

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİRMENDERE (TRABZON) HAVZASI KAYNAK SULARINDA
SU-KAYAÇ İLİŞKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeoloji Müh. Elham TAHMASEBZADEH BASTAM

OCAK 2014
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEĞİRMENDERE (TRABZON) HAVZASI KAYNAK SULARINDA
SU-KAYAÇ İLİŞKİSİ

Jeoloji Müh. Elham TAHMASEBZADEH BASTAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“JEOLOJİ YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.12.2013
Tezin Savunma Tarihi : 22.01.2014

Tez Danışmanı : Doç. Dr.Fatma GÜLTEKİN

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Elham TAHMASEBZADEH BASTAM tarafından hazırlanan

DEĞİRMENDERE (TRABZON) HAVZASI KAYNAK SULARINDA
SU-KAYAÇ İLİŞKİSİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 25/12/2013 gün ve 1535 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN

Üye : Doç. Dr. Aysel ŞEREN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Arzu FIRAT ERSOY


.....

.....

.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Çalışmada Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki karbondioksitçe zengin kaynak sularında su-kayaç ilişkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, su- kayaç etkileşimi, kaynakların içilebilme özellikleri ve kökenleri belirlenmiştir.

Çalışma boyunca kıymetli vaktini ayırıp, araştırmamda yol gösteren, yardımcı olan değerli Hocam, Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN'e minnettarlığımı ifade etmek isterim. Ayrıca, haritalar konusunda yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Dr. Hakan ERSOY'a, her yardım istediğimde beni kırmayan Arş. Gör. Dr. Esra HATİPOĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma sırasında, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, hoşgörelili ile her zaman yanımda olan aileme şükranlarımı sunarım.

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM
Trabzon, 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Değirmendere (Trabzon) Havzası Kaynak Sularında Su-Kayaç İlişkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr.Fatma GÜLTEKİN'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/01/2014

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa No</u> |
|------------------------------------|-----------------|
| ÖNSÖZ..... | III |
| TEZ BEYANNAMESİ..... | IV |
| İÇİNDEKİLER..... | V |
| ÖZET | VIII |
| SUMMARY | IX |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | X |
| TABLolar DİZİNİ..... | XI |
| SEMBOLLER DİZİNİ | XII |
| 1. GENEL BİLGİLER..... | 1 |
| 1.1. Giriş | 1 |
| 1.2. Amaç ve Kapsam..... | 2 |
| 1.3. İnceleme Alanı..... | 2 |
| 1.4. Morfoloji..... | 3 |
| 1.5. Yerleşim ve Ulaşım | 3 |
| 1.6. İklim ve Bitki Örtüsü..... | 4 |
| 1.7. Önceki Çalışmalar | 6 |
| 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR..... | 8 |
| 2.1. Arazi çalışmaları..... | 8 |
| 2.2. Laboratuvar Çalışmaları | 8 |
| 2.3. Büro Çalışmaları..... | 9 |
| 3. BULGULAR | 10 |
| 3.1. Stratigrafi | 10 |
| 3.1.1. Çağlayan Formasyonu | 10 |
| 3.1.2. Çayırbağ Formasyonu..... | 13 |
| 3.1.3. Tonya Formasyonu | 13 |
| 3.1.4. Kabaköy Formasyonu..... | 14 |
| 3.1.5. Beşirli Formasyonu..... | 14 |
| 3.1.6. Alüvyonlar | 15 |
| 3.2. Yapısal Jeoloji | 15 |
| 3.2.1. Faylar | 16 |
| 3.2.2. Tabakalar | 16 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.3. | Su Kimyası | 16 |
| 3.3.1. | Giriş | 16 |
| 3.3.2. | İncelenen Kaynak Sularının Fiziksel Özellikleri | 17 |
| 3.3.2.1. | Sıcaklık (°C) | 17 |
| 3.3.2.2. | Boşalım Debileri | 18 |
| 3.3.3. | Kaynak Sularının Kimyasal Özellikleri | 20 |
| 3.3.3.1. | Kaynak Sularının pH Değerleri | 20 |
| 3.3.3.2. | Kaynak Sularının Elektriksel İletkenlik (Eİ) Değerleri | 21 |
| 3.3.3.3. | Kaynak Sularında Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TDS) | 23 |
| 3.3.4. | Kaynak Sularında Bulunan Major İyonlar | 27 |
| 3.3.4.1. | Sodyum (Na ⁺) ve Potasyum (K ⁺) | 28 |
| 3.3.4.2. | Kalsiyum (Ca ⁺²) ve Magnezyum (Mg ⁺²) | 28 |
| 3.3.4.3. | Alkalinite (HCO ₃ ⁻ ve CO ₃ ⁻²) | 29 |
| 3.3.4.4. | Sülfat (SO ₄ ⁻²) | 30 |
| 3.3.4.5. | Klorür (Cl ⁻) ve Florür (F ⁻) | 30 |
| 3.3.4.6. | Silisyum (SiO ₂) | 31 |
| 3.3.5. | İz Elementler | 32 |
| 3.3.5.1. | Alüminyum (Al) | 32 |
| 3.3.5.2. | Arsenik (As) | 33 |
| 3.3.5.3. | Bor (B) | 34 |
| 3.3.5.4. | Baryum (Ba) | 35 |
| 3.3.5.5. | Brom (Br) | 35 |
| 3.3.5.6. | Kadmiyum (Cd) | 36 |
| 3.3.5.7. | Krom (Cr) | 37 |
| 3.3.5.8. | Sezyum (Cs) | 37 |
| 3.3.5.9. | Bakır (Cu) | 38 |
| 3.3.5.10. | Demir (Fe) ve Mangan (Mn) | 38 |
| 3.3.5.11. | Lityum (Li) | 39 |
| 3.3.5.12. | Molibden (Mo) | 40 |
| 3.3.5.13. | Kurşun (Pb) | 40 |
| 3.3.5.14. | Rubidyum (Rb) | 41 |
| 3.3.5.15. | Skandiyum (Sc) | 41 |
| 3.3.5.16. | Selenyum (Se) | 42 |
| 3.3.5.17. | Stronsiyum (Sr) | 42 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 3.3.5.18. | Uranyum (U)..... | 43 |
| 3.3.5.19. | Çinko (Zn) | 43 |
| 3.3.6. | Kirlilik Analizleri | 44 |
| 3.3.6.1. | Nitrit (NO ₂)..... | 44 |
| 3.3.6.2. | Nitrat (NO ₃) | 45 |
| 3.3.6.3. | Amonyum (NH ₄) | 45 |
| 3.3.6.4. | Fosfat (PO ₄) | 46 |
| 3.3.7. | Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması | 46 |
| 3.3.7.1. | Piper Diyagramı..... | 47 |
| 3.3.7.2. | Schoeller Diyagramı | 48 |
| 3.3.8. | Suların Mineral Doygunlukları..... | 49 |
| 3.3.9. | Çevresel İzotop Hidrolojisi..... | 51 |
| 3.3.9.1. | Oksijen 18 (¹⁸ O)- Döteryum (² H) İlişkisi | 52 |
| 3.3.9.2. | Tritiyum (³ H)- Klorür (Cl) İlişkisi | 53 |
| 3.4. | Su-Kayaç Etkileşimi | 54 |
| 3.4.1. | Kayaç Jeokimyası | 55 |
| 3.4.2. | Hidrojeokimya | 60 |
| 3.4.3. | Su-Kayaç İlişkisi..... | 61 |
| 3.5. | Baz Değişimi İndisi | 63 |
| 4. | TARTIŞMA..... | 65 |
| 5. | SONUÇLAR..... | 68 |
| 6. | ÖNERİLER | 71 |
| 7. | KAYNAKLAR..... | 72 |

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DEĞİRMENDERE (TRABZON) HAVZASINDAKİ KAYNAK SULARINDA
SU-KAYAÇ İLİŞKİSİ

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Fatma GÜLTEKİN
2014, 75 Sayfa

Genel olarak volkanik kayaçların yüzeylendiği Değirmendere Havzası'nda tektonik hatlarla ilişkili olarak karbondioksit ve iyon içeriği yüksek kaynaklar mevcuttur. Bu çalışmada amaç, bu kaynakların hidrokimyasal özelliklerini ve çevre kayaçlarla olan etkileşimlerini araştırmaktır. Çalışma alanında, yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çağlayan ve Çayırbağ Formasyonları, Geç Kretase- Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu, Eosen- Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzeylenme vermektedir. Gözalan, Duralı, Akoluk ve Yanlıca kaynaklarında sıcaklık 12.5- 17.5 °C, boşalım debileri 46- 158 ml/sn, pH 5.32- 6.99, elektriksel iletkenlik değerleri (Eİ) 603- 1899 $\mu\text{S}/\text{cm}$, çözülmüş oksijen miktarı (DO) 3.20- 9.35 mg/l, toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) 380- 1230 mg/l arasında değişmektedir. Kaynaklar major iyon içeriklerine göre Ca- HCO_3 tipi su sınıfındadır ve genellikle zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden daha fazladır. $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisine göre incelenen kaynak sularında H_2S ve CO_2 değişiminin etkili olduğu görülmektedir. Sularda yüksek olan Zn, Br, Sr ve Ba elementleri, sulara alter andezit, tuf, basalt ve volkanik breş türü volkanik kayaçlardan geçmiştir. Tüm kaynak sularında baz değişim indisinin eksi olması silikatların bozunumundan ortaya çıkan Cl^- iyonlarından daha fazla alkali iyonlarının suya karıştığını belirtmektedir. Kaynak sularına Na^+ , plajyoklasların ayrışması ve iyon değişimi sonucu geçmiştir. Sulardaki Mg^{++} 'un kaynağı ise kayaçlardaki ferromagnezyen minerallerdir.

Anahtar Kelimeler: Değirmendere Havzası, Mineralli Su, Hidrokimya, Su-Kayaç Etkileşimi.

Master Thesis

SUMMARY

WATER-ROCK INTERACTION OF SPRING WATER IN DEĞİRMENDERE
(TRABZON) BASIN

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geology Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Fatma GÜLTEKİN
2014, 75 Pages

There are springs which has high ion content in the Değirmendere basin where are outcropped generally volcanic rocks. The aim of this study is to investigate hydrochemical properties and water- rock interaction. In the study area, from older to younger, Late Cretaceous Çağlayan and Çayırbağ Formation, Late Cretaceous- Paleocene Tonya Formation, Eocene- Neogene Kabaköy Formation, Pliocene Beşirli Formation and Quaternary alluvium outcrop. In the Gözalan, Durali, Akoluk and Yanlıca springs water the temperature and the discharge flow rate range from 12.5 to 17.5°C and 46- 158 ml/sec, respectively. In the springs waters the pH values change between 5.32 and 6.99, electrical conductivity values (EC) change between 603 and 1899 $\mu\text{S/cm}$. Dissolved oxygen (DO) and total dissolved solid (TDS) values vary from 3.20 to 9.35 mg/l and 380 to 1230 mg/l, respectively. According to major ion contents, springs have Ca- HCO_3 water type and in water weak acid more than strong acid. In the spring water H_2S and CO_2 exchange is effective according to $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ relation. Zn, Br, Sr and Ba elements, high content in the water, join from altre andesite, tuff, basalt and volcanic breccia type of volcanic rock to waters. The base- exchange indices of springs waters are negative because of Cl^- ions resulting from the decay of silicate is more than alkali ions. Na^+ is added to waters as a result of the decomposition of plagioclase and ion exchange. Sources of Mg^{++} in the water is the ferromagnesian minerals in rocks.

Key Words: Değirmendere Basin, Mineral Water, Hydrochemistry, Water-Rock Interaction.

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Şekil 1.1. İnceleme alanının yer buldurma haritası | 3 |
| Şekil 1.2. Trabzon Meteoroloji İstasyonun'da 1990-2010 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi..... | 5 |
| Şekil 1.3. Trabzon Meteoroloji İstasyonun'da 1990-2010 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi..... | 5 |
| Şekil 2.1. Örnekleme yapılan Durali Kaynağı (a), Gözalan Kaynağı (b), Yanlıca Kaynağı (c), Akoluk Kaynağı (d). | 9 |
| Şekil 3.1. Çalışma alanını ve yakın çevresine ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (ölçeksiz) | 11 |
| Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası | 12 |
| Şekil 3.3. Çalışma alanına ait A-B jeoloji kesiti | 13 |
| Şekil 3.4. Kaynak sularının aylara göre sıcaklık değişimleri | 18 |
| Şekil 3.5. Kaynak sularının aylara göre debi değişimleri..... | 20 |
| Şekil 3.6. Kaynak sularının pH değerlerinin aylara göre değişimleri | 21 |
| Şekil 3.7. İncelenen kaynakların aylara göre Eİ değişimleri..... | 23 |
| Şekil 3.8. Su kaynaklarının aylara göre TDS değişimleri | 25 |
| Şekil 3.9. Kaynakların aylara göre DO değişimleri | 27 |
| Şekil 3.10. İncelen kaynaklarda su örneklerine ait Piper diyagramı | 48 |
| Şekil 3.11. İncelenen kaynak sularına ait Schoeller diyagramı..... | 49 |
| Şekil 3.12. İncelenen kaynak sularına ait mineral doygunluk diyagramı..... | 51 |
| Şekil 3.13. İncelenen kaynak sularının Oksijen 18-Döteryum ilişkisi | 53 |
| Şekil 3.14. İncelenen kaynak sularına ait trityum-klor ilişkisi..... | 54 |
| Şekil 3.15. Kayaç örneklerinde ana oksitlerin dağılımı | 57 |
| Şekil 3.16. Kayaç örneklerinde ana oksitlerin dağılımı | 58 |
| Şekil 3.17. İz elementlerin kayalardaki değişimi..... | 59 |
| Şekil 3.18. İncelenen kaynak sularına ait dairesel diyagramlar | 61 |
| Şekil 3.19. Su ve kayaçların iz element analiz sonuçlar..... | 63 |

TABLolar DİZİNİ

| | <u>Sayfa No</u> |
|--|-----------------|
| Tablo 1.1. Değirmendere vadisindeki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, (1970-2010 yılları arası)..... | 4 |
| Tablo 3.1. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması | 17 |
| Tablo 3.2. Kaynakların aylara göre sıcaklık değerleri..... | 18 |
| Tablo 3.3. Kaynakların debilerine göre sınıflandırılması..... | 19 |
| Tablo 3.4. Kaynakların aylara göre debi değerleri | 19 |
| Tablo 3.5. Kaynakların aylara göre pH değerleri | 21 |
| Tablo 3.6. Suların özgül elektriksel iltkenliğine göre yapılan sınıflandırılma | 22 |
| Tablo 3.7. Kaynakların aylara göre elektriksel iletkenlik değerleri | 22 |
| Tablo 3.8. Kaynakların aylara göre TDS değerleri | 24 |
| Tablo 3.9. Suda çözülmüş toplam iyon (mg/l) | 24 |
| Tablo 3.10. Oksijenin sudaki çözünürlüğünün sudaki değişimi..... | 26 |
| Tablo 3.11. İncelenen kaynak sularında sıcaklıkla oksijenin sudaki çözünürlüğü arasındaki ilişki | 26 |
| Tablo 3.12. İncelenen su kaynaklarında bulunan major iyonlar (ppm)..... | 27 |
| Tablo 3.13. İncelenen su kaynaklarında bulunan iz elementler (mg/l) | 33 |
| Tablo 3.14. İnceleme alanından dernelen örneklerin kirlilik analiz değerleri (mg/l)..... | 44 |
| Tablo 3.15. Kaynak sularındaki anyon-katyonların mek/l değerleri | 47 |
| Tablo 3.16. İncelenen kaynak sularının Doygunluk İndisi (SI) değerleri | 50 |
| Tablo 3.17. İncelenen su kaynaklarının izotop analiz sonuçları..... | 52 |
| Tablo 3.18. Kayaç örneklerine ait ana oksit değerleri, (değerler % olarak verilmiştir)..... | 56 |
| Tablo 3.19. Kayaç örneklerine ait iz element sonuçları, (değerler ppm olarak verilmiştir)..... | 58 |
| Tablo 3.20. İncelenen su kaynaklarında baz değişim endeksi..... | 64 |
| Tablo 4.1. Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar | 66 |
| Tablo 4.2. Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² kanyonları ile Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , HCO ₃ ⁻ anyon değişimleri ve kalsit doygunluk indeksi değerleri, (Hounslow, 1995) | 66 |
| Tablo 4.3. Na ⁺ , K ⁺ , Ca ⁺² , Mg ⁺² kanyonları ile Cl ⁻ , SO ₄ ⁻² , HCO ₃ ⁻ anyon değişimlerine bağlı olarak kaya- su etkileşimi ve kalsit doygunluk indeksine göre kimyasal olaylar, (Hounslow, 1995)..... | 67 |

SEMBOLLER DİZİNİ

| | |
|-----------------------|---------------------------------|
| pH | : Hidrojen iyon aktivitesi |
| Eİ | : Elektriksel İletkenlik |
| KOİ | : Kimyasal Oksijen İhtiyacı |
| TDS | : Toplam çözünmüş madde miktarı |
| KAFZ | : Kuzey Anadolu Fay Zonu |
| KDAF | : Kuzey Doğu Anadolu Fayı |
| Q | : Boşalım debileri |
| t | : Sıcaklık |
| DO | : Çözünmüş Oksijen |
| SI | : Doygunluk İndeksi |
| ²H | : Döteryum |
| ³H | : Tritiyum |
| ¹³C | : Karbon-13 |
| TU | : Tritiyum |
| ¹⁸O | : Oksijen-18 |

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yağmur ve kar suyu gibi yüzey suları, kayaçların yarık ve çatlaklarından derinlere sızarak uzun bir yolculuğa çıkarlar. Suların bu yolculukları 10 yıl hatta 100 yıl gibi sürelerdir. Derinlere süzülen bu sular, rezervuar olarak tanımlanan hazne kayaçta depolanır. Rezervuardaki basınç ve sıcaklığın etkisiyle sular, bulduğu en kolay yoldan (genellikle fay hatları veya hidrotermal kanallar) yukarıya doğru hareket ederek kaynak şeklinde yüzeye çıkar. Sular yeraltına sızarken ve yukarıya çıkarken temas ettikleri değişik türdeki kayaçlardan farklı mineralleri bünyelerine alırlar. Böylece Mineralli Maden Suyu özelliği kazanmış olurlar.

Mineralli su, yerin derin katmanlarından bulunduğu yerin jeolojik özelliklerini taşıyarak magmadan aldığı karbondioksit gazının basıncı etkisiyle yer yüzüne çıkar. Yeryüzüne çıkarken bünyesine geçtiği jeolojik birimlerden iyonlar alarak yol alır. Bu durumda mineralli su iyon içeriği bakımından normal sulara göre çok zengindir. Mineralli sular, çözülmüş mineral tuzları, elementler ve gaz içerirler. Mineralli suları diğer sulardan ayıran özellik, kaynağından elde edildiği anda özel miktar ve oranlarda iyon ve normal sulara bulunmayan iz elementler içermeleridir. Toplam iyon içeriklerine göre mineralli sular sınıflandırılmaktadırlar. Mineralli su içerdiği alkali oluşturuucu iyonlarla vücudun çeşitli elektrolitlerinin konsantrasyonunu düzenler ve özellikle sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve fosfat yoğunluğunu dengeler. Bu iyonlar, organizmanın biyokimyasal reaksiyonlarına aktif olarak katılır ve düzenler.

Türkiye'de mineralli sular genelde tektonik ve volkanik faaliyetlerle ilişkili olarak bulunur. Dolayısıyla çoğunlukla Ege ve Marmara bölgesinde olmasına rağmen hemen her coğrafi bölgemizde bir kaç tane sıcak su kaynağı veya mineralli su kaynağı mevcuttur. Doğu Karadeniz Bölümünde de genç volkanik sokulumlar ve tektonik faaliyetler mineralli suların oluşumunda ve yüzeye ulaşmasında etkili olmuştur. Trabzon'da çok eski yıllardan beri kullanılan Kisarna Maden suyu bunlardan birisidir.

Mineralli suların kimyasal içerikleri kullanılabilir özelliklerini de etkilemektedir. Yeryüzüne ulaşan iyon içeriği yüksek bu suların bazıları içilebilir nitelikte iken bazıları içerdikleri bazı iyonlar nedeniyle içilemez özelliktedir. Bu suların hangi amaçla

kullanılacağı Sağlık Bakanlığı'nın ilgili birimleri tarafından belirlenen standartlarla sınırlandırılmıştır. Soğuk (<20°C) mineralli suların kullanımı Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik'te belirtilmiştir.

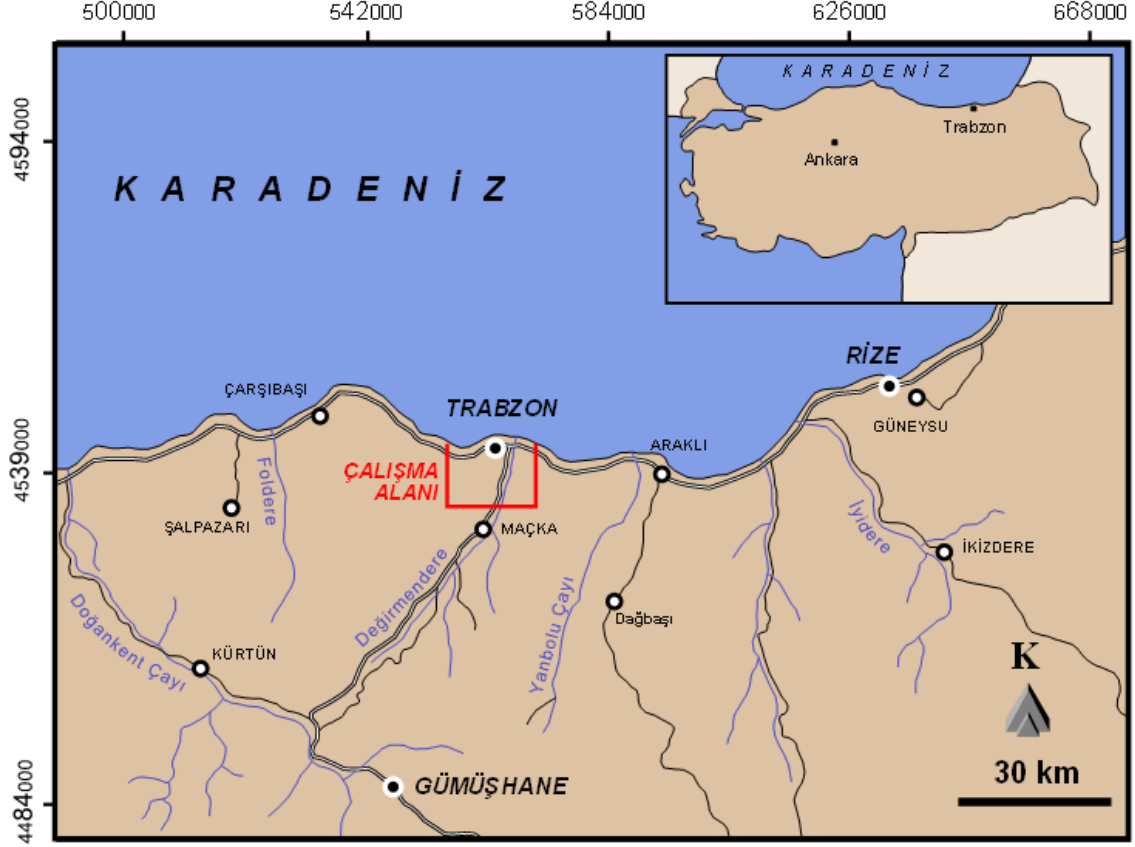
Bu çalışmada Trabzon İl sınırları içerisinde yer alan dört adet iyon içeriği yüksek soğuk kaynak suları hidrokimyasal açıdan incelenmiş ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmeliğe göre uygunluk durumları araştırılmıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Değirmendere havzasında yer alan mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi, su- kayaç etkileşiminin incelenmesi ve mineralli su kaynaklarının içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi bu çalışmanın amacını oluşturur. Bu amaç doğrultusunda kaynakların major iyon ve iz element analizleri yapılmıştır. Kaynaklarda bir yıl boyunca belirli aralıklarla yerinde debi, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, toplam çözülmüş madde miktarı ve çözülmüş oksijen değerleri ölçülmüştür. Havzada yüzeyleyen formasyonları temsilen alınan kayaç örneklerinden tüm kayaç analizleri yapılmıştır. Ayrıca kaynakların kökeni ve yüzey sularıyla karışımları belirlemek amacıyla O-18, döteryum ve tiryum analizleri yapılmıştır.

1.3. İnceleme Alanı

İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Trabzon G43 a2 ve b1 paftları içerisinde yer almakta ve yaklaşık 90 km² lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer buldurma haritası

1.4. Morfoloji

İnceleme alanının büyük bir bölümünü yoğun bitki örtüsüyle kaplı tepeler oluşturur. Bunlar, Karlık (775 m.), Alemdar (764 m.), Toprak (859 m.), Topalın (624 m.) ve Esen (639 m.) tepeleridir. Bunların yanında bitki örtüsünden fakir ve düşük yükseltilere sahip olan Boztepe (258 m.) ve Saraf Tepe (299 m.) tepeleridir (Aydın, 2003).

İnceleme alanında Maçka Deresi adını alan Değirmendere, bölgenin en önemli akarsuyudur. Bu akarsu Esiroğlu yöresinde Kalyan, Çağlayan'da ise Aşağımahalle Deresi ile birleşerek, bahar aylarında, su kapasitesini oldukça artırır

1.5. Yerleşim ve Ulaşım

Çalışma alanı Doğu Karadeniz Bölümünde, Trabzon ili Değirmendere vadisinde yer alır. Bu vadi Trabzon şehir merkezinin 2 km doğusunda denize açılır ve burdan itibaren güneye doğru (~ 20 km) Maçka ilçesine kadar uzanır.

Trabzon-Gümüşhane Devlet kara yolu, Değirmendere vadisi boyunca kuzey- güney yönünde kat eden en önemli ulaşım yoludur. Ulaşım Trabzon il merkezinden çalışma alanına her mevsim minibüsler ile sağlanmaktadır.

1.6. İklim ve Bitki Örtüsü

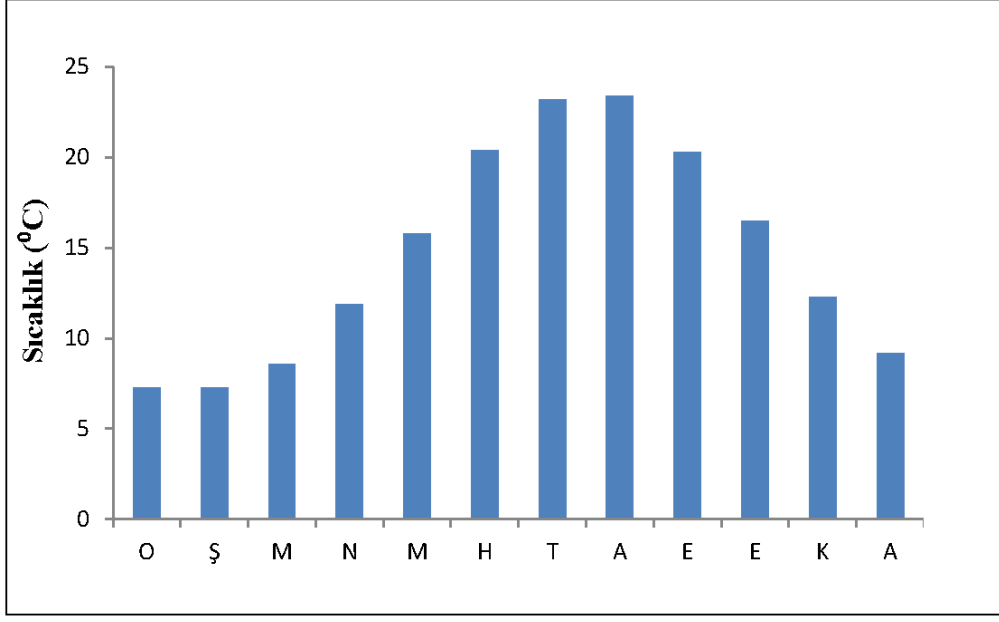
Trabzon yöresi, Karadeniz Bölgesi İklimi'nin özelliklerini tümüyle taşır. Doğu Karadeniz Bölümü kıyı şeridinde yazlar sıcak, kışlar ılık ve her mevsim yağışlı bir iklim hüküm sürmektedir.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji işleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonlardan alınan yağış ve sıcaklık verilerine göre çalışma alanında en fazla yağışın Ekim ayında; en düşük yağışın Temmuz ayında; en düşük sıcaklığın Ocak ve en yüksek sıcaklığın ise Ağustos ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Şekil 1.2, 1.3).

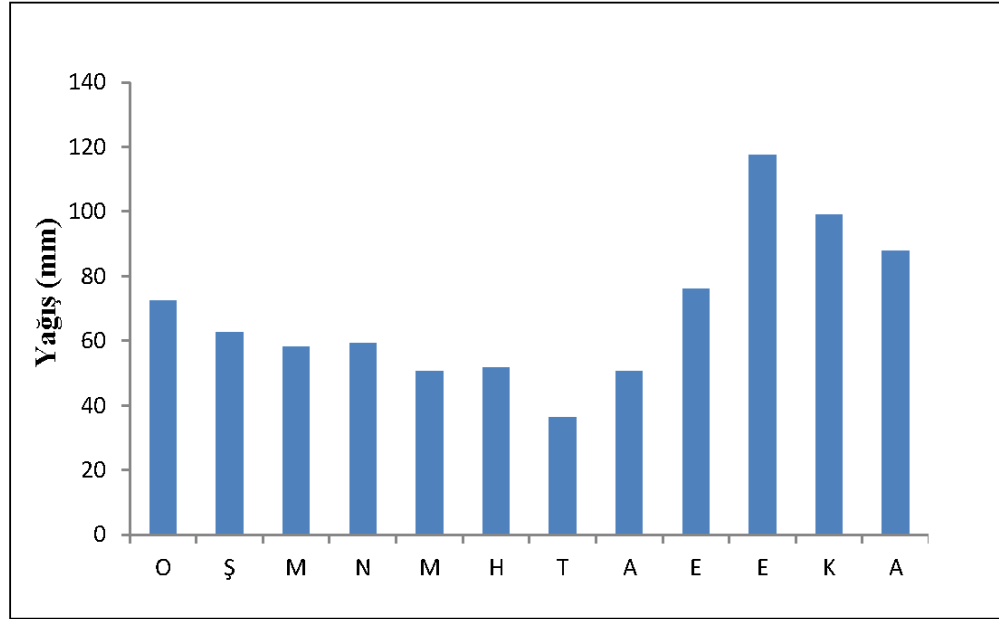
Bu verilere göre Değirmendere vadisine düşen ortalama toplam yıllık yağış 821.6 mm/yıl, ortalama sıcaklık ise 14.68 °C olarak hesaplanmıştır (Tablo 1.1).

Tablo 1.1. Değirmendere vadisindeki yıllık ortalama yağış ve sıcaklık değerleri, (1970-2010 yılları arası)

| Aylar | O | Ş | M | N | M | H | T | A | E | E | K | A | Yıllık |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|--------|
| Ortalama Yağış (mm) (1990-2010) | 72.4 | 62.7 | 58.1 | 59.1 | 50.6 | 51.7 | 36.1 | 50.6 | 75.9 | 117.5 | 99.1 | 87.8 | 821.6 |
| Ortalama Sıcaklık (°C) (1990-2010) | 7.3 | 7.3 | 8.6 | 11.9 | 15.8 | 20.4 | 23.2 | 23.4 | 20.3 | 16.5 | 12.3 | 9.2 | 14.68 |



Şekil 1.2. Trabzon Meteoroloji İstasyonu'nda 1990-2010 yılları arasında ölçülen ortalama sıcaklık değerlerinin aylara göre değişimi



Şekil 1.3. Trabzon Meteoroloji İstasyonu'nda 1990-2010 yılları arasında ölçülen ortalama yağış değerlerinin aylara göre değişimi

1.7. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanında genel jeoloji, mineraloji-petrografi, mühendislik jeolojisi ve hidrojeoloji amaçlı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Türk-Japon ekibi (1974), MTA Enstitüsü tarafından Türk-Japon işbirliği ile ‘Report on Geological Survey of Trabzon Area’ adlı çalışmada Trabzon yöresinin 1/50.000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmış ve istifin Üst Kretase yaşlı kireçtaşı-marn-çamurtaşı ardalması ile başlamadığı, bunu aynı yaşlı andezit, dasit ve andezitik piroklastların üstlediği belirtilmiştir.

Dilek (1979), ‘Trabzon-Hopa Kıyı Şeridinin Yeraltı Suyu Olanakları’ isimli çalışmasında Trabzon-Hopa kıyı şeridindeki önemli alüvyonların kalınlıkları, poroziteleri, özgül su tutma kapasiteleri, permeabilite katsayıları ve akiferlerde depolanabilecek su hacimleri hesaplanmıştır. Çalışmada bölgede milyonlarca metreküp suyun depolanmış durumda bulunduğu ve Doğu Karadeniz Bölümünün su gereksinimini karşılayacak miktarda kaliteli suyun bulunduğu ifade edilmiştir.

Güven (1993), Doğu Karadeniz Bölümünün 1/250.000’lik Jeoloji ve Metalojeni Haritası’nı hazırlarken çalışmaları yeniden derlemiş ve Pontidler’in Kuzey Zon ve Güney Zon’larına ait iki farklı stratigrafik kolon kesit önermiştir.

Korkmaz ve Van (1995), ‘Trabzon Kıyı Bölgesinin Stratigrafisi’ adlı çalışmalarında Trabzon bölgesindeki Üst Kretase’den Pliyo-Kuvaterner’e kadar değişik yaşta ve farklı özellikteki birimleri incelemişler ve bölgenin temelinin Kampaniyen-Maestrichtiyen yaşlı, tortul ara katkılı andezitik-bazaltik kayalar ve piroklastlardan meydana gelerek çok geniş yayımlı volkano-tortul bir istif oluşturduğunu belirtmişlerdir. Bu istifin yukarıya doğru Üst Kampaniyen-Maestrichtiyen yaşlı, beyaz renkli kireçtaşı ve marn ardalmasına geçtiğini ve bunların üzerine de uyumsuz olarak Eosen yaşlı andezitik-bazaltik kayaların ve piroklastlarının geldiğini belirtmişlerdir.

Yılmaz vd., (1998), Trabzon İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları adlı çalışmada genel çalışmalar çoğunlukla 1/100000 ölçeğinde ve Trabzon ilinin bütününde, detay çalışmalar 1/25000 ölçeğinde ve 18 ilçede yapılmıştır. Bu çalışmalarda 1/100000 ölçekli jeoloji haritası revizyon edilmiş ve genel jeoloji bölümünde; ilin stratigrafisi, tektonik özellikleri ve maden yataklarının tipleri verilmiştir.

Şen (2000), Doğu Karadeniz Bölgesi'nin kuzeyindeki Eosen sonrası kayalar içerisinde ilk olarak 'ultramafik nodüllerin' varlığını keşfetmiş ve bunların mineralojisini ve kimyasını incelemiş ve bu nodüllerin manto kalıntısı olmadığını, ancak nodüllerin magmanın değişik derinliklerinde kristallenen mineral birikimleri olduğunu ortaya koymuştur.

Aydın (2003), Değirmendere Vadisinde yaptığı doktora çalışmasında, Üst Kretase yaşlı toleyitik-kalkalkali volkanitler ada yayı ürünleri olup, bazaltik ve andezit kayalardan oluştuğu ve Neojen yaşlı alkali-şoşonitik Trabzon volkanitlerinin çarpışma sonrası yay özelliği gösteren bazanit, tefrit ve tefritik fonolitlerden ve alkali bazalt, traki bazalt, traki andezit, trakit ve riyolitten oluşan iki farklı seriden meydana geldiğini belirlemiştir. Üst Kretase volkanitlerinin ana magmasının yitim ilişkili zenginleşmiş litosferik bir kaynaktan bir kısmi ergimeyle oluştuğunu ve buna karşın Neojen volkanitlerinin ana magma kaynağının muhtemelen metazomatize olmuş bir manto kaynağından kısmi ergimeyle oluştuğunu söylemiştir.

Gültekin vd., (2005), Aşağı Değirmendere havzasındaki suların kalitesini incelemiş ve havzadaki suların hidrokimyasal fasiyesleri yönünden "kalsiyum bikarbonatlı" sular sınıfında yer aldığı ve Yanlıca mineralli suyunda Antimuan (Sb) ve Selenyum (Se), Akoluk kaynağında ise Krom (Cr) ve Kurşun (Pb) değerleri standartlarda verilen limit değerlerin üzerinde olduğunu belirlemiştir. Bu çalışmada Değirmendere suyu çok kirlenmiş su sınıfında olup, Değirmendere Vadisindeki yeraltı suları ise pH, TDS, Cl, SO₄⁻², NO₂ ve NO₃ miktarına göre yüksek kaliteli su sınıfında yer almaktadır.

Ersoy (2007), Doktora çalışmasında, Trabzon İli için katı atık düzenli depolama uygunluk haritası üretmiştir. Düzenli depolama alanı olarak önerilen Düzyurt eski açık işletme sahasının jeoteknik açıdan uygun olduğu belirlenmiş ve düzenli depolama için projelendirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Gültekin vd., (2012), Trabzon İli'ndeki tüm suları Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, Kıta İçi Su Kaynakları Kalite Kriterleri'ne göre değerlendirmiştir. Suların bir çok parametre açısından yüksek kaliteli sular sınıfında iken, genellikle Cu, Pb, Mn, NO₂⁻, NH₄⁺, PO₄³⁻, CN⁻ ve KOİ parametreleri açısından az kirlenmiş, kirlenmiş ve çok kirlenmiş su sınıfında olduğu ve sulara kirlilik oluşturan parametrelerin çoğunlukla tarımsal faaliyetlerden ve çevresel atıklardan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları Haziran 2012 tarihinde başlamış, Mart 2013 te tamamlanmıştır. Arazi çalışmalarında, mineralli su kaynakları ve çevresini kapsayan alanda daha önce yapılmış olan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları arazide revize edilerek yeniden hazırlanmıştır. Çalışma alanında yüzeyleyen birimlerden jeokimyasal analizler için kayaç örnekleri alınmıştır.

İncelenen kaynaklara ait sıcaklık, pH, debi, elektriksel iletkenlik (Eİ), toplam çözülmüş madde miktarı (TDS) ve çözülmüş oksijen (DO) değerleri YSI 556 model çoklu parametre ölçer cihazı ile arazide yerinde ölçülmüştür. Ölçümler esnasında kullanılan problemler, her arazi çalışmasından önce tampon çözeltileri ile kalibrasyonları yapıldıktan sonra ölçüm için kullanılmışlardır.

Kaynaklardan Haziran 2012 tarihinde kimyasal ve izotopik analizler yapılmak üzere örnek alınmıştır (Şekil 2.1). Örneklemede majör iyon (Ca, Mg, Na, K, HCO₃, SO₄, Cl) analizleri için 1 litrelik, iz element (Al, As, B, Ba, Cu, Pb, vs) analizleri için 100 ml'lik polietilen şişeler, Oksijen-18 ve Döteryum izotopu için 100 ml, trityum izotopu için 500 ml'lik polietilen şişeler kullanılmıştır. Örnek alınmadan önce şişeler 3 kez kaynak suyu ile çalkalanmıştır.

2.2. Laboratuvar Çalışmaları

Alınan su örneklerinden majör iyon ve Trityum analizleri Hacettepe Üniversitesi, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilimdalı Su kimyası Laboratuvarında, iz element analizleri ise ACME Analitik Laboratuvarında (Kanada) yapılmıştır. Oksijen-18 ve Döteryum izotopları ISO ANALYTICAL (İngiltere) Laboratuvarında yaptırılmıştır.

Kayaç örnekleri KTÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında çeneli kırıcıda kırılıp bilyeli değermende öğütülmüştür. Toz haline gelen örneğe ait tüm kayaç analizi Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde ICP-MS yöntemi analiz edilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 2.1. Örnekleme yapılan Durali Kaynağı (a), Gözalan Kaynağı (b), Yanlıca Kaynağı (c), Akoluk Kaynağı (d).

2.3. Büro Çalışmaları

Çalışma alanı ve çevresini kapsayan jeolojik ve hidrojeolojik çalışmalar literatür araştırması yapılarak belirlenmiştir. Kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesinde AquaChem ve Phreeqc gibi bilgisayar programları kullanılmıştır.

3. BULGULAR

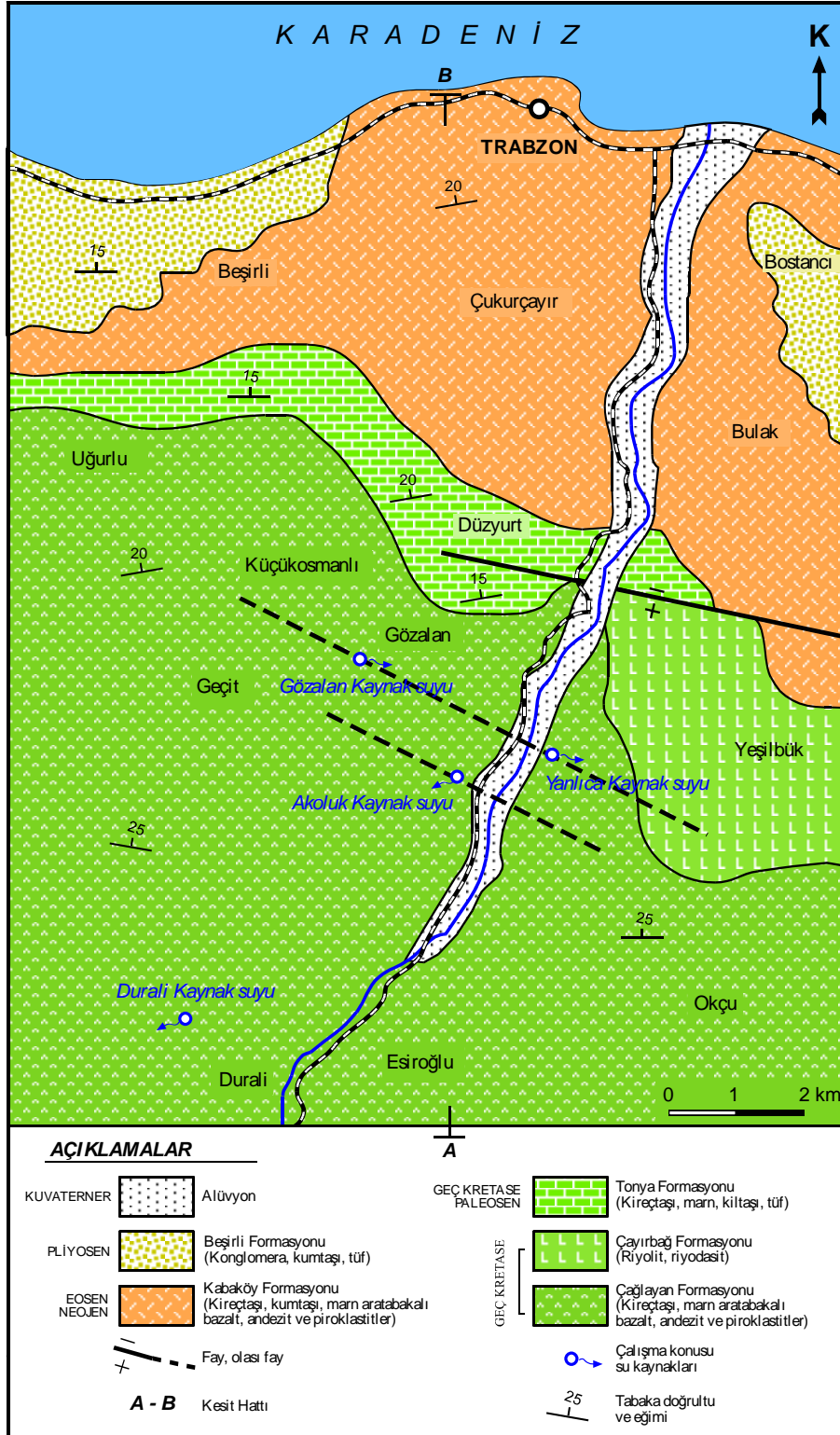
3.1. Stratigrafi

Çalışma alanında Üst Kretase'den Kuvaterner'e kadar değişen yaş aralığında genellikle volkanik karakterli beş farklı birim bulunmaktadır. Bunlar yaşlıdan genç doğru Çağlayan, Çayırbağ, Tonya, Kabaköy ve Beşirli formasyonlarıdır (Şekil 3.1). Alandaki en genç birim Değirmendere vadisi boyunca depolanan alüvyonlardır.

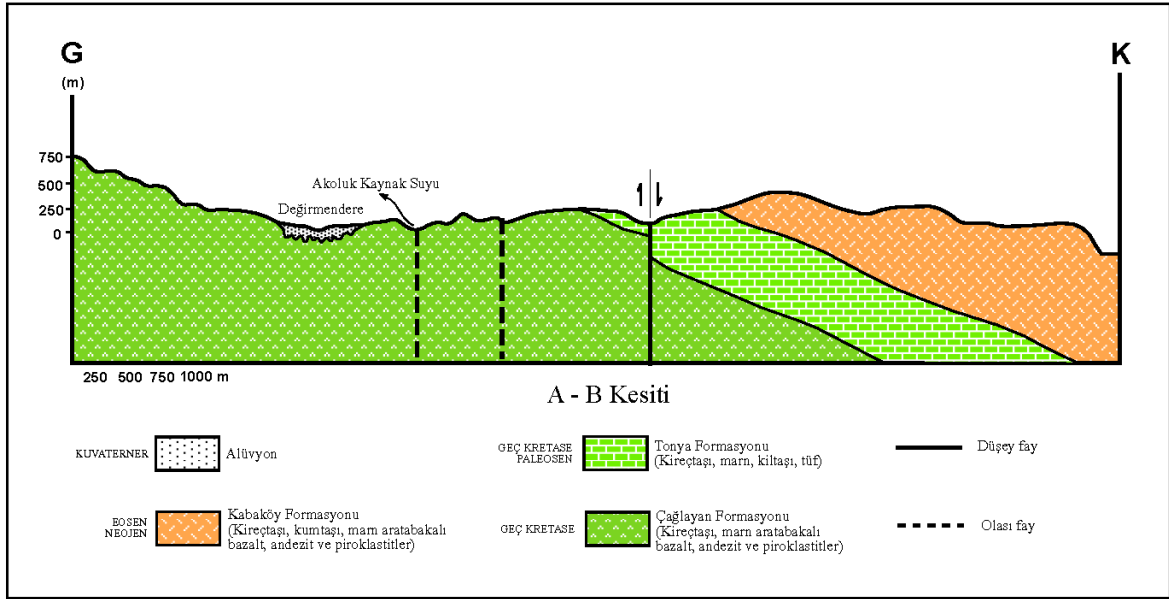
3.1.1. Çağlayan Formasyonu

Asitik volkanitleri üstleyen ikinci evreli bazik karakterli volkanit, volkanoklastik ve çökel kaya ardalanmasının oluşturduğu volkano-tortul istif Güven (1993) tarafından Çağlayan Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da aynı isimle adlandırılan formasyon çalışma alanında Esiroğlu, Gözalan ve Durali yörelerinde yüzeylemektedir (Şekil 3.2).

Formasyonun egemen kaya türünü oluşturan bazalt, andezit ve bazaltik, andezitik piroklastların arasında kumtaşı, marn ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı ara seviyeleri bulunur. Genellikle koyu renkli olan bazalt ve andezitler yersel sert, kırıklı ve çatlaklıdır. Boşluklar ikinci kalsit veya kloritle doldurulmuştur. İyi tabakalanmalı tuf ve breşler içinde bazalt ve andezit parçaları yanında kırmızı kireçtaşı ve killi kireçtaşlarının parçaları da izlenir. Kumtaşları çoğunlukla volkanik elemanlıdır. Formasyon aralı volkanizmanın etkin olduğu derin bir ortamda çökelmiştir. Çağlayan formasyonu, ikinci evreli riyolit- riyodasit ve piroklastlarından oluşan Çayırbağ formasyonu tarafından uyumlu olarak üstlenir. Çağlayan formasyonunun yaşı Güven (1993) tarafından Kampaniyen-Maestrihtiyen olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası, (Güven, 1993'den değiştirilerek)



Şekil 3.3. Çalışma alanına ait A-B jeoloji kesiti

3.1.2. Çayırbağ Formasyonu

Bazik karakterli volkano-tortul istifin üzerine uyumlu olarak gelen ikinci evreli asidik volkanik kayaçlar ve piroklastları Güven (1993) tarafından Çayırbağı formasyonu adı altında ayırtlanmıştır. Bu çalışmada da aynı isimle anılan birim inceleme alanında Yeşilbük ve çevresinde yüzeylenmektedir (Şekil 3.2).

Çayırbağ formasyonu başlıca riyolit, riyodasit, dasit ve bunların piroklastlarından oluşur. Birimi oluşturan riyolit ve riyodasitler mavinmsi gri renkli ayrışma, dasitlerde iri kuvars taneleri gözlenir. Genellikle volkanojenik dom yapıları gösteren dasitlerde ise prizmatik kolon yapıları iyi gelişmiştir. Birimin kalınlığı 100-200 m. arasında, yaşı ise Maestrihtiyen'dir (Güven, 1998).

3.1.3. Tonya Formasyonu

Birim Korkmaz (1993) tarafından, Tonya (Trabzon) yöresinde litostratigrafi kurallarına göre, ayrıntılı olarak incelenmiş ve "Tonya Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da Tonya Formasyonu olarak adlandırılan birim çalışma alanında Düzyurt ve çevresinde yüzeylenmektedir (Şekil 3.2).

Formasyon genel olarak, beyaz, açık gri, sarımsı renkli kireçtaşı, killi kumlu kireçtaşı ve marn ardalanmasından oluşur. Bu karbonatlı birimin taban seviyeleri genelde orta ve

yer yer kalın tabakalı olup, birimin üst seviyelerine göre daha çok, dasitik kayaç çakılları (yuvarlak ve elips şekilli) ve kavkı parçaları içermektedir. Birimin orta seviyelerinde yer yer orta tabakalı kumlu kireçtaşı seviyeleri ve kanal dolguları gözlenir (Aydın, 2003). Birimin kalınlığı 150 m. olup, Geç Kretase-Paleosen yaşlıdır (Ersoy, 2007) (Şekil 3.3).

3.1.4. Kabaköy Formasyonu

İnceleme alanında genellikle kırıntılı çökellerde başlayan ve istifin en üst bölümünde yer alan volkano- tortul seviye Güven (1993) tarafından Kabaköy formasyonu adı altında ayırtlanmıştır. Bu çalışmada da aynı isimle adlandırılan birim inceleme alanında Bulak, Çukurçayır ve Trabzon yörelerinde yüzeylenir (Şekil 3.2).

Kabaköy formasyonu, inceleme alanında daha çok volkanik kayaçlarla temsil edilir. Birim yer yer kumtaşı, kumlu kireçtaşı ve marn ara tabakaları içeren masif veya kalın tabakalanmalı bol ojit ve hornblendli, bazalt, andezit ve piroklastlarının oluşturduğu bir volkano tortul istiftir.

Çalışma alanında Beşirli formasyonu tarafından açısız uyumsuzlukla üstlenen birimin yaşı Alt-Orta Eosen, yaklaşık kalınlığı 700 m.'dir (Güven, 1993).

3.1.5. Beşirli Formasyonu

Trabzon kıyı şeridindeki kaba taneli çakıltaşı ve kumtaşları Güven (1993) tarafından Beşirli formasyonu olarak adlandırılmıştır. Bu çalışmada da aynı isimle anılan birim inceleme alanında Bostancı ve Beşirli'nin sahil kesimlerinde yüzeylenir (Şekil 3.2).

Genellikle gevşek çimentolu, iri taneli konglomera, daha az kumtaşı ve kıltaşı seviyelerinden oluşan Beşirli formasyonu malzemesini tümüyle Kabaköy formasyonundan alınmıştır (Güven, 1993). Yer yer iri andezit veya bazalt çakıl ve bloklardan oluşan konglomeralar, aglomerayı andırır. Bazen iyi derecelenme ve çapraz tabakalanma yapıları gözlenirse de genelde etkin aşınma ve kısa mesafeli taşınma sonucu hızlı çökelmiş bir yığılım malzemesi görünümü egemendir (Güven, 1993).

Yaşını saptayacak herhangi bir veri bulunmayan formasyonun, Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunuşu ve kumlu-killi seviyelerde taşınmış Miyosen yaşlı fosil parçaları içermesi göz önünde tutularak, Pliyosen olarak kabul

edilmiştir (Güven, 1993). Birimin kalınlığı Güven, (1993) tarafından yaklaşık 50-75 m. olarak belirtilmiştir.

3.1.6. Alüvyonlar

Alüvyonlar Değirmendere Vadisi'nde güneyden kuzeye doğru genişleyen yüzeylemeler sunar. Bu alüvyonların kalınlığı, birbirine paralel olarak vadiyi kesen iki fay arasındaki bloğun aşağı düşmesi nedeniyle, bu bölgede 40 m'ye kadar erişmekte, diğer yerlerde 20 m'yi geçmemektedir (Dilek, 1979). Alüvyonların elemanlarının çoğunluğunu çakıl geri kalanını ise kum, silt ve az miktarda kil oluşturmaktadır. Çakıllar çoğunlukla yuvarlak ve elips şeklidirler ve genellikle bazalt, andezit ve dasit türü kayalardan oluşmaktadırlar. Kum tanelerini genellikle aglomera ve kireçtaşları oluşturur (Dilek, 1979). Trabzon İli içme suyu 1990'lı yıllara kadar Değirmendere alüvyonlarında açılmış olan yaklaşık 23 adet kuyudan sağlanmaktaydı. Ancak nüfusun artması nedeniyle alüvyonların depoladığı yeraltısuyu gereksinimi karşılayamamış ve içme -kullanma suyu olarak Kalyan Deresi suyu arıtılarak kullanılmaya başlanmıştır. Değirmendere alüvyonlarında açılan eski kuyular terkedilmiş ve alüvyon malzeme üzeri günümüzde sanayi sitesi, kömür depolama alanları gibi çok farklı amaçlar için kullanılmaya başlanmıştır.

3.2. Yapısal Jeoloji

Tektoniği açısından bakıldığında, inceleme alanının da içinde bulunduğu Kuzey Anadolu Bölgesi (Pontidler), Geç Kretase sürecinde Arap ve Afrika Plakaları'nın kuzeye doğru hareketiyle başlayıp Pliyosen'e kadar devam eden, Avrasya ve Anadolu Plakası arasında bir sıkışma alanı olarak kabul edilir (Yılmaz vd., 1993; Bozkurt, 2001). Türkiye'nin genç tektonik (neotektonik) yapılarına göre ise Kuzey Anadolu Bölgesi, kuzeyde Avrasya Plâkası bindirme kuşağıyla, güneyde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) ve Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) ile sınırlıdır (Aydın, 2003).

İnceleme alanı, orojenik kuşaklar açısından, Alp-Himalaya Dağ Kuşağı üzerinde bulunur ve aynı zamanda Türkiye'nin ana tektonik birliklerinden biri olan Kuzeydoğu Anadolu'nun (Ketin ve Camitez, 1972) kuzeyinde yer alır.

Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi Doğu Karadeniz Dağları'nın kuzeyi boyunca (D-B yönünde ~400 km, K-G yönünde ~65 km) uzanan geniş bir dağ zincirini kapsar ve eski bir ada yayı olarak bilinir (Okay ve Şahintürk, 1997).

3.2.1. Faylar

İnceleme alanında Üst Kretase yaşlı birimlerle Eosen yaşlı birimlerin dokanağını oluşturan yaklaşık KB- GD doğrultulu düşey bir fay gözlenmiştir. Ayrıca bu faya yaklaşık paralel doğrultuda ve Gözalan, Akoluk ve Yanlıca kaynak sularında yüzeye çıkmasını sağlayan KB-GD doğrultulu iki adet düşey fayın olabileceği düşünülmektedir.

3.2.2. Tabakalar

İnceleme alanında tabakalı kayalar volkanitlerle ara katkılar oluşturan kireçtaşı, marn, kumtaşı ve kumlu kireçtaşı gibi kayalar oluşturur. Tabakaların genel olarak doğrultuları D-B yönünde olup eğimleri kuzeye 15-25 derece arasında değişir. Tabaka kalınlıkları formasyonlara göre değişik gösterir.

3.3. Su Kimyası

3.3.1. Giriş

Su, bileşiminde hidrojen ve oksijen bulunan kararlı bir moleküldür. $H_2 + 1/2 O_2 \rightarrow H_2O$ su moleküllerinin dipol özelliğinden dolayı kuvvetli bir çözücü olması sebebiyle de doğada saf olarak bulunması çok zordur. Örneğin; yağmur suyunda; yağmurun yeryüzüne düşerken atmosferden çözerek aldığı oksijen, azot, karbondioksit, hidrojen sülfür vs. gibi gazlar bulunmaktadır. Dünyadaki su kaynakları yeraltı ve yüzey suları olarak iki başlık altında toplanabilir. Yeraltı sularında, yerküre katmanlarında da bulunan kalsiyum, magnezyum, demir, silis vs. gibi çeşitli maddeler bulunmaktadır. Yeraltı suları buldukları bölgenin jeolojik yapısına, yeraltı katmanının durumuna ve kaynağın derinliğine bağlı olarak değişik nitelikler gösterirler. Nehir, göl gibi yüzey suları da aynı şekilde buldukları bölgenin jeolojik yapısına bağlı olarak değişik nitelikler gösterirler.

Yeraltı sularının yüzey sularına göre en büyük avantajları çevre kirliliğinden daha az etkilenmeleri ve bünyelerinde daha az miktarda askıda katı madde ihtiva etmelidir.

Tatlı sular, yüzeysel su kaynakları ve yeraltı akiferlerinden temin edilir. Yüzeysel su kaynakları, genel olarak, bulanık ve tortuludur ve sulama amaçlı kullanımlar dışında mutlaka filtrasyon gereklidir. Yeraltı suları ise, çözülmüş madde konsantrasyonu açısından oldukça zengindir. Yeraltı katmanları arasındaki süzülme esnasında yüksek miktarda katı madde, çözülmüş formda yeraltı suyuna karışır. Yeraltı sularının toplam çözülmüş madde (TDS) konsantrasyonu açısından zengin olma sebebi de budur.

3.3.2. İncelenen Kaynak Sularının Fiziksel Özellikleri

3.3.2.1. Sıcaklık (°C)

Genel olarak suların sıcaklığı su tablasının derinliğine, jeografik enleme, etkin volkanizmaya bağlıdır (Şahinci, 1991). Sular sıcaklıklarına göre farklı şekillerde sınıflandırılmıştır. Bunlardan en yaygın kullanılan sınıflama Bogomolov'un yaptığı sınıflamadır. Bu sınıflamaya ait değerler tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Suların sıcaklıklarına göre sınıflandırılması, (Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

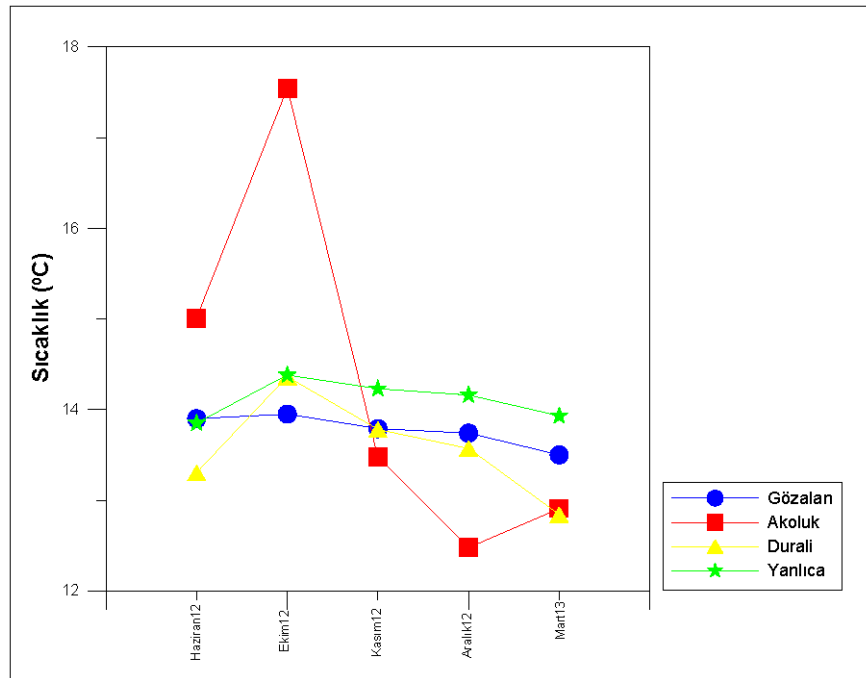
| Sıcaklık (°C) | Sınıflama |
|---------------|-----------------|
| < 20 °C | Soğuk sular |
| 20°C- 37°C | İlisk sular |
| 37°C- 42°C | Sıcak sular |
| 42°C > | Çok sıcak sular |

İnceleme alanındaki kaynak sularının sıcaklık değerleri; Gözalan için 13.59-13.95°C, Akoluk için 12.48-17.54°C, Durali için 12.84-14.36°C, Yanlıca için 13.85-14.38°C arasında ölçülmüştür (Tablo 3.2). Kaynak sıcaklıklarının birbirleri ile karşılaştırılması ise şekil 3.4'te verilmiştir. Bu değerler ile çalışma alanındaki kaynak suları, sıcaklıklarına göre, "Soğuk Sular" sınıfında yer almaktadır.

Tablo 3.2. Kaynakların aylara göre sıcaklık değerleri

| Kaynaklar | Sıcaklık (°C) | | | | |
|-----------|---------------|-----------|------------|-------------|-----------|
| | Haziran 2012 | Ekim 2012 | Kasım 2012 | Aralık 2012 | Mart 2013 |
| Gözalan | 13.9 | 13.95 | 13.79 | 13.74 | 13.59 |
| Akoluk | 15.1 | 17.54 | 13.48 | 12.48 | 12.91 |
| Durali | 13.3 | 14.36 | 13.78 | 13.57 | 12.84 |
| Yanlıca | 13.85 | 14.38 | 14.23 | 14.16 | 13.93 |

Gözalan, Durali ve Yanlıca kaynaklarının sıcaklıkları hemen hemen değişmezken, Akoluk kaynak suyu sıcaklığı mevsimlere göre değişiklik göstermektedir. Bunun nedeni kaynağın debisinin düşük ve yüzeye yakın bir boru ile akıtılmasıdır. Ölçümler boru çıkışında yapıldığı için atmosfer sıcaklığını yansıtmaktadır.



Şekil 3.4. Kaynak sularının aylara göre sıcaklık değişimleri

3.3.2.2. Boşalım Debileri

Bir kaynaktan birim zamanda boşalan su miktarı kaynağın debisini oluşturur. Kaynakların debisi, kaynağı besleyen drenaj alanının büyüklüğüne ve yıllık beslenme değerine bağlıdır. Kaynakların debilerine göre sınıflaması Meinzer (1927) tarafından yapılmıştır. Buna göre debi şiddeti 8 sınıfa ayrılmıştır (Tablo 3.3).

Tablo 3.3. Kaynakların debilerine göre sınıflandırılması, (Meinzer, 1927)

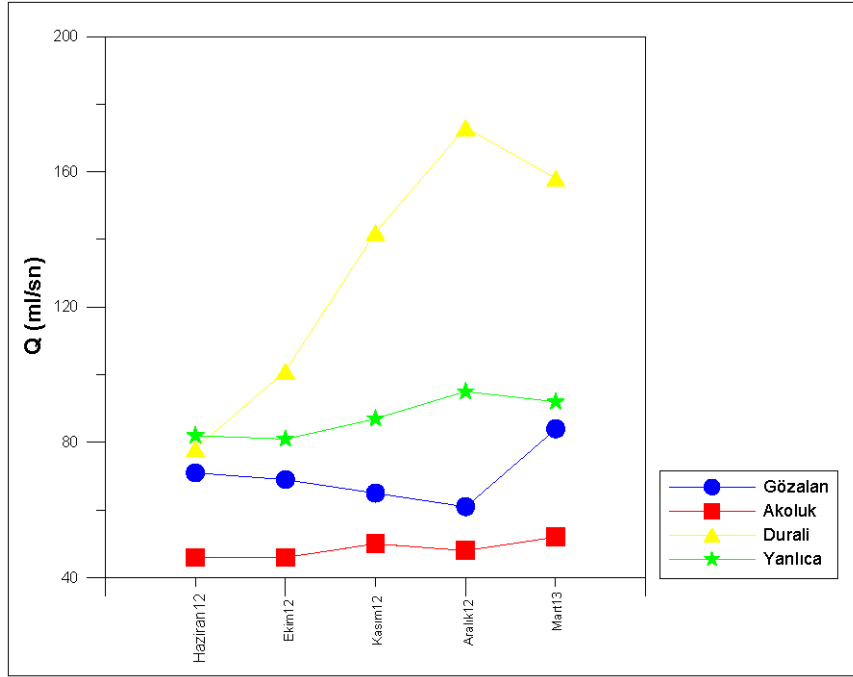
| Kaynağın Şiddeti | Ortalama Debisi |
|------------------|--------------------------------|
| Birinci | $Q > 10 \text{ m}^3/\text{sn}$ |
| İkinci | $1-10 \text{ m}^3/\text{sn}$ |
| Üçüncü | $0.1-1 \text{ m}^3/\text{sn}$ |
| Dördüncü | $10-100 \text{ l/sn}$ |
| Beşinci | $1-10 \text{ l/sn}$ |
| Altıncı | $0.1-1 \text{ l/sn}$ |
| Yedinci | $10-100 \text{ ml/sn}$ |
| Sekizinci | $Q < 10 \text{ ml/sn}$ |

İnceleme alanında Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularında ölçülen debi değerleri Tablo 3.4' de, birbirleri ile karşılaştırılması ise şekil 3.5'de verilmiştir. Tablo 3.4 incelendiğinde kaynakların debi değerlerinin Gözalan'da 61-84 ml/sn, Akoluk'da 46-52 ml/sn, Durali'de 78-173 ml/sn, Yanlıca'da 81-95 ml/sn arasında olduğu görülmektedir. Meinzer (1927)'nin debi sınıflandırılmasına göre, Gözalan, Akoluk ve Yanlıca "Yedinci sınıf" ve Durali "Altıncı sınıf" kaynak sınıfındadır.

Tablo 3.4. Kaynakların aylara göre debi değerleri

| Kaynaklar | Debi (ml/sn) | | | | |
|-----------|--------------|-----------|------------|-------------|-----------|
| | Haziran 2012 | Ekim 2012 | Kasım 2012 | Aralık 2012 | Mart 2013 |
| Gözalan | 71 | 69 | 65 | 61 | 84 |
| Akoluk | 46 | 46 | 50 | 48 | 52 |
| Durali | 78 | 101 | 142 | 173 | 158 |
| Yanlıca | 82 | 81 | 87 | 95 | 92 |

Gözalan, Akoluk ve Yanlıca kaynaklarının debileri değişiklik göstermezken, Durali kaynağının debisinin değişken olduğu görülmektedir. Durali kaynağının çıkışında bir kaptaj yapısı bulunmaktadır ve ölçümler kaptaj çıkışından yapılmaktadır. Ölçüm esnasında kaptaj yapısı içerisindeki su tamamen boşaltılarak ölçüm alınmaya çalışılmıştır. Ancak yüksek değerler, kaptaj yapısında birikmiş olan suyun tamamen boşaltılmadan ölçüldüğünü düşündürmektedir.



Şekil 3.5. Kaynak sularının aylara göre debi değişimleri

3.3.3. Kaynak Sularının Kimyasal Özellikleri

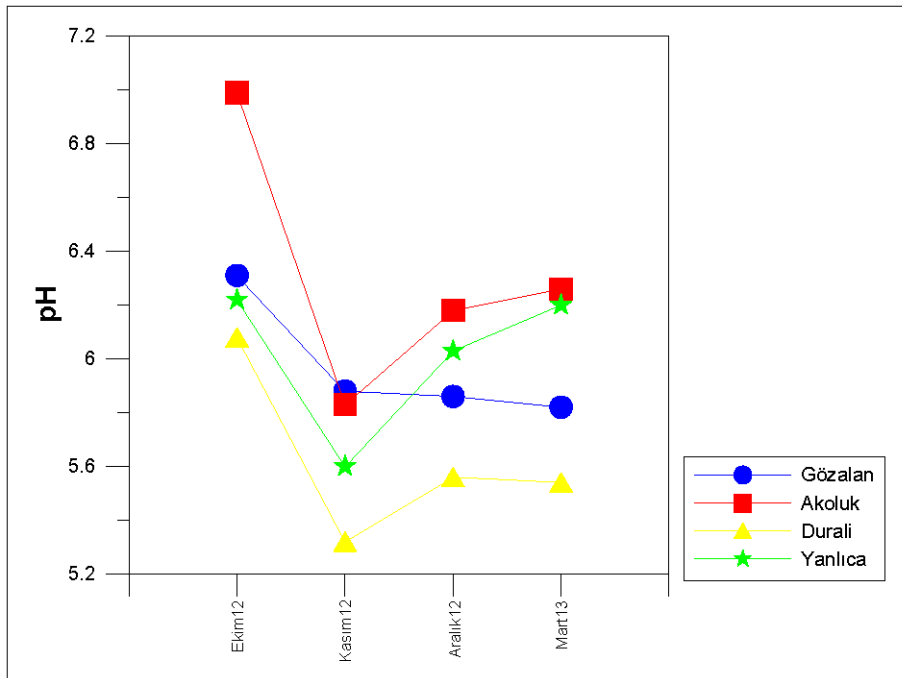
3.3.3.1. Kaynak Sularının pH Değerleri

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir göstergesi olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asidik özelliğini arttırmaktadır (Doğan, 1981). Doğal yeraltı sularının pH'ı 6.0-8.5 arasında değişir. Suların aşındırıcı (düşük pH) ve kabuk bağlayıcı (yüksek pH) özellikleri suların pH değerlerinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise atmosferdeki CO₂ gazının fiziksel çözünmesi ile sulara geçmesi ve hidratasyon sonucunda karbonik aside dönüşerek sulara çözücü aşındırıcı bir özellik kazandırmasıdır (Hem, 1985).

İncelenen kaynakların ölçülen pH değerleri tablo 3.5'de, birbirleri ile karşılaştırılması ise şekil 3.6'da verilmiştir. Tablo incelendiğinde pH değerlerine göre incelenen kaynak sularının hafif çözücü ve asidik özellikte olduğu görülmektedir. Kaynakların hepsinde en yüksek pH değerinin Ekim ayında, en düşük pH değerinin Kasım ayında ölçüldüğü görülmektedir. Meteorolojik verilerle karşılaştırıldığında en yüksek ortalama yağış değerinin de Ekim ayında olduğu görülür. Bu durum kaynakların usulüne uygun kaptajları olmadığı için yüzey sularıyla karışmış olabileceğini düşündürmektedir.

Tablo 3.5. Kaynakların aylara göre pH değerleri

| Kaynaklar | pH | | | | |
|-----------|------------|---------|----------|-----------|---------|
| | Haziran 12 | Ekim 12 | Kasım 12 | Aralık 12 | Mart 13 |
| Gözalan | - | 6.31 | 5.88 | 5.86 | 5.82 |
| Akoluk | - | 6.99 | 5.83 | 6.18 | 6.26 |
| Duralı | - | 6.08 | 5.32 | 5.56 | 5.54 |
| Yanlıca | - | 6.22 | 5.60 | 6.03 | 6.20 |



Şekil 3.6. Kaynak sularının pH değerlerinin aylara göre değişimleri

3.3.3.2. Kaynak Sularının Elektriksel İletkenlik (Eİ) Değerleri

Elektriksel iletkenlik (Eİ), suyun elektrik akımını iletme yeteneğinin sayısal ifadesi olarak 25°C mikromho/cm veya mikrosiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) olarak verilmektedir. Yeraltı suyu literatüründe elektriksel iletkenlik normalde miliohm 'un tersi milimho veya mikroohm'un tersi olan ve mikromho cinsinden rapor edilir. SI sisteminde 1 milimho 1 milisiemens (mS) ve 1 mikromho da 1 mikrosiemens (μS) olarak ifade edilmektedir (Freeze and Cherry, 1979).

Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişime, hareketliliklerine, değerliklerine, görelî değişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı

ile suların elektriksel iletkenlikleri artar (Hem, 1985). Sudaki iyonların derişimi arttıkça elektriksel iletkenlik de artar, dolayısıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında iyi bir göstergedir (Day and Nightingale, 1984; Hem, 1985).

Suların Eİ değerleri kullanım alanlarında etkilemektedir. İçme ve sulama sularında Eİ değeri bir sınıflama parametresi olarak kullanılmaktadır. Bu sınıflamalardan birisi tablo 3.6'da verilmiştir. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005) içme sularında maksimum değer olarak 2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerini kabul etmiştir, ancak Sağlık Bakanlığının Doğal Mineralli Sular Hakkındaki yönetmeliğinde Eİ değeri için bir değer önerilmemiştir.

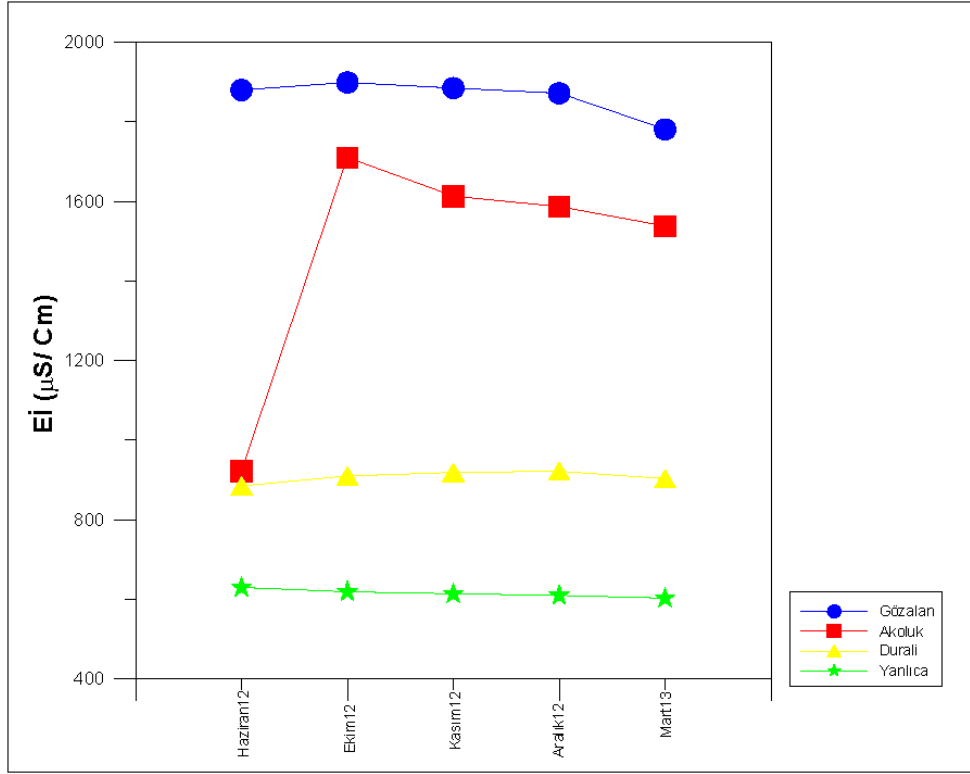
Tablo 3.6. Suların özgül elektriksel iltkenliğine göre yapılan sınıflandırılma, (Erguvanlı ve Yüzer, 1987)

| Elektriksel İletkenlik (Eİ) (25°C'de $\mu\text{mho}/\text{cm}$) | Sınıf |
|---|----------------|
| 250 den az | Çok iyi |
| 250-750 | İyi |
| 750-2000 | Kullanılabilir |
| 2000-3000 | Şüpheli |
| 3000 den fazla | Kullanılamaz |

İncelenen kaynaklarda Eİ değeri Gözalan'da 1781-1899, Akoluk'ta 922-1710, Durali'de 885-922 ve Yanlıca'da 603- 630 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tablo 3.7, Şekil 3.7). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularının Eİ değerleri uygun sınırlar içerisindedir. Erguvanlı ve Yüzer (1980) in sınıflandırılmasına göre Gözalan, Akoluk ve Durali "Kullanılabilir", Yanlıca "İyi" sınıfta yer almaktadır.

Tablo 3.7. Kaynakların aylara göre elektriksel iletkenlik değerleri

| Kaynaklar | Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$) | | | | |
|------------------|--|---------|----------|-----------|---------|
| | Haziran 12 | Ekim 12 | Kasım 12 | Aralık 12 | Mart 13 |
| Gözalan | 1880 | 1899 | 1885 | 1872 | 1781 |
| Akoluk | 922 | 1710 | 1613 | 1587 | 1538 |
| Durali | 885 | 910 | 919 | 922 | 903 |
| Yanlıca | 630 | 619 | 614 | 610 | 603 |



Şekil 3.7. İncelenen kaynakların aylara göre EI değişimleri

3.3.3.3. Kaynak Sularında Toplam Çözünmüş Madde Miktarı (TDS)

Sudaki toplam çözünmüş katılar, inorganik tuzları ve az miktarda organik maddeleri içerirler. Gerek yüzey suları gerekse yeraltı suları ilişkide oldukları toprak ve kayalardaki mineralleri çözerek bünyesine alırlar. Çözünmüş inorganik maddeler suda iyon olarak bulunur. Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'nin tanımlamasına göre doğal yapısında litresinde 1gr veya daha fazla iyon bulunduran ya da bünyesinde CO₂, H₂S, H₄SiO₄, Fe, As, B gibi özel elemanlar bulunduran sulara mineralli su denilmektedir (Langguth, 1984).

İnceleme alanında Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularında ölçülen TDS değerleri Tablo 3.8'de, değişimleri şekil 3.8'de verilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde Gözalan, 1150-1230 mg/l, Akoluk 590-1110 mg/l, Durali 570-590 mg/l ve Yanlıca 380-400 mg/l arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler göre Gözalan ve Akoluk kaynakları "mineralli su" sınıfındadır. Durali ve Yanlıca kaynakları ise diğer sulara oranla daha fazla CO₂ bulundurdukları için Karbondioksitçe zengin kaynak suyu olarak nitelendirilebilirler.

Tablo 3.8. Kaynakların aylara göre TDS değerleri

| Kaynaklar | TDS (mg/l) | | | | |
|-----------|------------|---------|----------|-----------|---------|
| | Haziran 12 | Ekim 12 | Kasım 12 | Aralık 12 | Mart 13 |
| Gözalan | 1220 | 1230 | 1220 | 1210 | 1150 |
| Akoluk | 590 | 1110 | 1040 | 1030 | 990 |
| Durali | 570 | 590 | 590 | 590 | 580 |
| Yanlıca | 400 | 400 | 390 | 390 | 380 |

Ancak Erguvanlı ve Yüzer (1987)'e göre su içinde çözünmüş iyonların toplam miktarına göre, yeraltı suları basit olarak tablo 3.9'daki gibi sınıflandırılır. Bu sınıflamaya göre ise Gözalan ve Akoluk kaynakları "Hafif Tuzlu Sular", Yanlıca ve Durali kaynakları "Tatlı Sular" sınıfında yer alır.

Tablo 3.9. Suda çözünmüş toplam iyon (mg/l)

| | |
|-------------------|------------------|
| Tatlı sular | 0-1000 |
| Hafif tuzlu sular | 1000-10000 |
| Tuzlu sular | 10000-100000 |
| Çok tuzlu sular | 100000'den fazla |

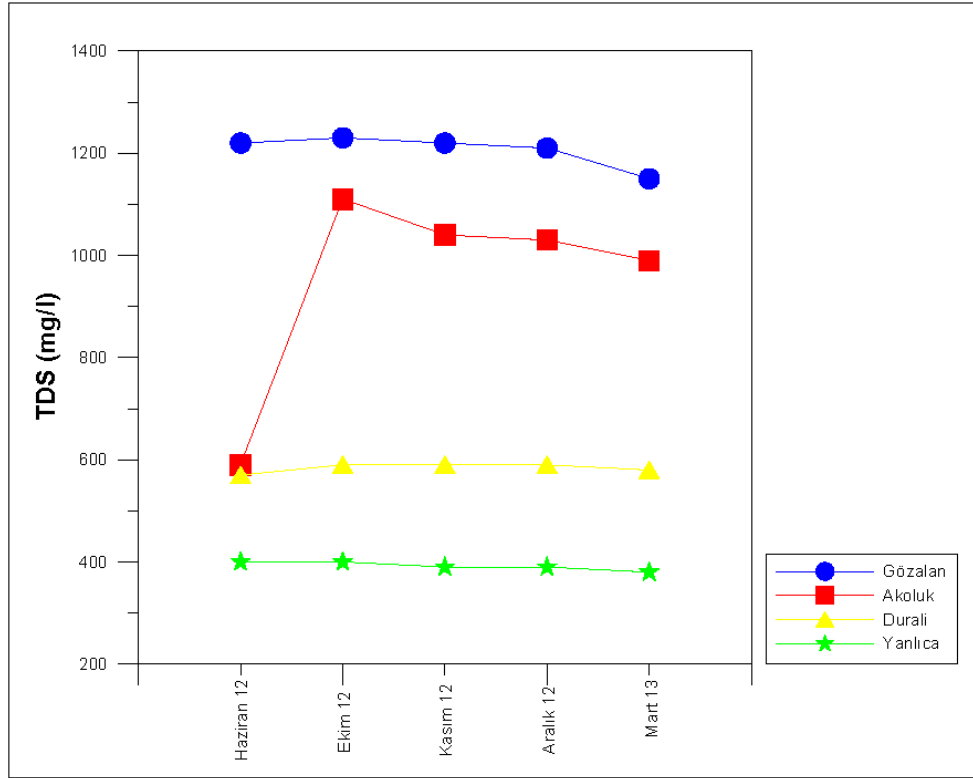
Ayrıca sular Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmeliğe göre de sular TDS değerlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır:

Katı tortu olarak hesaplanan mineral miktarı 1500 mg/L den fazla ise "zengin mineralli",

Katı tortu olarak hesaplanan mineral miktarı 500 mg/L den az ise "düşük mineralli",

Katı tortu olarak hesaplanan mineral miktarı 50 mg/L den az ise "çok düşük mineralli" su olarak nitelendirilir ve etikette belirtilir.

Bu sınıflamaya göre incelenen kaynak sularından Yanlıca kaynak suyu "düşük mineralli su" diğerleri "mineralli su" olarak değerlendirilebilir.



Şekil 3. 8. Su kaynaklarının aylara göre TDS değışimleri

Kaynaklardaki TDS değeri genel olarak değışiklik göstermez, ancak Akoluk kaynağının ilk ölçümü kaptaj dışından yapıldığı için değışiklik göstermektedir.

3.3.3.4. Kaynak Sularında Çözünmüş Oksijen Miktarı (DO)

Doğal sularda oksijen, azot ve karbondioksit gibi gazlar da erimiş halde bulunurlar. Sudaki çözünmüş oksijen (Dissolved Oxygen= DO) suda yaşayan bakterilerin fotosentez olayı sonucu verdikleri oksijen ve havadaki oksijenden gelir. Oksijenin sudaki çözünürlüğü, havadaki oksijenin kimyasal basıncı, suyun sıcaklığı ve suyun kapsamındaki minerallerin derişimlerine bağlıdır (Güler, 1997). Sudaki aerobik organizma vb. aerobik canlı yaşamı için çözünmüş oksijenin gereksinimi vardır. Oksijenin suda çözünmesi suyun sıcaklık ve tuzluluk derecesine bağlıdır (Güler, 1997). Sıcaklık yükseldikçe suda daha az oksijenin çözüldüğü görülmektedir. Tablo 3.10' da 1 Atm basınç altında suların sıcaklığına bağlı olarak içerdikleri çözünmüş oksijen değeri verilmiştir. Tablo incelendiğinde soğuk suların ($T < 20^{\circ}\text{C}$) DO değeri 8.7 ile 14 ppm arasında değıştiği görülür.

Tablo 3.10. Oksijenin sudaki çözünürlüğünün sudaki değişimi

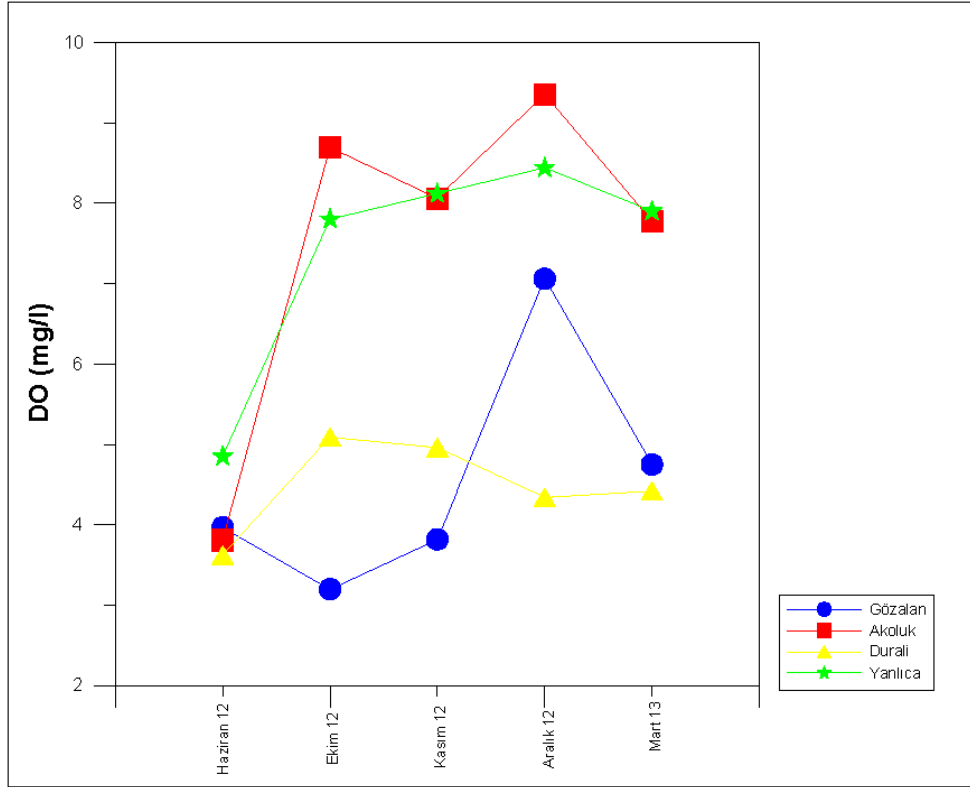
| °C | ppm O ₂ | °C | ppm O ₂ | °C | ppm O ₂ |
|----|--------------------|----|--------------------|----|--------------------|
| 0 | 14.0 | 11 | 10.5 | 21 | 8.6 |
| 1 | 13.6 | 12 | 10.3 | 22 | 8.4 |
| 2 | 13.2 | 13 | 10.1 | 23 | 8.3 |
| 3 | 12.9 | 14 | 9.9 | 24 | 8.1 |
| 4 | 12.5 | 15 | 9.6 | 25 | 8.0 |
| 5 | 12.2 | 16 | 9.4 | 26 | 7.9 |
| 6 | 11.9 | 17 | 9.3 | 27 | 7.8 |
| 7 | 11.6 | 18 | 9.1 | 28 | 7.7 |
| 8 | 11.3 | 19 | 8.9 | 29 | 7.6 |
| 9 | 11.1 | 20 | 8.7 | 30 | 7.5 |
| 10 | 10.8 | | | | |

İncelenen kaynak sularında DO miktarı 3.20- 9.35 mg/l arasında ölçülmüştür (Tablo 3.11). Kaynak sularının DO değerleri sıcaklık değerleri ile karşılaştırıldığında tablo 3.10'da verilen değerlerin altındadır. Doğal sulardaki çözülmüş oksijen miktarı, sıcaklık, tuzluluk, suyun karışımı (türbülans) ve atmosferik basınç gibi fiziksel şartlara bağlı olarak değişir. Sıcaklık ve tuzluluk arttıkça suda çözünen oksijen azalır. İncelenen kaynakların sıcaklıkları genel olarak birbirine yakın iken, tuzluluk değerleri farklılık gösterir. En düşük DO değerleri en yüksek EI değerine sahip Gözalan Kaynağında ölçülmüştür. Dolayısıyla kaynaklardaki DO değişimini tuzluluk değerleri kontrol etmektedir.

Tablo 3.11. İncelenen kaynak sularında sıcaklıkla oksijenin sudaki çözünürlüğü arasındaki ilişki

| Kaynaklar | Haziran 12 | | Ekim 12 | | Kasım 12 | | Aralık 12 | | Mart 13 | |
|-----------|------------|------|---------|------|----------|------|-----------|------|---------|------|
| | (°C) | DO | (°C) | DO | (°C) | DO | (°C) | DO | (°C) | DO |
| Gözalan | 13.9 | 3.97 | 13.95 | 3.20 | 13.79 | 3.82 | 13.74 | 7.06 | 13.59 | 4.75 |
| Akoluk | 15.1 | 3.81 | 17.54 | 8.69 | 13.48 | 8.06 | 12.48 | 9.35 | 12.91 | 7.77 |
| Durali | 13.3 | 3.62 | 14.36 | 5.09 | 13.78 | 4.96 | 13.57 | 4.34 | 12.84 | 4.42 |
| Yanlıca | 13.85 | 4.85 | 14.38 | 7.80 | 14.23 | 8.12 | 14.16 | 8.44 | 13.93 | 7.90 |

Kaynakların DO değişimleri şekil 3.9 'da verilmiştir. Kaynakların hepsinde yüzey sıcaklığının fazla olduğu Haziran ayında düşük DO değerlerine sahip oldukları görülür. Debilerinin düşük olması kaynakların yüzeye çıktıklarında çabuk ısınmalarına neden olmaktadır. Dolayısıyla içerdikleri oksijen gaz haline geçerek ortamı terk etmektedir.



Şekil 3.9. Kaynakların aylara göre DO değişimleri

3.3.4. Kaynak Sularında Bulunan Major İyonlar

Doğal suların toplam iyonik içeriğinin %90'ından fazlasını oluşturan Na, Ca, Mg, K, Cl, HCO₃ ve SO₄ iyonları major iyon olarak adlandırılır. İncelenen kaynak sularının major iyon analiz sonuçları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. İncelenen su kaynaklarında bulunan major iyonlar (ppm)

| Kaynaklar | Na ⁺ (ppm) | K ⁺ (ppm) | Ca ⁺² (ppm) | Mg ⁺² (ppm) | HCO ₃ ⁻ (ppm) | SO ₄ ⁻² (ppm) | Cl ⁻ (ppm) | F ⁻ (ppm) | SiO ₂ (ppm) |
|-----------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------|--|--|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Gözalan | 22.32 | 6.17 | 270.13 | 22.32 | 940.96 | 14.01 | 11.42 | 0.27 | 44.52 |
| Akoluk | 35.23 | 1.05 | 125.59 | 31.5 | 519.15 | 13.5 | 17.37 | 0.21 | 33.5 |
| Yanlıca | 37.55 | 2.01 | 134.28 | 22.60 | 467.23 | 26.17 | 27.18 | 0.12 | 88.49 |
| Durali | 29.99 | 1.02 | 86.53 | 20.58 | 389.36 | 5.99 | 11.13 | 0.04 | 84.44 |

3.3.4.1. Sodyum (Na⁺) ve Potasyum (K⁺)

Sodyum doğal sularında en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, evaporitler (NaCl) gibi sodyum içeren başlıca kayalar ve minerallerdir (Goldschmidt, 1958).

İncelenen kaynak sularında Na değeri 22.32-37.55 ppm aralığında değişim göstermektedir. En yüksek Na değeri Yanlıca kaynak suyunda gözlenmiştir. Kaynakların çevresinde çoğunlukla bazalt, andezit, dasit, riyodasit ve piroklastitler gibi sodyuma kaynak oluşturacak kayalar yüzeylenmektedir. Bu alanda sodyum sulara plajyoklasların ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sonucu karışmıştır.

Potasyum yer kabuğunun %2.5'ünü oluşturur ve esas olarak feldispatlarda (Ortoklaz, Mikroklin), mikalarda, feldispatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur (Rankama and Sahama, 1964). İncelenen kaynaklarda K değeri 1.02-6.17 ppm arasında değişmektedir. En yüksek K değeri Gözalan kaynak suyunda belirlenmiştir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre sularında Na⁺'un bulunması gereken maksimum değer 200 ppm olarak belirtilirken, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre bir Na için bir sınır değeri önerilmemiştir. Potasyumun sularında bulunabilecek maksimum miktarı ile ilgili bir değeri yönetmeliklerde verilmemiştir. Bu çalışmadaki tüm kaynak sularının Na değerleri İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e uygun sınır içerisinde bulunmaktadır.

3.3.4.2. Kalsiyum (Ca⁺²) ve Magnezyum (Mg⁺²)

Ca⁺², doğal sularında en bol bulunan katyonlardan biridir. Doğal sularında kalsiyumun kaynağı, kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, florit, plajyoklas, piroksen ve amfiboller olabilir. Ca⁺² suların sertliğini oluşturan ana iyonudur.

İncelenen kaynak sularında Ca⁺² değeri 86.53-270.13 ppm arasında ölçülmüştür. En yüksek Ca⁺² değeri Gözalan kaynağında 270.13 ppm olarak ölçülmüştür. Kaynakların çevresinde çoğunlukla kireçtaşı, marn, kumtaşı gibi arakatkılar içeren bazalt, andezit, dasit, riyodasit ile piroklastitleri yüzeylenmektedir. Kaynak sularına kalsiyum anortit türü plajyoklaslardan, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerin çözünmesi sonucu karışmış olabilir.

Magnezyum suyun sertliğine neden olan iyonlardan biridir. Mg^{+2} , olivin, amfibol, piroksen gibi koyu renkli minerallerin önemli bileşenlerindedir. Magnezyum tuzları oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler ve kalsiyum tuzları çöktürüldükten sonra da çözeltide kalmaya devam ederler. Suda erimiş CO_2 bulunması ile aşağıdaki eşitlik gereği $MgCO_3$, $Mg(HCO_3)_2$ 'a dönüşür.



Bu olay magnezyum erimesini hızlandırır (Erguvanlı ve Yüzer, 1987). Ca^{+2} ve Mg^{+2} 'un zehirleyici özellikleri bulunmaktadır (Doğan, 1981).

İncelenen kaynaklarda magnezyum değeri 20.58-31.5 ppm aralığında değişmekte ve en yüksek değer 31.5 ppm ile Akoluk suyunda gözlenmektedir. Kaynakların çevresinde yüzeylenen volkanik kayalardaki piroksen amfibol gibi koyu renkli mineraller sulardaki Mg^{+2} 'un kaynağını oluşturur.

Ca^{+2} ve Mg^{+2} için içme suları ve doğal mineralli suları kapsayan yönetmeliklerde sularda bulunabilecek maksimum bir değer önerilmemiştir.

3.3.4.3. Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})

Doğal suların tümünde alkalinite, karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) ve hidroksit (OH^-) iyonlarından ortaya çıkmaktadır. Bunların dışında ayrıca, silikat, fosfat iyonları ve organik maddeler de alkaliniteye katkıda bulunur (Gamsız ve Ağacık, 1981; Hem, 1985). Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymayan bölgede üretilen gazlardır.

Biyolojik olarak oluşan sülfat redüksiyonu ile karbonat kayaların metamorfizması sonucunda da karbondioksit oluşabilmektedir (Doğan, 1981).

Rezervuardan doğrudan beslenen kaynaklarda HCO_3^- konsantrasyonu en düşük seviyededir. HCO_3^-/SO_4^{2-} oranı, suyun akış yönünün göstergesidir. Yüksek akım zonundan suyun akışı su-kayaç ilişkisinin artışına, dolayısıyla HCO_3^- üretiminin artışına neden olur (Hatipoğlu, 2008). Yanal akışın artışı ile su-kayaç etkileşimi artar ve ortamdan H_2S kaybı olarak HCO_3^-/SO_4^{2-} oranı yükselir (Nicholson, 1993). HCO_3^- değerince zengin sularda su-kayaç ilişkisi hakimdir.

İncelenen kaynaklarda HCO_3^- değeri 389.36-940.96 mg/l olarak ölçülmüştür. Gözlan kaynak suyunda bikarbonat değeri 940.96 mg/l olarak en yüksek değerdedir. Bu kaynaklardaki bikarbonat iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kayaçların çözünmesinden oluşmaktadır.

HCO_3^- için içme suları ve doğal mineralli suları kapsayan yönetmeliklerde sularda bulunabilecek maksimum bir değer önerilmemiştir.

3.3.4.4. Sülfat (SO_4^{-2})

Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Magmatik kayaçlardaki feldispatoidler SO_4^{-2} 'nin kaynağını oluşturmaya rağmen, yeraltı sularında sülfatın büyük bir kısmı jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan demir sülfattan, magnezyum ve sodyum sülfattan da gelebilir. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçmektedir.

İncelenen kaynak sularında SO_4^{-2} derişimi 5.99-26.17 ppm aralığında değişim göstermektedir. En yüksek SO_4^{-2} değeri Yanlıca kaynağında ölçülmüştür. Kaynak sularındaki SO_4^{-2} 'in kaynağını çevrelerinde yüzeylenen feldispatoid içeren volkanik kayaçlar oluşturmaktadır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre sularda SO_4^{-2} 'in bulunması gereken maksimum değer 250 ppm olarak belirtilirken, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre bir SO_4^{-2} için bir sınır değer önerilmemiştir.

3.3.4.5. Klorür (Cl^-) ve Florür (F^-)

Yeraltı sularındaki klorür miktarı genellikle yağışlı bölgelerde az, kurak bölgelerde çoktur. Klorür, esas olarak sedimanter kayaçlarda özellikle de evaporitlerde bulunmaktadır. Sodalit gibi feldispatoidler ve apatitler de klorürün kaynağını oluşturur (Hem, 1985). Hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeyllerde klorür iyonu bulunmaktadır (Feth, 1981).

Cl⁻ miktarı incelenen kaynaklarda 11.13-27.18 ppm arasında değişiklik gösterir. Cl⁻, incelenen kaynak sularının çevresinde yüzeyleyen feldispatoidli volkanik kayaçlardan geçmiştir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre sulara Cl⁻'in bulunması gereken maksimum değer 250 ppm olarak belirtilirken, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre bir Cl⁻ için bir sınır değer önerilmemiştir

Florür, klorür gibi halojenler gurubundan bir elementdir ancak doğal sulara bu iyon oldukça düşük derişimlerde bulunmaktadır. Sulardaki florün kaynağı; florit, apatit, mika ve amfibol gibi minerallerdir.

F⁻ miktarı incelenen kaynaklarda 0.04-0.27 ppm olarak ölçülmüştür. Flor bu kaynaklara folorit ve amfibol gibi minerallerin çözünmesinden karışmış olabilir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre F⁻ 1.5 ppm'i aşmamalıdır. Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre de F⁻ için maksimum değer 5.0 ppm olarak belirtilmiştir. Kaynaklarda ölçülen F⁻ İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e uygundur.

3.3.4.6. Silisyum (SiO₂)

Silisyum, oksijenden sonra bolluk açısından yer kürede ikinci sırayı alır. Silisyum ile oksijen arasındaki kimyasal bağ çok güçlüdür. "Silis" anlamı SiO₂'dir ve doğal sulara silisyumun (Si) yerine kullanılır. Mineraller içinde, doğal sulara, kimyasal bozunuma en dirençli kuvarstır. Çört ve opal gibi kriptokiristalin, amorf silisler suda daha kolay çözünürler. Doğal sulara çözünmüş silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan gelmektedir. Silis çözünürlüğünü etkileyen diğer bir neden pH'tır. Silis, asid ortamda çok az çözünür. pH'ın yükselmesi ile silisin çözünmesi artar; pH dokuzun üzerinde olduğu durumlarda silis önemli miktarda çözünür (Şahinci, 1991). Silis, suyun sertliğini etkilememekle beraber, kalsiyum veya magnezyum ile kimyasal tepkimelere girerek, silikatlar şeklinde çökebilir, kuyu ve su borularını tıkar (Şahinci, 1991).

İncelenen su kaynaklarında silisyum değerleri 33.5-88.49 mg/l arasında değişim göstermektedir. Silisyum için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre maksimum bir değer belirtilmemiştir

3.3.5. İz Elementler

Doğal sularda major iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry, 1979). Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık suları ve madencilik faaliyetleri atıklarının aracılığı ile bazen önemli miktarlarda ağır metaller katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta olduğu litolojik birimlerin mineralojik yapısı da, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki su örneklerinde iz elementler olarak Al, As, B, Ba, Br, Cd, Cr, Cs, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Pb, Rb, Sc, Se, Sr, U ve Zn analizleri yaptırılmıştır. Tablo 3.13'de incelenen kaynak sularına ait iz element değerleri verilmiştir.

3.3.5.1. Alüminyum (Al)

Alüminyum yer kabuğunda en çok bulunan elementlerden üçüncüsü olmasına rağmen az çözülmesi nedeniyle yeraltı suyunun kapsamında önemsiz miktarda bulunur. pH'nın 5-9 arasında olduğu sularda, alüminyum 1 ppm 'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0.005-0.3 ppm arasında Al izlenir, asit sularda bu değer 100 ppm'e erişebilir (Şahinci, 1991). Al suda bulunuşu, özellikle suyun kökeni ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986). Buna karşın hareketsiz element olarak adlandırılır ve genellikle silis ile birlikte hareket eder. Asidik sular ise yüksek (yaklaşık 100 mg/l) Al^{+3} içerir (Nicholson, 1993). Al iyonu, organik madde, sülfat ve florür ile kuvvetli kompleks iyonlar verir. Bu nedenle bazı suların bileşiminde daha yüksek konsantrasyonda alüminyuma rastlanır. Alüminyum silikat halinde magmatik kayalarda, feldispatlarda, feldispatoitlerde ve mikalarda, boksitte ve demirce zengin lateritte bulunur.

İnsanlar için Al temel besin maddelerinden değildir. Fosfat tuzları halinde kompleks olarak su ve gıdalardan alınır. Uzun süre fazla miktarda Al hidroksitin alınması vücuttan fosfatların kaybına neden olur (Güler, 1997).

İncelenen kaynaklarda belirlenen Al değeri 0.001 ppm'in altındadır. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre alüminyumun müsaade edilebilir maksimum derişim değeri 0.2 ppm'dir. Bu durumda kaynakların tamamında Al derişimi müsaade edilebilir sınır değerinin altındadır.

Tablo 3.13. İncelenen su kaynaklarında bulunan iz elementler (mg/l)

| Parametre | Gözele | Akoluk | Duralı | Yanlıca |
|-----------|----------|----------|----------|----------|
| Al | <0.001 | <0.001 | <0.001 | <0.001 |
| As | 0.0009 | 0.0009 | 0.0009 | 0.0008 |
| B | 0.032 | 0.037 | 0.014 | 0.023 |
| Ba | 0.48995 | 0.05022 | 0.02299 | 0.00309 |
| Br | 0.024 | 0.036 | 0.046 | 0.04 |
| Cd | <0.00005 | <0.00005 | <0.00005 | <0.00005 |
| Cr | 0.0625 | 0.0304 | 0.0351 | 0.0267 |
| Cs | 0.00021 | <0.00001 | 0.00042 | <0.00001 |
| Cu | 0.0007 | 0.0004 | 0.0005 | 0.0003 |
| Fe | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 |
| Li | 0.0057 | 0.0015 | 0.0053 | 0.0024 |
| Mn | <0.00005 | <0.00005 | 0.01075 | 0.00038 |
| Mo | <0.0001 | 0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| Pb | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 | <0.0001 |
| Rb | 0.01776 | 0.00056 | 0.00355 | 0.00018 |
| Sc | 0.01 | 0.006 | 0.013 | 0.012 |
| Se | 0.001 | 0.0006 | 0.0025 | 0.0008 |
| Sr | 1.65287 | 0.43925 | 0.30241 | 0.17113 |
| U | 0.00246 | 0.00148 | 0.00025 | 0.00009 |
| Zn | <0.0005 | <0.0005 | 0.0084 | <0.0005 |

3.3.5.2. Arsenik (As)

Arsenik doğal dengeyi bozan kirletici olup, doğada serbest halde bulunup ve canlı yapıda oluşturduğu değişik toksik etkileri nedeniyle insan ve hayvan sağlığı açısından önemlidir. Çok zehirli olan As içme sularında 0.05 ppm'den fazla bulunmamalıdır (Şahinci, 1991). Arsenik diyabazlarda, gabrolarda, nötr kayalarda ve granitlerde bulunur.

İçme suyu arseniğin vücuda alınmasında en büyük kaynaktır. Bunun yanında gıdalar, deniz ürünleri, tütün ve solunum yolu da etkilidir. İnsan vücudu için As çok düşük miktarda gerekli olmasına rağmen yüksek dozda alınması sağlık açısından etkilidir. Kanseri yapıcı etkisinin yanında, zehir etkisini sinir sistemi üzerinde göstererek felç ve sinir sistemi bozukluklarına neden olur (Brown, 2002). İçme sularında arseniğin giderilmesi için, Fe ve Al bileşikleriyle adsorbsiyon-çökeltme, aktif alüminyum, aktif karbon ve aktif boksit tarafından adsorblanma, ters ozmos ve iyon değişimi şeklindeki metodlar kullanılmaktadır (Güler, 1997).

İncelenen kaynaklarda analiz edilen arsenik değerleri 0.0008-0.0009 ppm'dir. Çalışma alanında daha çok volkanik kayaların bulunması sulardaki As derişiminin düşük olmasına neden olmuştur.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre arseniğin mücade edilebilir maksimum derişim değeri 0.01 ppm'dir.

3.3.5.3. Bor (B)

Bor, periyodik tabloda üçüncü gurubun en hafif elementidir. Suyun pH'ına bağlı olarak, borun bulunuş şekli değişir. Asitli sulara (pH 6'dan az) ortoborik asit egemendir. Nötr ve alkali (pH 11'den yukarı) doğal sulara tetra-penta-hegza ve diğer poliboratlara gözlenir. Borik asit, soğuk sulara az çözünür (Şahinci, 1991). Bor tipik halojen elementtir, buharlaşma ile yığışır, özellikle alkali ortamlarda göçü hızlıdır. Bunun sebebi borun çökmesini etkileyen kalsiyum ve magnezyum, alkali ortamlarda çok azdır. Bor mikalarda ve serpantinlerde oldukça boldur. Piroksenlerdeki bor ile alüminyum arasında doğrusal ilişki vardır. Fillosilikatlar, diğer silikatlara oranla daha fazla bor içerir. Özellikle, muskovit, paragonit, serisit, illit, montmorillonit ve serpantin borca zengindir. Pegmatit muskovit ve lepidolitler 1000 ppm'den fazla bor içerebilir (Şahinci, 1991). Bir çok feldispatlar, önemli miktarlarda bor içerirler. Bor miktarı, plajyoklazlarda, anortit artışı ile doğru orantılıdır. Apatit ve fosforitlerde önemli miktarlarda bor bulunabilir (Şahinci, 1991).

İnsanlar tarafından meyve ve sebzelerden olmak üzere yiyecek ve içecekler yoluyla günde 10-20 mg bor vücuda alınabilmektedir. Su ve yiyecekler yoluyla alınan bor kısa sürede ve tamamen vücut tarafından soğrulmakta, ancak vücutta birikmeden idrar yoluyla atılmaktadır. Yetişkinler için öldürücü doz 5-45 gram olduğu değişik kaynaklarda verilmiştir (Güler, 1997).

İncelenen kaynaklardan derlenen su örneklerinde bor miktarı, 0.014-0.037 mg/l olarak ölçülmüştür. Borun miktarının düşük olması kaynak sularının soğuk sular olmasından ve kaynak çevrelerinde yüzeylenen volkanik kayaların bor içeren muskovit veya serpantin türü mineralleri içermemelerinden kaynaklanmaktadır.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e borun derişim değeri en fazla 1 mg/l olarak belirtilmiştir. Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik

(2004)'te Bor yerine Borat (B_2O_3) parametresine bakılarak maksimum değerinin 30 mg/l değerini aşmaması önerilmiştir.

3.3.5.4. Baryum (Ba)

Baryum doğada yaygın ve suda göçü yavaş olup barit ($BaSO_4$) ve viterit ($BaCO_3$) mineralleri halinde bulunur. Boya sanayi, dericilik ve patlayıcı madde üretiminde kullanılan baryum tuzları, endüstriyel atık sularıyla sulara karışır. Ba, sülfat konsantrasyonu çok düşük olan doğal sularda, sanayi atıkları ve belirli bazı tuzlu sularda kantitatif olarak ölçülebilir. İnsan beslenmesi için gerekli olan esas maddelerden biri olmayan baryumun, kaslara ve kalp adalelerine, damar ve sinir sistemine zararlı etkiler yaptığı saptanmıştır (Güler, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre baryum için bir sınır değer verilmezken, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te baryumun derişim değeri en fazla 1 mg/l olarak belirtilmiştir. İncelenen su kaynaklarında baryum miktarı 0.00309-0.48995- mg/l aralığında değişim göstermekte ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre uygun sınırlar içerisinde.

3.3.5.5. Brom (Br)

Doğal tuzlu sular 100-1000 ppm brom içerir (Collins, 1975). Br/Cl ve Br/I oranı sularda deniz suyu karışımı olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılan iyi bir indikatördür (Nicholson, 1993). Bazı koşullarda yeraltı suları killerdeki bromdan zenginleşebilir. Petrol yataklarındaki tuzlu sular, genellikle bromca zengindir. Bu zenginleşme organik maddeler, çamur ve killerdeki bromun suya katılmasıdır. Genellikle brom, bitkilerin kök ve yapraklarında daha fazladır. Brom deniz ve çok tuzlu sularda elde edilir. Bromun başlıca kaynakları deniz suyu, tuzlu yeraltı suları, potasyumlu tuz yatakları ve tuz gölleridir. Nemli iklimlerde brom toprak zemindeki kil ve şeyllerde soğurma ile birikebilir.

Bromun organik bileşikleri bilinmektedir, fazla miktarda brom, gelişmiş hayvan ve insanların sinir sistemleri üzerine etkiyerek görevlerini yapamaz duruma getirir. Bazı araştırmacılar, bromun gelişmeyi etkilediğini savunmaktadır (Şahinci, 1991).

Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te brom için bir değer önerilmezken, İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre bromun, bromat (BrO_3) şeklinde analiz edilerek maksimum değerinin 0.01 mg/l'i geçmemesi önerilmektedir.

İncelenen kaynaklarda brom değerleri 0.024-0.046 ppm olarak ölçülmüştür. Bu değerler bromat (BrO_3) şekline dönüştürüldüğünde kaynaklardaki bromat değerleri 0.036-0.070 ppm arasında değişir. Bu durumda kaynakların bromat bakımından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e uygun olmadıkları görülür.

3.3.5.6. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum yer kabuğunda eser miktarda bulunup ve özellikleri çinkoya benzeyen bir element olup doğada çinkoyla birlikte bulunur. Magmatik kayalarda ortalama 0.2 ppm, mafiklerde, ara kayalarda, felsiklerde ve şeyllerde 0.2 ppm, kireçtaşlarında 0.1 ppm kadar kadmiyum bulunur (Şahinci, 1991). Doğal sularda kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm'den daha azdır. Bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'e kadar ulaşan derişimlerde de bulunabilmektedir (McNeely vd. 1979).

Cd civadan sonra en toksik ikinci metaldir. Düşük konsantrasyonlarda toksik olabilen ve metabolik aktivite için gerekli olmayan bir metaloitir. Sıcaklıktaki bir değişime, Cd alınmasını ve toksisitesini artırır. Tuz veya suyun sertliğinin artması Cd'un etkisini azaltır. Genel olarak suyun organik içeriğinin kadmiyumu bağlayıp ortamdaki miktarı azalır, böylece canlı organizmalardaki etkisi de azalmış olur (Teague, 1999).

Cd ve bileşikleri kanserojenik olup, sağlık açısından bir çok rahatsızlığa sebep olurlar. Baş ağrısı, susuzluk hissi, boğazda kuruluk, sinirlilik, kuvvetli tahriş öksürüğü, bronşik, anfizem, anemi ve böbrek taşı gibi rahatsızlıklar kadmiyumun sebep olduğu başlıca hastalıklardır (Güler, 1997). Bu metal, kalsiyum metabolizmasının bozulmasına ve kemiklerin daha kırılır duruma gelmesine neden olabilir (Teague, 1999).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'e göre kadmiyum derişim değerinin en fazla 0.005 mg/l, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre 0.003 mg/l olarak belirtilmiştir. İncelenen kaynaklarda kadmiyumun değeri 0.00005 ppm olarak ölçülmüştür. Kaynak suları Cd bakımından yönetmeliklere göre uygun sınırlar içerisindedir.

3.3.5.7. Krom (Cr)

Su bileşiminde bulunan krom, kayalardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm'in altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim 0.2 ppm'e kadar artabilmektedir (Hem, 1985). Bazı krom mineralleri eskolait, grimaldiit, kromit, ureyit, brezinait ve benzerleridir (Şahinci, 1991). Cr, sularda Cr^{+3} ve Cr^{+6} iyonları halinde bulunabilir. İnsanlara zararlı etki yapabilecek krom, Cr^{+6} ve Cr^{+3} nispeten daha az toksik etkisi olan, lokal ve ya yaygın sistemik bir etkisi olmayan hatta insan vücudu için gerekli olan kromdur. +6 değerlikli krom, ülser, bronşit, akciğer, cilt ve böbrek rahatsızlıklarına neden olmaktadır (Güler, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005) ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te krom derişim değeri en fazla 0.05 mg/l olarak belirtilmiştir.

İncelenen kaynak sularında krom değeri 0.0267-0.0625 mg/l arasındadır. En yüksek değeri Gözalan kaynak suyunda 0.0625 mg/l olarak ölçülmüştür. Bu değeri yönetmeliklerde verilen maksimum değerin üzerindedir.

3.3.5.8. Sezyum (Cs)

Sezyum, yer kürede bilinen tüm elementlerden daha elektropozitifdir. Sezyum, yer kabuğunda dağılım gösterir ve yer kabuğunun asidik kayalarına has bir elementtir. Özellikle, asidik magmanın artık ürünleri içinde sezyum birikmesi önemlidir. Pegmatitlerde sık izlenen bir sezyum minerali de pollusittir. Magmatik kayalarda sezyum, rubidyum ile beraber feldispat ve mikalar içindeki potasyumun yerini alır. Sezyum en çok mika ve K-feldispatlarda mineralleri içinde izlenir (Şahinci, 1991).

Cs nemli iklimlerde, kurak iklimlere göre daha hızlı göçeder. Cs yeraltı sularında göçü yavaştır ve killer tarafından soğrulur. Radyoaktif Cs^{137} insan ve hayvan yaşamı için tehlikelidir ve nükleer patlamalarla atmosfer, su, zemin aracılığı ile göç sağlanır. Sezyum sulu ortamlarda göçü yavaştır, kolaylıkla çökebilir. Canlı maddelerin sezyum birikiminde fazla etkili olmadığı sanılmaktadır (Şahinci, 1991).

Sezyum için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005) ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te bir sınır değeri belirtilmemiştir.

İncelenen kaynaklarda Sezyum miktarı $<0.00001-0.00042$ ppm arasında değişmektedir. Kaynakların çevresinde yüzeyleyen bazaltlarda yer yer zeolit dolguları gözlenir. Çok düşük miktarlarda olması nemli bir iklime sahip çalışma alanında hızlı hareket ediyor olmasından kaynaklanır.

3.3.5.9. Bakır (Cu)

Suda doğal olarak bulunmayan bakır, suya bakır minerallerinden geçmektedir. Bakır yerkabuğundaki kayaçlarda doğal Cu ve ya Cu içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, Cu minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Olivin, piroksen, amfibol, biyotit, plajyoklaz, magnetit gibi minerallerde bakır oldukça boldur (Şahinci, 1991).

Vücut tarafından zor absorbe edilen bakır, insan vücudundaki esas elementlerden biridir. Sağlık açısından bakır eksikliği kansızlık, kemik yapısında bozukluk ve anemi hastalığına neden olurken fazla miktarlarda alınması halinde mukoza iltihaplanması, damar hastalıkları, karaciğer ve böbrek hastalıkları ve depresyonları seyreden merkezi sinir sistemi irritasyonları görülebilir (Güler, 1997). Cu fazla miktarda bitkilerin büyümesine engel olup, küçük canlılar ve balıklar içinde zehir etkisi gösterir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te bakır için 2 mg/l, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te 1 mg/l sınır değer önerilmiştir.

İncelenen kaynaklardan derlenen numunede ölçülen Cu değerleri 0.0003-0.0007 mg/l gibi oldukça düşük değerlerde ölçülmüştür. Kaynak suları Cu bakımından yönetmeliklere göre uygun sınırlar içerisindedir.

3.3.5.10. Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demirin jeokimyasal özellikleri sıkı bir şekilde oksijen, kükürt ve karbona bağlıdır. Bu üç element yanında demir ve mangan yerkabuğunda bol miktarda bulunur. Atmosferdeki oksijen, iki değerli demir minerallerini oksitleyerek Fe^{+3} bileşiklerini meydana getirir.

Demir özellikle piroksen, amfibol, magnetit, pirit, biyotit ve granat gibi demirli minerallerin bozunumundan ortaya çıkar. Karbonlu kayalardan gelen sularda fazla

miktarlarda demir iyonları izlenebilir. Kireçtaşı ve dolomitten gelen sular pH'ı 7'den fazla olduğundan çok fazla demir iyonu içerir (Hem, 1985).

Mangan ise genel olarak metamorfik ve magmatic kayalarda olivine, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur (Hem, 1985). Demiri fazla olan sularda, çok defa mangana rastlanır. Fakat miktarı çok az olup; litrede 0.3 mg/l geçmez. Yeraltı sularında bulunan mangan ortamda oksijenin bulunmayışı nedeniyle iki değerlidir.

İncelenen su kaynaklarında ölçülen Fe miktarı <0.01 ppm, Mn miktarı <0.00005-0.01075 ppm arasında değişmektedir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te demir için 0.2 mg/l, mangan için 0.05 mg/l, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te demir için bir sınır değeri verilmezken mangan için 0.5 mg/l sınır değeri önerilmiştir. Kaynak sularının Mn derişimi yönetmeliklerde verilen sınır değeri aşmamaktadır.

3.3.5.11. Lityum (Li)

Doğal sularda lityum, sodyuma daha yakındır, kristal içinde ise demir, magnezyum veya alüminyuma benzer. Lityum, mantoda çok az olması gereken bir elementtir. Lityum iyonunun çapının Fe^{+2} ve Mg^{+2} 'a yakın olması, lityumun ferromagnezyen silikat minerallerinin kafes yapısında, özellikle piroksen ve amfibollerde yer almasını sağlar. Kireçtaşlarında bulunan kil mineralleri ve silikatlar lityumca zengindir. Kalsiyum ve magnezyum ile lityum iyon derişimi bu kireçtaşlarında zordur. Lityum tuzları, genellikle suda fazla çözünmelerine karşın, yer kabuğunda az bulunuşu, yeraltı sularında ender rastlanmasını etkiler. Kurak iklim zeminleri lityumca, nemli iklimlerdekilere daha zengindir (Şahinci, 1991).

Li, nükleer teknolojinin önemli bir maddesidir. Bir miktar lityumun tarım arazisine eklenmesi, mahsulün verimini ve kalitesini yükseltir (Şahinci, 1991). Fazla miktarda lityum hayvan ve insanlarda zehirleyici etki yapar.

İncelenen kaynaklarda Li değerleri 0.0015-0.0057 mg/l arasında değişir. En yüksek Li değerleri Gözalan (0.0057 mg/l) ve Durali (0.0053 mg/l) kaynaklarında ölçülmüştür. Kaynaklardaki Li'un kaynağını çevresinde yüzeylenen bazaltlatdaki amfibol ve piroksenler oluşturur.

Suların kullanımına ilişkin yönetmeliklerde Li için bir sınır değeri önerilmemiştir.

3.3.5.12. Molibden (Mo)

Molibden yer kabuğunda 1.5 ppm ve nemli tropikal bölgelerde 1-5 ppm arasındadır (Şahinci, 1991). Molibdenin doğada gözlenen önemli iki sülfid minerali molibdenit ve tungsttenittir.

Fazla molibden hayvan ve insanlar için zehirleyicidir; içme sularında 0.01 mg/l'den az bulunmalıdır (Şahinci, 1991).

İncelenen kaynaklarda molibden değerleri 0.0001 mg/l gibi oldukça düşük değerlerdedir. Yönetmeliklerde Mo için sularda bulunması gereken maksimum miktar ile ilgili bir değer verilmemiştir.

3.3.5.13. Kurşun (Pb)

Kayaç oluşturan birçok mineralin asıl yapısında yer alan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta, kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki Pb nadir olarak yüksek değerlere ulaşır (Hem, 1985). Kurşunun başlıca minerali galendir. Plajiyoklaslar, amfiboller, kuvars ve saf olivinlerde az kurşun bulunur. K-feldispatlar, magmatik kayalarda en fazla kurşun içeren minerallerdir (Şahinci, 1991). Gabro, bazaltlar, diyorit, andezit, alkali kayalar, granitler, riyolit ve obsidiyende kurşun bulunur (Şahinci, 1991).

Kurşun çoğu kemiklerde depolanmasına rağmen beyne, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, ilerleyen yaşla beraber, kurşuna maruz kalınmasıyla artış göstermektedir. Kanda 40 mg/l seviyesini aşınca tansiyon artırıcı etki de ortaya çıkar. Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre kurşun 2.sınıf kansorejen guruptadır. Ekolojik olarak kurşun katı olarak çökme eğilimindedir ve özel durumlar dışında kompleks oluşturmaz (Güler, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te kurşun için 0.01 mg/l sınır değer önerilmiştir. İncelenen kaynaklarda kurşun değeri <0.0001 mg/l gibi düşük bir değerde olup, yönetmeliklere göre maksimum sınırı aşmamaktadır.

3.3.5.14. Rubidyum (Rb)

Rb içeren başlıca mineraller amazonit, mikroklin, lösit, lepidolit, zinvaldit ve biyotittir. Rb alkali özellikleri potasyumdan fazladır ve tüm tuzları suda çözünür. Rubidyumun çökmesini en çok etkileyen kil minerallerinin soğurmasıdır. Kurak iklimlerde rubidyum soğurulması, nemli iklimlerden daha hızlıdır. Litosferde rubidyum klarkı oldukça yüksektir (90 ppm) (Şahinci, 1991). Rubidyum yeraltı sularında potasyum tuzları ile beraber yığışım göstermektedir. Çamur ve şeyller, potasyuma oranla bir miktar fazla rubidyum içerirler (Şahinci, 1991). Rubidyumun doğal iki izotopu Rb^{85} ve Rb^{87} dir. Nemli tropikal iklimlerde rubidyum zemin ve bozunum kabuğundan yıkanarak göçeder. Ancak, yaklaşık %70 rubidyum bozunmuş kayada tutulur (Şahinci, 1991). Kilce fakir nemli tropikal iklimlerde rubidyum azdır. Tuzlu yeraltı sularında rubidyum oldukça fazladır.

Rubidyum, canlı maddeler için çok önemli değildir; ayrıca zehirleyici etkisi vardır. İçme- kullanma ve doğal mineralli sular için herhangi bir sınır değer önerilmemiştir.

İncelenen kaynaklarda rubidyum değerleri 0.00018-0.01776 mg/l olarak ölçülmüştür. Sulardaki Rb'un kaynağını, kaynakların çevresinden yüzeyleyen lösit türü feldispatoid içeren volkanik kayalar oluşturur.

3.3.5.15. Skandiyum (Sc)

Skandiyum litosferde dağınık bir şekilde, özellikle magmatik kayaların Fe-Mg mineralleri ile bulunur. Skandiyum, hemen tüm bileşiklerinde +3 değerlidir (Şahinci, 1991). Bir çok magmatik ve metamorfik kaya minerallerinde skandiyum vardır (xenotim, zirkon, perouskit, allanit, titanium ve benzerleri). Suda skandiyum hidrat karmaşıkları, anhidritlerinden daha fazla suda çözünür. Bu karmaşıkların alkali bileşikleri suda az çözünür ve daha çok hidroliz özelliği veya çözünmeyen bazik tuzları oluşturur. Fosfat iyonları skandiyum bileşiklerini çökeltir.

Tortul kayalarda, özellikle şeyl, kil, grovak ve arjilitlerde 10-25 ppm arasında, karbonatlarda ve kilsiz kum taşlarında az, boksit, fosforit ve çökel artıklarında oldukça boldur (Şahinci, 1991). Skandiyum, killer, Al^{+3} ve Fe^{+3} hidroksidleri tarafından soğrulur. Evaporitlerin başlangıcında çökelen malzemeler, demir ve fosfat yatakları skandiyumca zengindir (Şahinci, 1991).

Skandiyum'un bulunması gereken maksimum miktar ile ilgili içme-kullanma ve doğal mineralli sular için herhangi bir sınır değeri belirtilmemiştir. İncelenen kaynaklarda skandiyum değerleri 0.006-0.013 ppm arasında ölçülmüştür.

3.3.5.16. Selenyum (Se)

Selen bileşiklerine doğada nadir rastlanır. Doğal sularda genellikle bulunmaz ve ya çok az konsantrasyonda bulunur. Yüksek değerde Se içeren sular endüstriyel atık sulardan gelebilir. Selenyum sularda genellikle selenit ve selenate şeklinde bulunur. Bu bulunuş suyun pH'ı ve demir gibi bazı metal tuzlarının varlığı diğer faktörlerin etkisindedir (Güler, 1997). Selenyum, çoğunlukla kil minerallerinde ve oksitleyici ortamda daha boldur (Şahinci, 1991).

İçme sularının çoğunda 0.01 mg/l'ten daha az konsantrasyonlarda selenyum bulunur (Güler, 1997). Selenyum insanlar ve hayvanlarda vücutta birikerek zehir etkisi gösterir.

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te Selenyum için 0.01 mg/l sınır değer önerilmiştir.

İncelenen kaynak sularında selenyum değeri 0.001-0.0006 mg/l arasında değişim gösterir. Bu su kaynaklarında selenyum değeri yönetmeliklere göre uygun sınır içerisinde.

3.3.5.17. Stronsiyum (Sr)

Stronsiyumun kimyasal özellikleri kalsiyuma benzer ve kalsiyumun bulunduğu jeokimyasal sistemlerde, genellikle stronsiyum da bulunur. Magmatik kayalar genellikle stronsiyum dağılmasına neden olur. Nemli iklimlerde stronsiyumun tarihçesi, kalsiyumunkine benzer. Klarkının düşük olması, stronsiyumun serbest mineral yapmasını sınırlar. $Sr(HCO_3)_2$, $Ca(HCO_3)_2$ 'a oranla daha çabuk çözünür ve nemli iklimlerde $Sr(HCO_3)_2$, sularda doyma noktasına erişmez; bu nedenle, mineral yapmaz (Şahinci, 1991). Nemli iklimlerde eşikler, stronsiyumu pek etkilemez ve kolayca akarsular tarafından taşınır. Stronsiyum yeraltı sularında az bulunmasının nedeni, yer kabuğunda az miktarda oluşu ve killer tarafından iyon değişim sonucu, kalsiyumun yerini almasıdır (Şahinci, 1991).

İçme ve kullanma sularında stronsiyum için bir sınır değeri önerilmemiştir. İncelenen kaynaklarda Sr değerleri 0.43925-1.65287 mg/l'dir. En yüksek Sr değeri Gözalan kaynağında ölçülmüştür.

3.3.5.18. Uranyum (U)

Yer kabuğunda, ortalama 1.8 ppm, magmatik kayalarda 2.7 ppm olan uranyum, daha çok felsik kayalarda izlenir (Şahinci, 1991). En çok rastlanan uranyum minerali, uranit UO_2 'den U_3O_8 'e değişir. Uranyum özellikle yüksek derecede oksidlenerek, uranil iyonu (UO_2^{++}) şeklinde suda çözünür. Uranyum, uranil karbonat ve fosfat karmaşıkları meydana getirerek göçeder (Şahinci, 1991).

Uranyum için içme ve kullanma sularında herhangi bir sınır değeri konulmamıştır. İncelenen kaynaklarda uranyum değerleri 0.00009-0.00246 mg/l gibi oldukça düşük değerlerdedir.

3.3.5.19. Çinko (Zn)

Doğal sularda bulunan çinko genellikle, suyun temasta olduğu kayalardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübreden ve atmosferden kaynaklanabilir. Magmatik kayalarda, ortalama 70 ppm olan çinko, daha çok ultrabazik ve bazik kayalarda bulunur (Şahinci, 1991). Çinko insan için görece olarak zehirli olmayan bir element olup 25 ppm derişimlere kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (MecNeely vd. 1979). Çinko sülfür, oksit ve karbonatları yüksek klorürlü suda çözünür, çinko sülfat tuzları çinko hidroksit ve çinko karbonat şeklinde hidrolize olmaya meyillidir. Doğal sularda çinko az bulunur. Adsorbsiyonla çözülmüş çinkonun miktarı düşer.

Zn gerek insan ve gerekse hayvanlar için gerekli esansiyel elementlerdendir. Et ve süt ürünleri çinko yönünden zengindir. Yaş ve cinsiyete bağlı olarak gerekli olan günlük Zn miktarı 4-15 mg olarak önerilmektedir. Gerek insan ve gerekse hayvanlarda Zn absorpsiyonu, protein, vitamin ve metallerin alınması gibi bir çok faktörlerden etkilenmektedir. Alınan çinkonun fazlası vücuttan atılır, dokularda birikim olmaz. Serum ve plazmadaki Zn miktarı litrede 1 mg dir. Kandaki miktarı bunun 5 katıdır. Kırmızı kan hücrelerinde ise litrede 10 mg dir. Zn zehirli değildir. İnsanlarda Zn zehirlenmesinin belirtisi, kusma, su eksikliği, elektrolit dengesizliği, karın ağrısı, bulantı, uyuşukluk, baş

dönmesi, adale kondisyonunda eksiklik şeklinde görülür. Zn klorürün neden olduğu böbrek yetersizliği görülmüştür (Güler, 1997).

İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te Zn için bir sınır değer önerilmemiştir.

İncelenen kaynaklarda Zn değeri <0.0005-0.0084 mg/l aralığında değişim göstermektedir.

3.3.6. Kirlilik Analizleri

Değirmendere vadisinde yer alan Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularında kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH₄, NO₂, NO₃ ve PO₄ analizleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su kimyası Laboratuvarında yaptırılmıştır (Tablo 3.14).

Tablo 3.14. İnceleme alanından dernelen örneklerin kirlilik analiz değerleri (mg/l)

| Kaynaklar | NO₂ | NO₃ | PO₄ | NH₄ |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Gözalan | <0.01 | 10.45 | <0.01 | 0.82 |
| Akoluk | <0.01 | 33.9 | <0.01 | 0.52 |
| Durali | <0.01 | 50.37 | <0.01 | 0.45 |
| Yanlıca | 0.07 | 14.5 | <0.01 | 0.25 |

3.3.6.1. Nitrit (NO₂)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunmaktadır. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir (Mc Neely et al., 1979). Nitrit insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir (Doğan, 1981). Bebeklerde 'mavi bebek' hastalığına ve 'süt çocuğu siyanozu'na yol açtığı bilinmektedir (Güler, 1997).

NO₂ için İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005)'te 0.5 mg/l, Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'te 0.1 mg/l maksimum sınır değer önerilmiştir.

İncelenen kaynaklardan derlenen su örneklerinde nitrit değerleri <0.01-0.07 mg/l arasında ölçülmüştür. NO₂ değeri incelenen tüm kaynak sularında İnsani Tüketim Amaçlı Sular ve Doğal Mineralli Sular hakkındaki yönetmeliğe göre uygun sınırlar içerisinde dirler.

3.3.6.2. Nitrat (NO₃)

Nitrat iyonu, sulara bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Nitratın ana kaynaklarından biri insan ve hayvan artıkları olduğundan 5 ppm den daha fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olarak değerlendirilmektedir (McNeely et al., 1979). Diğer taraftan magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrate yerel kaynaklık ederler. Kirlenmiş doğal sular bir kaç mg/l nitrat içerir (Atabey, 2005). Yüzey ve yeraltı sularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atıksular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem, 1971).

Nitratın insan sağlığı üzerine olan etkileri gözönünde tutularak Dünya Sağlık Örgütü (WHO), İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmelik (2005) ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004) tarafından, içme ve maden sularında nitrat iyonunun 50 ppm'den daha az olması gerektiğini önermiştir.

İncelenen kaynak sularında nitrat değerleri 10.45-50.37 mg/l aralığında değişmektedir. Gözalan ve Yanlıca kaynaklarında düşük değerlerde iken Durali kaynak suyunda NO₃ miktarı 50.37 mg/l gibi yüksek değerlerdedir.

3.3.6.3. Amonyum (NH₄)

Amonyum formu, sulara bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşimidir. Yeraltı sularındaki amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplanması nedeniyle düşüktür.

Suda amonyak azotunun bulunması suyun yeni kirlenmiş olduğunu gösterir. Amonyak azotu, sudaki çeşitli aerobik bakteriler sayesinde oksit olarak önce nitrite daha sonrada nitrate dönüştürülür (Atabey, 2005). İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki

Yönetmelik (2005) ve Doğal Mineralli Sular Hakkındaki Yönetmelik (2004)'e göre amonyum için maksimum bir değer önerilmemiştir.

İncelenen kaynaklardan dernelen numunelerde amonyum 0.25-0.82 mg/l olarak ölçülmüştür. Yüksek NH₄ değerleri Gözalan ve Akoluk kaynaklarında gözlenmiştir.

3.3.6.4. Fosfat (PO₄)

Fosfor magmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerden biri olup ve doğada apatit minerali olarak bulunur. Sedimanlar içinde oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'in çok altındadır (Hem, 1971). Yüzey ve yeraltı sularındaki fosfat, kayalardan ve topraktan bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelere kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 ppm üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını etkilemektedir (McNeely et al., 1979). Sulara bulunan fosfat, alüminyum ve demir tuzları ile çöktürülerek uzaklaştırılabilir (Güler, 1997).

İncelenen su kaynaklarında fosfat değeri <0.01ppm olup, fosfat için içme- kullanma ve doğal mineralli sular için herhangi bir sınır değer önerilmemiştir.

3.3.7. Hidrokimyasal Fasiyes Sınıflaması

Hidrokimyasal fasiyes terimi, jeologlar tarafından fasiyes tanımının bir başka ifadesidir. Fasiyes, herhangi bir cisim veya sistemin birbirinden farklı fakat jenetik (köken) olarak ilişkili parçaları olarak tanımlanır (Freeze and Cherry, 1979). Bir akiferde su akarken litolojik yapıyla etkileşime uygun karakteristik bir kimyasal bileşim sunar. Fasiyesler akiferin litolojisinin, çözelti kinetiklerinin ve akış paternlerinin bir fonksiyonudur (Fetter, 2001; Back, 1960; 1966). Bu bölümde suları sınıflamak ve hidrojeokimyasal işlevlerini tanımlamak için Piper Diyagramı (1944) ve suların kimyasal içeriklerini karşılaştırmak amacıyla da Logaritmik Schoeller Diyagramı (1955; 1962) kullanılmıştır.

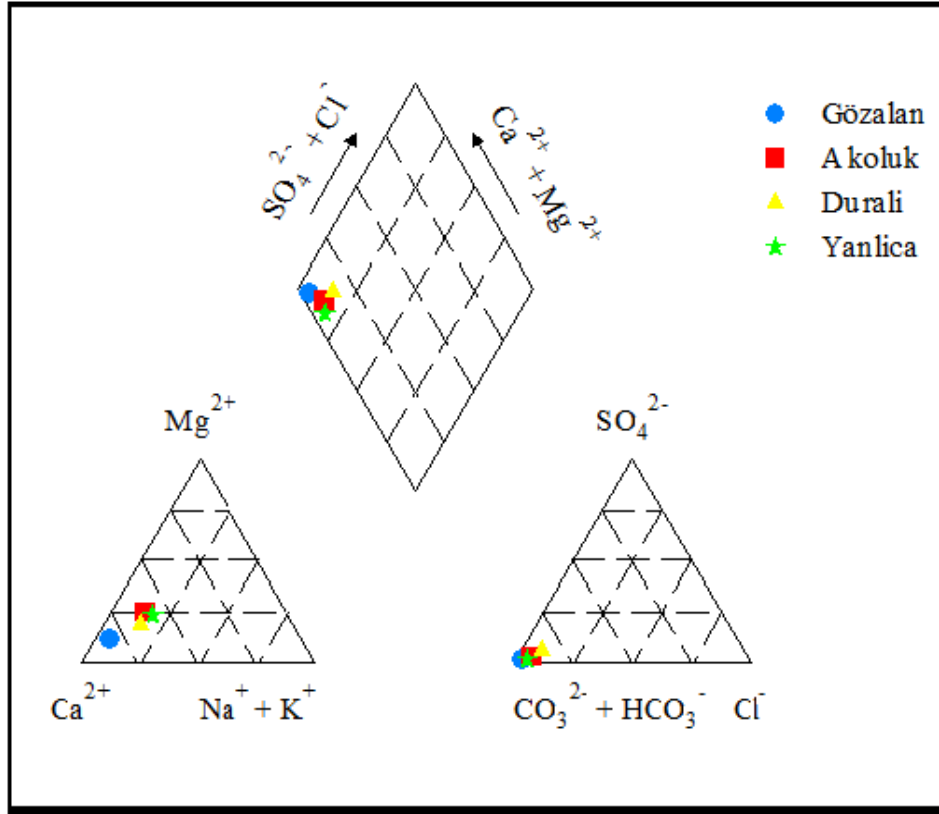
3.3.7.1. Piper Diyagramı

Piper diyagramı anyon ve katyonların ‘‘% meq/l’’ cinsinden gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyomların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Kaynak sularının mek/l ve %mek/l değerleri tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Kaynak sularındaki anyon-katyonların mek/l değerleri

| | Gözüalan | Akoluk | Yanlıca | Durali |
|---|----------|--------|---------|--------|
| Na⁺ (ppm) | 22.32 | 35.23 | 37.55 | 29.99 |
| Na⁺ (mek/l) | 0.97 | 1.53 | 1.63 | 1.30 |
| Na⁺ (%mek/l) | 5.88 | 14.65 | 17.68 | 15.87 |
| K⁺ (ppm) | 6.17 | 1.05 | 2.01 | 1.02 |
| K⁺ (mek/l) | 0.15 | 0.02 | 0.05 | 0.02 |
| K⁺ (%mek/l) | 0.91 | 0.24 | 0.35 | 0.49 |
| Ca⁺² (ppm) | 270.13 | 125.59 | 134.28 | 86.53 |
| Ca⁺² (mek/l) | 13.50 | 6.27 | 6.71 | 4.32 |
| Ca⁺² (%mek/l) | 81.91 | 60.05 | 58.77 | 65.33 |
| Mg⁺² (ppm) | 22.32 | 31.5 | 22.60 | 20.58 |
| Mg⁺² (mek/l) | 1.86 | 2.62 | 1.88 | 1.71 |
| Mg⁺² (%mek/l) | 11.28 | 25.09 | 23.26 | 18.30 |
| HCO₃⁻ (ppm) | 940.96 | 519.15 | 467.23 | 389.36 |
| HCO₃⁻ (mek/l) | 15.42 | 8.51 | 7.65 | 6.38 |
| HCO₃⁻ (%mek/l) | 97.96 | 96.37 | 97.70 | 92.61 |
| SO₄⁻² (ppm) | 14.01 | 13.5 | 26.17 | 5.99 |
| SO₄⁻² (mek/l) | 0.29 | 0.28 | 0.54 | 0.12 |
| SO₄⁻² (%mek/l) | 1.84 | 3.18 | 1.89 | 6.53 |
| Cl⁻ (ppm) | 11.42 | 17.37 | 27.18 | 11.13 |
| Cl⁻ (mek/l) | 0.03 | 0.04 | 0.07 | 0.03 |
| Cl⁻ (%mek/l) | 0.20 | 0.54 | 0.47 | 0.92 |

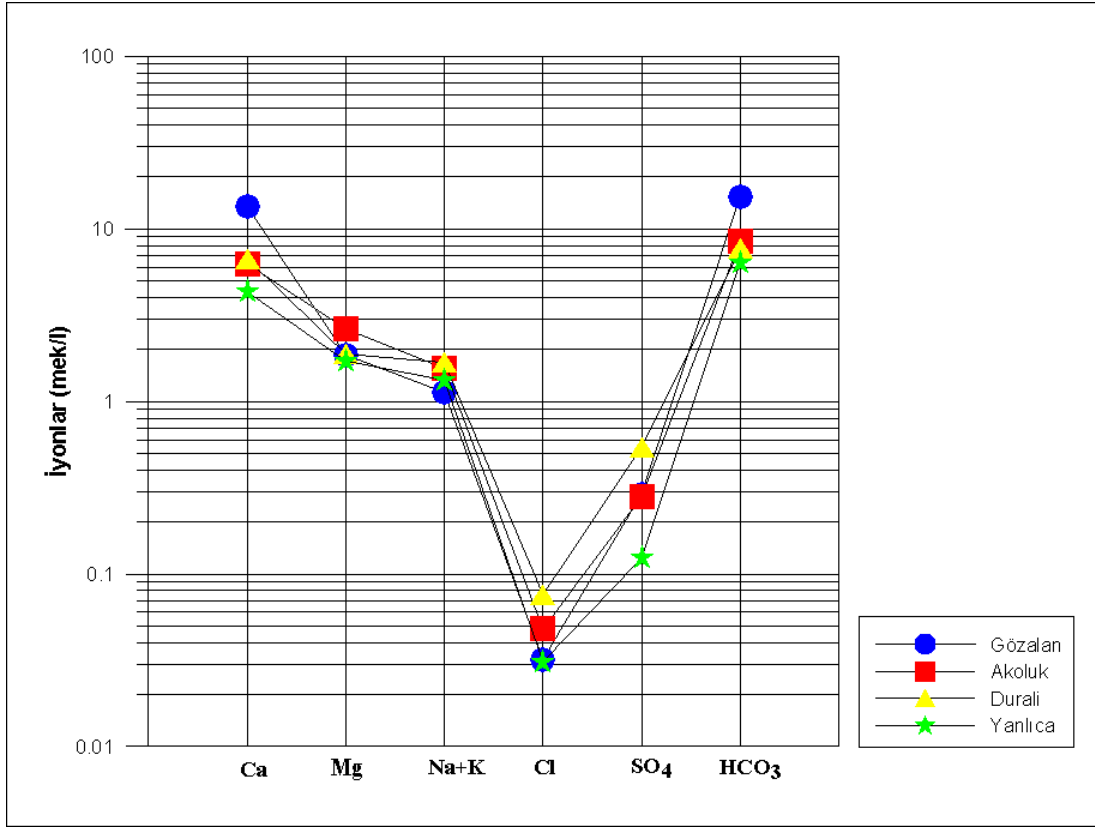
İnceleme kaynaklarındaki suların analiz sonuçlarına göre Piper diyagramı hazırlanmıştır (Şekil 3.10). Bu diyagrama göre incelenen kaynak suları, karbonatlı ve sülfatlı (Ca+Mg > Na+ K) sular sınıfında yer alıp, sularda zayıf asit kökleri güçlü asit köklerinden daha fazladır (HCO₃+CO₃> Cl+SO₄). Ayrıca bu sularda karbonat sertliği, karbonat olmayan sertlikten büyük değerdedir. Böyle sular CaCO₃ ve MgCO₃ lı sulardır ve sular karbonat sertliği % 50 den fazla olan sular sınıfında yer alır.



Şekil 3.10. İncelen kaynaklarda su örneklerine ait Piper diyagramı

3.3.7.2. Schoeller Diyagramı

Bu diyagram gerek iyonların topluca tek bir diyagramda görülmesi, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması açısından sık kullanılır. Schoeller diyagramında aynı kökenli, aynı akifer ve beslenme alanına sahip suların iyon dağılımları paralellik gösterir. Çalışma alanına ait kaynak sularının Schoeller diyagramındaki konumları şekil 3.11’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. İncelenen kaynak sularına ait Schoeller diyagramı

Schoeller diyagramı incelendiğinde kaynak sularının iyon değerlerini birleştiren doğrular birbirine çok yakın ve paralel geçmektedir. Bu durum suların aynı kökenden beslendiklerini ve benzer bileşimli olduklarını göstermektedir.

3.3.8. Suların Mineral Doygunlukları

Yeraltısuyunun akifer sisteminde dolaşımı sırasında su ile kayaçlar arasında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam hakkında yorum yapabilme olanağı sağlamaktadır. Suların üretimi, iletimi ve kullanımı aşamasında oluşabilecek çökellerin önceden tahmin edilmesi, alınabilecek önlemler açısından çok önemlidir. Bunun için yeraltısuyunda çeşitli minerallerin doygunluk durumlarının araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle suların kabuklaşma ve korozyon özelliklerinin tahmini için en çok rastlanılan çökel minerallerinin doygunluk hesapları yapılmıştır. Pozitif doygunluk indeksleri çökeltici, negatif doygunluk indeksleri ise çözüldürücü özelliğe karşılık gelir. CO₂ kısmi

basıncının da atmosfer kısmi basıncından ($10^{3.5}$ atm.) daha yüksek olması durumunda su çöktürücü ve gaz çıkartıcı özelliğe sahip olarak yorumlanabilir.

Doymuluk indisi (Saturation Index : SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmi basınçla değişir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doymuluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır:

SI =0 ise su ile ilgili mineral dengededir

SI >0 ise su, ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir)

SI <0 ise su, ilgili minerale doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

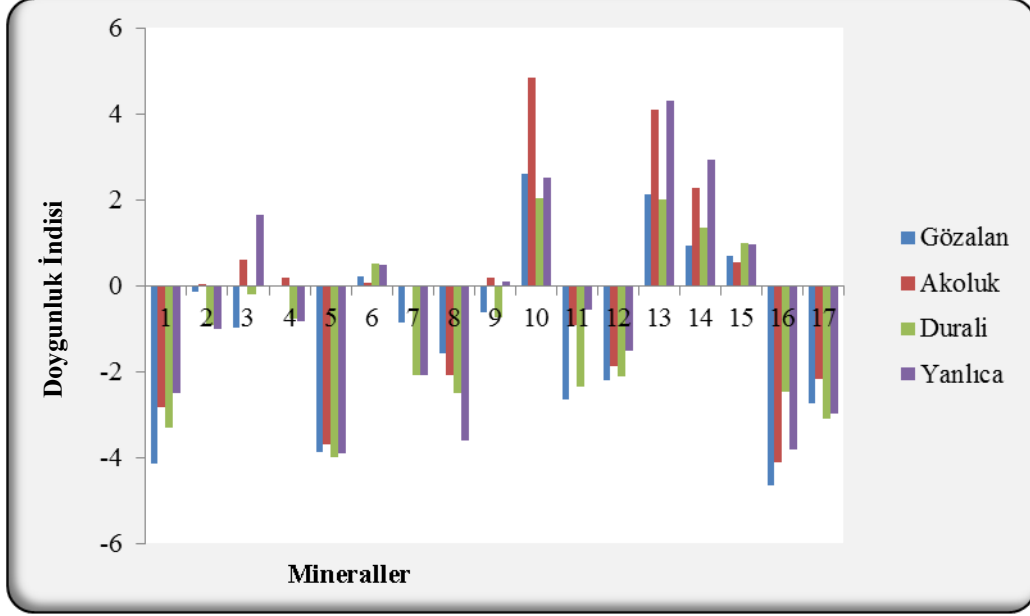
İncelenen kaynak sularının doymuluk indisleri arazide ölçülen pH ve sıcaklık değerleri ile kimyasal analiz sonuçlarından yararlanarak PhreeqC (Parkhurst and Appelo, 1999) bilgisayar programında değerlendirilmiş ve en çok çökel ürünü olarak rastlanabilecek mineraller dikkate alınmıştır. Bilgisayar programında elde edilen SI sonuçları Tablo 3.16'da verilmiştir. Doymuluk indisi değerlerinin kaynaklardaki değişimi ise şekil 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.16. İncelenen kaynak sularının Doymuluk İndisi (SI) değerleri

| Mineraller | Gözalın | Akoluk | Duralı | Yanlıca |
|------------------|---------|--------|--------|---------|
| Albit | -4.12 | -2.81 | -3.31 | -2.50 |
| Aragonit | -0.12 | 0.05 | -0.90 | -0.98 |
| Ca-montmorilonit | -0.95 | 0.62 | -0.19 | 1.67 |
| Kalsit | 0.03 | 0.21 | -0.74 | -0.82 |
| Seruzit | -3.85 | -3.68 | -3.98 | -3.90 |
| Kalsedon | 0.23 | 0.09 | 0.53 | 0.51 |
| Dolomit | -0.83 | 0.02 | -2.08 | -2.08 |
| Florit | -1.57 | -2.07 | -2.49 | -3.60 |
| Gıbsit | -0.61 | 0.20 | -0.71 | 0.12 |
| Götıt | 2.62 | 4.85 | 2.05 | 2.55 |
| İllite | -2.64 | -0.90 | -2.35 | -0.54 |
| K-feldspat | -2.20 | -1.87 | -2.10 | -1.49 |
| K-mıka | 2.14 | 4.09 | 2.03 | 4.31 |
| Kaolınıt | 0.95 | 2.29 | 1.36 | 2.97 |
| Kuvars | 0.70 | 0.55 | 1.00 | 0.97 |
| Rodokrozıt | -4.65 | -4.09 | -2.47 | -3.80 |
| Sıderıt | -2.72 | -2.15 | -3.09 | -2.97 |

Tablo 3.16 ve Şekil 3.12 incelendiğinde Gözalın kaynak suyu kalsit ile denge konumunda, kalsedon, götıt, k-mıka, kaolınıt ve kuvars minerallerine doygundur. Akoluk kaynağı aragonit, kalsedon ve dolomit ile denge konumunda, Ca- montmorillonit, kalsit,

gibsit, götit, k-mika, kaolinit ve kuvars minerallerine doygundur. Durali kaynak suyu kalsedon, götit, k- mika, kaolinit ve kuvarsa doygundur. Yanlıca kaynağı ise Ca-montmorillonit, kalsedon, gibsit, götit, k-mika, kaolinit ve kuvars minerallerine doygundur.



Şekil 3.12. İncelenen kaynak sularına ait mineral doygunluk diyagramı (1: albit, 2: aragonit, 3: Ca- montmorillonit, 4: kalsit, 5: seruzit, 6: kalsedon, 7:dolomit, 8:florit, 9: gibsit, 10:götit, 11:illit, 12:K-feldispat, 13:K-mika, 14: kaolinit, 15: kuvars, 16: rodokrozit, 17: siderit)

3.3.9. Çevresel İzotop Hidrolojisi

Doğal izotoplar, çevrede değişik konsantrasyonlarda bulunan hem duraylı hemde radyoaktif izotoplardır. Hidrojeolojide kullanılan duraylı izotoplar döteryum (^2H), oksijen-18 (^{18}O) ve karbon-13 (^{13}C), radyoizotoplar ise trityum (^3H) ve karbon-14 (^{14}C)'dür. Oksijen ve hidrojen su molekülünü oluşturan iki element olduklarından dolayı oksijen-18, döteryum ve trityum izotopları hidrolojik çevrimin çeşitli kesimlerindeki su hareketlerinin incelenmesi için izleyici olarak kullanılırlar. Duraylı izotoplardan oksijen-18 ve döteryumdan suların olası beslenme yükseltilerinin hesaplanmasında, trityumdan ise bağıl yaş ve geçiş sürelerinin belirlenmesi amacıyla yararlanılmıştır.

Trityum ve karbon-14 yeraltı suyunun yaşının belirlenmesinde kullanılırken, oksijen-18 ve döteryum ise yeraltı suyunun beslenme alanını belirlemede ve yüzey su kütlelerinde buharlaşma göstergesi olarak kullanılır.

3.3.9.1. Oksijen 18 (¹⁸O)- Döteryum (²H) İlişkisi

Deniz suyunun izotopik bileşimi referans olarak kullanılan SMOW olarak bilinir. SMOW (Standard Mean Ocean Water) ilk defa Craig (1961) tarafından tanımlanmıştır. SMOW, okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve $\delta D=0\text{‰}$ ve $\delta^{18}O=0\text{‰}$ değerleriyle tanımlanmaktadır (Gonfiantini,1978; Gat ve Gonfiantini, 1981). Dünya üzerindeki farklı lokasyonlardan alınan çok sayıdaki yağış sularında gerçekleştirilmiş olan izotop analizleri, meteorik suyun $\delta^{18}O$ ve δD değerleri arasındaki ilişkiyi

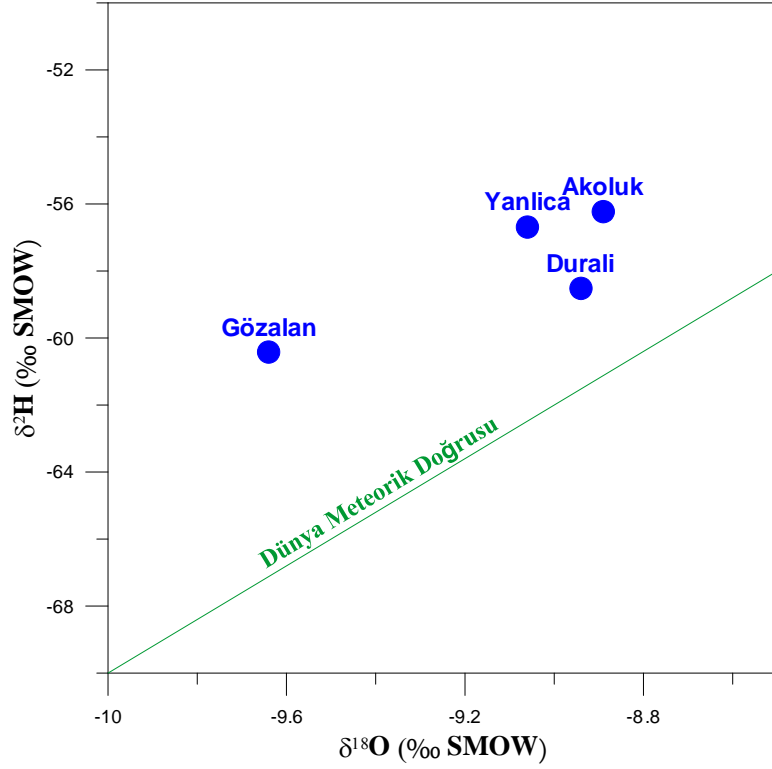
$$\delta D = 8 * \delta^{18}O + 10 \quad (3.2)$$

olarak tanımlanmıştır (Craig 1961).

İncelenen su kaynaklarının izotop analizleri tablo 3.17'de verilmiştir. Suların SMOW'a göre $\delta^{18}O$ değerleri -8.89 ile -9.64, δ^2H değerleri ise -56.23 ile -60.42 arasında değişir. Dünya meteorik doğrusu olarak adlandırılan bu doğruya göre incelenen kaynak sularından alınan örneklerin konumları Şekil 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.17. İncelenen su kaynaklarının izotop analiz sonuçları

| Örnek Adı | $\delta^{18}O$ (‰SMOW) | δ^2H (‰) (‰SMOW) | ³ H(TU) | ³ H Hata Değeri |
|-----------|------------------------|-------------------------|--------------------|----------------------------|
| Gözalan | -9.64 | -60.42 | 8.43 | 0.43 |
| Akoluk | -8.89 | -56.23 | 8.39 | 0.42 |
| Duali | -8.94 | -58.52 | 6.66 | 0.40 |
| Yanlıca | -9.06 | -56.69 | 6.73 | 0.40 |



Şekil 3.13. İncelenen kaynak sularının Oksijen 18-Döteryum ilişkisi

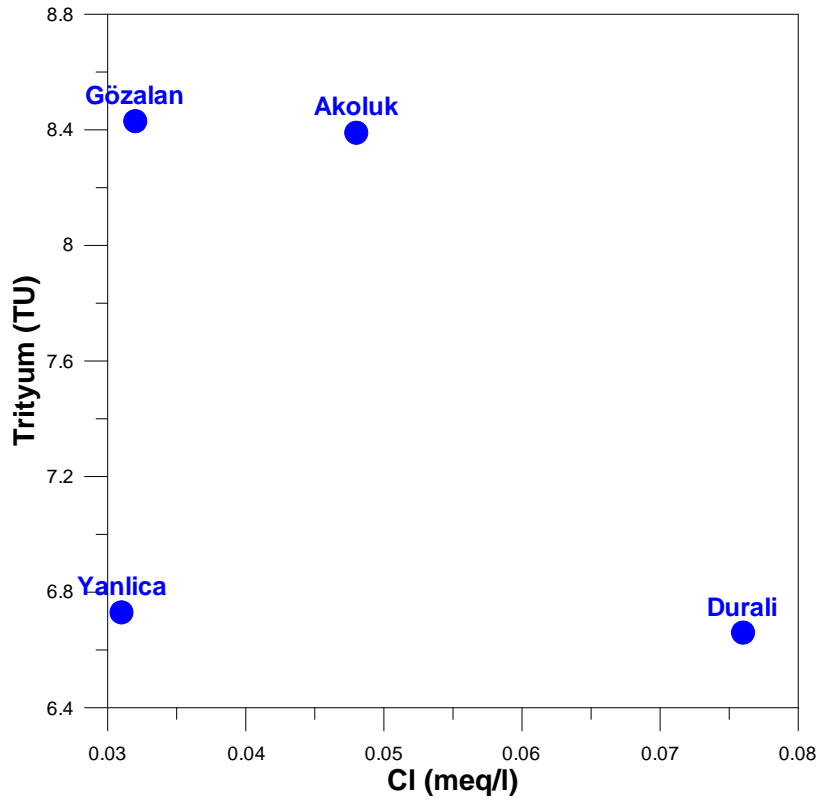
Şekil 3.13'te oksijen-18 ve döteryum ilişkisi incelendiğinde, inceleme alanındaki bütün su noktalarından alınan örnekler Dünya Meteorik Doğrusunun üst kısmında yer almaktadır. Gözalan kaynak suyu ise ayrıca sol tarafa doğru kayma göstermektedir. Bu durum kaynak sularının hepsinde H_2S değişiminin; Gözalan kaynak suyunda ise hem H_2S hem de CO_2 değişiminin etkili olduğunu ifade etmektedir.

3.3.9.2. Trityum (^3H)- Klorür (Cl) İlişkisi

Su içerisindeki trityum konsantrasyonu trityum birimi (TU) olarak verilmektedir. Yani 10^{18} hidrojen atomuna karşı bir trityum atomunun bulunması "1 Trityum Birimi (TU)" olarak tanımlanır. Radyoaktif olmasından dolayı uğradığı zamansal değişim nedeniyle yeraltı sularının bağıl yaşının (eskilik derecesi) belirlenmesi çalışmalarında kullanılmaktadır (Çifter ve Sayın, 2002). Trityum (^3H) 12.43 yıl yarılanma ömrüne sahip olup, yağışla beslenme sonucu yeraltısuyuna girer. Radyoaktif bir izotop olmasından dolayı yeraltısuyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunuma uğramaktadır. Dolaysı ile yeraltısularının geçiş süresinin ortaya konmasında trityum

izotopu önemli parametredir. Yeraltısularının geçiş sürelerin belirlemek için ^3H -Cl ilişkisinden yararlanılır. Genellikle Cl değeri yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile doğru orantılıdır.

İncelenen kaynak sularına ait örneklerin trityum- klor ilişkisi Şekil 3.14'te gösterilmektedir. Gözalan ve Akoluk kaynak sularının yüksek trityum ve düşük klor değerine sahip olması bu suların geçiş sürelerinin kısa olduğunu ve Durali kaynağının düşük trityum ve yüksek klor değerine sahip olması bu kaynak suyunun derin dolaşımli olduğunu göstermektedir. Yanlıca kaynağı ise düşük Cl⁻ konsantrasyonu ve düşük ^3H değeri ile kaynağın ara (sığ) dolaşımı yansıtmaktadır.



Şekil 3.14. İncelenen kaynak sularına ait trityum-klor ilişkisi

3.4. Su-Kayaç Etkileşimi

Litosferi oluşturan kayalar genel olarak magmatik, başkalaşım ve çökel kayalar diye ayrılır. Her bir kaya grubu kendi içinde sınıflandırılır; içerdikleri bazı mineral ve elementler kendilerine özgedir. Eğer yeraltı sularında egemen ve özgel iz elementler bilinirse, suyun kökeni ile geçirmiş olduğu jeokimyasal evrim hakkında bilgi edinilebilir.

Magmatik kayaların ortak en önemli elementi silisyumdur. Ultrabazik ve bazik kayalarda bu element ender olarak SiO_2 şeklinde bulunur. Asidik kayalarda ise silis, önemli miktarlarda kuvarz veya amorf silis özelliğini taşır. Diğer elementlerin miktarları bazik ve asidik kayalarda farklıdır. Genel olarak, magmatik kaya mineralleri kimyasal bozunuma dayanıklı olduklarından, bu kayalardan gelen soğuk yeraltı sularında tuz miktarı oldukça azdır. Ancak, ultrabazik ve bazik kaya mineralleri, asidik kaya minerallerine oranla daha az dayanıklıdır.

Doğada en çok rastlanan metamorfik kayalar arduvaz, şist ve gnayslardır. Şist ve arduvazlarda, genellikle geçirimsizliğin düşük, kristal boyutlarının küçük olması, yeraltı suları ile kaya dokanak yüzeyini ve süresinin artmasına nedendir. Böylece, anılan kayalardan gelen suların buharlaşma kalıntıları yüksektir tüm iyonlar bol miktarda bulunur.

Genellikle tek tür minerallerin egemen olduğu tortul kayalar, içinde bulundurduğu suya kimyasal özelliğini yansıtır. Bu birincil minerallerden başka, kolay çözünebilen mineraller, suyun ikincil kimyasal özelliğini verirler.

3.4.1. Kayaç Jeokimyası

İnceleme alanında yüzeyleyen birimlerin kimyasal analizleri ile bu birimlerden yüzeye ulaşan kaynak sularının kimyasal benzerliklerini karşılaştırmak amacı ile farklı kayaç türlerinden kimyasal analizler yapılmıştır. Üst Kretase yaşlı farklı formasyonlardan alınan kayaçların makroskobik ve mikroskobik incelemelerinden genellikle bazalt, altere bazalt, andezit, altere andezit, tuf, dasit, volkanik katkılı marn oldukları belirlenmiştir (Tablo 3.18) Kayaçların ana oksit değerleri tablo 3.18'de verilmiştir. Kayaçların ana oksit değerlerine ait dairesel grafikler ise Şekil 3.15 ve 3.16'da verilmiştir. Çevre kayaçların kimyasına göre; marnlar dışındaki tüm kayaçlarda (andezit, bazalt, dasit ve altere türleri) SiO_2 en bol bulunan oksittir. İkinci sırada genellikle Al_2O_3 yer alır.

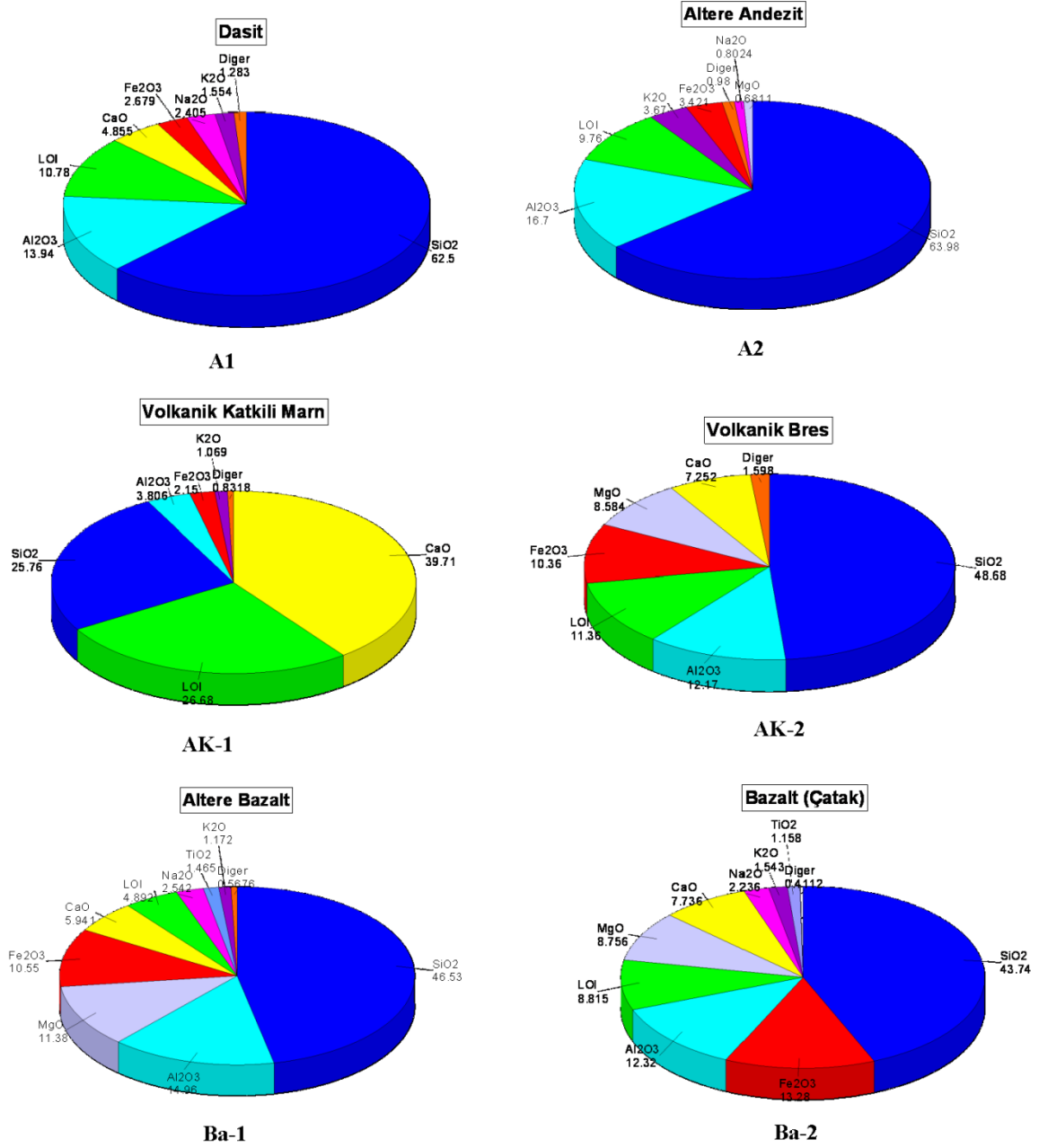
Farklı formasyonlardan alınan kayaçların iz element değerleri tablo 3.19'da, kayaçlardaki iz element değişimleri ise şekli 3.17'de verilmiştir.

Kayaçların iz element içerikleri incelendiğinde Rb, Sr, Zr, Zn, Ba ve Ce gibi iz elementlerin yüksek değerlerde, Se, Br, Cd, Sn, Sb ve Hg gibi elementlerin ise düşük değerlerde olduğu görülür.

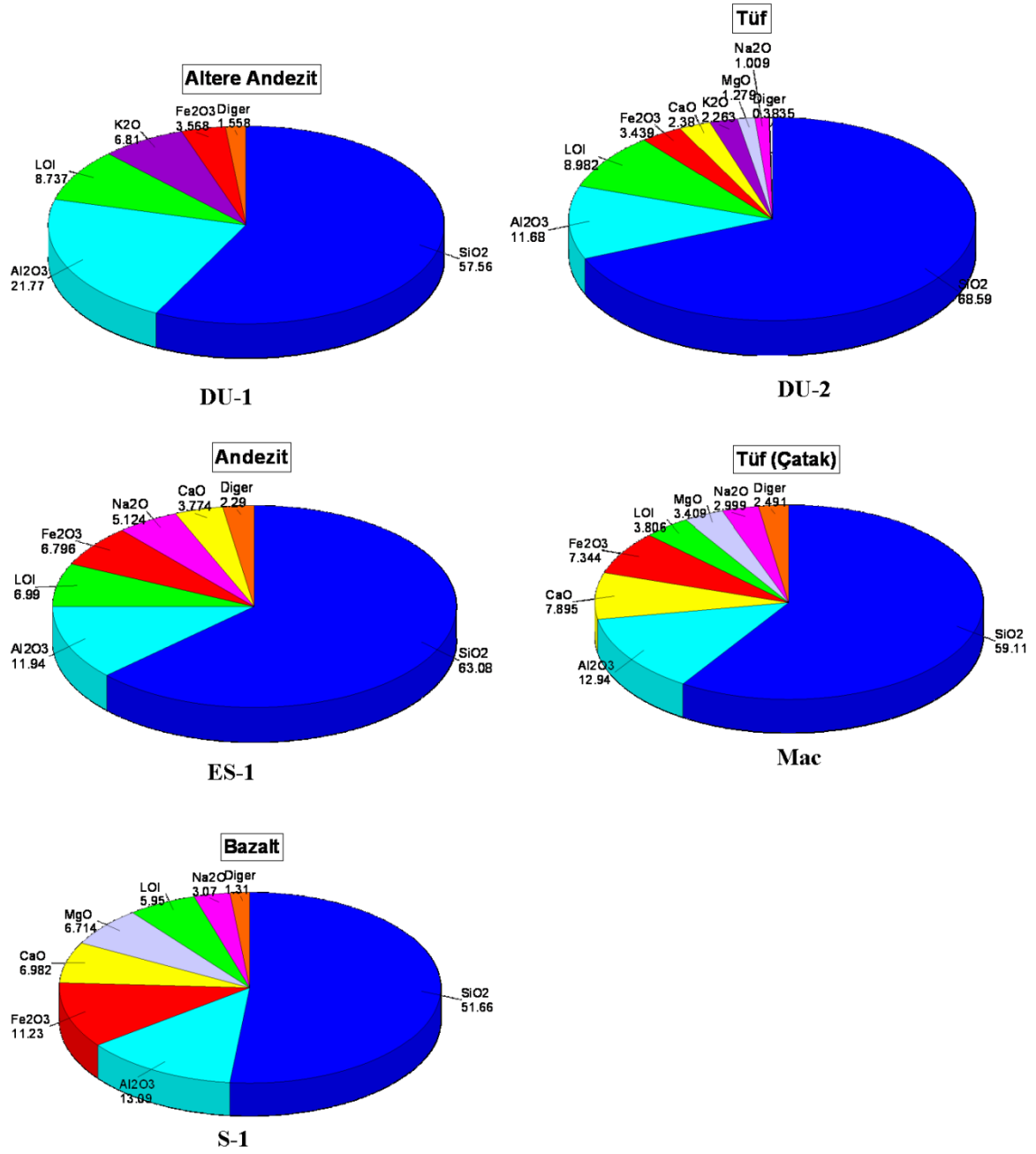
Kayaç türlerine göre değerlendirildiğinde Çağlayan formasyonunu temsil eden altere andezitlerin iz element değerleri daha yüksektir.

Tablo 3.18. Kayaç örneklerine ait ana oksit değerleri, (değerler % olarak verilmiştir)

| | A-1 | A-2 | AK-1 | AK-2 | Ba-1 | Ba-2 | DU-1 | DU-2 | ES-1 | Mac | S-1 |
|------------------------------------|------------|----------------|-------------------------|---------------|---------------|-------------|----------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Kayaç adı | Dasit | Altere Andezit | Marn (volkanik katkılı) | Volkanik Breş | Altere Bazalt | Bazalt | Altere Andezit | Tüf | Andezit | Tüf | Bazalt |
| Alındığı Formasyon | Kızılkaya | Çağlayan | Çağlayan | Çağlayan | Çatak | Çatak | Çağlayan | Çağlayan | Çağlayan | Çatak | Kabaköy |
| Na₂O | 2.4 | 0.8 | 0.081 | 0.22 | 2.53 | 2.23 | 0.37 | 1 | 5.08 | 3.01 | 3.07 |
| MgO | 0.946 | 0.679 | 0.283 | 8.595 | 11.33 | 8.731 | 0.14 | 1.267 | 0.987 | 3.422 | 6.714 |
| Al₂O₃ | 13.91 | 16.65 | 3.798 | 12.19 | 14.89 | 12.29 | 21.65 | 11.57 | 11.84 | 12.99 | 13.09 |
| SiO₂ | 62.36 | 63.79 | 25.7 | 48.74 | 46.32 | 43.62 | 57.25 | 67.96 | 62.54 | 59.33 | 51.66 |
| P₂O₅ | 0.0403 | 0.0817 | 0.0345 | 0.0098 | 0.3155 | 0.1614 | 0.1077 | 0.0628 | 0.161 | 0.1187 | 0.0637 |
| SO₃ | 0.01336 | 0.0822 | 0.01508 | 0.00075 | 0.00399 | 0.03316 | 0.00785 | 0.00075 | 0.0605 | 0.6868 | 0.00746 |
| K₂O | 1.551 | 3.659 | 1.067 | 0.7847 | 1.167 | 1.539 | 6.773 | 2.242 | 0.2071 | 0.8747 | 0.3659 |
| CaO | 4.844 | 0.3487 | 39.62 | 7.261 | 5.914 | 7.714 | 0.5384 | 2.358 | 3.742 | 7.924 | 6.982 |
| TiO₂ | 0.2062 | 0.3654 | 0.1348 | 0.4858 | 1.458 | 1.155 | 0.3139 | 0.2632 | 0.6875 | 0.6528 | 0.6354 |
| V₂O₅ | 0.007 | 0.0092 | 0.0029 | 0.0207 | 0.0402 | 0.0211 | 0.0212 | 0.008 | 0.0123 | 0.0297 | 0.0474 |
| Cr₂O₃ | 0.0356 | 0.01183 | 0.00283 | 0.0064 | 0.00396 | 0.01523 | 0.0025 | 0.00209 | 0.00748 | 0.0017 | 0.002 |
| MnO | 0.0323 | 0.0781 | 0.272 | 0.0666 | 0.2023 | 0.1871 | 0.0474 | 0.043 | 0.1554 | 0.1416 | 0.1936 |
| Fe₂O₃ | 2.673 | 3.411 | 2.145 | 10.374 | 10.5 | 13.24 | 3.549 | 3.408 | 6.737 | 7.371 | 11.23 |
| LOI | 10.76 | 9.73 | 26.62 | 11.37 | 4.87 | 8.79 | 8.69 | 8.9 | 6.93 | 3.82 | 5.95 |



Şekil 3.15. Kayaç örneklerinde ana oksitlerin dağılımı



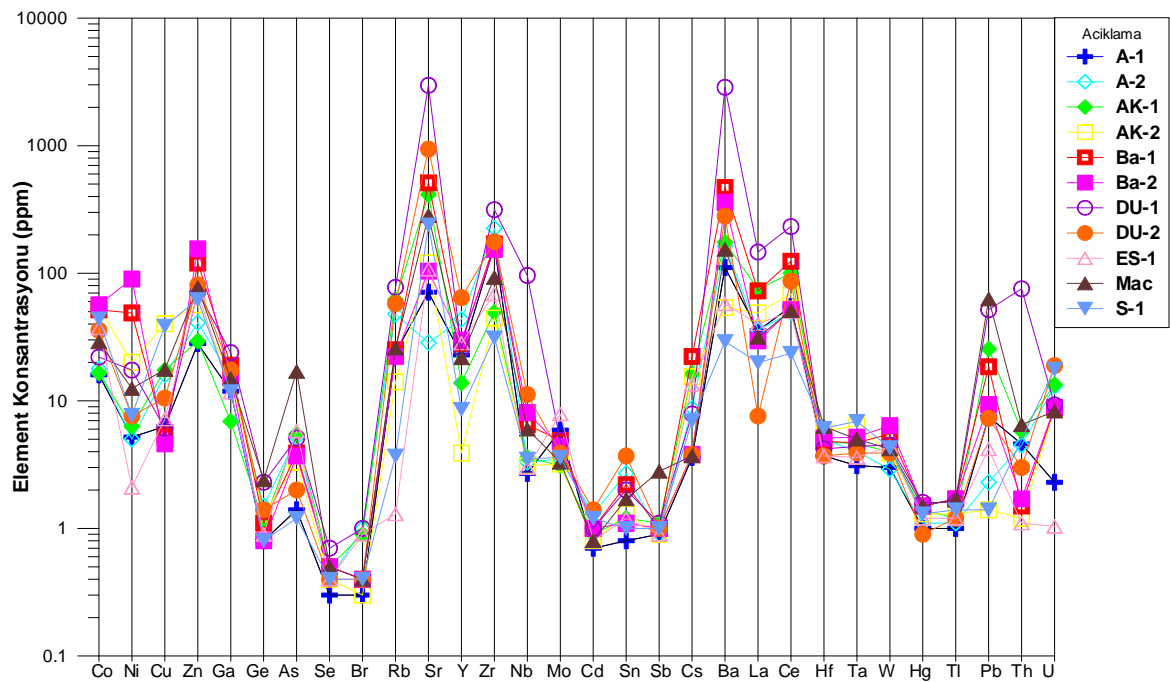
Şekil 3.16. Kayaç örneklerinde ana oksitlerin dağılımı

Tablo 3.19. Kayaç örneklerine ait iz element sonuçları, (değerler ppm olarak verilmiştir)

| Element | A-1 | A-2 | AK-1 | AK-2 | Ba-1 | Ba-2 | DU-1 | DU-2 | ES-1 | Mac | S-1 |
|---------|------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| Co | 16 | 17.8 | 16.5 | 53.7 | 51.7 | 56.7 | 22 | 35.7 | 37.2 | 29 | 43.9 |
| Ni | 5.2 | 5 | 6.3 | 20.1 | 48.9 | 90.1 | 17.4 | 7.6 | 2.1 | 12.5 | 7.7 |
| Cu | 6.3 | 15.9 | 17.4 | 40.3 | 5.3 | 4.6 | 6.1 | 10.5 | 7.2 | 17.6 | 38.6 |
| Zn | 28.1 | 41 | 29.4 | 56.5 | 120.3 | 155.6 | 71.7 | 80.9 | 70 | 77.4 | 62.3 |
| Ga | 11.9 | 15.6 | 6.9 | 15.4 | 19 | 15.3 | 23.9 | 17.4 | 11.7 | 14.9 | 11.8 |
| Ge | 0.8 | 1.5 | 1.1 | 1.3 | 1.1 | 0.8 | 2.3 | 1.4 | 0.9 | 2.4 | 0.8 |

Tablo 3.19'un devamı

| | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| As | 1.4 | 5.2 | 5.5 | 3.3 | 3.9 | 3.7 | 5.1 | 2 | 5.8 | 17 | 1.2 |
| Se | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.7 | 0.4 | 0.4 | 0.5 | 0.4 |
| Br | 0.3 | 1 | 0.9 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 1 | 0.4 | 0.9 | 0.4 | 0.4 |
| Rb | 23.8 | 48 | 62.3 | 14.1 | 25.1 | 22.3 | 77.6 | 57.8 | 1.3 | 25.9 | 3.7 |
| Sr | 71.1 | 28.5 | 413.7 | 120.7 | 510.5 | 104 | 2974 | 941 | 107.6 | 283.1 | 239.5 |
| Y | 22.9 | 43.6 | 13.8 | 3.9 | 28.2 | 29.9 | 25.7 | 64.5 | 28.4 | 21.7 | 8.6 |
| Zr | 164.5 | 225.1 | 49.5 | 44.5 | 169.8 | 154.9 | 315 | 176.5 | 68.9 | 92.6 | 31.2 |
| Nb | 2.7 | 3.3 | 3.6 | 3.1 | 6.5 | 8.1 | 96.1 | 11.2 | 3 | 6 | 3.5 |
| Mo | 5.9 | 3.5 | 3.1 | 3.2 | 4.9 | 4.4 | 4.9 | 3.9 | 7.9 | 3.3 | 3.6 |
| Cd | 0.7 | 1.3 | 0.9 | 0.8 | 1 | 1 | 1 | 1.4 | 0.8 | 0.8 | 1.2 |
| Sn | 0.8 | 2.7 | 1.2 | 1.3 | 2.2 | 1.1 | 2 | 3.7 | 1.2 | 1.7 | 1 |
| Sb | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 0.9 | 1 | 1 | 1.1 | 1 | 0.9 | 2.8 | 1 |
| Cs | 3.6 | 8.8 | 16.3 | 15.5 | 22.3 | 3.8 | 7.9 | 3.8 | 13.5 | 3.7 | 7 |
| Ba | 110.9 | 163.2 | 174.8 | 53.8 | 469.7 | 360.4 | 2868 | 280.6 | 57.5 | 154.1 | 29.2 |
| La | 35.4 | 35.9 | 75 | 48.9 | 72.7 | 29.5 | 146.7 | 7.6 | 40.1 | 31.5 | 19.9 |
| Ce | 54.8 | 49.2 | 100.4 | 69.2 | 124.2 | 51.9 | 232.3 | 86.8 | 50.2 | 51 | 23.6 |
| Hf | 3.7 | 5 | 4.8 | 5.8 | 4.8 | 5.1 | 4.2 | 3.7 | 3.7 | 6.3 | 6.1 |
| Ta | 3.1 | 4 | 4.6 | 6.4 | 4.7 | 5.2 | 4.4 | 3.9 | 3.6 | 5 | 6.9 |
| W | 3 | 2.9 | 4 | 3.9 | 5.5 | 6.4 | 4.5 | 3.9 | 4.4 | 4.2 | 4.3 |
| Hg | 1 | 1.1 | 1.4 | 1.3 | 1.5 | 1.5 | 1.6 | 0.9 | 1.2 | 1.5 | 1.3 |
| Tl | 1 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.7 | 1.7 | 1.6 | 1.2 | 1.2 | 1.7 | 1.4 |
| Pb | 7.5 | 2.3 | 25.5 | 1.4 | 18.5 | 9.3 | 51.8 | 7.3 | 4.2 | 62.8 | 1.4 |
| Th | 4.6 | 4.5 | 5.8 | 1.2 | 1.5 | 1.7 | 75.5 | 3 | 1.1 | 6.5 | 0.4 |
| U | 2.3 | 13 | 13.4 | 8.6 | 8.8 | 8.9 | 9.3 | 18.9 | 1.04 | 8.3 | 17.7 |



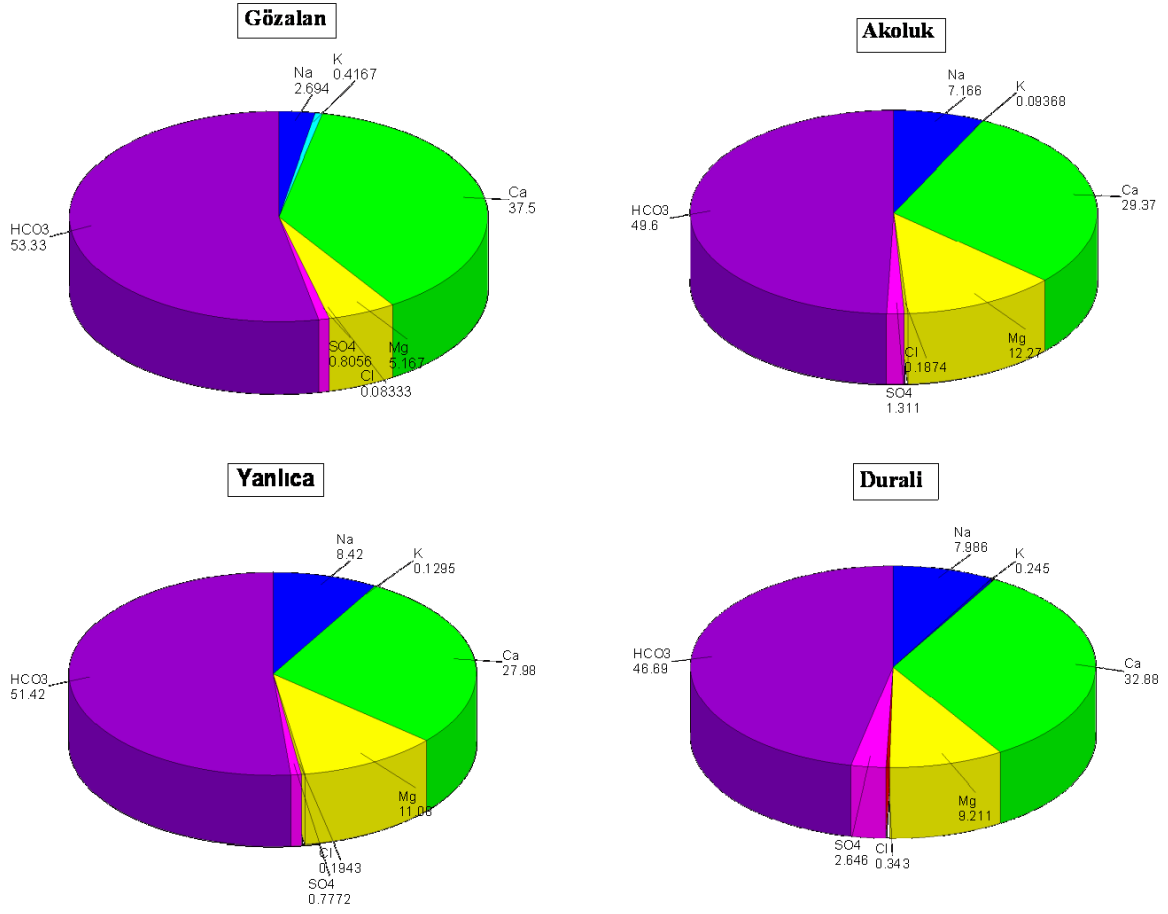
Şekil 3.17. İz elementlerin kayalardaki değişimi

3.4.2. Hidrojeokimya

Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak suları Na^+ , K^+ , Ca^{+2} ve Mg^{+2} kationları ve Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- anyonları yönünden farklılıklar sunarlar. Bu farklılıklar suların içinde dolaştıkları rezervuar kayaların litolojisi ile ilgilidir. İncelenen kaynaklara ait Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- anyon ve kation değerlerine göre dairesel diyagramları oluşturulmuştur (Şekil 3.18). Bu diyagramlar incelendiğinde tüm kaynaklarda Ca^{+2} ve HCO_3^- değerleri diğer anyon ve kation değerlerine oranla daha baskındır. Bu kaynaklarda Ca^{+2} anyonu %27.98-%37.5 arasında ve HCO_3^- içeriği %46.69- %53.33 arasında değişmektedir. Kaynakların bikarbonatca zengin oldukları, derinlere indikçe klorür tuzlarının egemen olduklarını gösterir. Kaynakların $\text{HCO}_3^-/\text{SO}_4^{-2}$ oranları %17.68-%66.77 arasında değişmektedir. Bu oranlara bağlı olarak gözlenen pozitif yönelimin incelenen kaynaklarda su-kayaç etkileşiminin geliştiğini gösterir. İncelenen su kaynaklarında $\text{Mg}^{+2}/\text{Ca}^{+2}$ oranları az ve % 0.28-% 0.41 arasında değişmektedir. Bunun nedeni inceleme alanında dolomitik kayaların bulunmamasıdır.

Kaynakların $\text{Ca}^{+2}/\text{Na}^+$ oranı %4.10-%13.94 olduğu için suların daha fazla mafik kayalarla temas ettiği söylenebilir. $r\text{Na}^+/r\text{K}^+$ oranı incelenen kaynaklarda 6.13-58.84 (mek/l) arasında ve yüksek olduğu, suların bazik kayalardan geçtiğini açıklar. İncelenen kaynak sularında $r\text{Ca}^{+2} > r\text{Mg}^{+2}$ olup suların kireçtaşlarından geldiği tahmin edilmektedir.

İncelenen kaynaklarda SiO_2 miktarı normal yeraltı sularına oranla fazla olup 33.50-88.49 (ppm) arasındadır. Kayalarda da SiO_2 en yüksek oksiti oluşturmaktadır. Çalışma alanında yüzeylenen genellikle bazik volkanik kayaların kimyasal özellikleri suların kimyası üzerinde etkili olmuştur.



Şekil 3.18. İncelenen kaynak sularına ait dairesel diyagramlar

3.4.3. Su-Kayaç İlişkisi

Kaynak sularının kimyası üzerinde kayaç kimyası ve sıcaklık, pH, Eh gibi ortam koşullarının etkisi oldukça fazladır. Kaynak sularındaki iz element içerikleri ile kayaç kimyasındaki iz elementler karşılaştırıldığında (Şekil 3.19) kayaç kimyasının su kimyasını çok fazla etkilediği görülür. Şekilde kayaçların Ba, La, Ce, Nb, Zr ve Sr gibi iz element içeriğinin altre andezitlerde yüksek değerlerde olduğu görülür. Bu elementler volkanik breş ve bazaltlarda düşük değerlerdedir. Suların iz element içerikleri ile kayaçların iz element içerikleri karşılaştırıldığında sularda yüksek olan Zn, Br, Sr ve Ba elementler kayaçlarda olduğu gibi yüksek değerlerdedir. Bu durum Zn, Br, Sr ve Ba elementlerinin sulara altre andezit, tüf, bazalt ve volkanik breşten geçtiğini gösterir.

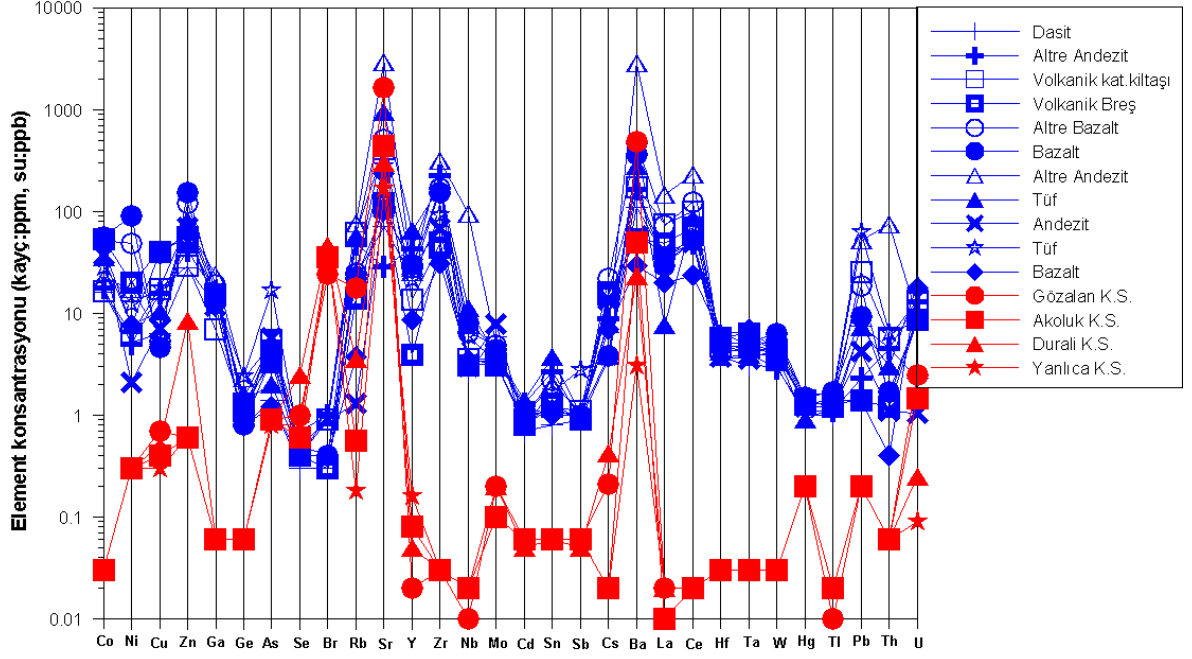
Özellikle Gözalan kaynak suyunda yüksek olan iz elementler altre andezitlerdeki iz elementlerle paralellik gösterir. Bu durum Gözalan kaynak suyunun izlediği yol boyunca daha çok bu tür kayaçlarla temas ettiğini ifade eder. Akoluk kaynak suyunda yüksek olan

iz elementlerin volkanik breş ve volkanik katkılı kilitaşlarındaki iz elementlere paralellik göstermesi bu kaynağın izlediği yol boyunca daha çok bu kayalarla temas ettiğini açıklar. Durali ve Yanlıca kaynağında yüksek olan iz elementler altre andezit, bazalt, volkanik breş, tuf, altre bazaltlardaki iz elementlere paralel olduğundan bu kaynağın izlediği yolda daha çok bu tür kayaların bulunduğunu ifade eder.

Suyun kimyası üzerinde su- kayaç etkileşimi nedeniyle kayaç kimyası birincil etkidir. Ancak, kayaç kimyası ve ortam koşulları üzerinde etkili olan bir başka parametrede çevresel etkilerdir. Çevresel etkilerden iklim koşulları su kimyasının meydana gelmesinde önemlidir. Çünkü iklimin tipi kayaçların ayrışma derecesini, kayaçların ayrışma derecesi ise suyun kimyasal bileşimini etkiler.

Genel olarak incelenen kaynak suları nemli iklimde yer aldıkları için Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- iyonlarında değişim izlenir. İncelenen kaynaklarda Na^+ 'un kaynağı kayaların bozunumu ve yağış sularıdır. Nemli iklimlerde silikatlı kayalar oldukça kolay bozunarak Na^+ açığa çıkmıştır. Ancak albitin, anortite oranla daha duraylı olması ve çözünürlüğünün az olması, kaynak sularında Na^+ miktarının azlığını açıklamaktadır. Potasyum ve sodyum, kalsiyuma oranla daha fazla suda çözüldükleri halde, magmatik kaya bozunumunda Ca^{+2} , Na^+ ve K^+ oranla daha hareketlidir (Şahinci, 1991) dolayısıyla silikat zincirlerinde piroksen, amfibol, feldispatlar ve plajyoklazlarda bulunup hızlı bozunurlar. Zemin taksonomik sınıflamasında Ca^{+2} önemli bir yer tutar. Organik maddelerce zengin, asidik özellik kazanan toprak zemini, kalsiyum, hafif alkali dönüştürmesi tahmin edilmektedir. Nemli iklimlerde Mg^{+2} özellikleri Ca^{+2} benzer, ancak Mg^{+2} daha az hareketlidir. İncelenen kaynakların etrafında bazik kayalar çok olduğu için Mg^{+2} olivin ve piroksenlerde bulunup, miktarların bozunumundan suya geçmiş olabilir.

Kaynak suları yağışlı bölgede olduklarından SO_4^{-2} ve Cl^- iyonları suda az bulunur, fakat yanal akıştan dolayı HCO_3^- iyonları fazladır.



Şekil 3.19. Su ve kayaların iz element analiz sonuçlar

3.5. Baz Değişimi İndisi

İyon değişimi yeraltı sularındaki K^+/Na^+ , Na^+/Ca^{+2} , Na^+/Mg^{+2} , Mg^{+2}/Ca^{+2} oranlarını tümüyle değiştirebilir. Baz değişim endeksi (indice d'échange de bases, Scholler) (i.e.b.), iyon değişim sonucu ortaya çıkan iyonların, iyon değişim öncesi benzer iyonlara oranına denir (Şahinci, 1991). Eğer başlangıçta rCl^- kadar $r(Na^+ + K^+)$ var kabul edilirse, iyon değişiminden sonra baz değişim indeksi (i.e.b) şöyle yazılabilir:

$$i.e.b. = r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-} \dots\dots\dots (3.3.)$$

Eğer suyun alkali toprak iyonlarına karşın alkali iyon değişimi varsa i.e.b. aşağıdaki gibidir:

$$i.e.b. = r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{SO_4^{-2} + HCO_3^- + NO_3^-} \dots\dots\dots (3.4)$$

Su kaynakları yukarıdaki formüllere göre incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 3.20).

Tablo 3.20. İncelenen su kaynaklarında baz değişim endeksi

| i.e.b | Gözealan | Akoluk | Duralı | Yanlıca |
|--|-----------------|---------------|---------------|----------------|
| $r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{Cl^-}$ | -1.128 | -1.55 | -1.68 | -1.32 |
| $r \frac{Cl^- - (Na^+ + K^+)}{SO_4^{-2} + HCO_3^- + NO_3^-}$ | -0.055 | -0.13 | -0.14 | -0.15 |

Tablo 3.20'ye baktımızda incelenen tüm kaynakların $(r Cl^- - r (Na^+ + K^+)) / r Cl^-$ ve ya $(r Cl^- - r (Na^+ + K^+)) / r (SO_4^{-2} + HCO_3^- + NO_3^-)$ değeri eksidir. Bunun nedeni, silikatların bozunumundan ortaya çıkan Cl^- iyonlarından daha fazla alkali iyonlarının suya karışmasıdır (Şahinci, 1991).

4. TARTIŞMA

Ülkemiz pek çok yeraltı kaynağında olduğu gibi doğal mineralli sular açısından da önemli bir potansiyele sahiptir. Bu kaynaklar ile ilgili envanter çalışmaları MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmıştır. Bu envantere göre Trabzon il sınırları içerisinde iyon içeriği yüksek kaynakların sayısı yaklaşık 20 civarındadır. Bunlardan 5-6 adedi ise Değirmendere vadisinde yer almaktadır.

Çalışmada, iyon içerikleri normal sulara göre yüksek, fakat mineralli sulara göre nispeten düşük olan bu kaynakların yüksek iyon değerlerinin nedenleri, su ve çevre kayaçların kimyasal özellikleri karşılaştırılarak yorumlanmaya çalışılmıştır.

İncelenen kaynakların hepsi kimyasal özelliklerine göre Ca-HCO₃ su tipinde olup, Yanlıca ve Durali kaynaklarında toplam iyon miktarı 1000 mg/l'nin altındadır. Gözalan ve Akoluk kaynaklarında ise yaklaşık 500 mg/l civarındadır. Kaynak sularının majör iyon konsantrasyonları (Na+K, Ca, Mg, HCO₃, SO₄ ve Cl) birbirlerine yakın değerlerdedir. Ancak Na+K konsantrasyonu Gözalan kaynağında biraz daha düşük değerdedir. Majör iyonların hangi kimyasal olaylar sonucu su-kayaç etkileşimi ile suya geçmiş olabilecekleri Hounslow (1995)' e göre değerlendirilmiş (Tablo 4.1), incelenen kaynakları etkileyen kimyasal olaylar belirlenmiştir (Tablo 4.2, 4.3).

Tablo 4.3 incelendiğinde Gözalan, Akoluk ve Durali kaynaklarında Na⁺ sulara plajiyoklasların ayrışması ve iyon değişimi sonucu geçmiştir. Sulardaki Mg⁺² konsantrasyonu Gözalan ve Akoluk kaynaklarında karbonat ayrışması, Durali ve Yanlıca kaynaklarında silikat ayrışması sonucu gerçekleşmiştir. Ca⁺²'un sulara bulunmasında ise karbonat veya silikatların ayrışması etkili olmuştur. Cl konsantrasyonu çevre kayaçlarının ayrışması sonucunda olmuştur.

İz element içerikleri genel olarak düşük konsantrasyonlarda olmasına rağmen B, Ba, Cr ve Sr konsantrasyonları normal sulara göre nispeten yüksek değerlerdedir. Sr ve Ba elementleri kayaçlarda da yüksek konsantrasyonlardır.

Tablo 4.1. Su-kayaç etkileşimine bağlı olarak belirlenen sonuçlar, (Hounslow, 1995'den düzenlenmiştir)

| Parametreler | Değer Aralıkları | Olası Sonuçlar |
|--|--|--|
| $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})$ | > 0.2 ve < 0.8 < 0.2 ya da > 0.8 | Olası plajyoklaz ayrışması Plajyoklaz ayrışması |
| $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$ | > 0.5 = 0 < 0.5 TDS > 500 < 0.5 TDS < 500 > 50 < 0.5 TDS < 50 | Halit-albit dışındaki farklı sodyum kaynağı, iyon değişimi Halit çözeltisi Tathlaşmaya dönüş, deniz suyu Analiz hatası Yağmur suyu |
| $\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ | $\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 > 10$ = 0.5 < 0.5 > 0.5 $\text{HCO}_3^- / \text{SiO}_2 < 5$ > 0.5 < 0.5 | Karbonat ayrışması Dolomit ayrışması Kireçtaşı- dolomit ayrışması Dolomit çözeltisi, kalsit çökeli mi veya deniz suyu Silikat ayrışması Ferromagnezyen mineraller Granit ayrışması |
| $\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})$ | = 0.5 < 0.5 pH < 5.5 < 0.5 nötr > 0.5 | Jips çözeltisi Pirit oksidasyonu Kalsiyum ayrılması- iyon değişimi veya kalsit çökeli mi Jipsten farklı kalsiyum kaynağı- karbonat veya silikatlar |
| $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / \text{SO}_4^{-2}$ | > 0.8 ve < 1.2 | Dedolomitleşme |
| TDS | > 500 < 500 | Karbonat ayrışması, tuzlu sular veya deniz suyu Silikat ayrışması |
| $\text{Cl}^- / \Sigma \text{anyon}$ | > 0.8 TDS > 500 > 0.8 TDS < 100 < 0.8 | Deniz suyu, tuzlu sular veya evaporitler Yağmur suyu Kayaç ayrışması |
| $\text{HCO}_3^- / \Sigma \text{anyon}$ | > 0.8 < 0.8 Yüksek sülfat < 0.8 Düşük sülfat | Silikat veya karbonat ayrışması Jips çözeltisi Deniz suyu veya tuzlu sular |
| Doğunluk indeksi | Positif 0 Negatif | Kalsitçe aşırı doymun çözelti Kalsitçe doymun çözelti Kalsitçe doymamış çözelti |

Tablo 4.2. Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} katyonları ile Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- anyon değişimleri ve kalsit doymunluk indeksi değerleri, (Hounslow, 1995)

| Parametreler | Gözalan | Akoluk | Durali | Yanlıca |
|--|---------|--------|--------|---------|
| $(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})$ | 0.07 | 0.19 | 0.19 | 0.23 |
| $\text{Na}^+ / (\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)$ | 0.96 | 0.96 | 0.98 | 0.97 |
| $\text{Mg}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})$ | 0.12 | 0.29 | 0.21 | 0.28 |
| $\text{Ca}^{+2} / (\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})$ | 0.97 | 0.95 | 0.92 | 0.97 |
| $(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}) / \text{SO}_4^{-2}$ | 52.78 | 31.63 | 15.77 | 48.66 |
| $\text{Cl}^- / \Sigma \text{anyon}$ | 0.002 | 0.005 | 0.009 | 0.004 |
| $\text{HCO}_3^- / \Sigma \text{anyon}$ | 0.97 | 0.96 | 0.92 | 0.97 |
| Kalsit SI | 0.03 | 0.21 | -0.74 | -0.82 |

Tablo 4.3. Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} katyonları ile Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- anyon değişimlerine bağlı olarak kaya- su etkileşimi ve kalsit doygunluk indeksine göre kimyasal olaylar, (Hounslow, 1995)

| Parametreler | Gözalan | Akoluk | Duralı | Yanlıca |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| $\frac{(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^-)}{(\text{Na}^+ + \text{K}^+ - \text{Cl}^- + \text{Ca}^{+2})}$ | Plj Ayrışması | Plj Ayrışması | Plj Ayrışması | Olası Plj Ayrışması |
| $\frac{\text{Na}^+}{(\text{Na}^+ + \text{Cl}^-)}$ | İyon Değişimi | İyon Değişimi | İyon Değişimi | İyon Değişimi |
| $\frac{\text{Mg}^{+2}}{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})}$ | Karbonat Ayrışması | Karbonat Ayrışması | Silikat Ayrışması (Ferromagnezyen mineraller) | Silikat Ayrışması (Ferromagnezyen mineraller) |
| $\frac{\text{Ca}^{+2}}{(\text{Ca}^{+2} + \text{SO}_4^{-2})}$ | Karbonat veya Silikatların Ayrışması | Karbonat veya Silikatların Ayrışması | Karbonat veya Silikatların Ayrışması | Karbonat veya Silikatların Ayrışması |
| $\frac{(\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2})}{\text{SO}_4^{-2}}$ | Dedolomitleşme yok | Dedolomitleşme yok | Dedolomitleşme yok | Dedolomitleşme yok |
| $\frac{\text{Cl}^-}{\Sigma \text{anyon}}$ | Kayaç Ayrışması | Kayaç Ayrışması | Kayaç Ayrışması | Kayaç Ayrışması |
| $\frac{\text{HCO}_3^-}{\Sigma \text{anyon}}$ | Silikat veya Karbonat Ayrışması | Silikat veya Karbonat Ayrışması | Silikat veya Karbonat Ayrışması | Silikat veya Karbonat Ayrışması |
| Kalsit SI | Kalsitçe Doygun | Kalsitçe Doygun | Kalsitçe Doymamış | Kalsitçe Doymamış |

5. SONUÇLAR

Bu çalışma Değirmendere (Trabzon) havzasında yer alan iyon içeriği yüksek su kaynaklarının hidrojeokimyasal açıdan incelenmesi, kaynak sularında su- kayaç etkileşiminin araştırılması ve kaynak sularının içilebilirlik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Yaklaşık 90 km² lik bir alanı kapsayan çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeoloji haritası önceki çalışmalardan yararlanılarak yapılmıştır. Alanda yaşlıdan gence doğru Geç Kretase yaşlı Çağlayan ve Çayırbağ Formasyonları, Geç Kretase-Paleosen yaşlı Tonya Formasyonu, Eosen- Neojen yaşlı Kabaköy Formasyonu, Pliyosen yaşlı Beşirli Formasyonun yüzeyletiği belirlenmiştir.
2. Çalışma alanında KB- GD doğrultusunda düşey bir fay sisteminin geliştiği ve kaynak sularının yüzeye çıkışını bu fayların kontrol ettiği belirlenmiştir.
3. İncelemenin konusunu oluşturan Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak sularının sıcaklıkları 12.48- 17.54°C, boşalım debileri 46- 158 ml/sn, pH değerleri 5.32- 6.99, elektriksel iletkenlik değerleri (EI) 603- 1899 µS/cm, çözünmüş oksijen miktarı 3.20- 9.35 mg/l, toplam çözünmüş madde miktarı (TDS) 380- 1230 mg/l arasındadır.
4. İncelenen kaynak suları karbonatlı ve sülfatlı (Ca+Mg > Na+K) sular sınıfında yer alıp, karbonat sertlikleri, karbonat olmayan sertlikten büyük değerdedir. Suların karbonat sertliği %50 den fazla olan sular içinde yer aldığı görülmüştür. Farklı noktalardan yüzeye çıkan bu kaynak sularının aynı kökenli ve benzer bileşimli oldukları belirlenmiştir.
5. İnceleme alanındaki tüm kaynak suları major iyon, iz element ve NO₂, NO₃, NH₄ ve PO₄ gibi kirlilik bakımından incelenmiş ve Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkındaki Yönetmeliklere göre değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme sonucunda Gözalan kaynağının Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmeliğe göre "Kalsiyumlu ve bikarbonatlı sular" sınıfında; incelenen tüm kaynakların Bromat açısından; Durali kaynağının ise ayrıca NO₃ miktarı açısından İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliğe göre uygun olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca Gözalan

kaynağında Krom değeri Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik ve İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte verilen sınır değerin üzerindedir.

6. İncelenen kaynak sularının en çok çökel oluşturabilecek minerallere göre doygunluk indisleri belirlenmiştir. Bu hesaplamalara göre Gözalan kaynağı kalsit, kalsedon, götit, K-mika, kaolinit ve kuvars minerallerine doygundur. Akoluk kaynağı aragonit, Ca- montmorillonit, kalsit, kalsedon, dolomit, gipsit, götit, K-mika, kaolinit ve kuvars minerallerine doygundur. Durali kaynak suyu kalsedon, götit, K-mika, kaolinit ve kuvarsa doygundur. Yanlıca kaynak suyu ise Ca- montmorillonit, kalsedon, gipsit, götit, k-mika, kaolinit ve kuvarsa doygun olduğu belirtilmiştir.
7. İncelenen kaynaklar çevresel izotop (^{18}O , ^2H ve ^3H) bakımından incelenmiştir. ^{18}O ve döteryum ilişkisine göre bütün kaynak sularında H_2S ve CO_2 değişimi baskındır. Trityum (^3H)- klorür (Cl) ilişkisine göre Gözalan ve Akoluk kaynak sularının yüksek trityum ve düşük klor değerine sahip olması bu suların geçiş sürelerinin kısa olduğunu ve Durali kaynağı düşük trityum ve yüksek klor değerine sahip olması bu kaynak suyunun derin dolaşımli olduğunu göstermektedir. Yanlıca kaynağı ise düşük Cl ve düşük ^3H değerleri genç sular özelliğini yansıtmaktadır.
8. İncelenen kaynak sularında su- kayaç etkileşimi araştırılmış ve kaynakların bikarbonatca zengin oldukları belirlenmiştir. Kaynak sularında $r\text{Na}^+ / r\text{K}^+$ oranının yüksek olması suların bazik kayaçlarla ve $r\text{SO}_4^{+2} > r\text{CO}_3^{-2}$ olduğu için killi ve marnlı kayaçlarla kaynak suların etkileşimi söylenebilir. İncelenen kaynak suları nemli iklimde yer aldıkları için Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- iyonlarında değişim izlenir. Nemli iklimlerde silikatlı kayalar oldukça kolay bozularak Na^+ az olsada açığa çıkmıştır. İncelenen kaynakların etrafında bazik kayalar çok olduğu için Mg^{+2} olivin, piroksen ve mikaların bozunumundan suya geçmiştir. Nemli iklimlerde K^+ göçü Na^+ oranla çok yavaş olduğu için kaynaklarda K^+ değeri oldukça düşüktür.
9. Suların iz element içerikleri ile kayaçların iz element içerikleri karşılaştırıldığında sularda yüksek olan Zn, Br, Sr ve Ba elementler kayaçlarda olduğu gibi yüksek değerlerdedir. Bu durum Zn, Br, Sr ve Ba sulara altre andezit, tuf, bazalt ve volkanik breşten geçtiğini gösterir.

10. Baz değişim indisi incelenen tüm kaynaklarda değerleri eski olup bunun nedeni alkali iyonlarının fazlasıyla suya karışmasıdır. İyon değişimi karbonat ayrışması ve silikat ayrışması sonucu gerçekleşmiştir.

6. ÖNERİLER

1. İncelenen Gözalan, Akoluk, Durali ve Yanlıca kaynak suları yerleşim yeri içerisinde bulunmaktadır. Çevrelerinde fındık tarımı yapılan kaynaklar, basit kaptajlarla kullanıldıkları için kirlenme potansiyelleri yüksektir. Sözü edilen dört kaynak da çevrede oturanlar tarafından kullanılmaktadır. Bu çalışmada yapılan analizlerle, tüm kaynaklarda Bromat, Gözalan kaynağı Krom; Durali kaynağında ayrıca NO₃ değeri yönetmeliklerde verilen değerlerin üzerindedir. Dolayısıyla kaynaklar bu parametreler açısından bir süre takip edilip yönetmeliklerde verilen değerleri aşan parametrelerin olması durumunda kaynakların kullanımlarının engellenmesi halk sağlığı açısından önemlidir.

Bu bölgede bu tür maden suyu kaynakları veya içme suyu kaynaklarının kimyasal özellikleri Halk Sağlığı Müdürlüklerine müracaat edilerek analiz ettirilebilir. Dolayısıyla yöre halkının bu tür suları kullanmadan önce Halk Sağlığı Müdürlüklerine başvurarak bilgi almaları sağlıkları açısından önemlidir.

Kaynaklardaki tüm parametrelerin kullanıma uygun olması durumunda kaynak çevrelerinde koruma alanlarının belirlenerek, kaynak sularının dış etkenlere karşı korunmaları modern kaptaj yöntemleriyle kullanıma sunulmaları sağlanmalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Atabey, E., 2005. Tıbbı Jeoloji, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No.88, Ankara, 194 s.
- Aydın, F.,2003. Değirmendere Vadisi (Trabzon- Esiroğlu, KD- Türkiye) Volkanitlerinin Mineral Kimyası, Petrolojisi ve Petrojenezi, Doktora Tezi, K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Brown, K., 2002. Arsenic, Drinking Water and Helth (A Report Prepared for ACHS), Atlantic City.
- Craig. H.,1961. Isotopic Variations in Meteoric Water , Science Journals, 133, 1702-1703.
- Collins, A. G., 1975. Geochemistry of Oil Field Waters, Elsevier Scientific, New York, 496 s.
- Çifter, C. ve Sayın, M. 2002. İzotopların hidrojeolojide kullanılması, Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, Ekim, Adana, Bildiriler kitabı: 1-15.
- Day, B. A. and Nightingale, H. l., 1984, Reallionships between ground- water silica, total dissolved solids and specific electrical conductivity, Ground Water, No.22, U.S.A., 80-85.
- Dilek, R., 1979. Trabzon-Hopa Kıyı Şeridinin Yeraltı Suyu Olanakları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, No.99, Trabzon.
- Doğan, L., 1981. Hidrojeolojide Su Kimyası, DSİ yayınları, Ankara, 178 s.
- Erguvanlı. K. ve Yüzer. E., 1987. Yeraltısuları Jeolojisi (Hidrojeoloji), İstanbul Teknik Üniversitesi, Yayın No:23, İstanbul.
- Ersoy, H., 2007. Trabzon İli Katı Atıkları İçin Düzenli Depolama Yeri Seçimi ve Önerilen Düzyurt Düzenli Depolama Alanının Mühendislik Jeolojisi Açısından İncelenmesi, Doktora Tezi, K. T. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Feth, J. H., 1981. Cloride in natural continental water a rewiev, U. S. Geological Survey Water- Supply Paper, U. S. Government Printing Office, No.2176, Washington, 30 s.
- Fetter, C.W., 2001. Applied Hydrogeology (4th Edition), Prentice Hall, U.S.A, ISBN 789-1-292-02290-1, 691 s.
- Freeze, R. A. ve Cherry, J. A., 1979. Groundwater, Prentice- Hall, U.S.A., ISBN- 13: 978-0133653120, 604 s.

- Gamsız, E. ve Ağacık, G., 1981. Su ve analiz metodları, DSI Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 158s.
- Gat, J.R. ve Gonfiantini, R., 1981. Stable isotope hydrology, Deuterium and oxygen- 18 in the Water cycle, IAEA, Technical Reports, Series No. 210, Vienna, 35-84.
- Goldschmidt, V.M., 1958. Geochemistry, Oxford Univ. Pres, London, 730 s.
- Gonfiantini, R., 1978. Standards for stable isotope measurements in natural compounds, Nature International Weekly Jurnal of Science, 271, 534-536.
- Güler, Ç., 1997. Su kalitesi, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No. 43, Ankara.
- Gültekin, F., Dilek, R., Fırat Ersoy, A. ve Ersoy, H., 2005. Aşağı Değirmendere (Trabzon) Havzasındaki Suların Kalitesi, Jeoloji Müh. Dergisi, 29 ,1, 21-34.
- Gültekin, F., Fırat Ersoy, A., Hatipoğlu, E. ve Celep, S., 2012. Trabzon İli Akarsularının Yağışlı Dönem Su kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesi, Ekoloji Dergisi, 21,82, 77-88.
- Güven, İ. H, 1998. 1:100000 ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Hariteleri, Trabzon-C29 ve D29 Paftları, MTA yayını, No.58, Ankara.
- Güven, İ. H., 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Yayınları, Ankara, 65 s.
- Hatipoğlu, E., 2008. Hamamayağı (Ladik- Samsun) Sıcak Su Kaynağı'nın Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K. T. Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Hem, J, D., 1971. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, United States Department of Transportation, No.2339, Federal Highway Administration , 93 s.
- Hem, J, D., 1985. Study and Interpretation of Chemical Characteristics of Natural Water, U.S. Geological Survey Water Supply Paper, United State Governmet Print Office, No.2254, U.S.A., 263 s.
- Hounslow, A.W., 1995. Water Quality Data: Analysis and Interpretation, Lewis Publishers, 54s.
- Ketin, İ. ve Canitez, N., 1972. Yapısal jeoloji, İ. T. Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Korkmaz, S. ve Van, A., 1995. Trabzon Kıyı Bölgesinin Stratigrafisi, K.T.Ü. Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Sempozyumu Bildiri Özleri, Trabzon, 107 s.

- Langguth, H. R., 1984. List of terms of hydrogeology, geochemistry and geothermals of mineral and thermal waters, Association of Hydrogeologists, International contributions to hydrogeology, ISBN 3-922705-07-3.
- Mc. Neely, R., Neimanis, V., P. ve Dwyer, L., 1979. Water Quality Source Book: A Guide to Water Quality Parameters, Inland Waters Directorate, Water Quality Branch, Ottawa. Environment Canada, ISBN- 13: 978-066210
- Meinzer, O.E. 1927. Large springs in the United States, U.S. Geological Survey Water Supply Paper , No.557, Washington D. C., 94 p.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal fluids, Chemistry and Exploration Techniques, Springer Verlag, Berlin, 263 s.
- Okay, A.I. ve Şahintürk, Ö., 1997. Geology of the Eastern Pontides, Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, No.68, U.S.A., 291-311.
- Parkhurst, D.L. ve Appelo C.A.J., 1999. User's Guide to PHREEQC (Version 2)- a Computer Program for Speciation, Batch- Reaction, One- Dimensional Transport and Inverse Geochemical Calculations, USGS Water Resources Investigation Report, 99- 4259, 312 s.
- Piper, A.M., 1944. A Graphic procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, American Geophysical Union Transactions, 25, 914-923.
- Rankma, K. ve Sahama, T.H.G., 1964. Geochemistry, The univ. of Chicago Pres, Chicago and London, 912 s.
- Scholler, H., 1962. Les Eaux Souterraines, Mason et cie, Paris, 642 s.
- Şahinci, A., 1986. Yeraltı Sularının Jeokimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MM/JEO-86 EY 99, İzmir.
- Şahinci, A., 1991. Doğal Suların Jeokimyası, Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Şen, C., 2000. Doğu Pontid Alkalen Provensine (KD, Türkiye) Ait Eosen Sonrası Kayaçlar İçerisinde Bulunan Ultramafik Nodüllerin Petrografisi, Mineralojisi ve Kimyası, Cumhuriyetin 75. Yıldönümü Yerbilimleri ve Madencilik Kongresi, Kasım, Ankara, Bildiriler kitabı: 55- 66.
- T.C. Resmi Gazete, 2004. Doğal Mineralli Sular Hakkında Yönetmelik, No. 25657, 2. Bölüm, 6. Madde, 12 s.
- T.C. Resmi Gazete, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik, No. 25730, 1. Bölüm, 5. Madde, 12 s.

- Teague holly, E., 1999. Evaluation of Heavy Metal Bioaccumulation in Selected Species of Amazon Fish, Thesis presented to The Faculty of The University of Houston Clear Lake, U. S. A., 19-27.
- WHO, 1993. Drinking Water Standards In Engineering Geology And Enviromental, World Health Organization, Genova.
- Yılmaz, B.S. ve Güner, S., 1993. Değirmendere (Trabzon) Yanbolu (Arsin) Arasında Kalan Alanın Güney Yörelereinin Maden Jeoloji Raporu, M. T. A., Rapor No:484, Trabzon 44 s. (Yayınlanmamış).
- Yılmaz, B.S., Güç, A.R., Gülibrahimoğlu, İ., Yazıcı, E.N., Konak, O., Yaprak, S. ve Köse, Z., 1998. Trabzon İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Elham TAHMASEBZADEH BASTAM 27.09.1984 tarihinde Tabriz’de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Tabriz’de tamamladı. 2005 yılında Tabriz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2009 yılında mezun oldu. 2010 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalın’da yüksek lisans eğitimine başladı.