

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

**HAZAR GÖLÜ(ELAZIĞ) ÇEVRESİNDEKİ ALÜVYON AKİFERLERİNİN
HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ATAHAN GÜVEN

(111116104)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 20.09.2013

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.08.2013

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

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

Prof. Dr. M. Emin EMİROĞLU (F.Ü)

EYLÜL-2013

ÖNSÖZ

“ Hazar Gölü (Elazığ) Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi ” başlıklı bu çalışma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalı, Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) Bilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmış ve Fırat Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından MF. 12.28 no’lu proje ile desteklenmiştir. Araştırmayı maddi açıdan destekleyen Fırat Üniversitesi Rektörlüğü’ne ve Fırat Üniversitesi Bilim Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAP) ’ne teşekkür ederim.

Bu çalışmanın hazırlanmasında, arazi ve büro çalışmalarında yönlendirici ve bilgilendirici katkılarından dolayı danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem ÖZTEKİN OKAN’ a çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarının yanı sıra, çok değerli katkı ve görüşlerini esirgemeyen Prof Dr. Bahattin ÇETİNDAG’a, tez çalışmam sırasında yardımını esirgemeyen Jeoloji Yüksek Mühendisi Seda UÇAR’a ve göstermiş oldukları sonsuz sabır ve manevi desteklerinden dolayı çok değerli arkadaşlarım Alper ÇAĞLAR, Buğrahan TUNCEL, Fırat ALTUN, Cihat Can SUSAM ve Numan TELLİ’ ye çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamda her konuda desteğini aldığım aileme içtenlikle teşekkür ederim.

Atahan GÜVEN

ELAZIĞ – 2013

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VIII
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	XII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi.....	1
1.2. Coğrafi Durum.....	2
1.3. Önceki Çalışmalar.....	3
2.MATERYAL VE METOT.....	8
2.1. Literatür Araştırması	8
2.2. Arazi Çalışmaları.....	8
2.3. Laboratuvar Çalışmaları.....	8
2.4. Büro çalışmaları.....	8
3.BULGULAR.....	9
3.1. Jeoloji.....	9
3.1.1. Guleman Ofiyolitleri	9
3.1.2. Elazığ Mağmatitleri	10
3.1.3. Hazar Grubu	10
3.1.4. Maden Grubu.....	11
3.1.5. Alüvyon	11
3.2. Tektonizma.....	13
3.3. Hidroloji.....	14
3.3.1. Buharlaşma.....	14
3.3.2. Akım.....	15
3.4. Hidrojeoloji.....	19

3.4.1. Geçirimli Birimler	19
3.4.2. Yarı Geçirimli Birimler	23
3.4.3. Geçirimsiz Birimler	23
3.4.5. Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeolojik Özellikleri	23
3.4.5.1. Geçirimsizlik (Pemeabilite) Katsayısı	23
3.4.5.2. Gözeneklilik (Porozite)	26
3.4.6. Su Tablası Haritaları	26
3.5. Hidrojeokimya.....	35
3.5.1. Sularda Bulunan Başlıca Bulunan İyonlar Ve Kökenleri	38
3.5.1.1. Katyonlar.....	39
3.5.1.1.1. Kalsiyum.....	39
3.5.1.1.2. Magnezyum.....	40
3.5.1.1.3. Sodyum	41
3.5.1.1.4. Potasyum	41
3.5.1.2. Anyonlar.....	43
3.5.1.2.1. Klorür	43
3.5.1.2.2. Sülfat	44
3.5.1.2.3. Bikarbonat	45
3.5.2. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarla Gösterilmesi	45
3.5.2.1. Schoeller Diyagramı.....	46
3.5.2.2. Piper Diyagramı	47
3.5.3. Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması.....	50
3.5.3.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)	50
3.5.3.2. Suların Sertlik Dereceleri	51
3.5.3.3. Suların Elektriksel İletkenlikleri (EC)	52
3.5.4. Suların Kullanım Özellikleri	52
3.5.4.1. Suların İçilebilirlik Özellikleri	52
3.5.4.2. Suların Sulamada Kullanım Özellikleri	54
3.5.4.2.1. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı	54

3.5.4.2.2. Wilcox Diyagramı	56
3.5.5. Yeraltısuyu Kirliliği	58
3.6. İzotop Hidrolojisi.....	61
3.6.1. İzotoplar Hakkında Genel Bilgiler	61
3.6.2. İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi.....	65
3.6.2.1. $^{18}\text{O} - ^2\text{H}$ ilişkisi.....	65
3.6.2.2. $^{18}\text{O} - ^3\text{H}$ ve ^3H -EC ilişkisi	66
4. SONUÇLAR	69
KAYNAKLAR.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	76

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HAZAR GÖLÜ(ELAZIĞ) ÇEVRESİNDEKİ ALÜVYON AKİFERLERİNİN

HİDROJEOLOJİ İNCELEMESİ

Atahan GÜVEN

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2013, Sayfa: 76

Çalışma kapsamında özellikle Hazar Gölü batısı ile güneydoğusunda geniş alan kaplayan alüvyon akiferler hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanında yüzeyleme veren birimler yaşlıdan gence doğru Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri, Maestrihtiyen – Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Grubu ve Pliyo- Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerine göre bölgenin 22 yıllık yağış ortalaması 601.07 mm, sıcaklık ortalaması ise 12.3 oC olup su fazlası, bölgeye düşen yağışın %46.73' ü kadardır.

İnceleme alanındaki alüvyon malzemedan alınan örselenmiş numunelerde laboratuarda sabit basınçlı permeametre, tabanı delikli kutu ve sıkılama yöntemleri kullanılarak geçirimsizlik katsayıları ve poroziteleri belirlenmiştir. Alüvyon akiferlerin geçirimsizlik katsayıları 6.3×10^{-5} m/s ile 4.42×10^{-4} m/s arasında, gözeneklilikleri %30 ile %55 arasında, transmisivite ise 1.7×10^{-5} m²/s ile 3.7×10^{-2} m²/s arasında hesaplanmıştır.

Alüvyon akiferden beslenen keson ve sondaj kuyularında mevsimsel olarak su seviyeleri ölçülmüş ve su tablası haritaları çizilmiştir. Alüvyon akiferde genel yeraltı suyu akım yönü Hazar Gölü'ne doğru olup gerçek rejimde Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferden Hazar Gölü'ne boşalan su miktarı 13.245.120 m³/yıl olarak hesaplanmıştır.

İncelenen sularda bulunan major katyon Ca⁺², major anyon ise HCO₃⁻ tür. Çizilen Piper diyagramında sular 1. , 3. ve 5. bölgelerde gruplanmış olup bu bölge suların sertliği %50'den fazla olup karbonatlı ve sülfatlı sulardır.

Suların içmeye uygunluklarının belirlenmesi için kimyasal bileşimleri içme suyu standartları ile karşılaştırılmış, sulama suyu açısından kullanmaya uygunluklarının belirlenmesinde de Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılmıştır.

Çalışma kapsamında suların NO₂-, NO₃-, NH₄⁺ ve PO₄-3 konsantrasyonları kirlilik açısından değerlendirilmiş ve suların büyük çoğunluğunun standartlarla belirlenen limit değerlerinin altında olduğu görülmüştür.

Suların izotop analiz sonuçlarına göre çizilen δ 18O - δ 2H diyagramında meteorik kökenli oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elazığ, Hazar Gölü, Hidrojeoloji, Hidrojeokimya, İzotop Hidrolojisi.

ABSTRACT

Master Thesis

The Hydrogeological Investigation Of The Alluvium Aquifers Surrounding The Lake Hazar (Elazığ).

Atahan GÜVEN

Fırat University

Institute of Science

Department of Geological Engineering

2013, Page; 76

In this study, alluvium aquifers covering large area especially at the west and southeast of Hazar Lake are researched in detail in terms of hydrogeological and hydrogeochemical features.

The units are stratified in the studied area from the oldest to the young as Upper Jurassic – Lower Cretaceous Guleman Ophiolites, Senonian Elazığ Magmatics, Maastrichtian – Lower Eocene Hazar Group, Middle Eocene Maden Group and Plio-Quaternary alluviums.

The precipitation ratio of this area for 22 years, determined by General Directorate of Meteorology, is 601.07 mm and temperature average is 12.3 oC and excess water is 46.73% of the precipitation.

The permeability coefficient and porosity of the samples taken from the alluvium material were determined with the methods of permeameter, perforated-bottom box and stemming. According to this laboratory experiments, it was calculated that the permeability coefficient, the porosity and the transmissivity of the alluvium aquifers range from 6.3×10^{-5} to 4.42×10^{-4} m/s, from 30% to 55% and from 1.7×10^{-5} to 3.7×10^{-2} m²/s, respectively.

Seasonal water levels of the deep and shallow wells were measured and water table maps were drawn. General groundwater flow direction is towards to Lake Hazar and the amount of water flowing into Lake Hazar from the alluvium aquifer in the west of the Lake in the real regime was calculated as 13245120 m³/year.

The major cation is Ca⁺² and the major anion is HCO₃⁻ in the investigated waters. The waters were grouped in the first, third and fifth areas according to Piper diagram. The hardness of the waters in this group is more than 50% and are carbonated and sulphated waters.

To define the convenience of the waters for drinking, chemical components of the investigated waters were compared with the drinking water standards. The Wilcox and USA salinity diagrams were used to determine the suitability of the waters for irrigation.

In this study, NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺ ve PO₄³⁻ concentrations of the waters were investigated in terms of pollution and it was observed that the vast majority of the waters were below the limit values defined by the standards.

According to $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diagram the investigated waters are meteoric origin, based on the results of isotopic analysis.

Keywords: Elazığ, Lake Hazar, Hydrogeology, Hydrogeochemistry, Isotopic Hydrology.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil.1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 3.1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası	12
Şekil 3.2. Thornthwaite yöntemine göre Hazar Gölü çevresi için yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği	15
Şekil 3.3. Behremaz Deresi'nin 1985-2013 yılları arası debi değişimleri	17
Şekil 3.4. Kürk Çayı'nın 2006 yılı debi değerleri	17
Şekil 3.5. Behremaz Deresi besleme kanalı içerisinde meydana gelen siltlenme	18
Şekil 3.6 (a) Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyusu logları	20
(b) Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyusu logları	20
(c) Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyusu logları	21
(d) Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyusu logları	21
Şekil 3.7. Hazar Gölü doğusundaki alüvyonda DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj logu..	22
Şekil 3.8. Alüvyonların geçirimsizlik katsayılarının belirlenmesi için örnek alınan yerler	24
Şekil. 3.9. Kuyu yerinin GPS ile belirlenmesi	27
Şekil 3.10. Kuyularda statik su seviyesi ölçümü	27
Şekil. 3.11. Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Ekim-2012).....	29
Şekil. 3.12. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Ekim- 2012).....	30
Şekil. 3.13. Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Nisan-2013).....	31
Şekil. 3.14. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Nisan-2013).....	32
Şekil 3.15. İnceleme alanında su örnekleme noktalarının dağılımını gösteren harita.....	36
Şekil 3.16. İnceleme alanındaki suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....	39
Şekil 3.17. İnceleme alanındaki suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	40
Şekil 3.18. İnceleme alanındaki suların Na^{+} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.....	41
Şekil 3.19. İnceleme alanındaki suların K^{+} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	42
Şekil 3.20. İnceleme alanındaki suların Cl^{-} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	43
Şekil 3.21. İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	44
Şekil 3.22. İnceleme alanındaki suların HCO_3^{-} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi	45
Şekil 3.23. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller Diyagramında gösterilmesi (Ekim -2012)	46

Şekil 3.24. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller Diyagramında gösterilmesi (Nisan -2013)	47
Şekil 3.25. Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması.....	47
Şekil 3.26. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper Diyagramında gösterilmesi (Ekim -2012)	49
Şekil 3.27. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper Diyagramında gösterilmesi (Nisan -2013)	49
Şekil 3.28. ABD Tuzluluk Diyagramı (Ekim- 2012).....	55
Şekil 3.29. ABD Tuzluluk Diyagramı (Nisan- 2013).....	56
Şekil 3.30. Wilcox Diyagramı (Ekim- 2012).....	57
Şekil 3.31. Wilcox Diyagramı (Nisan-2012).....	58
Şekil 3.32. Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerine etkilerini gösteren $\delta D - \delta^{18}O$ diyagram.....	63
Şekil 3.33. Şematik $\delta D - \delta^{18}O$ grafiği ve karışım oluşturan uç sular	64
Şekil 3.34. İncelenen suların $\delta^{18}O - \delta^2H$ ilişkisi.....	66
Şekil 3.35. İncelenen suların $\delta^{18}O - \delta^3H$ ilişkisi.....	67
Şekil. 3.36. İncelenen suların EC- δ^3H ilişkisi.....	68

ÇİZELGELER LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 İnceleme alanının 1991 – 2013 yılları arasındaki nem bilançosu (Thorntwaite formülüne göre)	14
Çizelge 3.2. Behremaz Deresi 1985-2013 yılları arası akım değerleri (DSİ, 9. Bölge Müdürlüğü)....	16
Çizelge 3.3. Hazar Gölü batısındaki alüvyon akifer içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış kuyuların teknik verileri.....	19
Çizelge 3.4. Alüvyon akiferlerinin deneyler sonucunda hesaplanan geçirimsizlik katsayıları.....	25
Çizelge 3.5. Jacob Yöntemi ile hesaplanan akifer parametreleri (T, K).....	25
Çizelge 3.6. Alüvyon akiferlerinin gözeneklilik değerleri	26
Çizelge 3.7. Hazar Gölü çevresindeki alüvyon akiferlerde açılmış kuyularda ölçülen statik seviyeler.....	28
Çizelge 3.8. İncelenen suların Ekim (2012) ayı kimyasal analiz sonuçları	37
Çizelge 3.9. İncelenen suların Nisan (2013) ayı kimyasal analiz sonuçları	38
Çizelge 3.10. Suların pH 'a göre sınıflandırılması	50
Çizelge 3.11. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin pH değerleri.....	50
Çizelge 3.12. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin Fransız sertlik değerleri.....	51
Çizelge 3.13. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin EC değerleri.....	52
Çizelge 3.14. İçme sularının Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005), Sağlık Bakanlığı'nın 17 Şubat 1995 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “ İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmeliği”, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Avrupa Birliği (EC) tarafından belirtilen limit değerleri	53
Çizelge 3.15. İncelenen suların NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{3-} konsantrasyonları.....	59
Çizelge 3.16. Suların izotop analiz sonuçları	65

1. GİRİŞ

Su kaynakları, son yıllarda dünyanın her yerinde öncelikli bir konu olmuştur. Ülkemizin tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyeli yılda ortalama 110 milyar m³ düzeyindedir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan “Ulusal Su Kalitesi Yönetim Strateji Belgesi (2012- 2023)” raporunda ülkemizde kişi başına yılda yaklaşık 1.500 m³ su düşmekte olup bu miktarın ABD, Kanada ve Batı Avrupa ülkeleri gibi su zengini ülkelerde ise 10.000 m³’ün üzerinde olduğu belirtilmektedir. Ülkemizin su potansiyeli bakımından zengin bir ülke olmadığı düşünülürse artan nüfusa bağlı olarak ileride su problemlerinin yaşanacağı muhtemeldir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızın kalite yönetimlerinin iyi yapılması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması gerekmektedir.

Elazığ ili yeraltı suyu potansiyeli bakımından zengin olmasına rağmen İl’de artan yapılaşma ve nüfusa bağlı olarak su ihtiyacı da artmaktadır. Çalışma alanı içerisinde bulunan Hazar Gölü çevresindeki hızlı yapılaşma ve özellikle yaz aylarında artan nüfusa bağlı olarak alüvyon akiferler içerisinde içme, kullanma ve sulama amaçlı olarak pek çok keson ve sondaj kuyusu açılmıştır. Ancak, bu alüvyon akiferlerinin yeraltı suyu durumu, potansiyeli ve kalitesi ile ilgili yapılmış herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu nedenle, Hazar Gölü Havzası’nın yeraltı suyu potansiyelinin önemli bir kısmını oluşturan alüvyon akiferlerinin ayrıntılı hidrojeoloji çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

Çalışma kapsamında Hazar Gölü çevresindeki alüvyon akiferlerden özellikle batıda Kürk Çayı havzası ile güneydoğuda Behremaz Deresi havzasının Hazar Gölü’ne yakın kesimleri içerisindeki alüvyon akiferler hidrojeolojik açıdan ayrıntılı olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, Hazar Gölü çevresindeki alüvyon akiferlerinin yeraltı su seviyelerinin, yeraltı suyu akım yönlerinin, permeabilite, porozite, transmisivite gibi hidrojeolojik karakteristikleri ile su kalitesinin belirlenmesidir. Ayrıca, alüvyon akiferler ile Hazar Gölü arasında bir intrüzyonun olup olmadığı da belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu amaçlara yönelik olarak alüvyon akiferlerde açılmış sondaj ve keson kuyularda mevsimsel yeraltı suyu seviyeleri ile kuyuların debileri ölçülmüş, akiferlerin su tablası haritası çıkarılmış ve genel yeraltı suyu akım yönleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında incelenen kuyulardan mevsimsel olarak su örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmış, sular içerisinde bulunan majör anyon ve katyonların kökenleri belirlenmiştir. Ayrıca, suların çevresel izotop içerikleri belirlenerek sular köken, yaş ve dolaşım sistemleri açısından incelenmişlerdir.

Çalışma konusunu oluşturan alüvyon akiferlerde yapılmış hidrojeoloji çalışmasının bulunmaması, bu çalışmanın bu anlamda yapılan ilk bilimsel çalışma olması açısından önemlidir. Bu çalışma sonucunda elde edilecek bulgular, Hazar Gölü çevresindeki yöre halkı ve yaz mevsiminde bölgeye gelen insanlar tarafından içme, kullanma ve sulama amaçlı olarak kullanılan suların

Dağı (2347 m), kuzeydoğusunda Mastar Dağı (2171 m), güneybatısında Kamışlık Dağı (2016 m), batısında Kuşakçı Dağları (1908 m), kuzeyinde Çelemlik Dağı (1658 m)'dır (Duran ve Günek, 2007).

Karasal iklime sahip olan bölgede yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlıdır. Bölge bitki örtüsü bakımından fakir olup, yerleşim yerlerinde küçük topluluklar halinde ağaçlara rastlanmaktadır.

Yöre halkının büyük bir bölümü köy ve mahalleleri yazlık olarak kullanmakta ve bu nedenle köylerde kış aylarında önemli ölçüde nüfus azalması olmaktadır. Yöre halkı geçimini tarım ve hayvancılık yaparak sağlamaktadır. Havzadaki mevcut nüfusun 18309 kişi olduğu, ancak bu sayının yaz döneminde yazlıkçı ve kamp nüfusundaki artışlar nedeniyle 40000 değerine ulaştığı Sivrice Belediye Başkanlığı tarafından ifade edilmektedir (ESÇAE, 2002). Havza içerisinde kalan köylerin hemen hepsinde geçim kaynağı tarla tarımı olarak ön plana çıkmaktadır. Sebzeçilik de önemli bir geçim kaynağıdır. Hayvancılık ise geçim kaynağı bakımından öncelik taşımamaktadır. Sivrice'de nüfusun büyük bir çoğunluğu geçimini tarım dışı faaliyetlerden sağlamaktadır (Yiğit, 1990; Duran ve Günek, 2007'den).

Çalışma alanı içerisinde bulunan ve Hazar Gölü'nü besleyen başlıca akarsular Behremaz Çayı, Kürk Çayı, Baharın Deresi, Zıkkım Deresi, Savsak Deresi ve Mogal Deresi' dir. Kapalı bir havzası olan gölün, 1957 yılına kadar kuzeydoğu köşesinde Dicle Nehrini besleyen gideğeni vardır. 1957'den sonra Behremaz Çayı bir çevirme kanalıyla göle suni olarak bağlanmıştır (Duran ve Günek, 2007).

Hazar Gölü'nün doğal güzelliği ve turizme elverişli potansiyeli nedenleriyle yazlık kullanımda bulunan tatil siteleri ve kamuya ait kamplar bulunmaktadır. Elazığ-Diyarbakır karayolunun geçtiği, göl sahiline yakın yerlerde, Hazar Gölü'nün kuzeyinde göl kıyısına yakın düzlüklerde, tatil sitesi şeklindeki yapılaşmalar bulunmaktadır. Bu yerleşmeler, güneyde dik yamaçlarla göle inen kısımlarda bulunmazken, eğim değerlerin azaldığı Plajköy ve çevresinde bu tür yazlık kullanımlar yer almaktadır. Gölün kuzeydoğusu ve güneybatısında bulunan düzlüklerde ve aşırı eğimli olmayan alanlarda tarla tarımı, bağ- bahçe tarımı vs. gibi tarımsal amaçlı kullanımlar bulunmaktadır (Duran ve Günek, 2007).

1.3.Önceki Çalışmalar

Bölgede yapılan jeoloji çalışmalarından bazılarını şöyle sıralayabiliriz:

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

İnandık (1965) , 1:200.000 'lik topografya haritasına göre gölün seviyesi, uzunluk, genişlik ve derinliği hakkında bilgiler vererek, gölün yıl içindeki seviye değişimlerini grafiklerle göstermiştir.

Özkaya (1975, 1978 ve 1982), Ergani- Maden- Guleman yöresindeki çalışmalarında Guleman Grubu'nu ''Guleman Ultrabazikleri ve serpantinleri'' olarak adlandırmış ve Jura – Kretase yaşını vermiştir. Yine aynı bölgedeki Hazar Grubu'na Simaki Formasyonu'nu dahil ederek fliş formasyonu niteliğinde tanımlamıştır.

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

Perinçek (1979a, 1979b, 1980a, 1980b), yaptığı incelemelerde bölgenin jeodinamik evrimini açıklamaya çalışmıştır. Yazar elde ettiği bulgularla bölgede Üst Kretase ve Orta Eosen’de iki aktif kıta kenarının etkin olduğu, bunlardan ilkinin Yüksekova Karmaşığı’nı, ikincisinin de Maden Karmaşığı’nı meydana getirdiğini belirtmektedir. Araştırmacı bölgede güneyden kuzeye doğru Pütürge, Elazığ ve Keban napılarının varlığını kabul etmekte ve Pütürge napının tabanını Kenar Kıvrımları Kuşağı’nın sınırlandığını belirtmektedir.

Yazgan (1981,1983 ve 1984), Malatya – Elazığ dolaylarındaki magmatik ve metamorfik kayaçların petrografik ve petrolojik özelliklerini inceleyerek, bölgenin jeotektonik evrimi ile ilgili modeller geliştirmiştir. Bu araştırmacıya göre, bölgede biri Üst Kretase, diğeri Orta Eosen’de olmak üzere iki etkin kıta kenarı gelişmiş ve bunlardan Üst Kretase’de gelişen etkin kıta kenarı üzerinde Yüksekova Karmaşığı, Orta Eosen’deki etkin kıta kenarı üzerinde ise Maden Karmaşığı oluşmuştur.

Bingöl (1982, 1984 ve 1987), özellikle Elazığ çevresinde detaylı çalışmalar yapmıştır. Yazar çalışmalarında Yüksekova Karmaşığı’nı aktif bir kıta kenarı ürünü olarak yorumlamış, ayrıca Guleman Grubu’nun kümülatları üzerinde yaptığı petrografik çalışmalarla bunların okyanusal kabuğa ait ürünler olduğunu ve kuzeyden güneye, Arap Levhası üzerine taşındığını belirtmiştir.

Hempton ve Savcı (1982), Elazığ- Sivrice civarındaki araştırmalarında Yüksekova Karmaşığı’nı Elazığ Volkanik Karmaşığı olarak ele almışlar ve karmaşığı kuzeyden güneye doğru üç birliğe ayırarak petrografik ve tektonik açıdan incelemişlerdir. Araştırmacılar Güneydoğu Anadolu’daki hareket yönü güneye doğru olan Eosen sonu bindirmelerinin, karmaşıktaki kabaca kuzeye eğimli, kendi içinde de ekaylanmış bindirme dilimlerine neden olduğunu, karmaşığın tabanında yer alan güneydeki dilimin metamorfize olmasına karşın, tavan dilimini oluşturan kuzeydeki dilimin metamorfize olmadığını belirtmişlerdir.

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

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

Aktaş ve Robertson (1984), Maden Karmaşığı’na ait volkanik kayaçlarda yaptıkları jeokimyasal çalışmalara dayanarak, karmaşığın kuzeye dahlımlı bir yitim zonu üzerindeki yay önu bölgede gelişen çek-ayır havzada oluştuğunu belirtmiştir.

Özkan ve Öztunalı (1984), Guleman çevresinde yaptıkları çalışmada, Guleman Grubu kayaçlarının metamorfizma koşulları ve yapısal özelliklerini incelemiş ve bunların eksik bir ofiyolitik dizi olduklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar Üst Maestrihtiyen tortulları ile örtülmüş Guleman Grubu'nun, otokton Arap platformu tortulları ile Lice Formasyonu üzerine bindirmiş olduklarını vurgulamışlardır.

Sungurlu v.d. (1985) Toros Orojenik Kuşağı'nın doğu kesimlerinde yaptıkları araştırmada, bölgede yer alan birimleri otokton, allokton, paraallokton ve neotokton birimlerden oluştuğunu, bu birimlerin güneydeki Arabistan Levhası şelf sedimanları üzerine tektonik dilimler halinde itildiğini belirtmişlerdir.

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

Çetindağ (1989), “ Elazığ Ören Çay Havzası'nın Hidrojeolojik İncelemesi ” başlıklı doktora tez çalışmasında yaklaşık 350 km² 'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamış ve inceleme alanında bulunan kaynak, adi kuyu ve sondaj kuyularının besleme, köken ve fiziko-kimyasal özelliklerini açıklamıştır.

Kaya (1992), Gezin çevresinde yaptığı çalışmada inceleme alanının temelini Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyoliti oluşturduğunu bunların üzerinde açılı uyumsuzlukla bulunan Maestrihtiyen-Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu'nun alttan üste doğru; kırmızı çakıltaşlarıyla temsil olunan Ceffan formasyonu, fliş özelliğindeki Simaki formasyonu ve kireçtaşlarından oluşan Gehroz formasyonu olmak üzere üç formasyondan meydana geldiğini belirtmiştir. Çalışma alanının içinden geçen doğrultu atımlı sol yönlü Doğu Anadolu Fayı'nın, burada yaklaşık 5-6 km genişliğinde bir zon şeklinde olduğunu belirtmiştir. KD-GB doğrultulu (K60°D), yüksek eğim atım bileşenli, birbirine yaklaşık paralel birkaç büyük faydan oluştuğunu ifade etmiştir.

Turan (1992), Elazığ bölgesindeki tektonik yapıları bir bütün olarak incelemiş ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yerini açıklamaya çalışmıştır. Araştırmacı, bölgenin hem Paleotektonik, hem de Neotektonik dönemde etkin bir tektonizma faaliyetine maruz kaldığını, bu tektonizma neticesinde bölgenin Üst Kretase sonu, Orta Eosen sonu ve Orta Miyosen'de K-G doğrultulu yoğun sıkışma altında kaldığını ve bölgedeki tektonik yapıların bu sıkışma dönemlerinde oluştuğunu belirtmiştir..

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

Yılmaz (1993), Güneydoğu Anadolu orojenik evriminin açıklanması amacıyla geliştirdiği modelde; Arabistan platformu ile Bitlis-Pütürge Masifleri arasında Geç Triyas'da açılmaya başlayan

okyanusun Erken Kretase sonlarından itibaren kuzeye dalım ile kapanmaya başladığını açıklamıştır. Araştırmacı bindirme zonunda ki ofiyolitik kütlelerin Geç Kretase’de Arabistan platformunun üzerine yerleştiğini, yay gerisi havzada ise Eosen döneminde Maden Karmaşığı’nın oluştuğunu ve hem ofiyolitik kütlelerin hem de Maden Karmaşığı’nın her yerde Bitlis-Pütürge masifleri altında tektonik dilimler halinde yüzeylendiğini belirtmiştir.

Sağiroğlu ve Çetindağ (1995), yapmış oldukları çalışmada Kürk Çayı ve Mogal Deresi’nin Hazar Gölüne taşıdıkları silt miktarını yıllık 80000 ton olarak hesaplamışlardır.

Çetindağ (1996), Haringet Havzası’nda yapmış olduğu çalışmada havzadaki yeraltı sularının kökenini, fiziko-kimyasal karakterlerini ve yan kayaçlarla ilişkilerini araştırmıştır. Kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların HCO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ ve K^+ olduğunu, incelenen suların Schoeller’ in içilebilme diyagramına göre; 1. ve 2. kalite devamlı içilebilen sular bölgesinde gruplandıklarını belirtmiştir.

Çetindağ (1997), “Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri” başlıklı çalışmasında, havzadaki kaynak ve kuyu sularında en fazla bulunan iyonların HCO_3^- , Ca^{+2} ve Mg^{+2} olduğunu, Piper diyagramlarında magmatik kayaçlardan beslenen kaynak sularının karışık sular bölgesinde gruplandığını belirtmiştir.

Öztekin (1998), Elazığ ili içme ve kullanma suları üzerinde yapmış olduğu çalışmasında bölgede su taşıyan formasyonların Keban Metamorfikleri, Elazığ Magmatikleri, Seske Formasyonu, Kırkgeçit Formasyonu, Pliyosen çakıtaşları ile silt ve kumtaşları olduğunu belirtmiştir. Yazar çalışmasında bu birimlerden beslenen sularda baskın iyonların Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^- olduğunu, magmatik kayaçlardan beslenen suların mineralizasyonunun sedimanter kayaçlardan beslenenlere oranla daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Çetindağ ve Öztekin Okan (2004), Uluova akiferleri üzerinde yapmış oldukları hidrojeoloji çalışmasında, Elazığ İl merkezinin güneydoğusundaki Uluova’da serbest akiferde; Na-Cl ve Na- HCO_3 fasiyesi, basınçlı akiferlerde ise Ca – HCO_3 , Mg - HCO_3 ve Na - HCO_3 fasiyeslerinin geliştiğini ve ovada Hazar Gölü suyu ile sulama yapılmasından kaynaklanan Na kirliliğinin oluştuğunu belirtmişlerdir.

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

Öztürk (2008), Maden ilçesi ile Hazar nahiyesinin arasındaki çalışma alanında , Paleozoyik yaşlı Pütürge Metamorfikleri, Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri ve Eosen yaşlı Maden Karmaşığı’nı gözlemlemiştir. Hazar yöresindeki cevherleşmeleri, birbirinden bağımsız üç ayrı bölgede oluştuğunu ve kalınlıkları birkaç cm ile 5-6 m. arasında değiştiğini belirtmiştir. Cevherleşmelerin genellikle çok ince taneli ve masif yapıları olduğunu ve başlıca manganit, pirolusit, hausmanit, braunit, rodokrozit, hematit ve limonitten oluştuğunu belirtmiştir.

Çalışma alanı içerisinde bulunan Hazar Gölü Elazığ'ın en önemli turizm alanlarından birisidir. Bu nedenle göl ve göl havza alanı ile ilgili farklı bilim dallarında yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz;

Yiğit ve Günek (1995), Hazar Gölü ve çevresi ile ilgili çalışmalarında, Hazar Gölü çevresinin stepten çöle geçiş sahalarının toprakları olan kırmızı kahverengi topraklardan oluştuğunu, kırmızı kahverengi topraklar dışında bilhassa birikinti konileri, yelpazeler ve deltalar üzerinde ise alüvyal toprakların yer aldığını belirtmişlerdir. Hazar Gölü çevresinin doğal bitki örtüsünün ise sahanın çeşitli yerlerinde rastlanan tek ve küçük topluluklar halindeki ağaçlar dışında, antropojen steplerin oluşturduğunu belirtmişlerdir.

Emiroğlu v.d. (1998)'nin "Hazar Gölü'nün Bütçesi ve Gelecek İçin Su Bütçeleri" başlıklı makalelerinde, Hazar Gölü'ne suyunu veren derelerin eğimleri, taşkın hidrograflarını belirlenmiş ve gölün drenaj alanı, su seviye değişimi, yıllara göre buharlaşma değerleri, su kimyası, sulama suyu kalitesi durumlarını incelenmiştir.

Ünlü ve Uslu (1999)'nun "Hazar Gölü Su Kalitesinin Değerlendirilmesi" başlıklı makalelerinde Hazar Gölü'nün fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik analizleri yapılarak su kirliliği açısından irdelenmiş ve kıta içi su kaynakları kalite kriterlerine göre sınıflandırmış, ötrofikasyon kontrol sınır değerleriyle karşılaştırılmıştır. Çalışmada, Hazar Gölü suyunun kalite kriterlerinin genel olarak I. ve II. sınıf sular özelliğinde olduğu, ancak ötrofikasyon kontrol sınır değerlerinin aşıldığı belirtilmiştir.

Gölbaşı (2006), yapmış olduğu çalışmada Kürk Çayının bazı fiziksel ve kimyasal özelliklerini araştırmıştır. Yapılan çalışmada, Kürk Çayı'nın hafif alkali karakterde ve kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri dikkate alındığında, klorür ve reaktif fosfor değerleri bakımından II. sınıf (Az kirli su), nitrit azotu değeri bakımından III. sınıf (Kirli su) ve tayin edilen diğer parametreler açısından I. Sınıf (yüksek kaliteli su) su özelliğine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Tonbul ve Yiğit (1995)'in "Pleistosen'den Günümüze Hazar Gölü'ndeki Seviye Değişimleri, Çevresel Etkiler ve Hatunköy Kapması" konulu çalışmalarında Alüvial, İnterplüvial ve Postglasyal dönemlerde Hazar Gölü'ndeki seviye oynamalarının bir korelasyonu yapıp, özellikle alüvyal göl taraçaları ve eski kıyı izleri ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yiğit (1995), Hazar Gölü'nü tanıtmak ve bugünkü kullanım durumunu belirlemek amacıyla hazırladığı bu çalışmada, gölün doğal ve kültürel potansiyelini belirttikten sonra, bugünkü kullanım şekillerini ve oluşan sorunları belirtmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

“Hazar Gölü Çevresindeki Alüvyon Akiferlerinin Hidrojeoloji İncelemesi” başlıklı bu çalışma; literatür araştırmaları, arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

2.1. Literatür Çalışmaları

Arazi çalışmalarından önce başlatılmış ve çalışmanın her aşamasında devam etmiştir. Bu çalışma kapsamında inceleme alanı ve yakın çevresinin jeolojini konu alan makale, kitap vb. çalışmalar derlenmiştir.

2.2. Arazi Çalışmaları

Alüvyonların sınırları 1/25 000 ölçekli haritalar üzerine çizilmiş ve bu haritalar ile bölgedeki önceki çalışmalarda çizilmiş olan haritalar birleştirilerek Hazar Gölü çevresinin genel jeoloji haritası oluşturulmuştur. Alüvyon akiferlerden beslenen kuyu ve kaynak noktalarının lokasyonları Magellan marka GPS yardımı ile belirlenerek bir örnekleme haritası oluşturulmuştur. Belirlenen sondaj ve keson kuyulardaki yeraltı suyu seviyeleri mevsimsel olarak elektrikli su seviye ölçme aleti ile debileri ise belirli hacim yöntemi ile ölçülmüştür. Çalışma kapsamında incelenen kuyulardan mevsimsel (Ekim ve Nisan aylarında) olarak su örnekleri alınmıştır. Kuyulardan su örneklemeleri yapılırken YSI marka kondüktivimetre yardımı ile arazide yerinde pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlikler (EC) ölçülmüştür. Porozite ve permeabilite deneyleri için alüvyon malzemedен örnekler alınmıştır.

2.3. Laboratuvar Çalışmaları

Su örneklerinin majör anyon, katyon, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{3-} analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarı’nda; izotop analizleri ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H) ise DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Kalite Kontrol Laboratuvarı (TAKK) İzotop laboratuvarında yapılmıştır. Alüvyon akiferleri temsil eden örneklerin poroziteleri sıkılama yöntemi ile permeabiliteleri ise sabit basınçlı permeametre ve tabanı delikli kutu yöntemleri ile hesaplanmıştır.

2.4. Büro Çalışmaları

Arazi ve laboratuvar çalışmaları ile elde edilen veriler ilgili diyagramlar ve formüller yardımıyla yorumlanmış ve değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda alüvyon akiferlerin genel hidrojeokimyasal ve hidrojeoloji karakteristikleri belirlenmiştir. Suların kimyasal analiz sonuçları AquaChem 3.7 bilgisayar programı yardımıyla değerlendirilmiştir. Bölgenin jeoloji ve örnekleme haritaları Adobe Illustrator CS5 programında, su tablası haritaları ise AutoCad 2010 programında çizilmiştir.

3. BULGULAR

3.1. Jeoloji

Çalışma alanı ve çevresinde gözlenen birimler yaşlıdan gence doğru Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Guleman Ofiyolitleri, Senoniyen yaşlı Elazığ Magmatitleri, Maestrihtiyen – Alt Eosen yaşlı Hazar Grubu, Orta Eosen yaşlı Maden Karmaşığı, Pliyo- Kuvaterner yaşlı alüvyonlardır (Şekil 3.1).

3.1.1 Guleman Ofiyoliti

(Üst Jura-Alt Kretase, JKg)

Guleman Ofiyoliti ismini Elazığ' a bağlı Guleman ilçesinden almıştır. Özkaya (1975), Maden-Ergani-Guleman bölgesinde bu birim için 'Guleman ultrabazit ve serpantinitle' adını kullanmıştır. Sungurlu (1985), Çüngüş-Maden-Hazar yöresinde Guleman Ultramafitleri; Özkaya (1975), Ergani-Maden-Guleman yöresindeki çalışmasında Maden Karmaşığı içerisindeki uyumlu ofiyolit dilimlerine 'Bahro Ultrabazitleri' adını vermiştir. İlk defa 1977 yılında TPAO jeologları 'Guleman Grubu' adını kullanmışlardır. Engin ve diğerleri (1981), Ketin (1983), Özkan ve Öztunalı (1984); Guleman Ofiyoliti, Perinçek (1979b), Yazgan (1984), Bingöl (1984), Aktaş ve Robertson (1984), Sungurlu ve diğerleri (1981), Elazığ-Hazar-Palu alanının jeolojik özelliklerini incelerken, bu bölgedeki ofiyolitler için "Guleman Grubu" adını kullanmışlardır. Elazığ-Sivrice-Palu dolayının jeolojisi hakkında incelemeler yapan Herece ve diğerleri (1992), birim için Guleman Ofiyolitik Kompleksi adını kullanmışlardır.

Guleman Ofiyoliti üzerine çalışmalar yapan araştırmacılar; birimin tabandan tavana doğru; dünit ve podiform kromit içeren harzburjitler, dünit-verlit-klinopiroksenit aralanması, bantlı gabrolar, kuvars gabro/diyoritlere veya plajiyogranite kadar değişen bir dizi ve ofiyolitlerle arazi ilişkisi gözlenmeyen, ancak jenetik olarak ilişkili olduğunu düşündükleri volkanitlerden oluştuğunu kabul etmektedirler (Özkan ve Öztunalı, 1984; Erdogan, 1977; Özkan, 1982; Bingöl, 1987a,b; Kılıç, 2005).

Doğu Toroslar'da araştırma yapan pek çok bilim adamı (Perinçek, 1979b; Perinçek ve Özkaya, 1981; Bingöl, 1984; Sungurlu ve diğerleri, 1985; Yazgan ve Chessex, 1991), Guleman Ofiyoliti'nin Arap Levhası ile Anadolu Levhası arasında Üst Triyas'tan itibaren açılmaya başlayan okyanus kabuğu ürünleri olduğunu ve bu okyanusun Üst Kretase'de başlayan kapanması ile de güneye doğru Arap Levhası üzerine bindirdiğini kabul etmektedirler.

Birim çalışma alanında, Hazar Gölü'nün kuzeydoğusunda ve güneybatısında yayılım göstermekte olup dünit, verlit, piroksenit, olivinli, klinopiroksenli gabro, bantlı gabro, lertzolit ve gabroları kesen diyabaz dayklarından oluşmaktadır (Kaya, 1992).

3.1.2 Elazığ Mağmatitleri

(Senoniyen, Ke)

İlk kez Hakkari ile Yüksekova civarında Perinçek (1979) tarafından Yüksekova Karmaşığı olarak adlandırılan bu birim doğuda Hakkari'den başlayarak batıda Elbistan'a kadar Doğu Toroslar üzerinde oldukça geniş bir alanda yayılım göstermektedir. Birim bir çok araştırmacı tarafından Yüksekova Karmaşığı olarak adlandırılmıştır (Aksoy, 1993).

Daha sonraki yıllarda yapılan bazı çalışmalarda Baskil Magmatitleri (Asutay, 1985; Akgül, 1987'den) ve Elazığ Magmatitleri (Turan ve diğ., 1995) olarak adlandırılmıştır.

Elazığ Magmatitleri Doğu Toroslar'daki yüzeylemelerinde genel olarak gabro, diyorit, monzonit, tonalit, granodiyorit, granit, diyabaz, bazalt, andezit, piroklastik kayalar ve çamur taşlarından oluşan bir litoloji ile temsil edilmektedir (İnceöz, 1994).

Birim çalışma alanında Hazar Gölü'nün kuzeyinde, güneyinde ve batısında yayılım göstermekte olup gabro, diyabaz, bazalt ve andezit gibi magmatik kayalarla temsil edilmektedir (Kaya, 1992; Gürocak, 1993).

3.1.3 Hazar Grubu

(Maestrihtiyen-Alt Eosen, KThs)

Tipik olarak Hazar Gölü'nün kuzeyi ve doğusunda yüzeyleyen ve adını da buradan alan bu birim, ilk kez Rigo de Righi ve Cortesini (1964) tarafından "Hazar Birimi" olarak adlandırılmıştır.

Sungurlu (1975), birimi grup düzeyinde inceleyerek Simaki, Şebgen ve Gehroz formasyonları şeklinde üç formasyona ayırmıştır.

Özkaya (1975), birimi Hazar Formasyonu olarak tanımlamış, Aktaş ve Robertson ise (1990) Hazar Grubu olarak adlandırarak Ceffan, Simaki ve Gehroz formasyonu olmak üzere üç alt birime ayırmışlardır.

Sungurlu ve diğerleri (1985), Elazığ-Palu-Hazar çevresinde yapmış oldukları çalışmada 'Hazar Formasyonu' adı altında, Ceffan ve Simaki Formasyonlarını tanımlamışken; Gehroz Formasyonu'nu Hazar birimi üzerine uyumsuz olarak gelen ayrı bir birim olarak benimsemiştir.

İnceleme alanında yapılan önceki çalışmalarda Simaki Formasyonu, kumtaşı, çamurtaşı ve şeyl ardalanmasıyla temsil edilmektedir. Birim, bu litolojisi ile bir fliš özelliği sunmaktadır. Kumtaşı – çamurtaşı ardalanmasıyla temsil edilen flišlerin, derin deniz ortamını karakterize eden çökeller olduğu göz önünde bulunduracak olursa, Simaki Formasyonunun oluşum ortamını derin deniz ortamı olarak kabul edebilir (Gürocak, 1993). Çelik (2003), çalışmasında Simaki Formasyonu'nun ,Doğu Anadolu Fayı'nın güney blokunda, Gezin çevresinde yüzeyletiğini belirtmiştir, Gehroz Formasyonu ise inceleme alanında sadece tepe kısımlarda görülen küçük alanlardaki kireçtaşlarıyla temsil olunmaktadır (Kaya, 1992).

Birim Hazar Gölü'nün kuzeyinde, güneyinde ve güneydoğusunda yayılım göstermektedir (Şekil 3.1).

3.1.4 Maden Grubu

(Orta Eosen, Tm)

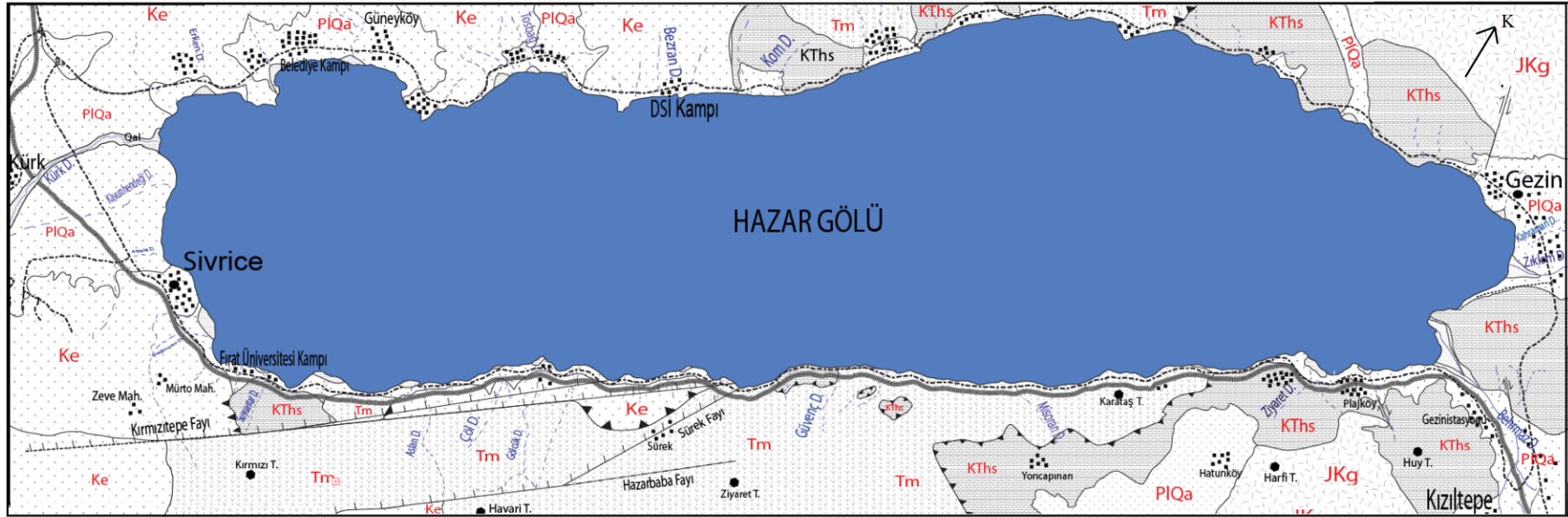
Birimi ilk defa Rigo de Righi ve Cortesini (1964)“Maden Birimi” olarak adlandırmıştır. Aynı birimi daha sonra Özkaya (1978), “Sason-Baykan Grubu”; Açıkbaz ve Baştuğ (1975), “Baykan Karmaşığı”; Erdoğan (1982), Yiğitbaş ve ark. (1991), Yılmaz (1993), “Maden Grubu”; Perinçek (1979), Perinçek ve Özkaya (1981), Yazgan (1983, 1984), Hempton (1984), Aktaş ve Robertson (1985), Yazgan ve Chessex (1991), Yiğitbaş ve Yılmaz (1996), “Maden Karmaşığı” olarak isimlendirmişlerdir.

Birim, tabanda Guleman Ofiyoliti’nin gabroları üzerinde taban çakıllaşlarıyla başlar. Üste doğru kumtaşı tabakaları, yer yer silisleşmiş kırmızıkahve- gri renkli kumtaşı-çamurtaşı-marn ardalanmasına geçer. Bunların üstünde bol Nummulit fosilli, gri renkli neritik, mikritik kireçtaşları bulunur. Birim en üstte, kırmızı-pembe pelajik kireçtaşlarıyla son bulur. Tüm bu birimlere yanal ve düşey geçişli, ara katkılar halinde gözlenen andezitik, bazaltik volkanitler eşlik eder. Volkanotortul istifin ara seviyelerinde manganlı-demirli cevherleşmeler görülür. Maastrichtiyen yaşlı, gri renkli kireçtaşı olistolitleri, havza dışı kökenli yabancı bloklar şeklinde istife karışmışlardır. Aynı zamanda havza içi kökenli kireçtaşı olistolitleri de tespit edilmiştir. Bu olistostromal istife volkanizmanın da eşlik etmesi Maden çökelme havzasının genel özelliğidir.

Gezin Beldesi’nin kuzey kesimlerinde ve Hazar Gölü güneyinde yaygın yüzeylemelerini veren birim bölgede bazalt, andezit, kırmızı-pembe- gri renkli kireçtaşı, volkanik ara katkılı yeşil-gri-kırmızı renkli şeyl- kumtaşı marn ardalanması ile temsil edilmektedir (Kaya, 1992) (Şekil 3.1).

3.1.5 Alüvyonlar

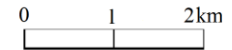
Pliyo(?)- Kuvaterner yaşlı alüvyonlar inceleme alanında özellikle tektonizmanın yoğun olduğu Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde yayılım sunmaktadırlar. Kötü boyanmalı çakıl, kum, kil ve silt ile temsil olunan birimde taneler gevşek tutturulmuş olup, alüvyonlar içerisinde birime yaş verecek fosile rastlanılmadığından bulundukları stratigrafik konuma dayanarak bunlara olası Pliyo- Kuvaterner yaşı verilmiştir. Güncel alüvyonlar ise özellikle dere yataklarında gözlenmekte olup çakıl, kum ve silt boyutundaki, tutturulmamış malzemelerden oluşmuştur (Kaya, 1992).



LEJANT

	(PIQa) Pliyo(?)-Kuaterner	Alüvyon
	(Tm) Orta Eosen	Maden Karmaşığı
	(KThs) Maestrihtiyen-Alt Eosen	Hazar Grubu
	(Ke) Senoniyen	E-lazığ Mağmatitleri
	(JKg) Üst Jura-Alt Kretase	Guleman Ofiyoliti

	Formasyon Sınırı		Yerleşim Alanı
	Doğrultu Atımlı Fay		Demiryolu
	Bindime Fayı		Karayolu
	Normal Fay		Tepe
	Sürekli akan dere		Kuru Dere



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve çevresinin jeoloji haritası (Kaya 1992 ,Gürocak 1993, MTA, 2008'den değiştirilerek).

3.2. Tektonizma

İnceleme alanı Alp-Himalaya orojenik kuşağının Doğu Toroslar kesiminde, kıta-kıta çarpışmasının görüldüğü Bitlis-Zagros suture zone içerisinde yer almaktadır. Bu zonda tektonizmanın yoğun oluşu, çoğunlukla birimlerin ilksel stratigrafik ilişkilerinin bozulmasına neden olmuştur. Arabistan levhası ile Avrasya levhasının Orta Miyosen sonundaki çarpışmasını takip eden Geç Miyosen’de, yaklaşık K-G doğrultulu yatay sıkıştırma gerilmelerinin artması, kuzeyden güneye doğru bindirmeli-naplı yapıların gelişmesine ve Anadolu levhasının K-G doğrultusunda kısalıp kalınlaşmasına neden olmuştur. Belirli bir kalınlığa eriştikten sonra daha fazla kalınlaşamayan Anadolu levhası, Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı’nın oluşumları ile kırılıp batıya doğru kaçarak bu gerilmeleri karşılamaya çalışmıştır (Şengör, 1980).

Çalışma alanı içerisinde bulunan Doğu Anadolu Fay Zonu birbirine paralel iki faydan (Kırmızıtepe Fayı ve Hazar Baba Fayı) oluşan bir fay zone şeklindedir ve bu faylar inceleme alanı dışında güney batıya doğru birbirine yaklaşarak devam etmektedirler. Bölgedeki ana fay güneydeki fay oluşturmaktadır. Ancak, Hazar Gölü’nün kuzeydoğusundaki alanda inceleme yapan Kaya (1992) bölgede ana fayın gölün kuzey kenarına yakın olan fay olduğunu belirtmektedir. Bu durum Doğu Anadolu Fayı’nın Hazar Gölü’nün bulunduğu alanda kademeli bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Faylar inceleme alanında sırtlara paralel vadiler oluşturmaları ve morfolojik olarak arazide belirgin bir çizgisellik sunarlar (Gürocak, 1993).

3.3. HİDROLOJİ

Çalışma alanının hidroloji incelemesinin yapılması amacıyla havza içerisinde ve çevresinde bulunan Devlet Meteoroloji İstasyonlarının uzun yıllara ait ölçümleri değerlendirilerek akım, buharlaşma- terleme (evapotranspirasyon) verileri değerlendirilmiştir.

3.3.1. Buharlaşma

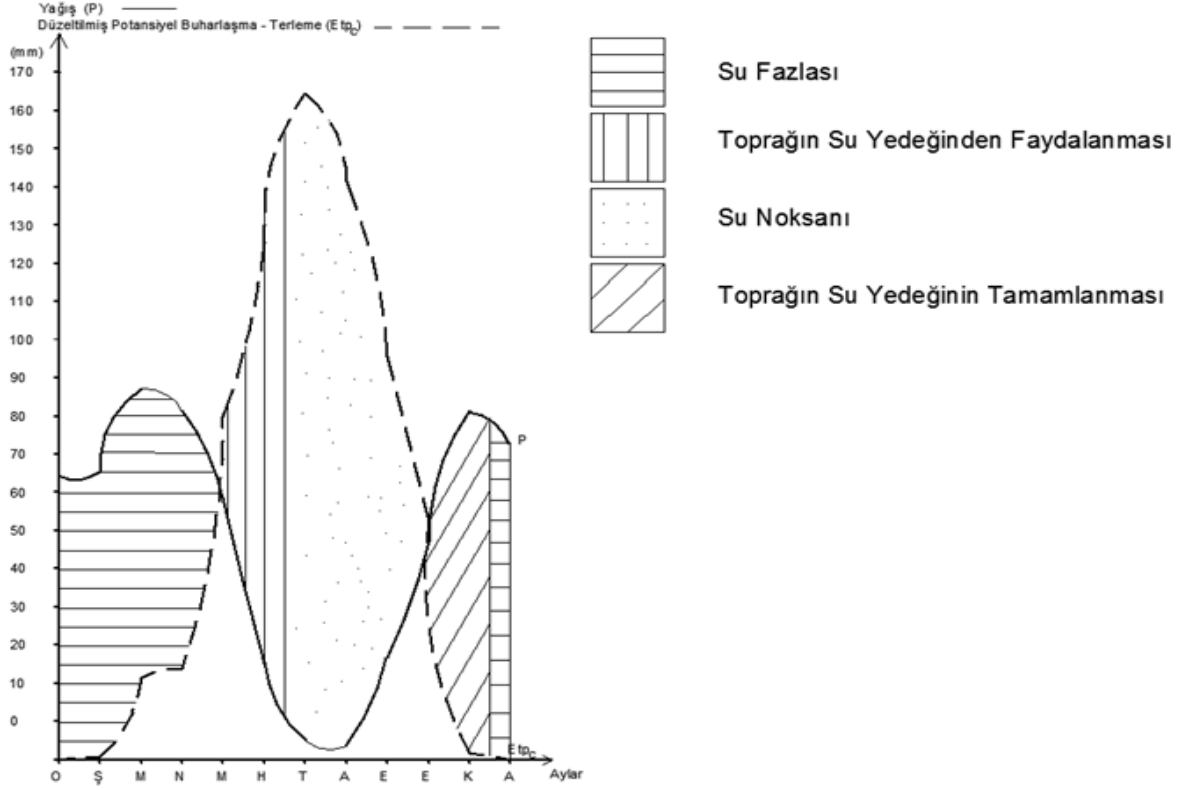
Çalışma alanında gerçekleşen buharlaşma miktarını tespit edebilmek amacıyla Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır. Thornthwaite yönteminde kullanılan aylık sıcaklık ve yağış verileri Devlet Meteoroloji İstasyonundan temin edilmiştir. Elde edilen bu veriler yardımıyla çalışma alanındaki potansiyel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

Çalışma alanının genel hidrolojik yapısının aydınlatılması amacıyla Devlet Meteoroloji 13. Bölge Müdürlüğü'nün Sivrice gözlem İstasyonu'na ait 1991- 2013 yılları arası yağış ve sıcaklık verileri Thornthwaite yöntemi ile değerlendirilerek çalışma alanındaki gerçek buharlaşma-terleme, sellenme ve süzülme hesaplanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. İnceleme alanının 1991-2013 yılları arasındaki nem bilançosu (Thornthwaite formülüne göre).

Aylar	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Toplam
Aylık Sıcaklık Ort. °C	-0.73	0.25	5.29	10.9	16.3	21.8	25.9	24.6	20.7	14.6	6.6	0.9	
Sıcaklık İndisi	0	0.01	1.09	3.25	5.98	9.3	12.1	11.2	8.59	5.07	1.52	0.07	58.18
Potansiyel Buharlaşma-Terleme Etp-mm	0	0.19	13.9	38.6	68.1	102.4	130.4	121.3	95.2	58.3	19.1	1.16	
Enlem Düzeltme Katsayısı	0.85	0.84	1.03	1.105	1.23	1.24	1.255	1.175	1.04	0.96	0.84	0.825	
Düzeltilmiş Etp-mm	0	0.16	14.4	42.7	83.7	126.9	163.7	142.5	98.9	55.9	16.04	0.96	746.01
Yağış-mm	64.2	65.3	87.7	81.7	58.8	14.3	5.7	4.93	14.7	47.7	81.99	74.3	601.07
Faydalı Su Yedeği -mm	100	100	100	100	75.13	0	0	0	0	0	65.95	100	
Gerçek Buharlaşma Terleme Etr -mm	0	0.16	14.4	42.7	83.7	89.4	5.7	4.93	14.7	47.7	16.04	0.96	320.35
Su Fazlası -mm	64.2	65.3	73.3	38.8	0	0	0	0	0	0	0	39.3	280.8
Su Noksanı -mm	0	0	0	0	0	37.5	157.9	137.6	84.3	8.25	0	0	425.66

Hazırlanan nem bilançosuna göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 601.07 mm, gerçek buharlaşma-terleme 320.35 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı ise 280.88 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın % 46.73'ü kadardır. Bu verilere göre çalışma alanının yağış ve buharlaşma-terlemenin grafiği hazırlanmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Thornthwaite yöntemine göre Hazar Gölü çevresi için yağış ve Etp'nin aylık değişim grafiği.

Bu grafikte, Kasım ayının ortasında başlayıp Mayıs ayının ortasına kadar olan dönemde su fazlalığı; Haziran ayının ortasıyla Ekim ayının ortası arasında ise su noksanlığı vardır ve Ekim ile Aralık ayları arasında ise bölgeye düşen yağış miktarı artmakta ve toprağın su yedeği bu aylar arasında tamamlanmaktadır. Ekim ayının ortasında bölgede yine su fazlalığı meydana gelmektedir.

3.3.2. Akım

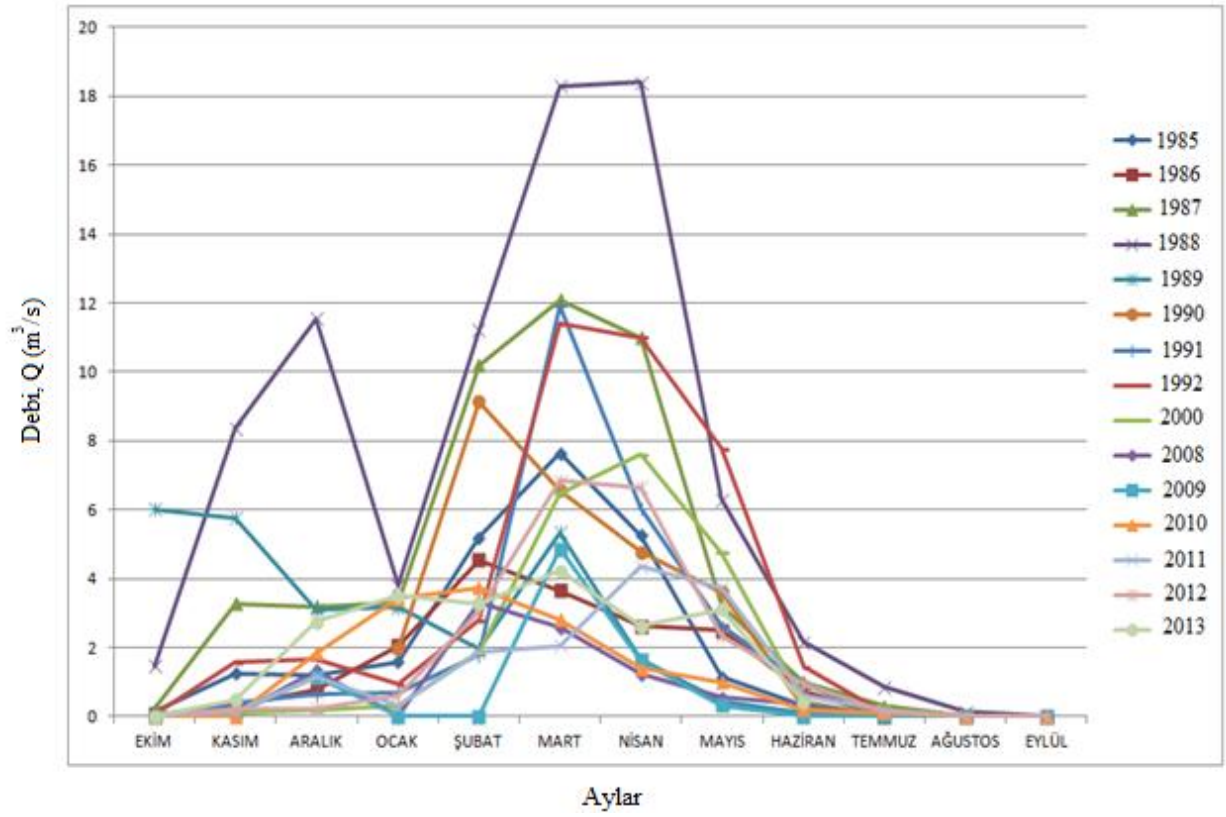
Hazar Gölü Havza alanı içerisinde gölü besleyen büyük dereler kuzeydoğuda Savsak Deresi, doğuda Zıkkım Deresi, güneydoğuda Behremaz besleme kanalı, güneyde Değirmendere, Arpalık Dere, Moğal Deresi, batıda ise Kürk Çayı'dır. Bu derelerden Behremaz Deresi 19000 m ile Kürk Çayı ise 20400 m dere boyları ile diğer derelere göre oldukça uzunken, Değirmendere, Arpalık ve Moğal derelerinin eğimleri ise diğer derelere göre oldukça diktir (Emiroğlu, Baylar ve Balı, 1998).

Çalışma alanı içerisinde bulunan Behremaz Deresi'ne ait yıllık akım değeri Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

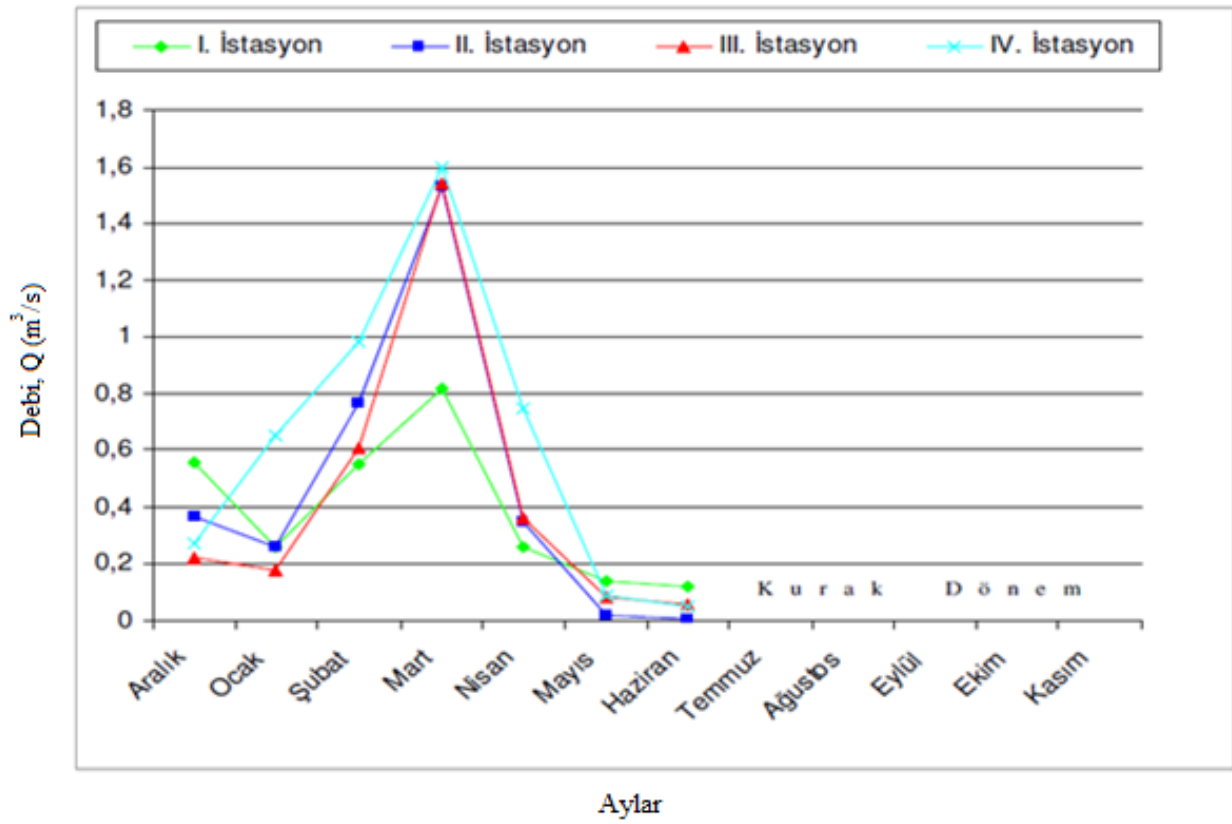
Çizelge 3.2. Behremaz Deresi 1985-2013 yılları arası akım değerleri (m³/s) (DSİ 9.Bölge Müdürlüğü).

Yıllar	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Toplam
1985	0.13	1.25	1.2	1.58	5.19	7.64	5.25	1.15	0.29	0.08	0	0	23.76
1986	0.07	0.32	0.78	2.04	4.54	3.66	2.61	2.49	0.75	0.01	0	0	17.27
1987	0.22	3.27	3.19	3.29	10.2	12.1	11	3.2	1	0.29	0	0	47.75
1988	1.45	8.362	11.55	3.80	11.21	18.3	18.4	6.286	2.163	0.839	0.131	0	80.585
1989	6.01	5.77	3.11	3.17	1.96	5.34	1.65	0.43	0.103	0	0	0	27.543
1990	0	Ö.Y	Ö.Y	1.96	9.13	6.56	4.78	3.62	0.251	0.043	0	0	26.384
1991	0	0.398	0.644	0.70	1.78	11.9	6.03	2.62	0.935	0.002	0	0	25.01
1992	0.08	1.57	1.64	0.93	2.78	11.4	11	7.76	1.44	0.106	0	0	38.75
2000	0	0.103	0.181	0.29	1.86	6.49	7.6	4.74	0.441	0.004	0	0	21.71
2008	0	0.076	1.325	Ö.Y	3.311	2.58	1.219	0.553	0.338	0	0	0	9.403
2009	0	0.113	1.147	Ö.Y	Ö.Y	4.86	1.633	0.319	0	0.016	0	0	8.087
2010	0	0	1.834	3.43	3.733	2.80	1.396	0.995	0.196	0.108	0	0	14.497
2011	0	0.135	1.165	0.29	1.86	2.05	4.343	3.742	0.587	0.19	0	0	14.359
2012	0	0.242	0.242	0.59	3.062	6.84	6.654	2.338	0.931	0.153	0	0	21.062
2013	0	0.494	2.74	3.51	3.271	4.22	2.616	3.104	0.428	Ö.Y.	Ö. Y.	Ö. Y.	

Behremaz Deresi ve Kürk Çayı'na ait akım grafikleri ise Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. Bu akım değerlerine göre Behremaz Deresi'nde maksimum akım Mart ve Nisan aylarında olup Ağustos-Eylül aylarında akım olmamaktadır (Şekil 3.3). Kürk Çayı ise Aralık ve Haziran ayları arasında akış halinde, Temmuz ve Kasım ayları arasında ise kuraktır. Kürk Çayı'nın maksimum akımı Mart ve Nisan ayları arasındadır.



Şekil 3.3. Behremaz Deresi'nin 1985- 2013 yılları arası debi değişimleri (DSİ 9. Bölge Müdürlüğü).



Şekil 3.4. Kürk Çayı'nın 2006 yılı debi değerleri (Gölbaşı, 2006).

Her iki dereden de göle büyük miktarlarda sediment taşınmakta ve göl içerisinde yüksek oranlarda siltlenme meydana gelmektedir. Sağıroğlu ve Çetindağ (1995) çalışmalarında Kürk Çayı ve Moğal deresinin Hazar Gölü'ne taşıdıkları silt-kil miktarını yıllık 80000 ton olarak hesaplamışlardır. Hazar Gölü'nü yapay olarak besleyen ve 21408 ha (Duran ve Günek, 2007) havza alanına sahip Behremaz Deresi'nin göle taşıdığı silt miktarı da oldukça fazladır (Şekil 3.5). Hazar Gölü'ne özellikle yağışlı dönemlerde yüzeysel akışla taşınan oldukça yüksek miktardaki silt gölün su kalitesi ve ekosistemini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 3.5. Behremaz Deresi besleme kanalı içerisinde meydana gelen siltlenme (Koordinat:546012 - 4260453).

3.4. HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanı içerisinde bulunan birimler fiziksel ve hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak geçirimli, yarı geçirimli ve geçirimsiz birimler olarak sınıflandırılmıştır.

3.4.1 Geçirimli Birim

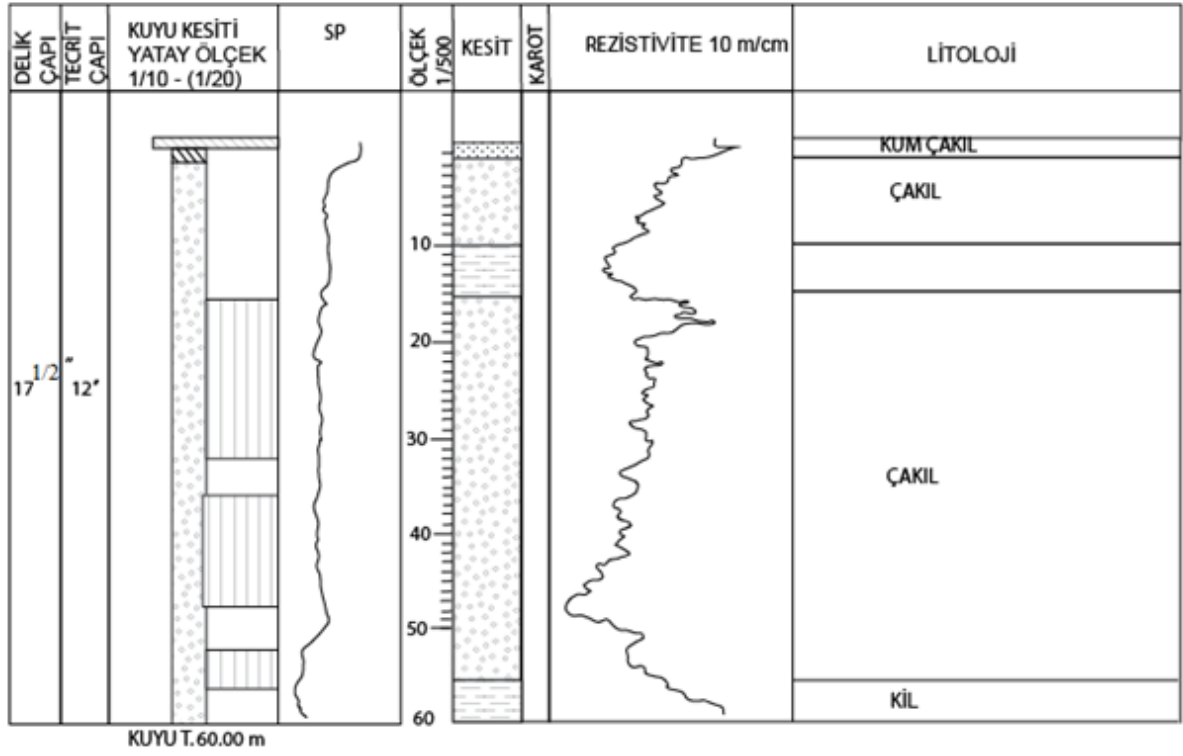
Çalışma alanı içerisinde bu çalışmanın temel konusunu oluşturan Pliyo – Kuvaterner yaşlı alüvyonlar ile güncel dere alüvyonları oldukça yüksek verimli gözenekli akiferleri oluşturmaktadır. Alüvyon malzeme bölgede yayılım gösteren Guleman Ofiyolitleri, Elazığ Magmatitleri, Hazar Grubu ve Maden Grubu kaya birimlerinden oluşan çakıl ve blokları ile kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Alüvyonu oluşturan çakıllar yuvarlaklaşmış olup kötü boylanmalıdır.

Hazar Gölü batısında, Kürk Çayı havzasında, kıydan uzaklaştıkça alüvyonu oluşturan tane boyu artmakta olup taneler daha sıkı tutturulmuştur. Kıyıya yaklaştıkça, akarsu rejiminin durağan olduğu bölgelerde silt, kumlu silt ve kil boyu malzeme artmaktadır. Alüvyon içerisinde sahile yakın kesimlerde bataklık alanlar bulunmakta olup özellikle yağışlı dönemlerde bu alanlar artmaktadır. Alüvyon içerisinde DSİ tarafından açılmış 5 adet sondaj kuyusu bulunmakta olup bu sondaj kuyularına ait teknik bilgiler ile kuyu logları Çizelge 3.3, Şekil 3.6 (a,b,c,d)' da verilmiştir. Sondaj kuyu verilerine göre alüvyon kalınlığı yer yer 60 m'ye ulaşmaktadır. Hazar Gölü batısında İstasyon mahallesinde açılan sondaj kuyusunda ardalı olarak kil ve çakıl seviyeleri bulunurken Azot Fabrikası'nda açılan sondaj kuyusunda ise alüvyonda üst seviyelerde killi kum, daha alt seviyelerde az killi çakıl hakimdir. Alüvyon içerisinde özellikle İstasyon Mahallesi Suluçayır Düzü'nde özel kişiler tarafından da açılmış pek çok keson ve sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu bölgede açılan sondaj kuyu derinlikleri 30- 50 m; keson kuyu derinlikleri ise 7-12 m arasında olup kuyu suları yöre halkı tarafından içme ve sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 3.3. Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyularının teknik verileri.

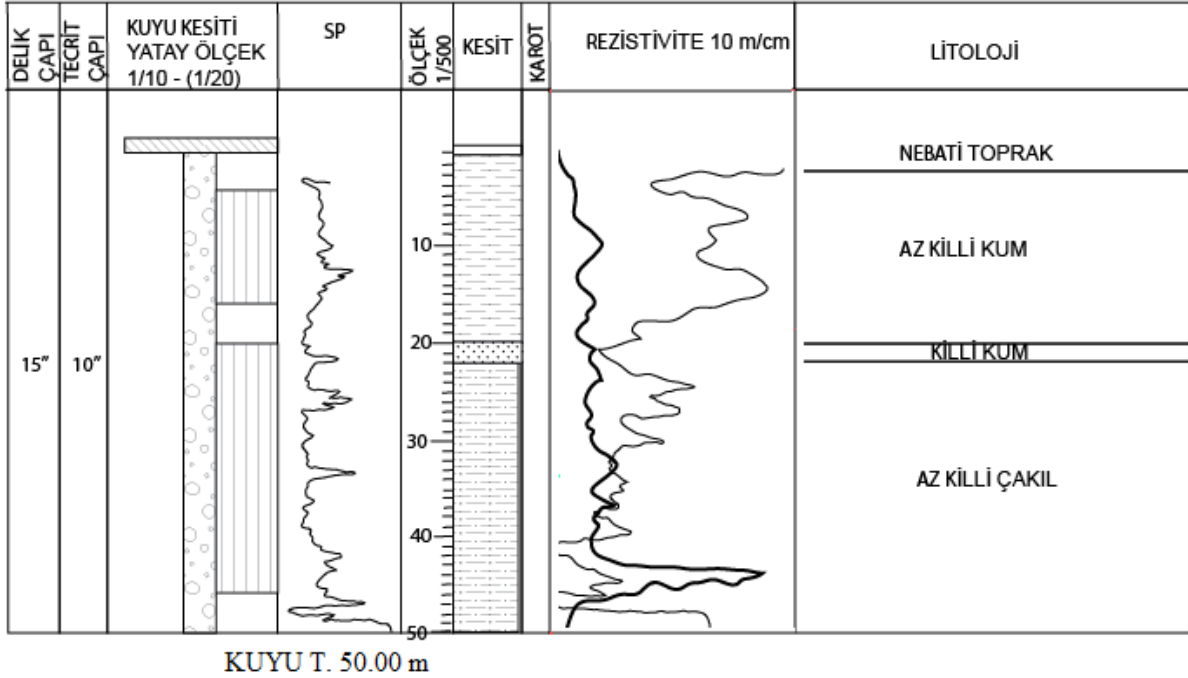
Kuyu numarası	Kuyu adı	Derinlik (m)	Debi (L/s)	Statik seviye (m)	Dinamik seviye (m)
20944	Sivrice	60	18	2	15
48512	Sivrice	50	12	ölçülmedi	ölçülmedi
20945	Sivrice	31	47.91	0	ölçülmedi
24689	Sivrice	40	1	14	32
58550	Kızıltepe	80	9	2.10	3.55

Kuyu No:20944



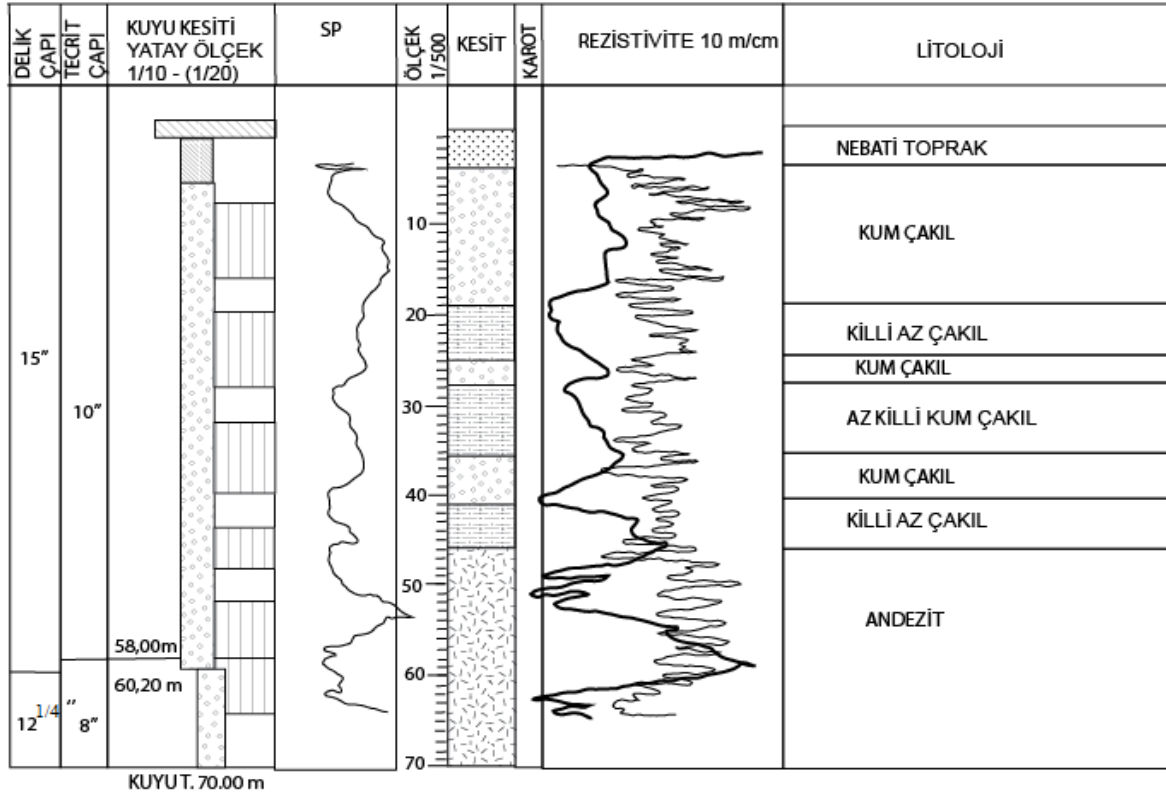
(a)

Kuyu No: 48512



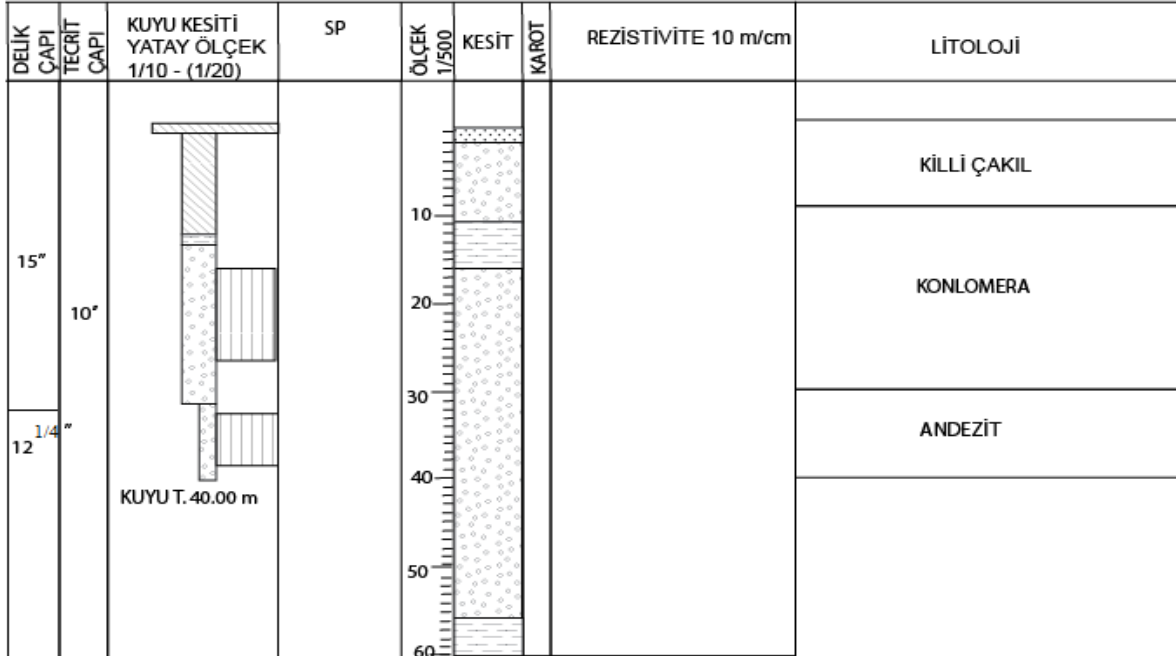
(b)

Kuyu No: 20945



(c)

Kuyu No: 24689



(d)

Şekil 3.6 (a,b,c,d): Hazar Gölü batısındaki alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyularının logları.

Hazar Gölü doğusunda bulunan Kızıltepe mevkiindeki alüvyon yer yer bloklar içermekte olup çakıl, kum, silt ve kilden oluşmuştur. Blok ve çakıllar yarı yuvarlak olup sedimanter ve volkanik kayalar kökenlidir. Karayolları 8. Bölge Müdürlüğü tarafından hazırlanan Elazığ- Diyarbakır Ayrımı.- Hazar İl Yolu Jeolojik- Jeoteknik Etüt raporuna göre bu bölgede alüvyon az bloklu, az çakıllı, siltli, kumlu ve düşük plastisiteli kilden oluşmaktadır. Alüvyonun orta kesimlerinde kum oranı artmakta kil oranı ise azalmakta olup alüvyon bu kesimlerde açık kahverenkli, az bloklu, az killi, siltli, ince taneli kumdan oluşmaktadır. Kızıltepe’den daha güneye doğru gidildikçe az bloklu, çakıllı, bol kumlu orta plastisiteli kil, yer yer bol killi ince taneli kum baskındır. Bu alüvyon akifer içerisinde açılmış resmi kurum ve şahıslara ait sondaj kuyuları bulunmaktadır. Bu sondaj kuyularının derinlikleri 30- 90 m arasındadır. Bölgedeki keson kuyuların derinlikleri ise 7- 15 m arasında olup çoğu kullanma ve sulama amaçlı olarak kullanılmaktadır. Alüvyon akifer içerisinde Gezin Belediyesi’ne ait 2 adet sondaj kuyusu bulunmakta olup beldenin içme ve kullanma suyu bu kuyulardan sağlanmaktadır. Kuyuların derinlikleri 60 ve 70 m’dir her ikisinin de debisi 25 L/s’ dir. Alüvyon içerisinde DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılmış sondaj kuyu loguna göre bölgede alüvyon kalınlığı yaklaşık 70 m olup, alüvyonda yaklaşık 10 m derinliğe kadar kumlu kil, derinlere doğru gidildikçe killi kum- çakıl, kumlu çakıl, kumlu kil, killi çakıllı kum serileri hakimdir (Şekil 3.7). Bu sondaj kuyusunun statik seviyesi 2.10 m, dinamik seviyesi ise 3.55 m olup debisi 9 L/s’dir.

Kuyu No: 58550

Ku. Çapı	Teç. Çapı	KUYU KESİTİ	SP	ÖL- ÇEK	KESİT	REZİSTİVİTE m/cm	LİTOLOJİ
17	10"		ÖLÇÜM ALINMADI	10			0.00 - 5.00 NEBATİ TOPRAK
				20			5.00 - 10.00 Kumlu KİL
				30			10.00 - 16.00 KİLLİ KUM ÇAKIL
				40			16.00 - 20.00 KİL
				50			20.00 - 32.00 KİLLİ - KUM ÇAKIL
				60			32.00 - 35.00 Kumlu ÇAKIL
				70			35.00 - 40.00 Kumlu KİL
				80			40.00 - 70.00 KİLLİ ÇAKILLI KUM
17	10"			60			KİLLİ ÇAKILLI KUM
				70			70. 00 - 80.00 DİYABAZ

KUYU T. 80.00 m

Şekil 3.7. Hazar Gölü doğusundaki alüvyonda DSİ 9. Bölge Müdürlüğü tarafından açılan sondaj kuyusu logu.

Elazığ Magmatitleri ile Maden Grubu volkanik kayalar da geçirimli birim olarak değerlendirilmiştir. Elazığ Maęmatitleri'ne ait magmatik ve volkanik kayalar ile Maden Grubu'na ait volkaniklerin birincil gözeneklilikleri oldukça dūřuktur. Ancak bu kayalar bölgedeki etkin tektonik faaliyetler nedeniyle kırıklı-çatlaklı bir yapı kazanarak ikincil porozite ve geçirimliliğe (permeabilite) sahip olmuşlardır. Bu formasyonlar çatlaklı kaya akiferleri olup, içerisindeki yeraltı suyu akım yönünü kırık-çatlak dağılımları ile fay hatları kontrol etmektedir. Bu formasyonlar içerisinde açılmış keson ve sondaj kuyuları bulunmakta olup özellikle içme ve sulama amaçlı kullanılmaktadır. Ayrıca, bu formasyonlardan beslenen yüksek debili kaynaklar da bulunmaktadır. Bu kaynaklardan Karaçalı kaynakları bölgede volkanik ara katkılı çamurtaşları ile temsil olunan Maden Grubu ile Elazığ Magmatitlerinin dokanağından çıkmakta olup Sivrice (Elazığ) ilçesine bağlı Karaçalı Köyü'nün GD'sunda ve 2 km uzağında 1730 m ile 1790 m kotlarında boşalmaktadır (ztekin, 1998).

3.4.2. Yarı Geçirimli Birimler

Hazar Grubu ile Maden Grubu'na ait kireçtaşı, kumtaşları ve çamurtaşları yarı geçirimli özelliktir. Çalışma alanı içerisinde özellikle kumtaşı seviyelerinden boşalan yüksek debili kaynaklar bulunmaktadır. Bölgedeki aktif tektonizmaya bağlı olarak oldukça kırıklı ve çatlaklı yapı kazanmış olan bu birimler içerisinde açılmış keson ve sondaj kuyuları bulunmaktadır.

3.4.3. Geçirimsiz Birimler

Hazar - Maden Grubu'na ait fişler içerisindeki killi, marnlı seviyeler ile bölgedeki aktif tektonizmadan daha az etkilenmiş, kırık- çatlak sistemlerinin gelişmediği Guleman Ofiyolitleri'nin peridotit, serpantinit, harzburgit, dünit ve gabroları bölgedeki geçirimsiz birimleri oluşturmaktadır. Ofiyolitlerinin peridotit ve serpantinitlerinde gelişen kırık ve çatlaklarda yeraltı suyu bulunabilirken ofiyolitleri oluşturan diğer litolojik birimlerde yeraltı suyu bulunmamaktadır.

3.4.5. Alüvyon Akiferlerin Hidrojeolojik zellikleri

Çalışma alanında bulunan akiferlerin hidrojeolojik parametrelerini (K: Permeabilite (geçirimlilik) katsayısı, T: Transmisibilite katsayısı) belirlemek amacıyla çalışma alanını temsil edecek şekilde alüvyon akiferden 11 adet numune alınmış, bu numunelerle alüvyon akiferinin geçirimlilik katsayısı ve gözeneklilik değerleri belirlenmiştir.

3.4.5.1. Geçirimlilik (Permeabilite) Katsayısı

Hazar Gölü çevresinde yayılım gösteren alüvyonlardan toplam 11 adet örselenmiş örnek alınarak, laboratuarda, tabanı delikli kutu ve sabit basınçlı permeametre yöntemleriyle geçirimlilik deneyleri yapılmıştır (şekil 3.8).



Şekil 3.8. Alüvyonların geçirimsizlik katsayılarının belirlenmesi için örnek alınan yerler (Koordinatlar: 534044 – 4161387 ve 524268 - 4257715).

İnceleme alanında alüvyonlardan alınan örselenmiş örneklerin geçirimsizlik katsayıları tabanı delikli kutu yardımı ile hesaplanmıştır (Schoeller, 1962).

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

Formülde;

K = Geçirimsizlik katsayısı (m/s)

L = Kutuya konulan örnek kalınlığı (m)

t = Örneğin üst yüzeyinde suyun kaybolması için geçen zaman (s)

h = Örneğin üzerindeki suyun kalınlığı (m)

Sabit basınçlı permeametre yönteminde sıkışmamış malzemenin geçirimsizlik katsayısı ise

$$K = \frac{Q}{S} \times \frac{L}{h} \dots \dots \dots (2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Formülde:

K = Geçirimsizlik katsayısı (m/s)

Q = Örnekten süzülen suyun debisi (m³/s)

L = Örnek kalınlığı (m)

h = Suyun örneğe giriş ve çıkışındaki seviye farkı (m)

Laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen geçirimsizlik katsayıları Çizelge 3.4' te verilmiştir. Alüvyon akiferlerinin geçirimsizlik katsayıları $5.6 \times 10^{-4} - 4.42 \times 10^{-3}$ m/s arasında olup geçirimsiz zemin sınıfına girmektedirler.

Çizelge 3.4. Alüvyon akiferlerinin deneyler sonucunda hesaplanan geçirimsizlik katsayıları.

Örneklerin Alındığı Yerler	Örnek No	Tabanı delikli kutu yöntemi ile hesaplanan geçirimsizlik katsayıları (m/s)	Sabit basınçlı permametre yöntemi ile hesaplanan geçirimsizlik katsayıları (m/s)
Hazar Gölü Batısı	1	5.2×10^{-4}	3.5×10^{-4}
	2	2.9×10^{-3}	4.42×10^{-3}
	3	5.3×10^{-4}	3.63×10^{-4}
	4	4.4×10^{-4}	5.4×10^{-4}
	5	1.3×10^{-4}	1.15×10^{-4}
	6	2.0×10^{-4}	1.58×10^{-4}
Hazar Gölü Kuzeyi	7	2.9×10^{-4}	4.20×10^{-4}
	8	5.6×10^{-4}	4.69×10^{-4}
Hazar Gölü Güney doğusu	9	4.4×10^{-3}	2.9×10^{-3}
	10	5.1×10^{-4}	4.15×10^{-4}
	11	3.0×10^{-4}	2.3×10^{-4}

Hazar Gölü doğu ve batısındaki alüvyonlarda DSİ tarafından açılmış sondaj kuyularında pompa deneyleri yapılmıştır. Bu pompa deneyleri sonucunda elde edilen zaman - düşüm değerleri Jacob Yöntemi (1946) ile değerlendirilip alüvyon akiferlerin transmisivite (T) ve geçirimsizlik katsayıları (K) hesaplanmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Jacob Yöntemi ile hesaplanan akifer parametreleri (T, K).

Kuyu Numarası	Jacob Yöntemi	
	Geçirimsizlik katsayısı (K) (m/s)	Transmisivite (T) (m^2/s)
20944	4.8×10^{-5}	1.54×10^{-3}
48512	9.7×10^{-4}	3.7×10^{-2}
20945	6.3×10^{-5}	1.7×10^{-5}
24689	Pompa Tecrübesi Yapılmamıştır	
58550	1.35×10^{-4}	3.23×10^{-3}

3.4.5.2. Gözeneklilik (Porozite)

Alüvyonlardan alınan 11 adet örselenmiş örneğin gözenekliliği laboratuvarında sıkılama yöntemi ile belirlenmiştir. Araziden alınan örnekler etüvde 110 °C sıcaklıkta 24 saat bekletildikten sonra sıkılama yöntemiyle toplam gözeneklilik, özgül verim (Q_s) ve özgül tutum (Q_r) değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 3.6).

Gözeneklilik aşağıdaki formülle yapılmıştır;

$$n = \left(\frac{V_v}{V_t} \right) \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

n = Toplam gözeneklilik

V_v = Kayacın toplam boşluk hacmi

V_t = Kayacın toplam hacmi

Çizelge 3.6. Alüvyon akiferlerinin gözeneklilik değerleri.

Örneklerin Alındığı Yerler	Örnek No	Gözeneklilik (%)	Özgül Verim Q_s (%)	Özgül Tutum Q_r (%)
Hazar Gölü Batısı	1	50	32.00	18.00
	2	40	26.40	13.60
	3	30	21.00	9.00
	4	50	20.00	30.00
	5	50	12.00	38.00
	6	50	27.00	23.00
Hazar Gölü Kuzeyi	7	40	29.60	10.40
	8	40	16.00	24.00
Hazar Gölü Güney Doğusu	9	55	26.95	28.05
	10	40	33.60	6.40
	11	40	32.80	7.20

3.4.6. Su Tablası Haritaları

Çalışma alanı içerisinde 23' ü Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferde; 18'i Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferde açılmış toplam 41 kuyuda statik su seviyeleri elektrikli seviye ölçü aleti ile ölçülmüştür (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10).



Şekil 3.9. Kuyu yerlerinin GPS ile belirlenmesi.

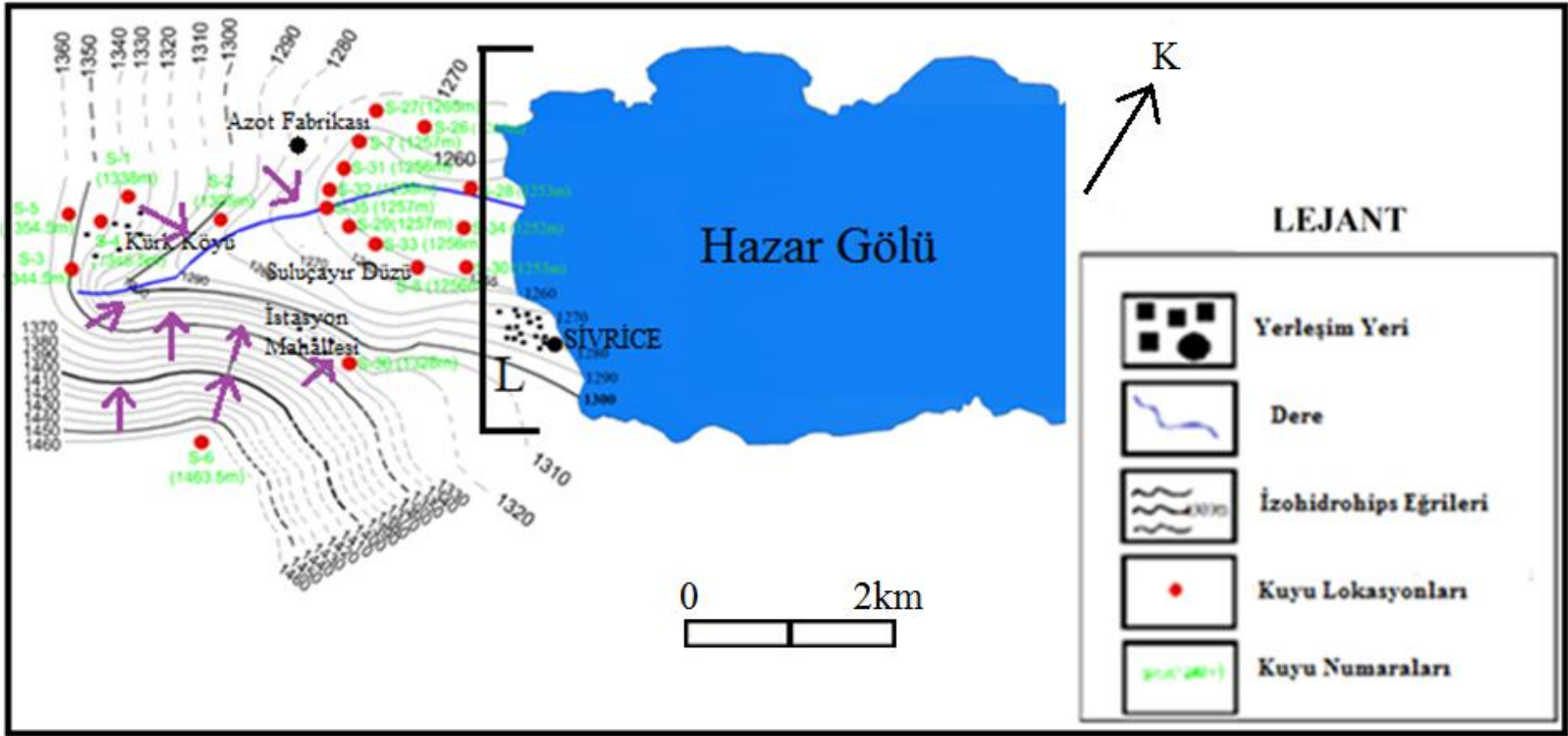


Şekil 3.10. Kuyularda statik su seviyesi ölçümü (Koordinat: 525361 - 4256837).

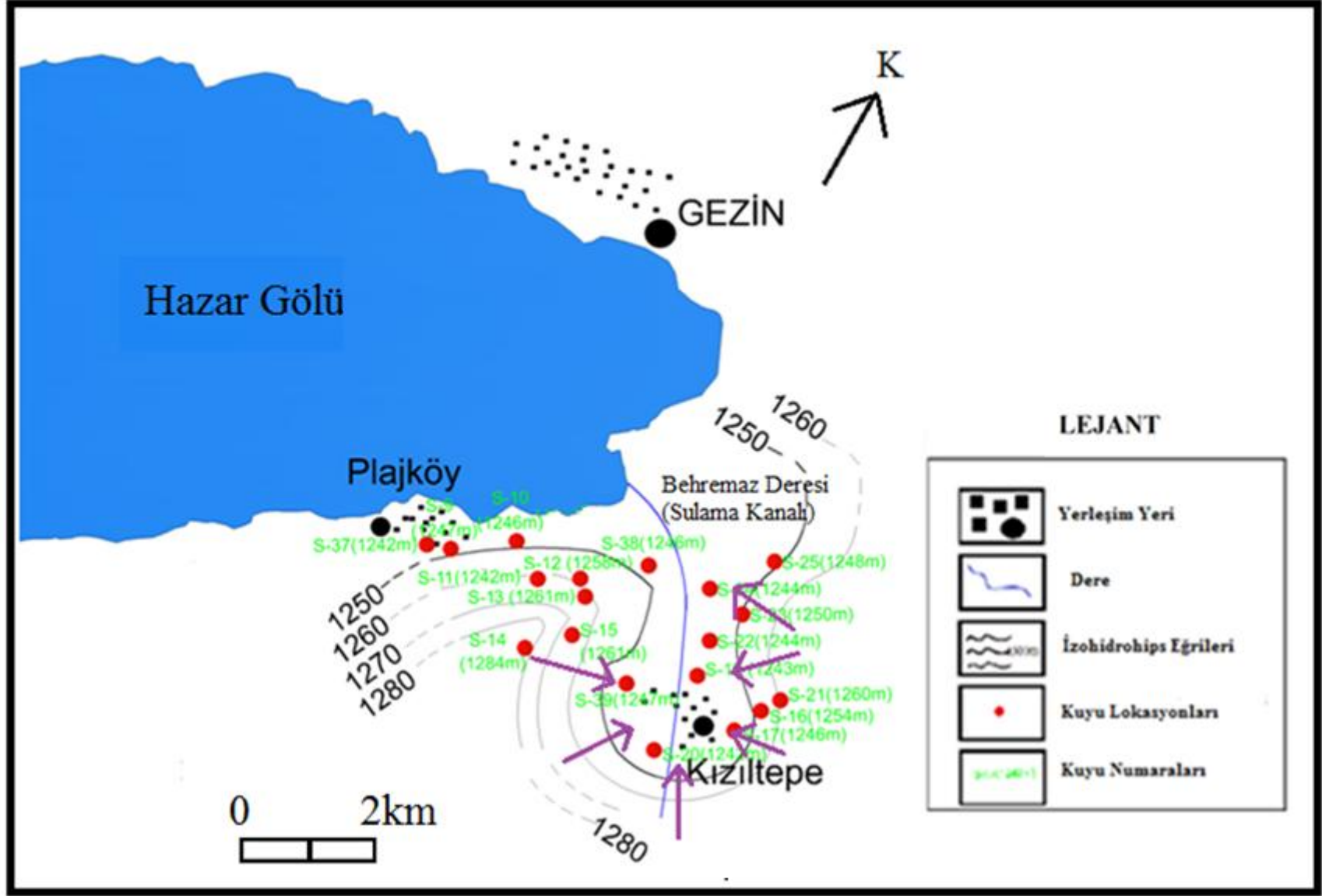
Kuyularda statik su seviye ölçümleri yağışlı ve kurak dönemleri temsil eden Nisan ve Ekim aylarında yapılmıştır (Çizelge 3.7, Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).

Çizelge 3.7. Hazar Gölü çevresindeki alüvyon akiferlerde açılmış kuyularda ölçülen statik seviyeler.

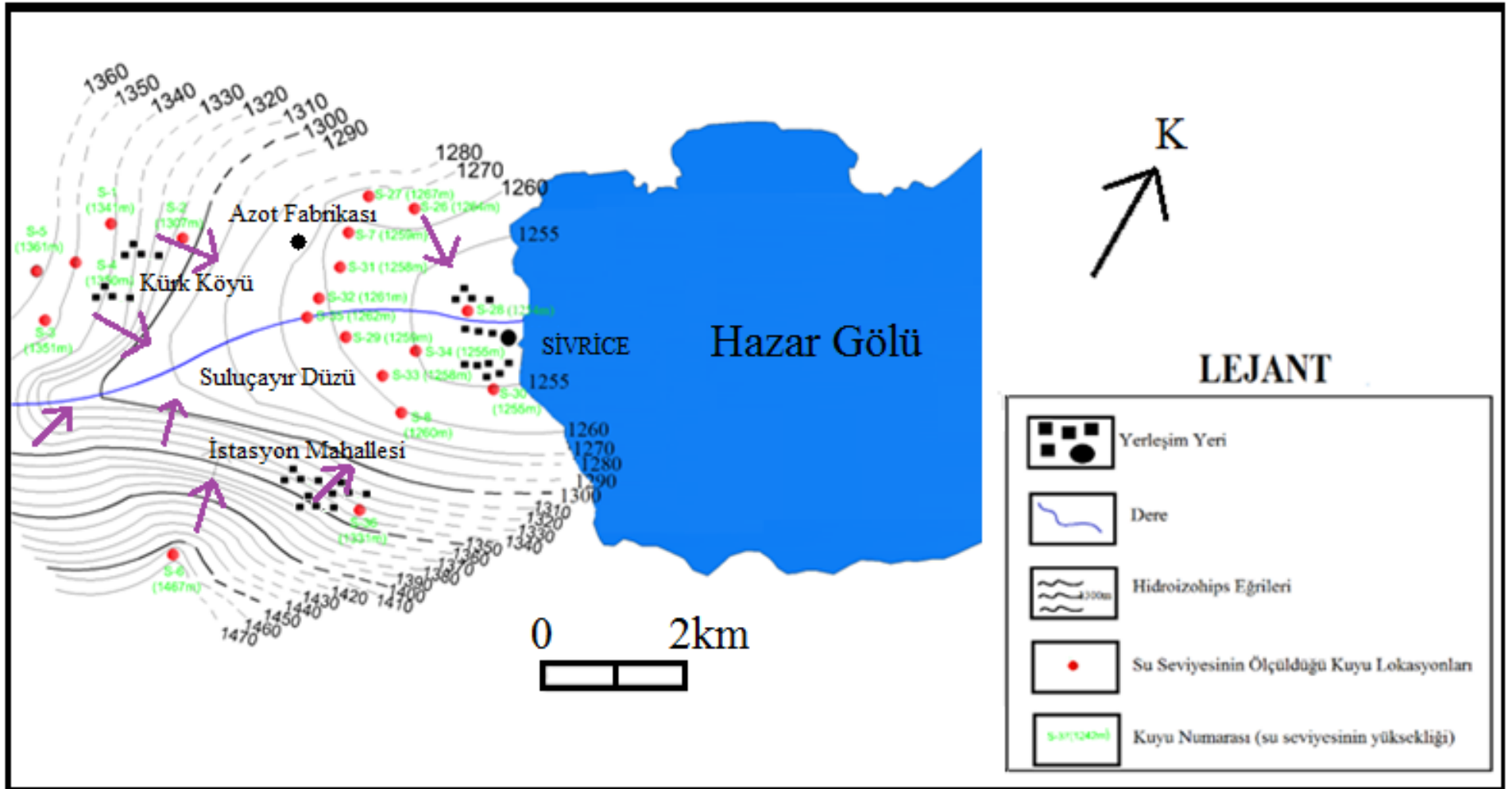
Bölge	Kuyu No	Kuyu kotu (m)	Ekim		Nisan		Su tablası kot farkı (m)
			Su tablası kotu (m)	Su tablası derinliği (m)	Su tablası kotu (m)	Su tablası derinliği (m)	
Hazar Gölü Batısı	1	1312	1305.50	6.50	1307.50	4.50	2.00
	2	1344	1338.00	6.00	1341.00	3.00	3.00
	3	1354	1344.50	9.50	1350.50	3.50	6.00
	4	1353	1345.50	7.50	1349.50	3.50	4.00
	5	1364	1354.50	9.50	1360.50	3.50	6.00
	6	1473	1463.50	9.50	1466.50	6.50	3.00
	7	1257	1253.00	4.00	1255.00	2.00	4.00
	8	1266	1256.50	9.50	1259.50	6.50	9.50
	9	1264	1262.50	1.50	1263.50	0.50	1.00
	10	1256	1254.50	1.50	1256.00	0.00	1.50
	11	1256	1253.50	2.50	1256.00	0.00	2.50
	12	1259	1256.00	3.00	1259.00	0.00	3.00
	13	1255	1253.00	2.00	1255.00	0.00	2.00
	14	1258	1256.00	2.00	1257.50	0.50	1.50
	15	1261	1258.50	2.50	1261.00	0.00	2.50
	16	1257	1255.50	1.50	1257.00	0.00	1.50
	17	1255	1251.50	3.50	1255.00	0.00	3.50
	18	1262	1256.50	5.50	1260.50	1.50	4.00
Hazar Gölü Güneydoğusu	19	1258	1246.50	11.50	1253.00	5.00	6.50
	20	1256	1246.50	9.50	1251.00	5.00	4.50
	21	1254	1242.00	12.00	1244.00	10.00	2.00
	22	1260	1258.00	2.00	1259.50	0.50	1.50
	23	1278	1261.50	16.50	1264.00	14.00	2.50
	24	1292	1284.00	8.00	1285.00	7.00	1.00
	25	1275	1262.50	12.50	1269.50	5.50	7.00
	26	1259	1253.50	5.50	1255.00	4.00	1.50
	27	1252	1246.00	6.00	1249.00	3.00	3.00
	28	1246	1239.00	7.00	1241.00	5.00	2.00
	29	1250	1239.00	11.00	1243.50	6.50	4.50
	30	1246	1240.50	5.50	1244.00	2.00	3.50
	31	1263	1260.00	3.00	1261.50	1.50	1.50
	32	1252	1244.00	8.00	1246.00	6.00	2.00
	33	1259	1249.50	9.50	1252.00	7.00	2.50
	34	1252	1244.00	8.00	1248.00	4.00	4.00
	35	1255	1248.00	7.00	1251.50	3.50	3.50
	36	1331	1248.00	3.00	1330.50	0.50	2.50
	37	1249	1248.00	1.00	1249.00	0.00	1.00
	38	1254	1240.00	14.00	1242.00	12.00	2.00
	39	1248	1243.00	5.00	1244.00	4.00	1.00
	40	1252	1246.50	6.50	1248.50	3.50	3.00
	41	1252	1247.00	5.00	1248.50	3.50	1.50



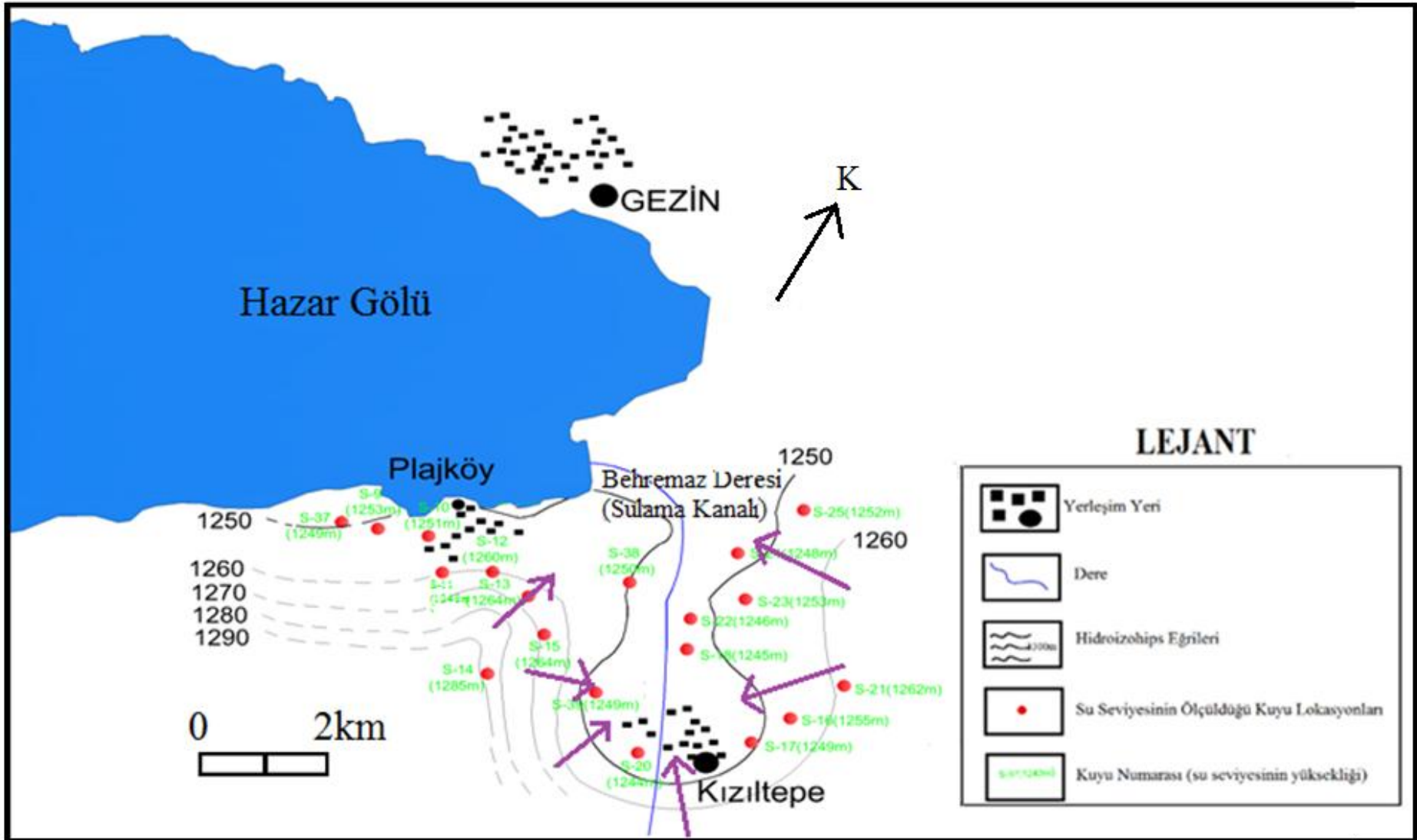
Şekil 3.11. Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Ekim-2012).



Şekil 3.12. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Ekim-2012).



Şekil 3.13. Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Nisan - 2013).



Şekil 3.14. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferine ait su tablası haritası (Nisan – 2013) .

Alüvyon akiferlerine ait su tablası haritalarında genel yeraltı suyu akım yönlerinin Hazar Gölü'ne doğru olduğu ve yeraltı suyu akım yönlerine göre her iki akiferin nap çeşidinin de konverjan olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13 ve Şekil 3.14). Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferde hidrolik eğim 0.055 ile $9,4 \times 10^{-3}$ arasındadır. Kürk Köyü'ne doğru hidrolik eğim 0.055 iken Suluçayır Düzü ve İstasyon Mahallesi çevresinde ise 7.34×10^{-3} ve $9,4 \times 10^{-3}$ 'tür. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferde ise hidrolik eğim 0.019 ile 0.037 arasında değişmektedir. Gezin İstasyonu Mahallesine yakın kısımlarda hidrolik eğim 0.019, Gezin İstasyonu batısındaki bölgelerde 0.037, Kızıltepe'nin güney ve güneydoğusundaki bölgelerde ise 0,026'dır. Su tablası haritalarında izohidrohipsler arasındaki mesafe arttıkça geçirimsizlik katsayısı artmakta, hidrolik eğim ise azalmaktadır. Hazar Gölü batısı alüvyon akiferinde sahile yaklaştıkça izohidrohipsler arasındaki mesafe ve geçirimsizlik katsayısı artmakta hidrolik eğim düşmektedir. Güneydoğudaki alüvyon akiferde ise Gezin İstasyonu Mahallesi civarında ve sahile yakın bölgelerde eğriler arasındaki mesafe ve geçirimsizlik katsayısı artmakta hidrolik eğim ise azalmaktadır.

Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferden Şekil 3.11'de L mesafesi boyunca Hazar Gölü'ne boşalan su miktarı Darcy Formülü ile hesaplanmıştır:

$$Q = K \times S \times I \dots \dots \dots (4)$$

formülünde;

$Q =$ Doygun ortamdan geçen suyun debisi (m^3/s)

$K =$ Geçirimsizlik katsayısı (m/s)

$S =$ Kesit alanı (m^2)

$i =$ Hidrolik eğim (birimsiz)

Akiferin ortalama hidrolik eğimi 0.022, geçirimsizlik katsayısı 3.6×10^{-4} m/s, özgül tutumu 0.21, akifer kalınlığı yaklaşık 60 m, L kesit uzunluğu ise 4182 m'dir. Bu verilere göre gerçek rejimde akiferden Hazar Gölü'ne boşalan su miktarı $13.245.120 m^3/$ yıl olarak hesaplanmıştır.

Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferde su tablası kot farkı 1.00-9.50 m arasında değişirken Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferde su tablası kot farkı 1.00-7.00 m arasında değişmektedir.

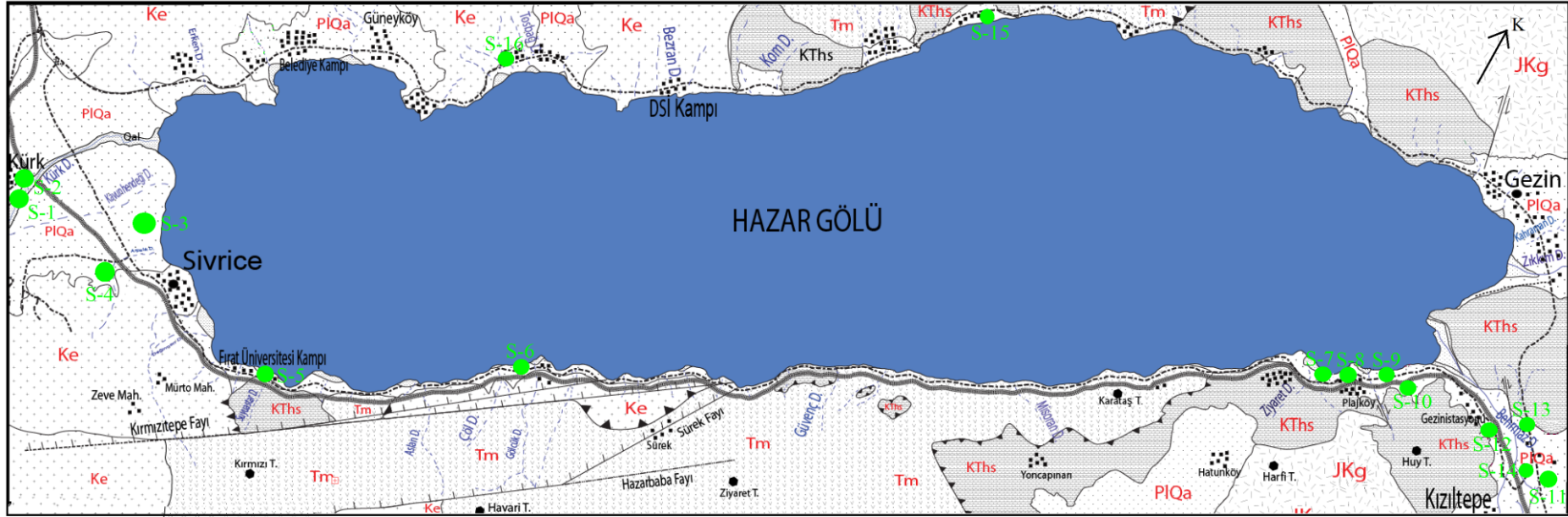
Akiferin süzülme ile kazandığı su miktarı, minimum ile maksimum su seviyeleri arasındaki farkın, eş değişim alanı ve gözeneklilik ile çarpılması ile bulunur (Canik, 1998). Buna göre Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferinin 2012- 2013 yılları arasında yağıştan süzülme ile kazandığı su miktarı $21 \times 10^6 m^3$ olarak hesaplanmıştır. Akiferden alınabilecek maksimum su miktarı ise minimum ile maksimum su seviyeleri arasındaki farkın, eş değişim alanı ve efektif gözeneklilik ile çarpılması ile

hesaplanır. Buna göre alüvyon akiferden alınabilecek maksimum su miktarı 10.752.500 m³ olarak hesaplanmıştır. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferin sadece Hazar Gölü kıyısına yakın bölgelerinde çalışıldığından dolayı tüm akiferi temsil etmeyeceğinden bu akifer için hesaplamalar yapılmamıştır.

3.5. HİDROJEOKİMYA

Çalışma alanı içerisinde 9 adet sondaj kuyusu ile 7 adet keson kuyudan toplam 16 adet su örneği alınmış ve GPS ile koordinatları belirlenmiştir (Şekil 3.15). İncelenen sulardan S-7, S-8 ve S-9 ve S-10 nolu kuyular Hazar Grubu kayaçlardan; S-5 ve S-6 nolu sondaj kuyuları Elazığ Magmatitleri ile Maden Grubu'ndan; S-15 nolu sondaj kuyusu Hazar - Maden Grubu'ndan ve S-16 nolu sondaj kuyusu ise Elazığ Magmatitleri'nden beslenirken diğer kuyular alüvyon akiferlerden beslenmektedir. Hazar Gölü batısında özellikle yağışlı dönemlerde alüvyon akiferde oluşan sazlık alandan da Nisan ayında S-17 nolu su örneği alınmıştır. Belirlenen bu örnek noktalarında kurak dönemi temsil edecek şekilde Ekim (2012) ayında ve yağışlı dönemi temsil edecek şekilde Nisan (2013) ayında su örnekleri alınarak kimyasal analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9).

S-17 nolu su, sadece Nisan ayında örneklendiğinden suların mevsimsel değişimlerini belirlemek için çizilen grafiklerde gösterilmemiştir.



LEJANT

	(PIQa) Pliyo(?) - Kuaterner	Alüvyon		(Tm) Orta Eosen	Maden Karmaşığı		(KThs) Maestrihtiyen - Alt Eosen	Hazar Grubu		(Ke) Senoniyen	Elazığ Mağmatitleri		(JKg) Üst Jura - Alt Kretase	Guleman Ofiyoliti
	Formasyon Sınırı			Doğrultulu Atımlı Fay			Yerleşim Alanı			Demiryolu			Karayolu	
	Bindirme Fayı			Normal Fay			Tepe			Sürekli akan dere			Kuru Dere	

0 1 2 km

Şekil 3.15. İnceleme alanında su örnekleme noktalarının dağılımını gösteren harita (Kaya 1992, Gürocak 1993, MTA, 2008'den değiştirilerek).

Çizelge 3.8. İncelenen suların Ekim (2012) ayı kimyasal analiz sonuçları.

	Örnekleme Noktası	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	T $^{\circ}\text{C}$	MAJOR KATYONLAR				MAJOR ANYONLAR		
					Ca^{+2} mg/L	Mg^{+2} mg/L	Na^{+} mg/L	K^{+} mg/L	Cl^{-} mg/L	SO_4^{-2} mg/L	HCO_3^{-} mg/L
Hazar Gölü'nün Batısı	S-1 (K)	6.64	452	16.4	67.86	25.4	9.20	0.69	3.61	13.20	298.9
	S-2 (S)	6.87	351	17	51.15	18.2	7.03	0.82	3.07	13.10	225.7
	S-3 (S)	6.16	455	14	75.26	25.2	5.69	0.88	2.50	15.37	317.2
	S-4 (K)	6.82	462	12.5	73.55	22.1	7.66	1.04	3.64	13.53	305
	S-5 (S)	7.41	272	15.5	43.33	11.8	6.18	2.01	2.38	8.24	176.9
	S-6 (S)	7.01	280	15.4	30.01	21.9	7.97	0.78	1.73	4.29	201.3
Hazar Gölü'nün Güneydoğusu	S-7 (S)	7.80	570	13.7	82.83	29.1	10.5	0.98	5.65	14.31	366
	S-8 (K)	7.06	650	12.1	97.35	30.1	10.8	0.81	12.78	15.17	396.5
	S-9 (K)	7.22	646	13.7	100.4	33.4	14.1	1.11	3.96	21.26	445.3
	S-10 (K)	7.13	393	14	59.02	21.3	7.33	0.73	1.26	13.24	256.2
	S-11 (K)	6.83	416	13.9	72.08	16.1	7.63	0.68	2.10	12.02	274.5
	S-12 (K)	6.95	660	13.6	94.17	28.8	12.1	1.08	18.88	25.81	347.7
	S-13 (S)	7.19	577	13.2	60.83	24.8	7.22	1.15	4.61	16.02	274.5
	S-14 (S)	6.90	477	14.1	90.79	21.1	6.50	0.88	3.17	13.95	341.6
Hazar Gölü Kuzeyi	S-15 (S)	7.34	690	15.9	50.27	60.7	15.7	0.86	18.51	8.85	378.2
	S-16 (S)	7.15	480	15.7	57.64	27.9	15.1	1.33	3.56	17.74	286.7

Çizelge 3.9. İncelenen suların Nisan (2013) ayı kimyasal analiz sonuçları (K: Keson kuyu, S: Sondaj kuyusu, * Hazar Gölü'nün batısında bulunan sazlık alandan alınan su örneği).

	Örnekleme Noktası	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	T $^{\circ}\text{C}$	MAJOR KATYONLAR				MAJOR ANYONLAR		
					Ca^{+2} mg/L	Mg^{+2} mg/L	Na^{+} mg/L	K^{+} mg/L	Cl^{-} mg/L	SO_4^{-2} mg/L	HCO_3^{-} mg/L
Hazar Gölü'nün Batısı	S-1 (K)	6.66	499	13.6	55.13	19.35	8.59	0.76	3.70	15.73	244
	S-2 (S)	6.80	467	14.9	59.84	19.41	7.97	0.82	3.47	19.53	247.5
	S-3 (S)	6.35	587	12.8	81.69	28.68	6.56	0.90	2.65	18.78	353.8
	S-4 (K)	7.08	528	10.7	71.34	19.56	7.99	0.95	4.65	17.71	286.7
	S-5 (S)	7.68	327	9.1	38.75	11.04	6.52	2.12	2.03	9.89	173.9
	S-6 (S)	7.37	388	13.8	43.21	16.99	7.89	0.52	1.86	5.23	231.8
Hazar Gölü'nün Güneydoğusu	S-7 (S)	7.25	564	14.6	76.80	27.75	9.41	1.20	2.97	16.89	347.7
	S-8 (K)	7.50	452	12.3	57.06	20.26	11.5	0.74	5.44	16.27	265.4
	S-9 (K)	7.61	499	10.9	76.78	22.07	8.30	0.50	2.01	17.22	311.1
	S-10 (K)	7.65	411	13.3	54.98	21.42	7.68	0.75	1.69	15.26	244
	S-11 (K)	7.85	546	10.8	83.49	23.85	6.91	1.26	3.42	17.74	326.4
	S-12 (K)	7.71	614	12.9	83.24	23.75	11.4	0.90	32.00	35.13	262.3
	S-13 (S)	7.35	624	12	98.08	22.64	7.51	0.82	4.46	22.47	353.8
	S-14 (S)	7.23	580	12.3	91.75	21.90	10.1	1.19	4.86	18.69	329.4
Hazar Gölü Kuzeyi	S-15 (S)	6.48	701	16.8	53.43	65.12	14.3	1.10	20.12	11.37	408.7
	S-16 (S)	6.07	510	16.2	55.75	31.02	18.7	0.99	4.39	21.14	292.8
	S-17*	6.98	568	15.8	103.4	39.21	11.1	1.77	9.27	72.26	428.5

3.5.1. Sularda Bulunan Başlıca İyonlar ve Kökenleri

Yeraltı sularının kimyasal bileşimi, suyun dokanakta olduğu kayaların kimyasal bileşimine, dokanak yüzeyi ve süresine, yeraltı suyunun akım hızına, sıcaklığa, ortamın basıncına, iyon etkinliği ve ortak iyon etkinliğine, ortamın pH'ına, elektriksel iletkenliğe ve diğer maddelerin çözünme oranına bağlı olarak, geçtikleri kayaların minerallerini kimyasal bozunuma uğratarak iyonlarca zenginleşirler. Yeraltı sularında bulunan başlıca iyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+} , K^{+} , Cl^{-} , SO_4^{-2} ve HCO_3^{-} ' tır. Yeraltı sularının kimyasal analizleri bu suların kullanım alanlarını ve kullanılabilirlik özelliklerini belirlemede büyük önem taşır (Yüksel, 2007).

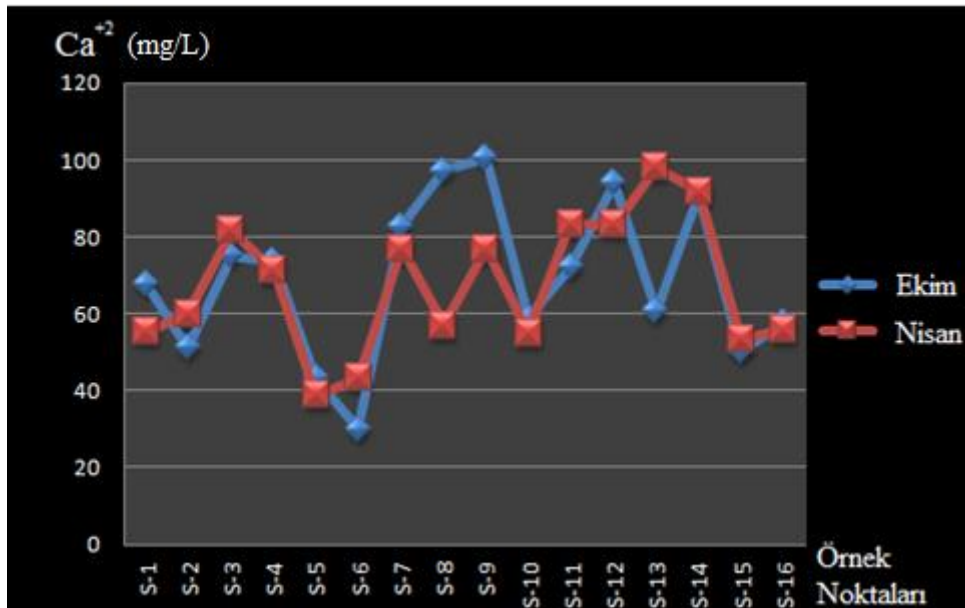
3.5.1.1. Katyonlar

Kalsiyum (Ca^{+2}):

Ca^{+2} , normal suların başlıca katyonudur. Doğadaki başlıca Ca^{+2} kaynakları karbonatlar (CaCO_3 yani kireçtaşı ve mermer), aragonit, dolomit ($\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3$), jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrit ve apatit mineralleridir. Ayrıca silikat içeren kayalarda %1-10 Ca^{+2} içeren kalsiyum silikatlar şeklinde bulunur. Ca^{+2} silikatlar hava ve su ile çözünebilen Ca^{+2} tuzlarına ve kil minerallerine dönüşür. Genellikle sudaki Ca^{+2} iyonu kaynağını karbonatlı ve sülfatlı Ca^{+2} mineralleri teşkil eder. Bu nedenle sularda çok farklı oranlarda Ca^{+2} bulunabilir. Ca^{+2} suya sertlik veren en önemli iyondur. Ca^{+2} lu sularda karbonat ve sülfat da bulunursa CaCO_3 ve CaSO_4 çökerek kabuk meydana getirir. Ca^{+2} , sulama sularında toprağın yapısı ve geçirgenliği yönünden yararlıdır (Şahinci, 1991).

İncelenen sularda Ca^{+2} iyonunun kökenini, bölgede yüzeylemeler veren denizel karbonatlar ile magmatik kayalardaki albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikat minerallerinin bünyesinde bulunan Ca^{+2} iyonunun çözünmesi oluşturmaktadır. Ayrıca, Elazığ Magmatitleri ile Maden Grubu volkanik kayalarındaki kırık ve çatlaklar boyunca oluşmuş ikincil kalsit oluşumları da sulardaki Ca^{+2} iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

Genel olarak incelenen sularda Ca^{+2} iyonu konsantrasyonunun mevsimsel olarak değişim göstermediği sadece S-8, S-9 ve S-13 nolu sularda değişimin olduğu görülmüştür (Şekil 3.16). S-8 ve S-9 nolu suların Ekim ayında, S-13 nolu suyun ise Nisan ayında Ca^{+2} iyon konsantrasyonu oldukça yüksektir. S-8 ve S-9 nolu kuyu suları Hazar Grubu kayalardan beslenmektedir, bu nedenle bu suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonları alüvyon akiferlere oranla daha yüksektir. Alüvyon akiferden beslenen S-13 nolu keson kuyu suyunun Ca^{+2} konsantrasyonunun yağışlı dönemde yüksek olması bu dönemde su-kayac etkileşiminin oldukça yüksek olduğundan kaynaklanmaktadır.



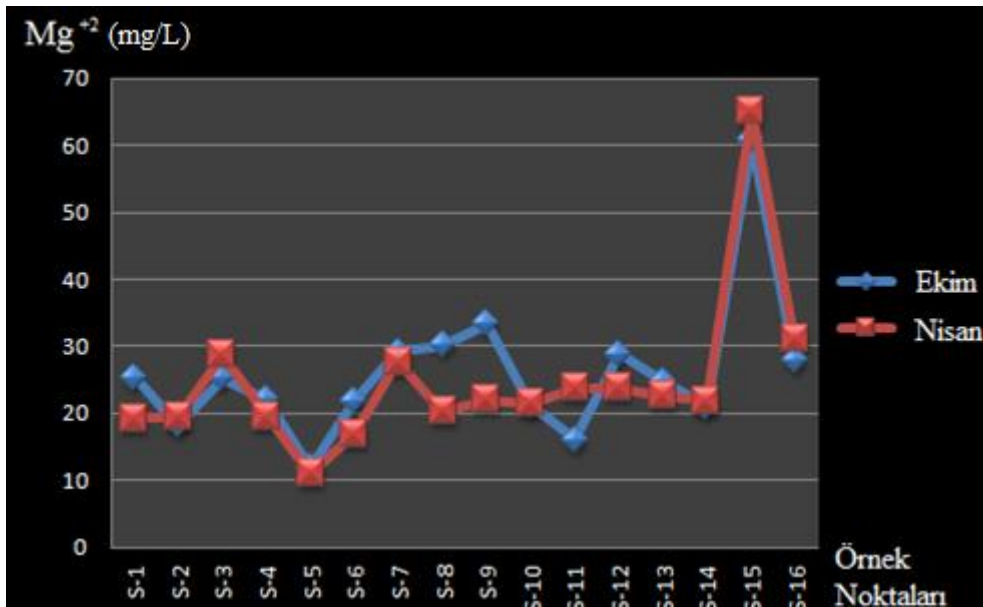
Şekil 3.16. İnceleme alanındaki suların Ca^{+2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

Magnezyum (Mg^{+2}):

Mg^{+2} , yer kabuğu ve tatlı sularda en fazla bulunan elementler sıralamasında sekizinci sıradadır. Mg^{+2} iyonlarının çapı, Na^+ ve Ca^{+2} iyonlarının çapından küçük olmasına karşın, özgül elektriksel yükünün yüksekliği nedeniyle, su molekülleri tarafından hidratlaşma güçlüdür. Doğal sularda Mg^{+2} kaynakları; dolomit, evaporit, magmatik kaya mineralleri (olivin, biyotit, hornblend, ojit) ve metamorfik kayalarda bulunan serpantin, talk, diopsit, tremolit mineralleridir. Asidik magma kökenli kayalarda Mg^{+2} , mika ve bir kısım amfibollerde; bazik kayalarda olivin ve piroksenlerde bulunur (Şahinci, 1991).

Mg^{+2} suyun sertliğini meydana getiren iyonlardan biridir. Sıcak sularda kırılğan bir kabuk oluşturur. Suda bulunan CO_2 , karbonatlı ve silikatlı minerallerin bünyesindeki Mg^{+2} 'un suya geçmesinde rol oynar. Granit ve silisli kayalarda bulunan sularda 5 mg Mg^{+2} bulunur. Mg^{+2} 'un sülfat ve klorürleri suda rahat çözülür. Fazla Mg^{+2} 'lu suların tadı acıdır (Şahinci, 1991).

İncelenen suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonu Ekim (2012) ayında 11.83- 60.69 mg/L arasında; Nisan (2013) ayında ise 11.04 – 65.12 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). İncelenen sularda Mg^{+2} iyonunun kökenini Guleman Ofiyolitleri, Elazığ Magmatitleri ve Maden Grubu'na ait kayalar içerisinde bulunan olivin, biyotit, hornblend gibi magnezyum bileşenli minerallerin çözünmesi ile Hazar Grubu fliş serisi içerisindeki dolomitli seviyeler oluşturmuş olmalıdır. Suların Mg^{+2} içeriklerinde mevsimsel olarak belirgin bir değişim gözlenmezken sadece S-8 ve S-9 nolu sularda Ekim ayında artış görülmektedir (Şekil 3.17). Hazar Grubu'na ait flişlerden beslenen S-8 ve S-9 nolu suların Mg^{+2} konsantrasyonlarının Ekim ayında yüksek olması beslenme alanı içerisinde Guleman ofiyolitlerinin bulunması, bu sularda su- kayaç etkileşiminin alüvyon akiferlerden beslenenlere oranla daha fazla ve uzun süreli olması ve mineralizasyonun kurak dönemde yağışlı döneme oranla daha yüksek olması ile ilişkili olmalıdır.

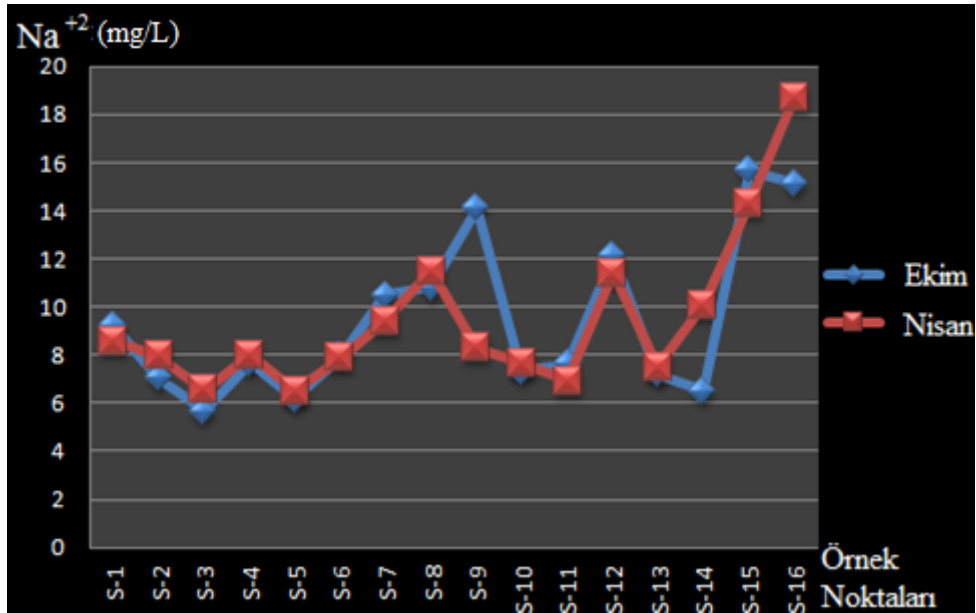


Şekil 3.17. İnceleme alanındaki suların Mg^{+2} iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

Sodyum (Na^+):

Na^+ , yer kabuğunda en fazla bulunan elementlerdendir. Deniz suyunda % 2.6 - 2.7 arasında NaCl vardır. Jeolojik dönemlerde bazı suların çekilmesi ve kalın kil tabakası ile örtülmesi sonucu kaya tuzu madeni oluşmuştur. Na^+ 'un toplam katyona oranı tarımsal açıdan önemlidir. Ayrıca Na^+ 'un yüksek olması geçirgenliği etkiler. Fazlası tat problemi oluşturur, tuzluluk hissi verir. Sularda Na^+ fazlalığı evsel ve endüstriyel kirlenme, toprak yapısı ve deniz katkısından kaynaklanabilir (Şahinci, 1991). İnceleme alanındaki suların Na^+ iyon konsantrasyonu Ekim (2012) ayında 5.69 - 15.68 mg/L arasında; Nisan (2013) ayında ise 6.52 - 18.66 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). İncelenen sularda Na^+ iyonu Elazığ Magmatitleri içerisindeki Na 'lu feldispatların çözünmesiyle yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır. Ayrıca Hazar Grubu sedimanter kayalar içerisindeki tuzlu seviyeler de incelenen sularda Na iyonunun kökenini oluşturmaktadır.

İncelenen suların Na^+ konsantrasyonlarında mevsimsel olarak belirgin değişim gözlenmezken bazılarında Nisan ayında daha yüksektir (Şekil 3.18). Sularda Nisan ayındaki Na^+ miktarındaki artışın nedeni yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu dönemlerde gerek hidrolik eğimin artması gerekse yeraltı suyunun akım hızının yükselmesine bağlı olarak altere olmuş Na 'lu tuzların yeraltı suyuna karışmasıyla ilişkili olabilir.



Şekil 3.18. İnceleme alanındaki suların Na^+ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

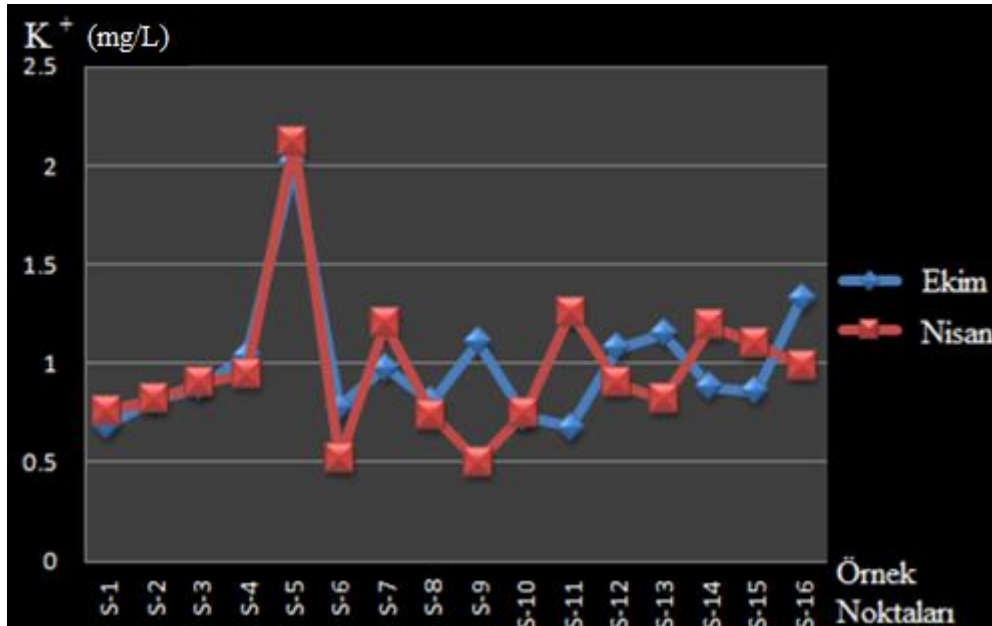
Potasyum (K^+):

K^+ ve Na^+ yer kabuğunda eşit miktarda bulunurken, magmatik kayalarda Na^+ , tortul kayalarda ise K^+ egemendir. K^+ içeren silikat, alüminosilikat minerallerinin bozulması, Na^+ içerenlere oranla oldukça zordur (biyotit, muskovit, nefelin, feldispat). Ayrıca bozunmuş K^+ 'un çok büyük miktarı kil mineralleri ve bitkiler tarafından güçlü bir şekilde soğurulur (Şahinci, 1991).

K^+ , yerkabuğunda en çok elementler sırasında yedincidir. Bununla beraber doğal sulara K^+ miktarı azdır. Bazı jeokimyasal prosesler ve absorpsiyon nedeni ile K^+ toprakta kalır ve suya fazlaca geçmez. Suların çoğunluğundaki K^+ miktarı litrede 0.5 miliekiyvalen (mek/ L)' den daha azdır. Ancak daha yoğun konsantrasyonlarda K^+ 'un bulunduğu da görülebilir. Bu durum suyun bulunduğu jeolojik ortam ile ilgilidir. K^+ 'un insan sağlığı için etkisi kanda az veya çok olması ile ilgilidir (Kahvecioğlu ve diğ., 2003).

İnceleme alanındaki suların K^+ konsantrasyonları Ekim (2012) ayında 0.68- 2.01 mg/L arasında; Nisan (2013) ayında ise 0.52- 2.12 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). Sulara bulunan K^+ iyonu Elazığ Magmatitleri ve Maden Grubu volkanikleri içerisindeki mika ve feldispat gibi minerallerin bozulmasıyla yeraltı suyuna geçmiş olmalıdır.

İncelenen suların K^+ konsantrasyonlarında mevsimsel olarak bazı değişimler gözlenmektedir (Şekil 3.19). Na^+ iyonuna benzer şekilde, yağışlı dönemi temsil eden Nisan ayında, sulara K^+ miktarındaki artışın nedeni de bu dönemde artan hidrolik eğime bağlı olarak yeraltı suyu akım hızının da artması ve K^+ 'lu minerallerin çözünmesinin hızlanması ile açıklanabilir. Kurak dönemi temsil eden Ekim ayında bazı sulara K^+ iyonunun daha yüksek konsantrasyonlarda olması ise bu suların akifer formasyon ve aynı zamanda beslenme alanları içerisindeki su-kayaç etkileşim sürelerinin daha fazla olması ve dolayısıyla iyon konsantrasyonunun artması ile ilişkili olabilir.



Şekil 3.19. İnceleme alanındaki suların K^+ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

3.3.1.2. Anyonlar

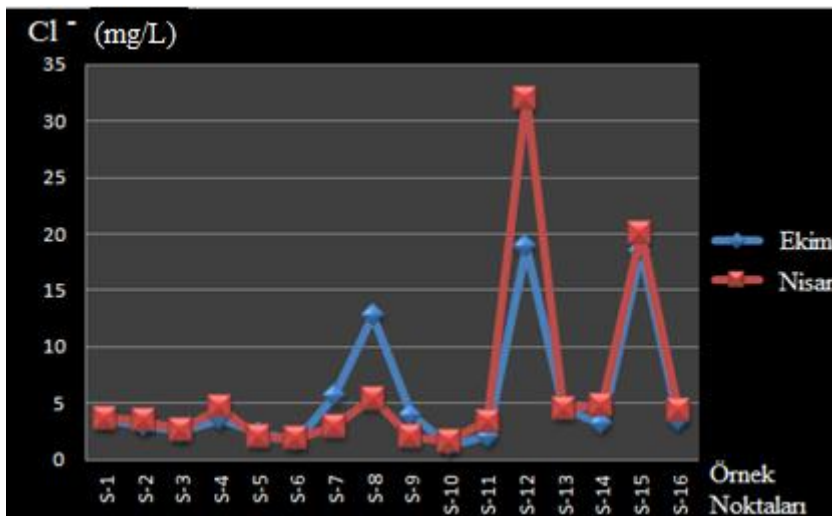
Klorür (Cl⁻):

Bütün doğal sularda Cl⁻ bulunur. Cl⁻ tuzlarının çözünürlüğü fazla olduğundan sularda en çok bulunan iyonlardan biridir. Normal sularda 1 mg/ L' den birkaç bin mg /L'ye rastlandığı olmuştur. Suyun tadına etki eden önemli bir iyondur (Şahinci, 1991). 150 ppm 'den daha az Cl⁻ içeren sular her türlü kullanımda tercih edilirken, 500 ppm'den fazla olduğunda suyun tadı bozulur (Briggs ve Fiedler, 1975).

Sularda aniden yükselen Cl⁻ konsantrasyonu o suyun etkilendiğini gösterir. Yeraltı sularındaki Cl⁻ konsantrasyonundaki azalma yalnızca yağmura bağlı olabilir. Bu da kaynak sularının izlenmesine yardımcı veri olabilir (Şahinci, 1991). Yağış suları az çok Cl⁻ içerirler. Zemin içine süzülen bu sular yolları boyunca geçtikleri kayaçların içindeki Cl⁻ tuzlarını çözündürerek Cl⁻ bakımından zenginleşirler. Bilhassa Cl⁻ zenginleşmesi, buharlaşma ve terleme nedeniyle, su ihtiva eden ana kayanın üst seviyelerinde fazladır. Yeraltına süzülen sular su tablasına erişinceye kadar Cl⁻ ve diğer tuzlarla daha da zenginleşirler (Şahinci, 1971).

İncelenen suların Cl⁻ konsantrasyonları Ekim (2012) ayı kimyasal analizleri sonuçlarına göre 1.26- 18.88 mg/L arasında; Nisan (2013) ayı analiz sonuçlarına göre ise 1.86 - 32 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). Sularda Cl⁻ iyonunun kökeni yağış suları ile fliş serisi içerisindeki Cl⁻lü tuzlar olmalıdır.

Genel olarak suların Cl⁻ konsantrasyonlarının mevsimsel dağılımına bakıldığında Ekim ve Nisan aylarında S-7, S-8, S-9 ve S-12 no'lu kuyu suları dışındakilerin aynı değerlerde olduğu görülmektedir (Şekil 3.20). Hazar Grubu flişlerinden beslenen S-7, S-8 ve S-9 nolu keson kuyu sularındaki Cl⁻ konsantrasyonlarının Ekim ayında yüksek olmasının nedeni, diğer iyonlara benzer şekilde su-kayaç etkileşim süresi ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. Alüvyondan beslenen S-12 nolu kuyu suyunda ise Cl⁻ konsantrasyonunun özellikle Nisan ayında yüksek oluşu sudaki bu iyonun kökeninin büyük bir kısmının yağış suları olduğunu işaret etmektedir.



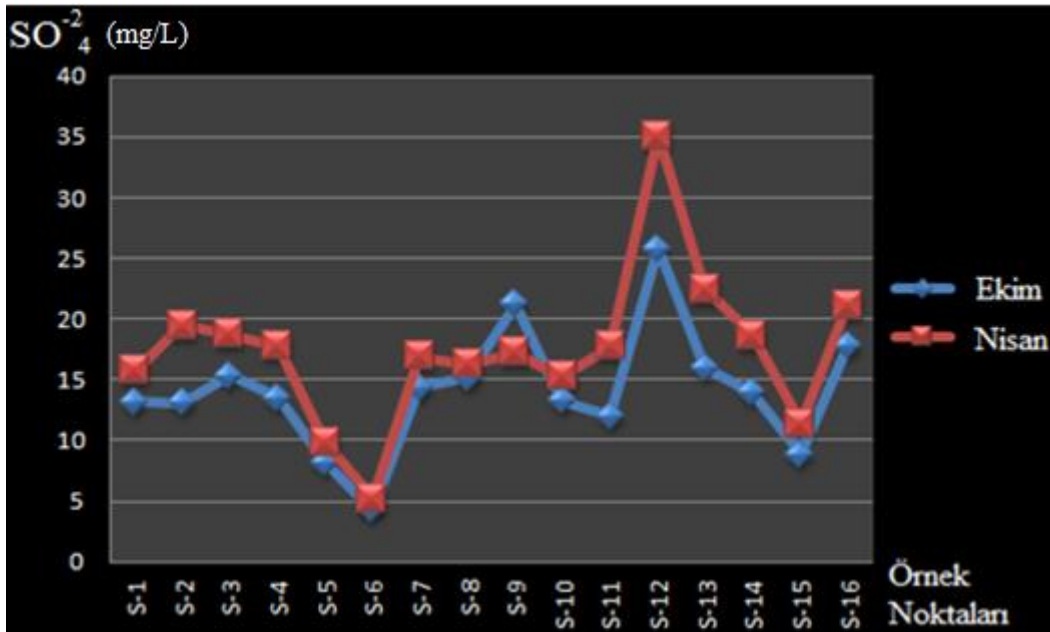
Şekil 3.20. İnceleme alanındaki suların Cl⁻ iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

Sülfat (SO_4^{-2}):

Sularda SO_4^{-2} iyonunun başlıca kaynakları volkanlar, oksitlenmiş piritler, jips ve anhidritler, organik maddelerin bozunumudur. Yeraltı sularındaki SO_4^{-2} büyük bir kısım jips ve anhidritten ileri gelmektedir. Bunların dışında az miktarda piritin oksidasyonu ile oluşan $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)$, MgSO_4 ve, Na_2SO_4 'tan ileri gelebilir. İçme sularında SO_4^{-2} miktarı 200-400 mg/L arasındadır. SO_4^{-2} tarımda toprağın tuzluluğunu artırması dışında zararlı bir etkisi yoktur. Sulama sularında 250 mg/L 'ye kadar olan miktarlar bitki beslenmesi için faydalıdır. Bu miktar 500 mg/L'yi geçtiğinde zararlı olmaya başlar (Erguvanlı ve diğ, 1973).

İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} konsantrasyonları Ekim (2012) ayı kimyasal analizleri sonuçlarına göre 4.29- 25.81 mg/L; Nisan (2013) ayında ise 5.23 - 35.13 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). İncelenen sularda SO_4^{-2} iyonunun kaynağı, çalışma alanı içerisindeki denizel çökeltilerin jips ve anhidritli seviyeleri ile piritin (FeS_2) oksidasyonu ile oluşan FeSO_4 olmalıdır.

Suların SO_4^{-2} konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi Şekil 3.21'de gösterilmiştir. Genel olarak suların SO_4^{-2} konsantrasyonlarının yağışlı dönemi temsil eden Nisan ayında daha yüksek olduğu görülmektedir. Sadece S-9 nolu keson kuyuda SO_4^{-2} konsantrasyonu Ekim ayında daha yüksektir. Suların SO_4^{-2} konsantrasyonunun Nisan ayında yüksek olması bu iyonun çözünmesinin yağışlarla ilişkili olduğunu ve S-9 nolu örnek dışında su-kayaç etkileşme sürelerinin benzer olduğunu gösterebilir.



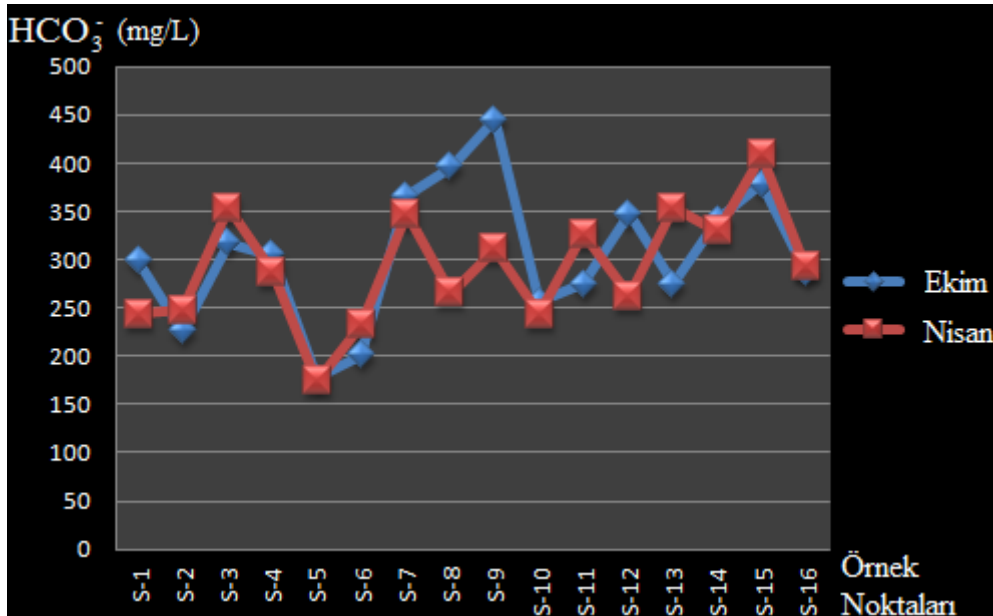
Şekil 3.21. İnceleme alanındaki suların SO_4^{-2} konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

Bikarbonat (HCO_3^-):

Yeraltı sularındaki CO_3^{2-} ve HCO_3^- iyonlarının çoğu atmosfer ve topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kütlelerin erimesinden oluşmaktadır. Dolayısıyla CO_3^{2-} ve HCO_3^- miktarı CO_2 miktarına ve suyun pH'ına bağlıdır (Erguvanlı ve diğ, 1973).

İncelenen suların HCO_3^- konsantrasyonları Ekim (2012) ayında 176.9- 445.3 mg/L arasında; Nisan (2013) ayında ise 173.85- 408.7 mg/L arasındadır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). Sulara HCO_3^- iyonu, çalışma alanındaki denizel çökeller içerisindeki kireçtaşlarının CO_2 'li sular tarafından çözünmesi sonucu geçmiş olmalıdır.

Şekil 3.22'de suların HCO_3^- konsantrasyonlarında mevsimsel değişimlerin olduğu görülmektedir. Özellikle S-1, S-7, S-8, S-9 ve S-12 nolu sularda Ekim ayında daha yüksek HCO_3^- konsantrasyonunun bulunması bu sularda kireçtaşlarının çözünme süreçlerinin diğerlerine oranla daha fazla olması ile açıklanabilir.



Şekil 3.22. İnceleme alanındaki suların HCO_3^- iyon konsantrasyonlarının mevsimsel değişimi.

3.5.2. Kimyasal Analizlerin Diyagramlarla Gösterilmesi

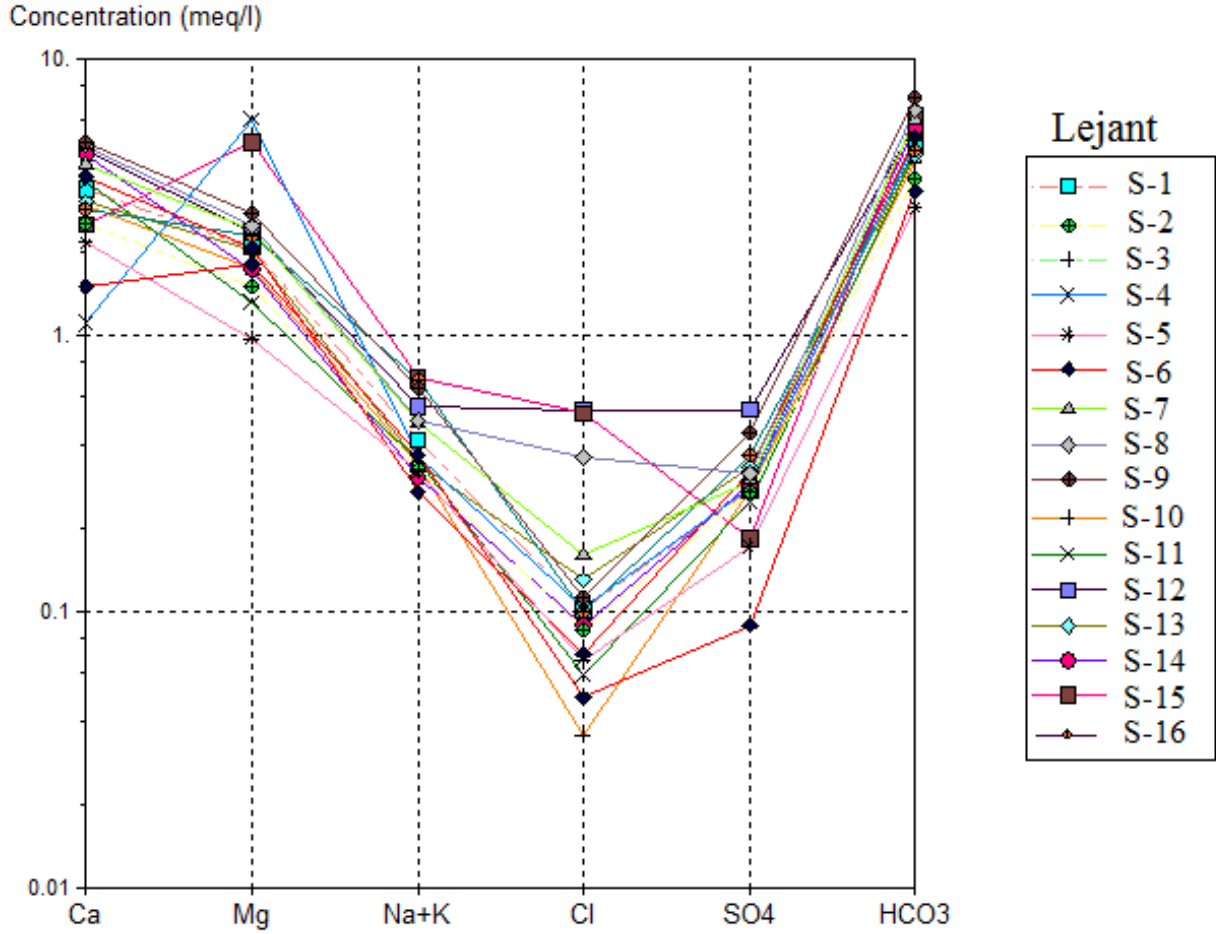
Yeraltı suyu, gerek toprak zonunda süzülürken, gerekse içinde hareket ettiği akiferin bünyesinde yer alan elementleri çözerek bünyesine almakta ve içinden geçtiği kayaçların genel kimyasal özelliklerini yansıtmaktadır. Değişik akiferlere ait yeraltı suyu örneklerinin ayırt edilmesinde, akım yolu boyunca meydana gelecek hidrokimyasal değişimlerin incelenmesinde, farklı yeraltı suyu örneklerinin birbirleri ile olan ilişkilerin tespit edilmesinde, yeraltı sularının hidrokimyasal olarak kökeninin belirlenmesinde grafiksel değerlendirmeler kullanılmaktadır. Bunlardan en sık kullanılan Piper (1944) ve Schoeller (1962) tarafından geliştirilen grafiklerdir (Güner, 2009).

İncelenen suların Schoeller ve Piper diyagramları AquaChem 3.70 programında çizilerek birbirleri ile karşılaştırılmış ve kökensel olarak yorumlanmışlardır.

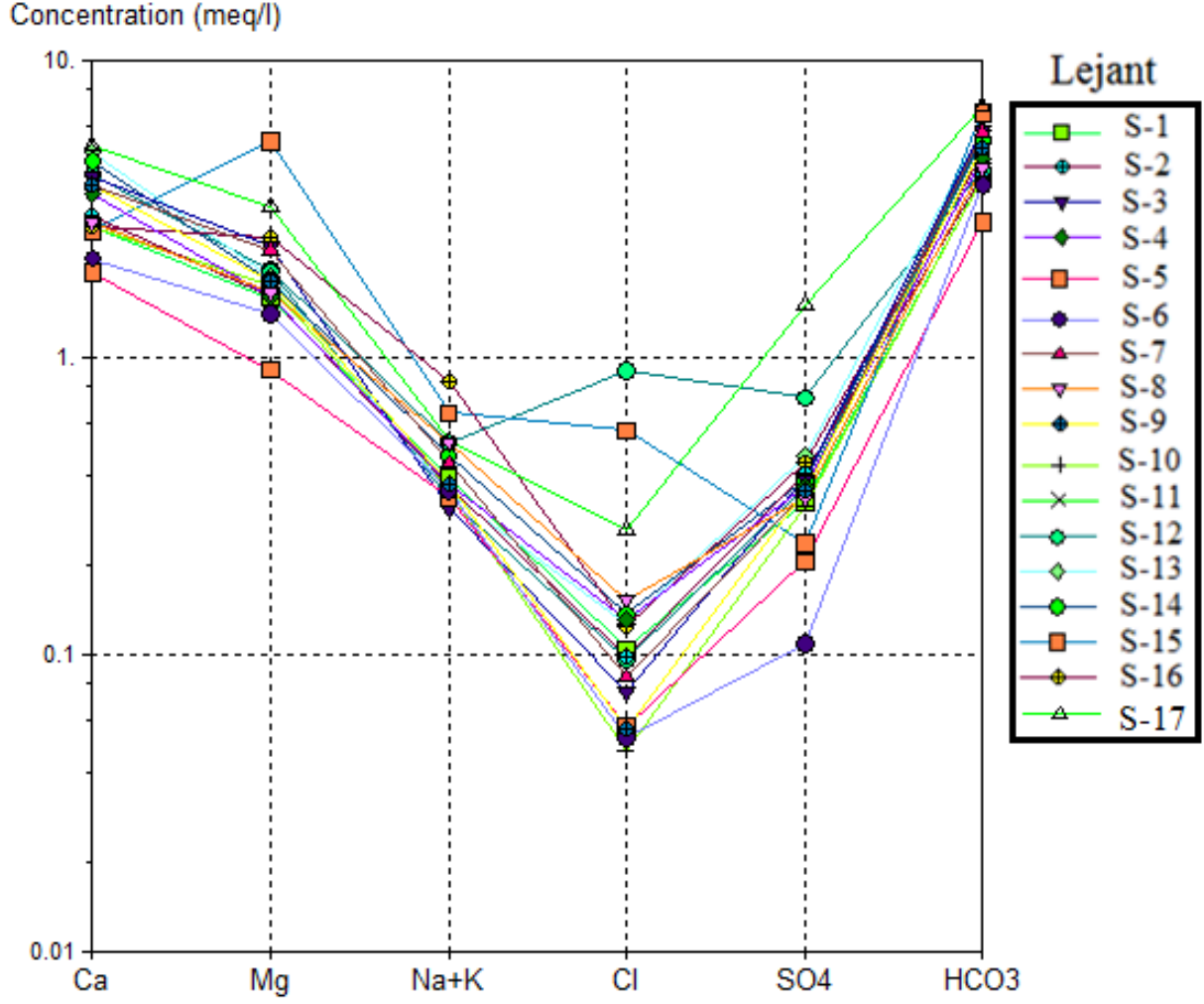
3.5.2.1. Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramlarının yatay eksenı aritmetik, dūşey eksenı ise logaritmiktir. Bu aritmetik yatay eksen de sırasıyla rCa^{+2} , rMg^{+2} , $r(Na^{+} + K^{+})$, rCl^{-} , rSO_4^{-2} , ve $rHCO_3^{-}$ bulunur. su örneklerinin Ekim (2012) ve Nisan (2013) aylarında alınan analiz sonuçlarına göre Schoeller Diyagramı çizilmiştir (Şekil 3.23 ve Şekil 3.24).

Çizilen Schoeller diyagramında iyonları birleştiren doğrular birbirlerine paralel ya da paralele yakındır. Bu durum suların benzer litolojideki akiferlerden beslendiğini göstermektedir. Schoeller diyagramına göre incelenen sular Ca, Mg, HCO_3 tipi sulardır.



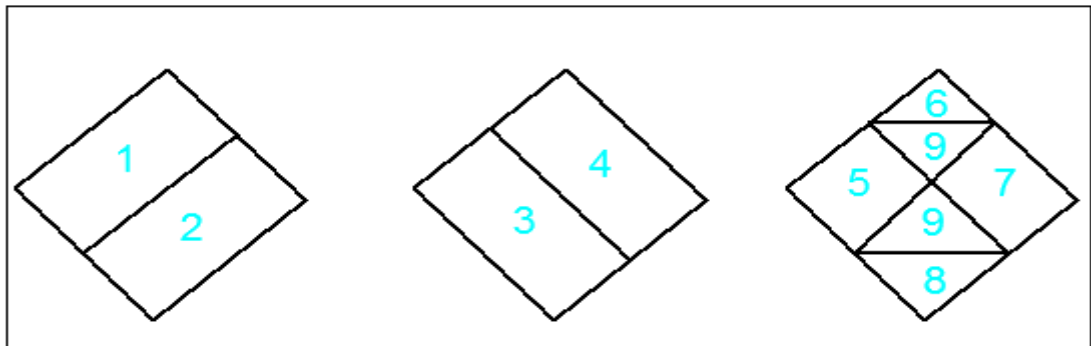
Şekil 3.23. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller diyagramında gösterilmesi (Ekim -2012).



Şekil 3.24. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Schoeller Diyagramında gösterilmesi (Nisan -2013).

3.5.2.2. Piper Diyagramı

Bu diyagramda yanyana bulunan eşkenar katyon ve anyon üçgenine iyonların litrede % miliekivalen (%mek/L) değerleri işaretlendikten sonra, bulunan bu noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak suyun sınıfı belirlenir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin numaralandırılması.

Piper diyagramı üzerindeki bölgelerin özellikleri şu şekildedir.

1.Bölge sularının özellikleri: Bu bölgeye düşen sularda toprak alkaliler, alkalilerden fazla olup, $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$. Bunlar karbonatlı ve sülfatlı sulardır.

2.Bölge sularının özellikleri: Bu bölge sularında alkaliler toprak alkalilerden fazla olup, $Ca^{+2} + Mg^{+2} < Na^{+} + K^{+}$. Bu sular tuzlu ve sodalı sulardır.

3.Bölge sularının özellikleri: Bu bölgede zayıf asitler, kuvvetli asitlerden fazla olup, $HCO_3^{-} + CO_3^{-} > Cl^{-} + SO_4^{-2}$ 'dır.

4.Bölge sularının özellikleri: Kuvvetli asitler, zayıf asitlerden fazla olup, $HCO_3^{-} + CO_3^{-} < Cl^{-} + SO_4^{-2}$ 'dır.

5.Bölge sularının özellikleri: Karbonat sertliği %50'den fazladır. Yani karbonat sertliği karbonat olmayan sertlikten fazladır. Bunlar $CaCO_3$ ve $MgCO_3$ 'lı sulardır.

6.Bölge sularının özellikleri: Karbonat olmayan sertlik %50'den fazla olup, karbonat sertliğinden büyüktür. Karbonat sertliği < karbonat olmayan sertlik. Bu bölgedeki sular $CaCO_3$ ve $MgSO_4$ 'lı sulardır.

7.Bölge sularının özellikleri: Bu bölgedeki karbonatlı olmayan alkaliler %50'den fazladır. Yani karbonatlı alkalilerden büyüktür.

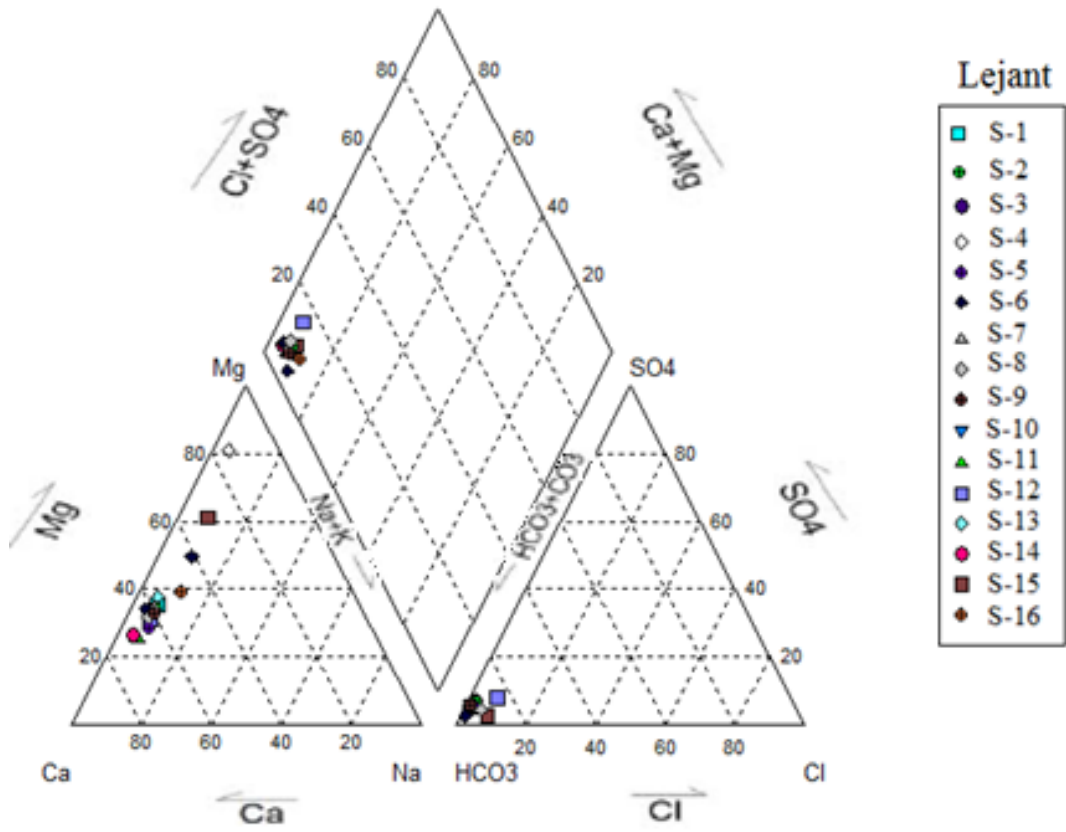
Karbonatlı alkaliler < Karbonat olmayan alkaliler

Bunlar NaCl, $NaSO_4$, KCl'li sulardır.

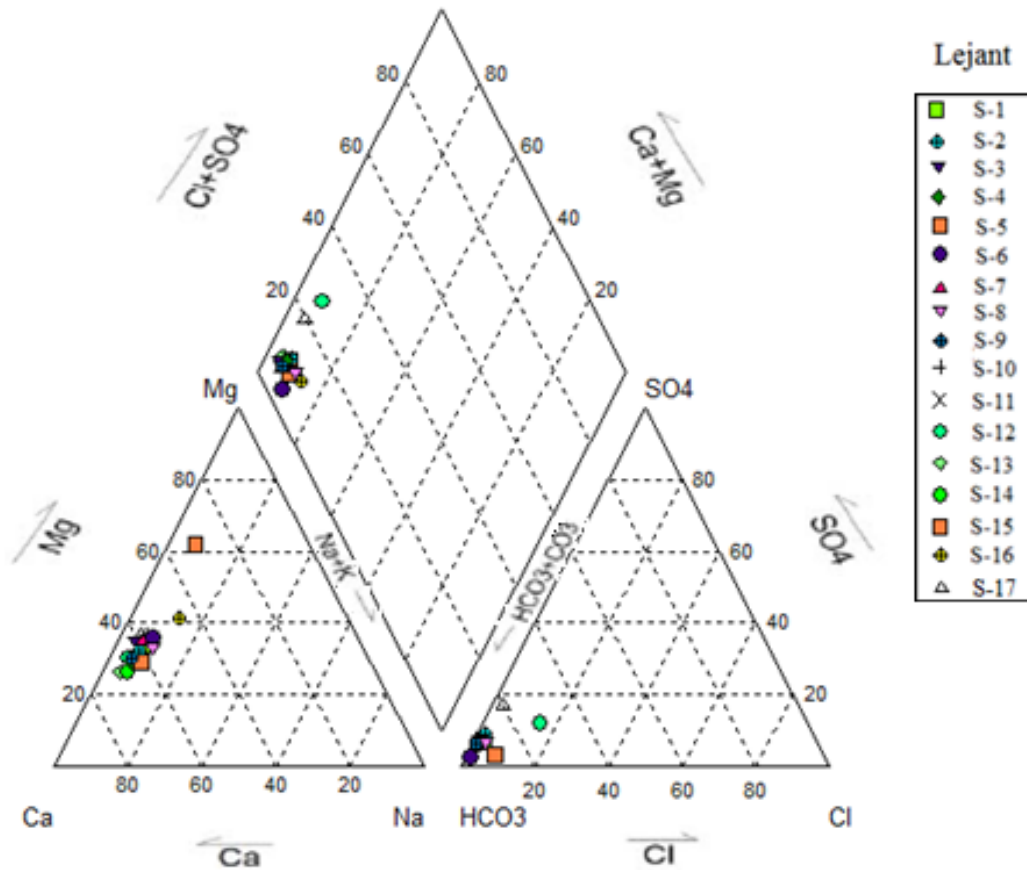
8.Bölge sularının özellikleri: Karbonatlı alkaliler %50'den fazladır. Yani karbonatlı alkaliler, karbonat olmayan alkalilerden büyüktür. Bunlar Na_2CO_3 , K_2CO_3 'lı sulardır.

9.Bölge sularının özellikleri: Hiçbir iyonu %50'yi geçmeyen karışık bileşimli sulardır (Canik, 1998).

Çalışma alanı içerisinde bulunan yeraltı sularının Ekim ve Nisan ayları analiz sonuçlarına göre çizilen Piper diyagramları Şekil 3.26 ve Şekil 3.27'de verilmiştir.



Şekil 3.26. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Ekim -2012).



Şekil 3.27. İncelenen suların kimyasal analiz sonuçlarının Piper diyagramında gösterilmesi (Nisan -2013).

İncelenen tüm sular Piper diyagramında 1, 3. ve 5. bölgelerde gruplanmışlardır. Buna göre inceleme alanı içerisinde bulunan yeraltı sularının karbonat sertliği %50'den fazla olup CaCO_3 ve MgCO_3 'lu sulardır. Ayrıca, suların zayıf asitleri, kuvvetli asitlerden fazla olup $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ dir. Yani sulardaki hakim iyonlar kalsiyum, magnezyum ve bikarbonattır.

3.5.3. Suların Çeşitli Kriterlere Göre Sınıflandırılması

3.5.3.1. Hidrojen İyon Konsantrasyonu (pH)

Hidrojen iyon konsantrasyonu, su içerisinde bulunan hidronyum ve OH^- iyon konsantrasyonlarının azalıp artmasına bağlı olarak suyun asit ya da bazik özelliğe sahip olmasıdır. Yeraltı suları genel olarak $\text{pH} < 7$ olan asidik özelliğe sahip iken yerüstü suları $\text{pH} < 8$ olan bazik özellikteki sulardır (Örmeci, 2005). pH'a göre sınıflandırma Çizelge 3.10'de şu şekilde verilmiştir.

Çizelge 3.10. Suların pH 'a göre sınıflandırılması (Şahinci, 1991).

pH	Sınıfı
> 8	Bazik
8,5 – 7	Bazik karakterli
7	Nötr
7 - 4.5	Asit karakterli
< 4,5	Asidik

Çizelge 3.11. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin pH değerleri.

Örnek No	pH																
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17
Ekim (2012)	6.64	6.87	6.16	6.82	7.41	7.01	7.80	7.06	7.22	7.13	6.83	6.95	7.19	6.90	7.34	7.15	----
Nisan (2013)	6.66	6.80	6.35	7.08	7.68	7.37	7.25	7.50	7.61	7.65	7.85	7.71	7.35	7.23	6.48	6.07	7.15

İnceleme alanındaki suların pH ölçümleri arazi yerinde yapılmıştır. İncelenen suların pH değerleri Ekim (2012) ayında 6.16 – 7.80 arasında, Nisan (2013) ayında ise 6.07 – 7.85 arasında olup suların bir kısmı asit bir kısmı ise bazik karakterlidir.

3.5.3.2. Suların Sertlik Dereceleri

Sertlik, su içerisindeki çözülmüş Ca^{+2} ve Mg^{+2} bileşiklerinden gelen bir özelliktir. Kalsiyum ve magnezyum bikarbonattan oluşan sertliğe “geçici sertlik”, bunlar dışındaki tuzlardan meydana gelen sertliğe de “kalıcı sertlik” denir. Geçici sertlik, kaynatma ile CaCO_3 ve MgCO_3 çökeltirilerek giderilir. Suda kalıcı sertlik ise, kalsiyum ve magnezyumun karbonat ve bikarbonat dışındaki tuzlardan ileri gelir. Kalıcı sertlik, kaynatılmakla giderilmez. Geçici sertlik ile kalıcı sertlik toplamı toplam sertliği verir. Suyun sertliğini ölçmek için değişik yöntemler vardır. Bunlar:

1 Alman sertliği, 1 litre suda bulunan 10 mg/l CaO ’a;

1 Fransız sertliği ise 1 litre suda bulunan 10 mg/l CaCO_3 ’ a karşılık gelen sertlik verici tuz veya iyonun meydana getirdiği sertliktir. Suyun içerdiği Ca ve Mg iyonlarının mek/l cinsinden değerlerinin toplamının 5 katı “Toplam Fransız sertliği” olarak tanımlanmaktadır. Toplam Fransız sertliği 0.56 ise çarpılarak “Toplam alman sertlik derecesi” bulunur. 1 İngiliz sertlik derecesi ise Fransız sertlik derecesinin 1.43 ile çarpımına eşittir.

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

<u>Fransız Sertliği</u>	<u>Suyun Sınıfı</u>
0.0 – 7.2	Çok yumuşak
7.2 – 14.5	Yumuşak
14.5 – 21.5	Az sert
21.5 – 32.5	Oldukça sert
32.5 – 54.0	Sert
> 54	Çok sert sular

Çalışma alanı içerisinde incelenen yeraltı sularının Fransız sertlikleri hesaplanarak Çizelge 3.12’te verilmiştir.

Çizelge 3.12. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin Fransız sertlik değerleri.

Suların Sertliği (Hidrotimetri derecesi ($d^{\circ}h$ Fr))																	
Örnek No	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17
Ekim (2012)	27	20.3	29.2	27.4	15.7	16.5	32.7	36.7	38.8	23.5	24.6	35.4	25.4	31.3	37.5	25.9	----
Nisan (2013)	22	22.9	32.2	25.8	14.2	17.8	30.6	22.6	28.2	22.5	30.6	30.5	33.8	31.9	40.1	26.7	32.7

İncelenen suların sertlikleri 14.2 ile 40.1 arasında değişmekte olup az sert, oldukça sert, sert sular sınıfına girmektedirler.

3.5.3.3. Suların Elektriksel İletkenliği (EC)

Elektriksel iletkenlik, cisimlerin elektriği geçirme özelliğidir. Suyun içerisinde çeşitli pozitif (+) ve negatif (-) iyonlar vardır. Bir çözeltide ne kadar fazla iyon varsa, elektrik akımını o kadar kolay geçirecek ve elektrik geçirgenliği o kadar fazla olacaktır (Giritlioğlu, 1992).

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

Sulama suyu elektriksel iletkenliğine göre sınıflandırıldığında:

0-250 $\mu\text{S/cm}$	Çok iyi
250-750 $\mu\text{S/cm}$	İyi
750-2000 $\mu\text{S/cm}$	Kullanılabilir.
2000-3000 $\mu\text{S/cm}$	İhtiyatla kullanılmalı
>3000 $\mu\text{S/cm}$	Zararlı kesinlikle kullanılamaz, şeklinde bir sınıflama söz konusudur

(Kalkan ve Olgun, 1994).

İncelenen suların elektriksel iletkenlikleri 272 $\mu\text{S/cm}$ ile 701 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmekte olup sulama suyu açısından “iyi sular” sınıfına girmektedirler (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13. Farklı dönemlerde alınan su örneklerinin EC değerleri.

Suların Elektriksel İletkenliği (EC) $\mu\text{S/cm}$																	
Örnek No	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17
Ekim (2012)	452	351	455	462	272	280	570	650	646	393	416	660	577	477	690	480	----
Nisan (2013)	499	467	587	528	327	388	564	452	499	411	546	614	624	580	701	510	480

İyi bir içme suyunun elektrik iletkenliği ise 750 $\mu\text{S/cm}$ ’ den az olmalıdır. Üst limit TS 266 ‘ya göre 2500 $\mu\text{S/cm}$ ’ dir (Çizelge 3.14). Buna göre incelenen sular elektriksel iletkenliklerine göre içilebilir özelliktedir.

3.5.4. Suların Kullanım Özellikleri

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

3.5.4.1. Suların İçilebilirlik Özellikleri

Doğal suların güvenilir olarak içilebilmesi için içerisindeki maddelerin belirli limitler arasında olması gerekmektedir. Bu nedenle birçok ülke kendi kaynaklarına göre içme suyu standartları geliştirmiştir (Çizelge 3.14).

Çizelge 3.14. İçme sularının Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005), Sağlık Bakanlığı'nın 17 Şubat 1995 tarih ve 25730 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren “İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik”, Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO), Avrupa Birliği (EC) tarafından belirtilen limit değerleri.

Parametreler	Türk Standartları TSE 266 (2005)	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) (1999)	Avrupa Birliği (EC) (1998)	Sağlık Bakanlığı İ,T,A,S,H,Y (2005)
pH	6.5-9.5	6.5-8.5	6.5-9.5	6.5-9.5
Bulanıklık (NTU)	5.00	5.00	1.00	1.00
Koku	Normal	-	-	Normal
TDS (mg/l)	-	1.000	-	-
Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	2.500	-	-	2.500
Tuzluluk	-	-	-	-
Amonyum (mg/l)	0.500	1.500	0.500	0.500
Demir (mg/l)	0.200	-	0.200	0.200
Mangan (mg/l)	0.050	0.500	0.050	0.050
Alüminyum (mg/l)	0.200	0.200	0.200	0.200
Sülfat (mg/l)	250.0	250.0	250.0	250.0
Magnezyum (mg/l)	50	-	-	-
Sodyum (mg/l)	175	200	200	-
Potasyum (mg/l)	12	-	-	-
Serbest Klor (mg/l)	0.5	5	-	-
Kalsiyum (mg/l)	200	-	-	-
Klorür	250.0	250.0	250.0	250.0
KİMYASAL ÖZELLİKLER				
Sertlik (Fs°)	-	50.0	-	-
Nitrit (mg/l)	0.500	-	-	0.500
Nitrat (mg/l)	50.0	50.0	50.0	50.0
Bakır (mg/l)	2.000	-	2.000	2.000
Siyanür (mg/l)	0.050	-	-	0.050
Kurşun (mg/l)	0.010	0.050	0.010	0.025
Kadmiyum (mg/l)	0.005	0.005	0.005	0.005
Krom (mg/l)	0.050	0.050	0.050	0.050
Nikel (mg/l)	0.020	-	-	0.020
MİKROBİYOLOJİK ÖZELLİKLER				
E,Coli	0/100 ml	-	0/100 ml	0
Koliform	0/100 ml	-	0/100 ml	0
Koloni Say, (22°C)	Normal	-	-	Normal

Çalışma kapsamında incelenen suların majör anyon ve katyon içerikleri Çizelge 3.14’de verilen standartlarla karşılaştırıldığında suların bu iyonlar bakımından içmeye uygun oldukları söylenebilir. Ancak, çalışma kapsamında suların metal ve iz element analizleri yapılmadığından, bu iyonlarca değerlendirmeleri yapılmamıştır.

3.5.4.2. Suların Sulamada Kullanım Özellikleri

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

3.5.4.2.1. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

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

SAR değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$SAR = \frac{rNa^+}{\sqrt{\frac{rCa^{+2} + rMg^{+2}}{2}}} \dots \dots \dots (5)$$

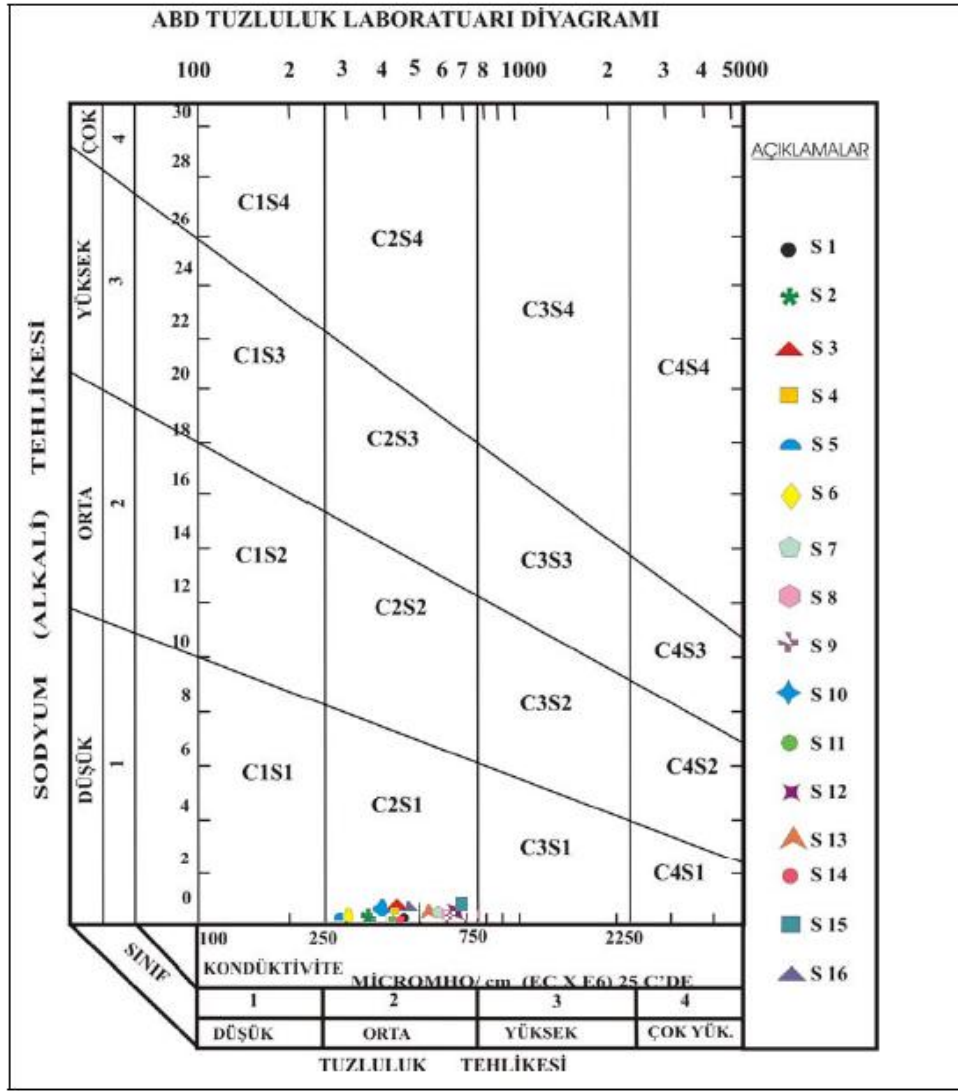
ABD tuzluluk laboratuvarı diyagramı, tuzluluk ve sodyum tehlike derecesine göre 16 bölgeye ayrılmış olup hangi bölgedeki sudan hangi bitkilerin yararlanacağı belirlenmiştir (Canik, 1998).

Ekim (2012) ve Nisan (2013) ayları analiz sonuçlarına göre çizilen diyagramlara göre sular C_2-S_1 sınıfında gruplanmışlardır (Şekil 3.28 ve Şekil 3.29).

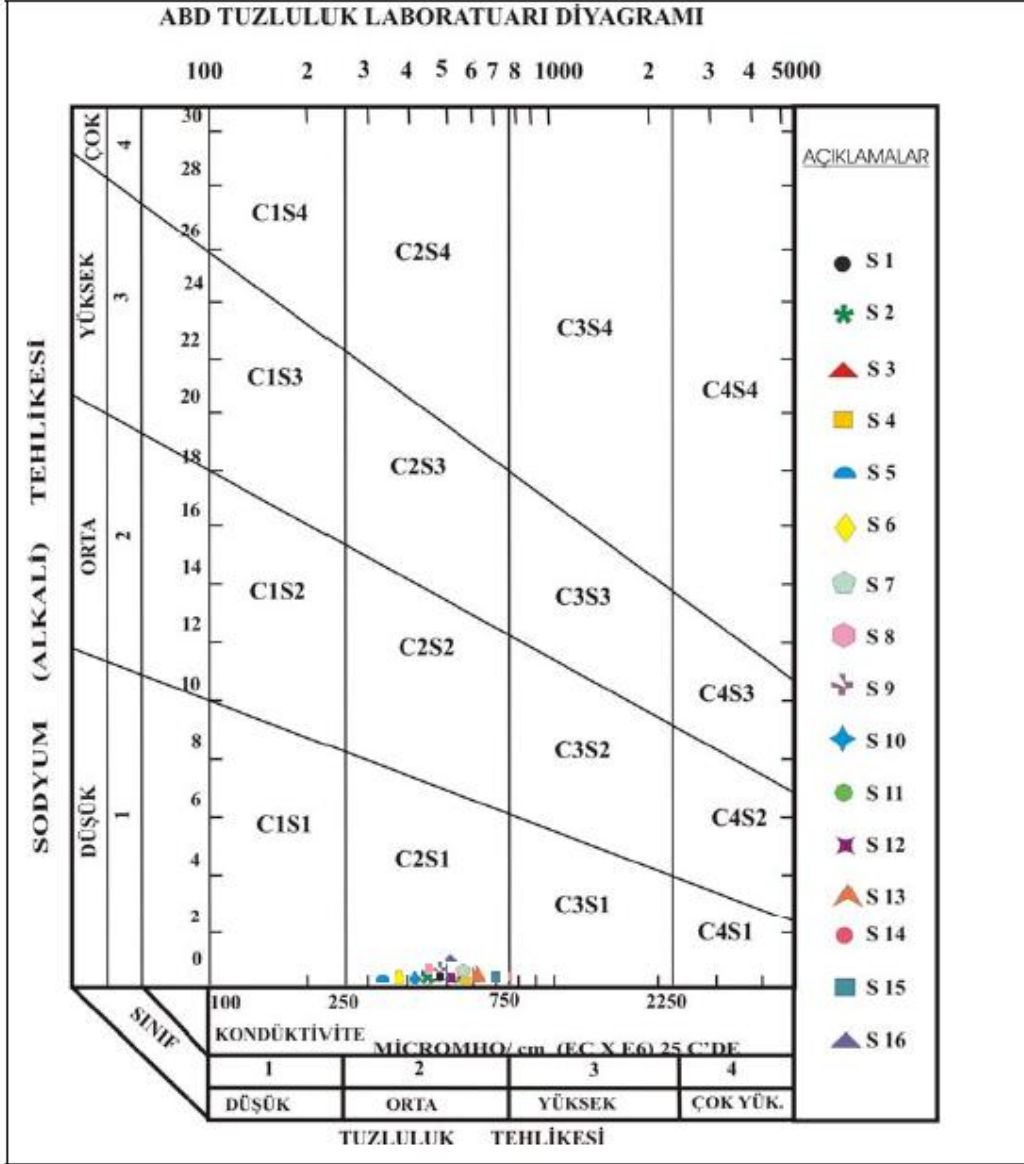
Bu sınıfın özellikleri şöyledir;

C_2 , EC'si 250 - 750 mikromho/cm arasında, orta tuzlu sular olup orta derecede tuza ihtiyaç gösteren bitkiler için kullanılır.

S_1 , az Na^+ 'lu sular olup hemen tüm topraklarda Na^+ tehlikesi yaratmadan kullanılabilir.



Şekil 3.28. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Ekim - 2012).



Şekil 3.29. İncelenen suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı (Nisan - 2013).

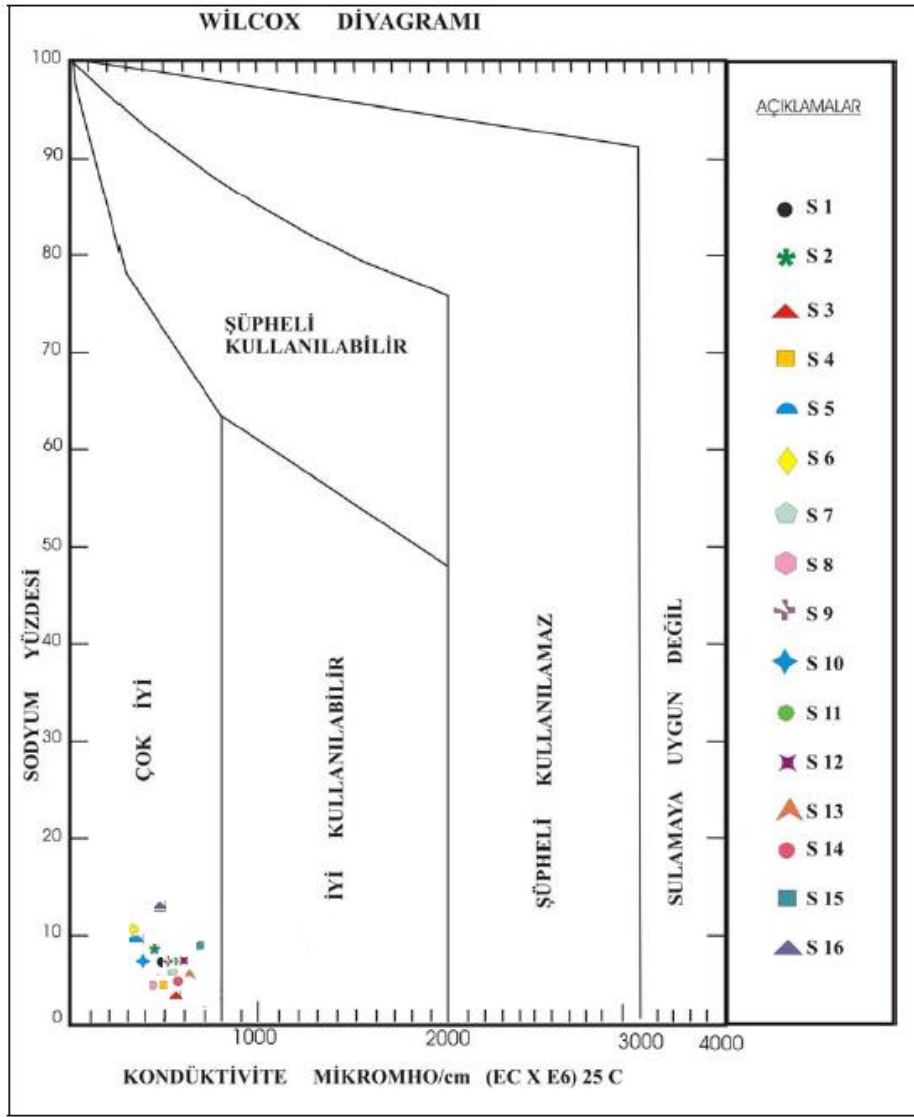
3.5.4.2.2. Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramı, suların EC ve sodyum yüzdeleri (% Na) kullanılarak çizilmiştir.

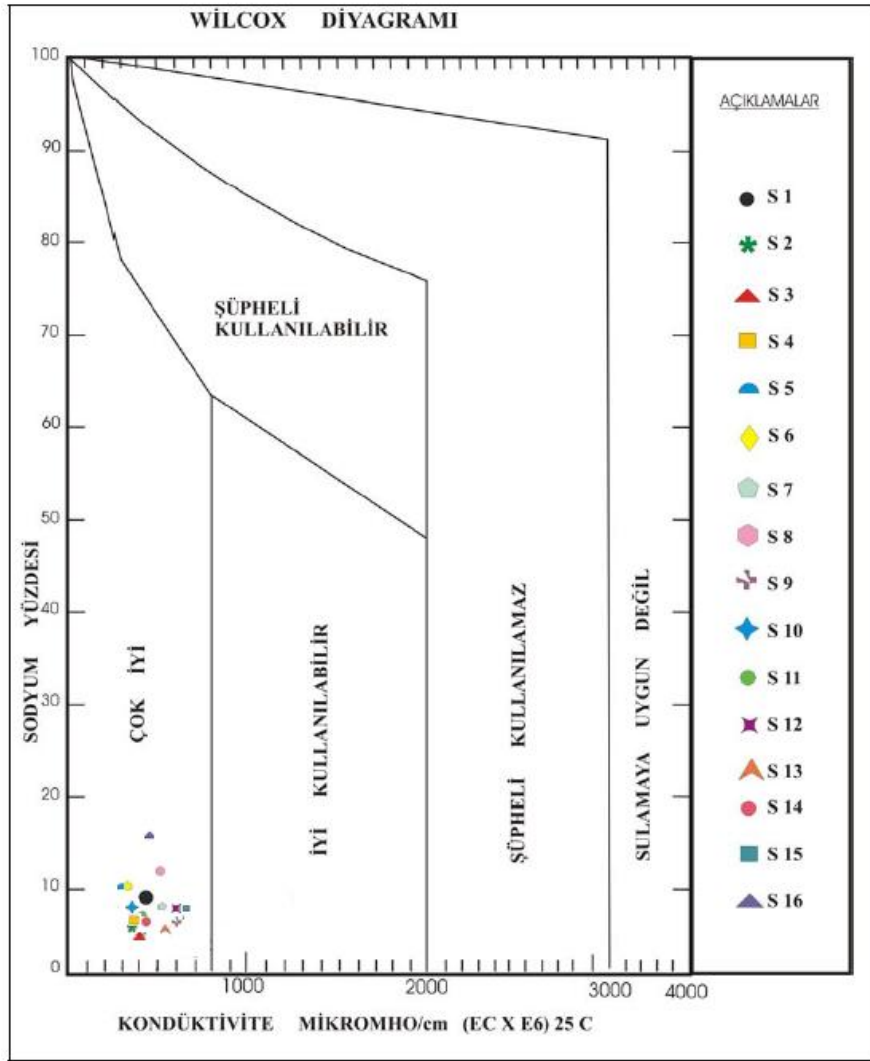
%Na değeri aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\% r Na = \frac{(rNa + rK) \times 100}{(rCa + rMg + rNa + rK)} \dots \dots \dots (6)$$

Suların, Ekim (2012) ve Nisan (2013) ayları kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyagramında sular “çok iyi” sular grubuna girmektedirler (Şekil 3.30 ve 3.31).



Şekil 3.30.İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Ekim - 2012).



Şekil 3.31. İncelenen suların Wilcox Diyagramı (Nisan - 2013).

3.5.5. Yeraltısuyu Kirliliği

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

Çalışma kapsamında alınan 16 adet su örneğinde mevsimsel olarak NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , ve PO_4^{3-} analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.15).

Çizelge 3.15. İncelenen suların NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^{3-} konsantrasyonları (K: Keson kuyu, S:Sondaj kuyusu; birimler mg/L'dir).

	EKİM DÖNEMİ				NİSAN DÖNEMİ			
Örnek No	Amonyum (NH_4^+)	Nitrit (NO_2^-)	Nitrat (NO_3^-)	Fosfat (PO_4^{3-})	Amonyum (NH_4^+)	Nitrit (NO_2^-)	Nitrat (NO_3^-)	Fosfat (PO_4^{3-})
S-1(K)	0.27	0.13	10.07	<0.01	0.75	<0.01	7.66	<0.01
S-2 (S)	0.85	<0.01	3.30	<0.01	0.74	<0.01	3.39	<0.01
S-3 (S)	0.45	<0.01	2.29	<0.01	0.28	<0.01	2.94	<0.01
S-4 (K)	0.82	<0.01	3.28	<0.01	0.13	<0.01	5.19	<0.01
S-5 (S)	0.59	<0.01	2.86	<0.01	0.24	0.04	3.12	<0.01
S-6 (S)	0.59	<0.01	2.75	<0.01	0.13	0.04	4.11	<0.01
S-7 (S)	0.56	<0.01	9.97	<0.01	0.20	0.07	3.29	<0.01
S-8 (K)	0.89	<0.01	8.68	<0.01	0.10	<0.01	8.82	<0.01
S-9 (K)	0.43	1.88	0.13	<0.01	0.08	<0.01	<0.01	<0.01
S-10(K)	0.38	0.09	8.03	<0.01	0.26	<0.01	5.74	<0.01
S-11(K)	0.60	<0.01	4.86	<0.01	0.29	<0.01	5.14	<0.01
S-12(K)	0.75	<0.01	23.00	<0.01	0.30	<0.01	35.51	<0.01
S-13 (S)	0.81	<0.01	11.48	<0.01	0.52	0.09	25.41	<0.01
S-14 (S)	0.35	<0.01	8.94	<0.01	0.53	0.07	18.22	<0.01
S-15 (S)	0.59	<0.01	39.94	<0.01	0.43	0.05	43.66	<0.01
S-16 (S)	1.05	<0.01	14.04	<0.01	0.38	0.18	19.37	<0.01

Çalışma alanından alınan su örneklerinde NO_2^- konsantrasyonu 0 – 1.88 mg/L, NO_3^- konsantrasyonu 0 – 43.66 mg/L, NH_4^+ konsantrasyonu 0.08 – 1.05 mg/l arasında değişim gösterirken PO_4^{3-} konsantrasyonu ise incelenen tüm sularda <0.01 mg/L'dir.

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

İnceleme alanında S-9 nolu keson kuyu suyunda NO_2^- konsantrasyonu Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005)'de belirtilen limit değerlerinin üzerindedir (Çizelge 3.14). Ayrıca, S-12 nolu keson kuyu ile S-15 nolu sondaj kuyusunda NO_3^- konsantrasyonu Türk Standartları Enstitüsü (TS266-2005)'de belirtilen limit değerine oldukça yakındır. Sularda limit değerlerine yakın ve üzeri konsantrasyonlardaki NO_2^- , NO_3^- ve NH_4^+ , çalışma alanında özellikle yaz aylarında yapılan bahçe

tarımında kullanılan yapay ve doğal gübre kaynaklı olabileceği gibi gübrelerin açıkta depolanmasına ve foseptiklere de bağlı olabilir. S-15 nolu sondaj kuyusundaki yüksek konsantrasyondaki NO_2^- nin kaynağı bu kuyunun hemen yakınındaki mezarlık alandan da kaynaklanmış olabilir. İncelenen sularda PO_4^{3-} kirliliğine rastlanmamıştır.

3.4. İzotop Hidrolojisi

3.4.1. İzotoplar Hakkında Genel Bilgiler

İzotoplar, aynı elementin farklı sayıda nötrona sahip çeşitleridir. Esas olarak duraylı, radyoaktif ve yapay olmak üzere üç ayrı tür izotop söz konusudur. Duraylı izotoplar, buharlaşma ve yoğunlaşma gibi fiziko-kimyasal proseslerle konsantrasyonları değişmesine rağmen zaman içinde değişmeyen izotoplardır. Yani, duraylı (kararlı) izotoplar, radyoaktif bozuşma göstermeyen izotoplardır. Duraysız (radyoaktif) izotoplar ise radyoaktif bozuşma yoluyla (α -bozuşması, β -bozuşması, nükleer fizyon gibi) başka bir elemente dönüşen izotoplardır. ^{87}Rb , ^{147}Sm , $^{235,238}\text{U}$, ^{232}Th ve ^{40}K gibi radyoaktif izotoplar, yaygın olarak radyometrik yaş ölçümlerinde kullanılırlar (Altınkale, 2004). Radyoaktif izotoplardan ayrı olarak radyoaktif olmayan herhangi bir çekirdek yapay etkilerle radyoaktif hale sokulabilir. Bir duraylı çekirdeği nötronlarla, yüklü taneciklerle ya da fotonlarla bombardıman ederek çekirdeğe tanecik veya enerji aktarıldığı zaman oluşan çekirdek veya çekirdekler uyarılmış duruma gelebilir ve bu nedenle parçalanır. Bugün kullanılan radyoaktif izotopların çoğu bu şekilde elde edilen yapay radyoizotoplardır (Günay, 1978; Öztekin, 2000'den).

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

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

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

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

Duraylı izotoplar jeokimya ve fiziksel jeolojiyi tamamlayan bazı araştırmalara katkıda bulunmaktadır. Suyun duraylı izotop bileşimi meteorik proseslerle nitelendirilir ve böylece kısmi bir çevrede beslenim suları karakteristik izotopik işarete sahiptir. Bu işaret yeraltı suyunun varlığı için

doğal bir izleyici olarak işlev görür. Diğer deyişle radyoizotop bozuşması sirkülasyon zamanının ölçümünü bize verir.

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

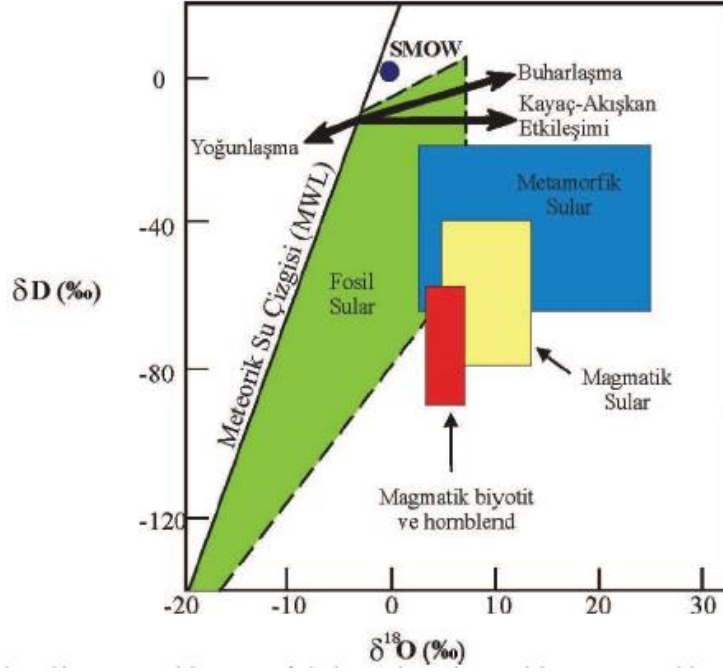
- Yeraltı sularının beslenme alanlarının belirlenmesi;
- Baraj ve göl kaçaklarının etüdü;
- Çeşitli su kütlelerinin birbirleriyle ilişkilerinin saptanması;
- Akiferlerin su taşıma özelliklerinin belirlenmesi;
- Kar-su eşdeğerinin belirlenmesi;
- Nehir ve deniz tabanındaki sürüntü maddesinin ölçülmesi;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

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

Suyun farklı izotopik moleküllerinin buhar basıncı izotopların kütleleri ile ters orantılıdır. Örneğin, H_2^{16}O , D_2^{18}O 'dan daha yüksek buhar basıncına sahiptir. Bu nedenle, suyun buharlaşması sürecinde buhar fazı hafif izotoplarca (H ve ^{16}O) zenginleşirken, ağır izotoplar (D, ^{18}O) geriye kalan artık sıvı fazında derişmektedir (Şekil 3.32; Faure, 1986).

Oksijen ve hidrojenin izotopik bileşimleri, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve D/H oranlarının farklılıkları açısından belirtilmektedir. Deniz suyunun izotopik bileşimi referans olarak kullanılan SMOW olarak bilinir.

SMOW (Standard Mean Ocean Water) ilk defa Craig (1961a,b) tarafından tanımlanmıştır. SMOW, okyanus sularının ortalama izotop bileşimini yansıtmakta ve $\delta D=0\%$ ve $\delta^{18}O=0\%$ değerleriyle tanımlanmaktadır (Şekil 3.32) (Gonfiantini,1978; Gat ve Gonfiantini, 1981).



Şekil 3.32. Farklı su kaynaklarının izotop bileşimini ve fiziko-kimyasal süreçlerin su bileşimi üzerine etkilerini gösteren $\delta D - \delta^{18}O$ diyagramı (veri kaynakları: magmatik sular - Taylor, 1974; Sheppard, 1977; metamorfik sular - Taylor, 1974; Sheppard, 1981; fosil sular - Taylor, 1974; magmatik biyotit ve hornblend – Taylor, 1974; Güleç ve Mutlu, 2003'den).

Yapılan çalışmalar doğal suların 5 ana bileşene (kaynağa) sahip olduğunu göstermiştir. Bunlar;

- 1) Meteorik sular (yağışlar, akarsu ve göl gibi yüzey suları ve yeraltı suları)
- 2) Deniz suyu
- 3) Derin kökenli fosil sular
- 4) Metamorfizma sürecinde salınan metamorfik sular
- 5) Magmatik sulardır. Bunların her biri kendilerine özgü izotop bileşimlerine sahiptir (Şekil 3.32) (Güleç ve Mutlu, 2003).

Su buharının yoğunlaşması ile oluşan ilk yağmur damlacıkları, δD ve $\delta^{18}O$ gibi ağır izotoplarca zengin olmaktadır (Şekil 3.32). Yağış devam ettikçe, buhardan δD ve $\delta^{18}O$ ayrışması da devam etmekte ve sonuçta geri kalan buhar fazı hafif izotoplar olan δH ve $\delta^{16}O$ izotoplarınca derişmektedir. Dolayısıyla havadaki buhar fazı, yağmur, kar veya dolu yağışları devam ettikçe, daha negatif δD ve $\delta^{18}O$ değerlerine sahip olmaktadır. Buhar fazı bu negatif değerlere sahip oldukça, yağışlarda da zaman içinde negatif δD ve $\delta^{18}O$ değerleri gelişmektedir (Güleç ve Mutlu, 2003).

Şekil 3.33’de önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltı suları Dünya Meteorik Doğrusu (DMD) üzerinde bulunurlar. İlkbahar ve yaz yağışları ile alt kotlardaki yağışları temsil eden sular δD ve $\delta^{18}O$ doğrusu üzerinde B noktası yönünde, sonbahar ve kış yağışları ile topoğrafik olarak üst yüksekliklerdeki yağışlar ise doğrunun A noktasına yakın yerleşirler. Şekil 3.33’de gösterilen buharlaşma etkisi altında olan sular eğimi DMD’ ndan (eğimi 8) daha düşük bir değere sahiptir ve genellikle 3 ile 8 arasında değişen doğrular üzerinde yer alırlar.(Coplen et. al., 2000).

3.6.2. İzotop Verilerinin Değerlendirilmesi

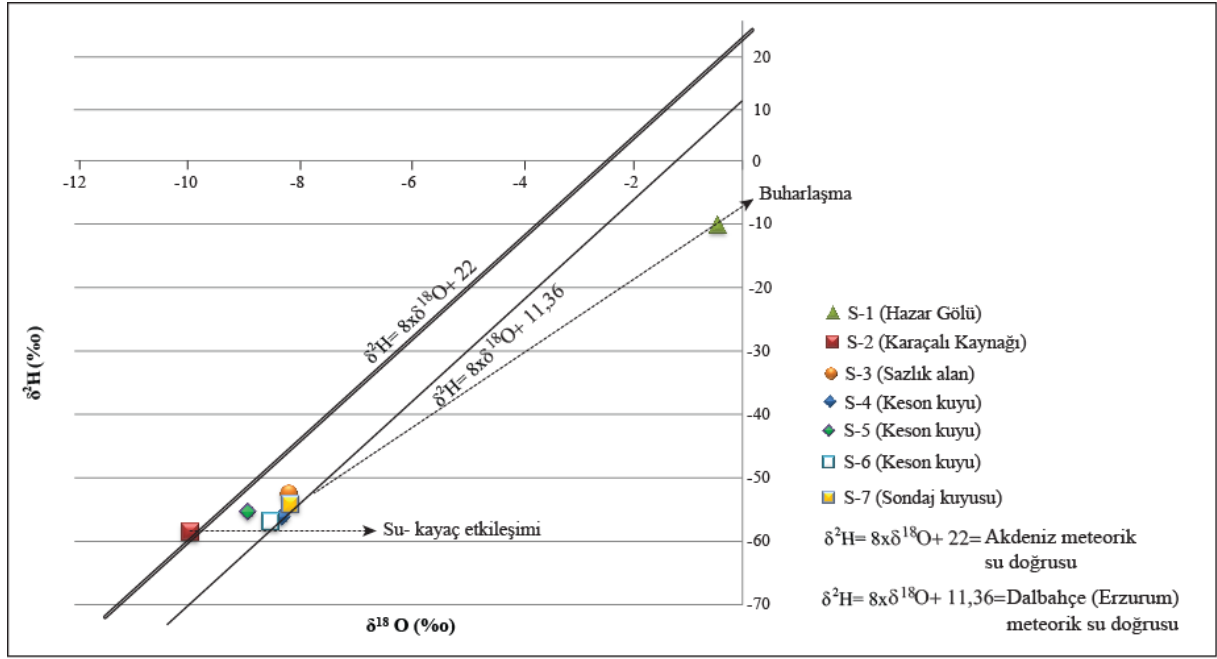
Çalışma kapsamında 7 adet su örneği alınarak ^{18}O , 2H ve 3H analizleri yapılmıştır. Bunlardan S-1 nolu su örneği Hazar Gölü’nden, S-2 nolu su örneği Karaçalı Kaynağı’ndan, S-3 nolu su örneği Hazar Gölü batısındaki sazlık alandan, S-4 nolu su örneği Hazar Gölü’nün batısındaki alüvyon akifer içerisinde açılmış bir keson kuyudan, S-5 ve S-6 nolu su örnekleri Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akifer içerisinde açılmış iki adet keson kuyudan, S-7 nolu su örneği ise Hazar Gölü kuzeyindeki bir sondaj kuyusundan alınmıştır (Çizelge 3.16).

Çizelge 3.16. Suların izotop analiz sonuçları (07.12.2012).

Numune Adı	^{18}O	2H	3H
S-1	-0.45	-10.02	7.43
S-2	-9.93	-58.56	5.91
S-3	-8.16	-52.45	6.03
S-4	-8.28	-56.1	7.42
S-5	-8.89	-55.21	7.28
S-6	-8.48	-56.9	6.35
S-7	-8.12	-54.07	7.37

3.6.2.1. $^{18}O - ^2H$ ilişkisi

İncelenen suların $\delta^{18}O$, δ^2H ilişkisini gösteren grafik Şekil 3.34’de verilmiştir.

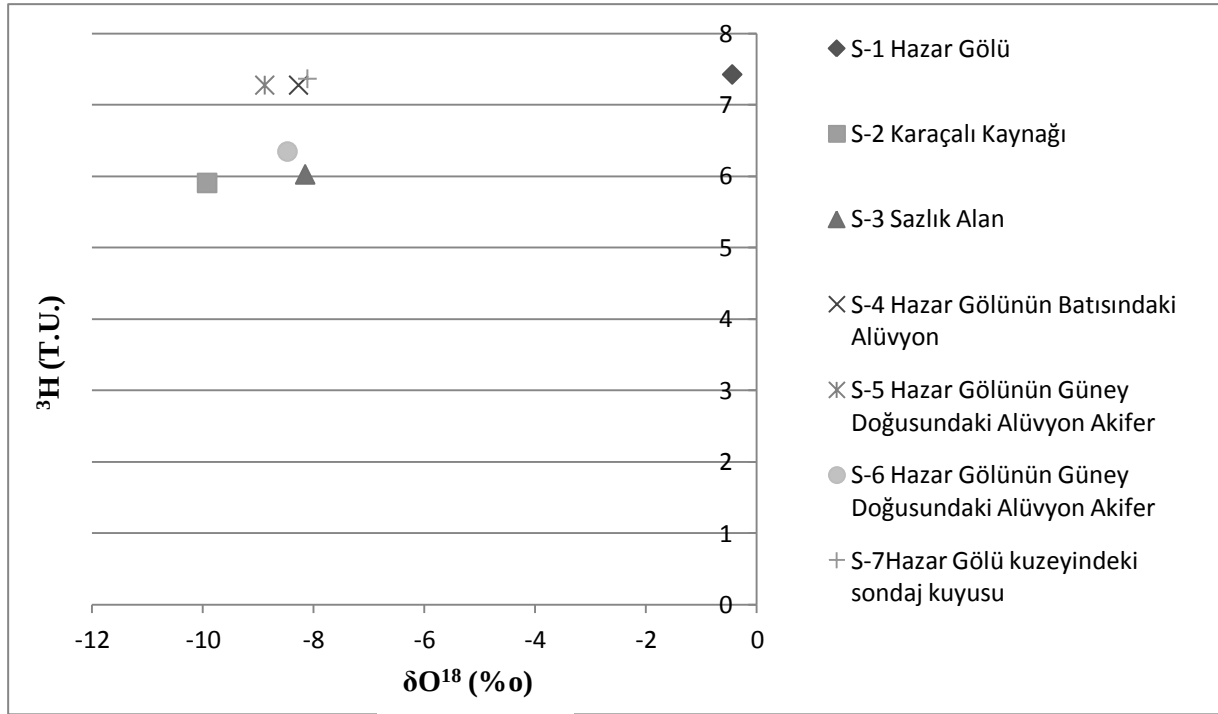


Şekil 3.34. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ ilişkisi.

İnceleme alanına ait yağışların ^{18}O ve ^2H ve içeriklerinin uzun süreli ölçümleri yapılmadığından yerel meteorik su doğrusu belirlenememiştir. Bu çalışmada denklemi $\delta^2\text{H} = 8 \times \delta^{18}\text{O} + 11.36$ olan Dalbahçe (Erzurum) su doğrusu (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005) inceleme alanı için yerel meteorik su doğrusu olarak kullanılmıştır. İncelenen sular Akdeniz ve Dalbahçe meteorik su doğruları üzerinde ve yakınında yer aldıklarından, meteorik kökenlidirler. Diyagramda, Hazar Gölü suyu ise buharlaşma doğrusu üzerinde bulunmaktadır. Su- kayaç etkileşiminin S-2 nolu Karaçalı Kaynağı'nda diğer sulara göre daha az olduğu görülmektedir.

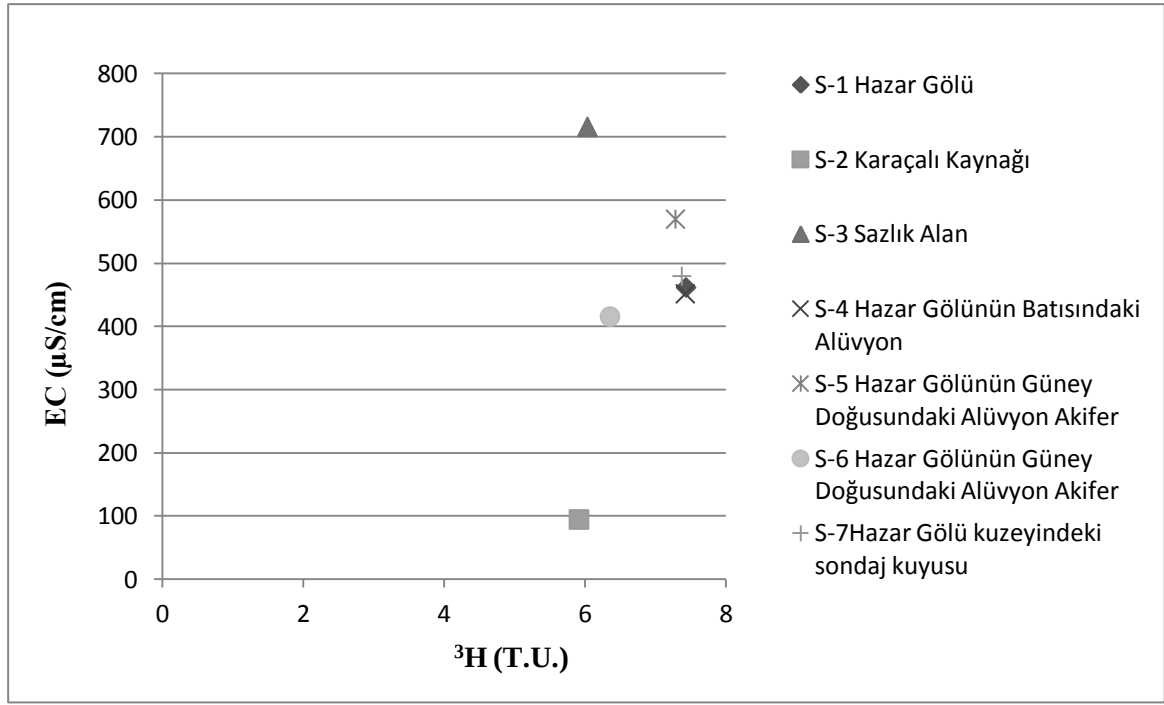
3.6.2.2. ^{18}O - ^3H ve ^3H -EC ilişkisi

^{18}O - ^3H ilişkisi genel olarak suların beslenme yükselteleri ile akifer içerisinde kalış süreleri arasındaki ilişkiyi yansıtmaktadır. ^{18}O - ^3H grafiğinin orijine doğru yaklaşıldıkça akifer içinde kalış süresi artmaktadır (Öztekin Okan, 2004).



Şekil 3.35. İncelenen suların $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^3\text{H}$ ilişkisi.

İncelenen sulardan S-2, S-3, ve S-6 nolu sular düşük ^3H ; S-1, S-4, S-5 ve S-7 nolu sular ise yüksek ^3H değerlerine sahiptir. Bu durum S-1, S-4, S-5 ve S-7 nolu suların diğerlerine nazaran daha sık dolaşımli sular olduklarını göstermektedir (Şekil 3.35). S-2, S-3 ve S-6 nolu suların orjine daha yakın olmaları bu suların akifer içerisinde kalış sürelerinin diğer sulara göre uzun olduklarını göstermektedir. Benzer şekilde Şekil 3.36'da S-3 ile gösterilen suyun yüksek EC, düşük ^3H içeriğine sahip olması bu suyun diğer sulara göre daha yaşlı ve derin dolaşımli olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.36. İncelenen suların EC- $\delta^3\text{H}$ ilişkisi.

4. SONUÇLAR

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

Thornthwaite (1948) yöntemi ile hazırlanan nem bilançosuna göre bölgeye düşen ortalama yıllık yağış miktarı 601.07 mm, gerçek buharlaşma-terleme 320.35 mm, su fazlasının olduğu dönemde sellenme miktarı ise 280.88 mm olarak hesaplanmıştır. Çalışma alanındaki su fazlası bölgeye düşen yıllık yağışın % 46.73 'ü kadardır.

Hazar gölü batısındaki alüvyon akiferlerinin arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda ortalama porozitesi % 45, geçirimsizlik katsayısı 6.3×10^{-5} m/s ile 4.42×10^{-3} m/s arasında, transmisivitesi ise 4.8×10^{-5} m²/s ile 9.7×10^{-4} m²/s arasında hesaplanmıştır. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyonun ise porozitesi % 45, geçirimsizlik katsayısı 5.1×10^{-4} m/s ile 4.4×10^{-3} m/s arasında, transmisivitesi ise 1.7×10^{-5} m²/s ile 3.7×10^{-2} m²/s arasında hesaplanmıştır.

İncelenen akiferlerin Ekim ve Nisan aylarına ait su tablası haritaları çizilmiş ve bu haritalarda yeraltı suyu boşalımının Hazar Gölü'ne doğru olduğu belirlenmiştir. İncelenen kuyularda su tablasında ölçülen seviye değişimleri Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferde 1.00-9.50 m arasında değişirken Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferde 1.00-7.00 m arasında değişmektedir.

İncelenen alüvyon akiferlerin su tablası haritalarındaki yeraltı suyu akım yönüne göre, napın türü konverjan naptır. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferde hesaplanan hidrolik eğim 0.019 ile 0.037 arasında iken Hazar Gölü batısındaki alüvyon akiferde ise 0.055 ile 9.4×10^{-3} arasındadır.

İnceleme alanında Kürk Çayı ve çevresindeki alüvyon akiferinde yağışla olan beslenme 21×10^6 m³, akiferden alınabilecek maksimum su miktarı ise $10.752.500$ m³ olarak hesaplanmıştır. Hazar Gölü güneydoğusundaki alüvyon akiferin sadece Hazar Gölü kıyısına yakın bölgelerinde çalışıldığından bu akifer için bu hesaplamalar yapılmamıştır.

İncelenen suların sıcaklıkları 9.1 – 17 ° C arasında, elektriksel iletkenlikleri 272 - 701 µS/cm arasında değişmektedir. Scholler diyagramında suların iyonlarını birleştiren doğrular birbirine paralel ya da paralele yakındır. İncelenen sulardaki majör katyon Ca olup, majör anyon ise HCO₃'tür. Schoeller diyagramına göre su örneklerinin tipi Ca, Mg, HCO₃'tür.

İncelenen sular Piper diyagramında 1. 3. ve 5. Bölgelere düşmektedir. Bu bölge sularında karbonat sertliği %50'den fazladır. Sulardaki $Ca^{+2} + Mg^{+2} > Na^{+} + K^{+}$ olup, bunlar karbonatlı ve sülfatlı sulardır. Ayrıca suların zayıf asitleri, kuvvetli asitlerden fazla olup $HCO_3^{-} + CO_3^{-} > Cl^{-} + SO_4^{-2}$ dir. Yani sulardaki hakim iyonlar Ca^{+2} , Mg^{+2} ve HCO_3^{-} 'tir.

İncelenen sular, Ekim (2012) ve Nisan(2013) ayları kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen ABD Tuzluluk diyagramında C₂ – S₁ sınıfında gruplanmışlardır. Buna göre sular, orta derecede tuzlu ve Na⁺lu sular olup hemen tüm topraklarda Na⁺ tehlikesi yaratmadan kullanılabilirler.

İncelenen sular, Ekim (2012) ve Nisan (2013) ayları kimyasal analiz sonuçlarına göre çizilen Wilcox diyagramında sulama açısından “çok iyi sular” grubuna girmektedirler.

Çalışma kapsamında incelenen suların majör anyon ve katyon içerikleri standartlarla karşılaştırıldığında suların bu iyonlar bakımından içmeye uygun oldukları söylenebilir. Ancak, çalışma kapsamında suların metal ve iz element analizleri yapılmadığından, bu iyonlarca değerlendirmeleri yapılmamıştır.

İnceleme alanında S-9 nolu keson kuyu suyunda NO_2 konsantrasyonu Türk Standartları Enstitüsü (TS 266 - 2005)’de belirtilen limit değerlerinin üzerindedir. Ayrıca, S-12 nolu keson kuyu ile S-15 nolu sondaj kuyusunda NO_3^- konsantrasyonu Türk Standartları Enstitüsü (TS 266 - 2005)’de belirtilen limit değerine oldukça yakındır. Sularda limit değerlerine yakın ve üzeri konsantrasyonlardaki NO_2^- , NO_3^- ve NH_4^+ , çalışma alanında özellikle yaz aylarında yapılan bahçe tarımında kullanılan yapay ve doğal gübre kaynaklı olabileceği gibi gübrelerin açıkta depolanmasına ve foseptiklere de bağlı olabilir. S-15 nolu sondaj kuyusundaki yüksek konsantrasyondaki NO_2^- ün kaynağı bu kuyunun hemen yakınındaki mezarlık alandan da kaynaklanmış olabilir. İncelenen sularda PO_4^{3-} kirliliğine rastlanmamıştır. Bölgede yaşayan yöre halkı sadece yaz aylarında bahçe tarımı yaptığından akiferler kimyasal ve hayvansal gübrelerden düşük oranlarda etkilenmişlerdir ve çalışılan akiferlerde yeraltı suyunda içme ve kullanmada tehlike oluşturacak boyutta bir kirlilik belirlenmemiştir.

İncelenen suların izotop analiz sonuçlarına göre sular meteorik kökenlidir.

^{18}O – ^3H izotop sonuçlarına göre S-2, S-3, ve S-6 nolu sular düşük ^3H ; S-1, S-4, S-5 ve S-7 nolu sular ise yüksek ^3H değerlerine sahiptir. Bu durum S-1, S-4, S-5 ve S-7 nolu suların diğerlerine nazaran daha sık dolaşımli sular olduklarını göstermektedir

EC – ^3H izotop sonuçlarına göre S-3 ile gösterilen suyun yüksek EC, düşük ^3H içeriğine sahip olması bu suyun diğer sulara göre daha yaşlı ve derin dolaşımli olduğunu göstermektedir.

Çalışma kapsamında yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler neticesinde Hazar Gölü’nden alüvyon akiferlere doğru bir intrüzyonun olmadığı görülmüştür. İncelenen akiferlerdeki bazı kuyularda çıkan kirlilik unsurları suların kirlenmeye açık olduğunun göstergesidir. Alüvyon akiferlerde meydana gelebilecek kirlilik akifer sularının boşaldığı Hazar Gölü’nün de su kalitesini düşürecektir. Bu nedenle bölgedeki yeraltı suyu kalitesinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için en azından mevcut durumun korunması gerekmektedir. Akiferler de açılan keson ve sondaj kuyularında aşırı çekim yapılması olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Bu çalışma sonucu elde edilen verilerin ileriki dönemlerde yapılacak Hazar Gölü Havzası su bütçesi çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Açıkbaş, D. ve Baştuğ, C., 1975.** Cacaş-Hani Bölgesinin Kuzeyindeki Alanların Petrol İmkanları ve Jeolojik Raporu. TPAO Arşivi (yayınlanmamış), Rapor No: 971.
- Akgül, B., 1987.** Keban yöresi metamorfik kayaların petrografik incelemesi. Y. Lis. Tezi, Fırat Üniv. Fen Bilim. Enst., (yayınlanmamış), 60 s.
- Aksoy, E., 1993.** Elazığ batı ve güneyinin genel jeolojik özellikleri. Türk Yerbil. Derg., 1, 1, 113-123.
- Aktas, G. and Robertson, A.H.F., 1984.** The Maden Complex, SE Turkey: Evolution of a Neotethyan active margin; J.E Dixon ve A.H.F. Robertson, ed, The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean, Edinburgh, 375-402.
- Aktas, G. and Robertson A.H.F., 1990.** Tectonic evolution of the Tethys suture zone in SE Turkey: Evidence from the petrology and geochemistry of Late Cretaceous and Middle Eocene extrusives. In. Symp. on ophiolite genesis and evolution of oceanic lithosphere Geol. Soc., London, Special Publ., 311-328.
- Altınkale, S., 2004.** Duraylı izotoplar ve hidrojeolojide kullanılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri III, 23s.
- Asutay, H.J., 1985.** Baskil (Elazığ) çevresinin jeolojik, petrografik ve petrolojik incelemesi. Doktora tezi A.Ü. Fen Bil. Enst., (yayınlanmamış)
- Briggs, G.F. and Fiedler, A.G., 1975.** Ground Water and Wells. Johnson Division, UOP Inc., Saint Pau, Minnesota, 440 p.
- Canik, B., 1980** Su Kimyası Ders Notları: Ankara Üniv. Fen Fak., Ankara, 72 s. (yayınlanmamış)
- Clark, I. and Fritz, P., 1997.** Environmental isotopes in hydrogeology, Lewis Publ., Boca Raton, 328p.
- Coplen, T.B., Herczeg, A.L. ve Barnes, C., 2000.** Isotope engineering, using stable isotopes of the water molecule to solve practical problems.
- Cooper, H.H. and Jacob., C.E. 1946.** A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Trans. Amer. Geophysical Union. V.27, pp. 526-534.
- Craig, H., 1961a.** Isotopic variations in meteoric waters. Science 133, 1702-1703. Craig, H., 1961b. Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science, 133, 1702-1703.
- Craig, H., 1961b.** Standard for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters. Science, 133, 1702-1703.
- Çelik, H., 2003..** Mastar Dağı (Elazığ GD' su) çevresinin stratigrafik ve tektonik özellikleri: F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, doktora tezi (yayınlanmamış).
- Çetindağ, B., 1985,** Elazığ, Palu-Kovancılar dolayının hidrojeoloji incelenmesi: Yüksek lisans tezi (yayınlanmamış), F.Ü. Fen Bil. Enst., Elazığ, 117 s.

- Çetindağ, B., 1989.** Elazığ-Ören Çayı çevresinin hidrojeoloji incelemesi, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bil. Enst., 270s., (yayınlanmamış)..
- Çetindağ, B., 1997.** Elazığ yakın çevresindeki bazı formasyonların hidrojeolojik karakteristikleri, 20. Yıl Jeoloji Sempozyumu (12-16 Mayıs 1997) Bildiriler, S.Ü- Konya, 203-209.
- Çetindağ, B., Öztekin Okan, Ö., 2004.** Hydrochemical Characteristics And Pollution Potential Of Uluoava Aquifers, Elazığ, Turkey, *Environmental Geology* 2004, 45: 796-807.
- Çifter, C. ve Sayın, M., 2002.** İzotopların Hidrolojide Kullanılması. 1. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002, 1-14, Adana.
- DSİ 9. Bölge Müdürlüğü Hidroloji Laboratuvarı
- Duran, C. ve Günek, H., 2007.** ‘Hazar Golu Havzası Arazi Kullanımındaki Değişikliklerin Belirlenmesi (1956-2004)’, *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 17(2), 31-52.
- Emiroğlu, M.E, Baylar A., ve Balı S., 1998.** Hazar Gölünün Özellikleri ve Gelecek İçin Su Bütçesi II. Ulusal Hidroloji Kongresi.
- Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü (ESÇAE), 2002.** Hazar Gölü Yönetim Planı Alt Projesi I. Aşama, Cilt 1, Final Raporu, Proje Kodu: 5022408, Enerji Sistemleri ve Çevre Araştırma Enstitüsü , Gebze.
- Erdoğan, B., 1982.** Ergani-Maden yöresindeki Güneydogu Anadolu Ofiyolit Kusagının Jeolojisi ve volkanik kayaları, *TJK Bült.*, v. 25, pp. 49-60.
- Erguvanlı, K. ve Yüzer, E., 1973.** Yeraltı Suları Jeolojisi (Hidrojeoloji): İTÜ Kütüphanesi, Sayı: 967, 340 s.
- Faure, G., 1986.** Principles of Isotope Geology. (2nd edition), John Wiley and Sons, New York, 589p.
- Gat, J.R., 1971.** Comments on the stable isotope method in regional groundwater investigations. *Water Resources Research*, v.7, pp.980-993.
- Gat, J. R. and Gonfiantini, R., 1981.** Stable isotope hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in the water cycle. IAEA, Tech. Rept. Series No.210, 337pp.
- Giritlioğlu, T., 1992.** İçme Suyu Kimyasal Analiz Raporlarının Değerlendirilmesi, Standartlar ve Dezenfeksiyon: In: İller Bankası Genel Müd. İçme Suyu Daire Başkanlığı, İçme Suyu Etüd Proje Semineri Notları, 19 s
- Gonfiantini, R., 1978.** Standards for stable isotope measurements in natural compounds. *Nature* 271, 534-536.
- Gölbaşı, S., ve Şen B., 2006,** Hazar Gölüne Dökülen Kürk Çayı’nın Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri Fen Bilimleri Enstitüsü
- Güleç, N. ve Mutlu, H., 2003,** Jeotermal Alanlarda İzotop Jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, 11-21 Haziran 2002 Yaz Okulu Ders Kitabı (editörler: M.Y. Savaşçın, N. Güleç, Ş. Şimşek ve M. Parlaktuna), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, No. 306, s.64-88.

- Günek, H., Yiğit, A., 1995.** Hazar Gölü Havzasının Hidrografik Özellikleri, 1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, Sayfa: 91-103, Elazığ
- Günek, H., Duran, C., 2007.** Hazar Gölü Havzası Arazi Kullanımındaki Değişikliklerin Belirlenmesi (1956-2004), (Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi)
- Gürocak, Z. 1993.** Sivrice (Elazığ) Çevresinin Jeolojisi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 65s.
- Hazar İl Yolu Jeolojik- Jeoteknik Etüt raporu
- Hempton, M.R. ve Savcı, G., 1982,** Elazığ volkanik karmaşığının petrolojik ve yapısal özellikleri: TJK Bült. 25, 143-150.
- Hempton, M.R., Dune, L.A and Dewey. J.F., 1983.** Sedimentation active strike-slip basin, South-eastern Turkey : Geology, 91, 401-412.
- Hempton, M.R., 1984.** Results of detailed mapping near Lake Hazar (Eastern Taurus Mountains): Tekeli, O. and Göncüoğlu , M.C, eds., Int. Symp. On the geology of the Taurus Belt; proceedings. 26-29, Ankara
- İnandık, H., 1965.**Türkiye Gölleri (Morfolojik ve Hidrolojik Özellikler), Baha Matbaası, İstanbul.
- İnceöz, M., 1994.** Harput (Elazığ) yakın kuzeyi ve doğusunun jeolojik özellikleri. Doktora tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enst., 112s.,(yayımlanmamış).
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S., 2003.** Metallerin Çevresel Etkileri I, Metalürji Dergisi., 137: 46-51.
- Kaya, A, 1992.** Gezin – Maden (Elazığ) Çevresinde Jeolojik Araştırmalar: Yüksek Lisans Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enst. (yayımlanmamış), 72s.
- Kılıç, A.,D., 2005.** Maden Karmaşığına ait volkanitlerin Petrografik ve Petrolojik Özellikleri, Geosound, Haziran,46,107-123,
- Kurttaş, T., 2002.** Karışım Sularında Kökensel Katkıların Belirlenmesi. 1. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, 21-25 Ekim 2002, 287-302, Adana.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2008.** DAF Boyu Jeoloji Haritası Palu Bölütü ve Şiro Bölütü
- Olgun, K., Kalkan. S., 1994.** Elazığ – Uluova Revize Etüt Raporu. DSİ. Ankara, 67s.
- Örmeci, S., 2005.** Şarkikaraağaç Havzasının (Isparta) Hidrojeoloji İncelemesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 110s.
- Özkan, Y.Z ve Öztunalı, Ö., 1984.** Petrology of the magmatic rocks of Guleman ophiolite: Tekeli, O. and Güncüoğlu, M.C eds., Int. Symp. Of the geology on the Taurus Belt, Proceedings, 285-294, Ankara.
- Özkan, Y. Z. 1982.** Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin Jeolojisi ve Petrolojisi. İst. Üniv. Yerbilimleri Derg.,3 (1-2), 295-312.
- Özkan, Y.Z., 1983.** Caferi Volkanitinin kökeni sorununa jeokimyasal bir yaklaşım: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 4, 53-58.

- Özkan, Y.Z., 1984.** Guleman (Elazığ) Ofiyolitinin yapısal incelenmesi: MTA Derg., 97/98, 78-85, Ankara.
- Özkan, Y.Z., 1985.** Guleman (Elazığ) ofiolitinin yapısal incelenmesi, .Maden. Tetkik ve. Arama Ernst. Derg. 78-85.
- Özkaya., 1975.** Sason yöresinin yapısal jeolojisi: Cumhuriyetin 50. yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebligler, 21-30, Ankara.
- Özkaya., 1978.** Ergani-Maden yöresinin stratigrafisi: TJK Bült., 2, 120-139.
- Öztekin, Ö., 1998.** Elazığ İli İçme ve Kullanma Sularının Fiziko-Kimyasal Özellikleri Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi(Yayımlanmamış) 124s.
- Öztekin, O., 2004.** Kolan (Karakoçan) Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı'nın Hidrojeokimyasal İncelemesi Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 99s.
- Öztürk, N., 2008.** Hazar Gölü (Sivrice-Elazığ) Doğusundaki Manganez Cevherleşmelerinin Jeolojik, Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 54s.
- Perinçek, D., 1979a.** Palu-Karabegan-Elazığ-Sivrice-Malatya alanının jeolojisi ve petrol imkanları: TPAO arşiv no: 1361(yayınlanmamış).
- Perinçek, D., 1979b.** The geology of Hazro-Korudag-Çüngüs-Maden-Ergani-Hazar Malatya area. Guide book, TJK yayını, 33s.
- Perinçek, D. 1980a.** Arabistan Kıtası kuzeyindeki tektonik evrimin kıta üzerinde çökelen istifteki etkileri. *Türkiye 5. Petrol Kongresi, Tebliğler*, 7793 (In Turkish).
- Perinçek, D., 1980b.** Bitlis metamorfitlelerinde volkanitli Triyas: TJK Bült., 23, 201-211, Ankara.
- Perinçek, D., and Özkaya., 1981.** Arabistan levhası kuzey kenarı tektonik evrimi. Yerbilimleri, 8, 91-101.
- Rigo De Righi, M., and Cortesini, A., 1964.** Gravity tectonics in Foothill structure of southeast Turkey: Amer. Assoc. Petrol. Geologist Bull. 48, 1911-1937.
- Sağıroğlu, A. ve Çetindağ, B., 1995,** Hazar Gölü'nün Kürk ve Mogal derelerinden kaynaklanan siltlesmesi, I. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, Çağ Ofset, Elazığ, 33-39.
- Sayın, M., Özcan Eyüpoğlu, S. 2005.** Türkiye'deki yağışların kararlı izotop içeriklerini kullanarak yerel meteorik doğruların belirlenmesi. *II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı*. Devlet Su İşleri, 26-30 Eylül 2005, İzmir, 323-344.
- Schoeller, H., 1962.** Les Eaux Souterraines: Masson et Cie, Editurn, 120, Boulevard Saint – Germain – Paris (Çeviren: Karacadağ, K., 1973. Yeraltı Suları, Dizerkonca Matbaası , İstanbul, 605 s.).
- Sheppard, S. M. F., 1977.** Identification of the origin of ore-forming solutions by the use of stable isotopes. Volcanic Processes in Ore Genesis. Geological Society London, Special Publication, 7, 25-41.
- Sungurlu, O., 1975.** VI. Bölge kuzey sahaların jeolojisi: TPAO Raporu. No. 817, (yayınlanmamış).

- Sungurlu, O., 1979.** GD sürüklenim kuşağı Tersiyer sürüklenimleri: 33. TJK Bilimsel ve Teknik Kurultayı bildiri özetleri, 121-122.
- Sungurlu, O., Perinçek, D., Kurt, G., Tuna, E., Dülger, S., Çelikdemir, E., and Naz, H., 1985.** Elazığ- Palu- Hazar alanının jeolojisi: petrol _sleri genel müdürlüğü dergisi., 29, 83-191.
- Şahinci, A. 1971.** Yeraltına Süzülen Yağış Miktarının Klor Metodu İle Tayini: Ege Üniv. Fen Fak. İlmi Raporlar Serisi, No:117, İzmir, 37 s.
- Şahinci, A. 1991.** Doğal Suların Jeokimyası. Reform Matbaası, İzmir, 548s.
- Şengör, A.M.C., 1980.** Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, T. J. K. Konferans Serisi, No: 2, 40 s.
- Taylor, H. P., 1974.** The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. *Economic Geology*, 69, 843-883
- Thorntwaite, C.W., 1948.** An approach a rational classification of climate, *The Geographical review*, Vol. 38, New York.
- Tonbul, S. Ve Yiğit, A.1995.** “ Pleyistosen'den Günümüze Hazar Gölü'ndeki Seviye Değişimleri, Çevresel Etkileri ve Hatunköy Kapması”, 1. Hazar Gölü ve Çevresi Sempozyumu, 41- 69, Sivrice – Elazığ.
- Turan, M. 1992.** Elazığ yakın civarındaki bazı önemli tektonik yapılar ve bunların bölgenin jeolojik evrimindeki yeri Suat Erk Sempozyumu, A.Ü.Fen Fak.
- Turan, M., Aksoy, E., ve Bingöl, A.F. 1995.** Dogu Torosların Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri., F.Ü.Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 / 2, 177-200.
- T.S.E. (2005).** Türk İçme Suyu Standartları (TS 266).
- Uslu, O., Türkman, A., 1987.** Su Kirliliği ve Kontrolü. T.C Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları Eğitim Dizisi 1. Ankara. 364s.
- Ünlü, A. ve Uslu, G., 1999.** Hazar Gölü'nde Su Kalitesinin Değerlendirilmesi, *Ekoloji Dergisi*, 32 , 7-13.
- Yazgan, E., 1983.** A geotraverse between the Arabian Platform and the Munzur Nappes. Int. Symp. on the geology of the Taurus Belt, Field Guide Book, Ankara, 199-208.
- Yazgan, E., 1984.** Geodynamic evalution of the Eastern Taurus region. In: O. Tekeli and C. Göncüoglu (eds.), *Geology of the Taurus Belt Proceedings*, MTA, Ankara, 199-208.
- Yazgan, E. and Chessex, R., 1991.** Geology and tectonic evolution of the Southeastern Taurides in the region of Malatya. *Tür. Pet. Jeo. Der.*, Ankara, 3,1,1-14.
- Yılmaz, Y., 1993.** New evidence and model on the evolution of the southeast Anatolian orogen. *Geol. Soc. Of Amer. Bull.*, 105, 251-271.
- Yiğit A., 1995.** “Hazar Gölü Suları Altında Kalan Gölcük Köyü Hakkında Bir Tarihi Coğrafya Araştırması”, 1. Hazar Gölü Çevre Sempozyumu, 185-188, Sivrice-Elazığ, 1995.
- Yigitbaş, E., Yılmaz, Y. ve Genç, S.C., 1992.** Güneydogu Anadolu orojenik kusagında Eosen nap yerlesmesi: Türkiye 9. Petrol Kong. Bild., Ankara, 307-318.

Yiğitbaş, E. and Yılmaz, Y. 1996. New Evidence and Solution to the Maden Complex Controversy of the Southern Anatolia orogenic Belt (Turkey). *Geol. Rundsch*, 85, 250-263.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Elazığ'da doğdum. İlk, orta ve lise eğitimimi Elazığ merkez okullarında tamamladıktan sonra 2007 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne kayıt yaptırdım. 2011 yılında Jeoloji Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. 2011 yılında Uygulamalı Jeoloji (Hidrojeoloji) dalında Yüksek Lisansa başladım.