22,81                   | -30,77 | -3                         | -4,75  |

### 7.2.1. Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ ) ve Döteryum ( $^2\text{H}$ ) İlişkisi

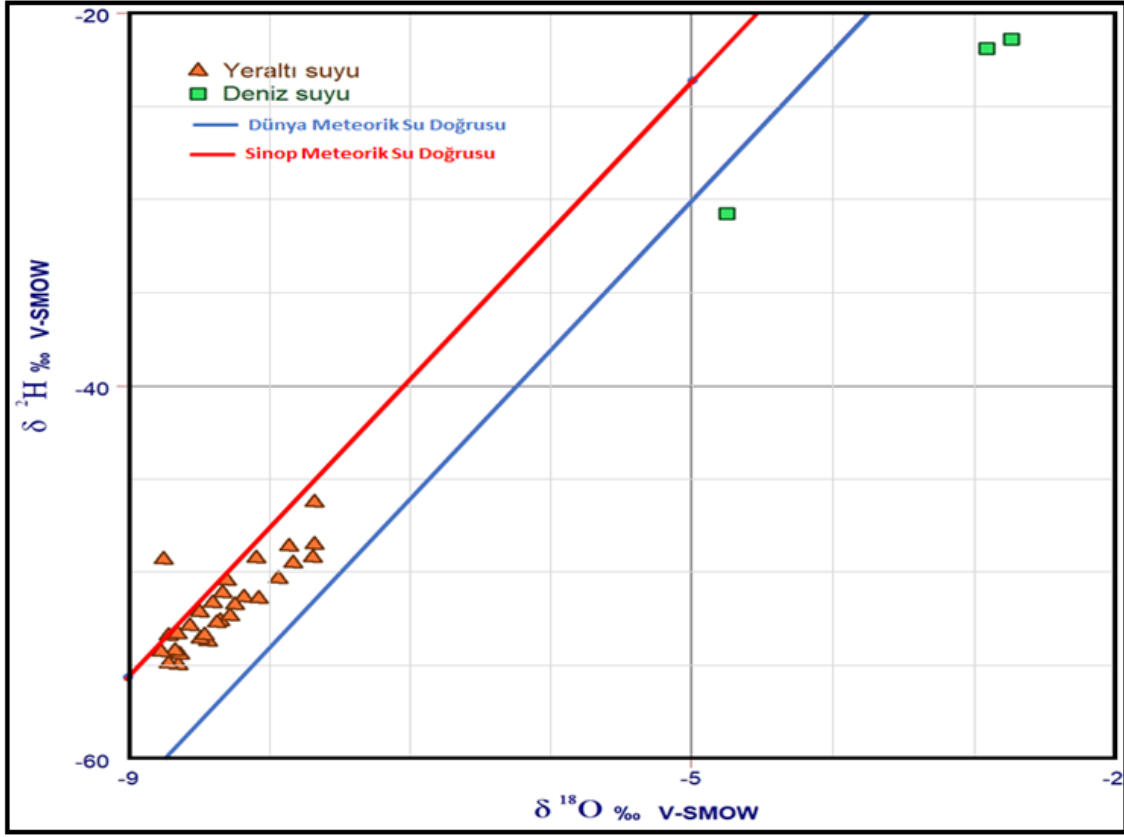
Örneklendiği yeraltısuyu ve deniz suyunun izotop sonuçlarının  $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$  grafiği üzerinde Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig,1961) ve Sinop Meteorik Su Doğrusu ile birlikte değerlendirilmesi Şekil 67 ve 68'de sunulmuştur.  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  izotop dağılımlarına bakıldığında inceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen su örnekleri Dünya Meteorik Su Doğrusu (Craig,1961) ile Sinop Meteorik Su Doğrusu arasında bulunmaktadır (Şekil 67 ve 68).

Yeraltısuyuna deniz suyu girişi açısından değerlendirildiğinde; Temmuz ayında 13, 14, 16, 19 ve 26 nolu kuyulardan ve Aralık ayında 9, 14, 19, 26, 7, 20 ve 22 nolu kuyulardan

örneklenen sulara görülen daha pozitif Oksijen-18 ve döteryum değerleri gösterdiği görülmektedir. Daha pozitif değerlere doğru deniz suyu girişimine işaret etmektedir. Bu örnekler grafikte görüldüğü gibi deniz suyu etkisiyle Sinop Meteorik Su Doğrusu'ndan sağa doğru sapmaktadır. Bu daha pozitif Oksijen-18 ve döteryum değerleri gösteren aynı kuyuların kimyasal analiz sonuçlarına göre de değerlendirildiğinde yeraltısuyunun deniz suyundan etkilendiği dikkati çekmektedir.



Şekil 67. Temmuz ayında örneklenen sulara ait  $\delta^2\text{H}$  -  $\delta^{18}\text{O}$  arasındaki ilişkisi



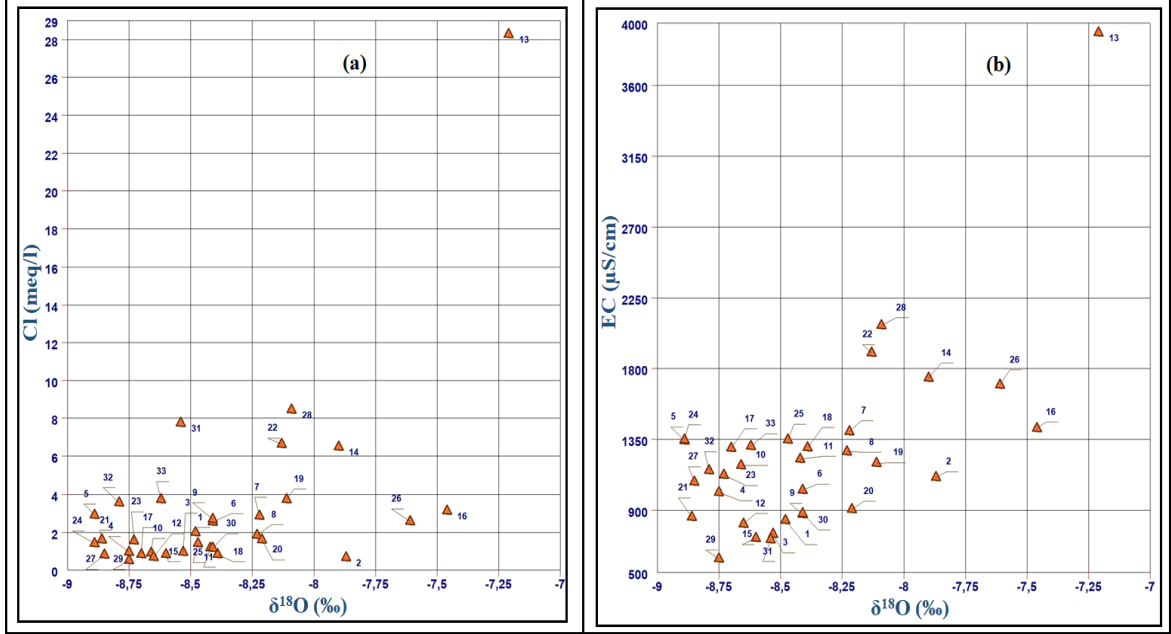
Şekil 68. Aralık ayında örneklenen sulara ait  $\delta^2\text{H} - \delta^{18}\text{O}$  arasındaki ilişkisi

### 7.2.2. Oksijen-18 ( $^{18}\text{O}$ ) - $\text{Cl}^-$ ve Oksijen - 18 ( $^{18}\text{O}$ ) - EC İlişkileri

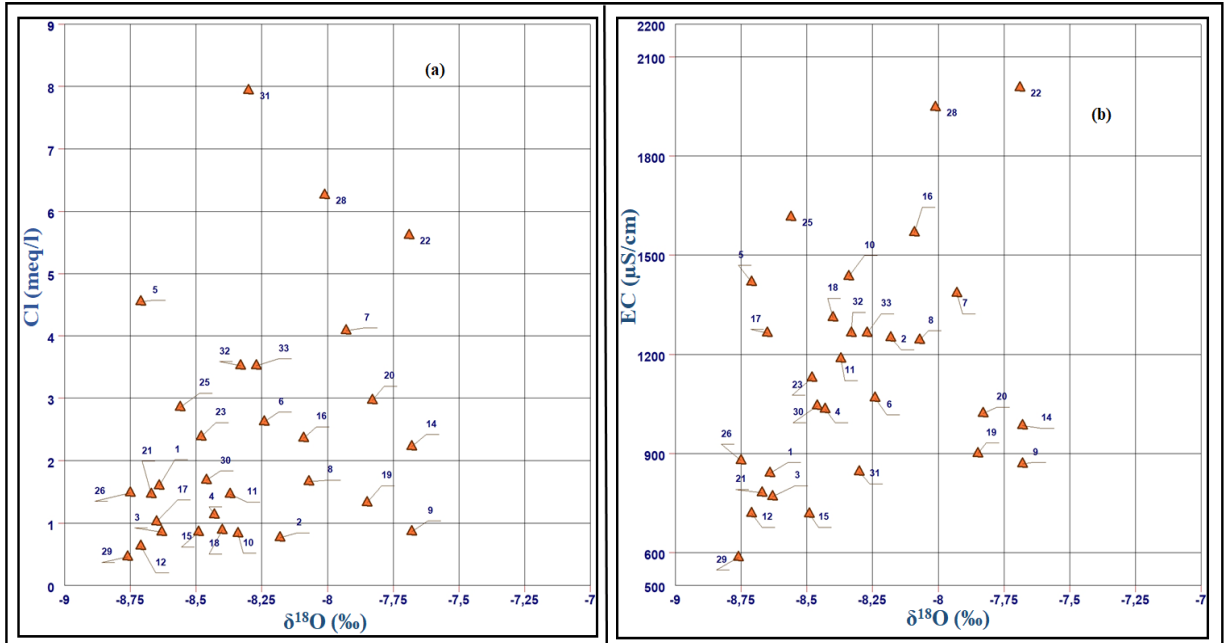
Yeraltısularına deniz suyu girişi olup olmadığını belirlemek için suların izotop analiz ile kimyasal analiz sonuçları arasındaki ilişkiler incelenerek önemli bilgiler sağlanabilmektedir. Yeraltısularının Oksijen-18 ile  $\text{Cl}^-$  değerleri,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve EC değerleri arasında yakın ilişkiler bulunmaktadır. Genel olarak yeraltısuyuna deniz suyu girişi olduğunda sularda hem Oksijen-18 değerleri hem de  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ve EC değerleri artış gösterebilmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Oksijen-18,  $\text{Cl}^-$  ve EC değerleri kullanarak çizilen  $\delta^{18}\text{O} - \text{Cl}^-$  ve  $\delta^{18}\text{O} - \text{EC}$  grafikleri Şekil 69 ve 70'te verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde genel olarak yüksek  $\text{Cl}^-$  ve EC değerlerine sahip olan örneklerde daha pozitif Oksijen-18 değerleri görülmektedir. Böylece Temmuz ayında 13 nolu kuyuda görülen en yüksek  $\text{Cl}^-$  ve EC değerleri en yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  değeri de ölçülmektedir.

Ayrıca Temmuz ayında 14, 28 ve 22 nolu kuyularda ve Aralık ayında 22 ve 28 nolu kuyularda yüksek  $Cl^-$  ve EC değerleri ve yüksek  $\delta^{18}O$  değerleri izlenmektedir (Şekil 69 ve 70).



Şekil 69. Temmuz ayında örneklenen sulara ait EC -  $\delta^{18}O$  ve EC -  $\delta^{18}O$  arasındaki ilişkiler



Şekil 70. Aralık ayında örneklenen sulara ait EC -  $\delta^{18}O$  ve EC -  $\delta^{18}O$  arasındaki ilişkiler

### 7.3. Tritiyum

Tritiyum ( $^3\text{H}$ ), izotop hidrolojisi çalışmalarında kullanılan en önemli radyoaktif izotoplardan birisidir. Bu izotopun yarılanma süresi 12,34 yıl olup beta bozunması veren bu element, atmosferin üst tabakalarındaki azot atomlarıyla kozmik nötronların etkileşmesinden doğal olarak oluştuğu gibi, termonükleer denemeler sonucunda da oluşmaktadır. Sularda bulunan tritiyumun konsantrasyonu tritiyum birimi (TU) ile ifade edilmektedir. Yani  $10^{18}$  hidrojen atomu bir tritiyum atomudur.

Tritiyum genel olarak radyoaktif özelliklere sahip olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle hidrojeoloji çalışmalarında genç yeraltısularının bağlı yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002). Ayrıca tritiyumla, yeraltısularının rezervuarda yenilenme sürelerinin tahmini olup dolayısıyla yeraltısularının hareket hızı belirlenebilmektedir. Tritiyum izotopu, suların güncelliğinin bir göstergesi olarak kullanılabilirdiğinden, tuzlu suların kökenlerinin belirlenmesinde önemli bilgiler sağlamaktadır (Ekmekçi, 2011).

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu ve deniz sularının tritiyum değerleri Tablo 56'da verilmiştir. Bu tablo incelendiğinde örneklenen yeraltısuyu örneklerinin tritiyum değerleri Temmuz ayında 0,96 ile 7,15 TU; Aralık ayında 3,77 ile 7,83 TU arasında değişmektedir. Temmuz ayında en yüksek tritiyum değeri inceleme alanının batısında bulunan 7 nolu kuyuda ölçülmektedir. En düşük değeri ise inceleme alanının güneyinde bulunan 15 nolu kuyuda izlenmektedir. Aralık ayında ise en yüksek değeri inceleme alanının batısında bulunan 22 nolu kuyuda; en düşük değeri ise alanın orta kısmında bulunan 20 nolu kuyuda ölçülmektedir. Denizden örneklenen suların tritiyum değerleri ise Temmuz ayında 3,95 ile 6,31 TU arasında; Aralık ayında 4,56 ile 5,87 TU arasında değişmektedir.

Tablo 56. Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların  $^3\text{H}$  değerleri

| Temmuz 2019 |               |         |               |
|-------------|---------------|---------|---------------|
| Kuyu No     | Tritiyum (Tu) | Kuyu No | Tritiyum (Tu) |
| 1           | 4,97          | 19      | 4,48          |
| 2           | 6,22          | 20      | 4,15          |
| 3           | 4,22          | 21      | 4,16          |
| 4           | 5,36          | 22      | 6,36          |
| 5           | 3,98          | 23      | 3,99          |



Tablo 56'nın devamı

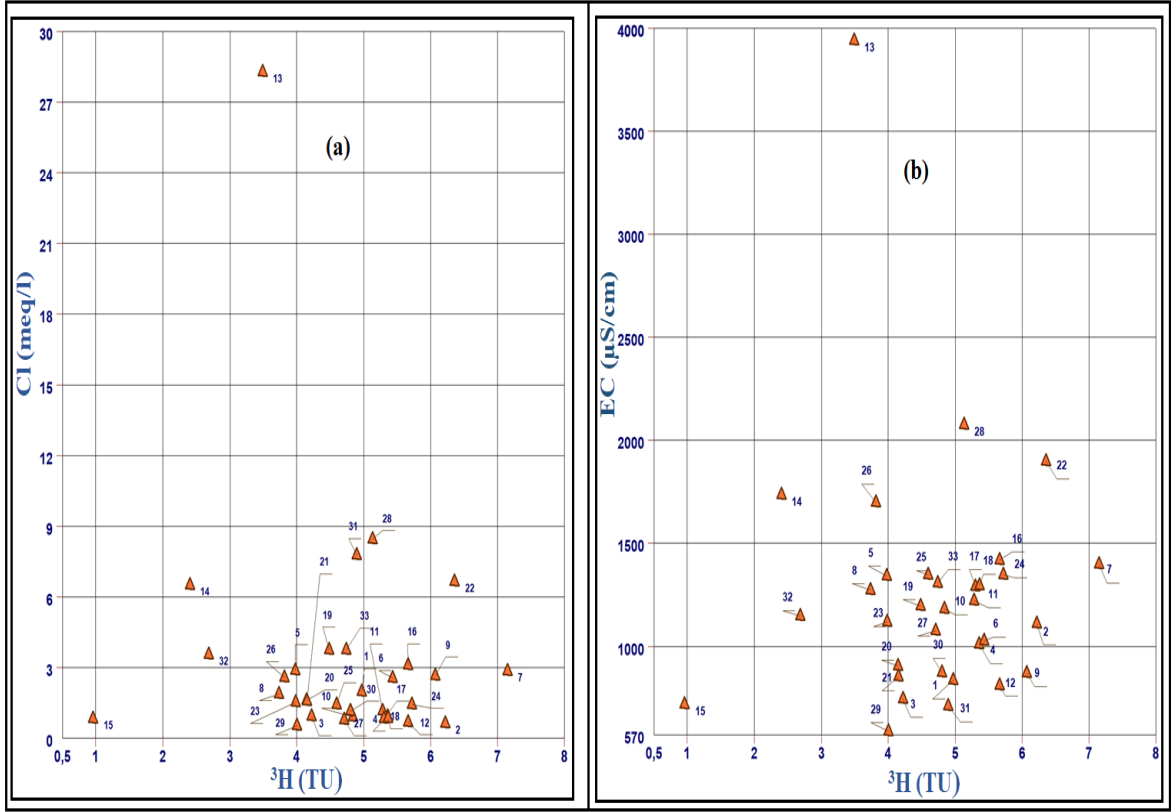
| <b>Temmuz 2019</b> |                      |                |                      |
|--------------------|----------------------|----------------|----------------------|
| <b>Kuyu No</b>     | <b>Tritiyum (Tu)</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>Tritiyum (Tu)</b> |
| 6                  | 5,43                 | 24             | 5,72                 |
| 7                  | 7,15                 | 25             | 4,6                  |
| 8                  | 3,73                 | 26             | 3,82                 |
| 9                  | 6,07                 | 27             | 4,71                 |
| 10                 | 4,84                 | 28             | 5,13                 |
| 11                 | 5,28                 | 29             | 4,01                 |
| 12                 | 5,67                 | 30             | 4,8                  |
| 13                 | 3,49                 | 31             | 4,9                  |
| 14                 | 2,4                  | 32             | 2,68                 |
| 15                 | 0,96                 | 33             | 4,74                 |
| 16                 | 5,67                 | Deniz 1        | 6,31                 |
| 17                 | 5,3                  | Deniz 2        | 3,95                 |
| 18                 | 5,37                 | Deniz 3        | 5,1                  |
| <b>Aralık 2019</b> |                      |                |                      |
| <b>Kuyu No</b>     | <b>Tritiyum (Tu)</b> | <b>Kuyu No</b> | <b>Tritiyum (Tu)</b> |
| 1                  | 4,91                 | 19             | 5,74                 |
| 2                  | 4,71                 | 20             | 3,77                 |
| 3                  | 5,06                 | 21             | 4,62                 |
| 4                  | 5,18                 | 22             | 7,83                 |
| 5                  | 4,07                 | 23             | 3,93                 |
| 6                  | 5,14                 | 25             | 4,47                 |
| 7                  | 4,96                 | 26             | 5,01                 |
| 8                  | 5,1                  | 28             | 5,82                 |
| 9                  | 6,99                 | 29             | 5,92                 |
| 10                 | 6,7                  | 30             | 7,29                 |
| 11                 | 4,1                  | 31             | 5,05                 |
| 12                 | 5,44                 | 32             | 5,68                 |
| 14                 | 6,38                 | 33             | 5,95                 |
| 15                 | 4,82                 | Deniz 1        | 4,56                 |
| 16                 | 4,13                 | Deniz 2        | 5,87                 |
| 17                 | 5,47                 | Deniz 3        | 5,03                 |
| 18                 | 4,84                 |                |                      |

### 7.3.1. EC-<sup>3</sup>H ve Cl-<sup>3</sup>H İlişkileri

Tritiyum elementinin, radyoaktif izotop olması nedeniyle ve zamana bağlı bozunmaya uğradığından dolayı, derin dolaşımli sularda düşük, sığ dolaşımli sularda yüksek <sup>3</sup>H değeri bulunmaktadır. Başka bir deyişle meteorik kökenli genç suların yeraltında dolaşım yolu uzadıkça tritiyum değeri düşmektedir. Bu durum nedeniyle genç sularda bulunan tritiyum

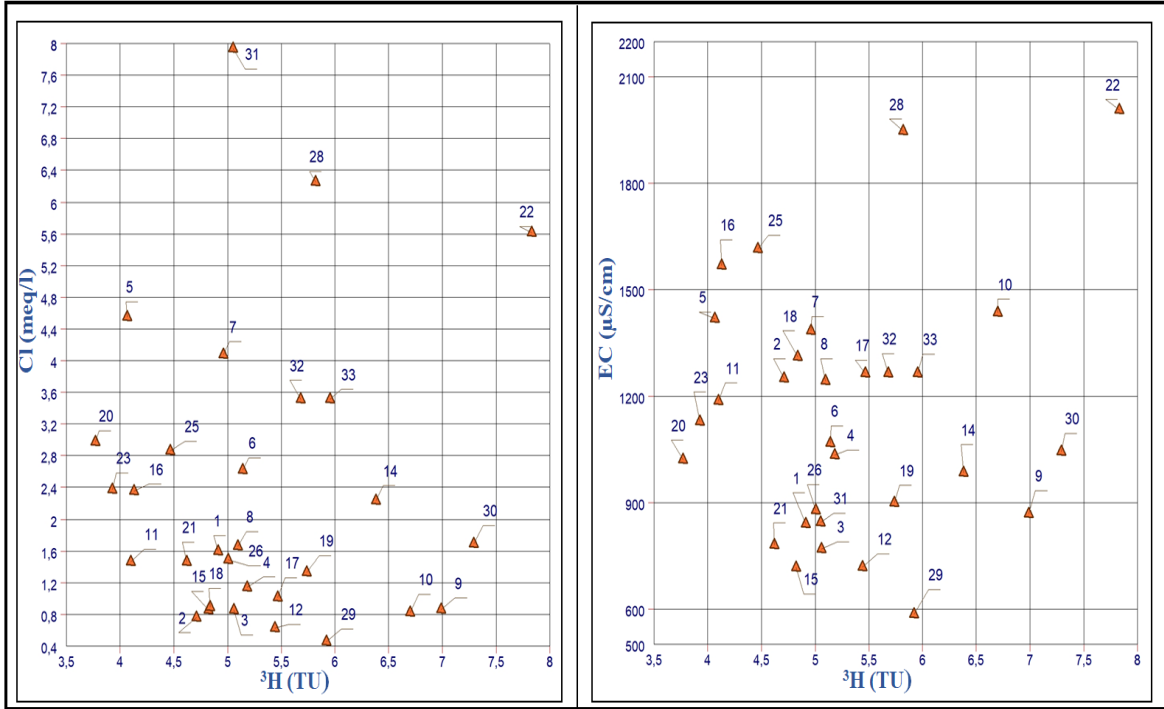
konsantrasyonu yaşlı sulardakilerden daha yüksek olmaktadır. İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının EC-<sup>3</sup>H ve Cl-<sup>3</sup>H arasındaki ilişkileri gösteren grafikler Şekil 71 ve 72’de verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların neredeyse tümünün sığ dolaşımli olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 71 incelendiğinde Temmuz ayında 15, 14 ve 32 nolu kuyulardaki sular, diğer sulara göre daha düşük (< 3 Tu) trityum içeriklerine sahip olmaktadır. Buna göre bu kuyuların diğer sulara göre daha uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiği düşünülebilmektedir. Ayrıca 15, 32 nolu kuyulardaki sular daha düşük trityum değerlerine sahip olmasına rağmen EC (< 1500 µS/cm) ve Cl<sup>-</sup> (< 4 meq/l) değerleri düşük olduğu görülmektedir. Bu durum bu kuyuların deniz suyu girişiminden etkilenmediğine işaret edilebilmektedir. 13, 28 ve 22 nolu kuyularda deniz suyu girişi nedeniyle yüksek EC (> 1500 µS/cm) ve Cl (> 6 meq/l) değerleri izlenmektedir. Çalışma alanında, Temmuz ayında analiz edilen su örneklerinin büyük bölümünde 4'ten büyük trityum değerleri görülmektedir. Ayrıca bu kuyuların çoğunun EC değerleri 1500 µS/cm'den küçük, Cl<sup>-</sup> değerleri 6 meq/l'den küçük olduğu görülmektedir. <sup>3</sup>H değerleri, kuyuların günlük yağışlardan beslendiğine işaret etmektedir. Çarşamba akiferinde kıyı bölgesinde yer alan yeraltısuyu genel olarak akiferde uzun süre kalmayan ve günlük yağışlardan beslenen sulardan oluşmaktadır.



Şekil 71. Temmuz ayında örneklenen sulara ait EC- $^3\text{H}$  ve Cl- $^3\text{H}$  arasındaki ilişkiler

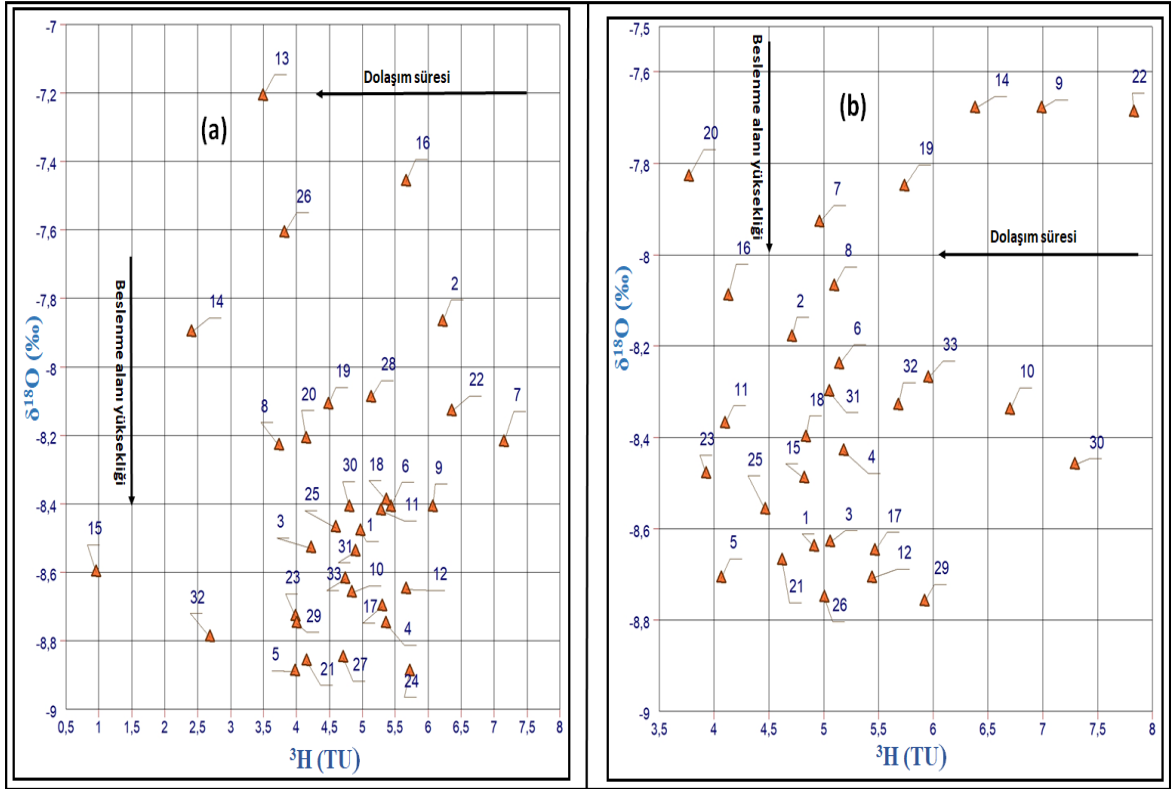
Şekil 72 incelendiğinde Aralık ayında örneklenen suların trityum değerleri Temmuz ayındakilerden daha yüksek; EC ve Cl değerleri daha düşük değerleri görülmektedir. Genel olarak yağışlı mevsimde Cl değerleri düşük, kurak mevsimde bu değer yüksek olur. İnceleme alanında yağışlı mevsimde, akifer genç sularla beslendiği için ve tarım tesislerinde yeraltısuları kullanmadığından dolayı su örneklerinde düşük Cl ve EC değerleri izlenmektedir. Ancak 31, 22 ve 28 nolu su örneklerinde yüksek EC ve Cl değerleri izlenmektedir. Bu kuyuların deniz suyu girişiminden etkilendiği düşünülmektedir.



Şekil 72. Aralık ayında örneklenen sulara ait EC- $^3\text{H}$  ve Cl- $^3\text{H}$  arasındaki ilişkiler

### 7.3.2. İnceleme Alanında Örneklenen Yeraltısularının $^3\text{H}$ - $^{18}\text{O}$ İlişkisi

İnceleme alanında örneklenen yeraltısularının beslenme yükselteleri ile akiferde kalış süreleri arasında ilişkiyi belirlemek için  $^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$  grafiği çizilmiştir (Şekil 73). Bu grafik incelendiğinde Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının büyük kısmı yaklaşık olarak aynı beslenme yüksekliklerine sahiptir. Aralık ayında güncel yağışın katkısı ile deniz suyu girişiminin azaldığı ve örneklenen yeraltısularının tümünün daha düşük kote sahip alanlardan beslendiği düşünülmektedir.



Şekil 73. Temmuz (a) ve Aralık (b) aylarında örneklenen yeraltı sularının  $^3\text{H}$  ve  $^{18}\text{O}$  grafiği

## 8. TARTIŞMA

İnceleme alanı Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde Çarşamba Ovası'nda Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu bölge Türkiye'nin tektonik birliklerinden olan Doğu Pontidler'in batısında bulunmaktadır. Çarşamba Ovası'ndaki alüvyonun kuzeyinden Karadeniz, güneyinden de Eosen yaşlı fliş ve volkanik kökenli kayalar ile Neojen yaşlı detritik seri tarafından çevrelenmektedir. Bu ovada yer alan litolojik birimlerine göre sadece Kuvaterner yaşlı alüvyonlar iyi bir akifer özelliği taşımaktadır. Çarşamba ovası'nın jeolojik birimlerin litolojik ve petrografik özellikleri nedeniyle yağıştan, yüzey akıştan ve akarsu yatağından alüvyona süzülme yoluyla beslenmektedir. Alüvyon formasyonu içinde açılan kuyuların verileri kullanılarak hesaplanan transmisibilite ve permeabilite katsayılarının en yüksek değerlerini gösteren kuyular akiferin az çakıllı, siltli ve bol kavkılı kum seviyelerinden oluşmaktadır. En düşük değerler ise akiferin az kavkılı iri çakıllı ve siltli kum seviyelerinden oluşmaktadır.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında yeraltısuyu örnekleme yapılarak fiziksel ve kimyasal parametreler ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre Temmuz ve Aralık aylarında ölçülen en yüksek pH değerleri inceleme alanının güneybatısındaki 23 nolu kuyuda izlenmektedir. Temmuz ayında ölçülen en düşük pH değeri 25 nolu kuyuda izlenirken Aralık ayında düşük pH değeri 10 nolu kuyuda görülmektedir. Temmuz ve Aralık aylarında ölçülen bölgenin yüksek pH değerleri, çoğunlukla kıyı kesimlerine doğru batı ve kuzey kesiminde görülmektedir. Gözlenen yüksek pH değerleri, kıyı kısımlara doğru sıcaklık değerlerinin yükselmesi ve yeraltısuyu seviyelerinin düşük olması nedeniyle izlenmektedir. Temmuz ayında ölçülen düşük pH değerleri çoğunlukla bölgenin güneydoğusunda ve güneyinde görülmektedir. Bu bölgede, akiferin beslenme alanına yakın olmasına bağlı olarak sudaki hidrojen iyon konsantrasyonlarının artması nedeniyle düşük pH değerleri izlenmektedir. İnceleme alanında ölçülen EC ve TDS değerleri açısından ise Temmuz ayında en yüksek değerler inceleme alanının orta kısmında bulunan 13 nolu kuyuda izlenmektedir. 13 nolu kuyuda örneklenen suların EC değeri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standartlarına göre uygun sınırlar içerisinde bulunmamaktadır. Temmuz ayında 13, 14, 22, 26 ve 29 nolu kuyularda ve Aralık ayında 16, 22, 25 ve 28 nolu

kuyularda ölçülen yüksek TDS değerleri Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre uygun olmadığı görülmektedir.

Yüksek EC ve TDS değerleri, sanayi tesisleri ve tarım arazilerinde bulunan kuyularda görülmekte ve bu kuyularda yeraltısuyunun aşırı çekiminin yapılması nedeniyle denizi suyu girişimi olduğu düşünülmektedir. İnceleme alanında örneklenen yeraltısularında bulunan kationlardan  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  ve  $HCO_3^-$  değerleri için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartları herhangi sınır belirtmemişken  $SO_4^{2-}$ ,  $Cl^-$  ve  $Na^+$  açısından bazı kuyularda sınır değerleri aştıkları görülmektedir.  $SO_4^{2-}$  için Temmuz ayında 7, 10 ve 13 nolu su örnekler ve Aralık ayında 10 ve 31 nolu su örnekler;  $Cl^-$  için Temmuz ayında 13, 28 ve 31 nolu su örnekler ve Aralık ayında 31 nolu su örneklerde yüksek değerler izlenmekte ve bu sular İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına uygun olmamaktadır.  $Na^+$  değerleri için de Temmuz ayında 13 ve 31 nolu su örnekleri ve Aralık ayındaki 23 nolu su örneğinde yüksek değerler izlenmekte ve bu sular İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına uygun olmamaktadır. İnceleme alanında izlenen yüksek  $Cl^-$ ,  $Na^+$  ve  $SO_4^{2-}$  değerleri sanayi tesisleri ve tarım arazilerindeki kuyularda gözlenmektedir. Bu kuyulardan endüstriyel faaliyetler ve sulama amacıyla aşırı yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle deniz suyu girişimi olduğuna işaret etmektedir.

Çarşamba Ovası yoğun tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin yapıldığı bir bölge olup bu faaliyetlerden kaynaklanan azot türevleri bakımından kirlilik seviyesini tespit etmek amacıyla inceleme alanında örneklenen sular için nitrit ( $NO_2^-$ ), nitrat ( $NO_3^-$ ) ve amonyum ( $NH_4^+$ ) analizleri yaptırılmıştır. Elden edilen sonuçlar, suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca inceleme alanında nitrit ( $NO_2^-$ ) nitrat ( $NO_3^-$ ) ve amonyum ( $NH_4^+$ ) açısından kirlenmiş bölgeleri belirlemek amacıyla dağılım haritaları da hazırlanmıştır. Örneklenen sularda Temmuz ayında 2, 5 ve 30 nolu kuyularda ve Aralık ayında 2, 3 ve 5 nolu kuyularda yüksek nitrat değerleri görülmüştür. Arslan vd. (2017) tarafından Çarşamba Ovası'ndaki yeraltı suyunun nitrat değerleri açısından yapılmış olan çalışmalara göre de Çarşamba Ovası'nın batı kısmında da yüksek nitrat değerleri izlenmektedir. Ayrıca çalışmalarına göre Çarşamba Ovası'da yeraltı suyunun nitrat konsantrasyonunda büyük bir mevsimsel değişiklik gözlenmiş, özellikle tarımsal faaliyet dönemlerinde daha yüksek nitrat konsantrasyonu izlenmektedir. Tarım arazilerinde

kullanılan çok azotlu gübreler; yeraltısuyu, toprak ve tarım ürünlerinde azot miktarının artmasına neden olmaktadır. Bu azotun artışının sonunda yeraltısularının nitrit ve nitrat açısından zenginleşmesine neden olmaktadır (Yetiş vd., 2018).

Amonyum değerleri için ise Temmuz ayında inceleme alanında bulunan kuyularda çoğunlukla yüksek değerler görülürken Aralık ayında sadece inceleme alanının batısında, güneybatısında ve kuzeydoğusunda yüksek amonyum değerleri izlenmektedir. İnceleme alanında görülen yüksek nitrat ve amonyum değerleri Çarşamba ovasındaki çok elverişli alüvyonların oluşturduğu geniş arazilerde tarımsal faaliyetlerin yürütülmesine bağlı olmaktadır. Ayrıca bu yüksek değerler endüstriyel atıklardan ve lağım sularından da kaynaklanabilmektedir.

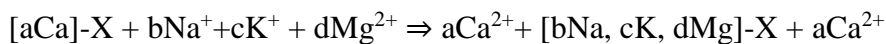
İnceleme alanı endüstriyel faaliyetlerin yoğun bir şekilde yapıldığı bir bölge olduğu için örneklenen yeraltısularının Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V ve Ba analizleri de yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlar bu elementlerin her birisi ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ni, B, Pb, Mn, As, Ti, Al, Co, Ba ve Zn konsantrasyonlarının dağılım haritasına bakıldığında inceleme alanının güney ve kuzeydoğusunda daha yüksek değerler görülürken; Mo, Se, Cr ve V konsantrasyonları çalışma alanının büyük kısmında düşük değerlerde izlenmektedir. 24, 25, 28 ve 29 nolu kuyularda görülen yüksek Ni değerleri, 13 nolu kuyuda görülen yüksek Se değeri, 24, 25, 26 nolu kuyularda görülen yüksek As değerleri ve 33 nolu kuyuda görülen yüksek Cu değeri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına uygun olmayıp bu kuyuların kirlendiği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca örneklerin %80'inden fazlasının Mn konsantrasyonu açısından ve %54,55'inin Al konsantrasyonu açısından kirlenmiş olduğu görülmektedir. Sağlam vd., (2011) Çarşamba Ovası'ndaki toprakların ağır metal konsantrasyonu ile ilgili yaptıkları çalışmalara göre bu bölgede Al konsantrasyon yüksek olduğu göstermektedir. İnceleme alanında izlenen Ni, Mo, Mn, As, Ti, Al, Cr, Co, Ba, V ve Zn iz elementlerinin bölgede bulunan sanayi tesislerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca Zn konsantrasyonu tarımsal faaliyetlerinde kaynaklanabilmektedir (Sağlam vd., 2011). Ayrıca As konsantrasyonunun fosil yakıtların yanmasından, Co konsantrasyonunun tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. B konsantrasyonunun alüvyonlardaki marn ve çamurtaşlarından; Se ve Cu konsantrasyonlarının tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyunun hidrojeokimyasal karakteristikleri, deniz suyu girişiminin olup olmadığı ve tuzlu su ile tatlı su arasında meydana gelen katyon



değişim olaylarını ortaya çıkarmak için Stuyfzand hidrjeokimyasal modelleme sistemi kullanılmıştır. Temmuz ve Aralık aylarında belirlenen suların ana türlerine göre suların ağırlıklı olarak tatlı su sınıfında olduğu görülmektedir. Jifarah (Libya) ovası'nda kıyı kısmındaki Stuyfzand yöntemiyle yeraltı suyuna deniz suyu girişi olup olmadığı ile ilgili Al Farrah vd., (2011) tarafından yapılmış olan çalışmalara göre inceleme alanındaki sular gibi bölgedeki yerlatisuyu örneklerinin ağırlıkla tatlı ve tatlı-az tuzlu su sınıfında oldukları görülmektedir. İnceleme alanında Temmuz ve Aralık dönemlerinde örneklenen suların “ana tür” dağılım haritaları karşılaştırıldığında Temmuz ayında inceleme alanının orta kısımlarında görülen “tatlı-az tuzlu” ve “az tuzlu-tuzlu” su bölgelerinin Aralık ayında “tatlı su” bölgesine değiştiği izlenmektedir. Temmuz ayında görülen “tatlı-az tuzlu” ve “az tuzlu-tuzlu” su bölgelerinin tarım arazilerinde sulama yapmak için yeraltısuyu çekiminin yapılması nedeniyle akifere meydana gelen deniz suyu girişimini ifade etmektedir. Aralık ayının yağışlı ay olması ve bu dönemde tarım arazilerinde yeraltısuyu çekiminin yapılmaması nedeniyle deniz suyu girişimi azalmakta ve yaklaşık inceleme alanının tamamı “tatlı su” bölgesi tarafından kaplanmaktadır. Temmuz ve Aralık ayında örneklenen suların ana türleri karşılaştırıldığında Temmuz ayında inceleme alanının kuzeyinde ve kuzey doğusunda görülen NaMix su tiplerinin Aralık ayında sırasıyla CaMix ve CaHCO<sub>3</sub>'lu su tiplerine dönüştüğü görülmektedir. Temmuz ayında inceleme alanının orta kısmında izlenen NaHCO<sub>3</sub>, CaMix ve NaHCO<sub>3</sub> su tiplerinin Aralık ayında CaHCO<sub>3</sub> su tipine dönüştüğü görülmektedir.

Çalışma alanında belirlenen CaMix alt tür su tipi, geçiş zonunda bulunan su tipini göstermektedir. Bu bölgede, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> ve Ca<sup>2+</sup> iyonları bakımından zengin yeraltısuyu, Na<sup>+</sup> bakımından zenginleşerek CaMix fasiyesinden CaCl ve NaCl fasiyesine doğru gelişmektedir. Geçiş bölgesinde gözlenen bu süreçler, yeraltısuyunun tuzlanma sürecinin başlangıcına karşılık gelmektedir. Akiferin tuzlanma süreçleri esas olarak bir yeraltısuyu sistemine deniz suyunun girmesinden kaynaklanmaktadır. Yeraltısuyunun tuzlanma süreçleri sırasında, aşağıdaki kimyasal reaksiyona göre Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> eksikliği ve Ca<sup>2+</sup> fazlası ile sonuçlanan bir katyon değişim reaksiyonu meydana gelmektedir (Stuyfzand, 1999; Vandenbohede vd, 2012).

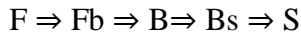
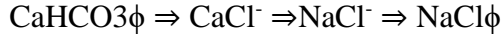


Burada X, reaksiyonlardaki doğal değiştiriciyi temsil etmektedir.

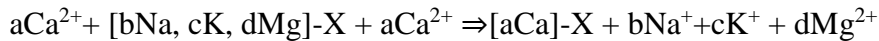
Deniz suyu girişiyle meydana gelen bu katyon değişim reaksiyonu sonucunda ortamda (Na+K+Mg)<sub>eksik</sub> fazı oluşmaktadır. Ancak inceleme alanında deniz suyu girişimi

gözlenen kuyularda  $(Na+K+Mg)_{\text{eksik}}$  yerine  $(Na+K+Mg)_{\text{fazla}}$  görülmektedir. Görülen bu  $(Na+K+Mg)_{\text{fazla}}$  su sınıfı, tuzlu sulardan değil havzada bulunan magnezyumlu kayaçların çözünmesi sonucu meydana gelen  $Mg^{2+}$  iyonlarının yeraltısuyunda zenginleşmesinden kaynaklanmaktadır.

Yeraltısularının tuzlanma süreçleri aşağıdaki gibi şematize edilebilmektedir (Stuyfzand, 1999):



Çalışma alanında gözlenen NaMix,  $NaHCO_3$  ve  $MgHCO_3$  alt tür suları, akiferin tatlı sularının tuzlu deniz suyu tarafından yıkanmasının gerçekleştiği geçiş bölgesini göstermektedir. Bir akiferde yıkanma gerçekleşebilmesi için başlangıç şartlarının SNaCl olduğu kabul edilmektedir. Bu durumda ortam, ilksel deniz suyu ile karakterize edilmekte ve deniz suyunda beslenmenin etkisiyle yıkanma işleminin gerçekleşmesi ile deniz suyu koşulları S (tuzlu)'den F(tatlı)'ye doğru değişim göstermektedir. Tuzlu sularının yıkanma süreçleri sırasında, bir kimyasal değişim katyon reaksiyonu meydana gelmektedir. Bu katyon değişim reaksiyonu sırasında  $Na^+$ ,  $K^+$  ve  $Mg^{2+}$  iyonları  $Ca^{2+}$  iyonu ile yer değiştirmesi sonucunda ortamda  $Na^+$ ,  $K^+$  ve  $Mg^{2+}$  iyonları artarken  $Ca^{2+}$  iyonu azalmaya başlamaktadır. Bu katyon değişim reaksiyonu nedeniyle ortamda  $(Na+K+Mg)_{\text{fazla}}$  oluşmaktadır. Bu katyon değişim reaksiyonu aşağıdaki gibi şematize edilebilmektedir (Stuyfzand, 1999; Vandenbohede vd, 2012):



Katyon değişim işlemi sırasında tuzlu sular, NaCl alt türünden  $NaHCO_3$ ,  $MgHCO_3$  ve  $CaHCO_3$  alt türlerine değişmektedir. Bu tuzlu sularının yıkanma süreçleri aşağıdaki gibi şematize edilebilmektedir (Stuyfzand, 1999):



İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin kimyasal bileşimine etki eden litolojiyi ve hidrokimyasal işlevlerini ve fasiyesi tanımlamak için Piper ve Chadha diyagramları kullanılmıştır. Piper diyagramına göre Temmuz ve Aralık ayında örneklenen yeraltısuyunun büyük bir kısmı Ca-Mg- $HCO_3$ 'lu, Ca- $HCO_3$ 'lu su fasiyesinde olup bu fasiyes çalışma alanında ve yakın çevresinde yer alan karbonatlı ve sülfatlı birimlerin ile su-kayaç etkileşimine bağlı olarak gelişmektedir. Temmuz ayında 7, 14, 19, 22, 31 ve 33 nolu yeraltısuyu örnekleri Ca-Mg-Cl'lu, 13 ve 28 nolu yeraltısuyu örnekleri NaCl'lu, 1 ve 23 nolu

yeraltısuyu örnekleri Na-Ca-HCO<sub>3</sub>'lu su fasiyesindedir. Aralık ayında 5, 7, 10, 22 ve 31 nolu yeraltısuyu örnekleri Ca-Mg-Cl'lu, 23 nolu yeraltısuyu örneği Na-HCO<sub>3</sub>'lu su fasiyesindedir. İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında görülen yeraltısuyu fasiyesleri, Arslan (2017) Çarşamba Ovası'ndaki yeraltısuyunun kalitesi açısından yaptığı çalışmalarda benzer su fasiyesleri belirlemiştir. Çalışmalarına göre Çarşamba Ovası'nda yeraltısuyunun fasiyesi bolluk sırasıyla CaHCO<sub>3</sub>, Na-Cl, karışık Ca-Mg-Cl, Ca-Cl ve Na-HCO<sub>3</sub> olduğu izlenmektedir (Arslan, 2017).

Çalışma alanında görülen Ca-Mg-Cl'lu, Na-Ca-HCO<sub>3</sub>'lu, NaHCO<sub>3</sub>'lu ve NaCl'lu sular, akifere olan deniz suyu girişimini ifade etmektedir. Chadha diyagramına göre ise Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların büyük bir bölümünün Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> su fasiyesinde olduğu görülmekte ve bu egemen fasiyes inceleme alanındaki karbonatlı ve sülfatlı kayaçların su kaynakları üzerindeki etkisini göstermektedir. Ancak Temmuz ve Aralık aylarında bazı kuyularda Ca-Mg-Cl, Na-HCO<sub>3</sub> ve Na-Cl su fasiyesleri görülmektedir. Temmuz ve aralık aylarında görülen Ca-Mg-Cl'lu, Na-HCO<sub>3</sub> ve Na-Cl'lu su tipleri yeraltısuyu sistemine deniz suyu girişimi olduğuna işaret etmektedir. İnceleme alanında görülen Ca-Mg-Cl'lu sular yeraltısuyunun tuzlanma süreçleri sırasında meydana gelen kation değişim reaksiyonunu ifade etmektedir. Bu kation değişim reaksiyonu sırasında tatlı sular Ca iyonları ile tuzlu sular Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve K<sup>+</sup> iyonları yer değiştirirken ortamda Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> azalır Ca<sup>2+</sup> iyonları artmaktadır. Na-HCO<sub>3</sub>'lu sular ise tuzlu suların tatlı suları yıkamasını ifade etmektedir. Tuzlu suların yıkanma süreçleri sırasında, bir kimyasal değişim kation reaksiyonu meydana gelmektedir. Bu kation değişim reaksiyonu sırasında Na, K ve Mg iyonları Ca iyonu ile yer değiştirmesi sonucunda ortamda Na, K ve Mg iyonları artarken Ca iyonları azalmaktadır.

İnceleme alanında örneklenen suların hangi işlev veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek amacıyla kullanılan Gibbs diyagramına göre suların büyük bölümünün 'Su-Kayaç Baskın' bölgesinde yer aldığı, diğer küçük bölümünün ise 'Evaporasyon-Kristalizasyon' bölgesinde yer aldığı izlenmektedir. 'Su-Kayaç Baskın' bölgesine düşen su örnekleri, inceleme alanındaki suların büyük bölümünün kimyasını kontrol eden ana mekanizmanın, kayaç yapıcı minerallerin kimyasal ayrışması olduğunu göstermektedir. 'Evaporasyon-Kristalizasyon' bölgesine düşen su örnekleri ise deniz suyu girişimini nedeniyle tuzlanmakta ve yoğun buharlaşmaya maruz kalmaktadır. Bu nedenle bu örneklerin çözünmüş toplam iyon miktarı da yüksek değerlere ulaşmaktadır.

İnceleme alanı yoğun tarımsal faaliyetlerin yürütüldüğü bir bölge olduğu için örnekleme yapılan suların sulama açısından uygun olup olmadığı araştırılmıştır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre örneklenen yeraltısularının büyük bir bölümünün  $C_3S_1$  fasiyesinde olduğu görülmektedir. Arslan (2017) Çarşamba Ovası'ndaki yeraltısuyunun kalitesi açısından yaptığı çalışmalarda benzer sonuçlar bulmuştur. Bazı  $C_2S_1$  fasiyesinde bulunan yeraltısuyu örnekleri “orta tuzlu sular” fasiyesinde olup orta drenajlı topraklarda ve sodyum oranına olumsuz etki yaratmayacağı için tüm bitkiler sulanabilirken  $C_3S_1$  sınıfında bulunan sular “tuzlu az sodyumlu sular” fasiyesinde olup tuza dayanıklı bitkiler için kullanılabilir. Temmuz ayında örneklenen 13 nolu su örneği  $C_4S_3$  grubunda yer aldığı için sulama açısından uygun olmamaktadır. Temmuz ve Aralık aylarında 23 nolu su örneği  $C_3S_2$  grubunda yer aldığı için tuzluluk ve sodyum tehlikesi bakımından sulamada bazı özel koşullar altında kullanılabilir.

Wilcox diyagramına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen su örnekleri genellikle “iyi kullanılabilir” ve “iyi” sınıfında olup bu sular tarımsal sulamada kullanılabilir. Temmuz ayında 23, 28 ve 31 nolu kuyularda örneklenen su örnekleri “şüpheli kullanılabilir” sınıfında olduğu için sulamada önerilmemektedir. 13 nolu su örneği “uygun değil” sınıfında olduğu için tarımsal sulama için uygun olmamaktadır. Aralık ayında 23 ve 31 nolu kuyulardan örneklenen su örnekleri sırasıyla “şüpheli kullanılabilir” ve “şüpheli kullanılmaz” sınıflarında olup bu sular sulamada önerilmemektedir. İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin hesaplanan %Na, SAR, RSC Kİ, MH ve Pİ değerlerine göre büyük bölümünün tarımsal sulama için uygun olduğu görülmektedir. Ancak Kalıcı Sodyum Karbonat değerlerine göre Temmuz ayında 16, 17 ve 23 nolu su örneklerinin ve Aralık ayında 7 nolu su örneğinin sulamada uygun olmadığı görülmektedir. Magnezyum tehlikesi değerlerine göre Temmuz ayında 13 ve 26 nolu su örnekleri ve Aralık ayında 26 nolu su örneği de sulamada kullanılmaz. Örneklenen suların potansiyel tuzluluk değerlerine göre kuyuların %51,51'i civarında tarımsal sulama için uygun olmadığı ve bu kuyu sularının kirlenmiş oldukları anlaşılmaktadır.

İnceleme alanında yeraltısularına deniz suyu girişi olup olmadığının ve suların bağlı yaşının belirlenmesi için oksijen-18 ( $^{18}O$ ), döteryum ( $^2H$ ) ve trityum analiz yapılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçlar ile kimyasal analiz sonuçları arasındaki ilişkiler de incelenmiştir.  $\delta^{18}O$  ve  $\delta^2H$  izotop içeriklerine bakıldığında inceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların Dünya Meteorik Su Doğrusu ile Sinop Meteorik Su Doğrusu arasında yer aldığı ve bu suların meteorik kökenli olduğu anlaşılmaktadır. Temmuz ayında örneklenen

sularının Döteryum ve Oksijen-18 değerlerinin Aralık ayındaki değerlerden daha pozitif olduğu izlenmektedir. Bu durum Aralık ayında güncel yağışın katkısı ile deniz suyu girişiminin azaldığından dolayı izlenmektedir. Ayrıca  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  Temmuz ayında 13, 14, 16, 19 ve 26 nolu kuyulardan ve Aralık ayında 9, 14, 19, 26, 7, 20 ve 22 nolu kuyulardan örneklenen sulara görülen daha pozitif Oksijen-18 ve döteryum değerleri deniz suyu girişimine işaret etmektedir. Örneklenen suların  $\delta^{18}\text{O}$ -Cl<sup>-</sup> ve  $\delta^{18}\text{O}$  – EC grafiklerine göre Temmuz ayında 13, 14, 28 ve 22 nolu kuyularda ve Aralık ayında 22 ve 28 nolu kuyularda görülen yüksek Cl<sup>-</sup> ve EC değerleri daha pozitif Oksijen-18 değerleri de izlenmektedir. Arslan vd., (2011) Bafra Ovası'nda yerlatı suyuna deniz suyu girişimi olup olmadığı ile ilgili yaptıkları çalışmalara göre deniz suyu tarafından etkilenmiş olan kuyularda yüksek Cl<sup>-</sup> ve  $\delta^{18}\text{O}$  değerleri izlenmektedir. Daha pozitif  $\delta^{18}\text{O}$  ve yüksek Cl<sup>-</sup> değerleri deniz suyu girişimine işaret etmektedir (Arslan, 2011).  $\delta^{18}\text{O}$  değerlerine göre de Temmuz ve Aralık ayında örneklerin yaklaşık olarak aynı beslenme yüksekliklerine sahip olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ayında 5, 21, 24 ve 27 nolu su örneklerinde görülen daha negatif  $\delta^{18}\text{O}$  diğer su örneklerine göre daha yüksek beslenme kotuna sahip olduğu düşünülmektedir. İnceleme alanında örneklenen suların Trityum değerlerine göre Temmuz ve Aralık ayında suların neredeyse tümünün sığ dolaşımli olduğu anlaşılmaktadır. EC-<sup>3</sup>H ve Cl-<sup>3</sup>H grafiklerine göre Aralık ayında suların trityum değerleri Temmuz ayındakilerden daha yüksek; EC ve Cl değerleri daha düşük olduğu izlenmektedir.

Bu durum inceleme alanında yağışlı mevsimde, akifer genç sularla beslendiği için ve tarım tesislerinde yeraltısuları kullanmadığından dolayı izlenmektedir. Aralık ayında güncel yağışın katkısı ile deniz suyu girişiminin azaldığı ve örneklenen yeraltısularının tümünün daha düşük kota sahip alanlardan beslendiği düşünülmektedir. Temmuz ayında 15, 14 ve 32 nolu kuyularda görülen daha düşük trityum içerikleri nedeniyle bu kuyuların suları diğer kuyulardakilere göre daha uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiği düşünülmektedir. Temmuz ayında 13, 28 ve 22 nolu kuyularda ve Aralık ayında 31, 22 ve 28 nolu kuyularda yüksek trityum değerleri görülmekte ve deniz suyu suyu girişimi nedeniyle yüksek EC (> 1500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ve Cl (> 6 meq/l) değerleri de izlenmektedir. Kıyı bölgelerinde genç yeraltı sularında da deniz suyu etkisiyle yüksek EC ve Cl değerleri görülebilmektedir.

## 9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında seçilen inceleme alanı, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde Çarşamba Ovası'nda Samsun ilinde bulunan Çarşamba ve Tekkeköy ilçeleri sınırları içerisinde yer almaktadır. Çarşamba akiferi yeraltısuyunun hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin araştırılmasını konu alan bu çalışmada, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özellikleri, yeraltısularının hidrokimyasal özelliklerinin araştırılması, izotop hidrojeolojisinin belirlenmesi, yeraltısuyuna deniz suyu girişiminin olup olmadığının araştırılması, suların kirlilik parametrelerinin incelenmesi ve suların sulamaya ve içmeye uygunluğunun belirlenmesinin sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

İnceleme alanında ve yakın çevresindeki litolojik birimler incelendiğinde bölgede yaşlıdan gence doğru Tersiyer yaşlı Tekkeköy ve Sarıyurt formasyonu ve Kuvaterner yaşlı Güncel taşkın ovası çökelleri, Güncel kumsal çökelleri, Güncel akarsu kanalı çökelleri, Eski alüvyon yelpazesi çökelleri, Eski akarsu kanalı çökelleri, Eski kumsal çökelleri ve Eski taşkın ovası çökelleri bulunmaktadır.

Çalışma alanında yer alan litolojik birimler hidrojeolojik özelliklerine göre geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz olmak üzere 3 farklı hidrojeolojik ortama ayrılmıştır. Güncel taşkın ovası çökelleri, Güncel kumsal çökelleri, Güncel akarsu kanalı çökelleri, Eski alüvyon yelpazesi çökelleri, Eski akarsu kanalı çökelleri, Eski kumsal çökelleri ve Eski taşkın ovası çökelleri oluşturan Kuvaterner yaşlı alüvyonları, inceleme alanında iyi bir akifer özelliği taşıdığı için bu çalışmada geçirimli formasyon olarak sınıflandırılmıştır.

İnceleme alanında seçilen 28 adet kuyuda açıldıkları tarihlerde yapılan sabit seviyeli düşüm deneyi verileri kullanılarak hesaplanan hidrolik parametrelere göre akiferin permeabilite katsayısı  $2,51 \times 10^{-5}$  ile  $1,27 \times 10^{-3}$  m/s ve transmisibilite katsayısı  $5,01 \times 10^{-4}$  ile  $2,29 \times 10^{-2}$  m<sup>2</sup>/s arasında değişmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen bütün yeraltısularının fiziksel parametreleri ölçülmüştür ve bu parametreler Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004), Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarına göre değerlendirilmiştir. Buna göre Temmuz ayında yeraltısularının pH değerleri 6,50 ile 8 arasında; EC değerleri 587 ile 3940  $\mu$ S/cm arasında;

TDS değerleri 399,16 ile 2679,2 mg/l arasında ve sertlik değerleri 21 ile 85,55 F<sup>0</sup> arasında değişmektedir.

Aralık ayında ise örneklenen yeraltısularının pH değerleri 6,55 ile 7,93 arasında; EC değerleri 584 ile 2007  $\mu$ S/cm arasında; TDS değerleri 397,12 ile 1364,76 mg/l ve sertlik değerleri 10,15 ile 81,70 F<sup>0</sup> arasında değişmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yaklaşık tüm örneklerin pH ve EC değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görölmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde yaklaşık bütün örneklerin pH, TDS ve sertlik değerlerinin uygun sınırlar içerisinde olduğu görölmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuları pH değerleri açısından I. ve II. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. TDS değerleri için ise Temmuz ayında örneklerin %9,09'ü, %87,88'i ve %3,03'ü sırasıyla I., II. ve III. sınıfları; Aralık ayında %10'u ve %90'ı sırasıyla I. ve II. sınıflar kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır.

Temel bileşen analiz sonuçlarına göre inceleme alanında Temmuz ve Aralık ayında ayrı ayrı 3 farklı faktör oluşmaktadır. Temmuz ayına ait TBA analiz sonuçlarına göre toplam varyansın % 46,82'sini açıklayan 1. faktör Cl, Na, EC, SO<sub>4</sub>, Mg ve K pozitif yönde güçlü temsil edilmektedir, toplam varyansın %22,15'ini açıklayan 2. faktör pH negatif yönde ve Ca pozitif yönde temsil edilmektedir ve toplam varyansın % 13,16'sını açıklayan 3. faktör NH<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub> pozitif yönde ve NO<sub>3</sub> negatif yönde temsil edilmektedir. Aralık ayında ise toplam varyansın 27,11 % açıklayan 1. faktör pH negatif yönde, Ca, HCO<sub>3</sub>, Mg ve EC pozitif yönde temsil edilmektedir, toplam varyansın %22,36'sını açıklayan 2. faktör Na, Cl pozitif yönde ve NO<sub>2</sub> negatif yönde temsil edilmektedir, toplam varyansın % 15,35'ini açıklayan 3. Faktör NH<sub>4</sub> negatif yönde, NO<sub>3</sub> ve SO<sub>4</sub> pozitif yönde temsil edilmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuları, Stuyfzand hidrojeokimyasal modelleme sistemine göre değerlendirilmiştir. Bu sınıflama sistemi, yeraltısuyunun hidrojeokimyasal karakteristikleri, deniz suyu girişimi olup olmadığı ve tuzlu su ile tatlı su arasında meydana gelen katyon değişim olaylarını ortaya koymak için kullanılmaktadır. Bu sınıflama sisteminde ilk sembol ile ifade edilen Cl içeriğine göre Temmuz ve Aralık aylarına ait suların ağırlıklı olarak tatlı su sınıfında olduğu görölmektedir. Stuyfzand Sınıflama Sistemi'nde ikinci sembol olarak belirtilen Toplam sertlik değerine Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suları ağırlıklı olarak çok sert ve sert sınıfında olduğu görölmektedir. Bu sınıflama Sistemi'nde üçüncü sembol ifade edilen suların hakim

anyon ve katyonlarıyla oluşturan üçgen diyagramından elde edilen su alt türlerine göre inceleme alanında Temmuz ayında örneklenen suların %60,60'ı  $\text{CaHCO}_3$ , %18,19'u  $\text{CaMix}$ , %6,06'sı  $\text{NaMix}$ , 3,03%'ü  $\text{NaCl}$ , %9,09'u  $\text{NaHCO}_3$  ve %3,03'ü  $\text{MgHCO}_3$  'lu su sınıflarında olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise suların %76,66'sı  $\text{CaHCO}_3$ , %20'si  $\text{CaMix}$ , %3,33'ü  $\text{NaHCO}_3$  ve %3,33'ü  $\text{MgHCO}_3$ 'lu su sınıflarında olduğu izlenmektedir. Sınıflamada kullanılan dördüncü sembol ile ifade edilen katyon değişim kodlarına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının tümü  $(\text{Na}+\text{K}+\text{Mg})_{\text{fazla}}$  olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca yeraltısularının sınıflanması ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Chadha diyagramı da kullanılmıştır. Bu diyagramına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların büyük kısmını  $\text{Ca-Mg-HCO}_3$  su fasiyesinde olduğu görülmektedir. Ancak Temmuz ve Aralık ayında bazı örnekleri  $\text{Ca-Mg-Cl}$ 'lu sular fasiyesinde  $\text{Na-Cl}$ 'lu sular fasiyesinde;  $\text{Na-HCO}_3$ 'lu sular fasiyesinde yer almaktadır.

Çalışma alanında örneklenen suların kimyasal bileşime etki eden litolojiyi, hakim iyonları ve hidrokimyasal fasiyesi belirlemek için Piper ve Shoeller diyagramları kullanılmıştır. Piper diyagramına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısuyu örneklerinde ağırlıklı olarak alkali toprak elementlerin toplamı  $(\text{Ca}+\text{Mg})$  alkali elementlerin toplamından  $(\text{Na}+\text{K})$  daha fazla; zayıf asitlerin toplamı  $(\text{HCO}_3+\text{CO}_3)$  güçlü asitlerin toplamından  $(\text{Cl}+\text{SO}_4)$  daha fazla ve karbonat sertliğinin %50'den fazla olduğu görülmektedir.

Shoeller diyagramına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların çoğunlukla iyon dizilimi katyonlar için  $r\text{Ca}^{2+} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Mg}^{2+}$ ;  $r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+} > r(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$  ve  $r(\text{Na}^+ + \text{K}^+) > r\text{Ca}^{2+} > r\text{Mg}^{2+}$ ; anyonlar için  $r(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-) > r\text{SO}_4^{2-} > r\text{Cl}$  ve  $r(\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^-) > r\text{Cl} > r\text{SO}_4^{2-}$  olarak izlenmektedir.

İnceleme alanında örneklenen suların hangi işlev veya mekanizma sonucu değiştiğini belirleyebilmek için Gibbs diyagramı da kullanılmıştır. Bu diyagrama göre örneklerin büyük bölümünün 'Su-Kayaç Baskın' bölgesine; diğer küçük bölümünün ise 'Evaporasyon-Kristalizasyon' bölgesine düştüğü görülmektedir.

İnceleme alanında Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının sulama suyu olarak kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için ABD Tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları ile sodyum yüzdesi, sodyum adsorpsiyon oranı, Kelly indeksi, Kalıcı sodyum karbonat, permeabilite indeksi, magnezyum tehlikesi ve potansiyel tuzluluk parametreleri kullanılmıştır. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramına göre Temmuz ve



Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının büyük bir bölümü C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> ve C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> gruplarında olduğu görülmektedir. Wilcox diyagramına göre Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yeraltısularının ağırlıklı olarak “iyi kullanılabilir” sınıfında yer aldığı görülmektedir.

Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen suların sulama parametreleri açısından potansiyel tuzluluk değerli hariç yaklaşık bütün örnekleri uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltısuyu örneklerinin majör anyon ve katyon (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cl, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-2</sup>, CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>) konsantrasyonlarına göre içme suyu olarak değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları kullanılmıştır. Ayrıca yeraltısuyuna deniz suyu girişimini belirlemek amacıyla örneklerin sodyum ve klorür konsantrasyonların dağılım haritaları da hazırlanmıştır. Temmuz ayında örneklenen suların Ca<sup>2+</sup> değerleri 52,91 ile 186,77 mg/l arasında, Mg<sup>2+</sup> değerleri 114,21 ile 16,65 mg/l arasında ve K<sup>+</sup> değerleri 1,56 ile 25,35 mg/l arasında değişmektedir. Aralık ayında ise Ca<sup>2+</sup> değerleri 21,84 ile 238,68 mg/l arasında, Mg<sup>2+</sup> değerleri 11,42 ile 81,41 mg/l arasında ve K<sup>+</sup> değerleri 1,95 ile 23,40 mg/l arasında değişmektedir. Suların Na<sup>+</sup> değerleri Temmuz ayında 609,04 ile 20,01 mg/l arasında; Aralık ayında ise 22,31 ile 246,79 mg/l arasında değişmektedir. Temmuz ayında örneklenen suların Cl<sup>-</sup> değerleri 18,08 ile 1001,82 mg/l arasında; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> değerleri 248,92 ile 822,41 mg/l arasında ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> değerleri 19,69 ile 504,80 mg/l arasında değişmektedir. Aralık ayında ise Cl<sup>-</sup> değerleri 16,31 ile 281,12 mg/l arasında; HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> değerleri 272,71 ile 860,24 mg/l arasında ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> değerleri 19,69 ile 382,32 mg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre değerlendirildiğinde Temmuz ve Aralık aylarında örneklenen yaklaşık bütün suların Cl<sup>-</sup> ve SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre Temmuz ayında sodyum için örneklerin %78,79'u I. ve II. sınıf, %18,18'i III. sınıf ve %3,03'ü IV; klorür için örneklerin %9,09'u I. sınıf, %75,76'u II. Sınıf, %12,12'si III. sınıf ve %3,03'u IV. sınıf; sülfat için örneklerin %90,91'i I. ve II. sınıf, %6,06'sı III. sınıf ve %3,03'ü IV. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. Aralık ayında ise sodyum için örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıf ve %13,33'ü III. sınıf; klorür için örneklerin %6,67'si I. sınıf, %86,66'sı II. sınıf ve %6,67'si III. sınıf; sülfat için örneklerin %86,67'si I. ve II. sınıf ve %13,33'ü III. sınıf kalitedeki sular sınıfında yer almaktadır.

İnceleme alanında örneklenen sular için nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) ve amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) analizleri de yaptırılmıştır. Elden edilen sonuçlara göre suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları ile karşılaştırılmıştır. Temmuz ayında örneklenen yeraltısularının nitrit değerleri 0,05 mg/l'den küçük olarak görülürken nitrat değerleri 0,248'den küçük ile 101,68 mg/l arasında ve amonyum değerleri 0 ile 4,39 mg/l arasında değişmektedir. Aralık ayında ise nitrit değerleri 0 ile 1,02 mg/l arasında; nitrat değerleri 0 ile 151,90 mg/l arasında ve amonyum değerleri 0 ile 3,27 mg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü'nün (WHO) standartlarına göre örneklerin nitrat değerleri açısından Temmuz ayında 2, 5 ve 30 nolu kuyular hariç ve Aralık ayında 2, 3 ve 5 kuyular hariç yaklaşık tüm yeraltısuyu örneklerinin nitrat değerleri açısından uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Nitrat değerleri ise Temmuz ayında bütün örnekleri uygun sınırlar içerisinde olduğu görülürken Aralık ayında ise sadece örneklerin %43,33'ü uygun olduğu tespit edilmiştir. Amonyum değerleri için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standartlarına göre Temmuz ayında incelenen suların %54,55'i uygun olarak görülürken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre örneklerin %72,73'ünün uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Aralık ayında ise İnsani Tüketim Amaçlı Sular Standardı (TS-266, 2005) standartlarına göre suların %73,33'ünün uygun sınır içerisinde olduğu görülürken Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre sadece örneklerin %20'sinin uygun sınırlar içerisinde olduğu izlenmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004)'ne göre inceleme alanındaki yeraltısularının Temmuz ayında nitrat için örneklerin %48,49'u I. sınıf, %21,21'i ve %30,30'u IV. sınıf ve amonyum için örneklerin %39,40'ı I. sınıf, %24,24'ü II. sınıf, %12,12'si III. sınıf ve %24,24'ü IV. kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. Aralık ayında ise nitrat için örneklerin %48,49'u I. sınıf, %21,21'i ve %30,30'u IV. sınıf ve amonyum için örneklerin %6,67'si I. sınıf, %50'si III. sınıf ve %43,33'ü IV. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır.

Çalışma alanında yoğun tarımsal ve hayvancılık faaliyetleri dışında endüstriyel faaliyetlerin yoğun yapıldığı bir bölgedir. Bu sebeple inceleme alanında örneklenen suların iz element analizleri de yaptırılmıştır. Örneklenen yeraltısularının Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V ve Ba analizlerinden elde edilen sonuçlara suların içme suyu olarak değerlendirilmesinde Türk İçme Suyu (TSE 266, 2005) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 2011) standartları karşılaştırılmıştır. Yeraltısularının kirlilik seviyeleri belirlemek

için ağır metal kirlilik ve değerlendirme indeksleri de hesaplanmıştır. İnceleme alanında Temmuz ayında örneklenen suların Ni değerleri 2,23 ile 63,61 µg/l arasında; B değerleri 0,14 ile 0,67 µg/l arasında; Pb değerleri 0 ile 2,80 µg/l arasında; Mo değerleri 0 ile 6,13 µg/l arasında; Se değerleri 0 ile 10,29 µg/l arasında; Mn değerleri 2,85 ile 1469,68 µg/l arasında; As değerleri 0 ile 113,61 µg/l arasında Ti değerleri 0,98 ile 159,19 µg/l arasında; Al değerleri 38,94 ile 11014,83 µg/l arasında; Cr değerleri 0 ile 286,54 µg/l arasında; Co değerleri 0 ile 8,22 µg/l arasında; Ba değerleri 0,63 ile 69,98 µg/l arasında; V değerleri 0 ile 47,63 µg/l arasında; Cu değerleri 0 ile 16,89 µg/l arasında ve Zn değerleri 0 ile 346,21 µg/l arasında değişmektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standardı ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre incelenen yeraltısularının Ni, As, Al, Cd ve Cu değerleri açısından sırasıyla %84,84'ü, %87,88'i, %45,45'i, %100'ü ve %100'ünün uygun sınırlar içerisinde olduğu göstermektedir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik standartlarına göre örneklenen suların B, Pb, Mn ve Cr değerleri açısından sırasıyla %100'ü, %100'ü, %18,18'i ve %96,97'sinin uygun olduğu görülmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) standartlarına göre suların Mo, Mn ve Zn değerleri açısından sırasıyla örneklerin %100'ü, %12,12'si ve %100'ünün uygun sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir. Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kontrol Yönetmeliği (2004) standartlarına göre ise örneklerin Cd, Pb, Cu, Co ve B değerlerinin 100%'ünün I. sınıf kalitedeki sular kapsamında yer almaktadır. Diğer iz elementlerin değerleri açısından örneklerin Cr için %90,91'i I. sınıf, %6,06'sı II. sınıf ve %3'ü IV. sınıf, As için %87,88'i I. sınıf, %6,06'sı II. sınıf, %3,03'ü III. sınıf ve %3,03'ü IV. Sınıf, Ni için %84,84'ü I. sınıf, %9,09'ü II. sınıf ve %6,06'sı III. sınıf; Zn için %93,94'ü I. sınıf ve %6,06'sı II. sınıf; Mn için %30,30'ü I sınıf, %51,5'i II. sınıf ve %18,2'si III. sınıf ve Se için %96,97'si I. ve II. sınıf ve %3,03'ü III. sınıf kalitesindeki sular kapsamında yer almaktadır. Örneklenen suların ağır metal kirlilik indeks değerleri 3,12 ve 325,09 arasında, ağır metal değerlendirme indeks değerleri ise 0,51 ile 90,81 arasında değişmektedir.

İnceleme alanında örneklenen yeraltı ve yüzey sularının döteryum, trityum ve oksijen-18 izotop analizleri yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlara Oksijen-18 değerleri Temmuz ayında -8,89 ile -7,21 arasında; Aralık ayında ise -8,76 ile 8,01 arasında değişmektedir. Yeraltısularının ölçülen Döteryum değerleri ise Temmuz ayında -56,41 ile -46,64 arasında; Aralık ayında ise -54,94 ile -53,36 arasında değişmektedir. Denizden örneklenen suların döteryum değerleri Temmuz ayında -25,37 ile -21,13 arasında; oksijen-18 değerleri ise -3,4 ile -2,58 arasında değişmektedir. Aralık ayında ise Döteryum değerleri -30,77 ile -21,41

arasında; Oksijen-18 değerleri ise -4,75 ile -2,73 arasında değişmektedir. İnceleme alanında örneklenen suların  $^3\text{H}$  değerleri Temmuz ayında 0,96 ile 7,15 TU arasında ve Aralık ayında 3,77 ile 7,83 değişmektedir.

Çalışma alanında deniz suyu girişimine maruz kalan kuyularda akiferin tatlılaşması için yeraltısuyu çekimi durdurulmalıdır. Ayrıca inceleme alanında deniz suyu girişimine maruz kalmayan kuyularda beslenme miktarına göre yeraltısuyu çekim oranları ayarlanmalıdır. İnceleme alanında bazı bölgelerde görülen yüksek nitrat, nitrit ve amonyum değerleri nedeniyle tarımsal faaliyetlerde gübre kullanımında sınırlamalar getirilmeli ve uygun sulama yapılmalıdır.

Ayrıca çalışma alanında Pb, Zn, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Cd, Al, Co, As, Mo, Se, B, Ti, V ve Ba iz elementleri açısından kirlenmiş bölgelerde, sanayi tesisleri ve tarımsal faaliyetler ile oluşan noktasal ve yayılı kirliliği önlemeye yönelik programların oluşturularak hızlı bir şekilde hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir.

## 10. KAYNAKLAR

- Adiloğlu, S. ve Turgut Sağlam, M., 2015. Karayolu kenarlarındaki tarım arazilerindeki topraklarda ekstrakte edilebilir kobalt (Co) içerikleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 15,3, 24-29.
- Aktimur, T., Ates, S., Yurdakul, E., Tekirli, E. ve Kecer, M., 1992. Niksar-Erbaa ve Destek Dolayının Jeolojisi, MTA Dergisi, 114, 36.
- Aktaş, A.H. ve Mutlutürk, B., 2014. Demir ve alüminyumun doğal sularda UV spektrofotometrik tayini için yöntem geliştirilmesi ve elde edilen verilerin kemometrik kalibrasyon yöntemleriyle değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 18,3, 52-59.
- Al Farrah, N., Martens, K. ve Walraevens, K., 2011. Hydrochemistry of the upper miocene-pliocene-quaternary aquifer complex of Jifarah plain, NW-Libya. Geologica Belgica
- Alloway, B. J., 1990. Soil processes and the behaviour of metals, Heavy metals in soils, 7-28.
- Araguás, L.J., 2003. Identification of the mechanisms and origin of salinization of groundwater in coastal aquifers by isotope techniques, Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterraneos, Alicante, Spain, 365-371.
- Arslan, H., 2017. Determination of temporal and spatial variability of groundwater irrigation quality using geostatistical techniques on the coastal aquifer of Çarşamba Plain, Turkey, from 1990 to 2012, Environmental Earth Sciences, 76,1, 38.
- Arslan, H., Ayyıldız Turan, N., Demir, Y., Güngör, A. ve Cemek, B., 2017. Assessment of spatial and seasonal changes in groundwater nitrate pollution of agricultural lands through ordinary and indicator kriging techniques, Archives of Agronomy and Soil Science, 63,7, 907-917.
- Arslan, H. ve Turan, N.A., 2015. Estimation of spatial distribution of heavy metals in groundwater using interpolation methods and multivariate statistical techniques; its suitability for drinking and irrigation purposes in the Middle Black Sea Region of Turkey, Environmental monitoring and assessment, 187,8, 1-13.
- Arslan, H. ve Demir, Y., 2011. Monitoring and assessing groundwater level By GIS: A case study in the irrigated soils of Bafra Plain in Northern Turkey, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26,3, 203-211.

- Arslan, H. ve Demir, Y., 2011. Bafra Ovasında deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine etkisi, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 26,2, 136-144.
- Arslan, H. ve Demir, Y., 2011. Monitoring and assessing groundwater level By GIS: A case study in the irrigated soils of Bafra Plain in Northern Turkey, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26,3, 203-211.
- Arslan, H. ve Yıldırım, D., 2011. Bafra ovasındaki drenaj kanallarının su kalitelerinin çok değişkenli istatistiksel analizler ile değerlendirilmesi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi , 28,2, 61-71.
- Arslan, H., 2012. Spatial and temporal mapping of groundwater salinity using ordinary kriging and indicator kriging: The case of Bafra Plain, Turkey, Agricultural water management, 113, 57-63.
- Arslan, H., Cemek, B., Demir, Y. ve Yıldırım, D., 2011. Deniz Suyu Girişiminin Belirlenmesinde Çevresel İzotopların Kullanılması, International Journal of Agricultural and Natural Sciences, 4,2, 59-64.
- Ahangar, A. G., Soltani, J. ve Abdolmaleki, A. S., 2013. Predicting Mn concentration in water reservoir using Artificial neural network (Chahnimehl reservoir, Iran), International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6,20, 1413.
- Arkoç, O., Akıncı, T.Ç. ve Noğay, H.S., 2016. Yapay Sinir Ağları Yardımı ile Yeraltı Suyunda Sodyum Absorbsiyon Oranı (SAR) Tahmini: Ergene Havzası Doğu Akiferi Örneği, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 40,2, 177-188.
- Aldemir, E., 2016. Seyhan ve Ceyhan havzalarının Çukurova bölgesinin hidrojeolojik incelemesi, Doktora Tezi, İÜ., Fen Bilim Enstitüsü, İstanbul.
- Akan, B., 2002. Jeotermal Sistemlerde Yapılan İzotop Hidrolojisi Çalışmaları: Afyon Omer-Gecek Jeotermal Sistemi, Hidrolojide izotop tekniklerinin kullanılması sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, Adana, 99-108.
- Babacan, A.E., 2018. Elektrik ve Elektromanyetik Yöntemler ile Doğu Karadeniz (Trabzon, Türkiye) Kıyı Şeridinde Deniz Suyu Girişiminin Çevreye Olan Etkisinin Araştırılması, Yerbilimleri, 39,2, 141-154.
- Baba, A., Deniz, O. ve Şanlıyüksel Y. D., 2008. Kazdağları Kuzeydoğusunda Bulunan Soğuk Su Kaynaklarının İzotopik Özellikleri, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, İstanbul, 1-12.
- Başkan, M. B. ve Atalay, N., 2014. İçme ve sulama sularında bor kirliliği ve bor giderme yöntemleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20,3, 78-84.

- Barlow, P. M., 2003. Ground water in freshwater-saltwater environments of the Atlantic coast, US Geological Survey, No. 1261, Virginia, 113 s.
- Batayneh, A. T., 2012. Toxic (aluminum, beryllium, boron, chromium and zinc) in groundwater: health risk assessment, International journal of environmental science and technology, 9,1, 153-162.
- Benzer, S. ve Benzer, R., 2018. Modelling nitrate prediction of groundwater and surface water using artificial neural networks, Politeknik Dergisi, 21,2, 321-325.
- Bergougnan, H., 1976. Structure de la Chaîne pontique dans le Haut-Kelkit (Nord-Est de l'Anatolie), Bulletin de la Société Géologique de France, 7,3, 675-686.
- Böhlke, J.K., Smith, R.L. ve Miller, D.N., 2006. Ammonium transport and reaction in contaminated groundwater: Application of isotope tracers and isotope fractionation studies, Water resources research, 42,5.
- Caboi, R., Cidu, R., Fanfani, L., Lattanzi, P. ve Zuddas, P., 1999. Environmental mineralogy and geochemistry of the abandoned Pb-Zn Montevecchio-Ingurtosu mining district, Sardinia, Italy, Chron. Rech. Min., 534, 21-28.
- Cemek, H., Arslan. M., Güler. B. ve Demir, Y., 2007. Bafra Ovası yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından değerlendirilmesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4,2, 219-226.
- Chadha, D. K., 1999. A proposed new diagram for geochemical classification of natural waters and interpretation of chemical data, Hydrogeology journal, 7,5, 431-439.
- Chandrasekar, N., Selvakumar, S., Srinivas, Y., Wilson, J. J., Peter, T. S. ve Magesh, N. S., 2014. Hydrogeochemical assessment of groundwater quality along the coastal aquifers of southern Tamil Nadu, India, Environmental earth sciences, 71,11, 4739-4750.
- Chidambaram, S., Karmegam, U., Prasanna, M. V., Sasidhar, P. ve Vasanthavigar, M., 2011. A study on hydrochemical elucidation of coastal groundwater in and around Kalpakkam region, Southern India, Environmental Earth Sciences, 64,5, 1419-1431.
- Cifter, C. ve Sayın, M., 2002. İzotopların Hidrolojide Kullanılması, Hidrolojide izotop tekniklerinin kullanılması sempozyumu, T.C Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, Adana, 1-14.
- Çakır, F., 1994. Karşılıklı Bağımlılığın Ölçüsünde Kümeleme Analizi ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ekonometri ABD.

- Çelik, E., 2013. Ağlasun (Burdur) ovasının hidrojeoloji incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dişli, E., 2017. Hydrochemical characteristics of surface and groundwater and suitability for drinking and agricultural use in the Upper Tigris River Basin, Diyarbakır–Batman, Turkey, Environmental Earth Sciences, 76,14, 1-23.
- Demir, S., Memiş, Ü. ve Özgür, N., 2010. Süleyman Demirel Üniversitesi içme ve kullanma sularının kalitesinin izlenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14,2, 174-186.
- Devlet Su İşleri., 1988, Bavra Ovası Hidrojeolojik Etüd Raporu, Samsun.
- Doneen L.D., 1964, Notes on water quality in agriculture, Department of Water Science and Engineering, University of California, Davis.
- Dönderici, Z. S., Dönderici, A. ve Başarı, F., 2010. Kaynak sularının fiziksel ve kimyasal kaliteleri üzerine bir araştırma, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 167.
- Devlet Su İşleri., 1993, Çarşamba Ovası Hidrojeolojik Etüd Rapor.
- Edet, A. E. ve Offiong, O. E., 2002. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: A study case from Akpabuyo-Odukpani area, Lower Cross River Basin (southeastern Nigeria), GeoJournal, 57,4, 295-304.
- Ekmekçi, M., 2008 Tuzlu Su Girişimi Problemlerinde İzotop Tekniklerinin Kullanılması, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, İstanbul, 285-291.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973. Yeraltıları jeolojisi, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 967, 293-324.
- Ersun Bayraktarlaroğlu.,1988. Çarşamba (Samsun) yöresi kretase oluşuklarının startigrafisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ersoy, A.F. ve Ersoy, H., 2009. Hydrogeochemical Modelling System: A Case Study of Gümüşhacıköy (Amasya, TURKEY) Aquifer, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3,2, 267-284.
- Farid, I., Trabelsi, R., Zouari, K., Abid, K. ve Ayachi, M., 2013. Hydrogeochemical processes affecting groundwater in an irrigated land in Central Tunisia, Environmental Earth Sciences, 68,5, 1215-1231.
- Ficklin, WH., Plumlee, GS., Smith, KS. ve McHugh, JB., 1992. Geochemical classification of mine drainages and natural drainages in mineralized areas, International symposium on water-rock interaction, Netherlands, 381–384.



- Fontes, J. ve Fritz, P., 1980. Environmental Isotopes in Groundwater Hydrology, Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, The Terrestrial Environment, 74-134.
- Freeze, R.A. ve Cherry, J.A., 1970. Groundwater Prentice-Hall International. New Jersey: Englewood Cliffs,. 604 p.
- Gedik, A. ve Korkmaz, S., 1984. Sinop havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 8,1, 53-80.
- Gibbs, R. J., 1970. Mechanisms controlling world water chemistry. Science, 170,3962, 1088-1090.
- Gu, A., 2005. Stable Isotope Geochemistry of Sulfate in Groundwater of Southern Arizona: Implications for Groundwater Flow, Sulfate sources, and Environmental Significance, Doctoral Thesis., University of Arizona, Departement of Geoscience.
- Güngör, A. ve Arslan, H., 2016. Assessment of water quality in drainage canals of Çarşamba plain, Turkey, through water quality indexes and graphical methods, Global Nest Journal, 18,1, 67-78.
- Gültekin, F., Hatipoğlu, E. ve Ersoy, A. F., 2009. Ladik-Hamamayağı (Samsun) sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeokimyası ve kökensel yorumu, Yerbilimleri Dergisi, 31,2, 111-126.
- Güven, İ. H., Nalbantoğlu, A. K. ve Takaoğlu, S., 1998. 1/100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Harita Serisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 57,58, 59,60.
- Golshan, M., Colombani, N. ve Mastrocicco, M., 2018. Assessing aquifer salinization with multiple techniques along the southern caspian sea shore (Iran), Water, 10,4, 348.
- Hakyemez, Y. H. ve al.,1989. Çarşamba (Samsun) dolayının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Rapor 8895, Ankara.
- Hooda, P.S. ve Alloway, B. J., 1998. Cadmium and lead sorption behaviour of selected English and Indian soils, Geoderma, 84, 1-3, 121-134.
- Hopkins, B.G., Horneck, D. A., Stevens, R. G., Ellsworth, J. W. ve Sullivan, D. M., (2007). Managing irrigation water quality for crop production in the Pacific Northwest, s 24.
- Horton RK., 1965. An index systems for rating water quality, J Water Pollut Control Fed, 37,3, 300–306.
- Kellekçi, Ö. L. ve Berköz, L., 2010. Konut ve çevresel kalite memnuniyetini yükselten faktörler, İTÜ Dergisi, 5,2.

- Kelly, D., 2005. Seawater intrusion topic paper, vol 6. wria, Island County.
- Kobyay, Y. ve Yeşilkanat, C. M. (2017). Doğu Karadeniz Bölgesindeki bazı doğal kaynak sularının elemental analizi ve haritalandırılması ile çevre ve insan sağlığına etkilerinin araştırılması, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 3,1, 28-38.
- Karaca, Z., 2017. Engiz Çayı (OdokuzMayıs-Samsun) akiferinin hidrojeolojik ve hidrokimyasal özellikleri açısından incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi., Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koçyigit, A., 1990. Tectonic setting of the Gölova basin; total offset of the North Anatolian Fault Zone, E Pontide, Ann. Tecton 2, 155– 170, Turkey.
- Koçyiğit, A., 1989. Suşehri basin: an active fault-wedge basin on the North Anatolian Fault Zone, Turkey, Tectonophysics, 167,1, 13-29.
- Kožišek, F., 2003. Health significance of drinking water calcium and magnesium, National Institute of Public Health, 29, 9285-6.
- Kumar, M., Ramanathan, A. L., Rao, M. S. ve Kumar, B., (2006). Identification and evaluation of hydrogeochemical processes in the groundwater environment of Delhi, India, Environmental geology, 50,7, 1025-1039.
- Liu, C. W., Lin, K. H. ve Kuo, Y. M., (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. Science of the Total Environment, 313(1-3), 77-89.
- Martínez, D., Moschione, E., Bocanegra, E., Galli, M.G. ve Aravena, R., 2014. Distribution and origin of nitrate in groundwater in an urban and suburban aquifer in Mar del Plata, Argentina, Environmental earth sciences, 72,6, 1877-1886.
- Mohan, S. V., Nithila, P. ve Reddy, S. J., 1996. Estimation of heavy metals in drinking water and development of heavy metal pollution index, Journal of Environmental Science & Health Part A, 31,2, 283-289.
- Naidu, R., Kookana, R.S., Sumner, M. E., Harter, R. D. ve Tiller, K.G., 1997. Cadmium sorption and transport in variable charge soils: a review, Journal of Environmental Quality, 26,3, 602-617.
- Öztürk, Müsteşar.,2017. İçme suyu kaynaklarında arsenic aritimi, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara s 29.
- Oğuz, T.G., 2015. İçme suyu arıtımında yaygın olarak karşılaşılan su kalite problemleri ve arıtımı için çözüm önerileri, Uzmanlık Tezi, Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Prasad, B. ve Sangita, K., 2008. Heavy metal pollution index of groundwater of an abandoned open cast mine filled with fly ash: a case study, Mine Water Environ, 27,4, 265–267.

- Prasanna, M. V., Praveena, S. M., Chidambaram, S., Nagarajan, R. ve Elayaraja, A., 2012. Evaluation of water quality pollution indices for heavy metal contamination monitoring: a case study from Curtin Lake, Miri City, East Malaysia, Environmental Earth Sciences, 67,7, 1987-2001.
- Saglam, M., Dengiz, O., Kizilkaya, R., 2011. Application of geostatistical methods to heavy metals status in Çarsamba plain soils, Asian Journal of Chemistry, 23(8), 3454.
- Senthil Kumar, G. R., 2012. Hydrochemical characteristics of Lekkur basin, Cuddalore district, Tamil Nadu, International Journal of Recent Scientific Research, 3, 742-746.
- Smedley, P. L. ve Kinniburgh, D.G., 2017. Molybdenum in natural waters: A review of occurrence, distributions and controls, Applied Geochemistry, 84, 387-432.
- Seven, T., Darende, BN. Ve Sevda, O.C.A.K., 2018. Hava ve toprakta ağır metal kirliliği, Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi 1,2, 91-103.
- Sonel, N., Sarı, A., Coşkun, B. Ve Tozlu, E., 1989 . Boyabat (Sinop) havzası Ekinveren Fayının petrol aramalarındaki önemi, Türkiye jeoloji bülteni, 32, 39-49.
- Stuyfzand, P. J., 1999. Patterns in groundwater chemistry resulting from groundwater flow, Hydrogeology Journal, 7,1, 15-27.
- Şahinci, A., 1991. doğal suların jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548.
- Şubaşı, M., 2019. Ilıca (Şavşat-Artvin) jeotermal sularının hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sütçü, Y.F., Barkurt, M.Y., Bilginer, E., Kurt, Z. ve Pehlivan, Ş., 1994. Boyabat-Vezirköprü Arasının Jeolojisi, MTA Genel Müd Rapor, 9884, Ankara.
- Şirin, G., Demir., Y., 2007. Çarşamba ovası sol sahilindeki bazı köylerde içme ve kullanma suyu problemleri ve çözümüne ilişkin öneriler, Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi 22,3, 248-259.
- Temizel, I., Arslan, M., Yücel, C., Abdioğlu, E. ve Ruffet, G., 2016. Geochronology and geochemistry of Eocene-aged volcanic rocks around the Bafra (Samsun, N Turkey) area: Constraints for the interaction of lithospheric mantle and crustal melts, Lithos, 258, 92-114.
- Temamoğulları, F. ve Dinçoğlu, A. H., 2010. Şanlıurfa ve çevresindeki kuyu sularında çinko ve selenyum düzeyleri, Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi, 16,2, 199-203.
- Terlemez, I. ve Yılmaz, A., 1980. Unye-Ordu-Resadiye-Koyulhisar-Karacayır-Hafik arasında kalan boolgenin jeolojisi, MTA Rap, No 6671.

- Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical review, 38(1), 55-94.
- Vandenbohede, A. ve Lebbe, L., 2012. Groundwater chemistry patterns in the phreatic aquifer of the central Belgian coastal plain, Applied Geochemistry, 27,1, 22-36.
- Varol, S., Davraz, A. ve Varol, E., 2008. Yeraltı suyu kimyası ve sağlığa etkisinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi. TAF Prev Med Bull, 7,4, 351-356.
- Varol, S. ve Şekerci, M., 2018. Korkuteli (Antalya) su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri ve kullanılabilirliğinin belirlenmesi, Yerbilimleri, 39,1, 1-18.
- Vig, K., Megharaj, M., Sethunathan, N. ve Naidu, R., 2003. Bioavailability and toxicity of cadmium to microorganisms and their activities in soil: a review, Advances in Environmental Research, 8,1, 121-135.
- WHO., 2011. Guidelines for drinking-water quality, Fourth Edition.
- WHO., 2008. Guidelines for drinking-water quality, Third Edition.
- WHO., 2003. Nitrate and nitrite in drinking-water: Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality, s 16.
- Wright, M. T. ve Belitz, K., 2010. Factors controlling the regional distribution of vanadium in groundwater, Groundwater, 48,4, 515-525.
- Yağmurlu, F. ve Şentürk, M., 2005. Güneybatı Anadolu'nun güncel tektonik yapısı, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu V, Haziran, İstanbul, Türkiye, 55-61.
- Yetiş, R., Atasoy, A. D., Yetiş, A. D. ve Yeşilnacar, M. İ., 2018. Balıklıgöl havzası su kaynaklarının nitrat ve nitrit seviyelerinin belirlenmesi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33,1, 47-54.
- Yüksel, A., 2007. Üçetepe yöresinin (İmamoğlu – Adana) hidrojeolojik incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Yeşilnacar, M. İ., Sahinkaya, E., Naz, M. ve Ozkaya, B., 2008. Neural network prediction of nitrate in groundwater of Harran Plain, Turkey, Environmental Geology, 56,1, 19-25.
- Yıldız, F. E., Dilaver, A. T., Gürer, İ., Ünsal, N., Bayarı, S., Türkileri, S. ve Çelenk, S., 2008. Develi kapalı havzası'nda yeraltı suyu ve yüzey suyu ilişkisinin doğal izotoplarla belirlenmesi, III. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, T.C Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ekim, İstanbul , 20-35.
- Yılmaz, Y., ve Tüysüz, O., 1984. Kastamonu-Boyabat-Vezirköprü-Tosya arasındaki bölgenin jeolojisi (İlgaz-Kargı masiflerinin etüdü), MTA Raporu No 7838.

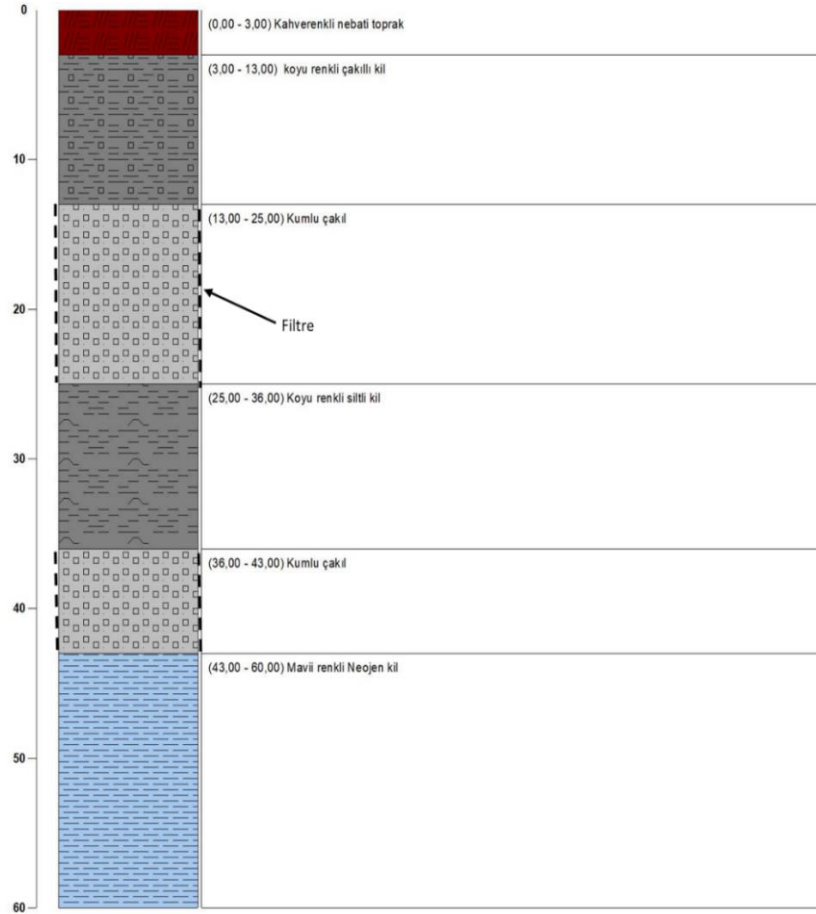
Yolcubal, H. G., Akyazı, M., Sezen, T. F., Toprak, Ö., Canbolat, M. Y., Koçak, F. ve Özkan, A., (2014). Turhal-Pazar-Zile (Tokat) Yöresinin Üst Mesozoyik Stratigrafisi, Türkiye Jeoloji Bülteni, 57,1, 73-112.

Yoldaş, R., Balkıray, K., Granit, S., Korkmaz, S., Didik, S., Kalkan, İ., Ağrıdağ, D.S. ve Besbelli, B., 1985, Samsun ve dolayının (Kızılırmak-Yeşilirmak arasındaki bölgenin) jeolojisi ve petrol olanaklarına ilişkin rapor, MTA Rapor No 8130.

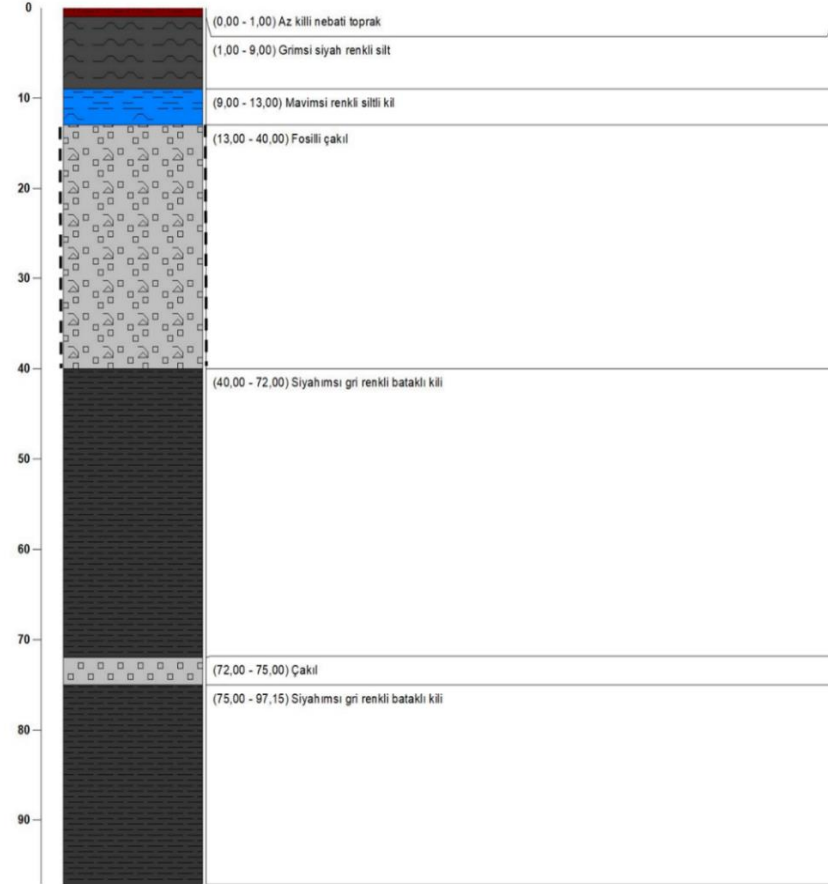




|                   |                               |                           |
|-------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Proje Adı:        |                               |                           |
| Eğim Yönü/Eğimi : | Sondaj No :3840               | Sondaj Derinliği : 60 m   |
| X: Y: Z:          | Başlangıç Tarihi : 15/06/1963 | Bitiş Tarihi : 03/07/1963 |



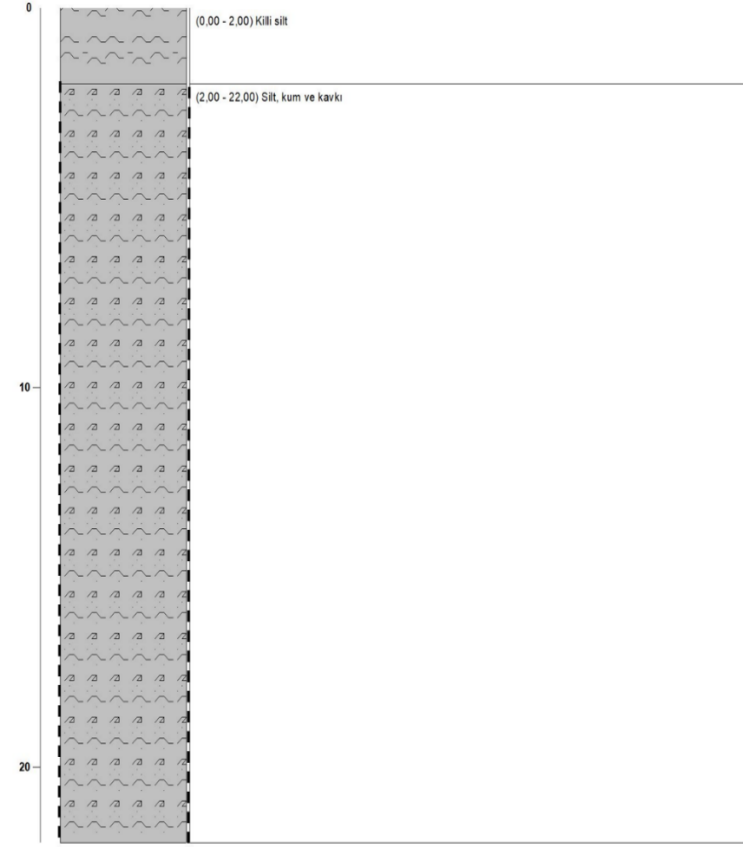
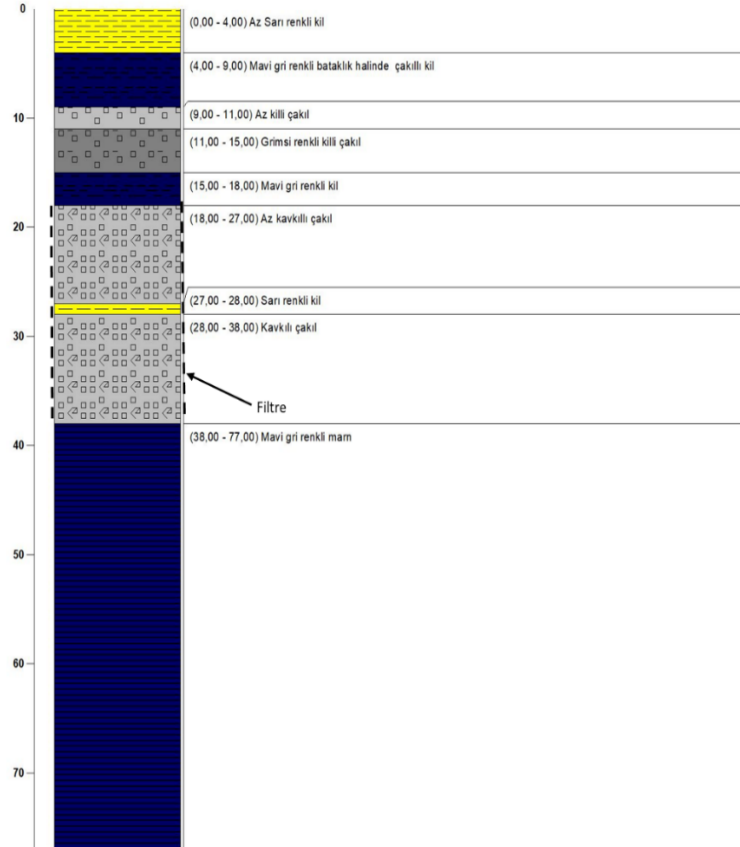
|                   |                               |                            |
|-------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Proje Adı:        |                               |                            |
| Eğim Yönü/Eğimi : | Sondaj No :4197               | Sondaj Derinliği : 97,15 m |
| X: Y: Z:          | Başlangıç Tarihi : 29/07/1963 | Bitiş Tarihi : 07/08/1963  |



Ek Şekil 2. Çalışma alanında açılan 3840 ve 4197 nolu kuyulara ait log bilgiler

|                   |                               |  |
|-------------------|-------------------------------|--|
| Proje Adı:        |                               |  |
| Eğim Yönü/Eğimi : | Sondaj Derinliği : 77 m       |  |
| Sondaj No :10762  | Başlangıç Tarihi : 08/07/1968 |  |
| X: Y: Z:          | Bitiş Tarihi : 12/07/1968     |  |

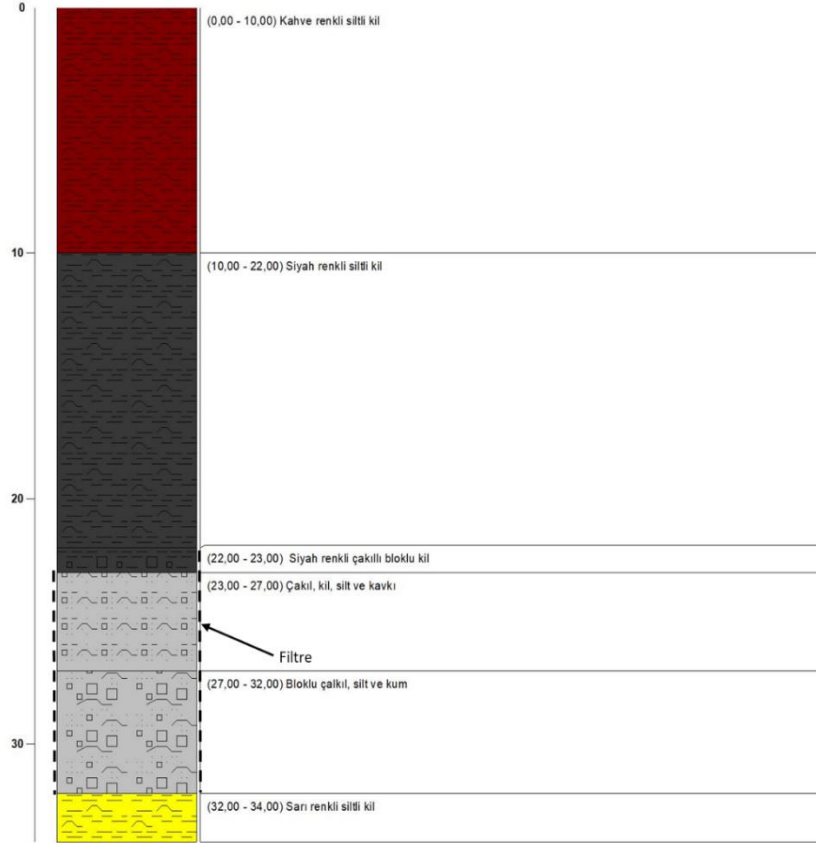
|                   |                               |  |
|-------------------|-------------------------------|--|
| Proje Adı:        |                               |  |
| Eğim Yönü/Eğimi : | Sondaj Derinliği : 22 m       |  |
| Sondaj No :28652  | Başlangıç Tarihi : 22/02/1981 |  |
| X: Y: Z:          | Bitiş Tarihi : 25/02/1981     |  |



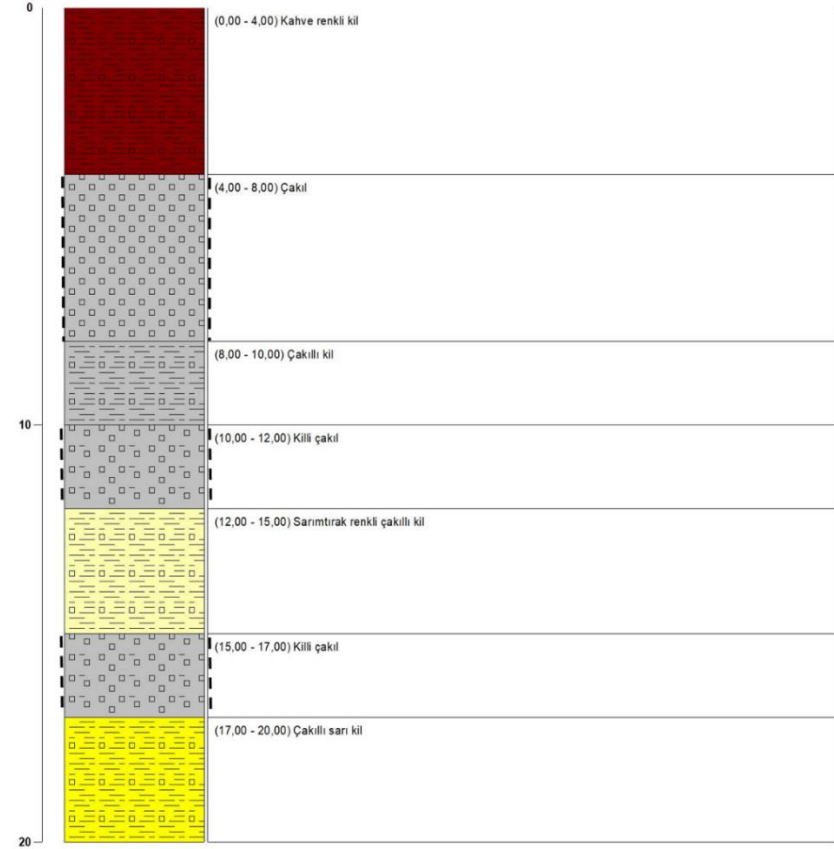
Ek Şekil 3. Çalışma alanında açılan 10762 ve 28652 nolu kuyulara ait log bilgileri



|                          |                                      |  |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>Proje Adı:</b>        |                                      |  |
| <b>Eğim Yönü/Eğimi :</b> | <b>Sondaj Derinliği :</b> 34 m       |  |
| <b>Sondaj No :</b> 29925 | <b>Başlangıç Tarihi :</b> 23/04/1981 |  |
| <b>X: Y: Z:</b>          | <b>Bitiş Tarihi :</b> 30/04/1981     |  |



|                          |                                      |  |
|--------------------------|--------------------------------------|--|
| <b>Proje Adı:</b>        |                                      |  |
| <b>Eğim Yönü/Eğimi :</b> | <b>Sondaj Derinliği :</b> 20 m       |  |
| <b>Sondaj No :</b> 34947 | <b>Başlangıç Tarihi :</b> 20/05/1986 |  |
| <b>X: Y: Z:</b>          | <b>Bitiş Tarihi :</b> 30/05/1986     |  |



Ek Şekil 4. Çalışma alanında açılan 29925 ve 34947 nolu kuyulara ait log bilgileri

## ÖZGEÇMİŞ

İlk, orta ve lise öğrenimini Arlit tamamlayarak 2008 yılında CSP Tarat Lisesi’den mezun oldu. 2008 yılında Abdoumoumouni Üniversitesi Jeoloji ve Çevre Bölümü’nde Lisans eğitimine başladı ve 2011 yılında mezun oldu. 2011 yılında Maden, Endüstri ve Jeoloji Mühendisliği Üniversitesi Maden ve Jeoloji Bölümü’nde Yüksek Lisans başladı ve 2013 yılında mezun oldu. 2016 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı’nda Doktora başladı.

