

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜÇÜKKÖY (AYVALIK) OVASI'NIN
HİDROJEOLJİSİ VE
DENİZ SUYU GİRİŞİMİ

Yasemin ÖZMÜRÜT

Ağustos, 2008

İZMİR

**KUÇÜKKÖY (AYVALIK) OVASI'NIN
HİDROJEOLJİSİ VE
DENİZ SUYU GİRİŞİMİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Jeoloji Mühendisliği Bölümü
Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı**

Yasemin ÖZMÜRÜT

Ağustos, 2008

İZMİR

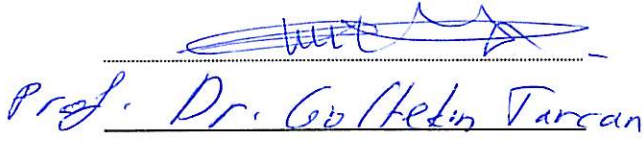
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YASEMİN ÖZMÜRÜT tarafından DOÇ. DR. ÜNSAL GEMİCİ yönetiminde hazırlanan “KÜÇÜKÖY (AYVALIK) OVASININ HİDROJEOLOJİSİ VE DENİZ SUYU GİRŞİMİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



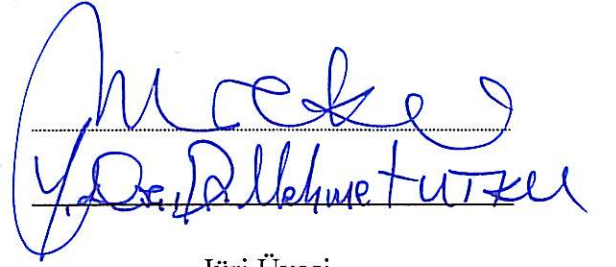
Doç . Dr. Ünsal GEMİCİ

Danışman



Prof. Dr. Cahit Helvacı

Jüri Üyesi



Prof. Dr. Dilekme Tutku

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde başta danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ünsal Gemici'ye tezin başından sonuna kadar her aşamasında göstermiş olduğu sabır, vermiş olduğu destek ve katkılarından dolayı teşekkür borçluyum. Ayrıca bilgilerinden ve yayınlarından yararlandığım Prof. Dr. Gültekin Tarcan'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında bilgilerini paylaşan ve yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Aykut Akgün, Ar. Gör. Toygar Akar, Ar. Gör. Dr. Melis Somay' a teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında manevi desteğini esirgemeyen, bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Öğr. Gör. Dr. Cem Kıncal'a, Jeoloji Yük. Müh. Tuğbanur Özen'e, Jeoloji Yük. Müh. Sezgül Kayseri'ye, Jeoloji Müh. Onur Alpay'a teşekkür borçluyum.

D.E.Ü., Jeoloji Mühendisliği Bölümü Jeokimya laboratuvarında su analizleri çalışmalarım sırasında yardımlarını benden esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Cihan Güneş'e ve Kimyager Nedim Tatari'ye teşekkür ederim.

D.S.İ. Balıkesir Şube Müdürlüğü'nden Jeoloji Mühendisi M. Emin Aydın'a sağlamış olduğu verilerden dolayı teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım sırasında numunelerin alınmasında sağlamış oldukları katkılardan dolayı Küçükköy Belediyesi çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

Ve son olarak tezimi; beni yetiştiren, yaşadığı süre boyunca her zaman bana destek olan; maddi ve manevi hiç bir fedakarlıktan kaçınmayan, canım dedemin aziz hatırasına ithaf ediyorum.

Yasemin ÖZMÜRÜT

KÜÇÜKKÖY (AYVALIK) OVASI'NIN HİDROJEOLJİSİ VE DENİZ SUYU GİRİŞİMİ

ÖZ

Bu çalışma Küçükköy (Ayvalık) bölgesinde yapılan hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal çalışmaları kapsamaktadır. İnceleme alanı Ege Denizi kenarında Balıkesir İli sınırları içerisinde kalmakta ve Pliyosen yaşlı killi kireçtaşı, marn ve Kuvaterner yaşlı kil, silt, kum ve çakıltaşından oluşan alüvyon birimlerini içermektedir. Pliyosen yaşlı birimler zayıf akifer oluşturmalarına karşın, alüvyonu oluşturan birimler iyi bir akifer olma özelliğine sahiptir. İnceleme alanının hidrojeolojik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla bölgeden su örnekleri alınmıştır. Alınan su örnekleri üzerinde yapılan jeokimyasal analiz sonuçlarına göre suların hidrojeolojik özellikleri belirlenerek; Piper, Schoeller, Wilcox ve ABD Tuzluluk diyagramlarında değerlendirilmiştir. Su örnekleri fasiyes tiplerine göre sınıflandırıldıklarında inceleme alanında yer alan suların iyon miktarları % 50'yi geçmediği için karışık ve karbonat olmayan alkalinitesi % 50' den fazla olan sular tipinde olduğu, ayrıca Ayvalık Ovası'nda yeraltı suyu sınıfı genel olarak C₂S₁ ve C₃S₁, tuzlaya yakın kısımdan alınan numunede C₄S₁ olduğu belirlenmiştir. İnceleme alanında bulunan kuyulardan alınan su numunelerinin kimyasal analizlerinden genel olarak yeraltı suyunun tuzluluğunun zamanla sahil kısmından iç kısımlara artarak ilerlemiş olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise aşırı çekim sonucu meydana gelen deniz suyu girişimidir. Deniz suyu girişimi, artan su ihtiyacına bağlı olarak çok sayıda sondaj kuyusu açılması ve aşırı çekim yapılması dolayısıyla deniz suyunun kıyı akiferlere doğru ilerleyerek, yeraltı sularının bazı bölgelerde tuzlanmasına neden olmaktadır. Alınan numunelerle laboratuarda yapılan ağır metal analizine göre ise, suların yüksek miktarlarda Al, Zn, Fe, Cd, Pb içerdiği saptanmıştır. Dolayısıyla bir kirlenme söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Akifer, Ayvalık (Balıkesir), Deniz Suyu Girişimi, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya

HYDROGEOLOGY OF KÜÇÜKKÖY (AYVALIK) PLAIN AND SEA WATER INTRUSION

ABSTRACT

This study contains hydrogeological and hydrogeochemical investigations carried out in Küçükköy (Ayvalık) Region. The study area is located on the Aegean coast within the borders of the Balıkesir Province and covered with alluvium units consisting Pliocene aged clayey limestone, marl and Quaternary aged clay, silt, sand and gravel. While the Pliocene units form weak aquicludes, alluvium are aquifers. Groundwater samples have been taken from the study area to determine the hydrogeological characteristics of the study area. According to the geochemical analysis results of the groundwater samples, hydrogeological characteristics of the groundwater have been determined; evaluated within the context of Piper, Schoeller, Wilcox and USA Salinity Diagrams. Chemical analysis of the groundwater samples taken from the boreholes drilled in the study area has shown that the salinity has been increased in time away from the sea shore. Categorized according to facies types, as ion amount of groundwater samples in the study area does not exceed 50%, it has been determined that alkalinity with complex and lack of carbonate is in the water type more than 50%, furthermore the groundwater quality of the Ayvalık plain is found to be C_2S_1 and C_3S_1 , in most part and C_4S_1 in the sample taken from nearly salty section. The salinities of the groundwater has increased in time with higher saltiness in internal sections in comparison to the coastline section, as observed from the chemical analysis of groundwater samples taken from wells in the study area. The reason of this is the sea water intrusion occurred as a result of the over discharge. The sea water intrusion caused that the saltiness of groundwater has increased in some regions following the opening of drilling wells and sea water has proceeded towards coastline aquifer depending on the increased water demand. It has been observed that water contains Al, Zn, Fe, Cd, Pb with high amounts, according to the heavy metal analysis made in laboratories with the samples taken. Therefore, there is a contamination.

Keywords: Aquifer, Ayvalık (Balıkesir), Sea Water Intrusion, Hydrogeology, Hydrogeochemistry.

İÇİNDEKİLER

Sayfa no

| | |
|--|-----|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU | ii |
| TEŞEKKÜR..... | iii |
| ÖZ | iv |
| ABSTRACT..... | v |

BÖLÜM BİR - GİRİŞ..... 1

| | |
|--|---|
| 1.1 Çalışma Alanının Yeri..... | 1 |
| 1.2 Amaç | 1 |
| 1.3 Coğrafi Özellikler, İklim ve Ulaşım..... | 2 |
| 1.4 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri..... | 4 |

BÖLÜM İKİ - JEOLJİ VE STRATİGRAFİ..... 6

| | |
|----------------------------------|----|
| 2.1 Bölgesel Jeoloji | 6 |
| 2.2 Stratigrafi..... | 8 |
| 2.2.1 Kınık Formasyonu | 9 |
| 2.2.2 Yuntdağ Volkanitleri | 9 |
| 2.2.2.1 Andezit..... | 11 |
| 2.2.2.2 Bazalt | 12 |
| 2.2.2.3 Tüf..... | 12 |
| 2.2.2.4 Silisleşmiş Tüf | 13 |
| 2.2.3 Balıca Formasyonu..... | 13 |
| 2.2.4 Soma Formasyonu | 14 |
| 2.2.5 Rahmanlar Aglomerası | 14 |
| 2.2.6 Alüvyon | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3 Yapısal Jeoloji | 15 |
| BÖLÜM ÜÇ – HİDROJEOLOJİ | 18 |
| 3.1 Akarsular | 18 |
| 3.2 Kaynaklar | 18 |
| 3.3 Göller ve Bataklıklar | 19 |
| 3.4 Sığ Kuyular ve Sondaj Kuyuları | 20 |
| 3.5 Yeraltı Su Tablası ve Yeraltı Suyu Değişimleri | 23 |
| 3.6 Yeraltı Suyu Beslenme ve Boşalımı | 23 |
| 3.6.1 Ayvalık Ovası'nın Beslenimi | 23 |
| 3.6.2 Ayvalık Ovası'nın Yeraltı Suyu Boşalımı | 24 |
| BÖLÜM DÖRT – HİDROJEOKİMYA | 25 |
| 4.1 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş Başlıca İyonlar | 26 |
| 4.1.1 Sodyum (Na^+) | 26 |
| 4.1.2 Potasyum (K^+) | 27 |
| 4.1.3 Kalsiyum (Ca^{+2}) | 27 |
| 4.1.4 Magnezyum (Mg^{+2}) | 28 |
| 4.1.5 Klorür (Cl^-) | 29 |
| 4.1.6 Sülfat (SO_4^{-2}) | 29 |
| 4.1.7 Bikarbonat (HCO_3^-) | 30 |
| 4.1.8 Silis (Si) | 31 |
| 4.2 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil ve Üçüncül İyonlar | 31 |
| 4.2.1 Alüminyum (Al) | 37 |
| 4.2.2 Krom (Cr) | 37 |
| 4.2.3 Çinko (Zn) | 38 |
| 4.2.4 Demir (Fe) | 38 |
| 4.2.5 Bakır (Cu) | 38 |
| 4.2.6 Kadmiyum (Cd) | 39 |
| 4.2.7 Nikel (Ni) | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.8 Kurşun (Pb)..... | 40 |
| 4.2.9 Lityum (Li) | 40 |
| 4.2.10 Kobalt (Co)..... | 40 |
| 4.3 Suların Sınıflaması | 41 |
| 4.3.1 Suların Elektriksel İletkenliği | 41 |
| 4.3.2 Suların pH Değerleri..... | 43 |
| 4.3.3 Suların Eh (Yükseltgenme-İndirgenme) Değerleri..... | 44 |
| 4.3.4 Suların Sertliği | 45 |
| 4.3.5 Çözünmüş Madde Miktarları..... | 46 |
| 4.3.6 Suların Fasiyes Tipine Göre Sınıflaması | 47 |
| 4.3.7 Suların Piper Üçgen Diyagramına ve Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramına Göre Sınıflaması | 49 |
| 4.3.8 Suların Kullanım Özellikleri | 53 |
| 4.3.8.1 Suların İçme Özellikleri..... | 53 |
| 4.3.8.2 Sodyum Yüzdesi ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)..... | 56 |
| 4.3.8.3 Suların Wilcox Diyagramı Yardımıyla Sınıflandırılması | 57 |
| 4.3.8.4 Suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (USA Salinity Laboratory Diagram) Yardımıyla Sınıflandırılması.. | 57 |
| 4.3.9 İnceleme Alanında Yer Alan Suların Doygunluk İndeksleri..... | 61 |
| 4.4 Deniz Suyu Girişimi..... | 68 |
| 4.4.1 İnceleme Alanındaki Deniz Suyu Girişimi..... | 74 |
| 4.4.2 Deniz Suyu ile Yeraltı Suları Arasındaki Karışım Oranları | 75 |
| 4.4.3 Deniz Suyu Girişimini Etkileyen Faktörler | 78 |
| 4.4.4 Deniz Suyu Girişiminin Önlenmesi..... | 79 |
| BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR..... | 81 |
| KAYNAKLAR | 84 |

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Çalışma Alanının Yeri

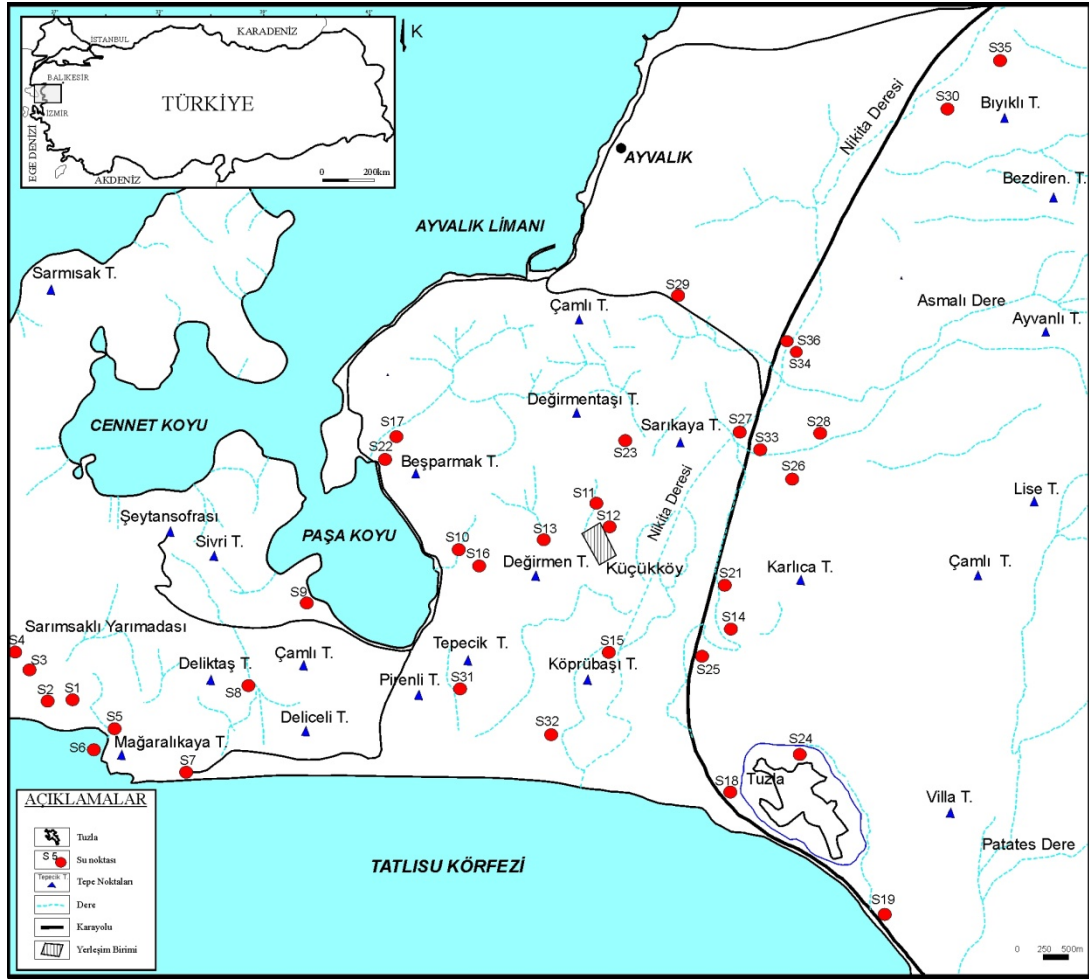
Çalışma alanı Türkiye'nin Kuzeybatı Anadolu kısmında yer almakta olup, batı ve güneybatısı Ege Denizi ile çevrilidir. Batı Anadolu'da Balıkesir İli'ne yaklaşık 150 km uzaklıktaki inceleme alanı Balıkesir İli'ne bağlı Ayvalık İlçesi'nde bulunmaktadır (Şekil 1.1). Küçükköy ise Ayvalık İlçesi'nin bir beldesi olup, Ayvalık-Balıkesir yolunun 1,5 km batısında yer almaktadır. Ayvalık İlçesi'ne 8 km, İzmir İli'ne ise 152 km mesafede yer almaktadır. İnceleme alanı coğrafi koordinatları ile ifade edildiğinde; 39° 15'N – 39° 22'N kuzey enlemleri ile 26° 37' E – 26° 45' E doğu boylamları arasında yer almaktadır. İnceleme alanı 1/25.000 ölçekli Ayvalık J17 a3 paftasında olup, güneyden kuzeye doğru yaklaşık 10 km, doğudan batıya ise ortalama 10 km olmak üzere toplam çalışma alanı olarak yaklaşık 80 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

Ayrıca çalışma adasının batısında, kıyıdan yaklaşık olarak 15 km uzaklıkta, Ege Denizi'nin en büyük adalarından biri olan Yunanistan'a ait Midilli (Lesvos) adası bulunmaktadır. Sarımsaklı sahilinden açık havalarda gece bakıldığı takdirde, adada bulunan havalimanı ve hatta adadaki sokak lambaları net olarak seçilebilmektedir.

“İnceleme alanında yer alan 13 km²'lik Ayvalık Ovası'nın drenaj alanı 98 km²'dir” (Yıldız,1992).

1.2 Amaç

Bu çalışma, Ayvalık Ovası'nın hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal etüdü yapılarak yağış ve yer altı suyu ilişkisi araştırılıp, yeraltı suyu rezervinin hesaplanması, deniz suyu ve yeraltı suyu arasındaki ilişkiyi ortaya çıkararak yeraltı suyunun tuzlandığı bölgelerin saptanması amacıyla yapılmıştır.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru, su noktaları ve drenaj ağı haritası.

1.3 Coğrafi Özellikler, İklim ve Ulaşım

İnceleme alanı batı ve güneybatıdan Ege Denizi ile çevrili olup, doğusunda Madra Dağı, batısında Midilli Adası ve Edremit Körfezi, güneyinde Altınova Beldesi yer almaktadır.

Önemli yükseltilerinden bazıları Çamlı Tepe (134 m), Villa Tepe (80 m), Değirmentaşı Tepe (93 m), Beşparmak Tepe (125 m) olmakla birlikte, Ayvalık Ovası'nda bulunan Nikita Deresi yılın büyük bölümünde kurudur. Nikita (Karaağaç) Deresi Keremköy mevkiinde Mayatepe civarından doğar, mevsimlik olarak yan derelerle beslenir ve Ege Denizi'ne dökülür. Çalışma alanında ayrıca Tekel'e ait tuzla işletmesi yer almaktadır.

Ayvalık İlçesi tarihi ve turistik açıdan öneme sahiptir. Kış aylarında nüfusun az olmasına karşın yaz aylarında 3-4 kat artış olduğu görülmektedir. İnceleme alanında Ayvalık İlçesi'ne bağlı olan Küçükköy Beldesi yer almaktadır.

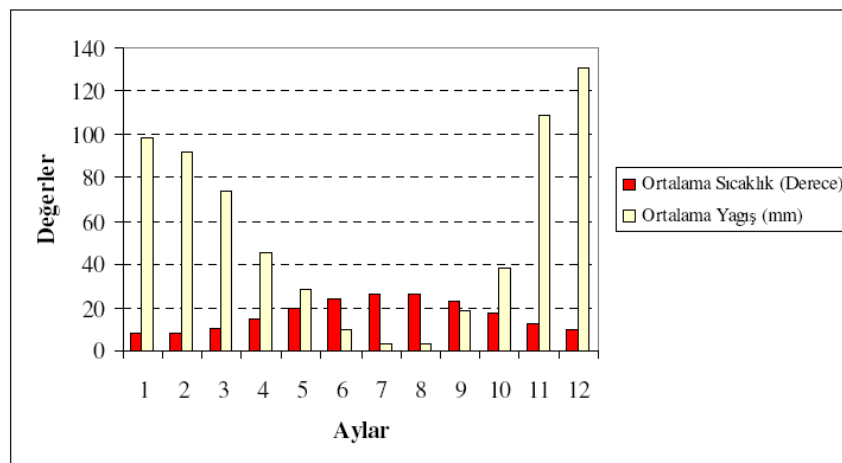
Türkiye'nin önemli turizm merkezlerinden birisi olan Sarımsaklı- Ayvalık'da gelişen turizme bağlı olarak artan insan ve konut sayısı ile içme-kullanma suyu gereksinmesi önemli bir sorun oluşturmaktadır. Alandaki düzensiz ve plansız yapılaşma ile verimli tarım arazilerinin çoğu yok edilmiş ve buna bağlı olarak da etkin yağışın azalması, akiferlere denizden tuzlu su girişimi, suların kalitelerinin bozulması gibi sorunlar ortaya çıkmıştır.

Bölge, yarı nemli Akdeniz iklimi özelliklerini gösterir. Yazları sıcak ve az yağışlı, kışlar ise ılık ve yağışlı geçer. Ayvalık meteoroloji istasyonu değerlerine göre ortalama yıllık toplam yağış 655 mm'dir. Yağışın en fazla olduğu aylar Kasım-Aralık- Ocak ve Şubat'tır. Yağışın en az olduğu aylar ise Haziran-Temmuz-Ağustos ve Eylül aylarıdır. Yıllık ortalama sıcaklık 16 °C, en sıcak ay Temmuz ayı (25.7 °C-26.0 °C), en soğuk ay ise (7.8 °C - 6.8 °C) ile Ocak ayı'dır. Ayrıca yüksek ve orta şiddette rüzgara maruz kalan bir bölgede yer almaktadır. Bitki örtüsünü ise maki (özellikle zeytin ağaçları) oluşturmaktadır. Ayvalık İlçesi'nde ve civarında önemli geçim kaynağı zeytincilik olup, yörede zeytinyağı ve sabun fabrikaları bulunmaktadır. Yüksek kotlarda küçükbaş ve büyükbaş hayvancılık yapılmakta olup sahil kesiminde ise balıkçılık yapılmaktadır.

İnceleme alanı içerisinde yer alan Ayvalık meteoroloji istasyonundan alınan 1964-2001 yılları arasında kaydedilen yağış, sıcaklık ve rüzgar verileri değerlendirilmiştir (Tablo 1.1 ve Şekil 1.2) (Akgün, 2007).

Tablo 1.1 Ayvalık Meteoroloji İstasyonu'ndan alınan 1964-2001 yılları arasında kaydedilen yağış, sıcaklık ve rüzgar verileri (Akgün, 2007).

| METEOROLOJİK ELEMEN | SÜRE (YIL) | AYLAR | | | | | | | | | | | | YILLIK |
|---------------------------|------------|-------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|-------|-------|--------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| Ortalama Sıcaklık (C) | 38 | 7.8 | 8.3 | 10.3 | 14.7 | 19.6 | 24.3 | 26.6 | 26 | 22.3 | 17.4 | 12.3 | 9.7 | 16.7 |
| Ortalama Yağış (mm) | 38 | 98.5 | 91.8 | 73.9 | 45.4 | 28.4 | 9.3 | 2.7 | 3.2 | 18.1 | 37.8 | 108.5 | 130.4 | 648 |
| En Hızlı Esen Rüzgar Yönü | 20 | K | GB | KD | KD | KD | KD | KD | KD | KD | KD | KD | KD | KD |



Şekil 1.2 Ortalama yağış ve sıcaklık değerlerine ait grafik (Akgün, 2007).

İnceleme alanından İzmir –Çanakkale Karayolu geçmekte olup, Ayvalık İlçesi'ne, Küçükköy Beldesi'ne ve Sarımsaklı sahiline ulaşımı sağlayan asfalt yollar mevcuttur.

1.4 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

İnceleme alanıyla ilgili olarak, öncelikle daha önce bölgede yapılan çalışmalar değerlendirilerek ilk olarak arazi çalışmaları yapılmıştır. Saha çalışmalarında 1/25,000 ölçekli topografya haritası, GPS, arazi kullanımına uygun dijital pH metre ve kondüktivimetre aletleri, fotoğraf makinesi kullanılmıştır. Bu bağlamda araziden su numuneleri alınmış ve arazinin jeolojisi incelenmiştir.

Daha sonra laboratuvar çalışmalarına geçilmiştir. Alınan su numunelerinin analizleri iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak suların kimyasal analizleri yapılarak; arazide ölçülen pH, EC değerlerinin yanı sıra K^+ , Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Cl^- ,

SO_4^{-2} , HCO_3^- değerleri ölçülmüş ve veriler hidrojeokimyasal program (Hydrowin-Calmbach, 1995) ile değerlendirilerek jeokimyasal özellikleri ortaya konulmuştur. Bu programlar yardımıyla, alınan su numuneleri, Piper, Schoeller ve Wilcox Diyagramlarında gösterilmiştir. Bu diyagramlardan yararlanarak; suların içme ve kullanma suyu ve tarımda sulama amaçlı olarak ne derecede kullanılır olduğu tespit edilmiştir. İkinci olarak ise asitli olarak muhafaza edilen su numuneleri belirli oranlarda deriştirildikten sonra, atomik absorpsiyon cihazında Al, Cr, Si, Zn, Fe, Cu, Cd, Ni, Pb, Li, Co gibi iz elementlerin değerleri saptanmak suretiyle ağır metal analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, EPA ve Türk Standartlarının belirlediği değerlerle karşılaştırılarak limit değerleri aşıp aşmadığına bakılmıştır.

En son olarak, arazi ve laboratuvar çalışmalarından elde edilen veriler değerlendirilerek inceleme alanının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri belirlenerek tez haline getirilmiştir.

Raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çiziminde Word, Excel, CorelDraw12, Surfer8 paket programları kullanılmıştır.

BÖLÜM İKİ

JEOLOJİ VE STRATİGRAFİ

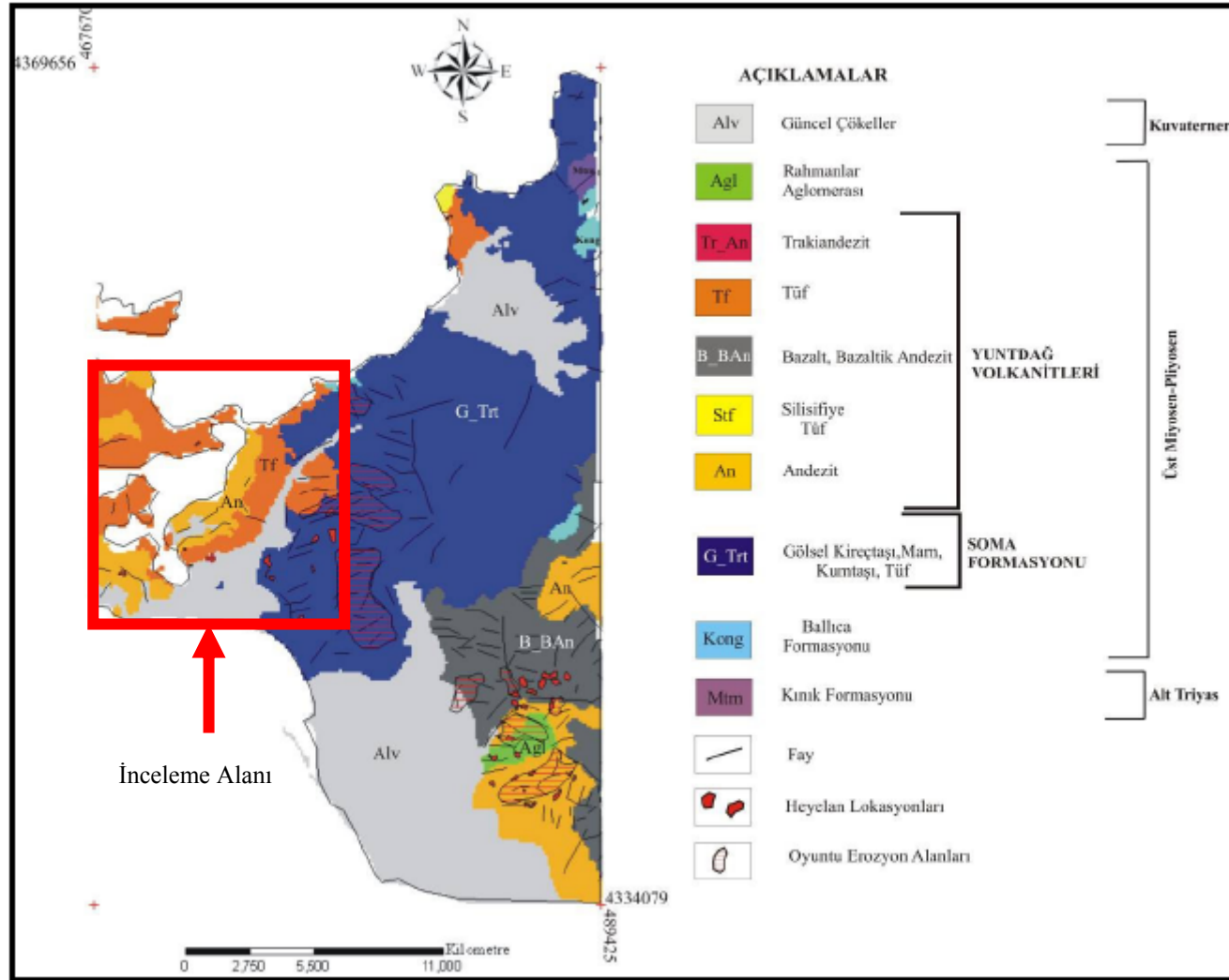
2.1 Bölgesel Jeoloji

İnceleme alanı ve çevresinde daha önce yapılan Jeoloji çalışmaları arasında Akyürek B. Ve Soysal Y (1981), “Biga Yarımadası Güneyinin (Savaştape-Kırkağaç-Bergama-Ayvalık) Temel Jeolojik Özellikleri”; Bingöl vd. (1982), “Ayvalık-Burhaniye-Edremit’in Petrolojik, Jeokimyasal ve Jeolojik Araştırması”; Dora ve Savaşçın (1982), “Alibey ve Maden Adaları’nın Bölgesel Magmatizma İlişkisi ve Maden Yatakları”; Ercan vd. (1986), “Ayvalık ve Yakın Çevresinin Jeolojisi, Petrolojisi ve Jeokimyasal Özellikleri”; Akyürek B. (1989), “1/100.000 ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Ayvalık G3 Paftası”; Yıldızler (1992), “Ayvalık-Altınova- Dikili Ovaları ve Çevresinin Uygulamalı Jeolojisi; Altunkaynak (1997), “Ayvalık, Bergama ve Kozak Alanındaki Kaya Birimlerinin Petrolojisi ve Jeokimyası”; Yılmaz vd. (1997), “Ayvalık-Edremit-Kozak Alanının Petrografik ve Pektonik Kökeni” çalışmaları yer almaktadır.

Ayvalık ve çevresinin çeşitli araştırmacılar tarafından jeolojisi yapılmış olup, bunlardan en son çalışma olması ve daha önceki çalışmaların da bu çalışmada yer alması nedeniyle (Akgün, 2007)’ün çalışması göz önüne alınmıştır.

Çalışma alanı Biga Yarımadası ile Menderes Masifi arasında kalan kısımda yer alır. Çalışma alanında, bölgesel anlamda otokton olarak Alt Triyas’tan Kuvaterner’e kadar olan zaman dilimine ait çökel, mağmatik ve metamorfik kayalar yüzeylemektedir (Şekil 2.1) (Akgün, 2007).

İnceleme alanındaki tüm magma kayaları arasında zaman ve mekansal ortaklıklar vardır. Mineralojik, petrografik ve jeokimyasal olarak da birbirlerine benzerler. Jeokimyasal özellikleri ve izotop içerikleri bunların manto kökenli, kıta kabuğundan



Şekil 2.1 İnceleme alanına ait genel jeoloji haritası (Akyürek,1989 ve Akgün, 2007' den değiştirilerek).

kirlenmiş melez nitelikli bir magmadan türediğine işaret etmektedir (Altunkaynak, 1997).

2.2 Stratigrafi

İnceleme alanı alttan üste doğru Kınık formasyonu, Yundağ volkanitleri, Ballica formasyonu, Soma formasyonu, Rahmanlar aglomerası ile alüvyon olarak ayırtlanmıştır. Birimlerin inceleme alanındaki dağılım ve ilişkileri jeoloji haritasında gösterilmiştir (Şekil 2.1). Kaya birimleri ile özellikleri ise genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesitte verilmiştir (Şekil 2.2).

| Sistem | Seri | Formasyon | Litoloji | Tanımlama |
|------------|----------------------|------------------|----------|---|
| Kuvaterner | | Güncel Tortullar | | Güncel kıyı ve akarsu sedimanları |
| Tersiyer | Üst Miyosen-Pliyosen | Rahmanlar | | Andezitik volkanizma ürünü aglomera |
| | | Soma | Yundağ | Gösel kireçtaşı, marn, kil ve silttaşı, tuf ve kumtaşı |
| | | Ballica | | Andezit, bazaltik andezit, bazalt, tuf, silisifiye tuf, trakiandezit, trakit, dasit ve riyolit içeren volkanik seri |
| Triyas | Alt Triyas | Kınık | | Orta-kötü boylanmış, andezit, bazalt, riyolit, riyadasit, trakiandezit çakılları içeren konglomera |
| | | | | Metaçamurtaşı, metakumtaşı, metavolkanitten oluşan metamorfik seri |

Şekil 2.2 İnceleme alanına ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit (ölçeksiz) (Akyürek, 1989 ve Akgün, 2007'den değiştirilerek).

2.2.1 Kınık Formasyonu

Bölgede en yaşlı kaya grubunu oluşturan formasyon, yaklaşık olarak K-G yönünde uzanım gösterir. Kınık formasyonu, metamorfizmaya uğramış, fliş benzeri bir istifdir. Kınık formasyonu, ilksel halini kısmen korumuş metakonglomera, metakumtaşı, metaçamurtaşı, kumlu kireçtaşı, kumtaşı ile volkarenit, aglomera ve metavolkanitten oluşmaktadır. Bu birimlerde baskın olarak metaçamurtaşı, metakumtaşı ve metavolkanitler gözlenmektedir. Metakumtaşları beyaz ve açık renklidir. Metamorfizmaya karşın kuvarsitik bileşimli oldukları anlaşılmaktadır. Metaçamurtaşları sarı, boz, kahverengi ve gri renkli, ince-orta tabakalanmalı ve kıvrımlıdır. Orta-yüksek derecede bozunmuş olmaları nedeniyle düşük dayanım direncine sahiptir. Alterasyon ve bozunma yüzeylerinde hematit ve limonit yüzey boyamaları sunmakta olup Ballica formasyonu ile faylı dokanak sunmaktadır. Kınık formasyonu ileri derecede makaslanmış olup arazide makaslama süreksizlikleri açıkça görülebilmektedir. Yeşilşist fasiyesinin klorit zonunda metamorfizmaya uğramıştır. Ancak birimin en üst kesimlerinde metamorfizma derecesi giderek azalmakta ve istifin en üst kesimlerinde metamorfizma etkileri kaybolmaktadır (Akyürek, 1989; Akgün, 2007).

Çalışma alanı sınırları içinde bu birim görülememektedir.

2.2.2 Yuntdağ Volkanitleri

Çalışma alanındaki en geniş yüzlek veren birim olan Yuntdağ volkanitleri andezit, tüf, silisifiye tüf, lahar, aglomera ve daha az olarak da bazaltdan oluşmuştur (Akyürek ve Soysal, 1981; Akgün, 2007). İnceleme alanında Yuntdağ volkanitleri baskın kaya türü özelliklerine göre andezit, tüf, silisleşmiş tüf ve bazalt şeklinde ayrı birim olarak haritalanmıştır (Şekil 2.1).

Yuntdağ volkanitleri Soma formasyonunun altında, üstünde bazen de lav akıntıları ve tüfit düzeyleri halinde izlenir. Yuntdağ volkanitlerine ait çakıllara Ballica formasyonunda rastlanır. Ballica formasyonunun çökeliminden önce başlayan ve

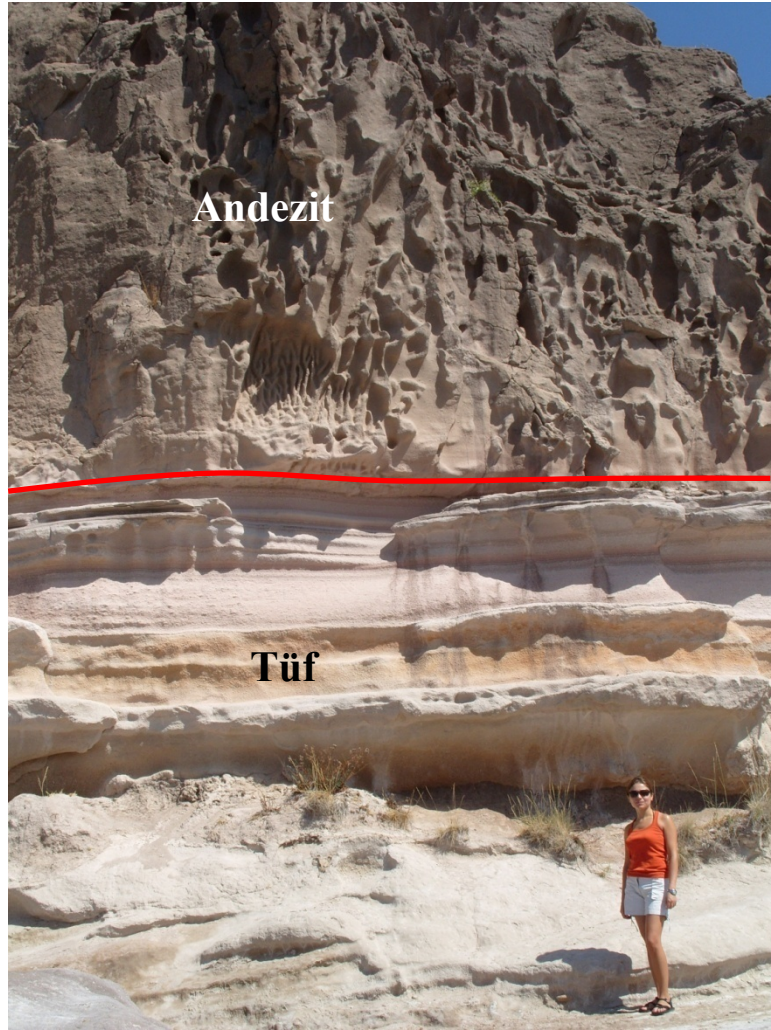
Soma formasyonunun çökeli mi süresince değişik evrelerde devam eden Yunt dağ volkanitleri, bölgede Miyosen'den önce başlayan ve Üst Miyosen-Pliyosen'e kadar devam eden, değişik evrelerde gelişmiş volkanizmanın ürünleridir (Akyürek, 1989; Akgün, 2007).

Yunt dağ volkanitleri beş evrede etkinliklerini sürdürmüşlerdir. Ayvalık ve civarında andezit ve tüf, Alibey adasında koyu renkli bazalt görünümünde trakiandezit, Ayvalık İlçesi "Şeytan Sofrası" mevkiinde ignimbritler, Madra çayı ile Salihler köyü arasında aglomeralar yüzlek vermişlerdir. Yunt dağ Volkanitlerini örten, bazende bu birimle girik olarak bulunan Soma Formasyonu Üst Miyosen-Pliyosen yaşındadır. En üste ise Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunur. Nikita Deresi'nin getirdiği malzemeden oluşan Ayvalık İlçesi'nin doğusundaki Ayvalık Ova'sındaki alüvyon killi, kumlu, çakıllı olup, çakıl oranı daha fazladır. Ayvalık ovasında alüvyon kalınlığı 29 m'dir. Çalışma alanında alüvyon akifer özelliği gösterir. Soma Formasyonu zayıf akiferdir, az miktarda yerelyı suyu bulunur. Kınık Formasyonu geçirimsiz olduğundan yeraltı suyu taşımaz (Yıldız, 1992).

Şekil 2.3 ve Şekil 2.4' te inceleme alanında görülen volkanikler ve bu volkanik birimler arasındaki dokanak yer almaktadır.



Şekil 2.3 İnceleme alanında görülen volkanikler (Badavut Mevkii).



Şekil 2.4 Ayrışmış andezit ve tüfler arasındaki dokanak.

2.2.2.1 Andezit

Andezitler genellikle grimsi bordo, gri ve sarımsı gri renklere görülmektedir. Bozunma yüzeylerinde sarımsı kahve ve yüzeysel alterasyon sonucu gelişen demiroksit boyamalarından dolayı kırmızımsı kahve ve sarımsı kahve renklere de görülmektedir. İnceleme alanı içerisinde yer yer trakiandezit, trakit, dasit, bazaltikandezit ve riyolit bileşimine kadar değişim gösteren asidik karakterli volkanizmayı temsil eden kaya birimleri de jeolojik haritada andezit birimi olarak ayrılan litolojik sınır içerisinde görülmektedir. İlksel akıntı izlerinin yer yer korunduğu andezitler porfiritik dokulu, kloritleşmiş, killeşmiş ve karbonatlaşmış plajiyoklas mikrolitleri, piroksen ve opak minerallerden oluşan hamur içerisinde

plajiyoklas fenokristalleri (andezin), biyotit ve opak mineraller içermektedir (Akyürek ve Soysal, 1981; Akgün, 2007) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 İnceleme alanında Badavut Mevkiinde daha önce işletilen fakat şu anda kapatılmış olan ocakta gözlenen Sarımsak Taşı olarak bilinen andezitler.

2.2.2.2 Bazalt

Ayvalık İlçesi'nin kuzey doğusunda sütunsal debili ve koyu siyah renkleri ile karakterize edilip, Madra vadisinin kuzey kısımlarında yüzeylenen bazaltlar daha çok akma düzlemlerine sahip ve koyu gri renkte ve masif yapılıdır. Andezitlerde olduğu gibi bazaltlarda da fiziksel bozunma süreci yoğun olup iyi gelişmiş küresel bozunma şekillerine sıkça rastlanmaktadır (Akgün, 2007).

Çalışma alanı sınırları içinde bu birim görülememektedir.

2.2.2.3 Tüf

“Tüfler çoğunlukla Ayvalık ve Alibey Adası çevresinde yüzeyleme vermektedir. Sarımsı kahve, sarı ve beyaz renkli olup, bölgedeki mineralizasyona bağlı olarak

hidrotermal sıvıların etkisiyle gelişen yoğun hidrotermal alterasyon etkisi altındadır” (Akgün, 2007).

2.2.2.4 Silisleşmiş Tüf

Silisleşmiş tüfler sarımsı kahve, sarı ve sarımsı beyaz başta olmak üzere çok değişik renklerde izlenmektedir. Kırılma yüzeyleri midye kabuğu kırınımı vermekte olup, saydam ve parlak görünümlüdür. Silisleşmeden dolayı yüksek dayanıma sahip olup yüzeysel alterasyon izlerine hematit ve limonit yüzey boyamaları şeklinde görülmektedir. İnceleme alanında Ayvalık İlçesi'nin batısında örneklerine rastlanmaktadır (Akgün, 2007).

2.2.3 Ballica Formasyonu

Ballica formasyonu kötü boylanmış, az yuvarlaklaşmış, yer yer köşeli, çeşitli türden çakıllar içeren konglomera ve kumtaşından oluşan akarsu çökelleri niteliğindedir. Birimin tabakalanması genellikle belirsiz olup, yer yer orta-kalın tabakalanmalıdır. Birim orta-düşük dayanımlı olup, silisli çakılların olduğu yerlerde yüksek dayanımlıdır. Konglomeraların çakıllarını daha yaşlı kaya türlerinden metakumtaşı, kireçtaşı, andezit ve granodiyorit oluşturur. Konglomeranın çimentosu kil veya karbonattır (Akyürek ve Soysal, 1981; Akgün, 2007).

Ballica formasyonu, değişik yaşta kaya türleri üzerine uyumsuz olarak gelir. Birim üstte Soma Formasyonu ile geçişlidir. Geçiş tabakaları ince daneli kumtaşı, silttaşı ve tüfittir. Konglomera ve kumtaşlarında bol volkanit danelerin oluşu ve arada tüfit düzeylerinin varlığı Yunt Dağ volkanitlerini oluşturan volkanizmanın Ballica Formasyonunun çökelişinden önce başlayıp, çökeliş anında da değişik evreler şeklinde devam ettiğini gösterir. Ballica formasyonunda fosil bulunmamıştır. Birimin üstüne gelen Soma formasyonunda Üst Miyosen-Pliyosen yaşı saptanmıştır. Buna göre, Ballica formasyonu Üst Miyosen veya öncesi olmalıdır (Akyürek, 1989; Akgün, 2007).

2.2.4 Soma Formasyonu

Bölgede geniş yayılım gösteren Soma formasyonu killi kireçtaşı, marn, silttaşı, tüfit, kumtaşı, ardalanması veya bu kaya türlerinin bir veya birkaçının baskın olduğu kaya türlerinden oluşur. Soma formasyonu genellikle beyaz, sarı, boz, gri renkli ve ince-orta-kalın tabakalanmalıdır. Yatay ve yataya yakın tabakalanmalı olan birim sıkışma nedeniyle yer yer yatık, hatta devrik kıvrımlı yapı gösterir. Killi ve karbonatlı düzeyleri bazen laminalıdır. Bölgede Soma Formasyonu içinde kömür ve bitümlü şeyl düzeyleri vardır. Orta-düşük dayanıma sahiptir. Soma formasyonu Balıca formasyonu ile geçişli, Rahmanlar agloreması ile girik olup formasyonun yaşı Üst Miyosen Pliyosen'dir (Akyürek, 1989; Akgün, 2007) (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Soma Formasyonuna ait killi kireçtaşı ve kil ardalanması.

2.2.5 Rahmanlar Aglomerası

“Rahmanlar aglomerası yuvarlak ve yarı köşeli andezit çakıllarının tuf ile tutturulmasından oluşur. Aglomeralar arasında ince tüfit ve silttaşı düzeyleri sıkça

izlenir. Rahmanlar aglomerası, bölgede Yuntdağ volkanitleri ve Soma formasyonu ile girik olduğundan, Üst Miyosen-Pliyosen yaşta kabul edilmiştir” (Akgün, 2007). Çalışma alanı sınırları içinde bu birim görülememektedir.

2.2.6 Alüvyon

Alüvyonlar çalışma alanında Ayvalık’ın güneyinde gözlenir. Nikita Deresi’nin getirdiği malzemedan oluşan Ayvalık Ovası’nda daha çok kum, silt ve kil bileşenlerinden oluşan alüvyon ve ayrıca andezit, dasit, riyolet, granodiyorit çakılları da bulunmaktadır. Kil oranının fazla olduğu Ayvalık Ovası’nda alüvyonun kalınlığı ortalama 15-30 m arasında olup tarım arazileri için verimli toprak alanları ve yeraltı suyu açısından akifer niteliği taşımaktadır (D.S.İ., 1990) (Şekil 2.7).

2.3 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı, içinde bulunmuş olduğu bölgenin tektonik gelişimi ile alakalı olarak birçok yapısal hareket geçirmiştir. Yapısal jeolojisi; uyumsuzluklar, tabakalanmalar, faylar ve çatlaklar olarak incelenmiştir.

Bölgede iki ayrı uyumsuzluk gözlenmektedir. Birinci uyumsuzluk Tersiyer yaşlı Rahmanlar aglomerası, Soma formasyonu ve Yuntdağ volkanitleri üzerine gelmektedir. İnceleme alanında gözlenen ikinci uyumsuzluk ise Kuvaterner yaşlı olan ve inceleme alanı içerisindeki tüm birimleri örten Alüvyon dokanağıdır (Akgün, 2007).

İnce-orta tabakalı katmanlanmaya sahip Soma formasyonuna ait marn, kireçtaşı, çamurtaşı ve kumtaşlarının tabakalanma doğrultusu genellikle KD-GB ve KB-GD, eğimi ise 10 derece’dir. Marn ve kireçtaşları 30-40 cm kalınlıklar sunarken, ara seviyeler halinde gözlenen çamurtaşı ve tuf seviyeleri 5-10 cm kalınlıklara erişmektedir. Ballica formasyonunu oluşturan konglomeralar orta-kalın tabakalı bir yapı sunmakta olup, tabakaların eğimleri 15-20 derece arasında değişmekte,



Şekil 2.7 Alüvyon düzlüklerde gerçekleşen kontrolsüz yerleşim alanı.

doğrultuları ise KD-GB doğrultusunda genel bir konumlanma sunmaktadır (Akgün, 2007) (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 Soma Formasyonu'na ait görsel tortullarda gözlenen yatay tabakalar.

BÖLÜM ÜÇ HİDROJEOLOJİ

2006 Kasım ve 2007 Nisan aylarında araziye çıkılarak inceleme alanındaki yeraltı ve yüzey suları belirlenmiş ve analizleri yapılmıştır.

3.1 Akarsular

İnceleme alanındaki en önemli akarsu Ayvalık Ovası'nda bulunan Nikita Deresi'dir. Keremköy Mevkiinde Mayatepe civarında doğan Nikita ya da diğer adıyla Karaağaç Deresi, mevsimlik olarak yan derelerle birleşerek Ayvalık Ovası'ndan geçip Ege Denizi'ne dökülür.Yılın büyük bölümünde, özellikle yaz aylarında kurudur (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Nikita (Karaağaç) Deresi'ne ait görüntüler.

3.2 Kaynaklar

Çalışma alanında önemli bir kaynak bulunmamaktadır.

3.3 Göller ve Bataklıklar

İnceleme alanı içerisinde küçük gölcükler bulunmakla birlikte bunlar içerisinde en önemlisi halen Tekel tarafından tuzla olarak işletilen ve göçmen kuşlar için barınak teşkil eden tuz gölüdür. Bunun yanı sıra, benzer olarak Sarımsaklı'nın batısında küçük bir tuz gölü daha bulunmakta olup bu göl yaz aylarında genellikle kurumaktadır. Yine Ayvalık civarında, yaz aylarında kuru olan, birkaç bataklık da yer almaktadır (Şekil 3.2) (Akgün, 2007).

Ayrıca Sarımsaklı beldesinin sahile yakın kesimlerinde, özellikle sonbahar ve kış aylarında meydana gelen yağışlarla beraber, Alüvyon zeminin suya doymun olması sebebiyle, yağış suları arazi üzerinde küçük gölcükler oluşturmakta ve hatta binaların zemin katlarına su baskını yaparak zarar vermektedir.



Şekil 3.2 İnceleme alanında yer alan tuzla ve bataklıklar (Akgün, 2007).

3.4 Sığ Kuyular ve Sondaj Kuyuları

İnceleme alanında yöre halkının açmış olduğu sığ su kuyuları bulunmaktadır. Ayvalık civarında 300 kadar olduğu tahmin edilen kuyuların derinlikleri 6 ila 30m değişmektedir.

Derin kuyuların açılması ile yüzey sularının çekilmesi dolayısıyla sığ kuyulardan su almak zorlaşmış, bundan dolayı bu kuyuların birçoğu derinleştirilmiştir. Kuyulardan çekilen suların debileri 2-4 l/sn arasında olup, kuyulardaki statik su seviyeleri 0,5-8 m arasında değişmektedir (Yıldız, 1992).

D.S.İ. tarafından açılan kuyuların derinliği 56 m ile 287,25 m arasında değişmekte olup, kuyuların bir kısmı Neojen birimlerinde, geri kalan büyük çoğunluğu ise alüvyonda açılmıştır. Kuyuların debileri 1-59 l/sn, statik seviyeleri, 1,05-10,35 m, düşüm miktarı 2,17-29,13 m, özgül debi 0,05-14,1 l/s/m ve transmissivite 138-2633 m³/gün/m arasında değişmektedir. İller Bankası tarafından açılan kuyuların tamamı alüvyonda olmakla birlikte kuyu derinlikleri 70-87 m, kuyu debileri 3- 54 l/sn, statik seviyeleri 1,62-8,70 m, düşüm miktarı 7,05-31,5 m, özgül debileri ise 0,09-6,24 l/sn/m arasında değişmektedir (D.S.İ., 1990).

Bu çalışmada Sarımsaklı sahil kesimi ile Küçükköy-Ayvalık bölgesinde bulunan keson kuyulardan, halkın açtığı sondaj kuyularından ve çeşmelerden 2006 Kasım ve 2007 Nisan aylarında alınan 34 adet su örneği ile, denizden alınan 1 adet su örneğiyle beraber toplam 35 adet su numunesi incelenmiştir (20 no' lu örnek hatalı olduğu düşünülerek iptal edilmiştir). Bazı kuyuların çoğunun ağzının kapalı olması ve bu kuyulardan pompajla su alınması sağlandığından derinlikleri ölçülemedi. Arazi çalışmaları sırasında 36 no' lu sondaj kuyusunun derinliğinin yaklaşık 56 m, 26 no' lu sondaj kuyusunun yaklaşık 50 m, 34 no' lu sondaj kuyusunun derinliğinin ise yaklaşık 70 m olduğu bilgisi edinilmiştir. Su numunesi alınan diğer kuyuların derinliği ise ortalama 6m'dir (Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6).



Şekil 3.3 1 no' lu örneğin alındığı su kuyusu.



Şekil 3.4 3 no' lu örneğin alındığı su kuyusu.



Şekil 3.5 3 no' lu örneğin alındığı kuyudaki su derinliği.



Şekil 3.6 29 no' lu örneğin alındığı çeşme.

3.5 Yeraltı Su Tablası ve Yeraltı Suyu Değişimleri

Yıldız (1992) tarafından yapılan çalışmada bölgedeki bazı sondaj kuyuları baz alınarak, bir yıllık düzenli yeraltı su seviyesi ölçümleri yapılmış ve sondaj kuyularının yeraltı suyu seviye değişimlerinden yararlanarak 1980 Ekim, 1988 Nisan-Ekim ve 1990 Ekim aylarına ait yeraltı su tablası haritaları çizilmiştir. Bu haritalar karşılaştırıldığında Ayvalık Ovası'nda 1980 yılında aşırı çekim olmadığı, 1988 ve 1989 yılında ise daha fazla çekim olduğu ve yeraltı su tablası eğrilerinin karaya doğru kavisli olmasından dolayı denize boşalım olmadığı saptanmıştır. Nisan ayında bile bu kavisin olduğu, dolayısıyla yeraltı suyunun denize boşalmadığı ve çekimden etkilendiği görülmüştür. Ekim ayında ise kavisin iyice arttığı saptanmıştır.

Ayrıca yeraltı su seviyelerinin yağış ile karşılaştırmasını yapmıştır. Buna göre yeraltı su seviyesinin yağış ile direkt ilgisinin olduğu, yağışların yeraltı suyuna 2-3 ay sonra eriştiği ve yağışın arttığı aylarda yeraltı su seviyesinin yükseldiği; yağışın azaldığı aylarda yeraltı su seviyesinin düştüğünü saptamıştır. Ayrıca yeraltı su tablası haritalarından faydalanılarak akım yönünün güneye (Ege Denizi'ne) doğru olduğu; Ayvalık Ovası'na ait hidrolik eğimin ise 1/825 olduğu görülmüştür (Yıldız, 1992).

3.6 Yeraltı Suyu Beslenme ve Boşalımı

Daha önce D.S.İ (1990) ve Yıldız (1992) tarafından yapılan çalışmalarda; Altınova, Ayvalık ve Gömeç ovaları için yeraltı suyu beslenme ve boşalım durumu ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu çalışma kapsamında ise sadece Ayvalık Ovası için hesaplanan beslenme ve boşalım durumu göz önüne alınmıştır.

3.6.1 Ayvalık Ovası'nın Beslenimi

Ayvalık Ovası'nın yıllık yağış miktarı Ayvalık meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama 655 mm, ova alanı ise 13 km²'dir. Ovadaki kil oranı fazladır. Ancak yüzeysel süzülme de hesaba katmak için süzülme katsayısı 0,30 olarak

kabul edilmiştir (D.S.İ., 1990). Bu değerler aşağıdaki formüllerde yerine konulduğunda Ayvalık ovası için yıllık beslenme miktarı:

Beslenim = Alan (m²) x Yağış miktarı (m) x Süzülme Katsayısı formülü kullanılarak;
Beslenim= 13,10⁶ x 0,655 x 0,30 = 2,55x10⁶ m³ /yıl olarak hesaplanmıştır.

3.6.2 Ayvalık Ovası'nın Yeraltı Suyu Boşalımı

Ayvalık Ovası'nda yeraltı suyunun boşalımı, suni boşalım ve buharlaşma-terleme ile olmaktadır. Yeraltı suyu eş seviye eğrilerinden yararlanarak, Ayvalık Ovası'ndan denize yeraltı suyu boşalımı olmadığı, buna karşın denizden ovaya doğru tuzlu su girişi olduğu belirlenmiştir (Yıldız, 1992).

Ayvalık Ovası için suni boşalımın hesaplanması amacıyla ovada yöre halkı tarafından açılan yaklaşık 300 kuyudan su çekimi dikkate alınarak, bu kuyuların günde 12 saatten yılda 90 gün çalıştığı ve 1 lt/sn su çektikleri kabul edildiğinde, suni boşalımın yılda 1,16 m³/yıl olacağı tahmin edilmiştir. Buharlaşma-terleme ile boşalım dikkate alındığında, 13 km²'lik ovanın her yerinde buharlaşma-terleme olduğu kabul edilerek, eksik su 605,9 mm ve buharlaşma-terleme oranı 0,50 alınırsa, aşağıdaki formülde uygulandığında;

$$\text{Buharlaşma-terleme} = \text{Alan} \times \text{Eksik Su} \times 0,50$$

Buharlaşma-terleme = 13,10⁶ x 0,605 x 0,50 = 3,93x10⁶ m³/yıl olarak bulunmuştur.

Ovadaki toplam boşalım, suni boşalım ve buharlaşma-terleme ile boşalımın toplamı olduğundan 1,16+ 3,93=5,09 m³/yıl olarak tespit edilmiştir (D.S.İ., 1990).

Görüldüğü üzere Ayvalık Ovası'nda boşalımın beslenimden fazla olması nedeniyle daha fazla su çekilmemelidir.

BÖLÜM DÖRT

HİDROJEOKİMYA

Kıyı alanların su kimyası; özellikle jeolojik ortam, su dengesi (beslenme, boşalım ve depolama oranlarıyla ilgili), toprak ve bitki örtüsünün çeşidi ile kıyı alanlardaki insan aktivitesi ile ilgili olarak beslenen suyun kalitesinin bir sonucudur (Somay, 2006).

Bu çalışma kapsamında 2006 Kasım ve 2007 Nisan aylarında olmak üzere çalışma alanında bulunan ve halkın açmış olduğu, (36 no' lu sondaj kuyusunun derinliği yaklaşık 56 m, 26 no' lu sondaj kuyusunun yaklaşık 50 m, 34 no' lu sondaj kuyusunun derinliği ise yaklaşık 70 m) ve diğer örneklerin alındığı, derinlikleri yaklaşık olarak 2-10m arasında değişen kuyulardan toplam 34 adet ve ayrıca 1 adet de deniz suyundan olmak üzere toplam 35 adet soğuk su numunesi alınarak, suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla kimyasal analizler ve ayrıca ağır metal içeriklerinin belirlenebilmesi amacıyla ağır metal analizleri yapıldı. Analiz sonuçları, Hydrowin ve Excel programlarından yararlanılarak değerlendirilmiş ve Tablo 4.1' de gösterilmiştir. Bu analiz sonucunda suların fiziksel ve kimyasal özellikleri saptanarak, Piper, Schoeller ve Wilcox gibi diyagramlardan da yararlanarak yorumlanmıştır.

Kimyasal analizlerde, yeraltı sularında en çok bulunan iyonlardan Cl^- , $(SO_4)^{-2}$, $(HCO_3)^-$, Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} ile Si, Li, Al gibi ağır metallerin değerleri litrede miligram (mg/l) olarak verilmiştir. Ayrıca bu noktaların pH ve elektriksel iletkenlikleri yer almaktadır. Su içindeki iyonlar, litrede gram veya miligram olarak tanımlanır. Miligram/litre (mg/l) en yaygın olarak kullanılan birimdir. Bu birim; Çözünmüş maddenin bir litrede miligram (mg/l) olarak belirtilmesidir. Bazı kimyasal incelemelerde iyonların su içindeki ağırlıkları yerine kimyasal tepkimeye giren miktarların saptanması istenir. Kimyasal tepkimelerde iyonların miktarı (mek/l) ve molarite (mol/l) olarak tanımlanabilir.

$$\begin{aligned} \text{mek/l} &= (\text{mg/l}) (P/Z) & P: \text{ İyonun atom ağırlığı} \\ \text{molarite} &= (\text{mg/l}) P \cdot 10^{-3} & Z : \text{ İyon değeri} \end{aligned}$$

Sudaki anyon ve katyonların mek/l toplamları birbirine eşit olmalıdır. Anyon ve katyonların kimyasal analizlerinde yapılabilecek hatalar aşağıdaki bağıntı (4.1) ile hesaplanabilir:

$$e = \frac{\text{Toplam katyon miktarı (mek/l)} - \text{Toplam anyon miktarı (mek/l)}}{\text{Toplam iyon miktarı (mek/l)}} \times 100 \quad (4.1)$$

Hata yüzdesinin (e) genellikle %5'den küçük olması istenir. Pozitif değer katyon fazlalığına, negatif değer ise anyon fazlalığına karşılık gelir. Analiz yapımı sırasında ortaya çıkan hatalar dışındaki %5 'den yüksek hata, suda analizi yapılmamış iyon türlerinden bazılarının yüksek derişimde olabileceği şeklinde yorumlanmalıdır (Özen, 2002).

4.1 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş Başlıca İyonlar

4.1.1 Sodyum (Na^+)

Sodyum doğada en yaygın olarak bulunan alkali metal olmakla birlikte bütün sodyum bileşikleri suda kolayca çözünürler. Yeraltı sularının sodyum içeriği normal olarak 6-130 mg/l arasında değişir. Yüzey sularının ise 1 mg/l den az olabileceği gibi 300mg/l'nin üzerine de çıkabilir (WHO, 1993) (Mutlu, 2004).

Yeraltı sularına plajiyoklasların ayrışması ile karışır ve kil minerallerindeki iyon değişimi sonucu oluşur. En fazla deniz suyunda bulunur (yaklaşık 20000 mg/l). İçme suyunda ise 10-50 mg/l civarında olup Na^+ iyonunun atom ağırlığı, 23 akb'dir. Yeraltı suları sulama amaçlı kullanıldığında, özellikle killi topraklar için sodyum miktarı çok önemli olup ayrıca sodyumun fazla olması da insan sağlığı açısından önemlidir (Tarcan, 2004).

Çalışma alanında (Na^+) değeri, 30,5 mg/l ile 1062,8 mg/l değerleri arasında değişmektedir. (Na^+) değerlerinin istenilen değerlerden çok yüksek olması deniz suyu girişiminin olduğunu göstermektedir.

Sadece 29 numaralı numunede en düşük olan (Na^+) değerinin 23,1 mg/l olduğu, deniz suyundan alınan numunede ise 11063,8 mg/l olduğu görülmüştür.

4.1.2 Potasyum (K^+)

Potasyumun kaynağı ortoklas, mikroklin, biyotit ve muskovit mineralleridir. Bu minerallerin bozunuma uğraması sonucunda potasyum açığa çıkarak yeraltı suyuna ve yüzey suyuna karışır. Potasyum, kil mineralleri ve bitkiler tarafından soğurulması nedeniyle yeraltı sularında daha az bulunur. Potasyum ve sodyum yer kabuğunda yaklaşık olarak eşit miktarlarda bulunurken; magmatik kayalarda sodyum, çökel kayalarda ise potasyum egemendir. Deniz suyundaki sodyum, potasyumun yaklaşık 28 katıdır. Yer kabuğunda potasyum miktarının büyük bir kısmı feldspatlarda bulunur (Tarcan, 2004).

Çalışma alanındaki (K^+) değerleri 0,9 mg/L ve 30,3 mg/L değerleri arasında değişmektedir. Deniz suyunda ise 96,8 mg/l olarak belirlenmiştir.

4.1.3 Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum yüzey ve yeraltı sularında en çok bulunan katyonlardan biridir. Birçok magmatik kayaç mineralinin (özellikle piroksen, amfibol ve feldispat) bileşimi olup; sedimanter kayaçlarda ise kalsit, dolomit, aragonit, jips gibi karbonatlar şeklinde bulunur. Doğal sulardaki kalsiyum miktarı, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile yakından ilişkili olup, karbonatlı kayaçların bulunduğu bölgedeki sularda kalsiyum derişimi 30-100 mg/l arasında değişir (Mutlu, 2004).

Yeraltı sularına kalsit, aragonit, dolomit, jips, anhidrit, vb. silikatlı olmayan ve albit, anortit, piroksen, amfibol gibi silikatlı minerallerdeki kalsiyumun erimesiyle

girer. İçme sularında kalsiyum miktarının genelde 10- 100 mg/l arasında bulunması istenir. Fazlası suların sertliğini artırır. Ca^{+2} iyonunun atom ağırlığı, 40,08 akb (Atomik Kütle Birimi)'dir (Tarcan, 2004).

Çalışma alanından alınan su örneklerinde Ca^{+2} 10-100 mg/l arasında değişmekte olup, sadece 10 no lu örnekte Ca^{+2} değeri, 345,1 mg/l, deniz suyunda ise 411,2 mg/l'dir.

4.1.4 Magnezyum (Mg^{+2})

Magnezyum suların sertliğini oluşturan ana etmenlerden biri olup, yüksek derişimleri içme, endüstri ve sulama suyu olarak kullanımını sınırlamaktadır. İçme sularında bir miktar magnezyum bulunması kalbe ve sinir sistemine faydalı olmakla birlikte suyun tadı da göz önüne alınmalıdır (Mutlu, 2004).

Yer altı sularına magnezyumlu kalker, dolomit ve serpantinleşme sonucu açığa çıkan $MgCO_3$ 'ün erimesiyle karışır. İçme sularında magnezyum miktarının genelde 10-100 mg/l arasında bulunması istenir. Yeraltının yüzey kısımlarında, özellikle karstik bölgelerde Ca^{+2} miktarı, Mg^{+2} miktarından daha fazla olmakla birlikte ultrabazik ve ofiyolitik kayalarda Mg^{+2} oranı, Ca^{+2} oranından daha fazladır. Bu tür kayaların bulunduğu ortamdaki sular, Mg^{+2} iyonu yönünden zengindir. Mg^{+2} iyonunun atom ağırlığı, 24,48 akb'dir (Tarcan, 2004).

Çalışma alanındaki (Mg^{+2}) değeri, 6,0 mg/l ile 190,2 mg/l değerleri arasında değişmektedir. Değerler genellikle 10-100 mg/l arasında bulunmaktadır.

Karaçam (2002) tarafından inceleme alanında yapılan altyapı çalışmalarında, yer alan su seviyesi genelde 0,50-1,00 m arasında değişmekte olup, yeraltı suyu magnezyum ve sülfat bakımından betonu kuvvetli derecede etkileyici özellikte olduğu görülerek, beton üretiminde sülfata dayanıklı çimento kullanılması gerektiği ve üretilecek beton yapıların zemin suyu ile temasının kesilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerektiği belirtilmiştir.

4.1.5 Klorür (Cl^-)

“Klorür doğada geniş bir yayılıma sahip olup genellikle sodyum klorür, potasyum klorür ve kalsiyum klorür şeklinde bulunur. Sedimanter kayalardan özellikle evaporitlerde bulunur” (Mutlu, 2004).

“Deniz suları da yer altı sularına klorür veren en büyük kaynaklardan biridir. Yağmur sularında klorür miktarı 1-25 mg/l arasında değişirken bu değer deniz sularında 20000mg/l'ye kadar ulaşır” (Gemici,1999).

“İçme suyunda ise 200- 600 mg/l arasında bulunmaktadır. Cl^- iyonunun atom ağırlığı, 35,5 akb'dir” (Tarcan, 2004).

İnceleme alanındaki (Cl^-) değerleri, 12 no lu örnekte 0,0 mg/l, deniz suyunda ise 18777,6 mg/l'dir. Bunun dışındaki örneklerde 28,4 mg/l ile 2288,5 mg/l arasında değişmektedir. Cl iyonu konsantrasyonu 2 ve 10 numaralı örnekler için maksimum değere yakın olup, bu örneklerin kıyı kesimde bulunmaları nedeniyle deniz suyu girişimi vardır diyebiliriz. 24 numaralı örnek tuzla yakınından alındığı için değeri yüksek çıkmıştır. 21 ve 27 numaralı örneklerin değeri de yüksek olup, 27 no lu Nikita Deresi'nden alınan örnekte bu kadar yüksek olmasının nedenini zeytinyağı fabrikalarının bu alanda yakın konumlu olup, atık sularını dereye boşaltmalarından ve ayrıca buharlaşmadan kaynaklanıyor olabileceğini söyleyebiliriz. 12 no' lu örnek içinse HCO_3^- ve Cl değerlerinin 0,0 mg/l, pH'ının ise çok düşük (3,62) olduğu göz önüne alınırsa, asidik olduğu ve dolayısıyla her şeyi çözdüğünü; ayrıca suyun derin dolaşımli olup altta bulunan volkanik ve metamorfik birimlerle karşılaşp geldiği ya da alüminyum değerinin de yüksek olduğu da düşünülürse, suyun geldiği akiferde sülfürlü minerallerin olduğu düşünülebilir.

4.1.6 Sülfat (SO_4^{2-})

Kükürt indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunur. Sülfür mineralleri suyla temas edip bozuldukları

takdirde oksitlenerek sülfat iyonları oluşur ve bu iyonlar suya geçer. Doğal sulardaki sülfatın başlıca kaynakları olarak sedimanter kayalar (özellikle jips, anhidrit), mağmatik kayalar ve organik maddeler gösterilebilir. TS 266 (1997)'ye göre içme sularındaki sülfat miktarları 25-250 mg/l arasında değişmektedir. Bu değerlerden yüksek sülfat miktarları bazı kullanıcılarda ishal yapıcı etki gösterebilir (Mutlu, 2004).

“ SO_4^{-2} iyonunun atom ağırlığı, 96 akb'dir” (Tarcan, 2004).

Çalışma alanındaki (SO_4^{-2}) değerleri 52,4 mg/l ile 400,4 mg/l arasında değişmektedir. (SO_4^{-2}) değerleri 10 no' lu örnekte 1041,5 mg/l, 6 no' lu deniz suyunda ise 1844 mg/l olarak belirlenmiştir. Bu değerlere göre suların sülfat açısından TS 266 (1997)'ye göre yüksek değerlere sahip olduğu söylenebilir.

4.1.7 Bikarbonat (HCO_3^-)

Yeraltı sularına karbonatlı kütlelerin erimesiyle katılır. İçme sularında bikarbonat miktarı 10-80 mg/l arasındadır. Bikarbonatın bulunuş oranı, ortamdaki CO_2 miktarına ve ortamın pH'ına bağlıdır. Ortamda yüksek miktarda CO_2 olması halinde pH'ı düşer ve ortam asidik olur. Dolayısıyla ortam, karbonatları daha çok eritir ve bikarbonat konsantrasyonu artar. HCO_3^- iyonunun atom ağırlığı, 61 akb'dir (Tarcan, 2004).

Bölgeden alınan sulardaki (HCO_3^-) değerleri, 12 ve 22 no' lu örneklerde 0,0 mg/l olması dışında, en düşük 23 no lu örnekte 17,1 mg/l ve en yüksek 2 no' lu örnekte 567,3 mg/l olup; diğer örneklerde 41,5 – 488 mg/l arasında değişmektedir. Genel olarak (HCO_3^-) değerleri istenilen değerlerin çok çok üstündedir. 12 ve 22 no' lu örneklerde 0,0 mg/l olmasının nedeni ise pH'ın bu örneklerde çok düşük olup, asidik karakterde olması ve dolayısıyla pH 4,4 ün altında olan asidik ortamda (HCO_3^-)'ün bulunmaması olarak açıklanabilir.

4.1.8 Silis (Si)

Silisyum oksijenden sonra yer kabuğunda ikinci sırada yer almaktadır ve silisyum ile oksijen arasındaki kimyasal bağ çok güçlüdür. Silis, suyun sertliğini etkilemezken, kalsiyum ve magnezyum ile kimyasal tepkimeleri sonucunda silikatlar şeklinde çöküp, kuyu ve su borularını tıkayabilmektedir. Doğal sulardaki silisin büyük bir bölümü silikat minerallerinin kimyasal bozunumundan kaynaklanmaktadır. Doğal sulardaki silis miktarı genellikle 1-30 mg/l, yüzey sularında ortalama 14 mg/l, yer altı sularında ise 17 mg/l'dir. Silisin çözünürlüğü pH'tan etkilenmekte olup, pH'ın yükselmesi ile silisin çözünmesi artar (Şahinci, 1991).

Çalışma alanındaki (Si) değerleri, deniz suyunda 0,007mg/l olup, diğerleri 8,662-45,83 mg/l arasında değişmektedir.

4.2 İnceleme Alanındaki Sularda Çözünmüş İkincil ve Üçüncül İyonlar

Doğal sularda majör iyonlar, suyun içerdiği çözünmüş maddelerin genellikle %90'ını oluştururlar. Bununla birlikte sularda majör iyonlar dışında minör veya eser düzeyde çok sayıda çözünmüş iyon bulunmaktadır. Ağır metaller de doğal sularda minör veya eser düzeyde bulunan maddelerdendir.

Bu çalışma kapsamında eser element tayinine yönelik kimyasal analizlerde, suların Al, Cr, Zn, Fe, Cu, Cd, Ni, Pb, Li, Co gibi değişik elementlerin içerikleri saptanarak, Tablo 4.5' de inceleme alanından alınan numunelere ait element değerleri verilmiştir. Alınan bu değerler TS 266 (1997) (Tablo 4.2), WHO (1993) (Tablo 4.3), EPA (2001) (Tablo 4.4), ve içme suları açısından değerlendirilmiştir. Başlıca iyonlarda olduğu gibi yeraltı sularının ikincil iyonları da suların kökeni, hidrojeokimyasal evrimleri ve kullanılabilirlikleri hakkında bilgi vermektedir.

Tablo 4.1 Çalışma alanından alınan suların kimyasal analiz sonuçları (Anyonlar ve Katyonlar: mg/l, EC:µmho/cm).

| Örnek No | Koordinat | Tarih | T°C | pH | Eh (Mv) | EC (µmho/cm) | Na ⁺ | Mg ⁺² | K ⁺ | Ca ⁺² | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | Si |
|----------|-----------------|------------|------|------|---------|--------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| 1 | 0468299/4347436 | 25.11.2006 | 17,1 | 7,3 | -16 | 1839 | 208,0 | 37,7 | 16,6 | 107,7 | 251,1 | 167,6 | 407,5 | 18,819 |
| 2 | 0468060/4347400 | 25.11.2006 | 16,7 | 7,62 | -42 | 2790 | 374,6 | 61,3 | 30,3 | 120,9 | 440,1 | 222,3 | 567,3 | 9,882 |
| 3 | 0467823/4347819 | 25.11.2006 | 17,3 | 6,7 | 8 | 1735 | 149,2 | 31,8 | 9,4 | 102,4 | 343,3 | 137,7 | 161,0 | 18,927 |
| 4 | 0467666/4347889 | 25.11.2006 | 18,2 | 6,32 | 29 | 596 | 46,8 | 14,4 | 0,9 | 25,4 | 97,5 | 52,4 | 53,7 | 15,385 |
| 5 | 0468665/4347209 | 25.11.2006 | 16,3 | 7,1 | -17 | 1441 | 105,6 | 29,0 | 10,6 | 116,2 | 162,8 | 120,8 | 488,0 | 14,748 |
| 6 | 0468660/4347070 | 25.11.2006 | 16,7 | 8,05 | -73 | 59600 | 11063,8 | 14,5 | 96,8 | 411,2 | 18777,6 | 1844,0 | 161,0 | 0,007 |
| 7 | 0469518/4346714 | 25.11.2006 | 19,8 | 7,08 | -15 | 1988 | 207,7 | 47,1 | 16,3 | 89,9 | 320,3 | 167,3 | 337,9 | 18,065 |
| 8 | 0470049/4347644 | 25.11.2006 | 17,6 | 6,7 | 3 | 378 | 37,7 | 7,0 | 1,7 | 10,1 | 55,3 | 102,9 | 69,5 | 21,299 |
| 9 | 0470661/4348402 | 25.11.2006 | 15,9 | 7,76 | -54 | 649 | 25,7 | 17,0 | 8,5 | 50,8 | 46,1 | 116,6 | 198,9 | 13,103 |
| 10 | 0472137/4348916 | 25.11.2006 | 17,5 | 7,22 | -24 | 1435 | 243,2 | 104,2 | 4,0 | 345,1 | 554,5 | 1041,5 | 112,2 | 38,849 |
| 11 | 0473539/4349340 | 25.11.2006 | 17,9 | 7,53 | -42 | 1834 | 203,1 | 31,5 | 10,5 | 113,1 | 311,8 | 164,3 | 273,3 | 28,495 |
| 12 | 0473629/4349132 | 25.11.2006 | 16,8 | 3,62 | 183 | 579 | 37,4 | 6,1 | 1,4 | 18,3 | 0,0 | 160,8 | 0,0 | 35,044 |
| 13 | 0472974/4349061 | 25.11.2006 | 19,6 | 7,41 | -36 | 1731 | 240 | 30 | 4,7 | 84,9 | 184,3 | 259,2 | 370,9 | 35,37 |
| 14 | 0474833/4348134 | 25.11.2006 | 15,1 | 7,2 | -28 | 1065 | 37,1 | 73,6 | 0,5 | 73,8 | 84,5 | 198,1 | 441,6 | 11,96 |
| 15 | 0473580/4347903 | 25.11.2006 | 17,3 | 7,3 | -36 | 590 | 24,1 | 16,6 | 4 | 56,1 | 28,4 | 121,8 | 148,8 | 13,481 |
| 16 | 0472382/4348795 | 25.11.2006 | 17,2 | 6,48 | 12 | 658 | 38,3 | 13,9 | 4,2 | 55,0 | 99,1 | 54,2 | 130,5 | 45,83 |
| 17 | 0471483/4350023 | 25.11.2006 | 18,3 | 6,5 | 12 | 804 | 52,9 | 21,6 | 2,6 | 65,5 | 50,7 | 122,9 | 205,0 | 22,352 |
| 18 | 0474730/4346522 | 19.04.2007 | | 6,98 | 207,3 | 1354 | 75,5 | 61,8 | 1,9 | 99,8 | 158,2 | 221,6 | 248,9 | 10,819 |
| 19 | 0476340/4345268 | 19.04.2007 | | 6,89 | 206,2 | 1735 | 143,4 | 92,2 | 1,7 | 92,6 | 216,9 | 246,5 | 370,9 | 13,161 |
| 21 | 0474722/4348589 | 19.04.2007 | | 7,06 | 208,5 | 7580 | 1062,8 | 190,2 | 18,5 | 180,6 | 2288,5 | 302,9 | 258,6 | 13,697 |
| 22 | 0471401/4349894 | 19.04.2007 | | 3,74 | 512,8 | 868 | 76,2 | 10,9 | 9,3 | 33,2 | 333,3 | 202,4 | 0,0 | 39,632 |
| 23 | 0473797/4349995 | 19.04.2007 | | 5,6 | 403,6 | 513 | 44,2 | 7,6 | 3,6 | 26,2 | 112,4 | 89,4 | 17,1 | 39,234 |
| 24 | 0475546/4346838 | 19.04.2007 | | 7,55 | 315 | 2480 | 218,2 | 101,6 | 6,6 | 126,6 | 530,3 | 208,8 | 275,7 | 9,939 |
| 25 | 0474572/4347890 | 19.04.2007 | | 7,35 | 414 | 675 | 30,5 | 18,0 | 1,8 | 72,2 | 63,7 | 123,0 | 126,9 | 13,547 |
| 26 | 0475512/4349579 | 19.04.2007 | | 7,07 | 345,4 | 1004 | 41,2 | 60,0 | 0,9 | 70,2 | 85,6 | 218,1 | 246,4 | 11,548 |
| 27 | 0475068/4350013 | 19.04.2007 | | 8,6 | -126 | 2550 | 353,3 | 60,7 | 23,8 | 92,1 | 491,5 | 381,2 | 292,8 | 8,662 |

Tablo 4.1 devam ediyor... Çalışma alanından alınan suların kimyasal analiz sonuçları (Anyonlar ve Katyonlar: mg/l, EC:µmho/cm).

| Örnek No | Koordinat | Tarih | T°C | pH | Eh (Mv) | EC (µmho/cm) | Na ⁺ | Mg ⁺² | K ⁺ | Ca ⁺² | Cl ⁻ | SO ₄ ⁻² | HCO ₃ ⁻ | Si |
|----------|-----------------|------------|-----|------|---------|--------------|-----------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|--------|
| 28 | 0475794/4350241 | 19.04.2007 | | 7,15 | 60 | 1225 | 53,2 | 72,1 | 2,3 | 70,8 | 126,4 | 229,2 | 251,3 | 14,414 |
| 29 | 0474375/4351400 | 19.04.2007 | | 7,35 | 660,3 | 542 | 23,1 | 14,7 | 1,2 | 56,6 | 33,8 | 138,6 | 109,8 | 11,851 |
| 30 | 0477053/4353293 | 19.04.2007 | | 7,41 | 390,2 | 1913 | 118,5 | 113,2 | 3,4 | 110,0 | 292,5 | 269,2 | 285,5 | 8,825 |
| 31 | 0472044/4347564 | 19.04.2007 | | 7,17 | 356,7 | 1055 | 94,9 | 20,8 | 3,4 | 81,2 | 185,1 | 187,7 | 90,3 | 12,736 |
| 32 | 0473479/4347079 | 19.04.2007 | | 7,36 | 330,7 | 1480 | 213,9 | 46,2 | 4,3 | 50,6 | 209,9 | 239,4 | 244,0 | 9,958 |
| 33 | 0475272/4349981 | 19.04.2007 | | 7,06 | 320 | 1726 | 82,9 | 108,7 | 1,5 | 109,9 | 199,0 | 397,1 | 344,0 | 15,05 |
| 34 | 0475514/4350904 | 19.04.2007 | | 7,48 | 292,2 | 847 | 65,3 | 29,6 | 3,6 | 58,2 | 94,5 | 197,9 | 124,4 | 25,127 |
| 35 | 0477551/4353786 | 19.04.2007 | | 7,11 | 293,3 | 1573 | 77,8 | 103,3 | 2 | 95,4 | 172,1 | 400,4 | 302,6 | 14,297 |
| 36 | 0475486/4350924 | 19.04.2007 | | 7,01 | 299,6 | 401 | 42,653 | 6,0 | 1,9 | 24,7 | 38,8 | 139,3 | 41,5 | 29,022 |

TS 266 (1997), WHO (1993) ve EPA (2001) 'e göre yeraltı suları için belirlenen özellikler Tablo 4.2, 4.3 ve 4.4' de sunulmuştur.

Tablo 4.2 TS 266 (1997) standartları (Arık, 2005).

| İçme Suyu Standardı | | | |
|---|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| | | Müsaade değeri | Max. Değer |
| 1. Zehirli Maddeler | Kurşun (Pb) | - | 0.05 mg/lt |
| | Selenyum (Se) | - | 0.01 mg/lt |
| | Arsenik (As) | - | 0.05 mg/lt |
| | Krom (Cr) | - | 0.05 mg/lt |
| | Siyanür (Cn) | - | 0.2 mg/lt |
| | Kadmiyum (Cd) | - | 0.02 mg/lt |
| 2. Sağlığa Etki Yapan Maddeler | Florür | 1.0 mg/l | 1.5 mg/lt |
| | Nitrat | - | 45 mg/lt |
| 3. İçilebilme Özelliğine Etki Yapan Maddeler | Renk | 5 birim | 50 birim |
| | Bulanıklık | 6 birim | 25 birim |
| | Koku ve tad | kokusuz | kokusuz |
| | Buharlaştırma | normal | normal |
| | Kalıntısı | 500 mg/lt | 1500 mg/lt |
| | Demir (Fe) | 0.3 mg/lt | 1.0 mg/lt |
| | Mangan (Mn) | 0.1 mg/lt | 0.5 mg/lt |
| | Bakır (Cu) | 1.0 mg/lt | 1.5 mg/lt |
| | Çinko (Zn) | 5.0 mg/lt | 15.0 mg/lt |
| | Kalsiyum (Ca) | 75 mg/lt | 200 mg/lt |
| | Magnezyum (Mg) | 50 mg/lt | 150 mg/lt |
| | Sülfat (SO ₄) | 200 mg/lt | 400 mg/lt |
| | Klorür (Cl) | 200 mg/lt | 600 mg/lt |
| | pH | 7.0-8.5 | 6.5-9.2 |
| | Bakiye Klor | 0.1 mg/lt | 0.5 mg/lt |
| | Fenolik Maddeler | - | 0.002 mg/lt |
| | Alkali Benzil | 0.5 mg/lt | - |
| Süfonat | 500 mg/lt | 1000 mg/lt | |
| 4. Kirlenmeyi Belirten Maddeler | Toplam organik madde | 3.5 mg/lt | - |

Tablo 4.3 Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standartları (WHO, 1993) (Arık, 2005).

| Toksik Maddeler (mg/l) | | |
|---|-----------------|--------------|
| <i>Madde</i> | <i>Standart</i> | <i>Hedef</i> |
| Arsenik | 0,05 | - |
| Baryum | - | - |
| Kadmiyum | 0,01 | - |
| Krom (6 değerlik) | - | - |
| Siyanür | 0,05 | - |
| Kurşun | 0,1 | - |
| Magnezyum | | |
| - Sulfat > 250 mg/l | 150 | 30 |
| - Sulfat < 250 mg/l | 150 | |
| Civa | 0,001 | - |
| Nitrat | 45 | - |
| Nitrit | - | - |
| Polisilik Aromatik | | |
| Hidrokarbonlar | - | 0,0002 |
| Selenyum | 0,01 | - |
| Gümüş | - | - |
| Radyo aktivite-alfa | 3 | - |
| Radyo aktivite-beta | 30 | - |
| Radyum 226/228 | - | - |
| Stronsiyum 90 | - | - |
| Tritiyum | - | - |
| Endrin | - | - |
| Lindan | - | - |
| Metoksiklor | - | - |
| Toksafen | - | - |
| Klorofoksi | - | - |
| Florür (Maksimum günlük sıcaklıklardaki ortalama) | | |
| 10 - 12 °C | - | 1,7 |
| 12 - 15,5 °C | - | 1,5 |
| 14,5 - 17 °C | - | 1,3 |
| 17 - 21,5 °C | - | 1,2 |
| 21,5 - 26 °C | - | 1,0 |
| 26 - 32,5 °C | - | 0,8 |

Tablo 4.3 devamı.. Dünya Sağlık Teşkilatı İçme Suyu Standartları (WHO, 1993) (Arık, 2005).

| Fiziksel ve Kimyasal Parametreler (mg/l) | | |
|---|-----------------|--------------|
| <i>Madde</i> | <i>Standart</i> | <i>Hedef</i> |
| Bulanıklık (FTU) | 25 | 5 |
| Renk | 50 | 5 |
| Koku ve Tat | ** | |
| Hidrojen sülfür | - | - |
| Çinko | 15 | 5 |
| Bakır | 1,5 | 0,05 |
| Demir | 1,0 | 0,1 |
| Mangan | 0,5 | 0,05 |
| Amonyum | - | - |
| Oksijen | - | - |
| Klorür | 600 | 200 |
| Toplam çözünmüş kati | 1500 | 500 |
| Sertlik | 5 | 1 |
| Kalsiyum | 200 | 75 |
| Sülfat | 400 | 200 |
| Anyonik deterjan | 1 | 0,2 |
| Mineral yağ | 0,3 | 0,01 |
| Fenol bileşikleri | 0,002 | 0,001 |
| Permanganat sarfiyatı | - | - |
| pH | 6,5 - 9,2 | 7 - 8,5 |

Tablo 4.4 İçme suyu için belirlenen ikincil standart değerler (EPA, 2001) (Arık, 2005).

| Standart | | Standart | |
|-----------|---------------|-----------------------|------------------|
| Alüminyum | 0,05-0,2 mg/L | Sülfat | 250 mg/L |
| Bakır | 1,0 mg/L | Asindiricilik | Asindirici değil |
| Çinko | 5 mg/L | Renk | 15(renk birimi) |
| Demir | 0,3 mg/L | Koku | 3 koku sayısı |
| Flor | 2,0 mg/L | Köpük yapıcılar | 0,5 mg/L |
| Gümüş | 0,1 mg/L | Toplam çözünmüş madde | 500 mg/L |
| Klorit | 250 mg/L | pH | 6,5-8,5 |
| Mangan | 0,05 mg/L | | |

4.2.1 Alüminyum (Al)

Yeraltı sularında doğal süzülme nedeniyle, alüminyum oldukça azdır. Alüminyum, yer kabuğunda önemli miktarda bulunmasına rağmen (% 8,6), az çözünmesi nedeniyle, yeraltı sularında önemsiz miktarda bulunur. pH 5-9 arasında alüminyum, sularda 1 ppm'den azdır. Genellikle yeraltı sularında 0,005-0,3 ppm arasında alüminyum izlenirken, asit sularda, bu değer 100 ppm'e erişebilir. Alüminyumun suda bulunuşu, özellikle suyun kökenine ve maden yatakları hakkında bilgi vermesi bakımından önemlidir (Şahinci, 1986).

Çalışma alanından alınan sulardaki alüminyum miktarı 0,054– 3,216 mg/l arasında değişmektedir. EPA 2001 standartlarına göre, suda bulunacak alüminyum iyonu değerinin 0,05-0,2 mg/l arasında olması gerekmektedir. İnceleme alanındaki sulardan sadece 13 numaralı örneğin değeri 0,054 mg/l olup, içme ve kullanma suları standardına uymaktadır. Ancak diğerleri bu standart değerler dışında kalmaktadırlar.

4.2.2 Krom (Cr)

“Krom doğada metalik halde bulunmaz. Magmatik kayalarda minör bileşen olarak, özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda mevcuttur. Suların içerdiği krom ise kayalardan, endüstriyel kullanımlardan ve tarımdan kaynaklanır” (Mutlu, 2004).

“Krom doğal sularda çok az çözünür; ancak çok oksitleyici ve asit ortamlarda kromat iyonu şeklinde bulunur” (Şahinci, 1991).

TS 266 (1997) içme suyu standartlarında Cr için maksimum sınır 0,05 mg/l'dir.

Çalışma alanından alınan örneklerde ölçülebilen değerler 0,004- 0,018 ve 0,093 mg/l'dir.

Buna göre sadece 0,093 mg/l olan değer in sınırı aştığı görülür.

4.2.3 Çinko (Zn)

Çinko yer kabuğunda çok yaygın olarak bulunan bir element olup, en yaygın çinko minerali sfalerittir (ZnS). Bu mineral çoğunlukla kurşun, bakır ve demir gibi elementlerin sülfürleriyle bulunur. Ayrıca magmatik kayalardaki piroksen, amfibol ve biyotitler de çinko içerirler. Yüze ve yeraltı sularının içerdiği çinko; kayalardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve atmosferden kaynaklanmaktadır (Mutlu, 2004).

“İçme sularında çinko değerinin 0,1-5 mg/l dolayında olması istenir. İzin verilen maksimum sınır ise 15 mg/l’dir” (TS 266, 1997). Çalışma alanındaki (Zn) değerleri 5 ve 9 no’ lu örneklerde yüksek olup, diğer örneklerde ise istenilen değerler arasındadır.

4.2.4 Demir (Fe)

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir element olup, oluşturduğu acımsı tatlı burucu tat nedeniyle içme sularında tepkiyle karşılanan bir elementtir. TS 266’nın önerdiği limit değer 0.3 mg/l, izin verilebilen maksimum miktar ise 1 mg/l’dir. Çalışma alanından alınan sulardan 5, 8 ve 17 no’ lu örneklerin (Fe) değerleri limit değerlerin üzerindedir.

4.2.5 Bakır (Cu)

Bakır yer kabuğundaki kayalarda doğal bakır ya da bakır içeren sülfür (kalkopirit, kalkosit) ve karbonat mineralleri halinde (malakit, azurit) bulunur. Bununla birlikte bakır minerallerinin çözünürlükleri düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az kısmı doğal kökenlidir. Doğal sularda bakır genellikle eser miktarlarda (0,05 mg/l ye kadar) bulunmakla birlikte yeraltı sularındaki bakır derişimi 12 mg/l ye kadar ulaşabilir. Fazla miktarda bakır içme sularında kötü tat oluşturur (Mutlu, 2004).

Türkiye'deki içme suyu standartlarında önerilen miktar 1,0 mg/l, izin verilen maksimum miktar ise 1,5 mg/l dir (TS 266, 1997).

İnceleme alanından alınan su örneklerinin analizinde Cu değeri ölçüm sınırları değerinin altında olup, ölçülememiştir.

4.2.6 Kadmiyum (Cd)

Kimyasal özellikleri bakımından çinkoya benzeyen ve yerkabuğunda eser miktarda bulunan bir elementtir. Asidik magmatik kayalarda çoğunlukla çinko sülfür mineralleri (özellikle sfalerit) ile beraber bulunur. Kadmiyum ve bileşikleri sularda genellikle eser miktarda bulunup, suda çözünürlüğü, kadmiyum kaynağındaki bulunuş şekline ve pH'a bağlıdır. Doğal suların kadmiyum içeriği genellikle 0,001mg/l'den azdır, bununla beraber bazı sularda 0,010 mg/l'ye ulaşan değerler görülebilir. TS 266'ya göre izin verilebilir maksimum derişim 0,005 mg/l'dir (Mutlu, 2004).

Alınan numunelerde yapılan analiz sonucunda, inceleme alanında birkaç değer dışında genelde maksimum sınır değerini aşan sular bulunduğu görülmüştür.

4.2.7 Nikel (Ni)

Nikel magmatik kayalarda ve özellikle bazik ve ultrabazik kayalarda bulunan pek çok mineralin yapısında yer alır. Olivin ve hipersten, nikel içeren başlıca minerallerdendir. Sularda kolloidal veya çözünmüş halde bulunan nikel; kayalardan, topraktan, nikel cevherlerinin işletmesinden, fosil yakıtların kullanımından kaynaklanmaktadır. Türk Standartları Enstitüsü nikel için herhangi bir sınır değe vermemesine karşın, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 0,1 mg/l'yi aşan suların içilmemesini tavsiye etmiştir (Mutlu, 2004).

İnceleme alanından alınan suların analiz sonuçları incelendiğinde ölçülebilen değerlerin 0,1 mg/l' yi aşmadığı görülür.

4.2.8 Kurşun (Pb)

“Kurşun kayaç oluşturan mineralin yapısında (magmatik kökenli potasyum ve kalsiyum minerallerinde) yer almasının yanısıra yer kabuğunda esas olarak sülfür mineralleri (özellikle PbS) şeklinde bulunur. Akarsu ve göllerdeki güncel sedimanlar içerisinde de kurşun bileşikleri yer almaktadır” (Mutlu, 2004).

“Metamorfik ve magmatik kayaçlarda bulunan kurşunun sulardaki konsantrasyonu kayaçlardan, topraktan ve insan aktivitelerinden geçmektedir. Kurşun içme sularında istenmeyen bir element olup sudaki konsantrasyonu 0,05 mg/l değerini geçmemelidir” (TS 266, 1997).

Çalışma alanından alınan sular üzerinde yapılan kimyasal analizlerde 2 ve 13 numaralı örneklerde 0,049 – 0,018 mg/l kurşun bulunmaktadır. Diğer örneklerde ise sonuçlar sınır değer üstünde olup; 0,057mg/l ile 0,219 mg/l arasında değişmektedir.

4.2.9 Lityum (Li)

Lityum tuzları genellikle tuzda fazla çözünmelerine karşın, yer kabuğunda az bulunuşu yeraltı sularında ender rastlanmasını etkiler. Genç magmatik ve tektonik etkinliklerin egemen olduğu yörelerde karbonik asitli sular tipik olup, karbonik asit, granodiyoritli kayaları bozundurarak suların lityumca zengin hale gelmesini sağlar. Lityum akarsulara oranla denizlerde yedi kattan fazladır (Şahinci,1991).

İnceleme alanından alınan suların analiz sonuçlarına bakıldığında, özellikle deniz suyundan alınan numunenin analiz sonucun diğerlerinden yüksek olduğu görülmüştür.

4.2.10 Kobalt (Co)

“Kobalt fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından nikel çok benzemesine rağmen yer kabuğunda daha az bulunur” (Şahinci, 1991).

Alınan örneklerin ağır metal analiz sonuçlarına göre ; TS-266 (1997) ve EPA (2001) değerleri baz alındığında, yüksek miktarlarda Al, Zn, Fe, Cd, Pb olduğu görülmüştür. Buna göre sonuçlar sınır değerlerin üstündedir. Dolayısıyla bir kirlenme söz konusudur.

4.3 Suların Sınıflaması

4.3.1 Suların Elektriksel İletkenliği

“Suların elektriksel iletkenliği (EC), elektriği geçirebilme özelliği olup iyon miktarına bağlıdır. Sudaki iyon miktarı arttıkça iletkenlik değeri de artış gösterir. Her cismin elektriği iletmesi farklıdır. Saf su elektriği çok az geçirdiği için iyi bir yalıtkandır” (Mutlu, 2004).

Genel bütün sular elektriği iletir. Özgül elektriksel iletkenliğin ölçüsü olarak $\mu\text{S}/\text{cm}$ kullanılır. Bu birim, $+25\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 1 cm^3 suyun iletkenliğidir. Tablo 4.6'da suların elektriksel iletkenliklerine göre sınıflandırılması verilmiştir.

“Su örneklerinde, suda çözülmüş toplam iyon miktarını hızlı bir şekilde tayin etmek için elektriksel iletkenliğe bakılır. Genelde iletkenlik, $50,000\ \mu\text{mho}/\text{cm}^2$ 'ye kadar sudaki iyon konsantrasyonu ile orantılı olup, su içindeki çözülmüş madde miktarı fazla ise EC değerleri de artar” (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Tablo 4.5 Çalışma alanındaki sulara bulunan eser elementler (Değerler : mg/l) (ND: Not Detected).

| Örnek No | Tarih | Al | Cr | Si | Zn | Fe | Cu | Cd | Ni | Pb | Li | Co |
|----------|------------|-------|-------|--------|-------|------|----|--------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 25.11.2006 | 0,192 | ND | 18,819 | 0,335 | 0,14 | ND | 0,011 | ND | 0,219 | 0,029 | ND |
| 2 | 25.11.2006 | 0,724 | ND | 9,882 | 0,262 | 0,15 | ND | 0,005 | ND | 0,049 | 0,04 | ND |
| 3 | 25.11.2006 | ND | ND | 18,927 | 0,124 | ND | ND | 0,008 | 0,014 | 0,053 | 0,043 | 0,093 |
| 4 | 25.11.2006 | ND | 0,018 | 15,385 | 0,084 | ND | ND | 0,002 | ND | ND | 0,044 | ND |
| 5 | 25.11.2006 | 0,538 | ND | 14,748 | 9 | 2,85 | ND | 0,014 | 0,029 | 0,089 | 0,049 | 0,054 |
| 6 | 25.11.2006 | 0,49 | 0,093 | 0,007 | 0,095 | ND | ND | 0,003 | 0,022 | ND | 0,163 | ND |
| 7 | 25.11.2006 | 0,629 | ND | 18,065 | 0,204 | ND | ND | 0,006 | ND | 0,085 | 0,031 | 0,059 |
| 8 | 25.11.2006 | 0,345 | 0,004 | 21,299 | 0,2 | 1,88 | ND | 0,01 | ND | 0,085 | 0,042 | 0,057 |
| 9 | 25.11.2006 | 0,5 | ND | 13,103 | 14 | 0,19 | ND | 0,011 | ND | 0,099 | 0,04 | 0,061 |
| 10 | 25.11.2006 | 0,165 | ND | 38,849 | 1,715 | 0,92 | ND | 0,013 | ND | ND | 0,069 | 0,036 |
| 11 | 25.11.2006 | ND | ND | 28,495 | 0,297 | ND | ND | 0,011 | ND | 0,1 | 0,021 | 0,077 |
| 12 | 25.11.2006 | 3,216 | ND | 35,044 | 0,429 | 0,12 | ND | 0,005 | ND | 0,081 | 0,031 | 0,149 |
| 13 | 25.11.2006 | 0,054 | ND | 35,37 | 0,148 | ND | ND | 0,006 | ND | 0,018 | 0,033 | 0,07 |
| 14 | 25.11.2006 | 0,326 | ND | 11,96 | 0,129 | 0,65 | ND | 0,0011 | ND | 0,116 | 0,049 | 0,175 |
| 15 | 25.11.2006 | 0,403 | ND | 13,481 | 0,115 | ND | ND | 0,009 | 0,043 | 0,057 | 0,023 | 0,142 |
| 16 | 25.11.2006 | 0,228 | ND | 45,83 | 0,149 | ND | ND | 0,01 | ND | 0,169 | 0,016 | 0,164 |
| 17 | 25.11.2006 | ND | ND | 22,352 | 0,858 | 1,98 | ND | 0,007 | ND | 0,143 | 0,029 | 0,165 |

Tablo 4.6 Suların Elektriksel İletkenliğe (EC) Göre Sınıflaması (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

| Suyun Sınıfı | EC ($\mu\text{mho/cm}$) |
|----------------|---------------------------|
| Çok İyi | <250 |
| İyi | 250-750 |
| Kullanılabilir | 750-2000 |
| Şüpheli | 2000-3000 |
| Kullanılamaz | >3000 |

İnceleme alanından alınan örneklerin EC değerleri Tablo 4.6 ‘da görüldüğü üzere 378-7580 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmekte olup deniz suyundan alınan numunede ise 59600 $\mu\text{mho/cm}$ olarak ölçülmüştür. Buna göre 4, 8, 9, 12, 15, 16, 23, 25, 29, 36 no’ lu örnekler iyi sınıfında; 1, 3, 5, 7, 10, 11, 13, 14, 17, 18, 19, 22, 26, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 35 no’ lu örnekler kullanılabilir sınıfında; 2, 24, 27 no’ lu örnekler şüpheli sınıfında; 6 ve 21 no’ lu örnekler ise kullanılamaz sınıfında yer almaktadır. Bu örnekler çok yüksek EC değerine sahip oldukları için, EC konsantrasyon dağılım haritası çizilirken göz önüne alınmamıştır.

“Kıyı bölgesi akiferlerinde elektriksel iletkenlik değerlerinin 1000 $\mu\text{S/cm}$ ’ den büyük olması durumunda deniz suyu girişiminden söz edilebilmektedir” (Somay, 2000). Şekil 4.1’ de inceleme alanındaki suların elektriksel iletkenlik (EC) konsantrasyon dağılımları görülmektedir.

4.3.2 Suların pH Değerleri

Suların hangi karaktere (asit veya bazik) sahip olduğunu gösteren bir parametredir. pH değeri 7’nin altında olan sular asidik; 8’in üstünde olan sular ise bazik özellik gösterirler. Türk Standartları Enstitüsü’ne (TS 266) göre kaynak (membra) suları dışındaki içme ve kullanma sularında tavsiye edilen pH değeri 6,5-8,5 arasında değişmektedir. Müsaade edilecek maximum değer ise 6,5- 9,2 olarak belirtilmiştir. İnceleme alanından alınan sular genelde asidik karakterli olmakla birlikte 6 ve 27 no’ lu örneklerin pH’ı 8’in üstündedir. Tablo 4.1’ de inceleme alanından alınan numunelere ait pH değerleri verilmiştir.

4.3.4 Suların Sertliği

Suların en önemli özelliği, sertliktir. Suların sertliği, başta kalsiyum, magnezyum ve bikarbonat iyonları olmak üzere kalsiyum ve magnezyum sülfat, kalsiyum ve magnezyum klorür, kalsiyum ve magnezyum nitrat ve az miktarda da demir, alüminyum ve stronsiyum iyonlarından ileri gelmektedir. Suların sertliği yada yumuşaklığı halk arasında sabunla köpürme özelliği olarak bilinir. Suların sertliği karbonat ve karbonat olmayan sertlik olmak üzere ikiye ayrılır (Tarcan, 2004).

Karbonat sertliği (geçici sertlik), kalsiyum ve magnezyum karbonat ile bikarbonatlardan ileri gelmektedir. Bu sertlik, suların kaynatılmasıyla giderilebilir. Kalsiyum ve magnezyum sülfat klorür ve nitrattan ileri gelen **karbonat olmayan sertlik (kalıcı sertlik)** ise böyle bir işlemle giderilemez. Karbonat ve karbonat olmayan ileri gelen sertliğe **toplam sertlik** denir. Türkiye’de Fransız Sertlik Derecesi kullanılmaktadır. 1 lt suda, 10 mg Ca ve Mg – bikarbonat veya buna eşit miktarda diğer sertlik verici iyonların bulunması halinde o suyun sertliği, 1 Fransız Derecesi (1°Fr.) olarak tanımlanır (Erguvanlı ve Yüzer, 1973).

Suyun sertliğini ölçmek için değişik yöntemler vardır. Örneğin; 1 Fransız sertliği, 100 ml suda bulunan 1 mg CaCO₃ miktarı ile tanımlanır. 1 Alman sertliği, 100 ml suda bulunan 1 mg Ca miktarıdır. 1 İngiliz sertliği ise, 70 ml suda bulunan 1 mg CaCO₃ miktarıdır (Şahinci, 1991). Suların sertliğini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı (4.2) kullanılabilir:

$$\text{Toplam sertlik} = 5 \times (r\text{Ca} + r\text{Mg}) \quad (r: \text{mek/l}) \quad (4.2)$$

Bu değer Fransız sertliği derecesini vermektedir. İnceleme alanından alınan örneklerin Fransız sertliğine göre sınıflaması Tablo 4.7’ de verilmiştir. Ayrıca Tablo 4.9’ da inceleme alanındaki örneklerin sertlik değerleri görülmektedir.

Tablo 4.7 Fransız Sertliği'ne Göre Suların Sınıflaması ve Örnek Numaraları.

| Fransız Sertliği | Suyun Sınıflaması | Örnek Numarası |
|------------------|-------------------|------------------------------|
| 0 -7,2 | Çok Yumuşak | 8, 12 |
| 7,2 -14,5 | Yumuşak | 4, 22, 23, 36 |
| 14,5 -21,5 | Az Sert | 9,15,16,29 |
| 21,5 - 32,5 | Oldukça Sert | 17,25,31,32,34 |
| 32,5 - 54 | Sert | 1,3,5,7,11,13,14,18,26,27,28 |
| >54 | Çok Sert | 2,6,10,19,21,24,30,33,35 |

4.3.5 Çözünmüş Madde Miktarları

Suyun içinde eriyik halde bulunan minerallerin toplam iyon miktarları olup mg/l cinsinden ifade edilmektedir. Tablo 4.8' de çözünmüş madde miktarına göre suların sınıflandırılması görülmektedir. 1000mg/l den fazla olan değerler hafif tuzlu su sınıfına girdikleri için deniz suyu girişiminin olduğunu söylemek mümkün olmaktadır. Ayrıca EPA (2001)'e göre toplam çözünmüş madde 500 mg/l olmalıdır. Buna göre; 4, 8, 9, 12, 15, 16, 23, 25, 29, 36no'lu örneklerde 500 mg/l' nin altında; diğerlerinde ise 500 mg/l' nin üstündedir.

Tablo 4.8 Suların Çözünmüş Madde Miktarına Göre Sınıflaması (Şahinci, 1991) ve Örnek Numaraları.

| Sınıf | Çözünmüş Madde Miktarı (mg/l) | Örnek Numarası |
|----------------|-------------------------------|---|
| Tatlı Su | 0 -1000 | 3,4,8,9,12,14,15,16,17,18,22,23, 25,26,28,29,31,34,36 |
| Hafif Tuzlu Su | 1000 -10.000 | 1,2,5,7,10,11,13,19,21,24, 27,30,32,33,35 |
| Tuzlu Su | 10.000 -100.000 | 6 |
| Çok Tuzlu Su | >100.000 | - |

4.3.6 Suların Fasiyes Tipine Göre Sınıflaması

Genel olarak sular kimyasal, içme, endüstride kullanılan özelliklerine göre sınıflandırılır. İçme amaçlı kullanılan suların kimyasal özelliklerinin yanında fiziksel özellikler (renk, koku, sıcaklık, vb.) ve bakteriyolojik özellikler de önemlidir. Kimyasal sınıflama; yeraltı sularının kökeni, egemen ve toplam çözünmüş iyon miktarı, değişik kökenden gelen suların karşılaştırılması, içme, kullanma, endüstri ve tarımda kimyasal yönden kullanılabilme özellikleri gibi birçok sorunun yanıtlanmasında yardımcıdır. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı ilk olarak suların üçgen diyagramlardaki iz düşüm yerine göre Back (1966) tarafından geliştirilmiştir. Buna göre suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar ayrı ayrı olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal fasiyes tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Uluslararası Hidrojeologlar Birliği (IAH; 1979) Sınıflaması'na göre, iyon konsantrasyonu (mek/l), %20'den fazla olan iyonlar dikkate alınır. Bu iyonlar arasında da en büyük yüzeye sahip olandan en küçük yüzeye sahip olana doğru sıralanır. Ancak sıralama aşamasında önce katyonlar daha sonra anyonlar gelir. Suların hidrojeokimyasal fasiyes tanımlamasında yaygın olarak bu sınıflama kullanılır (Tarcan, 2004).

Tablo 4.9'da çalışma alanındaki suların fasiyes özelliklerine göre sınıflaması görülmektedir. 6 no'lu örnek denizden alınmıştır. Na^+ ve Cl^- iyonlarının diğer örneklerle oranla daha baskın olarak görüldüğü denize yakın yerlerden alınan numunelerin yanı sıra, iç kısımlarda bulunan (özellikle 21,23 ve 27 no' lu) örneklerde Na-Mg-Cl, Na-Ca-Cl-SO₄ ve Na-Cl-SO₄ tipinde suların varlığını deniz suyu girişiminin olabileceğini söyleyerek açıklayabiliriz.

Tablo 4.9 İnceleme alanındaki su örneklerinin kimyasal fasiyes türleri (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1' deki gibidir).

| Örnek No | Sertlik (°f) | SAR | % Na | Su Tipi |
|----------|--------------|--------|--------|--|
| 1 | 42,38 | 4,39 | 52,787 | Na-Ca-Cl-HCO ₃ |
| 2 | 55,38 | 6,92 | 60,66 | Na-Ca-Cl-HCO ₃ |
| 3 | 38,63 | 3,3 | 46,542 | Na-Ca-Cl |
| 4 | 12,26 | 1,84 | 45,676 | Na-Ca-Mg-Cl-SO ₄ |
| 5 | 40,92 | 2,27 | 37,318 | Ca-Na-HCO ₃ -Cl |
| 6 | 108,56 | 146,06 | 95,704 | Na-Cl |
| 7 | 41,8 | 4,42 | 53,06 | Na-Ca-Mg-Cl-HCO ₃ |
| 8 | 5,4 | 2,23 | 60,869 | Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃ |
| 9 | 19,67 | 0,8 | 25,426 | Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄ -Cl |
| 10 | 128,97 | 2,95 | 29,284 | Ca-Na-Mg-SO ₄ -Cl |
| 11 | 41,18 | 4,35 | 52,51 | Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄ |
| 12 | 7,08 | 1,93 | 54,071 | Na-Ca-SO ₄ |
| 13 | 33,52 | 5,7 | 61,146 | Na-Ca-HCO ₃ -SO ₄ -Cl |
| 14 | 48,69 | 0,73 | 14,348 | Mg-Ca-HCO ₃ -SO ₄ |
| 15 | 20,83 | 0,73 | 21,616 | Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃ |
| 16 | 19,44 | 1,19 | 31,327 | Ca-Na-Cl-HCO ₃ |
| 17 | 25,23 | 1,45 | 31,94 | Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄ |
| 18 | 50,32 | 1,46 | 24,869 | Mg-Ca-Na-SO ₄ -Cl-HCO ₃ |
| 19 | 61,03 | 2,52 | 33,982 | Mg-Na-Ca-Cl-HCO ₃ -SO ₄ |
| 21 | 123,3 | 13,17 | 65,451 | Na-Mg-Cl |
| 22 | 12,77 | 2,93 | 58,101 | Na-Cl-SO ₄ |
| 23 | 9,66 | 1,96 | 50,886 | Na-Ca-Cl-SO ₄ |
| 24 | 73,38 | 3,5 | 39,687 | Na-Mg-Ca-Cl |
| 25 | 25,42 | 0,83 | 21,24 | Ca-Mg-Na-SO ₄ -HCO ₃ -Cl |
| 26 | 42,2 | 0,87 | 17,756 | Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl |
| 27 | 47,95 | 7,02 | 62,495 | Na-Cl-SO ₄ |
| 28 | 47,32 | 1,06 | 20,033 | Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl |

Tablo 4.9 devamı... İnceleme alanındaki su örneklerinin kimyasal fasiyes türleri (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1' deki gibidir).

| Örnek No | Sertlik (°f) | SAR | % Na | Su Tipi |
|----------|--------------|------|--------|---|
| 29 | 20,17 | 0,71 | 20,512 | Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃ |
| 30 | 74,01 | 1,89 | 26,147 | Mg-Ca-Na-Cl-SO ₄ -HCO ₃ |
| 31 | 28,82 | 2,43 | 42,284 | Na-Ca-Cl-SO ₄ |
| 32 | 31,63 | 5,23 | 59,821 | Na-Mg-Cl-SO ₄ -HCO ₃ |
| 33 | 72,13 | 1,34 | 20,155 | Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl |
| 34 | 26,7 | 1,74 | 35,472 | Ca-Na-Mg-SO ₄ -Cl-HCO ₃ |
| 35 | 66,3 | 1,31 | 20,598 | Mg-Ca-SO ₄ -HCO ₃ -Cl |
| 36 | 8,63 | 2 | 52,486 | Na-Ca-SO ₄ -Cl |

4.3.7 Suların Piper Üçgen Diyagramına ve Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramına Göre Sınıflaması

“Piper Üçgen Diyagram sınıflamasına göre; yan yana bulunan eşkenar katyon ve anyon üçgenine, iyonların litrede % mek/l değerleri işaretlendikten sonra, bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 4.2)” (Canik, 1998).

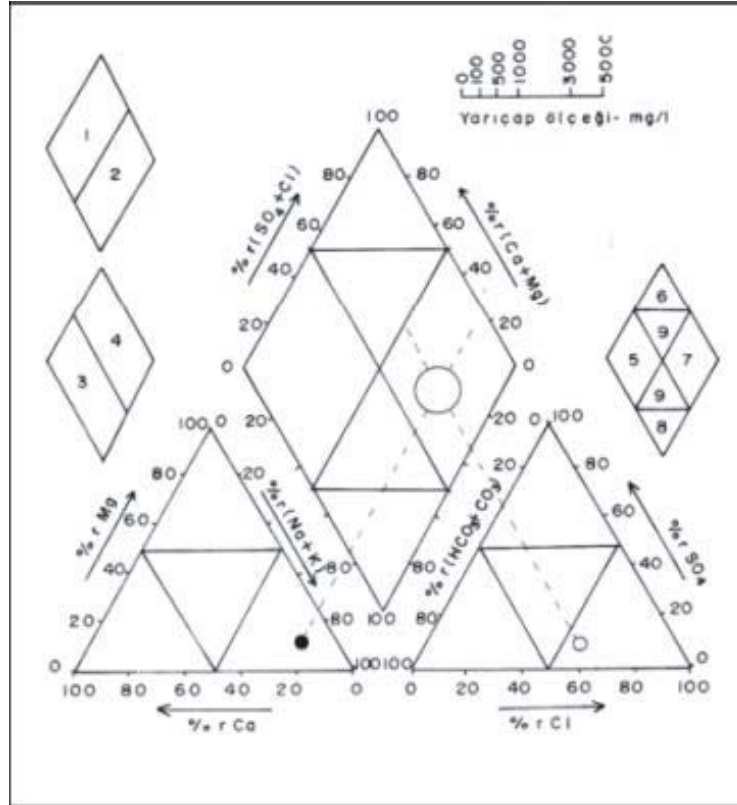
Eşkenar dörtgende suyu temsil eden noktanın bulunduğu bölge suyun ana karakterini gösterir. Bütün su örnekleri için noktalar işaretlendiğinde, aynı kökenli sular yaklaşık aynı bölgede toplanır. Böylece üçgen diyagramlar suların tiplerini belirlemeye ve suları gruplandırmaya yardımcı olurlar Ayrıca piper diyagramları suların beslenme ve boşalma alanları boyunca jeokimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimleri göstermek içinde kullanılmaktadır (Arık, 2005).

Çalışma alanındaki suların büyük çoğunluğu Şekil 4.3' te görüldüğü üzere 9 ve 7 numaralı bölgelerde toplanmıştır. 9 numaralı bölgede kalan sular, iyonların hiçbiri % 50'yi geçmeyen karışık bileşimli sular sınıfına girmektedir. 7 numaralı bölgede kalan sular ise; Karbonat olmayan alkalinitesi % 50'den fazla olan sular olup, deniz

ve çok acı sular sınıfındadır. Dolayısıyla bu bölgede kalan sular için deniz suyu girişiminin olabileceği söylenebilir.

Bölgelere düşen suların yorumu (Canik, 1998):

1. **bölgede**, $Ca+Mg > Na+K$ Karbonatlı ve sülfatlı sular
2. **bölgede**, $Na+K > Ca+Mg$ Tuzlu ve sodalı sular
3. **bölgede**, $HCO_3 + CO_3 > Cl + SO_4$ (Zayıf asit kökleri > Güçlü asit kökleri)
4. **bölgede**, $Cl + SO_4 > HCO_3 + CO_3$ ' li sular
5. **bölgede**, karbonat sertliği > karbonat olmayan sertlik. Böyle sular $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ ' lü sulardır. Karbonat sertliği % 50' den fazla olan sular,
6. **bölgede**, karbonat olmayan sertlik > karbonat sertliği. Böyle sular $CaSO_4$ ve $MgSO_4$ ' lü sulardır. Karbonat olmayan sertliği % 50' den fazla olan sular,
7. **bölgede**, karbonat olmayan alkalinite > karbonat alkalinitesi. $NaCl$, $NaSO_4$ ve KCl ' lü sular. Karbonat olmayan alkalinitesi % 50' den fazla olan sular. Alkaliler ve güçlü asitler egemendir. Deniz ve çok acı sular,
8. **bölgede**, karbonat alkaliliği > karbonat olmayan alkalilik. Doğada az rastlanan aşırı yumuşak sular,
9. **bölgede**, iyonların hiçbiri % 50' yi geçmeyen karışık bileşimli sular bulunur.

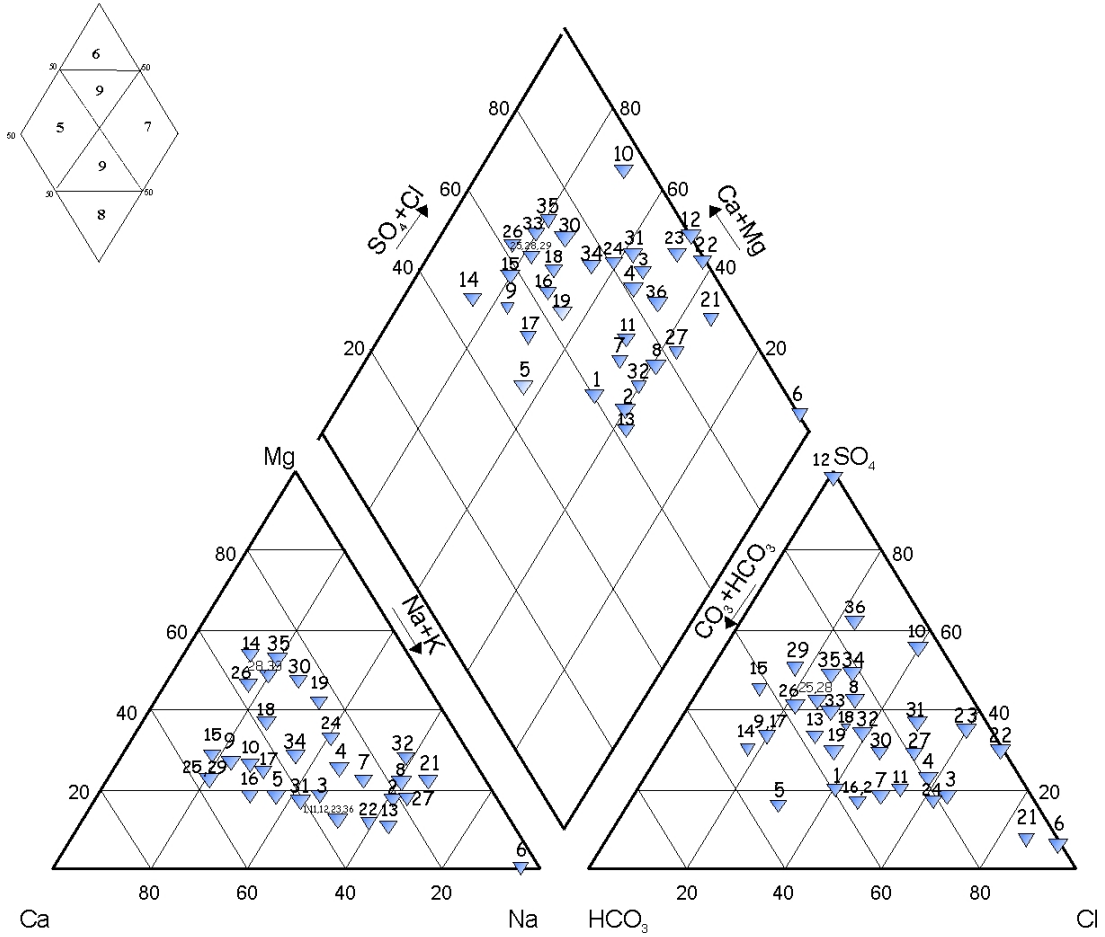


Şekil 4.2 Piper Üçgen Diyagramı.

Schoeller Diyagramı'nda logaritmik ordinat eksenine litrede miliekiyalen değerler, yatay eksene de belirli aralıklar ile soldan sağa doğru ve iyonların sırası değiştirilmeden rCa, rMg, r(Na+K), rCl, rSO₄ ve r(CO₃+HCO₃) iyonları yerleştirilir. Diyagram üzerinde her iyonun meq/l değeri, kendine ait logaritmik eksenle işaretlenerek elde edilen noktalar birleştirilir.

Böylece su örneği, diyagram üzerinde kırık çizgilerle temsil edilmiş olur. Bu diyagramda birden fazla su bir arada gösterilebileceği gibi, aynı diyagram üzerinde aynı kaynağın farklı zamanlardaki sonuçları da gösterilmek suretiyle birbirleriyle karşılaştırılabilir. Her iyonun değeri tek başına görülebilmekle birlikte, iyonların birbirine oranlarını da diyagram üzerinde kolayca görmek mümkündür. Yarı logaritmik diyagrama çizilen su analizlerinde, kırık çizgileri birbirine paralel sular, aynı tür formasyondan gelen sulardır. Yakın paralel geçmesi aynı akiferde dolaşan suyun iyonlarca eşit miktarda zenginleşmemesi sonucudur. Yeraltı suyunun

iyonlarca zenginleşmesi; suyun katettiği yolun uzunluğuna, katedilen formasyonun cinsine, suyun içinde dolaştığı kayalarla temas süresine, temas yüzeyinin ve kayaların gözenek ile çatlaklarının genişliğine bağlıdır (Canik, 1998).



Şekil 4.3 İnceleme alanındaki suların Piper Üçgen Diyagramındaki görünümü (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1 'de belirtildiği gibidir).

“Yeraltı sularının kimyasal özellikleri bakımından önemli bir yer tutan rMg/rCa , rSO_4/rCl , $r(Cl-Na)/rCl$, rNa/rCa , rNa/rMg oranları diyagram üzerindeki kırık çizgilerin eğimlerinden izlenebilir. Suların $CaSO_4$, $CaCO_3$ 'ca doygunluğu, denge pH'ı yarı logaritmik diyagram üzerinde saptanabilir” (Özer, 2005).

Çalışma alanından farklı noktalardan alınan Kasım ayına ait örnekler (Şekil 4.4) 1-17 ile, Nisan ayına ait örnekler (Şekil 4.5) ise 18-36 ile gösterilmiştir. Scholler yarı logaritmik diyagramına göre değerlendirildiğinde Kasım ayına ait diyagrama

bakıldığında 6 no' lu örnek deniz suyu olup, Na-Cl miktarı en fazladır. Bunun yanı sıra 1, 2 ve 5 no' lu örnekler birbirine paralel olduklarından aynı formasyondan geldikleri söylenebilir. Ayrıca 2 no' lu örnek 3 no' lu örneğe göre denize daha yakın bir konumdan alındığı için 3 no' lu örneğe nazaran daha fazla Na-Cl olduğu ve dolayısıyla burada bir deniz suyu girişiminin varlığı söylenebilmektedir. Nisan ayına ait diyagrama bakıldığında ise 21 no' lu örneğin Na-Cl değerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla burada da deniz suyu girişiminin olduğu söylenebilir. 27 no' lu örnek ise denize uzak konumda bulunan dereden alınmış olup, Na-Cl değerinin burada da yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca suların Ca ve HCO₃ miktarının fazla olduğu söylenebilir.

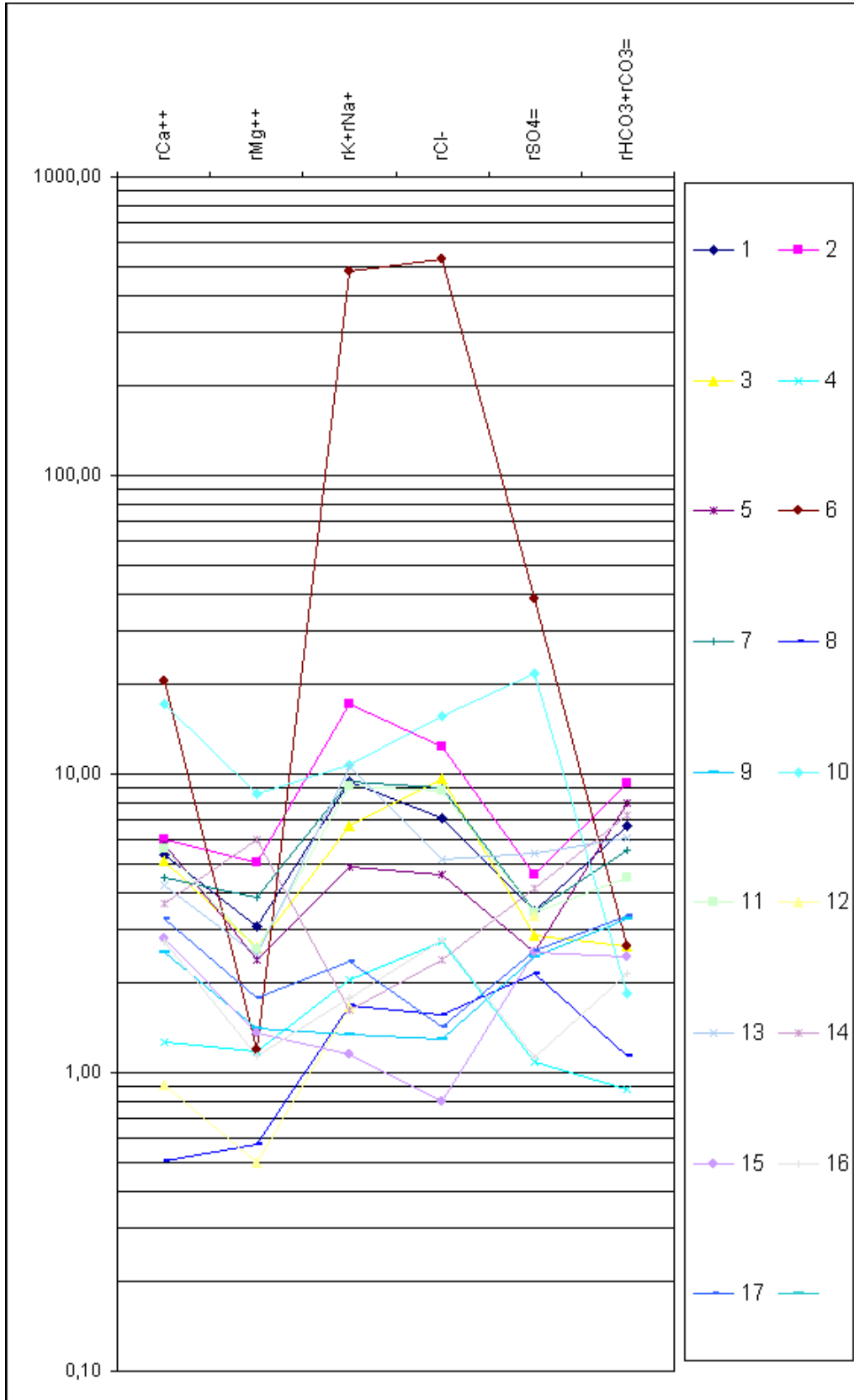
4.3.8 Sularının Kullanım Özellikleri

Doğal suların çok değişik kullanma alanları vardır. Bu kullanma alanları suyun kimyasal ve fiziksel özelliklerine bağlıdır. Birçok yazar tarafından değişik sınıflamalar yapılmıştır. Bu çalışmada incelenen suların içme ve sulamada kullanılabilirliği araştırılmıştır.

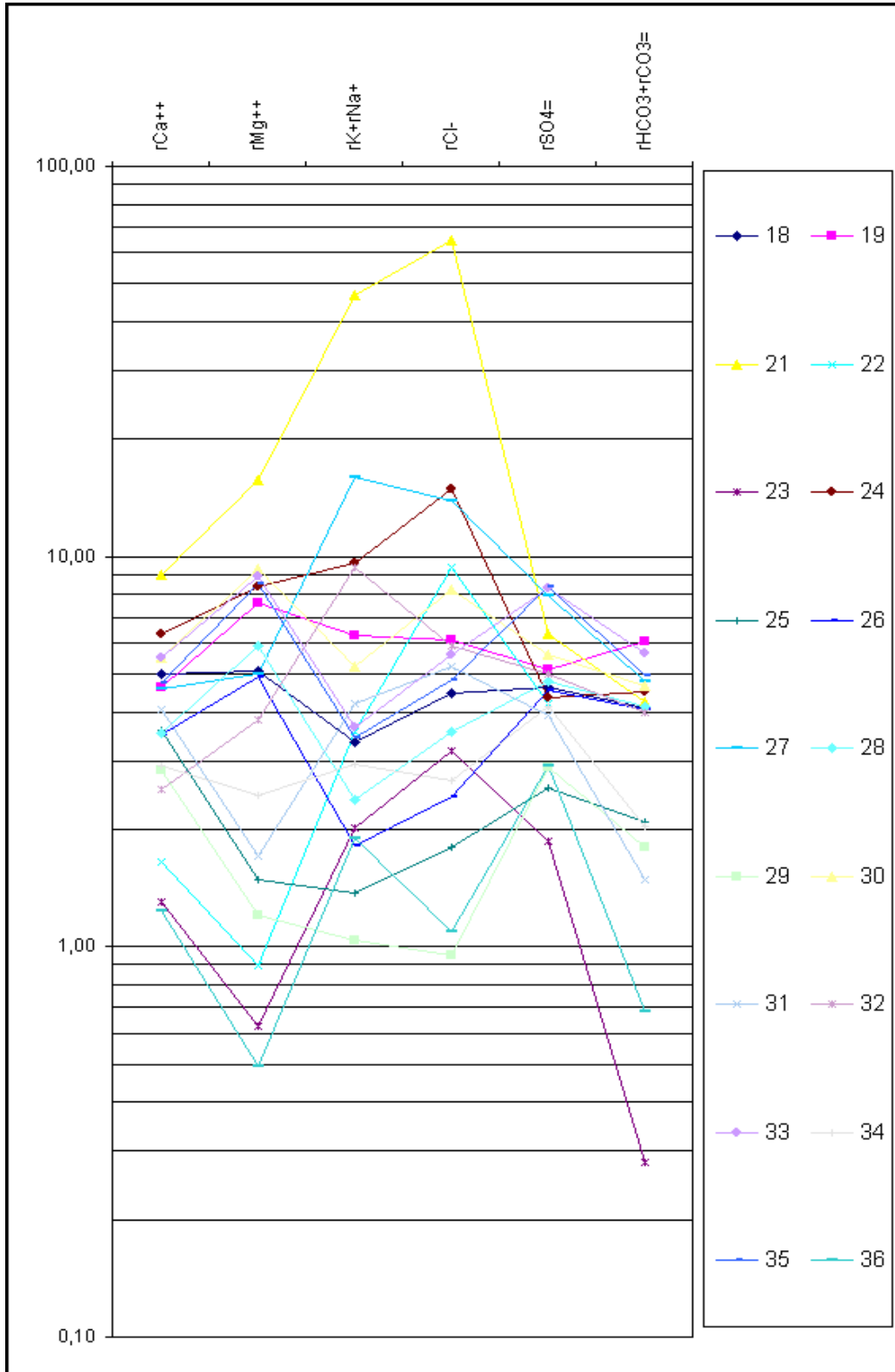
4.3.8.1 Suların İçme Özellikleri

“Suların içme özelliklerinin saptanması, iklim koşullarına, su potansiyeline ve jeolojik formasyonlara bağlı olarak ülkeden ülkeye değişir. Genel olarak içme sularının sıcaklığı 7-10 °C arasında bulunmaktadır. 5°C alt sınır, 18°C üst sınır kabul edilir” (Şahinci, 1991).

İçme suları renksiz ve kokusuz olmalıdır. İçinde hastalık yapan hiçbir bakterinin bulunmaması gerekir. Elektriksel iletkenlik (EC), 2200 µmho/cm'yi, toplam sertlik (Fransız) 45'i, buharlaşma kalıntısı 1500 mg/l'yi, özellikle insan sağlığına zararlı klorür 750 mg/l'yi, nitrat 30mg/l'yi, florür 1,5 mg/l'yi geçmemelidir ve amonyak bulunmamalıdır. Suların kirlenmesini belirleyen ise nitrat, amonyak, klorür ve organik maddelerdir. İyi bir içme suyunda toplam iyon miktarı 7,5 mek/l'yi geçemez;



Şekil 4.4 İnceleme alanındaki suların Kasım ayına ait Schoeller yarı logaritmik diyagramındaki görünümü (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1' de belirtildiği gibidir).



Şekil 4.5 İnceleme alanındaki suların Nisan ayına ait Schoeller yarı logaritmik diyagramındaki görünümü (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1' de belirtildiği gibidir).

fakat daha fazla toplam iyonu bulunan sular ancak zorunlu koşullarda içilebilir. İçme

ve kullanma sularının pH'ı 7-8,5 arasında değişir. İçme suları aşındırıcı, çürütücü ve kabuk yapıcı olmamalıdır. Schoeller tarafından geliştirilen ve suyun EC, sertlik(Fr), Na^+ , Cl^- , $(\text{SO}_4)^-$ (mg/l) miktarına bakılarak hazırlanan suyun içilebilirlik diyagramı oldukça yaygındır (Şahinci, 1991).

İnceleme alanında bulunan suların ortalama sıcaklığı yaklaşık 17 °C'dir.

4.3.8.2 Sodyum Yüzdesi ve Sodyum Adsorbsiyon Oranı (SAR)

Suların tarımda sulama suyu olarak kullanılıp kullanılmayacağını belirten bir sınıflama çeşididir. Sulama sularındaki sodyum miktarı önemli bir yer tutmaktadır. Tuzlu sulardaki Na^+ , zemindeki Ca^{+2} iyonları ile yer değiştirerek toprağın yapısını bozar ve geçirgenliğini azaltır. Sulamadan sonra zeminin üst seviyelerinde soğurulan sodyum, toprak yüzeyinde kaymak şeklinde sert bir kabuğun oluşmasına neden olarak bitki köklerinin havalanmasını engeller. Ayrıca sodyum bitkiler için zehirli bir ortam yaratır. Bu yüzden cinsine bakılmaksızın sodyumca doymuş topraklarda bitkiler çok az gelişirler veya yetişemezler.

Suların sodyum miktarı % olarak şöyle bulunur (Şahinci, 1991);

$$\% \text{Na} = 100 (\text{Na} + \text{K}) / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{K} + \text{Na}) \quad (4.3)$$

Bu bağıntının (4.3), farklı biçimde ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$\text{SAR} = r\text{Na} / [(r\text{Ca} + r\text{Mg}) / 2]^{(1/2)} \quad r : \text{mek/l} \quad (4.4)$$

Suların, % SAR değerine göre sınıflaması Tablo 4.10' da gösterilmektedir. Buna göre 21 no' lu örnek iyi kalitede sulama suyu, 6 no' lu örnek deniz suyu olup kötü ve kullanılamaz kalitede sulama suyu, diğer örnekler ise sulama için çok iyi kalitede sular sınıfına girmektedir (Tablo 4. 9'da SAR ve % Na değerleri görülmektedir).

Tablo 4.10 Suların %SAR miktarına göre sınıflaması.

| % SAR | Sınıf |
|--------------|------------------------------------|
| <10 | Çok İyi Kalitede Sulama Suyu |
| 10-18 | İyi Kalitede Sulama Suyu |
| 18 - 26 | Orta Kalitede Sulama Suyu |
| >26 | Kötü ve Kullanılmaz Kalitede Sular |

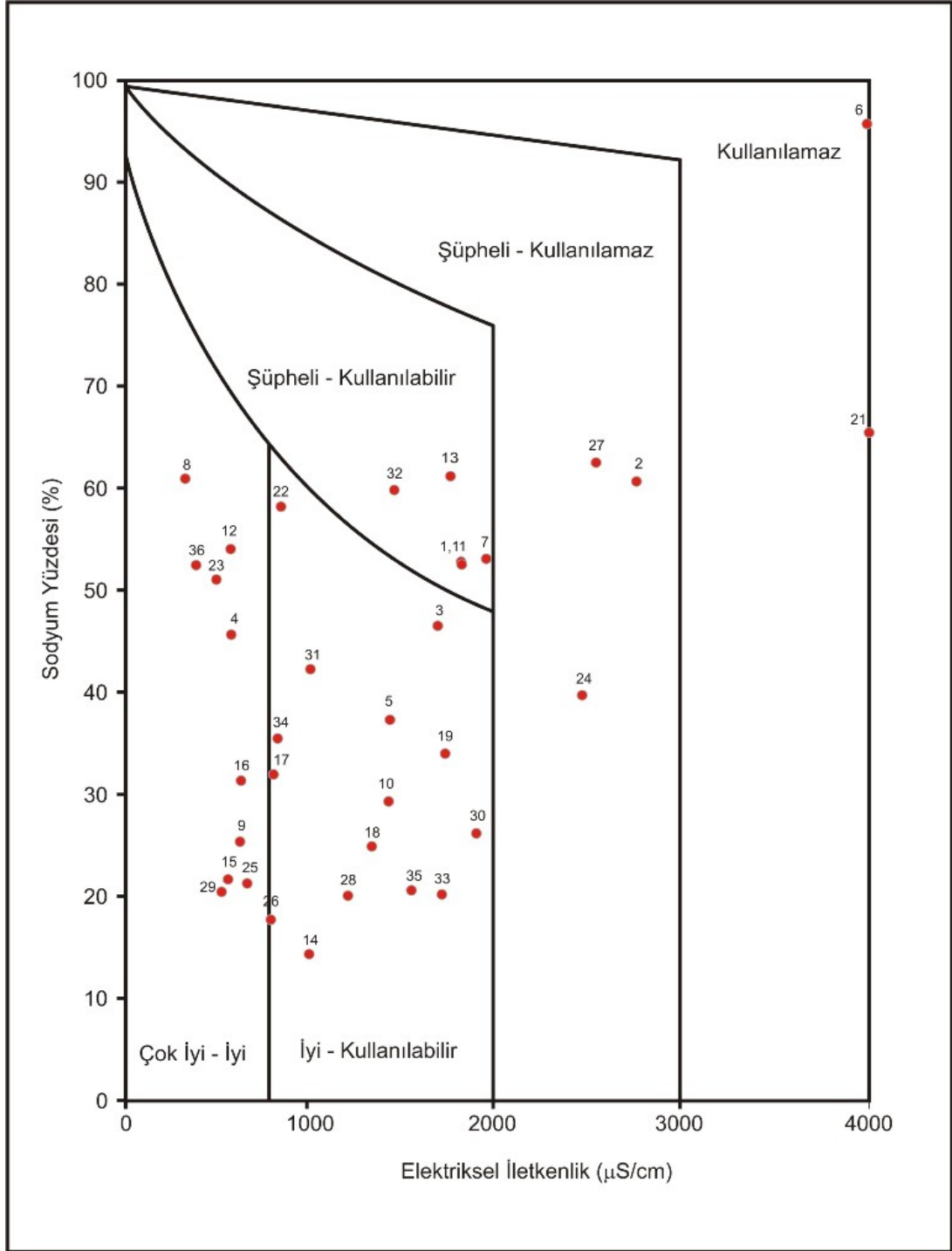
4.3.8.3 Suların Wilcox Diyagramı Yardımıyla Sınıflandırılması

Düşey ekseninde % Na miktarı, yatay ekseninde elektriksel iletkenlik (EC) gösterilmiştir. Suyun kimyasal analizlerle hesaplanan % Na değeri düşey eksene işaretlenerek bu noktadan yatay eksene paralel çizilir. EC değeri de yatay ekseninde bulunarak bu noktadan yatay eksene dik çıkılır ve paraleli kestiği nokta suyun özelliğini verir. Bu diyagramdan sulama suları doğrudan yorumlanabilir (Şahinci, 1991).

Çalışma alanındaki sular Wilcox diyagramına göre değerlendirildiğinde (Şekil 4.6) 6 ve 21 no' lu su kullanılamaz sınıfında; 2, 24 ve 27no' lu sular şüpheli-kullanılamaz sınıfında yer almaktadır. 1, 7, 11,13, 32 no' lu su örnekleri şüpheli-kullanılabilir sınıfında; diğer örnekler ise iyi-kullanılabilir ve çok iyi sular sınıfında yer almaktadırlar.

4.3.8.4 Suların A.B.D Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (USA Salinity Laboratory Diagram) Yardımıyla Sınıflandırılması

“Sulama sularının sınıflandırılmasında en çok ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı kullanılır. Düşey ekseninde SAR değeri, yatay ekseninde EC değerleri bulunur” (Özen, 2002).



Şekil 4.6 Çalışma alanındaki suların Wilcox diyagramına göre sınıflaması (Örnek numaraları Tablo 4.1 ve Şekil 1.1' de belirtildiği gibidir).

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı, tuzluluk ve sodyum tehlike derecesine göre 16 bölgeye ayrılmıştır. Hangi bölgedeki sudan hangi bitkilerin yararlanacağı belirtilmiştir.

Genel Tuzluluk Özellikleri:

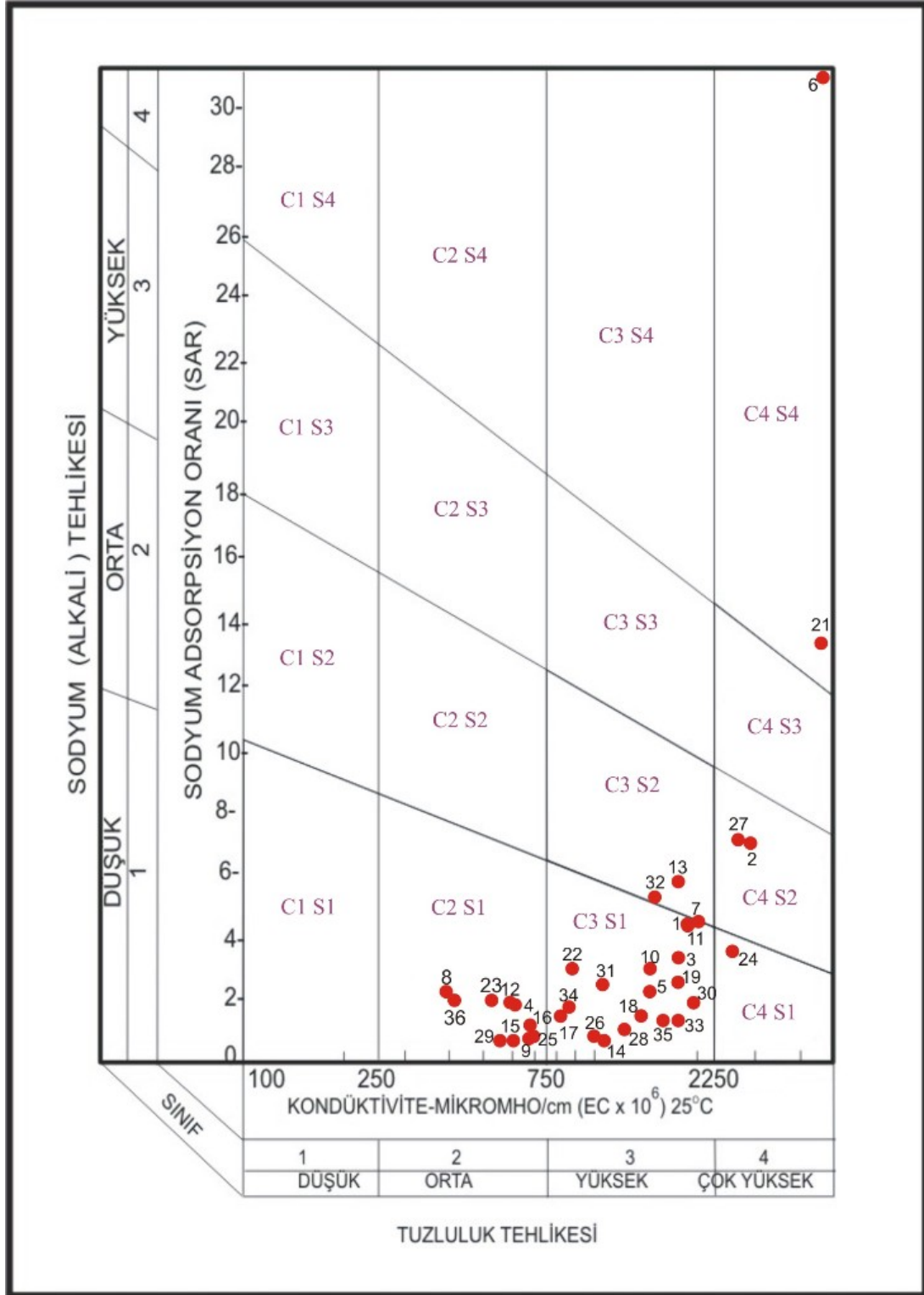
- C1** (EC 250 $\mu\text{mho/cm}$ 'den az), az tuzlu sular: Her toprakta, tüm bitkilerin sulamasında uygundur.
- C2** (EC 250-750 $\mu\text{mho/cm}$ arası), orta tuzlu sular: Orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir.
- C3** (EC 750-2250 $\mu\text{mho/cm}$ arası), tuzlu sular: Akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılmaz. Tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir.
- C4** (EC 2250 $\mu\text{mho/cm}$ 'den büyük), çok tuzlu sular: Geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir.

Genel Sodyum Tehlikesi Özellikleri:

- S1**, az sodyumlu sular: Tüm topraklarda sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.
- S2**, orta sodyumlu sular: Geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir.
- S3**, yüksek sodyumlu sular: Birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi yaratabilir.
- S4**, az sodyumlu sular: Genel olarak sular için uygun değildir.

İnceleme alanındaki suların ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramındaki yerleri Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

İnceleme alanında bulunan sulardan 6 ve 21 no' lu su örnekleri C4-S4 (çok tuzlu-çok yüksek sodyumlu sular) sınıfına, 2 ve 27 no' lu su örnekleri C4-S2 (çok tuzlu-orta sodyumlu sular) sınıfına, 24 no' lu su örneği C4-S1 (çok tuzlu-az sodyumlu sular) sınıfına, 7,13 ve 32 no' lu su örnekleri C3-S2 (tuzlu-orta sodyumlu sular) sınıfına, diğer örneklerin bir kısmı C2-S1 (orta tuzlu-az sodyumlu), diğer bir kısım ise C3-S1 (tuzlu-az sodyumlu)sınıfına girmektedir.



Az tuzlu sular her toprakta tüm bitkilerin sulanmasına uygundur. Orta tuzlu sularda, orta akaçlama özelliğindeki topraklarda, tuzluluk tehlikesi olmadan tüm bitkiler sulanabilir. Tuzlu sular, akaçlaması kötü olan arazilerde sulamada kullanılamaz. Zemindeki tuz miktarının gözlenmesi gerekebilir. Bu özellikteki sular kullanılacaksa tuza dayanıklı bitkiler seçilmelidir. Çok tuzlu sularda, geçirgenliği ve akaçlaması çok iyi olan topraklarda, zeminin yıkanmasını sağlamak için bol su verilmelidir ve tuza fazla dayanıklı olan bitki türleri seçilmelidir. Az sodyumlu sular, her toprakta, tüm bitkilerin sulanmasında sodyum tehlikesi yaratmadan kullanılabilir. Orta sodyumlu sular, geçirgen veya bol jipsli arazilerde kullanılabilir. Yıkama ile toprağın tuzluluğu azaltılıyorsa, özellikle bu tip sular kullanılmalıdır. Yüksek sodyumlu sular, birçok toprak cinsinde sodyum tehlikesi olabilir. Çok iyi geçirgen ve akaçlama gösteren arazilerde bol su kullanılarak belirli sürelerde yapılacak kimyasal analizlerle sodyum tehlikesi denetlenmelidir. Çok yüksek sodyumlu sular, genel olarak sulama için uygun değildir. Ancak suyun toplam tuz miktarı düşük ise sulamada kullanılabilir (Özer, 2005).

Şahinci (1991)'e göre; inceleme alanında bulunan C3-S1 ve C2-S1 sınıfında yer alan suların sulama için uygun olduğu fakat C4-S4 ve C4-S2 sınıfındaki suların ise sulamada kullanılmayacağı söylenebilir. C4-S1 ve C3-S2 sınıfında yer alan sular ise bazı özel koşullarda kullanılabilir.

4.3.9 İnceleme Alanında Yer Alan Suların Doygunluk İndeksleri

Mineral doyumluk indekslerinin hesaplanması, suların üretim ve iletimi aşamasında olabilecek olası çökellerin önceden tahmin edilmesi, üretim ve malzeme kaybı olmadan önce alınabilecek önlemler açısından oldukça önemlidir. Hesaplamalarda Hydrowin bilgisayar programı kullanılmıştır. Analizi yapılan su numuneleri, hidrojeokimyasal programlar ile değerlendirilerek yorumlanmıştır (Özer, 2005).

Suların mineral doyumlukları su içindeki iyonların ve minerallerin Gibbs serbest enerjileri (ΔG^0) ile iyon etkinliklerinin bilinmesi ile ilişkilidir. Su içindeki kimyasal

bir tepkimenin Gibbs serbest enerjisi (ΔG^0) ile tepkimedeki iyon veya bileşiklerin derişimleri arasındaki ilişki aşağıdaki global denklemle yazılabilir.

$$\Delta G^0 = -R t \ln K \quad (4.5)$$

Bağıntıdaki; R, gazların sabiti (0,001987 kcal/mol), T, sıcaklık derecesi (Kelvin), ln doğal logaritma ve K, tepkimenin denge sabitidir. (4.5) bağıntısı hidrojeokimyada oldukça önemli bir yer tutar. Çünkü kimyasal tepkimelerin serbest enerjileri bilinirse kimyasal denge sabitleri, çözülmüş iyonların çökebilme özellikleri, iyon değişimi ve kimyasal bozunum şekilleri önceden tahmin edilebilir. Standart koşullarda kimyasal tepkimelerin standart serbest enerji değişim miktarları tepkime sonu ortaya çıkan maddelerin serbest enerjileri toplamı ($\Sigma \Delta G^0_{ts}$), ile tepkime başlangıcındaki maddelerin toplam serbest enerjileri ($\Sigma \Delta G^0_{tb}$) farkına eşittir (Özen, 2002).

$$\Delta G^0 = \Sigma \Delta G^0_{ts} - \Sigma \Delta G^0_{tb} \quad (4.6)$$

Standart koşullarda herhangi bir kimyasal tepkime şu şekildedir.



Denge sabiti ile tepkime bileşenlerinin derişimleri arasındaki ilişki (4.7) tepkimeye giren maddelerin iyon etkinlikleri toplamının tepkimedan çıkan maddelerin iyon etkinlikleri tepkimesi dikkate alındığında aşağıdaki şekilde gelişir.

$$K = (aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c \quad (4.8)$$

Denklemden ilgili iyonun etkinliğini (etkin derişimini) tanımlar ve,

$$a = \gamma C \quad (4.9)$$

ile tanımlanır; Bu denklemde de γ iyon etkinlik katsayısını, C ise molalite olarak iyon derişimini belirtir. (4.8) no'lu denklem (4.5) no' lu denklemde yerine konulduğunda;

$\Delta G^0 = - RT \ln [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c]$, denklemde ilgili parametreler (standart koşullarda) yerine konur ve ondalık logaritmaya çevrilirse;

$$\log K = - \Delta G^0 / 1,3641 \quad (4.10)$$

$$\log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] = - \Delta G^0 / 1,3641 \quad (4.11)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemde tepkimeye giren ve çıkan maddelerin dengede olması durumunda eşitliğin her iki yanı birbirine eşittir. Denge durumunun değişmesi ile eşitlik bozularak, tepkimeye girenler veya çıkanlar yönünde değişecektir. Bu yönün tahmin edilmesi mineral doygunluğu hesaplamalarının temelini oluşturmaktadır (Tarcan, 2004).

Buradan yola çıkılarak doygunluk indeksi (Dİ) (saturation index = SI) kavramı geliştirilmiştir.

$$Dİ = \log [(aY)^y (aZ)^z / (aB)^b (aC)^c] / (- \Delta G^0 / 1,3641) = \log (Q/K) \quad (4.12)$$

Yukarıdaki tepkimede büyük parantez içindeki ifade tepkime oranını (Q) belirtir. Tepkime denge sabitine benzer, farkı tepkimenin dengede olmayabilirliğidir. Tepkimedeki (4.7 eşitliğindeki) mineral (katı faz) bileşik olarak yazıldığında (bütün katıların iyon etkinlikleri 1 kabul edilir) denge sabiti $K = (aY)^y (aZ)^z$ (tepkimeden çıkan maddelerin iyon etkinlikleri toplamı =IAP) olacağından (4.12) no'lu denklem de şu şekilde gelişecektir.

$$Dİ = \log [(aY)^y (aZ)^z] / (- \Delta G^0 / 1,3641) = \log (AP/K) \quad (4.13)$$

Özet olarak SI, $\log(Q/K)$ veya $\log(AP/K)$ şeklinde de gösterilebilen logaritmik bir kavramdan oluşur. Her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişen değerler içerir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indeksi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanır.

SI (Q/K) = 0 ise su ilgili mineral ile dengededir (doygundur).

SI (Q/K) > 0 ise su ilgili minerale aşırı doygundur (mineral çöktürücü özelliktedir).

SI (Q/K) < 0 ise su ilgili minerale doygun değildir (mineral çözüldürücü özelliktedir).

İnceleme alanında en çok çökel ürünü olarak rastlanabilecek mineraller Tablo 4.11'de verilmiştir.

Buna göre Kalsit, Aragonit, Dolomit, Siderit ve Magnezit'in bazı örneklerde doygunluk altı (yani akiferdeki su bu mineralleri çözüldürücü özellikte), bazı örneklerde ise doygunluk üstü değerler verdiği gözlenmektedir. Kuvars ve Kalsedon ise deniz suyunda doygunluk altı, diğer örneklerde ise doygunluk üstünde değerler verirken; Gips ve Anhidrit doygunluk altında değerler vermektedir. Su örneklerine bakıldığı zaman;

Kalsit; 1, 2, 5, 6, 9, 11, 13, 14, 21, 24, 27, 30, 33, 35 no' lu örneklerde doygunluk üstü; 3, 4, 7, 8, 10, 15, 16, 17, 18, 19, 23, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 34, 36 no' lu örneklerde ise doygunluk altı değerler verip, 12 ve 22 no' lu örneklerde kalsit bulunmamaktadır.

Aragonit; 1, 2, 5, 6, 9, 11, 13, 24, 27, 30 no' lu örnekler doygunluk üstü; 3, 4, 7, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no' lu örnekler doygunluk altı değerler verip, 12 ve 22 no' lu örneklerde aragonit bulunmamaktadır.

Dolomit; 1, 2, 5, 6, 7, 9, 11, 13, 14, 19, 21, 24, 27, 28, 30, 32, 33, 35 no' lu örnekler doygunluk üstü; 3, 4, 8, 10, 15, 16, 17, 18, 23, 25, 26, 29, 31, 34, 36 no' lu

örnekler doygunluk altı değerler verip, 12 ve 22 no' lu örneklerde dolomit bulunmamaktadır.

Siderit; 5 no' lu örnekte doygunluk üstü; 1, 2, 8, 9, 10, 14, 17 no' lu örnekler doygunluk altı değerler verip, diğer örneklerde siderit bulunmamaktadır.

Magnezit; 2, 24, 27, 30 no' lu örnekler doygunluk üstü; 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 25, 26, 28, 29, 31, 32, 33, 34, 35, 36 no' lu örnekler doygunluk altı değerler verip, 12 ve 22 no' lu örneklerde magnezit bulunmamaktadır.

Kuvars ve kalsedon sadece 6 no' lu örnek hariç, diğer örneklerde doygunluk üstü değerler vermektedir.

Jips ve anhidrit ise bütün örneklerde doygunluk altı değerler vermektedir.

“Suda çözülmüş halde bulunan bozuşmuş minerallerin çözünürlükleri sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Dolayısı ile farklı sıcaklıklardaki sistemlerde, farklı mineraller denge halinde bulunacaktır. Minerallerin doygunluk durumu akifer sıcaklıklarının tahmininde de kullanılabilir” (Özer,2005).

Siderit; Fe ve Al değerlerinin düşük olduğu ve ölçülemediği örneklerde hesaplanamamıştır.

Tablo 4.11 İnceleme alanındaki sulara rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri.

| Örnek No | Calcite | Aragonite | Dolomite | Siderite | Magnesite | Quartz | Chalcedony | Gypsum | Anhydrite |
|----------|---------|-----------|----------|----------|-----------|--------|------------|--------|-----------|
| 1 | 0,31 | 0,161 | 0,636 | -0,662 | -0,469 | 0,928 | 0,474 | -1,342 | -1,587 |
| 2 | 0,773 | 0,624 | 1,729 | -0,218 | 0,149 | 0,654 | 0,198 | -1,262 | -1,508 |
| 3 | -0,693 | -0,843 | -1,426 | | -1,522 | 0,928 | 0,474 | -1,413 | -1,658 |
| 4 | -2,041 | -2,189 | -3,871 | | -2,594 | 0,824 | 0,373 | -2,212 | -2,454 |
| 5 | 0,232 | 0,082 | 0,346 | 0,527 | -0,704 | 0,835 | 0,378 | -1,412 | -1,659 |
| 6 | 0,907 | 0,757 | 0,826 | | -0,887 | -2,485 | -2,941 | -0,291 | -0,537 |
| 7 | -0,031 | -0,178 | 0,088 | | -0,599 | 0,869 | 0,423 | -1,426 | -1,664 |
| 8 | -1,962 | -2,111 | -3,62 | -0,774 | -2,438 | 0,974 | 0,521 | -2,296 | -2,54 |
| 9 | 0,193 | 0,042 | 0,399 | -0,325 | -0,622 | 0,788 | 0,329 | -1,644 | -1,892 |
| 10 | -0,002 | -0,151 | -0,075 | -0,585 | -0,856 | 1,239 | 0,785 | -0,4 | -0,644 |
| 11 | 0,403 | 0,254 | 0,711 | | -0,465 | 1,095 | 0,643 | -1,322 | -1,565 |
| 12 | | | | | | 1,203 | 0,747 | -1,865 | -2,111 |
| 13 | 0,301 | 0,154 | 0,581 | | -0,444 | 1,163 | 0,717 | -1,254 | -1,493 |
| 14 | 0,062 | -0,089 | 0,623 | -0,08 | -0,291 | 0,763 | 0,301 | -1,423 | -1,672 |
| 15 | -0,324 | -0,473 | -0,709 | | -1,174 | 0,78 | 0,326 | -1,576 | -1,821 |
| 16 | -1,192 | -1,342 | -2,51 | | -2,11 | 1,314 | 0,859 | -1,91 | -2,155 |
| 17 | -0,919 | -1,068 | -1,867 | -0,519 | -1,708 | 0,985 | 0,534 | -1,546 | -1,789 |
| 18 | -0,139 | -0,283 | -0,143 | | -0,571 | 0,569 | 0,139 | -1,264 | -1,485 |
| 19 | -0,114 | -0,258 | 0,114 | | -0,34 | 0,654 | 0,225 | -1,311 | -1,532 |
| 21 | 0,058 | -0,085 | 0,486 | | -0,14 | 0,674 | 0,244 | -1,211 | -1,431 |

Tablo 4.11 devamı... İnceleme alanındaki sularda rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri.

| Örnek No | Calcite | Aragonite | Dolomite | Siderite | Magnesite | Quartz | Chalcedony | Gypsum | Anhydrite |
|----------|---------|-----------|----------|----------|-----------|--------|------------|--------|-----------|
| 22 | | | | | | 1,133 | 0,703 | -1,642 | -1,862 |
| 23 | -3,156 | -3,299 | -6,502 | | -3,914 | 1,128 | 0,699 | -1,974 | -2,195 |
| 24 | 0,536 | 0,392 | 1,321 | | 0,218 | 0,531 | 0,101 | -1,296 | -1,517 |
| 25 | -0,132 | -0,275 | -0,521 | | -0,957 | 0,665 | 0,235 | -1,496 | -1,716 |
| 26 | -0,191 | -0,335 | -0,107 | | -0,483 | 0,597 | 0,167 | -1,383 | -1,604 |
| 27 | 1,449 | 1,305 | 3,058 | | 1,042 | 0,449 | 0,019 | -1,163 | -1,383 |
| 28 | -0,11 | -0,254 | 0,131 | | -0,326 | 0,693 | 0,263 | -1,387 | -1,607 |

4.4 Deniz Suyu Girişimi

İşcan (1964)'de Ayvalık ve Altınova yeraltı suyu rezervi birlikte hesaplanmıştır. Beslenme hesabının yağıştan yeraltı suyuna süzülen su miktarına göre yapıldığı belirtilmiştir. Buna göre Paleozoyik şist ve kalkerden $0,054 \times 10^6$ m³/yıl, Neojen göl fasiyesinden $0,998 \times 10^6$ m³/yıl, alüvyondan ise $11,609 \times 10^6$ m³/yıl, olmak üzere toplam $13,37 \times 10^6$ m³/yıl yeraltı suyu beslenimi olduğu hesaplanmıştır (Gül, 2005).

Arık (1988)'de Ayvalık İlçesi ve Küçükköy Belediyesi su ihtiyacını karşılamak amacıyla Altınova Ovası'nda yapılan hidrojeolojik etüt çalışmaları sonucunda, bölgesel jeolojinin Neojen yaşlı, kil, marn, kalker, konglomera, volkanik kayalar ve kuvaterner yaşlı alüvyondan oluştuğu, inceleme alanının kil, şilt, kum, çakıl danelerinden oluşan malzemenin meydana getirdiği alüvyonun, akiferi teşkil ettiği ve kalınlığının maksimum 60 m olduğu belirtilmiştir.

Cengiz ve Durmaz (1990)'da Ayvalık, Altınova ve Dikili ovalarındaki jeofizik etüt çalışmalarında, D.S.İ. yapısı sığ rezistivite cihazı kullanıldığı, 15 hat üzerinde, 81 noktada 7-160 m derinliğe nüfuz eden düşey elektrik sondaj ölçüleri alınarak, inceleme alanında varsa gömülü fay ve vadilerin tespiti, temeli oluşturan formasyonların etüt sahası içindeki yayılım ve derinlikleri tespiti, tuzlu zonların, tatlı-tuzlu su girişim sınırlarının tespiti amacıyla yapıldığı belirtilmiştir. Rezistivite değerlerine göre alüvyonun çakıl, çakıllı kum, kumlu kil, çakıllı kumlu kil, kil seviyeleri ve tuzluluk değerlerini verdiği, alüvyonun eş kalınlık haritası çizildiği, bu haritaya göre, alüvyonun 3-100 m arasında değiştiği, Altınova'da alüvyon kalınlığının en fazla olduğu belirtilmiştir (Gül, 2005).

DSİ (1990) ve Yıldız (1992)'de Ayvalık-Altınova-Dikili ovaları çevresinin uygulamalı jeolojisi çalışmasında, bölgeye ait toplam 10300 ha. arazinin yeraltı suyundan ve yüzey suyundan sulanabilmesi, ayrıca içme kullanma suyu sağlanması için yeraltı suyu rezervi hesaplanmıştır. Bölgede hangi derinlikte, ne kalitede yeraltı suyu bulunduğu saptanmış, deniz suyu ve yeraltı suyu arasındaki etkileşim ortaya çıkarılmıştır. Yeraltı su seviyesinden yararlanılarak, yeraltı su tablası haritaları

çizilmiş ve yeraltı suyunun yıllara göre değişimi saptanmıştır. Yağış ve yeraltı suyu seviye değişimlerinden yararlanarak yağıştan yeraltı suyuna süzülen miktar bulunmuş, yeraltı suyu beslenimi hesaplanmıştır. 13 km² ova alanı ile Ayvalık Ovası'ndaki yeraltı suyu beslenimi $2,55 \times 10^6$ m³/yıl, boşalımı 23×10^6 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Ayvalık Ovası'nda yeraltı suyu boşalımı, suni boşalım ve buharlaşma-terleme yoluyla olmaktadır. Ovada denize boşalım olmadığı için, deniz suyunun kara içine ilerlediği tespit edilmiş ve daha fazla çekim yapılmaması gerektiği belirtilmiştir (D,S,İ 1990) ve (Yıldız, 1992).

Gül (2005) ise inceleme alanı yakınında bulunan Altınova Ovası'nda kıyı boyunca açılmış, sulama ve kullanma suyu sondaj kuyuları yardımıyla tuzlu su girişiminin incelenmesi amacıyla hazırlanmış olduğu çalışması için, bölgede D.S.İ ve İller Bankası tarafından açılmış sondaj kuyularından aldığı numunelerin kimyasal analizlerini yaparak kuyulardaki hakim katyonun Na⁺, anyonun ise Cl⁻ olduğunu saptamış ve buna göre seniz suyu girişiminin olduğunu söylemiştir. Ayrıca kuyuların EC, katyon ve anyon değerlerinin zamanla değişimini inceleyip regresyon denklemleri kullanarak parametrelerin 2025 yılına ait değerlerini belirlemiştir. Buna göre pompaja devam edilmesi halinde EC değerlerinin giderek artacağı ve böylece deniz suyu girişiminin de artacağını söyleyerek pompajın kontrol altına alınmasının gerekli olduğunu söylemiştir.

Gül (2005), çalışmasında incelenen sondaj kuyularının kendini yenileyebilme özelliklerinin çok belirgin olduğunu ve aşırı tuzlanmadan dolayı kullanımına ara verilen bazı kuyularının EC değerlerinin hızla üstüğünü, çiftçinin D.S.İ' nin su kullanım planına göre yönlendirilmesiyle akiferin kendini yenileyerek, tuzlanmanın azalabileceğini ve hatta zamanla yok olabileceğini söylemiştir.

M. Emin Aydın (D.S.İ 25. Bölge Müdürlüğü) ile yapılan sözlü görüşmede (Haziran, 2006) alınan bilgiye göre Ayvalık-Altınova'da Ghyben-Herzberg bağıntısına göre tuzlu su kamasının uzunluğu 1990 yılında 1400 m ve 2005 yılında ise 1875 m olarak bulunmuştur. Buna göre 15 yılda tuzlu su girişimi 475 m

ilerlemiştir. Bu gelişme nedeniyle ova yeraltı suyu işletmesine kapatılmış olup yeni kuyu açılmasına izin verilmemekte ve yeraltı suyu tahsisi yapılmamaktadır.

Kıyı akiferleri normal koşullarda suyunu denize boşaltırlar. Yerleşim ve endüstri bölgelerinde suya olan ihtiyacın artması nedeniyle akiferler aşırı pompalanmaya başlanmış ve böylece denize akan yeraltı suyu azalmıştır. Kuyulardan pompa ile aşırı su çekilmesi, denize doğru olan su tablasının eğimini azaltır ya da su seviyesi deniz seviyesinden aşağı düşer. Böylece deniz suyu, tatlı su akiferlerine doğru sokulur. Tuzlu suyun kıyılardaki tatlı su akiferlerine doğru ilerlemesi olayına deniz suyu girişimi (intrüzyonu) denilmektedir. Deniz suyunun tatlı su akiferlerine doğru ilerlemesiyle akiferlerin suları tuzlanarak kullanılamaz hale gelir ve bununla birlikte tuzlanan akiferin tekrar tatlı su akiferine dönüşmesi için uzun yıllar geçmesi gerekir. Deniz suyu girişimine gel-git ve rüzgar hareketi gibi doğal olaylar da yol açabilmektedir. Deniz suyu girişimi ilk defa 1855'te Londra ve Liverpool'da açılan kuyularda gözlenmiş ve bulguları Braithwaite tarafından yayınlanmıştır (Canik,1998).

Hollanda, Amerika, Almanya, Japonya gibi yeraltı sularından en çok faydalanan gelişmiş ülkelerde kıyı akiferlerinde açılan bazı kuyuların tatlı su- tuzlu su ilişkisi araştırılıp incelenmeden fazla su çekilmesinden dolayı bu kuyular deniz suyu ile kirlenmiş bulunmaktadırlar. Ülkemizin de üç tarafının denizlerle çevrili olması ve ayrıca iç bölgelerde tuzlu göllerin bulunması deniz suyu girişimini mümkün kılmaktadır. Marmara, Ege, Akdeniz sahillerinde kıyı akiferlerinde açılan kuyulardan aşırı su çekilmesinden dolayı bu kuyularda tuzlanma gözlenmiştir. İçme ve kullanma suyunun büyük bir bölümünü yeraltı sularından sağlayan sahildeki yerleşme merkezleri için deniz suyu girişimi büyük bir sorun haline gelmiştir (Canik, 1998).

Tuzlu su, direkt olarak gözlem kuyularında elektriksel elektrotlarla veya örnekleme yoluyla, dolaylı olarak ise jeoelektrik metotlarla tespit edilebilir. İyi kaliteli su akiferleri içeren kalın Kuvaterner havzalarının varlığı sebebiyle su sağlamak için yeraltı suyu kaynaklarının geliştirmesi Türkiye'de geniş yayımlı bir uygulamadır. Sabit koşulları altında, kıyı akiferlerinde denizi suyu ve tatlı su

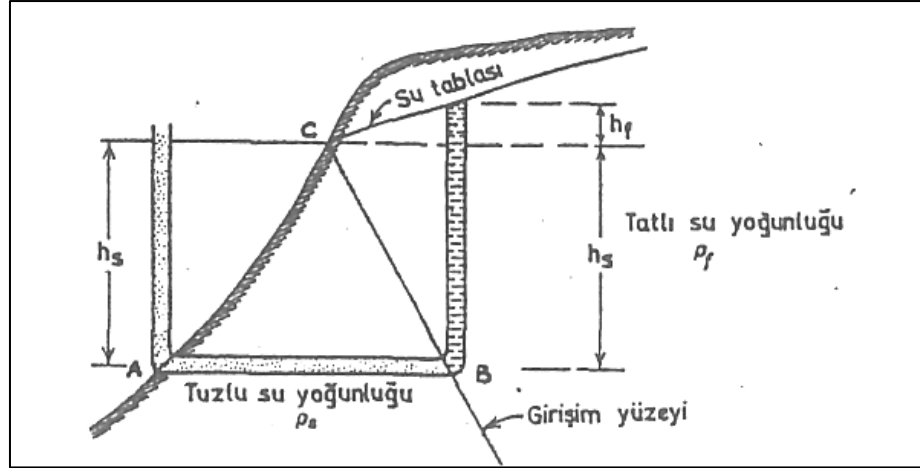
arasında bir denge durumu kurulabilir. Fakat, su talebinin artması nedeniyle yeraltı sularının gereğinden fazla çekilmesi sonucu doğal denge bozulur ve sonuçta deniz suyu girişimini akifer içine kadar erişebilir (Demirel, 2003).

Kıyı akiferleri istismar edilerek kullanıldığı için ciddi bir deniz suyu girişi riski ile karşı karşıyadır. Bunun ötesinde deniz suyunun kirlenmeyen zonlara geçişinde, bu prosesin ortaya çıkmasını ve ilerlemesini önlemek büyük bir zorluktur. Buna rağmen deneysel formüllerle, tatlı su- deniz suyu kesişiminin pozisyonu için yaklaşım yapılabilir ve akiferin hidrojeolojik özellikleri ile deniz suyuna tedricen geçişi saptanabilir. Bu yüzden kesişme noktası kıyı akiferlerini hidrojeolojik koşulların değişiminde çok büyük öneme sahiptir. Dünyanın bazı bölgelerini açıkça etkilemeye başlayan iklim değişimlerinin olmasına rağmen, şehirleşmeden dolayı pek çok kıyı akiferlerinde direkt insanların etkisiyle kaynakların değişimi daha büyük ve daha hızlıdır. Tuzlu sahanın yerini tespit etmek için en direct method, tuzlukluktaki ani kesikliğe kadar farklı derinliklerde suyun iletkenliğin ölçülmesidir. Tuzlu sahanın görüntülenmesi için deneme sondajları açılırken akiferlerin sedimentlerinin kohezyonunun eksikliği sebebiyle özel yöntemlerin kullanılması gerekebilir bu da maliyet açısından sondajların açımını engelleyebilir. Ancak, tatlı su tuzlu su arayüzünün lokasyonuna karar vermek için jeofizik teknikler uygun bir method olabilir, maliyetleri azaltılır ve daha iyi sonuçlar alınabilir. Bunun ötesinde bu jeofizik methodlar akiferin sedimentleri ve ara yüzün karakteristikleri hakkında tamamlayıcı bilgi sağlar (Duque ve diğer., 2007).

Avrupa kıyılarında yaptıkları çalışmalar sonunda Ghyben-Herzberg (1889), sahillerin kara kesimlerinde, yeraltı suyu seviyesinin deniz yüzeyinden yüksekliğinin 40 katı derinliğinde (deniz seviyesinden itibaren) tuzlu su mevcut olduğunu gözlemişler ve daha sonra, matematiksel olarak da aynı sonucu elde etmişlerdir. Bu bağıntı, "Ghyben-Herzberg Bağıntısı" olarak bilinir (Gül, 2005).

Bu bağıntı tatlı yeraltı suyu ile tuzlu su arasındaki girişim yüzeyi boyunca, yoğunluk farkından kaynaklanan statik bir dengenin varlığı esasına dayanır (Canik, 1998).

Şekil 4.8' deki sahil kesimi göz önüne alındığında A ve B noktalarındaki hidrostatik basınçlar;



Şekil 4.8 Serbest bir kıyı akiferinde tatlı su tuzlu su girişiminin Ghyben-Herzberg bağıntısına göre şematik gösterimi (Erguvanlı ve Yüzer, 1984; Gül, 2005).

$$P_A = h_s g \rho_s \quad (4.14)$$

$$P_B = h_f g \rho_f + h_s g \rho_f \quad (4.15)$$

olur. Burada;

h_f : Su tablasının (yeraltı su seviyesinin) denizden yüksekliğini(m),

h_s : Tuzlu suyun gözlendiği derinliğini(m),

g : Yerçekimi ivmesini,

ρ_s : Tuzlu suyun özgül kütleini(gr/cm^3),

ρ_f : Tatlı suyun özgül kütleini(gr/cm^3),

göstermektedir. Girişim yüzeyinde bu basınçlar eşit olacağından, sonuçta

$$h_s = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} \cdot h_f = \frac{\rho_f}{\Delta\rho} \cdot h_f \quad (4.16)$$

bulunur. Tatlı suyun özgül kütlei $\rho_f = 1.000 \text{ g}/\text{cm}^3$, tuzlu suyun özgül kütlei

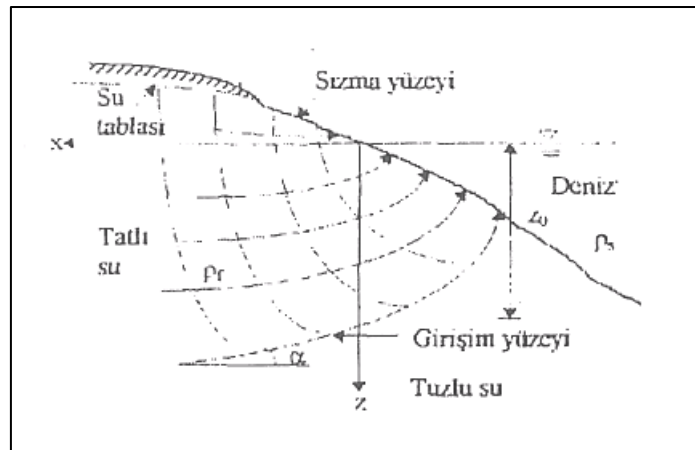
$$\rho_s = 1.025 \text{ g/cm}^3 \text{ alındığında,}$$

$$h_s = 40h_f \quad (\text{Ghyben-Herzberg Bağıntısı}) \quad (4.17)$$

elde edilir.

Bu teoride tatlı su ve tuzlu su arasında statik bir denge kabul edilmiştir. Gerçekte yağış, buharlaşma gibi nedenlerle su tablası sürekli değişir. Şekil 4.8' den de görüldüğü gibi kıyı çizgisinin izi, girişim yüzeyi, su tablası ve deniz yüzeyinin aynı bir noktada birleştikleri varsayılmıştır. Dolayısıyla YAS' ın noktasal olarak ve deniz yüzeyinde boşaldığı varsayılmıştır. Doğada ise bazen yeraltı suyu deniz seviyesine kadar inmeden yamaçlarda yüzeye çıkmakta, bu sular sızma yüzeylerini oluşturmaktadır (Şekil 4.9). Ghyben-Herzberg Teorisinde böyle yüzeyler göz önüne alınmamıştır ve deniz seviyesinin altından denize yeraltı suyu boşalması yoktur.

Hubbert (1940) tatlı su-tuzlu su arasındaki girişim yüzeyinin hidrostatik dengesi yerine dinamik denge halini ele almıştır. Araştırmacının sonuçlarına göre, dinamik faktörler göz önüne alındığında, yeraltı suyu, su tabakasının toprak sathına çıktığı yer ile girişim yüzeyi arasından denize doğru boşalmaktadır (Şekil 4.9) ve girişim yüzeyi akım hızlarına ve ortamların permeabilitelerine bağlı olarak oluşmaktadır.



Şekil 4.9 Hubbert tarafından ileri sürülen girişim yüzeyi (Erguvanlı ve Yüzer, 1984; Gül,205).

4.4.1 İnceleme Alanındaki Deniz Suyu Girişimi

Deniz suyu girişimi yeraltı sularında iyon konsantrasyonunu arttırdığından yeraltı sularının artan iyon konsantrasyonuna bağlı olarak toplam çözülmüş madde miktarı, EC değeri ve suların diğer bazı özelliklerinde (sertlik, SAR gibi) değişimler gözlenmektedir. Suların bu özelliklerinden yararlanılarak sularının deniz suyu girişimine bağlı olarak değişiminin incelenmesi amacıyla Şekil 4.1'deki harita oluşturulmuştur. İnceleme alanının kıyı kenarında olması nedeniyle bir çok yerde deniz suyu girişimine bağlı olarak tuzlanma gözlenmektedir. Ancak, denizden uzaklaştıkça girişimin şiddetinin azaldığı, fakat bazı iç kesimlerde de EC değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Schoeller diyagramına Şekil 4.4'e bakıldığında en yüksek pik veren numunenin deniz suyu olduğu, yine Şekil 4.4 ve Şekil.4.5' te ise tuzlanma arttıkça, suların deniz suyundakine benzer bir görünüm verdiği söylenebilmektedir.

Ayrıca Tablo 4.9' dan da anlaşılacağı gibi deniz suyundan etkilenen bölgelerdeki örnekler genellikle Na-Cl su tipinde görülmektedir. Genel olarak ele alındığında çalışma alanındaki suların çözülmüş madde miktarı değerlerinin 224,6 mg/l ile 32369,2 mg/l arasında değişmekle birlikte 1, 2, 5, 7, 10, 11, 13, 19, 21, 24, 27, 30, 32, 33, 35 no' lu sular hafif tuzlu sular sınıfında yer almaktadırlar (Tablo 4.8).

İncelenen örneklerin denize yakınlıklarına göre sulara çözülmüş madde miktarı artmaktadır. Ancak denizden uzaklaştıkça girişimin şiddetinin azaldığı görülmesine karşın; 21, 24, 27, 30, 33, 35 no' lu örneklerin değerlerinin kıyıda uzak olmasına rağmen çözülmüş madde miktarının yüksek olması sebebiyle iç kesimlerin de girişimden etkilenmiş olabileceği söylenebilir.

Kıyıda iç kesimlere doğru tuzlanmanın şiddeti azaldığından çözülmüş madde miktarları azalmaktadır. Deniz suyunda Cl iyonu baskın iyonlardan biri olup HCO₃ iyonu ise düşük konsantrasyonlu iyonlardan biridir. Deniz suyu girişimi sonucu yeraltı sularında Cl iyon içeriği artarken genelde deniz suyundan daha fazla HCO₃ içeren soğuk yer altı sularının HCO₃ içeriklerinde azalma gözlenir (Gemici, 1999).

Yöredeki suların sertlik değerleri 5,4 ile 128,97 arasında değişmektedir. Sertlik değerinin 54 (Fr) üzerinde olduğu alanlardaki sular içme suyu açısından uygun değildir. EC değerleri ise 378-7580 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmekte olup deniz suyundan alınan numunede ise 59600 $\mu\text{mho/cm}$ olarak ölçülmüştür. “Kıyı bölgesi akiferlerinde elektriksel iletkenlik değerlerinin 1000 $\mu\text{S/cm}$ ’ den büyük olması durumunda deniz suyu girişiminden söz edilebilmektedir” (Somay, 2000). EC değerleri dikkate alındığında suların büyük bir bölümünün kullanılabilir ve iyi sınıfında yer aldıkları gözlenmekle beraber; 2, 24, 27 no’ lu örnekler şüpheli sınıfında; 6 ve 21 no’ lu örnekler ise kullanılamaz sınıfında yer almaktadır. İnceleme alanının kıyı kesimleriyle beraber, Tuzla olarak işletilen bölgede ve Küçükköy’ün kuzeydoğusunda kalan bölgeden alınan bazı suların ise deniz suyu girişimine bağlı olarak tuzlandıkları gözlenmektedir.

4.4.2 Deniz Suyu ile Yeraltı Suları Arasındaki Karışım Oranları

Suların karışım oranlarını saptamak için değişik yöntemler bulunmaktadır. Deniz ve soğuk yeraltı sularının karışım oranlarının belirlenmesinde suların kimyasal özellikleri, derişimleri ve hacimsel miktarlarına bağlı bağıntılar yardımıyla suların karışım oranları hesaplanabilmektedir. Bu karışım oranlarının hesaplanmasında aşağıda sunulan temel bağıntılar kullanılmaktadır (Şahinci, 1991).

$$V_1 = V_3 (C_2 - C_3) / (C_2 - C_1)$$

$$V_2 = V_3 (C_3 - C_1) / (C_2 - C_1)$$

$$V_3 = (V_1 C_1 + V_2 C_2) / C_3$$

Bağıntılarda V_1 toplam iyon miktarı, (C_1) bilinen karışımdaki birinci suyun hacmi; V_2 toplam iyon miktarı, (C_2) bilinen karışımdaki ikinci suyun hacmi; V_3 toplam iyon miktarı, (C_3) bilinen karışım suyunun hacmidir. Karışım suyu hacmi 1 litre kabul edilirse $V_3 = 1$ olur.

Suların toplam iyon derişimi yerine (C) sulardaki herhangi bir iyonun derişimi (Cl, Na, Mg gibi) veya diğer fiziksel özellikleri de (elektriksel iletkenlik gibi) alınabilmektedir (Şahinci, 1991).

İnceleme alanındaki suların deniz suyu ile karışım oranları Hydrowin 95 bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmış olup, hesaplamalarda 6 numaralı deniz suyu örneği ile deniz suyundan etkilenmediği düşünölen 8 numaralı yer altı suyu örneği başlangıç değerleri olarak kabul edilmiştir. Hydrowin 95 bilgisayar programı bu parametrelerin hepsini dikkate alarak yöredeki deniz suyu ile karışmış olabileceği şüphe edilen su noktalarındaki karışım oranlarını hesaplamış ve bu değerler Tablo 4.12’de sunulmuştur. Bu noktalardaki deniz suyu karışım oranları genelde %2 olup; 2, 24, 27 no’lu örneklerde % 4; 21 no’ lu örnekte ise %12 olduğu görölmüştür.

Tablo 4.12 Yeraltı suyu- deniz suyu karışım oranı tablosu.

| Örnek No | Deniz Suyu Oranı (6) | Yeraltı Suyu (8) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Yeraltı Suyu (%) | 0 | 100 | 98 | 96 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Deniz Suyu Oranı (%) | 100 | 0 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Tablo 4.12 devamı... Yeraltı suyu- deniz suyu karışım oranı tablosu.

| Örnek No | Deniz Suyu Oranı (6) | Yeraltı Suyu (8) | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Yeraltı Suyu (%) | 0 | 100 | 88 | 98 | 98 | 96 | 98 | 98 | 96 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Deniz Suyu Oranı (%) | 100 | 0 | 12 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

4.4.3 Deniz Suyu Girişimini Etkileyen Faktörler

Yalçınkaya (2005), İklim değişimlerinin Adana Ovası'nda yeraltı suyu seviyesi ve deniz suyu girişimi üzerine etkisini incelemiş ve Seyhan Havzası'nda iklim değişimlerinin etkisi ile küresel ısınmaya bağlı olarak deniz seviyesinde yükselme olacağını söylemiştir. Küresel ısınmaya bağlı olarak deniz seviyesinde meydana gelecek yükselme ise öncelikle akarsularda drenaj ve morfolojik açıdan değişiklikler yaratacaktır. Akarsu ağzlarında boğulma sonucunda yeni alanlarda alüvyon birikimi meydana gelebilecek, alüvyon akiferlerde yeraltı suyu seviyesi sığlaşacaktır. Buna karşılık, akiferde bulunan tatlı yeraltı suyu girişiminin artması sonucunda tuzlanma karaya doğru ilerleyerek etkisini daha şiddetli bir şekilde gösterecektir.

Deniz seviyesinin yükselmesine bağlı olarak bugün tarım yapılan kıyı şeridinin büyük bir kısmı deniz suyu altında kalacaktır. Artan nüfus ve suya olan ihtiyaçtan dolayı bu bölgelerde yaşayan insanlar daha yukarı bölgelere göç edeceklerdir (Yalçınkaya, 2005).

Deniz seviyesindeki artış sonucu bugünkü deniz suyu-yeraltı suyu sınırı ilerleyecek ve deniz suyu ve yeraltı suyu girişimi daha yukarıdaki bölgelerde görülecektir. Bu durum bugün yeraltı suyu ile tarım yapılan bölgelerde tuzlu su girişiminin meydana gelmesinden dolayı yeraltı suyunun kalitesini düşürecek ve kullanılamayacaktır.

Ayrıca deniz seviyesinde meydana gelen artışı belirlenmesi için küresel sıcaklık artışının göz önünde tutulması gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda son 2000 yıllık küresel deniz suyu seviyesi değişimi sadece birkaç 10 cm'yi geçmemiştir. Son 100 yılda IPCC'nin hesaplamalarına göre küresel deniz suyu artışının 10–25 cm, en iyi tahmine göre 18 cm olduğunu belirtmişlerdir. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre ortalama deniz suyu artış hızı 1–3 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Yalçınkaya, 2005).

Gel-git istasyon kayıtları, küresel ortalama deniz suyu seviyesi değişimi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Son 100 yıllık ölçümlerde elde edilen artış 1–3 mm/yıl

olduğu belirlenmiştir. Son yıllarda yapılan araştırmalara göre küresel ortalama deniz seviyesi artışı 1.7–2.4 mm/yıl olduğu hesaplanmıştır (Yalçınkaya, 2005).

Gelecekteki deniz seviyesi değişimi dünyada tekdüze olmayacaktır. Bölgesel iklim karakteristikleri sıcaklık değişimi, yağış, nem, basınç gibi değişimler deniz seviyesi değişiminde belirleyici olacaktır (Yalçınkaya, 2005).

IPCC (1996)'ya göre gelecekte sera gazlarının artması ve buzulların erimesi sonucu 2100 yılına kadar küresel deniz seviyesi 13–94 cm. arasında değişeceği tahmin edilmektedir. Bütün iklim senaryoları gözönüne alındığında en iyi hesaplamalarla deniz seviyesindeki artış yüzyılın ilk yarısında 20 cm, yüzyılın sonunda ise 49 cm artacağı tahmin edilmektedir (Yalçınkaya, 2005).

4.4.4 Deniz Suyu Girişiminin nlenmesi

Tuzlanan akiferlerin tekrar tatlı su akiferine dönüştürülmesi kuyulardaki çekim tamamen durdurulsa dahi çok uzun zaman gerektirmektedir. Zamanla deniz suyu geri çekilse bile akiferi oluşturan kayacın veya taneli ayrık malzemenin gözeneklerine giren suyun daha yavaş bir şekilde tekrar geri çıkararak tatlı sulara karışması deniz suyunun tatlı suya oranla aşırı yoğunluğundan dolayı tatlı suların kalitesinin bozulmasına ve tuzlanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle tuzlanan akiferin tekrar eski halini alması çok uzun zaman gerektirir. Yerleşim alanlarında artan su gereksinimine bağlı olarak sondajlardan yapılacak olan pompajın tamamen kesilmesi mümkün olmayacağından akiferlerin tuzlanmasından önce gerekli önlemlerin alınması gereklidir. Bu kapsamda kıyı akiferlerinde açılacak olan sondajların sayılarının, aralarındaki mesafelerin ve çekim debilerinin dikkatle belirlenerek kontrol altında tutulması gereklidir (Gemici, 1999).

Yeraltı suyu tuzlanması hemen hemen tüm kıyı akiferlerinde görülmektedir. Tarım alanlarında gerekli suyu sağlamak üzere çok sayıda kuyu açılması, sulama dönemlerinde çoğunlukla eş zamanlı olarak çalıştırılan kuyulardan kısa zamanda çok büyük miktarda su çekilmesi, bölgede turizm tesisleri yapılmasıyla ortaya çıkan hızlı

yapılaşma ve açılan sondaj kuyularından, özellikle kurak mevsimde artan ihtiyaca paralel olarak kısa tuzlanmanın kontrolü amacıyla düzenli olarak denize yakın kuyulardan su numunesi alınarak yeraltı suyu kimyasal analizi yapılmalıdır. Ayrıca kuyularda yeraltı suyu seviye değişimlerini kontrol etmek amacıyla belirlenecek kontrol kuyularından aylık seviye ölçümleri yapılmalıdır (Gül, 2005).

Deniz suyu girişimini önlemek amacıyla açılan kuyularda yeraltı suyu pompajının azaltılması veya yeniden düzenlenmesi, pompaj kuyularının kıyıdan uzakta açılması, yapay beslenmenin uygulanması, kıyıya paralel düşüm çizgisinin oluşturulması, tuzlu suyun tatlı su akiferine girişimini engellemek için akifere çimento, asfalt, kil v.b enjekte edilmek suretiyle geçirimsiz bir kuşak oluşturulması düşünülebilir (Ünlücömert, 2003).

İnceleme alanında turizm ve tarımın gelişmesine ve dolayısıyla genişleyen tarım alanlarına bağlı olarak bölgede halk tarafından sulama ve kullanma amaçlı kuyuların açıldığı düşünülürse; yapılacak aşırı çekimler sonucunda bölgedeki beslenim–boşalım arasındaki doğal dengenin zaman içinde bozulacağı düşünülmektedir. Tarım alanlarında çoğunlukla ilkel sulama tekniklerinin kullanılmakta oluşu, bu dengenin bozulmasındaki en büyük etken olmakla birlikte özellikle bölgede kurak bir dönemin hüküm sürmesi bu durumu daha da kötüleştirmektedir. Bu aşırı çekim ve kuraklığın bir sonucu olarak yeraltı suyu seviyesinde meydana gelen büyük ölçekli düşüşler ve kıyı boyunca varolan doğal deniz suyu girişimi sonucunda kuyularda meydana gelen tuzlanma, kuyularının büyük oranda etkilenmesine neden olmuştur.

BÖLÜM BEŞ SONUÇLAR

Bu çalışmada Küçükköy (Ayvalık) Ovası'nın hidrojeolojik özellikleri belirlenmiş ve bu veriler doğrultusunda çalışma alanının hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ortaya konarak deniz suyu girişimi araştırılmıştır.

İnceleme alanında bulunan Yuntdağ Volkanitlerinden andezitlerin çatlaklı kısımlarından su alınabilmekle birlikte tüflerden yeraltı suyu alma olanağı bulunmamaktadır. Soma Formasyonu ise zayıf akifer özelliği gösterir. Nikita Deresi'nin getirdiği malzemedен oluşan Ayvalık İlçesi'nin doğusundaki Ayvalık Ovası'ndaki alüvyon; killi, kumlu, çakıllı olup, Ayvalık Ovası'nda alüvyon kalınlığı ortalama 15-30 m arasında değişmekte ve alüvyon akifer özelliği göstermektedir.

İnceleme alanından alınan su örneklerinin pH değerlerine bakıldığında, suların genelde asidik karakterli ve 12 ve 22 no'lu örneklerin pH'ının 4'ün altında olduğu; 6 ve 27 no'lu örneklerin ise pH'ının 8'in üstünde olduğu görülmüştür. EPA (2001)'e göre tavsiye edilen 6,5-8,5 değerleri arasında kalan örnekler içime ve kullanıma uygun olmasına rağmen suların diğer özellikleri bakımından incelendiğinde genelde uygun olmadıkları görülmektedir.

İnceleme alanından alınan su örneklerinin hidrokimyasal fasiyes tipine bakıldığında hiçbir iyon miktarı %50'yi geçmediği için karışık su sınıfına girmektedir. Piper Üçgen Diyagramı'na göre yorumlandığında ise karbonat olmayan alkalinitesi % 50' den fazla olan sular tipinde olduğu görülmektedir.

Çalışma alanındaki sular Schoeller Yarı Logaritmik Diyagramı'na göre değerlendirildiğinde değerleri paralellik sunan örneklerin eş kökenli olduğu söylenebilir. Buna göre 6 no'lu örnek deniz suyu olup, diğer sulardan farklı olarak Na+K ve Cl değerlerinde pik yapmış olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra 1, 2 ve 5 no'lu örnekler birbirine paralel olduklarından aynı formasyondan geldikleri söylenebilir. Nisan ayına ait diyagrama bakıldığında ise 21 no'lu örneğin Na-Cl

değerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla burada da deniz suyu girişiminin olduğu söylenebilir. 27 no' lu örnek ise denize uzak konumda bulunan dereden alınmış olup, Na-Cl değerinin burada da yüksek olduğu görülmektedir.

Suların, % SAR değerine göre sınıflamasına göre 21 no' lu örnek iyi kalitede sulama suyu, 6 no' lu örnek deniz suyu olup kötü ve kullanılamaz kalitede sulama suyu, diğer örnekler ise sulama için çok iyi kalitede sular sınıfına girmektedir.

Wilcox Diyagramına göre inceleme alanındaki sular değerlendirildiğinde 21 no' lu su kullanılamaz sınıfta; 2, 24 ve 27no' lu sular şüpheli-kullanılamaz sınıfta yer almaktadır. 1, 7, 11,13, 32 no' lu su örnekleri şüpheli-kullanılabilir sınıfta; diğer örnekler ise iyi-kullanılabilir ve çok iyi sular sınıfında yer almaktadırlar.

Çalışma alanındaki sular ABD tuzluluk diyagramına göre sınıflandırıldığında 6 ve 21 no' lu su örnekleri C₄-S₄ (çok tuzlu- çok yüksek sodyumlu sular) sınıfına, 2 ve 27 no' lu su örnekleri C₄-S₂ (çok tuzlu-orta sodyumlu sular) sınıfına, 24 no' lu su örneği C₄-S₁ (çok tuzlu-az sodyumlu sular) sınıfına, 7,13 ve 32 no' lu su örnekleri C₃-S₂ (tuzlu-orta sodyumlu sular) sınıfına, diğer örneklerin bir kısmı C₂-S₁ (orta tuzlu-az sodyumlu), diğer bir kısım ise C₃-S₁ (tuzlu-az sodyumlu)sınıfına girmektedir.

Çalışma alanında genel olarak kalsit, aragonit, dolomit, siderit, magnezit, kuvars, kalsedon, jips, anhidrit gibi mineraller doygunluk indeksi açısından değerlendirildiğinde; Kalsit, Aragonit, Dolomit, Siderit ve Magnezit'in bazı örneklerde doygunluk altı (yani akiferdeki su bu mineralleri çözündürücü özellikte), bazı örneklerde ise doygunluk üstü değerler verdiği gözlenmektedir. Kuvars ve Kalsedon ise deniz suyunda doygunluk altı, diğer örneklerde ise doygunluk üstünde değerler verirken; Jips ve Anhidrit doygunluk altında değerler vermektedir.

Alınan örneklerin ağır metal analiz sonuçlarına göre ; TS-266 (1997) ve EPA 2001 değerleri baz alındığında, yüksek miktarlarda Al, Zn, Fe, Cd, Pb olduğu görülmüştür. Buna göre sonuçlar sınır değerlerin üstündedir. Dolayısıyla bir kirlenme söz konusudur.

İnceleme alanındaki suların EC değerleri 378-7580 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değişmekte olup, deniz suyundan alınan numunede ise 59600 $\mu\text{mho/cm}$ olarak ölçülmüştür. Sular genel olarak iyi- kullanılabilir sınıfta yer almaktadır. Kıyılarda ve tuzla yakınından alınan numunede EC değerleri yüksek olup, genelde iç kesimlere doğru azalmaktadır. Özellikle 21,23 ve 27 no' lu örneklerde Na-Mg-Cl, Na-Ca-Cl-SO₄ ve Na-Cl-SO₄ tipinde suların varlığını deniz suyu girişiminin olabileceğini söyleyerek açıklayabiliriz. Çözünmüş madde miktarına bakıldığında ise tatlı su ve hafif tuzlu su sınıflarında yer aldığı görülmüştür.

Bölgede karşılaşılan diğer bir sorun ise aşırı çekim sonucu meydana gelen deniz suyu girişimidir. Çalışma alanının özellikle kıyı kesimlerinde artan su ihtiyacına bağlı olarak çok sayıda sondaj kuyusu açılması ve aşırı çekim yapılması dolayısıyla deniz suyunun kıyı akiferlerine doğru ilerleyerek, suların bazı bölgelerde tuzlanmasına sebep olmuştur. Ayrıca Ayvalık Ovası'nda beslenmeden daha fazla boşalım olmaktadır. Bu nedenle deniz suyu karaya doğru ilerlemiştir. Ayvalık Ovası'nda yeni kuyuların açılmaması gerekmektedir. Tuzlanan akiferlerin tekrar tatlı su akiferlerine dönüştürülmesi kuyulardaki çekim tamamen durdurulsa bile çok uzun zaman gerektirmektedir. Kıyı akiferlerinde deniz suyu girişiminin engellenmesi veya azaltılması amacıyla çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Ancak bu yöntemler içerisinde en pratik olanı aşırı pompajın yapılmaması ve debinin düşürülerek akiferin verebileceği kadar su alınmasıdır.

KAYNAKLAR

- Akgün, A. (2007). *Ayvalık ve yakın çevresinin erozyon ve heyelan duyarlılığının coğrafi bilgi sistemleri tabanlı incelenmesi*. Doktora Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akyürek, B. (1989). 1:100.000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi: Ayvalık G 3 Paftası. *M.T.A. Genel Müd. Yayınları*.
- Akyürek, B. ve Soysal, Y. (1981). Biga yarımadası güneyinin (Savaştepe-Kırkağaç Bergama-Ayvalık) temel jeolojik özellikleri. *M.T.A. Dergisi*, 95-96, 1-13.
- Altunkaynak, Ş (1997). *Bergama-Ayvalık dolayında genç volkanizma plutonizma ilişkilerinin jeolojik ve petrolojik araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arık, M, (1988). *Küçükköy Belediyesi Hidrolojik ve Hidrojeolojik etüt raporu*. İller Bankası, 2. Bölge Müdürlüğü, Bursa.
- Arık,V. E., (2005). *Narludere (İzmir) kıyı kesiminin hidrojeolojisi*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Back, W. (1966). *Hydrochemical facies and groundwaterflow patterns in northern part of Atlantic Coastal Plain*. U.S. Geology Survey Professional paper, 498-A, pp.42.
- Bingöl, E., Delaloye, M. and Ataman, G. (1982). *Granitic Intrusions in Western Anatolia: A Contribution to the Geodynamic of This Area*. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 75 (2), 437-446.
- Calmbach, L. (1995). *Hydrowin-95 Computer Programme, Version 3.0* Institut de Mineralogie BFSH2 1015 Lausanne.

- Canik, B. (1998). *Yeraltı Sularının Aranması, İşletilmesi, Kimyası*. A.Ü. Fen Fak. Jeoloji Müh. Böl., Ankara, 286.
- Cengiz, Ş. Ve Durmaz, N., (1990) *Altınova ve Dikili Ovaları planlama kademesi jeofizik rezistivite etüt raporu*, D.S.İ 25. Bölge Müdürlüğü, Balıkesir.
- Demirel, Z. (2003) The History and Evaluation of Saltwater Intrusion Into a Coastal Aquifer in Mersin, Turkey, *Journal of Environmental Management* 70 (2004) 275-282
- Dora, Ö. ve Savaşçın, Y. (1982). *Alibey-Maden adaları (Ayvalık) bölgesi magmatizması*. Tübitak 7. Bilim Kongresi Yerbilimleri Sektörünü Tebliğler Kitabı, 11-83.
- D.S.İ. (1990). *Ayvalık ve Altınova (Balıkesir) Ovalarının Hidrolojisi Raporu* 1-22 syf.
- Duque C., Calvache, M.L., Pedrera A., Martí'n-Rosales, W., Lo'pez-Chicano, M. Combined Time Domain Electromagnetic Soundings and Gravimetry to Determine Marine Intrusion In a Detrital Coastal Aquifer (Southern Spain); *Journal of Hydrology* (2008) 349, 536-547
- EPA USA. (2001). *Standarts methods for examination of water and wastewater*, American Publishhealth Assoc, US.
- Ercan, T., Satır, M., Türkecan, A., Akyürel, B., Çevikbaş, A., Günay, E., Ateş, M. ve Can, B. (1986). Ayvalık çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaların petrolojisi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 27, 11-19.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1973). *Yeraltı suları jeolojisi*, İTÜ Maden Fakültesi.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E. (1984). *Yeraltı suları jeolojisi*, İTÜ, İstanbul.

Gemici, Ü. (1999). *Çeşme Yarımadası'nın hidrojeolojisi ve jeotermal enerji olanakları*. D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Aralık, İzmir.

Gül, Y. E., (2005). *Kıyı alanlarında tatlı su- tuzlu su girişiminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Balıkesir.

IAH (International Association of Hydrogeologist), (1979). United Kingdom.

IPCC, 1996, Climate Change 1995, the science of climate change [J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskel (eds)]. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of IPCC, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Karaçam, M. (2002). *Zayıf zeminlerin taşıma gücünün belirlenmesi ve CPT verileri ile karşılaştırılması Küçükköy (Balıkesir) örneği*. Yüksek Lisans Tezi, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Balıkesir.

Mutlu, Z. B., (2004). *Efemçukuru (İzmir) çevresinin hidrojeolojisi*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İzmir.

Özen, T. (2002). *Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelemesi*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Jeo. Müh. Ana Bilim Dalı, İzmir, 104s.

Özer, Z. (2005). *Balçova (İzmir) kıyı kesiminin hidrojeolojisi*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

PİPER, A.M., (1944). *A Graphic Procedure in the Geochemical Interpretation of Water analyses*, AGU Trans., 25, 914-923

- SCHOELLER, (1955). *Geochimie des Eaux Souterraines*, Rev. Inst. Franc. Petrole, Paris, 10, p:181-231, 4, 219-246
- Somay, M. (2000). *İzmir Kuş Cenneti'nin hidrolojisi, hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası*, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova İzmir.
- Somay, M. (2006). *Hydrogeology of lower Küçük Menderes River coastal wetland*. Doktora Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Bornova İzmir.
- Şahinci, A. (1986). *Yeraltı suları jeokimyası*, D.E.Ü. Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, MM / JEO-86 EY 99.
- Şahinci, A. (1991). *Doğal suların jeokimyası*. Reform Matbaası, Beyler-İzmir, 548.
- Tarcan, G. (2004). *Yeraltı su kimyası ders notları*.
- TS-266, (1997). *Türk Standartları İçme Suları*. UDK 663.7.543, 32 s.
- Ünlücömert, Ö. B., (2003). *Silifke-Göksu deltası tatlı- tuzlu su girişiminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- WHO (World Health Organization). (1993). *Drinking Water Standarts*. In Engineering Geology And Environmental Approach (Rahn, P., 1996). Second Edition. 256 – 257.
- Yalçınkaya, O. (2005). *İklim değişimlerinin Adana Ovası'nda yeraltı suyu seviyesi ve deniz suyu girişi üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldız, N. (1992). *Ayvalık, Altınova, Dikili Ovaları ve çevresinin uygulamalı jeolojisi*. Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, Ö.F., Elmas, A., Karacık, Z., Altunkaynak, Ş., Güleç, N. (1997). *Ayvalık-Dikili-Çandarlı-Bergama arasında (Edremit ve Bergama grabenleri çevresinde) genç magmatizmanın jeolojik ve petrolojik araştırılması*. TUBİTAK Report No: YDABÇAG-228G/420G, 74 pp.