



**GEZİN (ELAZIĞ) BELDESİ YERALTI SULARININ  
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**Eray YİĞİT**

**Yüksek Lisans Tezi  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN  
HAZİRAN-2016**

**T.C  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEZİN (ELAZIĞ) BELDESİ YERALTI SULARININ  
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Eray YİĞİT**

**(101116102)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Haziran 2016**

**Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2016**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN (F.Ü)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG (F.Ü)**

**Doç. Dr. M. Tahir NALBANTÇILAR (B.Ü)**

**HAZİRAN-2016**

## ÖNSÖZ

“Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) bilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF.11.43 no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimine teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanması, arazi, laboratuvar ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkı ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarındaki değerli katlarından dolayı sayın hocam Prof. Dr. Bahattin ÇETİNDAG’a, teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca çalışmalarımın farklı aşamalarında yardımlarını gördüğüm Fırat Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Öğretim Üyeleri, Araştırma Görevlileri ve değerli arkadaşım Jeoloji Mühendisi Alper BARIŞ’a teşekkür ederim.

Eray YİĞİT

ELAZIĞ-2016

## İÇİNDEKİLER

|                                                                    | <u>Sayfa No</u> |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ.....                                                         | I               |
| İÇİNDEKİLER.....                                                   | II              |
| ÖZET.....                                                          | IV              |
| SUMMARY.....                                                       | VI              |
| ŞEKİLLER LİSTESİ.....                                              | VIII            |
| TABLolar LİSTESİ.....                                              | X               |
| FOTOĞRAFLAR LİSTESİ.....                                           | XI              |
| SİMGELER LİSTESİ.....                                              | XII             |
| KISALTMALAR.....                                                   | XIII            |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                               | <b>1</b>        |
| 1.1. Çalışma Alanı.....                                            | 3               |
| 1.2. Önceki Çalışmalar.....                                        | 4               |
| <b>2. MATERYAL ve METOT.....</b>                                   | <b>8</b>        |
| 2.1. Arazi Çalışmaları.....                                        | 8               |
| 2.2. Laboratuvar Çalışmaları.....                                  | 9               |
| 2.3. Büro Çalışmaları.....                                         | 12              |
| <b>3. BULGULAR.....</b>                                            | <b>13</b>       |
| 3.1. Jeoloji.....                                                  | 13              |
| 3.1.1. Guleman Ofiyolitleri.....                                   | 15              |
| 3.1.2. Hazar Grubu.....                                            | 15              |
| 3.1.3. Maden Karmaşığı.....                                        | 17              |
| 3.1.4. Alüvyonlar.....                                             | 18              |
| 3.2. Yapısal Jeoloji.....                                          | 18              |
| 3.3. Hidroloji.....                                                | 19              |
| 3.4. Hidrojeoloji.....                                             | 21              |
| 3.4.1. Geçirimsizlik (Permeabilite).....                           | 22              |
| 3.4.2. Gözeneklilik (Porozite).....                                | 22              |
| 3.4.3. Su Tablası Haritaları.....                                  | 23              |
| 3.5. Hidrojeokimya.....                                            | 27              |
| 3.5.1. Sulara Bulunan Başlıca İyonlar ve Kökenleri.....            | 32              |
| 3.5.2. Suların Doygunluk İndisleri.....                            | 40              |
| 3.5.3. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarda Gösterilmesi.....        | 43              |
| 3.5.3.1. Scholler Diyagramı.....                                   | 44              |
| 3.5.3.2. Piper Diyagramı.....                                      | 46              |
| 3.5.3.3. Dairesel Diyagramlar.....                                 | 48              |
| 3.5.4. Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması.....      | 49              |
| 3.5.4.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH).....                    | 49              |
| 3.5.4.2. Suların Elektriksel İletkenliği (EC).....                 | 51              |
| 3.5.4.3. Suların Sertlik Dereceleri.....                           | 52              |
| 3.5.4.4. Göl Suyu-Yeraltı Suyu Etkileşiminin İncelenmesi.....      | 53              |
| 3.5.5. Suların İçme ve Kullanma Açısından Değerlendirilmesi.....   | 55              |
| 3.5.6. Suların Sulamada Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi..... | 58              |
| 3.5.6.1. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı.....                  | 58              |
| 3.5.6.2. Wilcox Diyagramı.....                                     | 61              |

|                                                              | <b><u>Sayfa No</u></b> |
|--------------------------------------------------------------|------------------------|
| 3.5.7. Yeraltı Suyu Kirliliği.....                           | 63                     |
| 3.6. İzotop Hidrolojisi.....                                 | 70                     |
| 3.6.1. Oksijen 18-Döteryum İlişkisi.....                     | 72                     |
| 3.6.2. Oksijen 18-Trityum ve Döteryum -Trityum İlişkisi..... | 73                     |
| 3.6.3. Trityum-Klorür ve Trityum - EC İlişkisi.....          | 75                     |
| 4. <b>SONUÇLAR</b> .....                                     | 77                     |
| 5. <b>KAYNAKLAR</b> .....                                    | 80                     |
| <b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....                                        | 85                     |



## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **GEZİN (ELAZIĞ) BELDESİ YERALTI SULARININ**

### **HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**Eray YİĞİT**

**Fırat Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**2016**

Gezin beldesi ve yakın çevresindeki yeraltı sularının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesini konu alan bu çalışmanın amacı, çalışma sahasındaki yeraltı sularının fizikokimyasal özelliklerini incelemek, kökenlerini ve birbirleriyle olan ilişkilerini, içme kullanma ve sulamaya uygunluklarını belirlemek, suların kirlilik durumlarını değerlendirmektir. Bu amaçla çalışma alanı içerisindeki kuyu, kaynak ve çeşmelerden yeraltı su seviyesinin düşük ve yüksek olduğu dönemlerde su örnekleri alınarak kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları çeşitli grafikler yardımıyla değerlendirilmiş, içme, kullanma ve sulamaya uygunlukları standartlarla karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Çalışma sahasında yüzeyleme veren birimler yaşıdan gence doğru : Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Maestrihtyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ve güncel alüvyonlardır.

Alüvyondan alınan örselenmiş numunelerde sabit basınçlı permametre ve tabanı delikli kutu yöntemleri ile geçirimsizlik katsayısı; sıkılama yöntemi ile de porozite belirlenmiştir. Ayrıca, yeraltı su seviyesinin düşük ve yüksek olduğu dönemlerde belirlenen kuyulardan yeraltı su seviyeleri ölçülerek su tablası haritaları ve yeraltı suyu akım yönü belirlenmiştir.

Çalışma alanı içerisinde incelenen suların sıcaklıkları 14 °C ile 21,3 °C arasında, pH'ları 6,7 ile 7,9, elektriksel iletkenlikleri 418  $\mu\text{S}/\text{cm}$  ile 925  $\mu\text{S}/\text{cm}$  arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında özellikle alüvyon akifer sularının Hazar Gölü ile bir etkileşiminin olup olmadığını incelemek amacıyla göl suyu da Ekim (2014) ayında örneklenerek kimyasal ve izotop analizleri yapılmıştır. Hazar Gölü'nün pH'ı 9.0, elektriksel iletkenliği ise 2260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir.

İncelenen suların kimyasal analiz sonuçları Piper, Scholler, Wilcox, ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve dairesel diyagramlar yardımıyla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde sularda bulunan baskın katyonun  $\text{Ca}^{+2}$ , baskın anyonun ise  $\text{HCO}_3^-$  olduğu; incelenen suların Piper diyagramında  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$  lü sular bölgesinde gruplandığı görülmüştür.

İnceleme alanındaki sulara  $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$  'ün yağışlı ve kurak dönemdeki değişimleri incelenmiş, limit değere yakın veya yüksek değerler elde edilen kuyularda bu kirliliğin olası sebepleri açıklanmıştır. Çalışma alanında yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Ekim ayında, yeraltı suyu örneğinde  $^2\text{H}$  (döteryum),  $^3\text{H}$  (trityum) ve  $^{18}\text{O}$  (oksijen 18) izotop analizleri yapılmıştır. İzotop analiz sonuçlarına göre suların kökenleri, yeraltında dolaşım ve kalış süreleri ayrıca yeraltı suları ile göl suyu arasındaki ilişkiler belirlenmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Elazığ, Gezin beldesi, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, Yeraltı suyu, İzotop.

**SUMMARY**  
**Master Thesis**  
**THE HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF GROUNDWATER OF GEZİN**  
**(ELAZIĞ) DISTRICT**

**Eray YİĞİT**  
**Fırat University**  
**Institute of Science**  
**Department of Geological Engineering**

**2016**

The subject of this thesis is to determine the hydrogeochemical features of the groundwater of Gezin (Elazığ) and its close vicinity. The aims of the study are (i) to investigate the physicochemical features of groundwaters, (ii) to determine the relations and origin of the groundwaters (iii) to determine their suitability for drinking and irrigation and (iv) to evaluate the waters in terms of pollution. For these purposes, the groundwater samples have been collected from the springs, wells and fountains in dry and rainy seasons in the studied area. Chemical and isotopic analyses of the water samples have been performed within the scope of the study. The results of the chemical analysis have been evaluated by using various diagrams and have been compared with the standards to determine their suitability to drink, and irrigation purposes.

From bottom to top, Upper Jurassic-Lower Cretaceous Guleman Ophiolite, Maastrichtian-Early Eocene Hazar Group, Middle Eocene Maden Complex, Plio-Quaternary alluviums and Holocene alluviums are outcropped in the studied area.

The disturbed samples have been taken from the alluvium for testing their permeability at the laboratory. The permeability coefficient of the alluvial material have been measured by constant pressure permeameter and perforated base box method. The porosity of the alluvium have been determined by the compaction method at the laboratory. The water-table maps of the alluvium have been drawn related with the groundwater levels that had been measured in the wells in dry and rainy seasons. General groundwater flow direction also has been determined on the water-table maps.

The temperature, pH and electrical conductivity of the investigated groundwaters range between 14°C and 21,3°C; 6,7 and 7,9; 418  $\mu\text{S}/\text{cm}$  and 925  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively. The Lake Hazar's water has been also sampled in October (2014) for the chemical and isotopic analyses. These analyses have been made for determining if there is any interaction occur between allivium aquifer groundwater and Lake Hazar' water. The pH and electrical conductivity of Hazar Lake is measured 9,0 and 2260  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectively.

The chemical analysis results of the investigated waters have been evaluated by Piper, Scholler, Wilcox, USA Salinity Laboratory and pie diagrams .The dominant cation is  $\text{Ca}^{+2}$  and dominant anion is  $\text{HCO}_3$  in the investigated groundwaters and the waters have been grouped as  $\text{CaCO}_3$ - and  $\text{MgCO}_3$ - rich waters on the Piper diagram

The dry and rainy term variations of  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  of the waters have been investigated within the scope of the thesis. The  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  concentrations of the investigated groundwaters have been correlated with the drinking water standarts and possible reasons of the high and/or close  $\text{NH}_4$  and  $\text{NO}_3$  contents have been explained. The  $^2\text{H}$  (deuterium),  $^3\text{H}$  (tritium) and  $^{18}\text{O}$  (oxygen 18) analyses of the waters have been made in October to determine the origin, the residence and circulation time of the waters and to determine the relationship between groundwaters and the Lake Hazar' water.

**Key Words:** Elazığ, Gezin, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Groundwater, Isotope.

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....                                                                                                                                          | 3  |
| Şekil 2.1. Sabit basınçlı permametre.....                                                                                                                                                      | 10 |
| Şekil 3.1. Gezin (Elazığ) Bölgesinin Jeoloji Haritası .....                                                                                                                                    | 14 |
| Şekil 3.2. Thornthwaite yöntemine göre Hazar Gölü çevresi için yağış ve Etp'nin aylık değişimi.....                                                                                            | 20 |
| Şekil 3.3. Hazar Gölü doğusundaki alüvyonda DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyusu logu.....                                                                                   | 21 |
| Şekil 3.4. Mayıs (2013) ayına ait su tablası haritası.....                                                                                                                                     | 24 |
| Şekil 3.5. Ekim (2013) ayına ait su tablası haritası.....                                                                                                                                      | 25 |
| Şekil 3.6. Su örnekleme ve arazi kullanım haritası.....                                                                                                                                        | 27 |
| Şekil 3.7. İnceleme alanındaki suların $Ca^{+2}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                             | 35 |
| Şekil 3.8. İnceleme alanındaki suların $Mg^{+2}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                             | 36 |
| Şekil 3.9. İnceleme alanındaki suların $Na^{+}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                              | 37 |
| Şekil 3.10. İnceleme alanındaki suların $K^{+}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                              | 37 |
| Şekil 3.11. İnceleme alanındaki suların $Cl^{-}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                             | 38 |
| Şekil 3.12. İnceleme alanındaki suların $SO_4^{-2}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                          | 39 |
| Şekil 3.13. İnceleme alanındaki suların $HCO_3^{-}$ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....                                                                                          | 40 |
| Şekil 3.14. İncelenen sular içerisindeki (a) kalsit, (b) dolomit, (c) aragonit, (d) jips, (e) anhidrit, (f) halit, (g) silvit minerallerinin doygunluk indislerinin mevsimsel değişimleri..... | 42 |
| Şekil 3.15 (a, b). İncelenen suların (a) Mayıs (2014), (b) Ekim (2014) ayları kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi.....                                            | 44 |
| Şekil 3.16. Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması.....                                                                                                                      | 46 |
| Şekil 3.17. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Ekim-2014).....                                                                                    | 47 |
| Şekil 3.18. İncelenen suların Ekim (2014) analiz sonuçlarına göre çizilen dairesel diyagramları.....                                                                                           | 49 |

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.19.</b> İncelenen suların kurak dönem (Ekim-2014) (a) $\text{Na}^+ / \text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$ , (b) $\text{Na}^+ / \text{Cl}^- - \text{Cl}^-$ grafikleri..... | 54 |
| <b>Şekil 3.20.</b> İncelenen suların kurak dönem (Ekim-2014) $\text{Cl}^-$ - EC ilişkisi.....                                                                                 | 54 |
| <b>Şekil 3.21.</b> İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Mayıs - 2014).....                                                                                  | 59 |
| <b>Şekil 3.22.</b> İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Ekim - 2014).....                                                                                   | 60 |
| <b>Şekil 3.23.</b> İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Mayıs - 2014).....                                                                                                     | 61 |
| <b>Şekil 3.24.</b> İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Ekim - 2014).....                                                                                                      | 62 |
| <b>Şekil 3.25.</b> Yeraltı ortamında azotun kaynağı ve hareket yolları.....                                                                                                   | 64 |
| <b>Şekil 3.26.</b> Yeraltı suyu sistemlerinde azot girdileri ve dönüşümleri.....                                                                                              | 65 |
| <b>Şekil 3.27.</b> $\text{NO}_3^-$ ün dönemlere göre değişim grafiği.....                                                                                                     | 68 |
| <b>Şekil 3.28.</b> $\text{NH}_4^+$ ün dönemlere göre değişim grafiği.....                                                                                                     | 69 |
| <b>Şekil 3.29.</b> İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramı.....                                                                                | 72 |
| <b>Şekil 3.30.</b> İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^3\text{H}$ diyagramı .....                                                                               | 74 |
| <b>Şekil 3.31.</b> İncelenen suların $\delta^2\text{H}$ - $\delta^3\text{H}$ diyagramı.....                                                                                   | 74 |
| <b>Şekil 3.32.</b> İncelenen suların $^3\text{H}$ -Cl-EC diyagramı.....                                                                                                       | 76 |

## TABLÖLAR LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1.</b> İnceleme alanının 1990-2015 yılları arasındaki nem bilançosu.....                                                                                      | 19 |
| <b>Tablo 3.2.</b> Laboratuvarıda hesaplanan geçirimsizlik katsayıları .....                                                                                              | 22 |
| <b>Tablo 3.3.</b> Alınan örnekleri içeren akiferlerin gözeneklilik değerleri.....                                                                                        | 23 |
| <b>Tablo 3.4.</b> Çalışma alanında açılmış kuyularda ölçülen statik su seviyeleri.....                                                                                   | 23 |
| <b>Tablo 3.5.</b> İncelenen suların Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçları.....                                                                                      | 28 |
| <b>Tablo 3.6.</b> İncelenen suların Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçları.....                                                                                       | 29 |
| <b>Tablo 3.7.</b> İncelenen suların Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan doygunluk indisleri.....                                                | 40 |
| <b>Tablo 3.8.</b> İncelenen suların Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan doygunluk indisleri.....                                                 | 41 |
| <b>Tablo 3.9.</b> İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Scholler diyagramına göre tipi.....                                                                     | 46 |
| <b>Tablo 3.10.</b> Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin pH değerleri.....                                                                                            | 50 |
| <b>Tablo 3.11.</b> Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin EC değerleri.....                                                                                            | 52 |
| <b>Tablo 3.12.</b> İçme sularının Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Avrupa Birliği (EC) tarafından belirtilen limit değerleri..... | 57 |
| <b>Tablo 3.13.</b> Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması.....                                                                                      | 58 |
| <b>Tablo 3.14.</b> İncelenen suların $\text{NH}_4^+$ , $\text{NO}_2^-$ ve $\text{NO}_3^-$ konsantrasyonları.....                                                         | 66 |
| <b>Tablo 3.15.</b> İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları.....                                                                                             | 72 |

## FOTOĞRAFLAR LİSTESİ

### Sayfa No

|                                                                                                                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Foto 2.1.</b> Arazide yapılan su örnekleme çalışması.....                                                                                                                                              | 8  |
| <b>Foto 3.1.</b> Elazığ-Diyarbakır karayolu üzeri (a) Gezin Beldesi yaklaşık 1 km batısı, (b) Gezin Beldesi 1,5 km güneydoğusunda yüzeyleme veren Hazar Grubu'na ait biriler. Bakış yönü KD'ya doğru..... | 16 |
| <b>Foto 3.2.</b> G-9 nolu kuyu ve çevresinde yapılan fidan yetiştiriciliği.....                                                                                                                           | 67 |
| <b>Foto 3.3.</b> G-5 nolu kuyu çevresindeki arazi kullanımı.....                                                                                                                                          | 68 |



## SİMGELER

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| <b>As</b>              | :Arsenik       |
| <b>B</b>               | :Bor           |
| <b>Ca</b>              | :Kalsiyum      |
| <b>Cl</b>              | :Klorür        |
| <b>CO<sub>2</sub></b>  | :Karbondioksit |
| <b>Cr</b>              | :Krom          |
| <b>Fe</b>              | :Demir         |
| <b><sup>2</sup>H</b>   | :Döteryum      |
| <b><sup>3</sup>H</b>   | :Tritiyum      |
| <b><sup>18</sup>O</b>  | :Oksijen 18    |
| <b>HNO<sub>3</sub></b> | :Nitrik Asit   |
| <b>HCO<sub>3</sub></b> | :Bikarbonat    |
| <b>K</b>               | :Potasyum      |
| <b>Mg</b>              | :Magnezyum     |
| <b>Mn</b>              | :Mangan        |
| <b>Na</b>              | :Sodyum        |
| <b>N</b>               | :Azot          |
| <b>NH<sub>3</sub></b>  | :Amonyak       |
| <b>NH<sub>4</sub></b>  | :Amonyum       |
| <b>NO<sub>3</sub></b>  | :Nitrat        |
| <b>NO<sub>2</sub></b>  | :Nitrit        |
| <b>Pb</b>              | :Kurşun        |
| <b>SO<sub>4</sub></b>  | :Sülfat        |
| <b>S</b>               | :Kükürt        |
| <b>Se</b>              | :Selenyum      |
| <b>Si</b>              | :Silisyum      |
| <b>Zn</b>              | :Çinko         |

## KISALTMALAR

|             |                                    |
|-------------|------------------------------------|
| <b>DSİ</b>  | :Devlet Su İşleri                  |
| <b>DAFS</b> | :Doğu Anadolu Fay Sistemi          |
| <b>IAEA</b> | :Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu |
| <b>EC</b>   | :Elektriksel İletkenlik            |
| <b>mek</b>  | :Miliekivalan                      |
| <b>SAR</b>  | :Sodyum Adsorbsiyon Oranı          |
| <b>pH</b>   | :Hidrojen iyonu konsantrasyonu     |
| <b>%Na</b>  | :Sodyum iyon yüzdesi               |
| <b>TSE</b>  | :Türk Standartları Enstitüsü       |
| <b>°C</b>   | :Santigrat derece                  |

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki toplam suyun yaklaşık olarak %96'dan fazlası tuzlu sudur. Bütün tatlı su kaynaklarının %68'inden fazlası buz ve buzullarının içinde hapsedilmiştir. Tatlı suyun diğer %30 'u ise yeraltında bulunmaktadır. Nehirler, göller gibi yüzeysel tatlı su kaynakları, dünyadaki toplam suyun yaklaşık %1'ini oluşturur. Avrupa'da su kaynaklarının %65'i yeraltı suyundan gelmektedir.

Yeraltı suyu açısından Türkiye'de en az 500 milyar m<sup>3</sup> dinamik rezervin, 2-3 trilyon m<sup>3</sup> kadarda statik rezervin olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye'nin bu olası yeraltı suyu potansiyeli genellikle bilinmediğinden yeraltı suları yeterince önemsenmemektedir. Özellikle Dünya Bankası raporlarında Türkiye'nin içinde bulunduğu coğrafyada 400 milyar dolarlık bir su potansiyelinin olduğu ifade edilmektedir (Şahin vd., 2010).

Yapılan çalışmalarda 1960-1997 yılları arasında dünya genelinde kişi başına kullanılabilir tatlı su yaklaşık %60 azalmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) nüfusumuzun 2025 yılında 80 milyon, 2030'da ise 100 milyon olacağını öngörmüştür. Bu durumda kişi başına düşen kullanılabilir su miktarının 2025'de 1300 m<sup>3</sup>/yıl'a, 2030'da ise 1000 m<sup>3</sup>/yıl'a düşeceği söylenebilir. Bu rakamlara göre Türkiye nüfusu yaklaşık 100 milyon olduğunda su sıkıntısı çeken ülkelerden birisi olacaktır (Çakmak vd., 2005).

Yaşamın devamı için vazgeçilmez bir kaynak olan su, toplumun ekonomik gelişme modelini de etkileyen doğal fakat sınırlı bir kaynaktır. Dünyamızın geleceğini tehdit eden en önemli çevre felaketlerinden biri, hızla artan dünya nüfusu karşısında tatlı su kaynaklarının hızla kirlenmesi ve tüketilmesidir. Yüzey sularının yetersiz kaldığı durumlarda tatlı su elde edebilmek için yeraltı sularının kullanımı da oldukça artmaktadır. Bununla beraber doğal ve yapay nedenlerle yeraltı suları da hızla kirlenmektedir. Geleceğimizi tehdit eden bu olumsuzluklarla birlikte kullanım, kirliliğin belirlenmesi ve önlenmesiyle ilgili bilim insanları tarafından yoğun çalışmalar yapılmaya başlanılmıştır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Hazar Gölü çevresindeki hızlı yapılaşma ve özellikle Gezin beldesinde yaz turizmine bağlı olarak artan nüfusla birlikte alüvyon akiferler içerisinde içme, kullanma ve sulama amaçlı olarak pek çok keson ve sondaj kuyusu açılmıştır.

Çalışma kapsamında 2013 yılında yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu Mayıs ayında ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Ekim ayında elektrikli su seviye ölçme aletiyle ölçümler yapılarak su tablası haritaları çizilmiştir.

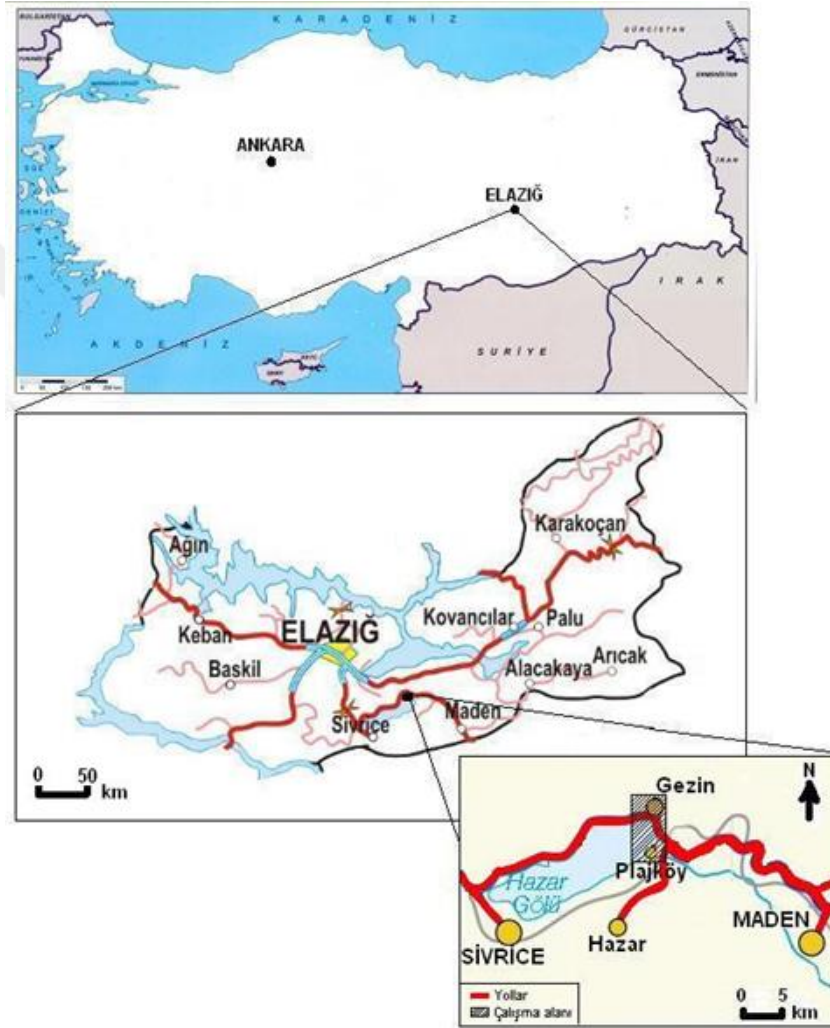
Yapılan bu çalışmada, yağışlı ve kurak dönemlerde kaynak, keson, sondaj kuyusu ve çeşme gibi su noktalarında örnekler alınarak kimyasal ve izotop analizleri yapılmış, suların

kökenleri belirlenerek su-kayaç etkileşimleri incelenmiş, içme ve kullanmaya uygunlukları açısından değerlendirilmiş, mevcut durumdaki kirletici faktörler belirlenerek bunların yeraltı suyu kalitesine etkileri araştırılmıştır. 2014 yılı Ekim ayında belirlenen örnekleme noktaları içinden seçilen 6 adet kuyudan alınan su numunelerinin izotop ( $^2\text{H}$  (döteryum),  $^3\text{H}$  (trityum),  $^{18}\text{O}$ ) analizleri yaptırılmıştır. Çalışma kapsamında Hazar Gölü suyunun alüvyon akifer içerisinde açılmış olan sondaj ve keson kuyu sularına etkisinin olup olmadığı yapılan hidrojeokimyasal çalışmalarla belirlenmeye çalışılmıştır. Özellikle çadır turizmin yoğun olduğu sahile yakın alanlarda insani atıkların, tarım alanlarında kullanılan kimyasal ve hayvansal gübrelerin yeraltı sularını kirletip kirletmediği belirlenmiştir.



## 1.1. Çalışma Alanı

İnceleme alanı, 1/25000 ölçekli K43d4, L42b2 ve L43a1 paftalarında yer almaktadır. Gezin, Elazığ ilinin doğusunda, Elazığ-Diyarbakır karayolunun 50. Km sinde Hazar Gölüne kıyısı olan bir beldedir. Elazığ-Diyarbakır Devlet Ana karayolu ve aynı zamanda Devlet Demir Yolları üzerinde olan beldeye ulaşım oldukça kolaydır (Şekil 1. 1).



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası

Gezin Beldesi'nin kış mevsiminde yaklaşık 1000 olan nüfusu yaz aylarında 20 bine ulaşmaktadır. Karasal iklimin hâkim olduğu bölge, yazları kurak ve serin, kışları yağışlı ve soğuktur. Hazar Gölü sayesinde, az da olsa Akdeniz iklimini çağrıştırır.

Hazar Gölü'ne sahili bulunan çalışma alanı içerisinde Zıkkım Deresi, Sadık Deresi ve Kahraman Deresi bulunmaktadır. Bu üç dere de ıslah edilmiş, yatakları beton ve taş duvarlarla

örülmüş, daha düzenli ve temiz olarak göle dökülmesi sağlanmış, ayrıca taşkın risklerinin önüne geçilmiştir.

Gezin Beldesi daha çok düz bir topoğrafyaya sahip bir yerleşim alanına sahiptir. Kuzeydoğusunda Tembel Tepe (1319 m), Konkuran Tepe (1403 m) Budak Tepe (1379 m), ve güneydoğusunda bulunan Bağlar Tepe ve Korucu Tepe önemli yükseltilerindendir.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Gezin Beldesi özellikle yaz turizminin yoğun olarak yaşandığı ayrıca yöre halkının bahçe tarımı ve kısmen hayvancılıkla uğraştığı bir bölgedir. Özellikle çilek, fasulye, patates ve buğday üretimi tarım faaliyetlerinde önemli bir geçim kaynağıdır.

## 1.2. Önceki Çalışmalar

Bölgede yapılan jeoloji çalışmalarından bazılarını şöyle sıralayabiliriz:

Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından Maden yöresinde yapılan çalışmalarda, Geç Kretase-Paleosen yaşta fliş türü çok kalın kumtaşı ve şeyllerden oluşan Hazar Grubu ve onun üzerinde bulunan Paleosen-Eosen yaşlı bazik lavlar, kireçtaşları, marnlar ve kırmızı kireçtaşlarından oluşan Maden Birimi tanımlanmıştır.

Özkaya (1975, 1978 ve 1982), Ergani-Maden-Guleman yöresindeki çalışmalarında Guleman Grubu'nu "Guleman Ultrabazikleri ve Serpantinitleri" olarak adlandırmış ve Jura-Kretase yaşını vermiştir. Çalışmacı, aynı bölgedeki fliş niteliğindeki Simaki Formasyonu'nu Hazar Grubu'na dahil etmiştir.

Sungurlu (1979), Hazar birimini grup seviyesinde ele alarak incelemiş ve birimi, Simaki Formasyonu ile onun yanıl devamı olan Şebgen Formasyonu üzerindeki Gehroz Formasyonu olarak üç formasyona ayırmıştır. Guleman Grubunu ise "Guleman Ultrabazitleri" olarak adlandırmıştır.

Bingöl (1982 ve 1984), özellikle Elazığ çevresinde detaylı çalışmalar yapmıştır. Yazar çalışmalarında Yüksekova Karmaşığı'nı aktif bir kıta kenarı ürünü olarak yorumlamış, ayrıca Guleman Grubu'nun kümülatları üzerinde yaptığı petrografik çalışmalarla bunların okyanusal kabağa ait ürünler olduğunu ve kuzeyden güneye, Arap Levhası üzerine taşındığını belirtmiştir.

Hempton ve Savcı (1982), Elazığ-Sivrice civarındaki araştırmalarında Yüksekova Karmaşığı'nı Elazığ Volkanik Karmaşığı olarak ele almışlar ve karmaşığı kuzeyden güneye doğru üç birliğe ayırarak petrografik ve tektonik açıdan incelemişlerdir. Araştırmacılar

Güneydoğu Anadolu'daki hareket yönü güneye doğru olan Eosen sonu bindirmelerinin, karmaşıktaki kabaca kuzeye eğimli, kendi içinde de ekaylanmış bindirme dilimlerine neden olduğunu, karmaşığın tabanında yer alan güneydeki dilimin metamorfize olmasına karşın, tavan dilimini oluşturan kuzeydeki dilimin metamorfize olmadığını belirtmişlerdir.

Hempton v.d. (1983), Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde bulunan Hazar Gölü civarında yaptıkları çalışmada, gölün doğrultu atımlı faylar üzerinde gelişen bir çek-ayır havza olduğu fikrini ileri sürmüşlerdir.

Özkan (1983, 1984 ve 1985), Guleman çevresinde değişik zamanlarda araştırmalar yapmış ve çoğunlukla Guleman grubunu konu almıştır. Guleman Grubu ofiyolitlerinin metamorfizma koşullarını ve yapısal özelliklerini inceleyen araştırmacı, ofiyolit yüksek olmayan basınç ve düşük sıcaklıklarda metamorfizmaya uğradığını kabul etmektedir. Yazar, metamorfizmanın ofiyolit Üst Kretase'deki yerleşmesi ve Miyosen'deki aktarılması sırasında gelişmiş olabileceğini savunmuştur.

Çetindağ (1985), Elazığ-Palu-Kovancılar dolayının hidrojeolojisini incelediği çalışmada, Kırkgeçit, Karabakır formasyonlarının su taşıdığını ve bunların diğer formasyonlarla dokanaklarında küçük debili kaynakların oluştuğunu belirtmiştir.

Çetindağ (1989), "Elazığ Ören Çay Havzası'nın Hidrojeolojik İncelemesi" başlıklı doktora tez çalışmada yaklaşık 350 km<sup>2</sup> 'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve inceleme alanında bulunan kaynak, adi kuyu ve sondaj kuyularının besleme, köken ve fiziko-kimyasal özelliklerini açıklamıştır.

Kaya (1992), Gezin çevresinde yaptığı çalışmada inceleme alanının temelini Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti oluşturduğunu bunların üzerinde açılı uyumsuzlukla bulunan Maastrihtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu'nun alttan üste doğru; kırmızı çakıltaşlarıyla temsil olunan Cefan formasyonu, fliş özelliğindeki Simaki formasyonu ve kireçtaşlarından oluşan Gehroz formasyonu olmak üzere üç formasyondan meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışma alanının içinden geçen doğrultu atımlı sol yönlü Doğu Anadolu Fayı'nın burada yaklaşık 5-6 km genişliğinde bir zon şeklinde olduğunu belirtmiştir.

Gürocak (1993), Sivrice çevresinde yaptığı çalışmada, bölgede Pütürge Metamorfitleri, Yüksekova Karmaşığı, Simaki Formasyonu, Maden Karmaşığı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ve güncel alüvyonların yüzeyleme verdiklerini, bölgedeki kırıklı yapıların ise Doğu Anadolu Fayı ve gravite fayları olduğunu belirtmiştir.

Çetindağ (1996), Haringet Havzası'nda yapmış olduğu çalışmada havzadaki yeraltı sularının kökenini, fiziko-kimyasal karakterlerini ve yan kayaçlarla ilişkilerini araştırmıştır.

Kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  ve  $\text{K}^+$  olduğunu, incelenen suların Sholler'in içilebilirlik diyagramına göre; 1. ve 2. kalite devamlı içilebilen sular bölgesinde gruplandıklarını belirtmiştir.

Çetindağ (1997). "Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri" başlıklı çalışmada, havzadaki kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  olduğunu, Piper diyagramlarında magmatik kayalardan beslenen kaynak sularının karışık sular bölgesinde gruplandığını belirtmiştir.

Öztekin (1998), Elazığ ili içme ve kullanma suları üzerinde yapmış olduğu çalışmada bölgede su taşıyan formasyonların Keban Metamorfikleri, Elazığ Magmatikleri, Seske Formasyonu, Kırkgeçit Formasyonu, Pliyosen çakıltaşları ile silt ve kumtaşları olduğunu belirtmiştir. Bu birimlerden beslenen sularda baskın iyonların  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  olduğunu, magmatik kayalardan beslenen suların mineralizasyonunun sedimanter kayalardan beslenenlere oranla daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Çetindağ ve Öztekin Okan (2004), Uluova akiferleri üzerinde yapmış oldukları hidrojeoloji çalışmada, Elazığ İl merkezinin güneydoğusundaki Uluova'da serbest akiferde; Na-Cl ve Na- $\text{HCO}_3^-$  fasiyesi, basınçlı akiferde ise Ca- $\text{HCO}_3^-$ , Mg-  $\text{HCO}_3^-$  ve Na- $\text{HCO}_3^-$  fasiyeslerinin geliştiğini ve ovada Hazar Gölü suyu ile sulama yapılmasından kaynaklanan Na kirliliğinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

Kılıç (2005), Hazar Gölü güneyinin petrografik ve petrolojik özellikleri konulu doktora çalışmada; Maden Karmaşığı'na ait andezitlerin uyumsuz ve iz elementlerce büyük iyon yarıçaplı elementler (LIL)'ce zenginliği, yüksek değerlikli yani kalıcılığı yüksek (HFS) elementlerce de tükenmiş olmalarının kirlenmiş bir magmayı işaret ettiğini açıklamıştır.

Aksoy v.d. (2007), "Hazar Gölü Havzası: Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS' nin), SE Türkiye, Negatif Çiçek Yapısı" başlıklı çalışmalarında; Doğu Anadolu Fay Sistemi ve bölgenin tetonizması ayrıntılı olarak incelenmiştir. Doğu Anadolu Fay Sisteminin (DAFS) kuzeybatıda Anadolu ve güneydoğuda Arap-Afrika levhaları arasında yer alan, ortalama 30 km genişlikte, 700 km uzunlukta ve KD-gidişli, sol yanal doğrultu atımlı büyük bir makaslama kuşağı olduğu, DAFS kuzeydoğuda Karlıova ilçesi ile güneybatıda Karataş (Adana)–Samandağ (Antakya) arasında yer aldığı, Hazar Gölü bölgesinde, DAFS'ın beş fay kuşağından oluştuğu ve bunların kuzeyden güneye doğru Elazığ, Uluova, Sivrice, Adıyaman ve Lice-Çermik fay kuşakları olduğu belirtilmiştir.

Güven (2013)'in çalışmasında Hazar Gölü batısı ile güneydoğusunda geniş alan kaplayan alüvyon akiferler hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler neticesinde Hazar Gölü'nden alüvyon akiferlere doğru bir intrüzyonun olmadığı belirtilmiştir.



## 2. MATERYAL VE METOT

“Gezin (Elazığ) Beldesi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal İncelemesi” başlıklı bu çalışma; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalara başlamadan önce literatür çalışmaları başlatılmış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Literatür çalışmaları kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojisini ve hidrojeolojisini konu alan makale, kitap, tez, proje gibi çalışmalar derlenmiştir.

### 2.1. Arazi Çalışmaları

Çalışma kapsamında incelenen kuyu ve kaynak lokasyonları Magellan explorist 610 marka GPS yardımıyla belirlenerek örnekleme haritası oluşturulmuştur. Hidrojeokimyasal çalışmalar için yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu dönemi temsil eden Mayıs ayında ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu dönemi temsil eden Ekim ayında belirlenen su lokasyonlarından (kuyu, kaynak, çeşme gibi) su örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır. Mayıs (2014) ve Ekim (2014) aylarında 10’ar adet su örnekleme yapılmıştır. Su örnekleme yapılırken suyun pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik (EC) parametreleri arazide yerinde YSİ 63 marka çoklu parametre ölçüm cihazı ile ölçülmüştür (Foto 2.1).



**Foto 2.1.** Arazide yapılan yerinde ölçüm çalışması.

Anyon analizi için su örnekleri 500 ml'lik polietilen şişelere herhangi bir koruma uygulanmaksızın alınmıştır. Katyon analizi yapılacak örnekler 50 ml'lik polietilen, sızdırmaz kapaklı şişelere; örnekleme sonrası oluşabilecek reaksiyonların engellenmesi açısından derişik yüksek saflıktaki Nitrik asit ( $\text{HNO}_3$ ) ile  $\text{pH} < 2$  olacak şekilde eklenerek alınmıştır. Örnekler, analize gönderilinceye kadar  $+4^\circ\text{C}$ 'de laboratuvar tipi buzdolabında muhafaza edilerek en kısa sürede analize gönderilmiştir.

Yine Ekim (2014) döneminde 6 adet kuyudan su örnekleri alınmış ve  $^2\text{H}$  (döteryum),  $^3\text{H}$  (trityum),  $^{18}\text{O}$  izotop analizleri yapılmıştır. Örnekler alınırken 1 lt'lik plastik şişeler kullanılmış, şişeler içerisinde hava kalmayacak şekilde doldurulmuştur ve güneş ışığına maruz kalması engellenmiştir.

Statik yeraltı su seviyelerinin yağışlı ve kurak döneme bağılı mevsimsel değişimlerini gözlemleyebilmek için 13 kuyudan yeraltı su seviyesinin yüksek olduğı dönemi temsil eden Mayıs (2013) ayında ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğı dönemi temsil eden Ekim (2013) ayında elektrikli su seviye ölçme aletiyle yeraltı su seviyeleri ölçülmüştür.

## 2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Mayıs ve Ekim aylarında alınan su numunelerin majör anyon ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ) ve katyon analizleri ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) ile kirlilik parametrelerinden  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Sulara  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ve  $\text{NH}_4^+$  analizleri Dionex LC25 Chromatography sistemiyle yapılmıştır. Anyon ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) analizleri ise Dionex ICS (iyon kromatografi sistemi) ile tayin edilmiştir.  $\text{HCO}_3^-$  ise otomatik büret sistemi kullanılarak titrasyon yöntemiyle tayin edilmiştir. İncelenen suların metal analizleri sadece Ekim ayında alınan su örneklerinde yapılmıştır. Suların metal analizleri Kanada'da ACME Laboratuvarları'nda ICP-MS (İnductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer) ile yapılmıştır.

İzotop analizleri DSİ Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol (TAKK) Dairesi Başkanlığı İzotop Laboratuvarı'nda IAEA (Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu) standartlarında Micromass 602C Kütle Spektrometresi kullanılarak yapılmıştır.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Gezin belde merkezi ve çevresinden 4 adet örselenmiş zemin örneğı alınarak laboratuvarda, tabanı delikli kutu ve sabit basınçlı permametre yöntemleriyle geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır.

Tabanı delikli kutu ile geçirimsizlik ölçümü pratik bir yöntem olup, laboratuvarla sıkılaşmamış malzemenin geçirimsizliğinin ölçümünde kullanılır. Tabanı delikli veya dıştan

çivi ile delinen bir teneke kutu içine, arazideki sıkılığı verilerek bir miktar numune konur. Burada numuneye arazideki durumuna yakın bir sıkılık vermek oldukça önemlidir. Sonra kutu içi su dolu bir kaba çok yavaş sokulur. Bu esnada kutunun tabanındaki deliklerden giren su numune içinden geçerek kumun üzerinden belirli bir seviyeye ulaşır. Sonra kutu sudan üzerinde belirli bir seviyeye ulaşır. Sonra kutu sudan çıkarılarak kum üzerindeki suyun, kumun yüzeyinde kayboluncaya kadar geçen süre kronometre ile saptanır. Ölçülen bu değerler aşağıdaki formülde yerine koyularak geçirimsizlik hesaplanır (Canik, 2003):

$$K = \frac{L}{t} \log_e \left(1 + \frac{h}{L}\right)$$

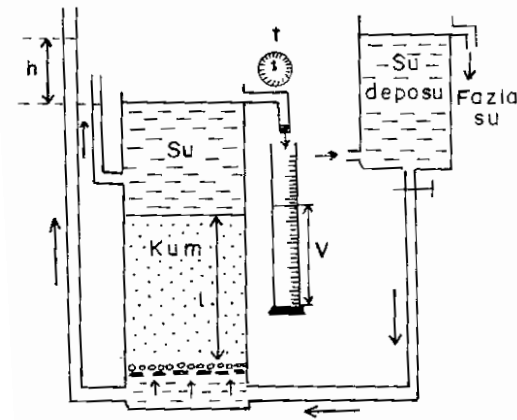
*K: Geçirgenlik katsayısı (m/s)*

*L: Numunenin kalınlığı (m)*

*h : Numune üzerindeki suyun kalınlığı (m)*

*t : Suyun numunenin üst yüzeyinde kaybolması için geçen zaman (s)*

Çalışma kapsamında geçirimsizliğin ölçümünde kullanılan diğer bir yöntem ise sabit basınçlı permametre ile ölçüm yöntemidir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Sabit Basınçlı Permametre

Bu yöntemde zemin numunesi permametreye mümkün olduğu kadar arazideki sıkılığı verilerek konur. Yani numune konurken arada bir tokmakla sıkıştırılır. Numunenin kesit alanı S ise geçirimsizlik:

$$K = \frac{Q}{S} * \frac{l}{h}$$

Formülü ile hesaplanır. Formülde:

*K: Numunenin geçirgenlik değeri (m/s)*

*Q: Numuneden süzülen suyun debisi ( $m^3/s$ )*

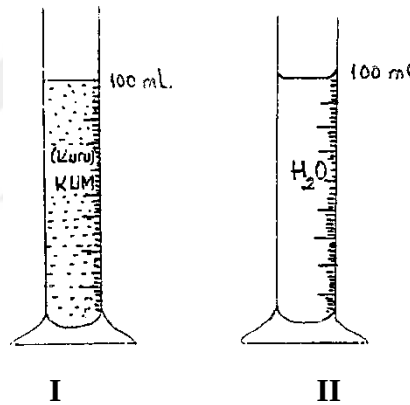
*l: Numunenin kalınlığı (m)*

*h: Suyun numuneye giriş ve çıkışındaki seviye farkı (m)*

Numuneden süzülen suyun debisi, süzülen suyun hacminin (V), süzülme zamanına (t) bölünmesiyle elde edilir yani:  $Q=V/t$  dir. Bir ölçü sırasında su basıncının sabit kalması için, aletin su deposunun seviyesi sabit kalmalıdır.

Çalışma bölgesinden alınan 5 adet örselenmiş zemin örneğinin gözenekliliği laboratuvarda sıkılama yöntemi ile belirlenmiştir. Deneye başlamadan önce araziden alınan örnekler etüvde  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta 24 saat bekletilmiştir.

Sıkılama yönteminde laboratuvarda 2 adet dereceli plastik mezür kullanılarak gözeneklilik ölçülmüştür.



Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi (I) nolu dereceli mezura istenen miktarda gözenekliliği ölçülecek malzeme sıkıştırılarak koyulur. İkinci mezura da aynı miktarda su koyulur. Örneğin:

*Malzeme:  $100\text{ cm}^3$*

*Su:  $100\text{ cm}^3$  ise*

*Toplam Hacim ( $V_d$ ):  $200\text{ cm}^3$  olur.*

Daha sonra, malzeme suyun içine karıştırılarak yavaş yavaş dökülür. İkisinin hacminin  $165\text{ ml}$  ( $165\text{ cm}^3$ ) olduğunu düşünüldüğünde boşluk hacmi ( $V_v$ ) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$V_v = 200 - 165 = 35 \text{ ml}$$

$n = \text{Toplam gözeneklilik}$

$V_v = \text{Boşlukların hacmi}$

$$n = \frac{V_v}{V_t} * 100 \text{ formülünde}$$

$$n = \frac{35}{100} * 100$$

$n = \%35$  olarak hesaplanır.

### 2.3. Büro Çalışmaları

Yapılan arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen değerler büroda sayısal ortama aktarılmıştır. Sayısallaştırma işleminde bölgenin jeoloji haritası çizilirken Adobe Illustrator CS5 programı kullanılmıştır. Suların kimyasal analiz sonuçlarının diyagramlara aktarılmasında AquaCHEM 3.70 programından yararlanılmıştır. Mayıs (2013) ve Ekim (2013) aylarında keson kuyularında ölçülen statik su seviyeleri kullanılarak iki döneme ait su tablası haritaları AutoCad (2012) programı yardımıyla çizilmiştir

Suların kimyasal analiz sonuçları Piper (1944) ve Schoeller (1961) diyagramları kullanılarak hidrokimyasal fasiyes ve köken açısından yorumlanmıştır. İncelenen sular sulama suyu yönünden ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox (1955) diyagramları kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca içme suyu yönünden sular çeşitli standartlar ile karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Jeoloji**

Çalışma alanındaki birimler yaşlıdan gence doğru şu şekilde sıralanır: Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Maestrihtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile güncel alüvyonlardır (Şekil 3.1).

Çalışma alanının en yaşlı birimi olan Guleman Ofiyolitleri üzerine; çalışma alanının güneyinde Hatunköy civarında diskordansla Hazar Grubu, çalışma alanının kuzeyindeki Küçükova ve Yeşilova civarında ise yine diskordansla Maden Karmaşığı gelmektedir. Bölgede Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlar Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı üzerine uyumsuz bir şekilde gelir. Bölgenin en genç birimi olan güncel alüvyonlar tüm bu birimlerin üstünü uyumsuz olarak örtmektedir (Kaya, 1992; Kaya, 2004).



### 3.1.1. Guleman Ofiyolitleri (JKg)

Birimi; Sungurlu (1974), Çüngüş-Maden-Hazarcivarında “Guleman ultramafikleri”; Açıkbash ve Baştuğ (1975), Cacaş-Hani yöresinde “Şimşin Karmaşığı”; Özkaya (1978), Maden-Ergani-Guleman yöresinde “Bahro ultrabazikleri ve serpantinileri”; Erdoğan (1982), Aktaş ve Robertson (1984), Bingöl (1984, 1986) ile Perinçek (1979) “Guleman Grubu”; Özkan (1982), “Guleman ofiyoliti” olarak adlandırmışlardır (Kaya, 1992).

Birim en yaygın olarak, Elazığ ilinin 50 km güneydoğusunda, Guleman ilçesi civarında gözlenmektedir.

Çalışma alanında birim Hazar Gölünün doğusunda Doğu Anadolu Fay Zonu(DAF) içerisindeki Tembel Tepe çevresinde ayrıca çalışma alanının kuzeydoğusunda Küçükova ve Yeşilova köyleri yakın çevresinde yüzeylenmektedir.

Küçükova ve Yeşilova köyü çevresinde Guleman Grubu’nu diskordansla Maden Karmaşığı’na ait birimler örtmektedir (Kaya, 1992).

Çalışma alanında Doğu Anadolu Fay Zonu içerisindeki ve yakın çevresinde Guleman Ofiyolitleri, tektonizmadan dolayı serpantinleşmiş, killeşmiştir. Özellikle çalışma alanı içerisinde bulunan Tembel Tepe’de yüzeyleyen Guleman Ofiyolitleri dünit, verlit, piroksenit, olivinli, klinopiroksenli gabro, bantlı gabro, lerzolit ve gabroları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır.

İnceleme alanında birimin yaşı Üst Jura-Alt Kretase olarak kabul edilmiştir (Kaya, 1992).

### 3.1.2. Hazar Grubu (KThs)

Birim ilk defa “Hazar Birimi” olarak Rigo De Righi ve Cortesini (1964) tarafından adlandırılmıştır. Özkaya (1978), Ergani-Maden yöresinde yaptığı çalışmada, gri renkli, volkanik katkılardan yoksun fliş özelliğindeki kumtaşı-şeyl-marn ardalanmasından oluşan istif “Hazar Formasyonu” olarak adlandırıp Baykan Grubu’na dahil etmiştir. Sungurlu (1975), birimi grup seviyesinde ele alıp inceleyerek; alttan üste doğru Simaki Formasyonu, onun yanal devamı niteliğindeki Şebgen Formasyonu ve en üstte de Gehroz Formasyonu olmaz üzere Hazar Grubu’nu üç formasyona ayırmıştır.

Perinçek (1979 a, 1979 b) ve Tuna (1979), birimi “Hazar Karmaşığı” olarak adlandırmışlardır. Aktaş ve Robertson (1984), ise birimi “Hazar Grubu” olarak

isimlendirmişler ve grubu alttan üste doğru konglomeratik özellikteki Cefan Formasyonu, kumtaşı-şeyl-marn ardalanmasından oluşan fliş özelliğindeki Simaki Formasyonu ve pembe gri renkli pelajik kireçtaşlarından oluşan Gehroz Formasyonu olmak üzere üç formasyona ayırmışlardır.

Hazar Grubu'nun en iyi görüldüğü yer, Elazığ ilinin yaklaşık 25 km güneydoğusundaki Hazar Gölü'nün kuzeyi ve kuzeydoğusudur. Ayrıca Palu ve Arıcak arasındaki bölgede de geniş bir yayılım sunmaktadır.

Hazar Grubu inceleme alanında Gezin'in batı girişi ile Plajköy köyünün doğu ve güneyinde geniş bir yayılıma sahiptir.

İnceleme alanında Hazar Grubu en altta kırmızı-kahverenkli konglomeraları, üste doğru gri, yeşil, açık kahve renkli kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı, şeyl, marn ve kireçtaşlarından oluşmaktadır (Foto 3.1 a, b).

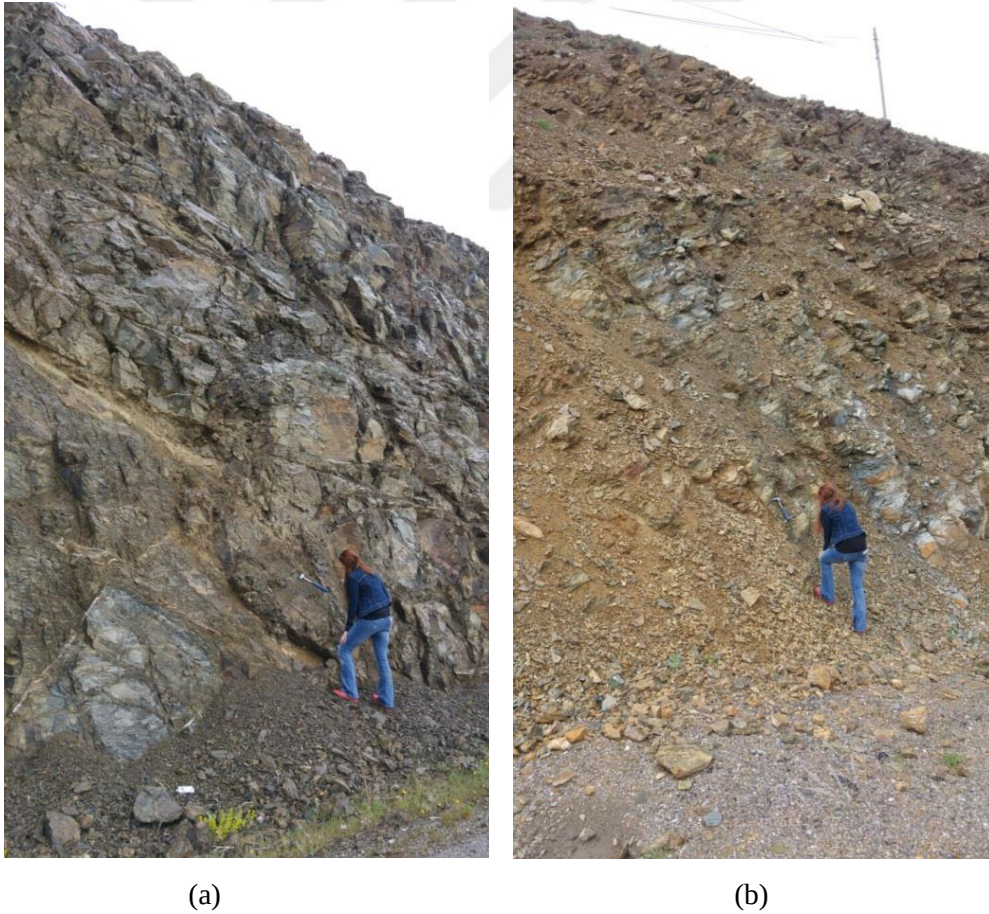


**Foto 3.1.** Elazığ-Diyarbakır karayolu üzeri (a) Gezin Beldesi yaklaşık 1 km batısı, (b) Gezin Beldesi 1,5 km güneydoğusunda yüzeyleme veren Hazar Grubu'na ait biriler. Bakış yönü KD'ya doğru.

Bölgede çalışma yapan araştırmacıların Hazar Grubu için verdikleri Maestrihtiyen-Alt Eosen yaşı bu çalışmada da benimsenmiştir. (Kaya, 1992).

### **3.1.3. Maden Karmaşığı (Tm)**

Birim ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964), tarafından “Maden Birimi” olarak adlandırılmıştır. Özkaya (1972), birimi “Sason-Baykan Grubu” olarak tanımlarken, Sungurlu(1974) ve Baştuğ ve Açıkbaş (1974), aynı birim için “Baykan Karmaşığı” ismini kullanmışlardır. Erdoğan (1977, 1982) “Maden Grubu” olarak tanımlarken, Özkaya (1978) Maden civarında yaptığı çalışmada, birimi Baykan Karmaşığı’na dahil etmiş ve alttan üste doğru Hazar, Gehroz, Maden ve Davudan Formasyonlarına ayırmıştır.

Perinçek (1979 b) tarafından “Maden Karmaşığı” olarak tarafından adlandırılmıştır. Perinçek (1979 b) ve Sungurlu ve diğ. (1985) birim alttan üste doğru Cefan, Arbo, Melefan ve Karadere formasyonlarına ayırmışlardır.

Çalışma alanında Maden Karmaşığı’na ait birimler, Hazar Gölü doğusunda Doğu Anadolu Fay Zonu içerisindeki Konkuran Tepe’de yüzeyleme vermektedir. Birim, sedimanter kayalar içerisinde gözlenen volkanitlerden dolayı karışık bir yapı sunmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada da birim Maden Karmaşığı olarak adlandırılmıştır (Kaya, 1992).

Maden Karmaşığı çalışma alanında bazalt, andezit, kırmızı-pembe, gri renkli kireçtaşı, volkanik ara katkılı yeşil-gri-kırmızı renkli şeyl ve kumtaşlarından oluşmaktadır.

Bölgede çalışmış bütün araştırmacılar (Özkan, 1982; Kaya, 1992) tarafından fosil bulgularına dayanılarak verilen Orta Eosen yaşı bu çalışmada da benimsenmiştir (Özkan, 1982).

### 3.1.4. Alüvyonlar

İnceleme alanında Pliyo-Kuvaterner yaşlı ve güncel olmak üzere iki tür alüvyon birim vardır.

Pliyo(?) -Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, inceleme alanında özellikle tektonizmanın yoğun olduğu Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde, Kızıltepe köyünün kuzeydoğusu ile güneyindeki bölgede, Hatunköy'ün kuzeyi ve güneyindeki alanlarda geniş bir yayılım gösterir.

Birim daha yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Kötü boylanmalı çakıl, kum, kil ve silt ile temsil olunan birimde taneler gevşek tutturulmuştur. Tabakalanmanın az belirgin olduğu bu alüvyonların duruşu yataydır.

Alüvyonlar içerisinde birime yaş verecek fosile rastlanmamıştır. Ancak bulundukları stratigrafik konuma dayanarak bunlara Pliyo-Kuvaterner yaşı verilmiştir.

İnceleme alanında güncel alüvyonlar özellikle dere yataklarında gözlenmektedir. Çalışma alanında bulunan Zıkkım, Kahraman ve Sadık dereleri boyunca, dere yataklarının göle dökülme alanlarına yakın arazi eğimin azaldığı ve genişlediği bölgelerinde gözlenen birim çakıl, kum ve silt boyutundaki, tutturulmamış ve gevşek tutturulmuş malzemelerden oluşmuştur. Bunlar Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonları uyumsuz olarak örtmektedir.

### 3.2. Yapısal Jeoloji

Türkiye arazisi Pontidler, Anatolidler, Toridler ve Kenar Kıvrım Kuşağı olmak üzere dört tektonik bölgeye ayrılmıştır. İnceleme alanı da bu birliklerden Toridler'in doğu kesimindeki Doğu Toroslar'da yer almaktadır.

Bölgede Üst Kretase'den günümüze kadar etkin olan jeotektonik olaylar hem bölgedeki yapısal unsurların hem de Türkiye'nin tektonik yapısının şekillenmesinde önemli bir rol oynamıştır. Bölgede gelişen bu tektonik yapılar, özellikle levha tektoniği açısından ilgi çekici olup bir çok yerbilimci tarafından incelenmiştir.

Bölgenin başlıca tektonik yapıları Doğu Anadolu Fay Zonu, Hazar Fayı, Alt Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti ile Maestrihtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu'nun birlikte, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı üzerine yaklaşık kuzeyden güneye doğru itilmesiyle gelişen bindirme fayı ve Doğu Anadolu Fayı ile Hazar Fayı arasında kalan bölgede gelişen gravite faylarıdır (Şekil 3.1.) (Kaya, 1992).

### 3.3. Hidroloji

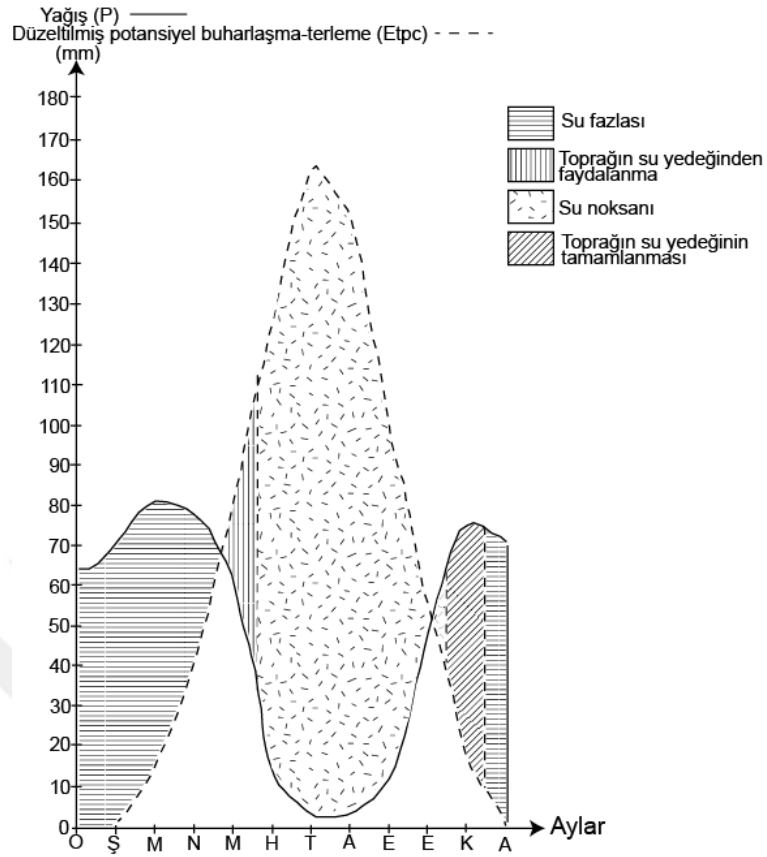
Çalışma alanında gerçekleşen buharlaşma miktarını tespit edebilmek amacıyla Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır. Thornthwaite yönteminde kullanılan aylık sıcaklık ve yağış verileri Devlet Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. Elde edilen bu veriler yardımıyla çalışma alanındaki potansiyel ve gerçek buharlaşma değerleri hesaplanmıştır (Tablo 3.1 )

Çalışma alanının genel hidrolojik yapısının aydınlatılması amacıyla Devlet Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nün Sivrice gözlem İstasyonu'na ait 1990-2015 yılları arası yağış ve sıcaklık verileri Thornthwaite yöntemi ile değerlendirilerek çalışma alanındaki gerçek buharlaşma-terleme, sellenme ve süzülme hesaplanmıştır (Tablo 3.1).

**Tablo 3.1.** İnceleme alanının 1990-2015 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre).

| Aylar                                | O     | Ş     | M     | N     | M     | H      | T      | A      | E     | E     | K     | A     | Toplam |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Aylık Sıcaklık Ort. °C               | -0.76 | 0.45  | 5.65  | 10.9  | 16.34 | 21.82  | 25.98  | 25.86  | 20.75 | 14.45 | 6.78  | 1.42  |        |
| Sıcaklık İndisi                      | 0     | 0.03  | 1.20  | 3.25  | 6.01  | 9.31   | 12.12  | 12.04  | 8.62  | 4.99  | 1.59  | 0.15  | 59,31  |
| Potansiyel Buharlaşma-Terleme Etp-mm | 0     | 0.41  | 14.93 | 38.05 | 67.69 | 102.17 | 130.97 | 130.11 | 95.1  | 56.83 | 19.36 | 2.09  |        |
| Enlem Düzeltme Katsayısı             | 0.85  | 0.84  | 1.03  | 1.105 | 1.23  | 1.24   | 1.255  | 1.175  | 1.04  | 0.96  | 0.84  | 0.825 |        |
| Düzeltilmiş Etp-mm                   | 0     | 0.34  | 15.38 | 42.05 | 83.26 | 126.69 | 164.37 | 152.88 | 98.91 | 54.56 | 16.26 | 1.72  | 756.42 |
| Yağış-mm                             | 64.2  | 65.3  | 87.7  | 81.7  | 58.8  | 14.3   | 5.7    | 4.93   | 14.7  | 47.7  | 81.99 | 74.3  | 601.07 |
| Faydalı Su Yedeği -mm                | 100   | 100   | 100   | 100   | 75.58 | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 59.09 | 100   |        |
| Gerçek Buharlaşma Terleme Etr -mm    | 0     | 0.34  | 15.38 | 42.05 | 83.26 | 88.13  | 3.01   | 3.09   | 10.48 | 46.57 | 16.26 | 1.72  | 310.29 |
| Su Fazlası -mm                       | 64.07 | 69.91 | 66.12 | 35.59 | 0     | 0      | 0      | 0      | 0     | 0     | 0     | 28.02 | 263.71 |
| Su Noksanı -mm                       | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 38.56  | 161.36 | 149.79 | 88.43 | 7.99  | 0     | 0     | 446.13 |

Hazırlanan nem bilançosuna (1990-2015 yılları arası) göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 601.07 mm, gerçek buharlaşma-terleme 310.29 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı ise 263.71 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın %45,94'ü kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terlemenin grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3.2).



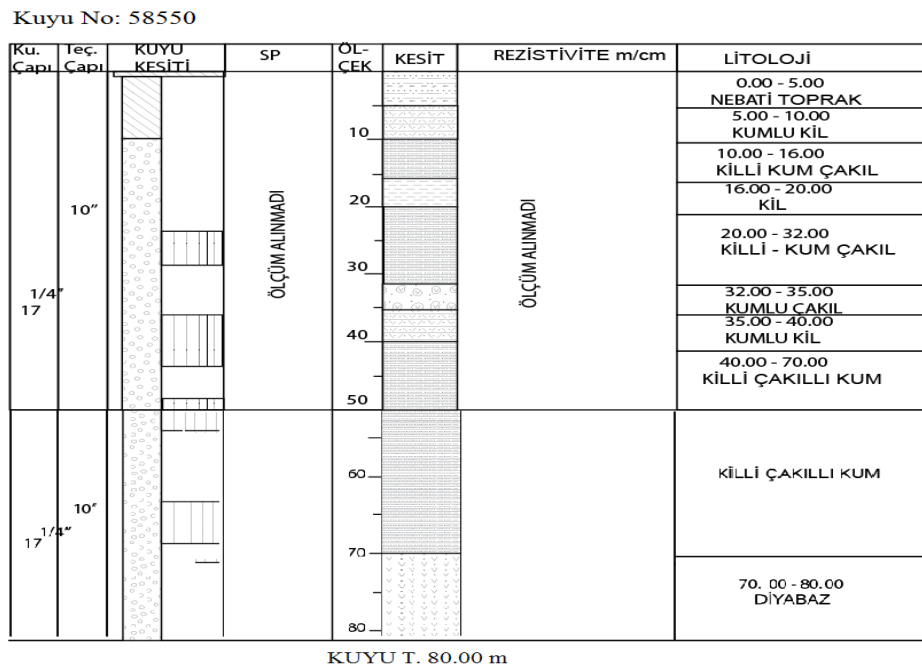
**Şekil 3.2.** Thornthwaite yöntemine göre çalışma alanı için yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği (1990-2015).

Bu grafikte, Kasım ayının ortasından başlayıp Mayıs ayının ortasına kadar olan dönemde su fazlalığı; Haziran ayından başlayıp Ekim ayının ortasına kadarki dönemde ise su noksanlığı vardır. Ekim ile Kasım ayları arasında bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır.

### 3.4. Hidrojeoloji

Çalışma alanında yeraltı suyu taşıyan birimler Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı'na ait sedimanter birimler ve bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak ikincil geçirimsizlik kazanan Guleman ofiyolitlerine ait birimler ile Maden Karmaşığı'na ait volkanitlerdir.

Gezin ve yakın çevresinde Pliyo – Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile güncel dere alüvyonları oldukça yüksek verimli gözenekli akiferleri oluşturmaktadır. Alüvyon malzeme bölgede yayılım gösteren Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı birimlerinden oluşan çakıl ve blokları ile kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Alüvyonu oluşturan çakıllar yuvarlaklaşmış olup kötü boylanmalıdır. Çalışma alanında bulunan keson kuyuların derinlikleri 6 m ile 13 m arasındayken sondajların derinlikleri ise 50-90 m arasında değişmektedir. Alüvyon akifer içerisinde Gezin Belediyesi'ne ait 2 adet sondaj kuyusu bulunmakta olup beldenin içme ve kullanma suyu bu kuyulardan sağlanmaktadır. Kuyuların derinlikleri 60 ve 70 m olup her ikisinin de debisi 25 L/s' dir. Alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyu loguna göre bölgede alüvyon kalınlığı yaklaşık 70 m olup, alüvyonda yaklaşık 10 m derinliğe kadar kumlu kil, derinlere doğru gidildikçe killi kum- çakıl, kumlu çakıl, kumlu kil, killi çakıllı kum serileri hakimdir (Şekil 3.3). Bu sondaj kuyusunun statik seviyesi 2.10 m, dinamik seviyesi ise 3.55 m olup debisi 9 L/s'dir.



Şekil 3.3. Hazar Gölü doğusundaki alüvyonda DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyusu logu.

### 3.4.1. Geçirimsizlik (Permeabilite) Katsayısı

Geçirimsizlik, gözenekli ve suya doymuş kayaçların, belirli bir hidrolik eğim altında suyu geçirme özelliğidir.

Çalışma alanı içerisinde alüvyonal malzemeden 4 adet örselenmiş zemin örneği alınarak tabanı delikli kutu ve sabit basınçlı permametre yöntemleriyle laboratuvarında geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır (Tablo 3.2).

**Tablo 3.2.** Laboratuvarında hesaplanan geçirimsizlik katsayıları

| Numune No | Numune Alınan Yer                           | Tabanı delikli kutu ile hesaplanan geçirimsizlik (K) (m/s) | Sabit basınçlı permametre ile hesaplanan geçirimsizlik (K) (m/s) |
|-----------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1         | Sadık Deresi<br>akış yönüne göre sağ yarma  | $6,2 \times 10^{-4}$ m/s                                   | $1,97 \times 10^{-3}$ m/s                                        |
| 2         | Sadık Deresi<br>akış yönüne göre sağ yarma  | $5,84 \times 10^{-4}$ m/s                                  | $2,47 \times 10^{-3}$ m/s                                        |
| 3         | Zıkkım Deresi<br>akış yönüne göre sol yarma | $2,68 \times 10^{-3}$ m/s                                  | $9,15 \times 10^{-3}$ m/s                                        |
| 4         | Zıkkım Deresi<br>akış yönüne göre sol yarma | $1,64 \times 10^{-4}$ m/s                                  | $2,80 \times 10^{-3}$ m/s                                        |

Pliyo- Kuvaterner yaşlı alüvyon malzemeden alınan zemin örneklerinde yapılan geçirimsizlik deneyleri sonucu alüvyonun geçirimsizliğinin  $1,64 \times 10^{-4}$  m/s ile  $1,97 \times 10^{-3}$  m/s arasında olduğu belirlenmiştir.

### 3.4.2. Gözeneklilik (Porozite)

Çalışma bölgesinden alınan 5 adet örselenmiş zemin örneğinin gözenekliliği laboratuvarında sıkılama yöntemi ile belirlenmiştir. Yapılan deney sonuçları Tablo 3.3 de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre numunelerdeki gözeneklilik değerleri daha çok çakıl ve kumlu, gevşek, sıkılanmamış güncel alüvyonal malzemeyi temsil etmektedir.

**Tablo 3.3.** Alınan örnekleri içeren akiferlerin gözeneklilik değerleri.

| Numune No | Numune Alınan Yer                           | Gözeneklilik (n%) |
|-----------|---------------------------------------------|-------------------|
| 1         | Sadık Deresi<br>akış yönüne göre sağ yamaç  | %38,00            |
| 2         | Sadık Deresi<br>akış yönüne göre sağ yarma  | %40,00            |
| 3         | Sadık Deresi<br>akış yönüne göre sağ yarma  | %37,00            |
| 4         | Zıkkım Deresi<br>akış yönüne göre sol yarma | %40,00            |
| 5         | Zıkkım Deresi<br>akış yönüne göre sol yarma | %40,00            |

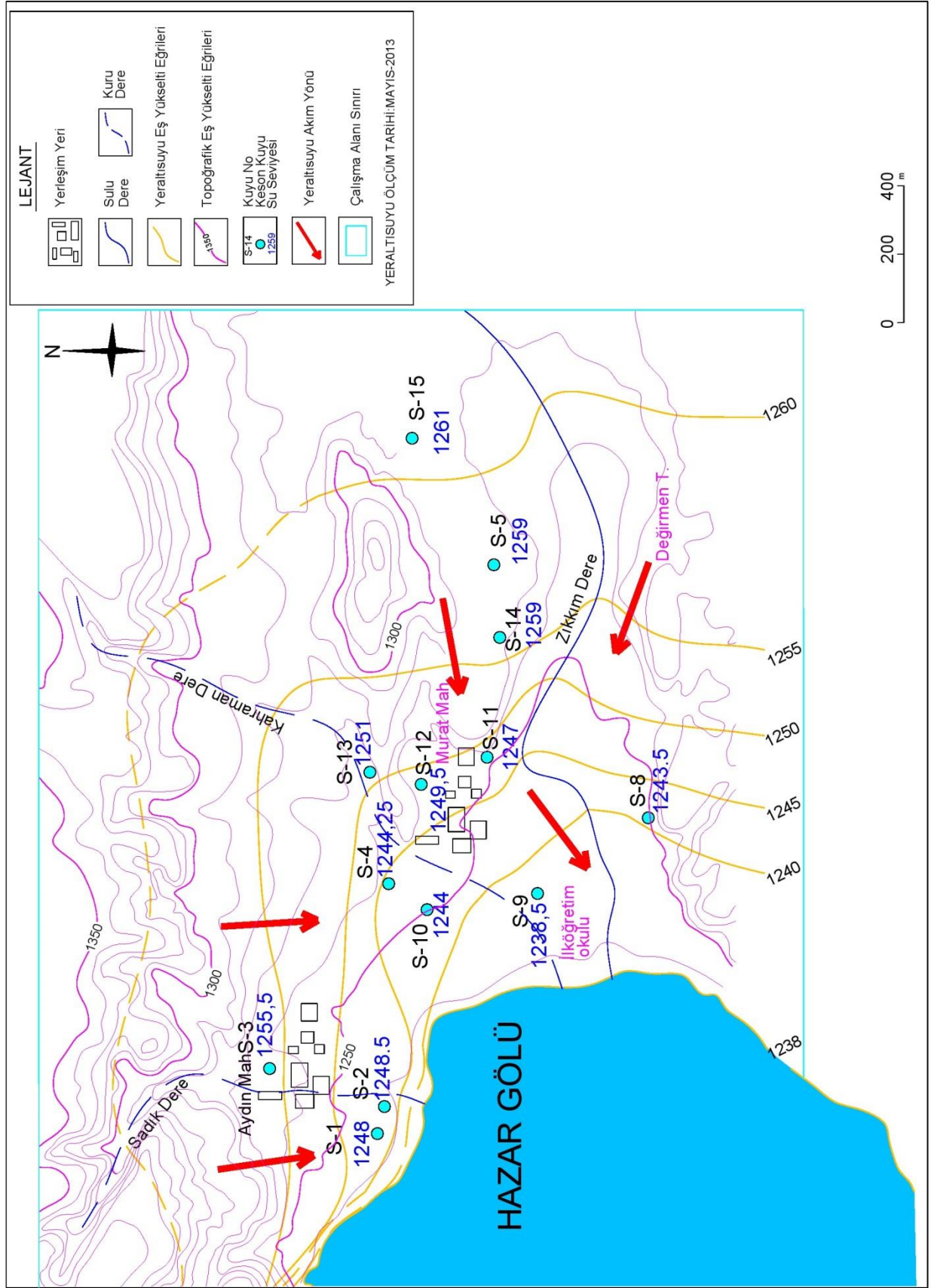
Pliyo- Kuvaterner yaşlı ve güncel alüvyon malzemedan alınan zemin örneklerinde yapılan gözeneklilik deneyleri sonucu alüvyonun gözenekliliğinin %37 ile %40 arasında olduğu belirlenmiştir.

### 3.4.3. Su Tablası Haritaları

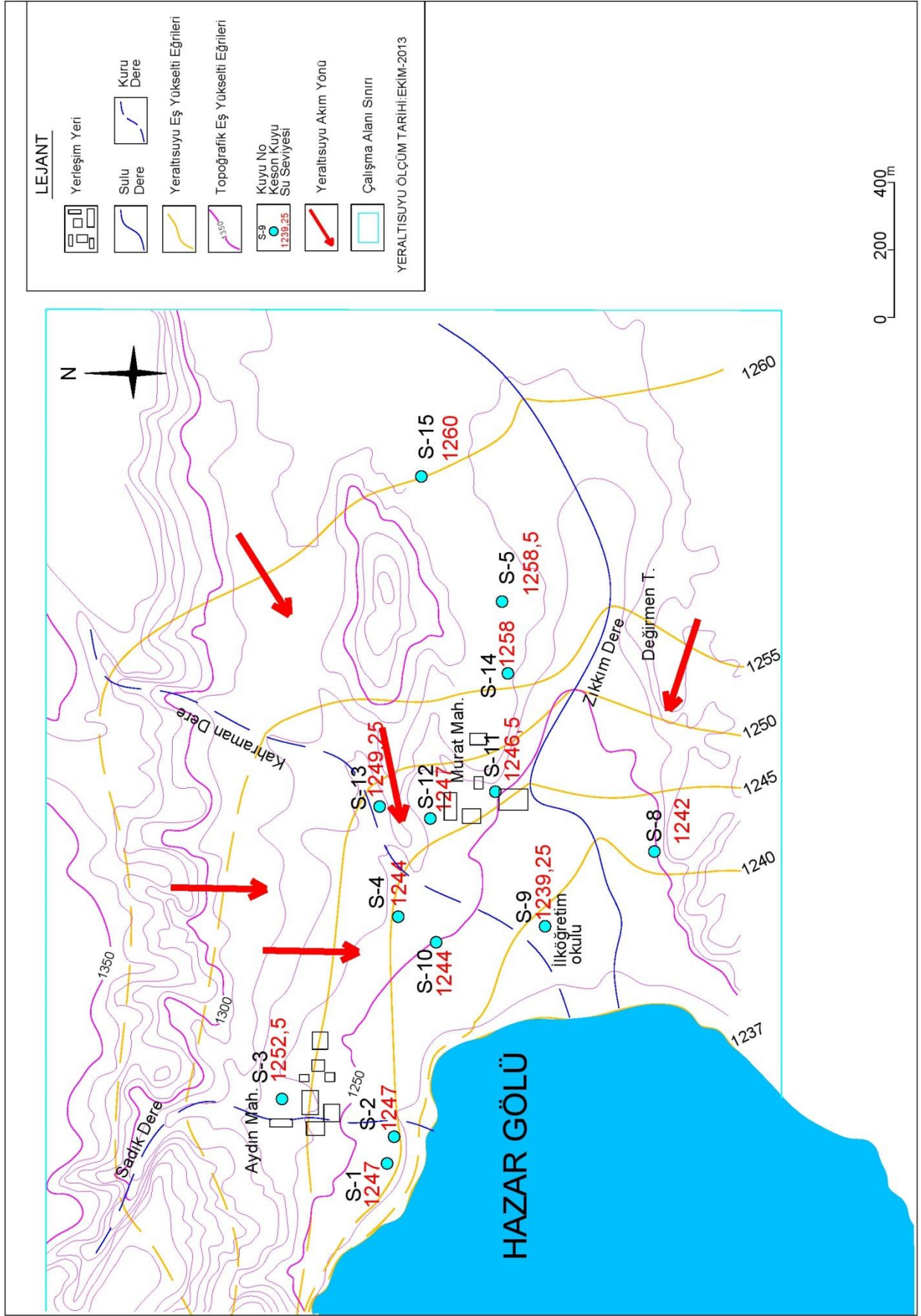
Çalışma alanında yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu Mayıs (2013) ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Ekim (2013) aylarında (Tablo 3.1) 13 kuyunun statik su seviyeleri elektrikli seviye ölçü aleti ile ölçülmüştür (Tablo 3.4). Kuyularda ölçülen statik su seviyeleri kullanılarak çalışma alanının yağışlı ve kurak dönemlerine ait su tablası haritaları çizilmiştir (Şekil 3.4, Şekil 3.5).

**Tablo 3.4.** Çalışma alanında açılmış keson kuyularda ölçülen statik su seviyeleri

| Kuyu No | Kuyu Koordinatları (WGS 84) | Kuyu Kotu | Mayıs (2013) Statik Su Seviyesi | (Ekim 2013) Statik Su Seviyesi | Statik Su Seviye Farkı |
|---------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| S-1     | 544095-4263837              | 1255 m    | 1248 m                          | 1247 m                         | 1 m                    |
| S-2     | 544172-4263816              | 1255 m    | 1247,50 m                       | 1247 m                         | 0,5 m                  |
| S-3     | 544298-4264153              | 1261 m    | 1255,50 m                       | 1252,50 m                      | 3,00 m                 |
| S-4     | 544889-4263810              | 1250 m    | 1246,25m                        | 1244 m                         | 2,25 m                 |
| S-5     | 545917-4263459              | 1265 m    | 1259 m                          | 1257,75 m                      | 1,25 m                 |
| S-8     | 545099-4262964              | 1249 m    | 1243,50 m                       | 1242 m                         | 1,50 m                 |
| S-9     | 544855-4263329              | 1242 m    | 1238,50 m                       | 1237,25 m                      | 1,25 m                 |
| S-10    | 544806-4263676              | 1247 m    | 1244 m                          | 1244 m                         | 0 m                    |
| S-11    | 545291-4263485              | 1251 m    | 1247 m                          | 1246,50 m                      | 0,50 m                 |
| S-12    | 545211-4263691              | 1259 m    | 1249,50 m                       | 1247 m                         | 2,50 m                 |
| S-13    | 545245-4263862              | 1260 m    | 1251 m                          | 1249,25 m                      | 1,75 m                 |
| S-14    | 545680-4263432              | 1261 m    | 1259 m                          | 1258 m                         | 1,00 m                 |
| S-15    | 546322-4263724              | 1270 m    | 1261 m                          | 1260 m                         | 1,00 m                 |



Şekil 3.4. Mayıs (2013) ayna ait su tablası haritası



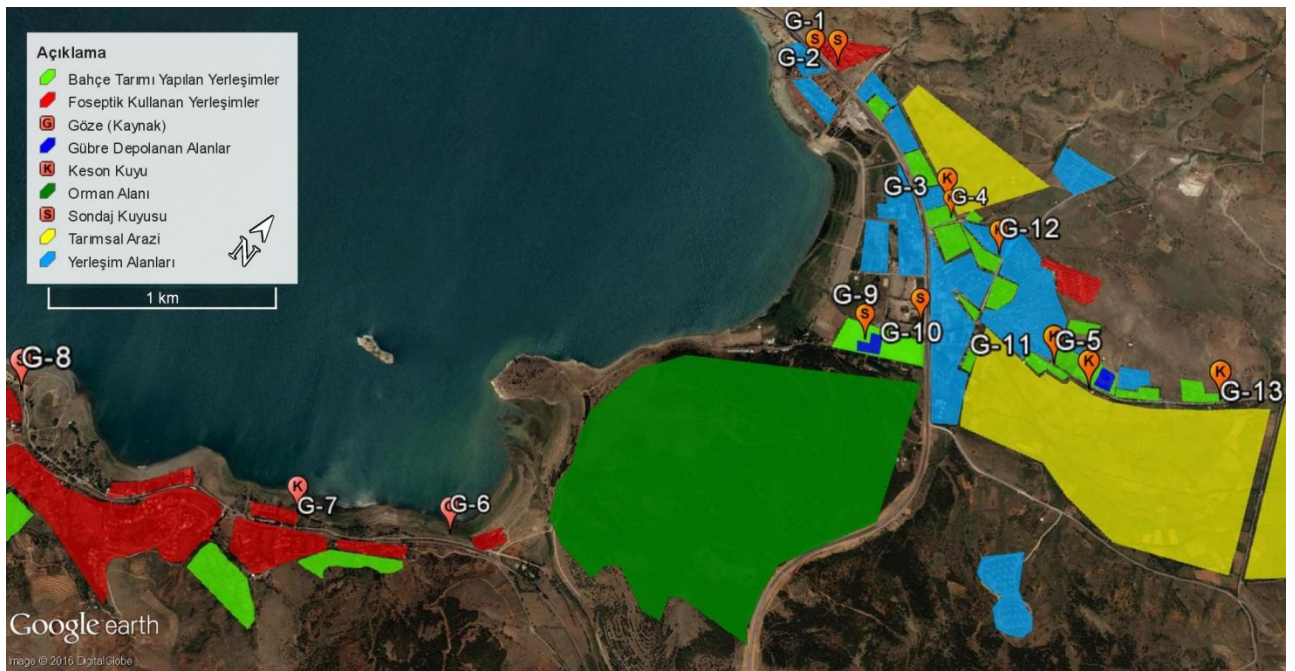
Şekil 3.5. Ekim (2013) ayına ait su tablası haritası

Çizilen su tablası haritalarında, yeraltı suyunun akım yönü çalışma alanı içerisinde Aydın Mahallesi civarında yaklaşık kuzeybatıdan güneydoğuya doğru; Murat Mahallesi civarında kuzeydoğudan güneybatıya doğru; Değirmen Tepe bölgesinde ise yaklaşık güneydoğudan kuzeybatıya doğrudur.

Su tablası haritalarında eş su seviye eğrilerinin birbirlerine yaklaştığı kesimlerde hidrolik eğim artmakta, geçirimsizlik ise azalmaktadır. Çalışma alanının su tablası haritaları incelendiğinde hidrolik eğimin tüm alanda aynı olmayıp değişiklikler gösterdiği görülmektedir. Çizilen haritalarda çalışma alanında Hazar Gölü'ne yakın kesimlerde hidrolik eğim  $1,72 \times 10^{-2}$  ile  $2,29 \times 10^{-2}$  arasında, çalışma alanının kuzey, kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde ise  $0,76 \times 10^{-2}$  ile  $0,89 \times 10^{-2}$  arasında hesaplanmıştır. Geçirimsizliğin Hazar Gölüne yakın yerlerde ve Aydın Mahallesi çevresinde arttığı, Murat Mahallesi çevresinde azaldığı görülmektedir.

### 3.5. Hidrojeokimya

Çalışma kapsamında, yeraltı su seviyesinin düşük ve yüksek olduğu dönemleri temsil eden Ekim ve Mayıs aylarında su örnekleri alınarak suların kimyasal analizleri yapılmıştır (Şekil 3.6, Tablo 3.5, Tablo 3.6). Sular içerisinde bulunan majör anyon ve katyonların kökenleri, suların kimyasal bileşimlerinin mevsimsel değişimleri incelenmiş ayrıca suları birbiri ile karşılaştırmak amacıyla kimyasal analiz sonuçları çeşitli diyagramlar üzerinde yorumlanmıştır. Bu başlık altında yeraltı sularının kirliliği konusunda değerlendirmeler yapılacağından Şekil 3.6’da örnekleme noktaları ile birlikte arazi kullanımı da verilmiştir.



Şekil 3.6. Su örnekleme ve arazi kullanım haritası.

**Tablo 3.5.** İncelenen suların Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçları

| Örnek No | Örnekleme yapılan su noktası | T (°C) | pH   | EC (µS/cm) | Sertlik d°hFr | Na <sup>+</sup> mg/L | K <sup>+</sup> mg/L | Ca <sup>+2</sup> mg/L | Mg <sup>+2</sup> mg/L | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/L | Cl <sup>-</sup> mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/L | F ppm | Br ppm | Li ppm |
|----------|------------------------------|--------|------|------------|---------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------------------|-------|--------|--------|
|          |                              |        |      |            |               |                      |                     |                       |                       |                                    |                      |                                    |       |        |        |
| G-1      | Sondaj kuyusu                | 14.4   | 6.99 | 548        | 29.34         | 10.88                | 1.03                | 81.47                 | 21.92                 | 328.22                             | 2.04                 | 17.57                              | 0.05  | <0.01  | <0.01  |
| G-2      | Sondaj kuyusu                | 15.1   | 7.16 | 474        | 26.13         | 9.48                 | 0.71                | 70.63                 | 20.70                 | 284.87                             | 2.62                 | 17.56                              | 0.09  | <0.01  | <0.01  |
| G-3      | Keson kuyu                   | 16.5   | 6.96 | 566        | 30.81         | 10.77                | 2.43                | 67.59                 | 33.92                 | 346.80                             | 4.67                 | 16.50                              | 0.05  | <0.01  | <0.01  |
| G-4      | Keson kuyu                   | 12.6   | 6.88 | 616        | 32.57         | 14.14                | 1.87                | 91.41                 | 23.74                 | 359.18                             | 4.44                 | 24.75                              | 0.19  | <0.01  | <0.01  |
| G-5      | Keson kuyu                   | 15     | 6.98 | 418        | 33.66         | 8.30                 | 0.86                | 89.18                 | 27.74                 | 297.26                             | 16.97                | 20.99                              | 0.11  | <0.01  | <0.01  |
| G-6      | Kaynak                       | 16.4   | 7.03 | 421        | 22.34         | 10.96                | 1.07                | 62.78                 | 16.24                 | 260.10                             | 2.13                 | 15.46                              | 0.15  | <0.01  | <0.01  |
| G-7      | Keson kuyu                   | 21.3   | 6.87 | 425        | 34.33         | 16.42                | 0.80                | 89.43                 | 29.22                 | 352.90                             | 17.58                | 24.54                              | 0.09  | <0.01  | <0.01  |
| G-8      | Sondaj kuyusu                | 17.7   | 6.98 | 560        | 26.33         | 21.06                | 0.83                | 78.12                 | 16.64                 | 284.87                             | 18.34                | 20.62                              | 0.19  | <0.01  | <0.01  |
| G-9      | Sondaj kuyusu                | 15.6   | 6.8  | 925        | 49.51         | 27.13                | 1.37                | 126.35                | 43.73                 | 569.74                             | 21.10                | 15.46                              | 0.10  | 0.13   | <0.01  |
| G-10     | Sondaj kuyusu                | 15.7   | 7.12 | 700        | 38.58         | 12.50                | 1.07                | 92.03                 | 37.98                 | 439.69                             | 7.07                 | 16.05                              | 0.18  | <0.01  | <0.01  |

**Tablo 3.6.** İncelenen suların Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçları (a.y.=Analiz yapılmadı, \*=Ölçüm yapılan cihazın limit değerinin üzerinde)

| Örnek No | Örnekleme yapılan su noktası | T (°C) | EC (µS/cm) | pH  | Ca <sup>+2</sup> mg/L | Mg <sup>+2</sup> mg/L | Na <sup>+</sup> mg/L | K <sup>+</sup> mg/L | Cl <sup>-</sup> mg/L | SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> mg/L | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ppm | F ppm |
|----------|------------------------------|--------|------------|-----|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------|
| G-1      | Sondaj kuyusu                | 15     | 419        | 6.7 | 80.49                 | 23.77                 | 10.11                | 0.99                | 3.62                 | 14.96                              | 353.8                             | 0.15  |
| G-3      | Keson kuyu                   | 16     | 502        | 6.7 | 60.80                 | 33.01                 | 10.04                | 2.25                | 4.12                 | 10.79                              | 329.4                             | 0.18  |
| G-5      | Keson kuyu                   | 15     | 637        | 7.7 | 84.92                 | 31.70                 | 8.74                 | 1.36                | 16.03                | 17.29                              | 329.4                             | 0.19  |
| G-6      | Kaynak                       | 15.5   | 438        | 8.3 | 63.93                 | 19.33                 | 10.64                | 1.11                | 2.20                 | 14.27                              | 274.5                             | 0.13  |
| G-7      | Keson Kuyu                   | 16     | 808        | 7.5 | 90.22                 | 34.96                 | 18.98                | 0.73                | 39.11                | 18.74                              | 402.6                             | 0.07  |
| G-9      | Sondaj kuyusu                | 15     | 910        | 6.9 | 127.95                | 48.66                 | 18.97                | 1.54                | 4.31                 | 3.93                               | 652.7                             | 0.09  |
| G-11     | Keson kuyu                   | 14     | 706        | 7.5 | 107.36                | 26.89                 | 6.64                 | 0.49                | 12.59                | 17.82                              | 414.8                             | 0.31  |
| G-12     | Keson kuyu                   | 14     | 597        | 7.3 | 78.24                 | 34.58                 | 6.58                 | 1.25                | 7.32                 | 18.28                              | 347.7                             | 0.10  |
| G-13     | Keson kuyu                   | 14     | 694        | 7.9 | 51.41                 | 73.48                 | 6.20                 | 0.80                | 10.65                | 16.44                              | 463.6                             | 0.13  |
| G-14     | Hazar Gölü                   | 20     | 2260       | 9.0 | 22.78                 | 126.17                | 300.81               | 7.15                | 303.78               | 15.85                              | 585.6                             | 1.46  |

Tablo 3.6. (devamı)

| Örnek No | Örnekleme yapılan su noktası | T (°C) | Al ppb | As ppb | B ppb | Ba ppb | Bi ppb | Br ppb | Ce ppb | Co ppb | Cr ppb | Cs ppb | Cu ppb | Fe ppb | Li ppb | Mn ppm | Mo ppb |
|----------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| G-1      | Sondaj kuyusu                | 15     | 4      | <0.5   | 22    | 6.45   | 0.07   | 28     | 0.01   | <0.02  | 5.6    | 0.03   | 0.4    | <10    | 1.0    | 0.15   | 0.2    |
| G-3      | Keson kuyu                   | 16     | 49     | <0.5   | 32    | 12.48  | 0.05   | 43     | 0.11   | 0.07   | 16.7   | 0.04   | 1.8    | 24     | 0.3    | 2.54   | 0.4    |
| G-5      | Keson kuyu                   | 15     | 12     | <0.5   | 26    | 4.79   | <0.05  | 52     | 0.02   | 0.05   | 2.5    | 0.15   | 0.5    | <10    | 1.4    | 0.74   | 0.3    |
| G-6      | Kaynak                       | 15.5   | 10     | <0.5   | 51    | 2.84   | <0.05  | 39     | 0.04   | <0.02  | 0.5    | 0.03   | 1.8    | <10    | 0.2    | 2.21   | 0.1    |
| G-7      | Keson kuyu                   | 16     | <1     | <0.5   | 83    | 20.56  | <0.05  | 283    | <0.01  | 0.14   | 8.6    | <0.01  | 0.8    | <10    | 0.5    | 0.09   | 0.3    |
| G-9      | Sondaj kuyusu                | 15     | 193    | 0.9    | 37    | 50.91  | <0.05  | 118    | 0.57   | 1.33   | 4.1    | 0.04   | 1.7    | 1062   | 0.9    | 1033   | 0.4    |
| G-11     | Keson kuyu                   | 14     | 80     | <0.5   | 9     | 6.47   | <0.05  | 50     | 0.07   | 0.13   | 1.7    | 0.04   | 1.1    | 103    | 0.9    | 9.30   | <0.1   |
| G-12     | Keson kuyu                   | 14     | 75     | <0.5   | 13    | 7.04   | <0.05  | 42     | 0.07   | 0.09   | 3.6    | 0.04   | 1.7    | 71     | 1.5    | 3.71   | 0.3    |
| G-13     | Keson kuyu                   | 14     | a.y    | a.y    | a.y   | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    |
| G-14     | Hazar Gölü                   | 20     | <600   | <3000  | 2153  | <80    | <3000  | *      | *      | <300   | <300   | *      | <80    | <10000 | <1000  | <50    | <300   |

Tablo 3.6. (devamı)

| Örnek No | Örnekleme yapılan su noktası | T (°C) | Nd ppb | Ni ppb | P pbb | Pb ppb | Rb ppb | S ppm | Se ppb | Si ppb | Sn ppb | Sr ppb | Zn ppb |
|----------|------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| G-1      | Sondaj kuyusu                | 15     | 0.05   | <0.2   | 14    | 0.4    | 0.55   | 8     | 0.6    | 8385   | 0.14   | 335.8  | 41.4   |
| G-3      | Keson kuyu                   | 16     | 0.03   | 1.0    | 29    | 1.9    | 0.29   | 6     | 0.5    | 14907  | 0.10   | 190.4  | 64.9   |
| G-5      | Keson kuyu                   | 15     | 0.02   | <0.2   | 14    | 0.1    | 1.25   | 9     | <0.5   | 10579  | 0.13   | 493.3  | 50.3   |
| G-6      | Kaynak                       | 15.5   | 0.01   | 3.7    | 17    | 1.8    | 0.65   | 7     | 0.6    | 9957   | 0.15   | 190.0  | 62.5   |
| G-7      | Keson kuyu                   | 16     | <0.01  | <0.2   | <10   | <0.1   | 0.32   | 10    | 1.6    | 12566  | <0.05  | 356.6  | <0.5   |
| G-9      | Sondaj kuyusu                | 15     | 0.32   | 1.8    | 120   | 0.9    | 0.86   | 6     | <0.5   | 12503  | 0.10   | 656.3  | 61.0   |
| G-11     | Keson kuyu                   | 14     | 0.05   | <0.2   | 15    | 1.4    | 0.39   | 10    | <0.5   | 8577   | 0.13   | 575.5  | 61.1   |
| G-12     | Keson kuyu                   | 14     | 0.04   | <0.2   | 19    | 0.7    | 1.48   | 10    | <0.5   | 8834   | 0.14   | 414.4  | 67.7   |
| G-13     | Keson kuyu                   | 14     | a.y    | a.y    | a.y   | a.y    | a.y    | a.y   | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    | a.y    |
| G-14     | Hazar Gölü                   | 20     | *      | <300   | <4000 | <4000  | *      | 10    | *      | *      | *      | *      | <300   |

### 3.5.1. Sularda Bulunan Başlıca İyonlar ve Kökenleri

Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayacın kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığına, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine, ortamın pH'ına bağlıdır. Yeraltı sularında bulunan başlıca iyonlar  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  tır. Yeraltı sularının kimyasal bileşimleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilme özelliklerini belirlemede büyük önem taşır (Yüksel, 2007).

$\text{Ca}^{+2}$ , normal suların başlıca katyonudur. Doğadaki başlıca  $\text{Ca}^{+2}$  kaynakları karbonatlar (kireçtaşı ve mermer), aragonit, dolomit ( $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$ ), jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), anhidrit ve apatit mineralleridir. Ayrıca silikat içeren kayalarda %1-10  $\text{Ca}^{+2}$  içeren kalsiyum silikatlar şeklinde bulunur.  $\text{Ca}^{+2}$  silikatlar hava ve su ile çözünebilen  $\text{Ca}^{+2}$  tuzlarına ve kil minerallerine dönüşür. Genellikle sudaki  $\text{Ca}^{+2}$  iyonu kaynağını karbonatlı ve sülfatlı  $\text{Ca}^{+2}$  mineralleri teşkil eder. Bu nedenle sularda çok farklı oranlarda  $\text{Ca}^{+2}$  bulunabilir.  $\text{Ca}^{+2}$  suya sertlik veren en önemli iyonudur.  $\text{Ca}^{+2}$ 'lu sularda karbonat ve sülfat da bulunursa  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{CaSO}_4$  çökelerek kabuk meydana getirir.  $\text{Ca}^{+2}$ , sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır (Şahinci, 1991).

İncelenen sularda Mayıs (2014) ve Ekim(2014) aylarında 51,41-127,95 mg/L arasında bulunan  $\text{Ca}^{+2}$  iyonunun kökenini, bölgede yüzeyleme veren denizel karbonatlar ile magmatik kayalardaki albit, anortit, piroksenit ve amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan  $\text{Ca}^{+2}$  iyonunun çözünmesi oluşturmaktadır (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). Ayrıca, bölgedeki aktif tektonizma ile ilişkili olarak çalışma alanında yüzeyleme veren kayalarda oluşmuş kırık ve çatlaklar boyunca ikincil kalsit oluşumları da sulardaki  $\text{Ca}^{+2}$  iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

$\text{Mg}^{+2}$ , yerkabuğu ve tatlı sularda en fazla bulunan elementler sıralamasında sekizinci sıradadır.  $\text{Mg}^{+2}$  iyonunun çapı  $\text{Na}^+$  ve  $\text{Ca}^{+2}$  iyonlarının çapından küçük olmasına karşın, özgül elektriksel yükünün yüksekliği nedeniyle, su molekülleri tarafından hidratlaşma güçlüdür. Doğal sularda  $\text{Mg}^{+2}$  kaynakları; dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biotit, horblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diyopsit, tremolit mineralleridir. Asidik magma kökenli kayalarda  $\text{Mg}^{+2}$ , mika ve bir kısım amfibollerde; bazik kayalarda olivin ve piroksenlerde bulunur.  $\text{Mg}^{+2}$  suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Sıcak sularda kırılğan bir kabuk oluşturur. Suda bulunan  $\text{CO}_2$ , karbonatlı ve silikatlı minerallerin bünyesindeki  $\text{Mg}^{+2}$ 'un suya geçmesinde rol oynar.  $\text{Mg}^{+2}$ 'un sülfat ve klorürleri

suda rahat çözünür (Şahinci, 1991). Yeraltı sularında 125 mg/l'ten fazla magnezyum bulunması halinde sular acılaşmakta ve içilmemektedir. Bitkilerin gelişmesinde, klorofilin önemli bir maddesi olması ve sodyum artışından doğacak zararları önlemesi bakımından da yararlıdır.

İncelenen suların  $Mg^{+2}$  iyon konsantrasyonu Mayıs (2014) ayında 16.24-43.73 mg/l arasında; Ekim (2014) ayında ise 19.33-126.17 mg/l arasındadır (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). Sulara bulunan  $Mg^{+2}$  iyonunun kökenini Guleman Ofiyolitleri ve Maden Karmaşığı'na ait kayalar içerisinde bulunan olivin, biyotit, hornblende gibi magnezyum bileşenli minerallerin çözünmesi ve Hazar Grubu'na ait fliş serisi içerisindeki dolomitli seviyeler oluşturmuştur.

$Na^+$ , yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerdendir. Deniz suyunda % 2.6 – 2.7 arasında NaCl vardır. Jeolojik dönemlerde bazı suların çekilmesi ve kalın kil tabakası ile örtülmesi sonucu kaya tuzu madeni oluşmuştur.  $Na^+$ 'un toplam katyona oranı tarımsal açıdan önemlidir. Ayrıca  $Na^+$ 'un yüksek olması geçirgenliği etkiler. Fazlası tat problemi oluşturur, tuzluluk hissi verir. Sulara  $Na^+$  fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenme, toprak yapısı ve deniz katkısından kaynaklanabilir (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki suların  $Na^+$  iyon konsantrasyonu Mayıs (2014) ayında 8.30-27.13 mg/l arasında; Ekim (2014) ayında ise 6.20-18.98 mg/l arasındadır. Ekim ayında Hazar Gölü için  $Na^+$  değeri 300.81 mg/l olarak belirlenmiştir (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). İncelenen sulara  $Na^+$ 'nın kaynağı, bölgede bulunan magmatik kayalar içerisindeki  $Na^+$ lu feldspatların ve sedimanter kayalar içerisindeki tuzlu seviyelerin çözünmesiyle ilişkidir.

$K^+$  ve  $Na^+$  yer kabuğunda eşit miktarda bulunurken, magmatik kayalarda  $Na^+$ , tortul kayalarda ise  $K^+$  egemendir.  $K^+$ 'un silikat ve alüminosilikat minerallerinden suya geçmesi oldukça zordur. Bu minerallerin  $K^+$ 'u verme sırası şöyledir: biyotit>muskovit>nefelin>feldspat. Ayrıca, bozunmuş  $K^+$  un çok büyük miktardaki kil mineralleri ve bitkiler tarafından güçlü bir şekilde soğurulur (Şahinci, 1991).

$K^+$  yer kabuğunda en çok elementler sırasında yedinci sıradadır. Bununla beraber doğal sulara  $K^+$  miktarı azdır. Bazı jeokimyasal prosesler ve absorpsiyon nedeni ile  $K^+$  toprakta kalır ve suya fazlaca geçmez. Suların çoğunluğundaki  $K^+$  miktarı litrede 0.5 miliekiyalan (mek/l)'den daha azdır. Ancak daha yoğun konsantrasyonlarda  $K^+$  un bulunduğu da görülebilir. Bu durum suyun bulunduğu jeolojik ortam ile ilgilidir.  $K^+$  un insan sağlığı için etkisi kanda az veya çok olması ile ilgilidir (Kahvecioğlu ve diğ., 2003). İnceleme alanındaki suların  $K^+$  konsantrasyonları Mayıs (2014) ayında 0.71-2.43 mg/l arasında; Ekim (2014) ayında 0.49-2.25 mg/l arasındadır. Ekim ayında Hazar Gölü'nden alınan numunede  $K^+$  değeri 7.15 mg/l olarak ölçülmüştür (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.).  $K^+$ , çalışma alanında yüzeyleme

veren magmatik kayaçların bünyesinde bulunan mika ve feldspat minerallerinin çözünmesiyle yeraltı sularına geçmiş olmalıdır.

Bütün doğal sularda  $\text{Cl}^-$  bulunur.  $\text{Cl}^-$  tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan sularda en çok bulunan iyonlardan biridir. Suyun tadına etki eden önemli bir iyondur (Şahinci, 1991). 150 ppm'den daha az  $\text{Cl}^-$  içeren sular her türlü kullanımda tercih edilirken, 500 ppm'den fazla olduğunda suyun tadı bozulur.

Sularda aniden yükselen  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonu o suyun etkilendiğini gösterir. Yeraltı sularındaki  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonundaki azalma yalnızca yağmura bağlı olabilir. Bu da kaynak sularının izlenmesine yardımcı veri olabilir. Yağış suları az çok  $\text{Cl}^-$  içerirler. Zemin içine süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki  $\text{Cl}^-$  tuzlarını çözdürerek klorür bakımından zenginleşirler. Özellikle klorür zenginleşmesi, buharlaşma ve terleme nedeniyle, su ihtiva eden ana kayanın üst seviyelerinde fazladır. Yeraltına süzülen sular su tablasına erişinceye kadar  $\text{Cl}^-$  ve diğer tuzlarla daha da zenginleşirler (Şahinci, 1971).

İncelenen suların  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonları Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre 2.04-21.10 mg/l arasında; Ekim ayı analiz sonuçlarına göre ise 2.20-39.11 mg/l arasında değişmektedir. Ekim (2014) ayı Hazar Gölü'nün  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonu ise 303.79 mg/l'tir (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). İncelenen sularda  $\text{Cl}^-$  iyonunun kaynağı yağış suları ile sedimanter birimler içerisindeki  $\text{Cl}^-$ lü tuzlardır.

Sularda  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonunun başlıca kaynakları volkanlar, oksitlenmiş piritler, jips ve anhidritler, organik maddelerin bozunumudur. Yeraltı sularında  $\text{SO}_4^{2-}$  büyük bir kısım jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{MgSO}_4$  ve  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  tan ileri gelebilir. İçme sularında  $\text{SO}_4^{2-}$  miktarı 200-400 mg/l arasındadır.  $\text{SO}_4^{2-}$  tarımda toprağın tuzluluğunu artırması dışında zararlı bir etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/l'ye kadar olan miktardaki bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/l'yi geçtiğinde zararlı olmaya başlar (Erguvanlı v.d, 1973).

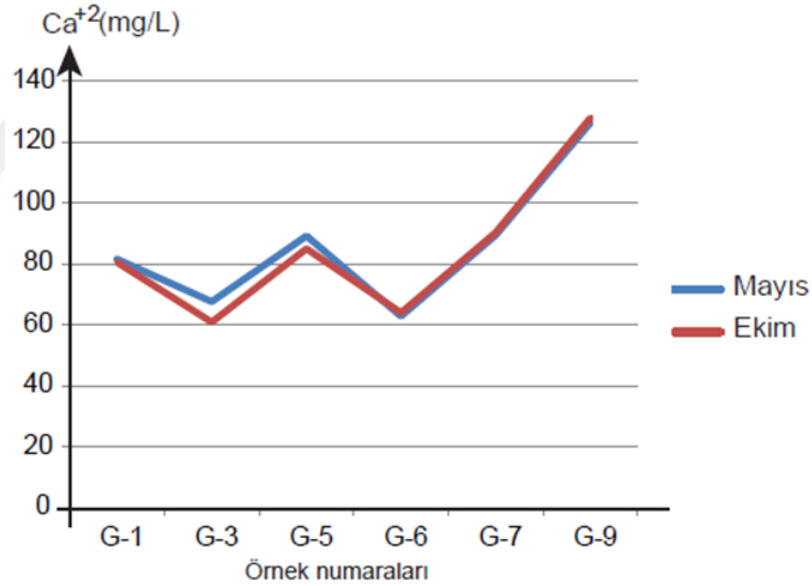
İnceleme alanındaki suların  $\text{SO}_4^{2-}$  konsantrasyonları Mayıs (2014) ayı kimyasal analizleri sonuçlarına göre 15.46-24.75 mg/l; Ekim (2014) ayında ise 5.23-35.13 mg/l arasındadır (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.). İncelenen sularda  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonunun kaynağı, çalışma alanı içerisindeki denizel çökellerin jips ve anhidritli seviyeleri ile piritin ( $\text{FeS}_2$ ) oksidasyonu ile oluşan  $\text{FeSO}_4$  olmalıdır.

Yeraltı sularındaki  $\text{CO}_3^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki  $\text{CO}_2$ 'den ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla  $\text{CO}_3^{2-}$  ve  $\text{HCO}_3^-$  miktarı  $\text{CO}_2$  miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır. İncelenen suların  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonları Mayıs (2014) ayında 260.10- 569.74 mg/l arasında; Ekim (2014) ayında ise 274.5-652.7 mg/l arasındadır.

Hazar Gölü'nden Ekim(2014)' de alınan numunede ise  $\text{HCO}_3^-$  konsantrasyonu 585.6 mg/l'dir (Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.).  $\text{HCO}_3^-$  iyonu çalışma alanında yeraltı sularına bölgede geniş alanlarda yüzeylemeler veren kireçtaşlarının  $\text{CO}_2$ 'li sular tarafından çözünmesi sonucu geçmiştir.

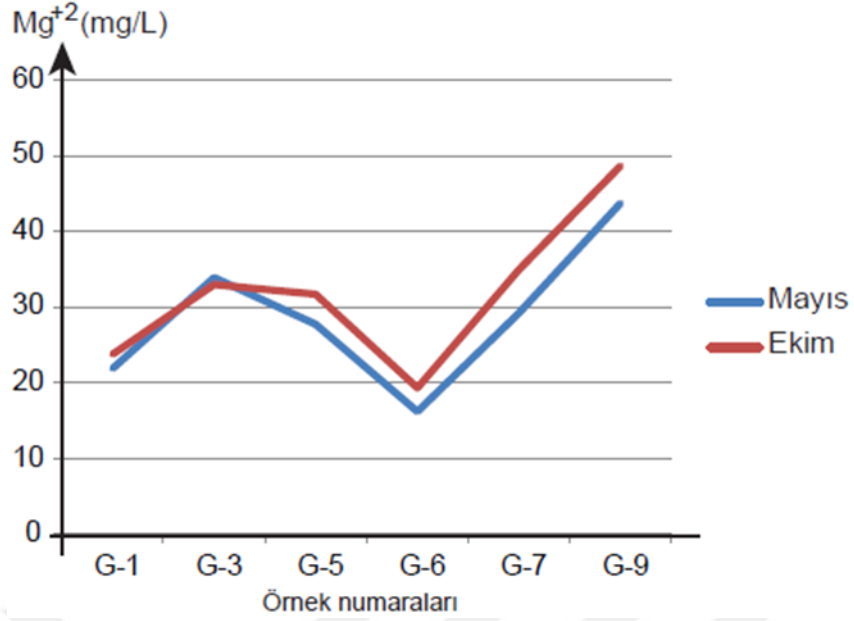
İnceleme alanında bulunan kuyuların çoğu şahsi sondaj ve keson kuyusu olup sadece bahar ve yaz aylarında kullanılmaktadır. Bu nedenle Ekim ayında bazı kuyulardan su örnekleri alınamamış olup her iki mevsimde de su örnekleme yapılabilen suların majör iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimleri incelenebilmiştir.

Genel olarak incelenen suların  $\text{Ca}^{+2}$  konsantrasyonlarında belirgin bir mevsimsel değişim gözlenmemiştir. Sadece G-3 ve G-5 nolu keson kuyu sularında Mayıs ayında  $\text{Ca}^{+2}$  konsantrasyonu daha yüksektir. Bunun sebebi, yeraltı su seviyesinin yükseldiği dönemde meydana gelen su-kayaç etkileşim etkisinin bu kuyu sularında daha hızlı ve kısa sürede gözlenmesidir (Şekil 3.7).



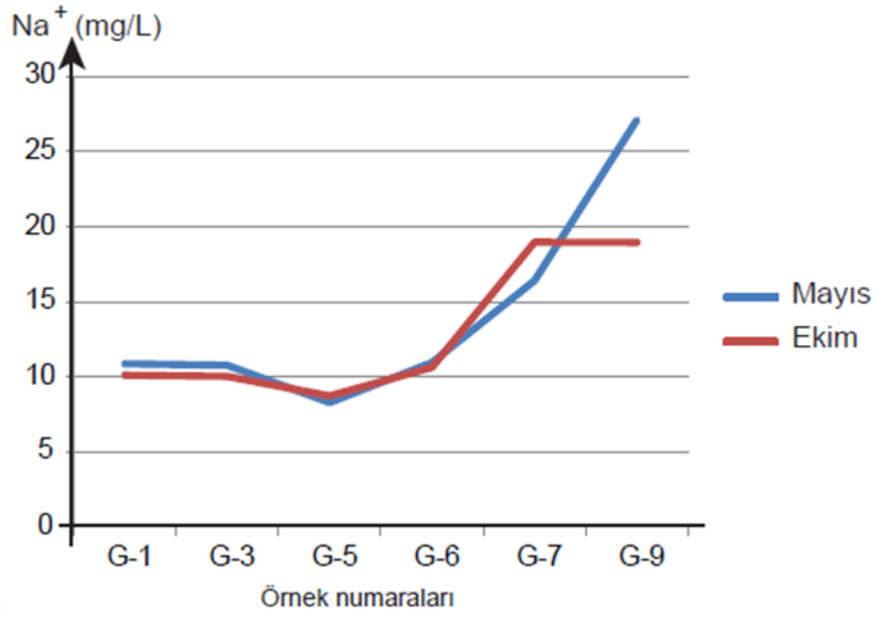
Şekil 3.7. İnceleme alanındaki suların  $\text{Ca}^{+2}$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

İncelenen suların  $\text{Mg}^{+2}$  konsantrasyonları genel olarak Ekim ayında daha yüksektir. Ekim ayında sularda gözlenen daha yüksek  $\text{Mg}^{+2}$  konsantrasyonu, suların beslenme alanlarında Guleman Ofiyolitleri'nin bulunması ve su-kayaç etkileşim süreçlerinin daha fazla ve uzun süreli olması ile açıklanabilir. Ayrıca, sularda kurak dönemde gözlenen daha yüksek  $\text{Mg}^{+2}$  konsantrasyonları bölgede bahçe tarımında kullanılan Mg bileşimli gübre kullanımı ile de ilişkili olabilir (Şekil 3.8).



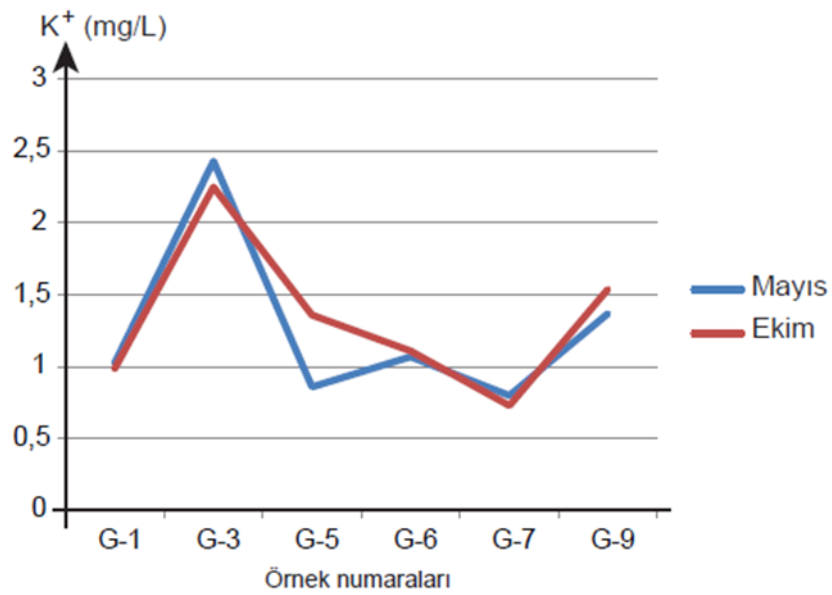
Şekil 3.8. İnceleme alanındaki suların  $Mg^{+2}$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Suların  $Na^+$  konsantrasyonları mevsimsel olarak farklılıklar göstermektedir (Şekil 3.9). Alüvyon akifer içerisinde açılmış olan G-1 ve G-3 nolu kuyularda Mayıs ayında  $Na^+$  konsantrasyonunun, yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Ekim ayına oranla nispeten biraz daha yüksek olması akifer içerisinde  $Na^+$  'un çözünme sürecinin daha hızlı gerçekleşmesi ile açıklanabilir. Ayrıca, akiferi oluşturan alüvyon içerisinde sedimanter birimlere ait çakılların da daha baskın olduğunu gösterebilir. G-9 nolu sondaj kuyusunda da Mayıs ayında oldukça yüksek  $Na^+$  konsantrasyonu gözlenmiştir. Bu sondaj kuyusu etrafında fidan yetiştiriciliği yapılmakta olup kimyasal bileşimli gübreler kullanılmaktadır. Kuyu suyunda özellikle Mayıs ayında gözlenen yüksek konsantrasyondaki  $Na^+$  'un kaynağını akifer ve beslenme alanı içerisinde meydana gelen su-kayaç etkileşiminin yanında, kuyu çevresindeki alanlarda kullanılan Na bileşimli kimyasal gübreler oluşturmuş olmalıdır.



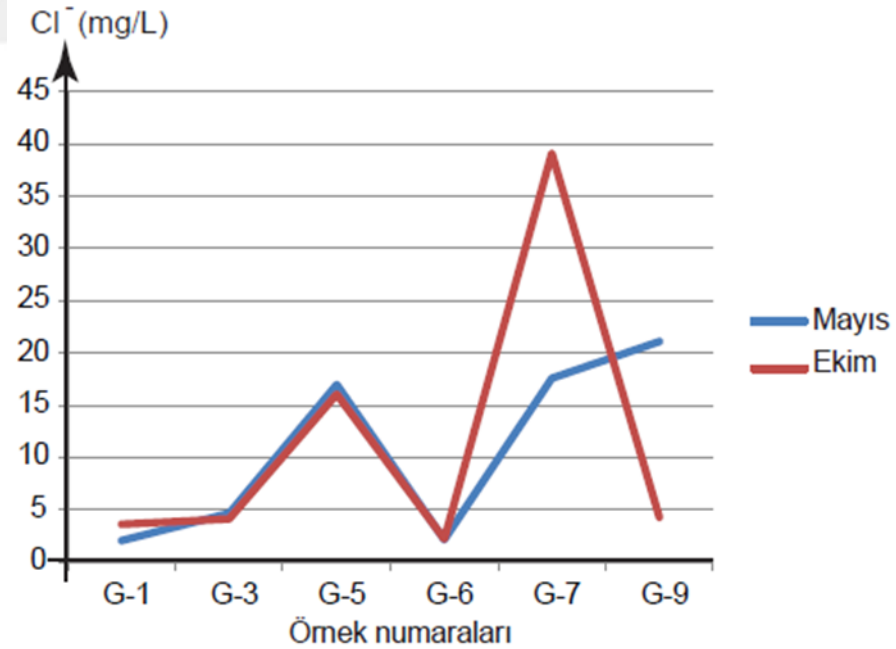
Şekil 3.9. İnceleme alanındaki suların  $\text{Na}^+$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

İncelenen suların  $\text{K}^+$  konsantrasyonlarında mevsimsel olarak bazı değişimler göstermektedir. Yağışlı dönemi temsil eden Mayıs ayında sulara  $\text{K}^+$  miktarındaki artışın nedeni artan hidrolik eğime bağlı olarak yeraltı suyu akım hızının da artması ve  $\text{K}^+$  lu minerallerin çözünmesinin hızlanması ile açıklanabilir. Kurak dönemi temsil eden Ekim ayında bazı sulara  $\text{K}^+$  iyonunun daha yüksek konsantrasyonlarda olması ise bu suların akifer formasyon ve aynı zamanda beslenme alanları içerisindeki su-kayaç etkileşim sürelerinin daha yavaş ve fazla olması ve dolayısıyla iyon konsantrasyonunun artması ile ilişkili olabilir (Şekil 3.10).



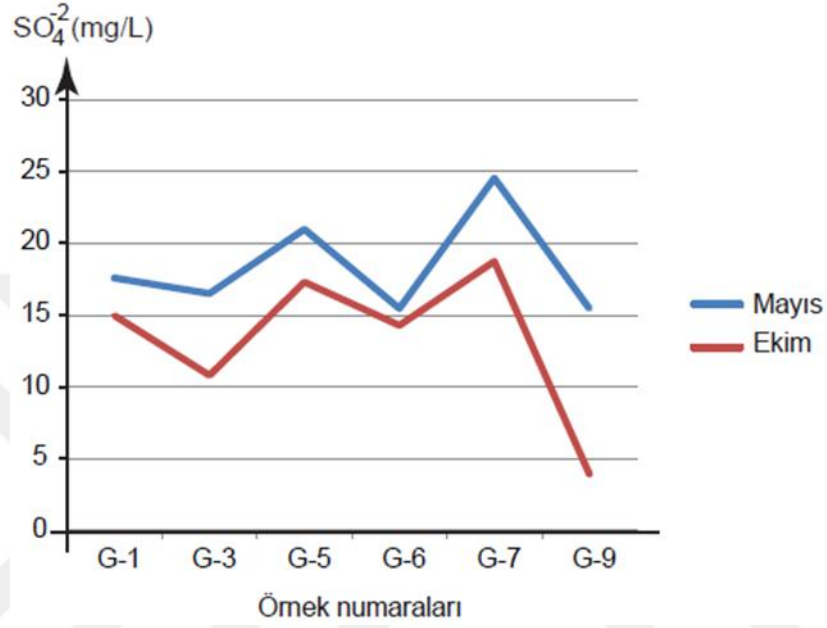
Şekil 3.10. İnceleme alanındaki suların  $\text{K}^+$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

G-1, G-3, G-5 ve G-6 nolu su örneklerinde  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonlarında mevsimsel olarak bir değişim gözlenmezken, G-7 ve G-9 nolu kuyularda belirgin bir değişim gözlenmektedir (Şekil 3.11). G-7 nolu keson kuyuda  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonu Ekim ayında oldukça yüksektir. G-7 nolu keson kuyu Hazar Grubu'na ait denizel sedimanlardan beslenmektedir. Yağış sularının bölgede geniş yüzeylemeler veren fliş özellikteki bu birimlerin kırık, çatlak, tabaka yüzeyleri gibi süreksizlikleri boyunca yeraltına doğru süzülmesi, akifer birimi oluşturan denizel sedimanlar içerisindeki tuzlu seviyelerin yeraltı suları tarafından çözünmesi ve su-kayaç etkileşim sürecinin yavaş olması G-7 nolu suda Ekim ayında  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonunda gözlenen bu artışın sebebi olarak düşünülmektedir. Bu kuyudaki yeraltı su derinliğinin Ekim ayında oldukça sığ (1.75 m) olması, güncel yağışların etkisinde kalma olasılığını arttırmakta dolayısıyla kuyudaki suyun  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonunun yükselmesine sebep olmaktadır (Tablo 3.1). Çalışma alanında G-7 ve G-9 nolu kuyularının çevresinde ve beslenme alanları içerisinde tarımsal faaliyetler yapılmaktadır. Özellikle bahçe tarımının yapıldığı bölgede kimyasal gübreler kullanılmaktadır. Her iki kuyuda farklı dönemlerde gözlenen yüksek  $\text{Cl}^-$  konsantrasyonunun bu kimyasal gübre kullanımı ile de ilişkili olduğunu düşündürmektedir (Srinivasamoorthy vd., 2008; Ewusi vd., 2013).



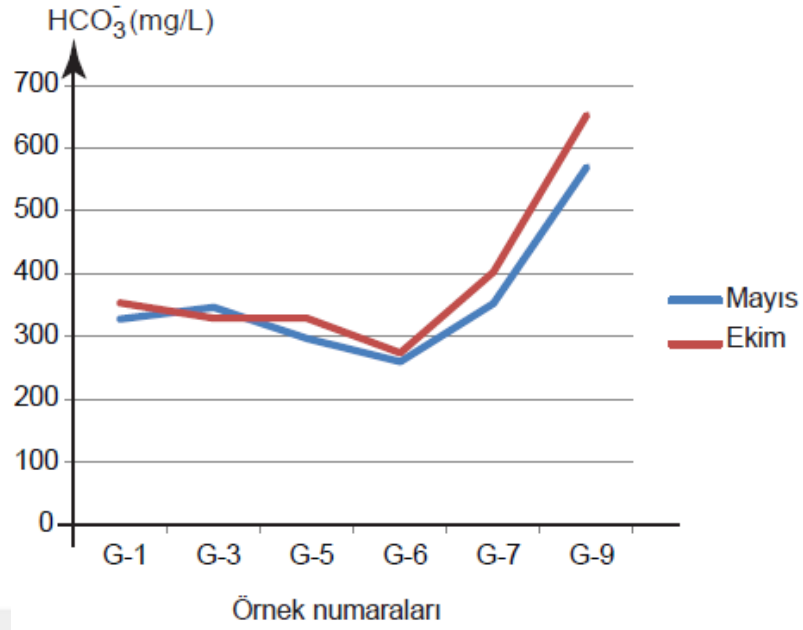
Şekil 3.11. İnceleme alanındaki suların  $\text{Cl}^-$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

İncelenen sularda  $\text{SO}_4^{-2}$  iyonunun özellikle yağışlı dönemde yüksek olduğu görülmektedir.  $\text{SO}_4^{-2}$  iyon konsantrasyonunun Mayıs ayında yüksek olması, toprak zonunda tutulmuş kükürt bileşenli gübrelerin yağış sularının düşey doğrultuda yeraltına doğru süzülmesi sırasında yıkanması ve okside olması ile ilişkili olduğu düşünülmektedir (Şekil 3.12) (Al-Ahmadi ve El-Fiky, 2009; Sayyed vd., 2013).



Şekil 3.12. İnceleme alanındaki suların  $\text{SO}_4^{-2}$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

Genel olarak suların  $\text{HCO}_3^-$  iyon konsantrasyonları Ekim ayında daha yüksektir. Bu durum, pH'ın sularda daha asidik olduğu Mayıs ayında kireçtaşlarının çözünmeye başlaması ve iyon konsantrasyonunun kurak döneme kadar yeraltı suyunda artması ile açıklanabilir (Tablo 3.1). Beslenme alanı içerisinde kireçtaşı seviyelerinin bulunduğu ya da doğrudan bu seviyelerden beslenen yeraltı sularında karstlaşmaya bağlı oluşan çözünme sürecinde sularda  $\text{HCO}_3^-$  iyon konsantrasyonunda artış meydana gelmektedir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. İnceleme alanındaki suların  $\text{HCO}_3^-$  iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi

### 3.5.2. Suların Doymuluk İndisleri

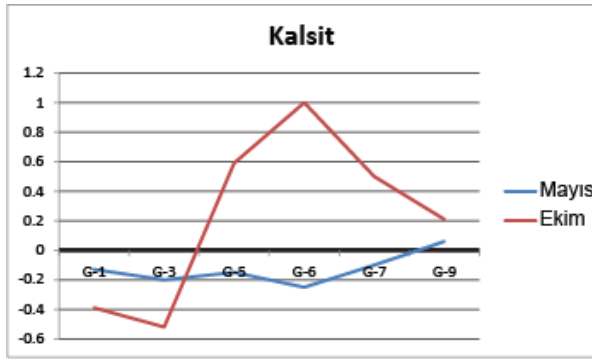
Bu başlık altında mevsimsel su örnekleme yapılan sular içerisindeki minerallerin doymuluk indisleri hesaplanarak değişimleri incelenmiştir. Sular içerisinde bulunan minerallerin Mayıs ve Ekim aylarında hesaplanan doymuluk indisleri Tablo 3.7 ve Tablo 3.8’de verilmiştir. Ayrıca, suların mineral doymuluk indislerinin mevsimsel değişimleri grafiksel olarak da değerlendirilmiştir (Şekil 3.14).

Tablo 3.7. Suların Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan doymuluk indisleri

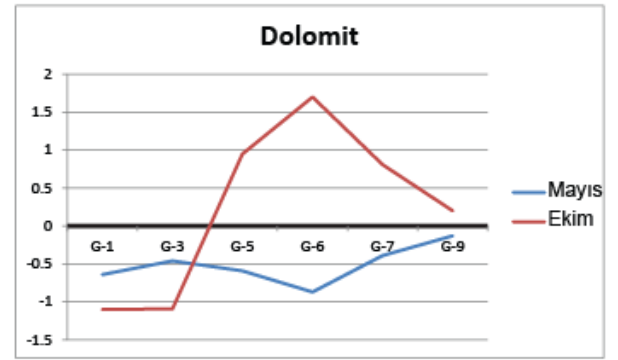
| Mineral  | Kimyasal formül                           | G-1   | G-3   | G-5   | G-6   | G-7   | G-9   |
|----------|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anhidrit | $\text{CaSO}_4$                           | -2.71 | -2.81 | -2.61 | -2.81 | -2.50 | -2.68 |
| Aragonit | $\text{CaCO}_3$                           | -0.29 | -0.35 | -0.30 | -0.40 | -0.25 | -0.09 |
| Kalsit   | $\text{CaCO}_3$                           | -0.13 | -0.20 | -0.15 | -0.25 | -0.10 | 0.06  |
| Dolomit  | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$              | -0.64 | -0.46 | -0.59 | -0.87 | -0.39 | -0.13 |
| Jips     | $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | -2.29 | -2.41 | -2.19 | -2.41 | -2.16 | -2.28 |
| Halit    | $\text{NaCl}$                             | -9.21 | -8.86 | -8.41 | -9.18 | -8.11 | -7.83 |
| Silvit   | $\text{KCl}$                              | -9.75 | -9.03 | -8.92 | -9.72 | -8.97 | -8.64 |

**Tablo 3.8.** Suların Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan doygunluk indisleri

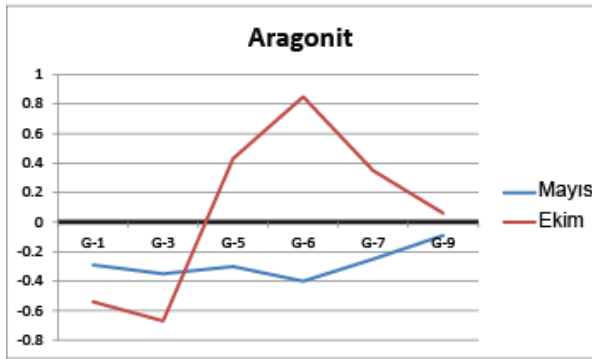
| Mineral  | Kimyasal formül                      | G-1   | G-3   | G-5   | G-6   | G-7   | G-9   |
|----------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Anhidrit | CaSO <sub>4</sub>                    | -2.78 | -3.03 | -2.72 | -2.87 | -2.68 | -3.29 |
| Aragonit | CaCO <sub>3</sub>                    | -0.54 | -0.67 | 0.43  | 0.85  | 0.35  | 0.06  |
| Kalsit   | CaCO <sub>3</sub>                    | -0.39 | -0.52 | 0.59  | 1.00  | 0.50  | 0.21  |
| Dolomit  | CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>  | -1.10 | -1.09 | 0.95  | 1.70  | 0.81  | 0.20  |
| Jips     | CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O | -2.37 | -2.63 | -2.31 | -2.46 | -2.28 | -2.88 |
| Halit    | NaCl                                 | -9.00 | -8.94 | -8.42 | -9.18 | -7.70 | -8.67 |
| Silvit   | KCl                                  | -9.52 | -9.11 | -8.74 | -9.68 | -8.64 | -9.28 |



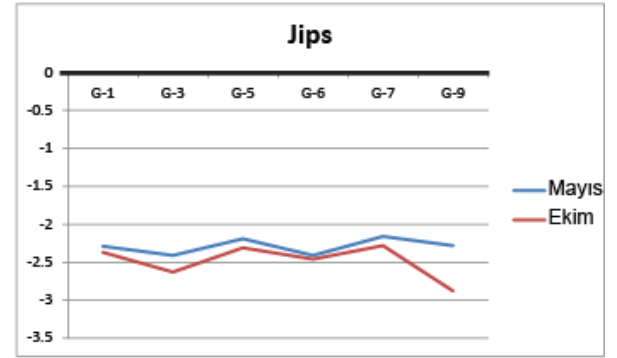
(a)



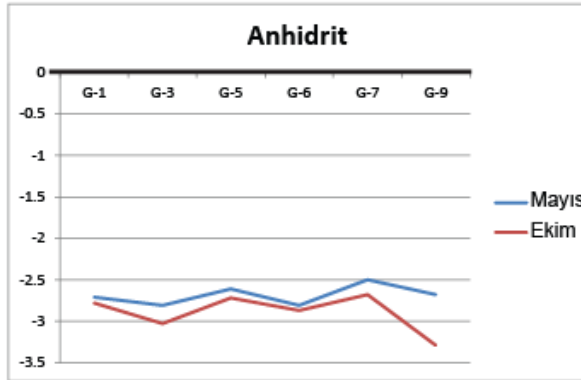
(b)



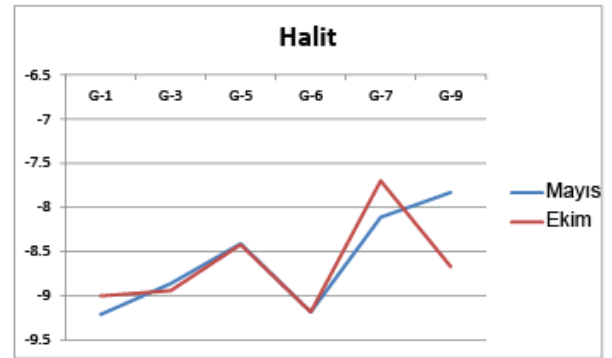
(c)



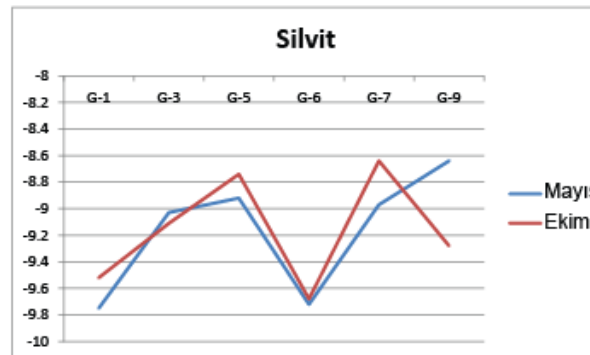
(d)



(e)



(f)



(g)

**Şekil 3.14.** İncelenen sular içerisindeki (a) kalsit, (b) dolomit, (c) aragonit, (d) jips, (e) anhidrit, (f) halit, (g) silvit minerallerinin doygunluk indislerinin mevsimsel değişimleri

Şekil 3.14’de görüldüğü gibi yağışlı dönemi temsil eden Mayıs ayında genel olarak sular kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit, halit ve silvit minerallerine doymun olmayıp bunları çözme eğilimindedir. Ekim ayında ise G-5, G-6, G-7 ve G-9 nolu kuyu suları kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doymun olup bunları çökeltme eğilimdeyken G-1 ve G-3 nolu sular ise bu mineralleri çözme eğilimindedir. Suların kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doymun olmaları bu minerallerin çözünürlüğünün daha fazla olması ve yeraltı suları ile temas süreleri ile ilişkilidir. Kalsit, aragonit ve dolomit minerallerinin doymunluk indislerinin mevsimsel olarak benzer eğilimler göstermesi sular içerisindeki  $Ca^{+2}$  ve  $Mg^{+2}$  iyonlarının da benzer kökenli olduklarını işaret edebilir.

İncelenen sular yeraltı su seviyesinin düşük olduğu Ekim ayında jips, anhidrit, halit ve silvit minerallerine doymun olmayıp bu mineralleri çözme eğilimindedir.

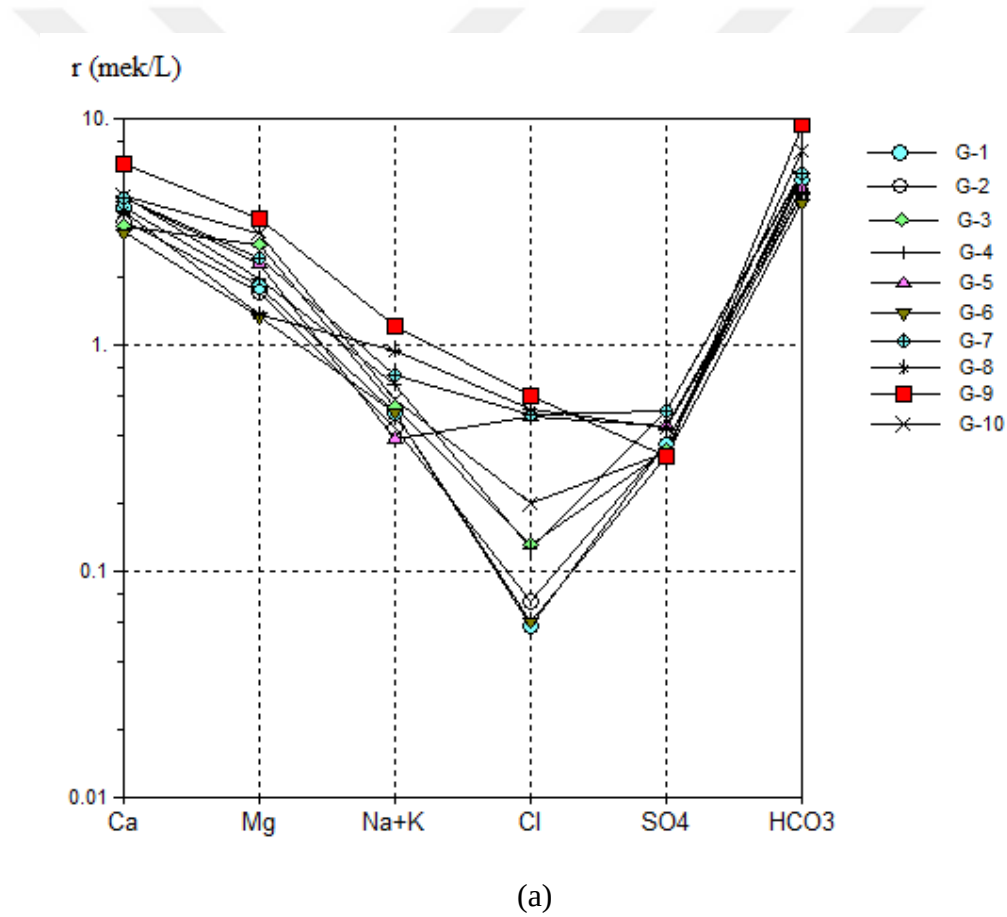
Genel olarak alüvyon akiferden beslenen G-1 ve G-3 nolu suların hiçbir minerale doymun olmadığı görülmektedir. Bu durum alüvyon akifer içerisinde hareket eden yeraltı sularının dolaşım sürelerinin daha kısa olması ve güncel yağışlardan etkilenmeleri ile ilişkilidir.

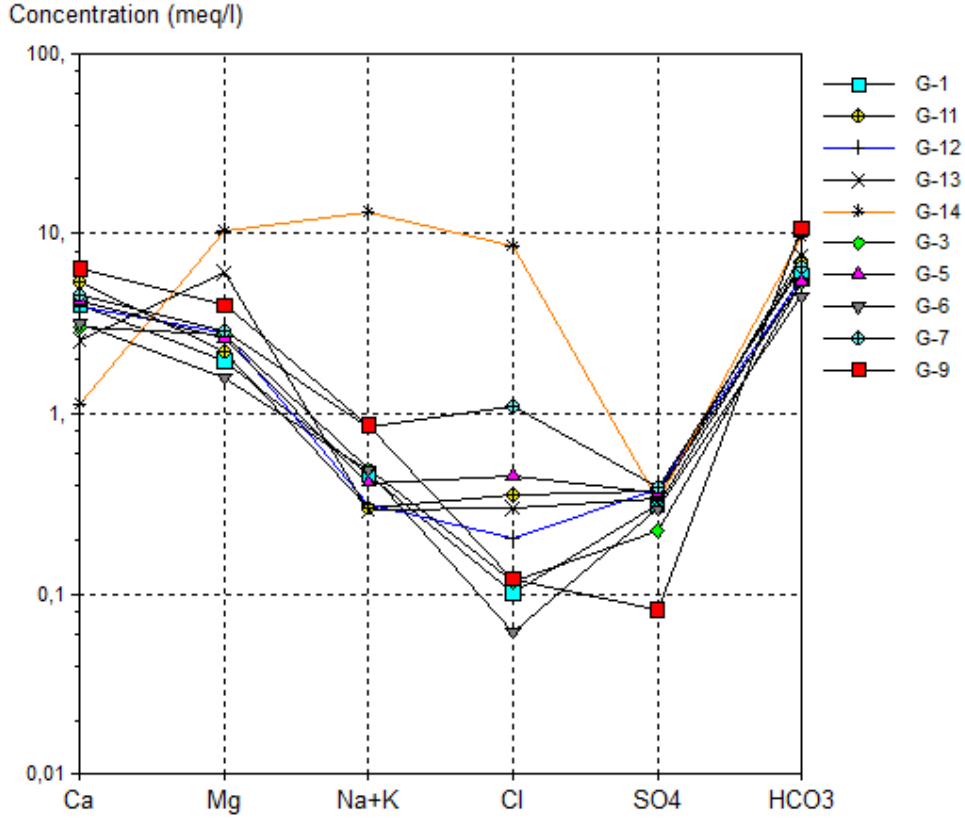
### 3.5.3. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarda Gösterilmesi

Yeraltı suları, içinde hareket ettiği akiferin bünyesinde yer alan elementleri çözerek bünyesine almakta ve içinde hareket ettiği kayaçların genel kimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. Farklı akiferlere ait yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesinde, yeraltı suyunda akım yolu boyunca meydana gelecek hidrokimyasal değişimlerin incelenmesinde, yeraltı sularının hidrojeokimyasal olarak kökeninin belirlenmesinde, farklı yeraltı suyu örneklerinin birbirleri ile olan ilişkilerin tespit edilmesinde, çeşitli diyagramlar kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanı Piper (1944), Schoeller (1962) ve dairesel diyagramlardır. İncelenen suların Schoeller, Piper ve dairesel diyagramları AquaChem 3.70 programında çizilerek birbirleri ile karşılaştırılmış ve kökensel olarak yorumlanmıştır.

### 3.5.3.1. Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramlarının yatay eksen aritmetik, düşey eksen ise logaritmiktir. Bu diyagramın aritmetik yatay ekseninde sırasıyla  $rCa^{+2}$ ,  $rMg^{+2}$ ,  $r(Na^{+} + K^{+})$ ,  $rCl^{-}$ ,  $rSO_4^{-2}$ ,  $rHCO_3^{-}$  bulunur. Su örneklerinin Ekim (2014) ve Mayıs (2014) ayları kimyasal analiz sonuçlarına göre Schoeller diyagramı çizilmiştir. Çizilen Schoeller diyagramlarında iyonları birleştiren doğrular birbirlerine paralel ya da paralele yakındır. Bu durum suların benzer litolojideki akiferlerden beslendiğini göstermektedir. Schoeller diyagramında, incelenen sularda baskın katyonun  $Ca^{+2}$ , baskın anyonun ise  $HCO_3^{-}$  olduğu görülmektedir (Şekil 3.15 a, b).





(b)

**Şekil 3.15 (a,b).** İncelenen suların (a) Mayıs (2014), (b) Ekim (2014) ayları kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi

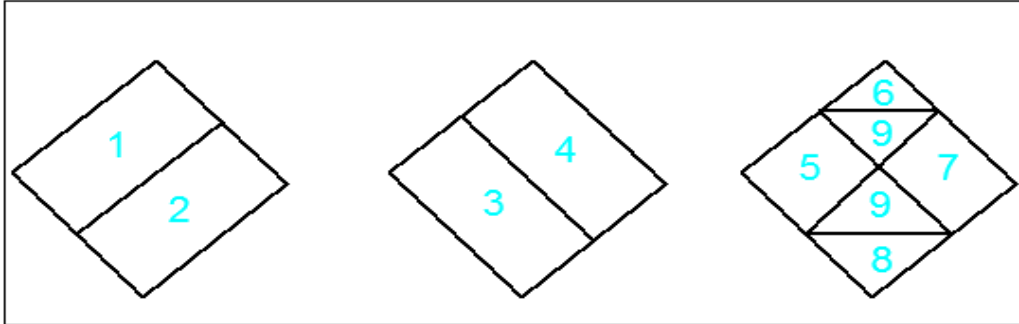
AquaChem bilgisayar programı yardımıyla belirlenen su tipleri Tablo 3.9’da verilmiştir. İnceleme alanındaki yeraltı suları, G-13 nolu örnek dışında, Ca-Mg-HCO<sub>3</sub> tipi sular olup, G-13 nolu su ise Mg-Ca-HCO<sub>3</sub> tipindedir. G-14 nolu Hazar Gölü suyu ise Na-Mg-CO<sub>3</sub>-HCO<sub>3</sub> tipi bir sudur. G-13 nolu su örneğinde baskın katyonun Mg<sup>+2</sup> olması bu suyun bölgede yüzeyleme veren ofiyolitlerden beslendiğini göstermektedir. Şekil 3.15 a’da G-1, G-2, G-3 ve G-4 nolu suların iyonlarını birleştiren doğrular birbirine paraleldir ve bu su örnekleri alüvyon akifer içerisinde açılmış sondaj ve keson kuyulardan alınmıştır. Aynı diyagram üzerinde Hazar Grubu’na ait birimlerden beslenen G-6 nolu kaynak suyunun iyonlarını birleştiren doğruların bu sulara paralellik göstermesi alüvyon malzemesinin baskın olarak Hazar Grubu’na ait sedimanter birimlerden oluştuğunu işaret edebilir. G-8 ve G-9 nolu sular ise diğer sulardan farklı olarak birbirine paralellik göstermektedir. Bu sular arasındaki paralellik de bu suların benzer kökenli olabileceğini göstermektedir. Şekil 3.15 b’de G-5, G-11, G-12 ve G-13 nolu kuyu sularının majör anyon ve katyonlarını birleştiren doğruların birbirine paralel olması bu suların da aynı akiferden beslendiğini göstermektedir.

**Tablo 3.9.** İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Scholler diyagramına göre tipi

| Örnek no | Su tipi                                   |
|----------|-------------------------------------------|
| G-1      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-3      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-5      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-6      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-7      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-9      | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-11     | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-12     | Ca- Mg- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-13     | Mg- Ca- HCO <sub>3</sub>                  |
| G-14     | Na- Mg- CO <sub>3</sub> -HCO <sub>3</sub> |

### 3.5.3.2. Piper Diyagramı

Bu diyagramda yanyana bulunan eşkenar katyon ve anyon üçgenine iyonların litrede % miliekivalen (%mek/L) değerleri işaretlendikten sonra, bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 3.16.).



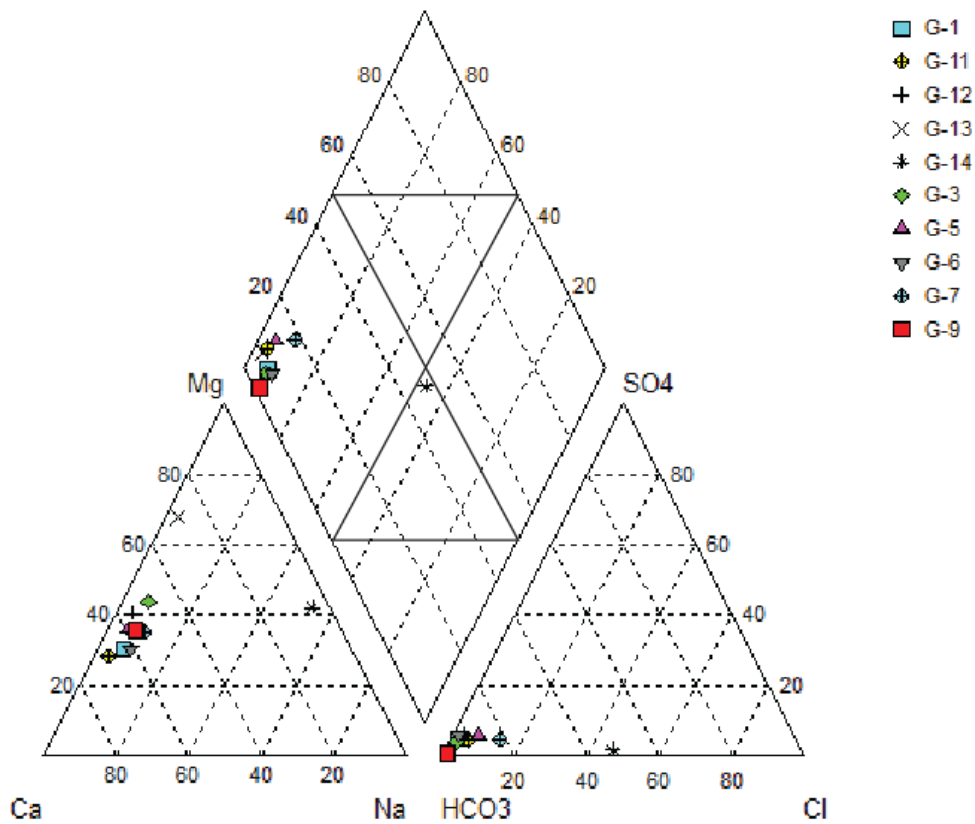
**Şekil 3.16.** Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması.

Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin özellikleri şu şekildedir.

- Bölge sularının özellikleri:** Bu bölgeye düşen sularda toprak alkaliler, alkalilerden fazla olup,  $Ca^{+2}+Mg^{+2}>Na^{+}+K^{+}$ . Bunlar karbonatlı ve sülfatlı sulardır.
- Bölge sularının özellikleri:** Bu bölge sularında alkaliler toprak alkalilerden fazla olup,  $Ca^{+2}+Mg^{+2}<Na^{+}+K^{+}$ . Bu sular tuzlu ve sodalı sulardır.
- Bölge sularının özellikleri:** Bu bölgede zayıf asitler, kuvvetli asitlerden fazla olup,  $HCO_3^{-} + CO_3^{2-} > Cl^{-} + SO_4^{2-}$ 'dir.
- Bölge sularının özellikleri:** Kuvvetli asitler, zayıf asitlerden fazla olup,  $HCO_3^{-} + CO_3^{2-} < Cl^{-} + SO_4^{2-}$ 'dir.

5. **Bölge sularının özellikleri:** Karbonat sertliği %50'den fazladır. Yani karbonat sertliği karbonat olmayan sertlikten fazladır. Bunlar  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lu sulardır.
6. **Bölge sularının özellikleri:** Karbonat olmayan sertlik %50'den fazla olup, karbonat sertliğinden büyüktür. Karbonat sertliği < karbonat olmayan sertlik. Bu bölgedeki sular  $\text{CaCO}_4$  ve  $\text{MgSO}_4$ 'lu sulardır.
7. **Bölge sularının özellikleri:** Bu bölgedeki karbonatlı olmayan alkaliler %50'den fazladır. Yani karbonatlı alkalilerden büyüktür.  
 Karbonatlı alkaliler < Karbonat olmayan alkaliler  
 Bunlar  $\text{NaCl}$ ,  $\text{NaSO}_4$ ,  $\text{KCl}$ 'lü sulardır.
8. **Bölge sularının özellikleri:** Karbonatlı alkaliler %50'den fazladır. Yani karbonatlı alkaliler, karbonat olmayan alkalilerden büyüktür. Bunlar  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ 'lu sulardır.
9. **Bölge sularının özellikleri:** Hiçbir iyonu %550'yi geçmeyen karışık bileşimli sulardır (Canik, 2003).

Çalışma alanı içerisinde bulunan yeraltı sularının Ekim (2014) ayı analiz sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramı Şekil 3.17 de verilmiştir.



Şekil 3.17. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Ekim-2014)

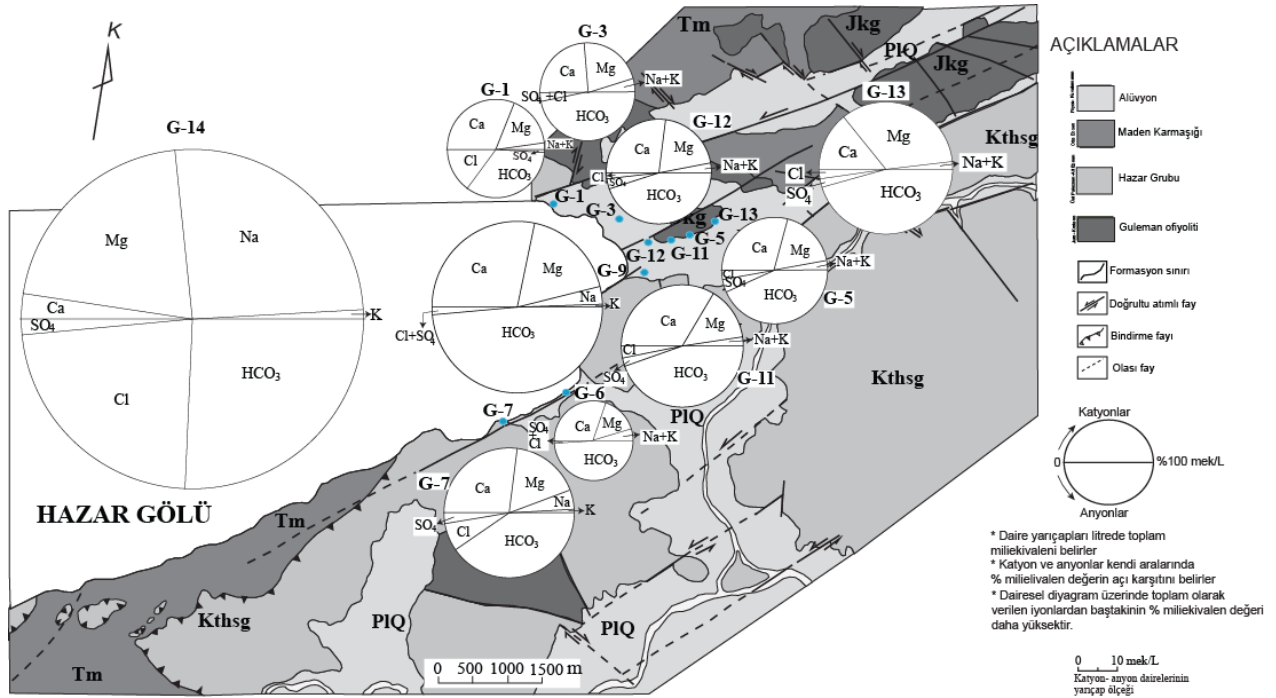
İnceleme alanı içerisinde anyon ve katyon analiz sonuçlarına göre hesaplanan % miliekivalen değerleri kullanılarak çizilen Piper diyagramlarına göre yeraltı sularının karbonat sertliği %50'den fazla olup  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lu sulardır. Ayrıca, suların zayıf asitleri, kuvvetli asitlerden fazla olup  $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$  dır. Hazar Gölü suyu ise hiçbir iyonu %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular grubunda bulunmaktadır (Şekil 3.17).

### 3.5.3.3. Dairesel Diyagramlar

Su kimyası çalışmalarında yaygın olarak kullanılan dairesel diyagramlarda yayların genişliği %mek/L, dairenin yarı çapı ise toplam iyon içeriğine göre belirlenmektedir.

Bu diyagramlarda her örnek noktası için ayrı ayrı çizilen daireler o örnek noktası için toplam iyon içeriği hakkında fikir vermektedir. Dolayısıyla dairenin yarı çapı büyüdükçe içerisinde çözülmüş halde bulunan iyon miktarının arttığını söylemek mümkündür. Yine çizilen daireler ayrı ayrı yorumlandığında her bir örnek noktası için baskın anyon ve katyonu %mek/L olarak belirlenmesine olanak sağlar (Çetindağ, 1989; Canik, 2003).

İnceleme alanında bulunan suların Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre dairesel diyagramları çizilerek örnekleme noktalarına göre harita üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3.18). Şekil 3.18'da görüldüğü gibi aynı akiferden beslenen G-1, G-3 ve G-12 nolu kuyu sularının dairesel diyagramlarının yarıçapları yaklaşık olarak aynı büyüklüktedir. G-9 ve G-13 nolu kuyu sularının mineralizasyonları diğer sulara oranla daha yüksek iken mineralizasyonu en yüksek su ise Hazar Gölü suyudur. Hazar Grubu'na ait birimlerden beslenen G-6 nolu kaynak suyunun mineralizasyonun az olduğu bu suya ait dairesel diyagramın yarıçapının küçük olmasından anlaşılmaktadır. Genel olarak bir havzada, beslenme bölgesinden boşalma bölgesine doğru iyonların miliekivalen değerleri toplamı artmakta, buna bağlı olarak dairelerin yarıçapları büyümektedir (Çetindağ, 1989). Çalışma kapsamında belirli sayıda yeraltı suyu örnekleme yapıldığından ve yapılan su örnekleme de havza genelinde sistematik dağılım sunmadığından, incelenen suların dairesel diyagramlarının büyüklükleri arasında belirgin bir ilişki gözlenmemiştir.



Şekil 3.18. İncelenen suların Ekim (2014) analiz sonuçlarına göre çizilen dairesel diyagramları

### 3.5.4. Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması

#### 3.5.4.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

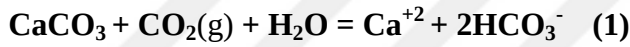
Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve  $\text{OH}^-$  iyon konsantrasyonlarının azalıp artmasına bağlı olarak suyun asit ya da bazik özelliğe sahip olmasıdır. Yeraltı suları genel olarak  $\text{pH} < 7$  olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları  $\text{pH} > 8$  olan bazik özellikteki sulardır (Örmeci, 2005). Asidik ve bazik suların esas sınır değerleri 4,5 ve 8,2 olarak kabul edilir. Yeraltı sularındaki pH değeri çözünmüş karbondioksit ve diğer karbonat bikarbonat bileşiklerleri arasındaki dengeye bağlı olarak değişmektedir. İnceleme alanındaki suların pH ölçümleri arazide yerinde yapılmıştır. İncelenen suların pH değerleri Mayıs (2014) ayında 6.80 – 7.16 arasında, Ekim (2014) ayında ise 6,7 – 8.3 arasındadır. Ekim ayında Hazar Gölü'nden alınan su örneğinin pH'ı ise 9.0 olup bazik karakterdedir. Genel olarak incelenen suların bir kısmı asit bir kısmı ise bazik karakterdedir (Tablo 3.10).

**Tablo 3.10.** Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin pH değerleri

| Örnek No     | G-1  | G-2  | G-3  | G-4  | G-5  | G-6  | G-7  | G-8  | G-9 | G-10 | G-11 | G-12 | G-13 | G-14 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|
| Mayıs (2014) | 6.99 | 7.16 | 6.96 | 6.88 | 6.98 | 7.03 | 6.87 | 6.98 | 6.8 | 7.12 | -    | -    | -    | -    |
| Ekim (2014)  | 6.7  | -    | 6.7  | -    | 7.7  | 8.3  | 7.5  | -    | 6.9 | -    | 7.5  | 7.3  | 7.9  | 9.0  |

Her iki dönemde de örnekleme yapılan sular arasında G-5, G-6, G-7 nolu suların pH'ı Ekim ayında artarken, G-1 ve G-3 nolu suların pH'ı ise azalmıştır (Tablo 3.10). G-9 nolu kuyu suyunun ise pH'ında belirgin bir farklılık görülmemektedir.

Kireçtaşlarından beslenen yeraltı suları  $\text{HCO}_3^-$ 'ce zengin  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  iyonlarınca fakirdir. Suda  $\text{CO}_2$  gazının çözünmesi, ortamın pH'ını azaltarak asit özelliğinin yükselmesine neden olur.  $\text{CO}_2$  gazı çözünürken su moleküllerindeki  $\text{OH}^-$  iyonları ile birleşerek  $\text{H}^+$  iyonlarının artmasını sağlar. Bunun aksine  $\text{CO}_2$ 'in ortamdan gaz halinde ayrılması sonucu suyun pH'ı yükselerek suya alkali özellik kazandırır (Şahinci, 1991). Karbonatların çözünme mekanizması aşağıda verilmiştir:



Bu reaksiyon aşağıdaki adımları içerir:



Üstteki reaksiyon  $\text{CO}_2$ 'nin su ile olan reaksiyonudur. Bu reaksiyon sonucunda açığa çıkan  $\text{H}^+$  suya asit özellik kazandırarak aşağıdaki reaksiyonla kalsitin çözünmesine neden olur:

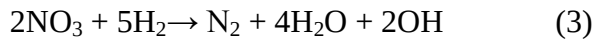
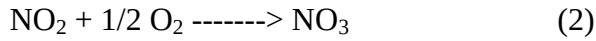


Yukarıda verilen (1) ve (3) nolu reaksiyonda görüldüğü gibi karbonatların çözünürlüğü ortamdaki  $\text{CO}_2$  miktarı ve suyun pH'ı ile kontrol edilmektedir. Ortamdaki  $\text{CO}_2$  miktarı arttıkça ve pH azaldıkça karbonatların çözünürlüğü artar. Ortamdaki  $\text{CO}_2$  tükendiğinde karbonatların çözünmesi tamamlanır ve su kalsite doymun hale gelir (Drever, 2002).

G-5, G-6 ve G-7 nolu sular Mayıs ayında kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doymun değilken Ekim ayında doymun hale gelmiştir (Tablo 3.8). Yağışlı dönemde, yeraltı sularında artan  $\text{CO}_2$  ile birlikte kireçtaşlarının çözünmesi başlamış, kurak dönemde ise azalan  $\text{CO}_2$  ile ilişkili olarak kireçtaşlarının çözünmesi tamamlanmıştır. Bu çözünme ve çökme

mekanizması ile ilişkili olarak G-5, G-6 ve G-7 nolu sulara kurak dönemi temsil eden Ekim ayında  $H^+$  iyon konsantrasyonu düşerken, suların pH'ları yükselmiştir.

G-1 ve G-3 nolu suların pH değerleri ise Ekim (2014) ayında düşmüştür. Bu suların pH'larındaki düşüşün sebebi, yukarıda belirtilen kireçtaşlarının çözünme mekanizması ile ilişkili olabildiği gibi bu sular çevresinde yapılan tarımsal faaliyetlerde kullanılan azotlu gübrelerle ilişkili olarak vadoz zonda gelişen nitrifikasyon reaksiyonları ile ilişkili olmalıdır (Bellitürk vd., 2007).



Yukarıda verilen kimyasal reaksiyonlarda da görüldüğü gibi nitrifikasyon sürecinde  $NH_4$ 'ün nitrite oksitlenmesi basamağında (1 nolu eşitlik)  $H^+$  iyonları açığa çıkmaktadır. Yeraltı suyunda artan  $H^+$  iyon konsantrasyonu ise suyun pH'ını düşürmektedir.

#### 3.5.4.2. Suların Elektriksel İletkenliği (EC)

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Suyun içerisinde çeşitli pozitif (+) ve negatif(-) iyonlar vardır. Bu çözeltide ne kadar fazla iyon varsa, elektrik akımını o kadar kolay geçirecek ve elektrik geçirgenliği o kadar fazla olacaktır.

Elektriksel iletkenlik bir suyun içerdiği iyon miktarının göstergesidir. Suyun içerdiği iyon miktarındaki artışa bağlı olarak elektriksel iletkenlik değeri artış gösterir. İçme suyunda iletkenlik artışı, suyun kirlendiğini ya da suya deniz suyunun karıştığını göstermektedir. Ancak, suda bulunan fakat iyonik formda olmayan kimyasal bileşikler elektriksel iletkenliği etkilemezler.

Sulama suyu elektriksel iletkenliğe göre sınıflandırıldığında:

|                      |                                                                                               |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0-250 $\mu S/cm$     | Çok iyi                                                                                       |
| 250-750 $\mu S/cm$   | İyi                                                                                           |
| 750-2000 $\mu S/cm$  | Kullanılabilir                                                                                |
| 2000-3000 $\mu S/cm$ | İhtiyatla kullanılmalı                                                                        |
| >3000 $\mu S/cm$     | Zararlı kesinlikle kullanılmaz, şeklinde bir sınıflama söz konusudur (Olgun ve Kalkan, 1994). |

İncelenen yeraltı sularının elektriksel iletkenlikleri 418  $\mu\text{S/cm}$  ile 925  $\mu\text{S/cm}$  arasında değişmektedir. Ekim ayında Hazar Gölü'nden alınan G-14 nolu örneğin elektriksel iletkenliği ise 2260  $\mu\text{S/cm}$  dir (Tablo 3.11).

**Tablo 3.11.** Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin EC değerleri

| Örnek No     | G-1 | G-2 | G-3 | G-4 | G-5 | G-6 | G-7 | G-8 | G-9 | G-10 | G-11 | G-12 | G-13 | G-14 |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| Mayıs (2014) | 548 | 474 | 566 | 616 | 418 | 421 | 425 | 560 | 925 | 700  | -    | -    | -    | -    |
| Ekim (2014)  | 419 | -   | 502 | -   | 637 | 438 | 808 | -   | 910 | -    | 706  | 597  | 694  | 2260 |

G-9 nolu su örneği diğer sulardan farklı olarak daha yüksek elektriksel iletkenlik değerine sahiptir. Bu su örneği Hazar Grubu'nun Maden Karmaşığı üzerine bindirdiği fay hattına yakın bir lokasyonda açılmış olan bir sondaj kuyusudur. G-9 nolu suda ölçülen yüksek elektriksel iletkenlik (925  $\mu\text{S/cm}$ ) değerleri derin ve daha uzun süreli su-kayaç etkileşim süresi ile ilişkili olduğu gibi, bu bindirme zonunda oluşan alterasyon mineralleri ile de ilişkili olmalıdır.

TS 266'ya göre elektriksel iletkenlik limit değeri 2500  $\mu\text{S/cm}$ 'dir ancak iyi bir içme suyunun EC değerinin 750  $\mu\text{S/cm}$ 'den az olması istenir. İncelediğimiz sular elektriksel iletkenliklerine göre genel olarak (G-7 ve G-9 hariç) içilebilir özelliktedir (Tablo 3.11).

### 3.5.4.3. Suların Sertlik Dereceleri

Sertlik, su içerisindeki çözülmüş  $\text{Ca}^{+2}$  ve  $\text{Mg}^{+2}$  bileşiklerinden gelen bir özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonattan oluşan sertliğe geçici sertlik, bunlar dışındaki tuzlardan meydana gelen sertliğe de kalıcı sertlik denir. Geçici sertlik, kaynatma ile  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$  çökerek giderilir. Suda kalıcı sertlik ise, kalsiyum ve magnezyumun karbonat ve bikarbonat dışındaki tuzlardan ileri gelir. Kalıcı sertlik, kaynatılmakla giderilmez. Geçici sertlik ile kalıcı sertlik toplamı toplam sertliği verir. Suyun sertliği ölçmek için değişik yöntemler vardır. Bunlar:

1 Alman sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg/l  $\text{CaO}$ 'a;

1 Fransız sertliği ise 1 litre suda bulunan 10 mg/l  $\text{CaCO}_3$ 'a karşılık gelen sertlik verici tuz veya iyonunun meydana getirdiği sertliktir. Suyun içerdiği Ca ve Mg iyonlarının mek/L

cinsinden değerlerinin toplamının 5 katı “Toplam Fransız Sertliği” olarak tanımlanmaktadır. Toplam Fransız sertliği 0.56 ile çarpılarak “Toplam Alman Sertlik Derecesi” bulunur. 1 İngiliz sertlik derecesi ise Fransız sertlik derecesinin 1.43 ile çarpımına eşittir.

Suların Fransız sertlik derecesine göre sınıflaması aşağıda verilmiştir (Şahinci, 1991):

| <b><u>Fransız Sertliği</u></b> | <b><u>Suyun Sınıfı</u></b> |
|--------------------------------|----------------------------|
| 0.0 – 7.2                      | Çok Yumuşak                |
| 7.2 – 14.5                     | Yumuşak                    |
| 14.5 – 21.5                    | Az Sert                    |
| 21.5 – 32.5                    | Oldukça Sert               |
| 32.5 – 54.0                    | Sert                       |
| >54                            | Çok Sert Sular             |

İncelenen suların Mayıs (2014) ayı sonuçlarına göre hesaplanan Fransız sertlik dereceleri 22,4 ile 49,75 arasında değişmektedir. Bunlardan G-1, G-2, G-3, G-6 ve G-8 “Oldukça sert sular sınıfında”, diğer sular ise “Sert sular” sınıfında yer almaktadır.

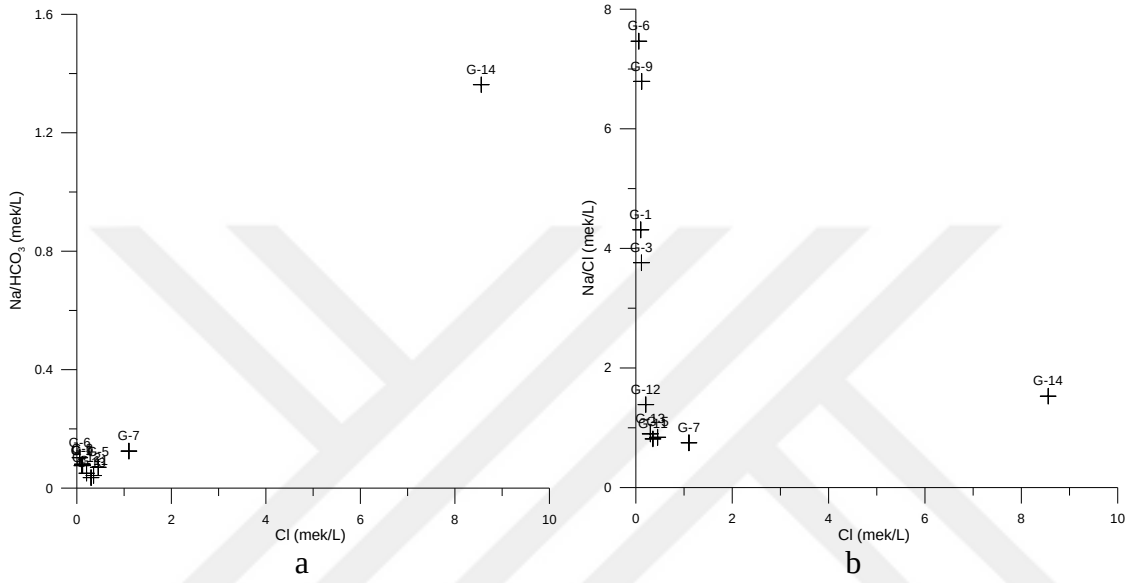
Ekim (2014) ayı sonuçlarına göre ise sularına göre hesaplanan Fransız sertlik dereceleri 24 ile 43,45 arasında değişmektedir. Bunlardan G-1, G-3 ve G-6 nolu kuyulardan alınan sular “Oldukça sert sular” sınıfında, diğerleri “Sert” sınıfında yer almaktadır.

#### **3.5.4.4. Göl Suyu- Yeraltı Suyu Etkileşiminin İncelenmesi**

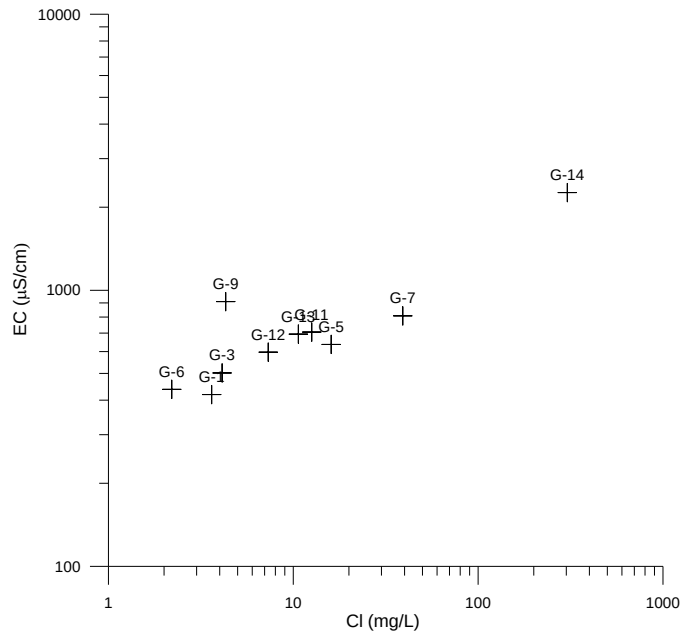
Çalışma alanı içerisinde, Hazar Gölü ile özellikle sahile yakın bölgelerde, alüvyon akifer içerisinde açılmış olan keson ve sondaj kuyu suları arasında bir etkileşimin olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla suların kimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Bu amaçla, suların majör anyon ve katyonları arasındaki ilişkiler ile bu iyonların birbirleri ile oransal ilişkileri incelenmiştir. Çalışma kapsamında Hazar Gölü suyunun kimyasal analizi Ekim (2014) ayında yapıldığından bu ayda örneklenen ve kimyasal analizleri yapılan yeraltı suları hidrojeokimyasal açıdan değerlendirilmiştir.

Cl<sup>-</sup> iyonu tatlı- tuzlu su girişiminin incelenmesinde yaygın olarak kullanılan bir anyondur. Bunun sebebi, girişim yapan tuzlu suyun Cl<sup>-</sup> konsantrasyonunun, girişim yaptığı akifer içerisinde de fazla değişmeden, benzer oranlarda korunmasıdır. Bir sahil akiferinde tuzluluk oluşturabilecek başka herhangi bir kaynak yok ise yeraltı sularındaki yüksek Cl<sup>-</sup> konsantrasyonu girişimin bir kanıtı olarak tanımlanabilir (Özler, 2003). İncelenen suların

analiz sonuçlarından  $\text{Cl}^-$ 'e karşı  $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^-$  ve  $\text{Na}^+/\text{Cl}$  grafikleri çizildiğinde diğer sulardan farklı olarak G-7 nolu suyun G-14 nolu suya (Hazar Gölü) doğru yöneliminin olduğu görülmektedir (Şekil 3.19 a, b). Benzer şekilde, suların EC ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) değerlerine karşı  $\text{Cl}^-$  ( $\text{mg}/\text{L}$ ) değerleri grafiklendirildiğinde G-7 nolu suyun G-14 nolu (Hazar Gölü) suya doğru yönelim göstermesi, G-7 nolu suyun Hazar Gölü girişiminin etkisi altında olabileceğini düşündürmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.19. İncelenen suların kurak dönem (Ekim-2014) (a)  $\text{Na}^+/\text{HCO}_3^- - \text{Cl}^-$ , (b)  $\text{Na}^+/\text{Cl}^- - \text{Cl}^-$  grafikleri



Şekil 3.20. İncelenen suların kurak dönem (Ekim-2014)  $\text{Cl}^-$ - EC ilişkisi

### 3.5.5. Suların İçme ve Kullanma Açısından Değerlendirilmesi

Etkileşimde oldukları kayaçlarla farklı fiziksel ve kimyasal özellikler kazanan doğal suların kullanım alanları kazandıkları özelliklerine göre belirlenmektedir. Bu bölümde çalışma alanındaki suların içme ve kullanım özelliklerinden bahsedilecektir.

Doğal suların güvenilir olarak içilebilmesi için içerisindeki maddelerin belirli limitler arasında olması gerekmektedir. Bu nedenle birçok ülke kendi kaynaklarına göre içme suyu standartları geliştirmiştir (Tablo 3.12).

Yeraltı sularının doğal niteliği, yağış olarak yeryüzüne düşen suyun kalitesi ile tayin edilir. Su belli bir süre organik madde, toprak ve kayaçlar ile temas halinde bulunur ve bunun neticesi olarak yeraltı suyu kalitesinde değişiklikler meydana gelir. Yüzey ve yeraltı sularının kaynağı yağışlar olmasına rağmen, yeraltı suları yüzey sularından daha fazla miktarlarda erimiş madde içerir. Yağmurun yere düşmesi, süzülmenin başlaması ve suyun toprak ve kayaçların boşluklarından geçmesiyle su temas ettiği bazı maddeleri eritir. Böylece, yerçekimine bağlı olarak aşağıya doğru süzülen suya iyonlar eklenir. Su içerisinde bulunan bazı elementler miktarına ve etkileşim süresine bağlı olarak sınır değerleri aştığı için zehirli etki yapabilmektedir (As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ba, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, NH<sub>4</sub>, F, Cl, radyoaktif maddeler gibi) (Varol ve diğ., 2008; Küçükatabey, 2012).

Sularda az miktarda Fe bulunmaktadır. Ancak Fe konsantrasyonu çoğu hallerde 10 mg/L'yi geçmez. Birçok kayacın bileşiminde yaygın ve bol miktarda demir elementi vardır. Volkanik kayaçların içerdiği önemli elementlerden biri de Fe'dir. Yüzey sularında Fe çözünmüş halde bulunabileceği gibi asılı halde süspansiyon partikülleri halinde de bulunabilirler. Genel olarak incelenen suların Fe içeriklerine bakıldığında G-9 nolu kuyunun Ekim (2014) değerinin 1,062 mg/L olduğu görülmektedir. Bu değer TS266'ya göre belirlenen limit değer (0,2 mg/L) oldukça üstündedir. G-9 nolu suda bulunan yüksek konsantrasyondaki Fe'nin Maden karmaşığını oluşturan volkanosedimanter kayaçlar ile Guleman ofiyolitlerine ait kayaçlardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. G-9 nolu kuyunun 1,033 mg/L olan Mn değeri de sınır değerin (TS266 ya göre 0,05 mg/L) oldukça üzerindedir. Mn kayaçlarda Fe'den daha az bulunan bir element olup sudaki etkileri Fe'ye benzemektedir. Mn'nin demirle birlikte yüksek çıktığı bu su örneğinde Mn'nin kaynağı da yine bölgede yüzeyleme veren volkanosedimanter kayaçlar ile ofiyolitlerdir. Yüksek mangan ve demir değerine sahip sular genelde tat, koku, çamaşır lekeleri ve besinlerin rengini yitirmesi gibi durumlardan dolayı istenmemektedir.

Alüminosilikatlerin ana elementi olan Al pek çok kayacın ana bileşenidir. Al'nin çözünürlüğü özellikle asitliğe bağlıdır. Yerkabuğunda çok fazla bulunan Al sularda nadiren bulunur. Feldispat, feldispatoit, mika gibi bazı minerallerin bileşiminde alüminyum vardır. Al bileşikleri suda hemen hemen hiç çözünmemektedir. Bu nedenle normal sularda ancak 0-1 mg/L arasında Al bulunabilmektedir. G-9 nolu kuyuda 0,193 mg/L olan Al içeriği sınır değere (TS266 ya göre 0,20 mg/L) yakın bir değerdir.



**Tablo 3.12.** İçme sularının Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005), Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Avrupa Birliği (EC-1998) tarafından belirtilen limit değerleri.

| <b>Parametreler</b>              | <b>Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005)</b> | <b>Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) (1999)</b> | <b>Avrupa Birliği (EC) (1998)</b> |
|----------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------|
| pH                               | 6.5 – 9.5                                       | 6.5 – 8.5                                  | 6.5 – 9.5                         |
| Bulanıklık (NTU)                 | 5.00                                            | 5.00                                       | 1.00                              |
| Koku                             | Normal                                          | -                                          | -                                 |
| TDS (mg/L)                       | -                                               | 1.000                                      | -                                 |
| Elektriksel İletkenlik (µS/cm)   | 2.500                                           | -                                          | -                                 |
| Tuzluluk                         | -                                               | -                                          | -                                 |
| Amonyum (mg/L)                   | 0.500                                           | 1.500                                      | 0.500                             |
| Demir (mg/L)                     | 0.200                                           | 0.300                                      | 0.200                             |
| Mangan (mg/L)                    | 0.050                                           | 0.100                                      | 0.050                             |
| Alüminyum (mg/L)                 | 0.200                                           | 0.200                                      | 0.200                             |
| Sülfat (mg/L)                    | 250.0                                           | 250.0                                      | 250.0                             |
| Magnezyum (mg/L)                 | 50                                              | -                                          | -                                 |
| Sodyum (mg/L)                    | 200                                             | 200                                        | 200                               |
| Potasyum (mg/L)                  | 12                                              | -                                          | -                                 |
| Serbest Klor (mg/L)              | 0.5                                             | 5                                          | -                                 |
| Kalsiyum (mg/L)                  | 200                                             | -                                          | -                                 |
| Klorür                           | 250.0                                           | 250.0                                      | 250.0                             |
| <b>KİMYASAL ÖZELLİKLER</b>       |                                                 |                                            |                                   |
| Sertlik (Fs°)                    | -                                               | 50.0                                       | -                                 |
| Nitrit (mg/L)                    | 0.500                                           | -                                          | 0.500                             |
| Nitrat (mg/L)                    | 50.0                                            | 50.0                                       | 50.0                              |
| Bakır (mg/L)                     | 2.000                                           | -                                          | 2.000                             |
| Siyanür (mg/L)                   | 0.050                                           | 0.070                                      | 0.050                             |
| Arsenik (mg/L)                   | 0.010                                           | 0.010                                      | 0.010                             |
| Kurşun (mg/L)                    | 0.010                                           | 0.050                                      | 0.010                             |
| Kadmiyum (mg/L)                  | 0.005                                           | 0.003                                      | 0.005                             |
| Krom (mg/L)                      | 0.050                                           | 0.050                                      | 0.050                             |
| Nikel (mg/L)                     | 0.020                                           | 0.020                                      | 0.020                             |
| <b>MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER</b> |                                                 |                                            |                                   |
| E. Coli                          | 0/100 ml                                        | -                                          | 0/100 ml                          |
| Koliform                         | 0/100 ml                                        | -                                          | 0/100 ml                          |
| Koloni Say, (22°C)               | Normal                                          | -                                          | -                                 |

### 3.5.6. Suların Sulamada Kullanımı Açısından Değerlendirilmesi

Suların sulama suyu olarak kullanılabilmesi için kimyasal yapısının belirli kriterlere uygun olması gerekmektedir. Çünkü suların kimyasal özellikleri toprak ve bitki üzerinde doğrudan etkilidir. Su içerisindeki bazı iyonların gerekenden fazla olması toprak ve bitkileri etkileyerek düşük verim alınmasına neden olmaktadır. Düşük verime neden olan iyonlardan biri  $Na^+$  dur ve su içerisindeki miktarının bilinmesi gerekmektedir. Çalışma alanındaki suların sulamaya elverişli olup olmadığını belirleyebilmek amacıyla ABD tuzluluk laboratuvarı ve Wilcox diyagramları kullanılmıştır.

#### 3.5.6.1. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

Sulama sularının sınıflandırılmasında kullanılan ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramında yapılan sınıflandırmada kaynak ya da sondaj kuyu sularının  $25^{\circ}C$ 'deki elektriksel iletkenlik ve sodyum adsorbsiyon oranları (SAR) kullanılmıştır.

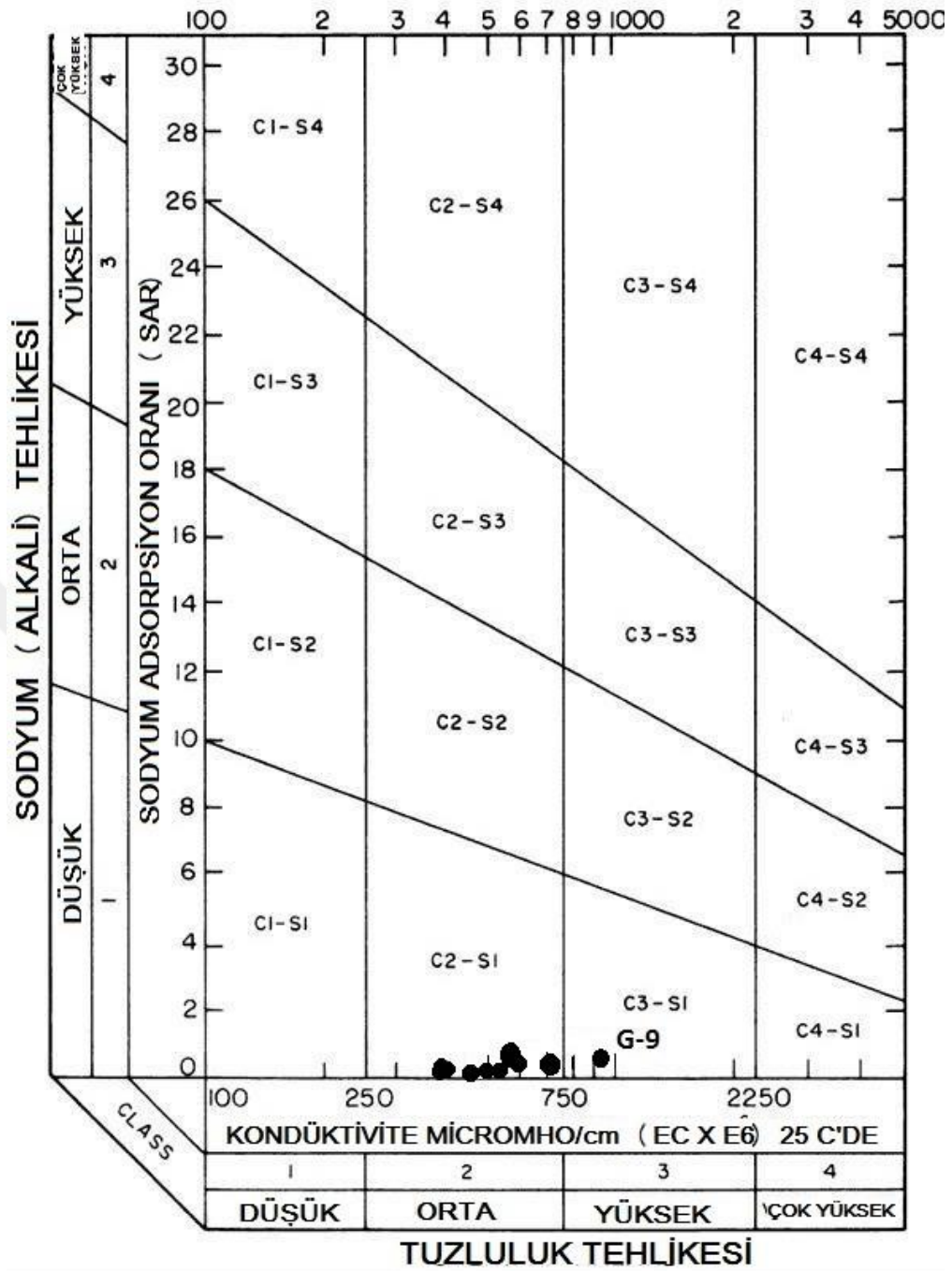
SAR değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{+2} + rMg^{+2}}{2}}}$$

ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı, tuzluluk ve sodyum tehlike derecesine göre 16 bölgeye ayrılmış olup hangi bölgedeki sudan hangi bitkilerin yararlanacağı belirlenmiştir (Canik, 2003).

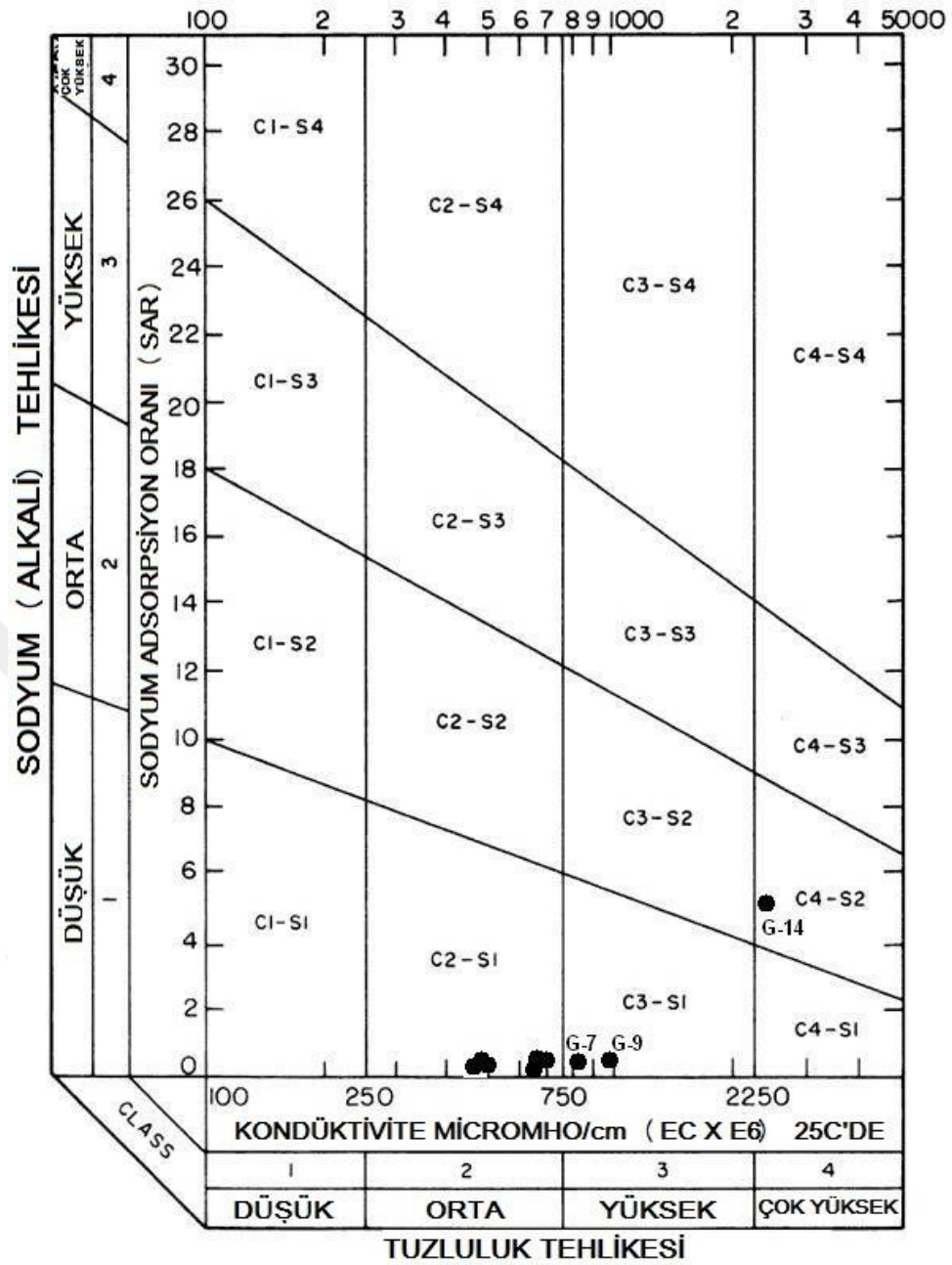
**Tablo 3.13.** Suların tuzluluk ve sodyum miktarına göre sınıflandırılması

|                                             |       |                                                                                                                            |
|---------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tuzluluğa<br>Göre<br>Alt<br>Sınıflar        | $C_1$ | Az tuzlu su. Bitkilerin çoğu için sulama suyu olarak kullanılabilir.                                                       |
|                                             | $C_2$ | Orta tuzlulukta su. Orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için                                                      |
|                                             | $C_3$ | Fazla tuzlu su. Drenaj yapılmaksızın bitkiler için kullanılamaz. Bazı bitkiler için kullanılabilir.                        |
|                                             | $C_4$ | Çok fazla tuzlu su. Sulama suyu için uygun değil. Ancak çok iyi drenajı yapılmış olanlarda bazı bitkiler yetiştirilebilir. |
| Sodyum<br>Miktarına<br>Göre Alt<br>Sınıflar | $S_1$ | Az sodyumlu su. Sodyuma karşı duyarlı olan bitkilerin dışında her türlü tarım için uygun.                                  |
|                                             | $S_2$ | Orta derecede sodyumlu su. Permeabilitesi iyi olan jipsli arazi için uygun.                                                |
|                                             | $S_3$ | Fazla sodyumlu su. Ender hallerde sulama suyu olarak kullanılabilir.                                                       |
|                                             | $S_4$ | Çok fazla sodyumlu su. Çok düşük tuzluluk hallerinin dışında sulama suyu olarak kullanılmaz                                |



Şekil 3.21. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Mayıs - 2014)

Mayıs (2014) ayı analiz sonuçlarına göre 10 adet su numunesi için çizilen ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında G-1, G-2, G-3, G-4, G-6, G-7, G-8, G-10 nolu su numuneleri C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında, G-9 ise C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında gruplanmıştır (Şekil 3.21). C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alan sular orta derecede tuzlulukta ve az sodyumlu sulardır. Bu suların sulama suyu olarak kullanımı orta derecede suya ihtiyaç duyan bitkiler ve permeabilitesi iyi olan jipsli araziler için uygundur. C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında yer alan sular ise fazla tuzludur ve tarımsal faaliyetlerde genellikle kullanılmaz.



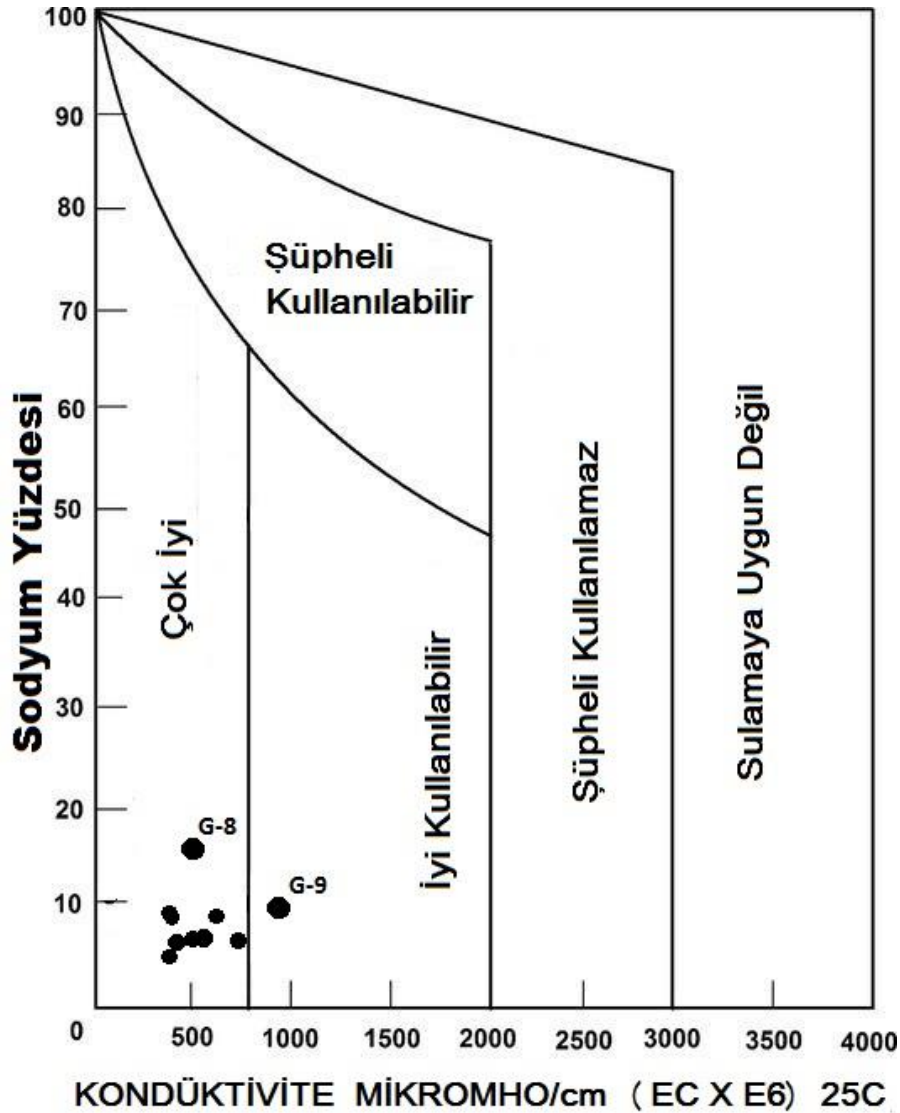
Şekil 3.22. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Ekim - 2014).

Ekim (2014) ayı analiz sonuçlarına göre yine 10 adet su numunesi için çizilen ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramında G-1, G-3, G-5, G-6, G-11, G-12, G-13 nolu su numuneleri C<sub>2</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında, G-7 ve G-9 nolu sular C<sub>3</sub>-S<sub>1</sub> sınıfında, G-14 nolu Hazar Gölü suyu ise C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub> sınıfında gruplanmıştır (Şekil 3.22). C<sub>4</sub>-S<sub>2</sub> sınıfında yer alan Hazar Gölü suyu tuzluluğuna göre “Çok fazla tuzlu sular” sınıfında bulunmakla birlikte sulama suyu için uygun değildir.

### 3.5.6.2. Wilcox Diyagramı

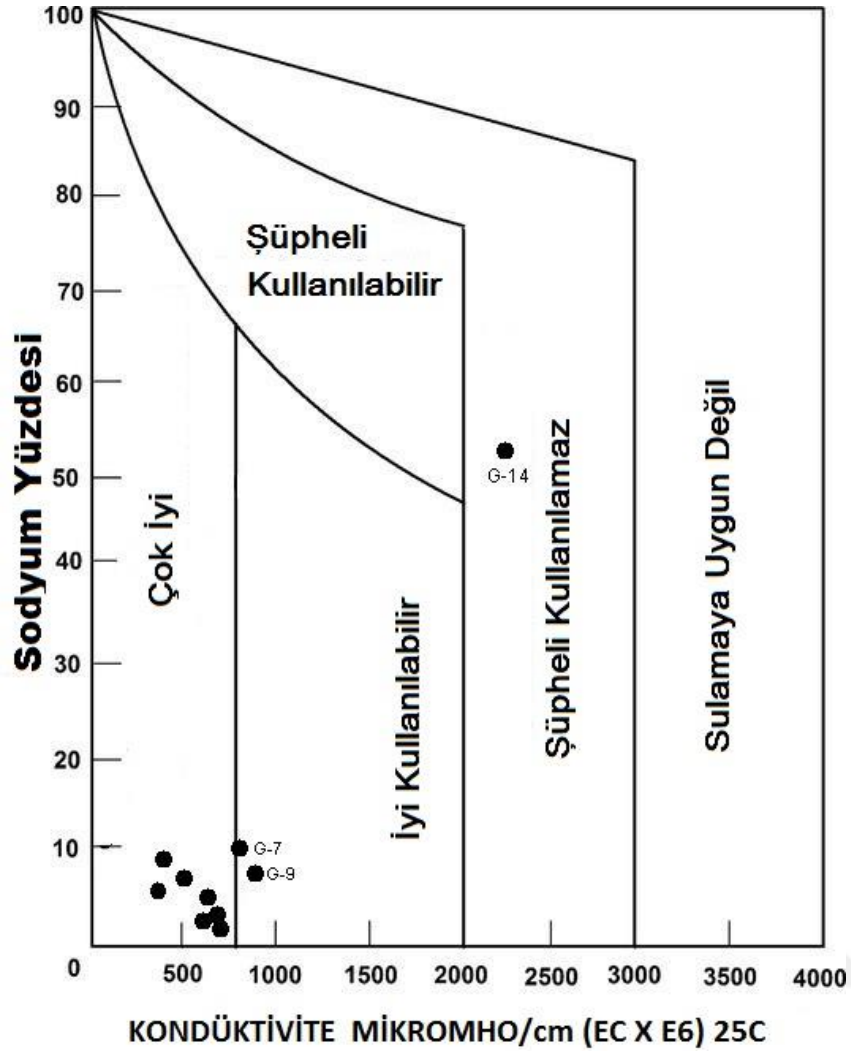
Wilcox diyagramı, suların EC ve sodyum yüzdeleri (%Na) kullanılarak çizilmiştir. %Na değeri aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\%rNa = \frac{(rNa + rK) * 100}{rCa + rMg + rNa + rK}$$



Şekil 3.23. İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Mayıs - 2014).

Suların Mayıs (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyagramında G-1, G-2, G-3, G-4, G-5, G-6, G-7, G-8, G-10 nolu sular “çok iyi”, G-9 nolu su ise “İyi, kullanılabilir” sular grubuna girmektedirler (Şekil 3.23).



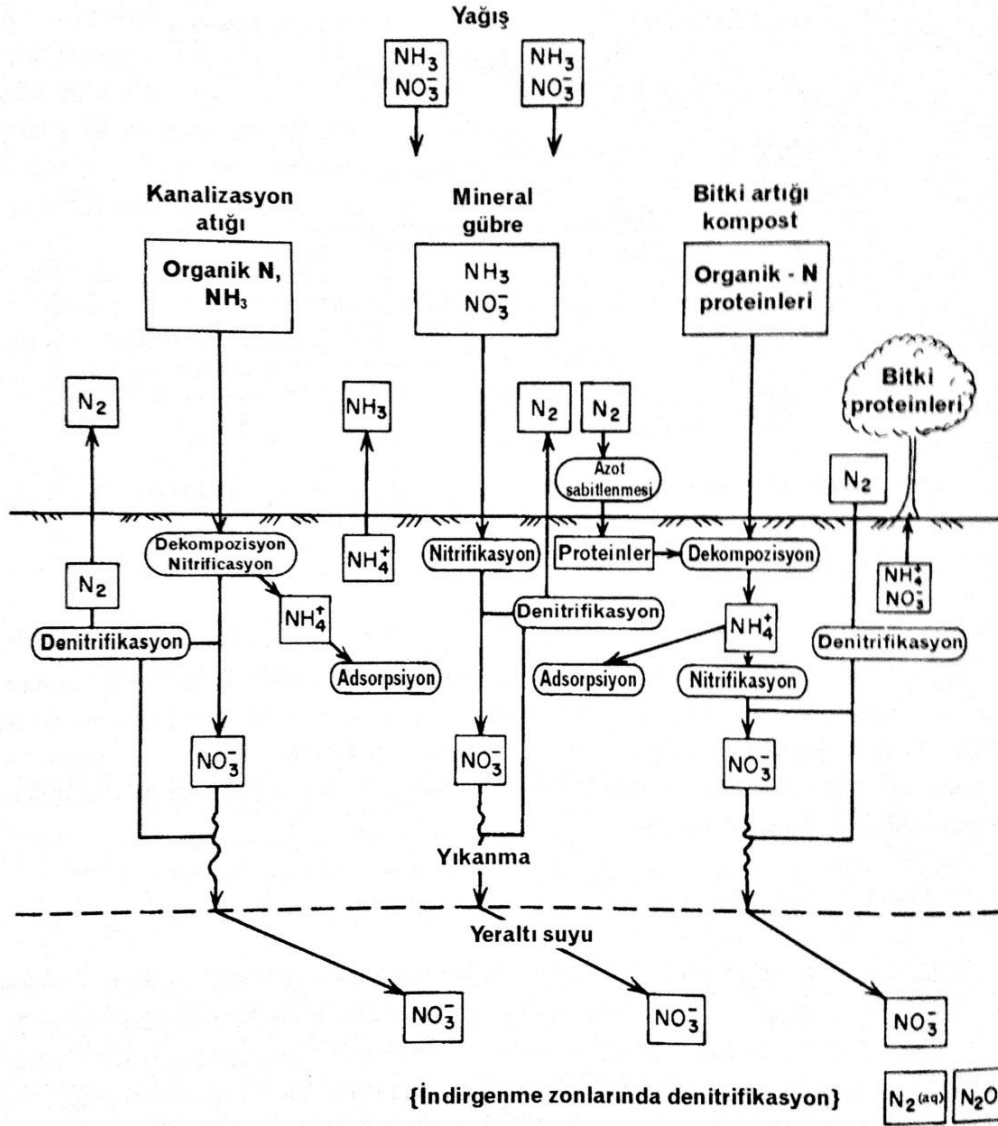
Şekil 3.24. İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Ekim - 2014).

Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen diyagramda ise G-1, G-3, G-5, G-6, G-11, G-12, G-13 nolu sular “Çok iyi”; G-7, G-9 “İyi kullanılabilir”; G-14 nolu Hazar Gölü suyu ise “Şüpheli-uygun değil” sular grubuna girmektedirler (Şekil 3.24).

### 3.5.7. Yeraltı Suyu Kirliliği

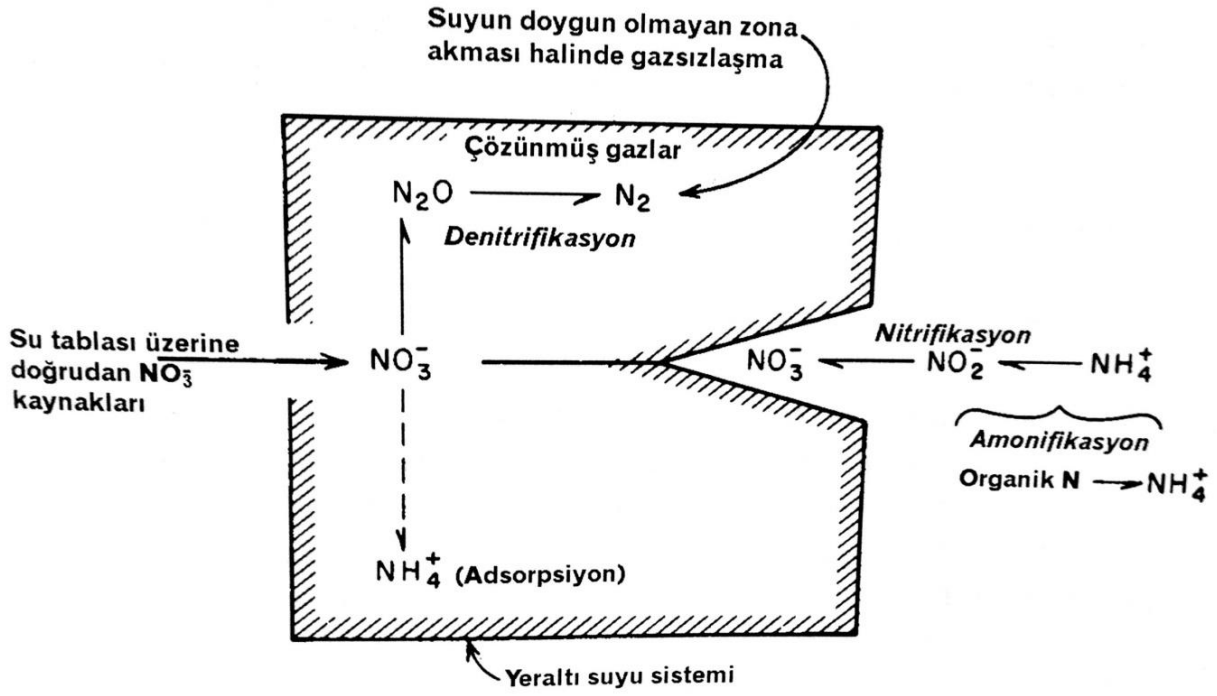
Yeraltı suları değişim ve seyrelme kapasitelerinin çok sınırlı olması nedeniyle kirlenmeye karşı yüzeysel sulardan daha duyarlıdır. Kirlетici unsurları jeolojik ve antropojen kökenli olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Jeolojik kökenli kirlilik; suların içerisinde geçtikleri kayalarla etkileşimleri nedeniyle bünyelerine aldıkları elementlerden kaynaklanan kirliliktir. Su içerisinde bulunan elementlerin miktarı etkileşim süresi ve sıcaklığı bağlı olarak değişir. Yeraltı suları kirliliğini oluşturan en büyük etkenler ise; antropojen kökenli olarak ifade edilen katı-sıvı atıklar, tarımsal faaliyetler ve çeşitli endüstri kuruluşlarından kaynaklanan kirliliktir (Örmeci, 2005). Kirliliğin tespiti için kirlilik parametrelerinin kimyasal analizler yardımıyla tespit edilmesi gerekmektedir. Yeraltı sularında çok rastlanan kirlетici maddeler azot bileşikleri olan nitrat, nitrit, amonyak, ağır metaller ve zehirli bileşiklerdir (Uslu ve Türkman, 1987).

Yeraltı suyundaki nitratın genellikle yer yüzeyindeki, zemin kuşağındaki veya nitratça zengin atıkların bulunduğu yerlerdeki nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) kaynağından türemektedir (Şekil 3.25). Yeraltı suyuna giren  $\text{NO}_3^-$  bazı durumlarda arazi yüzeyine saçılan gübre veya atıklardan kaynaklanır. Bunlar nitratın doğrudan kaynakları olarak değerlendirilir. Diğer durumlarda  $\text{NO}_3$  doğal olarak veya zemine beşeri faaliyetler yoluyla giren organik azotun veya  $\text{NH}_4^+$ 'un dönüşümünden kaynaklanır. Organik azotun  $\text{NH}_4^+$ 'a dönüşüm sürecine amonifikasyon denir. Nitrifikasyon sürecinde  $\text{NH}_4^+$  oksitlenme ile  $\text{NO}_3^-$ 'a dönüşür. Amonifikasyon ve nitrifikasyon süreçleri genellikle organik madde ve oksijenin bol olduğu su tablası üzerindeki zemin kuşağında oluşur. Bu nedenle, bu süreçler Şekil 3.26'de yeraltı suyu akış sistemi sınırları dışındaki  $\text{NO}_3$  üreticileri olarak temsil edilmişlerdir (Freeze ve Cherry, 2003).



Şekil 3.25. Yeraltı ortamında azotun kaynağı ve hareket yolları (Freeze ve Cherry, 2003).

Yeraltı suyunda genellikle rapor edilen  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyon değer aralığı sadece çözünürlük ile sınırlı değildir. Bu sebepten ve de anyon formundan dolayı,  $\text{NO}_3^-$  yeraltı suyunda çok hareketlidir.  $\text{NO}_3^-$ , çözülmüş azotun kuvvetli şekilde oksitleyici olan yeraltı suyundaki duraylı formudur. Yeraltı suyunda bir dönüşüme uğramadan ve çok az ya da sıfır gecikme ile hareket eder. İleri derecede geçirgen çökeller veya çatlaklı kaya içindeki sık yeraltı su genellikle bolca çözülmüş  $\text{O}_2$  ihtiva eder.  $\text{NO}_3^-$ 'ün girdi alanlarından büyük mesafelere göç ettiği alanlar bu hidrojeolojik ortamlarda yer alır (Freeze ve Cherry, 2003).



Şekil 3.26. Yeraltı suyu sisteminde azot girdileri ve dönüşümleri (Freeze ve Cherry, 2003).

Yeraltı suyunun redoks potansiyelindeki bir azalım bazen,  $\text{NO}_3^-$ 'ın  $\text{N}_2\text{O}$  veya  $\text{N}_2$ 'ye dönüştüğü bir süreç olan azot tüketmeye neden olabilir (Şekil 3.25).

Şekil 3.26'de  $\text{NO}_3^-$  indirgenmesinin azot tüketme yoluna ek olarak  $\text{NH}_4^+$ 'e giden bir kol olduğu görülmektedir. Reaksiyona maruz kalan  $\text{NO}_3^-$ 'ün küçük bir bölümü biyokimyasal nedenlerden dolayı bu izi takip eder.  $\text{NH}_4^+$  yeraltı suyunda bu süreçle üretilirse, sonuçta büyük bir kısmı jeolojik birimdeki kil veya silt boyundaki partiküller tarafından adsorplanır (Freeze ve Cherry, 2003).

Çalışma kapsamında 10 adet su örneğinin Mayıs (2014) ve Ekim (2014) aylarında  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$  analizleri yapılmıştır (Tablo 3.14).

**Tablo 3.14.** İncelenen suların  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları (a.y.=Analiz yapılmadı).

| Örnek No | Örnekleme Yapılan Su Noktası | Mayıs (2014) (mg/l)        |                            |                             | Ekim (2014) (mg/l)         |                            |                             |
|----------|------------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|
|          |                              | Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) | Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) | Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) | Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) | Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) | Amonyum ( $\text{NH}_4^+$ ) |
| G-1      | Sondaj Kuyusu                | <0.01                      | 1.68                       | 0.11                        | <0.01                      | 7.23                       | 0.98                        |
| G-3      | Keson Kuyu                   | <0.01                      | 15.02                      | 0.13                        | <0.01                      | 4.59                       | 0.90                        |
| G-5      | Keson Kuyu                   | <0.01                      | 46.72                      | 0.18                        | 0.18                       | 36.81                      | 0.25                        |
| G-6      | Kaynak Suyu                  | <0.01                      | 1.92                       | 0.17                        | <0.01                      | 1.91                       | 0.47                        |
| G-7      | Keson Kuyu                   | <0.01                      | 10.83                      | 0.19                        | <0.01                      | 10.49                      | 0.50                        |
| G-9      | Sondaj Kuyusu                | 0.313                      | 2.22                       | 0.24                        | <0.01                      | 0.26                       | 1.13                        |
| G-11     | Keson Kuyu                   | a.y.                       | a.y.                       | a.y.                        | <0.01                      | 19.52                      | 0.14                        |
| G-12     | Keson Kuyu                   | a.y.                       | a.y.                       | a.y.                        | <0.01                      | 20.43                      | 0.25                        |
| G-13     | Keson Kuyu                   | a.y.                       | a.y.                       | a.y.                        | <0.01                      | 10.43                      | 0.09                        |
| G-14     | Hazar Gölü                   | a.y.                       | a.y.                       | a.y.                        | 0.313                      | 1.10                       | 10.23                       |

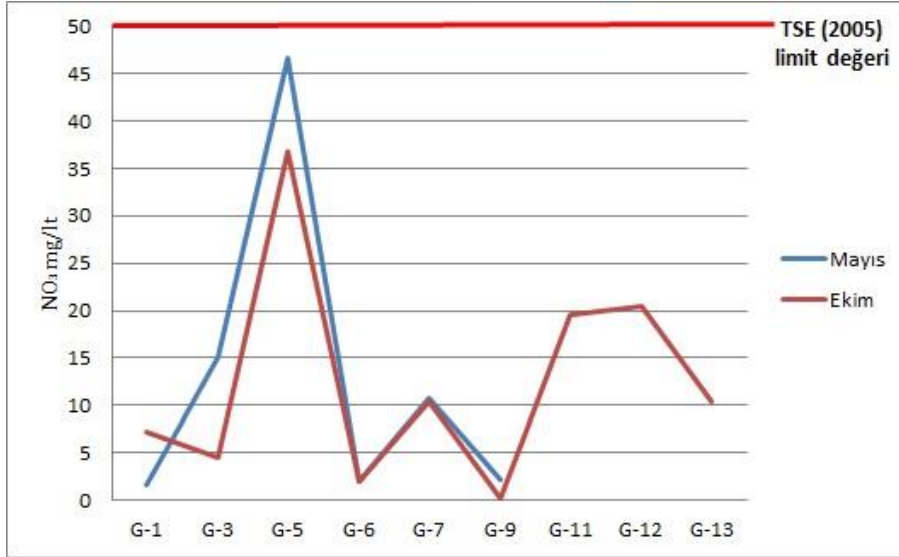
İnceleme alanı içindeki gübreleme çalışmaları Mart, Temmuz ve Eylül aylarında ürünü fazlaştırmak amacıyla yapılmaktadır. Bu kapsamda yöre halkı tarafından kullanılan kimyasal gübreler %26 Kalsiyum Amonyum Nitrat (CAN), Diamonyum Fosfat (DAP), %33 Amonyum Nitrat ve üredir. Bu kimyasal gübrelerin dışında hayvansal gübreler de kullanılmaktadır.

İncelenen yeraltı sularında Mayıs (2014) ayında G-9 nolu kuyu suyunda 0,31 mg/L olan  $\text{NO}_2^-$  konsantrasyonu Türk Standartları Enstitüsü (2005) tarafından belirlenen limit değerine yakın bir değerdedir. Yeraltı sularında azotun  $\text{NO}_2^-$  şekli ya  $\text{NO}_3^-$  indirgenmesi ya da  $\text{NH}_4^+$  bileşiklerinin oksitlenmesi ile görülmektedir.  $\text{NO}_2^-$ 'nin limit değerlerin üstünde görülmesi o suya evsel ve endüstriyel atık suların karıştığının göstergesidir. Ayrıca  $\text{NO}_2^-$ 'nin varlığı ortamda aktif bir biyolojik olayın gerçekleştiğinin göstergesidir. Çok düşük değerlerde bulunması bile kirlenmenin başladığını göstermektedir (Foto 3.2).



**Foto 3.2.** G-9 nolu kuyu ve çevresinde yapılan fidan yetiştiriciliği

Mayıs ve Ekim aylarında incelenen sularda G-5 nolu kuyu suyunun  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu 46,72 ve 36,81 mg/L olarak belirlenmiş olup Türk Standartları Enstitüsü (2005)'de belirtilen limit değerine (50 mg/L) yakın çıkmıştır (Şekil 3.27). Suların  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonu daha çok dış etkenlerden kaynaklı olarak artış veya azalma göstermektedir. Özellikle tarımsal amaçlı kullanılan kimyasal gübreler, büyükbaş hayvan dışkıları ve kanalizasyon atıkları sularda  $\text{NO}_3^-$  miktarını arttırmakta ve yeraltı sularında  $\text{NO}_3^-$  kirliliğine neden olmaktadır.



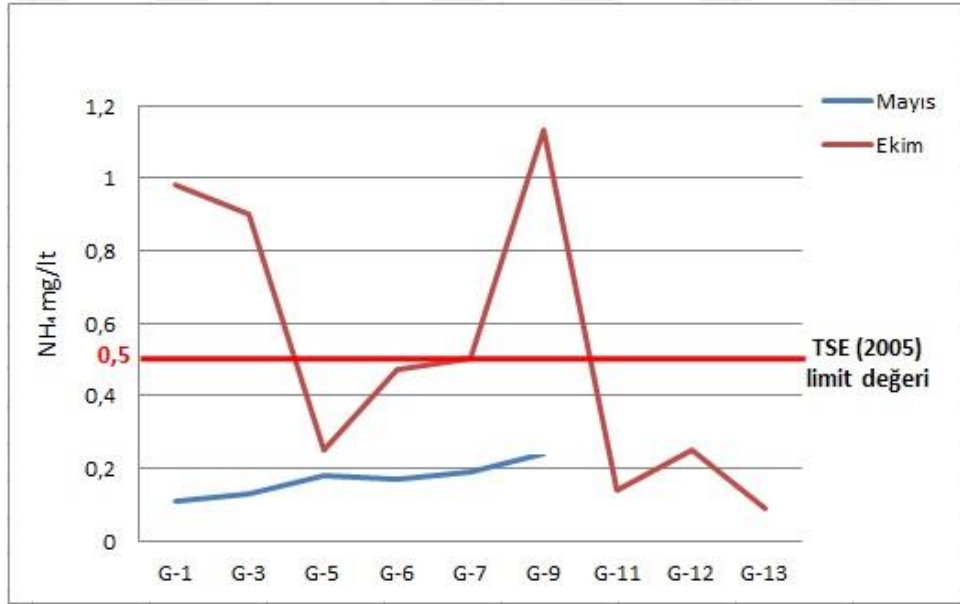
**Şekil 3.27.** İncelenen sularda  $\text{NO}_3^-$  ün Mayıs (2014) ve Ekim (2014) aylarındaki değişim grafiği.

G-5 nolu su örneği ofiyolitler içerisinde açılmış bir keson kuyudan alınmıştır. Bu keson kuyusunun açıldığı lokasyon yakınında bahçe tarımı yapılmaktadır (Şekil 3.6). Bahçe tarımında kimyasal bileşimli gübre ile hayvansal gübre kullanılmaktadır. Hayvan gübreleri herhangi bir tedbir alınmadan zemin üzerinde, açıkta depolanmaktadır. Kuyunun bulunduğu alanda ve kuyuya yakın yerlerde tarımsal faaliyetler yapılmakta ve sızdırmazlık zemin kullanılmadan büyükbaş hayvan dışkıları gübre olarak kullanılmak üzere açıkta biriktirilmektedir (Foto 3.3). G-5 nolu kuyu suyunda tespit edilen  $\text{NO}_3^-$  'ün kaynakları bu kirletici etkenler olmalıdır.



**Foto 3.3.** G-5 nolu kuyu çevresindeki arazi kullanımı

Çalışma kapsamında Ekim (2014) döneminde incelenen sulara özellikle G-1, G-3, G-7 ve G-9 nolu kuyu sularında  $\text{NH}_4^+$  konsantrasyonu, Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005) tarafından belirtilen limit değerin üzerinde belirlenmiştir (Şekil 3.28.). Sınır değerin üstünde sonuç elde edilen G-1 nolu kuyunun kuzeyinde, yazlıkların olduğu bir site içerisinde foseptikler bulunmaktadır (Şekil 3.6). Bu foseptiklerin sızdırmalı olması sebebiyle evsel atıkların yeraltı sularına karıştığı sonucuna varılmaktadır. Sularda  $\text{NH}_4^+$  fazlalığı mikrobiyolojik kirlenmenin kimyasal belirtisidir ve suların mikroorganizmalar tarafından kirlendiğini gösterir. Bu kirlilik özellikle alıcı ortamla direk bağlantılı foseptik kuyulardan ve büyükbaş hayvan atıklarından kaynaklanabilir. Ayrıca yüksek pH'lı sulara amonyumun toksik etkisi artmaktadır.



Şekil 3.28.  $\text{NH}_4^+$  ün dönemlere göre değişim grafiği.

Sularda  $\text{NH}_4$  konsantrasyonunun artışı alüvyon malzeme içerisindeki kil ve silt boyu partiküller tarafından önceden adsorplanmış olan  $\text{NH}_4^+$ 'ün yağışlarla yıkanması ve/veya kimyasal gübrelerin bileşiminde bulunan organik azotun amonifikasyonu ile ilişkilidir.

Genel olarak incelenen sulara standartlara (Tablo 3.12 ve Tablo 3.14) yakın veya üzerinde tespit edilen  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$ , konsantrasyonları çalışma alanında özellikle yaz aylarında yapılan bahçe tarımında kullanılan yapay ve doğal gübrelerden, gübrelerin açıkta depolanması ve önlem alınmadan yapılan dolayısıyla doğrudan deşarja sebep olan foseptiklerden kaynaklandığı söylenebilir.

### 3.6. İzotop Hidrolojisi

İzotoplar, aynı elementin farklı sayıda nötrona sahip çeşitleridir. Esas olarak duraylı, radyoaktif ve yapay olmak üzere üç ayrı tür izotop söz konusudur. Duraylı izotoplar, buharlaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal proseslerle konsantrasyonları değişmesine rağmen zaman içinde değişmeyen izotoplardır. Yani, duraylı (kararlı) izotoplar, radyoaktif bozuşma göstermeyen izotoplardır. Duraysız (radyoaktif) izotoplar ise radyoaktif bozuşma yoluyla ( $\alpha$ -bozuşması,  $\beta$ -bozuşması, nükleer fizyon gibi) başka bir elemente dönüşen izotoplardır.  $^{87}\text{Rb}$ ,  $^{147}\text{Sm}$ ,  $^{235,238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  gibi radyoaktif izotoplar, yaygın olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılırlar (Altinkale, 2004). Radyoaktif izotoplardan ayrı olarak radyoaktif olmayan herhangi bir çekirdek yapay etkilerle radyoaktif hale sokulabilir. Bir duraylı çekirdeği nötronlarla, yüklü taneciklerle ya da fotonlarla bombardıman ederek çekirdeğe tanecik veya enerji aktarıldığı zaman oluşan çekirdek veya çekirdekler uyarılmış duruma gelebilir ve bu nedenle parçalanır. Bugün kullanılan radyoaktif izotopların çoğu bu şekilde elde edilen yapay radyoizotoplardır (Öztekin, 2000).

Yeraltı suyu çalışmalarında yaygın olarak kullanılan Hidrojen (H)'in iki duraylı ( $^1\text{H}$  ve  $^2\text{H}$  (D) (döteryum)), bir radyoaktif ( $^3\text{H}$  (trityum)) ; Oksijen (O)'in üç duraylı ( $^{16}\text{O}$ ,  $^{17}\text{O}$  ve  $^{18}\text{O}$ ) ; Karbon (C)'in ise iki duraylı ( $^{12}\text{C}$  ve  $^{13}\text{C}$ ) ve bir radyoaktif ( $^{14}\text{C}$ ) izotopu vardır.

İzotop jeolojisi, jeolojik araştırma, geliştirme ve izleme çalışmalarına önemli bir yere sahiptir. Bunun başlıca nedenleri;

1. İzotop ayrışmasının sıcaklık, kayaç akışkan etkileşimi, sıcak-soğuk su karışımları ve buhar ayrışması gibi fiziko-kimyasal süreçlere son derece duyarlı olması
2. İzotopların fiziksel ve kimyasal özelliklerini korumaları nedeniyle, suların kökenlerini ve bölgesel akım yönlerini belirlemede iz sürücü parametreler olarak kullanılabilmesidir (Güleç ve Mutlu, 2003).

Çevresel izotoplar yeraltı suyunun varlığı ve yaşını belirlememizi sağlayan verilerdir. Suyun izotop bileşimi, yeraltısuyu kalitesi, jeokimyasal evrim, beslenme prosesleri, su-kayaç ilişkisi, tuzluluk ve kirlilik proseslerinin kökeni hakkında bilgi vermektedir. H, C, N, O ve S gibi elementlerin duraylı izotopları su, karbon, besin ve katı döngüsünün izleyicisi olarak hizmet eder. Radyoaktif çevresel izotoplar da hidrojeolojide önemlidir. Bu izotopların bozuşmalarından zaman ölçümü yapılır (Çifter ve Sayın, 2002).

Duraylı izotoplar jeokimya ve fiziksel jeolojiyi tamamlayan bazı araştırmalara katkıda bulunmaktadır. Suyun duraylı izotop bileşimi meteorik proseslerle nitelendirilir ve böylece

kısmi bir çevrede beslenme suları karakteristik izotopik işarete sahiptir. Bu işaret yeraltı suyunun varlığı için doğal bir izleyici olarak işlev görür. Diğer deyişle radyoizotop bozuşması sirkülasyon zamanının ölçümünü bize verir.

Hidrolojik dolaşımda, hidrojen ve oksijenin kararlı izotoplarının izotopik içeriklerinde başta sıcaklık olmak üzere yersel ve zamansal faktörlere bağlı olarak birtakım değişiklikler oluşur. Bu izotopik değişimler, suların hareketlerinin izlenmesini sağlar. Radyoaktif izotoplar ise yarılanma ömürleri nedeniyle suların eskilik derecelerinin belirlenmesi, suların akiferde kalış ve yenilenme süresinin belirlenmesinde izleyici olarak kullanılırlar. Yerüstü ve yeraltı suları, nehirler, sıcak ve mineralli sular, yağış sular ve göllerde yapılan çalışmalarda kullanılan izotop tekniklerinin uygulama alanları aşağıda özetlenmiştir (Çifter ve Sayın, 2002):

- Yeraltı sularının beslenme alanlarının belirlenmesi;
- Baraj ve göl kaçaklarının etüdü;
- Çeşitli su kütlelerinin birbirleriyle ilişkilerinin saptanması;
- Akiferlerin su taşıma özelliklerinin belirlenmesi;
- Kar-su eşdeğerinin belirlenmesi;
- Nehir ve deniz tabanındaki sürüntü maddesinin ölçülmesi;
- Yeraltısuyu eskilik derecelerinin belirlenmesi;
- Yeraltısuyunun akiferde kalış ve yenilenme sürelerinin belirlenmesi;
- Farklı su kütlelerinin karışım oranlarının belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır.

Sonuç olarak H- ve O-izotopları, suların beslenme ve boşalım alanlarının kaynağını tanımlamada (örneğin düşük kotlardaki yağışlar ile beslenen sığ/yüzey akiferleri, yüzey akiferden geçirimsiz tabaka ile ayrılan ve daha yüksek kotlardaki yağışlardan beslenen derin bir akifere oranla daha yüksek  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta \text{D}$  değerlerine sahip olmaktadır), beslenme zamanının mevsimsel değişikliklerini tanımlamada (sıcaklık etkisinin kullanımıyla yapılabilir), farklı akiferlerden ve/veya farklı kaynaklardan (meteorik, magmatik, metamorfik vb.) gelen suların karışımlarının belirlenmesinde, yeraltında ani basınç düşmelerine (suların derin dolaşımları sırasında bir fay zonuna rastlamaları sonucu oluşabilen ve/veya işletilmekte olan jeotermal sahalarda sondaj kuyularındaki üretimden kaynaklanan) bağlı kaynama-buharlaşma süreçleri, kayaç-akışkan etkileşimleri gibi konularda uygulama alanları bulmaktadır (Clark ve Fritz, 1997; Güleç ve Mutlu, 2003).

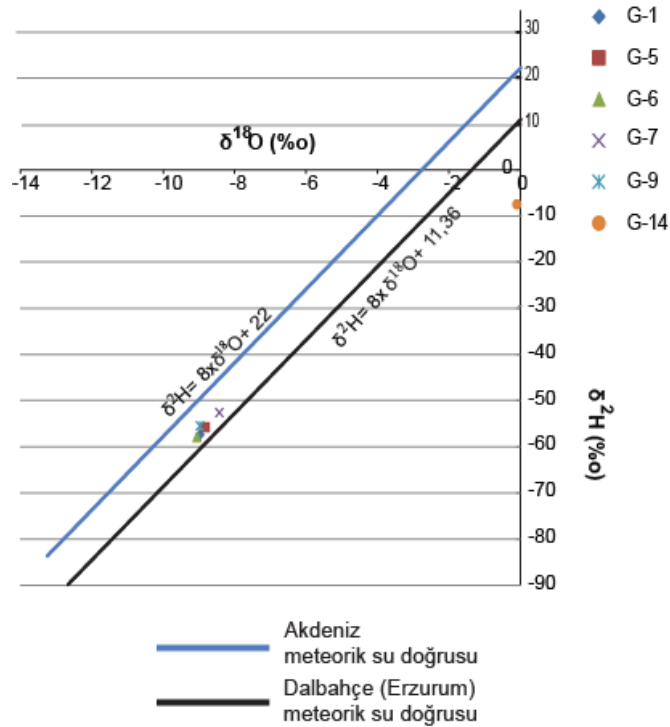
İnceleme alanındaki kuyulardan 16.10.2014 tarihinde su örnekleri alınarak oksijen 18 ( $^{18}\text{O}$ ), döteryum ( $^2\text{H}$ ) ve trityum ( $^3\text{H}$ ) tayinleri yapılmıştır. Suların izotop analiz sonuçları Tablo 3.15’te verilmiştir.

**Tablo 3.15.** İnceleme alanına ait suların izotop analiz sonuçları (16.10.2014).

| Sıra No | Örnek No | $\delta^2\text{H}$ (‰) | $\delta^{18}\text{O}$ (‰) | $^3\text{H}$ (T.U.) |
|---------|----------|------------------------|---------------------------|---------------------|
| 1       | G-1      | -58,49                 | -9,03                     | 5,50                |
| 2       | G-5      | -56,82                 | -8,87                     | 5,80                |
| 3       | G-6      | -59,04                 | -9,11                     | 6,05                |
| 4       | G-7      | -53,60                 | -8,48                     | 6,63                |
| 5       | G-9      | -56,57                 | -9,03                     | 4,92                |
| 6       | G-14     | -7,48                  | -0,13                     | 8,42                |

### 3.6.1. $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ilişkisi

İnceleme alanına ait yağışların  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  ve içeriklerinin uzun süreli ölçümleri yapılmadığından yerel meteorik su doğrusu belirlenememiştir. Bu çalışmada denklemi  $\delta^2\text{H}=8\times\delta^{18}\text{O}+11,36$  olan Dalbahçe (Erzurum) su doğrusu (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005) inceleme alanı için yerel meteorik su doğrusu olarak kullanılmıştır (Şekil 3.29).



**Şekil 3.29.** İncelenen suların  $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$  diyagramı

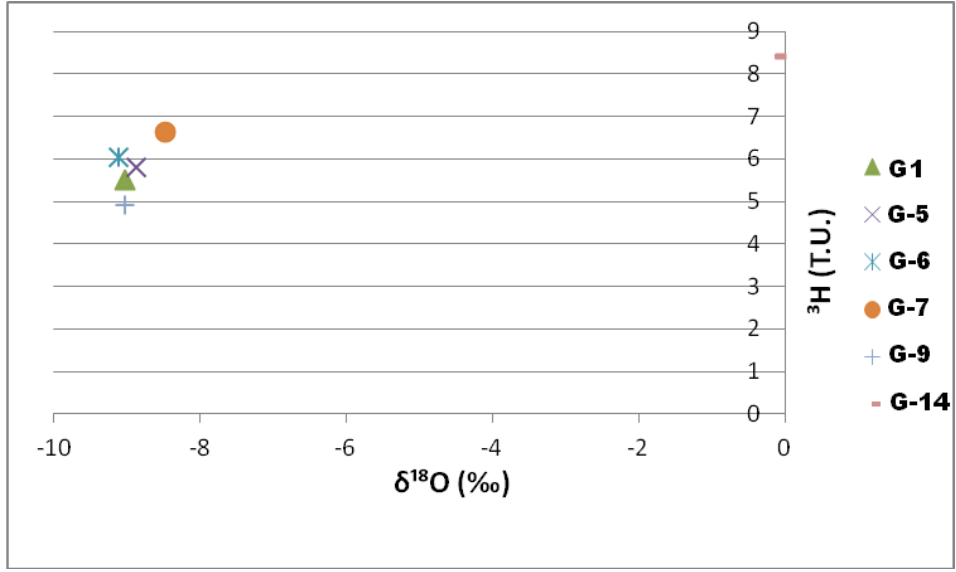
İncelenen sular Akdeniz ve Dalbahçe meteorik su doğruları üzerinde ve yakınında yer aldıklarından, meteorik kökenlidirler. Genel olarak incelenen yeraltı suları belirli bir alanda gruplanırken, Hazar Gölü suyu (G-14) ise orjine yakın bir noktada yer almaktadır. Grafikte, daha pozitif  $\delta^{18}\text{O}$  ve  $\delta^2\text{H}$  içeriğine sahip Hazar Gölü suyunun buharlaşma etkisinde kaldığı görülmektedir (Şekil 3.29). G-7 nolu yeraltı suyunun da diğer yeraltı sularına oranla daha pozitif izotop değerleri içermesi bu suyun da kısmen buharlaşmadan etkilendiğini gösterebilir (Yuan ve Miyamoto, 2008).

Okyanus ve denizlerden kara içlerine gidildikçe daha fakir izotop içeriğine sahip yağışlar görülmektedir. Yükseklik etkisi de hidrolojik çalışmalarda önemli rol oynamaktadır. Yükseklik arttıkça yağışlardaki ağır izotop içeriği azalmaktadır (Yang vd., 2009). İncelenen sular içerisinde G-6 nolu kaynak suyu en hafif izotop içeriğine sahiptir (Tablo 3.15 ve Şekil 3.29). Bu durum, bu suyun diğerlerine oranla daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiğini gösterir.

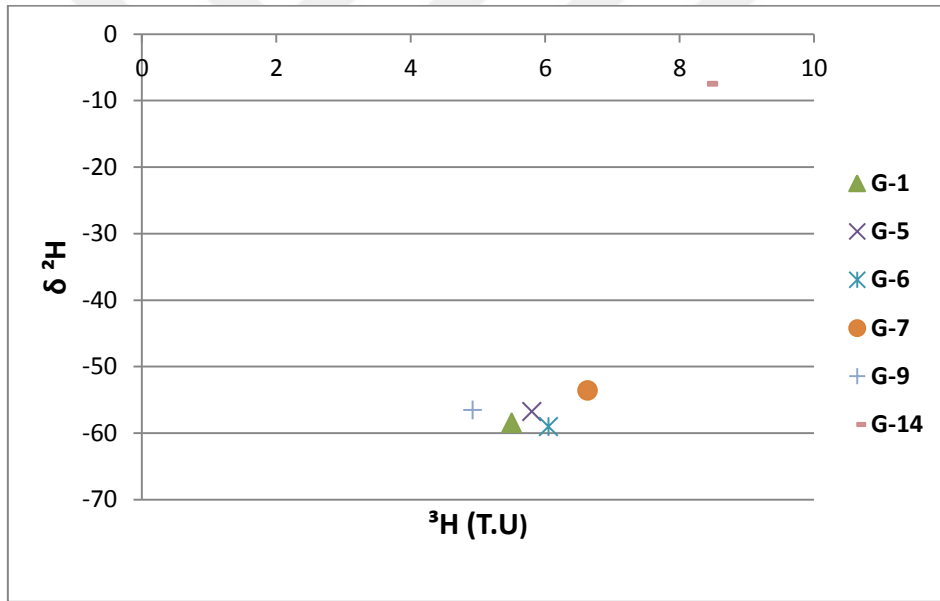
### 3.6.2. $\delta^{18}\text{O}$ - $^3\text{H}$ ve $\delta^2\text{H}$ - $^3\text{H}$ ilişkisi

Suların izotop değerlendirilmesinde kullanılan  $^3\text{H}$  izotopu, duraysız bir izotop olmasından dolayı yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Yeraltı suyunun dolaşım süresi arttıkça sudaki  $^3\text{H}$  içeriği de azalır. Dolayısı ile yeraltı sularının bağıl yaşlarının ortaya konmasında  $^3\text{H}$  izotopu en önemli parametrelerdendir. Genel olarak, sulardaki yüksek  $^3\text{H}$  ve  $\delta^2\text{H}$  değerleri daha sık dolaşımli suları; düşük  $^3\text{H}$  ve  $\delta^2\text{H}$  içerikleri ise derin dolaşımli suları işaret eder (Görür ve Genç, 2012).

İncelenen sularla sırasıyla G-9, G-1, G-5, G-6 ve G-7 nolu sularla  $^3\text{H}$  düşük; G-14 nolu suda ise daha yüksek bir değere sahiptir. Düşük trityum içeriğine sahip G-9 nolu kuyu suyu derin dolaşımli olup incelenen diğer sulara göre akifer içerisinde kalış süresi daha fazladır.  $\delta^{18}\text{O}$  -  $^3\text{H}$  ile  $\delta^2\text{H}$ -  $^3\text{H}$  arasındaki ilişkilerin görüldüğü Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de G-9 nolu yeraltı suyunun daha yüksek kotlardan beslendiği söylenebilir. G-6 ve G-7 nolu sular ise daha sık dolaşımli genç suları işaret etmektedir.



Şekil 3.30. İncelenen suların  $\delta^{18}\text{O}$  -  $^3\text{H}$  diyagramı

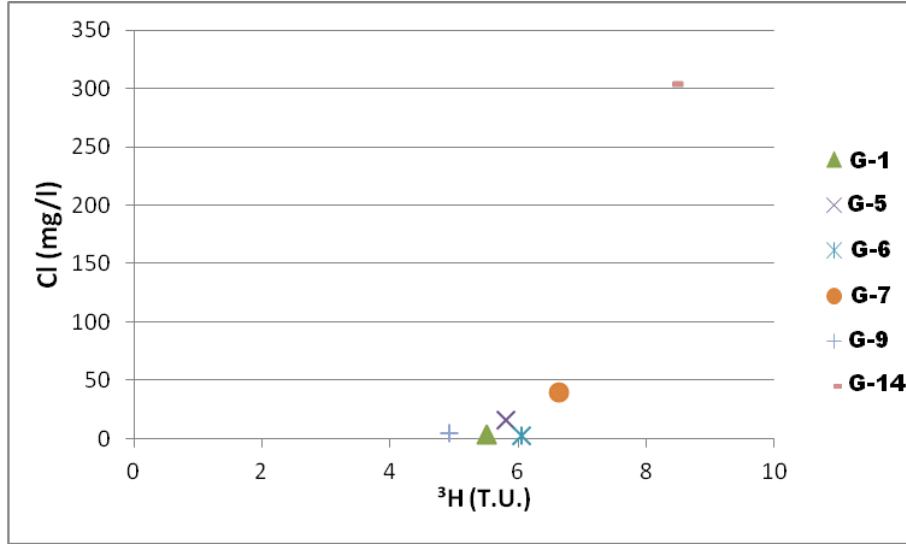


Şekil 3.31. İncelenen suların  $\delta^2\text{H}$  -  $^3\text{H}$  diyagramı

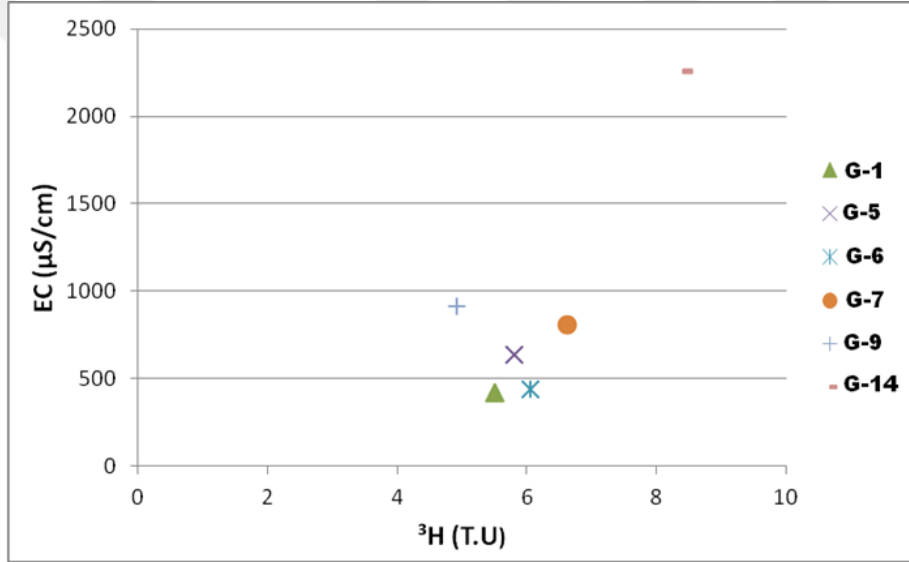
### 3.6.3. $^3\text{H}$ -Cl- EC İlişkisi

Yağıştaki su molekülü yeraltına süzülürken bünyesine atmosferden aldığı  $^3\text{H}$  yarılanmaya başlamaktadır. Yeraltı suyunun rezervuardaki kalış ve/veya akım yolu boyunca hareketi süresince bünyesindeki  $^3\text{H}$  yarılanmasına devam ederek azalmaktadır. Bu arada yeraltı suyu, akiferi oluşturan kayaç veya kayaçlarla kimyasal etkileşime girerek bünyesine çeşitli iyonları değişik oranlarda almaktadır. Hidrokimyasal koşullar izin verdiği sürece, yeraltı suyu bünyesine iyon almaya devam etmektedir. İyon içeriğine bağlı olarak da EC değerinde de artış meydana gelmektedir. Bu iki parametrenin birlikte grafiksel olarak değerlendirilmesi, kavramsal olarak, yeraltı suyu örneklerinin karşılaştırılmasında ve dolaşım sistemlerinin tanımlanmasında kullanılabilir (Yüce, 2001).

Çizilen grafiklerde (Şekil 3.32 a, b) düşük  $^3\text{H}$ , yüksek EC ve Cl konsantrasyonuna sahip olan G-9 nolu yeraltı suyu daha yaşlı ve derin dolaşımli bir sudur. G-1 ve G-6 nolu yeraltı suları ise G-9'a oranla daha yüksek  $^3\text{H}$  ve EC içerikleri ile daha genç ve yıllık yağışların etkisinde kalan genç suları ifade etmektedir. Bu gruptan farklı olarak daha yüksek  $^3\text{H}$  ve EC içeriğine sahip G-5 ve G-7 nolu keson kuyu suları ise derinden gelen yaşlı sular ile güncel yağışların etkisinin fazla olduğu karışım suları olabilir. İnceleme alanında, G-6 nolu kaynak suyu ile göl suyunu (G-14) uç bileşenler olarak düşünürsek, G-6 kaynağına yakın lokasyonda bulunan G-7 nolu su bir karışım suyu olarak değerlendirilebilir (Şekil 3.32 a, b).



(a)



(b)

Şekil 3.32. İncelenen suların  $^3\text{H}$ -Cl-EC diyagramı

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma alanı ve çevresinde; Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Maestrihtiyen–Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu, Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ve güncel alüvyonlar bulunmaktadır.

Bölgede Pliyo–Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile güncel dere alüvyonları oldukça yüksek verimli gözenekli akiferleri oluşturmaktadır. Alüvyon malzeme bölgede yayılım gösteren Guleman Ofiyolitleri, Hazar Grubu ve Maden Karmaşığı birimlerinden oluşan çakıl ve blokları ile kum, silt ve kilden oluşmaktadır

Çalışma kapsamında Pliyo- Kuvaterner yaşlı alüvyon malzemeden alınan zemin örneklerinde yapılan geçirimsizlik deneyleri sonucu alüvyonun geçirimsizliğinin  $1.64 \times 10^{-4}$  m/s ile  $1.97 \times 10^{-3}$  m/s arasında; gözenekliliğinin ise %37 ile %40 arasında olduğu belirlenmiştir.

Gezin ve yakın çevresinde yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu dönemi temsil eden Mayıs ayı ve yeraltı su seviyesinin düşük olduğu dönemi temsil eden Ekim ayına ait su tablası haritaları çizilmiştir. Bölgede genel olarak yeraltı suyu akım yönü Hazar Gölü'ne doğrudur. Çizilen haritalarda, Hazar Gölü'ne yakın kesimlerde hidrolik eğim  $1,72 \times 10^{-2}$  ile  $2,29 \times 10^{-2}$  arasında, çalışma alanının kuzey, kuzeydoğu ve güneybatı kesimlerinde ise  $0,76 \times 10^{-2}$  ile  $0,89 \times 10^{-2}$  arasında hesaplanmıştır Geçirimsizliğin, Hazar Gölüne yakın yerlerde ve Aydın Mahallesi çevresinde arttığı, Murat Mahallesi çevresinde azaldığı belirlenmiştir.

İncelenen suların pH'ları 6,7 - 7,9 arasında, elektriksel iletkenlikleri 421-925  $\mu\text{S/cm}$  arasında değişmektedir. Hazar Gölü'nün Ekim ayı pH'ı 9,0; elektriksel iletkenliği 2260  $\mu\text{S/cm}$  ve sıcaklığı 20 °C'dir.

İncelenen sulardaki majör katyon  $\text{Ca}^{+2}$  olup, majör anyon ise  $\text{HCO}_3^{-}$ 'tür. Mayıs ayı analiz sonuçlarına göre çizilen Schoeller diyagramında su örneklerinin tipi Ca, Mg,  $\text{HCO}_3^{-}$ 'tür. Ekim ayında G-13 nolu su örneğinde baskın katyon  $\text{Mg}^{+2}$  dir. Bu nedenle bu örneğin su tipi Mg ,Ca,  $\text{HCO}_3^{-}$ 'dir.

İnceleme alanı içerisinde bulunan yeraltı sularının karbonat sertliği %50'den fazla olup  $\text{CaCO}_3$  ve  $\text{MgCO}_3$ 'lu sulardır. Ayrıca, suların zayıf asitleri, kuvvetli asitlerden fazla olup  $\text{HCO}_3^{-} + \text{CO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{-2}$  dir. Hazar Gölü suyu ise hiçbir iyonu %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular grubunda bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen sular içme ve kullanmaya uygunlukları açısından değerlendirilmiştir. Sular standartlarla karşılaştırıldığında genel olarak içme ve kullanmaya uygun oldukları tespit edilmiştir.

İçilebilirlik özellikleri kapsamında suların majör anyon, katyon içerikleri, metal ve iz element analiz sonuçları Türk Standartları Enstitüsü (2005) ile karşılaştırılmıştır. G-9 nolu suyun Fe ve Mn; G-1, G-3, G-6, G-7 nolu kuyu sularının  $\text{NH}_4^+$  konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir. G-9 nolu kuyu suyunda  $\text{NO}_2^-$ , G-5 nolu kuyu suyunda  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonunun Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005) tarafından belirlenen limit değerine çok yakın bir değerde olduğu belirlenmiştir. Genel olarak incelenen sularda standartlara yakın veya standartların üzerinde tespit edilen  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  ve  $\text{NO}_3^-$  konsantrasyonları, çalışma alanında bahçe tarımında kullanılan yapay ve doğal gübrelerden, gübrelerin açıkta depolanmasından ve foseptiklerden kaynaklandığı söylenebilir.

Sular sulamada kullanım özellikleri açısından değerlendirildiklerinde, Mayıs (2014) dönemi kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen ABD Tuzluluk diyagramında  $\text{C}_2 - \text{S}_1$  sınıfında gruplanmışlardır. Bu grup sular Orta derecede tuzlu ve  $\text{Na}^+$ 'lu sular olup hemen tüm topraklarda  $\text{Na}^+$  tehlikesi yaratmadan kullanılabilirler. G-9 nolu su ise  $\text{C}_3 - \text{S}_1$  sınıfında yer almakta olup bu grup suları tuzludur ve tarımsal faaliyetlerde genellikle kullanılmaz. Ekim (2014) ayı analiz sonuçlarına göre sular  $\text{C}_2 - \text{S}_1$  sınıfında gruplanmışlardır. G-7 ve G-9 nolu sular  $\text{C}_3 - \text{S}_1$  sınıfında bulunmaktadır. Hazar Gölü'nden alınan su örneği ise  $\text{C}_4 - \text{S}_2$  bölgesinde bulunmakla birlikte çok fazla tuzlu sular grubundadır ve sulama suyu için uygun değildir.

Mayıs (2014) dönemi kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyagramında incelenen sular sulama açısından G-9 hariç “çok iyi sular” grubuna girmektedirler. G-9 ise “İyi kullanılabilir” grubundadır. Ekim (2014) ayı kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen diyagramda ise G-1, G-3, G-5, G-6, G-11, G-12, G-13 “Çok iyi”; G-7 ve G-9 “İyi kullanılabilir”; Hazar Gölü suyu G-14 ise “Şüpheli-uygun değil” sular grubunda bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler neticesinde, incelenen bölgede bazı kuyularda çıkan kirlilik unsurları suların kirlenmeye açık olduğunun göstergesidir. Alüvyon akiferlerde meydana gelebilecek kirlilik akifer sularının boşaldığı Hazar Gölü'nün de su kalitesini düşürecektir. Bu nedenle bölgedeki yeraltı suyu kalitesinin artırılması sağlanmalıdır. Özellikle kanalizasyon bağlantısı bulunmayan herhangi bir önlem alınmadan açılan foseptik kuyularını kullanan sitelerin yeraltı sularına olumsuz etkileri en kısa sürede azaltılmalıdır. Bu sitelerin evsel atık sularının kanalizasyon sistemine bağlantıları yapılmalı veya foseptikleri tabanı ve yan duvarları perde betonla sızdırmaz duruma getirilmelidir. Bahçe tarımının ve hayvancılığın yapıldığı yörede özellikle gübre kullanımı ve depolanmasının daha bilinçli yapılması gerekmektedir. Açıkta depolanan gübreler veya

hayvansal atıklar sızdırmaz bir zemin ve üstü kapalı bir alanda muhafaza edilmelidir. Tarımsal amaçlı kullanılan doğal veya suni gübreler tarımsal toprak analizleri yapılarak gerektiği miktarda kullanılmalıdır. Alınacak bu önlemler çalışma alanında yeraltı suyu kalitesini arttıracak mevcut kirliliği azaltacaktır.

Çalışma kapsamında suların izotop ( $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^2\text{H}$  ve  $^3\text{H}$ ) analizleri yapılmıştır. İncelenen sular Akdeniz ve Dalbahçe meteorik su doğruları üzerinde ve yakınında yer aldıklarından, meteorik kökenlidirler. Sular içerisinde G-6 nolu kaynak suyu daha negatif  $^{18}\text{O}$  ve  $^2\text{H}$  içeriğine sahiptir. Bu durum, bu suyun diğerlerine oranla daha yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiğini gösterebilir. İncelenen sularla sırasıyla G-9, G-1, G-5, G-6 ve G-7' de  $^3\text{H}$  düşük; G-14 nolu suda ise daha yüksek bir değere sahiptir. Düşük trityum içeriğine sahip G-9 nolu kuyu suyu derin dolaşımli olup incelenen diğer sulara göre akifer içerisinde kalış süresi daha fazladır.

Çizilen  $\delta^{18}\text{O}$  -  $^3\text{H}$  ve  $\delta^2\text{H}$ -  $^3\text{H}$  grafiklerinde G-9 nolu yeraltı suyunun daha yüksek kotlardan beslendiği söylenebilir. G-6 ve G-7 nolu sular ise daha sık dolaşımli genç suları işaret etmektedir.

Suların  $^3\text{H}$ -Cl-EC ilişkisi incelendiğinde, düşük  $^3\text{H}$ , yüksek EC ve Cl konsantrasyonuna sahip olan G-9 nolu yeraltı suyunun daha yaşlı ve derin dolaşımli bir su; G-1 ve G-6 nolu yeraltı sularının ise G-9'a oranla daha yüksek  $^3\text{H}$  ve EC içerikleri ile daha genç ve yıllık yağışların etkisinde kalan genç sular olduğu belirlenmiştir. Yapılan hidrojeokimyasal ve izotop değerlendirmeler genel olarak çalışma kapsamında incelenen yeraltı sularının Hazar Gölü ile herhangi bir etkileşimde olmadığını, sadece G-7 nolu kuyu suyunun Hazar Gölü'nün girişiminin etkisinde olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle bölgede yapılacak ayrıntılı ve uzun süreli hidrojeokimyasal çalışmalar ile göl suyu-yeraltı suyu ilişkisi ortaya çıkarılabilir.

## 5. KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D., Baştuğ, C., 1975.** Cacaş-Hani Bölgesinin Kuzeyindeki Alanların Petrol İmkanları ve Jeolojik Raporu. TPAO Arşivi (yayınlanmamış), Rapor No: 971.
- Aksoy, E., 1993.** Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Türk Yerbil. Derg., 1, 1, 113-123.
- Aksoy, E. vd., 2007.** Hazar Gölü Havzası: Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS'nin), SE Türkiye Negatif Çiçek Yapısı. Tübitak. Türk Yerbil. Derg. 319-338.
- Aktas, G. and Robertson, A.H.F., 1984.** The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of a Neotethyan active margin. J.E Dixon ve A.H.F. Robertson, ed, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Edinburgh, 375-402.
- Al-ahmadi, M.E., El-Fiky, A.A., 2009.** Hydrogeochemical evaluation of shallow alluvial aquifer of Wadi Marvani, western Saudi Arabia. Journal of King Saud University (Science), 21, 179-190.
- Altınkale, S., 2004.** Duraylı izotoplar ve hidrojeolojide kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri III, 23s.
- Bellitürk, K., Danışman, F, Pakdil, N.B. ve Yılmaz, F., 2007.** Evaluation of Phosphorus Status of Thrace Region Soils and Suitability of Different Chemical Methods Used to Determine Plant Available Soil Phosphorus of These Soils. Bulgarian Journal of Agricultural Sciences, 13 (4): 489-497.
- Bingöl, A.F., 1982.** Elazığ-Pertek-Kovancılar arası volkanik kaaçların petrografik ve petrolojik incelenmesi. F.Ü. Fen Fakültesi Dergisi 1. 9-21, Elazığ
- Bingöl, A.F., 1984.** Geology of the Elazığ area in the Eastern Taurus region: Proceedings of the Int. Symp. On the Geology of the Taurus Belt. 209-216, Ankara.
- Bingöl, A.F., 1986.** Petrographic and Petrologique Characteristic of Intrusive Rocks of Guleman Ophiolite (Eastern Taurus-Turkey). Geosound, 13/14, 41-57.
- Canik, B., 2003.** Hidrojeoloji Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası. Ankara Üniv. Fen Fak., Ankara, 286 s.
- Clark, I. and Fritz, P., 1997.** Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publ., Boca Raton, 328p.
- Çakmak, B., Aküzüm, T., Çiftçi, N., Zaimoğlu, Z., Acar, B., Şahin, M., Gökalp, Z., 2005.** “Su Kaynaklarının Geliştirilmesi ve Kullanımı” TMMBO Ziraat Mühendisleri Odası Türkiye Ziraat Mühendisliği VI.Teknik Kongresi, Ankara, 1:191-211.

- Çelik, H., 2003.** Mastar Dağı (Elazığ GD' su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, doktora tezi (yayınlanmamış).
- Çetindağ, B., 1985.** Elazığ, Palu-Kovancılar dolayının hidrojeoloji incelenmesi. Yüksek lisans tezi (yayınlanmamış), F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 117 s.
- Çetindağ, B., 1989.** Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi. Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 270s., (yayınlanmamış).
- Çetindağ, B., 1997.** Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri. 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu (12-16 Mayıs 1997) Bildiriler, S.Ü-Konya, 203-209.
- Çetindağ, B., Öztekin Okan, Ö., 2004.** Hydrochemical Characteristics And Pollution Potential Of Uludağ Aquifers. Elazığ, Turkey, Environmental Geology 2004, 45: 796-807.
- Çifter, C. ve Sayın, M., 2002.** İzotopların Hidrolojide Kullanılması. 1. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002, 1-14, Adana. DSİ 9. Bölge Müdürlüğü Hidroloji Laboratuvarı
- Drever, J.I., 2002.** The Geochemistry of Natural Waters, Surface and Groundwater Environments, 114-116p.
- Erdoğan, B., 1982.** Ergani-Maden yöresindeki Güneydoğu Anadolu Ofiyolit Kuşağının Jeolojisi ve volkanik kayaları. TJK Bült., v. 25, pp. 49-60.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973.** Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji). İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 967, 340 s.
- Ewusi, A., Obiri-Yeboah, S., Voigt H. J., Asabere S. B., Crensil K. B., 2013.** Groundwater Quality Assessment for Drinking and Irrigation Purposes in Obuasi Municipality of Ghana, A Preliminary Study. Research Journal of Environmental and Earth Sciences 5(1): 6-17, 2013.
- Freeze, R.A. ve Cherry J.A., 2003.** Yeraltı Suyu (Çeviren: Kamil Kayabalı). Gazi Kitabevi, 562s.
- Görür, F.K., ve Genç, E., 2012.** The tritium, deuterium and oxygen-18 isotope levels determination in various waters in Rize and Trabzon. De Salination and Water Treatment, 44, 215-222.
- Güleç, N. ve Mutlu, H., 2003,** Jeotermal Alanlarda İzotop Jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar. 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı (editörler: M.Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şimşek ve M. Parlaktuna), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No. 306, s.64-88.

- Gürocak, Z., 1993.** Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 65s. Hazar İl Yolu Jeolojik- Jeoteknik Etüt raporu
- Güven, A., 2013.** Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 75s.
- Hempton, M.R. ve Savcı, G., 1982,** Elazığ volkanik karmaşığının petrolojik ve yapısal özellikleri: TJK Bült. 25, 143-150.
- Hempton, M.R., Dune, L.A and Dewey. J.F., 1983.** Sedimentation active strike-slip basin, South- eastern Turkey : Geology, 91, 401-412.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003.** Metallerin Çevresel Etkileri I. Metalürji Dergisi., 137: 46-51.
- Kaya, A., 1992.** Gezin–Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.
- Kaya, A., 2004.** Gezin(Maden-Elazığ) Çevresinin Jeolojisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10, (1), 41-50.
- Kılıç, A.,D., 2005.** Maden Karmaşığına ait volkanitlerin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Geosound, Haziran,46,107-123,
- Kılıç, A.,D., 2005.** Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) Güneyinin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 116s.
- Kurttaş, T., 2002.** Karışım Sularında Kökensele Katkıların Belirlenmesi. 1. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu. 21-25 Ekim 2002, 287-302, Adana.
- Küçükatabey, M.N., 2012.** Gemici Köyü (Baskil) Çevresi Yeraltı Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 80s.
- Olgun, K., Kalkan. S., 1994.** Elazığ – Uluova Revize Etüt Raporu. DSİ. Ankara, 67s.
- Örmeci, S., 2005.** Şarkıkaraağaç Havzasının (Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 110s.
- Özler, M.H., 2003.** Hydrochemistry and salt-water intrusion in the Van aquifer, east Turkey, Environmental Geology, 43, 759-775.
- Özkan, Y. Z., 1982.** Guleman (Elazığ) Ofiyoliti’nin Jeolojisi ve Petrolojisi. İst. Üniv. Yerbilimleri Dergisi, 3(1-2), 295-312.
- Özkan, Y. Z., 1983.** Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi. İst. Üniv. Yerbilimleri Derg.,3 (1-2), 295-312.
- Özkan, Y. Z., 1984.** Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Yapısal İncelenmesi. MTA Derg., 97/98, 78-85, Ankara.

- Özkan, Y.Z., 1985.** Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Yapısal İncelenmesi. Maden Tetkik ve Arama Enst. Derg. 78-85.
- Özkaya, İ., 1975.** Sason yöresinin yapısal jeolojisi. Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebligler, 21-30, Ankara.
- Özkaya, İ., 1978.** Ergani-Maden yöresinin stratigrafisi: TJK Bült., 2, 120-139.
- Öztekin, Ö., 1998.** Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularının Fiziko-Kimyasal Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Yayımlanmamış) 124s.
- Öztekin, Ö., 2000.** Yeraltı suyu incelemelerinde izotopların kullanılması. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora semineri (Yayımlanmamış) 124s.
- Perinçek, D., 1979a.** Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları: TPAO arşiv no: 1361(Yayımlanmamış).
- Perinçek, D., 1979b.** The geology of Hazro-Korudag-Çüngüş-Maden-Ergani-Hazar Malatya area. Guide book, TJK yayını, 33s.
- Rigo De Righi, M., and Cortesini, A., 1964.** Gravity tectonics in Foothill structure of southeast Turkey: Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull. 48, 1911-1937.
- Sayın, M., Eyüpoğlu, S., 2005.** Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerini Kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi. *II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*. Devlet Su İşleri, 26-30 Eylül 2005, İzmir, 323-344.
- Sayyed, M. R. G., Wagh G. S., Supekar, A., 2013.** Assessment of impact on the groundwater quality due to urbanization by hydrogeochemical facies analysis in SE part of Pune city, India, Proceedings of the International academy of ecology and environmental sciences, 3(2), pp 148-159.
- Schoeller, H., 1962.** Les Eaux Souterraines: Masson et Cie, Editurn, 120, Boulevard Saint – Germain – Paris (Çeviren: Karacadağ, K., 1973. Yeraltı Suları, Dizerkonca Matbaası , İstanbul, 605 s.).
- Sungurlu, O., 1974.** VI. Bölge Kuzeyinin Jeolojisi ve Petrol İmkanları. Türkiye 2. Petrol Kongr. Tebl., TPJD, 85-107.
- Sungurlu, O., 1975.** VI. Bölge kuzey sahaların jeolojisi: TPAO Raporu. No. 817, (yayımlanmamış).
- Sungurlu, O., 1979.** GD sürüklenim kuşağı Tersiyer sürüklenimleri: 33. TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı bildiri özetleri, 121-122.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., and Naz, H., 1985.** Elazığ-Palu-Hazar alanının jeolojisi; Petrol işleri genel müdürlüğü dergisi.,29, 83-191.

- Şahinci, A. 1971.** Yeraltına Süzülen Yağış Miktarının Klor Metodu İle Tayini: Ege Üniv. Fen Fak. İlmi Raporlar Serisi, No:117, İzmir, 37 s.
- Şahinci, A. 1991.** Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Thorntwaite, C.W., 1948.** An approach a rational classification of climate, The Geographical review, Vol. 38, New York.
- T.S.E. (2005).** Türk İçme Suyu Standartları (TS 266). İnsani tüketim amaçlı sular yönetmeliği 17 Şubat 2005 tarihli Resmi Gazete.
- Uslu, O., Türkman, A., 1987.** Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1. Ankara. 364s.
- Varol, S., Ayşen Davraz, A. Ve Ercan Varol, E., 2008.** Yeraltı suyu Kimyası ve Sağlığa Etkisinin Tıbbi Jeoloji Açısından Değerlendirilmesi. TAF Prev Med Bull 2008; 7(4):351-356
- Wilcox, L.V., 1955.** Classification and Use of Irrigation Waters, US Dept Agriculture Circ.
- Yang Y. v.d., 2009.** Oxygen and hydrogen isotopes of waters in the Ordos Basin, China: implications for recharge of groundwater in the North of Cretaceous Groundwater Basin, Acta Geol Sin, 83(1), 103-113.
- Yuan, F. ve Miyamoto, S. 2008.** Characteristics of oxygen-18 and deuterium composition in waters from the Pecos River in American Southwest. Chemical Geology, 255, 220-230.
- Yüce, G., 2001.** Hatay-Erzin (Yeşilkent) ovası ve Burnaz kaynağının hidrojeolojik özellikleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi. 25(2), 21-44.

## ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ merkez okullarında tamamladıktan sonra 2002 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırđım. 2007 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. 2010 yılında Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) dalında Yüksek Lisansa başladım.

