

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

POLATLI-HAYMANA (ANKARA) CİVARI SICAK SULARININ İZOTOP
JEOKİMYASI ($\delta^{18}\text{O}$, δD , ^3H , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) VE ANA-İZ ELEMENT
BİLEŞİMLERİ İLE İNCELENMESİ

Hafize AKILLI

JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2019

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Hafize AKILLI tarafından hazırlanan “Polatlı-Haymana (Ankara) Civarı Sıcak Sularının İzotop Jeokimyası ($\delta^{18}\text{O}$, δD , ^3H , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ve Ana-İz Element Bileşimleri İle İncelenmesi” adlı tez çalışması 22/02/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Halim MUTLU
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri :

Başkan: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK
Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Halim MUTLU
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Prof. Dr. Mehmet ÇELİK
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Koray YILMAZ
Ortadoğu Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye : Doç. Dr. Şebnem ARSLAN
Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Atila YETİŞEMİYEN
Enstitü Müdürü

ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

22/02/2019



Hafize AKILLI

ÖZET

Doktora Tezi

POLATLI-HAYMANA (ANKARA) CİVARI SICAK SULARININ İZOTOP JEOKİMYASI ($\delta^{18}\text{O}$, δD , ^3H , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) VE ANA-İZ ELEMENT BİLEŞİMLERİ İLE İNCELENMESİ

Hafize AKILLI

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Halim MUTLU

Bu tez çalışmasında Haymana-Polatlı bölgelerinde yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarının oluşumu, kökeni, hidrokimyasal özellikleri ile duraylı ve radyojenik izotop bileşimleri incelenmiştir. Çalışma alanının temelini Paleozoyik-Alt Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayalar oluşturur. Temel üzerine uyumsuz olarak gelen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonunun kireçtaşları sıcak suların büyük çoğunluğunun rezervuar kayacını oluşturur. Alanda mostra veren granitik ve volkanik birimler diğer rezervuar kayalardandır. Paleojen ve Neojen yaşlı çökel kayaların killi, marnlı seviyeleri ise örtü kayac özelliğindedir. Sıcak su kaynakları bölgedeki fay ve kırık zonları boyunca yüzeye ulaşırlar. Derin dolaşım olduğu belirlenen sıcak suların kimyasal bileşimi $(\text{Na}+\text{K})\text{-Cl-SO}_4$ ve $(\text{Na}+\text{K})\text{-Cl-HCO}_3$ su tipinde iken sığ dolaşım ve soğuk su karışımı olduğu düşünülen sıcak sular ise Ca-Na-HCO_3 bileşimindedir. Sıcak suların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ‰ -11.67 ile ‰ -9.06, δD değerleri ise ‰ -86.71 ile ‰ -67.57 arasında değişmektedir. Sıcak ve soğuk sular meteorik kökenlidir. Döteryum fazlalığı değerleri yüksek nemli koşulları işaret etmektedir. Sulara çözünmüş sülfatta ölçülen $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ değerleri sülfatın ya doğrudan denizel evaporitlerden ya da denizel ve karasal evaporitlerin her ikisinden de türeyebileceğini göstermiştir. Sıcak ve soğuk sulardaki çözünmüş inorganik karbonun izotop ($\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$) değerlerine göre, karbonun kökeninin denizel kireçtaşlarının çözünmesi ve organik malzemeden kaynaklanabileceğini ortaya konmuştur. Suların ve rezervuar kayaların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri birbiri ile uyumlu olup, Çağlayık sularındaki Sr'un kaynağının Beypazarı graniti olduğu sonucuna varılmıştır. Polatlı-Haymana sıcak sularının dolomit, kalsit, aragonit ve silika minerallerine göre doymuş, buna karşın jips ve anhidrite doymuş olmadıkları belirlenmiştir. İzotop ve silika jeotermometreleri ile rezervuar sıcaklıkları hesaplanmış ve silika jeotermometrelerinin daha gerçekçi sonuç (40-88 °C) verdiği görülmüştür.

Şubat 2019, 255 sayfa

Anahtar Kelimeler:Jeokimya, duraylı-radyojenik izotoplar, su-kayac etkileşimi, jeotermometre, doymuşluk hesaplamaları, kavramsal hidrotermal model, Polatlı-Haymana sıcak suları

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION ON THE ORIGIN OF THE POLATLI-HAYMANA (ANKARA) THERMAL WATERS FROM STABLE ISOTOPE ($\delta^{18}\text{O}$, δD , $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$) AND MAJOR- TRACE ELEMENT COMPOSITION

Hafize AKILLI

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Halim MUTLU

In this thesis, the formation, origin, hydrochemical properties and stable and radiogenic isotope compositions of hot and cold springs in Haymana-Polatlı region were investigated. The basement of the study area is composed of Paleozoic-Lower Triassic low grade metamorphic rocks. The limestones of the Upper Jurassic-Lower Cretaceous Bilecik formation, which unconformably overlies the basement, form the reservoir rock of the majority of hot springs. Granitic and volcanic units outcropping in the area are other reservoir rocks. The clayey and marly levels of the Paleogene and Neogene sedimentary rocks act as cap rocks of the geothermal system. Hot springs reach the surface along fault and fracture zones in the region. The chemical composition of hot springs, which are determined to be deeply circulated, are (Na+K)-Cl-SO₄ and (Na+K)-Cl-HCO₃ while the hot springs considered to be shallow circulating and cold springs are in Ca-Na-HCO₃ composition. The $\delta^{18}\text{O}$ values of the hot springs ranged from 11.67‰ to 79.06‰ and δD values were -86.71‰ to 67.57‰. Hot waters and cold waters are meteoric in origin. Deuterium excess values indicate highly humid conditions. $\delta^{34}\text{S}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values measured in the dissolved sulfate in waters showed that the sulphate could either be derived directly from marine evaporites or from both marine and terrestrial evaporites. The $\delta^{13}\text{C}_{\text{DIC}}$ isotope ratios of dissolved inorganic carbon in hot and cold springs revealed that the origin of carbon could be the dissolution of marine limestones and organic material. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ values of water and reservoir rocks are compatible with each other and it is concluded that the source of Sr in the waters of Çağlayık is the Beypazarı granite. It was determined that the Polatlı-Haymana hot springs were saturated with respect to dolomite, calcite, aragonite and silica minerals; whereas they were unsaturated with respect to gypsum and anhydrite. The reservoir temperatures were calculated by isotope and silica geothermometers and it has been found out that silica geothermometers (40-88 °C) gave more realistic results.

February 2019, 255 pages

Key Words: Geochemistry, stable-radiogenic isotopes, water-rock interaction, geothermometer, saturation calculations, conceptual hydrothermal model, Polatlı-Haymana hot springs

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması 2015 ve 2016 yıllarında, Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonu tarafından (proje no. 15L0443008) tarafından desteklenmiştir. Ayrıca MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmüş “Ankara ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi” adlı projenin bir parçasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda, MTA Genel Müdürlüğü ve Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı’na teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenci affından yararlanıp doktora eğitimime geri döndüğüm süreçte tez konumun belirlenmesinde ve tez çalışması süresince her türlü yardım ve desteğini gördüğüm, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bilimsel katkılarıyla beni yönlendiren ve sabır gösteren danışman hocam Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Halim MUTLU’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince TİK toplantılarında yaptıkları olumlu eleştiri, katkı ve destekleri için motive olmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyeleri Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK ve Prof. Dr. Galip YÜCE’ye, Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyesi Prof. Dr. Mehmet ÇELİK’e teşekkür eder saygılarımı sunarım.

1994 yılında ilk doktora çalışmasına başladığım da tez danışmanım olan hocam Prof. Dr. Baki CANİK’i rahmet ve saygıyla anıyorum.

Doktora eğitimime tekrar başlamak için beni teşvik eden MTA Dergisi Editörü Prof. Dr. Taner ÜNLÜ’ye çok teşekkür ederim. MTA Genel Müdürlüğü Redaksiyon Kurulundaki görevim sırasında tezimi tamamlamam konusunda manevi desteklerini hiç eksik etmeyen, Dr. Bahadır ŞAHİN, Cahit DÖNMEZ, Doç. Dr. Ayhan ILGAR, Doç. Dr. Nuray KARAPINAR, Dr. İlker ŞENGÜLER ve Dr. Nihal GÖRMÜŞ’e şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasında su kimyası ve duraylı izotop analizlerimin yaptırılması hususunda göstermiş olduğu yardımlardan dolayı Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanı Sayın İsmail KARA’ya teşekkürü borç bilirim. Tezimin çeşitli aşamalarında desteklerini

gördüğüm Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığında görevli arkadaşlarım Dr. Oktay ÇELMEN, Dr. Lütfi TAŞKIRAN, Serkan KARACA, Engin BÜLBÜL, Engin PURTUL, Fatih ÖZİÇLİ ve Ünsal TURALI'ya teşekkür ederim. Tez sahamdaki sıcak su kaynaklarına ait hazırladığım kavramsal modele ait blok diyagramların hazırlanmasında kullanılan QGIS programı hakkında görüş ve yardımlarını aldığım çalışma arkadaşım Macit KARADAĞLAR'a minnettarım. Yine haritalarımın hazırlanması aşamasında Corel programının kullanılmasında görüşleri ile bana yardımcı olan çalışma arkadaşım Hakan ÖZKAN'a teşekkür ederim.

Sıcak su örneklerimin radon gazı ölçümleri için laboratuvar olanaklarını sağlayan Kimya Mühendisi arkadaşlarım Murat AKAR ve Yunus DURAN'a ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tez kapsamında su örneklerinin iz element analizlerinin yapılmasında Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi 02G062 nolu alt yapı destek projesi kapsamında destek sağlanmış olup, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim üyelerinden Sayın Prof. Dr. Nur ÖZYURT ve arkadaşlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmamın çeşitli aşamalarında verilerinden yararlandığım İller Bankası, Meteoroloji Genel Müdürlüğü ve DSİ Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

İstatistik verilerimin hazırlanmasında yardımlarını esirgemeyen Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı öğretim elemanlarından Dr. Sinan AKISKA'ya teşekkürlerimi sunarım.

$\delta^{34}\text{S}$ – $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{13}\text{C}$ analizleri için, suların sülfat ve karbonat çöktürme analizlerini MTA Genel Müdürlüğü MAT Dairesi Başkanlığı Su Kimyası Laboratuvarında yapılmasında, gerekli ortamı ve kimyasal malazemeyi sağlayan Dr. Gülendem GÜNENDİ ve arkadaşlarına teşekkürü bir borç bilirim. Analizler sırasında yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarım Önder AYDOĞDU ve Sinan SARP'a teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarım sırasında görüş ve önerileri ile desteğini gördüğüm çalışma arkadaşım Servet AÇIKGÖZ'e teşekkürlerimi sunarım. Haymana sahasında kuyulara ait bilgileri

ulaşmamı sağlayan, örnekleme yapmam konusunda yardımlarını esirgemeyen Nizamettin şENTüRK'e teşekkür ederim.

Tezime başlamam konusunda desteklerini gördüğüm, varlıkları ile her zaman kendimi güçlü hissetmemi sağlayan annem, babam ve kardeşlerime saygı ve sevgilerimi sunarım.

Arazi alışmaları sırasında her zaman yanımda olan, tez çalışmam boyunca gösterdikleri sabır ve verdikleri manevi desteklerinden dolayı eşim Mustafa AKILLI, kızlarım Selin AKILLI ve Ezgi AKILLI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hafize AKILLI

Ankara, şubat 2019

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI

ETİK.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iii
ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması.....	1
1.3 İnceleme Alanının Coğrafi Özellikleri	3
1.4 İklim	7
1.4.1 Buharlaşma ve terleme.....	9
1.5 Bitki Örtüsü.....	15
2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR.....	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1 Arazi Çalışmaları	29
3.2 Laboratuvar Çalışmaları.....	32
3.3 Büro Çalışmaları.....	38
4. JEOLojİ	39
4.1 Stratigrafi.....	39
4.1.1 Mesozoyik	42
4.1.1.1 Karakaya formasyonu (TRk).....	42
4.1.1.2 Bilecik kireçtaşı (JKb)	44
4.1.1.3 Soğukçam kireçtaşı (JKs)	45
4.1.1.4 İncirli formasyonu (Ki)	45
4.1.1.5 Kapıkaya formasyonu (Kk).....	46
4.1.1.6 Haymana formasyonu (Kh).....	46

4.1.1.7 Beyobası formasyonu (Kb)	47
4.1.2 Senozoyik	48
4.1.2.1 Kartal formasyonu (Tpk)	48
4.1.2.2 Çaldağ formasyonu (Tpç)	48
4.1.2.3 Yeşilyurt formasyonu (Tpy)	49
4.1.2.4 Kırkkavak formasyonu (Tpek)	50
4.1.2.5 Ilgınlıkdere formasyonu (Tpei)	50
4.1.2.6 Alcı formasyonu (Tpea)	52
4.1.2.7 Eskipolatlı formasyonu (Tee)	53
4.1.2.8 Çayraz formasyonu (Teç)	54
4.1.2.9 Yamak formasyonu (Tey)	55
4.1.2.10 Kumartaş formasyonu (Tmk)	55
4.1.2.11 Hançili formasyonu (Tmh)	56
4.1.2.12 Sarıoba formasyonu (Tms)	57
4.1.2.13 Alagöz formasyonu (Tmpa)	58
4.1.2.14 Karaahmet formasyonu (TpQk)	59
4.1.2.15 Alüvyon (Qal)	60
4.1.2.16 Traverten (Qtr)	60
4.1.3 Magmatik Kayaçlar	64
4.1.3.1 Granitoidler (Tpg)	64
4.1.3.2 Abdüsselamdağ volkanitleri (Teav)	65
4.1.3.3 Hançili formasyonu volkanit üyesi (Tmhv)	65
4.1.3.4 Yeniköy volkaniti (Teyv)	66
4.2 Yapısal Jeoloji	66
4.2.1 Faylar	67
4.2.2 Kıvrımlar	72
5. HİDROJEOLJİ	76
5.1 Geçirimli Birimler	76
5.2 Yarı Geçirimli Birimler	78
5.3 Geçirimsiz Birimler	79
5.4 Kaynaklar ve Kuyular	80
5.4.1 Soğuk su kaynakları ve kuyuları	81
5.4.1.1 Polatlı- Çağlayık-Sarıoba bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları	81

5.4.1.2 Polatlı-Girmeç-Malıköy bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları	83
5.4.1.3 Polatlı-Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları.....	88
5.4.1.4 Haymana Bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları	93
5.4.2 Sıcak su kaynakları ve kuyuları	97
5.4.2.1 Polatlı-Çağlayık-Sarıoba bölgesi sıcak su kaynakları.....	98
5.4.2.2 Malıköy-Girmeç bölgesi sıcak suları	109
5.4.2.3 Polatlı-Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca sıcak su kaynakları	113
5.4.2.4 Haymana bölgesi sıcak su kaynakları	120
6. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI	129
6.1 Suların Fiziksel Özellikleri.....	129
6.2 Suların Kimyasal Özellikleri.....	134
6.3 Polatlı ve Haymana Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri	139
6.3.1 Yarı logaritmik Schoeller diyagramı	139
6.3.2 Piper diyagramı.....	147
6.3.3 Cl-SO ₄ -HCO ₃ diyagramı	149
6.3.4 Dairesel diyagram.....	150
6.4 Doygunluk Hesaplamaları.....	151
6.5 Sıcak Su Örneklerinde Radon Gazı Ölçümleri	155
6.6 Sıcak ve Soğuk Sulardaki Kirlilik Parametreleri	157
6.7 İz element analizleri.....	162
7. İZOTOP JEOKİMYASI	169
7.1 Duraylı İzotoplar	169
7.1.1 $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi.....	169
7.1.2 Oksijen-18 ve sıcaklık ilişkisi.....	173
7.1.3 Oksijen 18 ve yükseklik ilişkisi.....	174
7.1.4 Trityum-klorür ilişkisi	176
7.1.5 Oksijen 18-trityum ilişkisi.....	177
7.2 $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ (SO ₄) bileşimleri	178
7.3 $\delta^{13}\text{C}$ bileşimleri	181
7.3.1 CO ₂ kökeni	189
7.4 Kayaç ve Suların Sr izotop ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) Bileşimleri	190
8. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI.....	197

8.1 Kimyasal Jeotermometreler	197
8.1.1 Silika jeotermometreleri	197
8.1.2 Katyon jeotermometreleri.....	199
8.2 İzotop Jeotermometresi	202
8.3 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı	203
8.4 Sıcak Su-Soğuk Su Karışımı	208
9. KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODEL	212
9.1 Beslenme	212
9.2 Rezervuar Kayaçlar	214
9.3 Isı Kaynağı.....	215
9.4 Örtü Kayaçlar	219
10. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	220
KAYNAKLAR	228
EKLER.....	243
EK 1 Sarıoba ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası	244
EK 2 Malhköy ve Girmeç Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası.....	245
EK 3 Karahamzalı, Ilıca, Özhamamı ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası	246
EK 4 Haymana Jeotermal Alanının Jeoloji Haritas	247
EK 5 Sarıoba ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli	248
EK 6 Malhköy ve Girmeç Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli	249
EK 7 Karahamzalı, Ilıca, Özhamamı ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli	250
EK 8 Haymana Jeotermal Alanının Kavramsal Hidrotermal Modeli.....	251
ÖZGEÇMİŞ.....	252

SİMGELER DİZİNİ

As	Arsenik
B	Bor
Ca ⁺²	Kalsiyum
Cl ⁻	Klorür
DO	Çözünmüş oksijen
D, ² H	Döteryum
EC	Elektriksel iletkenlik
F	Flor
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
K	Kelvin derece
K ⁺	Potasyum
km	kilometre
Li	Lityum
m	metre
mek/l	miliekivalen/litre
mg/l	miligram/litre
Mg ⁺²	Magnezyum
Na ⁺	Sodyum
pH	H ⁺ iyonu aktivitesi
ppm	milyonda bir
SI	Doygunluk indisi
SO ₄ ⁻²	Sülfat
SiO ₂	Silisyumdioksit
δ	binde izotopik deger
t	sıcaklık

$^{\circ}\text{C}$	Santigrat derece
TU	Trityum Birimi
^3H , T	Trityum
^{18}O	Oksijen-18 izotopu
^{34}S	Kükürt-34 izotopu
^{87}Sr	Stronsiyum-87 izotopu
^{86}Sr	Stronsiyum-86 izotopu
^{13}C	Karbon-13 izotopu

Kısaltmalar

AMSD	Ankara Meteorik Su Doğrusu
CDT	Kükürt İzotopu Standardı (Canon Diablo Troilite)
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
IAEA	Uluslararası Atom Enerji Ajansı
KMSD	Küresel Meteorik Su Doğrusu
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ODTÜ	Orta Doğu Teknik Üniversitesi
PDB	Pee Dee Belemniti Standartı
SMOW	Okyanus Suyu Standart Ortalaması
V-CDT	Viyana-Kükürt İzotopu Standardı
V-PDB	Viyana-Pee Dee Belemniti Standartı
V-SMOW	Viyana-Okyanus Suyu Standart Ortalaması
WMO	Dünya Meteoroloji Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2 Çalışma alanının Sakarya havzasındaki yeri.....	4
Şekil 1.3 Çalışma alanında yer alan önemli akarsular	5
Şekil 1.4 Çalışma alanındaki önemli yükseltiler.....	6
Şekil 1.5 İnceleme alanındaki meteoroloji istasyonlarının lokasyonları	8
Şekil 1.6 Polatlı (17728) istasyonu eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı	12
Şekil 1.7 Haymana KK (4092) istasyonunun düzeltilmiş verileri ile hesaplanan eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı	13
Şekil 1.8 Çalışma alanının 1926-2016 yılları arasına ait eş yağış haritası.....	14
Şekil 1.9 Polatlı (17728) istasyonunun a. uzun yıllar, b. 2016 yılı yağış ve buharlaştırma-terleme ortalamasının aylara göre değişiminin Thornthwaite'e (1948) göre gösterimi	18
Şekil 1.10 Haymana (4092) istasyonunun a. uzun yıllar, b. 2016 yılı yağış ve buharlaştırma-terleme ortalamasının aylara göre değişiminin Thornthwaite'e (1948) göre gösterimi	21
Şekil 3.1 HQ40d marka multiprob	29
Şekil 3.2 Su ve kayaç örneklerinin yerlerini gösteren lokasyon haritası	33
Şekil 3.3 Örneklerin pH değerlerinin bazik hale getirilmesi.....	35
Şekil 3.4 Örneklerle BaCl ₂ eklenmesi ve BaCO ₃ 'ün çökmesi	36
Şekil 3.5 Çökelen BaCO ₃ 'ün tüplere konulup numaralandırılması	36
Şekil 3.6 Sülfat çöktürmek için pH'ın 4'ün altına düşürülmesi ve sulara BaCl ₂ eklenmesi	37
Şekil 3.7 BaSO ₄ 'ün çöktürülmesi ve süzülmesi.....	37
Şekil 3.8 Radon cihazı RAD7 H ₂ O cihazı	38
Şekil 4.1 Çalışma alanının stratigrafik kolon kesiti (Ünalan vd. 1976, Gönenç 1978, Akyürek vd. 1982, 1996, Uğuz vd. 1999, Bilgin vd. 2010, Anonim 2014a, b'den değiştirilerek)	40
Şekil 4.2.a. Sarıoba köyünün kuzeybatısında yüzeyleyen metamorfik kayaçlardaki şistozite yapısı, b. düşük dereceli metamorfiklerin genel görünüşü (Resimde doğuya bakılmaktadır)	43

Şekil 4.3.a. Sarıoba sıcak su kaynakları çevresinde yüzeyleyen Bilecik kireçtaşları (Resimde güneybatıya bakılmaktadır). b. Yenimehmetli köyü kuzeybatısında yüzeyleyen Bilecik kireçtaşları (Resimde kuzeye bakılmaktadır).....	44
Şekil 4.4 Malıköy yakınlarında yüzeyleyen çörtlü seviyeler içeren Bilecik kireçtaşları	45
Şekil 4.5 Kapıkaya formasyonu kireçtaşları ve üzerine uyumsuz olarak gelen Alagöz formasyonu (Resim kuzeybatıya bakılmaktadır).....	46
Şekil 4.6 Haymana güneydoğusunda yüzeyleyen Haymana formasyonu içindeki kumtaşı-şeyl ardalanması (Resimde güneydoğuya bakılmaktadır).....	47
Şekil 4.7 Haymana'nın batısında Çaldağ'da yüzeyleyen Çaldağ formasyonu (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)	49
Şekil 4.8.a. Haymana'nın kuzeybatısında Yeşilyurt formasyonunun kıltaşı-silttaşı seviyeleri ve ince kireçtaşı tabakaları (Resimde batıya bakılmaktadır) b. formasyonun içindeki kireçtaşlarının yakından görünüşü	50
Şekil 4.9.a. Karahamzalı köyünün kuzeyinde, Kırkkavak formasyonu ve kireçtaşı üyesi (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır) b. Kırkkavak formasyonunun kumtaşı-marn seviyeleri	51
Şekil 4.10.a. Haymana'nın güneybatısında Kırkkavak formasyonu ve üzerine uyumlu olarak gelen Ilgınlıkdere formasyonu (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır) b. Ilgınlıkdere formasyonu içindeki kumtaşı tabakaları (Resimde kuzeye bakılmaktadır)	51
Şekil 4.11.a. Girmeç köyünün güneybatısında, Alcı formasyonu içerisindeki volkanik birimler (Resimde kuzeye bakılmaktadır), b. Malıköy'ün doğusunda, volkanosedimanter çökeller (Resimde güneybatıya bakılmaktadır)	53
Şekil 4.12.a. Kırkkavak formasyonu ve Eskipolatlı formasyonu dokanağı (Resimde batıya bakılmaktadır), b. Eskipolatlı formasyonu içerisindeki kumtaşı tabakaları.....	54
Şekil 4.13 Gölbaşı-Haymana yolu üzerinde, Çayraz formasyonu kumtaşlarının a. genel b. yakından görünümü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır.).....	55
Şekil 4.14 Sarıoba köyünün güneydoğusunda, Hançili formasyonunun genel görünümü (Resimde kuzeydoğuya bakılmaktadır)	57
Şekil 4.15 Sarıoba formasyonunun genel görünümü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)	58
Şekil 4.16 Sarıoba formasyonu jipsli seviyeler (Sarıoba-Çağlayık yolu üzeri).	58

Şekil 4.17.a. Alagöz formasyonunun genel görünümü (Ilıca kaynağı kuzeyi, resimde doğuya bakılmaktadır) ve b. Formasyon içerisindeki kilitaşı seviyeleri	59
Şekil 4.18 Karaahmet formasyonu içindeki çıkıltaşı seviyeleri (Sarıoba sıcak su kaynaklarının güneyi)	60
Şekil 4.19 Çağlayık sıcak su kaynağının oluşturduğu traverten oluşumlarının yakından görünüşü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)	61
Şekil 4.20 Girmeç sıcak su kaynağının çökelttiği travertenler	62
Şekil 4.21.a.Karahamzalı sıcak su kaynağı eski, b. Yeni traverten çökelleri	62
Şekil 4.22 Sabanca kaynağı travertenleri	63
Şekil 4.23 Haymana sıcak su kaynaklarının çökelttiği travertenler	63
Şekil 4.24 Granit-andezit dokanağı (resimde doğuya bakılmaktadır)	64
Şekil 4.25 Yeniköy volkanitlerini oluşturan bazaltlar.....	67
Şekil 4.26 Sarıoba sağ yönlü oblik atımlı faya a. ait yanal fay çizikleri, b. fay	68
Şekil 4.27 Granit-andezit dokanağı.....	69
Şekil 4.28 Alcı formasyonundaki volkanitlerin kırık ve çatlaklarından sızan sular	70
Şekil 4.29 Karahamazalı köyü kuzeyinde Bilecik kireçtaşlarının Kartal formasyonu üzerindeki bindirmesi (resimde kuzeye bakılmaktadır).....	70
Şekil 4.30 Karahamzalı-Yenimehmetli yol üzerinde taş ocağında gözlenen sağ yönlü doğrultu atımlı fayın fay izleri	71
Şekil 4.31 Sarıoba formasyonu içindeki tabaka dikleşmesi (Sarıoba köyünün kuzeydoğusu, resimde kuzeye bakılmaktadır)	72
Şekil 4.32 Hançili formasyonu içindeki senklinalın doğu kanadı (Malıköy kaynağının kuzeybatısı, resimde kuzeye bakılmaktadır)	73
Şekil 4.33 Haymana antiklinali (Resimde güneye bakılmaktadır)	74
Şekil 4.34 Çaldağ antiklinali güney kanadında yüzeyleyen Çaldağ formasyonunun kireçtaşı seviyeleri (resimde kuzeye bakılmaktadır)	74
Şekil 4.35 Sabanca kaynağı civarında yüzeyleyen Kırkkavak formasyonundaki kumtaşı- marnlardaki tabaka dikleşmesi.....	75
Şekil 5.1 Formasyonların hidrojeolojik özellikleri	77
Şekil 5.2 Çağlayık-Sarıoba-Gavurtepe kaynağı (Resimde kuzeye bakılmaktadır)	82

Şekil 5.3 Gırmeç soğuk su kaynağında kaynak başı ölçümleri (Resimde güneybatıya bakılmaktadır.).....	84
Şekil 5.4 Akören Ceylan Çiftliği çeşmesi (Resimde doğuya bakılmaktadır)	84
Şekil 5.5 Gırmeç-Malıköy civarında açılan soğuk su kuyularının bazılarına ait litoloji logları (Anonim 2015).....	87
Şekil 5.6 Karahamzalı köy çeşmesi (PKH-1) (Resimde doğuya bakılmaktadır).....	88
Şekil 5.7 Kızılburun çeşme (PKH-3) (Resimde güneye bakılmaktadır).....	89
Şekil 5.8 Yenimehmetli köy çeşmesi (PKH-8) (Resimde güneye bakılmaktadır)	90
Şekil 5.9 Karabenli köyü çeşmesi (Resimde doğuya bakılmaktadır)	91
Şekil 5.10 Haymana soğuk su (HMK-3) çeşmesi (Resimde kuzeye bakılmaktadır)	94
Şekil 5.11 Çayraz çeşmesi (KB'ya bakış).....	94
Şekil 5.12 Yeniköy çeşmesi (Resimde batıya bakılmaktadır)	95
Şekil 5.13 Haymana ilçesinin soğuk su ihtiyacını karşılamak için İller Bankası tarafından açılan İB-1-L3 ve İB-1-L4 kuyularına ait litoloji logları (Anonim 2009).....	97
Şekil 5.14 Sarıoba (TPSO-1) sıcak su kaynağı kaptajı	98
Şekil 5.15 Sarıoba kaynaklarının hidrojeoloji kesiti	99
Şekil 5.16 a. Sarıoba-2 nolu kaynağından bir görüntü, b. kaynak başı ölçümleri	100
Şekil 5.17 Çağlayık (TPÇ-1) kaynağı (Resimde güneye bakılmaktadır).....	101
Şekil 5.18 Granitlerin kırık ve çatlaklarından sızıntı şeklinde kaynak boşalımı (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır).....	101
Şekil 5.19 Çağlayık'ta sıcak suların çökelttiği travertenler	102
Şekil 5.20 Çağlayık kaynağına ait hidrojeoloji kesiti	102
Şekil 5.21 PÇ-1 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Açıkgöz'den (2010) yararlanılmıştır)	104
Şekil 5.22 PÇ-2 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır).....	105
Şekil 5.23 PÇ-3 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır).....	106
Şekil 5.24 PÇ-4 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır).....	107

Şekil 5.25 PÇ-5 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır).....	108
Şekil 5.26 Malıköy kaynak alanı (Resimde doğuya bakılmaktadır).....	110
Şekil 5.27 Malıköy kaynağına ait hidrojeoloji kesiti	110
Şekil 5.28 Malıköy kuyusu litoloji logu ve kuyu donanımı (Ölmez'den (1975) değiştirilerek hazırlanmıştır)	111
Şekil 5.29.a. Gırmeç sıcak su kaynağı, b. kaynağın boşaldığı havuz, c. ve d. volkanitlerin kırık ve çatlakları boyunca gözlenen sızıntılar	112
Şekil 5.30 Gırmeç kaynağına ait hidrojeoloji kesiti.....	113
Şekil 5.31 Karahamzalı: a. TPKH-2 kaynağı ve güncel traverten çökelleri, b. TPKH-4 kaynağı, c. TPKH-4 kaynağının 10 m güneyindeki kaynak d. TPKH-5 nolu sıcak su kaynakları.....	114
Şekil 5.32 Karahamzalı TPKH-2 ve TPKH-4 nolu kaynaklardan geçen hidrojeoloji kesiti	115
Şekil 5.33.a. b. c. Bilecik kireçtaşları ile Kartal formasyonunun bindirme dokanağı boyunca çıkan sıcak sular, d. kaptajı yapılan ve sulama amaçlı kullanılan sıcak su	116
Şekil 5.34 Ilıcapınar kaynağının kaptajı (1. Resimde kuzeye bakılmaktadır, 2. Resimde güneye bakılmaktadır.).....	117
Şekil 5.35 Özhamamı-Ilıca kaynaklarının hidrojeoloji kesiti	118
Şekil 5.36 Özhamamı kaynak alanı (Resimde doğuya bakılmaktadır).....	118
Şekil 5.37 Sabanca kaynağı hidrojeoloji kesiti	119
Şekil 5.38 Sabanca kaynağı göl alanı (Resimde kuzeye bakılmaktadır)	120
Şekil 5.39.a. 5 nolu kuyu (THMK-1), b. İHJ-1 (THMK-2) kuyusu	121
Şekil 5.40 Haymana-3 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Özeke'den (1987) yararlanılarak hazırlanmıştır).....	122
Şekil 5.41 Haymana-4 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Özeke'den (1987) yararlanılarak hazırlanmıştır).....	123
Şekil 5.42 Haymana-5 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2014) yararlanılarak hazırlanmıştır)	124
Şekil 5.43 Haymana- İHJ-1 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2014) yararlanılarak hazırlanmıştır)	125
Şekil 5.44 Haymana-Çulluk cami yanında açılan yeni kuyuya ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2018) yararlanılarak hazırlanmıştır)	126

Şekil 5.45 Haymana-son açılan yeni kuyuya ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2018) yararlanılarak hazırlanmıştır)	127
Şekil 5.46 Haymana bölgesi hidrojeoloji kesiti	128
Şekil 6.1 İnceleme alanındaki tüm soğuk ve sıcak sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	140
Şekil 6.2 Çağlayık-Sarıoba jeotermal alanı su örnekleri ile Kapullu (Diker 2005), Ayaş İçmece, Çobanhamamı ve Dutlu hamamı (Çelmen 2008) örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	143
Şekil 6.3 Malıköy-Girmeç bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	144
Şekil 6.4 Haymana bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller Diyagramı	145
Şekil 6.5 Karahamzalı bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	146
Şekil 6.6 Özhamamı-Sabanca bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı	147
Şekil 6.7 Sulara ait Piper diyagramı.....	148
Şekil 6.8 Sıcak suların Cl-SO ₄ -HCO ₃ Diyagramı (Giggenbach 1991)	150
Şekil 6.9 İnceleme alanındaki sıcak su kaynaklarına ait dairesel diyagramlar (Harita Akıllı ve Mutlu'dan (2018) alınmıştır)	151
Şekil 6.10 Sıcak ve mineralli suların mineral doygunluk indisi (SI) grafiği	153
Şekil 6.11 İnceleme alanındaki soğuk suların doygunluk indisi (SI) grafiği	154
Şekil 6.12 Tüm sıcak ve mineralli sulardaki iz element değişimleri	165
Şekil 6.13 Tüm soğuk sulardaki iz element değişimleri	165
Şekil 7.1 δD - δ ¹⁸ O grafiği (Beypazarı Dutlu (BDH-1), Ayaş İçmece (AİS) ve Çobanhamamı (ÇHS-1) kaynak sularının duraylı izotop bileşimleri Açıköz vd. (2006), Başdeğirmen kaynağına ait veriler ise Bakır'dan (2001) alınmıştır).	171
Şekil 7.2 Oksijen 18-sıcaklık ilişkisi.....	173
Şekil 7.3 Trityum-Cl ilişkisi.....	177
Şekil 7.4 Oksijen 18-Trityum ilişkisi.....	178
Şekil 7.5 Doğada bulunan kükürt kaynakları (Thode 1991) ve incelenen sıcak suların δ ³⁴ S izotop değerleri.....	179
Şekil 7.6 İnceleme alanındaki sıcak suların δ ³⁴ S-δ ¹⁸ O (SO ₄) grafiği (Grafikte Polatlı yöresindeki sıcak sulara ait su noktaları gösterilmiştir)	180

Şekil 7.8 Karbonlu materyallerdeki $\delta^{13}\text{C}$ izotop dağılımı (Clark ve Fritz 1997) ve inceleme alanındaki su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri	182
Şekil 7.9 İnceleme alanındaki sulara ait HCO_3^- - $\delta^{13}\text{C}$ grafiği.....	184
Şekil 7.10 Kireçtaşları ve travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)- $\delta^{18}\text{O}$ (VPDB) grafiği.....	187
Şekil 7.11 Çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları (Dotsika vd. 2010) ve inceleme alanından boşalım yapan suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları	192
Şekil 7.12 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr diyagramı	193
Şekil 8.1 Suların Giggenbach (1988) Na-K-Mg üçgen diyagramı	200
Şekil 8.2 TPSO-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı.....	204
Şekil 8.3 TPÇK-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı	205
Şekil 8.4 TPM-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı	205
Şekil 8.5 TPGS-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı.....	206
Şekil 8.6 TPKH-4 su örneğine ait mineral denge diyagramı	206
Şekil 8.7 TPÖ-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı	207
Şekil 8.8 TPSS-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı.....	207
Şekil 8.9 THMK-2 su örneğine ait mineral denge diyagramları.....	208
Şekil 8.10 Karahamzalı sıcak su kaynağının klorür-entalpi grafiği.....	209
Şekil 8.11 Özhamamı-Ilıca-Sabanca sıcak su kaynaklarının klorür-entalpi grafiği	211

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Alansal yağışın belirlenmesi için verileri kullanılan istasyonlara ait bilgiler	8
Çizelge 1.2 İnceleme alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)	10
Çizelge 1.3 İnceleme alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama yağış miktarı (mm).....	11
Çizelge 1.4 Polatlı civarının 46 yıllık Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu	16
Çizelge 1.5 Polatlı civarının 2016 yılı Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu	17
Çizelge 1.6 Haymana civarının 23 yıllık Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu.....	19
Çizelge 1.7 Haymana civarının 2016 yılı Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu.....	20
Çizelge 3.1 Su kaynaklarının koordinatları ve yapılan analiz listesi	30
Çizelge 5.1 Malıköy-Girmeç ve çevresinde açılan soğuk su kuyularına ait bilgiler (Anonim 2015).....	86
Çizelge 5.2 Karahamzalı-Ilıca-Sabanca ve çevresinde açılan soğuk su kuyularına ait bilgiler (Anonim 2015).	92
Çizelge 5.3 Haymana civarında DSİ, İller Bankası ve şahıslar tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler.....	96
Çizelge 5.4 Çağlayık jeotermal alanında açılan sıcak su kuyularına ait bilgiler	103
Çizelge 5.5 Haymana jeotermal alanında açılan kuyulara ait bilgiler	121
Çizelge 6.1 Polatlı Sarıoba-Çağlayık bölgesi sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri	130
Çizelge 6.2 Polatlı Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca bölgesi sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri	131
Çizelge 6.3 Haymana sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri.....	132
Çizelge 6.4 Polatlı sularına ait majör anyon-kasyon değerleri (değerler mg/l cinsindendir).....	135

Çizelge 6.5 Haymana sularına ait majör anyon-kasyon değerleri (değerler mg/l cinsindendir).....	136
Çizelge 6.6 Polatlı su örneklerinin Anonymous (1979) sınıflaması (tüm sular kaynak suyudur)	141
Çizelge 6.7 Haymana su örneklerinin Anonymous (1979) sınıflaması (*: kuyulardan alınan örnekler)	142
Çizelge 6.8 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri.....	153
Çizelge 6.9 İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri.....	154
Çizelge 6.10 Sıcak sularda ölçülen radon değerleri	156
Çizelge 6.11 İçme sularında bazı kirlilik parametreleri için limit değerler	157
Çizelge 6.12 Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk su örneklerinin NO ₂ , NO ₃ , NH ₄ ve B konsantrasyonları (değerler ppm cinsindendir)	158
Çizelge 6.13 Bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması (Anonim 1991).....	161
Çizelge 6.14 Sıcak su örneklerinin iz element analiz sonuçları.....	163
Çizelge 6.15 Soğuk su örneklerinin iz element analiz sonuçları	164
Çizelge 7.1 Sıcak ve soğuk sulara ait duraylı izotop (‰) ve trityum (³ H) bileşimleri.....	170
Çizelge 7.2 δ ¹⁸ O yardımıyla hesaplanan beslenme yükseklikleri	175
Çizelge 7.3 Sıcak sularda çözülmüş sülfatta ölçülen δ ¹⁸ O ve δ ³⁴ S değerleri	179
Çizelge 7.4 İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarına ait δ ¹³ C izotop sonuçları (VPDB olarak).....	183
Çizelge 7.5 Traverten ve kireçtaşlarına ait δ ¹³ C ve δ ¹⁸ O sonuçları (VPDB olarak).....	184
Çizelge 7.6 Travertenleri çökelten akışkanların δ ¹⁸ O bileşimleri	189
Çizelge 7.7 Traverten ve kireçtaşlarının δ ¹⁸ O-δ ¹³ C değerleri yardımıyla hesaplanan δ ¹³ C _{CO2} değeri.....	190
Çizelge 7.8 Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk sularına ait Sr (mg/l) ve ⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr izotop oranları.....	191

Çizelge 7.9 Polatlı ve Haymana bölgelerindeki rezervuar kayaçlar ile travertenlere ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri	192
Çizelge 8.1 Silis jeotermometre eşitlikleri ($S=\text{mg/l}$ olarak SiO_2 derişimidir)	198
Çizelge 8.2 Sıcak su kaynak ve kuyuları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları	199
Çizelge 8.3 Katyon jeotermometre eşitlikleri (Na-K-Mg-Ca değerleri mg/l cinsindendir).....	201
Çizelge 8.4 Kaynak ve kuyulardan alınan sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.....	201
Çizelge 8.5 İnceleme alanından alınan sıcak su örneklerinin kükürt-oksijen izotop jeotermometre sonuçları	202

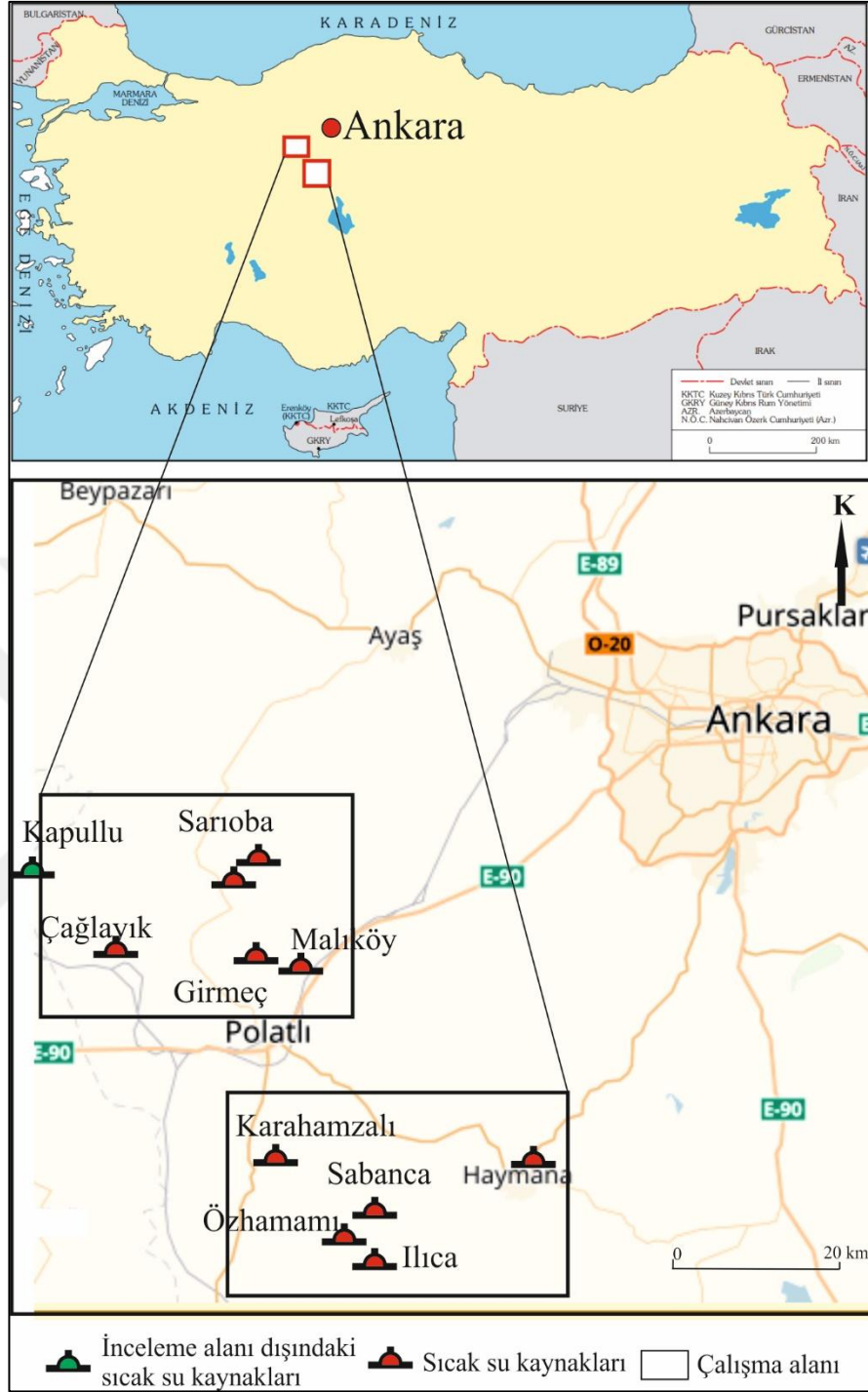
1. GİRİŞ

1.1 Amaç ve Kapsam

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak hazırlanan bu tezin amacı, Polatlı-Haymana (Ankara) sıcak su kaynaklarının oluşumu, kökeni, izotopik ve hidrokimyasal özellikleri ile su-kayaç ilişkisinin kavramsal modeller ışığında incelenmesidir. Arazide jeolojik birimler yerinde incelenmiş, jeolojik haritaları yeniden düzenlenmesi yapılarak güncellenmiştir. Tezin amacı için araziden toplanan toplam 26 adet sıcak ve soğuk su örneğinin (Polatlı'dan 21 ve Haymana'dan 5 örnek) majör-iz element analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar çeşitli diyagramlarda değerlendirilmiştir. Ayrıca, 18 adet su örneğinde $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, 22 adet su örneğinde $\delta^{13}\text{C}$ ve 8 adet sıcak su örneğinde $\delta^{34}\text{S}$ izotop bileşimleri yapılarak rezervuar özellikteki kayaçların izotop bileşimleri ile karşılaştırılmış, suların etkileşime girdikleri kayaç türleri belirlenmiştir. Soğuk ve sıcak su örneklerinde $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve trityum (^3H) analizleri gerçekleştirilmek suretiyle suların kökeni ve akım yolları gibi çeşitli parametreler aydınlatılarak sistemlere ait hidrotermal modeller ortaya çıkarılmıştır.

1.2 İnceleme Alanının Tanıtılması

Ankara ilinin güneyinde Polatlı ve Haymana ilçelerinin civarında yer alan çalışma alanı iki farklı bölgeye ayrılmıştır (Şekil 1.1). Birinci bölge Polatlı ilçesinin kuzeyinde 1/25.000 ölçekli Ankara İ28 a2, a3, a4, b3, b4, c1, c2, İ-27 b2 ve b3 paftalarında yer alır. Alandaki Sarıoba sıcak su kaynakları Polatlı ilçesinin yaklaşık 45 km kuzeyinde, Çağlayık kaynağı ise 45 km kuzeybatısındadır. Ayrıca, Polatlı'nın kuzeydoğusunda 35 km mesafede yer alan Gırmeç-Malıköy jeotermal alanları mevcuttur.



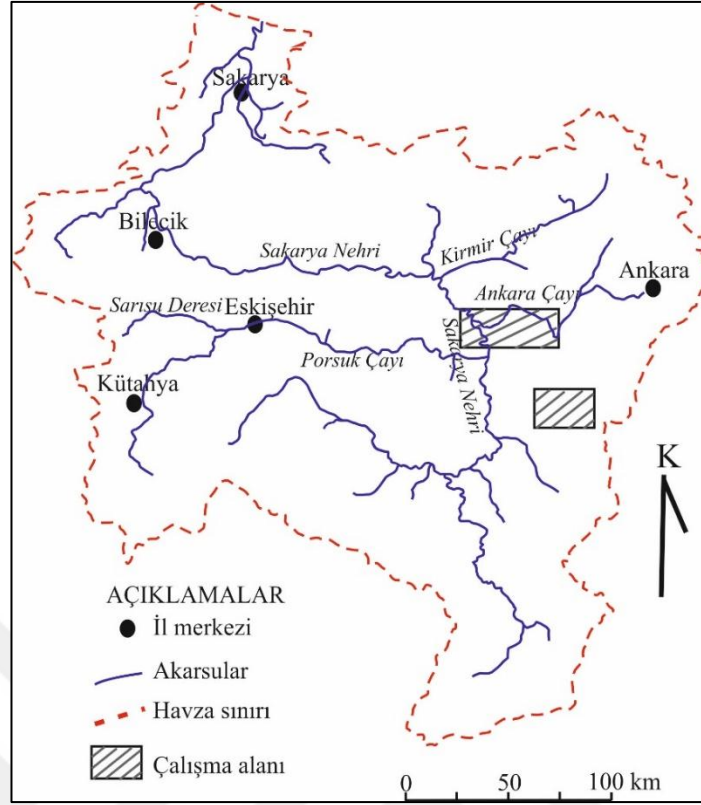
Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası

Çalışma alanının ikinci bölgesi ise; Polatlı ilçesinin Karahamzalı-Özhamamı-Sabanca jeotermal alanları ve Haymana jeotermal alanını kapsar. Karahamzalı kaynağı Polatlı'nın 17 km güneyinde yer alır. Birbirine oldukça yakın olan Özhamamı ve Ilıca-Sabanca kaynakları Polatlı ilçesinin yaklaşık 40 km güneydoğusunda bulunurlar. Haymana ilçe merkezindeki Haymana jeotermal alanı ise 1/25.000 ölçekli Ankara J28 a1, a3, J28 b2, b3, b4, J29 a1 paftasında yer alır.

Çalışma alanını ikiye bölen Ankara-Eskişehir-İzmir karayolu ile Karahamzalı köyü içinden geçen Ankara-Akşehir-Konya karayolu bölgenin önemli yollarındandır. Polatlı ve Haymana ilçeleri sınırlarında yer alan köyler arasındaki yolların çoğunluğu asfaltlanmıştır. Stabilize yollarla bağlanan köylere ulaşımında zorluk yaşanmamaktadır. Malıköy, Sarıoba ve Çağlayık sıcak su kaynakları ile Sabanca-Özhamamı sıcak su kaynaklarına ulaşım stabilize yollar ile mümkündür.

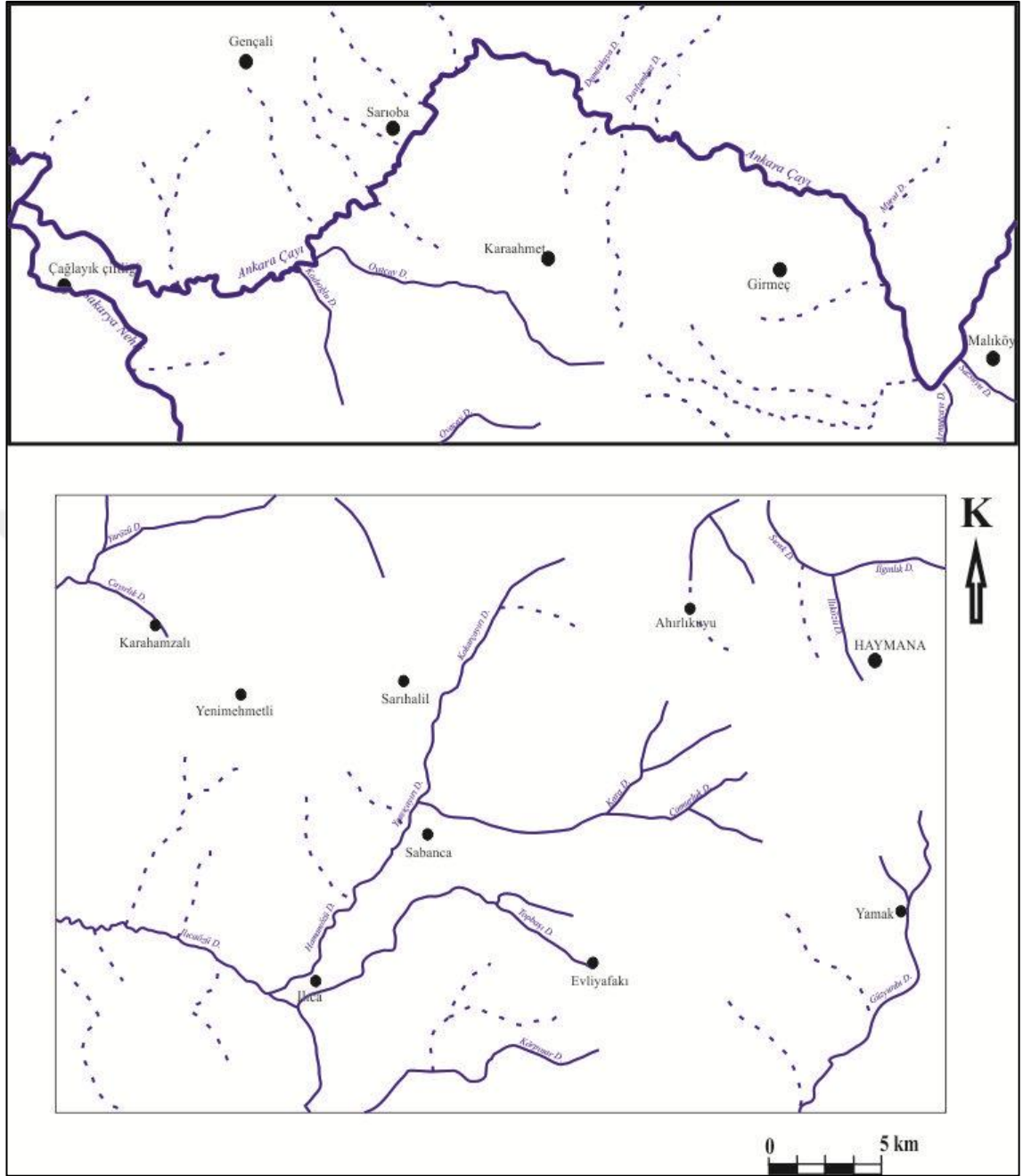
1.3 İnceleme Alanının Coğrafi Özellikleri

Çalışma alanı Sakarya Havzası içinde yer alır (Şekil 1.2). Polatlı ilçesinin kuzeyindeki Ankara Çayı ve Sakarya Nehri bölgenin önemli iki akarsu kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 1.3). Her iki akarsu Çağlayık jeotermal alanının batısında birleşerek inceleme alanından ayrılırlar. Kadioğlu ve Ovaçayı dereleri Ankara Çayı'nı beslemektedir. Sabanca ve Özhamamı sıcak su kaynaklarının yüzeye çıktığı kuzey-güney yönünde akan Hamamözü deresi de yaz ve kış devamlı faaldir. Bu dere güneyde Ilıcaözü dere ile birleşerek kuzeybatı yönünde akar. Ilıcaözü dere batıda Sakarya nehri ile birleşir. Karahamzalı bölgesindeki en önemli akarsu güneydoğu-kuzeybatı akışlı Çayırılık deresidir ve bu dere daha sonra Yarözü deresi ile birleşir. Haymana civarındaki Seyran deresi ilçenin doğusundaki Çıtrık tepenin eteklerinden itibaren doğu-batı yönünde akan Ilgınlık deresine katılır. Güneydoğu-kuzeybatı yönünde akan Tekmezar deresi ilçenin batısında Ilgınlık deresi ile birleşir. Haymana'nın kuzeyindeki Ilgınlık dere ile batısında yer alan Ilısözü deresi devamlı akan akarsulardır. Bölgedeki diğer yüzey suları ise mevsimlik türdendir.



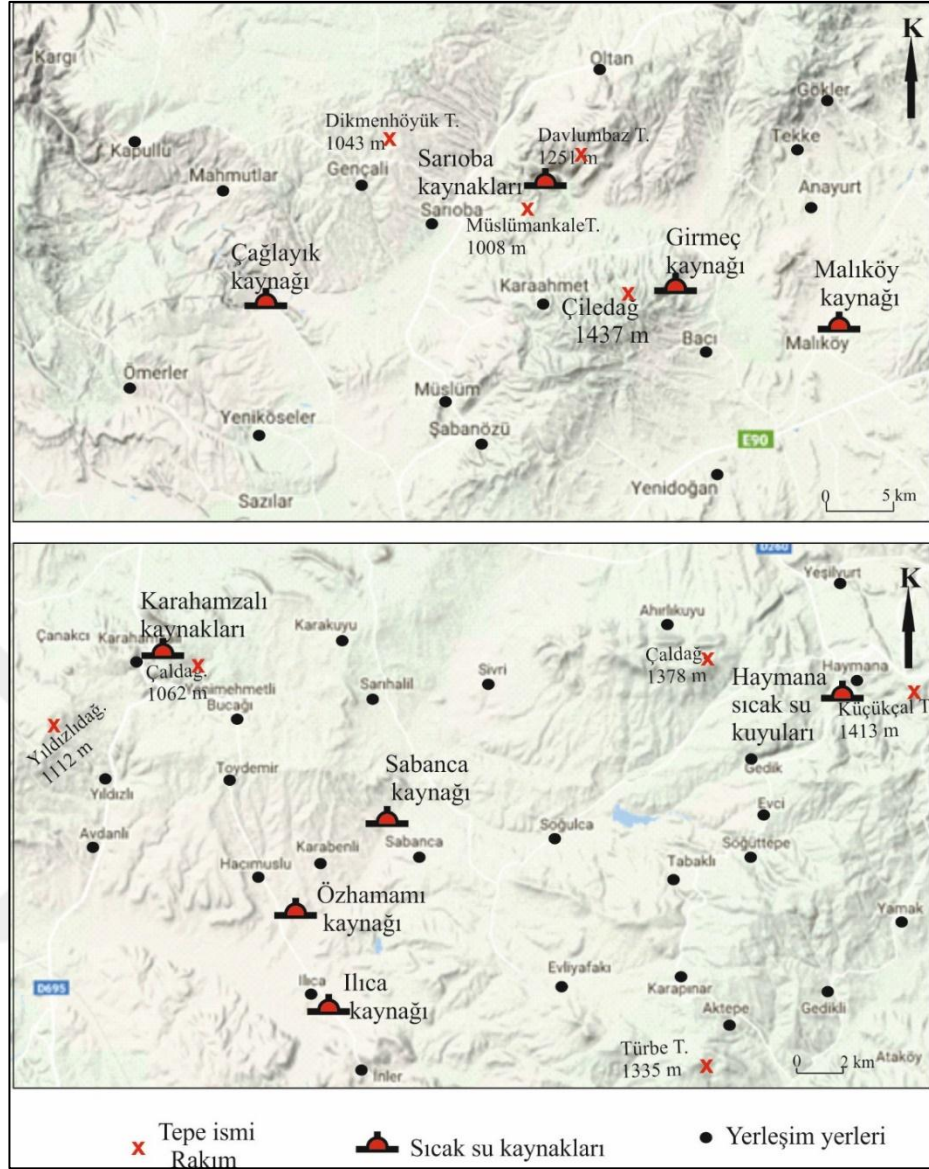
Şekil 1.2 Çalışma alanının Sakarya havzasındaki yeri

Çalışma alanı geniş düzlükler içerisinde yer alır. Sarıoba-Çağlayık-Malıköy-Girmeç kaynaklarının batısında yer alan 1437 m yükseklikteki Çile dağ en yüksek rakımlı yükseltiyi oluşturur (Şekil 1.4). Volkaniklerin mostra verdiği dağ, sarp yapısıyla dikkat çekicidir. Sarıoba kaynağının çıktığı alanda yüzeyleyen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları sarp bir topoğrafya sunar. Bu bölgedeki en yüksek tepelerden bazıları Kayapınarı tepe (1386 m), Çarşak tepe (1270 m), Davlumbaz tepe (1251 m), Höyükü tepe (1224 m), Kuşivri tepe (1203 m) ve Müslümankale tepedir (1008 m). Sarıoba köyü-Çağlayık sıcak su kaynağı ve çevresinde yer alan geçirimsiz birimlerin etkisiyle sık bir drenaj ağı gelişmiştir.



Şekil 1.3 Çalışma alanında yer alan önemli akarsular

Haymana ilçesinin doğusunda yer alan Küçükçal tepe de 1413 m ile bölgenin en yüksek kotlarından biridir. Bu yüksek alanlar Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı birimlerine karşılık gelmektedir. Haymana ilçesinde yer alan Kaya tepe (1382 m), Çaldağ (1378 m), Kemikli tepe (1373 m), Arıtepe (1356 m), Değirmenkaya tepe (1347 m), Gedikçal tepe (1343 m), Ahırlıkuyu tepe (1324 m), Karadağ (1233 m) ve Sarıkaya tepe (1223 m) bölgedeki yüksek kotları oluşturmaktadır.



Şekil 1.4 Çalışma alanındaki önemli yükseltiler

Karahamzalı - Özhamamı - Sabanca kaynaklarının bulunduğu alan geniş düzlükler ile kaplıdır. Yüksek kotlar Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı ile ofiyolitik seriye ait birimlerle örtülmüştür. Yüksek kotlardan bazıları şunlardır: Yıldızlıdağ (1112 m), Kale tepe (1029 m) ve Çalıdağ (1062 m).

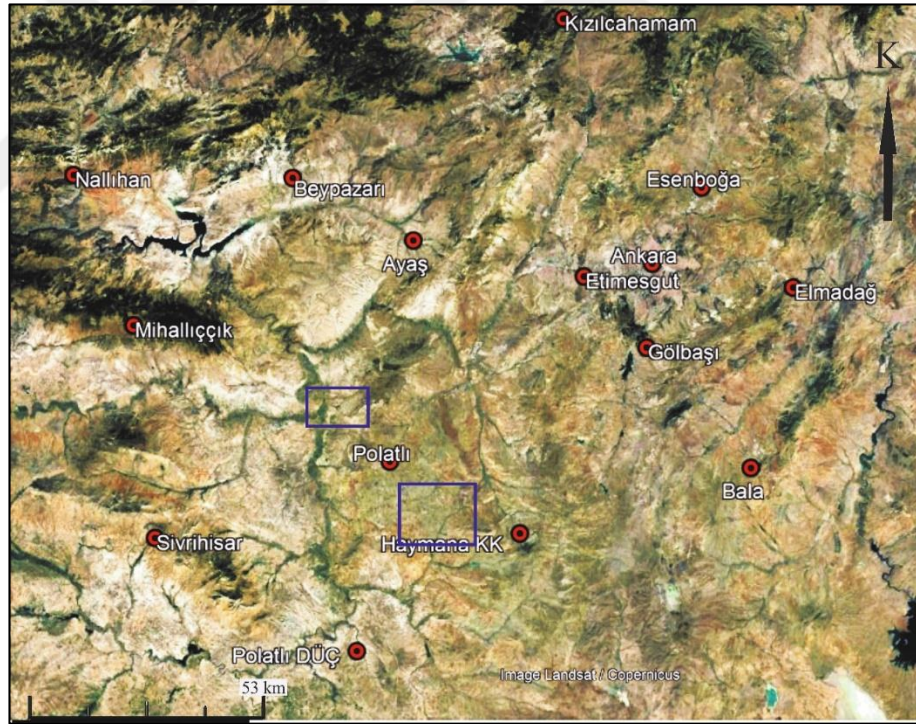
1.4 İklim

Haymana ve Polatlı civarında dokuz adet meteoroloji istasyonu bulunmaktadır. Polatlı ilçesindeki meteoroloji istasyonları, Polatlı, Polatlı Devlet Üretme Çiftliği, Polatlı TİGEM ve Polatlı Acıkır istasyonlarıdır. Haymana ilçesindeki istasyonlar ise Haymana, Haymana KK, Haymana Tarım, Haymana Yenice ve Haymana Devecipınarı meteoroloji istasyonlarıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veriler sonucu bu istasyonların bir kısmı kapanmış, bir kısmı da yeni açılmış olup birkaç yıllık veri kaydı yapıldığı belirlenmiştir. Bu nedenle, alansal yağışın belirlenmesi için daha uzun süreli ölçüm yapılan istasyonlara (Ankara-Keçiören, Gölbaşı, Etimesgut, Ayaş, Bala, Beypazarı, Haymana KK, Haymana Tarım, Polatlı, Polatlı DÜÇ, Mihallıçık ve Sivrihisar meteoroloji istasyonları) ait veriler kullanılmıştır (Çizelge 1.1, Şekil 1.5). Ankara Keçiören Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait veriler 1926-2017 yılları arasını kapsamaktadır. Söz konusu istasyonlarda verilerin düzenli olmaması nedeniyle eksik veriler Ankara-Keçiören Meteoroloji İstasyonunun verileri karşılaştırılmak suretiyle tamamlanmıştır. Polatlı-Acıkır, Polatlı-TİGEM, Haymana Devecipınar ve Yenice istasyonlarında ölçümlere yeni başlandığından hesaplamalara katılmamıştır. Öncelikle 12 adet istayona ait veriler yardımıyla korelasyon tabloları hazırlandı. Excel programında, tüm istasyonların ortak değer içeren verileri ile grafikler hazırlanmış olup, regresyon doğru denklemleri bulunmuştur. Yüksek korele değeri veren örnekler yardımıyla (yağış ve sıcaklık değerleri) eksik olan veriler tamamlanmıştır.

Ankara civarı karasal iklimin etkisi altında olup, yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve yağışlı geçer. Yağışlar kış ve ilkbaharda etkili olup, kar ve çoğunlukla yağmur şeklindedir. Haymana bölgesinde ortalama sıcaklık değeri 10.6 °C, Polatlı bölgesinde ise 11.5 °C olarak ölçülmüştür. Meteorolojik verilere göre, inceleme alanındaki en sıcak ay Ağustos (22.4 °C), en soğuk ay ise Aralık (0.7 °C) olarak belirlenmiştir (Çizelge 1.2). Haymana ilçesi, Polatlı ilçesine göre daha yüksek rakımlı olduğu (ortalama 1280 m) için Haymana ilçesine düşen yıllık yağış miktarı (419.5 mm/yıl) Polatlı ilçesine (364.2 mm/yıl) düşen yıllık yağış miktarından daha fazladır (Çizelge 1.3).

Çizelge 1.1 Alansal yağışın belirlenmesi için verileri kullanılan istasyonlara ait bilgiler

İstasyon No	İstasyon Adı	Koordinatlar UTM		
		Y (Doğu)	X (Kuzey)	Z (m)
17130	Ankara-Keçiören	488360	4424739	891
18045	Ayaş	434694	4431417	671
17729	Bala	509372	4378348	1250
17680	Beypazarı	407788	4446166	682
17667	Etimesgut	472950	4422264	806
17134	Gölbaşı	486594	4405926	1115
4092	Haymana KK	456971	4364884	1225
17733	Haymana Tarım	471891	4384892	1070
18092	Mihallıççık	370772	4414787	1388
9005	Polatlı DÜÇ	419417	4339406	875
17728	Polatlı	428087	4381871	886
17726	Sivrihisar	373973	4367217	1070



Şekil 1.5 İnceleme alanındaki meteoroloji istasyonlarının lokasyonları

İnceleme alanının yağışlı ve kurak dönemlerini belirlemek amacıyla, Polatlı (17728) istasyonunun 1965-2011 yılları arasındaki verileri kullanılarak eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı hazırlanmıştır (Şekil 1.6). Bu grafiğe göre; 1967-1969, 1970-1972, 1973-1975, 1977-1978, 1979-1982, 1987-1988, 1989-1991, 1994-1999, 2004-2005 ile 2008-2010 yılları arası yağışlı dönem, 1965-1967, 1969-1970, 1972-1973, 1975-1977, 1978-1979, 1981-1987, 1988-1989, 1991-1994, 1999-2004 ve 2006-2008 yılları arasında ise kurak dönemlerin olduğu belirlenmiştir.

Haymana KK İstasyonunda 1964-1991 yılları arasında veri eksikliği olması nedeniyle Ankara Meteoroloji istasyonunun değerleri kullanılarak eksik veriler tamamlanmış ve Haymana bölgesi için 1964-2015 yılları arasındaki kurak ve yağışlı dönemler belirlenmiştir (Şekil 1.7). Bu grafiğe göre, 1965-1975, 1981-1994, 1999-2009 yılları arası kurak dönem, 1976-1980, 1995-1998 ve 2010-2016 yılları arası yağışlı dönemlerin olduğu belirlenmiştir.

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki 11 istasyona ait düzeltilmiş veriler kullanılarak 1926-2016 yılları arası eş yağış haritası hazırlanmıştır (Şekil 1.8). Bu haritaya göre, en düşük yağış Polatlı istasyonuna aittir. Topoğrafik olarak yüksek kotlara sahip istasyonların yağış değerleri de yüksektir. Kot olarak düşük rakıma sahip olan Polatlı, Ayaş ve Gölbaşı istasyonlarının bulunduğu bölgeye daha az yağış düşmüştür.

1.4.1 Buharlaşma ve terleme

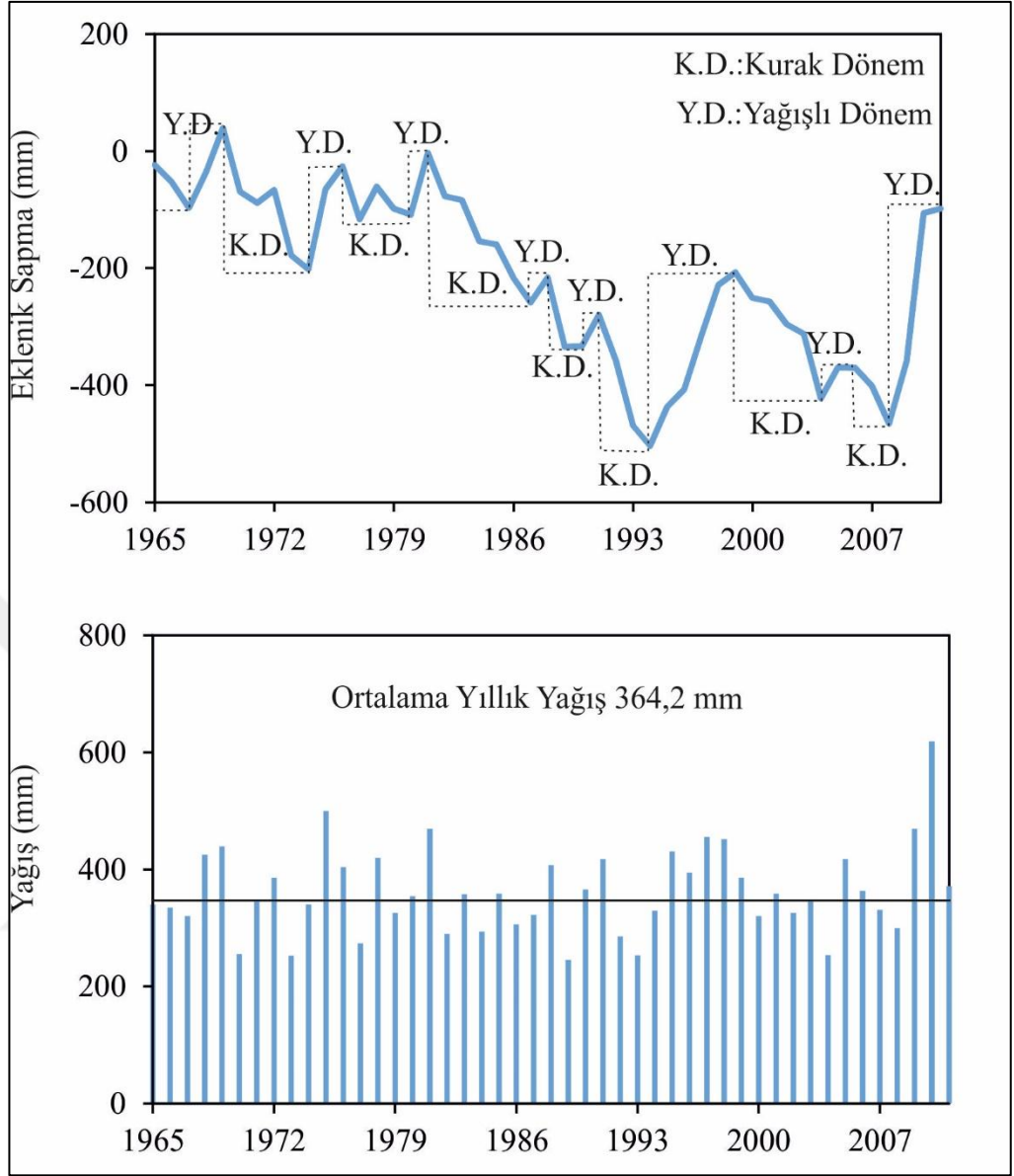
İnceleme alanındaki Polatlı (17728) Meteoroloji istasyonunun 46 yıllık ve 2016 yılına ait yağış ve sıcaklık değerleri kullanılarak gerçek buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmış, grafiği çizilmiştir (Çizelge 1.4-1.5, Şekil 1.8). Hesaplamalarda Thornthwaite (1948) yöntemi kullanılmıştır.

Çizelge 1.2 İnceleme alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)

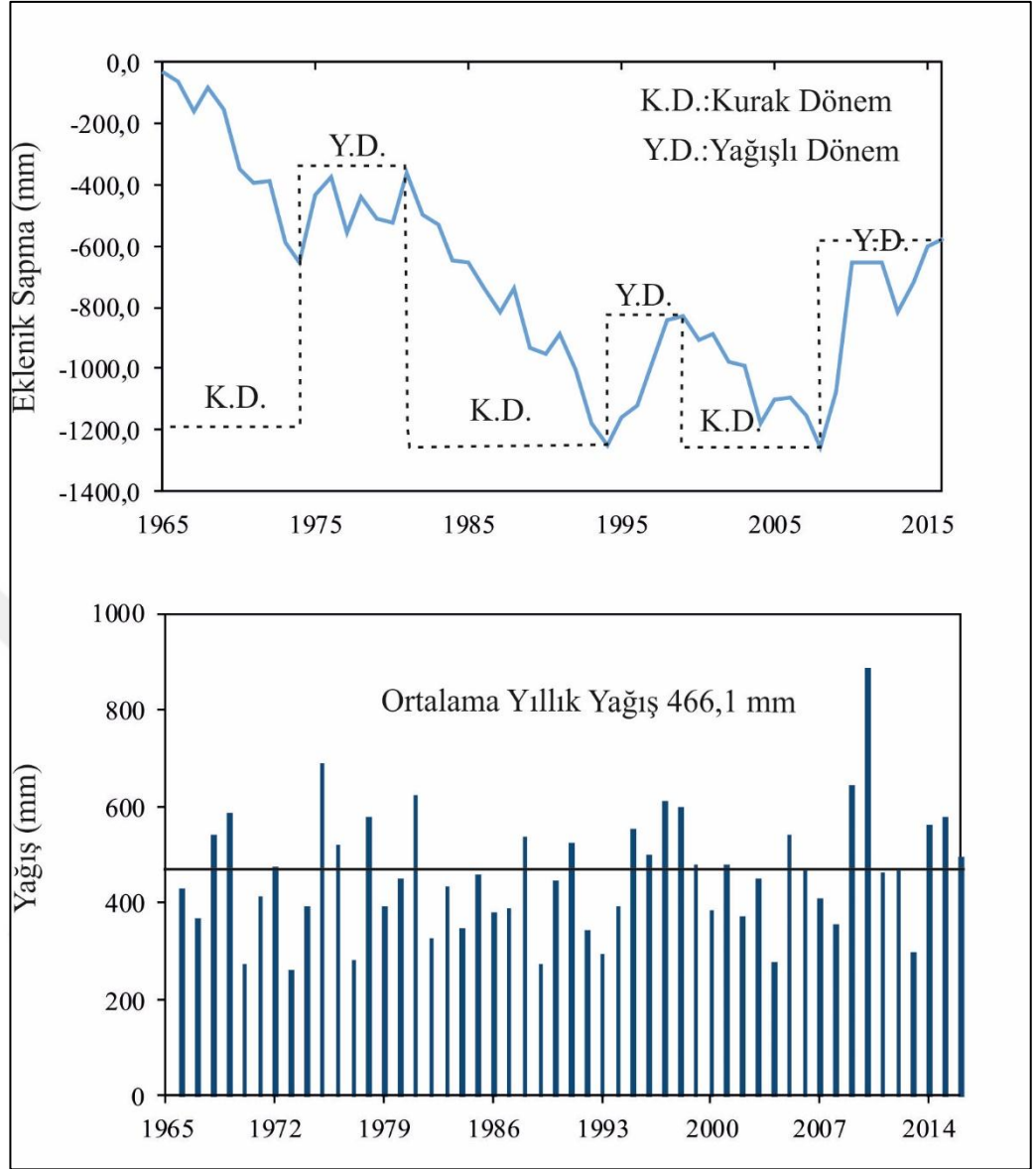
İstasyon Adı-No-Rakım	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Ankara-17030-891 m	0.1	1.6	5.6	11.2	16	19.9	23.3	23.3	18.8	13.1	7.2	2.4	11.9
Ayaş-18045 - 671 m	1.4	5	7.4	11.6	16.6	20.3	24	24.3	18.5	12	6.2	0.1	12.3
Bala-17729 -1250 m	-1.2	1.4	4.6	9.9	13.9	18.3	22	22.4	18.2	12.1	6.7	1	10.8
Beypazarı-17680 - 682 m	1.1	2.9	7	12.2	17.1	21.2	24.5	24.3	20	14.3	7.9	3.1	13
Etimesgut- 17667-806 m	-0.9	1.2	5.6	10.5	15.2	19.2	22.8	22.3	17.4	11.6	5.8	1.5	11
Gölbaşı-17134 - 1115 m	-0.7	1.6	5.2	10.2	15.1	19.3	23.2	23.3	18.7	12.3	6.3	1	11.3
Haymana KK-4092-1225 m	-2.5	0	4.4	9.5	13.3	17.3	20.9	20.5	16.7	11.3	6.1	0.9	9.9
Haymana-Tarım-17733-1070m	-1	1.2	4.8	9.9	14.1	18.6	22.4	22.4	17.9	11.6	5.7	0.7	10.7
Mihalıççık-18092-1388 m	-1.2	0.3	3.9	8.6	13	16.6	19.6	19.6	16.2	11	5.7	0.9	12.68
Polatlı DÜÇ-9005-875 m	-0.1	1.7	5.4	10.3	15.5	19.2	22.4	22.1	17.8	12.9	7.2	2.9	11.4
Polatlı-17728-886 m	-0.1	1.6	5.6	10.5	15.5	19.6	23	23.1	18.5	13	6.9	2.3	11.6
Sivrihisar-17726 1070 m	0.1	1.8	5.2	9.9	14.2	18	21.1	21.1	17.6	12.2	6.9	2.2	11.01

Çizelge 1.3 İnceleme alanı ve çevresindeki meteoroloji istasyonlarına ait uzun yıllar aylık ortalama yağış miktarı (mm)

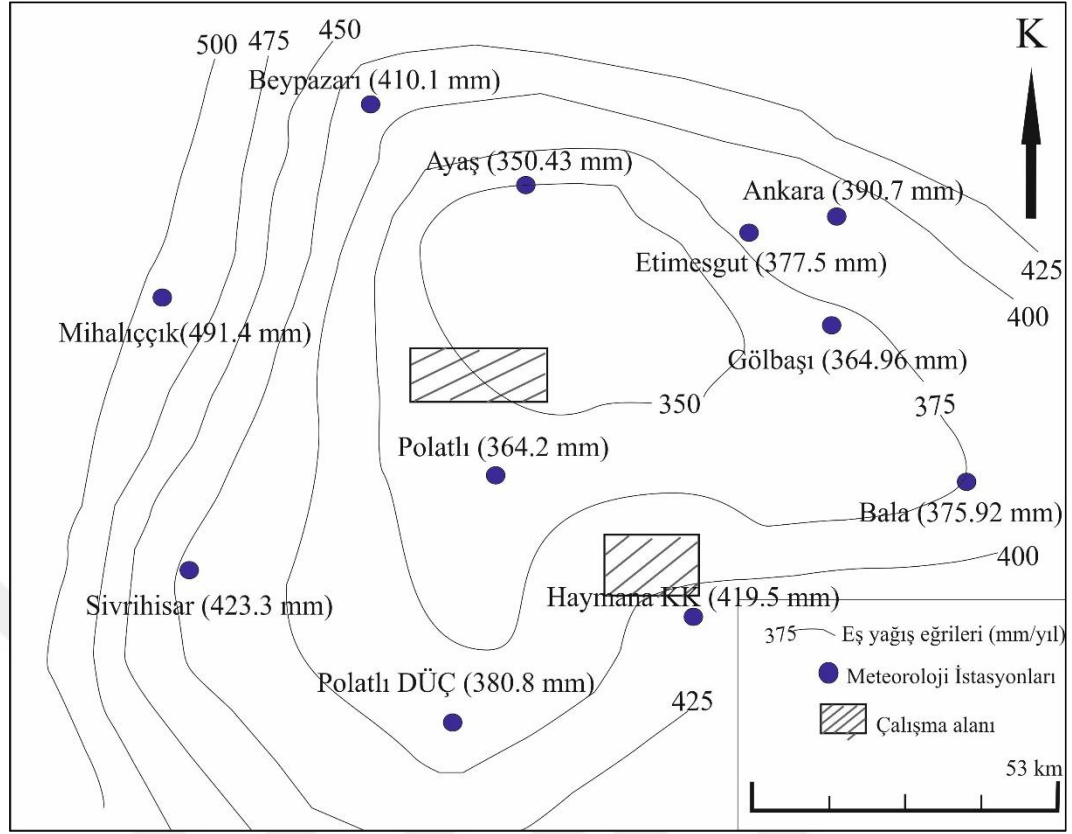
İstasyon Adı-No-Rakım	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	YILLIK
Ankara-17030-891 m	40	35.3	38.5	43	51.2	33.9	14.2	12.5	18.6	27.6	31.6	44.3	390.7
Ayaş-18045 – 671 m	33.6	24.13	54.03	25.03	59.5	53.13	2.35	19.95	33.03	18.53	14.1	13.08	350.43
Bala-17729 - 1250 m	44.91	35.47	42.93	35.38	48.64	40.2	11.56	10.72	16.06	33.97	26.98	29.11	375.92
Beypazarı-17680 - 682 m	49.8	39.8	38.8	45.5	41.2	29.5	15	13.7	16.7	30.3	32.9	56.9	410.1
Elmadag KK-3182 - 1130 m	33	33.3	38.1	55.7	58.6	38.1	22.3	12.2	15.1	31.4	41	59.1	437.9
Etimesgut-17667- 806 m	40.9	35.8	33.2	42.9	47.5	33.7	14.2	11.9	16.4	23.7	29.7	47.6	377.5
Gölbaşı-17134 - 1115 m	42.08	24.02	49.64	32.12	47.83	37.25	6.62	18.02	14.32	32.92	32.04	28.1	364.96
Haymana KK-4092-1225 m	41.1	33.5	38.1	45.4	59.8	37.7	12.6	10.6	11.7	32.8	41	55.2	419.5
Haymana-Tarım-17733-1070m	38.09	22.38	44.02	28.14	48.49	44.41	11.19	7.32	19.81	33.62	17.91	27.51	342.9
Mihalıççık-3349-1325 m	54.2	45.7	48.3	52.4	60.8	46.5	21.2	14.2	18.6	32.8	36.4	60.3	491.4
Polath DÜÇ-9005-875 m	37.6	34.3	46.8	44.4	43.9	34.9	20	9.6	16.7	27.6	23.2	41.8	380.8
Polath-17728-886 m	38.1	28.4	33.4	45.1	44.6	34.4	14.4	10.2	12.9	28.4	31.7	42.6	364.2
Sivrihisar-17726 1070 m	41.2	37.3	40.3	47.4	54.7	42.8	18.1	11.2	16.8	32.8	32.4	48.3	423.3



Şekil 1.6 Polatlı (17728) istasyonu eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı



Şekil 1.7 Haymana KK (4092) istasyonunun düzeltilmiş verileri ile hesaplanan eklenik sapma eğrisi ve yağış dağılım histogramı



Şekil 1.8 Çalışma alanının 1926-2016 yılları arasına ait eş yağış haritası

Thornthwaite yöntemine göre gerçek buharlaşma-terleme aşağıdaki eşitlikle (1.1) hesaplanmaktadır:

$$Etp = 1,6 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad (1.1)$$

Etp: Aylık potansiyel buharlaşma-terleme (mm)

$$I = \sum i$$

i: sıcaklık indisi

$$i = (t/5)^{1.514}$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7.71 \times 10^{-5} \times I^2 + 1.79 \times 10^{-2} \times I + 0.492$$

t: Aylık ortalama sıcaklık (°C)'tır.

Çizelge 1.4'de görüldüğü gibi, Polatlı sahası için (uzun yıllar) hesaplanan düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etpc) miktarı yıllık 699.45 mm, gerçek buharlaşma-

terleme miktarı (Etr) 335.29 mm'dir. Faydalı su yedeği, bitkiler için gerekli olan toprak zonda depolanan sudur. Bölgenin iklim ve bitki koşulları göz önüne alınarak faydalı su yedeği 100 mm alınmıştır. Hesaplanan su noksanı 364.05 mm, su fazlası 78.86 mm'dir. Ortalama yıllık yağış 364.2 mm olup, gerçek buharlaşma-terleme yağışın % 92'sine karşılık gelmektedir. Bu da yeryüzüne düşen yağışın çoğunun buharlaştığını, yeraltına süzülmenin ise az olduğunu göstermektedir. Polatlı'nın 2016 yılına ait Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu da hazırlanmıştır (Çizelge 1.5, Şekil 1.9).

Ayrıca, Haymana KK (4092) istasyonunun 23 yıllık ve 2016 yılına ait yağış ve sıcaklık ölçümleri kullanılarak inceleme dönemine ait gerçek buharlaşma-terleme değerleri hesaplanmış, grafiği çizilmiştir (Çizelge 1.6, 1.7, Şekil 1.10). Haymana sahası için (uzun yıllar) hesaplanan düzeltilmiş potansiyel buharlaşma-terleme (Etpc) miktarı yıllık 635.33 mm, gerçek buharlaşma-terleme miktarı (Etr) 349.34 mm, su noksanı 285.99 mm, su fazlası 96.14 mm'dir. Ortalama yıllık yağış 419.3 mm olup, gerçek buharlaşma-terleme yağışın % 83'üne karşılık gelmektedir.

1.5 Bitki Örtüsü

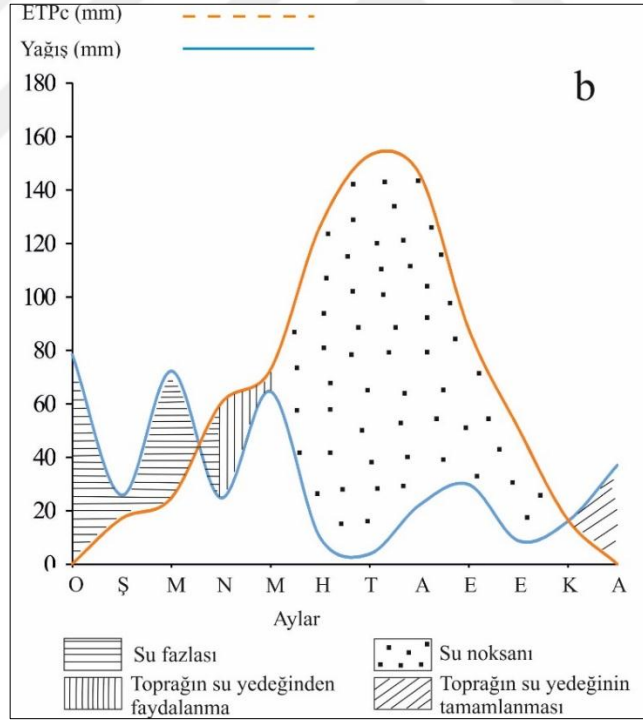
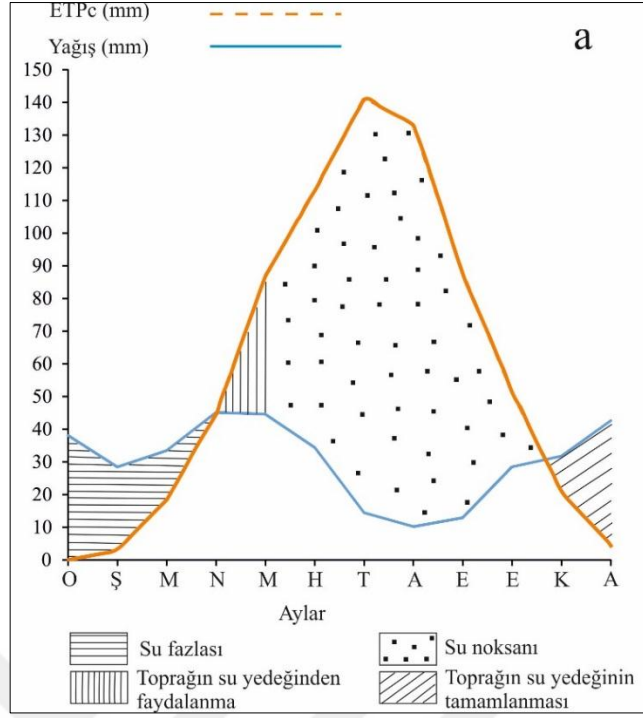
Ankara Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından hazırlanan Çevre Durum Raporuna (2016) göre; Haymana ve Polatlı bölgelerinin, özellikle kuzey kısımları, ağırlıklı olarak İç Anadolu Bölgesi'ne özgü, son derece iyi korunmuş ova bozkırlardan oluşmuştur. Özellikle kireçtaşlarının yüzeylendiği mostralarda ise dağ bozkırlarının yer aldığı belirtilmiştir. Polatlı ilçesi ve civarında kuru tarım olarak bilinen tahıl ekimi yapılmaktadır. Soğan, patates, pancar en çok dikimi yapılan bitkilerdir. Uygun alanlarda hayvancılık için yonca da ekilmektedir. Tarıma açılmayan alanlar mera olarak kullanılan ova bozkırlarıdır. Irmak kenarlarında söğüt ve kavak ağaçları yetiştirilmektedir. Polatlı ilçesi, Acıkır Bozkırları bitkiler açısından son derece zengindir. Alanda Türkiye'ye endemik olan 19 bitki taksonu bulunmaktadır ve bunların tamamı Türkiye'ye endemiktir (Anonim 2016).

Çizelge 1.4 Polatlı civarının 46 yıllık Thornthwaite'e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	-0.1	1.6	5.6	10.5	15.5	19.6	23	23.1	18.5	13	6.9	2.3	11.6
Sıcaklık İndisi (i)	0	0.18	1.18	3.07	5.54	6.69	10.08	10.14	7.24	4.25	1.63	0.31	51.53
Potansiyel Buharlaşma Terleme ETP (mm)	0	3.48	17.83	40.42	67.11	91.10	112.19	112.83	84.50	53.37	23.39	5.59	643.22
Enlem Düzeltme Katsayısı (39)	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma Terleme (mm) (ETPc)	0	2.92	18.36	44.86	82.54	112.96	141.35	133.13	87.88	51.23	19.64	4.58	699.45
Yağış	38.1	28.4	33.4	45.1	44.6	34.4	14.4	10.2	12.9	28.4	31.7	42.6	364.2
Faydalı Su Yedeği (mm)	100	100	100	100	62.06	0	0	0	0	0	12.06	38.02	
Gerçek Buharlaşma Terleme (mm)(ETR)	0	2.92	18.36	44.86	86.57	92.46	14.4	10.2	12.9	28.4	19.64	4.58	335.29
Su Fazlası (mm)	38.1	25.48	15.04	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0	78.86
Su Noksamı (mm)	0	0	0	0	0	16.36	126.95	122.93	74.98	22.83	0	0	364.05

Çizelge 1.5 Polatlı civarının 2016 yılı Thornthwaite’e göre denestirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	0.2	6.9	7.8	13.9	14.8	21.8	24.7	25.1	19.1	13.7	6.8	-1	12.81
Sıcaklık İndisi (i)	0.007	1.62	1.66	4.07	5.17	9.29	11.22	11.50	7.60	4.59	1.59	0	58.32
Potansiyel Buharlaşma Terleme ETP (mm)	0.14	20.26	24.06	54.16	59.15	101.88	121.41	124.18	84.62	53.07	19.84	0	662.77
Enlem Düzeltme Katsayısı (39)	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma Terleme (mm) (ETPc)	0.12	17.1	24.78	60.12	72.75	126.33	152.97	147.26	88.01	50.94	16.66	0	757.04
Yağış	78.4	25.8	72.2	24.8	64.6	10	3.8	22	29.8	8.8	16	37	393.2
Faydalı Su Yedeği (mm)	100	100	100	100	91.85	0	0	0	0	0	0.66	37.66	
Gerçek Buharlaşma Terleme (mm)(ETR)	0.12	17.1	24.78	60.12	72.75	101.85	3.8	22	29.8	8.8	16	0	357.12
Su Fazlası (mm)	78.28	8.7	47.42	12.1	0	0	0	0	0	0	0	0	146.5
Su Noksanı (mm)	0	0	0	0	0	24.48	149.17	125.26	58.3	42.14	0	0	399.35



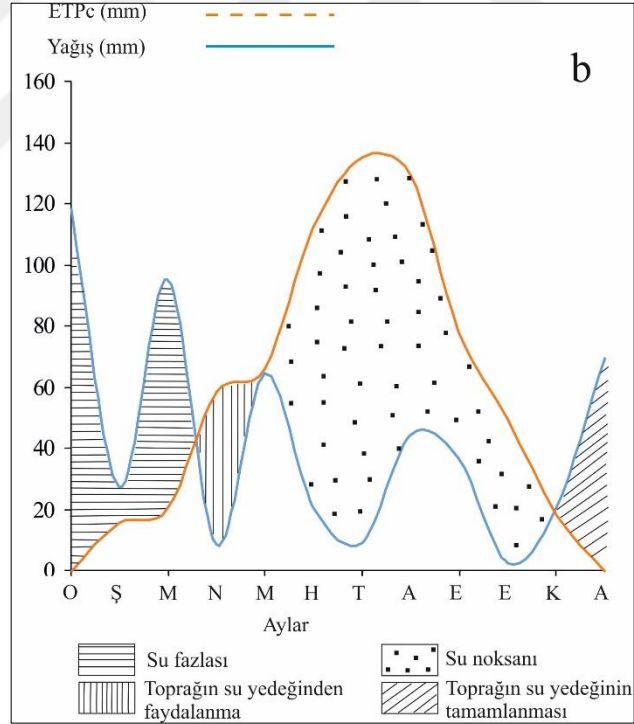
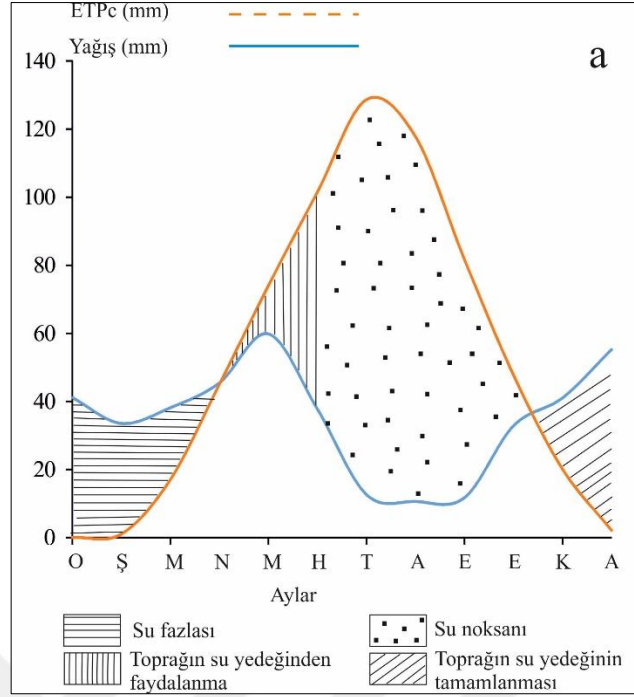
Şekil 1.9 Polatlı (17728) istasyonunun a. uzun yıllar, b. 2016 yılı yağış ve buharlaşma-terleme ortalamasının aylara göre değişiminin Thornthwaite'e (1948) göre gösterimi

Çizelge 1.6 Haymana civarının 23 yıllık Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	-2.5	0.0	4.4	9.5	13.3	17.3	20.9	20.5	16.7	11.3	6.1	0.9	
Sıcaklık İndisi (i)	0	0	0.82	2.64	4.39	6.55	8.72	8.46	6.20	3.43	1.35	0.32	42.88
Potansiyel Buharlaşma Terleme ETP (mm)	0	0	16.49	40.58	60.15	81.82	102.08	99.80	78.51	49.71	23.91	2.57	555.62
Enlem Düzeltme Katsayısı (39)	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma Terleme (mm) (ETPc)	0	0	16.98	44.98	73.98	101.46	128.62	117.76	81.65	47.72	20.08	2.10	635.33
Yağış	41.1	33.5	38.1	45.4	59.8	37.7	12.6	10.6	11.7	32.8	41.0	55.2	419.5
Faydalı Su Yedeği (mm)	100	100	100	100	85.82	22.06	0	0	0	0	20.92	74.02	
Gerçek Buharlaşma Terleme (mm)(ETR)	0	0	16.98	44.98	73.98	101.46	34.66	10.6	11.7	32.8	20.08	2.10	349.34
Su Fazlası (mm)	41.1	33.5	21.12	0.42	0	0	0	0	0	0	0	0	96.14
Su Noksanı (mm)	0	0	0	0	0	0	93.96	107.16	69.95	14.92	0	0	285.99

Çizelge 1.7 Haymana civarının 2016 yılı Thornthwaite’e göre deneştirmeli yağış ve buharlaşma-terleme bilançosu

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	-1.8	5.6	5.8	12.6	12.8	19.3	22.1	22.5	16.8	12.4	6.4	-2.9	
Sıcaklık İndisi (i)	0	1.18	1.25	4.05	4.15	7.72	9.48	9.74	6.26	3.95	1.45	0	49.23
Potansiyel Buharlaşma Terleme ETP (mm)	0	18.83	19.69	52.63	53.69	90.33	107.25	109.71	75.77	51.57	22.30	0	601.77
Enlem Düzeltme Katsayısı (39)	0.85	0.84	1.03	1.11	1.23	1.24	1.26	1.18	1.04	0.96	0.84	0.82	
Düzeltilmiş Potansiyel Buharlaşma Terleme (mm) (ETPc)	0	15.81	20.28	58.42	66.04	112	135.13	129.45	78.08	49.50	18.48	0	683.19
Yağış	118.7	27.3	95.1	8.3	64.2	20.6	9.0	44.2	36.7	2.4	20.2	69.7	
Faydalı Su Yedeği (mm)	100	100	100	49.88	48.04	0	0	0	0	0	1.72	71.42	
Gerçek Buharlaşma Terleme (mm)(ETR)	0	15.81	20.28	58.42	66.04	68.64	9.0	44.2	36.7	2.4	18.48	0	339.97
Su Fazlası (mm)	118.7	11.49	74.82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	205.01
Su Noksanı (mm)	0	0	0	0	0	43.36	126.3	85.25	41.38	47.1	0	0	343.39



Şekil 1.10 Haymana (4092) istasyonunun a. uzun yıllar, b. 2016 yılı yağış ve buharlaşma-terleme ortalamasının aylara göre değişiminin Thornthwaite'e (1948) göre gösterimi

2. ÖNCEL ÇALIŞMALAR

Ankara ili sıcak ve mineralli su kaynakları bakımından oldukça zengin bir ilimizdir. Beypazarı, Ayaş, Kızılcahamam civarında sıcak su kaynaklarına yönelik çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, Polatlı-Haymana civarındaki sıcak su kaynaklarına yönelik tümünü kapsayan yeterli çalışma bulunmamaktadır. Tez çalışmasının konusunu oluşturan Haymana ve Polatlı bölgelerinde gerçekleştirilen jeolojik ve jeotermal amaçlı çalışmalar kronolojik olarak aşağıda sunulmuştur.

Calvi'nin (1940), Ilıcıpınar (Malıköy) suyunun kimyasal analizini yapmış olduğu çalışmada kaynak suyu sıcaklığı 29 °C, debisi ise 5 l/s olarak ölçülmüştür. Sıcak suyun kükürtlü olduğunu belirtip, romatizma, varis, cilt hastalıkları ve mide rahatsızlıklarının tedavisinde kullanılabileceğinden bahsetmiştir.

Erol (1954), Haymana-Kırıkkale-Bala-Çubuk arasında kalan geniş bir alanda yapmış olduğu etüt çalışmasında; Alt Paleozoyik yaşlı epimetamorfik şistlerin bölgedeki temeli oluşturduğunu belirtmiştir. Temel üzerinde yer alan kireçtaşı bloklarının Permian ve muhtemelen Triyas yaşlı olduğunu ifade etmiştir.

Erol (1955), Beypazarı-Ayaş bölgesindeki Neojen havzasını oluşturan göl serilerinin çakıltası, kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı, jips ve yer yer volkanik ara katkılı birimlerden oluştuğunu belirtmiştir.

Başkan (1972), Haymana kaplıcasının hidrojeoloji etüdünü gerçekleştirmiştir. Haymana merkezindeki kaynağın sıcaklığını 42,5 °C, debisini ise 1,83 l/s olarak ölçmüştür. Yağışlardan etkilendiğini belirtilen Uyuz hamamı kaynağında değişik dönemlerde yapılan ölçümlerde sıcaklık 27-32 °C, debi ise 0,1-0,5 l/s arasında kaydedilmiştir.

Canik (1972), Malıköy ve çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını ve Ilıcıpınar'ın hidrojeoloji etüdünü gerçekleştirmiştir. Yazar, Ilıcıpınar kaynağının sıcaklığını 28.5 °C, debisini ise 6 l/s olarak belirlemiştir.

Ölmez (1975), Malıköy’de yapılan 381.25 m derinlikteki Malıköy-1 kuyu bitirme raporunu hazırlamış, kuyu tabanı sıcaklığının 33 °C olarak ölçüldüğünü belirtmiştir.

Ünalan vd. (1976), Haymana-Polatlı yöresinde, Üst Kretase (Maastrichtiyen) - Alt Tersiyer zaman aralığında, kalınlığı 5800 m’ye ulaşan bir istifin çökeldiğini belirtmişlerdir. Yazarlar çok sayıda yanal ve dikey geçişler sunan bu çökelleri ayrıntılı olarak inceleyerek toplam 11 adet formasyon tanımlamışlardır.

Batman (1978), Haymana kuzeyinin 1/25.000 ölçekli ayrıntılı jeoloji haritasını hazırlamış, formasyonları ayrıntılı olarak incelemiş ve iki ana tektonik yapıdan bahsetmiştir.

Gönenç (1978), Haymana-Polatlı havzasının batı kesiminin Granit (1978) ise aynı havzanın güneydoğu kısmının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlanmışlar ve petrol içeren birimler hakkında bilgi vermişlerdir.

Erişen ve Ünlü (1980), MTA Genel Müdürlüğü tarafından Ankara ilinin jeotermal enerji ile ısıtılabilme olanaklarını ortaya koymak amacıyla 1972-1976 yılları arasında sürdürülen jeoloji çalışmalarını derleyerek geniş bir alanın 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamışlardır.

Gözler vd. (1982), Eskişehir, Mihalicçık, Sivrihisar, Porsuk ve Sakarya nehirlerinin yakın çevresinin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarını hazırlamışlar. Jeolojik birimleri metamorfik kayalar, ofiyolitik kayalar ve örtü kayalar olarak tanımlamışlar ve birimlerin birbirleriyle olan dokanak ilişkilerini belirlemişlerdir.

Ercan (1986), Ankara-Gölbaşı-Polatlı ve Haymana çevresinde genelde ortaç-asidik kalkalkalen ve bazik alkali volkanitlerin yüzlekler verdiğini, volkanizmanın Miyosen’de başlamış ve yer yer Pliyosen’de de etkin olduğunu belirtmiştir.

Öktü (1987), Polatlı ilçesindeki sıcak suların (Karahamzalı, Özhamamı, Ilıca, Sabanca, Türktaciri, Yaralı, Malıköy) ön etütlerini gerçekleştirmiş, kaynaklardan aldığı su örneklerinin analizlerinden yararlanarak sıcak suların sınıflamalarını yapmış ve suların sulamada kullanılabilirliklerini çeşitli diyagramlarda değerlendirmiştir.

Özeke (1987), Haymana'da açılan 3 ve 4 nolu kuyulara ait kuyu bitirme raporunu hazırlamıştır. 3 nolu kuyunun 454,50 m derinlikte açıldığını, sıcaklık ve debisinin 31 °C ve 0,1 l/s olduğunu 221,5 m derinliğe sahip 4 nolu kuyunun ise 44,5 °C sıcaklık ve 52 l/s debide üretim yaptığını belirtmiştir.

Helvacı ve Bozkurt (1994), Beypazarı granitinin eski bir kabuk ergimesi sonucunda oluştuğunu, granitik kayaçların granitten diyorite kadar değişen litolojiye sahip olduğunu ve yöreye olasılıkla Üst Kretase'de sığ olarak yerleşmiş olduğunu ifade etmişlerdir.

Mutlu ve Güleç (1998), Türkiye'deki tektonizmanın etkili olduğu 120 sıcak su noktasından alınan örneklerin kimyasal analizlerini yapmışlar, kimyasal jeotermometrelerden yararlanarak Orta Anadolu'daki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının 125°C, Kuzey Anadolu'da ise 110 °C'ye ulaştığını hesaplamışlardır.

Sarıarslan vd. (1998), Ankara ili sınırları içerisinde yer alan sıcak su kaynaklarının debi ve sıcaklık ölçümlerini yaparak toplanan su örneklerinin kimyasal sınıflamasını, tarımda kullanılabilirliğini ve korozyif özelliklerini ortaya koymuşlardır.

Uğuz vd. (1999), Kulu (Konya), Haymana (Ankara) ve Kırıkkale'yi içine alan bölgenin jeolojik etüdünü gerçekleştirerek, bölgenin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritasını hazırlamışlardır.

Bakır (2001), Haymana jeotermal alanındaki sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal incelemesini yaptığı çalışmada sıcak suların trityum içeriklerine göre dolaşım sürelerinin 50 yıldan fazla olduğunu belirtmiştir.

Güleç vd. (2002), Kuzey Anadolu'nun düşük entalpili sularında nispeten yüksek ^3He konsantrasyonlarının volkanik aktivite ile ilgili olmadığını, doğrultu atımlı kayma hareketi ile ilgili olduğunu belirtmiştir.

Orti vd. (2002), Beypazarı havzasında yüzeyleyen Kirmir formasyonunun sülfatlarının kükürt izotopik değerleri ($\delta^{34}\text{S}$), sülfatın kökeninin deniz türevi bir tuzlu su kaynağı olduğunu düşündürse de, oksijen izotopik değerleri ($d^{18}\text{O}$) ve stronsiyum oranlarının ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$), muhtemelen volkanik kayalarla veya hidrotermal akışkanlarla ilişkili olduğunu belirtmektedir.

Zoroğlu ve Kadioğlu (2004), Beypazarı granitoidini bileşiminde bulunan amfibol, alkali feldpat, kuvars ve plajiolaz oranlarına göre dört gruba ayırmıştır. Kenardan merkeze doğru Oymaağaç granodiyariti, İsmailkaya granodiyoriti, Tavuktaş granodiyoriti ve bunları kesen Çayırpınar alkali feldspat graniti şeklinde ayrılmıştır.

Palmer vd. (2004), Beypazarı Havzası ve çevresindeki evaporitlerden alınan örneklerin $d^{34}\text{S}$, $d^{18}\text{O}_{\text{sülfat}}$ ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analiz sonuçlarından yararlanarak, denizel çökellerin olmadığı, eski kıyı çizgisinden uzakta yer alan havzada denizel olmayan evaporitlerin çökeldiğini belirtmiştir.

Diker (2005), Kapullu Hamamı (Beypazarı) kaynağının karakterini, kimyasal özelliklerini ve kökenini belirlemiş ve Karacaahmet sıcak ve mineral su kaynağıyla aynı rezervuar kayaca sahip olduğunu öne sürmüştür.

Diker vd. (2006), Kapullu Hamamı ve çevresindeki granitoidlerin kinematik incelemesini yapmışlardır. Granitoidlerde yapılan süreksizlik ölçümlerinde yaklaşık $K70^\circ\text{D}$ doğrultulu çekme eklemleri ile $K21^\circ\text{B}$ doğrultulu sıkışma eklemlerini belirlemişlerdir. Kapullu Hamamını kesen süreksizlik düzleminin normal fay karakterinde olduğunu belirlemişler ve Kapullu Fayı olarak adlandırmışlardır.

Nehir (2006), Haymana ve dolaylarında yüzeylenen Üst Kretase-Paleosen yaşlı Çaldağ formasyonunun resifal karakterli ve petrol kapanlayabilecek rezervuar özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir.

Yeşilova ve Tekin (2007), Polatlı-Sivrihisar Neojen Havzası evaporitlerinde yapmış oldukları çalışmada Üst Miyosen yaşlı Sakarya formasyonunun jips üyesini beş alt litofasiyese ayırmışlardır. Evaporitlerde yapmış oldukları jeokimyasal çalışmalar sonucu iz element değerlerinin göl ortamından daha yüksek olduğunu, bunun nedeninin paleo gölünün evaporitleşme sırasında zemin-tatlı su girişlerine, kısa periyotlarla değişebilen iklimsel şartlara (kuraklık ve yağış gibi), gölün izole olmuş alanlarında gelişen sınırlı indirgeyici ortam koşullarına ve depolanma sonrası etkin olan hidrotermal çözeltilere bağlı olduğu düşünüldüğünü ifade etmişlerdir.

Açıkgöz vd. (2008), Çağlayık jeotermal sahasında granitler içerisinde apofiz-dayk dinamiği ile yerleşmiş andezitlerin, granitlerle benzer yaşta olduğunu ve bazı granit-bazik kayaç dokanaklarında dereceli geçiş gözlenirken bazı kısımlarda da sıvı karışmazlığı nedeniyle keskin geçişler gözlemişlerdir. Bu keskin sınırların zaman zaman bir kırık gibi davranarak akışkan taşıyıcı rol üstendiğini belirtmişlerdir.

Çelmen (2008), “Sivrihisar ve Beypazarı Bölgesinde Yer Alan Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi” adlı doktora tez çalışmasında sıcak suların Beypazarı-Ayaş bölgesinde 950-1150 m, Mihaliççık-Yarıkcı bölgesinde 1400-1465 m ve Sivrihisar bölgesinde ise 1000-1250 metreler arası yüksekliklerden beslendiği ortaya koymuştur.

Diker vd. (2006), Çelmen ve Çelik (2009) ve Çelik (2014) Beypazarı civarındaki Dutlu, Ayaş, Çoban ve Kapullu sıcak sularının Beypazarı granitoyidinden, buna karşın Karakaya ve Ilıca hamam sularının ise Bilecik kireçtaşından çıkan meteorik kökenli sularla beslendiğini ortaya koymuşlardır. Beypazarı granitoyidine bağlı olarak oluşan jeotermal kaynakların SO_4-H_2O izotop jeotermometresi ile suların rezervuar sıcaklıkları 42-73 °C arasında bulunmuştur.

Türkmen (2008), Çağlayık jeotermal alanındaki sıcak suların elektriksel iletkenlik ve Cl değerlerinin yüksek, trityum içeriğinin düşük olması nedeniyle bu suların derin dolaşimli ve yaşlı sular olduğunu belirtmiştir.

Açıkgöz vd. (2009), Malıköy-Girmeç alanlarında sıcak su aramasına yönelik olarak jeolojik ve jeofizik etüt gerçekleştirmişlerdir.

Kocadere (2009), izotop hidrolojisinde yaygın olarak kullanılan ^3H -Cl verilerine dayanarak Girmeç kaynağının derin dolaşimli yeraltı suyunu temsil ettiği ifade etmiştir.

Sevin vd. (2009), Ayaş, Temelli ve Polatlı'yı içine alan Ankara İ-28 paftasını güncellemiştir.

Dönmez vd. (2009), Girmeç yakınlarında yüzeyleyen gri, siyah renkli bol piroksenli tefrit, fonolit, lösitit, andezitik bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan birimi Girmeç volkanitleri olarak adlandırmışlardır. Lavların yaşı K/Ar yöntemi ile $57,4 \pm 2,3$ My (Geç Paleosen-Erken Eosen) olarak bulunmuştur.

Açıkgöz (2010), Çağlayık jeotermal alanında 250 m derinlikte açılan PÇ-1 kuyusundan kompresör yardımıyla 16 l/s debi ile 44 °C sıcaklıkta su elde edildiğini belirtmiştir. Ayrıca, kuyudan çıkan termal suya ait örnekleme ve kimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır.

Bilgin vd. (2010), Haymana ve Yenimehmetli (Ankara) güneyinin jeolojisine yönelik çalışmalarında 1/100.000 ölçekli haritanın revizyonunu gerçekleştirmişlerdir.

Çelmen ve Çelik (2010), Polatlı bölgesinin kuzeyinde yer alan Beypazarı jeotermal sularında hidrojeoloji ve su kimyası çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Beypazarı sıcak ve soğuk su örneklerinden elde edilen $\delta^{34}\text{S}$ (SO_4) değerinin Kirmir formasyonunun jipsli seviyeleri ile benzer olduğunu ve sulardaki sülfatın söz konusu jipsli seviyelerden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Türkmen ve Şimşek (2012), Karacaahmet kaynağında yapmış oldukları çalışmada sıcak su kaynağının Na-SO₄ fasiyesinde ve derin dolaşimli kaynak olduğunu belirtmiştir. Kalsedon jeotermometresine göre hesaplanan rezervuar sıcaklıkları ise 47-50 °C dir.

Güleç vd. (2014), Türkiye'deki jeotermal akışkanlarda yapmış oldukları He ve C izotop çalışmalarında Orta ve Doğu Anadolu'da günümüze yakın ve geniş alanlarda etkili olan volkanizmanın, soğumakta olan magmatik sistemlerden helyum ve ısıнын birlikte yüzeye ulaştığını belirtmişlerdir.

Esat vd. (2016), Yenimehmetli ve Karahamzalı köyleri arasında sağ yanal atımlı fayın aktif olduğunun göstergelerinden birinin bölgedeki sıcak su kaynaklarının varlığı olduğuna işaret etmişlerdir. Ayrıca Ilıca köyü yakınlarında da Neojen çökelleri ve Kuvaterner birimleri arasında yaklaşık 5 km uzunluğunda keskin bir sınırın varlığını belirtmişler ve bu sınırı Ilıcaözü fayı olarak isimlendirmişlerdir.

Yukarıda verilen öncel çalışmalar, tez sahasının jeolojisinin revizyonunda, tektonik hatların sıcak suların yüzeye çıkmasındaki rolünde, suların kimyasal özelliklerinin farklı sahalarla karşılaştırılmasında yardımcı olmuştur. Hazırlanan tez çalışmasında sıcak su sahalarında daha önce yapılmamış olan $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$ ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizleri ilk kez yapılarak sıcak suların kökeni, su-kayaç etkileşimleri, karbon ve kükürdün kökeninin belirlenmesi hedeflenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması; arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

3.1 Arazi Çalışmaları

Arazide kaynak başında; sıcak ve soğuk su kaynaklarında elektriksel iletkenlik, sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen gibi fiziksel özelliklerinin ölçülmesinde HQ40d marka multiprob (Şekil 3.1) ile WTW Cond. 3210 marka multiprob kullanılmıştır. Kaynakların koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir (Çizelge 3.1).



Şekil 3.1 HQ40d marka multiprob

Çizelge 3.1 Su kaynaklarının koordinatları ve yapılan analiz listesi

Örnek No	Koordinat (UTM)			Yapılan Analizler
	X (Kuzey)	Y (Doğu)	Z (m)	
TPSO-1	4416284	428186	694	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPSO-2	4416380	428544	725	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PSO-3	4423267	432108	965	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PSO-4	4420003	428537	888	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , kirlilik analizleri
PSO-5	4413925	421517	723	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , kirlilik analizleri
PSO-6	4420045	427085	789	Kaynak başı ölçümleri
PSO-7	4413925	431903	959	Kaynak başı ölçümleri
TPÇK-1	4407964	408814	646	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PAS-1	4408395	443175	749	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPM-1	4403210	445659	735	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PGS-1	4407113	437524	972	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPGS-2	4406976	438248	921	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PGS-3	4404682	439718	880	Kaynak başı ölçümleri
PGS-4	4407468	438457	891	Kaynak başı ölçümleri
PGS-5	4402389	443573	745	Kaynak başı ölçümleri
PKH-1	4366885	424795	824	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPKH-2	4366132	424677	872	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PKH-3	4364511	425340	905	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPKH-4	4366106	424970	882	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPKH-5	4367985	423902	796	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PKH-6	4366091	42972	885	Kaynak başı ölçümleri
PKH-7	4468896	421988	755	Kaynak başı ölçümleri
PKH-8	4462902	428656	968	Kaynak başı ölçümleri

Çizelge 3.1 Su kaynaklarının koordinatları ve yapılan analiz listesi (devam)

Örnek No	Koordinatlar UTM			Yapılan Analizler
	X Kuzey	Y Doğu	Z (m)	
TPÖ-1	4350567	432575	797	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPÖ-2	4354505	432405	814	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PSS-1*	4357109	432430	881	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
TPSS-2*	4359766	436651	846	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
PSS-3*	4357554	436665	883	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , kirlilik analizleri
PSS-4*	4356384	429578	845	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , kirlilik analizleri
THMK-1*	4365180	456722	1217	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
THMK-2*	4365373	457154	1206	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
HMK-3*	4364147	456499	1125	Majör anyon-kasyon, iz element, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
HMK-4*	4370697	461293	1154	Majör anyon-kasyon, iz element, radon gazı, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, ^3H , $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, kirlilik analizleri
HMK-5*	4368712	453412	1023	Majör anyon-kasyon
HMK-6	4369234	462492	1151	Kaynak başı ölçümleri

Soğuk ve sıcak su kaynaklarından Ekim-Kasım 2014 ve Haziran 2015 tarihlerinde majör ve iz element analizleri için örnekler alınmıştır. Sarıoba-Çağlayık sahasında üç adet sıcak su ve üç adet soğuk su, Karahamzalı sahasında üç adet sıcak su ve üç adet soğuk su, Özhamamı-Sabancı sahasından üç adet sıcak su ve üç adet soğuk su, Haymana sahasından iki adet sıcak su, üç adet soğuk su örneği toplanmıştır. Su örnekleri yüksek-yoğunluklu polietilen kaplara toplanmış ve her su örneğinden iki adet örnek alınmıştır. Kasyon analizi için toplanan örneğe 0.2 ml HNO_3 ilave edilmiş ve gerekli olduğunda 0.45 μm filtre kâğıdı kullanılarak filtre edilmiştir. $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H izotop analizleri için 23 su noktasından örnekler toplanmıştır. $\delta^{34}\text{SSO}_4$ ve $\delta^{18}\text{OSO}_4$ analizleri için 8 sıcak su kaynağından örnekleme yapılmıştır. $\delta^{13}\text{C}$ analizleri için (12 adet sıcak su ve 10 adet soğuk su örneği) 500 mg/l örnek alınmış ve örneklere birkaç

damla HgCl_2 ilave edilmiştir. 22 su noktasından ise $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizleri için örnek toplanmıştır.

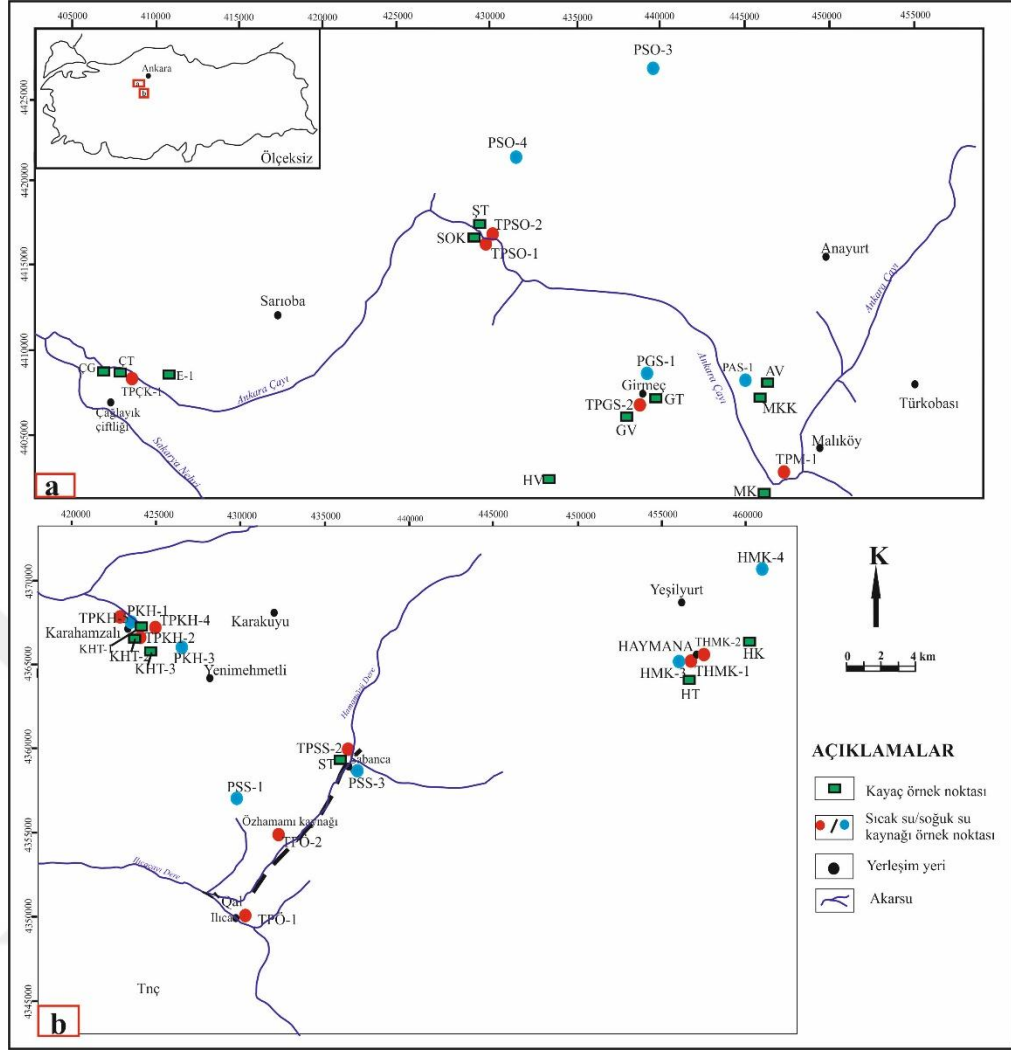
Arazi çalışmaları sırasında çeşitli kayalardan alınan örneklerin çeşitli analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.2). Metamorfik ve magmatik kayalardan alınan örneklerin petrografik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 6 adet örnek alınmıştır. Ayrıca rezervuar özellikteki kayalar ve travertenlerden alınan 14 adet kayaç örneğinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizleri ODTÜ Merkez Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Sıcak su kaynaklarının rezervuarını oluşturduğu düşünülen karbonatlı kayalar ve travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ analizleri için 9 noktadan örnekleme yapılmıştır (Şekil 3.2).

Sıcak suların bileşiminde bulunan radon miktarının belirlenmesi için her sıcak su kaynağından 250 ml su örneği alınmıştır ve radon konsantrasyonları ölçülmüştür.

3.2 Laboratuvar Çalışmaları

Su örneklerinin majör anyon-kasyon analizleri MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı (MAT) Analitik Kimya Laboratuvarlarında Fishman ve Friedman (1989)'da tanımlanan standart yöntemler ile gerçekleştirilmiştir. HCO_3 analizinde titrasyon yöntemi kullanılmış, SO_4 ve SiO_2 konsantrasyonları ise spektrofotometri ile tayin edilmiştir. Su örneklerinin iz element analizleri Hacettepe Üniversitesi ICP-MS laboratuvarında, Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi 02G062 nolu alt yapı destek projesi kapsamında yaptırılmış ve ICP-OS yöntemi ile belirlenmiştir. Saptama sınır minör ve iz elementler için 0.1 ppm dolayındadır. S, Br, I, Tc ve Os elementlerine ait derişimler yarı-kantitatif okumalardır. Bu okumalarda hata +/- %30 dolayındadır. Örneklerin analizinde Kalite Kontrolü amacıyla seçilen bazı örneklerde Ardışık Okumalar yapılmıştır.

$\delta^{18}\text{O}$ ve δD (V-SMOW olarak) analizleri lazer spektrometresi ile trityum (^3H) analizleri ise sıvı sayım sintilasyon sistemi ile Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü TAKK Laboratuvarlarında yapılmıştır.



Şekil 3.2 Su ve kayaç örneklerinin yerlerini gösteren lokasyon haritası

Su ve kayaç örneklerinin $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ bileşimleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkezi Laboratuvarlarında Köksal ve Göncüoğlu (2008) tarafından belirtilen prosedürlere uygun olarak analiz edilmiştir. Laboratuvarda ilk kez sudaki $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ oranı bu çalışma ile gerçekleştirilmiştir. Stronsiyum 2.5 N HCl içindeki teflon kolonlarda ayrılmış ve daha sonra 6 N HCl kullanılarak Sr katyon değişim kolonlarından NTE bölüntüsü elde edilmiştir. Ta-aktivatör ve 0.005 N H_3PO_4 ile Re filamentine yüklenen stronsiyum statik durum altında analiz edilmiştir. Sr oranları $86\text{Sr}/88\text{Sr} = 0.1194$ ile normalleştirilmiştir. Sr izotop oranları, Thermo-Fisher Triton termal iyonlaştırıcı kütle spektrometresi ile standart hata değerleri 2-sigma düzeyinde ölçülmüştür. Analizlerde Sr bileşimi NBS 987 standardı 0.710251 ± 8 ($n=3$) olarak ölçülmüştür.

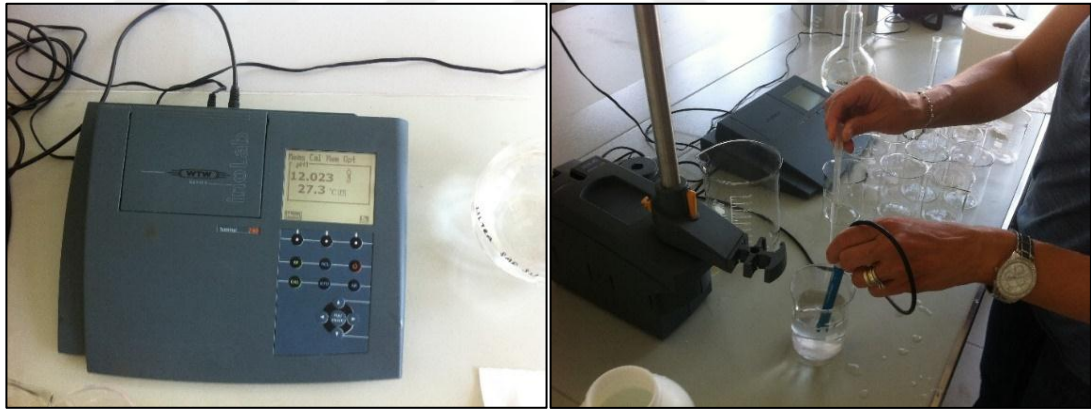
Çizelge 3.2 Kayaç örneklerinin koordinatları ve yapılan analizler

Örnek No	Koordinat (UTM)			Pafta No	Kayacın Türü	Hangi amaçla alındığı
	Y Doğu	X Kuzey	Z(m)			
ŞT	428072	4416963	716	İ 28 a2	Metamorfik kayaç	Petrografik
ÇG	408576	4408417	613	İ 27 b3	Granitik kayaç	Petrografik, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
GV	438250	4406970	920	İ 28 b4	Volkanik kayaç	Petrografik, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
AV	445861	4407048	812	İ 28 b4	Volkanik kayaç	Petrografik
HV	433641	4403637	931	İ 28 a3	Volkanik kayaç	Petrografik
YV	465305	4369414	1251	J 29 a1	Volkanik kayaç	Petrografik
SOK	428540	4416380	712	İ28 a2	Kireçtaşı	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
ÇT	408564	4408420	615	İ 27 b3	Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
E-1	411552	4408075	678	İ 27 b3	Jips	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
MK	444612	4401764	785	İ28 b4	Kireçtaşı	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
MKK	444882	4407753	813	İ 28 b4	Kireçtaşı	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
GT	438273	4406971	915	İ 28 b4	Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
KHT1	424795	4366880	831	J 28 a2	Eski Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
KHT2	424677	4366132	872	J 28 a1	Yeni Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
KHT3	424902	4364692	912	J 28 a2	Kireçtaşı	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
ST	436665	4357554	883	J 28 b1	Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
HT	461293	4370695	1155	J 28 b2	Traverten	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
HK	459563	4365063	1308	J 29 a1	Kireçtaşı	$\delta^{13}\text{C}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$

$\delta^{13}\text{C}$ analizleri için örneklere MTA Analitik Kimya Laboratuvarlarında öncelikle pH değerleri 11'e gelene kadar 10 N NaOH eklenmiştir (Şekil 3.3). Daha sonra sulara BaCl_2 eklenerek (Şekil 3.4) suyun bileşiminde bulunan karbonatın BaCO_3 olarak

ökmesi sağlanmıştır. Çökelen BaCO₃ tüplerde süzölerek karbonat çökeltisi ayrılmıştır (şekil 3.5). ökelti kuruduktan sonra toz haline gelen numune küçük tüplere konularak numaralandırılmış ve analiz için Kanada Waterloo Üniversitesi Çevresel İzotop Laboratuvarına gönderilmiştir. Çalışma alanındaki rezervuar özellikteki karbonat kayalar ile travertenlerden alınan örnekler MTA Genel Müdürlüğü Analiz Laboratuvarlarında öğütölerek küçük tüplere konmuş ve yine Kanada Waterloo Üniversitesi Çevresel İzotop Laboratuvarında analiz edilmiştir. Karbonat örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri Micromass IsoPrime İzotop Oranı Kütle Spektrometresi (IRMS) ile belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki 8 örnekte $\delta^{34}\text{S}$ izotop analizleri yapılmıştır. Haymana sıcak suları (THMK-1 ve THMK-2) ile Sabanca kaynağının (TPSS-2) SO₄ konsantrasyonları çok düşük olduğu için (4.24-8.04 mg/l) yeterince öktürölmemiş ve analize gönderilmemiştir.



şekil 3.3 Örneklerin pH değerlerinin bazık hale getirilmesi



Şekil 3.4 Örneklere BaCl₂ eklenmesi ve BaCO₃'ün çökmesi



Şekil 3.5 Çökelen BaCO₃'ün tüplere konulup numaralandırılması

Karahamzalı sıcak su örnekleri dışındaki suların tümünden 1 l, Karahamzalı suları için 5 l su örneği alınmıştır. Sıcak su örneklerine birkaç damla HgCl₂ ilave edilmiştir. Alınan örnekler MTA Analitik Kimya Laboratuvarlarında öncelikle pH değerleri 4'e inmesi için 10 N HCl eklenmiş (Şekil 3.6), daha sonra sulara BaCl₂ eklenerek suyun bileşiminde bulunan sülfatın BaSO₄ olarak çökmesi sağlanmıştır. Çökelen BaSO₄ tüplerde süzülerek sülfat çökelti ayrılmıştır (Şekil 3.7). Çökelti kuruduktan sonra toz haline gelen numune küçük tüplere konularak numaralandırılmış ve Kanada Waterloo Üniversitesi Çevresel İzotop Laboratuvarında analiz edilmiştir. $\delta^{34}\text{S}$, sudan çökeltilen BaSO₄ üzerinde Isochrom sürekli akış duraylı izotop kütle spektrometresi (Micromass) ve buna bütünleşik Carlo Erba element analizörü (CHNS-O EA 1108) ile ölçülmüştür.



Şekil 3.6 Sülfat çöktürmek için pH'nın 4'ün altına düşürülmesi ve sulara $BaCl_2$ eklenmesi



Şekil 3.7 $BaSO_4$ 'ın çöktürülmesi ve süzülmesi

Çalışma alanında yer alan sıcak su kaynaklarının radon gazı ölçümleri MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı Su Kimyası Laboratuvarında yapılmıştır. Toplanan su örneklerinin analizleri ertesi gün gerçekleştirilmiştir. Analiz için RAD 7 radon cihazının RAD H₂O aksesuarı kullanılmıştır (Şekil 3.8). Cihaz, havalandırmalı su şişesi, kurutucu tüpü ve imbik standı olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Ölçüm için cihazda hiç radon olmaması gerekmektedir. 10 dakika boyunca kurutma işlemi yapılmaktadır. Cihazda ölçümler her beş dakika çalışma ve bunu takiben beş dakika bekleme şeklinde toplam yarım saat boyunca yapılmıştır. Toplam dört döngüden sonra okumaların birikimli bir spektrumunu gösteren bir sonuç grafiği elde edilmiştir.



Şekil 3.8 Radon cihazı RAD7 H₂O cihazı

3.3 Büro Çalışmaları

Araziden derlenen bilgiler ve laboratuvarlardan gelen sonuçlar büro ortamında değerlendirilmiştir. Topoğrafik harita üzerine çizilen jeoloji haritaları Corel XV programı ile bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Jeotermal sahaların modellenmesi Q-GIS programı ile yapılmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin doygunluk indisi hesaplamaları PhreeqC for Windows programı ile yapılmış ve Excel programında grafikleri çizilmiş ve değerlendirilmiştir.

Sulara ait analiz sonuçlarının değerlendirmesi için AQQA ve AquaChem (Calmbach 1997) programları kullanılmış ve çeşitli grafikler elde edilmiştir. Sıcak suların jeotermometre hesaplamalarında Jeoterm (Doğdu 2005) programı kullanılmıştır.

4. JEOLojİ

4.1 Stratigrafi

Çalışma alanının temelini Karakaya formasyonuna ait Üst Permiyen-Alt Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş kayaçlar (TRk) oluşturur (Akyürek vd. 1982, 1996) (Şekil 4.1). Sarıoba kaynağının civarında Karahamzalı köyünün güneydoğusunda, Yenimehmetli köyünün kuzeybatısında ve Ilıca köyünün doğusunda yüzeyleyen (çok dar alanda yüzeylendiği için harita üzerinde gösterilmemiştir) metamorfikler metaçakıltası, metakumtaşı, metakıltası ve metavolkaniklerden oluşmuştur (EK 1-EK 3). Bu birimin üzerine uyumsuz olarak oturan Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları Sarıoba kaynağının kuzey ve doğusunda, Karahamzalı köyünün güneydoğusunda ve Ilıca köyünün güneydoğusunda yüzeilenmektedir. Sarıoba kaynağının doğusunda görülen Soğukçam kireçtaşları Üst Jura-Alt Kretase yaşlıdır. Rezervuar özellikte olan bu birimler çok kaba tabakalı, masif ve blok görünümlü, krem, kirli beyaz, açık gri renkli, kristalize kireçtaşları ve çörtlü kireçtaşları ile temsil edilmektedir. İncirli formasyonu kumtaşı, siltaşı, kumlu kireçtaşı, çakıltası ve marndan oluşmuştur (EK 2). Üst Kretase yaşlı birim Malıköy kaynağının kuzeybatısında dar bir alanda mostra verir. Birim tedrici şekilde resifal kireçtaşlarından yapılı Kapıkaya formasyonuna geçer. Tip kesit yeri Haymana dolayında görülen ve bu nedenle Haymana formasyonu olarak isimlendirilen birim fliš fasiyesinde olup kumtaşı-şeyl ardalanmasından meydana gelmiştir (Ünalın vd. 1976). Kumtaşı, kumlu kireçtaşı, çakıllı kireçtaşı, marndan oluşan Beyobası formasyonu tedrici şekilde Haymana formasyonu üzerine gelir.

Çağlayık sıcak su kaynağının yakınında yüzeyleyen granitler Paleosen yaşlıdır (Açıkgöz vd. 2006). Senozoyik çok sayıda litolojik birim ile temsil edilir. Çalışma alanındaki Paleosen yaşlı birimler yanall geçişli olarak yüzeylenen Kartal, Çaldağ ve Yeşilyurt formasyonları ile başlar. Kartal formasyonu çakıltası, kumtaşı, marn ve kireçtaşından, Çaldağ formasyonu ise resifal kireçtaşlarından oluşmuştur. Yeşilyurt formasyonu ise kiltası şeyl ardalanmasından meydana gelmiştir. Kartal formasyonu uyumlu olarak Kırkkavak formasyonu tarafından üzerlenir. Birim çakıltası, kumtaşı, kiltası, marn, kumlu kireçtaşı, killi kireçtaşı ve algli kireçtaşıdan oluşur. Kırkkavak formasyonu üzerine uyumlu olarak gelen Eosen yaşlı Ilgınlıkdere formasyonu ise çakıltası, kumtaşı, şeyl ardalanmasından oluşmuştur. Girmeç köyünün batısında ve Malıköy'ün doğusunda yüzeyleyen Alcı formasyonu volkanik kayalardan ve volkanitlerden türeyen kırıntılılardan oluşmuştur. Eskipolatlı formasyonu kumtaşı-şeyl ardalanmasından meydana gelir. Çayraz formasyonu ise kumlu kireçtaşı ve marndan oluşmuştur. Yamak formasyonu kumtaşı, marn ve çakıltasından yapıdır. Her üç formasyon da Eosen yaşlıdır (Ünalın vd. 1976, Akyürek vd. 1996, Uğuz vd. 2009, Bilgin vd. 2010). Abdüsselamdağ Volkanitleri olarak isimlendirilen birim gri, siyah renkli andezit, bazalt lavı ve yer yer volkanoklastiklerden oluşmaktadır. Haymana ilçesinin kuzeydoğusunda yüzeyleyen Yeniköy volkanitleri bazalt lav ve piroklastiklerinden meydana gelir. Alt-Orta Miyosen yaşlı Kumartaş ve Hançili formasyonları arasındaki dokanak uyumludur. Çağlayık kaynağı ve çevresinde yüzeyleyen Sarıoba formasyonu beyaz renkli killi kireçtaşı, çamurtaşı ve marndan oluşmaktadır. Formasyonun üst kesimlerinde jips bantları gözlenir. Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı genç çökeller ise Alagöz formasyonu olarak bilinir ve geniş alanlarda yüzeylenmektedir. Alagöz formasyonu çakıltası, kumtaşı, kiltası, tüfit, killi kireçtaşı ve jipsten meydana gelmiştir. Kuvaterner ise alüvyon ve traverten ile temsil edilmektedir. Akarsular boyunca çökelmiş olan alüvyon, kum, silt, çakıl ve kil boyutunda malzemeden meydana gelir. Sıcak sulardan çökelmiş olan travertenler Girmeç, Malıköy, Çağlayık, Karahamzalı, Sabanca ve Haymana sıcak su kaynaklarının yakınlarında yüzeylenir. Travertenler sınırlı alanlarda yüzeylendiği için haritalarda gösterilmemiştir.

4.1.1 Mesozoyik

4.1.1.1 Karakaya formasyonu (TRk)

Formasyon ilk olarak Bingöl vd. (1973) tarafından adlandırılmıştır. Sarıoba sıcak su kaynaklarının batısında (İ28-a2) Gavurören tepe ve Çataltepe civarında KD-GB doğrultusu boyunca görülür (EK 1). Malıköy kaynağının (İ28-b4) kuzey ve güneyinde Kızılağıl tepenin doğu-kuzeydoğusunda, Ada tepenin doğu ve kuzeyinde, Karakaya tepenin kuzeyinde ve Hamam tepede dar bir alanda, Alagöz köyünün güneyinde (İ28-c2) ve Çaltepe civarında yüzeyler (EK 2). Yenimehmetli köyünün 2 km batısında Seyitpınar mevkiinde (J28-a2) ve Ilıca köyünün doğusunda Demirözü köyü civarında da mostra verir (EK 3). Şistlerden oluşan formasyonun üst seviyelerine doğru metamorfizma derecesi azalmaktadır.

Sarıoba kaynaklarının batısındaki alanda yeşil, kahverengi, gri renkli olan birim kalkışist, killi şist ve mikaşistten oluşmuştur. Düşük dereceli yeşil şist fasiyesinde metamorfizmaya uğramış birimde şisti yapı belirgindir (Şekil 4.2, EK 2). Petrografik analizinde klorit şist olarak tanımlanan kayaç, granoporfiroblastik dokulu olup, kuvars, plajiyoklaz, klorit, muskovit, epidot ve opak minerallerinden oluşur (ŞT: 428072; 4416963). Kuvarlar özşekilsiz, dalgali sönmeli; plajiyoklazlar özşekilsiz olup, killeşmişlerdir. Kloritler lifsi yapıda olup, yeşil renklidirler. Muskovit mineralleri şisti dokuya paralel şekilde kloritlerin arasında bulunmaktadır.

Malıköy ve Alagöz köyleri civarında ise düşük dereceli metamorfizma geçirmiş metakumtaşı, metaçakıltası, metakıltası ve metavolkanitler görülür. İlksel halini çoğunlukla korumuş olan birim kahverengimsi gri renklidir. Alagöz köyünün güneyinde metamorfizma içerisinde Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları bulunmaktadır (EK 2). Gri, beyaz ve krem renkleri ile belirgin olan kireçtaşları tabakasız, kristalize ve çatlaklı olup çatlakları silis ve kalsit dolguludur.



Şekil 4.2.a.Sarıoba köyünün kuzeybatısında yüzeyleyen metamorfik kayalarındaki sistozite yapısı, b. düşük dereceli metamorfiklerin genel görünüşü (Resimde doğuya bakılmaktadır)

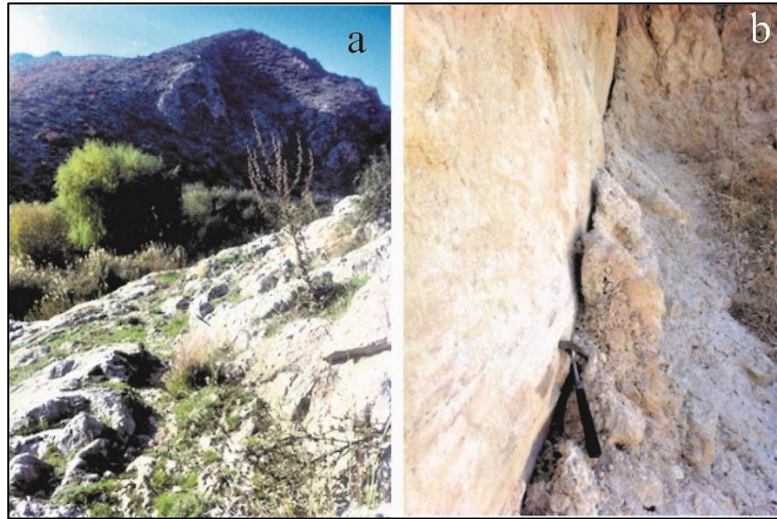
Yenimehmetli köyünün batısında ise yeşilimsi gri ve kahve renkli, düşük dereceli metamorfizma izleri taşıyan çakıltaşı, kumtaşı ve kilaşları yüzeilenmektedir (EK 3). Alt seviyelerde gözlemlenen kalkışist, mikaşist, killişist ve daha çok yer yer ilksel halini koruyan birim Akyürek vd. (1982, 1984, 1996) tarafından Emir formasyonu olarak isimlendirilmiş olup fosil bulgularına göre Alt Triyas yaşı verilmiştir (Akyürek vd. 1982, 1996). Alttaki seviye ile geçişli olan metakıltaşı, metasilttaşı, metakumtaşı ve çakıltaşı ile temsil edilen seviye ise Triyas yaşlı olup Elmadağ Formasyonuna karşılık gelmektedir (Akyürek vd. 1982).

Birimin alt dokanağı gözlenemediği için kalınlığı hakkında kesin bir şey söylemek mümkün değildir. Çalgın vd. (1973) tarafından Karışık Seri olarak adlandırılan birimin üzerine Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları ile daha genç birimler gelmektedir.

4.1.1.2 Bilecik kireçtaşı (JKb)

Bilecik kireçtaşı Sarıoba sıcak su kaynaklarının çıktığı alanda (İ28-a2), Müslümantepe ve Davlumbaz tepe ile Soğulcağın tepe civarında KB-GD doğrultusu boyunca uzanmaktadır (EK 1). Ayrıca, Malıköy sıcak su kaynakları civarında küçük mostralarda gözlenir (EK 2). Karagedik tepe, Kızılağıl tepe ve Çal tepe civarında (İ28 b4), Karahamzalı köyünün doğu ve güneydoğusundaki Çaldağ tepe, Kırmızıburun tepe (J28-a2), Karayanık tepe, Yıldızlıdağ (J28-a1), Ilıca köyünün güneydoğusunda (J28-b4) ve Haymana ilçesi civarında (J29-a1) yüzeylenir (EK 3-EK 4). Çok kaba tabakalı, masif görümlü bloklar şeklinde, krem, kirli beyaz, açık gri renkli, kristalize kireçtaşları ile temsil edilir (Şekil 4.3). Arada ince tabakalı kumlu kireçtaşları yer alır. Üste doğru tabaka kalınlığı artmaktadır. Kireçtaşları içerisinde yer yer çörtlü seviyeler de bulunmaktadır (Şekil 4.4).

Bilgin vd. (2010), birim içinde Üst Jura-Alt Kretase yaş aralığını veren fosiller tespit etmişlerdir. Çalışma sahası içerisinde yüzeyleyen birimin kalınlığı 100 m civarındadır. Şistler üzerine uyumsuz olarak gelen birim dikey ve yanal geçişli olarak Soğukçam formasyonuna geçer.



Şekil 4.3.a.Sarıoba sıcak su kaynakları çevresinde yüzeyleyen Bilecik kireçtaşları (Resimde güneybatıya bakılmaktadır). b. Yenimehmetli köyü kuzeybatısında yüzeyleyen Bilecik kireçtaşları (Resimde kuzeye bakılmaktadır.)



Şekil 4.4 Malıköy yakınlarında yüzeyleyen çörtlü seviyeler içeren Bilecik kireçtaşları

4.1.1.3 Soğukçam kireçtaşı (JKs)

Çalışma alanında Sarıoba sıcak su kaynaklarının kuzeydoğusunda Kazancıtepede (İ28-a2) civarında gözlenir (EK 2). Birim beyaz, pembe, krem rengi, çörtlü seviyeleri ile karakteristiktir. Alt ve yanal dokanağı Bilecik kireçtaşları ile uyumlu, üst dokanağı ise Elmalidere formasyonu ile geçişlidir. Bilgin vd. (2010), formasyonun kalınlığını 400 m ölçmüşlerdir. Aynı araştırmacılar formasyondan topladıkları fosil örneklerinin Üst Jura-Alt Kretase yaşlı olduğunu ve derin deniz ortamını temsil ettiklerini belirtmişlerdir.

4.1.1.4 İncirli formasyonu (Ki)

Alcı köyünün güney ve güneybatısında KD-GB doğrultusu (İ28 b3) boyunca dar bir alanda yüzeyleyen İncirli formasyonu kırmızı rengi ile karakteristiktir (EK 2). Birim kırmızı renkli kumtaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşı, çakıltaşı ve marnlardan oluşur. Bilecik formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen birim uyumlu olarak Kapıkaya kireçtaşına geçer. Fosil içeriğine göre Üst Kretase yaşı verilen formasyon 30 m kalınlıktadır (Bilgin vd. 2010).

4.1.1.5 Kapıkaya formasyonu (Kk)

Formasyon ilk kez Koçyiğit ve Lünel (1987) tarafından bu isimle anılmıştır. İnceleme alanında Malıköy sıcak su kaynağının kuzeyinde Kızılağıl tepe, Ada tepe (İ28-b4) ve Alcı köyünün güneydoğusundaki Çal tepe (İ28-b3) civarında gözlenir (EK 2). Bölgesel olarak çeşitli kaya birimleri ile temsil edilen formasyon, Malıköy kuzeyinde rekristalize resifal kireçtaşları ile karakteristiktir. Başta rudist olmak üzere bol fosil içerikli, bordo renkli ve oldukça silisleşmiştir. Bol kırık ve çatlaklı olup, bazen çatlaklar kalsit tarafından ikincil olarak doldurulmuştur. Kırmızımsı bordo renkleri ile arazide kolayca ayırt edilebilir (Şekil 4.5, EK 3). Fosil içeriğine göre Üst Kretase (Maastrichtiyen) yaşı verilen birimin kalınlığı 30-50 m arasında değişmektedir (Bilgin vd. 2010).



Şekil 4.5 Kapıkaya formasyonu kireçtaşları ve üzerine uyumsuz olarak gelen Alagöz formasyonu (Resim kuzeybatıya bakmaktadır)

4.1.1.6 Haymana formasyonu (Kh)

Kumtaşı ve şeyl aralanmasından oluşan fliş fasiyesindeki birim Alagöz köyünün kuzeyinde (İ28-b3) ve Beyobası köyü (İ28 c1) civarında ve ayrıca Haymana ilçesi ve çevresinde geniş bir alanda (J 28-b2 ve J29 a1) yüzeylenmektedir (EK 2 ve EK 4). Gri-

yeşil rengi ile kolaylıkla ayırt edilen birime ait kumtaşları ise gri renkli, ince-orta tabakalı olup iyi çimentolanmıştır. Yeşilimsi gri renkte gözlenen şeyller ise ince tabakalıdır (Şekil 4.6). Alt dokanağı Elmalı formasyonu ile üst dokanağı da Beyobası formasyonu ile geçişlidir. Ünalın vd. (1976) tarafından tip kesit yerinde formasyonun kalınlığı 1842 m olarak ölçülmüştür. Değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda birimin yaşı Üst Kretase olarak belirlenmiştir (Ünalın vd. 1976, Gönenç 1978, Bilgin vd. 2010).



Şekil 4.6 Haymana güneydoğusunda yüzeyleyen Haymana formasyonu içindeki kumtaşı-şeyl ardalanması (Resimde güneydoğuya bakılmaktadır)

4.1.1.7 Beyobası formasyonu (Kb)

Temelli'nin güneyindeki Beyobası (İ28-c1) ve Haymana'nın batısındaki Çaldağ (J28-b2) civarında yüzeyleyen birim kumtaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşı, çakıltaşı ve marn litolojilerinden oluşur (EK 4). Kahverengi-sarı rengin hakim olduğu birimde tabakalar ince-orta kalınlıktadır. Alt dokanağı Haymana formasyonu ile geçişli olan birimin üzerine uyumlu olarak Kartal formasyonu gelir. Ünalın vd. (1976) ölçülü kesitlerinde 125 m kalınlık ölçmüşlerdir.

4.1.2 Senozoyik

4.1.2.1 Kartal formasyonu (Tpk)

Karahamzalı köyü çevresi (J28-a2), Sabanca, Sarıhalil ve Kavakköy (J28-a2, J28-b1, b2, b3) dolaylarında KB-GD doğrultulu bir antiklinalin çekirdek kısmında da (Bilgin vd. 2010) gözlenir (EK 3). Haymana ve civarında da (J29 a1) yüzeyleyen birim kırmızı-bordo rengiyle kolaylıkla ayırt edilmektedir (EK 4). Kartal formasyonu çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşur. İçindeki çakıltası seviyeleri kalın tabakalı olup iyi çimentolanmıştır. Çakıllar birimin kendinden yaşlı rekristalize kireçtaşı, metamorfik ve volkanik kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kumtaşı seviyeleri orta-ince katmanlı iken çamurtaşı seviyeleri ise ince tabakalıdır.

Fosil içeriğine göre Paleosen olarak yaşlandırılan birim (Bilgin vd. 2010) altta Beyobası formasyonu üst kısımda ise Kırkkavak formasyonu ile uyumludur. Birimin kalınlığı 1362 m olarak ölçülmüştür (Ünalan vd. 1976). Karahamzalı köyü kuzeydoğusunda ve Ilıca köyünün doğusunda formasyonun üstüne tektonik dokanakla Bilecik kireçtaşları gelmektedir.

4.1.2.2 Çaldağ formasyonu (Tpç)

Adını Haymana ilçesinin batısında yer alan Çaldağ'dan (J28-b2) alan formasyon Ördekgölü köyünün doğusunda (J28-b3, b4) geniş alanlarda yüzeyleyir (EK 4). Birim beyaz, kirli beyaz renkli kireçtaşından oluşmaktadır (Şekil 4.7). Üste doğru kireçtaşı seviyelerinin arasında gri renkli marnlı seviyeler göze çarpar. Alg ve bryzoa parçaları içeren birimin yaşı Paleosen'dir (Ünalan vd. 1976, Bilgin, 2010). Çaldağ'da kalınlığı 1187 m olarak ölçülen (Ünalan vd. 1976) birim Kartal ve Yeşilyurt formasyonları ile yanal geçişlidir.



Şekil 4.7 Haymana'nın batısında Çaldağ'da yüzeyleyen Çaldağ formasyonu (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)

4.1.2.3 Yeşilyurt formasyonu (Tpy)

Haymana civarında (J28-b2, J29-a1) yüzeyleyen Yeşilyurt formasyonu yeşilimsi kahve renkli ve yer yer siyah renkli kiltası, silttaşı ve marnlı seviyelerden oluşmuştur (EK 4). İnce tabakalı olan birim içerisinde değişik boyutta kireçtaşı parçaları da gözlenir (Şekil 4.8). Alt dokanağı Haymana formasyonu üst dokanağı ise Kırkkavak formasyonu ile uyumludur. Çaldağ ve Kartal formasyonları ile yanal geçişlidir. Birimin kalınlığı Yeşilyurt köyünde 342 m ölçülmüştür (Ünalan vd. 1976). Bentik fosil içeriğine göre birime Paleosen yaşı verilmiştir.



Şekil 4.8.a.Haymana'nın kuzeybatısında Yeşilyurt formasyonunun kıltaşı-silttaşı seviyeleri ve ince kireçtaşı tabakaları (Resimde batıya bakılmaktadır) b. formasyonun içindeki kireçtaşlarının yakından görünüşü

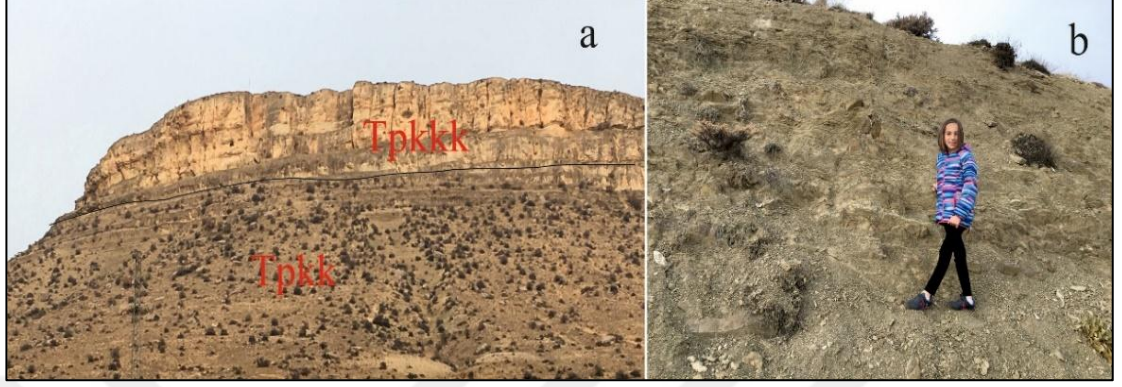
4.1.2.4 Kırkkavak formasyonu (Tpek)

Birim, Haymana ilçesi ve çevresinde (J28 b2, J 29-a1) ve Yenimehmetli-Karahamzalı köyleri çevresinde (J28 a2) gözlenir (EK 3 ve EK 4). Antiklinal ve senklinal kanatlarında (Bilgin vd. 2010) gözlenen birim çakıltaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşından oluşmuştur (Şekil 4.9). Kendinden yaşlı formasyonları uyumlu olarak örten birim üzerindeki Ilgınlıkdere formasyonu ile de uyumludur. Yaşı Üst Paleosen-Alt Eosen olarak tanımlanan formasyonun kalınlığı 631 m'dir (Ünalan vd. 1976).

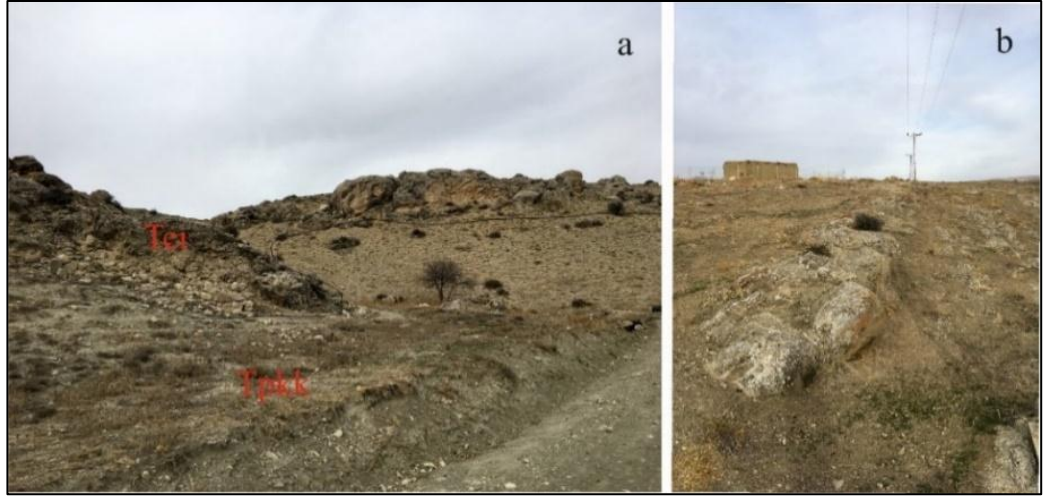
4.1.2.5 Ilgınlıkdere formasyonu (Tpei)

Formasyon Karahamzalı-Haymana arasında geniş alanlarda yüzeylenir (EK 3 ve EK 4). Çakıltaşı, kumtaşı, şeyl ve marn ardalanmasından oluşan birimin üst seviyelerine doğru şeyl bolluğu artar. Kendinden yaşlı birimlerden türeyen çakıltaşları kötü boylanmalıdır. Tip kesit yerinde 350 m kalınlık ölçülen birime pelajik fosillerden yararlanılarak

İlerdiyen yaşı verilmiştir (Ünalan vd. 1976). Alt dokanağı Kırkkavak formasyonu, üst dokanağı ise Eskipolatlı , (Şekil 4.10).



Şekil 4.9.a.Karahamzalı köyünün kuzeyinde, Kırkkavak formasyonu ve kireçtaşı üyesi (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır) b. Kırkkavak formasyonunun kumtaşı-marn seviyeleri



Şekil 4.10.a.Haymana'nın güneybatısında Kırkkavak formasyonu ve üzerine uyumlu olarak gelen Ilgınlıkdere formasyonu (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır) b. Ilgınlıkdere formasyonu içindeki kumtaşı tabakaları (Resimde kuzeye bakılmaktadır)

4.1.2.6 Alcı formasyonu (Tpea)

Volkanosedimanter özellikte olan formasyonun tabanında volkanitler, üste doğru ise volkanitlerden türeyen kırıntılı kayaçlar ve aglomeratik seviyeler gözlenir. Formasyon Girmeç köyünün batısında ve Güreş köyü güneyindeki Çile Dağ'da (İ 28-a3 ve b4) ve ayrıca Alcı ve Türkobası köyleri (İ28 a3 ve a4) çevresinde yüzeyleir (EK 2). Girmeç batısında volkanik özellikte olan birim gri, siyah renkli tefrit, lösit fonolit, tefritik fonolit, lösitit ve andezitik bileşimli lav ve piroklastik malzemedan oluşmuştur (Dönmez vd. 2009) (Şekil 4.11a).

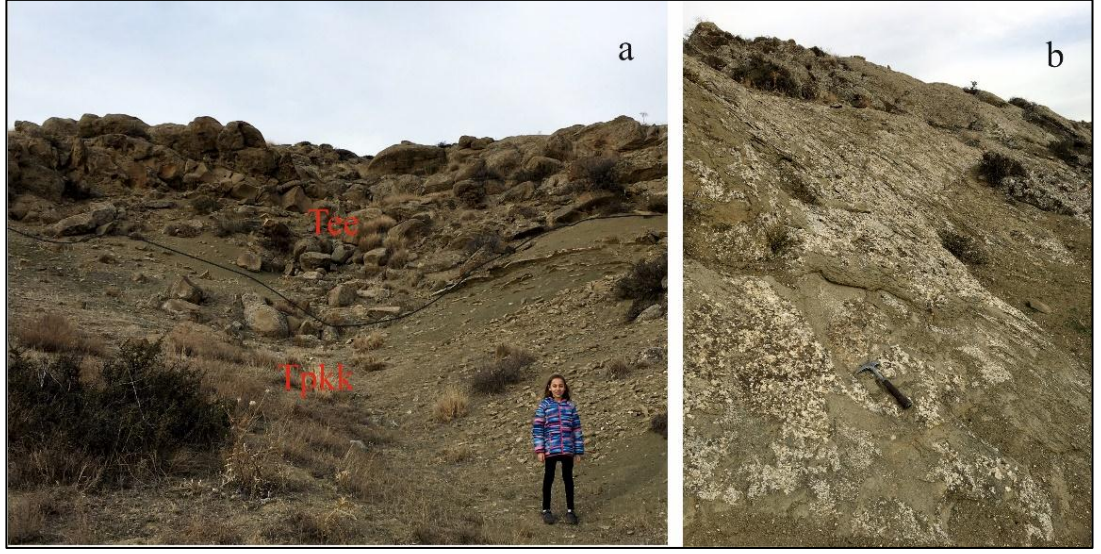
Girmeç köyünün güneyinde Girmeç sıcak su kaynağının çıktığı yerden alınan kayacın petrografik analizinde kayacın hipokristalin porfirik dokuda olduğu, piroksen, feldispat ve plajiyoklaz minerallerinden oluştuğu belirlenmiştir (GV: 438250; 4406970). Plajiyoklazlarda karbonatlaşma ve killeşme şeklinde alterasyon meydana gelmiştir. Güreş köyünün güneyinde Kabaldede tepeden alınan lav örneği ise tefritik bileşimdedir. Porfirik dokulu kayaç, piroksen, feldispatoyid ve plajiyoklaz minerallerinden oluşmaktadır. Plajiyoklaz minerallerinin karbonatlaştığı ve killeştiği belirlenmiştir. Alcı köyü civarında ise kırıntılı ve piroklastik ürünler görülür (Şekil 4.11b). Dönmez vd. (2009) volkanitleri, Girmeç volkanitleri olarak isimlendirmişler ve bunların yay magmatizmasının son evre alkali ürünü olduğunu belirtmişlerdir. Aynı araştırmacılara göre volkanitlerin yaşı 57.4 ± 2.3 milyon yıldır.



Şekil 4.11.a.Girmeç köyünün güneybatısında, Alcı formasyonu içerisindeki volkanik birimler (Resimde kuzeye bakılmaktadır), b. Malıköy'ün doğusunda, volkanosedimanter çökeller (Resimde güneybatıya bakılmaktadır)

4.1.2.7 Eskipolatlı formasyonu (Tee)

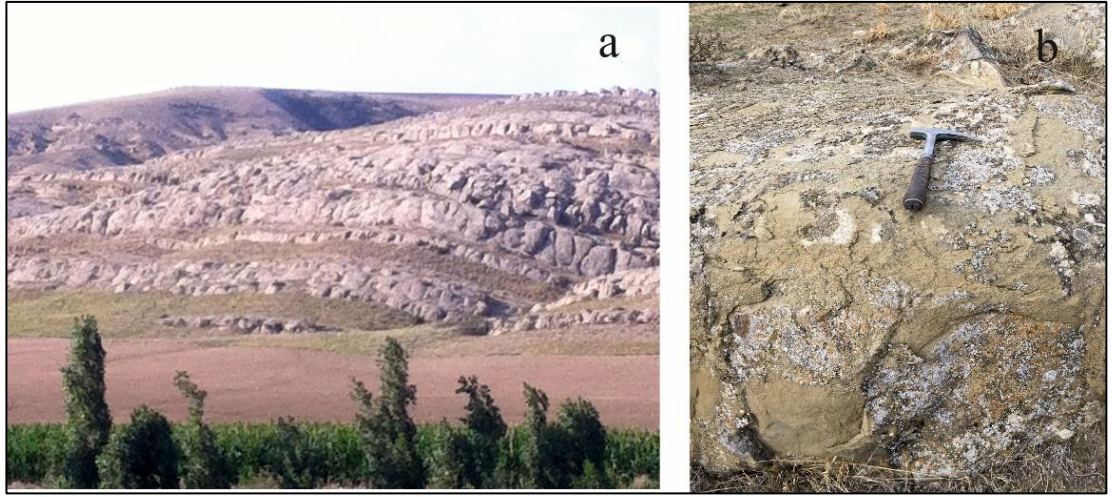
Eskipolatlı formasyonu Karahamzalı köyü çevresinde (J28-a2), Haymana ilçesi çevresinde (J29-a1, J28-b2), Karapınar, Kavakköy ve Evliyafakı köyleri (J28-c1, c2) civarında yüzeylenir (EK 3-EK 4). Sarımsı kahverenkli olan birim çakıltaşları ile başlar, üste doğru şeyl ve kumtaşı bantları barındırır (Şekil 4.12). Daha üst seviyelerde kumtaşları kaybolmakta, ince kireçtaşı bantları ortaya çıkmaktadır (Ünalan vd. 1976, Bilgin vd. 2010). Birimin alt ve üst dokanakları uyumludur. İçerisinde yer alan Nummulit ve diğer fosil tanımlamaları ile erken Eosen yaşı verilmiştir (Ünalan vd. 1976, Bilgin vd. 2010). Birimin kalınlığı çeşitli noktalarda 311 m, 343 m ve 567 m olarak ölçülmüştür (Ünalan vd. 1976).



Şekil 4.12.a.Kırkavak formasyonu ve Eskipolatlı formasyonu dokanağı (Resimde batıya bakılmaktadır), b. Eskipolatlı formasyonu içerisindeki kumtaşı tabakaları

4.1.2.8 Çayraz formasyonu (Teç)

Çayraz formasyonu Haymana kuzeyinde Çayraz köyü çevresinde (J29-a1) ve Yeşilyurt köyü kuzeyinde (J28-b2) yüzeylenir (EK 4). Kumlu kireçtaşı, marn, kumtaşı araldanmasından oluşur. Kumtaşları bej renkli olup, kalın tabakalıdır. Üst seviyelere doğru marnlara geçiş gösterir (Şekil 4.13). Bol nummulites fosili içeren birimin yaşı Eosen'dir. Alt dokanağı Eskipolatlı ile uyumlu, üst dokanağı ise Neojen yaşlı çökeller tarafından uyumsuz olarak örtülmüştür. Yanal olarak da Beldede ve Yamak formasyonları ile geçişlidir (Ünalın vd. 1976, Bilgin vd. 2010).



Şekil 4.13 Gölbaşı-Haymana yolu üzerinde, Çayraz formasyonu kumtaşlarının a. genel, b. yakından görünümü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır.)

4.1.2.9 Yamak formasyonu (Tey)

Yamak formasyonu Haymana'nın güneyinde Yamak, Demirözü ve Gedikli köyleri (J28-b3, b4, c1, c2) civarında geniş bir alanda yüzeyleir (EK 4). Tabanda bordo renkli çakıltaşları ile başlayan birim (Bilgin vd. 2010) çakıltaşı-kumtaşı ardalanması ile devam eder. Üst seviyeler ise kumtaşı-marn ardalanması şeklindedir. Ünalın vd. (1976) tarafından yapılan ölçümlerde 1034 m kalınlık belirlenmiştir. Lütésiyan yaşı birimin, alt dokanağı Eskipolatlı formasyonu ile uyumludur. Üst dokanağı ise Alagöz formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir.

4.1.2.10 Kumartaş formasyonu (Tmk)

Kumartaş formasyonu Girmeç sıcak su kaynağının batısında Poyraz köyü civarında (İ28 b4-a3) ve Malıköy'ün kuzeyindeki Tekkeköy (İ28- b1-b2) dolayında yüzeyleir (EK 2). İlk defa Akyürek vd. (1980) tarafından adlandırılan birim çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı, kıltaşı, tuf ve killi kireçtaşından oluşmuştur. Çakıltaşları kötü boylanmalıdır. Kumtaşları karbonat ve kil çimento ile tutturulmuştur. Volkanitlerle olan alt dokanağı uyumsuzdur. Yanal ve dikey olarak Hançili formasyonu ile uyumlu olan (Bilgin vd. 2010) formasyon Alt-Orta Miyosen yaşındadır.

4.1.2.11 Haçili formasyonu (Tmh)

Haçili formasyonu çalışma alanının batı kesiminde; ağlayık sıcak su kaynağının batısında (İ27-b2, b3), Sarıoba sıcak su kaynaklarının kuzey ve güneyinde (İ28 a2-a3), Güreş, Bacıköy ve imenceğiz köyleri civarında (İ28-c1,c2), Girmeç ve Malıköy kaynakları civarında (İ28 b3-b4) yüzeylenir. Doğuda ise; Karahamzalı köyünün güneyinde (J28 c4) gözlenir. İlk defa Akyürek vd. (1982) tarafından adlandırılan birim çakıltaşı, kumtaşı, kilitaşı, şeyl, killi kireçtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve piroklastik arakatkıları ile temsil edilir.

Birim alt seviyelerinde kırmızı, bordo rengi ile karakteristik çakıltaşı ve çamurtaşı ile başlar. Üst seviyeler ise genelde gri, beyaz renge sahip orta-kalın ve çapraz tabakalı kumtaşları ile devam eder (Şekil 4.14). Killi kireçtaşları beyaz gri renkli, orta-kalın tabakalı olup yer yer çört içerirler. Birim ince tabakalı gri, yeşil renkli kilitaşları ve beyaz renkli daha çok ince taneli döküntü çökelleri ile yer yer kömür bant ve mercekleri de içerir. Alt seviyelerde kumtaşları ile ardalanmalı olarak silttaşı ve çamurtaşları gözlenir.

Birim üzerine uyumlu olarak Alagöz formasyonu gelir. Fosil bulgularına göre Türkecan vd. (1991) Alt Miyosen, Akyürek vd. (1996) ise Serravaliyen-Tortoniyen yaşını önermişlerdir. Kaymakçı (2000) ise yine fosil içeriğine göre birimin 18.0-15.2 my (Erken-Orta Miyosen) yaşlı olduğunu savunmuştur. Bu veriler ve stratigrafik konumu dikkate alınarak bu çalışmada Alt-Orta Miyosen yaşı benimsenmiştir.



Şekil 4.14 Sarıoba köyünün güneydoğusunda, Hançili formasyonunun genel görünümü (Resimde kuzeydoğuya bakılmaktadır)

4.1.2.12 Sarıoba formasyonu (Tms)

Sarıoba formasyonu Çağlayık kaynağının civarında (İ27-b3), Sarıoba ve Oğuzlar köyü (H 28a1-a2, a4) çevresinde yüzeyleir (EK 1). Formasyon tabanda çakıltaşı, kumtaşı, kıltaşı, kil, marn, çakıl, kumlu kireçtaşı, üst seviyelerinde ise jips ve yer yer piroklastik ara seviyeleri ile temsil edilir. Çakıltaşları gevşek tutturulmuştur. Birimin genel rengi kirli beyaz, killi seviyeleri açık yeşilimsi renklidir (Şekil 4.15). Havza kenarlarında delta çökelleri ile karakteristik olan birim akarsu ve göl fasiyesinde oluşmuştur. Kalınlığı 250-300 m civarında olan birimin üst seviyelerinde yer yer kalın jips bantları (Şekil 4.16) gözlenir (Bilgin vd. 2010). Üst Miyosen yaşında olan birim Türkecan vd. (1991) tarafından tanımlanan Uruş formasyonu ile deneştirilebilir. Fosil bulgularına dayanılarak Üst Miyosen yaşı verilmiştir (Türkecan vd. 1991).



Şekil 4.15 Sarıoba formasyonunun genel görünümü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)

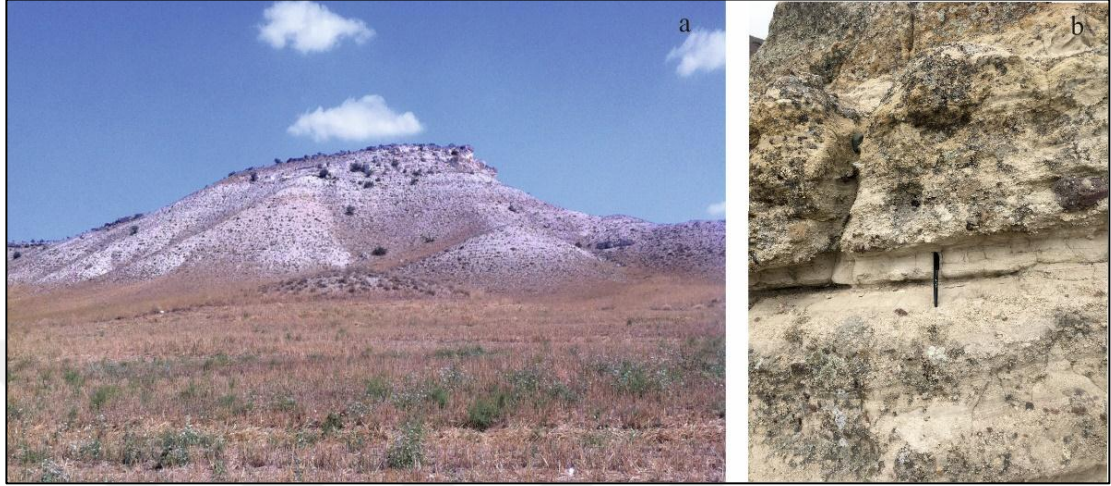


Şekil 4.16 Sarıoba formasyonu jipsli seviyeler (Sarıoba-Çağlayık yolu üzeri)

4.1.2.13 Alagöz formasyonu (Tm_{pa})

Alagöz formasyonu Malıköy ve Girmeç köyleri dolayında, Temelli çevresinde (H28-b3-b4, c1-c2, İ28c1-c2, c3, c4), Yenimehmetli, Hacımuslu, Karabenli, Sabanca ve Ilıca köyleri (J28-a1, a2, a3, a4, b1, b2), Haymana'nın kuzeyinde (J29-a1) yüzeylenir (EK 1-EK 4). Bilgin vd. (2010) tarafından tanımlanan birimin en iyi görüldüğü yer Alagöz köyü civarındır. Kalınlığı 70 m civarında olan birim (Bilgin vd. 2010) Üst Miyosen-

Pliyosen yaşıdır. Formasyon krem renkli, yatay tabakalı çakıltası, kumtaşı, marn ve çamurtaşından oluşur (Şekil 4.17). Çakıltası ve kumtaşlarının çimentosu kil ve karbonattan ibarettir. Kendinden yaşı birimleri uyumsuz olarak örter.



Şekil 4.17.a.Alagöz formasyonunun genel görünümü (Ilica kaynağı kuzeyi, resimde doğuya bakılmaktadır) ve b. Formasyon içerisindeki kiltası seviyeleri

4.1.2.14 Karaahmet formasyonu (TpQk)

Karaahmet formasyonu Karaahmet köyü çevresinde (H28-a3-a4) ve Ankara çayı kenarında yüzeylenir (EK 1-EK 2). Birim ilk defa Bilgin vd. (2010) tarafından tanımlanmıştır. Çakıltası, çamurtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur. Çakıltaları iyi tutturulmamış olup, kanal dolgusu biçiminde çökelmişlerdir (Şekil 4.18). Birim kendinden yaşı formasyonların üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Stratigrafik konumuna göre Geç Pliyosen-Erken Pleyistosen yaşı verilmiştir (Bilgin vd. 2010).



Şekil 4.18 Karaahmet formasyonu içindeki çakıltaşı seviyeleri (Sarıoba sıcak su kaynaklarının güneyi)

4.1.2.15 Alüvyon (Qal)

Ovaların oluşturduğu geniş düzlüklerde ve akarsu çevrelerinde dağılım gösteren birim kum, silt ve çakıl boyutunda malzemedен oluşur. Birim ovalarda 100 m'den fazla kalınlığa erişebilir.

4.1.2.16 Traverten (Qtr)

Sıcak sulardan çökelmiş travertenler Çağlayık (İ27-b3), Girmeç (İ28-b4), Malıköy (İ28-b4), Karahamzalı (J28-a2) ve Sabanca sıcak su kaynakları (J28-b1) ve Haymana (J29-a1) çevresinde yüzeyleyir (EK 1-EK 4). Ancak dar alanlarda yüzeyleyen travertenler haritalanamamıştır. Sıcak suların bileşiminde bulunan karbonatlı minerallerin yüzeye ulaştıklarında, bileşiminde bulunan CO₂ in serbest hale geçmesi sonucu karbonat mineralleri çökerek travertenleri oluştururlar.

Çağlayık travertenleri sarımsı kahverenkli olup, bol gözeneklidir (Şekil 4.19). Travertenler üzerinde suyun akma izleri rahatlıkla gözlenir. Granitlerin kırk ve

çatlakları boyunca sızıntı şeklindeki boşalımalar yeni traverten oluşumlarını sağlamaktadır.



Şekil 4.19 Çağlayık sıcak su kaynağının oluşturduğu traverten oluşumlarının yakından görünüşü (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)

Girmeç kaynağının travertenleri koyu kahverenkli olup, yaklaşık 3 m kalınlığa sahiptir (Şekil 4.20). Blok görünümünde olan traverten kaynağın doğusunda yüzeylemektedir. Bu durum tektonik faaliyetlerin halen devam ettiğini, kaynağın tektonizmanın etkisiyle yer değiştirdiğini ve yeni traverten oluşumlarının meydana geleceğini işaret etmektedir. Malıköy kaynağı civarında da traverten çökelleri bulunmaktadır. Kaynağın hemen kuzeybatısında yer alan taşocağı çalışmaları nedeniyle travertenin boyutları tam olarak belirlenememiştir. Sarı ve bej renkli olan traverten kalıntıları içinde boşluklu seviyeler de gözlenmiştir. Taş ocağı çalışmaları nedeniyle travertenin kalınlığı ve yayılımı hakkında bilgi edinilememiştir. Ancak eski çalışmalarda travertenin kalınlığının 25-30 m civarında olduğu belirtilmiştir (Canik, 1972).



Şekil 4.20 Girmeç sıcak su kaynağının çökelttiği travertenler

Karahamzalı sıcak su kaynakları civarında geniş bir yayılıma sahip traverten çökelimleri yüzeylenmektedir (Şekil 4.21). Gri, beyaz renkli olan birim kalın tabakalı ve masif bir görünüm sunmaktadır. Bindirme hattı ve kırık-çatlaklar boyunca boşalım yapan kaynakların çevresinde yeni traverten oluşumları belirlenmiştir.



Şekil 4.21.a.Karahamzalı sıcak su kaynağı eski, b. Yeni traverten çökelleri

Sabanca kaynağının hemen batısında yüzeyleyen traverten dar bir alanda yüzeylenmekte olup, kalınlığı 25-30 m civarındadır (Şekil 4.22). Sarımsı renkli olan birim orta tabakalıdır.



Şekil 4.22 Sabanca kaynağı travertenleri

Haymana ilçesinin içerisinde yer alan travertenler gri renklidir (Şekil 4.23). 25-30 m kalınlığı olan masif görünümlü travertenlerde suların akma izleri gözlenmektedir.



Şekil 4.23 Haymana sıcak su kaynaklarının çöktüğü travertenler

4.1.3 Magmatik Kayaçlar

4.1.3.1 Granitoidler (Tpg)

Çalışma alanındaki granitoidler birçok araştırmacı tarafından bölgesel ölçekte değişik isimler altında incelenmiştir. Genel olarak granit, granodiyorit, diyorit ve alkali feldispat granitlerle temsil edilen birim inceleme alanında Çağlayık jeotermal alanının batısında ve Çağlayık Çiftliği çevresinde yüzeylenir (İ27-b3, b4, EK 1).

Granitoidler, holokristalin porfiri dokuda olup iri kristalli ortoklaz mineralleri içermektedir (ÇG: 408576; 4408417). Hamurda plajiyoklaz, amfibol (hornblent), kuvars, piroksen (ojit), biyotit ile az miktarda apatit ve bol miktarda titanit gözlenir. Plajiyoklazlar andezin, oligoklaz-andezin karakterindedir ve çoğunlukla kil minerallerine ve yer yer de kalsit ve serisite dönüşmüştür. Biyotitler tamamen kloritleşmiş, ojitler ise amfibole dönüşmüşlerdir. Granitler yer yer damar kayaçları tarafından kesilmektedir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24 Granit-andezit dokanağı (resimde doğuya bakılmaktadır)

Tez sahası dışında kalan Dikmen Köyü civarındaki (H28 d4) granodiyoritten $69,1 \pm 2,7$ My tüm kayaç yaşı, hornblentten ise $71,1 \pm 2,7$ My yaş elde edilmiştir (Açıkgöz vd. 2006). Yine çalışma alanı dışında kalan Dutlu Hamamı civarındaki alkali feldispat granitlerden $60,3 \pm 2,5$ My tüm kayaç yaş verisi alınmıştır. Çobanhamamı jeotermal alanının güneyinde granitoyidleri kesen dasitlerden (H28 d3) $69,1 \pm 2,6$ My ve Gavurbükü Tepe Mevkiindeki andezitlerden ise $68,6 \pm 2,7$ My yaş elde edilmiştir (Açıkgöz vd. 2006). Birimin kalınlığı hakkında kesin bir bilgi mevcut değildir. Granitoyidler, Helvacı ve Bozkurt'un (1992) Beypazarı graniti, Zoroğlu ve Kadioğlu'nun (2004) Oymaağaç granitoyidi ile denestirilebilir.

4.1.3.2 Abdüsselamdağ volkanitleri (Teav)

Abdüsselamdağ Volkanitleri Malıköy sıcak su kaynağının kuzeyinde Yukarıgedik tepe ve Ada tepede, Türkobası köyünün kuzeyinde (İ28-b3) Kara tepe ve Toklukaya tepe civarında gözlenir (EK 2). Bilgin vd. (2009) tarafından isimlendirilen birim gri, siyah renkli andezit, bazalt bileşimli lav ve yer yer volkanoklastiklerden oluşmaktadır. Yukarıkaragedik tepeden alınan kayaç örneğinin (AV: 445861; 4407048) petrografik analizleri kayacın bazalt olduğunu göstermiştir. Kayaç hipokristalin porfirik dokuya sahip olup, plajiyoklaz, piroksen ve az miktarda olivin mineralleri içermektedir. Plajiyoklazların altere olduğu yerlerde killeşme ve serizitleşme görülmektedir. Olivin minerallerinde de alterasyon sonucu iddingsitleşme gelişmiştir. Alt dokanağı gözlenememiş olan birimin kuzeyde Abdüsselam dağlarında 500 m kalınlığa kadar ulaştığı belirtilmiştir (Anonim 2014). Erken-Orta Miyosen yaşlı Hançili formasyonu tarafından uyumsuz olarak örtülen volkanitlerin Orta Eosen yaşlı olduğu kaydedilmiştir (Dönmez vd. 2009).

4.1.3.3 Hançili formasyonu volkanit üyesi (Tmhv)

İnceleme alanında volkanik kayaçlar Çiledağ'ın güneyinde Poyraz ve Şabanözü köyleri civarında (İ28-a3) yüzeylenirler (EK 2). Koyu siyah renkli olan birim petrografik analiz sonucu olivin bazalt olarak tanımlanmıştır (HV: 433641; 4403637). Hipokristalin porfirik dokuya sahip olan kayaç örneği plajiyoklaz, olivin ve piroksen minerallerinden

oluşmuştur. Polisentetik ikizlenme tespit edilen plajiyoklaz minerallerinde alterasyon serisitleşme ve killeşme şeklindedir. Olivin minerallerinde talklaşma ve karbonatlaşma gelişmiştir. Dönmez vd. (2009), volkanit birimlerin bölgede Hançili formasyonu ile ardalanmalı ve bazı yerlerde formasyonu kesmiş şekliyle gözlemlendiğini belirtmişler ve bu ilişkiden dolayı birimin Alt-Orta Miyosen yaşlı olduğunu savunmuşlardır.

4.1.3.4 Yeniköy volkaniti (Teyv)

Yeniköy Volkaniti Haymana'nın kuzeydoğusunda Çayraz ve Yeniköy arasında (J29-a1) yüzeylenir (EK 4). Birim bazalt, olivin bazalt bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşmuştur (Şekil 4.25). Tez çalışması kapsamında Çayraz köyü yakınından alınan örneğin petrografik analizi sonucunda kayacın hipokristalin porfirik dokulu olduğu ve plajiyoklaz, piroksenden ve az miktarda olivin mineralinden meydana geldiği tespit edilmiştir (YV: 465305; 4369414) . Polisentetik ikizlenme gösteren plajiyoklazlarda killeşme ve serisitleşme şeklinde alterasyon belirgindir. Dönmez vd. (2009) tarafından Malıköy-Girmeç civarında yüzeyleyen Abdüsselamdağ Volkanitleri ile aynı özellikte olduğu belirtilen birimin yaşı Orta Eosen'dir.

4.2 Yapısal Jeoloji

Paleozoyik'ten başlayarak günümüze kadar uzanan jeolojik tarihçeye sahip olan Türkiye, Alp-Himalaya dağ kuşağında yer alır. İnceleme alanını da içine alan Orta Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin beş Neotektonik bölgesinden birisidir ve Orta Anadolu Ova Bölgesi olarak tanımlanmıştır (Şengör 1980, Şengör ve Yılmaz 1983). Pontid tektonik birliğinin batısındaki Orta Sakarya bölümünde yer alan inceleme alanı KB-GD doğrultulu sıkışma tektoniğinin etkisinde kalmıştır. Çalışma alanında sıcak su kaynakları ile ilgili gözlenen önemli tektonik yapılar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.25 Yeniköy volkanitlerini oluşturan bazaltlar

4.2.1 Faylar

Sarıoba sıcak su kaynaklarının yüzeye çıkmasında, KD-GB doğrultulu sağ yönlü oblik atımlı fayın etkisi vardır (Şekil 4.26, EK 1). Doğrultu atımlı fay Ankara çayının da yön değiştirmesine neden olmuştur. Fay boyunca doğrultu atım izleri, kayma çizikleri ve fay kili gözlenmektedir.



Şekil 4.26 Sarıoba sağ yönlü oblik atımlı faya a. ait yanal fay çizikleri, b. fay

Çağlayık sıcak su kaynağı KB-GD ve KD-GB doğrultulu iki adet eğim atımlı fayın kesişme noktasından boşalım yapmaktadır (EK 1). Sızıntı şeklindeki boşalım yapan kaynakların bazıları granit-andezit dokanağının (Şekil 4.27) zayıf zonlarından çıktıkları tespit edilmiştir. Türkmen (2008), Çağlayık sıcak su kaynağı (Karacaahmet sıcak su kaynağı) çevresindeki granite ait eklem takımlarının doğrultu ve eğimlerini KG/35D, K40D/33KB, K10B/90, DB/90 ve K40B/50GB şeklinde kaydetmiştir. Ayrıca, Canik (1970) sahanın kuzeyindeki Ayaş İçmeceleri civarındaki granitlerde 258 adet eklem sistemi ölçerek bunların ana doğrultusunun K30°-50°B olduğunu ortaya koymuştur. Diker vd. (2006) ise Kapullu hamamı çevresinde yüzeyleyen granitoidlerde 250'ye yakın süreksizlik düzleminde ölçüm yaparak Kapullu fayının K55°-72°D doğrultulu ve 78°GD'ya eğimli olduğunu belirtmiştir.



Şekil 4.27 Granit-andezit dokanağı

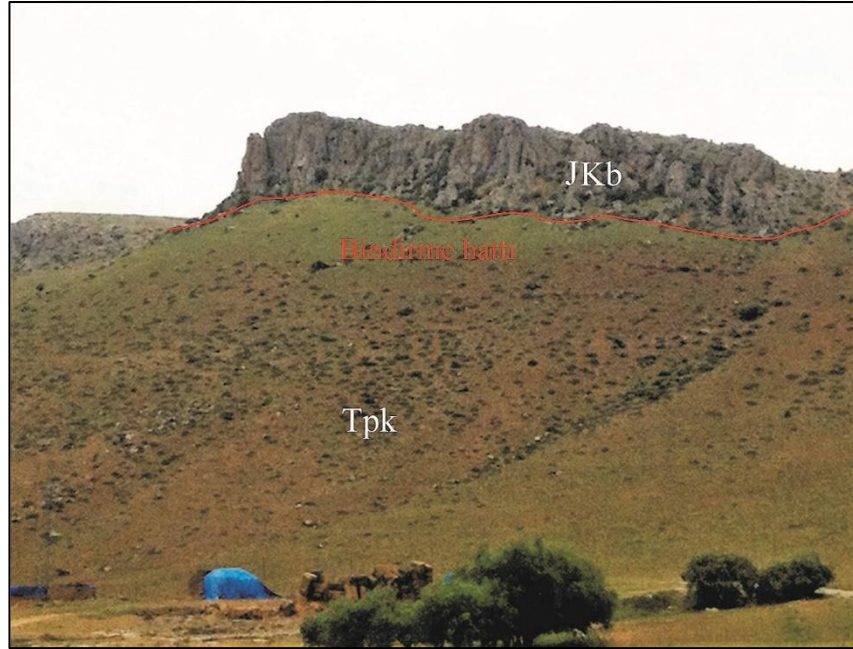
Girmeç köyünün KB'sında kalan eğim atımlı normal bir fay olan Çiledağ fayı 14 km uzunluğundadır (Bilgin vd. 2010). Girmeç kaynağının boşalım yaptığı volkanik birim oldukça kırıklı ve çatlaklıdır (Şekil 4.28). Girmeç kaynağının yüzeye ulaşmasında sağ yönlü oblik atımlı fayın etkisi vardır. Kaynağın doğusunda ötelenmiş olarak yüzeyleyen travertenler bu fayın işaretidir.

Malıköy kaynağı çevresinde eğim atımlı normal faylar bulunmaktadır (EK 2). Hamam Tepe mevkiinde gözlenen yaklaşık KD-GB doğrultu eğim atımlı fay sıcak su kaynağının yüzeye ulaşmasında etkilidir. Malıköy civarındaki doğrultu atımlı faylar Ankara çayının yön değiştirmesine neden olmuştur.

Karahamzalı köyü güneyinde ve güneydoğusunda Bilecik kireçtaşları, Kartal, Kırkkavak, Ilgınlıkdere ve Eskipolatlı formasyonları üzerine bindirmiştir (Şekil 4.29, EK 3). Ayrıca Karahamzalı köyünün güneybatısındaki Yıldızdağ'da ofiyolit melanj Bilecik kireçtaşları ile Çayraz formasyonu üzerine bindirmiştir.



Şekil 4.28 Alcı formasyonundaki volkanitlerin kırık ve çatlaklarından sızan sular



Şekil 4.29 Karahamazalı köyü kuzeyinde Bilecik kireçtaşlarının Kartal formasyonu üzerindeki bindirmesi (resimde kuzeye bakılmaktadır)

Karahamzalı sıcak su kaynaklarının yüzeye ulaşmasında etkili olan faylar bulunmaktadır. Karahamzalı-Yenimehmetli yol üzerinde taş ocağında gözlenen fay, sağ yönlü doğrultu atımlı olup (Şekil 4.30) fay yüzeyinde ölçülen doğrultu ve eğim değerleri sırasıyla K70°B ve 86°GB'dır (Esat vd. 2016). Karahamzalı sıcak su kaynaklarının varlığı, Koçyiğit'in (1991) belirttiği gibi fayın aktif olduğunun göstergelerinden biridir.



Şekil 4.30 Karahamzalı-Yenimehmetli yol üzerinde taş ocağında gözlenen sağ yönlü doğrultu atımlı fayın fay izleri

Ilıca köyünde, Neojen ve Kuvaterner çökelleri arasında yaklaşık 5 km uzunluğunda morfolojik olarak keskin bir sınır gözlenir (Esat vd. 2016). Ilıcaözü fayı olarak bilinen bu fay, sağ yanal doğrultu atım karakterindedir (EK 3). Ilıca ve Özhamamı kaynakları civarında yapılan jeofizik ölçümlerde de söz konusu fay tespit edilmiştir (Bülbül 2015). Ayrıca Sabanca kaynağından itibaren Ilıcaözü dereye ulaşan Hamamözü deresinin de faylı olduğu (EK 3) belirtilmiştir (Bülbül 2015).

Haymana sıcak su kaynaklarının yüzeye çıkmasında Üst Jura-Alt Kretase yaşı Bilecik kireçtaşlarında gözlenen D-B doğrultulu eğim atımlı faylar etkili olmuştur (EK 4). Sahada açılan kuyularda bu fay hatlarının kesilmesi hedeflenmiştir. Kireçtaşlarında gelişen fay sistemleri karstik yapının gelişmesine de yardımcı olmuştur.

4.2.2 Kıvrımlar

Neotektonik dönemde ortaya çıkan K-G doğrultulu sıkışmanın etkisi sonucu; Sarıoba-Çağlayık alanında KD-GB doğrultulu eksene sahip kıvrımlar, yaklaşık K-G yönlü normal faylar ve KD-GB yönlü doğrultu atımlı faylar, granitlerde gözlemlenen eklem sistemleri gelişmiştir. Oltan-Polatlı yolu üzerinde, K-G doğrultulu sıkışma rejiminin etkisi sonucu tabakalar dikleşmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31 Sarıoba formasyonu içindeki tabaka dikleşmesi (Sarıoba köyünün kuzeydoğusu, resimde kuzeye bakılmaktadır)

Malıköy ve Girmeç arasında yüzeyleyen Erken-Orta Miyosen yaşı Hançili formasyonundaki en önemli yapısal unsurlar eksenleri yaklaşık KD-GB yönünde uzanan birbirlerine paralel antiklinal ve senklinallerdir (Şekil 4.32, EK 2). Açıkgöz vd. (2009), Neotektonik dönemde K-G yönlü sıkışma rejimi etkisi altında kalan bölgede D-B eksenli kıvrımların oluşması beklenirken K-G eksenli kıvrımların baskın olduklarını belirtmiş ve bunların eski tektonik dönemlere ait yapılar olduğunu savunmuştur.



Şekil 4.32 Hançili formasyonu içindeki senklinalın doğu kanadı (Malıköy kaynağının kuzeybatısı, resimde kuzeye bakılmaktadır)

Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşlarının çekirdeğini oluşturduğu Haymana antiklinali D-B uzanımlıdır. Güney ve kuzey kanatlarında ise Üst Kretase yaşlı Haymana formasyonu ile Senozoyik yaşlı çökel kayalar yüzeylenir (Şekil 4.33, EK 4). Haymana antiklinalinin batısındaki Çaldağ antiklinali de D-B yönlüdür. Antiklinalin çekirdeğinde Paleosen yaşlı Çaldağ formasyonunun kireçtaşları bulunur (Şekil 4.34). Güney ve kuzey kanadı boyunca Kırkkavak, Ilgınlıkdere ve Eskipolatlı formasyonları yüzeylenir.



Şekil 4.33 Haymana antiklinali (Resimde güneye bakılmaktadır)



Şekil 4.34 Çaldağ antiklinali güney kanadında yüzeyleyen Çaldağ formasyonunun kireçtaşı seviyeleri (resimde kuzeye bakılmaktadır)

Sabanca kaynağının kuzeyinde yüzeyleyen Sarıhalil antiklinali K-G yönlü sıkışmanın etkisiyle oluşmuştur. Çekirdeğinde Kartal formasyonu, kanatlarında ise Kırkkavak formasyonu gözlenir. Sıkışmanın etkisi ile yer yer tabaka dikleşmeleri de gözlenmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35 Sabanca kaynağı civarında yüzeyleyen Kırkkavak formasyonundaki kumtaşı-marnlardaki tabaka dikleşmesi

5. HİDROJEOLOJİ

İnceleme alanında yer alan litolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri belirlenmesinde boşalım yapan kaynak ve açılan kuyuların verimleri ile formasyonların litolojik özellikleri dikkate alınmıştır (Şekil 5.1).

5.1 Geçirimli Birimler

Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonu tektonizma ve karstlaşma etkisiyle ikincil gözeneklilik kazanmıştır. Akifer kaya özelliğindeki birim içerisinde ve metamorfitle yapmış olduğu dokanak boyunca kaynak çıkışları gözlenmiştir. Sarıoba sıcak su kaynaklarının kuzeyinde yer alan Oltan Mesire yeri kaynağı (PSO-3) kireçtaşları ve Hançili formasyonunun dokanağından 0.8 l/s debide boşalım yapmaktadır. Bilecik kireçtaşı Karahamzalı ve Sarıoba sıcak suların rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Kartal formasyonu çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşından oluşmaktadır. Çakıllı ve kumlu seviyelerinin gözenekli yapısı nedeniyle yüzey suları gözenekler boyunca depolanırlar.

Resifal kireçtaşından oluşan Çaldağ formasyonunda tektonizmanın etkisiyle kıvrımlanma ve kırıklar meydana gelmiştir. Karstik özellikte olan birim rezervuar kayaç özelliğindedir. Haymana ilçesinin içme suyunun bir kısmını karşılayan Başdeğirmen kaynağı (HMK-5) bu birim içerisinde boşalım yapmaktadır.

Ankara çayı, Ilıcaözü çayı, Hamamözü ve Ilıközü dere boyunca çökelmiş olan gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve killerden oluşan alüvyon önemli bir soğuk su akiferidir. Alüvyon üzerinde açılmış olan keson kuyulardan elde edilen sular kullanma ve sulama amaçlı olarak yararlanılmaktadır.

[illegible]

Şekil 5.1 Formasyonların hidrojeolojik özellikleri

5.2 Yarı Geçirimli Birimler

İncirli formasyonu kırmızı renkli kumtaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşı, çakıltası ve marnlardan oluşur. Dar bir alanda yüzeyleyen birim içerisinde boşalım yapan herhangi bir kaynak tespit edilmemiştir. Formasyonun kumtaşı ve çakıltası seviyeleri gözenekli olup geçirimli özelliktedir. Ancak birim içinde silttaşı ve marn seviyelerinin varlığı ve topoğrafyada çok az yüzeylenmesi nedeniyle yeraltı su beslenmesine çok fazla katkısı bulunmamaktadır. Beyobası formasyonu kumtaşı, silttaşı, kumlu kireçtaşı, çakıltası ve marn birimlerinden oluşur. Çakıllı-kumlu seviyeleri yüzey ve yağış sularını derinlere süzerken, silttaşı ve marn seviyeleri ise geçirimsiz özelliktedir. Çakıltası, kumtaşı, şeyl ve marn araldanmasından oluşan Ilgınlıkdere formasyonunun çakıllı ve kumlu seviyeleri geçirimli, şeyl ve marnlı seviyeleri ise geçirimsiz özelliktedir. Çayraz formasyonu kumlu kireçtaşı-marn-kumtaşı araldanmasından oluşmuştur. Kumtaşı tabakaları kalın olup, birim içerisinde 0.5 l/s debide boşalım yapan kaynaklar tespit edilmiştir. Yağış ve yüzey sularının süzülmesini sağlayan kumtaşı tabakaları geçirimli seviyeleri, marnlar ise geçirimsiz seviyeleri oluşturur. Yamak formasyonu kumtaşı, marn ve çakıltasından oluşmuştur. Formasyonun çakıllı ve kumlu seviyeleri geçirimli özellik gösterirken, marnlı seviyeler yüzey sularının yeraltına süzülmesine engel olur.

Kumartaş formasyonunun çakıllı ve kumlu seviyeleri geçirimli, siltli, killi, tüflü seviyeleri ise geçirimsiz seviyeleri oluşturmaktadır. Birim içerisinde 0.4 l/s debiye kadar boşalım yapan kaynaklar gözlenmiştir. İnceleme alanında geniş alan kaplayan Hançili formasyonu çakıltası, kumtaşı, kiltası, şeyl, killi kireçtaşı, çamurtaşı, silttaşı ve piroklastik arakatkılardan meydana gelmiştir. Çakıltası, kumtaşı gibi gözenekli birimler yağmur sularının yeraltına süzülmesine yardımcı olan geçirimli seviyeleri oluşturmaktadır. Bu birim içerisinde boşalan Gavurtepe kaynağı (PSO-4) 1 l/s'lik debiye sahiptir. Ayaş civarında Hançili formasyonu içerisinde açılan 50-80 m derinlikteki kuyulardan üretim yapılmaktadır (Çetin 2006).

Çalışma alanının kuzey-kuzeydoğusu dolayında yüzeyleyen Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Sarioba formasyonu çakıltası, kumtaşı, kiltası, kil, marn, çakıl ve kumlu kireçtaşından oluşur. Üst seviyelerinde jipsler yaygındır. Çakıllı kumlu seviyeleri geçirimli

özelliktir. Killi ve marnlı seviyeleri ise geçirimsizdir. Bu formasyon içerisinde boşalım yapan çeşmelerin yaz döneminde kuru olduğu, yağışlı dönemde ise çok düşük debili boşalım yaptığı tespit edilmiştir. Bu formasyon bölgedeki sıcak su (Çağlayık) ve bazı acı suların beslenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Çelmen 2008). Çalışma alanında geniş yüzlekler veren Alagöz formasyonunun çakıllı-kumlu seviyeleri geçirimli özellikte iken, marn ve çamurtaşları ise suların derinlere süzülmesini engellemektedir. Alagöz formasyonunda açılmış çok sayıda keson ve derin kuyu mevcuttur.

Sarıoba-Malıköy civarında yüzeyleyen Karaahmet formasyonu çakıldaşı, çamurtaşı, silttaşı ve kiltasından oluşur. Çakıldaşları iyi tutturulmamış olup kanal dolgusu olarak çökelmişlerdir ve bu nedenle akifer özelliktedirler. Ancak kanal dolguları yersel olarak geçirimsizlik sunar. Diğer seviyeler ise geçirimsiz özelliktedir. Çağlayık sıcak su kaynağı çevresinde yüzeyleyen granitler litolojik özellikleri bakımından geçirimsizdir. Ancak tektonizmanın etkisiyle oluşan ikincil kırık ve çatlaklar ve dayk yerleşimleri yüzey sularının yeraltına süzülmesine ve tekrar yüzeye çıkmasını sağlamaktadır. Granitler Çağlayık sıcak su kaynaklarının rezervuarını oluşturmaktadır. Alcı formasyonunun volkanik seviyeleri, Girmeç sıcak su kaynağı ile formasyondan boşalan soğuk suların rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Volkanik kayalarda gözlenen soğuma çatlakları ile tektonizmanın etkisiyle gelişen kırık ve çatlaklı seviyeler birimde ikincil gözenekliliğin gelişmesine katkıda bulunmuştur. Girmeç sıcak su kaynağı volkanitler ile Hançili formasyonunun dokanağını kesen fay boyunca yüzeye çıkmaktadır.

Çalışma alanında yüzeyleyen çeşitli volkanik kayaların birincil gözeneklilikleri düşüktür. Soğuma çatlakları ve tektonizmanın etkisiyle gelişen kırık ve çatlaklı yapı birimin yarı geçirimli özellik kazanmasını sağlamıştır. Hançili volkanit üyesinde ve Yeniköy volkanitinde 0.2 l/s debide kaynak boşalımları gözlenmiştir.

5.3 Geçirimsiz Birimler

İnceleme alanının temelindeki Karakaya formasyonunun alt kesimlerindeki metamorfiteğin şisti yapısı ve altere zonların killeşmiş olması birimin geçirimsiz

özellikte olduğunu göstermektedir. Birimin üst seviyelerine doğru metamorfizma etkisi azalmaktadır. Metaçakıltası, metakumtaşı ve metavolkanitlerin kırıklı-çatlaklı seviyeleri geçirimli özellikte olmasına rağmen, birim genel yapısı itibari ile geçirimsiz olarak değerlendirilebilir. Birimden boşalım yapan herhangi bir kaynak bulunmamaktadır.

Haymana formasyonu kumtaşı, şeyl ve marn araldanmasından oluşmuştur. Birim içerisinde 0.02 l/s debili bir kaynak (HMK-3) olsa da birim genel litolojik özelliği bakımından geçirimsizdir. Formasyon Haymana sıcak su kaynaklarının örtü kayacını oluşturmaktadır. Kıltaşı-şeyl araldanmasından oluşan Yeşilyurt formasyonu geçirimsiz özelliktedir. Eskipolatlı formasyonu genel olarak şeylden oluşmuştur. Çakıllı seviyeler formasyonun tabanında, kireçtaşı seviyeleri ise formasyonun üst seviyelerinde gözlenir. Birim genel yapısı nedeniyle geçirimsiz özelliktedir. Sahanın kuzeyinde yer alan Abdüsselamdağ volkanitleri andezit ve bazalttan oluşmuştur. Oldukça altere olmuş olan birim geçirimsiz özelliktedir.

5.4 Kaynaklar ve Kuyular

İnceleme alanındaki soğuk suları genellikle çeşme şeklinde kaptalanmıştır. Kaptajı yapılarak depolarda toplanmış bazı kaynaklar köy ve çiftliklerin su ihtiyacını karşılamaktadır. Bir kısım sular ise doğal halinde boşalmaktadır. Majör anyon ve katyon analizleri için örnekleme 2014 yılının Ekim ve Kasım aylarına denk geldiği için çeşmeler ya kurumuş ya da debileri düşük ölçülmüştür.

Söz konusu kaynaklar genelde geçirimli birimler ile geçirimsiz birimlerin sınırından dokanak kaynağı şeklinde ve kırık/çatlak zonlarından boşalmaktadır. Çağlayık-Sarıoba sahasının batı kesimi ile Malıköy civarında geçirimsiz birimlerin geniş alanlar kaplaması nedeniyle drenaj ağı oldukça gelişmiştir. DSİ Genel Müdürlüğü tarafından ruhsatı verilen kuyulara ait bilgiler (2015) raporundan yararlanılarak hazırlanmıştır. İnceleme alanındaki soğuk su kaynakları dört farklı bölgeye bölünerek anlatılmıştır (Anonim 2015).

5.4.1 Soğuk su kaynakları ve kuyuları

5.4.1.1 Polatlı- Çağlayık-Sarıoba bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları

Çağlayık-Sarıoba bölgesindeki ölçüm ve örnekleme çalışması kurak döneme rastladığı için kaptajı yapılan çeşme sularının çoğunun kuru durumda oldukları görülmüştür. Granitlerin örttüğü bir alanda bulunan Çağlayık çiftliğinin kullanma suyu ihtiyacı granitlerden boşalan Dutlu çeşmesinden sağlanmaktadır. Ancak çeşmeden akan sular bir depoda toplandıktan sonra evlere dağıtım yapılmaktadır. Bölgede derinlikleri 5-15 m arasında değişen sulama amaçlı keson kuyular açılmıştır. Bu kuyuların çoğu jipsli seviyeler içinde olduğundan içmeye uygun değildir.

Mesire Yeri Kaynağı (PSO-3)

Mesire Yeri Kaynağı (İ28-a2), Ayaş-Oltan-Polatlı yolunun doğusunda Oltan çıkışındaki kaynak Bilecik formasyonu ile Hançili formasyonunun dokanağından boşalım yapmaktadır (EK 1). Çeşme şeklinde kaptajı yapılan kaynağın Kasım 2014 tarihinde yapılan ölçümlerinde 15 °C sıcaklık, 0.8 l/s debi değerleri ölçülmüştür.

Gavurtepe Kaynağı (PSO-4)

Ayaş-Oltan-Polatlı yolunun doğusunda Gavurören tepenin eteklerindeki (İ28-a2) kaynak Hançili formasyonundan boşalmaktadır (EK 1). Çeşme şeklinde kaptajı yapılan kaynağın Kasım 2014 tarihinde yapılan ölçümlerinde sıcaklık 17.1 °C, debi 1 l/s olarak ölçülmüştür (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Çağlayık-Sarıoba-Gavurtepe kaynağı (Resimde kuzeye bakılmaktadır)

Sarıoba Köy İçi Çeşme (PSO-5)

Birkaç noktadan yüzeye çıkan suların kaptajı yapılarak Sarıoba köy merkezindeki çeşmeye verilmektedir. İ28 a1 paftasında bulunan çeşmenin boşalım kotu 723 m'dir (EK 1). Bozkır formasyonundan boşalan su tadı acı olması nedeniyle içilmemektedir.

Sergizindere Kaynağı (PSO-6)

Kaynak İ28-a2 paftasında, Ada tepenin güneydoğusunda yer almaktadır (EK 1). Hançili formasyonundan birkaç noktadan boşalım yapan kaynağın kaptajı yapılmıştır. Kasım 2014 tarihinde yapılan ölçümlerde 16 °C sıcaklık ve 0.4 l/s debi değerleri ölçülmüştür.

Kuşlar Çeşmesi (PSO-7)

Kaynak İ28-a2 paftasında, Oltan'ın güneybatısında yer almaktadır (EK 1). Çeşme şeklinde kaptajı yapılan kaynak Hançili formasyonu ve Bilecik kireçtaşlarının dokanağından çıkmaktadır. Kaynak suyu 17 °C sıcaklık ve 0.45 l/s debiye sahiptir.

5.4.1.2 Polatlı-Girmeç-Malıköy bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları

Girmeç-Malıköy alanında soğuk su kaynakları Hançili formasyonu, volkanitler ve formasyonların dokanaklarından boşalım yapmaktadır. Bölgede araştırma, kullanma ve sulama amaçlı açılan kuyular bulunmaktadır. Kaynak başında ölçüm yapılan sular ile DSİ tarafından ruhsatı verilmiş olan bu kuyulara ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

Girmeç Soğuk Su Kaynağı (PGS-1)

Girmeç soğuk su kaynağı (İ28-b4), Girmec köyünün yaklaşık 1 km güneybatısında Kale tepenin eteklerinden boşalmaktadır (EK 2). Volkanitler ile Hançili formasyonu dokanağından çıkan kaynağın 10.4 °C sıcaklık ve 0.3 l/s debiye sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.3).

Akören Ceylan Çiftliği Çeşmesi (PAS-1)

Akören Ceylan Çiftliği çeşmesi su kaynağı, Malıköy sıcak su kaynağının kuzeybatısından (İ 28-b4) boşalmaktadır (EK 2). Kaynak başında 15.8 °C sıcaklık ve 0.1 l/s debi belirlenmiştir (Şekil 5.4).



Şekil 5.3 Girmeç soğuk su kaynağında kaynak başı ölçümleri (Resimde güneybatıya bakılmaktadır)



Şekil 5.4 Akören Ceylan Çiftliği çeşmesi (Resimde doğuya bakılmaktadır)

Bacıköy Su Kaynağı (PGS-3)

Bacıköy'ün içinde bulunan kaynak (İ 28-b4) Hançili formasyonundan çıkmaktadır (EK 2). Kaptajı yapılan suyun kaynak başında 15.2 °C sıcaklık, 2.1 l/s debi değerleri ölçülmüştür. Kaynağın boşalım yüksekliği 880 m'dir.

Girmeç Köyü Kaynağı (PGS-4)

Girmeç Köyü'nün su ihtiyacını karşılayan kaynak, köyün kuzeybatısında (İ 28-b4) volkanik kayalar ile Hançili formasyonu arasındaki faylı dokanak boyunca boşalmaktadır (EK 2) Kaynaktan örnekleme yapılmamıştır.

Harami Çeşmesi (PGS-5)

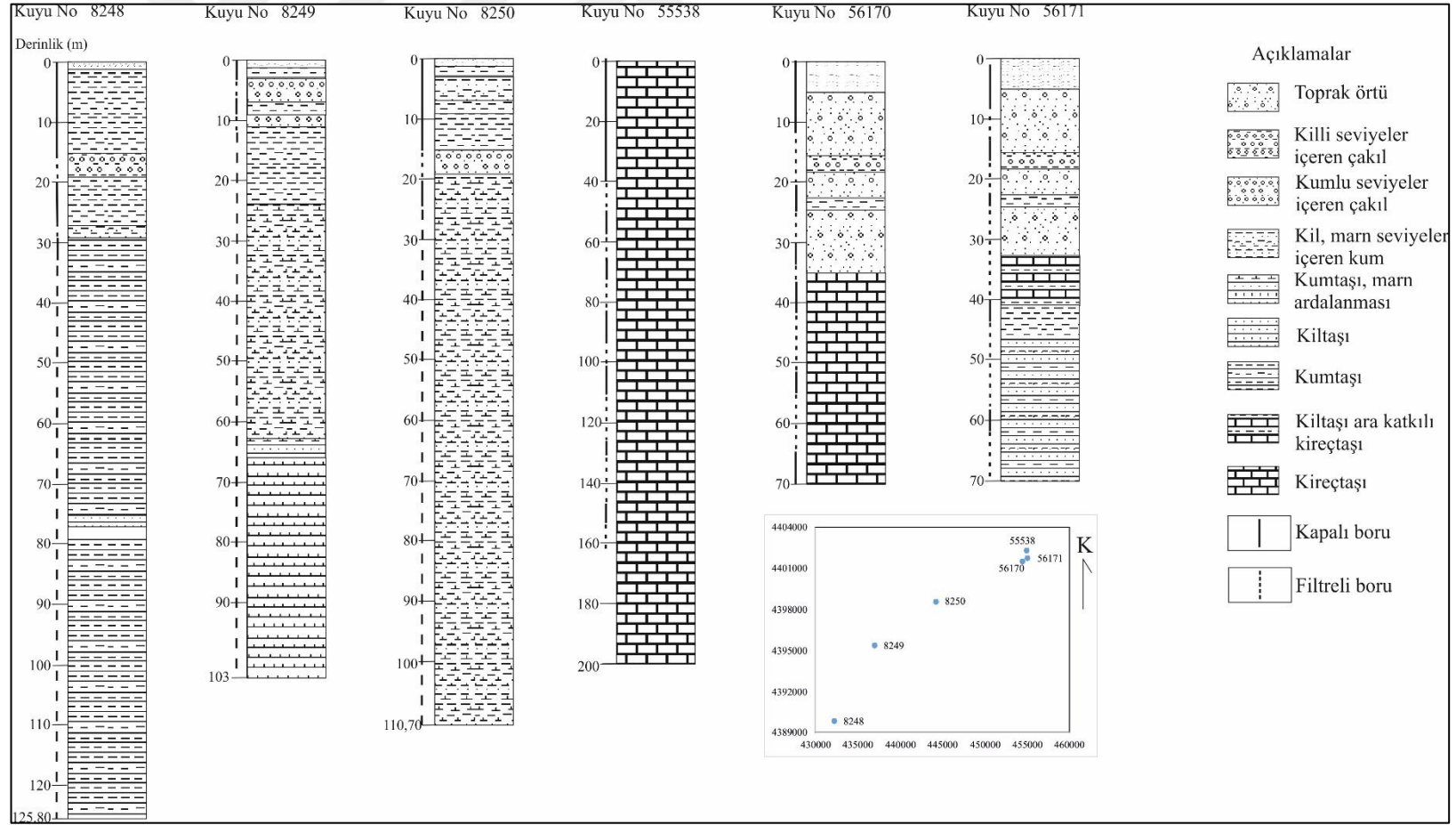
Malıköy-Bacıköy yolu üzerinde bulunan kaynak çeşme olarak kaptajlanmıştır (İ28-b4). Hançili Formasyonu ile alüvyon dokanağında 745 m kotundan boşalım yapan kaynağın debisi 0.23 l/s'dir (EK 2).

Soğuk Su Kuyuları

Malıköy-Girmeç ve yakın çevresinde sulama ve kullanma amaçlı ruhsatlı kuyular bulunmaktadır. Sahada açılmış kuyuların büyük bir çoğunluğuna ait litoloji logu ve kuyu donanım planlarına ulaşılamamıştır. Sahada açılan kuyulara ait genel bilgiler Çizelge 5.1'te verilmiştir. Kuyuların derinlikleri 11-200 m arasında değişmektedir (Şekil 5.5). Bilecik formasyonu, Hançili formasyonu, Alagöz formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyonda açılan kuyuların akifer seviyeleri kireçtaşı, çakıltası, kumtaşına karşılık gelmektedir.

Çizelge 5.1 Malıköy-Girmeç ve çevresinde açılan soğuk su kuyularına ait bilgiler (Anonim 2015)

Kuyu No/Sıra No	Açıldığı Tarih	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi (l/s)	Koordinatı UTM	
						Y (doğu)	X (kuzey)
8248	1969	29	1.88	13.42	2	432250	4389850
8249	1969	11	0.26	4.59	6	437000	4395375
8250	1969	19	0.61	3.97	6.1	444250	4398600
4324	2002	60	6	12.8	5.5	447200	4403500
5512	2004	28	7.5	17.5	10	445350	4402950
6444	2006	68	29.38	57.85	2	442105	4401255
56171	2001	68	6.12	19.87	5	455100	4401750
55538	2000	200	36.1	124.48	Verimsiz	454956	4402309
56170	2001	64	5.4	11.95	7	454450	4401550
4	2011	80	15.39	49.88	1.5	424659	4402351
628	2010	80	9.46	23.8	10	424659	4402351
606	2013	36	5	20	1	420314	4388889
607	2008	100	19.9	33.39	8	417650	4395555
608	2012	100	29.21	31.51	4	420674	4397334
609	2010	85	19.46	33.8	8	422827	4397453
610	2008	100	20.56	34.9	8	420824	4397502
611	2010	80	29.5	59.35	1	422937	4397502
612	2008	90	34.59	64.63	2	422316	4397569
613	2009	100	16.46	30.8	4	422359	4397636
614	2008	80	14.89	43.02	2	422332	4397727
615	2008	75	37.22	60.22	3	422350	4397756
616	2008	100	31.45	62.32	5	422375	4397825
617	2011	100	1	23.81	3	421578	4397908
618	2010	50	9.83	38.07	2	421898	4398017
619	2009	120	28.27	42.61	10	422545	4398471
620	2009	100	35.37	49.71	1.5	422479	4398485
621	2011	108	25.34	72.65	16	422364	4398632
622	2010	60	7.11	56.16	1.5	421659	4398963
623	2007	80	3.86	9.96	1.5	422603	4399063
624	2011	105	21.59	25.89	3	423149	4399103
625	2003	75	4	41	7	423400	4399225
626	2007	80	9.34	15.44	2	423448	4400111



Şekil 5.5 Girmeç-Malıköy civarında açılan soğuk su kuyularının bazılarına ait litoloji logları (Anonim 2015)

5.4.1.3 Polatlı-Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları

Karahamzalı civarındaki soğuk su kaynakları genellikle kireçtaşları ile killi birimlerin dokanaklarından çıkmaktadır ve debileri 0.5-1 l/s arasında değişmektedir.

Karahamzalı Soğuk Su Kaynağı (PKH-1)

Polatlı-Yunak-Akşehir yolu üzerinde, Karahamzalı köyünün (J 28-a1) hemen girişinde yer alan kaynak Kartal formasyonundan boşalım yapmaktadır (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Karahamzalı köy çeşmesi (PKH-1) (Resimde doğuya bakılmaktadır)

Kırmızıburun Tepe Çeşmesi (PKH-3)

Polatlı-Yunak-Akşehir yolunun Yenimehmetli köyü yolu sapağında bulunan çeşme (J28 a2) Kırmızıburun tepenin kuzeyinde Kartal formasyonundan boşalım yapmaktadır (Şekil 5.7, EK 3).



Şekil 5.7 Kızılburun çeşme (PKH-3) (Resimde güneye bakılmaktadır)

Küllükpınar Çeşmesi (PKH-7)

Karahamzalı köyünün 2.5 km kuzeybatısında yer alan kaynaklar birkaç noktadan yüzeye çıkarlar (J28 a1). Gürgenpınarı, Küllükpınarı ve Çayırılıkpınarı kaynak suları toplanarak çeşme şeklinde kaptajı yapılmıştır (EK 3). Çeşmenin boşalım yaptığı kot 755 m olup, bu yükseklik Kırkkavak formasyonu ile alüvyonun dokanağına karşılık gelmektedir. Kaynağın toplam debisi 0.9 l/s, pH'ı 7.32'dir.

Yenimehmetli Köyü Çeşmesi (PKH-8)

Yenimehmetli köyünün 1 km güneyindeki Killik tepeden yüzeye çıkan kaynağın kaptajı yapılarak su Yenimehmetli köyüne getirilmiştir (J28 a2, EK 3). Alagöz formasyonunun çakıllı kumlu seviyelerinden boşalım yapan kaynağın kotu 968 m'dir (Şekil 5.8). Debisi 0.32 l/s olan kaynağın kaynak başında ölçülen sıcaklığı 16.2 °C'dir.



Şekil 5.8 Yenimehmetli köy çeşmesi (PKH-8) (Resimde güneye bakılmaktadır)

Karabenli Çeşmesi (PSS-1)

Karabenli köyünün girişindeki çeşme suyu Özhamamı sıcak su kaynağının kuzeyinde Alagöz formasyonundan boşalım yapmaktadır (J 28-a3). Kasım 2014 tarihinde kaynak başında yapılan ölçümlerde 11.2 °C sıcaklık ve 0.1 l/s debi belirlenmiştir (Şekil 5.9).

Sabanca Köyü Soğuk Su Kaynağı (PSS-3)

Sabanca köyünün (J 28-b4) su ihtiyacını karşılayan kaynağın kaptajı yapılarak hem konutlara hem de köy çeşmesine su sağlanmıştır (EK 3). Kaynak Alagöz formasyonundan boşalım yapmaktadır. Kasım 2014 tarihinde kaynak başında yapılan ölçümlerde 18 °C sıcaklık ve 1.3 l/s debiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Kaynağın boşalım yüksekliği 883 m'dir.



Şekil 5.9 Karabenli köyü çeşmesi (Resimde doğuya bakılmaktadır)

Hacımuslu Köy Çeşmesi (PSS-4)

Hacımuslu köyünün girişinde (J28-a3) yer alan kaynak Alagöz formasyonundan boşalım yapmaktadır (EK 3). Haziran 2015 tarihinde 1328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ elektriksel iletkenlik, 7.5 pH ve kaynak sıcaklığı 14 °C olarak ölçülmüştür.

Soğuk Su Kuyuları

Karahamzalı-Sabanca-Özhamamı-Ilıca ve yakın çevresinde açılan kuyular sulama amaçlıdır. DSİ Genel Müdürlüğü ve şahıslar tarafından açılan bu kuyular ruhsatlıdır. Kuyuların derinlikleri 25-200 m arasında olup, akifer birimler alüvyon, kireçtaşı, kumtaşı ve çakıllı seviyeleridir (Çizelge 5.2). Keson kuyuların derinliği ise 4-12 m arasındadır.

Çizelge 5.2 Karahamzalı-Ilıca-Sabanca ve çevresinde açılan soğuk su kuyularına ait bilgiler (Anonim 2015)

Kuyu No/Sıra No	Açıldığı Tarih	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi (l/s)	Koordinatı UTM	
						X (Kuzey)	Y (Doğu)
375	2008	100	9.67	15,77	5	4349580	431752
376	2004	40	8.1	14.2	5	4349550	431200
377	2004	32	5	12	4	4349605	431850
379	2008	56	19.75	48.09	2	4349916	430833
380	2004	32	5	12	2	4350050	431075
381	2008	52	21.29	46.41	1	4350050	430812
382	2004	40	8.7	14.8	5	4350350	431150
384	2008	72	10.21	16.31	2,5	4350615	431899
385	2004	32	5	12	4	4350650	430300
386	2008	80	8.74	14.84	3.5	4351077	432270
388	2003	50	1	14	40	4351422	430099
390	2006	80	13.07	41.73	2	4351700	427532
393	2007	80	21.95	50.23	2	4351800	427436
394	2007	76	21.75	48.75	2	4351921	427414
396	1993	40	9.8	17.15	4	4352633	428589
398	1997	43	10	20	8	4352791	431523
419	2006	116	4.9	18.39	6	4354813	439652
421	2010	190	92.17	119.88	1	4355267	439806
422	2007	76	10.68	16.78	10	4355681	434336
423	2007	200	31.65	62.75	8	4356076	436945
424	2004	100	10.5	19.4	5	4356171	434874
425	2003	100	5	62.33	5	4356350	436350
426	2003	100	4	59	24	4356500	439250
427	1993	40	6.95	16.76	7	4356667	429141
428	2009	32	1.2	25.2	25	4357012	435028
429	2008	100	9	28	10	4357020	438200
430	2006	60	22.8	36.5	1.5	4357038	436938
431	2003	90	6	43.5	5	4357050	436825
453	194	72	6	42	3	4366580	424974
454	1994	30	5	16	4	4367162	424400
455	1994	26	4	15	4	4367355	424286
456	2010	120	7.26	21.6	5	4367369	434995
457	2007	85	19.67	63,11	1	4367374	432578
458	2010	90	12	35	2	4367692	435060
468	2000	50	10	16	3	4369750	427500
469	2011	25	6.33	20.64	2	4369872	422515

Çizelge 5.2 Karahamzalı-Ilıca-Sabanca ve çevresinde açılan soğuk su kuyularına ait bilgiler (Anonim 2005) (devam)

Kuyu No/Sıra No	Açıldığı Tarih	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi (l/s)	Koordinatı UTM	
						X (Kuzey)	Y (Doğu)
470	2000	60	11	18	5	4370040	426150
480	2012	36	10.9	24.39	4	4371099	425365
433	2001	110	35	50	18	4358263	438915
435	2012	32	1.3	25.3	30	4358849	437338
436	2010	88	8.97	15,07	3	4358914	437904
437	2008	100	49.7	75	20	4358914	437904
438	2006	100	15	46	12	4358950	440075
443	2007	60	6,2	44.05	3	4363725	429575
444	2007	60	12.45	42.44	2.5	4363800	427175
445	2005	40	8	20	6	4364403	431666
446	2009	25	7.45	18.04	1.5	4364608	429641
447	2010	60	9.54	55.1	10	4364688	430555
448	2010	80	8	45	25	4364818	424952
449	2007	100	20.35	45.42	1	4364932	424348
450	2009	60	10.36	24.7	1.5	4365350	429670
451	2012	110	16.54	49.37	4	4365452	430351
452	2011	120	29.98	73.32	1.5	4366048	434567
485	1996	156	7	85	1	4352400	434425

5.4.1.4 Haymana Bölgesi soğuk su kaynakları ve kuyuları

Haymana Soğuk Su Çeşmesi (HMK-3)

Haymana ilçesinin güneyinde (J28-b2) yer alan kaynağın kaptajı yapılarak çeşmeye verilmiştir (EK 4). Kasım 2014 tarihinde kaynak başında yapılan ölçümlerde 14.4 °C sıcaklık, 0.02 l/s debi, 1176 µS/cm elektriksel iletkenlik, 7.86 pH, 0.6 ppt tuzluluk ve 933 mg/l toplam çözünmüş katı madde değerleri belirlenmiştir. Haymana formasyonu boyunca yüzeye ulaşan kaynağın boşalım yüksekliği 1125 m'dir (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Haymana soğuk su (HMK-3) çeşmesi (Resimde kuzeye bakılmaktadır)

Çayraz çeşmesi (HMK-4)

Haymana-Ankara yolu üzerinde Haymana ilçesinin kuzeydoğusunda bulunan (J29-a1), kaynağın kaptajı yapılarak çeşmeye verilmiştir (EK 4). Kasım 2014 tarihinde kaynak başında yapılan ölçümlerde 14.9 °C sıcaklık ve 0.5 l/s debi değeri tespit edilmiştir (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Çayraz çeşmesi (KB'ya bakış)

Başdeğirmen Kaynağı (HMK-5)

Haymana ilçesi içme suyu ihtiyacını karşılayan kaynak karstik özelliktedir (EK 4). Paleosen yaşlı kireçtaşlarından oluşan Çaldağ formasyonunda birkaç noktadan boşalım yapan kaynağın (J28 b2) debisi yaklaşık 120 l/s'dir (Sarıslan vd. 1998). Kaptajı yapılan kaynağın 35 l/s'lik debisi Polatlı ilçesinin, geri kalanı ise Haymana ilçesinin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır.

Yeniköy Çeşmesi (HMK-6)

Haymana'nın kuzeydoğusundaki Çayraz köyünün doğusunda yer alan kaynağın kaptajı yapılmıştır (J29-a1, EK 4). Kaynak Yeniköy volkanitlerinden boşalım yapmaktadır (Şekil 5.12). Kaynak başı ölçümlerde sıcaklık 16.3 °C ölçülmüştür. Kaynaktan örnekleme yapılmamıştır.



Şekil 5.12 Yeniköy çeşmesi (Resimde batıya bakılmaktadır)

Soğuk Su Kuyuları

Haymana'nın içmesuyu ihtiyacı ilçenin yaklaşık 6 km kuzeybatısındaki Başdeğirmen kaynağından karşılanmaktadır. 2005 yılında İller Bankası tarafından Haymana ilçesinin doğusunda Çallıçukur mevkiinde 2 adet soğuk su kuyusu açılmıştır. Soğukçam formasyonuna ait kireçtaşları hedeflenerek 20 l/s'lik su elde edilmiştir (Anonim 2019).

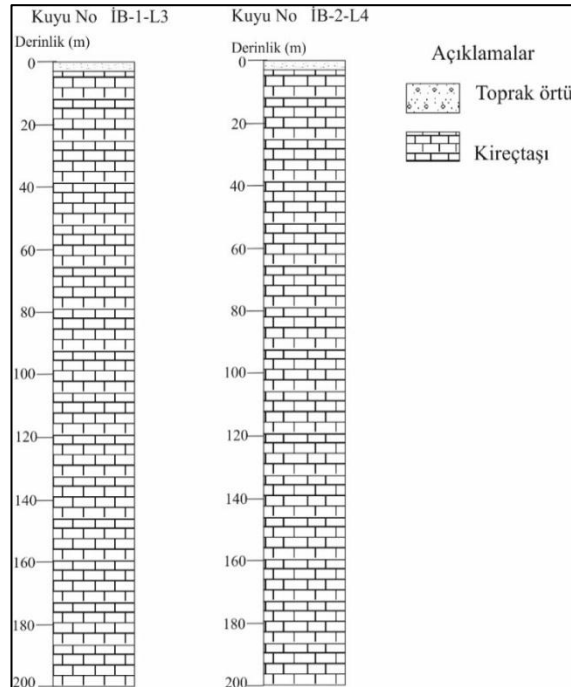
Haymana ilçesinde alüvyon zeminlerin çakıllı-kumlu seviyelerinin yeraltı suyu açısından olumlu olması nedeniyle sulama ve kullanma amaçlı olarak açılmış çok sayıda keson kuyu mevcuttur. Alüvyon içerisinde açılan bu kuyuların derinlikleri 5-14 m arasında değişmektedir. Keson kuyular dışında şahıslar tarafından özel olarak açılan kuyular vardır. DSİ Genel Müdürlüğü ve İller Bankası tarafından açtırılmış ruhsatlı kuyular da bulunmaktadır. Kullanma, sulama ve içme amaçlı açılan bu kuyulara ait bilgiler çizelge 5.3'te verilmiştir (Şekil 5.13).

Çizelge 5.3 Haymana civarında DSİ, İller Bankası ve şahıslar tarafından açılmış kuyulara ait bilgiler

Kuyu No/Sıra No	Açıldığı Tarih	Derinlik (m)	Statik Seviye (m)	Dinamik Seviye (m)	Debi (l/s)	Koordinatı UTM	
						Y (doğu)	X (kuzey)
7967	2005	132	14.5	104	0.3	460369	4369390
7969	2005	30	8	20	10	455121	4367934
7889	1998	22	1.5	8	5	454792	4368533
7911	1999	128	5.7	40.35	38	459706	4365785
7915	1999	82	5	56	4	455646	4368563
7974	2005	200	128	128	20	458295	4366566
9986	1974	30	5.8	14.4	12	455133	4367312
9987	1974	35	6	14.9	10	454602	4367031
9988	1974	32	5.65	14.9	10	456944	4366575
9989	1974	34	5.8	14.8	11	454317	4365870
10654	1994	52	3	14	14	454525	4364398
18295	2012	70	15.3	30.93	2	455745	4366057
366	2011	40	10.85	30.46	3	456714	4365166
İB-1-L3	2005	200	128	128.10	20	460499	4365445
İB-2-L4	2005	200	126	126.10	20	460475	4365445

5.4.2 Sıcak su kaynakları ve kuyuları

Sıcak su kaynakları ve açılan kuyuların alansal dağılımı şu şekildedir: Çağlayık-Sarıoba bölgesinde 3 adet kaynak belirlenmiştir (TPSO-1, TPSO-2 ve TTPÇK-1). Çağlayık jeotermal alanında 5 adet kuyu açılmış olup MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan PÇ-1 kuyusu, kuyu içinde yıkıntı olması nedeniyle kullanılamaz durumdadır. Bunun üzerine yeni kuyu açma ihtiyacı doğmuştur. İller Bankası tarafından 4 adet kuyu daha açılmıştır. Bu kuyulardan sadece 2 tanesinden akışkan üretilmiş ancak henüz işletmeye geçilmediği için kullanılmamaktadır. Girmeç-Malıköy bölgesinde 2 adet sıcak su çıkışı tespit edilmiştir (TTPGS-2 ve TTPM-1). Malıköy’de araştırma amaçlı bir adet gradyan kuyusu açılmıştır. Karahamzalı bölgesinde çok sayıda kaynak çıkışı vardır, bunlardan 3 tanesi örneklenmiştir (TTPKH-2, TTPKH-4, TTPKH-5). Çalışma döneminde Karahamzalı’da sıcak su kuyusu delme çalışmaları yapılırken ilerleme sırasında ani su gelişi nedeniyle kuyu terkedilmiştir. Özhamamı-Sabanca-Ilıca bölgesinde 3 adet kaynak çıkışı tespit edilmiştir (TTPÖ-1, TTPÖ-2, TTPSS-2). Haymana jeotermal alanında ise 8 adet kuyu açılmıştır ve bunlardan üç adedi işletilmektedir.



Şekil 5.13 Haymana ilçesinin soğuk su ihtiyacını karşılamak için İller Bankası tarafından açılan İB-1-L3 ve İB-2-L4 kuyularına ait litoloji logları (Anonim 2009)

5.4.2.1 Polatlı-Çağlayık-Sarıoba bölgesi sıcak su kaynakları

Bölgede 3 adet sıcak su kaynağı tespit edilmiştir. Sarıoba köyü yakınında iki adet (TPSO-1 ve TPSO-2), Çağlayık çiftliği yakınında bir adet kaynak (TPÇK-1) incelenmiştir. Ayrıca, Çağlayık yöresinde jeotermal amaçlı açılmış 5 adet kuyu vardır.

Sarıoba Sıcak Su Kaynakları

Sarıoba kaynakları Ayaş-Polatlı yolu üzerinde Ankara Çayı'nın her iki kıyısında boşalım yapmaktadır (Şekil 5.14-5.15). İ28-a2 paftasında bulunan kaynaklar, Jura yaşlı Bilecik kireçtaşlarını kesen sağ yönlü oblik atımlı bir fay boyunca yüzeye çıkarlar.

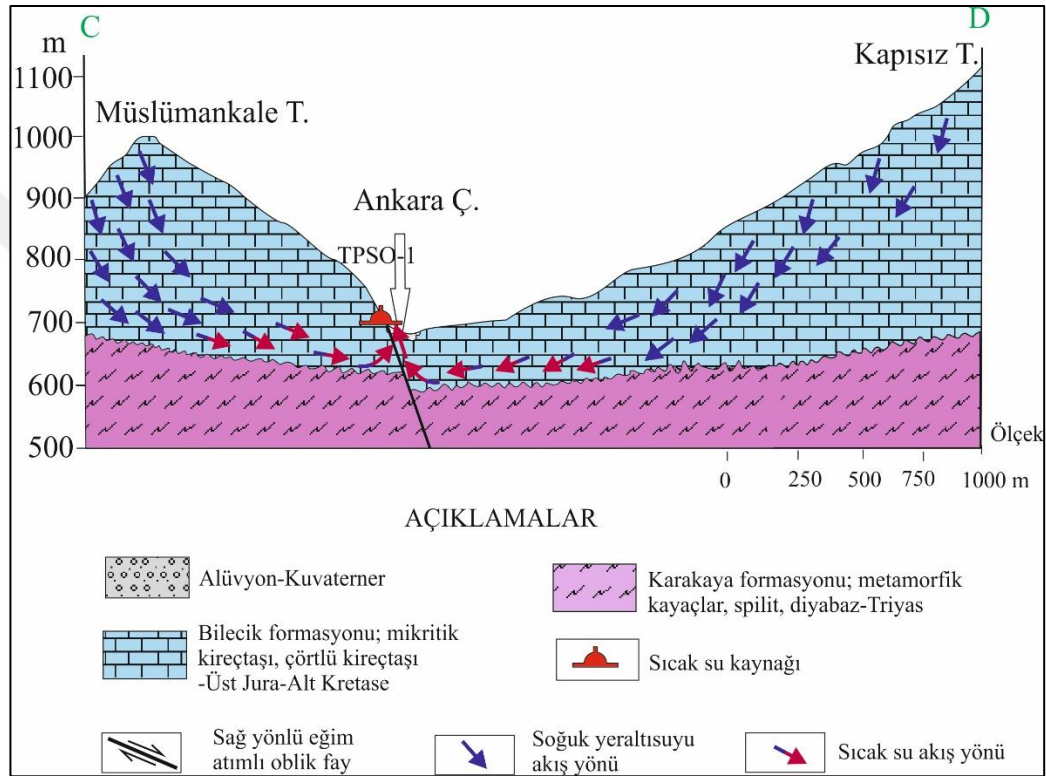


Şekil 5.14 Sarıoba (TPSO-1) sıcak su kaynağı kaptajı

Sarıoba-1 nolu kaynak (TPSO-1) Ankara çayının kıyısından boşalmaktadır. Önceki yıllarda kaptajı yapılmış olan kaynak Sarıoba köyünün su ihtiyacını karşılamıştır. Uzun dönem kullanılmadığı için kaptajın etrafı sazlıklarla kaplanmış ve su sızıntıları ortaya çıkmıştır. Kaynak başında ölçülen sıcaklık 32.4 °C'dir. Kaynağın debisi ise

ölçülememiştir. Ancak debinin 10 l/s civarında olduğu tahmin edilmektedir. Kaynağın şu anda herhangi bir kullanımı yoktur.

Sarıoba-2 kaynağı (TPSO-2) ise Ankara çayının sağ kıyısından boşalım yapmaktadır (Şekil 5.16). Herhangi bir kullanımı olmayan kaynağın sıcaklığı 31.2 °C olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.15 Sarıoba kaynaklarının hidrojeoloji kesiti



Şekil 5.16.a.Sarıoba-2 nolu kaynağından bir görüntü, b. kaynak başı ölçümleri

Çağlayık sıcak su kaynağı ve açılan sıcak su kuyuları

Çağlayık sıcak su kaynağı (TPÇK-1) Ankara çayının hemen kenarından boşalmaktadır. Üzerinde eski bir hamam kalıntısı bulunan kaynak alüvyon içerisinden boşalım yapmaktadır (Şekil 5.17). Kaynağın eski çıkış noktalarında oluşmuş eski travertenler ile granitlerin kırık ve çatlakları boyunca sızıntı şeklinde sıcak su çıkışları ve güncel traverten oluşumları gözlenmiştir (Şekil 5.18-5.19).

Kaynak granitler ve Sarıoba formasyonundan beslenmektedir (Şekil 5.20). Kaynak suyu önceki yıllarda yöre halkı tarafından banyo amaçlı kullanılmıştır. Ancak daha sonra MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılan PÇ-1 kuyusunda üretim yapılmasıyla kaynak kurumuştur. Kuyu üretimde olmadığı zaman kaynakta 0.1 l/s debide su akmaktadır. PÇ-1 kuyusu 236 m derinlikte açılmış olup, 19 m'ye kadar alüvyon kesilmiş, daha sonra kuyu tabanına kadar rezervuar kayaç olan granitlerde ilerlemiştir (Şekil 5.21). Üretim testleri sonucu kuyudan 41 °C sıcaklık ve 15 l/s debide jeotermal akışkan elde edilmiştir (Açıkgöz 2010). Granitlerde ilerlediği için kuyuya üretim borusu indirilmemiştir ve bu nedenle kuyu içinde yıkıntı oluşmuş ve kuyu kullanılamaz hale gelmiştir. Bundan dolayı yeni kuyular açılmıştır. Bu kuyulara ait koordinat bilgileri çizelge 5.4'te verilmiştir.



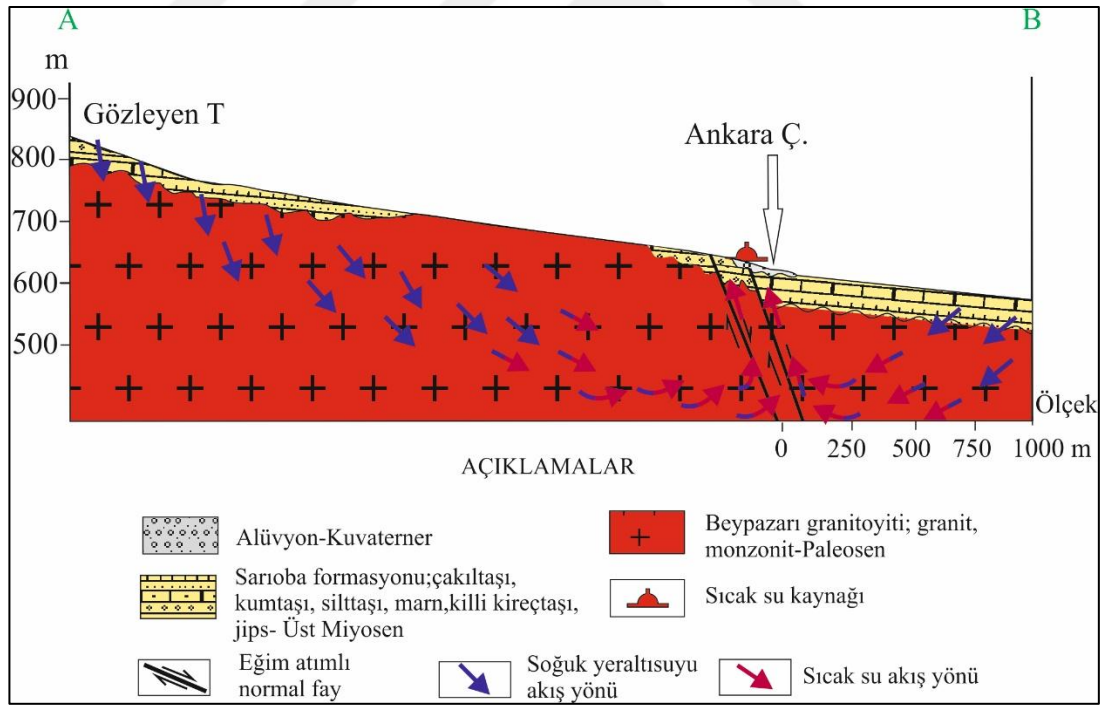
Şekil 5.17 Çağlayık (TPÇ-1) kaynağı (Resimde güneye bakılmaktadır)



Şekil 5.18 Granitlerin kırık ve çatlaklarından sızıntı şeklinde kaynak boşalımı (Resimde kuzeybatıya bakılmaktadır)



Şekil 5.19 Çağlayık'ta sıcak suların çökelttiği travertenler



Şekil 5.20 Çağlayık kaynağına ait hidrojeoloji kesiti

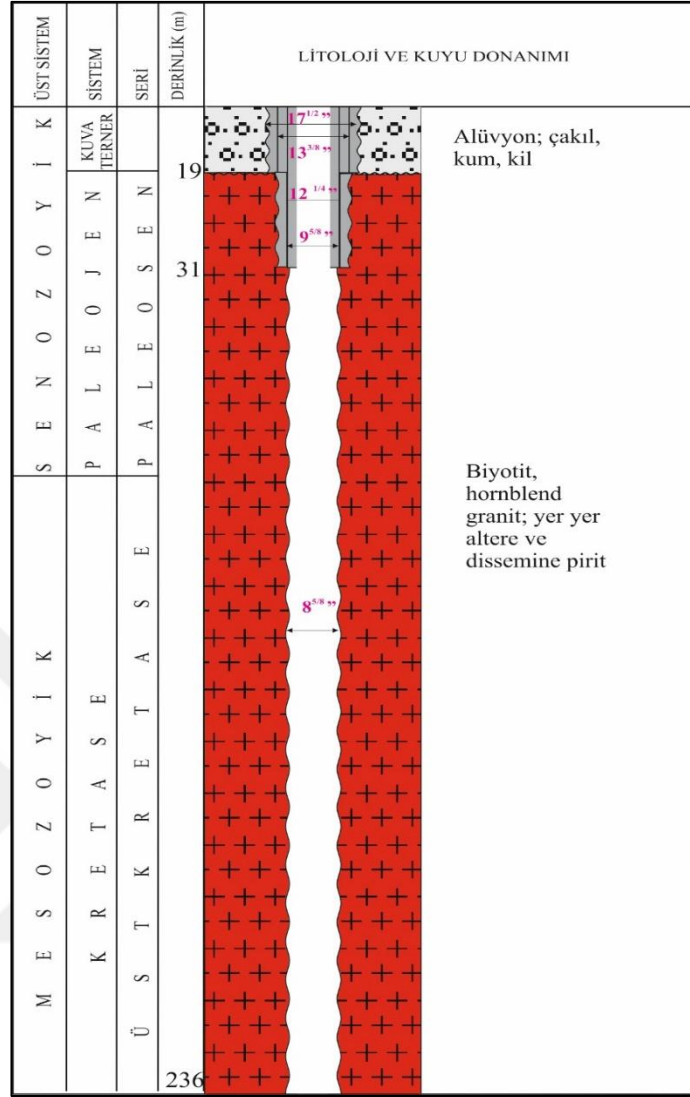
Çizelge 5.4 Çağlayık jeotermal alanında açılan sıcak su kuyularına ait bilgiler

Kuyu Adı	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No	Koordinatı UTM		
						Y (Sağa)	X (yukarı)	Z (m)
PÇ-1*	2006	236	41	15	İ27 b3	0408825	4407960	-
PÇ-2**	2013	343	43-45	4-5	İ27 b3	0408915	4407803	-
PÇ-3**	2013	116	-	-	İ27 b3	0408790	4407958	-
PÇ-4**	2013	400	-	-	İ27 b3	0408792	4407956	-
PÇ-5**	2014	450	40	4-5	İ27 b3	0408710	4407698	-

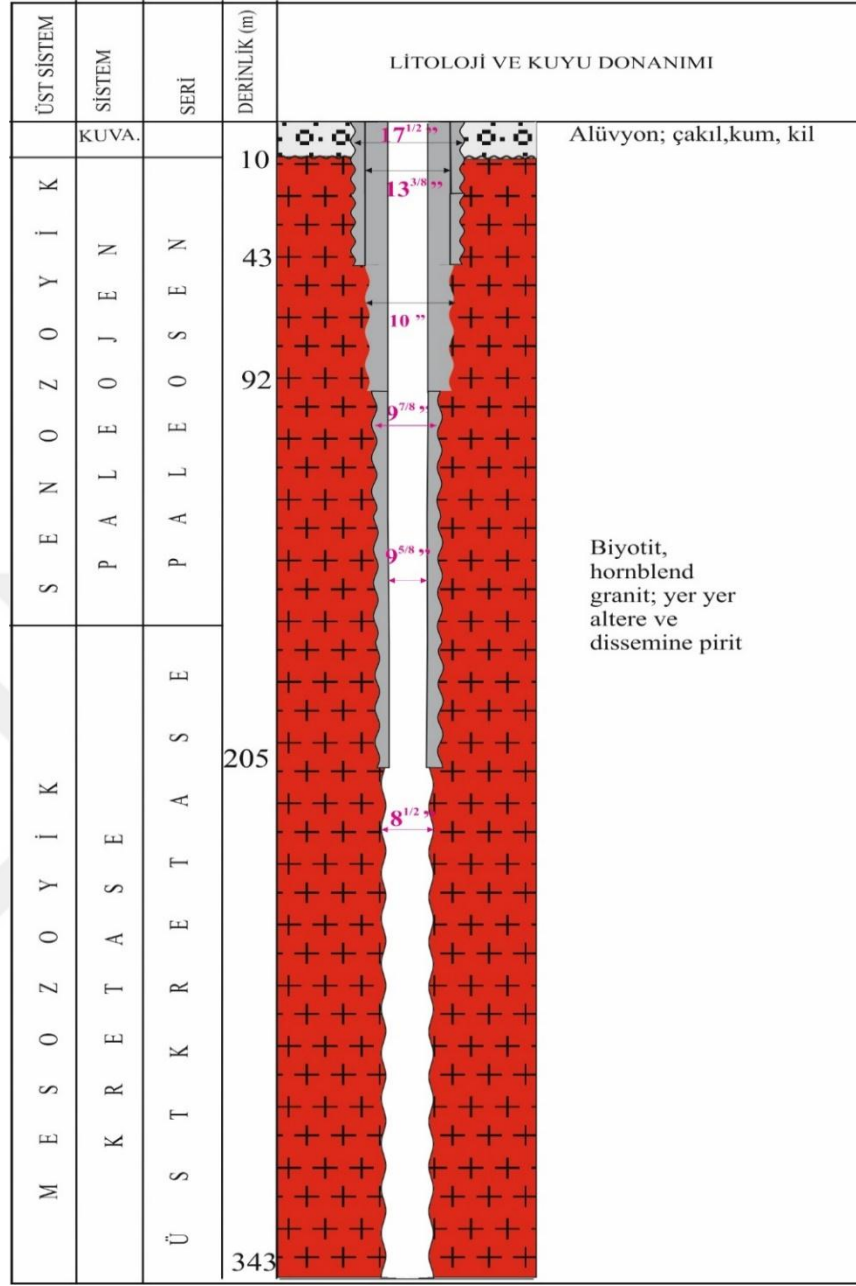
*: Kuyunun üretim bilgileri Açıkgöz'den (2010) alınmıştır.

** : Kuyulara ait tüm bilgiler Kaya'dan (2014) alınmıştır.

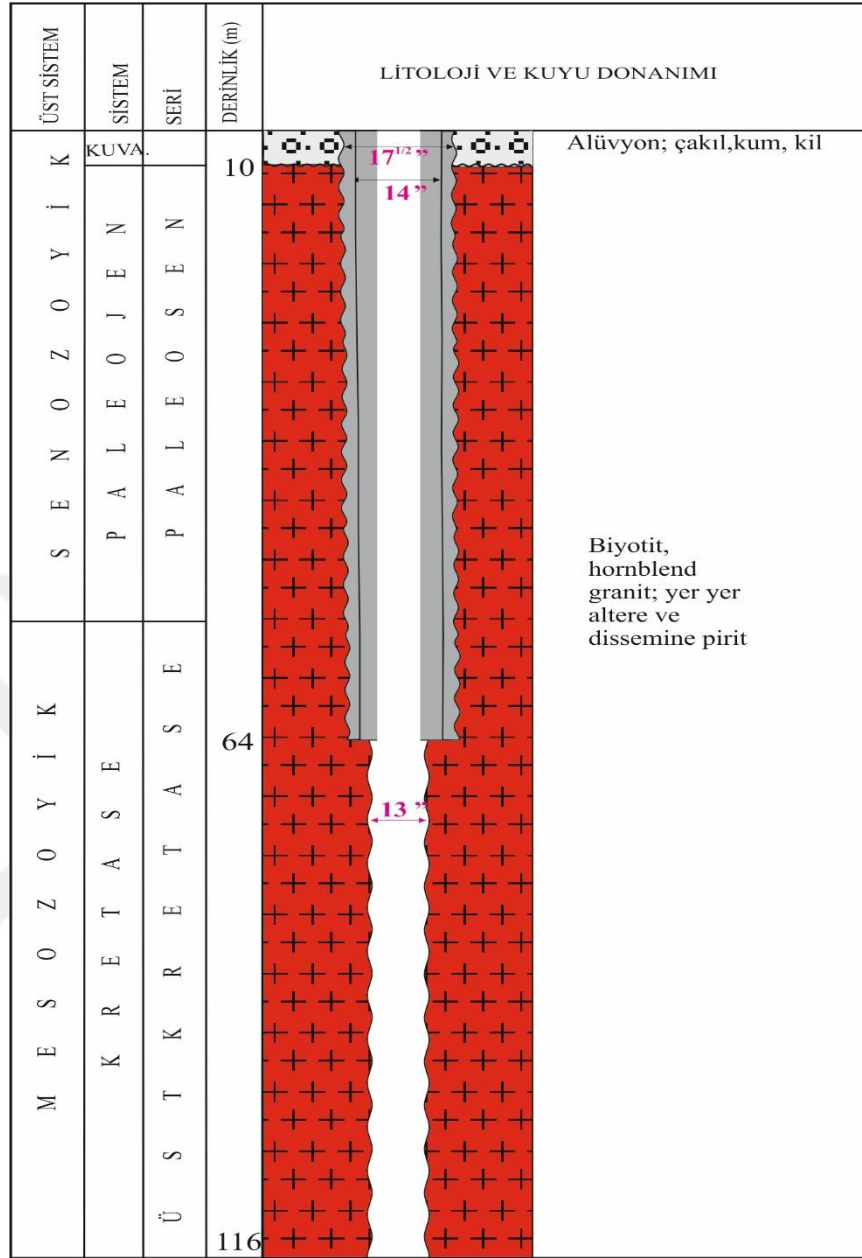
Yeni kuyular İller Bankası tarafından açılmıştır. 343 m derinlikte açılan PÇ-2 kuyusu teknik bir arıza nedeniyle tamamlanamamıştır. 0-200 m arası muhafaza borusuyla kapatılmıştır. Kuyudan 4-5 l/s debide, 43-45 ° C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir (Kaya 2014) (Şekil 5.21). PÇ-3 kuyusu ise 116. m'de ilerleme sırasında matkap sıkıştığından terk edilmiştir (Şekil 5.22). PÇ-4 kuyusu ise 400 m derinlikte açılmıştır. 400 m'lik bir derinlikte açılan PÇ-4 kuyusu ise testler sonucu akışkan elde edilemediğinden terk edilmiştir (Şekil 5.23). PÇ-5 kuyusu 450 m derinliktedir. Kuyudan 4-5 l/s debide, 40 ° C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir (Şekil 5.24). Açılan bu kuyulardan elde edilen akışkanların 22 km batıdaki Yassıhöyük Gordion Termal Merkezine taşınarak termal amaçlı kullanılması planlanmaktadır.



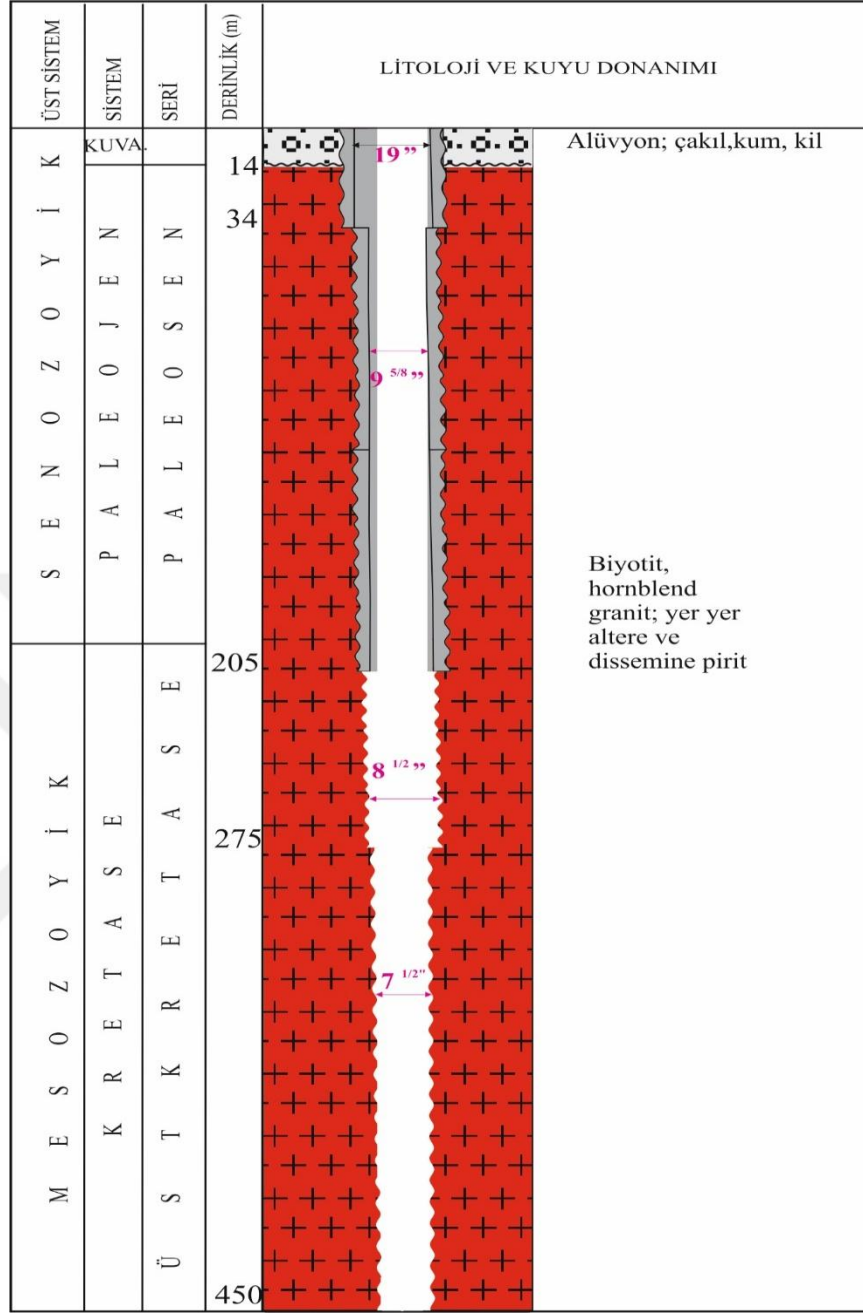
Şekil 5.21 PÇ-1 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Açıkgöz'den (2010) yararlanılmıştır)



Şekil 5.22 PÇ-2 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır)



Şekil 5.23 PÇ-3 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır)



Şekil 5.25 PÇ-5 kuyusu litoloji logu ve kuyu donanım planı (Kaya'dan (2014) yararlanılmıştır)

5.4.2.2 Malıköy-Girmeç bölgesi sıcak suları

Bölgede 2 adet sıcak su kaynağı tespit edilmiştir. Çalışma kapsamında Malıköy köyünün güneybatısında yer alan, literatürde Ilıcapınar kaynakları olarak da bilinen Malıköy kaynağı (TPM-1) ile Girmec köyünün güneybatısında yer alan Girmec kaynağı (TPG-2) incelenmiştir. Ayrıca Malıköy kaynağının hemen yakınında 1975 yılında MTA tarafından açılmış eski bir gradyan kuyusu vardır.

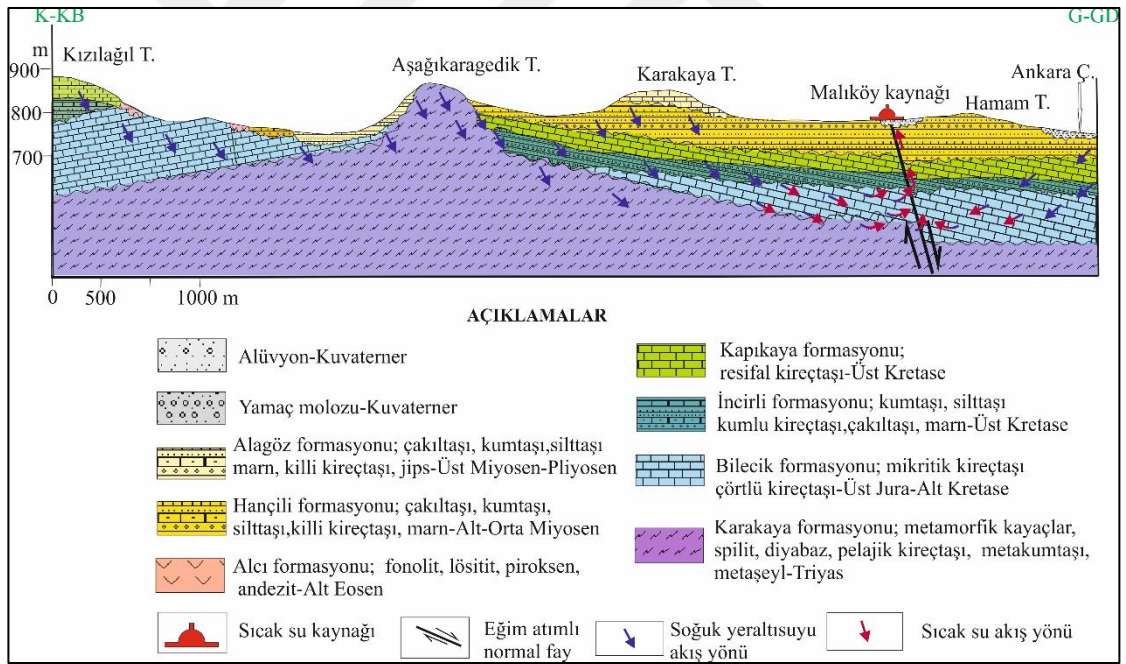
Malıköy Sıcak Su Kaynakları

Malıköy sıcak su kaynağı birkaç noktadan çıkmaktadır ve kaynaklar bir gölalanı oluşturmuşlardır (Şekil 5.26). İ 28-b3 paftasında bulunan kaynak, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşlarını kesen KD-GB doğrultulu normal bir fay boyunca çıkmaktadır (Şekil 5.27). Kaynağın sıcaklığı 24.5 °C ölçülmüştür. Kocadere (2009) söz konusu kaynağın güneyinde başka bir kaynaktan daha bahsetmiştir. Ancak bu kaynak arazi çalışması sırasında bulunamamıştır. Kaynak yöre halkı tarafında banyo amaçlı olarak kullanılmaktadır.

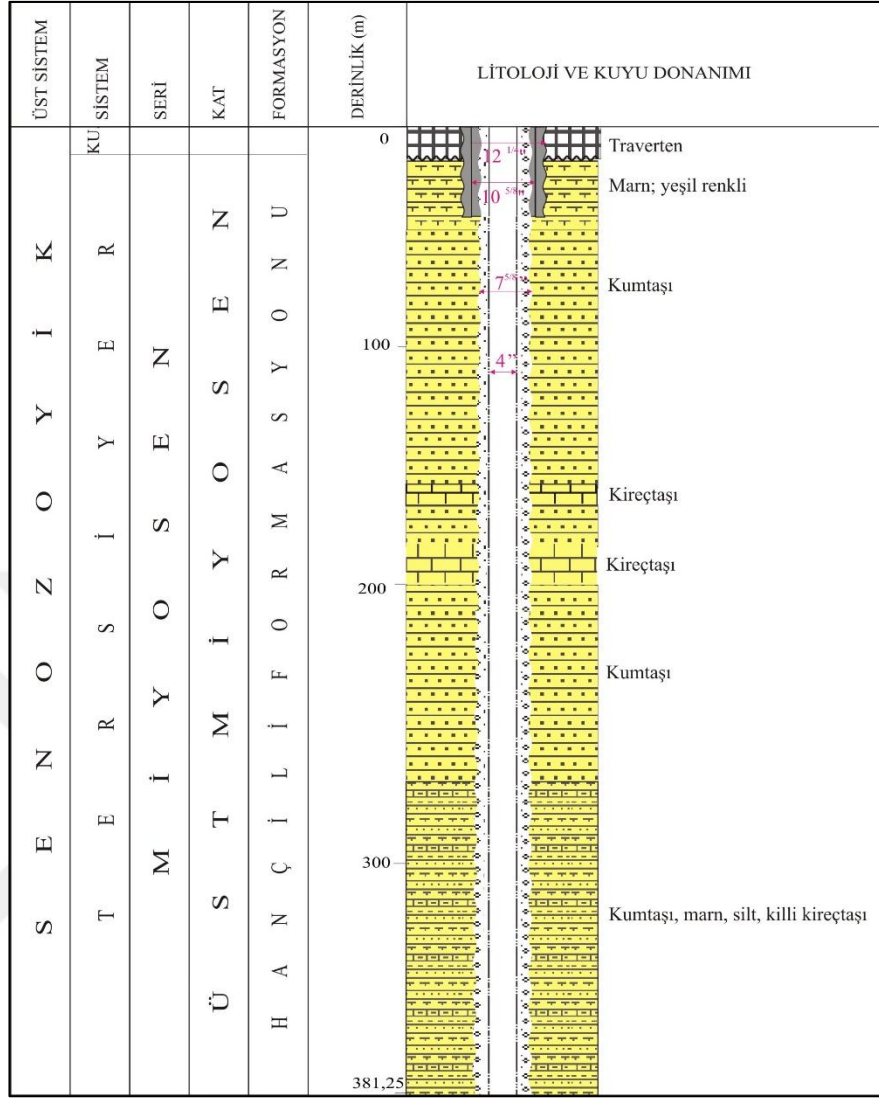
MTA Genel Müdürlüğü tarafından jeotermik gradyanın belirlenmesi için Malıköy-1 kuyusu açılmıştır. (Şekil 5.28). Bu kuyuda 381.25 m derinlikte 33 °C kuyu dibi sıcaklığı ölçülmüştür (Ölmez 1975).



Şekil 5.26 Malıköy kaynak alanı (Resimde doğuya bakılmaktadır)



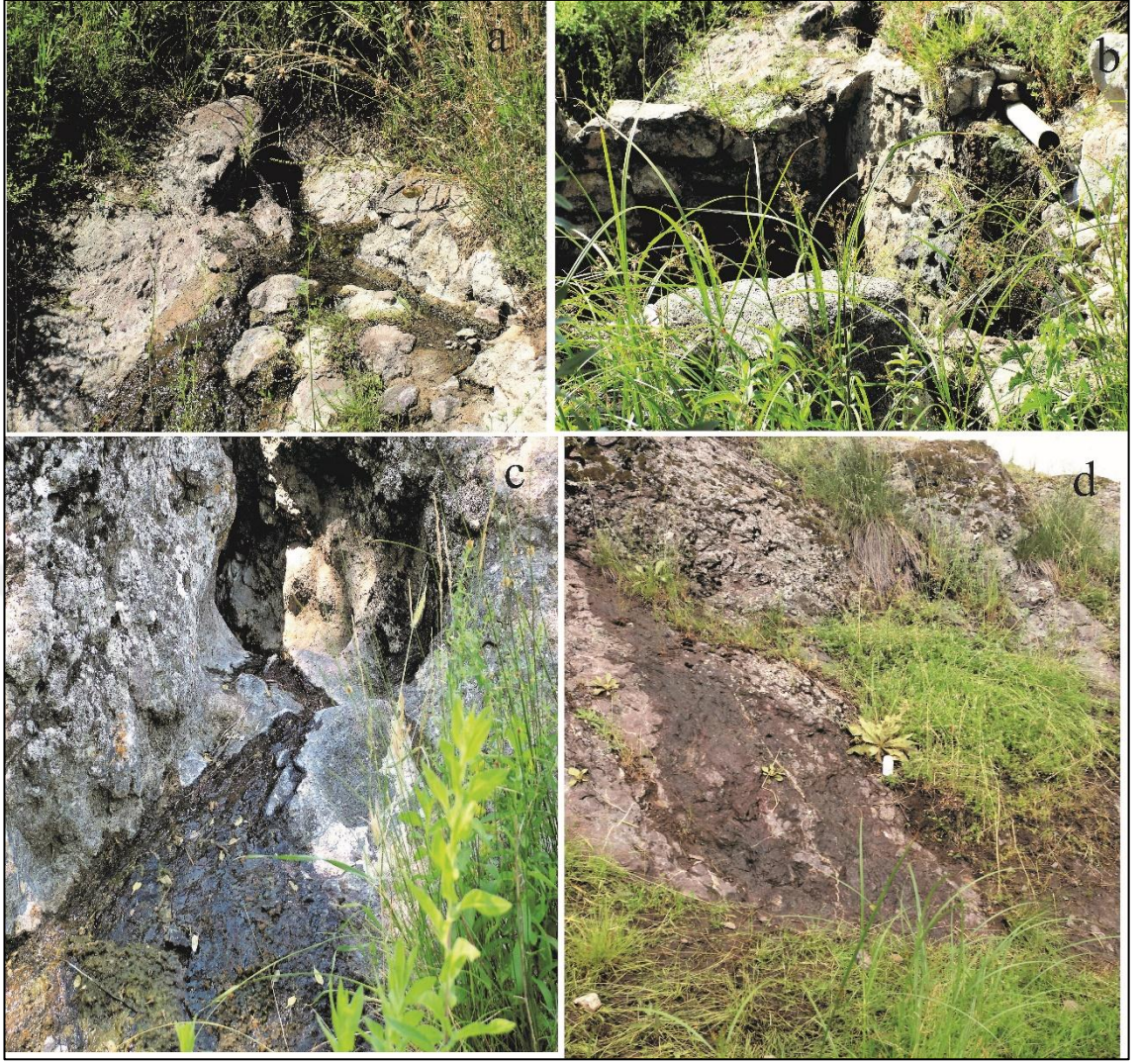
Şekil 5.27 Malıköy kaynağına ait hidrojeoloji kesiti



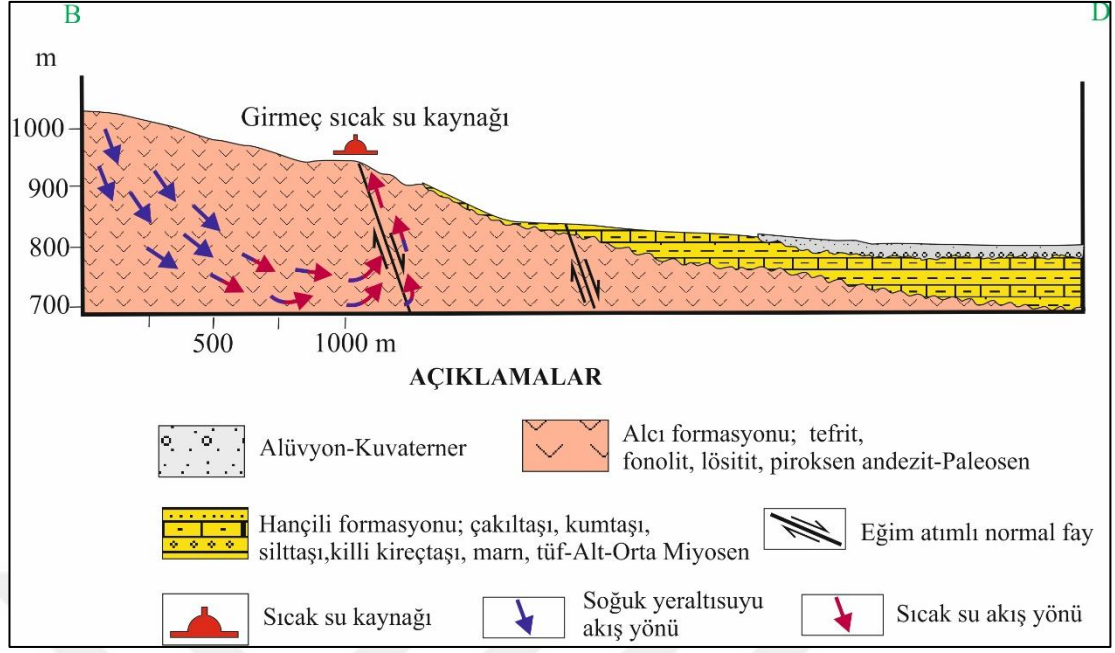
Şekil 5.28 Malıköy kuyusu litoloji logu ve kuyu donanımı (Ölmez'den (1975) değiştirilerek hazırlanmıştır)

Girmeç Sıcak Su Kaynakları

Girmeç kaynağı (TPGS-2) Miyosen yaşlı volkanitlerin kırık ve çatlakları boyunca yüzeye çıkmaktadır (Şekil 5.29, 5.30). Ayrıca volkanitlerin bu kırıklı zonları boyunca çıkan sızıntı şeklinde, sıcaklığı 26-31.2 °C arasında değişen kaynaklar da tespit edilmiştir. Örneklem sadece TPGS-2 kaynağından yapılmıştır. Kaynakların herhangi bir kullanımı yoktur.



Şekil 5.29.a.Girmeç sıcak su kaynağı, b. kaynağın boşaldığı havuz, c. ve d. volkanitlerin kırık ve çatlakları boyunca gözlenen sızıntılar



Şekil 5.30 Girmec kaynağına ait hidrojeoloji kesiti

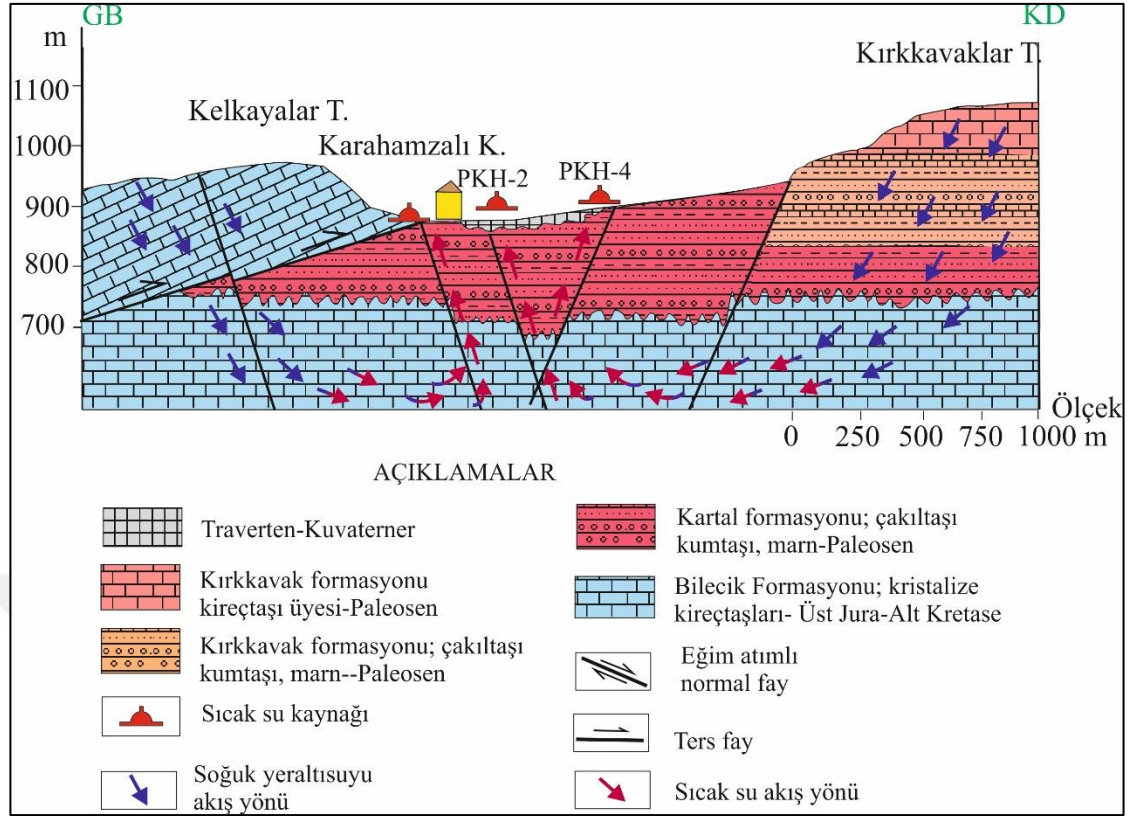
5.4.2.3 Polatlı-Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca sıcak su kaynakları

Karahamzalı kaynakları (TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5)

Karahamzalı köyü ve çevresindeki boşalım yapan kaynakların sıcaklıkları 25.9-29.9 °C'dir, bu kaynaklardan TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5 noktalarından örnekleme yapılmıştır. Kaynaklar Paleosen yaşlı Kartal formasyonundan ve Kartal formasyonunun Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları ile yaptıkları dokanaktan boşalım yapmaktadır (Şekil 5.31-5.32). Kaynakların yüzeye çıkmasında K-G ve KB-GD doğrultulu eğim atımlı faylar etkilidir. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşı ile Kartal formasyonunun bindirme hattı boyunca da kaynak çıkışları tespit edilmiştir (Şekil 5.33). Bu suların bir kısmı kaptajı yapılarak sulama amaçlı kullanılmaktadır. Karahamzalı köyünün içinden birkaç noktadan çıkan kaynaklar boyunca traverten çökelleri mevcuttur.



Şekil 5.31 Karahamzalı: a. TPKH-2 kaynağı ve güncel traverten çökelleri, b. TPKH-4 kaynağı, c. TPKH-4 kaynağının 10 m güneyindeki kaynak d. TPKH-5 nolu sıcak su kaynakları



Şekil 5.32 Karahamzalı TPKH-2 ve TPKH-4 nolu kaynaklardan geçen hidrojeoloji kesiti

Ilıca Sıcak Su Kaynağı (TPÖ-1)

Ilıca kaynağı (TPÖ-1), Ilıca köyünün güneydoğusunda yer alır. 21.2 °C sıcaklıkta olup, 1.5 l/s debiye sahiptir. Çıkan sular içerisinde kutsal olduğu düşünülen balıkların bulunduğu bir havuzda toplanırlar (Şekil 5.34). Sular alüvyon içerisinde muhtemelen KB-GD doğrultulu faylar boyunca yüzeye çıkmaktadır (J28-a3). Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları sıcak suların rezervuar kayacıdır.



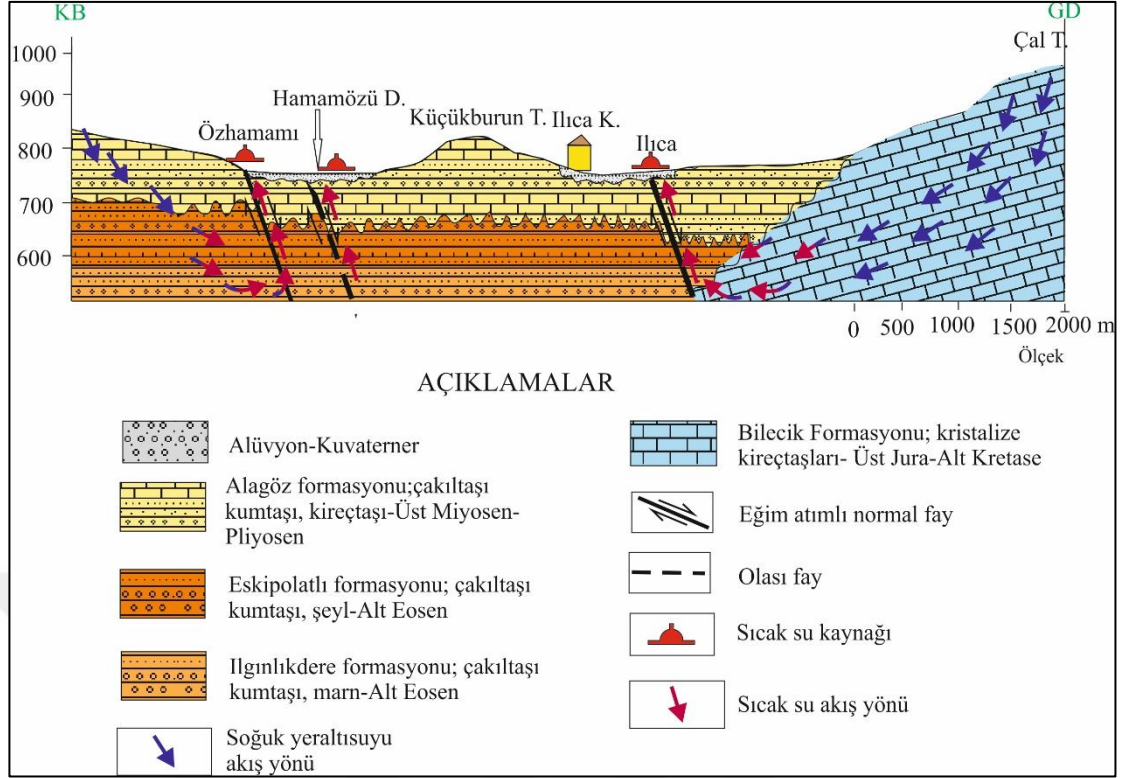
Şekil 5.33.a.b.c.Bilecik kireçtaşları ile Kartal formasyonunun bindirme dokanağı boyunca çıkan sıcak sular, d. kaptajı yapılan ve sulama amaçlı kullanılan sıcak su



Şekil 5.34 Ilıcınar kaynağının kaptajı (1.Resimde kuzeye bakılmaktadır, 2. Resimde güneye bakılmaktadır.)

Özhamamı Kaynağı (TPÖ-2)

Hacımuslu köyünün güneydoğusunda bulunan (J28-a3 nolu pafta) kaynak Pliyosen yaşlı Alagöz formasyonundan boşalmakta ve göl alanı oluşturmaktadır (Şekil 5.35-5.36). Ayrıca kaynağın hemen güneydoğusunda yer alan Hamamderesi boyunca da kaynak çıkışları mevcuttur (Öktü 1987). Majör anyon-katyon analizleri için örnekleme dönemi Kasım 2014 tarihinde yağışlı olduğu için Hamamderesi boyunca çıkan kaynaklarda burada herhangi bir ölçüm yapılamamıştır.



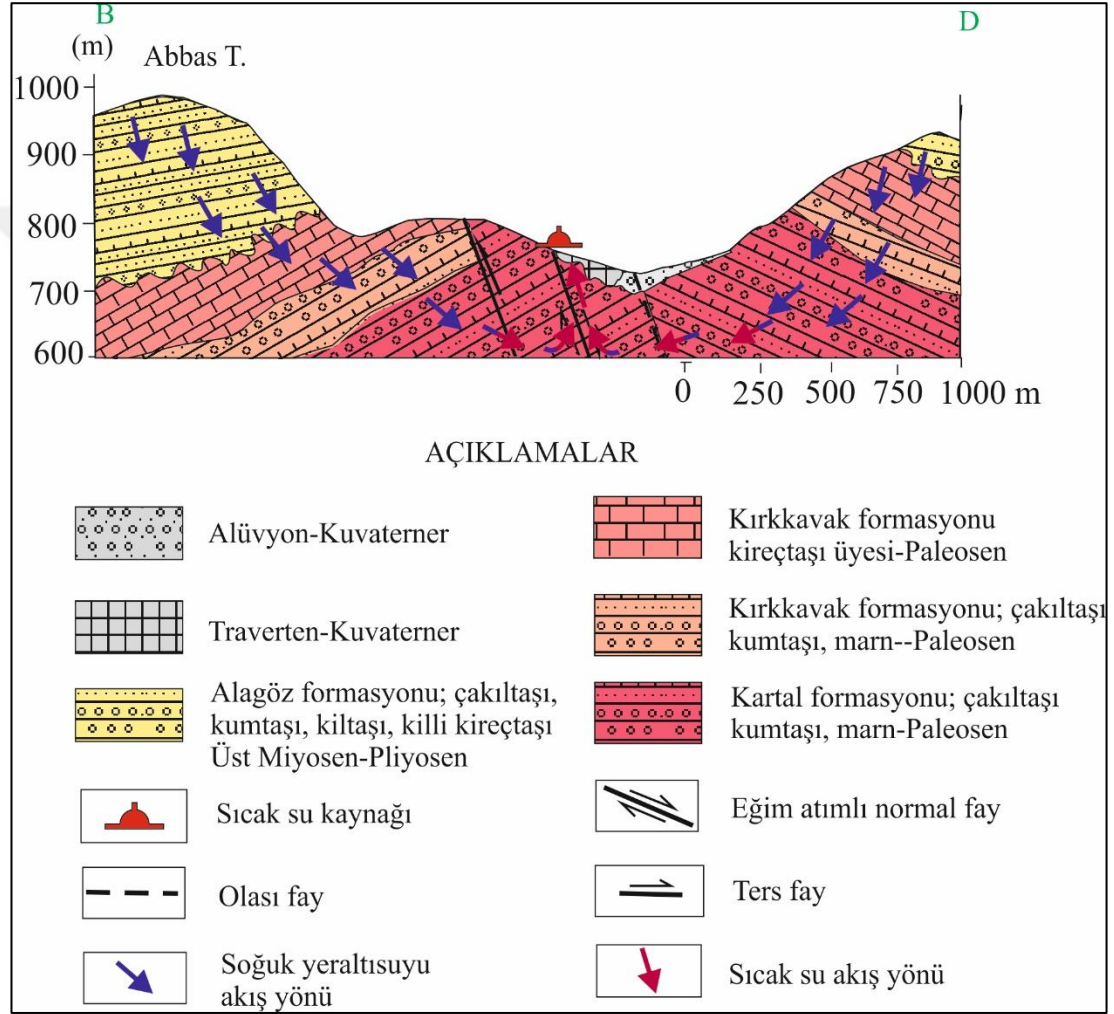
Şekil 5.35 Özhamamı-Ilıca kaynaklarının hidrojeoloji kesiti



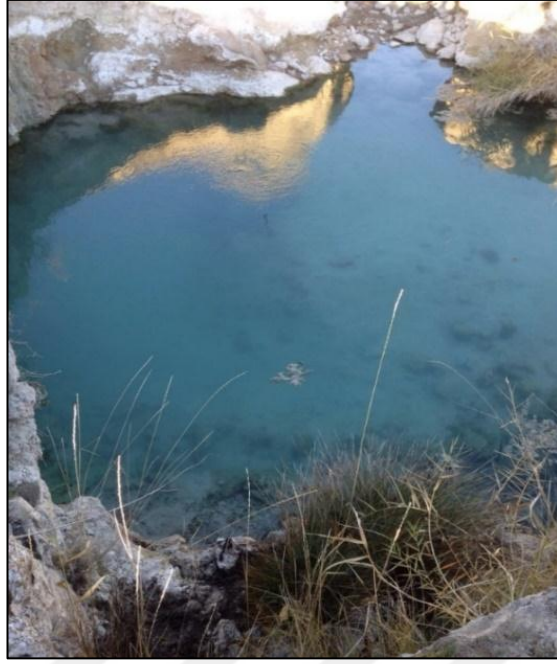
Şekil 5.36 Özhamamı kaynak alanı (Resimde doğuya bakılmaktadır)

Sabanca Kaynağı (TPSS-2)

Sabanca köyünün batısında bulunan kaynak Kırkkavak formasyonunun kireçtaşı seviyelerinden boşalmaktadır (Şekil 5.37, EK 3 ve EK 7). Kaynak 24 °C sıcaklığa sahiptir. Kaynak yöre halkı tarafından banyo amaçlı kullanılmaktadır (Şekil 5.38).



Şekil 5.37 Sabanca kaynağı hidrojeoloji kesiti



Şekil 5.38 Sabanca kaynağı göl alanı (Resimde kuzeye bakılmaktadır)

5.4.2.4 Haymana bölgesi sıcak su kaynakları

Haymana kaynağı, Haymana ilçesinin merkezinde yer alır. Alanda kuyular açıldıktan sonra hem bu kaynak hem de ilçenin kuzeydoğusundaki Uyuz hamamı kurumuştur (Özeke 1987).

Haymana’da açılmış olan 8 adet kuyudan günümüzde sadece 5 nolu kuyu, İHJ-1 kuyusu ve Çulluk Cami kuyusu kullanılmaktadır (Çizelge 5.5). Yeni açılan kuyuda ise test çalışmaları devam etmektedir (Şentürk 2018). Sondaj-1 ve Sondaj 1-A kuyularına ait kuyu logları mevcut değildir. Sondaj-3, 4 ve 5 nolu kuyular MTA Genel Müdürlüğü tarafından, İHJ-1 kuyusu ise İller Bankası, Çulluk Cami ve Yeni Kuyu özel şirketler tarafından açılmış olup, tamamı Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonundan üretim yapmaktadır (Şekil 5.39-5.45). Sıcak su, sondajlarda eğim atımlı normal fayları kestikleri seviyelerden alınmaktadır (Şekil 5.46). Su kimyası analizleri için 5 nolu kuyu (THMK-1) ve İHJ-1 kuyusundan (THMK-2) örnek alınmıştır.

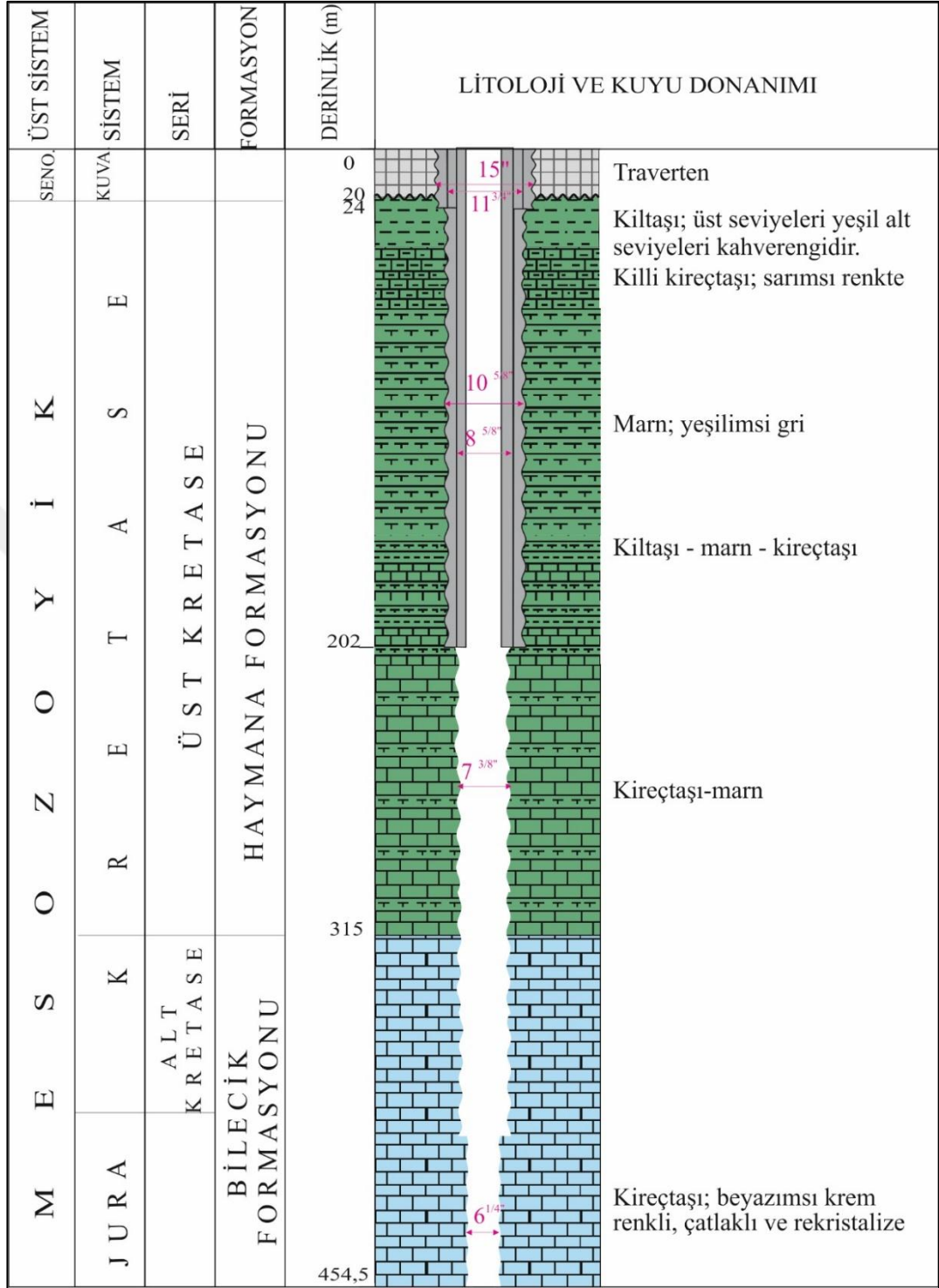
Çizelge 5.5 Haymana jeotermal alanında açılan kuyulara ait bilgiler

Kuyu Adı	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Pafta No	Koordinatı UTM		
						Y (Doğu)	X (Kuzey)	Z (m)
Sondaj-1	-	-	44	4,8	J28b2	0456400	4365093	1234
Sondaj-1A	1975	343	-	-	J28b2	0408915	4407803	-
Sondaj-3	1986	454.50	31	0.1	J28b2	0456732	4369315	1221
Sondaj-4	1987	221.5	44.5	52	J28b2	0456726	4365296	1213
Sondaj-5	2005	230	44.5	40	J28b2	0456711	4365309	1217
İHJ-1	2009	204	42.3	33	J29a1	0457154	4365373	1206
Çulluk Cami Kuyusu	2017	300	42.5	35	J28b2	0456703	4367054	-
Yeni Kuyu	2018	300	40	6	J29a1	0457971	4367246	-

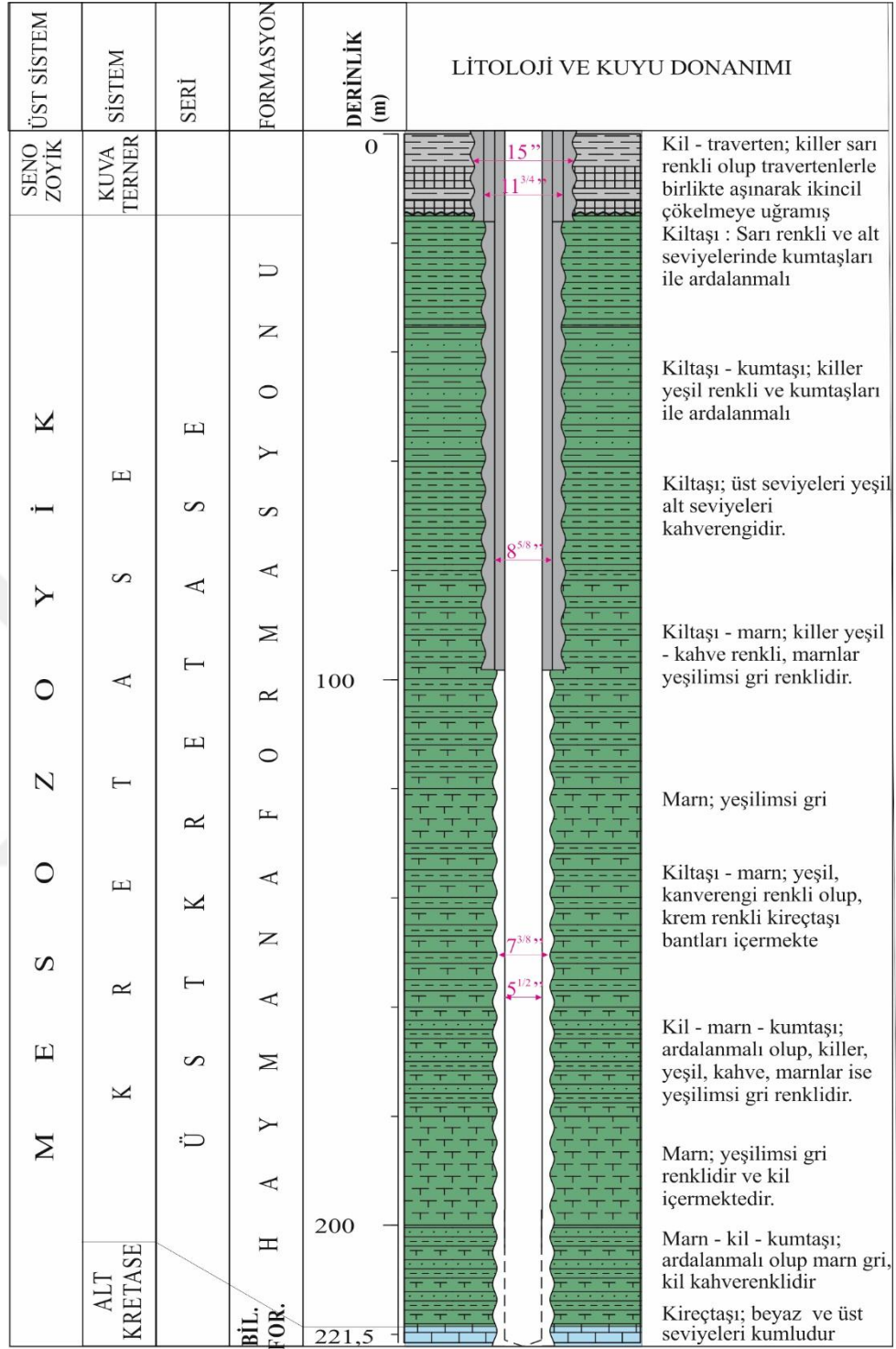
*: Sondaj-1, Sondaj-1A, Sondaj-3, Sondaj-4 ve Sondaj-5'e ait bilgiler MTA (2005), İHJ-1 kuyusuna ait bilgiler Şentürk (2014) ile Çulluk camii kuyusu ve Yeni Kuyuya ait bilgiler Şentürk'ten (2018) alınmıştır.



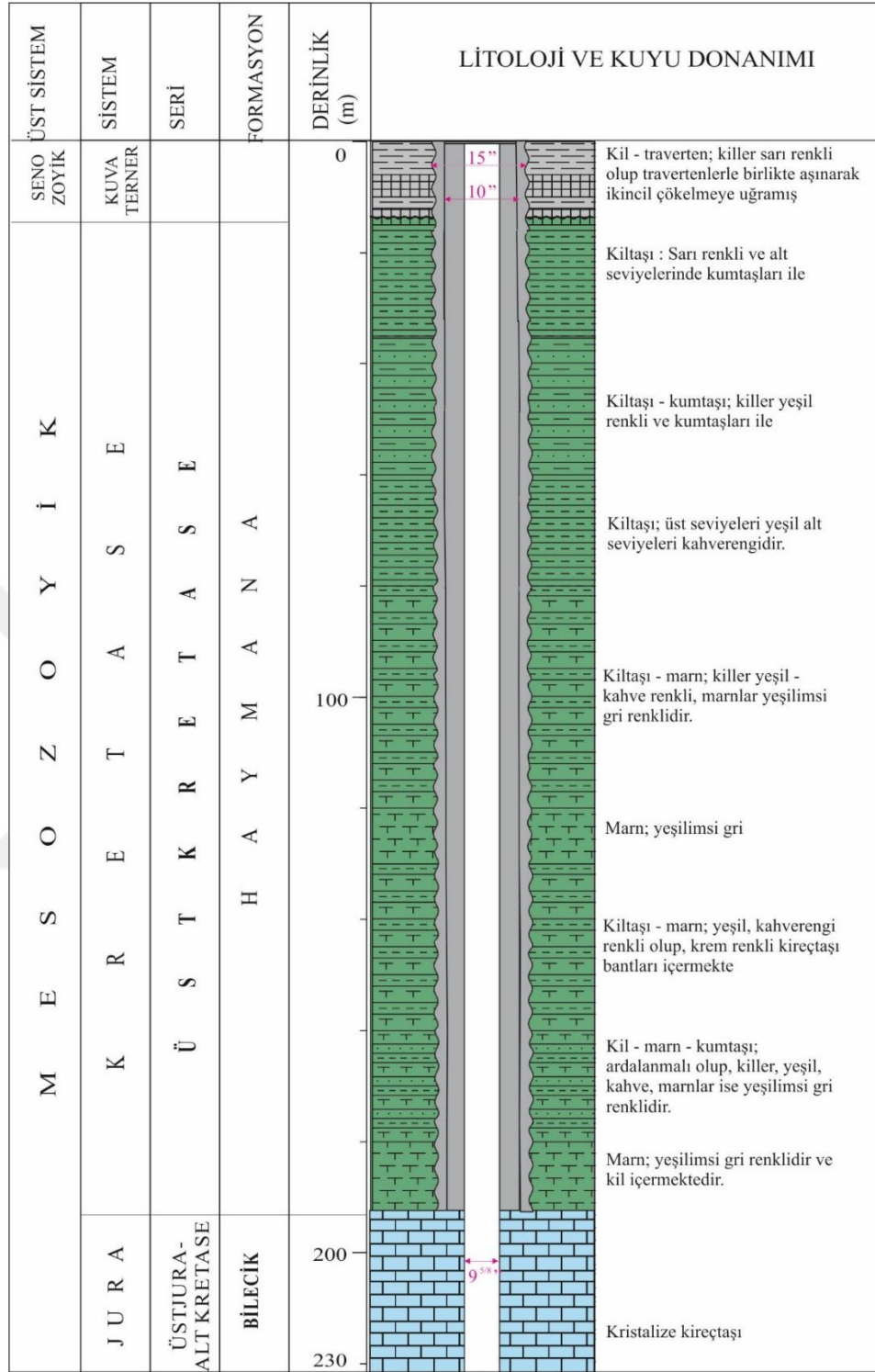
Şekil 5.39.a.5 nolu kuyu (THMK-1), b. İHJ-1 (THMK-2) kuyusu



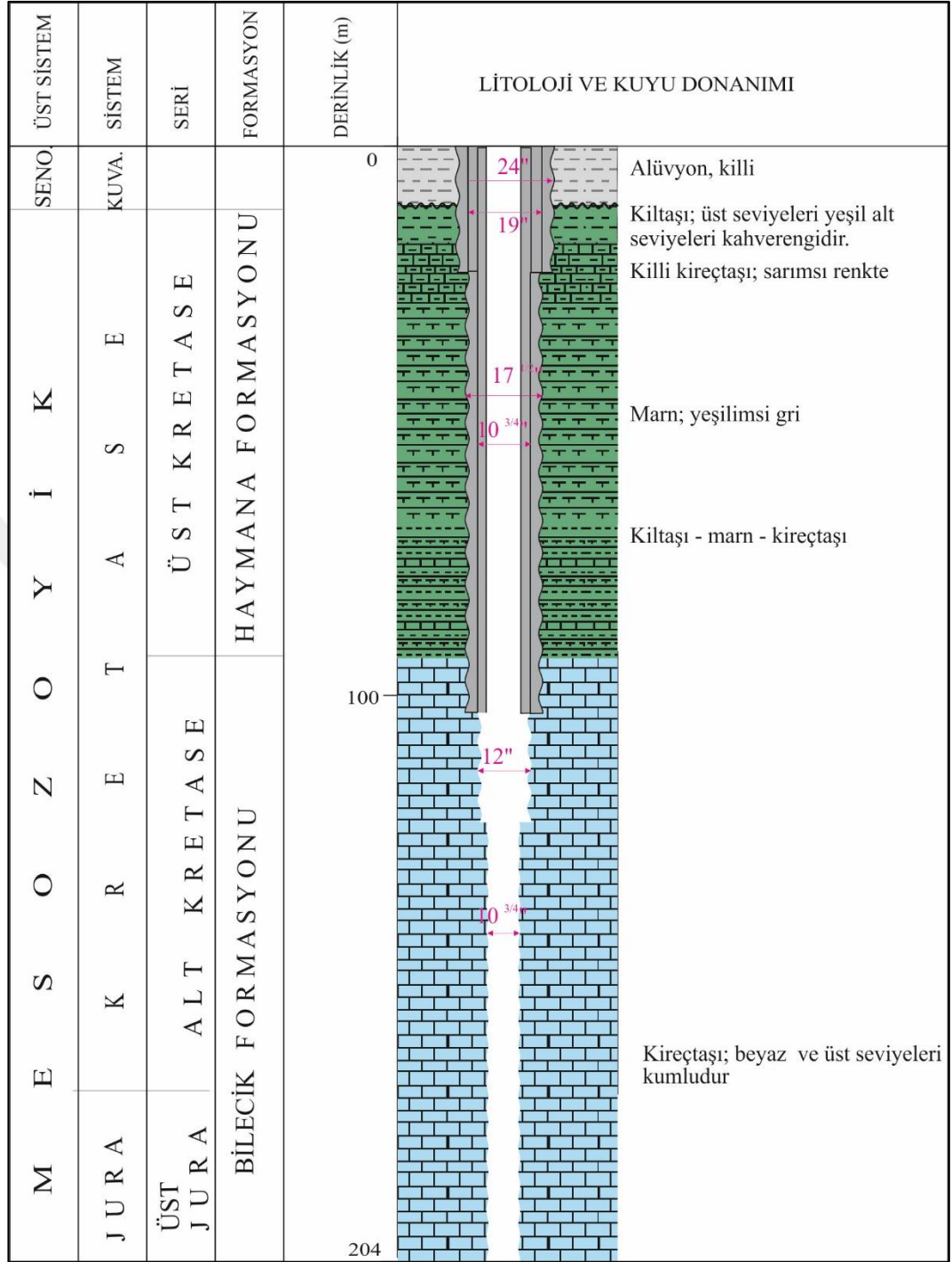
Şekil 5.40 Haymana-3 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Özeke'den (1987) yararlanılarak hazırlanmıştır)



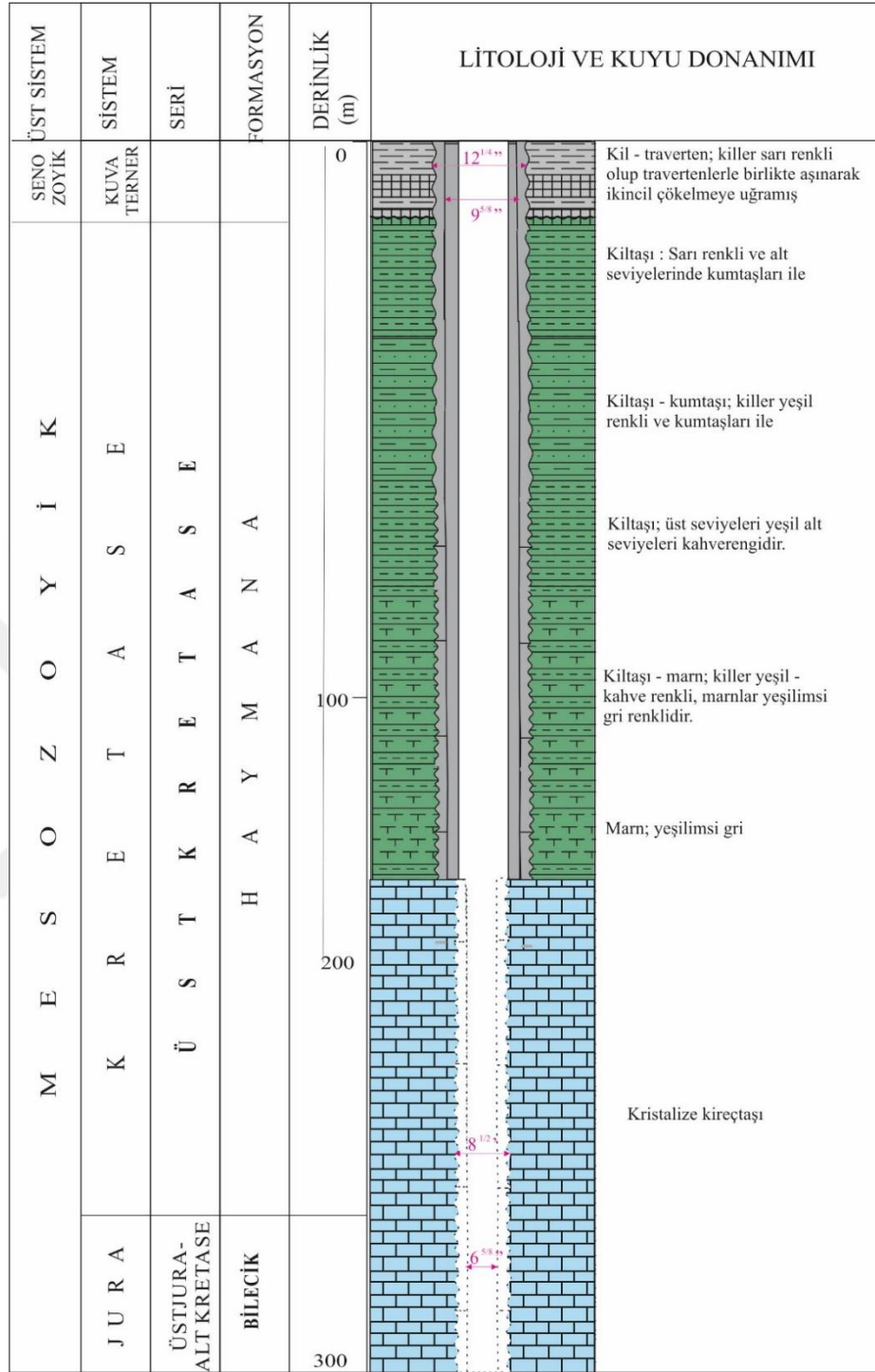
Şekil 5.41 Haymana-4 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Özeke'den (1987) yararlanılarak hazırlanmıştır)



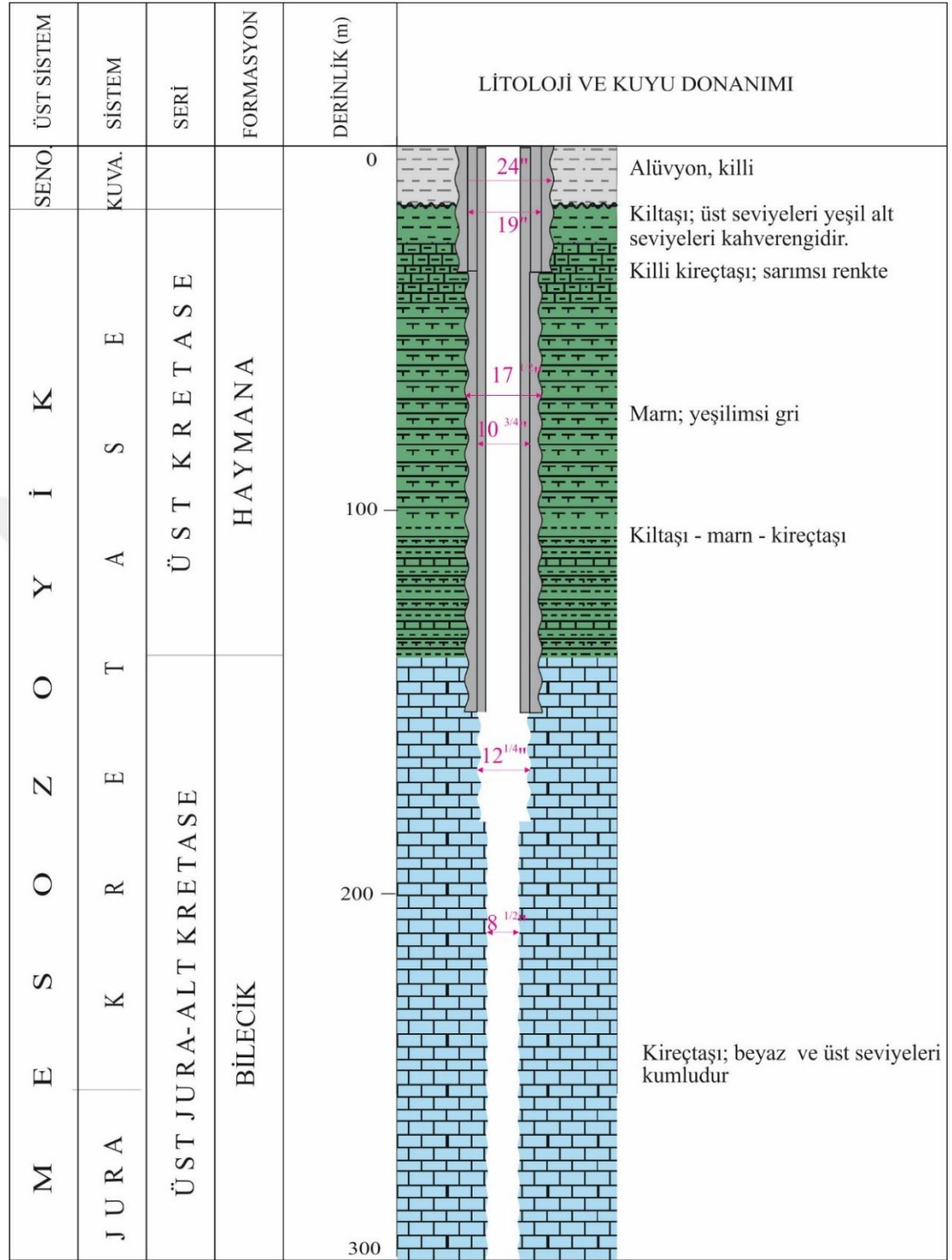
Şekil 5.42 Haymana-5 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2014) yararlanılarak hazırlanmıştır)



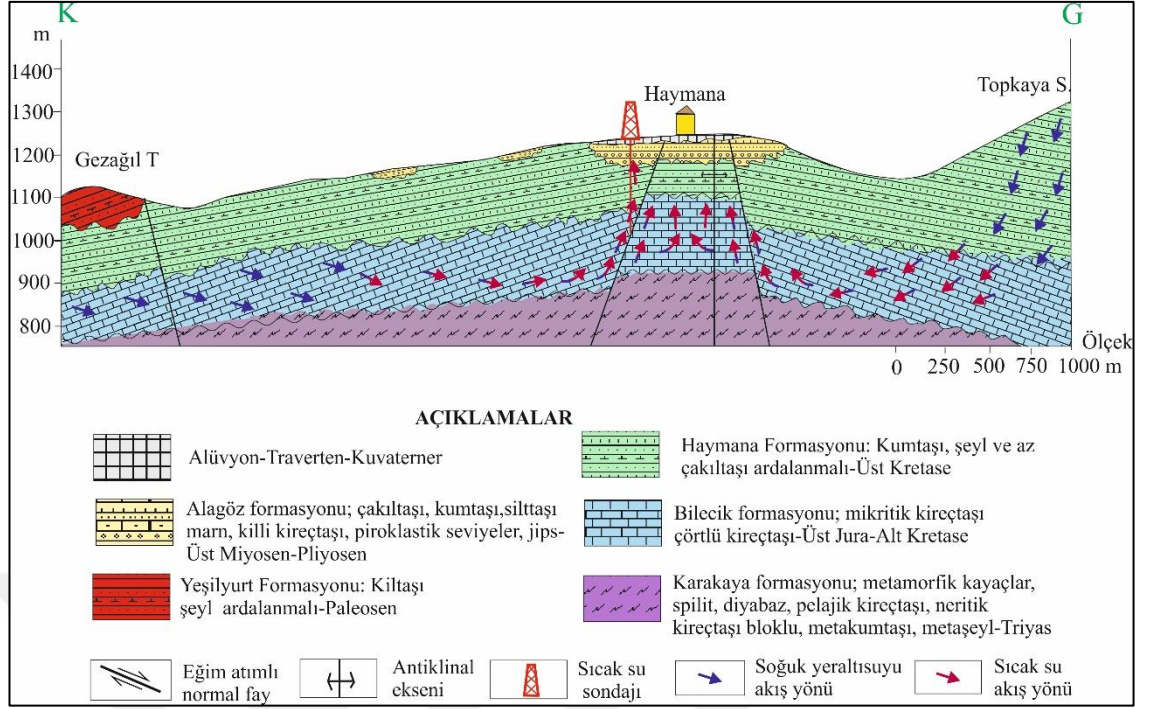
Şekil 5.43 Haymana- İHJ-1 kuyusuna ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2014) yararlanılarak hazırlanmıştır)



Şekil 5.44 Haymana-Çulluk cami yanında açılan yeni kuyuya ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2018) yararlanılarak hazırlanmıştır)



Şekil 5.45 Haymana-son açılan yeni kuyuya ait litoloji logu ve donanım planı (Şentürk'ten (2018) yararlanılarak hazırlanmıştır)



Şekil 5.46 Haymana bölgesi hidrojeoloji kesiti

6. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

İnceleme alanında yer alan sıcak su kaynakları, bazı sıcak su kuyuları ve belirlenen soğuk su kaynaklarının fizikokimyasal özelliklerini belirlemek için Ekim ve Kasım 2014 tarihlerinde kaynak başında ölçümler yapılmıştır (Çizelge 6.1-6.3). Ayrıca suların hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesine yönelik bir kereye mahsus olmak üzere örnekleme yapılmıştır. Örnekleme yapılan sıcak ve soğuk suların fiziksel ve kimyasal özellikleri aşağıda verilmiştir.

6.1 Suların Fiziksel Özellikleri

Sıcaklık

İnceleme alanındaki termal su kaynaklarının sıcaklıkları 21-42.6 °C arasında değişmektedir. Bogomolov ve Becthourine 'e (1955) göre; TPSO-1, TPSO-2, TPM-1, TPGS-2, TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5, TPÖ-1, TPÖ-2 ve TPSS-2 örnekleri hipotermal su (ılık su), TPÇK-1, PÇK-2, THMK-1 ve THMK-2 nolu örnekler ise termal su (sıcak su) sınıfına girmektedir. Soğuk su kaynaklarının sıcaklıkları ise 10.4-18 °C arasındadır.

Hidrojen İyonu Aktivitesi (pH)

Hidrojen iyonu aktivitesi olarak bilinen pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Soğuk yeraltı sularında pH değeri 4-9 arasında iken (Şahinci 1991), jeotermal kaynaklarda ise değişiklik gösterir. İnceleme alanındaki sıcak suların pH değeri 6.5 ile 8.7 arasında değişmektedir (Çizelge 6.1-6.3). Volkanik kayalardan beslenen Gırmeç sıcak su kaynağının (TPGS-2) pH değeri 8.7 olup, bazik özelliktedir. Diğer sıcak su kaynakları ise nötr özellik göstermektedir. Soğuk su kaynaklarının pH değeri ise 6.91-7.86 arasında olup, nötr özellik gösterirler.

Çizelge 6.1 Polatlı Sarıoba-Çağlayık bölgesi sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri

Bölge		Örnek No	Koordinatı UTM		Yükseklik (m)	T (°C)	Q (l/s)	EC (µS/cm)	pH	Tuzluluk (ppt)	Çözünmüş O ₂ (mg/l)	TDS (mg/l)
			Y (doğu)	X (kuzey)								
POLATLI	Sarıoba-Çağlayık-Girmeç-Malköy	TPSO-1*	4416284	428186	694	32.4	10	1563	6.83	0.70	2.68	916
		TPSO-2*	4416380	428544	725	30.3	1	1281	6.86	0.57	2.65	750
		PSO-3*	4423267	432108	965	15.0	0.8	324	7.61	0.10	8.49	212
		PSO-4*	4420003	428537	888	17.1	1	465	7.42	0.10	7.16	303
		PSO-5*	4413925	421517	723	16.6	-	1127	7.35	0.40	-	-
		PSO-6	4420045	427085	789	16.0	0.4	382	7.49	0.1	-	297
		PSO-7	4413925	431903	959	17.0	0.45	318	7.53	0.1	-	256
		TPÇK-1*	4407964	408814	646	37.1	0.3	17692	6.83	8.20	-	9367
		PAS-1*	4408395	443175	749	15.8	0.1	692	7.11	0.20	8.13	415
		TPM-1*	4403210	445659	735	24.5	-	6120	6.80	3.30	-	-
		PGS-1*	4407113	437524	972	10.4	0.3	529	7.49	0.20	9.19	343
		TPGS-2*	4406976	438248	921	29.2	0.1	662	8.70	0.20	-	-
		PGS-3	4404682	439718	880	15.2	2.1	472	7.53	0.20	-	-
		PGS-4	4407468	438457	891	14.7	-	370	7.71	0.10	-	-
		PGS-5	4402389	443573	745	14.2	0.23	594	7.2	0.10	-	-

*: Sıcak su kaynaklarının simgelerinin başında T harfi bulunmaktadır, örnekleme yapılan kaynaklar * ile işaretlenmiştir

Çizelge 6.2 Polatlı Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanca bölgesi sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri

Bölge		Örnek No	Koordinatı UTM		Yükseklik (m)	T (°C)	Q (l/s)	EC (µS/cm)	pH	Tuzluluk (ppt)	Çözülmüş O ₂ (mg/l)	TDS (mg/l)
			Y (doğu)	X (kuzey)								
POLATLI	Karahamzalı-Ilıca-Özhamamı-Sabanaca	PKH-1*	4366885	424795	824	11.8	0.35	1222	7.22	0.50	1.08	794
		TPKH-2*	4366132	424677	872	25.9	0.3	1177	6.70	0.50	-	-
		PKH-3*	4364511	425340	905	15.1	0.23	739	7.17	0.30	-	-
		TPKH-4*	4366106	424970	882	29.9	0.2	1177	6.70	0.50	-	-
		TPKH-5*	4367985	423902	796	28.6	0.3	1115	6.70	0.50	-	-
		PKH-6	4366091	42972	885	24	0.14	1165	6.71	0.50	-	-
		PKH-7	4468896	421988	755	14.8	0.9	817	7.32	0.2	-	-
		PKH-8	4462902	428656	968	16.2	0.32	668	7.12	0.1	-	-
		TPÖ-1*	4350567	432575	797	21.2	1.5	1029	6.50	0.50	-	-
		TPÖ-2*	4354505	432405	814	31.0	-	2300	7.43	1.20	-	-
		PSS-1*	4357109	432430	881	11.2	0.24	1446	7.89	0.70	8.45	940
		TPSS-2*	4359766	436651	846	24.0	-	2600	6.89	1.30	7.89	1693
		PSS-3*	4357554	436665	883	15.0	1.3	1024	7.11	0.40	7.11	668
		PSS-4*	4356384	429578	845	14	0.06	1328	7.5	0.5	-	-

*: Sıcak su kaynaklarının simgelerinin başında T harfi bulunmaktadır, örnekleme yapılan kaynaklar * ile işaretlenmiştir

Çizelge 6.3 Haymana sıcak ve soğuk sularının fizikokimyasal özellikleri

Bölge	Örnek No	Koordinatı UTM		Yükseklik (m)	T (°C)	Q (l/s)	EC (µS/cm)	pH	Tuzluluk (ppt)	Çözünmüş O ₂ (mg/l)	TDS (mg/l)
		Y (doğu)	X (kuzey)								
HAYMANA	THMK-1*	4365180	456722	1217	42.6	40	993	6.73	0.40	2.59	588
	THMK-2*	4365373	457154	1206	40.1	33	885	6.77	0.40	2.51	576
	HMK-3*	4364147	456499	1125	14.4	0.04	1176	7.86	0.60	8.66	933
	HMK-4*	4370697	461293	1154	14.9	0.2	813	6.91	0.80	5.19	528
	HMK-5*	4368712	453412	1023	17.8	120	326	7.63	-	-	-
	HMK-6	4369234	462492	1151	16.3	0.2	234	7.8	-	-	-

*: Sıcak su kaynaklarının simgelerinin başında T harfi bulunmaktadır, örnekleme yapılan kaynaklar * ile işaretlenmiştir

Elektriksel İletkenlik ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Suların elektrik iletebilme özelliği olan elektriksel iletkenlik (EC), sudaki iyonların miktarına, toplam derişime ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artmaktadır.

İnceleme alanındaki sıcak suların EC değerleri 662-17692 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Kaynak başında ölçülen en düşük EC değeri Girmeç sıcak su (TPGS-2) kaynağında (662 $\mu\text{S}/\text{cm}$), en yüksek EC değeri ise Çağlayık sıcak su kaynağında (TPÇK-1) belirlenmiştir (17692 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Soğuk su kaynaklarının EC değerleri 324-1222 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasındadır (Çizelge 6.1-6.3).

Çözünmüş Oksijen (mg/l)

Suların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını anlamak için en çok başvuru parametrelerden birisi de sudaki çözünmüş oksijen miktarının ölçülmesidir. Sulardaki indirgeyici madde miktarını saptamak için gereken kimyasal oksijen ihtiyacı (COD) ve suların mikroorganizmalar tarafından ne kadar kirletildiğini saptamak için gereken biyolojik oksijen ihtiyacı (BOD)'nin belirlenmesinde çözünmüş oksijen miktarı kullanılır (Eroğlu ve Aksoy 2005). Çözünmüş oksijen veya karbondioksit, pH veya sıcaklık gibi bileşenlerdeki değişiklikler, demir, manganez, alkalilik veya sertlik gibi bazı inorganik bileşenlerde ikincil değişiklikler meydana getirebilir (Anonymous 1995). Çözünmüş oksijen analizi suların kirlilik ölçümlerinde, kirliliğe bağlı kontrol faaliyetlerinde ve atıksu arıtma tesislerinin kontrolünde daha çok kullanılmaktadır.

İnceleme alanındaki suların fiziksel özelliklerini belirlemek için iki farklı multiprob kullanılmıştır. Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümüne ait HQ40d isimli cihazla yapılan ölçümlerde çözünmüş oksijen miktarı ölçülmüştür. Özellikle tarım ve hayvancılık faaliyetlerinin yoğun olduğu soğuk su kaynaklarında (PAS-1, PGS-1, PSS-1 ve HMK-3) çözünmüş oksijen değerlerinde belirgin bir yükseklik vardır (Çizelge 6.1-6.3).

Tuzluluk

Tuzluluk, özellikle endüstriyel ve doğal suların önemli bir özelliğidir (APHA 1995). Suların tuzluluk değerleri elektriksel iletkenlik değerleriyle uyumludur. Sıcak sularda en yüksek tuzluluk değeri 8.2 ppt değeri ile Çağlayık sıcak su kaynağına (TPÇK-2) aittir (Çizelge 6.1).

6.2 Suların Kimyasal Özellikleri

Majör İyonlar

Majör iyonlar, doğal sularda toplam çözünmüş katı madde içeriğinin %90' dan fazlasını oluşturan Na^+ , K^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , HCO_3^- , Cl^- ve SO_4^{-2} iyonlarıdır. Çalışma alanındaki soğuk ve sıcak sulardaki bu iyonların dağılımları aşağıda anlatılmıştır (Çizelge 6.4-6.5).

Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+): Sodyum (Na^+), alkali metaller arasında (Li, Na, K, Rb, Cs) yer kabuğunda en fazla bulunan elementtir (Şahinci 1991). Yeraltı sularının doğal sodyum içeriği 6-130 ppm arasında değişmektedir. Sulardaki sodyumun kaynağı magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler ve evaporitlerdir. İçme ve kullanma suyu standartları sodyum için maksimum 200 ppm olarak belirlenmiştir (TS-266).

Potasyum (K^+) ise potaslı feldispatlarda, mikalarda, feldispatoid ve kil minerallerinde bulunmaktadır. Doğal sularda K^+ konsantrasyonu 20 mg/l'den fazla değildir. Ancak sıcak sularda bu değer 100 mg/l'ye kadar çıkmaktadır (Doğan 1981). K^+ için herhangi bir sınır değeri verilmemiştir.

Çizelge 6.4 Polatlı sularına ait majör anyon-kasyon değerleri (değerler mg/l cinsindendir)

Örnek No	Örnekleme Tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	SiO ₂	F	B	NH ₄	NO ₂	NO ₃
TPSO-1	19.11.2014	32.4	6.67	1462	12.77	124	148	39.2	544	<10	147	162	15	0.3	0.5	<0.1	<0.05	7.81
TPSO-2	19.11.2014	30.3	6.77	1212	9.12	82.5	138	37.8	503	<10	140	97.7	20.9	0.3	0.4	<0.1	<0.05	12
PSO-3	11.11.2014	15	7.60	299	8.36	2.97	44	20.9	216	<10	8.06	2.92	10.5	0.2	0.06	<0.1	<0.05	10.2
PSO-4	11.11.2014	17.1	7.48	333	15	10.6	70.8	20.5	300	<10	19.3	3.92	62.3	0.4	0.13	<0.1	<0.05	7.07
PSO-5	20.06.2015	16.6	7.40	1103	11.1	132	120	57	550	<10	233	97.6	40.7	0.5	0.2	<0.1	<0.05	10.8
TPÇK-1	19.11.2014	38.1	6.56	15045	80.1	3648	416	178	902	<10	5577	1917	68.5	1.9	19.63	2.7	-	0.76
PAS-1	07.11.2014	15.8	7.46	646.07	2.3	89.3	25.4	24.4	314	<10	36.6	16.9	39.4	<0.1	0.21	<0.1	<0.05	62.3
TPM-1	22.10.2014	24.5	6.62	6193.8	47.9	1362	158	82.7	2341	<10	768	626	30	3.2	16.25	0.3	<0.05	1.2
PGS-1	07.11.2014	10.4	7.77	537	1.97	39.6	59.3	27.5	405	<10	15.6	2.44	22.8	0.2	0.11	<0.1	<0.05	<0.1
TPGS-2	22.10.2014	29.2	8.85	683	1.04	159	1.8	<1.0	137	49.9	133	14.5	33.4	3.5	5.34	<0.1	<0.05	<0.1
PKH-1	07.11.2014	11.8	6.76	1213	7.27	89.8	172	27.4	785	<10	30.6	39	18.6	0.9	1.7	<0.1	<0.05	<0.1
TPKH-2	22.10.2014	25.9	6.90	1192	9.33	84.4	159	24.7	816	<10	32.7	35.5	17.5	1	1.56	0.1	<0.05	0.3
PKH-3	22.10.2014	15.1	7.17	746.15	6	38.8	78.7	24.9	293	<10	41.4	27.8	20	0.8	0.9	<0.1	<0.05	106
TPKH-4	22.10.2014	29.9	6.56	1159.8	9.47	82.3	171	23	783	<10	29	35.2	17	1	1.65	<0.1	<0.05	0.33
TPKH-5	22.10.2014	28.6	6.94	1117.6	6.68	79.1	134	32.2	514	<10	99.3	51.9	15	0.8	1.2	<0.1	<0.05	72.5
TPÖ-1	22.10.2014	21.2	7.55	1034.2	6.35	90.3	82.6	37.7	285	<10	254	52.3	13.3	0.2	0.9	<0.1	<0.05	17.9
TPÖ-2	22.10.2014	31.0	7.43	2335.2	15.1	408	77.9	31.1	508	<10	248	384	20	0.7	4.43	<0.1	<0.05	0.6
PSS-1	07.11.2014	11.2	7.87	1452	1.28	161	48.5	89	399	17.8	180	83	22	1.5	0.9	<0.1	<0.05	165
TPSS-2	11.11.2014	24	6.78	2591	19.3	482	121	37.9	1698	<10	4.24	122	35.7	4	10.56	0.5	<0.05	0.4
PSS-3	11.11.2014	18	7.17	1035	9.74	92.3	96.4	34.6	466	<10	103	35.7	16	0.8	2.4	<0.1	<0.05	60
PSS-4	20.06.2015	17.9	7.60	1338	4	140	48.9	32.9	389	<10	84.9	80.5	17.5	1.4	0.4	<0.1	<0.05	83.2

Çizelge 6.5 Haymana sularına ait majör anyon-kasyon değerleri (değerler mg/l cinsindendir)

Örnek No	Örnekleme Tarihi	Sıcaklık (°C)	pH	EC (µS/cm)	K	Na	Ca	Mg	HCO ₃	CO ₃	SO ₄	Cl	SiO ₂	F	B	NH ₄	NO ₂	NO ₃
THMK-1	08.11.2014	42.6	6.56	879	8.12	32.8	126	35.5	651	<10	6.33	4.1	25.1	1.1	0.47	<0.1	<0.05	<0.1
THMK-2	08.11.2014	40.1	6.47	890	9.28	32.4	129	35.3	644	<10	8.04	3.25	25.3	1.1	0.48	<0.1	<0.05	<0.1
HMK-3	08.11.2014	14.4	7.68	1154	17.5	43.6	124	57.6	474	<10	44.2	64.6	23.6	1	0.48	<0.1	<0.05	126
HMK-4	08.11.2014	14.9	7.57	808	9.74	84	51.7	34.9	338	<10	117	29	16	0.7	0.37	<0.1	<0.05	17.2
HMK-5	20.06.2015	17.8	7.63	342	3.9	4.3	55.3	8.4	192.3	<10	32.6	8.3	4.62	1.2	0.11	<0.1	<0.05	12.9

Çağlayık (TPÇK-1) örneğindeki Na^+ konsantrasyonu 3648 mg/l olarak belirlenmiştir. Çağlayık jeotermal alanındaki Na^+ kaynağını granitlerdeki sodyumlu plajiyoklazlar ile çevrede yüzeyleyen evaporit çökellerin bileşiminde yer alan tuzlar oluşturmaktadır. Malıköy (TPM-1) örneğinin Na^+ konsantrasyonu 1362 mg/l olarak belirlenmiş olup Na^+ muhtemelen sedimanter çökellerdeki kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Çağlayık örneğinde ölçülen yüksek potasyum ise granitler içerisindeki potaslı feldispatlardan türemiş olmalıdır. Söz konusu kaynaklardaki K^+ değeri diğer örneklerle göre daha yüksektir.

Kalsiyum (Ca^{+2}) ve Magnezyum (Mg^{+2}): Kalsiyum (Ca^{+2}), magmatik kayaçları oluşturan piroksen, amfibol ve feldispatlar ile sedimanter kayaçların (kireçtaşı, dolomit, jips vb.) ana bileşenlerindendir. Doğal sularda en çok bulunan katyonlardan biri olan kalsiyum içeriği bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimiyle yakından ilgilidir. Magnezyum (Mg^{+2}), yüksek çözünürlüğe sahip tuz minerallerinin başlıca elementidir (Şahinci 1991). Magnezyumun yeraltı sularındaki başlıca kaynakları; dolomitler, magmatik kayaçlardaki olivin, biyotit, hornblent ve ojitler, metamorfik kayaçlardaki serpantin, talk, diyopsit ve tremolitlerdir (Yıldırım 2006). Kalsiyum ve magnezyum, suların sertliğini oluşturan başlıca iyonlardır.

Örneklerin kalsiyum konsantrasyonları granitlerdeki Ca 'lu feldispatlar, kireçtaşları ile evaporitik kayaçların çözünmesi sonucu suların bileşimine katılmış olmalıdır. Girmec sıcak su kaynağında Mg^{+2} miktarı $< 0,1$ mg/l ölçülmüştür. Yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sularda Mg^{+2} derişimi 0.01-0.1 ppm arasındadır (Eroğlu ve Aksoy 2005) ve düşük Mg^{+2} miktarları rezervuar sıcaklığının yüksek olabileceğinin göstergesidir (Tarcan 2002).

Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{-2}): Alkalinite suyun asidi nötrale etme kabiliyetidir (Şahinci 1991). Alkalinite suda çözünmüş karbonat, bikarbonat ve hidroksit konsantrasyonlarının toplamıdır. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel bileşenler, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymayan bölgede üretilen gazlardır. Ayrıca, biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucu da karbondioksit oluşmaktadır.

Sıcak su örneklerinin HCO_3^- konsantrasyonları 137-2341 mg/l arasında değişmektedir. En düşük değer volkaniklerden boşalım yapan Gırmeç sıcak su kaynağı, en yüksek değer ise Kırkkavak formasyonundan boşalan Sabanca kaynağına aittir. Soğuk suların HCO_3^- içeriği ise 216-785 mg/l arasındadır. Gırmeç kaynağında (TPGS-2) ölçülen CO_3^{2-} konsantrasyonu 49.9 mg/l'dir. Kaynağın pH değerinin 8.7 olması yüksek CO_3^{2-} içeriğini açıklamaktadır.

Klorür (Cl): Klorür, halojen grubu (F, Cl, Br, I) elementler arasında en yaygın olanıdır. Evaporitlerde fazla miktarda bulunan klorür, sedimanter kayaçlarda, hornblend, biyotit ve sodalit gibi magmatik minerallerin bünyesinde de yer almaktadır. Ayrıca derin dolaşımli sularda, dolaşım arttıkça klorür konsantrasyonunun arttığı da bilinmektedir. İncelenen sıcak sularda en yüksek klorür değerleri Çağlayık (TPÇK-1) ve Malıköy (TPM-1) örneklerinde ölçülmüştür. Çağlayık (TPÇK-1) kaynağındaki yüksek klorür derişimi çevredeki Miyosen yaşlı evaporitik kayaçlardan kaynaklanmaktadır. Malıköy (TPM-1) kaynağındaki yüksek klorür derişimi evaporitik kayaçlardan olabileceği gibi suyun derin dolaşımının etkisi olduğu düşünülmektedir.

Sülfat (SO_4^{2-}): Kükürt magmatik ve sedimanter kayaçlarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller, su ile temas sonucu bozunurlar ve oksitlenerek sülfat iyonunu oluştururlar. Çağlayık (TPÇK-1) ve Malıköy (TPM-1) örneklerindeki yüksek sülfat değerleri Miyosen yaşlı jipsli kayaçlardan kaynaklanmıştır.

Florür (F): Florürün başlıca kaynağı apatit mineralidir. Ayrıca mika minerallerinin (biyotit, flogopit, paragonit gibi) bileşiminde bulunan florür (Kibici 2003), çözünerek suların bileşimine katılır. Yeraltı sularında florür miktarı genellikle çok azdır. Sıcak su örneklerindeki en yüksek florür konsantrasyonu Sabanca sıcak su kaynağında (TPSS-2) 4 mg/l, Malıköy sıcak su kaynağında ise 3,2 mg/l olarak belirlenmiştir.

Çağlayık (TPÇK-1) ve Gırmeç sularındaki (TPGS-2) florür mika minerallerinden türemiş olmalıdır. Sulardaki florür konsantrasyonu, sodyum konsantrasyonu ile uyumlu olarak artarken, Ca^{+2} ve Mg^{+2} konsantrasyonlarının azalmasıyla da düşer. Bu iki sıcak

ve mineralli suyun yüksek sodyum ve florür içerikleri ve düşük magnezyum ve kalsiyum konsantrasyonları bu görüşü destekler durumdadır.

6.3 Polatlı ve Haymana Jeotermal Sularının Hidrojeokimyasal Özellikleri

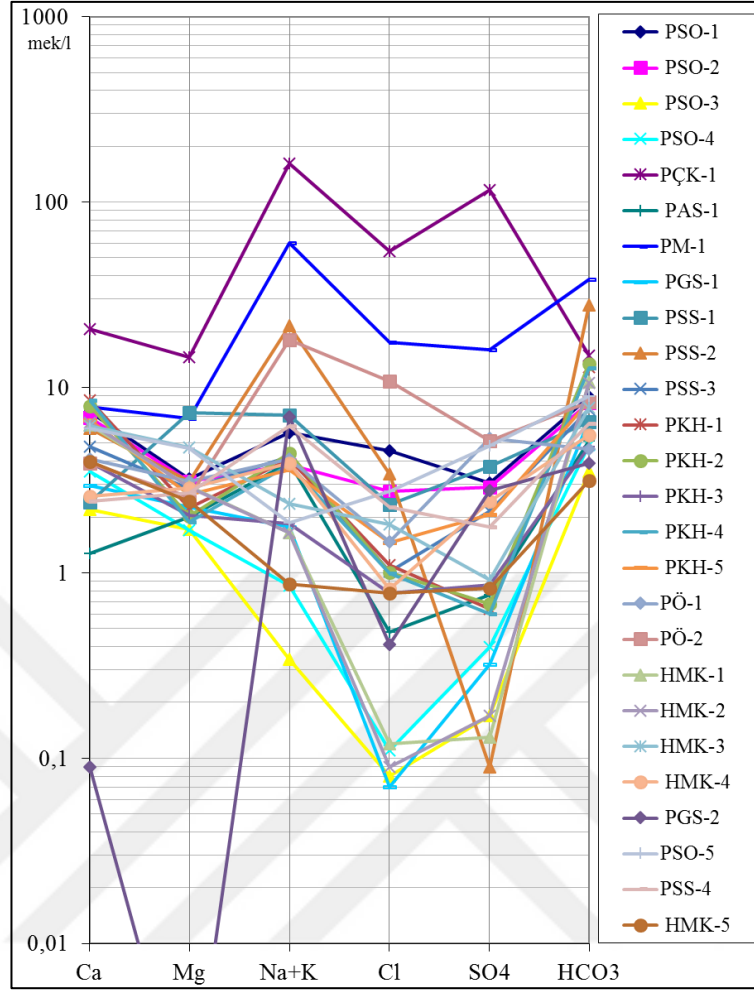
Örneklenen soğuk ve sıcak suların kimyasal analizleri kullanılarak suların kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri ortaya konulmuştur. Analiz sonuçlarının hata payı olup olmadığı 6.1 nolu formülle hesaplanmış olup, hata paylarının % 6 nın altında olduğu belirlenmiştir.

$$\% \text{ Hata payı} = (\Sigma \text{Katyon} - \Sigma \text{Anyon}) / (\Sigma \text{Katyon} + \Sigma \text{Anyon}) \quad (6.1)$$

Analiz sonuçları, Yarı Logaritmik Schoeller ve Piper diyagramlarında değerlendirilerek suların kökeni ve birbirleriyle olan benzerlik ve farklılıkları belirlenmiştir.

6.3.1 Yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Sıcak ve soğuk su örneklerinin Schoeller diyagramında (Şekil 6.1) geniş bir alanda dağılım göstermesi nedeniyle örnekler, Çağlayık-Sarıoba, Malıköy-Girmeç, Karahamzalı, Özhamamı-Sabanca ve Haymana şeklinde alt sahalara ayrılarak değerlendirilmiştir. Suların Uluslararası Hidrojeologlar Birliği'ne (Anonymous 1979) göre yapılan sınıflaması çizelge 6.6 - 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.1 İnceleme alanındaki tüm soğuk ve sıcak sulara ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Çizelge 6.6 Polatlı su örneklerinin sınıflaması (Anonymous (1979))

Örnek No	Kasyonlar	Anyonlar	Kaynağın Boşalım Yaptığı Litoloji	Anonymous (1979)'a Göre Yapılan Sınıflama
TPSO-1	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Na-HCO ₃ -Cl sıcak ve mineralli su
TPSO-2	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -Cl sıcak ve mineralli su
PSO-3	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, killi kireçtaşı	Ca-Mg-HCO ₃
PSO-4	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, killi kireçtaşı	Ca-Mg-HCO ₃
PSO-5	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, kiltası, kil, jips	Ca-Na-Mg-HCO ₃ -SO ₄
TPÇK-1	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$	$\text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-} > \text{HCO}_3^{-}$	Granit	Bor içeren Na-SO ₄ -Cl sıcak ve mineralli su
PAS-1	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, killi kireçtaşı	Na-Mg-HCO ₃
TPM-1	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-}$	Kumtaşı, killi kireçtaşı	Bor içeren Na-HCO ₃ -Cl- SO ₄ lı sıcak ve mineralli su
PGS-1	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, killi kireçtaşı	Ca-Mg-Na-HCO ₃
TPGS-2	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$	$\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Andezit, bazalt	Na- SO ₄ -HCO ₃ sıcak su
PKH-1	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Na-HCO ₃ mineralli soğuk su
TPKH-2	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Na-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
PKH-3	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Çakıltaşı, kumtaşı, marn, kireçtaşı	Ca-Mg-Na-HCO ₃
TPKH-4	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Na-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
TPKH-5	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kireçtaşı	Ca-Na-Mg-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
TPÖ-1	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{SO}_4^{-2} > \text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı	Ca-Na-Mg- SO ₄ -HCO ₃ sıcak su
TPÖ-2	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$	$\text{Cl}^{-} > \text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı	Na-Cl- HCO ₃ -SO ₄ sıcak ve mineralli su
PSS-1	$\text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı	Mg-Na-HCO ₃ - SO ₄
TPSS-2	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Çakıltaşı, kumtaşı, marn ve kireçtaşı	Na-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
PSS-3	$\text{Ca}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı	Ca-Na-Mg-HCO ₃
PSS-4	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kumtaşı, kiltası, killi kireçtaşı	Na-Mg-Ca-HCO ₃ -Cl

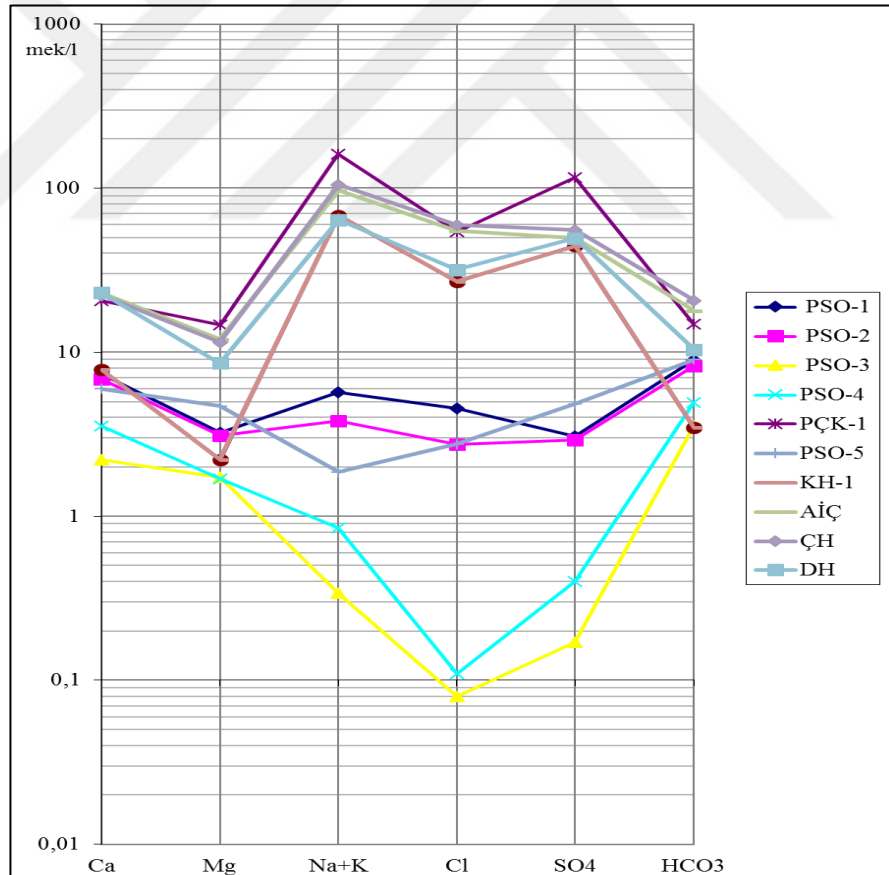
tüm sular kaynak suyudur

Çizelge 6.7 Haymana su örneklerinin sınıflaması (Anonymous (1979))

Örnek No	Kasyonlar	Anyonlar	Kaynağın Boşalım Yaptığı Litoloji	Anonymous (1979)'a Göre Yapılan Sınıflama
THMK-1*	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kireçtaşı	Ca-Mg-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
THMK-2*	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kireçtaşı	Ca-Mg-HCO ₃ sıcak ve mineralli su
HMK-3	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{Cl}^{-} > \text{SO}_4^{-2}$	Kireçtaşı	Ca-Mg-HCO ₃
HMK-4	$(\text{Na}^{+} + \text{K}^{+}) > \text{Mg}^{+2} > \text{Ca}^{+2}$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kumlu kireçtaşı-marn-kumtaşı	Na-Mg-Ca-HCO ₃ - SO ₄
HMK-5	$\text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > (\text{Na}^{+} + \text{K}^{+})$	$\text{HCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{-2} > \text{Cl}^{-}$	Kireçtaşı	Ca-HCO ₃

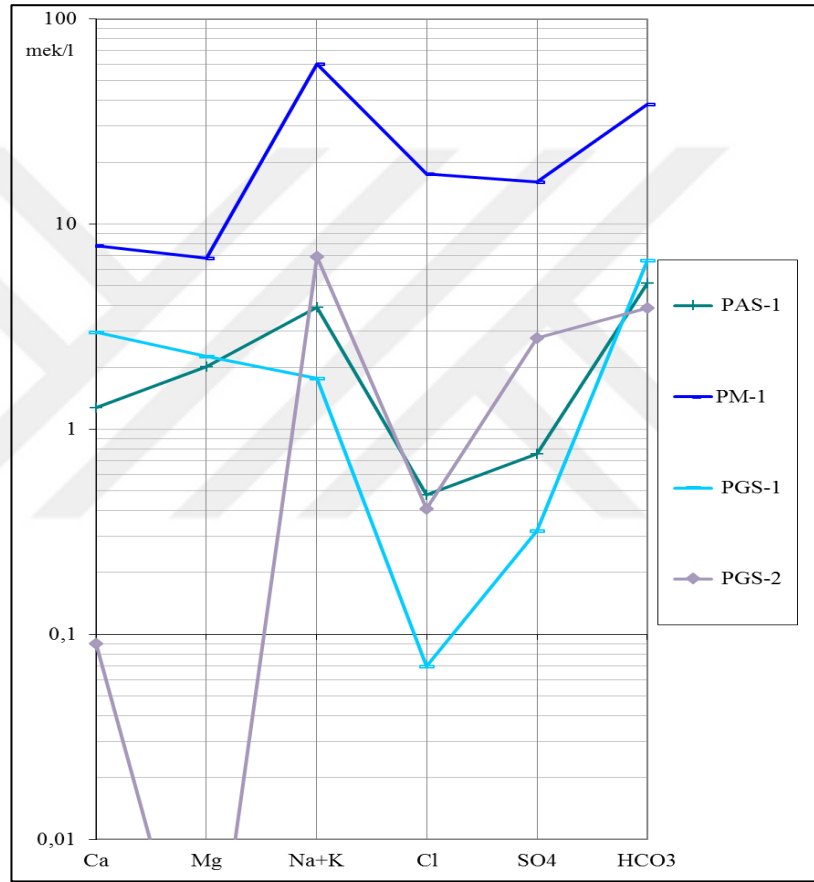
*: kuyulardan alınan örnekler

Granitik kayalardan boşalan Çağlayık sıcak su kaynağının (TPÇK-1) yüksek iyon içeriği evaporitik kayalar ile etkileşime girmesi ile açıklanabilir (Şekil 6.2). Na^+ ve SO_4^{-2} konsantrasyonlarının yüksek olması, bileşim açısından Sarıoba alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarından farklı olduğunu göstermektedir. Çağlayık kaynağının kuzeybatısında granitlerden boşalan Kapullu sıcak suyu ile kuzeydeki Dutlu, Çoban hamamı ve Ayaş içmece sularının benzer kökenli oldukları belirtilmiştir (Diker 2005, Çelmen 2008). Çağlayık kaynağının yukarıda adı verilen kaynaklarla benzer kökenli olduğu diyagramdan görülmektedir. Sarıoba sıcak su kaynakları da kendi içinde bir grup oluşturmuştur. Jura kireçtaşlarından beslenen sularda Ca^{+2} ve HCO_3^- iyonlarında artış gözlenmiştir. PSO-3, PSO-4 ve PSO-5 nolu soğuk su örnekleri kireçtaşı rezervuarından boşalmakta olup yöredeki diğer sulara göre muhtemelen daha sık dolaşımındadır.



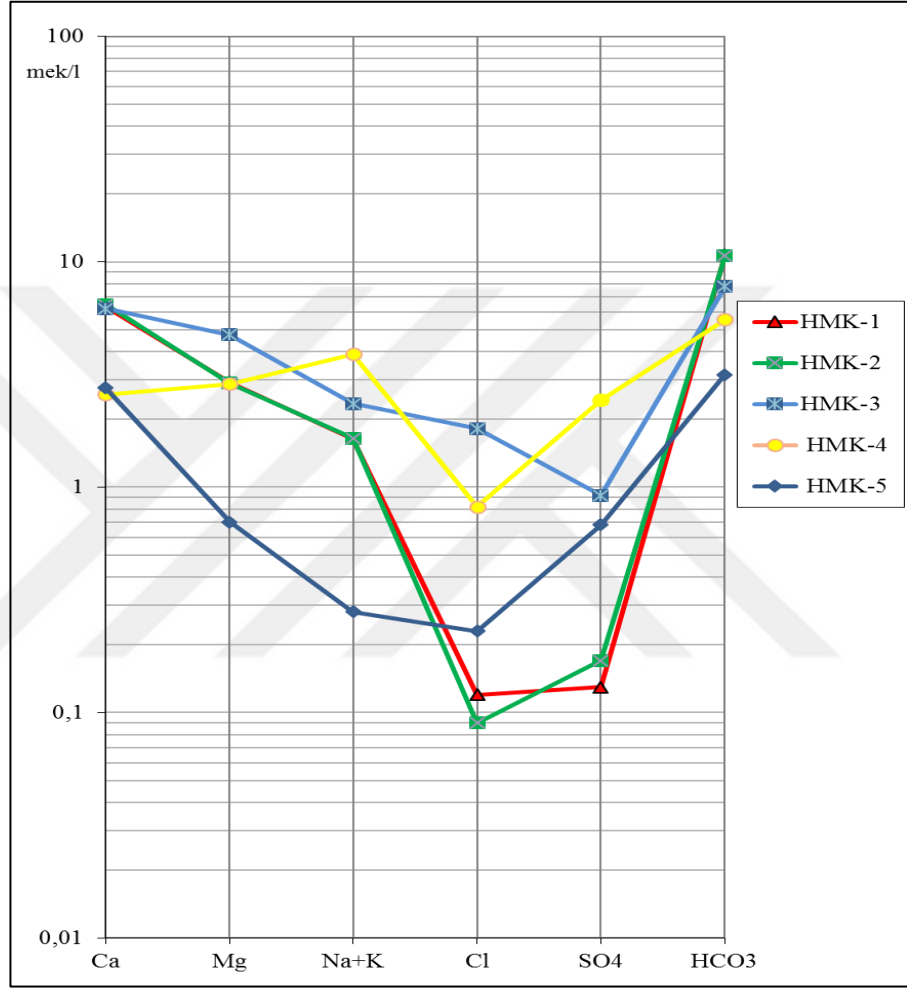
Şekil 6.2 Çağlayık-Sarıoba jeotermal alanı su örnekleri ile Kapullu (Diker 2005), Ayaş İçmece, Çobanhamamı ve Dutlu hamamı (Çelmen 2008) örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Malıköy sıcak su kaynağı (TPM-1), yüksek $\text{Na}+\text{K}$, Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^- konsantrasyonları ile diğer su örneklerinden farklıdır (Şekil 6.3). Bu iyonların yüksek değerlere sahip olması evaporitik kayaçlarla olan etkileşim nedeniyledir. Girmeç sıcak su kaynağı volkanitlerden boşalmakta olup, farklı kökeni işaret etmektedir. Soğuk su örnekleri ise (PAS-1 ve PGS-1) sığ dolaşımli sular olup, Hançili Formasyonundan beslenmektedir.



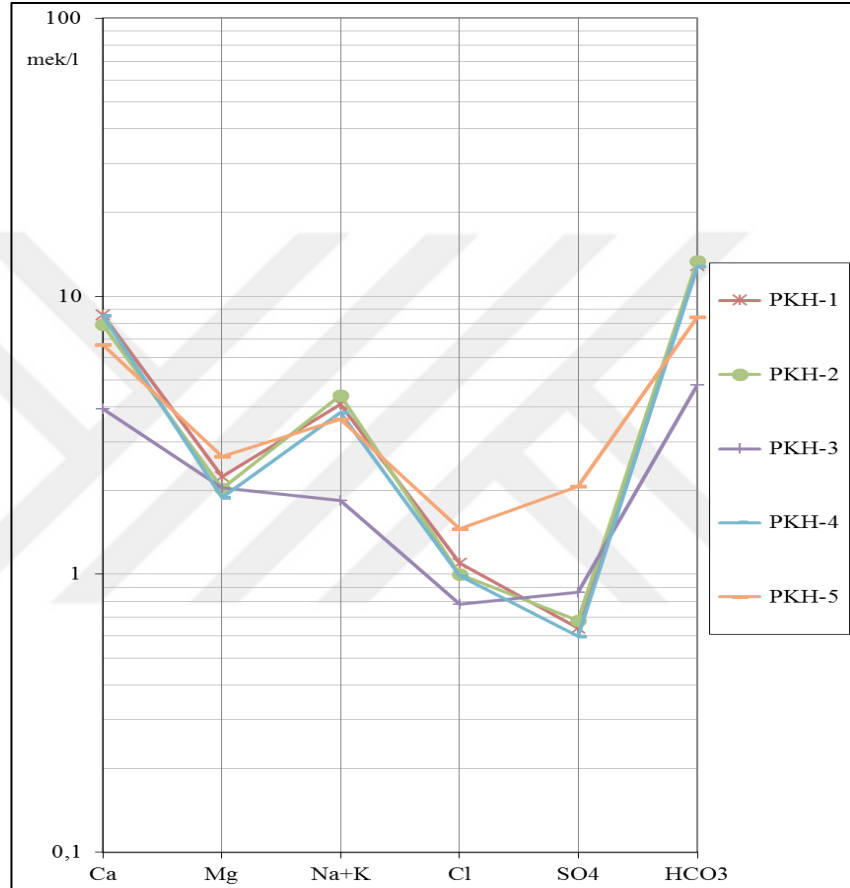
Şekil 6.3 Malıköy-Girmeç bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Üst Jura-Alt Krerase yaşı kireçtaşlarından beslenen Haymana sıcak suları (THMK-1 ve THMK-2) ve HMK-3 soğuk su örneği benzer bir köken göstermektedir (Şekil 6.4). HMK-4 örneği kumlu kireçtaşı-marn ve kumtaşımdan oluşan Çayraz formasyonundan boşalım yapmaktadır.



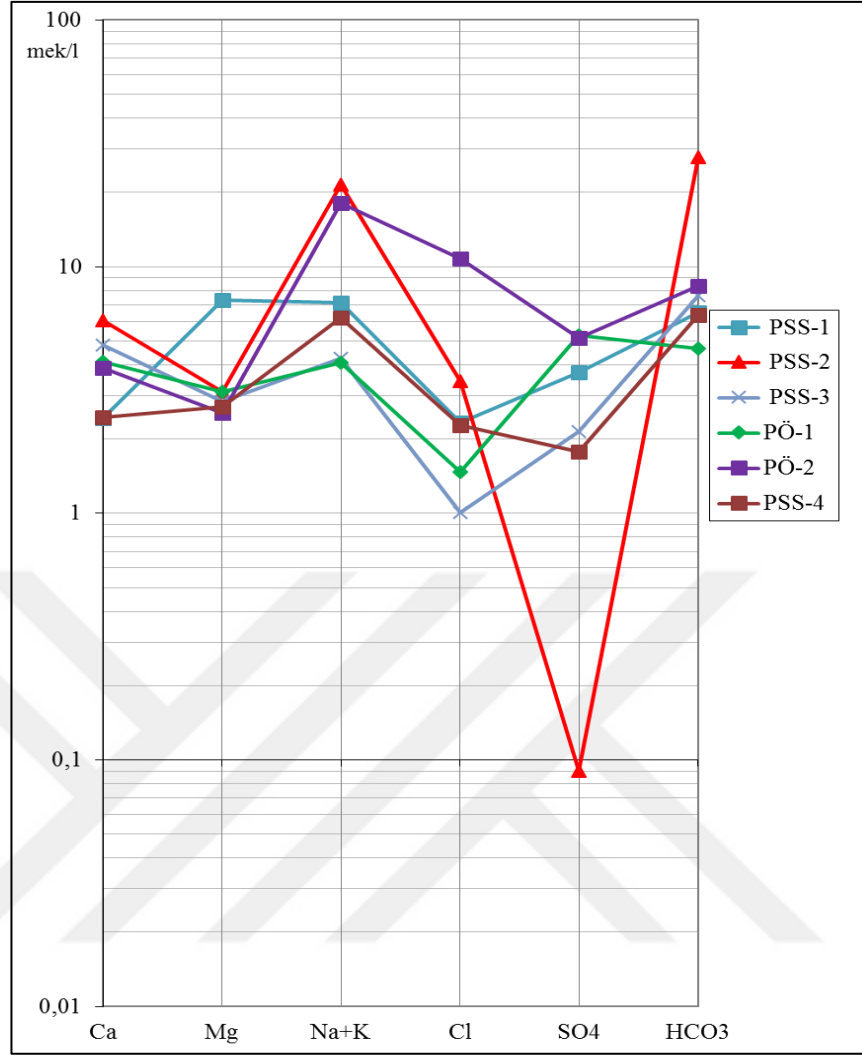
Şekil 6.4 Haymana bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller Diyagramı

Schoeller diyagramda paralel desenler göstermeleri nedeniyle Karahamzalı bölgesindeki tüm suların aynı rezervuardan tündedikleri söylenebilir (Şekil 6.5). Bunlardan düşük TDS içeriği gösteren PKH-3 nolu suyun yeraltında daha az dolaşıma katıldığı anlaşılmaktadır. Bütün sular muhtemelen aynı akiferden (Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları) beslenmekte olup, Ca^{+2} ve HCO_3^- sulardaki başlıca iyonlardır.



Şekil 6.5 Karahamzalı bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

Özhamamı-Sabanca bölgesindeki sularda ise, Özhamamı (TPÖ-2) ve Ilıca kaynağı (TPÖ-1) sıcak suları benzer köken sergilemektedir (Şekil 6.6). Alüvyon içerisinden boşalan TPÖ-1 örneğinin daha fazla soğuk su karışmış olması nedeniyle seyreltiği söylenebilir. Sabanca sıcak su kaynağı ise (TPSS-2) derin dolaşıma işaret eden yüksek Na^+ ve HCO_3^- içerikleriyle diğeri su kaynaklarından farklılık gösterir.



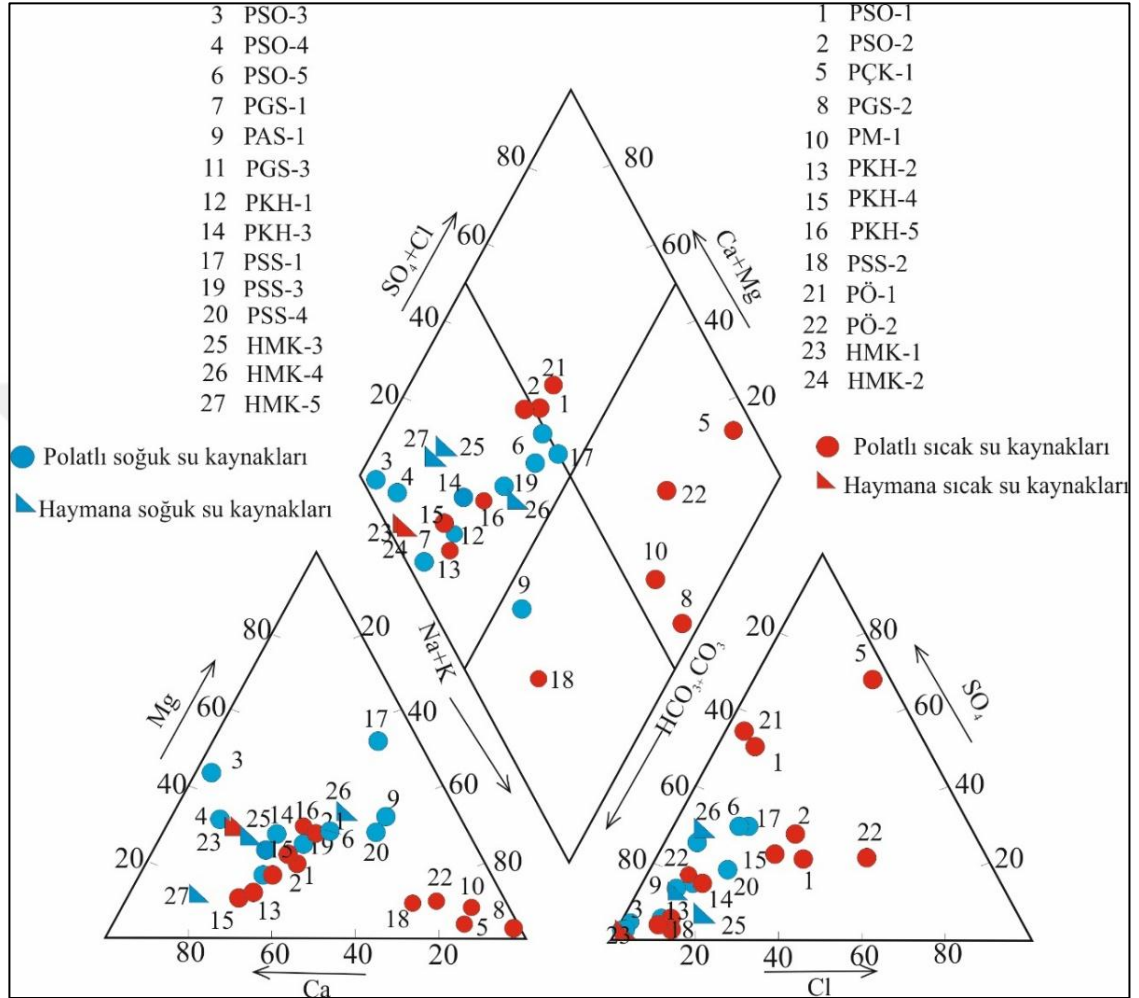
Şekil 6.6 Özhamamı-Sabanca bölgesi su örneklerine ait yarı logaritmik Schoeller diyagramı

6.3.2 Piper diyagramı

Piper diyagramı (Piper 1944), anyon ve katyonların % mek/l cinsinden gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin belirlenmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

İncelenen su örneklerinin büyük çoğunluğunda alkali toprak element konsantrasyonları (Mg, Ca), alkali element konsantrasyonlarından (Na, K) yüksektir ve HCO_3^- baskın

anyonu oluşturur. Bu suların diğer bir ortak özelliği de karbonat sertliğinin % 50'den fazla olmasıdır (Şekil 6.7).



Şekil 6.7 Sulara ait Piper diyagramı

Çağlayık-Sarıoba bölgesindeki sular üç ayrı alanda toplanmıştır (Şekil 6.8). Çağlayık sıcak su örneği (TPÇK-1) NaCl, NaSO₄'lu sular bölgesinde yer almaktadır Sarıoba alanında, TPSO-1 kaynağı Ca⁺² ve HCO₃⁻ sular bölgesine düşmektedir. TPSO-2 sıcak su kaynağı iyonlarının hiçbirini % 50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girmektedir. TPSO-1 ve TPSO-2 örnekleri Üst Jura-Alt Kretase yaşlı formasyondan boşalım yapmaktadır. Bölgedeki soğuk su örnekleri (PSO-3, PSO-4 ve PSO-5) ise CaHCO₃'lu sular sınıfına girerler.

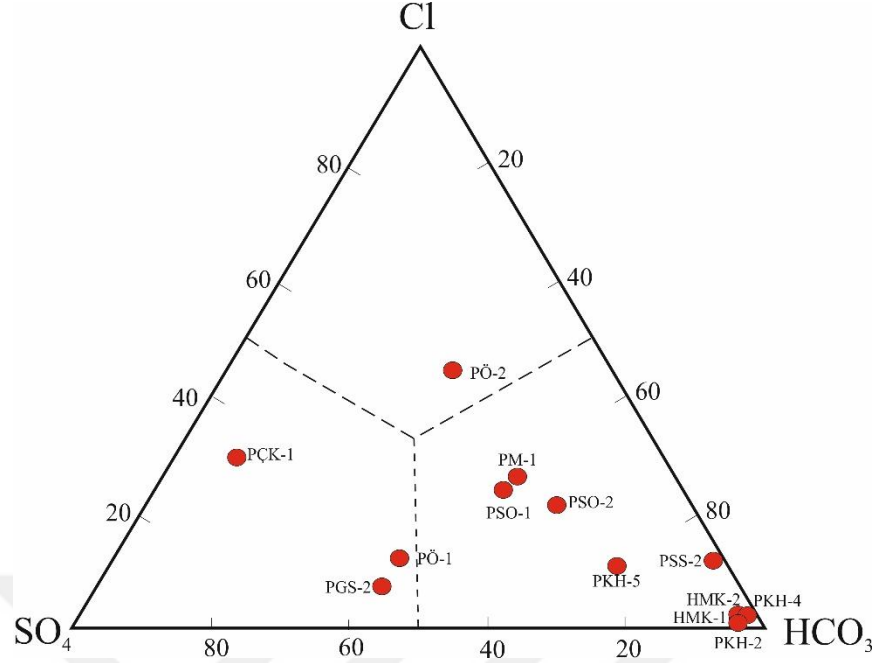
Malıköy-Girmeç bölgesindeki sıcak sular (TPM-1 ve TPGS-2) Na^+ , Cl^- ve SO_4^{-2} bakımından zengin tuzlu, sodalı sular sınıfına girerler. Bölgedeki soğuk su kaynaklarından PGS-1 nolu örnek CaHCO_3 'lı sular, Akören soğuk su kaynağı (PAS-1) ise iyonlarının hiçbirini % 50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girmektedir.

Karahamzalı alanındaki tüm sıcak ve soğuk sular Ca^{+2} ve HCO_3^- sular bölgesinde gruplanmıştır. Söz konusu bu alan kalsit çözünmesine karşılık geldiğinden suların karbonatlı kayalardan beslendikleri söylenebilir.

Özhamamı-Sabanca alanındaki sıcak sular Piper diyagramında farklı alanlara düşmektedir. Sabanca sıcak suyu (TPSS-2), yumuşak sular sınıfına girerken, PSS-1 ve PSS-3 nolu örnekler ise CaHCO_3 'lı sular sınıfına dâhildirler. Özhamamı kaynağı NaCl , NaSO_4 'lı sular bölgesinde yer almaktadır. Ilıca suyu ise (TPÖ-1) karışık sular sınıfına girmektedir. Haymana bölgesindeki örneklerin tamamı CaHCO_3 'lı sular sınıfındadır.

6.3.3 Cl-SO₄-HCO₃ diyagramı

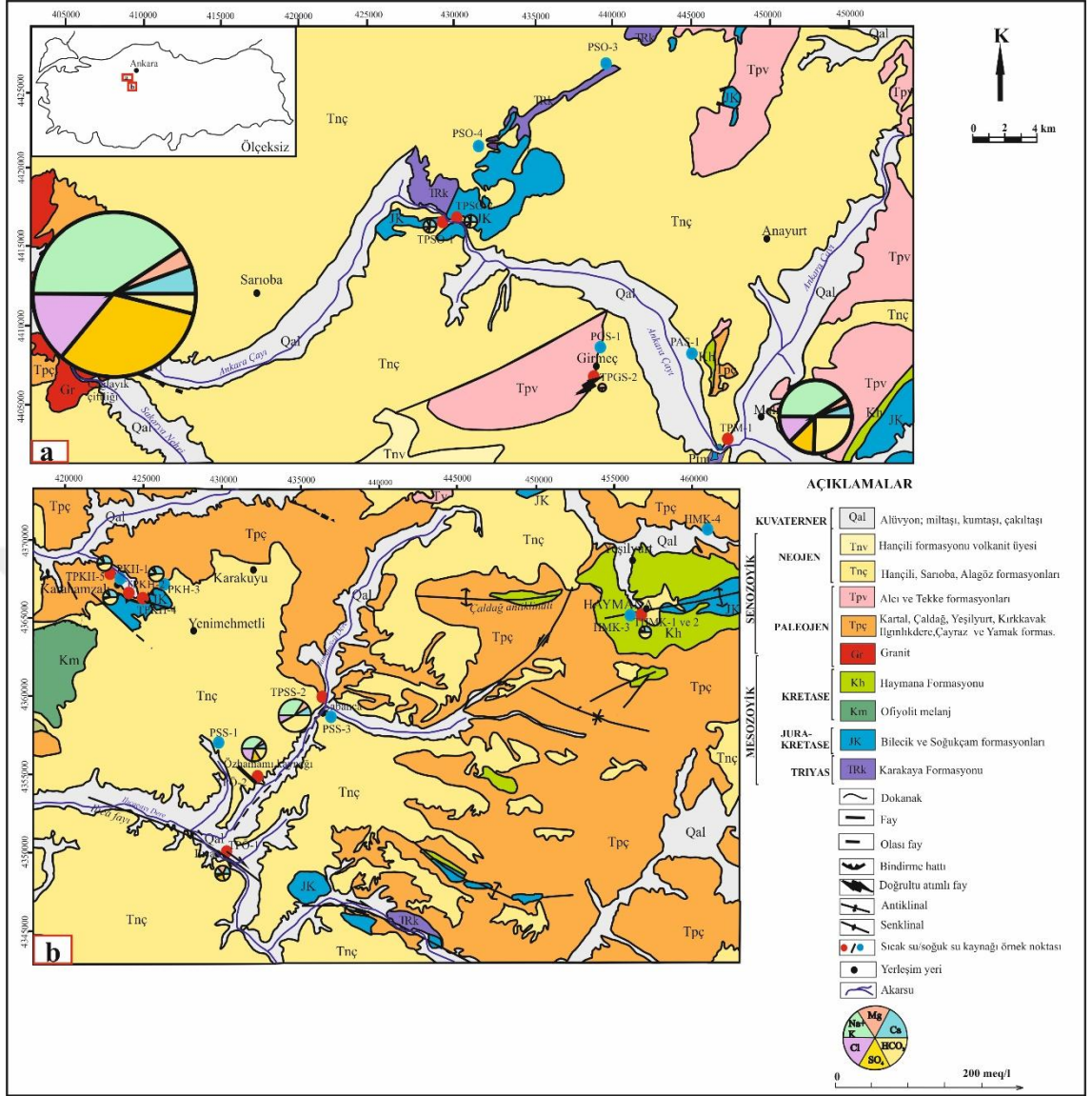
Sıcak su örnekleri Giggenbach (1991) tarafından önerilen Cl-SO₄-HCO₃ diyagramına yerleştirilmiştir (Şekil 6.8). Bu grafikte sıcak su örneklerinin çoğuna soğuk yeraltı sularının karıştığı görülmektedir. Çağlayık örneğinin (TPÇK-1), SO_4^{-2} köşesine yakın çıkması sülfatın kökeninin bölgedeki evaporitik kayalardan kaynaklandığı söylenebilir. Girmeç kaynağının SO_4^{-2} bölgesine düşmesi Hançili formasyonu içerisindeki evaporitik kayalardan kaynaklandığını düşündürmektedir.



Şekil 6.8 Sıcak suların Cl-SO₄-HCO₃ Diyagramı (Giggenbach 1991)

6.3.4 Dairesel diyagram

Sıcak su örneklerinin major iyon derişimlerine göre hazırlanan ve şekil 6.9’da sadeleştirilmiş jeoloji haritasına yerleştirilen dairesel diyagramlar ile değerlendirilmiştir. Diyagramlarda dairelerin yarıçapı, toplam iyon derişimler ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Çağlayık örneğinin (TPÇK-1) mineralizasyonunun çok fazla olması nedeniyle (13112.29 mg/l) haritada verilen ölçeğe uygun değildir. Dairesel diyagram ile toplam iyon miktarının jeoloji birimleri ile ilişkisi daha iyi yansıtılmaktadır. Çağlayık örneğinin mineralizasyonunun fazla olması çevrede yüzeyleyen evaporitik kayalarla ilgisini göstermektedir.



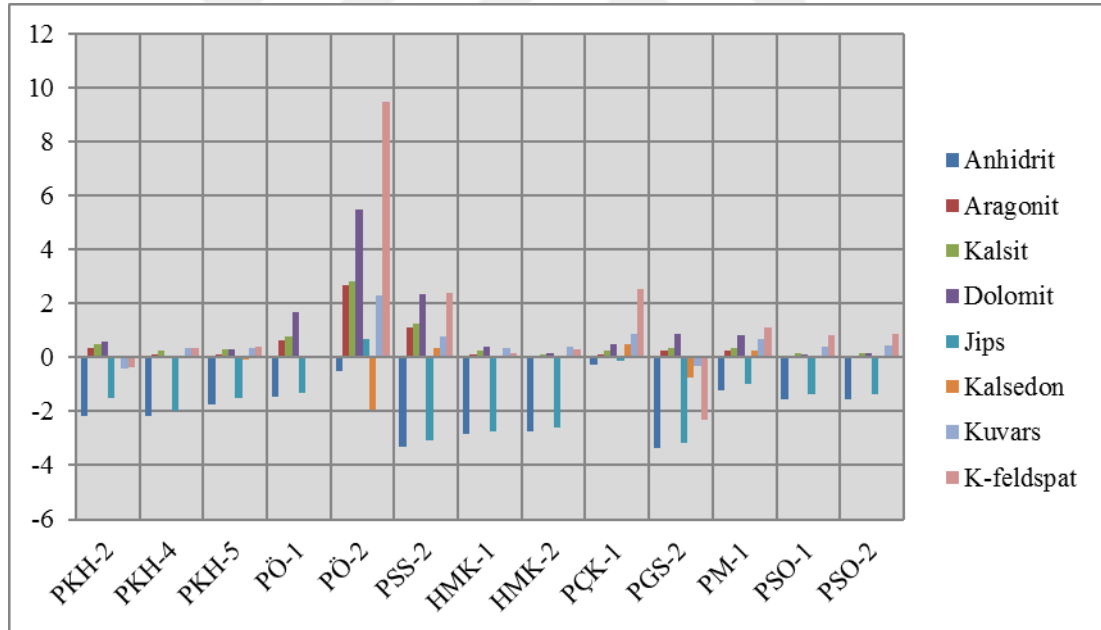
mineral çökelmelerini incelemek amacıyla, inceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin doygunluk indisi hesaplamaları PhreeqC for Windows programı (Parkhurst ve Appelo 2013) ile yapılmıştır. Hesaplamalarda kaynak çıkış sıcaklıkları kullanılmıştır.

İnceleme alanındaki tüm sıcak su örnekleri aragonit, dolomit ve kalsite aşırı doygun olduğundan (Çizelge 6.8), karbonat kabuklaşmasına neden olabilir. Bu suların çevresinde traverten çökelleri de suların karbonat çökelttiğini göstermektedir. TPÖ-2, TPÇK-1 ve TPSS-2 su örnekleri aragonit, kuvars ve K'lı feldispata göre yüksek oranda doygunluk gösterirler. Diğer sıcak suların tümü dolomit ve kalsite göre dengededir (Çizelge 6.8, Şekil 6.10). TPKH-2 ve TPGS-2 kaynakları dışında yine tüm sular kuvarsa doygunur. Sıcak su kaynaklarının tamamı anhidrite göre doygunluk altı davranış göstermektedirler. Doygunluk indeksi grafiğinden de görüleceği üzere (Şekil 6.11) TPÖ-2 kaynağı dışında tüm sular jipse doygun değildir. TPKH-2 ve TPGS-2 nolu örnekler dışındaki tüm sular ise K-feldispata doygunur.

Soğuk su kaynaklarının tümü kuvarsa doygun ancak anhidrit, jips ve halite doygun değildir (Çizelge 6.9, Şekil 6.11). HMK-3, HMK-4, PGS-1, PKH-1, PSO-4, PSS-1 ve TPSS-2 soğuk su örnekleri aragonit, kalsit ve dolomite doygun olup, suların kireçtaşı gibi karbonat kayaçlarla etkileşimi sonucu kalsiyumlu minerallerce denge durumuna ulaştıkları söylenebilir. PAS-1, PKH-3 ve PSO-3 soğuk su örnekleri ise aragonit, kalsit ve dolomite karşı doygunluk altı davranış göstermektedir. Bu durum söz konusu suların sık dolaşımli olup karbonatlı kayaçlarla etkileşimde olmamaları ile açıklanabilir. Soğuk suların tümünün K-feldispata doygun olması akışkanların killi kayaçları yıkayarak yüzeye çıktıklarını işaret eder.

Çizelge 6.8 İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri

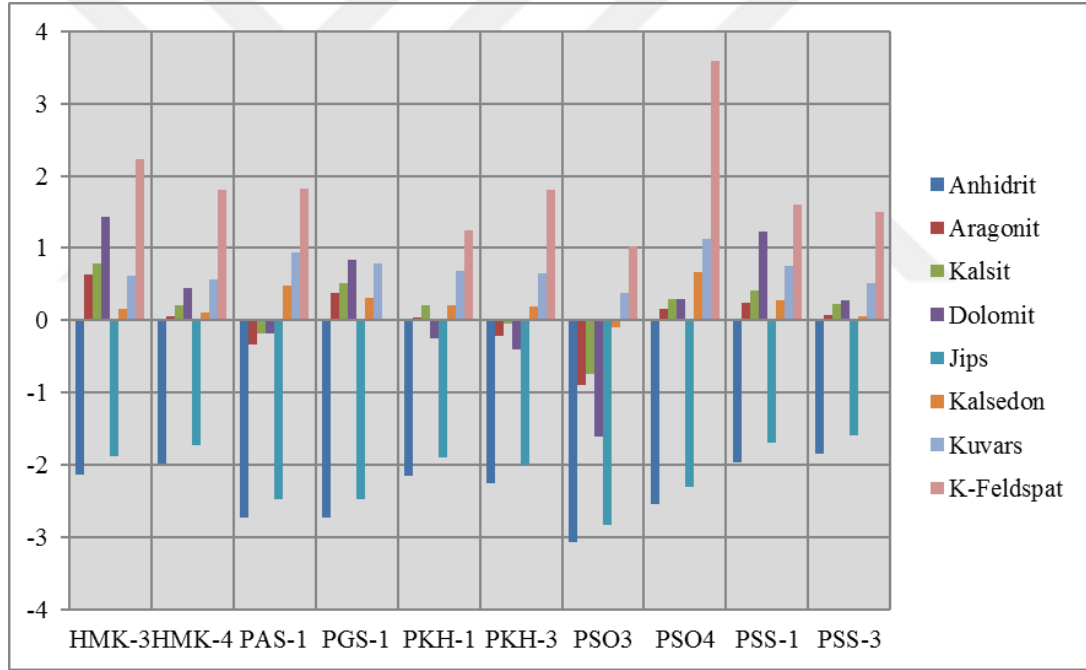
Örnek No	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Dolomit	Jips	Kalsedon	Kuvars	K-Feldspat
TPKH-2	-2.15	0.37	0.51	0.58	-1.52	0.01	-0.43	-0.35
TPKH-4	-2.16	0.1	0.24	0.02	-1.96	-0.05	0.36	0.35
TPKH-5	-1.73	0.13	0.28	0.32	-1.52	-0.09	0.33	0.42
TPÖ-1	-1.44	0.65	0.78	1.68	-1.31	-	-	-
TPÖ-2	-0.52	2.69	2.82	5.49	0.69	-1.91	2.32	9.49
TPSS-2	-3.3	1.12	1.27	2.34	-3.08	0.34	0.77	2.38
THMK-1	-2.84	0.09	0.23	0.4	-2.72	-0.02	0.36	0.16
THMK-2	-2.75	-0.02	0.11	0.15	-2.61	0.01	0.4	0.3
TPÇK-1	-0.26	0.1	0.23	0.5	-0.11	0.49	0.88	2.55
TPGS-2	-3.38	0.23	0.37	0.88	-3.17	-0.75	-0.34	-2.3
TPM-1	-1.2	0.23	0.37	0.81	-0.98	0.27	0.7	1.13
TPSO-1	-1.54	0	0.14	0.13	-1.35	0.01	0.41	0.82
TPSO-2	-1.57	0.03	0.17	0.18	-1.37	0.03	0.45	0.86



Şekil 6.10 Sıcak ve mineralli suların mineral doygunluk indisi (SI) grafiği

Çizelge 6.9 İnceleme alanındaki soğuk suların mineral doygunluk indisi (SI) değerleri

Örnek No	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Dolomit	Jips	Kalsedon	Kuvars	K-Feldspat
HMK-3	-2.14	0.64	0.79	1.44	-1.89	0.16	0.62	2.23
HMK-4	-1.98	0.05	0.2	0.45	-1.73	0.1	0.56	1.8
PAS-1	-2.73	-0.34	-0.19	-0.18	-2.48	0.48	0.94	1.82
PGS-1	-2.73	0.37	0.52	0.84	-2.48	0.31	0.78	-
PKH-1	-2.15	0.04	0.2	-0.25	-1.9	0.21	0.68	1.25
PKH-3	-2.25	-0.21	-0.05	-0.4	-2	0.19	0.65	1.8
PSO3	-3.08	-0.9	-0.75	-1.61	-2.83	-0.09	0.38	1.03
PSO4	-2.55	0.15	0.3	0.3	-2.31	0.66	1.12	3.59
PSS-1	-1.97	0.25	0.41	1.22	-1.7	0.28	0.76	1.61
PSS-3	-1.84	0.08	0.23	0.27	-1.59	0.06	0.51	1.5



Şekil 6.11 İnceleme alanındaki soğuk suların doygunluk indisi (SI) grafiği

6.5 Sıcak Su Örneklerinde Radon Gazı Ölçümleri

Radon, renksiz, tatsız ve kokusuz bir asal gaz olup çok sayıda izotopu mevcuttur (Darby vd. 1998). 86 atom numarası ile periyodik cetvelin asal gazlar sınıfında yer alan radonun, en sık rastlanan ve 3.82 gün ile en uzun ömürlü izotopu ^{222}Rn izotopudur. Radon gazının yerkabuğunda yaygın bir şekilde bulunması ve kimyasal reaksiyonlara karşı duyarsız oluşu, çeşitli araştırmalar için çok elverişli bir jeokimyasal izleyici olmasını sağlamıştır (Yılmaz 2016). Aktif fay hatlarının belirlenmesi, volkan patlamaları, depremler gibi yıkıcı ve tehlikeli doğa olaylarının önceden tahmin edilmesi, suda çabuk çözünmesi nedeniyle yeraltı sularının izlenmesi gibi yerbilimlerinin çeşitli alanlarında kullanılmaktadır. Topraktaki radon gazı değişimleri ile deprem şiddeti arasında bir ilişkinin olabileceği de çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konmuştur (Zmazek vd. 2003, Virk ve Walia 2001, Singh vd. 2010). Aynı şekilde aktif fay hatlarının belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmalar da; deprem üreten faylar boyunca yapılan radon gazı ölçümlerinde kırık hatları boyunca yüksek radon değerleri belirlenmiştir (Kuşçu vd. 1992, Ioannides vd. 2003, Swakon vd. 2005).

Radon gazı suda kolaylıkla çözünen asal bir gaz olduğundan bileşik yapmaz. Yeraltı sularındaki konsantrasyonu, suyun kompozisyonu ve mineralizasyonu gibi özelliklerinden etkilenmez. Bu nedenle yeraltı sularındaki radon konsantrasyonlarındaki değişimlerin büyük ölçüde tektonik hareketlere bağlı olarak geliştiği ileri sürülmektedir (Teng 1980, Virk ve Singh 1993).

Saç ve Camgöz (2005) İzmir ilinin Çeşme ve Balçova arasında kalan bölgede yapmış oldukları çalışmada sismik veriler ile kırık hatları boyunca çıkan radon gazı konsantrasyonlarında belirgin bir artış olduğunu belirlemişlerdir. Tüfekçioğlu (2015) Konya civarındaki tektonik hatlarda radon gazı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Konya'nın Ilgın ilçesi Çavuşçu Gölü civarında yapılan 92 noktadaki radon konsantrasyonu 170 Bq/m^3 'ten – 32631 Bq/m^3 'e kadar değişmektedir. Konya'nın Ilgın ilçesindeki yüksek radon konsantrasyonu bölgede termal suların mevcudiyeti ve aktif fay hatlarının olması ile açıklanmıştır (Tüfekçioğlu 2015). Konya'nın Selçuklu Meram-Karatay ilçelerinde ise 201 Bq/m^3 – 58522 Bq/m^3 'e kadar ulaşan değerler tespit

edilmiştir. Selçuklu – Meram ve Karatay ilçelerindeki yüksek radon konsantrasyonu ile Konya Yazır Fayı arasında bir ilişkinin varlığı ortaya konmuştur (Tüfekçioğlu 2015). Kuşçu vd. (1992) Kuzey Anadolu fayında yapmış oldukları çalışmada radyoaktivite ölçümlerinde alfa izi yoğunluğunun normalin çok üzerinde olduğunu belirlemiştir. Doğu Anadolu fay zonunda yapılan radon gazı ölçümlerinde radon konsantrasyonlarının 132.5 ile 3319.3 Bq/m³ aralığında değişim gösterdiği belirlenmiştir (Baykara ve Doğru 2006). Bu değerlerin çevredeki diğer radon gazı ölçümlerinden yüksek olduğu yine aynı çalışmada belirtilmiştir. Baykara ve Doğru'nun (2006) yapmış olduğu çalışmada yeraltı sularında radon konsantrasyonunun yüksek oluşunu topraktaki uranyum konsantrasyonuna, hidrotermal çözelti ve kayalardaki depremden kaynaklanan strese bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki; radon gazı ölçümleri Kuzey Anadolu fayı, Doğu Anadolu Fayı gibi aktif fay zonlarının belirlenmesinde, depremlerin önceden tahmininde başarılı sonuçlar vermiştir. Sıcak su kaynaklarından alınan örneklerin radon analizleri MTA Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı Su kimyası Laboratuvarında RAD7 H₂O cihazı kullanılarak yapılmış ve ölçüm sonuçları çizelge 6.10'de verilmiştir. Karahamzalı TPKH-2 sıcak su örneğinde ölçülen 1399.44 pCi/l (51779 Bq/m³) değeri oldukça yüksek olup, sıcak suyun tam kırık hattı boyunca yüzeye çıktığını göstermektedir. Aynı şekilde TPKH-4 ve THMK-2 örneklerindeki radon gazı yüksekliği suların tektonik hatlar boyunca çıktığına işaret etmektedir.

Çizelge 6.10 Sıcak sularda ölçülen radon değerleri

Örnek No	Radon ölçümleri	
	pCi/l	Bq/m ³
TPM-1	82.64	3057
TPGS-2	97.76	3617
TPKH-4	812.62	30065
TPKH-2	1399.44	51779
TPÖ-1	80.37	2973
TPÖ-2	65.88	2437
TPSS-2	24.62	910
THMK-1	155.67	5759
THMK-2	712.62	26366
TPÇK-1	96.1	3555
TPSO-1	134.66	4982

6.6 Sıcak ve Soğuk Sulardaki Kirlilik Parametreleri

Polatlı ve Haymana bölgelerinden örneklenen sıcak ve soğuk sularda kirliliğine neden olan en önemli etken insan kaynaklı olmakla birlikte tarımsal faaliyetler sırasında kullanılan gübre ve tarım ilaçlarının kirleticisi etkisi de göz ardı edilmemelidir (Süenal ve Erşahin 2012). Azot kökenli gübreler, hem toprakta hem de yağışın etkisi ile yeraltı ve yüzey sularında azot bileşiklerinin birikmesine neden olmaktadır (Hallberg 1989). Azot bileşiklerinden kaynaklanan kirlenmeye maruz kalan suların içme ve sulama amaçlı olarak kullanılması çeşitli sağlık sorunlarına neden olmaktadır (Ardıç 2013). İçme sularındaki nitrit ve nitrat sınır değerleri çeşitli yönetmelik ve standartlarda belirtilmiştir (Ardıç 2013, Çizelge 6.11). Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk su örneklerinin NO_2 , NO_3 , NH_4 , ve B analizlerine ait sonuçlar çizelge 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.11 İçme sularında bazı kirlilik parametreleri için limit değerler

İlgili Yasal Süreç	Nitrit (NO_2) mg/l	Nitrat (NO_3) mg/l	Amonyum (NH_4) mg/l	Bor (B) mg/l	Arsenik (As) mg/l
İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (Anonim 2013)	0.5	50	0.50	1	0.01
TS 266 (2005)	0.5	50	0.50	0.001	0.01
WHO	3	50	1.5	2	0.01
Avrupa Birliği İçme Suyu Standardı (EPA)	0.5	50	0.5	2	0.01
Amerika Çevre Koruma Ajansı (Anonymous 2010)	1	10	-	2	0.01

Nitrit (NO_2): Sularda düşük miktarda bulunur. Azot döngüsünün en önemli aşaması olan nitrifikasyon safhasında, oluşan amonyum iyonları bir yandan bitki besin maddesi olarak tüketilirken, öte yandan oksijen ve diğer parametrelerce optimum şartların sağlandığı ortamlarda belirli mikroorganizmalarca nitrit ve sonrasında nitrata yükseltgenir (Ardıç 2013).

Çizelge 6.12 Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk su örneklerinin NO₂, NO₃, NH₄ ve B konsantrasyonları (değerler ppm cinsindendir)

Örnek No	Örnek Adı	NO ₂	NO ₃	NH ₄	B	As
TPSO-1	Sarıoba-1 Sıcak su kaynağı	<0.05	7.81	<0.1	0.5	0.08
TPSO-2	Sarıoba-2 Sıcak su kaynağı	<0.05	12	<0.1	0.4	0.05
PSO-3	Oltan soğuk su kaynağı	<0.05	10.2	<0.1	0.06	0.02
PSO-4	Gavurtepe kaynağı	<0.05	7.07	<0.1	0.13	0.11
PSO-5	Sarıoba köy çeşmesi	<0.05	10.8	<0.1	0.2	-
TPÇK-1	Çağlayık sıcak su kaynağı	-	0.76	2.7	19.63	0.57
PAS-1	Akören Çeşmesi	<0.05	62.3	<0.1	0.21	0.07
TPM-1	Malıköy sıcak su kaynağı	<0.05	1.2	0.3	16.25	0.5
PGS-1	Girmeç soğuk su kaynağı	<0.05	<0.1	<0.1	0.11	<0.01
TPGS-2	Girmeç sıcak su kaynağı	<0.05	<0.1	<0.1	5.34	<0.01
PKH-1	Karahamzalı köy çeşmesi	<0.05	<0.1	<0.1	1.7	0.03
TPKH-2	Karahamzalı sıcak su kaynağı	<0.05	0.3	0.1	1.56	0.02
PKH-3	Yenimehmetli yolu çeşme	<0.05	106	<0.1	0.9	0.05
TPKH-4	Karahamzalı Sıcak su kaynağı	<0.05	0.33	<0.1	1.65	0.03
TPKH-5	Karahamzalı Sıcak su kaynağı	<0.05	72.5	<0.1	1.2	<0.01
TPÖ-1	Ilıca sıcak su kaynağı	<0.05	17.9	<0.1	0.9	0.01
TPÖ-2	Özhamamı Sıcak Su Kaynağı	<0.05	0.6	<0.1	4.43	0.16
PSS-1	Hacımuslu Çeşme	<0.05	165	<0.1	0.9	<0.01
TPSS-2	Sabanca Sıcak Su Kaynağı	<0.05	0.4	0.5	10.56	<0.01
PSS-3	Sabanca Soğuk Su Kaynağı	<0.05	60	<0.1	2.4	<0.01
PSS-4	Karabenli Köy Çeşmesi	<0.05	83.2	<0.1	0.4	<0.01
THMK-1	Haymana 5 nolu kuyu	<0.05	<0.1	<0.1	0.47	<0.01
THMK-2	Haymana İHJ-1 Kuyusu	<0.05	<0.1	<0.1	0.48	<0.01
HMK-3	Haymana Merkez Soğuk Su Çeşmesi	<0.05	126	<0.1	0.48	<0.01
HMK-4	Çayraz köy çeşmesi	<0.05	17.2	<0.1	0.37	<0.01
HMK-5	Başdeğirmen Soğuk Su Kaynağı	<0.05	12.9	<0.1	0.11	<0.01

Nitrifikasyon sürecini etkileyen en önemli faktör ortamın aerobik olmasıdır. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu 0.3 mg/l'nin altına düşene kadar nitrifikasyon devam edebilir. pH'ın 5'ten düşük olduğu ortamlarda ise nitrifikasyon hızı düşer. Nitrifikasyon bakterilerinin metabolik aktivitesi sıcaklıktaki mevsimsel ve günlük değişimlerden etkilenmektedir. Sıcaklık oksijenin sudaki çözünürlüğünü etkilediğinden nitrifikasyonu da dolaylı olarak etkilemektedir (Başer 2006). Nitritin canlılar üzerinde toksik etkisi vardır. Polatlı ve Haymana soğuk ve sıcak su örneklerindeki nitrit içeriği 0.05 mg/l'den

daha az olup bu değerler standartlardaki sınır değerlerin altındadır (Çizelge 6.12). Bu nedenle, nitrit açısından bir kirlenmenin olmadığı söylenebilir.

Nitrat (NO_3): Nitrat yeraltı ve yüzey sularında doğal veya insan kaynaklı olarak bulunur. Bitkisel ve hayvansal atıkların parçalanması, katı atık depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sular, evsel ve endüstriyel kaynaklı atıksular (nitrik asit, azotlu gübre endüstrileri vb.), tarımda gübre kullanımı ve sulama yüzey akış suları, yüzey ve yeraltı sularında nitrat kirlenmesinin temel unsurlarıdır (Keskin 2009). Ayrıca, volkanik ve magmatik faaliyetler de nitratın kaynağı olabilir (Hem 1985). Yüzey sularında en kararlı azot bileşiği olan nitrat iyonunun yüksek çözünürlüğü, azot bileşiklerinin tamamen oksitlenmiş olmasının bir sonucudur.

Polatlı ve Haymana sıcak sularına ait nitrat değerleri 0.1-72.5 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değer Karahamzalı sıcak su kaynağı TPKH-5 kaynağında ölçülmüştür. Karahamzalı'daki diğer iki sıcak su örneğinde (TPKH-2 ve TPKH-4) ölçülen nitrat konsantrasyonları 0.3 ve 0.33 mg/l'dir. Bu değerler standartlarda belirtilen 50 mg/l'nin oldukça altında olduğundan, nitrat kirlenmesi söz konusu değildir. Bu sular TPKH-5 nolu örneğe göre daha yüksek bir kottan boşalım yaparlar. Ancak TPKH-5 nolu örneğin Karahamzalı köyü çıkışında yüzeye ulaştığı alanda ağıllar bulunmakta ve yoğun tarım yapılmaktadır. Yerleşim yeri içerisinde bulunması, deterjan atıkları, hayvansal ve gübre atıkları nedeniyle sularda nitrat kirlenmesi görülmektedir. Sarıoba sıcak su (TPSO-1 ve TPSO-2) kaynaklarının nitrat içeriği sınır değerinin altındadır. Akören çeşmesi (PAS-1), Karahamzalı soğuk su örneği (PKH-3), Hacımuslu (PSS-1), Sabanca (PSS-3), Karabenli (PSS-4) ve Haymana soğuk su (HMK-3) örneklerinin nitrat değerleri ise standartlarda belirtilen sınır değerlerin üzerindedir. Bu su örneklerinin yüzeyden nitrat kirlenmesine maruz kalmalarının nedeni yerleşim yerlerinde bulunmaları ve söz konusu alanlarda tarımsal ve hayvancılık faaliyetlerinin yürütülmesidir.

Amonyum (NH_4): Amonyak, azotun sularda en fazla indirgenmiş inorganik bileşiğidir. Çözülmüş azot, suda amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4) iyonları şeklinde bulunur. Yeraltı sularında amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin

adsorplanması nedeniyle düşüktür (Doğan 1981). Jeotermal sulardaki yüksek amonyum değeri genellikle derin rezervuarlarda oluşan buharlaşmanın göstergesidir. Buharlaşma sonucu akışkandan ayrılan uçucu fazlar (NH_3 , H_2S ve CO_2 gibi) sıg yeryüzü suyunda çözünerek suları asit karakterli yapar ve böylece NH_4 konsantrasyonu artar (Koçak, 1997). Polatlı ve Haymana sıcak sularında 0.1-19 mg/l arasında NH_4 değeri ölçülmüştür. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (2005) ve TSE (2005) belirtilen sınır değeri 0.5 mg/l'dir. En yüksek NH_4 değeri Çağlayık sıcak su örneğinde (TPÇK-1) görülmüştür. İnsan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi olan amonyumun Çağlayık su örneğinde yüksek çıkmasının nedeni tarımsal ve hayvansal atıklar ile örnekleme zamanından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kirlilik için örnekleme yapılacağı zaman yağışlı dönem olması ve kaynağın bulunduğu havuz su dolu olduğu için birkaç hafta sonra örnekleme yapılmıştır.

Bor (B): Magmatik kayalarda yaygın olarak bulunan turmalin minerali borun ana kaynağını oluşturur. Bor aynı zamanda sedimanter, volkanik ve metamorfik kayalarda da bulunur. Bitkiler ve insan sağlığı için zararlı olan bor sıcak sulara bulunan kirleticilerden biridir. Bor suyun pH değerine göre farklı formlarda yer alır. Asidik sulara $\text{B}(\text{OH})_3$, bazik sulara ise $\text{B}(\text{OH})_4$ şeklinde bulunur (Barth 2000). Polatlı ve Haymana sıcak sularındaki bor konsantrasyonları 0.2-19.63 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değeri Çağlayık sıcak su kaynağında kaydedilmiştir. Bor kimyasal olarak hareketli ve kolay çözünme özelliğine sahip bir elementtir. Yüksek çözünürlüğü ve yüksek sıcaklık altında uçucu olması nedeniyle, suyun bileşimine kolaylıkla girer. Çağlayık sıcak suundaki yüksek bor konsantrasyonunun granitler içerisindeki turmalin mineralinden ve beslenme alanındaki evaporitlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sarıoba (TPSO-1, TPSO-2), Karahamzalı (TPKH-2, TPKH-4 ve TPKH-5) ve Ilıca (TPÖ-1) sıcak sularında ise düşük miktarda bor konsantrasyonu belirlenmiştir. Bor sulama sularında toprağın gözenekliliğini düşürür ve köklerin hava almasını engelleyerek bitkilerin kurummasına neden olur (Şimşek 2005). 1991 yılında Resmi Gazetede yayınlanan tebliğe göre, bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması çizelge 6.13'de verilmiştir. (Anonim 1991). Özellikle Ilıca (TPÖ-1) ve Özhamamı (TPÖ-2) kaynak sularının pompalarla taşınarak sulama amaçlı kullanıldığı tespit edilmiştir. Ilıca kaynağının hassas bitkilerin

sulamasında uygun olmadığı görülmektedir. Özhamamı kaynağı ise sulama amaçlı olarak kullanılmamalıdır.

Çizelge 6.13 Bitkilerin bor mineraline karşı dayanıklılıklarına göre sulama sularının sınıflandırılması (Anonim 1991)

Kalite Sınıflaması		I. Sınıf (Çok iyi)	II. Sınıf (İyi)	III. Sınıf (Orta)	IV. Sınıf (Şüpheli)	V. Sınıf (Kullanılamaz)
B (mg/l)	Hassas Bitkiler	< 0.33	0.33-0.67	0.67-1	1-1.25	>1,25
	Az Dayanıklı Bitkiler	<0.67	0.67-1.33	1.33-2	2-2.5	>2.5
	Dayanıklı Bitkiler	<1	1-2	2-3	3-3,75	>3.75

Arsenik (As): Metal ile ametal arasında bir özelliğe sahip olan arsenik yerkabuğunda en çok bulunan elementlerden biridir (Başkan ve Pala 2009). Kayaç oluşturan minerallerde As^{+3} ve As^{+5} şeklinde bulunmakta ve Si^{+4} , Al^{+3} , Fe^{+3} ve Ti^{+4} ile yer değiştirebilmektedir. Doğada arseniğin en önemli kaynağı As_2S_3 (orpiment), AsS (realgar), $FeAsS$ (arsenopirit), $FeAs_2$ (lölenjit), $NiAs$ (nikolit), $CoAsS$ (kobaltit), $Cu_{12}As_4S_{13}$ (tenantit) ve Cu_3AsS_4 (enarjit) gibi kükürt mineralleridir (Matschullat 2000, Bissen ve Frimmel 2003). Sülfür mineralleri dışında arseniğin diğer bir önemli kaynağı ise arsenik içeren demir oksitlerdir (Jain vd. 1999, Sadiq vd. 2002). Ayrıca kireçtaşı/dolomit ve travertendeki kırık zonları boyunca oluşan epitermal jipsler ve volkano-sedimanter istiflerdeki volkanik birimler de arsenik kaynakları arasında sayılabilir (Doğan ve Doğan 2007). Toksik ve kanserojen etkisi olan arseniğin çok az miktarı bile sağlık açısından zararlıdır. Bu nedenle, arseniğin sulardaki miktarlarının bilinmesi önemlidir. Literatürde sularda arsenik için belirlenen sınır değeri 0.01 mg/l'dir (Anonymous 2010, Anonim 2013). Arsenik mobil bir element olmasına rağmen çözünürlüğü düşüktür.

Polatlı ve Haymana sıcak sularında As miktarı 0.01-0.57 mg/l arasında değişmektedir. En yüksek değeri Çağlayık sıcak su kaynağında (TPÇK-1) tespit edilmiştir (0.57 mg/l). Soğuk sularda ise en yüksek değeri Gavurtepe kaynağında (PSO-4) ölçülmüştür.

6.7 İz element analizleri

Doğal suların ana bileşenini oluşturan majör anyonlar dışında eser halde bulunan minör bileşenler de vardır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda genellikle 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freeze and Cherry 1979). İz elementler doğal suların bileşimine; jeolojik olaylar ile evsel, endüstriyel, tarım ve madencilik faaliyetleri sonucu katılmaktadır. Böylece sularda demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), stronsiyum (Sr), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) gibi elementlerin miktarlarında artış olabilmektedir. Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk sularının iz element analiz sonuçları çizelge 6.14-6.15'te verilmiş ve grafiksel olarak da şekil 6.12-6.13'te gösterilmiştir. Sıcak sularda konsantrasyonu en yüksek olan elementler stronsiyum (Sr), baryum (Ba), alüminyum (Al), demir (Fe) ve lityum (Li)'dur.

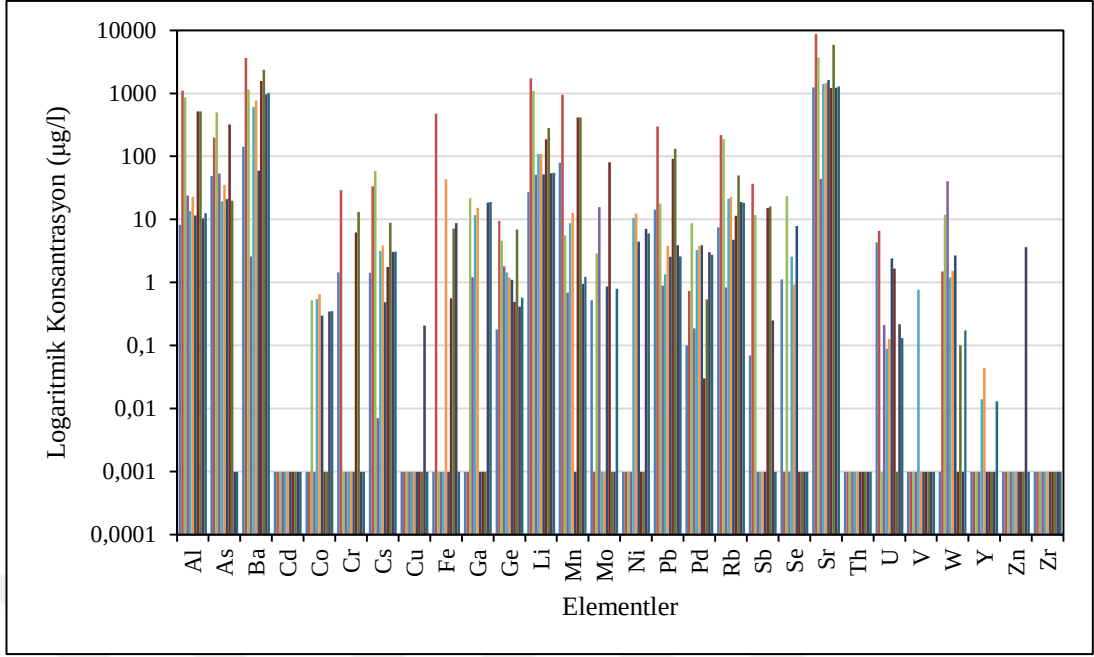
Demir (Fe): Demir magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalarda bulunur. TS-266'ya (2005) göre memba suları için izin verilen maksimum değer 50 µg/l, tüketim amaçlı sular için 200 µg/l'dir. İnceleme alanındaki sularda ölçülen Fe değeri 0.001-475.10 µg/l arasındadır. Çağlayık kaynağı (TPÇK-1) 475.10 µg/l içeriği ile demir sınır değerinin üzerinde yer almaktadır. Çağlayık kaynağı granitlere kadar ulaşan suların faylar boyunca yüzeye çıkması ile ortaya çıkmıştır. Bu örnekteki yüksek Fe konsantrasyonunun granitlerdeki piritten kaynaklandığı düşünülmektedir. Özlüce (TPÖ-2) ve Sabanca (TPSS-2) kaynaklarının da Fe konsantrasyonları nispeten yüksektir (56-7.16 µg/l). Silisli kumtaşı, kum, alüvyon ve killi kayalarda bol miktarda demir bulunabilir (Şahinci 1991). Bu kayalarda bazik iyonlar az bulunduğundan suda çözünmüş CO₂ gazının dengelenmesi ile pH asit karakter kazanır. Söz konusu kaynakların nispeten düşük pH değeri demirin çözünmesinde muhtemelen etkili olmuştur. Karahamzalı PKH-1 soğuk su örneği ile TPKH-4 nolu sıcak su örneğinin Fe konsantrasyonu çevredeki diğer sulara göre yüksektir (41.53-43.17 µg/l). Bu sularda demir konsantrasyonunun yüksek olmasının nedeni ise çevredeki tarımsal ve hayvansal faaliyetler olduğu düşünülmektedir. Oksijence zengin yüzey sularında demir çok az çözünürken, organik maddelerce zengin sularda kolayca çözünerek suyun bileşimine katılmaktadır (Şahinci 1991).

Çizelge 6.14 Sıcak su örneklerinin iz element analiz sonuçları

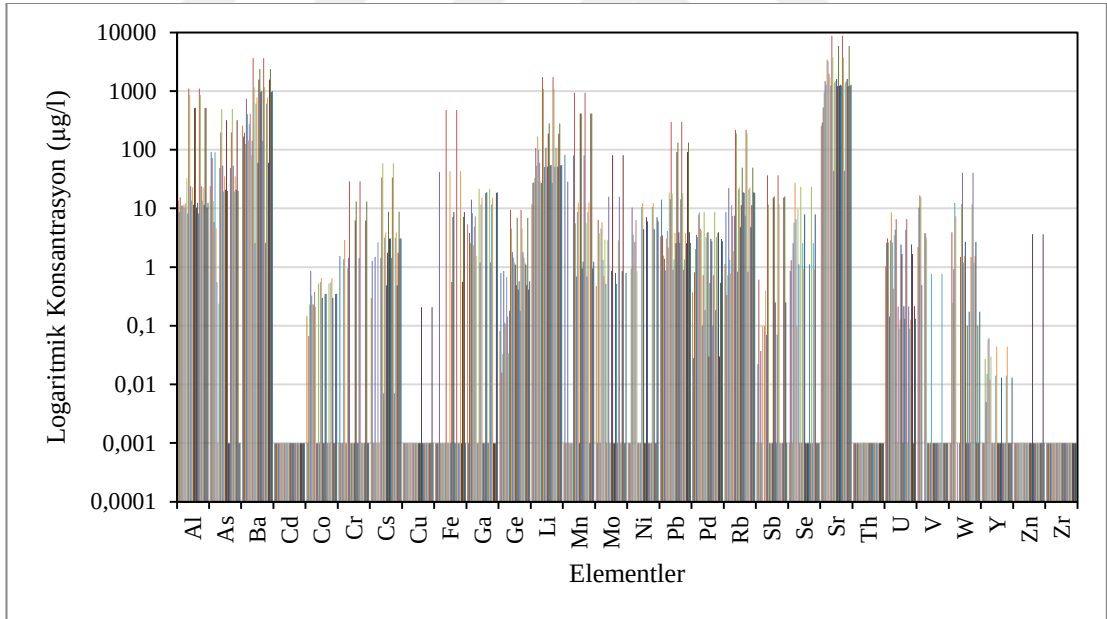
Element (µg/l)	TPSO-1	TPÇK-1	TPM-1	TPGS-2	TPKH-2	TPKH-4	TPÖ-1	TPÖ-2	TPSS-2	THMK-1	THMK-2
Al	8.235	1110	863.7	23.77	13.6	22.75	11.56	516.30	519.60	10.35	12.5
As	48.90	197.30	496	53.2	19.36	35.12	20.91	318.50	19.68	<0.001	<0.001
Ba	143.20	3644	1158	2.577	609.6	773.3	59.63	1578.00	2364.00	956.8	1004
Cd	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Co	<0.001	<0.001	0.522	<0.001	0.548	0.651	0.298	<0.001	<0.001	0.346	0.351
Cr	1.44	29.00	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	6.24	13.12	<0.001	<0.001
Cs	1.426	33.61	58.45	0.007	3.147	3.845	0.487	1.76	8.78	3.043	3.069
Cu	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.207	<0.001
Eu	<0.001	<0.001	0.571	0.003	0.416	0.511	0.043	<0.001	<0.001	0.593	0.6
Fe	<0.001	475.10	<0.001	<0.001	<0.001	43.17	<0.001	0.56	7.16	8.679	<0.001
Ga	<0.001	<0.001	21.69	1.202	11.73	15.21	<0.001	<0.001	<0.001	18.39	18.93
Ge	0.18	9.44	4.573	1.801	1.446	1.197	1.105	0.49	6.88	0.413	0.571
Li	26.98	1727	1094	51.07	108.5	108.5	51.31	187.3	281.7	53.83	54.55
Mn	79.88	943.80	5.581	0.691	8.679	12.62	<0.001	414.90	413.20	0.95	1.227
Mo	0.52	<0.001	2.872	15.7	<0.001	<0.001	0.858	80.82	<0.001	<0.001	0.789
Ni	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	10.54	12.32	4.433	<0.001	<0.001	7.045	5.979
Pb	14.23	298.30	17.89	0.896	1.339	3.821	2.556	91.64	131.80	3.91	2.597
Pd	0.10	0.73	8.752	0.185	3.26	3.804	3.912	0.03	0.54	3.012	2.737
Rb	7.53	217.4	189.4	0.831	21.14	22.88	4.767	11.37	49.78	18.83	18.3
Sb	0.07	36.59	11.69	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	15.20	16.09	0.249	<0.001
Se	1.11	<0.001	23.29	<0.001	2.551	0.921	7.892	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Sr	1238.00	8762	3728	43.71	1405	1470	1618	1218.00	5897	1230	1287
Th	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
U	4.31	6.59	<0.001	0.212	0.089	0.126	2.419	1.66	<0.001	0.216	0.131
V	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.768	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
W	<0.001	1.495	11.78	40.36	1.193	1.535	2.68	<0.001	0.10	<0.001	0.173
Y	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.014	0.044	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.013
Zn	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	3.621	<0.001

Çizelge 6.15 Soğuk su örneklerinin iz element analiz sonuçları

[illegible]



Şekil 6.12 Tüm sıcak ve mineralli sulardaki iz element değişimleri



Şekil 6.13 Tüm soğuk sulardaki iz element değişimleri

Haymana örneklerinden THMK-1 örneğinin demir değeri (0.008679 mg/l) bölgedeki diğer suların demir değerinden daha yüksektir. 2005 yılında üretime başlayan 5 nolu

kuyudan alınan suyun bileşimindeki demirin nispeten yüksek olmasının nedeni teçhiz borularındaki paslanma olabileceği tahmin edilmiştir.

Mangan (Mn): Mangan genel olarak metamorfik ve magmatik kayalarındaki olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde yer alır (Hem 1985). Yeraltı sularındaki Mn konsantrasyonu su içerisinde çözülmüş oksijen içeriğine bağlıdır. Çözülmüş oksijence zengin yeraltı sularında mangan çökelirken, oksijensiz ortamlarda ise demir ile birlikte bulunur. TSE-266 (2005) standartlarına göre izin verilen değeri 50 µg/l olan Mn içeriği Çağlayık kaynağında (TPÇK-1) 943.80 µg/l, Özhamamı kaynağında (TPÖ-2) 414.90 µg/l ve Sabanca kaynağında 413.20 µg/l ölçülmüştür. Bu değerler izin verilen konsantrasyonun çok üzerindedir.

Bakır (Cu): Bakır yerkabuğundaki kayalarda doğal halde veya bakır içeren sülfat ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Çeşitli sanayi artıklarından da kaynaklanabilen bakırın üst sınırı TSE içme suyu standartlarında 100 µg/l ve TSE'ye göre izin verilebilir maksimum konsantrasyonu ise, 200 µg/l'dir. Çalışılan tüm sulardaki Cu içerikleri söz konusu sınır değerlerin altında kalmıştır.

Stronsiyum (Sr): Stronsiyum sıcak su kaynaklarının değerlendirilmesinde ve yeraltı suyunun akış yollarının belirlenmesinde kullanılan önemli iz elementlerden birisidir. Jeokimyasal davranışı kalsiyum ile oldukça benzerlik taşıyan stronsiyum, özellikle granitik kayalarda kalsiyum ve potasyumun yerine geçebilmektedir (Hem 1985). Stronsiyum konsantrasyonu termal sularda geniş bir aralıkta (<0.1-12.8 mg/l) bulunabilir (Hitchon vd. 1999). Stronsiyum minerallerin çökelemediği klorürlü sular, Sr zenginleşmesi için uygun ortamdır (Şahinci 1991). Bu nedenle klorürce zengin suların stronsiyum içeriği de yüksektir. Polatlı ve Haymana bölgesinde Çağlayık (TPÇK-1) (8762 µg/l) ve Sabanca (5897 µg/l) örneklerinde ölçülen stronsiyum konsantrasyonları çok yüksektir. En düşük değer ise Gırmeç kaynağında (TPGS-2) (43.71 µg/l) kaydedilmiştir.

Nikel (Ni): Nikel asidik kayalarda çok az bulunmasına karşın bazik ve ultrabazik kayalarda oldukça yüksek konsantrasyona sahiptir (Şahinci 1991). Polatlı ve Haymana

sıcak sularındaki nikel içerikleri $<0.001-12 \mu\text{g/l}$ arasında değişmektedir. Nikel değeri Karahamzalı sıcak suları (TPKH-2 ve TPKH-4), Ilıca kaynağı (TPÖ-1) ve Haymana sıcak sularında (THMK-1 ve THMK-2) diğer sulara oranla daha fazladır.

Kadmiyum (Cd): Kimyasal özellikleri çinkoya benzer olan kadmiyum yer kabuğunda çoğunlukla çinko ile birlikte bulunur. Kadmiyum doğaya başlıca toprak yolu ile girer ayrıca gübre ve pestisitler de bir miktar kadmiyum içerir. Çalışılan sıcak ve soğuk suların kadmiyum içerikleri $0.001 \mu\text{g/l}$ 'den düşüktür.

Çinko (Zn): Genellikle kayalarda, toprakta, gübrede, atmosferde ve endüstriyel atıklarda bulunur. Çalışılan tüm sulardaki çinko konsantrasyonu $0.001 \mu\text{g/l}$ 'den küçüktür.

Alüminyum (Al): Alüminyum yer kabuğunun önemli bir elementi olmasına karşılık (% 8.6) düşük çözünürlüğü nedeniyle yeraltı sularında çok az bulunur (Şahinci 1991). Feldispat, mika gibi kayaç oluşturan silikat minerallerinin bileşiminde alüminyum oldukça yüksek orandadır. Bu tür kayaçlar ile etkileşime giren sulardaki alüminyumun kaynağını bu silikatlar oluşturur.

Sıcak sularındaki Al konsantrasyonu ise 10.35 ile $1110 \mu\text{g/l}$ arasındadır. Çağlayık kaynağındaki yüksek Al'un kaynağı muhtemelen granitler içindeki feldispat ve mika mineralleridir. Bu suların pH değerinin nispeten asidik olması alüminyum miktarını arttırmış olmalıdır.

Baryum (Ba): İki değerlikli elementler arasında iyon yarıçapı en büyük olan Ba^{+2} , mika ve feldispatlarda potasyum ve kalsiyumun yerine geçebilir (Şahinci 1991). Apatit, kalsit ve K-feldispatlarda önemli oranda baryum bulunur. Polatlı ve Haymana bölgesinde Çağlayık ($3644 \mu\text{g/l}$), Sabanca ($2364 \mu\text{g/l}$), Özhamamı ($1578 \mu\text{g/l}$) ve Malıköy ($1158 \mu\text{g/l}$) sularının Ba içerikleri yüksektir. Volkanitlerden boşalan Gırmeç kaynağında ise $2.5 \mu\text{g/l}$ ile en düşük değerdedir. TSE 266'ya (2005) göre baryumun sınır değeri 0.3

mg/l'dir. Söz konusu sıcak su kaynaklarındaki baryum konsantrasyonu standardın çok üzerindedir.

Kurşun (Pb): Kurşunun ana minerali galendir (PbS). Kurşun magmatik ve metamorfik kayalarda feldispat ve mikalarda bulunur. Potasyum, stronsiyum, baryum, kalsiyum ve sodyum ile yer değiştirebilir. Örneğin, K-feldispatlarda potasyumun yerini kurşun alarak Pb-feldispatlar oluşabilir (Şahinci 1991). İnsan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkileri bulunan kurşunun TSE-266'ya göre sınır değeri 10 µg/l'dir. İnceleme alanındaki sularda en yüksek kurşun değeri 298.30 µg/l ile Çağlayık kaynağına (PÇK-2) aittir. Soğuk sulardaki kurşun konsantrasyonu ise limit değerin altında kalmıştır.

7. İZOTOP JEOKİMYASI

Duraylı izotoplar; jeotermal akışkanın kökeni, akışkanların bileşimini etkileyen prosesler, akışkan içinde çözünür bileşiklerin kökeni, yeraltı sularının akım yönlerinin ve derinde gerçekleşen su-kayaç etkileşiminin izlerinin ortaya konması ve rezervuar sıcaklığı gibi birçok parametrenin irdelenmesinde yardımcı olmaktadır. İzotop çalışmaları jeotermal akışkanın arama, araştırma ve geliştirme aşamalarında kullanılır (Truesdell ve Hulston 1980).

7.1 Duraylı İzotoplar

7.1.1 $\delta^2\text{H}$ - $\delta^{18}\text{O}$ ilişkisi

Craig (1961), meteorik suların $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ bileşimleri arasında $\delta^2\text{H}=8 \delta^{18}\text{O}+10$ şeklinde bir ilişkinin olduğunu ortaya koymuştur. Bu eşitlik Küresel Meteorik Su Doğrusu olarak bilinir. Her bölgenin iklim (yağış) durumuna, enlem ve yüksekliğine bağlı olarak Küresel Meteorik Su Doğrusuna paralel Yerel Meteorik Su Doğruları çıkartılabilir. Sayın ve Eyüpoğlu (2005), IAEA ve WMO işbirliği çerçevesinde, Adana, Antalya ve Ankara yağış istasyonlarından Ocak 1963-Aralık 2000 tarihleri arasındaki aylık yağış örneklerine ait kararlı izotop içeriklerini kullanarak bu illerin yerel meteorik doğrularını hesaplamışlardır. Bu kapsamda, Ankara için yerel meteorik su doğrusu $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10.63$ şeklinde tespit edilmiştir. Apaydın (2004), Beypazarı trona sahasında yapmış olduğu çalışmada, bölgeye düşen yağış örneklerini kullanarak yerel meteorik su doğrusunu hesaplamıştır. Yapılan hesaplama sonucu Beypazarı bölgesini yerel meteorik su doğrusu $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+13$ olarak hesaplanmıştır.

Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk su örneklerinin $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri çizelge 7.1'de, Beypazarı, Ankara ve Küresel Meteorik Su Doğruları ile ilişkileri şekil 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 Sıcak ve soğuk sulara ait duraylı izotop (‰) ve trityum (^3H) bileşimleri

Örnek No	Örnekleme Tarihi	$\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW)	Belirsizlik ($\pm$)	δD (VSMOW)	Belirsizlik ($\pm$)	Döteryum fazlalığı	^3H (TU)
TPSO-1	30.08.2015	-10.10	0.20	-70.56	0.80	10.25	2.77 $\pm$ 0.72
TPSO-2	30.08.2015	-10.11	0.23	-70.43	0.80	10.45	2.65 $\pm$ 0.76
PSO-3	20.06.2015	-9.96	0.49	-69.27	0.69	10.41	3.98 $\pm$ 0.66
PSO-4	20.06.2015	-8.92	0.20	-62.71	0.90	8.65	1.79 $\pm$ 0.66
TPÇK-1	20.06.2015	-11.67	0.20	-86.71	0.70	6.67	0.62 $\pm$ 0.62
PAS-1	30.08.2015	-8.05	1.00	-61.87	1.20	2.53	1.98 $\pm$ 0.60
TPM-1	20.06.2015	-9.06	0.09	-71.46	0.75	1.02	0.59 $\pm$ 0.58
PGS-1	22.10.2014	-9.35	0.50	-66.01	0.30	8.79	3.89 $\pm$ 0.68
TPGS-2	20.06.2015	-11.33	0.09	-80.33	0.83	10.31	0 $\pm$ 0.54
PKH-1	22.10.2014	-9.89	0.42	-70.04	0.91	9.08	2.09 $\pm$ 0.62
TPKH-2	20.06.2015	-9.99	0.36	-70.97	0.75	8.95	2.02 $\pm$ 0.62
PKH-3	20.06.2015	-8.82	0.30	-66.06	0.74	4.50	5.37 $\pm$ 0.76
TPKH-4	20.06.2015	-10.00	0.50	-71.63	0.86	8.37	1.73 $\pm$ 0.62
TPKH-5	20.06.2015	-10.52	0.70	-77.75	0.96	6.41	0.50 $\pm$ 0.54
TPÖ-1	01.03.2014	-9.43	0.28	-67.57	0.94	7.87	3.04 $\pm$ 0.66
TPÖ-2	20.06.2015	-9.20	0.14	-68.43	0.86	5.17	1.55 $\pm$ 0.62
PSS-1	01.03.2014	-8.59	0.36	-66.04	0.74	2.68	3.78 $\pm$ 0.66
TPSS-2	20.06.2015	-10.91	0.70	-80.77	0.50	6.58	0.71 $\pm$ 0.62
PSS-3	30.08.2015	-9.82	0.26	-70.65	0.78	7.91	2.10 $\pm$ 0.60
PSS-4	20.06.2015	-9.35	0.33	-70.70	0.81	4.1	1.94 $\pm$ 0.58
THMK-1	20.06.2015	-10.93	0.60	-75.50	1.00	11.94	0.72 $\pm$ 0.58
THMK-2	20.06.2015	-10.94	1.00	-75.63	0.80	11.89	0.29 $\pm$ 0.56
HMK-3	20.06.2015	-9.99	0.40	-67.94	1.30	11.98	4.91 $\pm$ 0.68
HMK-4	20.06.2015	-9.08	0.20	-67.37	1.10	5.27	3.94 $\pm$ 0.64
BKH-1*	13.10.2003	-10.65	-	-77.06	-	8.14	7.80 $\pm$ 1.80
HBK-1*	30.03.1997	-10.42	-	-73.1	-	10.26	11.2
ÇHS-1*	31.05.2006	-11.69	-	-87.82	-	5.7	0.00 $\pm$ 0.80
BDH-1*	31.05.2006	-10.08	-	-78.92	-	1.72	3.40 $\pm$ 1.25
AİS-1*	02.06.2006	-11.23	-	-86.15	-	3.69	0.25 $\pm$ 0.80

*: Bakır (2001), Diker (2005) ve Açıkgöz'den (2006) alınmıştır.

Kapullu Hamamı'nda yapılan bir çalışmada sıcak suyun meteorik kökenli yağışlardan beslendiği, aynı kimyasal özelliğe sahip Çağlayık sıcak su kaynağı ile Kapullu Hamamı kaynağının kökenlerinin benzer olduğu belirtilmiştir. Gırmeç kaynağı (TPGS-2) Küresel Meteorik Su Doğrusu (KMSD) üzerinde yer almasına karşın daha negatif izotop değerlerine sahiptir. Bu durum sıcak suya soğuk yüzey sularının karışmış olabileceği ve suyun nispi olarak yüksek kotlardan beslendiğini gösterir. Malıköy kaynağının (TPM-1) oksijen 18 değerinin daha pozitif değerlere doğru sapma göstermesi, suyun derinlerde kayalarla daha çok etkileşime girdiğini gösterir. Kaynak bir göl alanı içerisinde boşalım yapmakta olup, buharlaşma etkisinde kaldığı söylenebilir. TPÖ-1 ve TPÖ-2 sıcak su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ değerleri çevredeki soğuk su örneklerine göre (PSS-1, PSS-3, PSS-4) göreceli yüksek olup, suların yeraltında daha uzun yol katettiklerini ifade etmektedir. Şekil 7.1'deki grafik incelendiğinde meteorik su doğrusu üzerinde kalan Haymana sıcak su örnekleri (THMK-1 ve THMK-2) ve HMK-3 soğuk su örneğinin, yağış sularının buharlaşmaya uğramadan yeraltına süzüldüğü ve karstik akiferi beslediği söylenebilir.

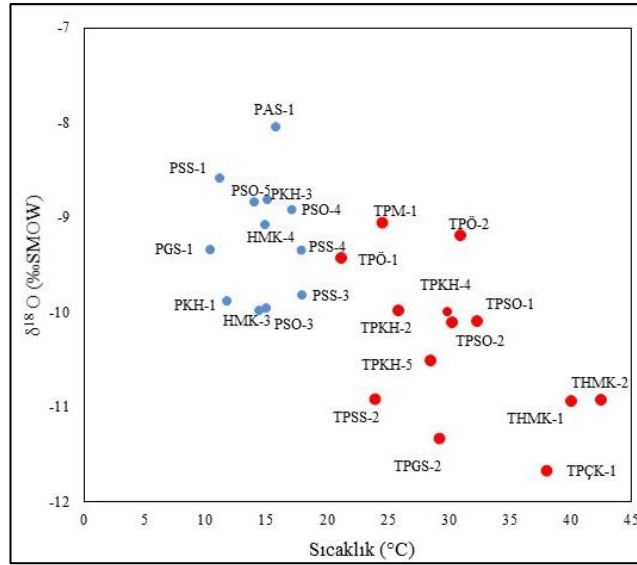
Meteorik su doğrusundan sapma buharlaşma, yoğunlaşma ve kayaç-su etkileşimi gibi farklı süreçlerden dolayı olabilir. Buharlaşma etkisi altında olan sular eğimi Küresel Meteorik Su Doğrusu'ndan (eğimi 8) daha düşük olan doğru oluştururlar. Coplen vd. (2000) buharlaşma doğrusunun eğiminin genellikle 3 ile 8 arasında, Clark ve Fritz (1997) ise 4 ile 6 arasında değiştiğini belirtirler. Buharlaşma doğrusunun eğimi nemlilik, sıcaklık, iyon konsantrasyonu gibi etkenlere bağlıdır (Gat ve Gonfiantini 1981) ve meteorik doğru ile olan kesişme noktası ise yüzey sularının buharlaşmadan önceki izotopik kompozisyonunu gösterir (Kurttaş 2002). Buharlaşma sırasında öncelikle hafif izotoplar buhar fazına geçtikleri için kalıntı sıvı faz ağır izotoplarca zenginleşir (Clark ve Fritz 1997, Mook 2001). Bu bakımdan şekil 7.1'den de görüleceği üzere, daha negatif izotop değerlerine sahip Malıköy (TPM-1), Özhamamı kaynağı (TPÖ-2), Karahamzalı-5 (TPKH-5) ve Sabanca (TPSS-2) buharlaşma etkisi nedeniyle meteorik doğrudan saptıkları söylenebilir. Malıköy, Özhamamı ve Sabanca sıcak su kaynaklarının birkaç noktadan boşaldıkları ve bir kaynak alanı oluşturdukları göz önüne alınırsa, örnekleme döneminin yaz aylarına denk gelmesi nedeniyle bu suların yüksek derecede buharlaşmaya uğramaları normaldir. Düşük debili TPKH-5 örneğinin diğer iki

sıcak su örneğine göre (TPKH-2 ve TPKH-4) daha negatif değerler alması ($\delta^{18}\text{O}$ değeri ‰ -10.52) yeraltında kayaçlarla daha fazla temas etmesi sonucu oksijen izotopu bakımından zenginleşmiş olmasındandır. Şekil 7.1’de ayrıca buharlaşma doğrusunun eğimi 5.9 olarak belirlenmiştir. Clark ve Fritz’e (1997) göre bağıl nem oranı % 25-75 arasında olan alanlar için buharlaşma doğrusunun eğimi 4-5 civarındadır.

Dansgaard (1964) eşitliğinden hesaplanan döteryum fazlalığı değerleri ‰1.0’dan ‰11.9’ye kadar geniş bir aralıkta değişmekte olup (Çizelge 7.1) yüksek nemli koşulları yansıtmaktadır (Clark ve Fritz 1997). Bu bulgu buharlaşma çizgisi eğimi ile de desteklenmektedir (Şekil 7.1). Bir başka deyişle, yüksek rakımlı alanlardan boşalan sular (düşük $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri) buharlaşmadan daha az etkilenmişlerdir.

7.1.2 Oksijen-18 ve sıcaklık ilişkisi

Sıcak ve soğuk su noktalarından alınan örneklerin Oksijen-18 ve sıcaklık değerlerinin değerlendirildiği grafikten (Şekil 7.2), sıcak suların genel olarak soğuk sulara oranla daha derin dolaşımli olduğu söylenebilir. Ayrıca yüksek sıcaklık ve düşük oksijen-18 değerine sahip THMK-1 ve THMK-2 sularının nispeten yüksek kotlardan boşaldıkları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 7.2 Oksijen 18-sıcaklık ilişkisi

7.1.3 Oksijen 18 ve yükseklik ilişkisi

Suların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği sıcaklık, coğrafik konum, miktar, enlem ve kot ile orantılı olarak değişmektedir. Genel olarak her 100 m kot artışına karşılık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalma ‰ -0.15 ile ‰ -0.50 arasında değişmektedir (Clark ve Fritz 1997). Apaydın (2004) tarafından Beypazarı civarında yapmış olduğu çalışmada $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki azalmayı ‰ 0.44 olarak hesaplamıştır. Pasvanoğlu (2016) ise Kızılcahamam civarında yapmış olduğu çalışmada azalmanın her 100 m kot artışına karşılık ‰ 0.27 olduğunu bulmuştur. Yağışlara ait izotop verisi olmadığı için beslenme yüksekliğinin hesaplamasında, hem topoğrafik koşulların benzerliği hem sahalara yakın olması nedeniyle Apaydın (2004) tarafından Beypazarı sahasında önerilen formül (7.1) kullanılmıştır (Çizelge 7.2).

$$\delta^{18}\text{O} = -0.0044 \cdot \text{Kot} - 4.838 \quad (r^2=0.98) \quad (\text{Kasım 2000}) \quad (7.1)$$

Sarıoba kaynakları için beslenme yüksekliği 1200 m civarındır. Bu yükseklik TPSO-2 kaynağının kuzeydoğusunda yer alan Davlumbaz tepe ve İkizçukur tepeye karşılık gelmektedir. Bu tepelerde Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları yüzeylemektedir (EK 1). Çağlayık kaynağının (TPÇK-1) beslenme yüksekliği ise 1558 m hesaplanmıştır. Bu da suyun çok uzak mesafelerden beslendiğini göstermektedir. Beslenme alanı içerisinde metamorfik kayaçlar, Bilecik formasyonunun kireçtaşları, granitik kayaçlar, volkanik kayaçlar, Hançili ve Sarıoba formasyonları yüzeylemektedir. Malıköy sıcak suyunda (TPM-1) buharlaşma etkisi gözönüne alınarak, grafikten buharlaşma öncesi $\delta^{18}\text{O}$ değeri ‰ -11.1 olarak bulunmuştur. Bu değer yardımıyla beslenme yüksekliği 1490 m hesaplanmış olup, batıdaki Çiledağ civarına karşılık gelmektedir. Bu kotların bulunduğu alanda ise metamorfik kayaçlar, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonu, Üst Kretase yaşlı Kapıkaya kireçtaşı, Eosen yaşlı Alcı formasyonunun volkanitleri, Hançili formasyonunun killi kireçtaşı seviyeleri ve Alagöz formasyonunun çakıltaşı, kumtaşı ve kilaşları yüzeylemektedir. (EK 2). Suyun uzak mesafelerden beslendiğini ve derin dolaşımli olduğu söylenebilir.

Çizelge 7.2 $\delta^{18}\text{O}$ yardımıyla hesaplanan beslenme yükseklikleri

Numune No	$\delta^{18}\text{O}$ (VSOW)	Boşalım Kotları (m)	$\delta^{18}\text{O}$ ile Hesaplanan Beslenme Kotu (m)
TPSO-1	-10.1	694	1202
TPSO-2	-10.11	725	1204
PSO-3	-9.96	965	1170
PSO-4	-8.92	888	933
TPÇK-1	-11.67	646	1558
PAS-1	-8.05	749	736
TPM-1*	-11.4	735	1490
PGS-1	-9.35	972	1031
TPGS-2	-11.33	921	1481
PKH-1	-9.89	824	1148
TPKH-2	-9.99	872	1177
PKH-3	-8.82	905	911
TPKH-4	-10	882	1179
TPKH-5	-10.52	796	1297
TPÖ-1	-9.43	797	1049
TPÖ-2*	-10.5	814	1286
PSS-1	-8.59	881	858
TPSS-2*	-11.9	846	1600
PSS-3	-9.82	883	1138
PSS-4	-9.35	866	1025
THMK-1	-10.93	1217	1390
THMK-2	-10.94	1206	1390
HMK-3	-9.99	1125	1177
HMK-4	-9.08	1154	970

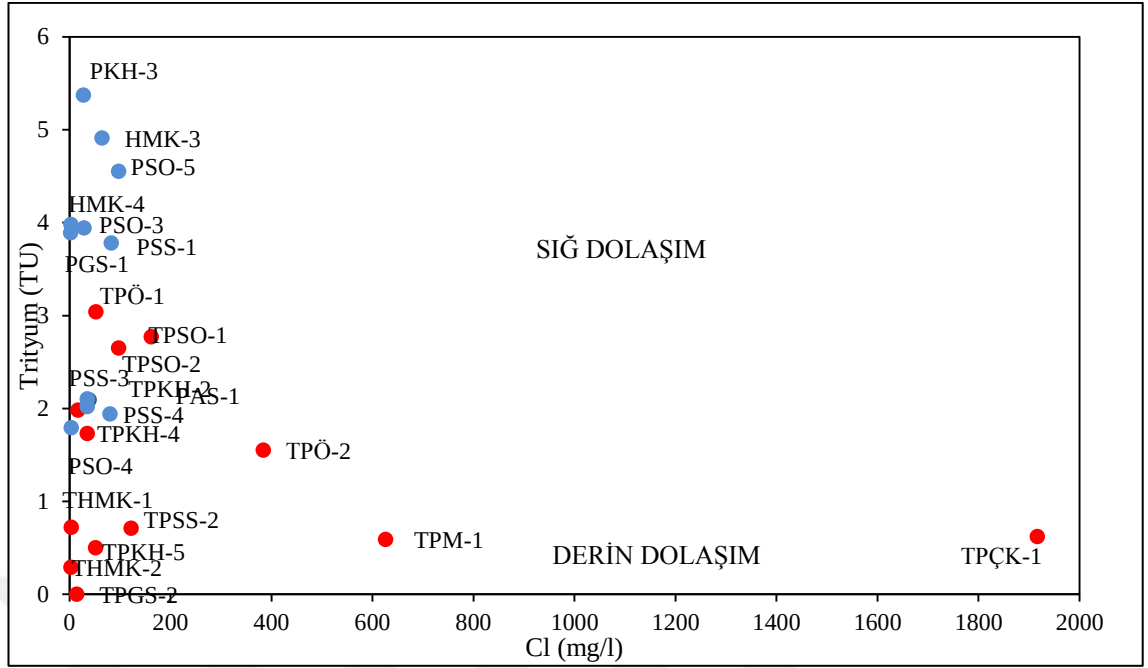
*: Buharlaşıma öncesi değerler grafikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

Girmeç sıcak su kaynağının (TPGS-2) beslenme kotu ise 1481 m olarak hesaplanmıştır. Söz konusu yükseklik kaynağın batısında volkanitlerin yüzelediği Çiledağ'ın zirvelerine karşılık gelmektedir. Suların kimyasal bileşimleri de suların bu birimlerden beslendiğini de göstermektedir. Karahamzalı kaynakları için yapılan hesaplama sonucu 1177-1297 m yükseklikler bulunmuştur. Söz konusu yükseklikler sahanın güneybatısında yer alan Yıldızlıdağ ve doğudaki Çaldağ civarına gelmektedir. Alanda ofiyolitik kayalar, metamorfikler, Bilecik formasyonu, Paleojen ve Neojen yaşlı çökeller bulunmaktadır. Özhamamı kaynağının beslenme yüksekliği 1286 m'ler civarı hesaplanmıştır. Özhamamı çevresi düz topoğrafyaya sahip olduğundan, suyun çok uzak

yollar katettiğini söyleyebiliriz. Aynı şekilde Sabanca kaynağı için hesaplanan 1600 m yükseklik, suyun çok uzak mesafelerden geldiğini, derin dolaşımli olduğunu gösterir. Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları, Senozoyik yaşlı çökeller yüzeylemektedir. Haymana bölgesinde ise sıcak su kaynaklarının beslenme yüksekliği 1390 m’ler hesaplanmıştır. Haymana ilçesinin güneydoğusunda yer alan Çaputçuçal tepe ve çevresi hesaplanan yüksekliğe karşılık gelmektedir. Üst Kretase yaşlı Haymana formasyonu ile Paleosen ve Eosen yaşlı denizel çökeller bu bölgede yüzeylemektedir.

7.1.4 Trityum-klorür ilişkisi

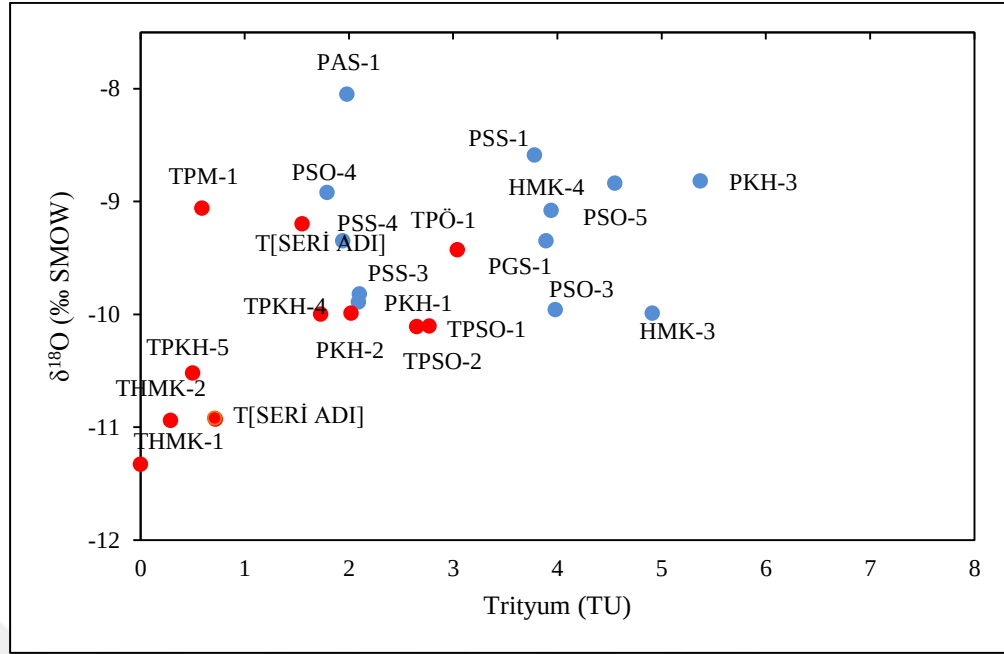
Atmosferdeki trityum derişimi, nükleer denemeler sonucu değişmiştir. 1963 yılından önce derişimler 5 TU civarındayken, nükleer denemeler ile atmosfere yayılan trityum ile 1963 yılında maksimum 3000 TU’ya ulaşmıştır (Mazor 1991). Suların sığ veya derin dolaşımli olduğuna yönelik değerlendirmelerden biri de Trityum-Cl grafiğidir (Şekil 7.3). Polatlı-Haymana sularının trityum değerleri 0.0 ile 5.37 TU arasındadır (Çizelge 7.1). Sıcak sular için ölçülen değerler (0.0–3.0 TU) soğuk sulara (1.98–5.37 TU) göre daha düşüktür. Derin dolaşımli suların trityum değerleri oldukça düşük, klorür içerikleri ise yüksektir. Beslenme bölgesinden süzülerek ısınan sular yeraltında su-kayaç etkileşimi neticesinde korunumlu özellikte olan klorür iyonu bakımından zenginleşirler. Buna karşın, Malıköy (TPM-1) sıcak sularının yüksek Cl⁻ içerikleri nedeniyle diğer sıcak sulara göre daha derin dolaşımli olduğu söylenebilir. Soğuk su örneklerinin trityum içeriği jeotermal sulardan daha yüksek olup, tümü sığ dolaşımliıdır. Düşük Cl⁻ ve nispeten yüksek trityum bileşimi gösteren Ilıca (TPÖ-1) ve Sarıoba (TPSO-1 ve TPSO-2) örnekleri sığ dolaşımli olduklarından muhtemelen soğuk su ile karışmışlardır. Girmeç (TPGS-2) sıcak su kaynağının trityum değeri 0 olup bu sular 1950’li yıllardan önceki düşen yağış sularından beslendiği söylenebilir. Clark ve Fritz (1997) kıtasal bölgelerde boşalım yapan suların trityum içeriği 0.8-4 TU arasında ise güncel ve eski suların karışımı olabileceğini belirtmiştir. Girmeç kaynağının klorür değerinin düşük olmakla birlikte (sığ soğuk yeraltı sularının karışımı) Na-SO₄-HCO₃ tipte sulardan olması ve trityum içermemesi, rezervuardaki eski sular (1950’den önceki yağışlarla beslenen) ile güncel yağışlarla beslenen yeraltı sularının karışımı olabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 7.3 Tritiyum-Cl ilişkisi

7.1.5 Oksijen 18-trityum ilişkisi

Sıcak sular birbirinden farklı jeotermal sistemleri ifade etmektedir. Suların beslenme yükseltmeleri ile yeraltında dolaşım süresi arasındaki ilişkiyi gösteren oksijen-18-trityum grafiğinde (Şekil 7.4), trityum bileşimleri ile $\delta^{18}\text{O}$ değerleri arasında orta dereceli bir ilişki olduğu görülmektedir. Düşük trityum içerikleri yeraltında uzun dolaşım süresini belirttiğinden, TPM-1, TPKH-5, TPGS-2, THMK-1, THMK-2 ve TPSS-2 örneklerinin yüksek trityum bileşimine sahip soğuk sulara göre daha uzun bir dolaşımda oldukları çıkarımı yapılabilir. TPSO-1, TPSO-2 ve TPÖ-1 nolu sıcak suların ^3H konsantrasyonlarının soğuk suların bazılarında daha yüksek olması söz konusu suların ya sık bir dolaşım geçirdiklerini ya da yeraltı suyu ile karıştıklarına işaret eder.



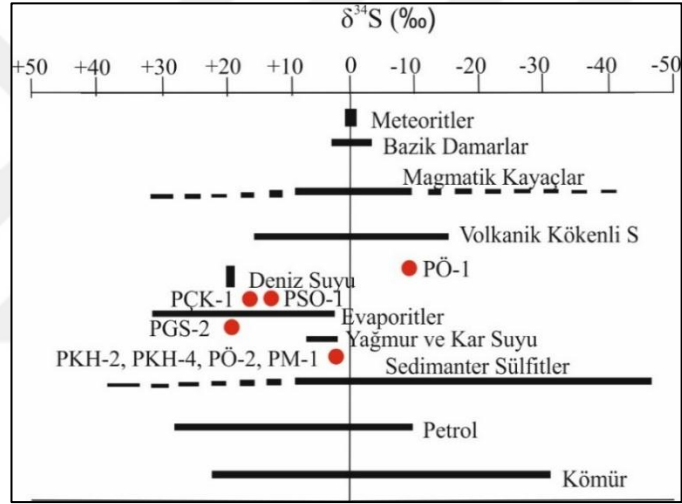
Şekil 7.4 Oksijen 18-Tritiyum ilişkisi

7.2 $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ (SO_4) bileşimleri

Sülfat, jipsli minerallerin çözünmesi, sülfid minerallerinin oksidasyonu veya biyolojik faaliyetler sonucu doğal suların bünyesine katılır. Polatlı ve Haymana sıcak sularında çözünmüş SO_4^{-2} ’in bileşiminde yer alan kükürdün kökeninin belirlenmesi amacıyla SO_4^{-2} iyonundaki $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ için izotop analizleri yapılmıştır (Çizelge 7.3). Haymana bölgesindeki sıcak sularda; su örneklerindeki düşük SO_4^{-2} konsantrasyonu nedeniyle sülfat çöktürülemedi ve oksijen-kükürt analizi gerçekleştirilememiştir. Sularda çözünmüş sülfatta ölçülen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri (sadece Polatlı örnekleri için) ‰ -9.2’den +‰ 19.5’e (VCDT) kadar geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. Sülfata ait $\delta^{18}\text{O}$ oranları ise ‰ 3.66 ile ‰ 14.99 (VSMOW) arasındadır. Sabanca kaynağındaki (TPSS-2) düşük SO_4 konsantrasyonu sülfatın bakteriyel faaliyetler tarafından tüketilmesi ile açıklanabilir. Doğadaki kükürt kaynaklarının karşılaştırıldığı diyagramda (Şekil 7.5), Polatlı sıcak sularının $\delta^{34}\text{S}$ değerleri farklı alanlara düşmüştür. Çağlayık (TPÇK-1), Sarıoba (TPSO-1) ve Girmeç (TPGS-2) örneklerinin $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ değerleri evaporit alanına karşılık gelirken, Karahamzalı, Ilıca kaynağı, Özhamamı ve Malıköy kaynaklarına (TPKH-2, TPKH-4, TPÖ-1, TPÖ-2 ve TPM-1) ait $\delta^{34}\text{S}$ oranları ise sedimanter bir kökene işaret etmektedir.

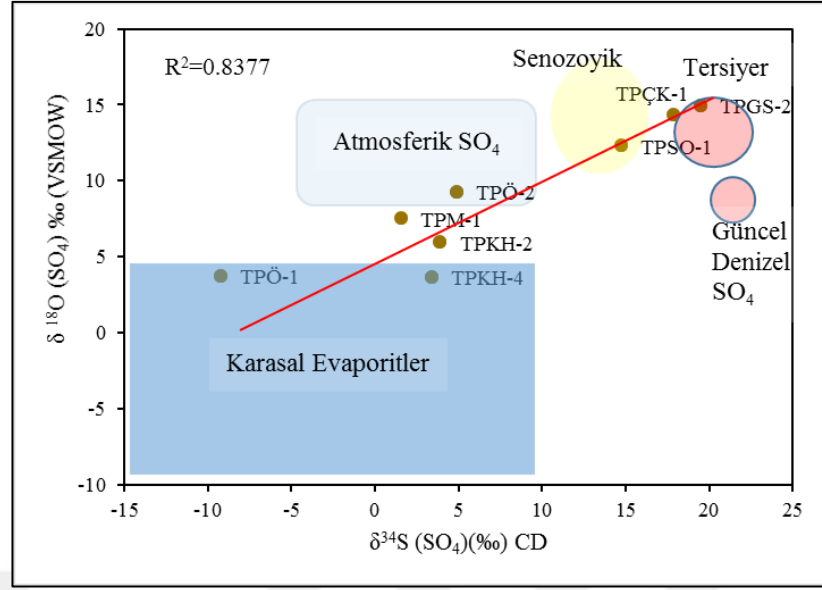
Çizelge 7.3 Sıcak sularda çözünmüş sülfatta ölçülen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ değerleri

Numune No	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\text{SO}_4(\text{mg/l})$
TPSO-1	14.74	12.32	147
TPÇK-1	17.83	14.39	5577
TPM-1	1.58	7.53	768
TPGS-2	19.51	14.99	133
TPKH-2	3.88	5.97	32.7
TPKH-4	3.38	3.66	29
TPÖ-1	-9.20	3.76	254
TPÖ-2	4.88	9.31	248



Şekil 7.5 Doğada bulunan kükürt kaynakları (Thode 1991) ve incelenen sıcak suların $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerleri

Farklı sülfat kaynaklarını tanımlamak için oldukça kullanışlı olan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{34}\text{S}$ diyagramında (Tichomirowa vd. 2010), sıcak suların $\delta^{18}\text{O}_{\text{SO}_4}$ ve $\delta^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ izotop bileşimleri arasında pozitif bir korelasyon tespit edilmiştir ($R^2 = 0,83$). Bu durum suların yüzeye ulaşırken sedimanter birimler içerisindeki evaporit minerallerle etkileşime girerek sülfatı bünyelerine aldıklarını ortaya koymaktadır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6 İnceleme alanındaki sıcak suların $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ (SO_4) grafiği
(Grafikte Polatlı yöresindeki sıcak sulara ait su noktaları gösterilmiştir)

Palmer vd. (2004), Anadolu'daki karasal evaporit çökellerinin $\delta^{34}\text{S}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ (sülfat) bileşimlerinin denizel evaporitler ile oldukça benzer olduğunu ve denizel evaporitlerin ve karbonatların çözünmesinin karasal evaporit birimlerinin kimyasını büyük oranda etkilediğini belirtmiştir. Polatlı sıcak sularının $\delta^{34}\text{S}$ değerleri ‰-10 ile ‰+20 arasında değişmektedir. İndirgenmiş sedimanter kükürt daha negatif bir $\delta^{34}\text{S}$ değerine sahip olup, ortalama ‰-12 civarında iken günümüz deniz suyunun $\delta^{34}\text{S}$ değeri ‰+20, eski denizel evaporitlerin ise ‰ +15'den +27'ye kadar değişmektedir (Bottrell ve Newton 2006). TPÖ-1 örneğinin $\delta^{34}\text{S}$ değeri (‰-9.2) karasal evaporitler alanına düşmektedir. Bu negatif değer diyajenetik ortamlarla ilişkili indirgenmiş kükürt değerine oldukça yakındır (Clark ve Fritz 1997). TPÖ-1 ve TPÇK-1 örneklerine ait sülfat izotop değerleri Senozoyik ve Tersiyer yaşlı çökel alanlarına düşmektedir. Her iki örneğin bulunduğu alanda jips içeren Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı gölsel çökeller yer almaktadır. Beypazarı Havzası ve çevresinde denizel çökellerin olmadığı, eski kıyı çizgisinden uzakta yer alan havzada denizel olmayan evaporitlerin çökelediği Palmer vd. (2004) tarafından belirtilmiştir. Dolayısıyla, TPÖ-1 ve TPÇK-1 örneklerindeki sülfat beslenme alanında yer alan gölsel çökellerden kaynaklanmış olmalıdır. Çelmen ve Çelik (2009) Beypazarı sıcak sularındaki kükürdün Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı birimlerdeki jipsli seviyelerden türediğini ifade etmişlerdir. Yüksek $\delta^{34}\text{S}$ izotop değerine (‰ 19.51)

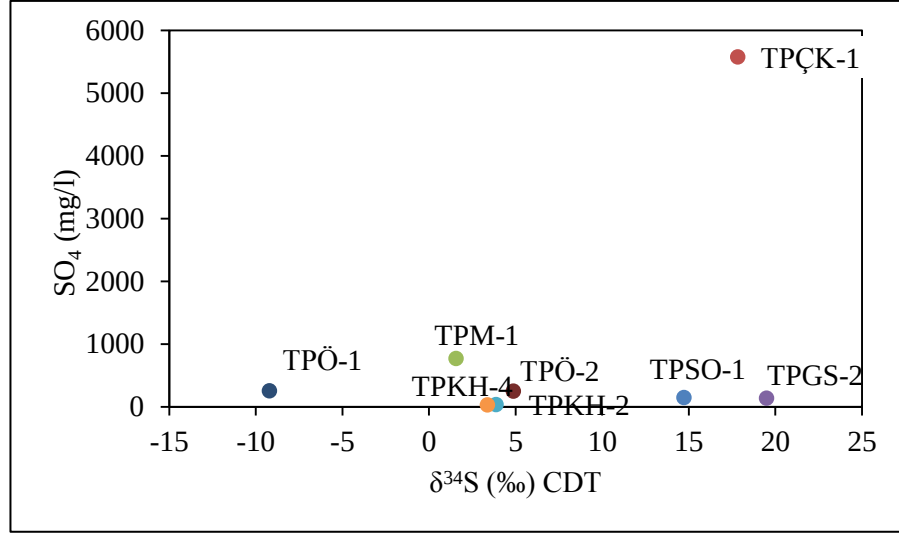
sahip olan TPGS-2 örneği volkanitlerden boşalmakta ve üzerinde herhangi bir örtü birim bulunmamaktadır. Palmer vd. (2004), Anadolu'daki denizel ve karasal evaporitlerdeki sülfat mineralleri için elde ettikleri yüksek $\delta^{34}\text{S}$ değerlerinin sülfat indirgenmesine yol açan mikrobiyolojik faaliyet sırasındaki izotop ayrımlaşmasından kaynaklandığını, deniz ve denizel olmayan evaporitlerin benzer $\delta^{34}\text{S}$ değerleri içerdiğini belirtmiştir. TPÖ-2 örneğine ait $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ değerleri atmosferik SO_4 bölgesine düşmektedir. TPKH-2 ve TPM-1 örnekleri ise Şekil 7.7'deki alanların hiçbirine düşmemektedir. TPÖ-1 ve TPKH-4 örneklerinin $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^{34}\text{S}$ değerleri ise karasal evaporitler (Clark ve Fritz 1997) bölgesine düşmektedir. Çalışılan bölgede denizel evaporitler bulunmadığından, sülfatın denizel karbonatların yapısına katılması (CAS: carbonate-associated sulfate) sularda kaydedilen denizel kükürt bileşenini açıklamak için en uygun mekanizma gibi görünmektedir (Kampschulte ve Strauss 2004, Mutlu vd. 2012). Bundan dolayı, denizel evaporit alanına düşen TPÖ-1 nolu örneğin $\delta^{34}\text{S}$ değeri bölgedeki termal suların birçoğu için rezervuar kayası olduğu düşünülen Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşının kükürt izotop bileşimini yansıtmaktadır.

Şekil 7.7'de gösterilen SO_4 - $\delta^{34}\text{S}$ grafiğinde, TPÇK-1 örneğindeki sülfat kaynağının diğer sulardan farklı olduğu görülmektedir. Söz konusu kaynağın yakın çevresindeki jipsli birimlerin bulunması bu örnekteki yüksek SO_4^{2-} konsantrasyonunu açıklamaktadır. Diğer sulardaki sülfat ise evaporit minerallerinin farklı derecede çözünerek suya katılmaları ile açıklanabilir.

7.3 $\delta^{13}\text{C}$ bileşimleri

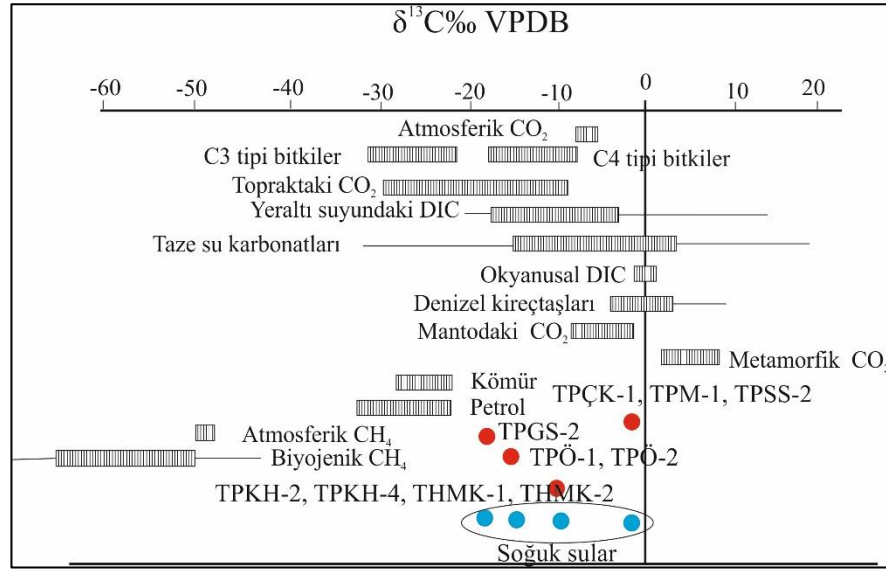
Karbon ^{12}C ve ^{13}C olmak üzere iki duraylı izotopa sahiptir. Karbon için öngörülen standart, Kuzey Carolina PeeDee Formasyonunda görülen belemnit fosilinin (PDB) karbon izotop bileşimidir. Bu standardın orijinal malzemesi günümüzde mevcut olmayıp, yeni karbonat referansı karbonatit (NBS-18) ve denizel kireçtaşları NBS-19'dır. VPDB ölçümünün tanımı;

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{\text{C}_{\text{NBS-19/V-PDB}}}{1,95} \text{ şeklindedir.}$$



Şekil 7.1 İnceleme alanındaki sıcak suların SO_4 - $\delta^{34}\text{S}$ grafiği

$^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ değeri oksijen ve hidrojeninde olduğu gibi binde (‰) olarak ifade edilir. Karbon rezervuarlarının farklı karbon-13 değerlerine sahip olmaları nedeniyle (Şekil 7.8), yeraltı sularında karbonat gelişimi için $\delta^{13}\text{C}$ mükemmel bir izleyicidir (Clark ve Fritz 1997).



Şekil 7.7 Karbonlu materyallerdeki $\delta^{13}\text{C}$ izotop dağılımı (Clark ve Fritz 1997) ve inceleme alanındaki su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleri

Çözünmüş inorganik karbonatın (DIC) $\delta^{13}\text{C}$ değeri atmosferik CO_2 ile yakından ilişkilidir. Atmosferik $\delta^{13}\text{C}$ yaklaşık ‰-7'dir (VPDB). Genel olarak, atmosferik CO_2 etkisi ihmal edilebilir düzeyde olmakla birlikte yeraltı sularındaki DIC'in kaynağı topraktaki organik maddenin çürümesi ve karbonat çözünmesi sonucu türetilen CO_2 'tir. Sığ yeraltı sularının kimyasal zenginleşmesinde karbonat reaksiyonları daha baskın olduğundan soğuk su kaynaklarında baskın anyon bikarbonat iyonudur.

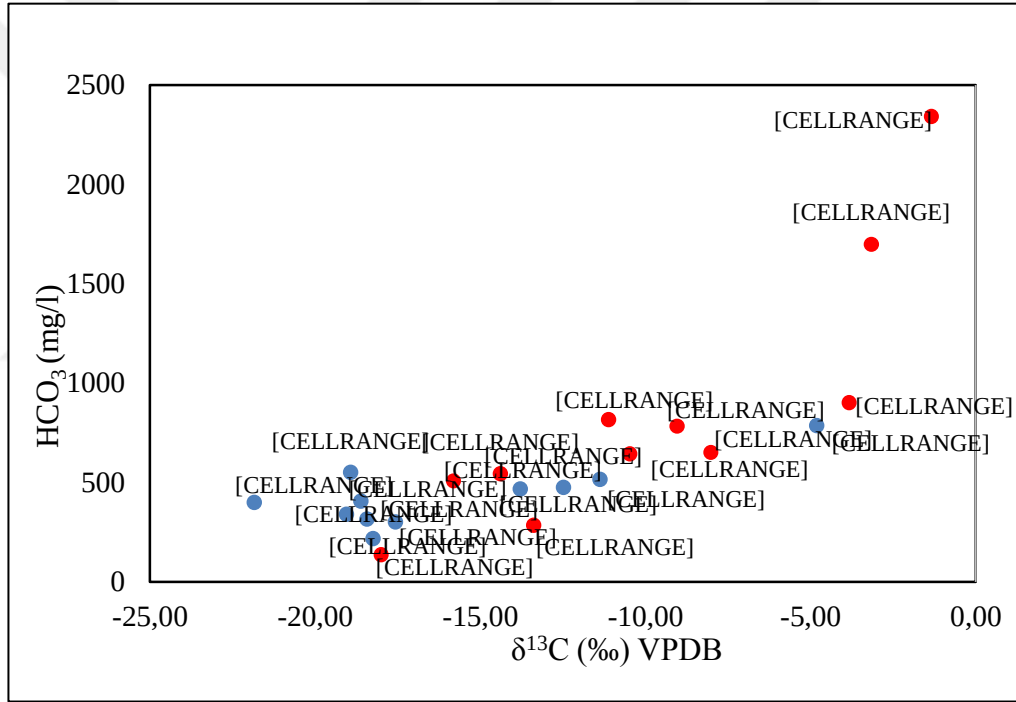
Çalışma alanındaki sıcak sulara çözünmüş inorganik karbonata ait (DIC) $\delta^{13}\text{C}$ sonuçları Çizelge 7.4'te, karbonatlı kayalar ve traverten örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ise Çizelge 7.5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlardan yararlanarak sıcak sular için $\delta^{13}\text{C}$ (‰)- HCO_3 (mg/l) grafiği hazırlanmıştır (Şekil 7.9).

Çizelge 7.4 İnceleme alanındaki soğuk ve sıcak su kaynaklarına ait $\delta^{13}\text{C}$ izotop sonuçları (VPDB olarak)

Numune No	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	HCO_3 (mg/l)
TPSO-1	-14.39	544
PSO-3	-18.24	216
PSO-4	-17.56	300
PSO-5	-18.92	550
TPÇK-1	-3.83	902
PAS-1	-18.43	314
TPM-1	-1.34	2341
TPGS-2	-18.00	137
PGS-1	-18.61	405
PKH-1	-4.81	785
TPKH-2	-11.12	816
TPKH-4	-9.04	783
TPKH-5	-11.37	514
TPÖ-1	-13.38	285
TPÖ-2	-15.81	508
PSS-1	-21.84	399
TPSS-2	-3.16	1698
PSS-3	-13.78	466
THMK-1	-8.02	651
THMK-2	-10.47	644
HMK-3	-12.48	474
HMK-4	-19.04	338

Çizelge 7.5 Traverten ve kireçtaşlarına ait $\delta^{13}\text{C}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ sonuçları (VPDB olarak)

Numune No	Kayaç	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
SOK	Üst Jura-Alt Kretase Kireçtaşı	3.43	-5.79
ÇT	Traverten	1.47	-11.05
MKK	Kapıkaya Kireçtaşı	6.80	-7.83
GT	Traverten	-0.79	-4.71
KHT-1	Eski Traverten	1.80	-8.83
KHT-2	Yeni Traverten	-1.20	-9.95
ST	Traverten	2.23	-7.97
HT	Traverten	3.24	-9.87
HK	Üst Jura-Alt Kretase Kireçtaşı	2.66	-0.77



Şekil 7.8 İnceleme alanındaki sulara ait HCO_3^- - $\delta^{13}\text{C}$ grafiği

Polatlı ve Haymana sıcak sularındaki (DIC) $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ -1.34 ile ‰-18 arasında değişirken, soğuk sularda ‰ -4.81 ile ‰ -21.84 arasındadır (Çizelge 7.4). $\delta^{13}\text{C}$ değerleri sıcaklıkla önemli derecede değişmese de, sıcak sular için ölçülen değerler soğuk sulara göre genellikle daha yüksektir. Suların $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile HCO_3^- konsantrasyonları arasında az da olsa belirgin pozitif bir ilişkiden bahsedilebilir. Suların kireçtaşları ile etkileşimi sonucu karbonat çözünmekte ve sulardaki bikarbonat konsantrasyonu ve

dolayısıyla $\delta^{13}\text{C}$ bileşimi artmaktadır. Bölgedeki en önemli rezervuar kayacı Bilecik kireçtaşlarının karbon izotop değerleri de (‰ 2.66-‰ 3.43) bu durumu destekler niteliktedir.

Clark ve Fritz (1997) tarafından belirtildiği üzere, denizel karbonatlara ait $\delta^{13}\text{C}$ ‰ -3 ile +3 arasındadır. Malıköy sıcak su kaynağının (TPM-1) $\delta^{13}\text{C}$ değeri (‰-1.34) denizel kireçtaşlarına karşılık gelmektedir. Bu kaynağın yakınındaki travertenlerden alınan örneğin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ise ‰ 6.80'dir. Pentecost (1995) termojen travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerinin ‰ -3 ile ‰ 10, metojen travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ değerinin ise ‰ -12 ile ‰ 2 arasında değiştiğini belirtmektedir. Malıköy travertenlerinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri (‰ 6.80) metamorfik CO_2 'in izotop bileşimine (Clark ve Fritz 1997) karşılık gelmekte ve travertenlerin termojen kökenli olduklarını da göstermektedir (Pentecost 1995). Suyun hesaplanan çözünmüş CO_2 konsantrasyonu 747 mg/l, pH değeri ise 6.62'dir. Asidik özellikteki sular etkileşime girdiği karbonatlı kayaçları çözerek $\delta^{13}\text{C}$ değerinin artmasını sağlar. Malıköy sıcak sularının, temeli oluşturan Alt Triyas yaşlı metamorfik kayaçlar ile rezervuar özellikteki diğer karbonat kayaçları yıkayarak yeryüzüne ulaştığı söylenebilir. Malıköy suları çok sayıda kaynaktan çıktığı için bir göl alanı oluşturmakta ve ayrıca gaz çıkışları, buharlaşma gibi süreçler de $\delta^{13}\text{C}$ değerinin daha da yükselmesine neden olmaktadır.

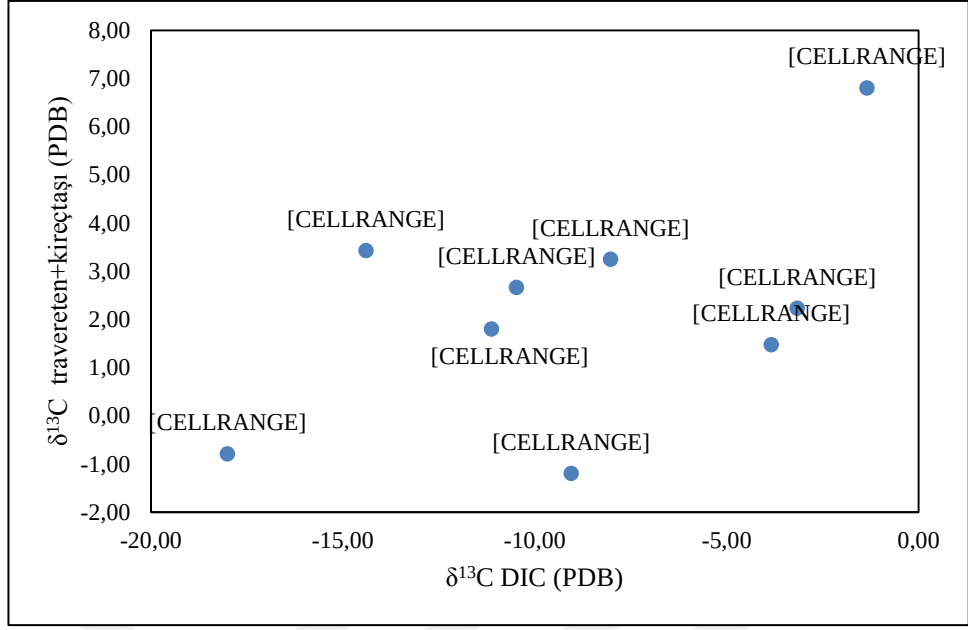
Rezervuar kayacı Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonundan boşalan sıcak su kaynaklarından Karahamzalı sularının (TPKH-2 ve TPKH-4) $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ‰ -9.04 ile ‰ -11.12 arasındadır. Sarıoba kaynağının (TPSO-1) ‰ -14.39 ve Haymana sıcak sularının (THMK-1 ve THMK-2) $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ‰ -8.02 –ile ‰ -10.47 arasında değişmektedir. $\delta^{13}\text{C}$ değerleri atmosferik değerden (‰ -7) nispeten düşüktür. Biyolojik faaliyetler çözünmüş inorganik karbonun izotop bileşimini daha da negatif değerlere çeker. Karahamzalı ve Haymana bölgesinde sıcak su rezervuarı olarak düşünülen Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşlarından alınan kayaç örneklerinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ 2.66 - ‰ 3.43 arasındadır. Denizel kireçtaşları ile örtüşen bu değerler (Clark ve Fritz 1997). sıcak suların kireçtaşlarından beslendiğini göstermektedir (Çizelge 7.5).

Çağlayık sıcak su örneği (TPÇK-1) ve sıcak suyun çökelttiği travertenin $\delta^{13}\text{C}$ değerleri sırasıyla ‰ -3.83 ve ‰ 1.47'dir. Asidik özellikteki su (pH: 6.56) Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Sarioba formasyonunun gölsel kireçtaşları ve jipsli seviyelerinden beslenmektedir. Sıcak suyun $\delta^{13}\text{C}$ değeri Sarioba formasyonunun kireçtaşı seviyeleri ile etkileşimde olduğunu göstermektedir.

Sabanca sıcak su kaynağının (TPSS-2) $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ -1.34 olup, travertenlerden alınan kayaç örneğinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ 2.23 dür. TPSS-2 örneğinin ise çözünmüş CO_2 değeri 342.02 mg/l, pH değeri 6.78 dir. Su algli kireçtaşı, marn, şeylden oluşan ve denizel ortamı yansıtan Kırkkavak formasyonundan boşalmaktadır. Malıköy kaynağındaki gibi göl alanı oluşturan kaynakta gaz çıkışları, buharlaşma gibi süreçler $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin daha pozitif olmasına neden olmuştur.

Girmeç kaynağının (TPGS-2) $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ -18.00 ve HCO_3 değeri 137 mg/l dir. Clark ve Fritz'e (1997) göre yeraltı suyunun $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰-18 ile ‰ -3 arasında değişmektedir. Bu durum Girmec kaynağına soğuk yeraltı sularının karışmış olduğunu göstermektedir. Girmec traverteninden alınan kayaç örneğinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ - 0.79 dur. Bu değer, tatlı su karbonatları değerine karşılık gelmekte olup, sıcak suyun sahanın batısında yer alan Üst Miyosen yaşlı Hançili formasyonunun kireçtaşı seviyelerinden de beslendiği söylenebilir.

Ilıca kaynağının (TPÖ-1) $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ -13.38, Özhamamı kaynağının ise ‰ -15.81 dir. Bu değerler topraktaki CO_2 (‰ -8 – ‰ -30) ve yeraltı suyundaki DIC (‰ -3 – ‰ -18) değerlerine yakın olup (Clark ve Fritz 1997) bu sulara soğuk su karıştığını söyleyebiliriz (Şekil 7.11). Kireçtaşları ve travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}(\text{VPDB})$ – $\delta^{18}\text{O}(\text{VPDB})$ grafiği şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.9 Kireçtaşları ve travertenlere ait $\delta^{13}\text{C}$ (VPDB)– $\delta^{18}\text{O}$ (VPDB) grafiği

Denizel karbonatlardan çözünen inorganik karbon organik karbona göre daha pozitif bir değere sahiptir (Kele vd. 2011). Bu bakımdan ana rezervuarı kireçtaşı olan Karahamzalı, Sarıoba ve Haymana sıcak sularındaki karbon muhtemelen denizel kireçtaşı kökenlidir. Şimşek vd. (2000) Pamukkale’de yapmış oldukları çalışmada, Mesozoyik kireçtaşları ve Paleozoyik mermerlerin termometamorfik ayrışmasının yüksek $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ile CO_2 ürettiğini ortaya koymuştur. Polatlı ve Haymana alanlarında en önemli rezervuar, kireçtaşından oluşan Bilecik formasyonudur. İzotop sonuçlarına bakıldığında, Bilecik kireçtaşlarının $\delta^{13}\text{C}$ değeri denizel kökenli karbonatlar bölgesine düşmektedirler. Malıköy’den alınan traverten örneğinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ‰ 6.80’dir (Şekil 7.10).

Traverten örneklerinde $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin pozitif olması, muhtemelen hızlı CO_2 gaz salınımının tercihli şekilde ^{12}C kaybına yol açtığı akışkanlardan çökeltme ile açıklanabilir (Liu vd. 2003, Uysal vd. 2007). Bu süreçte denge dışı izotop bölümlenmesi gerçekleşmiştir. Temel kayaların termometamorfik dekarbonizasyona maruz kalması ile ortaya çıkan izotopik olarak ağır CO_2 gazı travertenlerdeki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin yükselmesine neden olmuştur (Özkul vd. 2014).

Oksijen izotop bileşimleri, karbon izotoplarının aksine, minerallerin çökdikleri akışkanın kökeni ve sıcaklık değerlerinin belirlenmesine yardımcı olur. Bu kapsamda, incelenen travertenlerin $\delta^{18}\text{O}$ değerleri paleosıcaklıkların hesaplanmasında ve yağmur suyu (meteorik su) izotop bileşiminin ortaya konmasında oldukça faydalıdır. Bölgeden alınan traverten örnekleri, uzun dönem su-kayaç etkileşiminin izlerini sunmaktadır.

Travertenlere ait $\delta^{18}\text{O}$ değerleri, çökdikleri akışkanın sıcaklık veya $\delta^{18}\text{O}$ bileşiminin (VSMOW) hesaplanmasında kullanılabilir. Friedman ve O'Neil'in (1977) önerdiği aşağıdaki eşitlikten sıcaklık (T, Kelvin olarak) veya $\delta^{18}\text{O}_{\text{akışkan}}$ hesaplanabilir. Karbonatlı kayalardaki O izotop bileşimi genellikle PDB'den sapma şeklinde olup, $\delta^{18}\text{O}$ (VPDB) değeri $\delta^{18}\text{O}$ (VSMOW)'a aşağıdaki eşitlikle (7.2) dönüştürülür (Coplen vd. 1983):

$$\delta^{18}\text{O} (\text{VSMOW}) = 1.03086 \delta^{18}\text{O} (\text{PDB}) + 30.86 \quad (7.2)$$

Denklemdaki bilinmeyenlerden herhangi biri bulunurken diğeri için gerçekçi bir değer atamak gereklidir. 7.3 nolu eşitlikteki T değeri için termal suların boşalım sıcaklığı esas alınmıştır.

$$1000 \ln \alpha_{\text{Traverten-Akışkan}} = \frac{2.78 \times 10^6}{T^2} - 2.89 \quad (7.3)$$

Burada;

α = iki faz arasındaki izotop bölümlenme sabiti:

$$\alpha_{\text{Traverten-Akışkan}} = \frac{\delta^{18}\text{O}_{\text{Traverten}} + 1000}{\delta^{18}\text{O}_{\text{Akışkan}} + 1000} \quad (7.4)$$

$$1000 \ln \alpha_{\text{Traverten-Akışkan}} \approx \delta^{18}\text{O}_{\text{Traverten}} - \delta^{18}\text{O}_{\text{Akışkan}} \quad (7.5)$$

Yukarıda verilen eşitlikler yardımıyla travertenleri çökmesine neden olan sıcak akışkanların $\delta^{18}\text{O}$ değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 7.6). Travertenleri çökeltten paleoakışkanların (meteorik suların) $\delta^{18}\text{O}$ bileşimleri -1.50 ile -6.76‰ (VSMOW) arasında bulunmuştur. Hesaplanan oksijen izotop oranının yüksek çıkması, muhtemelen suların etkileşime girdiği kayaçların yüksek oksijen izotop değerlerinden kaynaklanmıştır. Her ne kadar travertenlerin oluşum tarihleri bilinmese de, elde edilen sonuçlar, travertenlerin çökeldikleri dönem(ler)de soğuk iklim koşullarının hüküm sürdüğüne işaret etmektedir (Akıllı ve Mutlu 2018).

7.3.1 CO₂ kökeni

CO₂ jeotermal sulara farklı yollarla katılabilir. Mantosal katkının yanı sıra denizel veya organik sedimanter birimlerdeki CO₂ çözünerek suya geçer. Polatlı ve Haymana sularının çökelttiği travertenlerin $\delta^{13}\text{C}$ bileşimi kullanılarak bu sulardaki CO₂'in kökeni tahmin edilebilir. Panichi ve Tongiorgi (1976) tarafından önerilen deneysel ilişki (formül 7.6) ile traverten depolanması sırasında sudan salınan CO₂'in $\delta^{13}\text{C}$ değeri hesaplanabilir.

Çizelge 7.6 Travertenleri çökeltten akışkanların $\delta^{18}\text{O}$ bileşimleri

Örnek no.	T (°C)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Trav}}$ (VPDB)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Trav}}$ (VSMOW)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Akış}}$ (VSMOW)
TPÇK-1	37.1	-11.05	19.52	-6.50
TPGS-2	29.2	-4.71	26.05	-1.50
TPKH-2	25.9	-8.83	21.81	-6.42
TPKH-4	29.9	-9.95	20.65	-6.76
TPSS-2	24.0	-7.97	22.69	-5.94
HMK-3	42.6	-9.87	20.73	-4.29

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} (\text{VPDB}) = 1.2 \times \delta^{13}\text{C}_{(\text{Traverten})} - 10.5 \quad (7.6)$$

Ancak hesaplanan değer, rezervuardaki akışkanın yüzeye yükselirken soğuk su ile karışma olasılığı nedeniyle çözünmüş CO₂'in $\delta^{13}\text{C}$ değerini temsil etmeyecektir (Kele

vd. 2011). Manto kökenli CO₂ daha düşük $\delta^{13}\text{C}$ değerine sahiptir (‰ -7 ile -4 arası Javoy vd. 1982, ‰ -7 ile -5 arası, Hoefs 1997).

7.6 nolu eşitlik yardımıyla hesaplanan $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ değerleri çizelge 7.7’de verilmiştir. Malıköy (TPM-1) su örneği dışındaki tüm su örneklerinin $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ değeri ‰ -6.60 - -11.93 arasında değişmektedir. Bu değerler CO₂ in kökeninin atmosferik ve denizel karbonatlı kayaçların çözünmesi sonucu ortaya çıktığını göstermektedir (Özkul vd. 2013). Malıköy traverten örneğinden elde edilen $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ değeri ‰ -2.33’tür ve bu sonuç denizel karbonatlar ile büyük uyum içindedir.

Çizelge 7.7 Traverten ve kireçtaşlarının $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ değerleri yardımıyla hesaplanan $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ değeri

Örnek No	Kayaç	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^{13}\text{C}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ (VPDB)
ÇT	Traverten	-11.05	1.47	-8.73432
MKK	Kireçtaşı	-7.83	6.80	-2.3383
GT	Traverten	-4.71	-0.79	-11.4509
KHT-1	Traverten	-8.83	1.80	-8.34223
KHT-3	Kireçtaşı	-9.95	-1.20	-11.9358
ST	Traverten	-7.97	2.23	-7.82335
HT	Traverten	-9.87	3.24	-6.60847
HK	Kireçtaşı	-0.77	2.66	-7.30701

7.4 Kayaç ve Suların Sr izotop ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) Bileşimleri

Stronsiyum izotopları magmatik kayaç ve minerallerin yaşlandırılması ve petrojenetik indikatör olarak kullanıldığı gibi, doğal suların kimyasal evriminin ortaya konulmasında da oldukça yararlıdır. Sularda ölçülen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı ve Sr içeriği rezervuar kayacın ve ayrıca muhtemel karışım işlevlerinin belirlenmesinde, yeraltı suyu akım yollarının izlenmesinde ve derinde gerçekleşen su-kayaç etkileşiminin izlerinin ortaya konmasında önemli bir araçtır (Marques vd. 2012).

Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk su örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ sonuçları çizelge 7.8’de, sıcak suların muhtemel rezervuarını oluşturan kayaçlar ile travertenlerden alınan örneklerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analiz sonuçları ise çizelge 7.9’de verilmiştir. Soğuk su örneklerinin

Sr değerleri 0.2- 3.4 mg/l, sıcak suların Sr değerleri ise 0.043-3.94 mg/l arasında değişmektedir. Şekil 7.11’de örneklenen kayalar ve sulara ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Diyagrama ayrıca çeşitli kayalar ve rezervuarlara ait Sr izotop değerleri de eklenmiştir (Dotsika vd. 2010). Yaşlarına bağlı olarak karbonatlı kayaların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.7068-0.7094 arasında değişmektedir (Negrel ve Roy 1998, Brass 1976). Gnays ve granit gibi silikatlı kayaların ise Sr izotop bileşimleri 0.7135-0.717 arasındadır (Negrel vd. 1988, Negrel vd. 1989, Negrel ve Roy, 1998). Bazaltlarda bu oran biraz daha düşük olup 0.703’den 0.705’ye kadar uzanır (Negrel ve Deschamps 1996, Marques vd. 2012). Gübreleme, buz çözmede kullanılan tuzlar gibi insan kaynaklı faaliyetlerin de stronsiyum konsantrasyonu (1-1500 ppm) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranında (0.70794-0.70950) etkili olduğu çeşitli araştırmalarda ortaya konmuştur (Dotsika vd. 2010).

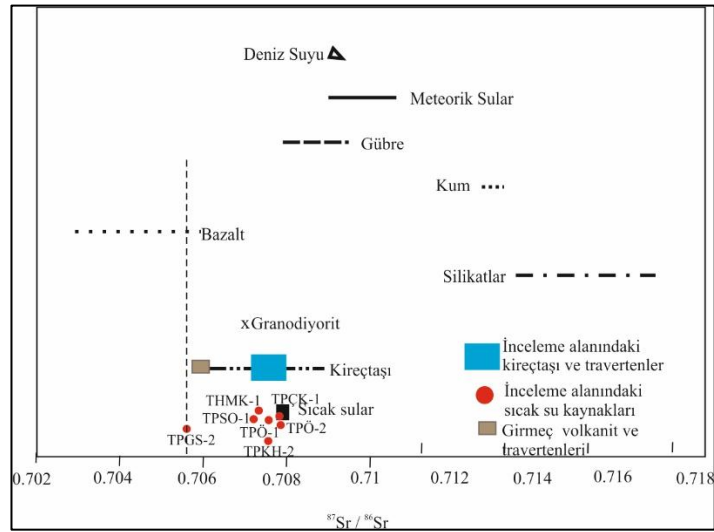
Çizelge 7.8 Polatlı ve Haymana sıcak ve soğuk sularına ait Sr (mg/l) ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları

Örnek No	Sr (mg/l)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	1/Sr
TPSO-1	1	0.707133	1
TPSO-2	0.87	0.707154	1.149425
PSO-3	0.2	0.707622	5
TPÇK-1	0.87	0.707896	1.149425
PAS-1	0.53	0.707109	1.886792
TPM-1	3.73	0.707381	0.268097
PGS-1	0.9	0.707111	1.111111
TPGS-2	0.043	0.705883	22.87806
PKH-1	1.48	0.707642	0.675676
TPKH-2	1.4	0.707681	0.714286
PKH-3	1.2	0.707721	0.833333
TPKH-4	1.47	0.707729	0.680272
TPKH-5	1.59	0.707689	0.628931
TPÖ-1	1.6	0.707608	0.625
TPÖ-2	0.86	0.707893	1.162791
PSS-1	3.4	0.707510	0.294118
TPSS-2	3.94	0.707843	0.253807
PSS-3	3.2	0.707827	0.3125
THMK-1	0.92	0.707279	1.08696
THMK-2	0.92	0.707373	1.08696
HMK-3	1.44	0.707392	0.69444
HMK-4	1.15	0.707417	0.86957

Polatlı ve Haymana bölgesinden alınan sıcak sulara ait örnekler söz konusu grafiğe yerleştirildiğinde tüm sıcak suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranının 0.708-0.707 arasında değiştiği görülmektedir. Sadece TPGS-2 kaynağının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.705883 ve Sr değeri 0.043 mg/l'dır.

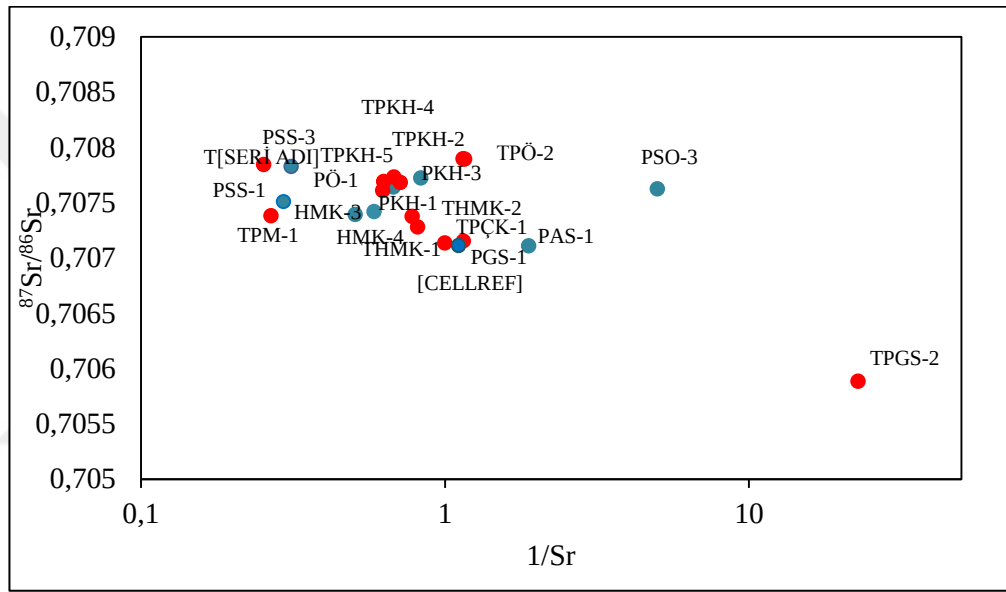
Çizelge 7.9 Polatlı ve Haymana bölgelerindeki rezervuar kayaçlar ile travertenlere ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri

Kayaç Örnek No	Alındığı Bölge-Kayaç	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
SOK	Sarıoba Üst Jura-Alt Kretase Kireçtaşı	0.707262
E-1	Çağlayık jips	0.707984
ÇT	Çağlayık Traverten	0,707075
GR-1	Çağlayık Granit	0.708831
KHT-3	Karahamzalı Üst Jura-Alt Kretase Kireçtaşı	0,707712
KHT-2	Polatlı-Karahamzalı Traverten-Güncel	0.707826
KHT-1	Polatlı-Karahamzalı-Traverten-Eski	0.707608
GV	Girmeç-Andezit	0.706119
GT	Girmeç Traverten	0.706157
MK	Malıköy Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşı	0.707641
MKK	Malıköy Üst Kretase Kapıkaya kireçtaşı	0.707517
MT	Malıköy Traverten	0.707406
ST	Sabanca traverten	0.707841
HK	Haymana Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşı	0.707276
HT	Haymana Traverten	0.707401



Şekil 7.10 Çeşitli araştırmacılar tarafından ortaya konulan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları (Dotsika vd. 2010) ve inceleme alanından boşalım yapan suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları

İnceleme alanından toplanan su örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1/\text{Sr}$ 'a karşılık çizilen grafik şekil 7.12'te yer almaktadır. Sarıoba sıcak su kaynakları (TPSO-1 ve TPSO-2)'nın Sr değerleri 1-0.87 mg/l dir. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları ise 0.707133-0.707154 dür. Rezervuar özellikteki Bilecik formasyonu kireçtaşlarından alınan kayaç örneğinin oranı ise 0.707262'dir. Bu sonuçlar göstermektedir ki; Sarıoba sıcak sularının bünyesindeki Sr, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşlarından kaynaklanmaktadır. PSO-3 soğuk su örneğinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707622 olup, rezervuarını Üst Jura-Alt Kretase kireçtaşları oluşturmaktadır.

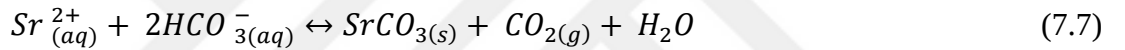


Şekil 7.11 İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli sular ile soğuk suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} - 1/\text{Sr}$ diyagramı

Karahamzalı bölgesindeki sıcak ve soğuk sular benzer özellikteki akiferden beslenmekte olduğu grafikten de anlaşılmaktadır. Rezervuar kayaç Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarıdır. Suların Sr değerleri 1.2-1.59 mg/l arasında, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranları ise 0.707642-0.707729 arasında değişmektedir. Kireçtaşlarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707712, güncel travertenlerin 0.707826, daha yaşlı travertenlerin ise 0.707608 dir.

TPGS-2 kaynağı ise en düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ve Sr değerine sahip olup (0.705883 ve 0.04371 mg/l), inceleme alanındaki volkaniklerden boşalan tek kaynaktır. Kayaçlarda en düşük $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı Girmeç volkanitleri ve kaynağın çöktüğü Girmeç travertenlerine

aittir (Çizelge 7.9). Granit yerleşiminden sonra, inceleme alanında ve yakın civarında kalkalkalen karakterle başlayan şiddetli bir volkanizma sonucu bölgeye yerleşen volkanikler (Açıkgöz vd. 2009) lösit, tefrit ve andezitlerin yanı sıra piroklastik malzemedan oluşmuştur. Volkanitlerin içerisinde plajiyoklaz ve az miktarda opak mineraller gözlenir. Alterasyona uğrayan kayaçta killeşme, serisitleşme ve tamamen epidotlaşma vardır. Batı Anadolu’da yapılan çeşitli araştırmalar sonucu benzer kalkalen özellikteki volkanik kayaçlardaki $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı 0.7028-0.7210 arasında değişmektedir (Borsi vd. 1972, Innocenti vd. 1982). İnceleme alanındaki andezit ve travertenlerin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı 0.706119-0.706157 olup birbirine çok yakındır. Girmeç kaynağının sahip olduğu en düşük $\delta^{18}\text{O}$ değeri (-11.3 ‰) ve en düşük Sr izotop oranları (0.705883) sıcak suyun volkaniklerin içerisinde ilerlediği söylenebilir. Kaynama sırasında korunumlu elementlerin konsantrasyonları artmasına karşın (Goff vd. 1991, Marques vd. 2012), CO_2 kaybı nedeniyle Sr konsantrasyonu azalabilir:



Böylece TPGS-2 örneğine ait Sr^{+2} ve HCO_3^{-} konsantrasyonları yeraltında gerçekleşen muhtemel bir kaynama süreci ile açıklanabilir.

Meteorik suların kayaçlar içerisinden geçerken çeşitli hidrojeolojik süreçler Sr’un suya katılımında etkili olabilirler (Marques vd. 2012). Malıköy (TPM-1) kaynağının Sr değeri 3.73 mg/l olup yüksek stronsiyum değerine ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707111) sahiptir. Rezervuar özellikte olan Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707641, Üst Kretase yaşlı Kapıkaya kireçtaşlarının ise 0.707517 dir. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -1/Sr grafiği incelendiğinde (Şekil 7.12) Malıköy kaynağının diğer sulardan ayrı bir yerde yer aldığı görülmekte olup, ana rezervuar olarak Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonu olduğu, suların Üst Kretase yaşlı Kapıkaya formasyonunun kireçtaşlarından da beslendiği söylenebilir.

Sabanca bölgesindeki sıcak ve soğuk su kaynakları (PSS-1, TPSS-2 ve PSS-3) kendi içinde gruplaşmıştır. Sabanca sıcak su kaynağının (TPSS-2) Sr değeri 3.94 mg/l dir.

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değeri 0.707843 olup, Paleosen yaşlı Kırkkavak formasyonunun algli kireçtaşı seviyelerinden boşalım yapmaktadır. Sahada yüzeylenen travertenlerden alınan örneğin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değeri 0.707841 olup, sıcak suyla hemen hemen aynı değerdedir. Sabanca bölgesindeki sıcak su kaynağının yüksek Sr değeri ve negatif $\delta^{18}\text{O}$ değeri (-10.9186 ‰) kaynağın diğerlerine oranla görece olarak daha derin dolaşımli olduğunu ve daha yüksek kotlardan beslendiğini göstermektedir. Derin dolaşımli kaynağın sedimanter kayaçları yıkayarak bünyesine stronsiyumu aldığı söylenebilir.

Ilıca kaynağı (TPÖ-1) nın Sr değeri 1.6 mg/l, Özhamamı kaynağının ise 0.86 mg/l dir. TPÖ-1 kaynağının $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değeri 0.707608, TPÖ-2 kaynağının ise 0.707893 dir. Rezervuar kayaç olarak düşünülen Üst Jura-Alt Kretase yaşlı $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı ise 0.707712 dir. TPÖ-1 kaynağı alüvyondan boşalım yapmakta olup yüzeye doğru çıktıkça yüzey suları ile karışım yaptığı düşünülmektedir. TPÖ-2 sıcak su kaynağı ise Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Alagöz formasyonundan boşalım yapmaktadır. Birimin altında ise Paleosen ve Eosen yaşlı sedimanter birimler yer almaktadır. Ana rezervuar Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları olmasına rağmen faylar boyunca yüzeye çıkarken daha genç yaşlı sedimanter kayaçlarla etkileşime geçtiği düşünülmektedir.

Jipsli birimlerdeki stronsiyumun Klark sayısı 3.8, tortul kayaçlarda ise 1.8 dir (Şahinci,1991). Jeolojik devirler boyunca stronsiyum mantodan kabuğa ve buradan tortul kayaçlara geçmektedir. Jipsli birimlerde, kurak iklimlerdeki lagünlerde stronsiyum oldukça fazla bulunur (Şahinci 1991). Stronsiyumun esas kaynağı evaporitlerin çözünmesi olmasına rağmen farklı süreçleri de işaret eder (Potot vd. 2012). Evaporit minerallerinin bileşiminde bulunan Sr izotopu; havzadaki stronsiyumun kaynağını yansıtmaktadır (Palmer vd. 2004). Denizel evaporitik sülfatların çoğunluğunda yapılan $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları deniz suyunun izotop oranından daha düşük olduğu gözlenmiştir; denizel olmayan stronsiyum ise önemli bileşeni tuzlu suların çökmesiyle oluşmaktadır. Palmer vd. (2004) Çankırı-Çorum-Beyşehir havzasındaki çökeller içerisinde bulunan çözünmüş tuzların esas olarak eski denizel evaporitlerin çözünmesi sonucu ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Beyşehir ve civarından alınan tenardit (Na_2SO_4) minerallerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.70940 olup, bu değer jips (0.70766-0.70771) ve globerite göre (0.70757-0.70776, Orti vd. 2002) oldukça

yüksektir (Palmer vd. 2004). Bu yüksek oranın nedeni ise; jeotermal akışkanların bünyesinde bulunan yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı ile ilişkili olup, mineralli suyun yeraltında dolaşımı sırasında diyajeneze uğraması ile açıklanmıştır (Palmer vd. 2004). İnceleme alanındaki jipslerden alınan örneğin (E-1) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707984 olup, inceleme alanındaki diğer sedimanter örneklerle göre oldukça yüksektir. Çağlayık kaynağının (TPÇK-1) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranı 0.707896 dır. Kaynağın beslenme alanında yer alan Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter kayaçların bünyesinde yer alan jipsli birimler Sr değerinin artmasında etkili olduğu söylenebilir.

Granitik kayaçları oluşturan biyotit, feldspat gibi mineraller önemli miktarda Rb ve/veya Sr içermektedir (Négre vd. 2001). Genel olarak granitik kayaçlarda Rb/Sr oranı, plajiyoklazdan biyotite doğru artmakta, dolayısıyla $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı da artış göstermektedir. Negrel vd. (2001) granit ile dengede olan sudaki Sr izotop bileşiminin, i) plajiyoklaz, biyotit ve K-feldspat bünyesindeki Sr varlığı, ii) bu minerallerdeki Sr izotop bileşimi, iii) kayaç yapıcı minerallerin bolluğu ve iv) her mineralin alterasyonuna karşı hassasiyeti ile yakından ilişkili olduğunu belirtmiştir.

Negrel vd. (2001) derin granitik kayaçlardan beslenen suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının 0.708-0.709 arasında değiştiğini, daha sık akiferlerden boşalan suların $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ oranlarının ise 0.709-0.713 arasında olduğunu belirtmiştir. Çağlayık kaynağının bulunduğu bölgede yüzeylenen ve literatürde Oymaağaç graniti olarak da bilinen birim plajiyoklaz, ortoklaz, kuvars ve amfibolden oluşmuştur (Zoroğlu ve Kadioğlu 2003). Helvacı ve Bozkurt'un (1994) Beypazarı granitlerinden almış oldukları $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranları 0.706 ile 0.707 arasında değişmektedir. Çağlayık bölgesinde kaynaklar birkaç noktadan yüzeye çıkmakta olup, sızıntı şeklinde çıkış yapan yerlerde hidrotermal alterasyon izleri görülmektedir. Çalışma alanında en yüksek $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı Çağlayık kaynağının boşalım yaptığı granitten elde edilmiştir (0.708831). Kaynağın boşalım yaptığı travertenlerdeki oran ise 0.707075 dir. TPÇK-1 su örneğinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotop oranı 0.707896 olup, tüm sıcak ve soğuk su örnekleri içinde yüksek değere sahiptir. Bu veriler göstermektedir ki; Çağlayık sıcak suyu Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Sarıoba formasyonundan beslenmekte ve derinlere süzülen sular granitler içerisinden geçerek yüzeye ulaşmaktadır.

8. JEOTERMOMETRE UYGULAMALARI

Sıcak sular yeraltından yüzeye yükselirken temas ettiği kayaçlarla ısı alışverişinde bulunması, soğuk yeraltısuları ile karışması, geçirimsiz örtü kayanın ince olması veya bulunmaması gibi çeşitli süreçler ile soğurlar ve bu nedenle sıcaklıkları rezervuardakinden daha düşük olur. Sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının bilinmesi ekonomik yönden çok önemlidir. Bu amaçla, kuyu başı ve/veya doğal kaynaklardan toplanan akışkan (su ve/veya gaz) örneklerinin kimyasal ve/veya izotopik bileşimleri kullanılarak, derin rezervuardaki sıcaklığın belirlenmesi için jeotermometre olarak bilinen bir takım denklemler geliştirilmiştir (Fournier 1973, Fournier ve Potter 1982, Arnorsson vd. 1983, Truesdell 1976, Tonani 1980, Giggenbach vd. 1983). Jeotermometrelerin uygulanmasındaki temel varsayım, sıcaklığa bağlı su-mineral dengesinin rezervuar kayaçta sağlanmış olmasıdır (Andresdottir ve Arnorsson, 1995). Kimyasal ve izotopik jeotermometreler suların rezervuar sıcaklığının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometreler, suda çözünmüş silika ve/veya katyon içeriklerini temel almaktadır. İzotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotop değişim tepkimelerine dayalıdır.

8.1 Kimyasal Jeotermometreler

Çizelge 6.1’de verilen kimyasal analiz sonuçları kullanılarak, sıcak sulara silika ve katyon jeotermometreleri uygulanmıştır.

8.1.1 Silika jeotermometreleri

Silika jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklık bağımlı çözünürlüğünü esas almaktadır. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 180 °C’den yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol eder (Fournier ve Potter 1982). Özellikle sıcaklıkları < 190 °C olan akışkanlarda kuvarsa nazaran kalsedon ile denge söz konusu olduğundan kalsedon jeotermometresi daha doğru sonuçlar vermektedir (Fournier 1977, Henley vd. 1984). Bu

çalışmada kullanılan silis jeotermometre eşitlikleri çizelge 8.1 ve hesaplanan sonuçlar çizelge 8.2’de verilmiştir.

Çizelge 8.1 Silis jeotermometre eşitlikleri (S=mg/l olarak SiO₂ derişimidir)

Jeotermometre	Eşitlik	Kaynak
Kuvars-buhar kaybı yok	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1309}{5.19 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Kuvars-Mak. Buhar kaybı	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1522}{5.75 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Kuvars	$t^{\circ}\text{C} = C_1 + C_2S + C_3S^2 + C_4S^3 + C_5\log S$ Burada: $C_1 = -4.2198 \times 10^1$, $C_2 = 2.8831 \times 10^{-1}$, $C_3 = -3.6686 \times 10^{-4}$, $C_4 = 3.1665 \times 10^{-7}$, $C_5 = 7.7034 \times 10^1$ (S= SiO ₂ , mg/l)	Fournier ve Potter (1982)
Kalsedon-Buhar kaybı yok	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Fournier (1977)
Kalsedon-Mak. Buhar Kaybı	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1182}{5.09 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
Kalsedon-Buhar Kaybı yok.	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1112}{4.91 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
Kalsedon-Max. Buhar Kaybı	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1264}{5.31 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)

Çizelge 8.2’ten de görüldüğü üzere; Fournier’e (1977) ait kuvars (buhar kayıpsız) jeotermometresi ve Fournier ve Potter (1982) tarafından geliştirilen kuvars jeotermometresi ile Polatlı örnekleri için 48-117 °C, Haymana örnekleri için ise 72 °C sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Fournier’in (1977) kalsedon jeotermometresi (buhar kayıpsız) Polatlı örnekleri için 24-88 °C, Haymana örnekleri için (THMK-1 ve THMK-2) 40 °C olmak üzere daha düşük sıcaklıklar vermiştir. 180 °C’nin altındaki sıcaklıklarda silika doygunluğunun kuvars yerine kalsedon tarafından kontrol edildiği göz önüne alındığında (Fournier 1991), kalsedon jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları gerçekçi kabul edilmiştir.

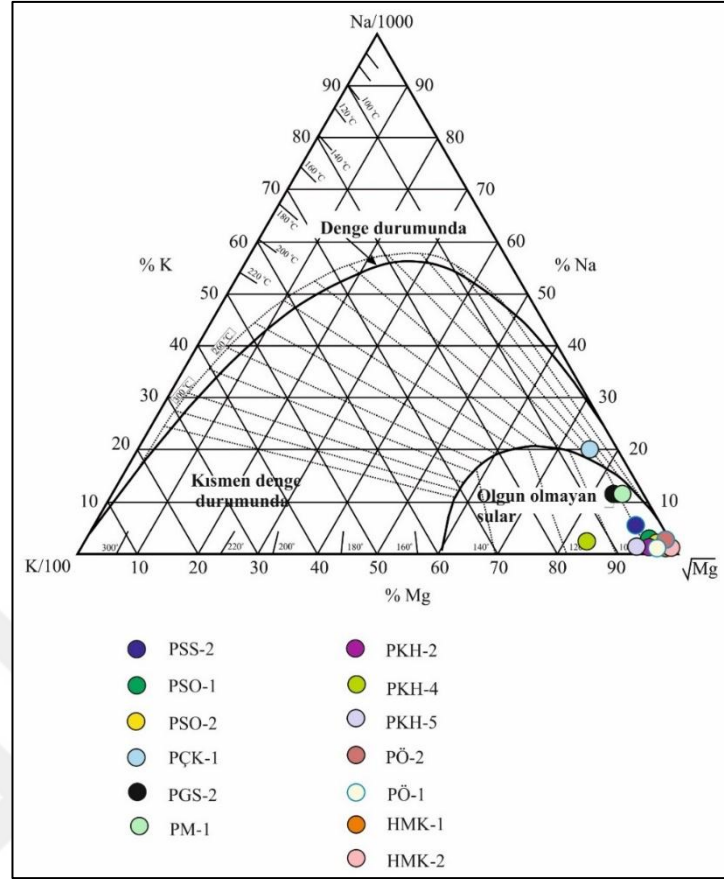
Çizelge 8.2 Sıcak su kaynak ve kuyuları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

Örnek No	Kaynak Başı Ölçülen Sıcaklık (°C)	SiO ₂ (Kuvars-Fournier 1977) (Buhar Kayıpsız)	SiO ₂ (Kuvars-Fournier ve Plotter 1982)	SiO ₂ (Kalsedon-Fournier 1977) (Buhar Kayıpsız)	SiO ₂ (Kalsedon-Arnorsson vd.1983) (Buhar Kayıpsız)
TPSO-1	32.4	63	64	-	35
TPSO-2	30.3	63	64	31	35
TPÇK-1	38.1	117	117	88	88
TPM-1	24	79	80	48	51
TPGS-2	29	83	84	52	55
TPKH-2	25.9	57	57	-	29
TPKH-4	29.9	57	57	-	29
TPKH-5	28.6	53	53	-	25
TPÖ-1	21.2	48	47	-	20
TPÖ-2	31	63	64	31	35
TPSS-2	24	86	86	55	57
THMK-1	42.6	72	72	40	43
THMK-2	40.1	72	72	40	43

8.1.2 Katyon jeotermometreleri

Kasyon jeotermometreleri alkali elementlerin katı ve sıvı fazlar arasındaki dağılımını temel alır. Rezervuar sıcaklıklarının 180 °C'den yüksek olduğu sahalar için uygun olup, düşük sıcaklıktaki sahalar için yanlış sonuçlar verebilir. Feldispat mineralleri ile jeotermal sular arasındaki sıcaklık bağımlı iyon (katyon) değişim tepkimeleri düşük sıcaklıklarda kimyasal dengeye ulaşamazlar. Ayrıca, suyun yüzeye yükselmesi sırasında yan kayaçlarla olan etkileşimi, soğuk su karışımına ve bu nedenle kasyon jeotermometrenin farklı rezervuar sıcaklık değerleri vermesine yol açar.

Sıcak suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları ilk olarak Na-K-Mg üçgen diyagramında incelenmiştir (Şekil 8.1). Sadece Çağlayık sıcak su örneği (TPÇK-1) Giggenbach (1988) diyagramında kısmen olgun olan sular bölgesinde yer aldığından yalnızca bu su örneği için kasyon jeotermometreleri uygulanmıştır.



Şekil 8.1 Suların Giggenbach (1988) Na-K-Mg üçgen diyagramı

Yapılan diğer bir değerlendirme ise termal suya katyon jeotermometrelerinin uygulanabilirliğini gösteren olgunluk indeksi (MI) hesabıdır. Olgunluk indeksi (8.1) nolu eşitlik ile hesaplanır (Giggenbach 1988).

$$MI = 0.315 * \log (K_2 / Mg) - \log (K / Na) \text{ (İyon derişimleri mg/l'dir.)} \quad (8.1)$$

Sarıoba (TPSO-1 ve TPSO-2), Malıköy(TPM-1), Karahamzalı (TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5), Ilıca (TPÖ-1), Özhamamı (TPÖ-2), Sabanca (TPSS-2) ve Haymana (THMK-1 ve THMK-2) su örneklerinin olgunlaşma indeksi (maturity index) 2'den küçüktür. Olgunlaşma indeksi 2'den küçük olan örneklerle katyon jeotermometrelerinin uygulanması hatalı sonuç verdiğiinden, mineral çözünürlüğüne dayalı olan ve düşük sıcaklıklarda daha gerçekçi değer veren silis jeotermometreleri tercih edilmiştir. Katyon jeotermometre hesaplamasında kullanılan eşitlikler çizelge 8.3 ve hesaplanan sonuçlar

çizelge 8.4'te verilmiştir. TPÇK-1 nolu örneğin katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı 36-135 ° C arasında değişmektedir. PÇ-1 sıcak su kuyusundan alınan su örneği de (Açıkgöz 2010) değerlendirilmiş, 29-151 °C arasında sıcaklık değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 8.3-8.4).

Çizelge 8.3 Katyon jeotermometre eşitlikleri (Na-K-Mg-Ca değerleri mg/l cinsindendir)

Jeotermometre	Eşitlik	Kaynak
Na-K	$t^{\circ}\text{C} = \frac{856}{0.857 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$	Truesdell (1976)
Na-K	$t^{\circ}\text{C} = \frac{883}{0.780 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$	Tonani (1980)
Na-K (25-250 °C)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{933}{0.993 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
Na-K 250-350 °C	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4.69 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
Na-K (Fournier, 1979)	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1217}{1.483 + \log(\text{Na} / \text{K})} - 273.15$	Fournier (1979)
Na-K	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1112}{4.91 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Nieva ve Nieva (1987)
Na-K	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1264}{5.31 - \log\text{SiO}_2} - 273.15$	Arnorsson vd. (1983)
Na-K-Ca *	$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log(\text{Na} / \text{K}) + [\beta \log(\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2.06] + 2.47} - 273.15$	Fournier ve Truesdell (1973)
K-Mg	$t^{\circ}\text{C} = \frac{4410}{14.00 - \log(\text{K}^2 / \text{Mg})} - 273.15$	Giggenbach (1988)

*β:t<1

00°C ve $\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06 < 0 \Rightarrow \beta = 1/3$, $t > 100^{\circ}\text{C}$ ve $\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06 > 0 \Rightarrow \beta = 4/3$

Çizelge 8.4 Kaynak ve kuyulardan alınan sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları

Örnek No	Kaynak Başında Ölçülen Sıcaklık (°C)	Na-K (Trues. 1976)	Na-K (Ton. 1980)	Na-K (Arn. vd. 1983)	Na-K (Arn. vd. 1983)	Na-K (Four., 1979)	Na-K (Nieva ve Nieva, 1987)	Na-K (Arn. vd. 1983)	Na-K-Ca (Four. ve Trues. 1973)	K-Mg (Gig. 1988)
TPÇK-1	38.1	67	89	79	120	114	103	135	36	81
PÇ-1*	43	86	109	97	136	131	120	151	29	85

*: PÇ-1 örneğinin verileri Açıkgöz'den (2010) alınarak hesaplanmıştır.

8.2 İzotop Jeotermometresi

Suların rezervuar sıcaklıklarının hesaplanmasında kullanılan yöntemlerden biri de kükürt-oksijen izotop jeotermometresidir. $\delta^{18}\text{O}_{(\text{SO}_4)-(\text{H}_2\text{O})}$ izotop jeotermometresi sülfat ve su arasındaki oksijen izotop değişimini esas almaktadır.

Bu çalışmada su-sülfat jeotermometresi olarak Lloyd (1968) ile Mizutani ve Rafter (1969) tarafından önerilen iki farklı eşitlik kullanılmıştır. Eşitliklerde geçen T Kelvin cinsindendir:

$$1000 \ln \alpha_{\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}} = 3.251 (10^6 / T^2) - 5.6 \quad \text{Lloyd (1968)} \quad (8.2)$$

$$1000 \ln \alpha_{\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}} = 2.88 (10^6 / T^2) - 4.1 \quad \text{Mizutani ve Rafter (1969)} \quad (8.3)$$

Örneklere ait jeotermometre hesaplamaları sonucu elde edilen rezervuar sıcaklık değerleri çizelge 8.5'de verilmiştir.

Çizelge 8.5 İnceleme alanından alınan sıcak su örneklerinin kükürt-oksijen izotop jeotermometre sonuçları

Örnek No	Kaynak Başı Ölçülen Sıcaklık (°C)	$\delta^{34}\text{S}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Llyod (1968)	Mizutani ve Rafter (1969)
TPSO-1	32.4	14.74	12.32	67.8	60.7
TPÇK-1	38.1	17.83	14.39	49.41	38.13
TPM-1	24	1.58	7.53	116	106
TPGS-2	29	19.51	14.99	91.9	81.44
TPKH-2	25.9	3.88	5.97	116	106
TPKH-4	29.9	3.38	3.66	145	138
TPÖ-1	21.2	-9.20	3.76	145	138
TPÖ-2	31	4.88	9.31	91.9	89.5

Polatlı su örneklerinin $\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}$ izotop jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları 38.13-138 °C arasında değişmektedir. Elde edilen bu değerler silis jeotermometre sonuçları ile zayıf bir ilişki göstermektedir. Suların pH'nın nötre yakın olması, su ve sülfat arasındaki inorganik oksijen izotopik değişim reaksiyonunun yavaş gerçekleşmesi ya da jeotermal suyun soğuk sülfatlı sularla karışmasından dolayı $\delta^{18}\text{O}$ değerinin değişmesi (Mizutani ve Rafter 1969, Mutlu vd. 2012) nedeniyle kalsedon jeotermometrelerinden farklı sonuçlar çıktığı düşünülmektedir. Sadece Çağlayık örneğinin (TPÇK-1) Giggenbach (1988) diyagramına göre kısmen denge durumunda olan sular bölümünde yer aldığı dikkate alındığında; Lloyd (1968) tarafından hesaplanan değer daha sağlıklı sonuç verdiği söylenebilir. Ancak Ankara çayının hemen yakınından boşalmış olması soğuk su karışımı ihtimalini desteklemektedir.

Çelmen (2008), Çağlayık kaynağının kuzeyinde bulunan Ayaş içmece, Dutlu hamamı ve Çobanhamamı kaynakları ile kuzeybatıdaki Kapullu sıcak su kaynağına su-sülfat jeotermometresini uygulamıştır. Lloyd (1968) eşitliği kullanılarak yapılan hesaplamanın daha makul sonuçlar verdiği, bölgedeki sıcak suların rezervuar sıcaklığının 54 °C-73 °C arasında olduğunu ifade etmişlerdir.

8.3 Mineral Denge–Sıcaklık Diyagramı

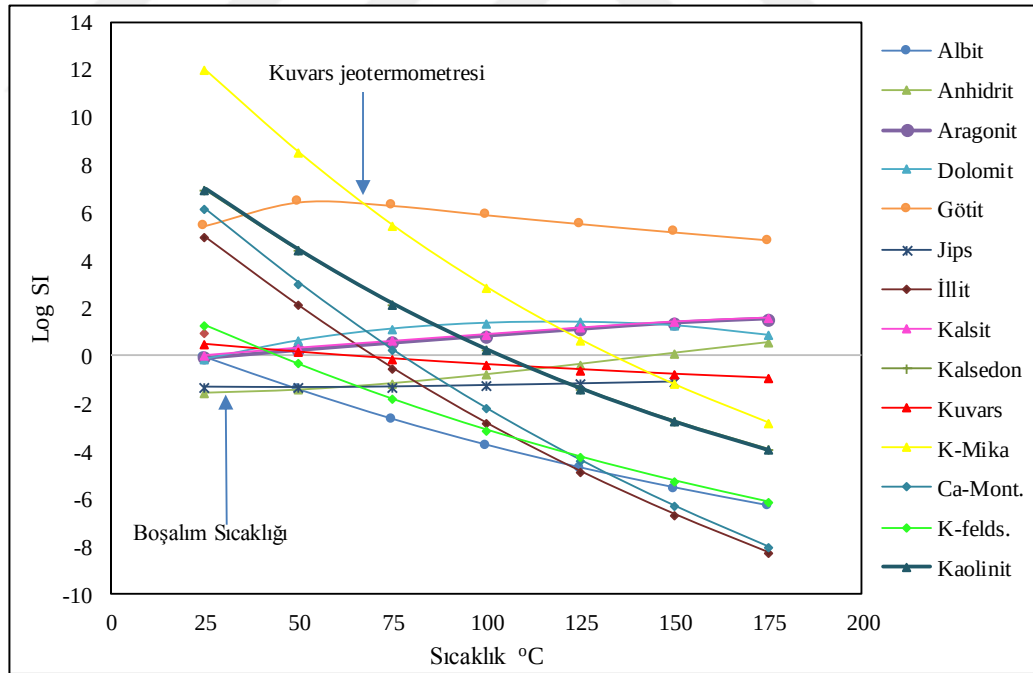
Bu bölümde, sıcak su örneklerinin farklı sıcaklıklarda, çeşitli alterasyon minerallerine göre doygunluk dereceleri tartışılmıştır. Bir mineral grubu belirli bir sıcaklıkta dengeye yakınsa, suyun bu minerallerle denge durumunda olduğu ve söz konusu sıcaklığın rezervuar sıcaklığını temsil ettiği söylenebilir (Mutlu ve Kılıç 2009). Seçilen mineraller ise jeotermal alanlarda gözlenen yaygın alterasyon mineralleridir. Doygunluk indekslerinin hesaplanmasında PhreeqC for Windows programı kullanılmıştır.

Sıcaklığın fonksiyonu olan ve doygunluk indeksi (SI) şeklinde ifade edilen su ve mineral arasındaki denge durumu farklı sıcaklıklarda grafiksel olarak irdelendiğinde jeotermometre görevi görür (Reed ve Spycher 1984). Belirlenen minerallere yönelik hesaplanan doygunluk indeks değerlerinin denge çizgisine ($\log \text{SI}=0$) yaklaşması rezervuar sıcaklığı hakkında bilgi vermektedir (Tole vd. 1993). Rezervuar kayacı

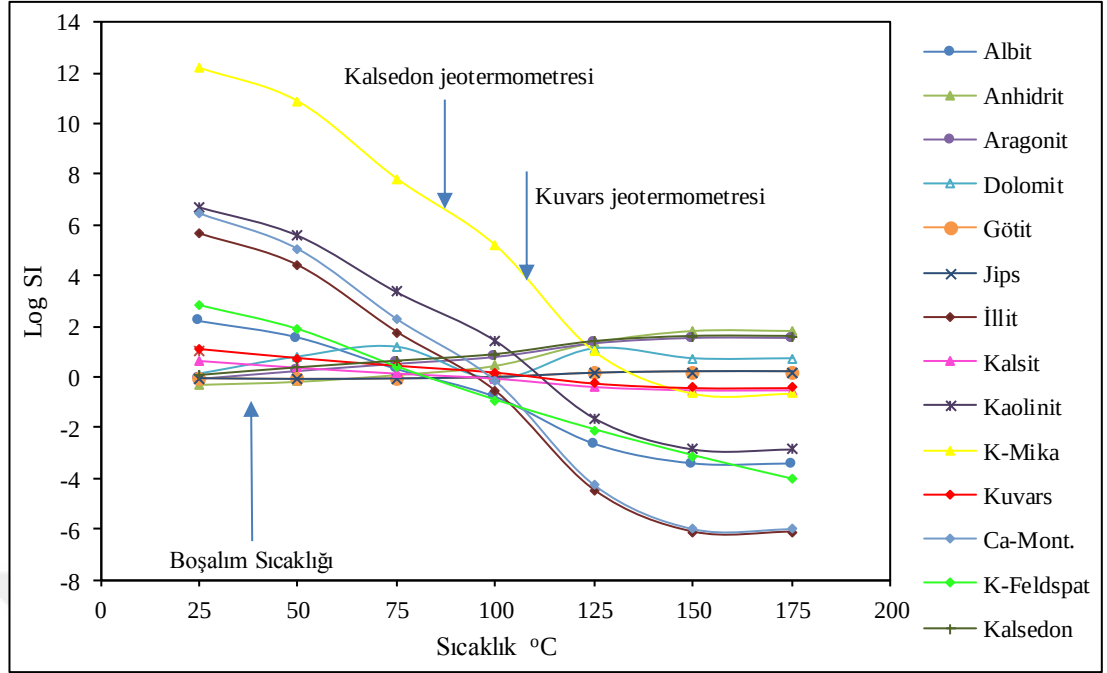
kireçtaşlarının oluşturduğu tüm sıcak sular için kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonat mineralleri aşırı doymun durumdadır. CO₂ gazının sığ derinlerden itibaren serbest hale gelmesi suların söz konusu karbonat minerallerine göre aşırı doymunlaşmasına neden olmuştur (Wang vd. 2015).

Sarıoba sahasından TPSO-1 ve TPÇK-1, Malıköy sahasından TPM-1 ve TPGS-2, Karahamzalı sahasından TPSS-2, TPÖ-2 ile TPKH-4 ve Haymana sahasından THMK-2 su örnekleri için doymunluk indeksleri hesaplanmıştır (Şekil 8.2-8.9). Grafikler üzerinde her su örneği için jeotermometre uygulamalarından elde edilen rezervuar ve boşalım sıcaklıkları da işaretlenmiştir.

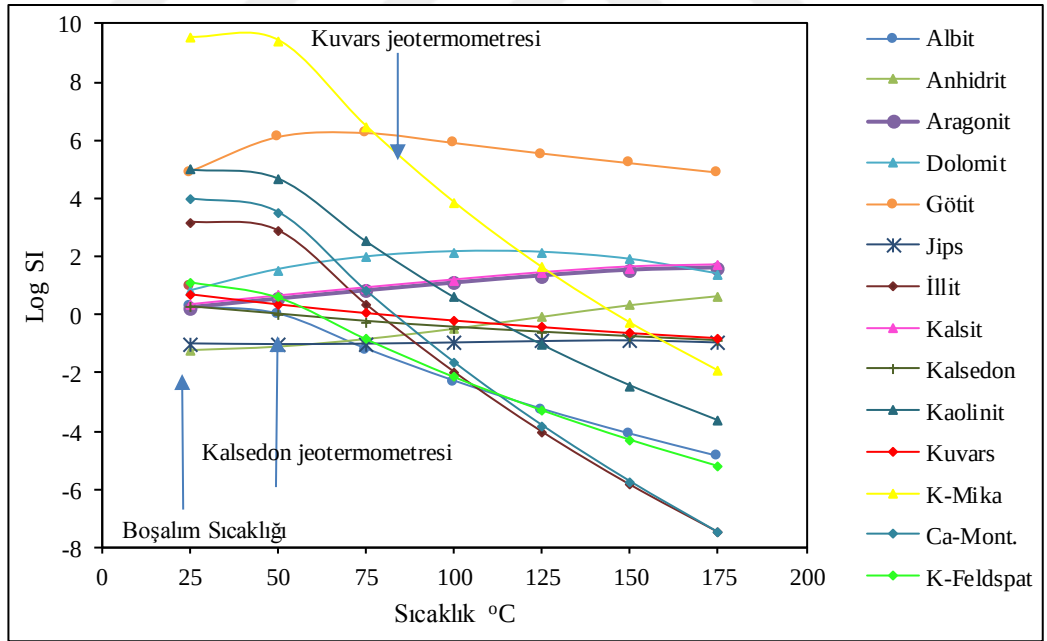
Mineral denge diyagramında tahmin edilen rezervuar sıcaklıkları TPSO-1: 50 °C, TPÇK-1: 85 °C, TPM-1: 75 °C, TPGS-2: 50 °C, TPKH-4 ~50 °C, TPÖ-2: 63 °C, TPSS-2: 70 °C, THMK-2: 50 °C dir.



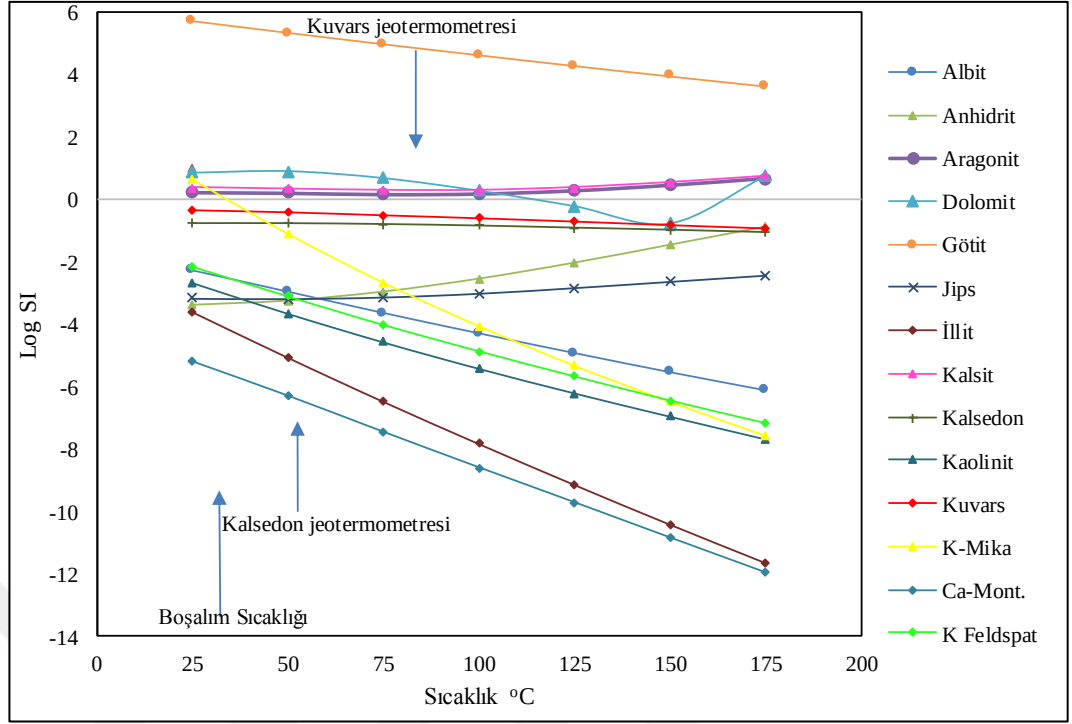
Şekil 8.2 TPSO-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı



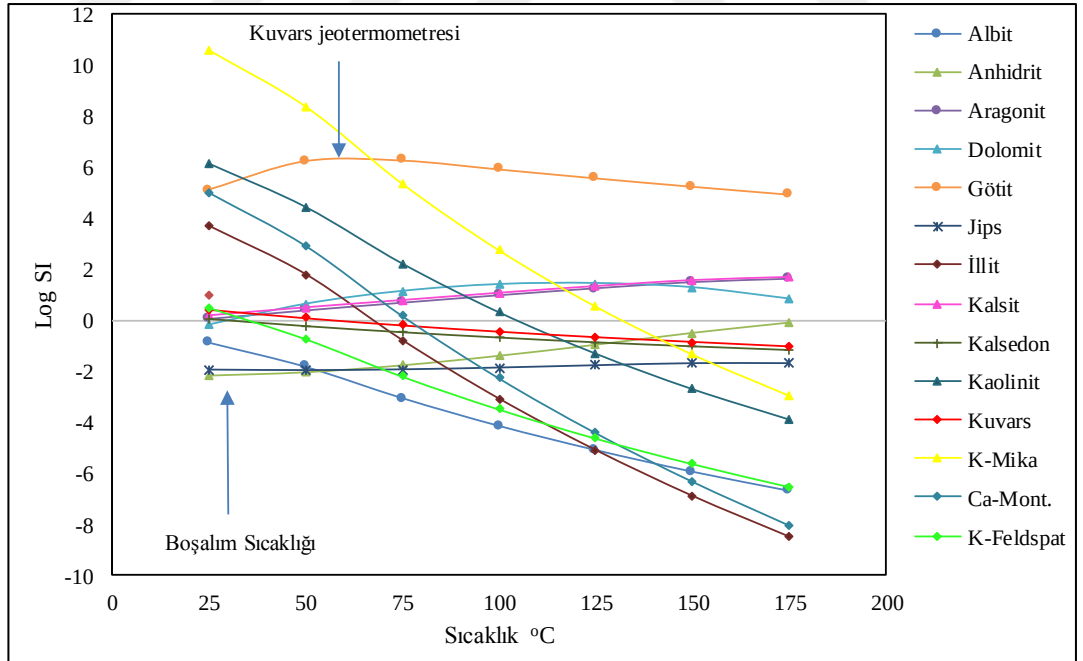
Şekil 8.3 TPÇK-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı



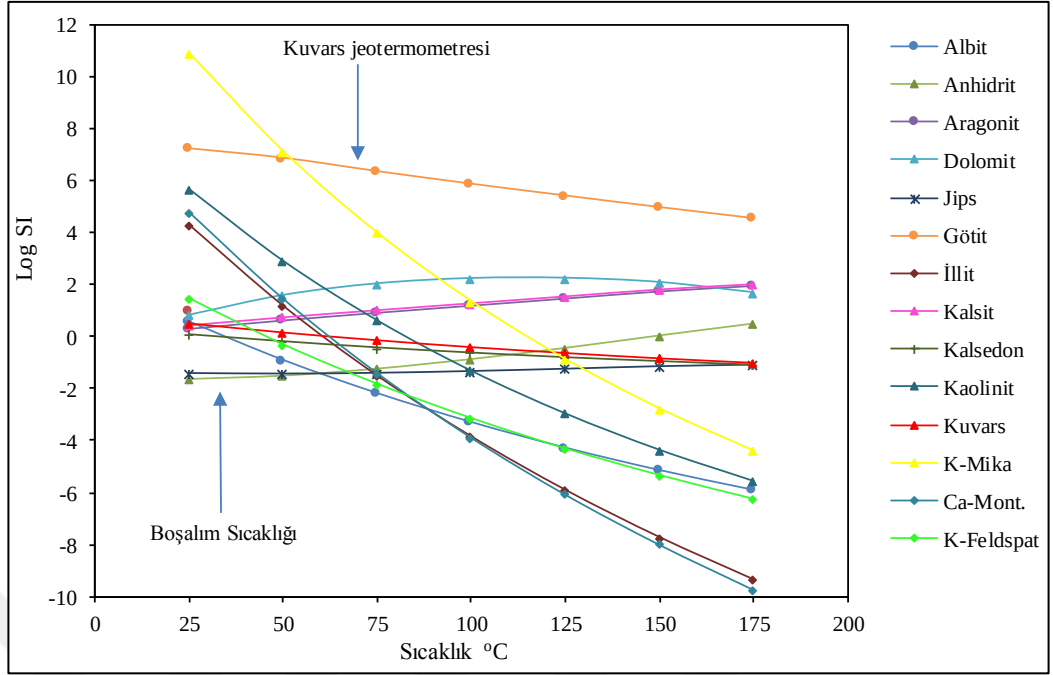
Şekil 8.4 TPM-1 su örneğine ait mineral denge diyagramı



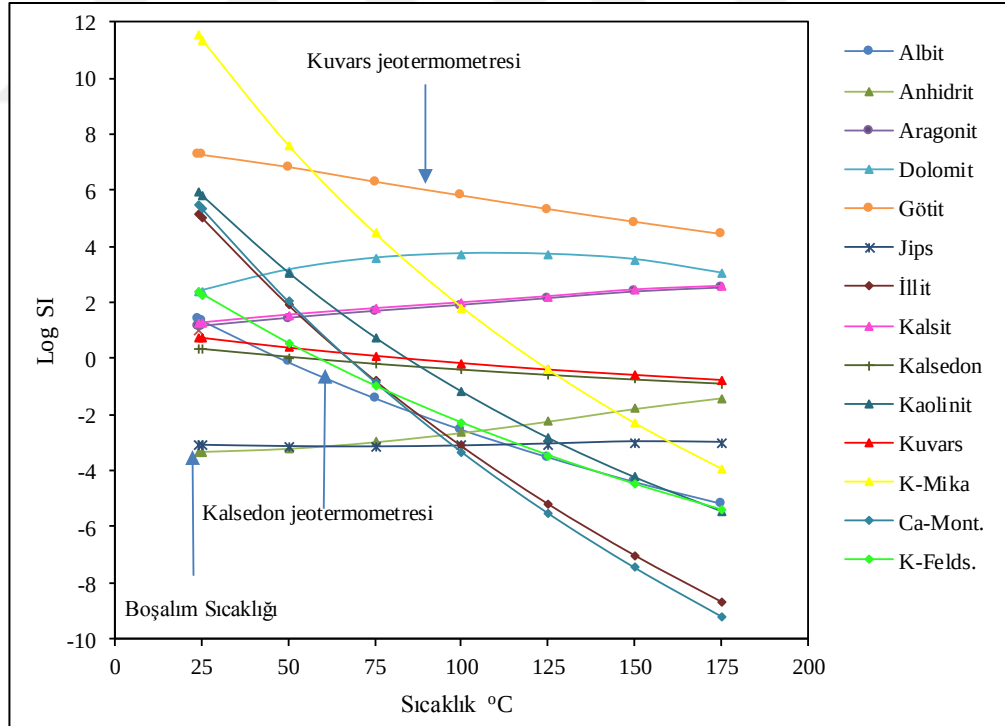
Şekil 8.5 TPGS-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı



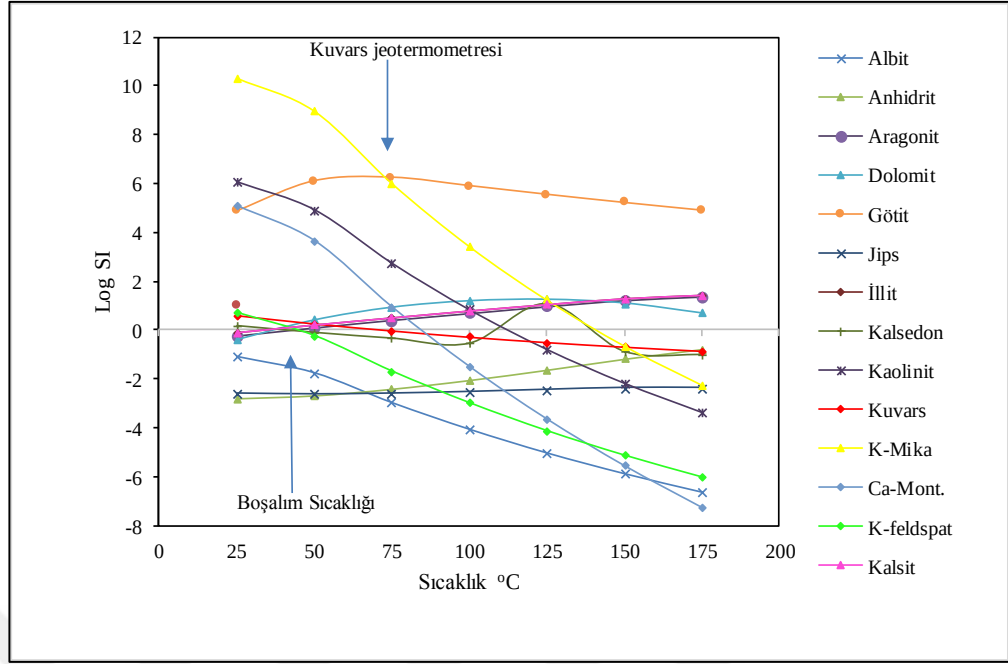
Şekil 8.6 TPKH-4 su örneğine ait mineral denge diyagramı



Şekil 8.7 TPÖ-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı



Şekil 8.8 TPSS-2 su örneğine ait mineral denge diyagramı



Şekil 8.9 THMK-2 su örneğine ait mineral denge diyagramları

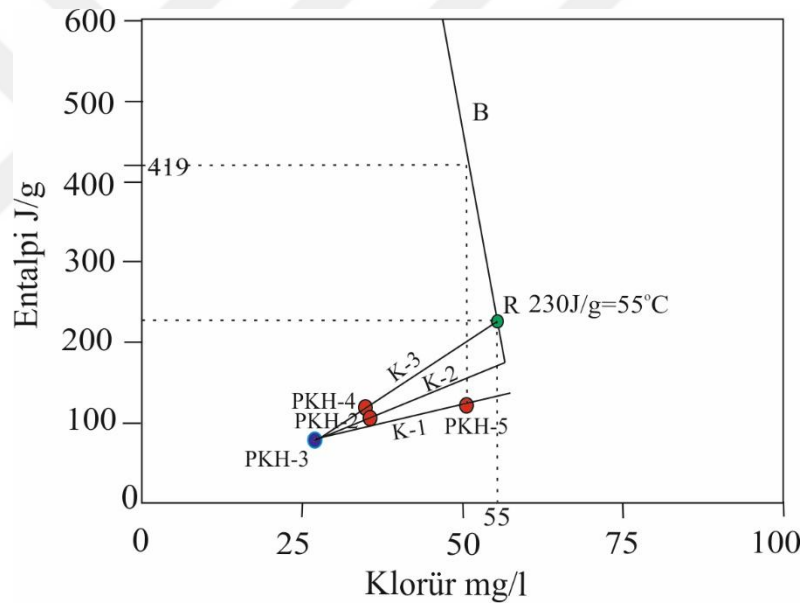
8.4 Sıcak Su-Soğuk Su Karışımı

Sıcak sular yüzeye ulaşınca kadar çeşitli oranlarda soğuk yeraltı sularıyla karışırlar. Bunun sonucunda hem termal suyun sıcaklığında azalma, hem de kimyasal bileşiminde farklılıklar ortaya çıkar. Termal suların rezervuar sıcaklığı ve kimyasal bileşimini kontrol eden süreçlerin belirlenmesi için silika-entalpi ve silika-klorür diyagramları geliştirilmiştir (Truesdell ve Fournier 1975, 1977).

İnceleme alanındaki örtü kayacının ince olması ya da bulunmaması yeraltında akım yolları boyunca hareket eden sıcak suların farklı soğuk su sistemleriyle etkileşime girerek karışmasına yol açmıştır. Sıcak suların rezervuar sıcaklığını ve sıcak-soğuk su karışım oranlarını bulmak amacıyla entalpi-klorür diyagramı kullanılmıştır (Truesdell ve Fournier 1975). Bu diyagramda düşey eksen entalpi (J/g), yatay eksen ise klorür (mg/l) değerleri yer almaktadır (Fournier 1977). Su örneklerinin boşalım, kaynama ve rezervuar sıcaklıklarına karşılık gelen entalpi değerleri Wylen ve Sontag'dan (1986) alınmıştır. Karışım hesaplamaları sadece Karahamzalı (TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5) sahası ve Ilıca-Özhamamı-Sabanca (TPÖ-1, TPÖ-2 ve TPSS-2) sıcak su kaynakları için

yapılmıştır ancak sınırlı sayıda sıcak su örneklenmesi nedeniyle diğer sahalarda bu uygulama gerçekleştirilememiştir.

Karahamzalı sahasında PKH-3 örneği en düşük klorür değeri (27.8 mg/l) soğuk su bileşeni olarak seçilmiştir. TPKH-5 nolu örnek ise, klorür değeri bölgedeki diğer sıcak sulara göre daha yüksek olduğundan, rezervuar akışkanını en iyi temsil eden su olarak kabul edilmiştir (t: 28.6 °C, Cl: 51.9 mg/l). Soğuk su (PKH-3) ile sıcak su (TPKH-5) örneklerinin bulundukları noktalar bir doğru ile birleştirilerek K-1 doğrusu elde edilmiştir. Düşük sıcaklık ve klorür bileşimleri ile temsil edilen sahadaki diğer termal sular (TPKH-2 ve TPKH-4) soğuk su ile farklı karışım doğruları (K-2 ve K-3) üzerinde yer almışlardır (Şekil 8.10).



Şekil 8.10 Karahamzalı sıcak su kaynağının klorür-entalpi grafiği

TPKH-5 örneğinin rezervuardaki kimyasal karakteristiğini bulmak için; bu örneği temsil eden noktadan 100 °C kaynama sıcaklığına karşılık gelen entalpi değerine (419 J/g) kadar bir dikme çizilir (S noktası). 100 °C deki buharı ifade eden 2676 J/g noktasından S noktasına çizilen doğru ile kaynama doğrusu elde edilir (B). En seyreltik özellikte olan TPKH-4 örneğinden geçen K-3 karışım çizgisinin B karışım doğrusu ile kesiştiği nokta (R) rezervuardaki suyu ifade etmektedir. R noktasının entalpiye karşılık gelen değeri (230 J/g) rezervuar sıcaklığını, klorür değeri ise (55 mg/l) rezervuardaki klorür miktarını göstermektedir.

suyun klorür değerini ifade eder. Buhar tablolarından R noktasına ait entalpi değeri 55 °C sıcaklığa karşılık gelmektedir. Bulunan bu sıcaklık değeri silis jeotermometreleri ile hesaplanan sıcaklıklarla (53-64 °C) örtüşmektedir.

Belirlenen klorür değeri ile aşağıda verilen kütle korunum yasasını temel alan eşitlik yardımıyla sıcak-soğuk su karışım oranı hesaplanmıştır (Doğdu ve Kırmızıtaş 2006).

$$Cl_{(Karışım)} \cdot 100 = Cl_{(soğuk su)} \cdot X + Cl_{(sıcak su diyagramdan bulunan)} (100-X) \quad (8.4)$$

Karahamzalı sahasından örneklenen üç adet sıcak suyun (TPKH-2, TPKH-4, TPKH-5) ortalama klorür değeri 40,86 mg/l olarak alınmıştır. Klorür-entalpi diyagramından yararlanılarak rezervuar suyunun entalpi değeri 230 J/g, klorür değeri 55 mg/l belirlenmiştir. Yukarıda verilen karışım eşitliği yardımıyla Karahamzalı örneklerinin % 48 sıcak su ve % 52 soğuk su karışımından meydana geldikleri tespit edilmiştir.

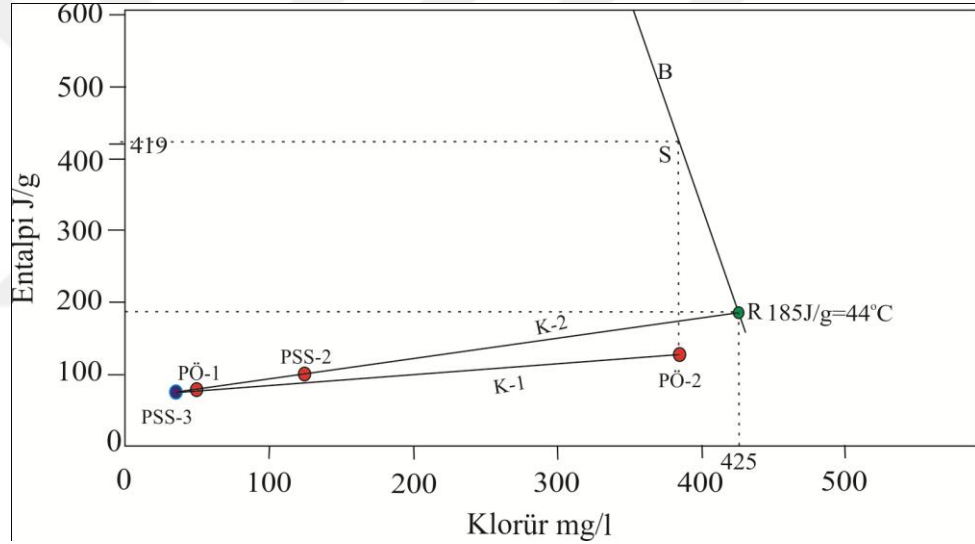
Benzer bir hesaplama Özhamamı-Ilıca-Sabanca kaynakları için de hazırlanmıştır (Şekil 8.11). Özhamamı-Ilıca-Sabanca sahasında PSS-3 örneği en düşük klorür değeri (35.7 mg/l) nedeniyle termal olmayan su örneği olarak seçilmiştir. TPÖ-2 nolu örnek ise, hem sıcaklığı hem de klorür değeri bölgedeki diğer sıcak sulara göre daha yüksek olduğundan, rezervuar akışkanını en iyi temsil eden su olarak kabul edilmiştir (t: 31 °C, Cl: 384 mg/l).

Soğuk su (PSS-3) ile sıcak su (TPÖ-2) örneklerinin bulundukları noktalar bir doğru ile birleştirilerek K-1 doğrusu elde edilmiştir. Düşük sıcaklık ve klorür bileşimleri ile temsil edilen sahadaki diğer termal sular (TPÖ-1 ve TPSS-2) soğuk su ile farklı karışım doğruları (K-2) üzerinde yer almışlardır (Şekil 8.11).

TPÖ-2 suyunun kökenini bulmak için; Özhamamı suyunun önce kaynadığı, karışımdan önce de boşalım sıcaklığında soğuduğu varsayılmıştır. TPÖ-2 örneğini temsil eden noktadan 100 °C kaynama sıcaklığına karşılık gelen entalpi değerine (419 J/g) kadar bir dikme çizilir (S noktası). 100 °C deki buharı ifade eden 2676 J/g noktasından S

noktasına çizilen doğru ile kaynama doğrusu elde edilir (B). En seyreltik özellikte olan PSS-3 örneğinden geçen K-2 karışım çizgisinin B karışım doğrusu ile kesiştiği nokta (R) rezervuardaki suyu ifade etmektedir. R noktasının entalpiye karşılık gelen değeri (185 J/g) rezervuar sıcaklığını, klorür değeri ise (425 mg/l) rezervuardaki suyun klorür değerini ifade eder. Bu saha için bulunan rezervuar sıcaklığı 44 °C, klorür değeri ise 425 mg/l'dir.

Sıcak su-soğuk su karışım oranı (8.4) nolu eşitlik ile hesaplanmıştır. Özhamamı için yapılan hesaplama sonucu, karışım oranının % 61 soğuk su ve % 39 sıcak su şeklinde olduğu belirlenmiştir.



Şekil 8.11 Özhamamı-Ilıca-Sabanca sıcak su kaynaklarının klorür-entalpi grafiği

9. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL

Jeotermal kaynak; yerküre içindeki ekzotermik kimyasal tepkimeler, radyoaktif bozuşma, faylardan kaynaklanan sürtünme enerjisi ve kırık hatları boyunca yükselen manto veya kabuk kökenli sıcak gazların yaydığı ısıdan ibarettir (Şahinci 1991). Yağışlarla yeraltına süzülen meteorik sular yerin derinliklerinde depolanmaya uygun kayalar içinde toplanmakta, yer ısının etkisiyle ısınmakta ve kırık, çatlak ve fay hatları boyunca yüzeye doğru taşınmaktadırlar. Sular rezervuar veya hazne kayaç adı verilen geçirimli, gözenekli kayalar içinde birikirler. Rezervuar kayalar üzerinde yer alan ve yer ısının kaybını engelleyen örtü kayalar geçirimsiz özelliktedir. Ancak bazı sahalarda örtü kayaç bulunmadığından açık sistem oluşmaktadır. Rezervuardaki akışkanlar tekrar yeryüzüne çıkıncaya kadar temas ettikleri kayalardaki mineral ve çeşitli elementleri çözerek bünyelerine kattıkları iyonları beraberinde yüzeye taşırlar. Her jeotermal sistemin farklı hidrojeolojik ve yapısal özelliklere sahip olması sistemdeki akışkanların da farklı oluşum modeli sunmalarına yol açar.

9.1 Beslenme

Sıcak suların $\delta^2\text{H}$ ve $\delta^{18}\text{O}$ değerleri Küresel Meteorik Su Doğrusu ve Ankara Meteorik Su Doğrusu üzerinde veya yakınında yer almalarından dolayı meteorik kökene işaret ederler. $\delta^{18}\text{O}$ değerleri kullanılarak elde edilen yükseklik değerlerine göre, Sarıoba alanında kaynakların doğusu ve kuzeyindeki yüksek kesimler (1195 m) beslenme alanını oluşturur. Bu alanda sıcak suların yeryüzüne ulaşmasında sağ yönlü oblik atımlı fay etkili olmaktadır (EK 5).

Çağlayık jeotermal alanından alınan örneklerin izotop ve trityum bileşimleri suların çok yüksek kotlardan beslendiğini (1550 m) ve derin dolaşımli olduğunu ortaya koymuştur. Çağlayık kaynağının batı ve kuzeyinde yer alan yüksek kesimler beslenme alanlarını oluşturmaktadır. Metamorfik kayalar, Bilecik formasyonu, Hançili formasyonu, granitler ve Sarıoba formasyonu beslenme alanında yüzeyleyen birimlerdir (EK 5). Çağlayık (Karacaahmet) sıcak suyunun soğuk sulara göre düşük ^3H , yüksek elektriksel iletkenlik ve Cl^- değerlerine sahip olması göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına

sahip yeraltı suları ile beslendiğini göstermektedir (Türkmen ve Şimşek, 2012). Çağlayık kaynağının TDS değerinin yüksek olması bu suyun hem granitlerden hem de jipsli seviyeler içeren Neojen çökellerinden beslenmesi ile açıklanabilir. Ayrıca hem Sarıoba hem de Çağlayık kaynağının yakınından akan Ankara çayının da beslenmeye katkısı olduğu düşünülmektedir. Aynı zamanda Ankara çayı sıcak suyun soğumasına da neden olmaktadır. Çağlayık kaynağındaki yüksek NH_4 değeri tarımsal ve hayvansal faaliyetler yanı sıra Ankara çayından da kaynaklandığı düşünülmektedir. Sular KD-GB doğrultu eğim atımlı fay ve bu fayı kesen KB-GD doğrultulu normal fayın kesim noktasından çıkmaktadır.

Malıköy sıcak su kaynağına ait Oksijen-18 ve trityum arasındaki ilişki Malıköy suyunun rezervuarda daha uzun süre konakladığını gösterir. 965 m olarak hesaplanan beslenme kotu kaynağın kuzeyindeki Ada tepe ve çevresine karşılık gelmektedir (EK 6). $\text{NaHCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ fasiyesinde olan Malıköy sıcak suyunun yüzeye çıktığı alanda Üst Kretase yaşlı kireçtaşıdan oluşan Kapıkaya formasyonu, kumtaşı, kilitaşı, killi kireçtaşıdan oluşan Hançili formasyonu ve volkano-sedimanter kayalardan oluşan Alcı formasyonları bulunmaktadır. Suların kimyasal bileşimi tüm bu birimlerden beslendiğini göstermektedir.

Girmeç sıcak su kaynağının (TPGS-2) beslenme kotu ise 1480 m’ler dolayındadır. Söz konusu yükseklikler kaynağın batısında volkanitlerin yüzeylediği Çiledağ’ın yüksek zirvelerine karşılık gelmektedir (EK 6).

Karahamzalı ve Özhamamı-Sabanca-Ilıca kaynaklarının bulunduğu alanlar topoğrafik olarak daha düz olması nedeniyle, bu kaynakların daha geniş bir alandan beslendikleri düşünülmektedir (EK 7). Bilecik formasyonunun kireçtaşları ve geniş alanlarda yüzeyleyen Paleojen ve Neojen yaşlı çökel formasyonların çakıltası ve kumtaşı seviyeleri beslenme alanlarını oluşturur. Sıcak suların kimyasal içerikleri de suların farklı formasyonlardan beslendiğini göstermektedir. Özhamamı örneğinin (TPÖ-2) sodyum ve klorür değerlerinin yüksek olması derin dolaşımı ifade etmektedir.

Yüksek sıcaklık ve düşük oksijen-18 değerine sahip suların nispeten daha yüksek kotlardan beslendiği göz önüne alındığında (Clark ve Fritz 1997) THMK-1 ve THMK-2 sularının beslenme alanının yüksek rakımlı olduğu söylenebilir. Bu kapsamda Haymana'nın güneydoğusunda yer alan yüksek kotlar muhtemel beslenme alanı olarak kabul edilebilir (EK 8).

9.2 Rezervuar Kayaçlar

Hem Polatlı hem de Haymana bölgesindeki sıcak suların ana rezervuar kayacını oluşturan birimler Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik formasyonu, Paleosen yaşlı granitler ve Alcı formasyonuna ait volkanitlerdir (EK 1-8).

Ca ve HCO_3 bakımından zengin olan Sarıoba sıcak su kaynakları (TPSO-1 ve TPSO-2) Bilecik formasyonu içerisinden boşalım yapmaktadır. Aynı formasyon, Malıköy sıcak su kaynağının da rezervuarını oluşturur. Aynı şekilde Karahamzalı sıcak suları (TPKH-2, TPKH-4 ve TPKH-5) Bilecik kireçtaşlarından boşalım yapar. Haymana'da açılan sıcak su kuyuları (THMK-1 ve THMK-2) da Bilecik formasyonu içerisinden suyu almaktadır. Bilecik formasyonu, hem tektonik aktivite sonucu ortaya çıkan kırık ve çatlaklar, hem de erime-çözünme olayları sonucu karstik yapısı ile ikincil gözenekliliğin geliştiği bir akifer özelliğindedir. Ilıca (TPÖ-1), Özhamamı (TPÖ-2) ve Sabanca (TPSS-2) kaynaklarının rezervuarını Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları oluşturmakla birlikte bu sular çevrede yüzeyleyen Paleojen ve Neojen yaşlı çökellerden de beslendiğinden farklı kimyasal bileşim sunmaktadırlar.

Çağlayık sıcak su kaynağı granitler ile sedimanter kayaçlar arasındaki tektonik hatlar boyunca yüzeye çıkmakta olup, rezervuarını Paleosen yaşlı bol kırıklı çatlaklı granitik kayaçlar ile Miyosen yaşlı sedimanter kayaçlar oluşturmaktadır. Sahada yer alan sıcak su kuyularının tümünde üretim granitler içerisinden yapılmaktadır.

Girmeç kaynağının rezervuarı tefrit, andezit ve lösitten oluşan volkanitlerdir. Suyun bileşiminde bulunan yüksek sülfat değeri (133 mg/l), çevredeki Neojen çökellerindeki evaporitik kayaçlardır. Malıköy-Girmeç sıcak su kaynakları ve çevresi tektonik olarak çok kırıklı ve çatlaklıdır. Bu süreksizlikler yağış ve yüzey sularının derinlere kadar

inmesini sağlamak ve ayrıca derinlerde ısınan sıcak suların yüzeye ulaşmasına yardımcı olmaktadır.

9.3 Isı Kaynağı

Bölgedeki sıcak su kaynaklarının rezervuarı jeotermal gradyanla ısınmaktadır. Bölgede Neojen yaşlı genç volkanik kayaların jeotermik gradyanın artmasında etkili oldukları düşünülmektedir. Yerkabuğundaki ısı enerjisinin iki bileşeni söz konusudur. Kabukta üretilen ısının bir kısmı tektonik aktiviteyle yeryüzüne ulaşırken, bir kısmı ise radyojenik ısı akısı olarak yüzeye ulaşmaktadır (Vitarello ve Pollak 1980). Uzun yarı ömürlü izotoplar (U^{235} , U^{238} , Th^{232} , K^{40}) yerkürenin oluşumundan itibaren üretilen ısı enerjisinin kaynağıdır ve radyoaktif elementlerin bozuşması sonucunda "radyojenik ısı" oluşur (Göktürkler 2002). Gerek elektromanyetik dalgaların ortamdaki diğer atomlar tarafından emilmesi, gerekse ortamdaki diğer atomların partiküller ile çarpışması sonucu bu atomların kinetik enerjilerinde bir artış meydana gelir. Böylelikle ortamın ortalama kinetik enerjisi, yani sıcaklığı artar (Göktürkler 2002). Ortaya çıkan enerji, radyojenik ısıyı oluşturur, bu da kabuktaki ısı akısının artmasına neden olur.

Çağlayık ve Sarıoba civarında yüzeyleyen metamorfik, sedimanter, granitik ve volkanik kayaların varlığı dikkate alınarak; Çağlayık kaynağı çevresinin ısı akısı ve radyojenik ısı üretimi yaklaşık olarak hesaplanmıştır. Isı akısı değeri ($Q\text{-mW/m}^2$) aşağıdaki eşitlikle (9.1) hesaplanır:

$$Q = K \times G \quad (9.1)$$

Burada;

Q: Isı akısı (W/m^2)

K: Termal iletkenlik ($Wm/^{\circ}C$)

G: Düşey sıcaklık gradyanı ($^{\circ}C/100\text{ m}$) ifade etmektedir.

Önceki yıllarda yapılan ısı akısı hesaplamaları sonucu Bursa civarında 140 W/m^2 (İlkışık 1989), İzmir-Ankara Kenet kuşağında 100 W/m^2 ve Kırşehir masifinde $53\text{-}108 \text{ W/m}^2$ (Akın ve Çiftçi 2011) değerler bulunmuştur. Kırşehir masifindeki metamorfik kayalar, Paleosen yaşlı granitik sokulum ve volkanik kayalar Çağlayık-Sarıoba-Girmeç-Malıköy dolayındaki litoloji ile benzerlik göstermektedir. Bu nedenle hesaplamalarda, Akın ve Çiftçi'nin (2011) yapmış olduğu çalışmadaki veriler kullanılmıştır. Kayaların ortalama ısı iletim katsayıları laboratuvar ortamında (ortalama değer olarak) plütonik kayalar için $2.5 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, metamorfik kayalar için $2.75 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ volkanik kayalar için $1.87 \text{ W/m}^\circ\text{C}$, sedimanter kayalar için ise $2.06 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ olarak hesaplanmıştır (Akın ve Çiftçi 2011). Çağlayık jeotermal alanında granitler içerisinde açılan PÇK-2 kuyusundan elde edilen kuyu içi sıcaklık log değerleri kullanılarak (Açıkgöz 2008) $6.1 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$ gradyan değeri hesaplanmıştır. Buna göre; 9.1 nolu eşitlikte değerler yerine konulduğunda söz konusu alandaki toplam ısı akısı (Q) 55.99 mW/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Radyojenik ısı üretiminin hesaplanmasında Rybach ampirik eşitliği kullanılmıştır (Rybach ve Buntebarth, 1982).

$$A = 0.1325 \rho (0.718 \times C_U + 0.193 \times C_{Th} + 0.262 \times C_K) \quad (9.2)$$

Burada;

A: Radyojenik ısı üretimi ($\mu\text{W/m}^3$)

ρ : Yoğunluk (g/cm^3)

C_U : Uranyum konsantrasyonu (ppm)

C_{Th} : Toryum konsantrasyonu (ppm)

C_K : Potasyum konsantrasyonu (%) dur.

Isı üretiminin hesaplanması için kayaların yoğunluk değerleri ile uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarının bilinmesi gerekir. Akın ve Çiftçi (2011), kayaların yoğunlukları (ρ) için sabit bir değerden ziyade Bouguer gravite haritasından elde

ettikleri görünür yoğunlukları kullanmışlardır. Görünür yoğunluk değerleri, 2.27 g/cm^3 ile 2.64 g/cm^3 arasında değişmektedir.

Çağlayık jeotermal alanında yüzeyleyen granitlerin toryum, uranyum ve K_2O konsantrasyonları sırasıyla 20.3 ppm, 2 ppm ve % 3.1 olarak ölçülmüştür. Granitik kayaçların yoğunluğu ise 2.6 gr/cm^3 alınmıştır (Teymen 2005). Bu verilerden yararlanarak granitler içindeki A radyojenik ısı üretimi;

$$A = 0.1325 * 2.6 (0.718 * 2 + 0.193 * 20.3 + 0.262 * 3.1)$$

$A_{\text{granit}} = 2.12 \text{ } \mu\text{W/m}^3$ hesaplanmıştır.

Benzer bir hesaplama ile sedimanter ($A_{\text{sedimanter}}$) ve volkanik (A_{volkanik}) kayaçlar için ısı üretim değerleri sırasıyla $0.13 \text{ } \mu\text{W/m}^3$ ve $1.25 \text{ } \mu\text{W/m}^3$ olarak bulunmuştur. Metamorfik kayaçlar için Taşkiran (2014) tarafından önerilen ısı üretim değeri ($A_{\text{metamorfik}} = 1.3 \text{ } \mu\text{W/m}^3$) kullanılarak toplam radyojenik ısı üretimi $4.8 \text{ } \mu\text{W/m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

Isı akısı ile radyojenik ısı üretimi arasında doğrusal bir ilişki vardır (Birch vd. 1968).

$$q = q_0 + Ab \quad (9.3)$$

q: Yüzey ısı akısı (mW/m^2)

q_0 : Kabuktaki radyojenik ısı üretiminin sıfır olduğu andaki manto kaynaklı ısı akısı (mW/m^2)

A: Radyojenik ısı üretimi ($\mu\text{W/m}^3$)

b: Doğrunun eğimi olup radyojenik ısı akısının sıfır olduğu karakteristik derinliktir.

$q_0 = q - Ab$ şeklinde belirtilen bu denklemde; b için Akın ve Çiftçi (2011) 10 değerinin uygun olduğunu belirtmiştir. Sahada yüzeyleyen granitik, sedimanter, volkanik ve metamorfik kayaçlar için hesaplanan radyojenik ısı üretim miktarının toplamı alınarak manto kaynaklı ısı üretimi hesaplanmıştır:

$$q_0 = 55.99 - 4.8 \times 10$$

$$q_0 = 7.99 \text{ mW/m}^2$$

(9.1) nolu eşitlik ile yüzeye ulaşan toplam ısı akısı miktarı (Q) 55.99 mW/m² bulunmuş olup bu değerin 7.99 mW/m² manto kaynaklı, geri kalanı ise radyojenik kaynaklıdır. Mantodan yükselen ısı akısı ile radyojenik bozunma sonucu ortaya çıkan ısı arasındaki fark %86 olarak hesaplanmıştır. Çağlayık-Sarıoba alanındaki ısı üretiminin % 14'ü manto kaynaklı, % 86'sı ise radyojenik kökenlidir. Açıkgöz vd. (2008) inceleme alanının kuzeyindeki Çağa jeotermal alanı ve çevresinde yapmış oldukları manyetik etütler sonucu derinde bir magmatik sokulumun olabileceğini belirtmişlerdir. Bu veri de radyojenik ısı kaynağının varlığını desteklemektedir.

Önceki çalışmalarda Haymana sıcak sularının ⁴He konsantrasyonu 0.41×10^{-6} , ⁴He/²⁰Ne değeri 8.4 ve R/R_A değeri 0.24 ± 0.02 olarak verilmiştir (Güleç vd. 2002). Helyumun atmosferik, kabuk (veya radyojenik) ve manto olmak üzere üç farklı bileşeni bulunmaktadır. ³He/⁴He oranı atmosferde 1.39×10^{-6} R_A ve kıtasal kabukta 0.02-0.05 R_A iken MORB tipi tüketilmiş mantoda 8 R_A olarak kabul edilmektedir (Clarke vd. 1969, Mamyrin vd. 1970, Clarke vd. 1976). Uranyum ve toryumun radyoaktif bozunması sonucu ortaya çıkan ısı, yer kabuğunun ısı kaynağının önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Polyak ve Tolstikhin 1985). Bu ilişkiye dayanarak jeotermal rezervuarlardaki ısı içeriği ve kaynağına yönelik çıkarımlar yapılabilir. Haymana sıcak su kaynağında ölçülen helyum izotop değerleri (0.24 R/R_A) kabuksal bileşimin üzerindedir. Basit ikili karışım (kabuk ve manto arasında) göz önüne alınarak mantosal helyum kökeni %3 olarak hesaplanmıştır. Mantosal helyum hidrolojik sisteme ya doğrudan magmatik etkinlik veya derin kırık sistemleri aracılığıyla astenosferden ya da soğumasını henüz tamamlamamış magmatik sokulumlardan katılır (Karakuş 2010). Özhamamı, Ilıca, Sabanca jeotermal alanlarının kuzeyinde ve Haymana kuzeyinde dar alanlarda yüzeyleyen Alt-Orta Miyosen yaşlı volkanik kayaların bulunması (Türkecan 2015) helyumun derinlerde henüz soğumakta olan (?) bir sokulum vasıtasıyla yeraltı suyuna katılmasını açıklamaktadır. Ayrıca bu genç volkanik kayalar bölgedeki jeotermal gradyanın yükselmesine de etki etmektedir.

9.4 Örtü Kayaçlar

Örtü kayaçlar, rezervuar kayacın üzerinde bulunan ve geçirimsiz özelliğe sahip olup ısının korunmasını sağlamaktadır. Her jeotermal sistemde örtü kayaç olmayabilir.

Rezervuar kayaçlardan daha genç olan Hançili formasyonunun killi siltli seviyeleri, Sarıoba formasyonunun killi, killi kireçtaşı seviyeleri ve Alagöz formasyonun siltli, marnlı tabakaları örtü kaya özelliği göstermektedirler. Haymana çevresinde ise Paleojen ve Neojen yaşlı çökellerin kil, silt, şeyl içeren seviyeleri geçirimsiz özelliktedir.



10 . SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Polatlı ve Haymana bölgelerindeki sıcak suların kökeni, izotopik ve hidrokimyasal özellikleri ile su-kayaç ilişkisinin incelenmesini konu alan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Geniş bir alanı kapsayan tez sahası dört ayrı bölümde değerlendirilmiş, sahaların 1/100.000 ölçekli jeoloji haritaları önceki çalışmalardan yararlanılarak yeniden hazırlanmıştır. Polatlı ve Haymana civarının temelini Triyas yaşlı düşük dereceli metamorfizma geçirmiş killi şist, mikaşist, metaçakıltası, metakumtaşı vb. kayalar oluşturur. Bu kayaların üzerine uyumsuz olarak Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları gelir. Tez sahasındaki sıcak su kaynaklarının çoğunun rezervuar kayacını oluşturan birim kaba tabakalı, masif görümlü, krem, kirli beyaz, açık gri renklidir. Haymana-Karahamzalı arasında geniş alanlarda yüzeyleyen sedimanter kökenli Paleosen ve Eosen yaşlı formasyonlar, uyumsuz olarak Neojen çökelleri tarafından örtülmüşlerdir. Litolojik özellikleri bakımından Paleojen yaşlı çökeller yarı geçirimli ve geçirimsiz kayalardan oluşurlar. Neojen çökelleri (Alt-Orta Miyosen yaşlı Hançili formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Sarıoba ve Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Alagöz formasyonu) çakıltası, kumtaşı, kiltası ve jipsli seviyeler içermektedir. Kuvaterner ise alüvyon ve traverten ile temsil olur. Alüvyon, akarsular boyunca çökelmiş kum, silt, çakıl ve kil boyutunda malzemeden meydana gelir. Ayrıca Çağlayık, Gırmeç, Malıköy, Karahamzalı, Sabanca ve Haymana sıcak su kaynakları civarında traverten çökelleri gözlenmiştir.

Tez sahasında çeşitli magmatik kayalar da yüzeilenmektedir. Çağlayık jeotermal alanının batısında yüzeyleyen granitler rezervuar özelliktedir. Gırmeç kaynağı dolayında gri, siyah renkli bol piroksenli tefrit, fonolit, lösit ve andezit bileşimli volkanitler, Gırmeç köyünün batısındaki Çiledağ civarında Alcı formasyonunun volkanitleri yüzeilenmektedir. Malıköy'ün kuzeyinde yüzeyleyen Eosen yaşlı Abdüsselamdağ volkanitleri bazalt ve andezitten meydana gelmiştir. Bazalt, olivin bazalt bileşimli lav ve piroklastiklerden oluşan Yeniköy Volkaniti Haymana'nın kuzeydoğusunda yüzeilenir.

Polatlı ve Haymana çevresindeki 11 adet meteoroloji istasyona ait düzeltilmiş veriler kullanılmış,1926-2016 yılları arası eş yağış haritası hazırlanarak yıllık düşen yağış miktarları elde edilmiştir. Polatlı civarına düşen uzun yıllara ait ortalama yağış 364.2 mm/yıl, Haymana civarına düşen yağış miktarı ise 476.2 mm/yıl hesaplanmıştır.

İnceleme alanındaki sıcak suların pH değerleri 6.5-8.7, sıcaklığı da 21.2-42.6 °C arasında değişmektedir. Soğuk suların sıcaklığı ise 11.2-18 °C arasındadır. Suların kaynak başında ölçülen elektriksel iletkenlik değerleri 324-17692 µS/cm arasında değişmektedir.

Soğuk suların Ca-HCO₃'lı tipte olmasına karşın sıcak sular ise gerek rezervuar kayaçlar gerekse yeraltındaki dolaşimleri sırasında yıkadıkları diğer kayaçların türüne bağlı olarak farklı kimyasal özellik sergilemektedir.

Sıcaklıkları 30.3-32.4 °C olan Sarıoba sıcak su kaynakları (TPSO-1 ve TPSO-2) karışık sular sınıfına girmektedir. Granitik kayaçlardan boşalan ve çevredeki jipsli kayaçlardan beslenen Çağlayık sıcak su örneği (TPÇK-1) bor içeren NaSO₄-NaCl'lü su karakterindedir.

Girmeç sıcak su kaynağının kimyasal bileşimi (TPGS-2) Na-HCO₃-SO₄ şeklindedir. Bazı analizlerde ölçüm sınırı altında çıkan Mg⁺²-elementi sıcak suların karakteristik elementlerinden değildir. Artan sıcaklıkla Mg⁺²'lu mineraller çökelme eğilimi gösterdiğinden yüksek sıcaklıklı sularda Mg⁺² konsantrasyonu oldukça düşüktür. Malıköy örneği (TPM-1) Na-HCO₃-Cl- SO₄'lı özellikte olup tuzlu sular grubuna girer. Derin kökenli olan bu su yüzeye çıkarken soğuk sular ile karışmaktadır.

Karahamzalı suları Ca-Na-HCO₃'lı olup Piper diyagramında karışık sular sınıfına düşmektedir. Suların sığ dolaşımli olduğunu, sıcak suların soğuk yüzey suları ile karıştığı söylenebilir. Özhamamı sıcak su örneği (TPÖ-2) Na-Cl-HCO₃-SO₄ özelliğinde olup derin dolaşımli olduğu belirlenmiştir. Ilıca kaynağının (TPÖ-1) kimyasal bileşimi Ca-Na-Mg-SO₄-HCO₃'lı sığ dolaşımli su olduğu, sıcak suya yüzey sularının karıştığı

söylenbilir. Sabanca (TPSS-2) sıcak su kaynağı çakıltası, kumtaşı, marn ve kireçtaşlarından beslenmekte olup Na-HCO_3 'lı karışık sular sınıfına girmektedir. Suyun bileşimindeki Na^+ iyonu kumtaşı, marnlardan kaynaklanmaktadır. Haymana bölgesindeki sıcak suların kimyasal bileşimi $\text{Ca}^{+2}\text{-HCO}_3^-$ şeklinde olup Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşları muhtemel rezervuar kayaçlarıdır.

Polatlı ve Haymana sıcak sularının kaynak başında ölçülen sıcaklıkları esas alınarak doygunlukları belirlenmiştir. Örneklerin büyük bir kısmının yüksek bikarbonat içerikleri nedeniyle, aragonit, kalsit ve dolomit gibi karbonat minerallerine doygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Çağlayık, Girmeç, Malıköy, Sabanca, Karahamzalı ve Haymana sıcak su kaynakları çevresinde yüzeyleyen traverten oluşumları da bu veriyi desteklemektedir. Bu sular karbonat kabuklaşmasına neden olurlar. Anhidritin çözünürlüğü jipse oranla daha yüksek olması nedeniyle örneklerin doygunluk indeksleri anhidrite göre doygunluk altı davranış göstermiştir. TPKH-2 ve TPGS-2 nolu örnekler dışındaki tüm sular ise K-feldispata ve kuvarsa doygunudur. Soğuk su kaynaklarının tümü anhidrit, jips ve halite doygun, rezervuarı karbonatlı kayaçlar olan sular ise ayrıca aragonit, kalsit ve dolomite doygunudur. PAS-1, PKH-3 ve PSO-3 soğuk su örneklerinin ise söz konusu karbonat minerallerine göre doygun olmamaları, bu suların sığ dolaşımında olmaları ve karbonatlı kayaçlarla temas etmemeleri ile açıklanabilir. Soğuk suların tümü geçtiği kayaçlar içerisinde yer alan killi minerallerin etkisiyle K-feldispata doygun davranış gösterirler.

Polatlı ve Haymana sularının rezervuar sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla çeşitli jeotermometreler ve mineral-denge modelleri kullanılmıştır. Çağlayık örneği (TPÇK-1) dışındaki tüm sular Na-K-Mg üçgen diyagramının olgun olmayan sular alanında toplanmışlardır. Bu nedenle sulara silika jeotermometreleri uygulanmıştır. Polatlı örnekleri için 48-117 °C, Haymana örnekleri için ise 72 °C sıcaklık değeri hesaplanmıştır. Çağlayık örneği Na-K-Mg üçgen diyagramının kısmen dengede olan sular alanına düştüğünden uygulanmış ve 36-135 °C arasında rezervuar sıcaklığı bulunmuştur. Sülfat-su izotop jeotermometresi ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları silis jeotermometresiyle çok uyumlu değildir. Suların pH'ının nötre yakın olması, su ve sülfat arasındaki inorganik oksijen izotopik değişim reaksiyonunun yavaş gerçekleşmesi

ya da jeotermal suyun soğuk sülfatlı sularla karışmasından dolayı $\delta^{18}\text{O}$ değerinin değişmesi nedeniyle kalsedon jeotermometrelerinden farklı sonuçlar çıktığı düşünülmektedir.

Sıcak su kaynaklarında ölçülen en yüksek radon konsantrasyonu (1399.44 pCi/l) Karahamzalı TPKH-2 örneğine aittir. Diğer su örneklerinden daha yüksek olan bu değer, sıcak suyun tam kırık hattı boyunca yüzeye çıktığını göstermektedir.

Karahamzalı TPKH-5 nolu sıcak su örneğinde ölçülen nitrat yüksek değere sahiptir. Sarıoba sıcak su (TPSO-1 ve TPSO-2) kaynaklarının hemen yakınından geçen Ankara çayı nedeniyle suların nitrat açısından kirlendikleri söylenebilir. Soğuk su kaynaklarının büyük kısmında nitrat değeri sınır değerinin üzerindedir. Kaynağın yerleşim yerlerine yakın olması, ağıklar ve tarımsal faaliyetlerin yoğun yaşandığı alanlardaki suların insan sağlığı açısından tehlike oluşturmamasından dolayı bu suların kullanılması sakıncalıdır.

Su örneklerinin duraylı izotop analizleri kullanılarak çizilen $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ diyagramında sıcak suların çoğunluğunun küresel ve Ankara meteorik su çizgilerinin altında yer aldığı ve doğrulardan değişik miktarlarda sapma gösterdikleri belirlenmiştir. TPÇK-1, TPGS-2 ve TPKH-5 sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri diğer örneklere göre daha negatif olması bu suların diğer sulara göre daha yüksek rakımlardan beslendiklerine işaret etmektedir. Birkaç noktadan yeryüzüne çıkarak kaynak alanı oluşturan Malıköy (TPM-1), Özhamamı (TPÖ-2) ve Sabanca (TPSS-2) sıcak sularının aşırı derecede buharlaşmaya maruz kaldıkları ve yüksek rakımlı alanlardan boşalan suların (düşük $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ değerleri) buharlaşmadan göreceli daha az etkilendikleri saptanmıştır.

Sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}\text{O}$ bileşimleri yardımıyla beslenme yükseklikleri tahmin edilmiştir. Çağlayık kaynağı için hesaplanan 1550 m yükseklikler, metamorfik kayalar, Bilecik formasyonunun kireçtaşları, granitik kayalar, volkanitler, Hançili formasyonunun kıltaşı, kireçtaşı ve killi kireçtaşı seviyeleri ve Sarıoba formasyonun killi kireçtaşı, kıltaşı ve jipsli seviyelerine karşılık gelmektedir.

Trityum ve Cl^- konsantrasyonları suların sığ veya derin dolaşımli olduğunu belirlemede oldukça kullanışlıdır. Çalışılan sıcak sular soğuk sulara göre düşük trityum değerine sahiptir. Malıköy (TPM-1) sıcak suyunun yüksek Cl^- içeriğı nedeniyle diğler sıcak sulara göre daha derin dolaşımli olduğu belirlenmiştir. Sarioba kaynaklarının (TPSO-1 ve TPSO-2) Cl^- içerikleri nispeten yüksek olmasına rağmen soğuk su karışımı nedeniyle sığ dolaşımli oldukları düşünölmektedir.

Polatlı sıcak sularında çözönmüş sülfatın $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{18}\text{O}$ izotop analizleri Çağlayık (TPÇK-1) örneğindeki sülfatın beslenme alanında yüzeyleyen evaporitik kayalardan kaynaklandığı belirlenmiştir. Sarioba (TPSO-1) örneğinde ölçölen $\delta^{34}\text{S}$ değerleri bölgedeki termal suların birçoğı için rezervuar kayası olduğu düşünölen Üst Jura-Alt Kretase Bilecik kireçtaşının kükört izotop bileşimini yansıtmaktadır. Gırmeç (TPGS-2) örneğinin yüksek $\delta^{34}\text{S}$ değeri sülfat indirgenmesine yol açan mikrobiyolojik faaliyet sırasındaki izotop ayrımlaşmasından kaynaklandığı düşünölmektedir. Karahamzalı, Ilıca kaynağı, Özhamamı ve Malıköy örneklerine (TPKH-2, TPKH-4, TPÖ-1, TPÖ-2 ve TPM-1) ait $\delta^{34}\text{S}$ oranları ise sedimanter bir kökene işaret etmektedir.

Malıköy traverten örneğinden elde edilen $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ değeri ‰ -2.33'tür ve bu sonuç denizel karbonatlar ile büyük uyum içindedir. Malıköy sıcak su örneğinin (TPM-1) $\delta^{13}\text{C}$ değeri (‰-1.34) denizel kireçtaşlarına karşılık gelmektedir. Bu kaynağın yakınındaki traverten örneğinin $\delta^{13}\text{C}$ değeri ise ‰ 6.80'dir. Bu değeri metamorfik CO_2 'in izotop bileşimine karşılık gelmektedir. Asidik özellikteki Malıköy sıcak su kaynağının etkileşime girdiğı karbonatlı kayaları çözerek $\delta^{13}\text{C}$ değeriinin artması sağlanmıştır. Malıköy sıcak sularının, bölgedeki temel kayaları oluşturan Alt Triyas yaşlı metamorfik kayalar ile rezervuar özellikteki diğler karbonat kayaları yıkayarak yeryüzüne ulaştığı tahmin edilmiştir.

Sarioba (TPSO-1), Karahamzalı (TPKH-2 ve TPKH-4) ve Haymana (THMK-1 ve THMK-2) sıcak sularının daha negatif olan $\delta^{13}\text{C}$ değerlerinin çözönmüş inorganik karbonun hafif izotop bolluğunu yükselten biyolojik süreçlerle ilişkili olduğu düşünölmektedir. Suların kireçtaşları ile etkileşimi sonucu karbonat çözönmüş ve sulardaki bikarbonat konsantrasyonu ve dolayısıyla $\delta^{13}\text{C}$ değeri artmıştır. Sıcak suların

en önemli rezervuar kayacı olan Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşlarının karbon izotop değerleri de bu durumu destekler niteliktedir.

Sarıoba (TPSO-1), Karahamzalı (TPKH-2 ve TPKH-4) ve Haymana (THMK-1 ve THMK-2) sıcak su örneklerinin $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değerleri Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları ile oldukça uyumludur. Girmeç (TPGS-2) kaynağına ait $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değeri düşük olup volkanik birimlerde kaydedilen Sr izotop değerleri ile örtüşmektedir. Malıköy (TPM-1) su örneğinin Sr izotop bileşimi bu suyun sadece Bilecik kireçtaşları değil Kapıkaya formasyonunun kireçtaşlarından da beslendiğine işaret etmektedir.

Sabanca sıcak su kaynağının (TPSS-2) $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ değeri çevrede çökelen travertenlerle aynıdır. Bu suyun negatif $\delta^{18}\text{O}$ değeri (‰-10.9186) kaynağın derin dolaşımli olduğunu ve muhtemelen yüksek kotlardan beslendiğini göstermektedir.

Çağlayık kaynağının (TPÇK-1) beslenme alanında yer alan jipsli birimler ile granitlerin ana bileşenleri olan plajiyoklaz, biyotit ve feldispat gibi minerallerin bu suyun göreceli yüksek Sr izotop değerine katkı sağlamış olmalıdır.

Klorür-entalpi diyagramı kullanılarak Karahamzalı sahasındaki termal akışkanların % 48 oranında sıcak su ve % 52 soğuk su karışımından meydana geldikleri tespit edilmiştir. Özhamamı için yapılan hesaplama sonucu, karışım oranının % 61 soğuk su ve % 39 sıcak su şeklinde olduğu belirlenmiştir.

Polatlı ve Haymana sıcak su kaynaklarının rezervuarını Üst Jura-Alt Kretase yaşlı Bilecik kireçtaşları, granitik kayaçlar ve volkanitler oluşturmaktadır. Örtü özellikteki kayaçlar ise Neojen yaşlı formasyonların killi, marnlı seviyeleridir. Tektonik kırık hatları (faylar) ise kaynakların yeryüzüne ulaşmasını sağlamaktadır.

Çağlayık-Sarıoba alanındaki ısı üretiminin % 14'ü manto kaynaklı, % 86'sının ise radyojenik (kabuk) kökenli olduğu hesaplanmıştır. Granitlerde oldukça yaygın olan uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerin bozuşması sonucu ortaya çıkan ısı,

sıcak suların ısınmasına katkıda bulunmuştur. Malıköy kaynağının kuzeyinde Miyosen yaşlı volkanik kayaçlar, Sabanca jeotermal alanının kuzeyinde ve Haymana kuzeyinde dar alanlarda yüzeyleyen Alt-Orta Miyosen yaşlı volkanik kayaçlar jeotermal gradyanı arttırıcı özelliktedir.

Tez kapsamında Ankara-Polatlı-Haymana bölgesi sıcak sularının izotopik ve kimyasal incelenmesi sonunda, meteorik kökenli suların kaynaklardan daha yüksek seviyelerden yeraltına süzülürken örtü ve rezervuar kayaçlarla temas ederek, derinlerde jeotermal gradyanla ısındıkları, fay ve kırıklar boyunca birbirine göre göreceli sıg ve derin dolaşım gösterdikleri belirlenmiştir.

İncelenen sıcak suların izotopik bileşimlerinin ayrıntılı incelenmesi sonunda saha ve bölge bazında kavramsal hidrotermal model kurulması sağlanmıştır.

Tez çalışması ile bölgedeki sıcak ve soğuk su örnekleri ile rezervuar kayaçların ilk kez $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$ ve $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucu elde edilen veriler hem kimyasal analizler (majör anyon-kasyon) hem de duraylı izotop verileri ile desteklenmiş, suların kimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ortaya konmuştur. Yine bu analizler ile su-kayaç etkileşimleri irdelenmiştir.

Yapılan kimyasal değerlendirmeler sonucu, suların kimyasal hidrojeokimyasal fasiyesleri, rezervuarı Bilecik formasyonu olan Sarıoba, Karahamzalı ve Haymana sahalarının benzer jeotermal sistemler olduğu ortaya konmuştur. Malıköy kaynağının $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl-SO}_4$ özelliği daha farklı bir jeotermal sistemin varlığını göstermektedir. Gırmeç kaynağı volkanitlerden boşalım yapan, düşük mineralizasyon, düşük klorür değerine sahip, ancak 0 trityum değeri ile de nispeten yaşlı sular ile karışım yapan güncel yağışlarla beslenen su özelliğindedir. Çağlayık sıcak su kaynağı farklı bir jeotermal sisteme sahiptir. Negatif duraylı izotop değerleri, sıcak suyun çok yüksek kotlara düşen yağışlardan beslendiği, suların kısmen olgun sular bölgesine düşmesi nedeniyle, yeraltında daha uzun süre kaldığı belirlenmiştir.

Haymana sıcak suları modern termal tesislerde ve cami ısıtmasında kullanılmaktadır. Ancak Polatlı sıcak su kaynakları çevresinde herhangi bir tesis bulunmamakta olup, yöre halkı tarafından ilkel şartlarda banyo amaçlı kullanılmaktadır. Özellikle Çağlayık ve Özhamamı kaynaklarının sıcaklıkları dikkate alındığında bu suların termal amaçlı kullanılabileceği söylenebilir.

Çağlayık sıcak suları Polatlı Belediyesi tarafından termal amaçlı olarak kullanılması planlanmaktadır. Ancak yüksek iyon içeriği nedeniyle kullanım sonrasında suların tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi gerekli arıtma işlemlerinden sonra bertaraf edilmesi gereklidir.

Malıköy ve Girmeç kaynakları da ilkel şartlarda kullanılmaktadır. MTA Genel Müdürlüğü tarafından Malıköy-Girmeç kaynaklarının kuzeyinde gerçekleştirilen sondajlı çalışmalarda yüksek sıcaklıklı akışkan (75 °C) elde edilmiştir. Bu veri ışığında Malıköy-Girmeç civarında yapılacak sondajlı çalışmalarda da yüksek sıcaklık elde edilebilecektir. Bu akışkanın sıcaklığına göre balneolojik amaçlı veya sera amaçlı kullanımlar gerçekleştirilebilecektir.

Özhamamı ve Sabanca kaynaklarının kimyasal verileri kaynakların derin dolaşımını olduğunu ortaya koymuştur. Karahamzalı-Sabanca-Özhamamı kaynaklarının da herhangi bir kullanımı yoktur. Yapılacak detay jeolojik ve jeofizik etütler sonucu belirlenecek lokasyonlarda sondajlı çalışmalar gerçekleştirildiğinde daha yüksek sıcaklıklı akışkan üretilmesi mümkündür. Ayrıca, çalışılan sahalardaki sıcak su kaynaklarına ait koruma alanı etüt çalışmaları da yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, S., Akıllı, H., Kurtuluş, O. ve Hökelekli, E. 2006. Çobanhamamı-Çağa-Güdül (Ankara) Jeotermal enerji Aramaları Etüd Raporu, MTA Gen. Müd. Der. Rap. No. 10983, 137 s, Ankara (yayınlanmamış).
- Açıkgöz, S., Akıllı, H., Kurtuluş, O. ve Hökelekli, E. 2008. Çağlayık (Polatlı/Ankara) civarının jeolojisi, jeofizik etütleri ve jeotermal enerji olanakları. MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No. 11198, Ankara (yayınlanmamış, Türkçe).
- Açıkgöz, S., Şahin, H., Vekli, M., Destur, M. ve Hökelekli, E. 2009. Malıköy (Polatlı-Ankara) jeoloji, jeofizik etütleri ve jeotermal enerji olanakları, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11319, 86 s, Ankara (yayınlanmamış).
- Açıkgöz, S. 2010. Çağlayık Polatlı Ankara PÇ-1 Jeotermal Enerji Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11343, Ankara (yayınlanmamış).
- Akıllı, H. ve Mutlu, H. 2018. Polatlı ve Haymana (Ankara) sıcak sularının kökenine yönelik kimyasal ve izotopik sınırlamalar. *Yerbilimleri*. 39 (1). 41-64.
- Akın, U. ve Çiftçi, Y. 2011. Heat flow of Kırşehir massif and geological sources of radiogenic heat production, *Bulletin of Mineral Research and Exploration* 143, 53-73. Ankara.
- Akyürek, B., Bilginer, E., Çatal, E., Dağ, Z., Soysal, Y. ve Sunu, O. 1980. Eldivan-Şabanözü (Çankırı) Hasayaz-Çandır (Kalecik-Ankara) dolayının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 6741, (yayınlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1982. Ankara-Elmadağ-Kalecik yöresinin jeolojisi: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 7298 (yayınlanmamış).
- Akyürek, B., Bilginer, E., Akbaş, B., Hepşen, N., Pehlivan, Ş., Sunu, O., Soysal, Y., Dağ, Z., Çatal, E., Sözeri, B., Yıldırım, H. ve Hakyemez, Y. 1984. Ankara-Elmadağ-Kalecik dolayının temel jeoloji özellikleri: *Jeoloji Mühendisliği*, 20, 31-46.
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y.F., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S. ve Yaşar, T. 1996. Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar projesi: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 9961 (yayınlanmamış).
- Anonim. 1991. Sulama suyu kalite kriterleri, Resmi Gazete Sayı no:20748
- Anonim. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri, MTA Ankara, 849.
- Anonim. 2009. İller Bankası-Haymana (Ankara) Belediyesi Jeotermal Etüt Raporu, İLB-JTE/111. Ankara.

- Anonim. 2013. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelikte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik, Resmi Gazete Sayı No: 28580.
- Anonim. 2014a. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. İ-28 Paftası. MTA, Ankara.
- Anonim. 2014b. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. J-29 Paftası. MTA, Ankara.
- Anonim. 2015. Sakarya Havzası Master Plan Raporu. DSİ Genel Müdürlüğü Yayını.
- Anonim. 2016a. Ankara İli 2015 Yılı Çevre Durum Raporu, Ankara Valiliği, 255 s, Ankara.
- Anonim. 2016b. 1:100.000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları. J-28 Paftası. MTA Ankara.
- Anonymous. 1979. Map of Mineral and Thermal Water of Europe Scale: 1:500000, IAH (International Association of Hydrogeologists). United Kingdom.
- Anonymous. 2010. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA) Decontamination Research and Development Conference. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-11/052.
- Andresdottir, A. and Arnorsson, S. 1995. Process controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59(20):4125-4146.
- Apaydın, A. 2004. Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) Beslenme Koşullarının Araştırılması. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi. Ankara.
- Anonymus. 1995. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition. APHA.
- Ardıç, C. 2013. İçme Suyundaki Nitrat Konsantrasyonunun İnsan Sağlığı Üzerine Oluşturduğu Risklerin Belirlenmesi, Hacettepe Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Yüksel Lisans Tezi, Ankara, 120 s.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H. 1983a. The chemistry of geothermal waters In Iceland. II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47; 547-566.
- Arnórsson, S. Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H. 1983b. The chemistry of geothermal waters In Iceland. III. Chemical geothermometry investigations. *Geochimica Cosmochimica Acta*, 47; 567-577.
- Arnnórsson, S., Gunnlaugsson, E. and Svavarsson, H. 1983. The Chemistry of Geothermal Waters In Iceland, III. Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 567-577.

- Bakır, N. 2001. Haymana (Ankara) jeotermal alanının hidrojeokimyasal incelemesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 115s. Ankara.
- Barth, S.R. 2000. Utilization of boron as a critical parameter in water quality evaluation; implications for thermal and mineral water resources in SW Germany-N Switzerland. *Environmental of Geology* 40; 73-89.
- Başer, K. 2006. Sazlıdere'nin Azot ve Fosfor Kirliliğinin İzlenmesi ve Etkisinin İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 86s.
- Başkan, E. 1972. Haymana Ankara kaplıcası hidrojeoloji etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No:4844 (yayımlanmamış).
- Başkan, M. ve Pala, A. 2009. İçme Sularında Arsenik Kirliliği : Ülkemiz Açısından Bir Değerlendirme. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 15, Sayı 1, 69-79, Denizli.
- Batman, B. 1978. Haymana Kuzeyinin Jeolojik Evrimi ve Yöredeki Melanjın İncelenmesi. *Yerbilimleri Dergisi*, Sayı 3: 95-134. Ankara.
- Baykara, O. ve Doğru, M. 2006. Measurements of Radon and Uranium concentration in water and soil samples from East Anatolian Active Fault Systems (Turkey) *Radiation Measurements* 41, s.362-367.
- Bilgin, A.Z., Uğuz, M. F., Sevin, M., Erdem, Y., Parlak, O., Pekgöz, M. ve Özden, U.A. 2010. Haymana ve Yenimehmetli (Ankara) güneyinin jeolojisi (Ankara-J29 Paftası-Kısmen). MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No. 11318, Ankara (yayınlanmamış).
- Bingöl, E., Akyürek, B. ve Korkmazer, B. 1973. Biga Yarımadasının Jeolojisi Ve Karakaya Formasyonunun Bazı Özellikleri. *Cumhuriyetin 50. Yılı Yerbilimleri Kongresi, Tebliğler Dergisi* MTA Yayını, s. 70-77, Ankara.
- Birch, F., Roy, R.F. and Decker E.R. 1968. Heat flow and thermal history in New England and New York, in *studies of Appalachian Geology: Northern and Maritime*, 437-451, New York.
- Bissen, M. and Frimmel, F.H. 2003. Arsenic–A review Part I: occurrence, toxicity, speciation, mobility. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 1, 9-1.
- Bottrell, S.H. and Newton, R.J. 2006. Reconstruction of changes in global sulphur cycling from marine sulphate isotopes. *Earth-Sci. Rev.* 75, 59–83.
- Bogomolow, G.V. and Bektchourine, A.İ. 1955. *Hydrogeologine specialisee*, BRGM, Paris.

- Borsi, S., Ferrara, G., Innocenti, F. and Mazzuoli, R. 1972. Geochronology and petrology of recent volcanics of Eastern Aegean sea: Bull. Volcan., 36/3, 473-496.
- Brass, G. 1976. The variation of the marine $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratio during Phanerozoic time: interpretation using a flux model. Geochim. Cosmochim. Acta 40, 721–730.
- Bülbül, E. 2015. Ankara Polatlı Belediyesi'ne ait Ankara-Polatlı 06/2011/151 Nolu Karacaahmet-Çağlayık ve 06/2011/160 Nolu Karahamzalı Jeotermal Kaynak Arama Ruhsat Sahaları Jeoloji Ve Jeofizik Etüt Raporu. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11829. Ankara (yayımlanmamış).
- Calvi, S.W. 1940. Ankara'da dört şifalı menba hakkında rapor. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No:1697, 14s. Ankara (yayımlanmamış).
- Calmbach, L. 1997. AquaChem computer code-version 3.7.42, Waterloo hydrogeologic Waterloo, Ontario, Canada, N2L 3L3.
- Canik, B. 1970. Ayaş içmece ve kaplıcalarının jeolojisi ve hidrojeoloji etüdü: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 4380, (yayımlanmamış).
- Canik, B. 1972. Polatlı Malıköy Ilıcacınar civarının jeoloji ve hidrojeoloji etüdü. MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 5191, (yayımlanmamış).
- Clark, I. ve Fritz, P. 1997. Environmental isotopes in hydrogeology. Lewis Publishers, New York, 328 s.
- Clarke, W.B., Beg, M.A. and Craig, H. 1969. Excess ^3He in the sea: evidence for terrestrial primordial helium. Earth and Planetary Science Letters, 6, 213-220.
- Clarke, W.B., Jenkins, W.J. and Top, Z. 1976. Determination of tritium by mass spectrometric measurement of ^3He . International Journal of Applied Radiation and Isotopes, 27, 515-522.
- Coplen T.B., Kendall C. and Hopple, J. 1983. Comparison of stable isotope reference samples. Nature 302: 236–238.
- Coplen, T.B., Herczeg, A.L. and Barnes, C. 2000. Isotope Engineering, Using Stable Isotopes of the Water Molecule to Solve Practical Problems, Environmental Tracers in Subsurface Hydrology (editors. P.G. Cook and A. L. Herczeg), Kluwer Academic Publishers, Australia, 529p.
- Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1833-1834.
- Çalgın, R., Pehlivanoğlu, H., Ercan, T. ve Şengün, M. 1973. Ankara civarı jeolojisi: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 6487 (yayımlanmamış).
- Çelik, M. 2014. Use of sulfur isotopes at low-enthalphy geothermal sistems in Ayaş-Beypazarı (Ankara), central Anatolia, Turkey. Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece (Editors: A. Baba, J. Bundschuh, D.

Chandrasekharam), Sustainable Energy Development Series, CRC Press, Taylor & Francis Group (ISBN 9781138001091), 141-148.

- Çelmen, O. 2008. Sivrihisar ve Beypazarı Bölgesinde Yer Alan Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 239, Ankara.
- Çelmen, O. and Çelik, M. 2009. Hydrochemistry and environmental isotope study of the geothermal water around Beypazarı granitoids, Ankara, Turkey. *Environmental Geology* (2009) 58:1689–1701.
- Çelmen, O. and Çelik, M. 2010. Usability and origin of geothermal water around Beypazarı region Ankara, Turkey. *Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010*.
- Çetin, A. 2006. Ayaş (Ankara) Karakaya ve Ilıcaköy sıcak sularının hidrojeoloji incelemesi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. 102s. Ankara.
- Dansgaard, W. 1964. Stable isotopes in precipitation. *Tellus*, 16, 436-468.
- Darby, S., Whitley, E., Silcocks, P., Thakrar, B. and Green, M. 1998. Risk of Lung Cancer Associated With Residential Radon Exposure in South-West England: A Case-Control Study, *Br. J. Cancer*, 78, 394-408.
- Diker, S. 2005. Kapullu hamamı ve dolayının (Beypazarı) hidrojeoloji incelemesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. 157, Ankara.
- Diker, S., Çelik, M. and Kadioğlu, Y.K. 2006. Finger prints of the formation of geothermal springs on the granitoids: Beypazarı–Ankara, Turkey. *Environ Geol* (2006) 51: 365–375.
- Dotsika, E., Poutoukis, D., Kloppmann, W., Guerrot, C., Voutsas, D. and Kouimtzis, T.H. 2010. The use of O, H, B, Sr and S isotopes for tracing the origin of dissolved boron in groundwater in Central Macedonia, Greece. *Applied Geochemistry*, 25, 1783–1796.
- Doğan, L. 1981. Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- Doğan, M. and Doğan, A.U. 2007. Arsenic mineralization, source, distribution, and abundance in the Kutahya Region of the Western Anatolia, Turkey. *Env. Geochem. Health*. 29, 119-129.
- Doğdu, M.Ş. 2005. Jeotermal Suların Rezervuar Sıcaklığının Tahmininde Kullanılan Jeotermometre Hesaplamaları İçin Bilgisayar Programı, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Jeoloji Mühendisliği Dergisi Cilt: 28, Sayı: 2, s. 1-12.
- Doğdu, M.Ş. ve Kırmızıtaş, H. 2006. Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcaksuyunun Oluşumu ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 30 (1). Ankara.

- Dönmez, M., Akçay, A.E., Türkecan, A., Evcimen, Ö., Atakay, E. ve Görmüş, T. 2009. Ankara ve yakın çevresinin Tersiyer volkanitleri. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11164. 241s, Ankara (yayınlanmamış).
- Ercan, T. 1986. Orta Anadolu'daki Senozoyik Volkanizması. MTA Dergisi, Sayı 107, 119-140 s. Ankara.
- Erişen, B. ve Ünlü, M.R. 1980. Ankara-Çubuk-Kızılcahamam-Kazan alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 9949 (yayınlanmamış).
- Eroğlu, A. ve Aksoy, N. 2005. Jeotermal Suların Kimyasal Analizi. Türk Tesisat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, 149-183, İzmir.
- Erol, O. 1954. Ankara ve civarının jeolojisi hakkında rapor: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 2491 (yayınlanmamış).
- Erol, O. 1955. Köroğlu-Işık dağları volkanik kütlesinin orta bölümleri ile Beypazarı-Ayaş arasındaki Neojen Havzasının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 2279, 86s. Ankara (yayınlanmamış).
- Esat, K., Kaypak, B., Işık, V., Ecevitoglu, B. and Seyitoğlu, G. 2016. The Ilıca Branch of the Southeastern Eskişehir Fault Zone: An Active Rightlateral Strike-Slip Structure in Central Anatolia, Turkey. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 152, 25-37. Ankara.
- Fishman, M.J. and Friedman, L.C. 1989. Methods for Determination of Inorganic Substances in Water and Fluvial Sediments, Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, 5, 545 s.
- Fournier, R.O. 1973. Silica in Thermal Waters: Laboratory and Field Investigations. Proceedings of the International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, Tokyo, Vol. 1, Clark Co., Washington D.C., 122-139.
- Fournier, R.O. 1977. Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems. Geothermics, 5, 41-50.
- Fournier, R.O. 1979. A Revised Equation for the Na-K Geothermometer. Geothermal Res. Council Trans. 3, 221-224, 1979.
- Fournier, R.O. 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. In: D'Amore, F. (coordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development. UNITAR/UNDP publication, Rome, 37-69.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W. 1982. A Revised and Expanded Silica (Quartz) Geothermometer. Geoth. Res. Council Bull., 11-10, 3-12.
- Friedmann, I. and O'Neil, J.R., 1977. Compilation of Stable Isotope Fractionation Factors of Geochemical Interest, USGS Numbered Series (report), 440- KK, 11 p.

- Freeze, R.A. and Cherry, J. A. 1979. Groundwater. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, Vol. 7632, 604.
- Gat, J.R. and Gonfiantini, R. 1981. Isotopic Fractination, In Stable Isotope Hydrology, Deuterium and Oxygen-18 in Water Cycle, Technical Report Series 210, IAEA, Vienna, pp.21-34.
- Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal Solute Equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F. 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. In : D'AMORE, F. (co-ordinator), Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development , UNITAR, United States of America, 119–144.
- Giggenbach, W. F., Gonfiantini, R., Jangi, B.L. and Truesdell, A.H. 1983. Isotopic and Chemical Composition of Parbati Valley Geothermal Discharges, NW Himalaya, Indiana. *Geothermics*, 5, 51-62.
- Goff, F., Wollenberg, H.A., Brookins, D.C. and Kristler, R.W. 1991. A Sr-isotopic comparison between thermal waters, rocks, and hydrothermal calcites, Long Valley caldera, California *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 48, 265–281.
- Göktürkler, G. 2002. Yerbilimlerinde ısı transferi modellemesi: Kararlı hal kondüktif ısı iletimi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi vol. 4, no.3 67-80.
- Gönenç, O. 1978. Haymana-Polatlı havzasının batı bölgesinin jeolojisi ve petrol olanakları, MTA Genel Müdürlüğü Rapor No. 6396, Ankara (yayınlanmamış).
- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, J. 1982. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No:9973, Ankara (yayınlanmamış).
- Güleç, N., Hilton, D. R. and Mutlu, H. 2002. Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chemical Geology*, 187, 129–142.
- Güleç, N., Mutlu, H., and Hilton, D. R., 2014, Gas geochemistry of Turkish geothermal fluids: He-CO₂ systematics in relation to active tectonics and volcanism, *Geothermal Systems and Energy Resources: Turkey and Greece* (Editors: A. Baba, J. Bundschuh and D. Chandrasekharam), Sustainable Energy Development Series, CRC Press, Taylor and Francis Group (ISBN 9781138001091).
- Hallberg, G. R. 1989. Nitrate in Ground Water in the United States, R.F. Follet (ed), *Nitrogen Management and Ground Water Protection*, Elsevier, Amsterdam, s. 35-74.

- Helvacı, C. ve Bozkurt, S. 1994. Beypazarı (Ankara) Granitinin Jeolojisi, Mineralojisi Ve Petrojenezi. Türkiye Jeoloji Bülteni, C. 37, Sayı 2,31-42.
- Hem, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. USGS Water Supply Paper 2254, US Gov. Print. Office, 263 p.
- Henley, R. W., Truesdell, A. H., Barton, P. B. and Whitney, J. A. 1984. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems (Vol. 1). El Paso, TX: Society of Economic Geologists.
- Hitchon, B., Perkins, E. H. and Gunter, W. D. 1999. Introduction to Groundwater Geochemistry. Canada: Geoscience Publication.
- Hoefs, J. 1997. Stable Isotope Geochemistry. Springer-Verlag, Berlin. 201 p.
- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, G. and Villari, L. 1982. Neogene and Quaternary volcanism in Anatolia and NW Iran: «Orogenic Andesites», de; John Wiley, Newyork, 327-349.
- Ioannides, K., Papachristodoulou, C., Stamoulis, K., Karamanis, D., Pavlides, S., Chatzipetros, A. and Karakala, E. 2003. Soil Gas Radon: A Tool for Exploring Active Fault Zones, Applied Radiation and Isotopes, 59, s.205-213.
- İlkışık, O. M. 1989. Kuzeybatı Anadolu’da Isı Akısı Dağılımı. Jeofizik, 83-91.
- Jain, A., Raven, K.P. and Loeppert, R.H. 1999. Arsenite and arsenate adsorption on ferrihydrite: surface charge reduction and net oh-release stoichiometry. Env. Sci. and Tech. 33 (8), 1179-1184.
- Javoy, M., Pineau, F. and Allégre, C. J. 1982. Carbon geodynamical cycle. Nature. 300, 171–173.
- Kampschulte, A. and Strauss, H. 2004. The sulfur isotopic evolution of Phanerozoic seawater based on the analysis of structurally substituted sulfate in carbonates, Chemical Geology, 204, 255-286.
- Karakuş, H. 2010. Büyük Menderes Grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi. 199s. Ankara.
- Kaya, H. 2014. Yazılı görüşme. Polatlı Belediyesinin ruhsatlı sahalarında açılan kuyulara ait bilgiler. Ankara.
- Kaymakçı, N. 2000. Tectono-stratigraphical evolution of the Çankırı basin (Central Anatolia Turkey). PhD. Thesis, Univ. Utrecht. Geologica Ultraiectina, no:190, 247p.
- Kele, S., Özkul, M., Fórizs, I., Gökgöz, A., Baykara, M.O., Alçiçek, M.A. and Németh, T. 2011. Stable isotope geochemical study of Pamukkale travertines: New

- evidences of low-temperature non-equilibrium calcite-water fractionation. *Sedimentary Geology*, 238, 191–212.
- Keskin, T.E. 2009. Nitrate and heavy metal pollution resulting from agricultural activity: a case study from Eskipazar, Karabuk, Turkey. *Environmental Earth Sciences*. 61, 703-721.
- Kibici, Y. 2003. Bazik ve Ultrabazik Kayaçların Mineralojisi - Petrografisi ve Doğaltaş Sektöründe İsimlendirmedeki Önemi. Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem'2003) Bildiriler Kitabı, 525-544.
- Kocadere, B. 2009. Malıköy (Polatlı-Ankara) sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal incelenmesi: Yüksek Lisan Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği. 94. Ankara.
- Koçak, A. 1997. Kozaklı (Nevşehir) Jeotermal alanının su kimyası ve rezervuar sıcaklığının İncelenmesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Koçyiğit, A. 1991. Changing stress orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW central Anatolia). *Turkish Association of Petroleum Geologists Bulletin* 3, 43-55.
- Koçyiğit, A. and Lünel, A.T. 1987. Geology and tectonic setting of Alcı area, METU *Journal of Pure and Applied Science*, 20/1, 31-39.
- Köksal, S. and Göncüoğlu, M. C. 2008. Sr and Nd isotopic characteristics of some S, I, and A-type granitoids from Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 111-127.
- Kurttaş, T. 2002. Karışım Sularında Kökensel Katkıların Belirlenmesi, Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, DSİ Genel Müdürlüğü, Adana.
- Kuşcu, İ., Barka, A. A. ve Kato, H. 1992. Kuzey Anadolu Fayı Zonundaki Bazı Faylarda Radon Gazı (Alpha İzi) Ölçümleri, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Daire Başkanlığı, Jeoloji Mühendisliği, Ankara, 33-40.
- Liu, L., Suto, Y., Bignall, G.N. and Hashida, T. 2003. CO₂ injection to granite and sandstone in experimental rock/hot water systems. *Energy Conversion and Management*. 44, (9), 1399-1410.
- Lloyd, R.M. 1968. Oxygen isotope behavior in the sulfate-water system. *Journal of Geophysical Research*, 73 (18), 6099-6110.
- Mamyrin, B.A., Anufriev, G.S., Kamensky, I.L. and Tolstikhin, I.N. 1970. Determination of the isotopic composition of atmospheric helium, *Geochemistry International*, 7, 498-505.

- Marques, J.M., Carreira, P.M., Goff, F., Eggenkamp, H.G.M. and Antunes da Silva, M. 2012. Input of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios and Sr geochemical signatures to update knowledge on thermal and mineral waters flow paths in fractured rocks (N-Portugal), *Applied Geochemistry* 27, 1471–1481.
- Matschullat, J. 2000. Arsenic in the geosphere-a review. *Sci. Total Env.* 249, 297-312.
- Mazor, E. 1991. *Applied chemical and isotopic groundwater hydrology*. OpenUniversity Press, First Published, pp 264, Buckingham.
- Mizutani, Y. and Rafter, T.A. 1969. Oxygen isotopic composition of sulfates-3. Oxygen isotopic fractionation in the bisulfate ion-water system. *New Zealand Journal of Science*, 12, 54-59.
- Mook, W. G. 2001. *Environmental isotopes in the hydrological principles and applications*, VIENNA.
- Mutlu, H. and Güleç, N.. 1998. Hydrogeochemical Outline Of Thermal Waters And Geothermometry Applications in Anatolia, Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515.
- Mutlu, H. and Kılıç, A. 2009. Geothermometry applications for the Balıkesir thermal waters, Turkey. *Environ. Geol.* 56:913–920 DOI 10.1007/s00254-008-1192-5.
- Mutlu, H., Güleç, N., Hilton, D.R., Aydın, H. and Halldórsson, S.A. 2012. Spatial variations in gas and stable isotope compositions of thermal fluids around Lake Van: Implications for crust-mantle dynamics in eastern Turkey. *Chemical Geology*, 300-301, 165-176.
- Négrel, Ph., Dupre, B., Seimville, F. and Allegre, C.J. 1988. Quantitative modelisation of differential erosion between crystalline and sedimentary area of a French basin by isotopic analysis of strontium in river waters. *Chem. Geol.* 70, 13.
- Négrel, Ph. and Deschamps, P. 1996. Natural and anthropogenic budgets of a small watershed in the Massif Central (France): chemical and strontium isotopic and major elements study. *Aquat. Geochem.* 2, 1–27.
- Négrel, Ph. and Roy, S. 1998. Rain chemistry in the Massif Central (France). A strontium isotopic and major elements study. *Applied Geochemistry*. 13, 941–952.
- Négrel, Ph., Casanova, J. and Aranyossy, J.F. 2001. Strontium isotope systematics used to decipher the origin of groundwaters sampled from granitoids: the Vienne case(France). *Chem. Geol.* 177, 287–308.
- Nehir, Y. 2006. Haymana (İç Anadolu) dolaylarında Çaldağ formasyonu-tuz-petrol ilişkilerinin incelenmesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8Yüksek Lisans Tezi, 8, Ankara.

- Nieva, D. and Nieva, R. 1987. Development in geothermal energy in Mexico, Part 12-A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP, 7; 243-258.
- Orti, F., Gündoğan, İ. and Helvacı, C. 2002. Sodium Sulphate deposits of Neogene age: The Kirmir Formation, Beypazarı Basin, Turkey. Sedimentary Geology 146, 305-333p.
- Öktü, G. 1987. Ankara ili Polatlı ilçesindeki sıcak su ve madensuyu kaynaklarına ilişkin rapor, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 8194, Ankara (yayınlanmamış).
- Ölmez, E. 1975. Malıköy, Ilıcınar Sondaj Kuyusu Ölçümleri Raporu, (yayınlanmamıştır).
- Özeke, H. 1987. Ankara-Haymana kaplıcası 3 ve 4 nolu sıcak su sondajlarının kuyu bitirme raporu, MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No:8163, Ankara (yayınlanmamış).
- Özkul, M., Kele, S., Gökgöz, A., Shen, C.C., Jones, B., Baykara, M.O., Főrizs, I., Németh, T., Chang, Y.W. and Alçıçek, M.C. 2013. Comparison of the Quaternary travertine sites in the Denizli extensional basin based on their depositional and geochemical data. Sedimentary Geology, 294, 179-204.
- Özkul, M., Gökgöz, A., Kele, S., Baykara, M.O., Shen, C.-C., Chang, Y.-W., Kaya, A., Hançer, M., Aratman, C., Akın, T., and Örü, Z., 2014. Sedimentological and geochemical characteristics of a fluvial travertine: a case from the eastern Mediterranean region. Sedimentology, 61, 291-318.
- Palmer, M.R., Helvacı, C. and Fallick, A. E. 2004. Sulphur, sulphate oxygen and strontium isotope composition of Cenozoic Turkish evaporates. Chemical Geology, 209, 341-356.
- Panichi, C. and Tongiorgi, E. 1976. Carbon isotopic composition of CO₂ from springs, fumaroles, mofettes and travertines of central and southern Italy: a preliminary prospection method of geothermal areas. Proc. 2nd U. N. Symposium on the Development and Use of Geothermal Energy, San Francisco, 20–29 May 1975, pp. 815–825.
- Parkhurst, D.L. and Appelo, C.A.J. 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3—A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A43, 497 p., available only at <https://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>.
- Pasvanoğlu, S. 2016. Kızılcahamam-Çamlıdere (Ankara) Dolayındaki Sıcak ve Mineralli Suların Hidrojeokimyasal Ve İzotopik İncelemesi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Ankara.

- Pentecost, A. 1995. The quaternary travertine deposits of Europe and Asia Minor. *Quaternary Science Reviews*. Volume 14, Issue 10, Pages 1005-1028.
- Piper, A. M. 1944. A Graphic Procedure in Geochemical Interpretation of Water Analyses, *American Geophysical Union Transactions* 25; 914-923.
- Polyak, B.G. and Tolstikhin, I.N. 1985. Isotopic composition of the Earth's helium and the motive forces of tectogenesis. *Chemical Geology*, v.52. C.9-33.
- Potot, C., Féraud, G., Urs Schärer, Urs., Barats, A., Durrieu, G., Le Poupon, C., Yves Travi, Y. and Roland Simler, R. 2012. Groundwater and river baseline quality using major, trace elements, organic carbon and Sr-Pb-O isotopes in a Mediterranean catchment: The case of the Lower Var Valley (south-eastern France). *Journal of Hydrogeology* (472-473), pp. 126-147.
- Rybach, L. and Buntebarth, G. 1982. Relationships between the petrophysical properties density, seismic velocity, heat generation and mineralogical constitution, *Earth and Planetary Science Letters*, 57, pp. 367-376.
- Reed, M.H. and Spycher, N.F. 1990. Users Guide for SOLVEQ: A program for computing aqueous-mineral-gas equilibria, revised ed. Dep. Geol. Sci., Univ. Oregon, Eugene, OR, 37 pp.
- Saç, M. M. ve Camgöz, B. 2005. İzmir’de Sismik Aktiviteler ile Radon Konsantrasyonları Arasındaki Korelasyonun İncelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, Cilt 7, Sayı 3, 47-54s.
- Sadiq, M., Locke, A., Spiers, G. and Pearson, D.A.B. 2002. Geochemical behavior of arsenic in Kelly Lake, Ontario. *Water Air and Soil Poll.* 141, 299- 312.
- Sariaslan, M., Yurdakul, M.E., Keçer, M., Osmañeçlebioğlu, R., Basa, F., Mutlu, G. ve Aktimur, H.T. 1998. Ankara İli çevre jeolojisi ve doğal kaynakları: MTA Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 10069 (yayımlanmamış).
- Sayın, M., ve Eyüpoğlu, S. Ö. 2005. Türkiye’deki Yağışların Kararlı İzotop İçeriklerini Kullanarak Yerel Meteorik Doğruların Belirlenmesi. II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, İzmir, 323-345.
- Sevin, M., Pekgöz, M., Parlak, O., Özden, U. A., Oğuz, M. F., Erdem, Y., Elibol, H. ve Bilgin, A.T. 2009. Ayaş Temelli Polatlı Ankara dolayının jeolojisi Ankara İ28 Paftası. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 11215. Ankara (yayımlanmamış).
- Singh, S., Kumar, A., Bajwa, B. S., Mahajan, S., Kumar V. and Dhar, S. 2010: Radon monitoring in soil gas and ground water for earthquake prediction studies in North West Himalayas, India. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 21, 685-695, doi: 10.3319/TAO.2009.07.17.01(TT
- Swakon, J., Kazak, K., Paszkowski, M., Gradzinski, M., Gradzinski, R., Loskiewicz, J., Mazur, J., Jonik, M., Bogacz, J., Horwacik, T. and Olko, P. 2005. Radon

- Concentration in Soil Gas Around Local Disjunctive Tectonic Zones in The Krakow Area, *Journal of Environmental Radioactivity*, 78, s.137-149.
- Sünel, S. ve Erşahin, S. 2012. Türkiye’de Tarımsal Kaynaklı Yeraltı Suyu Nitrat Kirliliği. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi* 5 (2): 116-118.
- Şahinci, A. 1991. Doğal Suların Jeokimyası. İzmir
- Şengör, A. M. C. 1980. Türkiye’nin Neotektoniğinin Esasları: Türkiye Jeoloji Kurumu Konferanslar Serisi, No:2, 40 s. Ankara.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y. 1983. Türkiye’de Tetis’in Evrimi; Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım. Türkiye Jeoloji Kurumu Yerbilimleri Özel Dizisi. No:1. 73 s. Ankara.
- Şentürk, N. 2014. Yazılı görüşme. Haymana ilçesinde açılan kuyulara ait bilgiler. Ankara.
- Şentürk, N. 2018. Yazılı görüşme. Haymana ilçesinde yeni açılan sıcak su kuyuları. Ankara.
- Şimşek, C. 2005. Balçova Jeotermal Sahasında Bor ve Arsenik Kirliliği, Türk Tesisat Kongresi, Jeotermal Enerji Semineri Kitabı, 361-368, İzmir.
- Şimsek, Ş., Günay, G., Elhatip, H. and Ekmekçi, M. 2000. Environmental Protection of Geothermal Waters and Travertines at Pamukkale, Turkey. *Geothermics*, 29, 557-572.
- Tarcan, G. 2002. Jeotermal su kimyası. JENARUM Yaz Okulu. Jeotermalde yerbilimsel uygulamalar. İzmir.
- Teng, T.L. 1980. Some Recent Studies on Groundwater Radon Content as an Earthquake, *Journal of Geophysical Research*, Volume 85, No. B6, s.389- 399.
- Teymen, A. 2005. Bazı kayaçların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Thode, H. G. 1991. Sulphur Isotopes in Nature and the Environment: An Overview. In: H.R. Krouse and V.V. Grinenko (Editors), *Stable Isotopes: Natural and Anthropogenic Sulphur in the Environment*, Scope, 43, 1-29.
- Thornthwaite, C. W. 1948. A new and improved classification of climates. *Geographical Review*, 38-1; 55-94. New York.
- Tichomirowa, M., Heidel, C., Junghans, M., Haubrich, F. and Matschullat, J. 2010. Sulfate and strontium water source identification by O, S and Sr isotopes and their temporal changes (1997–2008) in the region of Freiberg, central-eastern Germany. *Chemical Geology* 276 (2010) 104–118. doi:10.1016/j.chemgeo.2010.06.004.

- Tole, M.P., Armannsson, H., Zhong-He, P. and Arnorsson, S. 1993. Fluid/mineral equilibrium calculations for geothermal fluids and chemical geothermometry. *Geothermics* 22 (1), 17–37.
- Tonani, F. 1980 Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. *Proceedings, Adv. Eur. Geoth. Res., 2 nd Symposium, Strasbourg*, 428-443.
- Truesdell, A. H. 1976. Summary of section III geochemical trchniques in exploration. In: *Proceedings of the 2nd United Nations Symposium on the Development and use of Geothermal Resources, San Francico, U.S. Gov. Printing Office, Pp.53-79.*
- Truesdell, A.H. and Fournier, R.O. 1975. Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin. *Proc. Second UN Symposium on Geothermal Resources, San Francisco, CA*, pp. 837–844.
- Truesdell, A.H. and Fournier, R.O. 1977. Procedure for estimating the temperature of a hot water component in mixed water using a plot of dissolved silica vs. enthalpy. *U.S. Geological Survey Journal Research* 5; 49-52
- Truesdell, A. H. and Hulston, J.R. 1980. Isotopic evidence on environments of geothermal systems. *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry (FRITZ, P., FONTES, Ch.J.,Eds)*, 1, 179-226.
- TS 266, 2005. Türk Standartları Enstitüsü, İçme suları standartları No:226, Ankara.
- Tüfekçioğlu, F. 2015. Radon Konsantrasyonlarının Ölçümü ve Süreksizliklerin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi. Konya.
- Türkecan, A. 2015. Türkiye'nin Senozoyik Volkanitleri, MTA Genel Müdürlüğü Yayını. Özel Yayın Serisi No:33. Ankara.
- Türkecan, A., Dinçel, A., Hepşen, N., Papak, İ., Akbaş, B., Sevin, M., Özgür, İ. B., Bedi, Y. Mutlu, G., Sevin, D., Ünay, E., Saraç, G. ve Karataş, S. 1991. Bolu-Çankırı (Koroğlu Dağları) arasındaki Neojen yaşlı volkanitlerin stratigrafisi ve petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 6, 85-103.
- Türkmen, S.T. 2008. Karacaahmet (Polatlı-Ankara) sıcak ve mineralli sularının hidrojeokimyasal incelenmesi. Yüksek Lisan Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği. 81. Ankara.
- Türkmen, S. ve Şimşek, Ş. 2012. Karacaahmet Jeotermal Alanındaki (Polatlı-Ankara) Sıcak ve Mineralli Sularının Hidrojeokimyasal İncelenmesi. *TPJD Bülteni*, Cilt 23, sayı 1.51-64. Ankara.

- Wang, J., Jin, M., Jia, B. and Kang, F. 2015. Hydrochemical characteristics and geothermometry applications of thermal groundwater in northern Jinan, Shandong, China. *Geothermics* 57.
- Wylen, G.J.V. and Sonntag, R.E. 1986. *Fundamentals of Classical Thermodynamics*. Wiley, New York. 635-651s.
- Uğuz, M.F., Umut, M., Şen, M.A., Bilgin, A.Z., Acarlar, M. ve Turhan, N. 1999. Kulu, Konya, Haymana, Ankara ve Kırıkkale dolayının jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Derleme Rapor No: 10399, Ankara (yayınlanmamış).
- Uysal, I.T., Feng, Y., Zhao, J.X., Altunel, E., Weatherley, D., Karabacak, V., Cengiz, O., Golding, S.D., Lawrance, M.G., and Collerson, K.D. 2007. U-series dating and geochemical tracing of late Quaternary travertine in co-seismic fissures. *Earth and Planetary Science Letters*, 257, 450-462.
- Ünalın, G., Yüksel, V., Tekeli, T., Gönenç, O., Seyirt, Z. ve Hüseyin, S. 1976. Haymana-Polatlı Yöresinin (Güneybatı Ankara) Üst Kretase-Alt Tersiyer Stratigrafisi Ve Paleocoğrafik Evrimi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, c. 19, 159-176.
- Virk, H.S. and Singh, B. 1993. Radon Anomalies in Soil Gas and Groundwater as Earthquake Precursor Phenomena, *Tectonophysics*, 227, s.215-224.
- Virk, H.S. and Walia, V. 2001. Helium/Radon Precursory Signals of Charmoli Earthquake, India, *Radiation Measurements*, Vol:34, s.379-384
- Vitarello, I. and Pollak, H.N. 1980. On the variation of continental heat flow with age and the thermal evolution of continents. *J. Geophys. Res.*, 85; 983-995.
- Yeşilova, P. ve Tekin, E. 2007. Polatlı-Sivrihisar Neojen Havzası Üst Miyosen Evaporitlerinin Jeokimyasal ve Jeostatistiksel İncelemesi (Demirci Köyü, KD Sivrihisar-İç Anadolu). *Türkiye Jeoloji Bülteni*, Cilt 50, sayı 2. Ankara.
- Yıldırım, N. 2006. Jeotermal Araştırma Ve Uygulamalarda Jeokimyasal Yöntemler, MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammade Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Hizmet İçi Eğitim Semineri, Ankara (Yayınlanmamış).
- Yılmaz, E. 2016. Akşehir Fay Hattında Toprakta Radon Konsantrasyonu Ölçümü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Zmazek, B., Todorovski, L., Dzeroski, S., Vaupoti, J. and Kobal, I. 2003. Application of Decision Trees to the Analysis of Soil Radon Data for Earthquake Prediction, *Applied Radiation and Isotopes*, 56, s.697-706.
- Zoroğlu, O. ve Kadioğlu, Y.K. 2004. Oymaağaç (Beypazarı - Ankara) granitoidinin jeolojisi ve petroğrafisi. *Gazi Üniv., F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16 (2), 299-308.

EKLER

EK 1 Sarıoba ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası

EK 2 Malıköy ve Girmeç Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası

EK 3 Karahamzalı, Ilıca, Özhamamı ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası

EK 4 Haymana Jeotermal Alanının Jeoloji Haritası

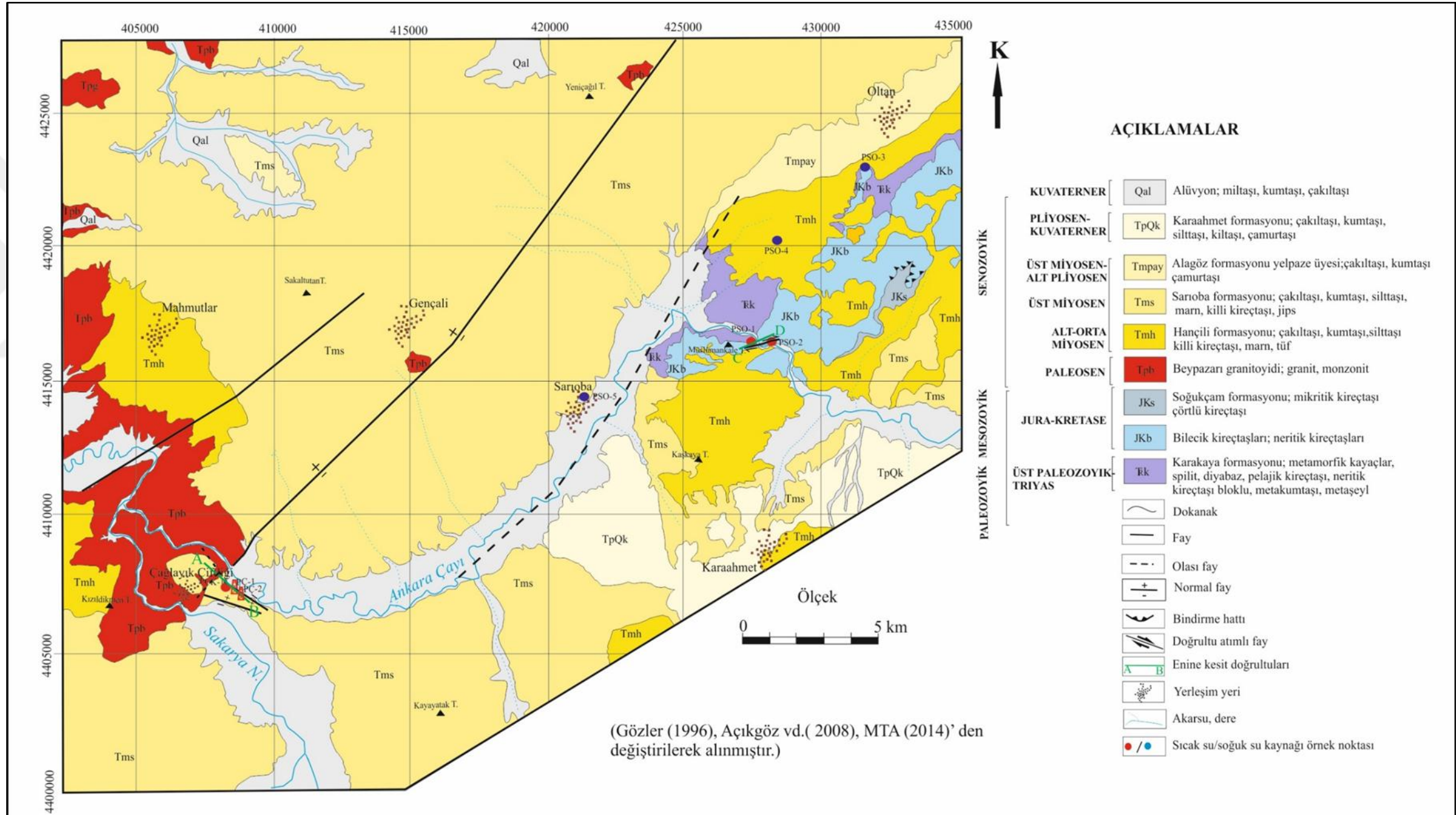
EK 5 Sarıoba Ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli

EK 6 Malıköy Ve Girmeç Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli

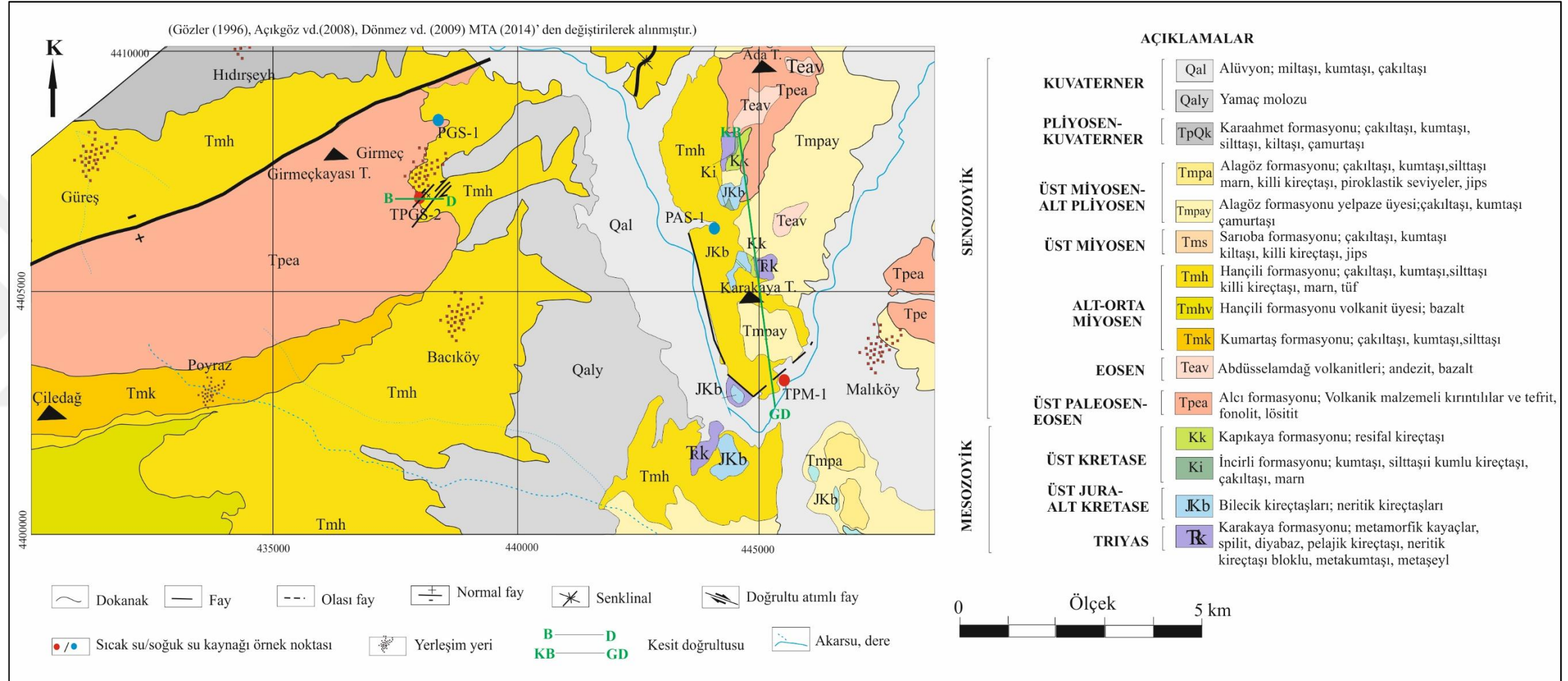
EK 7 Karahamzalı, Ilıca, Özhamamı Ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Kavramsal
Hidrotermal Modeli

EK 8 Haymana Jeotermal Alanının Kavramsal Hidrotermal Modeli

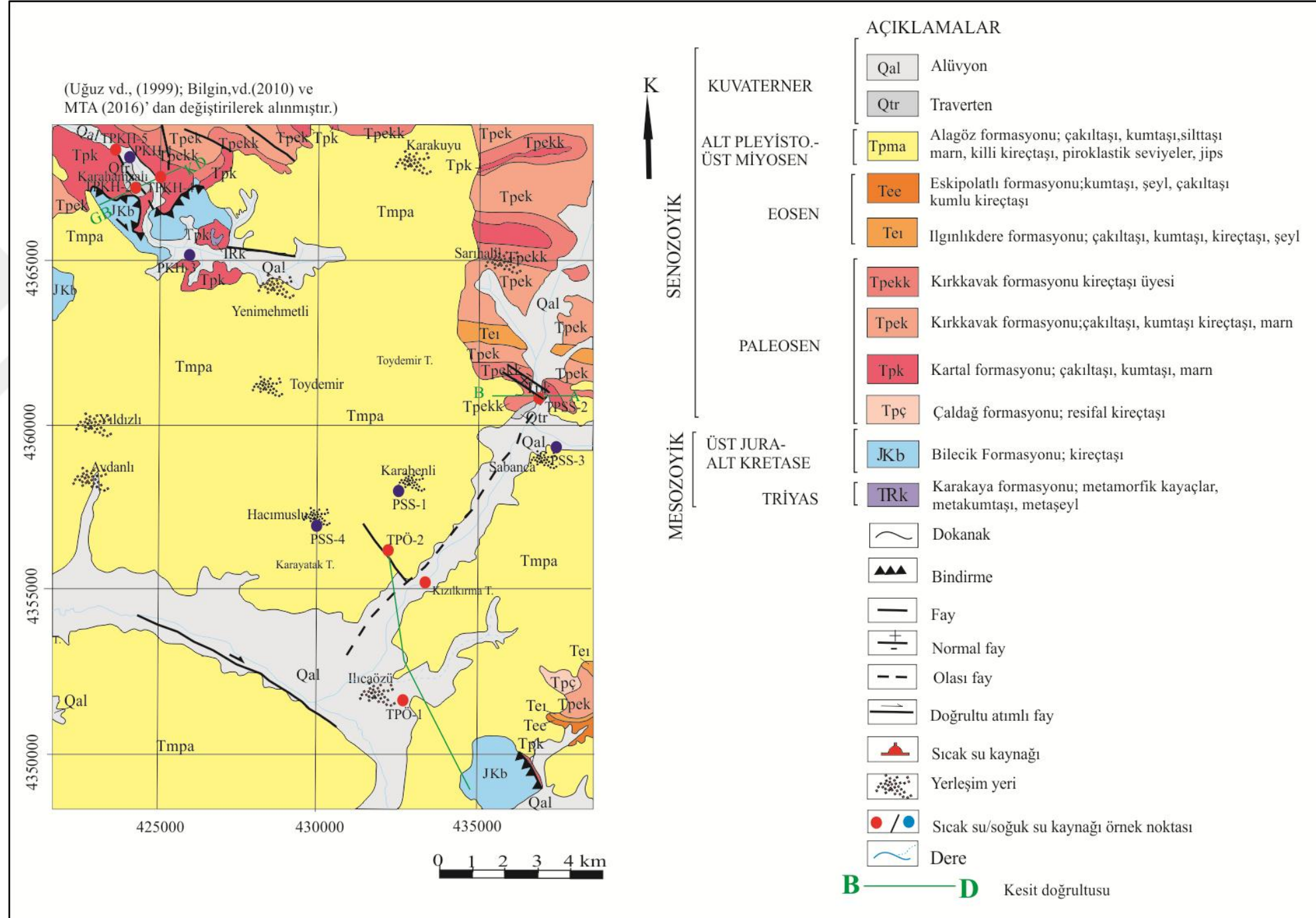
EK 1 Sarıoba ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası



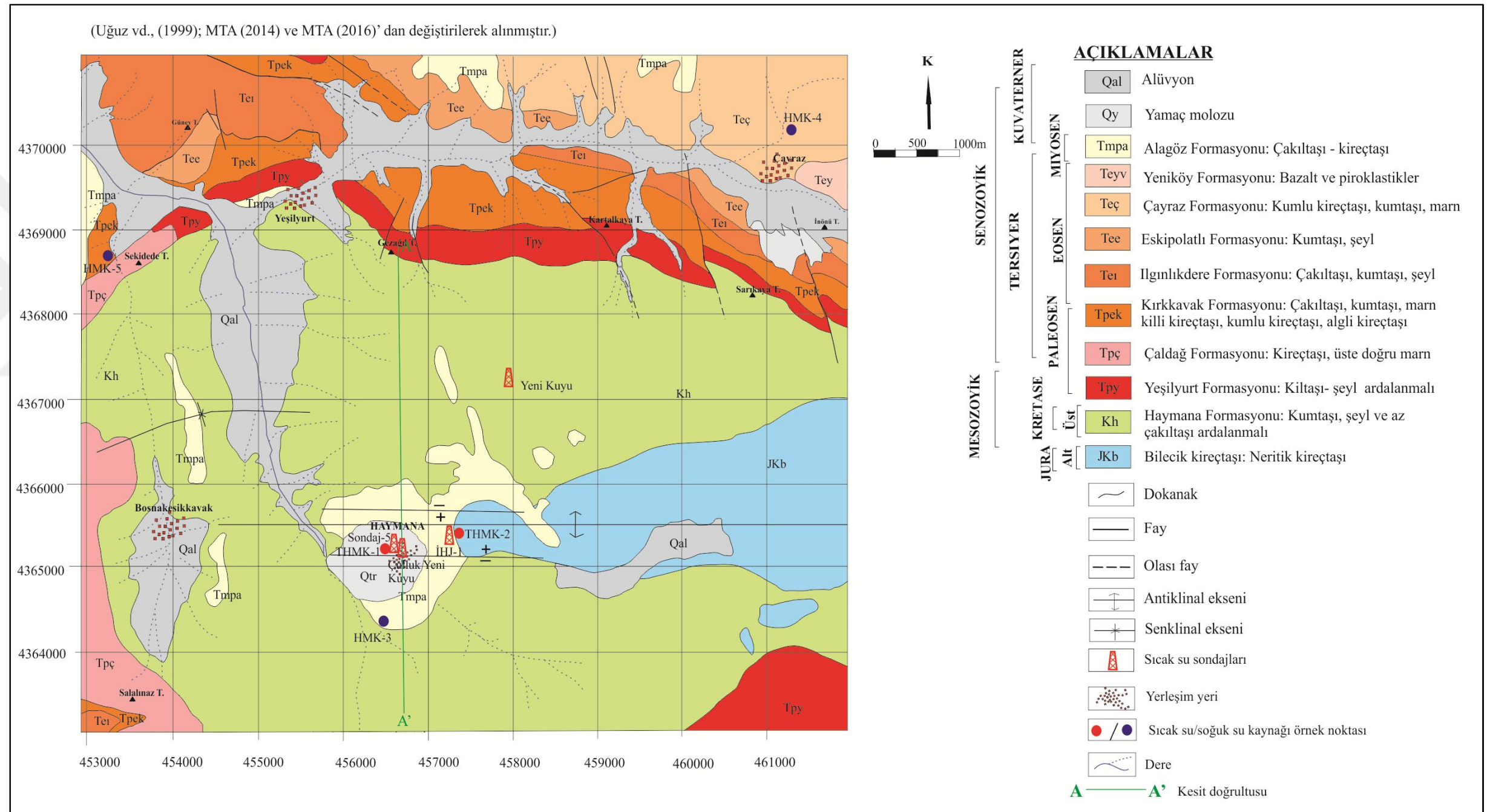
EK 2 Malıköy ve Gırmeç Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası



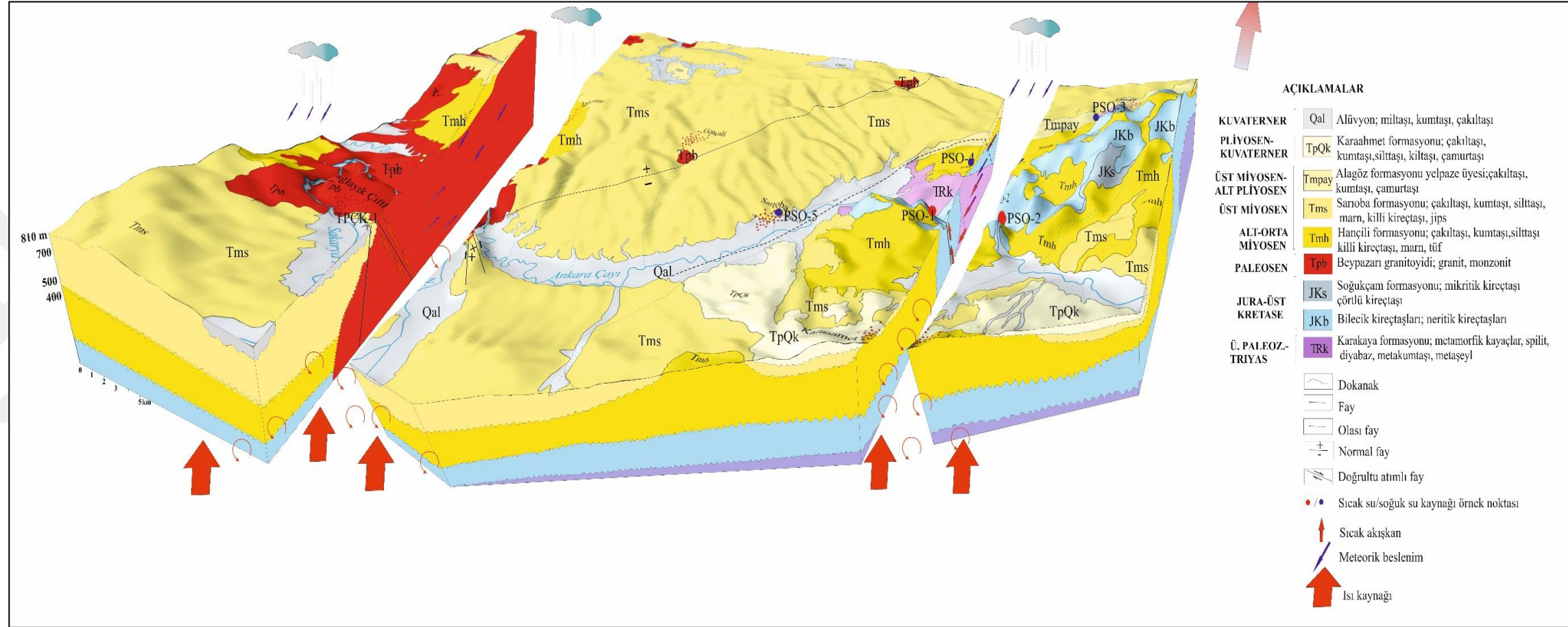
EK 3 Karahamzalı, Ilıca, Özhamamı ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Jeoloji Haritası



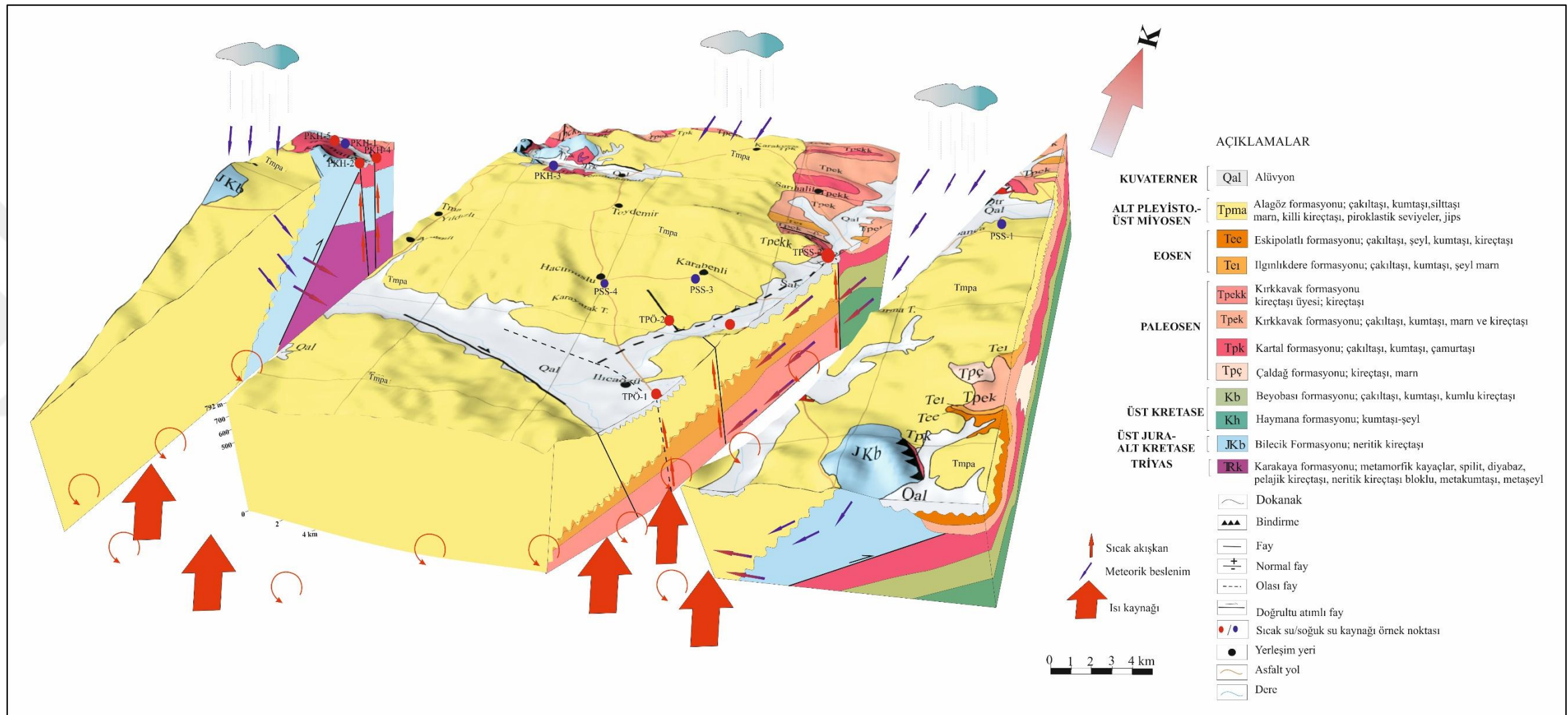
EK 4 Haymana Jeotermal Alanının Jeoloji Haritası



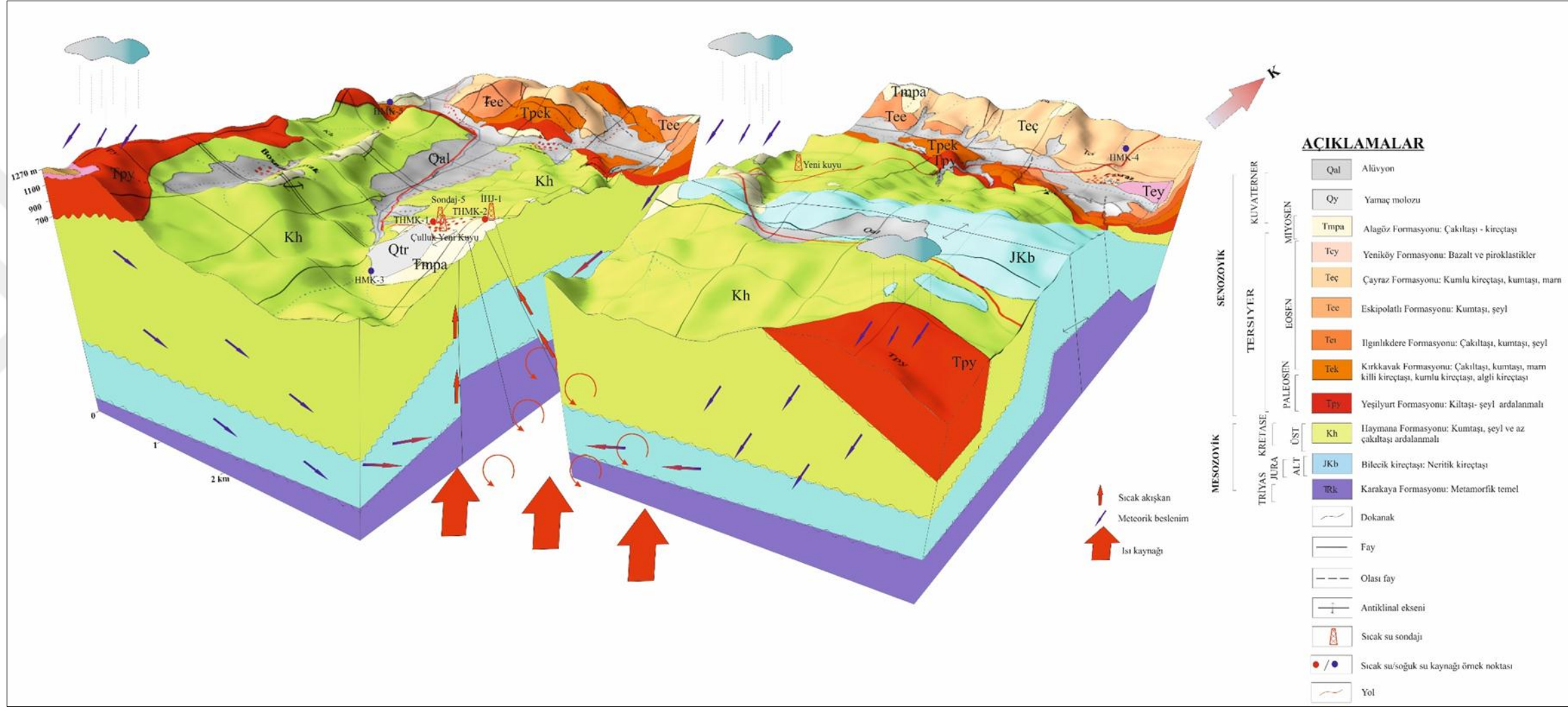
EK 5 Sarıoba ve Çağlayık Jeotermal Alanlarının Kavramsal Hidrotermal Modeli



EK 7 Karahamzalı, Özhamamı, Ilıca ve Sabanca Jeotermal Alanlarının Hidrotermal Kavramsal Modeli



EK 8 Haymana Jeotermal Alanının Kavramsal Hidrotermal Modeli



ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı : Hafize AKILLI
Doğum Yeri : Tavas, Denizli
Doğum Tarihi : 01.01.1971
Medeni Hali : Evli, 2 çocuk annesi
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Sincan Lisesi-1987
Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü- 1991
Yüksek Lisans: Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği
Anabilim Dalı (Eylül-1991 ve Eylül-1993)

Çalıştığı Kurumlar

MTA Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı (1991-1992)
MTA Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı (1992-
Halen devam ediyor)

Yayınlar

Ulusal Hakemli Dergilerde Yayınlanan Makaleler

Akıllı, H. ve Mutlu, H. 2018, Polatlı ve Haymana (Ankara) sıcak sularının kökenine yönelik kimyasal ve izotopik sınırlamalar. Yerbilimleri. 39 (1). 41-64.

Arıgün, Z., **Süzük, H.**, 1995. Eymir ve Mogan (Ankara) Gölleri Çevresinin Hidrojeoloji İncelemesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt:10, Sayı:1, s.20-31, Konya.

Uluslararası Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

Akıllı, H. ve Mutlu, H. 2017, Polatlı-Haymana sıcak sularının jeokimyasal ve izotopik özellikleri, Ankara, Türkiye, Uluslararası Katılımlı 40. yıl Jeoloji Sempozyumu, 03-06 Mayıs 2017, Adana.

Akıllı, H. ve Mutlu, H. 2016. Chemical and stable-radiogenic isotope compositions of Polatlı-Haymana thermal waters (Ankara, Turkey), EGU General Assembly 2016, 18-22 April 2016, Vienna, Austria.

Akıllı, H. 2016. Kamuda Madencilik Aramalarında İş Güvenliği Çalışmaları: MTA Örneği. II. Uluslararası Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Konferans ve Sergisi. 5-6 Aralık 2016. İstanbul.

Açıkgöz, N. B., Açıkgöz, S. ve **Akıllı, H.** 2010. A Case Study for a Geothermal Field Formed by Magmatic Processes; Caglayik Geothermal Field, Central Anatolia, Ankara/Turkey, World Geothermal Congress, Bali, Indenesia.

Akkuş, İ., Aydoğdu, Ö., **Akıllı, H.**, Gokmenoglu, O. ve Sarp, S. 2005. Geothermal Energy and Its Economical Dimension in Turkey, World Geothermal Congress, Antalya, Turkey.

Ulusal Bilimsel Toplantılarda Sunulan Bildiriler

Mutlu, H. ve **Akıllı, H.** 2018. Polatlı ve Haymana sıcak sularının kimyasal ve izotopik bileşimleri: su-kayaç etkileşimine yönelik çıkarımlar, 4. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 21-24 Şubat, 2018, Afyonkarahisar.

Akıllı, H. ve Mutlu, H. 2015. Polatlı-Karahamzalı-Özhamamı-Sabanca sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özellikleri, 3. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 4-6 Kasım 2015, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

Akıllı, H. 2013. Jeotermal Kaynak Arama ve İşletme, Yöntem ve Süreçleri, GAP Jeotermal Konferansı, 20 Mayıs, 2013, Harran Üniversitesi, Urfa.

Akıllı, H. 2013, Türkiye'nin Jeotermal Kaynak Potansiyeli, GAP Bölgesinin Yeri ve Önemi, 20 Mayıs, 2013, Harran Üniversitesi, Urfa.

Akıllı, H. ve Sarp, S. 2013. Ankara-Çubuk-Özlüce Sahası Jeotermal Enerji Aramaları, Aksaray Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü Baki Canik Su Medeniyeti Sempozyumu.7-9 Ekim 2013, Bildiri Özleri Kitabı sayfa 21, Aksaray.

Sarp, S. ve **Akıllı, H.** 2013. Ankara-Çubuk- Özlüce sahası ÇÖ-1 Jeotermal sondaj çalışmaları, JMO II. Sondaj Sempozyumu, ODTÜ Kültür Sitesi. Ankara.

Aydoğdu, Ö. ve **Akıllı, H.** 2013. Jeotermal Sondajlarda İş sağlığı ve Güvenliğinin Önemi, JMO II. Sondaj Sempozyumu, ODTÜ Kültür sitesi, Ankara.

Akıllı, H. ve Toka, B. 2012. Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Jeotermal Kaynaklar Hakkında Genel Değerlendirme, Maden Mühendisleri Odası, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Maden Kaynaklarının Değerlendirme Çalıştayı,

17-18 Mayıs 2012, Diyarbakır.

Açıkgöz, S., **Akıllı, H.** ve Açıkgöz, N. B. 2009. Kozak Provensi (Dikili/İzmir) Jeotermal Sahalarının Potansiyeli, 2009, 62. Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Akkuş, İ., **Akıllı, H.**, Aydoğdu, Ö. ve Sarp, S. 2005. Denizli ilindeki jeotermal potansiyelin kullanılabilirliği, 58. Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Demirel, Z. ve **Süzük, H.** 1997. Jeotermal Enerji, Dünya ve Türkiye Potansiyeli ve Kullanımlar, Çevre ve Enerji Kongresi, TMMOB, Makine Mühendisleri Odası, Ankara.

Arıgün, Z., **Süzük, H.** ve Koçbay A. 1996. Eymir ve Mogan (Gölbaşı-Ankara) Göllerinin Kirlenme Nedenleri ve Çözüm Önerileri, K.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fak. Jeoloji Müh. Bölümü 30. Yıl Bildiri Kitabı, Cilt:2, s. 448-457, Trabzon.

Arıgün, Z. ve **Süzük, H.** 1995. Permo-Karbonifer Yaşlı Kireçtaşı Akiferlerinde (İncek-Ankara) Görülen Biyolojik Kirlenme Nedenleri ve Çözüm Önerileri, III. Ulusal Balneoloji Kongresi Bildiri Özleri, s.42, Pamukkale.

Poster Sunumları

Açıkgöz, S., **Akıllı, H.** ve Açıkgöz, N. B. 2009. Mağmatik Süreçlere Bağlı Gelişen Jeotermal Sisteme Bir Örnek: Çağlayık (Polatlı/Ankara) Jeotermal Alanı, 62. Jeoloji Kurultayı, Ankara (Poster Sunumu).

Arıgün, Z. ve **Süzük, H.** 1995, Ankara-Gölbaşı çevresindeki Permien yaşlı kireçtaşlarının karstik özellikleri, İstanbul Balneoloji Kongresi (Poster Sunumu).

Ulusal Kitap Yazarlığı Bilgileri

Akkuş, İ., **Akıllı, H.**, Ceyhan, S., Dilemre, A. ve Tekin, Z. 2005. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri Kitabı, MTA Genel Müdürlüğü Envanter Serisi, 201. Ankara.

Çeşitli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Akıllı, H. ve Aydoğdu, Ö. 2014. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi, MTA Genel Müdürlüğü, Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, Sayı 2013-16. Ankara.

Ceyhan, S. ve **Akıllı, H.** 2009. Karapınar'da Neler Oluyor? Mavi Gezegen, Sayı:14, 52-57 s, JMO yayını. Ankara.

Uluslararası Katıldığı Kurslarda Sunduğu Bildiriler

Akıllı, H. ve Ersöz, M. C. 2001. The application and the progress of the geothermal energy in Turkey, The Second Group Training Course on Geothermal Energy and Environmental Sciences, Kyushu University, Fukuoka, Japan.

Akılı, H. 2001. Seawater intrusion in coastal aquifers and a case study: Motooka in Fukuoka, 2001, JICA Course.

Uluslararası Katıldığı Kurslar

2001 yılında Japonya’da JICA (Japan International Cooperation Agency) tarafından düzenlenen “The Second Group Training Course on Geothermal Energy and Environmental Sciences” adlı kurs (4 ay).

