

Mahmudiye-Alpu (Eskişehir) Arasının
Jeotermal Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi

Lütfi Taşkiran

DOKTORA TEZİ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2014

Determination of Geothermal Energy Potential
Mahmudiye and Alpu
Region (Eskisehir)

Lutfi Taskiran

DOCTORAL DISSERTATION

Department of Geological Engineering

May-2014

Mahmudiye-Alpu (Eskişehir) Arasının Jeotermal Enerji Potansiyeli'nin Belirlenmesi

Lütfi Taşkiran

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalında
DOKTORA TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Galip Yüce

Mayıs-2014

ONAY

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora öğrencisi Lütü Taşkıran'ın DOKTORA tezi olarak hazırladığı “Mahmudiye-Alpu (Eskişehir) Arasının Jeotermal Enerji Potansiyelinin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Galip Yüce

İkinci Danışman :-

Doktora Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Galip YÜCE

Üye : Prof. Dr. Halim MUTLU

Üye : Doç.Dr. H. Tolga YALÇIN

Üye : Prof. Dr. Nilgün GÜLEÇ

Üye : Prof. Dr. Serdar BAYARI

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu tez çalışması kapsamında, Mahmudiye-Alpu (Eskişehir) ilçeleri arasındaki belirlenen çalışma alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal inceleme ve araştırması yapılarak, elde edilen bulgular ışığında çalışma alanının jeotermal enerji potansiyelini ortaya koymaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma alanı, Eskişehir İl merkezine 45 km uzaklıkta olup, yaklaşık olarak 400 kilometrekare'lik bir alanı kapsamaktadır.

Çalışma alanının yer aldığı bölgede temelde Triyas yaşlı metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bu birimleri kesen Paleosen yaşlı granitler ve tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Miyosen ve Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimler, en üstte Kuvaterner yaşlı alüvyon bulunmaktadır.

Sahadan alınan su örneklerinin kimyasal ve izotop analiz sonuçlarına göre, sular genellikle kalsiyum bikarbonatlı, aynı kökenli ve meteorik sulardan beslenmektedir. Silis jeotermometresi sonuçlarına göre çalışma sahasındaki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının 73-100 santigrad derece arasında değişebileceği belirlenmiştir. Ayrıca 10 adet örnekte asal gazlar ve helyum izotop analizleri yapılmış karbondioksit baskın ve metan-nitrojen baskın gazlar ile kabuksal helyum katkısının fazla olduğu belirlenmiştir.

Çalışma sahasında Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait olan kalkıştiller ve mermerler jeotermal sistemde rezervuar özelliği taşımaktadır. Jeotermal sistemin örtü kayasını ise Neojen yaşlı birimlerin kıltaşı, çamurtaşı ve tüflü seviyeleri oluşturmaktadır. Sahada ortaya çıkarılan jeotermal bulgular, jeotermal sistemin ısı kaynağı olarak, jeotermal gradyana ilaveten tektonizmanın fay zonu boyunca derinlerden taşıdığı ısı ve literatürde "Radioactive Heat Production (RHP)" olarak geçen, içerisindeki radyoaktif özellikte mineral içeriği yüksek granit ve granodiyorit türü kayaçlardaki bu minerallerden kaynaklanan radyoaktivitenin kondaktif yolla ısı oluşturması olabileceğini göstermektedir. Çalışma alanı önemli bir jeotermal potansiyele sahip olup yapılacak ayrıntılı araştırmalarla çevre önlemlerini de dikkate alarak geliştirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Eskişehir, jeotermal, hidrojeokimya, izotoplar

SUMMARY

In this study, geological, hydrogeological and hydrogeochemical investigations were performed to develop geothermal potential of the area between Alpu and Mahmudiye (Eskisehir). In the light of obtained data, the geothermal energy potential were evaluated. The study area is located in the 45 km southeast of Eskisehir and covers approximately 400 kilometers.

The basement rocks in the study area are Triassic aged metamorphic and ophiolitic rocks. Paleocene aged granites overlaid these units by cutting. These units are overlain with angular unconformity by the Miocene and Pliocene sedimentary and volcanic rocks. All the units are covered by Quaternary alluvial materials.

Water samples collected from the study area can be classified as calcium bicarbonate type. It is recharged by meteoric waters. According to silica geothermometers, reservoir temperature of thermal waters was calculated between 73 and 100 degrees Celcius. Also inert gas and helium isotopes analyses was performed on 10 samples.

Calcschists and marbles of Sivrihisar metamorfics in the study area have reservoir characteristic in geothermal system. Neogene aged clay, mudstone and tuffaceous units are the cap rock of geothermal system. Based on the obtained data from this study, heat source of the geothermal system are the radioactive radiation of uranium thorium and potassium minerals in the granite and granadiorite type rocks (known as RHP; radioactive heat production) which includes high content of radioactive minerals. The heat transfer from depth is realized by convection, particularly along the tectonic disconnectings. Therefore the study area has an important geothermal potential and further studies should be conducted with taking into environmental measures.

Keywords: Eskisehir, geothermal, hydrogeochemistry, isotopes

TEŞEKKÜR

Jeoloji Mühendisliği eğitimim boyunca, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarımda, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı temin eden, yalnızca bir hoca olarak değil gerek mesleki, gerekse sosyal hayatımda bir ağabey olarak da yanımda olan ve bu çalışmayı sonuçlandırmamı sağlayan danışmanım saygıdeğer hocam Prof. Dr. Galip YÜCE'ye çok teşekkür ederim.

Çalışma kapsamında yararlandığım verileri kullanmama izin veren Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tüm yönetici ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Gaz jeokimyası değerlendirmelerinde yardımcı ve yönlendirici olan INGV kıdemli araştırmacısı Francesco Italiano'ya teşekkür ederim.

Ayrıca tezin kabul edilebilir duruma gelmesinde emekleri olan değerli jüri üyelerine çok teşekkür ederim.

Yine bu tez çalışmasını bitirebilmem için hep yanımda ve destekçim olan aileme, arkadaşlarıma ve tüm sevdiklerime teşekkürü borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	1
1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Coğrafik Durum	1
1.2 Araştırma Materyal ve Yöntemleri	4
1.3 Önceki Çalışmalar	10
2. JEOLJİ.....	13
2.1 Stratigrafi	13
2.1.1 Mesozoyik	14
2.1.1.1 Sivrihisar Metamorfikleri	14
2.1.1.2 Ofiyolitler-Ultramafikler (Mof)	18
2.1.1.3 Karkın Formasyonu.....	19
2.1.2 Senozoyik.....	21
2.1.2.1 Tersiyer	21
2.1.2.2 Kuvaterner.....	25
2.2 Tektonizma.....	26
2.3 Jeolojik Evrim	30
3. HİDROJEOLJİ.....	32
3.1 Yüzeysuları	32
3.2 Kaynak ve kuyular	33
3.3 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	38
3.4 Yeraltısuyu Akım Yönünün Belirlenmesi.....	39

İÇİNDEKİLER (devam)

3.5 Yeraltısuyu Bilançosu	39
4. HİDROJEOKİMYA	40
4.1 Su Örnekleme Noktaları.....	40
4.1.1 Sıcak su örnekleme noktaları	41
4.1.2 Soğuk su örnekleme noktaları	42
4.1.3 Gaz Örnekleme Noktaları	43
4.2 Suların Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi	43
4.2.1 Suların hidrojeokimyasal diyagramlara göre değerlendirilmesi	44
4.2.2 Sularda ölçülen fizikokimyasal parametrelerin dağılım haritaları	49
4.2.3 Suların aşındırıcı-kabuklaştırıcı özellikleri	53
4.3 İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi.....	55
4.3.1 $\delta^{18}\text{O}$ - δD -Tritiyum analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	55
4.3.2 Suların dolaşım ve kökensele ilişkilerinin değerlendirilmesi	61
4.4 Sularda Yapılan Radon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	64
4.5 Hidrojeotermometre Uygulamaları	66
4.6 Sıcak Su-Soğuk Su Karışımı	69
4.7 Doygunluk İndisi Çalışmaları	71
4.8 Gaz Jeokimyası	73
5. ÇALIŞMA SAHASINDA JEOTERMAL ARAMA AMAÇLI UYGULANAN YÖNTEMLER	84
5.1 Jeofizik yöntemler.....	84
5.1.1 Rezistivite yöntemiyle yapılan çalışmalar.....	89
5.1.1.1 Şerefiye sahasında yapılan rezistivite çalışmaları	89
5.1.1.2 Mahmudiye sahasında yapılan rezistivite çalışmaları	95
5.1.1.3 Çifteler sahasında yapılan rezistivite çalışmaları	101
5.1.2 SP çalışmaları.....	105
5.2 Sondajlı Arama Yöntemleri	108
5.2.1 Şerefiye sahasında yapılan jeotermal araştırma sondajı.....	108
5.2.2 Mahmudiye sahasında yapılan jeotermal araştırma sondajı.....	114

İÇİNDEKİLER (devam)

6. JEOTERMAL KAVRAMSAL MODEL	119
6.1 Rezervuar kayalar.....	120
6.2 Örtü kayalar.....	120
6.3 Isıtıcı Unsurlar.....	120
7. BELİRLENEN JEOTERMAL POTANSİYEL VE YARARLANMA ÖNERİLERİ... 128	
7.1 İnceleme Alanındaki Mevcut Jeotermal Durum	128
7.2 Jeotermal Potansiyel	129
7.3 Belirlenen Jeotermal Potansiyelden Yararlanma Önerileri.....	133
SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	135
KAYNAKLAR DİZİNİ	142
ÖZGEÇMİŞ.....	151

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.	2
1.2 GEO-RTM radon cihazı ve aparatları	6
1.3 Suda çözülmüş gaz örnekleme malzemesi	7
2.1 Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler-Alpu sahası ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.	15
2.2. İnceleme alanındaki Sivrihisar Mavişist'lerinden bir görünüm.	16
2.3. Çalışma alanında yüzeylenen mermerler.	17
2.4. Çalışma alanındaki ofiyolitik kayalara ait listvenitlerden bir görünüm.	19
2.5. İnceleme alanında yüzeyleyen Karkın Formasyonu'na ait Metadetritik Üyesi.	20
2.6. Metadetritiklere bindirmeli olarak gelen Kireçtaşı Üyesi.	21
2.7. Orta-Üst Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu'nun tabanında bulunan Konglomera-Kumtaşı Üyesi.	23
2.8. Yumuşak bir topografya sergileyen Ilica Formasyonu'na ait sedimanter birimler.	25
2.9. Çalışma alanının ve civarının bölgesel jeolojisi ve tektonik haritası.	28
2.10. İnceleme alanındaki çizgisellikleri gösteren uydu görüntüsü.	29
3.1. İnceleme alanının yer aldığı Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasına ait hidrojeoloji haritası.	33
3.2. İnceleme alanında yerinde sıcaklık ve kondaktivite ölçümü yapılan örnek noktalarının dağılımı.	37
4. 1. Çalışma alanındaki su örnekleme noktalarının uydu görüntüsündeki yerleri.	40
4.2. Çalışma sahasından alınan EM-6 su numunesinin örneklendiği kuyudan bir görünüm.	42
4.3. Gaz örnekleme yapılan sıcak su noktaları.	43
4.4. Çalışma alanından alınan su örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramı.	47
4.5. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramı.	47
4.6. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Durov diyagramı.	48
4.7. Çalışma sahasında yerinde ölçümü yapılan suların sıcaklık dağılım haritası.	50
4.8. Çalışma sahasında yerinde ölçümü yapılan suların EC dağılım haritası.	51
4.9. Çalışma sahasında örneklenen suların SiO ₂ dağılım haritası.	52
4.10. Çalışma sahasında örneklenen suların Cl dağılım haritası.	52
4.11. Çalışma sahasındaki suların Langelier kalsiyum denge diyagramı.	54
4.12. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Ağustos-2011 (kurak) dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.	60
4.13. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Ocak-2012 (yağışlı) dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği.	60
4.14. İnceleme alanından alınan su örneklerinin EC-Trityum grafiği.	62
4.15. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Triyum- $\delta^{18}\text{O}$ grafiği.	63
4.16. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Triyum-Klorür grafiği.	63
4.17. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Giggenbach diyagramı.	68
4.18. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Cl-entalpi, silis-entalpi ve $\delta^{18}\text{O}$ -klorür dağılım grafikleri.	70
4.19. İnceleme alanından alınan su örneklerinin minerallere doygunluk grafiği.	72
4.20. Gaz örneklerinin alınması sırasında görülen gaz kabarcığı.	74

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.21. İnceleme alanından alınan örneklerin asal gaz içeriklerinden oluşturulan mantosal, atmosferik ve kabuksal helyum katkı oranları grafiği.....	77
4. 22. İnceleme alanından alınan gaz örneklerindeki CH ₄ 'e karşılık CO ₂ grafiği.	78
4. 23. İnceleme alanından alınan gaz örneklerindeki δ ¹³ C değerlerine karşılık helyum izotop oranları grafiği.....	79
4. 24. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait N ₂ -CO ₂ -CH ₄ üçgen diyagramı.	80
4.25. İnceleme alanından alınan gaz örneklerinin CO ₂ -N ₂ grafiği.	81
4.26. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CO ₂ -He-N ₂ üçgen diyagramı.	82
4.27. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CH ₄ -R/R _a grafiği.....	83
4. 28. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CO ₂ -R/R _a grafiği.....	83
5.1. Ruhsat sahaları ve jeofizik lokasyon haritası.	88
5.2. Şerefiye sahası jeofizik lokasyon haritası.	91
5.3. Şerefiye sahası A DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.....	92
5.4. Şerefiye sahası B DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.....	92
5.5. Şerefiye sahası en düşük özdirenç haritası.	93
5.6. Şerefiye sahası jeoelektrik temel haritası.	94
5.7. İsmetpaşa sahası jeofizik lokasyon haritası.....	95
5.8. İsmetpaşa sahası A DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.	97
5.9. İsmetpaşa sahası B DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.	97
5.10. İsmetpaşa sahası C DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.	98
5.11. İsmetpaşa sahası en düşük özdirenç haritası.	99
5.12. İsmetpaşa sahası jeoelektrik temel haritası.	100
5.13. Hayriye sahası jeofizik lokasyon haritası.....	101
5.14. Hayriye sahası A DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.	102
5.15. Hayriye sahası B DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.	103
5.16. Hayriye sahası en düşük özdirenç haritası.	104
5.17. Hayriye sahası jeoelektrik temel haritası.	104
5.18. Şerefiye sahası A SP profili SP grafiği.	106
5.19. Şerefiye sahası B SP profili SP grafiği.	106
5.20. İsmetpaşa sahası A SP profili SP grafiği.....	107
5.21. İsmetpaşa sahası B SP profili SP grafiği.....	107
5.22. EMŞ-2011/24 sondajından bir görünüm.	109
5.23. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye EMŞ-2011/24 jeotermal sondajı kuyu litoloji logu.....	110
5.24. EMŞ-2011/24 kuyusunda jeofizik kuyu içi log ölçü alınımından bir görünüm.	112
5.25. EMŞ-2011/24 kuyusunda kompresörle yapılan ilk yatay üretimden bir görünüm.	113
5.26. EMŞ-2011/24 kuyusunda kompresörle yapılan yatay üretimden bir görünüm.	113
5.27. EMİ-2012/4 sondajından bir görünüm.	115
5.28. Eskişehir-Mahmudiye-İsmetpaşa EMİ-2012/4 jeotermal sondajı kuyu litoloji logu.	116
5.29. EMİ-2012/4 kuyusunda kompresörle yapılan ilk yatay üretimden bir görünüm.	117
5.30. EMİ-2012/4 kuyusunda kompresörle yapılan yatay üretimden bir görünüm.	118
6.1. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye sahası jeotermal modeli (Ölçeksiz).	120

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.2. Jeotermal Akışkanlardaki He İzotop Bileşimleri.	122
6.3. Manto akışkanlarının kabuk boyunca kaçış mekanizmalarını gösteren şematik kesit	123
7. 1 Eskişehir ili jeotermal alanları.	128

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Çalışma sahasında yer alan akarsuların münferit akım ölçümleri.....	32
3.2. İnceleme alanında ölçümü yapılan noktaların koordinatları ve ölçülen değerler.....	35
3.3. Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasına ait yeraltısuyu bilançosu.....	39
4.1. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.....	45
4.2. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Ağustos-2011 (kurak dönem) çevresel ve radyojenik izotop analiz sonuçları.	59
4.3. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Ocak-2012 (yağışlı dönem) çevresel ve radyojenik izotop analiz sonuçları.	59
4.4. Çalışma alanından alınan bazı su örneklerindeki radon, uranyum ve toryum analiz sonuçları.....	64
4.5. Çalışma alanında açılan EMŞ-2011/24 ve EMİ-2012/4 jeotermal sondajlarında yapılan radon analiz sonuçları.	64
4.6. Çalışma sahasından alınan su örneklerine ait silis jeotermometre sonuçları.	68
4.7. İnceleme alanından alınan su örneklerindeki mineral doygunluk indeksi değerleri	71
4.8. Eskişehir ili genelinden alınan gaz örneklerinin analiz sonuçları.	74
4.9. İnceleme alanından alınan gaz örneklerinde hesaplanan helyum izotoplarının kökenleri ve oranları.	76
5.1. Jeofizik çalışma sahalarının köşe koordinatları.	86
5.2. EMŞ-2011/24 kuyusunda kesilen litolojik birimler.	109
5.3. EMİ-2012/4 kuyusunda kesilen litolojik birimler.	115
7.1. α katsayısının coğrafi bölgelere göre değerleri.	132
7.2. β katsayısının coğrafi bölgelere göre değerleri.	132

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklamalar</u>
B	Bor
Ca ⁺²	Kalsiyum
Cl ⁻	Klorür
D, ² H	Döteryum
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EC	Elektriksel iletkenlik
F ⁻	Florür
HCO ₃ ⁻	Bikarbonat
INGV	İtalya Jeofizik ve Volkanoloji Ulusal Enstitüsü
K ⁺	Potasyum
Km	kilometre
Li ⁺	Lityum
m	metre
mek/l	miliekivalen/litre
Mg ⁺²	Magnezyum
mg/l	miligram/litre
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Na ⁺	Sodyum
pH	H ⁺ iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması
ppm	milyonda bir
SMOW	Okyanus Suyu Standart Ortalaması
SO ₄ ⁻²	Sülfat
T, ³ H	Tritiyum
TU	Tritiyum Birimi
°C	Derece Santigrad
°K	Derece Kelvin
¹⁸ O	Oksijen-18 izotopu

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

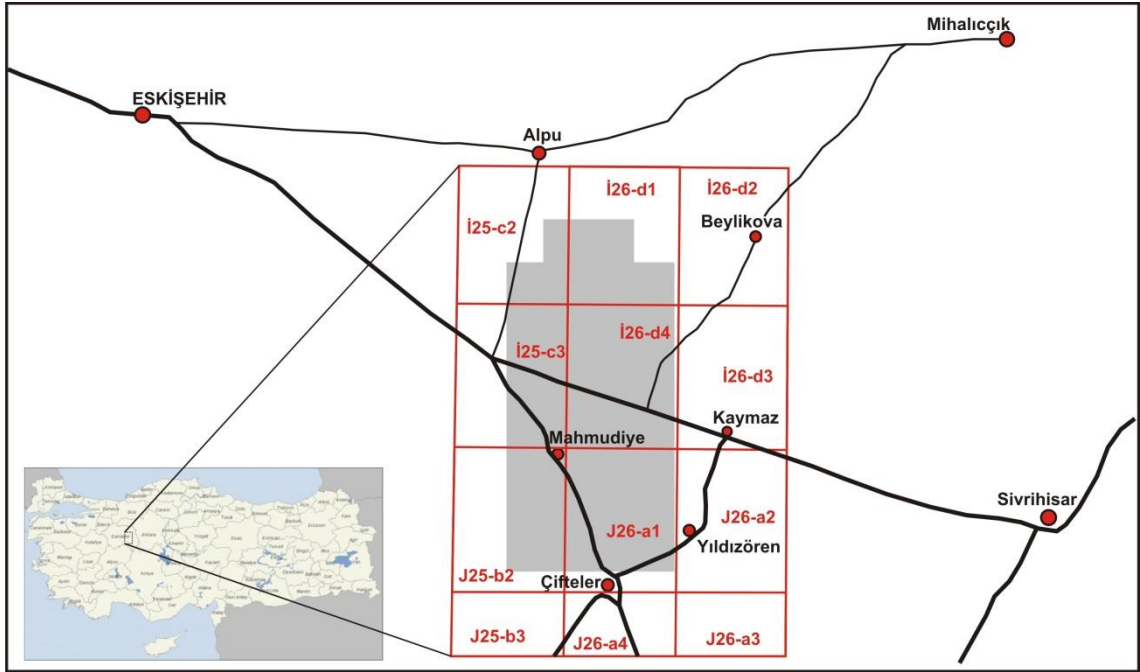
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmanın amacı, belirlenen çalışma alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan inceleme ve araştırması yapılarak, bu veriler ışığında söz konusu alanın jeotermal enerji potansiyelini ortaya koymaya yönelik değerlendirmeler yapılmasıdır. Bu çalışmada inceleme alanı, jeotermal araştırma boyutu ön planda tutularak her yönüyle (jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal açıdan) incelenmiş ve irdelenmiştir.

Bu doktora tez çalışmasında, önceki çalışmalardan da yararlanılarak ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'nün (M.T.A) 2011-2012 yıllarında yapılan "Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları" projesi kapsamında elde edilen jeolojik, jeofizik ve hidrojeokimyasal verilerin geliştirilip daha ayrıntılı değerlendirilmesi ile Eskişehir ilindeki en yüksek sıcaklığa ve debiye sahip yepyeni jeotermal sahalar olma özelliğini gösteren söz konusu alanların jeolojisi, hidrojeolojisi ve jeotermal modeli çalışılmış ve jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede, jeotermal enerjinin sadece termal turizm, kaplıca ve ılıca işletmeleri şeklinde değerlendirildiği Eskişehir ilinde, jeotermal enerjinin sera ısıtılması gibi daha ileri düzeyde ve optimum şekilde yenilenebilir enerjiden faydalanılmasına katkıda bulunulması da bu çalışmanın amaçlarından biridir.

1.1 Çalışma Alanının Yeri ve Coğrafik Durum

Çalışma alanı, Eskişehir İl merkezine 45 km uzaklıkta olup, Eskişehir ili Mahmudiye, Alpu ve Çifteler ilçeleri arasında kalan 1/25000 ölçekli İ25 c2, c3, İ26 d1, d4, J25 b2 ve J26 a1 paftalarında yer alan yaklaşık 400 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 1.1).

Çalışma alanı içerisinde Eskişehir-Ankara ve Eskişehir-Konya karayolları geçmektedir.



Şekil 1.1 Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Eskişehir ilinde başlıca tarım ürünleri şekerpancarı, arpa, buğday, baklagiller, patates, yulaf ve üzüm olup, soğan, elma, armut yetiştirilir. Yüksek kesimlerde hayvancılık yaygın olarak yapılır. Tarımsal üretimde ülke içindeki payı ise % 4-10 arasındadır (Dinçer ve Özaslan, 2004). Yöre ekonomisinin tarıma dayalı olması bölgede seracılık faaliyetlerinin önemini ve dolayısıyla sera ısıtması için gerekli jeotermal kaynaklara olan gereksinimi ortaya koymaktadır. Ayrıca sera ısıtmasında kullanılan jeotermal kaynaklar entegre tesislerle daha sonra kaplıca işletmesi içinde kullanılabilmekte, böylelikle bölgesel ekonomi ve iş olanaklarının gelişmesine imkan sağlanabilmektedir.

Eskişehir, İç Anadolu, Batı Karadeniz ve Akdeniz iklimlerinin etki alanı içinde olması nedeniyle, kendine özgü bir iklime sahiptir. Yıllık sıcaklık ortalaması, 10,9 °C dir. Aylık ortalamaya göre yılın en soğuk ayı, -2 °C ile Ocak ayıdır. Aralık ayının ortalarından, Şubat ayının ortalarına kadar çok soğuk günler ve don olayları yaşanır. -10 °C ile -25 °C arasında değişen sıcaklıklara rastlanabilir. Ancak Ocak ayı içinde 10 °C ile 15 °C' lik ılık günler de geçirilir. Mart ayında daha çok don olayına rastlanır. Baharın ikinci yarısında maksimum sıcaklık, 20 °C' nin üstüne çıkar.

Haziran, Temmuz ve Ağustos aylarında en sıcak günler yaşanır. En düşük sıcaklık 10 °C – 15 °C' dir. Temmuz ayının ikinci yarısı ile Ağustos ayının ilk yarısında en yüksek sıcaklık, 30 °C – 40 °C arasında değişir (Eskişehir Valiliği, 2012).

Burada kara iklimi özelliğini gösteren en belirgin olay, aynı zamanda gece ile gündüz sıcaklığında 12 °C ile 29 °C arasında büyük ısı farklarının olmasıdır.

Sonbahar mevsimi, sıcaklığın 20 °C' nin altına düşmesiyle, Ağustos ayının ikinci yarısından itibaren kendini belli eder. Eylül ayının sonunda sıcaklık, 0 °C 'ye kadar inebilir. En yüksek sıcaklık ise, yine Eylül ayı içinde, yazın devamı olarak 20 °C ile 30 °C arasında oynayabilir. Ekim ayında ortalama sıcaklık, 10 °C civarında seyreder.

Eskişehir'de yağışlar, kışın kar ve yağmur halinde görülür. Aralık ayından itibaren yağışlar daha çok kar şeklindedir. Nisan ayı sonundan itibaren havalar ısınmaya başlar.

Eskişehir'de bahar yağmurları, batı ve güneybatıdan gelerek, sağanak halinde düşer. 1971-2013 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarı 349,8 kg/m² 'dir (www.mgm.gov.tr).

Temmuz ve Ağustos aylarında, Akdeniz yaz kuraklığı özelliklerini gösterir. Ancak çok hafif olarak, Karadeniz yaz yağmurlarını da alır. Ekim ayında yağmur, kasım ayında sulu karın yağması, kışın başladığını gösterir.

Eskişehir'de rüzgarlar, kışın doğudan batıya eser. Baharın ilk aylarında kuzeybatı rüzgarları hakimdir. Baharın sonunda güneybatı, batı ve kuzeybatıdan gelen rüzgarlar görülür. Yaz mevsiminde bazen geçici olarak günlük şiddetli doğu rüzgarları da görülebilir. Sonbaharda ise, Eylül sonundan itibaren doğu, kuzeydoğu ve güneydoğu rüzgarları ortaya çıkar.

Bölgedeki önemli yükseltiler; Mahmudiye ilçe merkezinin 12 km kuzeybatısındaki Kırkkız dağı (1301 m) dir. İlçenin diğer önemli yükseltileri de 2 km doğusunda yer alan Çerkezçalı (1135 m) ve kuzeydoğusundaki Cönger dağı (1080 m) tepeleridir. Mahmudiye merkezinin toprakları, kuzeybatı ve güneydoğu doğrultusunda akan Seydisuyu'nun geniş vadisinin iki yanında ve aynı doğrultuda uzanan yumuşak eğimli bir arazi ile kenarlarında görülen çıplak yükseltilerden oluşur. Yukarı Sakarya ovası içerisinde kalan Mahmudiye ilçe toprakları dalgalı düzlükler halinde ovanın devamını teşkil eder. Bu geniş düzlük 800 ile 1000 metre arasında değişen bir yüksekliğe sahiptir. Mahmudiye ilçe merkezinin denizden yüksekliği ise 890 metredir.

Eskişehir'in güneyindeki platolarda, Çifteler Ovası'nda ve inceleme alanı olan bölgede orman yoktur fakat karakteristik step bitkileri vardır.

1.2 Araştırma Materyal ve Yöntemleri

Tez kapsamında yapılan çalışmalar ve kullanılan materyal ve yöntemler; saha, laboratuvar ve büro çalışmaları olmak üzere 3 aşamada gerçekleşmiştir.

Çalışma alanına ait jeolojik ve hidrojeolojik literatür verilerinin toplanmasıyla başlanan hazırlık çalışmalarından sonra;

Esas olarak jeolojik gözlem, ölçüm ve örnek alımına dayandırılan saha çalışmaları kapsamında, arazide çeşitli formasyonların sınırları, stratigrafik konumları, makroskobik özellikleri ve süreksizlikler araştırılmıştır. Jeoloji haritaları, önceden yapılmış olan jeoloji haritalarından da faydalanılarak (Gözler vd.(1997)) yeniden düzenlenmiş, havzanın hidrojeokimyasal yapısının aydınlatılmasına yönelik su kimyası amaçlı yerinde ölçümler ve örneklemeler yapılmıştır. Bu amaçla, 8 adet termal ve 2 adet soğuk su noktasından kurak dönemde (Ağustos-2011) hidrokimyasal ve 7 adet termal ile 1 adet soğuk su noktasından izotopik amaçlı yağışlı dönem (Ocak 2012) ve kurak dönem (Ağustos 2011) olmak üzere iki dönem numune örnekleme yapılmıştır. Bununla beraber N₂, CH₄, Ne, CO₂, H₂, Ar gazları ile helyum ve karbon izotopu analizleri yapılması için 10 adet numune alınmıştır. Alınan gaz örneklerinin üçü termal

sudaki gaz kabarcığından, diğerleri suda çözülmüş gazlardan alınmıştır. Gaz örneklerine ait analizler İtalya'da INGV laboratuvarında yapılmıştır.

Çalışma sahasından uranyum, toryum ve radon analizleri yapılması amacıyla 4 adet su örneği alınmıştır.

Ayrıca arazide su kaynaklarının fizikokimyasal özelliklerinden sıcaklık ve elektriksel iletkenlik değerleri YSI 556 MPS model Portable Multi-parametre cihazı kullanılarak yerinde ölçülmüştür.

Kimyasal analiz amaçlı örneklemelerde önce her örnek noktasından 500 ml polietilen şişelerle 2'şer adet su örneği alınmıştır. Bir örneğe, katyon analizleri (Ca, Mg, Na, K) ve diğer örnek ise anyon analizleri (NO₂, NO₃, F, SO₄ ve Cl) için asit eklemekten olduğu gibi alınmıştır. 1000 ml'lik polietilen şişelerle trityum analizleri için 250 ml'lik polietilen şişelerle ise $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ analizleri için örnek alınmıştır.

Su örneklerinde radon analizi, GEO-RTM taşınabilir tip radon-toron ölçüm cihazı (Şekil 1.2) ile radon (Rn-222) gaz konsantrasyonu, ölçüm haznesi içerisinde radonun bozunmasıyla meydana gelen, bozunma ürünleri aracılığıyla ölçülmüştür. Bozunmadan sonra artan Po-218 ve Po-214 atom çekirdekleri yarı iletken dedektörün yüzeyinde elektriksel alan kuvvetleriyle toplanırlar. Toplanan bu Po-218 ve Po-214 iyonları, haznedeki radon gaz konsantrasyonu ile orantılıdır. Po-218'in yarılanma ömrü 3,05 dakikadır ve tüm bozunmaların yaklaşık %50'si dedektör tarafından kaydedilir. Radon bozunma oranı ve Po-218 dedektör aktivitesi 5 yarılanma ömrü, yani yaklaşık 15 dakika sonunda dengeye ulaşır. Bu süre zarfında radon konsantrasyonunda minimum cevap zamanını tanımlar.



Şekil 1.2 GEO-RTM radon cihazı ve aparatları

Su örneklerinde çözülmüş gaz konstrasyonlarını belirlemek amacıyla ayrıntıları aşağıda belirtilen prosedürlere göre örnekler toplanmıştır. He, H₂, O₂, N₂, CH₄ gaz konsantrasyonları için örnekler özel cam kaplara alınmıştır. Suda çözülmüş gaz örnekleri için 240 ml cam kaplara 2'şer adet toplam çözülmüş gazlar ve He izotop oranları ve 1'er adet TDIC analizi için 100 ml cam kaba olmak üzere her örnek noktasından toplam 5 adet örnek alınmıştır.

Suda çözülmüş haldeki gazların örneklemede atmosferik kirlenmeden etkilenmemesi için gazlar dikkatlice örneklenmiştir. Çözülmüş gazlar için alınacak örnekte en ufak hava kabarcığının atmosferik karışımdan dolayı örneğe girmesine izin verilmeyecek şekilde alınmasına özen gösterilmiştir (Şekil 1.3). Su örnekleri 240 ml'lik, alüminyum çerçeveli lastik (septa) bir tıpanın su geçirmez olan parlak yüzeyi örnekle temas edecek şekilde, özel bir kerpeten (crimper) yardımıyla kapatılarak pyrex cam şişelere alınmıştır. Şişeler örnekleme sonrasında başaşağı ters konumda su içerisine batık şekilde yerleştirilerek örneklerin hava ile teması minimuma indirilmiş ve böylelikle lastik tıpada oluşabilecek kaçaqlardan sakınılmıştır.



Şekil 1.3 Suda çözünmüş gaz örnekleme malzemesi

Analizleri INGV’de seri bağlı FID (Flame Ionization Detector) ve TCD (Thermal Conductivity Detector) detektörlerine sahip, sırasıyla N₂ ve H₂’nin taşıyıcı gaz olarak kullanıldığı gaz kromatografında yapılmıştır. Düşük geçirgenlikli özel cam tüplere alınan gaz örneklerinde ³He/⁴He ve ⁴He/²⁰Ne oranları çift kollektörlü Micromass 5400 soygaz kütle spektrometresi ile ölçülmüştür. Soygazın saflaştırılması standart prosedürler izlenerek yapılmıştır (Favara vd., 2002). ³He/⁴He oranlarının atmosferik standart gaza göre kalibrasyonu yapılarak, sıcak suların R/Ra değerleri belirlenecektir. Genelde He atmosferdeki havada ve toprak içerisindeki değeri sabittir. Örnekler Finnigian Delta Plus kütle spektrometresi kullanılarak ölçülecek ve sonuçlar δ‰’e karşı V-PDP olarak ifade edilecektir. ¹³C/¹²C için standart sapma oranı ‰ ±0,2 olacaktır. Micromass soygaz kütle spektrometresi, iki aşamalı arıtma ve aktif karbon kapanlı soğutucu pompadan ibarettir. Gaz örneği ilk aşama arıtmadan geçirilirken, H₂O, CO₂, N₂, O₂, H₂, hidrokarbon ve sülfür benzeri çoğu aktif gazlar ve Ar, Kr ve Xe gibi ağır soy gazlar uzaklaştırılır. Örnek buradan itibaren Titanyum sünger fırını, sıvı nitrojenli aktif karbon kapanı ve Ti-Zr gaz giderici içeren ikinci aşama arıtma-uzaklaştırmaya tabi tutularak aktif gazlar tamamen temizlenir ve geride kalan saf gaz 15 °K sıcaklıkta

soğutma pompası içerisinde kapanlanır. Daha sonra, sıcaklık sırasıyla 34 °K ve 70 °K dikkatli şekilde çıkarılarak helyum ve neon gazları uzaklaştırılarak kütle spektrometresinde izotopik oranlar okunur. Hava standart kalibrasyon işlemleri için rutin olarak kullanılır. $^3\text{He}/^4\text{He}$ and $^4\text{He}/^{20}\text{Ne}$ oranlarındaki hata payları sırasıyla % 2 ve % 5'den az olacak şekildedir.

Cam şişelerden çekilip alınan olan çözünmüş gazlar aynı zamanda helyum ve karbon izotop kompozisyonu için de analiz edilmiştir. Helyum izotop analizleri, INGV'deki Asal Gaz Laboratuvarında gaz kromatografisi için kullanılan prosedürler takip edilerek yapılmıştır (Sano ve Wakita, 1988; Hilton, 1996; Italiano vd., 2001). Saflaştırılmış helyum fraksiyonunun izotopik analizi anında ^3He ve ^4He iyon ışınlarını saptayan, bundan dolayı da $^3\text{He}/^4\text{He}$ hata payı düşük olan statik vakuma sahip kütle spektrometresi (GVI5400TFT) ile ölçülmüştür. Çözünmüş tüm inorganik karbon türlerinin izotopik kompozisyonu (TDIC), CO_2 'in fiziksel ve kimyasal olarak tutunmasına bağlı bir prosedür izlenerek kütle spektrometresinde belirlenmiştir. Soygazın saflaştırılmasında standart prosedürler izlenmiştir (Favara vd. 2002). Örnekler Finnigan Delta Plus kütle spektrometresi kullanılarak ölçülmüş ve sonuçlar ‰'e karşı V-PDP olarak ifade edilmiştir. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ için standart sapma oranı ‰ $\pm 0,2$ 'dir.

Jeotermal anomalilerin belirlenmesine yönelik çalışmalar kapsamında da jeofizik elektrik yöntemlerden rezistivite ve doğal potansiyel (SP) yöntemi kullanılmıştır.

Jeofizik jeoelektrik arazi uygulamaları kapsamında yapılan özdirenç-Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçüleri, Schlumberger elektrot dizilimi ile alınmıştır. Uygulamalar esnasında, DES lokasyonları arasındaki mesafeler 50-1.000 m arasında değişmiştir.

Özdirenç-Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmalarında araştırma derinliği (AB/2), arazideki koşulların izin verdiği ve gerektiği ölçüde (600-1.500 m) olmuştur.

Jeofizik-jeoelektrik yöntemlerle yapılan araştırmalarda, özdirenç ölçüleri M.T.A. yapımı DR (Derin Özdirenç) cihazı ile alınmıştır. Bu cihaz doğal gerilimi ± 500 mV kapasitesinde dengeleme hassasiyetine sahiptir. Alıcı cihazın duyarlılığı 0,01 mV olup,

iç güç kaynağı 2 adet 9 V luk pille sağlanmaktadır. Jeneratör-variak-redresör (doğrultmaç) verici sistemi oluşturmaktadır. Akım kaynağı olarak 5,5 KVA gücünde 50 Hz frekanslı 200-235 ACV çıkışlı motor jeneratörden yararlanılmıştır. Jeneratörden alınan alternatif akım (AC) variak yardımı ile maksimum 1.000 DCV a kadar yere uygulanıp, bir doğrultmaç ile doğru akıma (DC) çevrilmektedir.

Arazi uygulamalarında; akım elektrotu olarak paslanmaz çelik nikel-kromdan yapılmış çubuk elektrotlar, potansiyel elektrotu olarak ise bakır sülfat içerikli polarize olmayan elektrotlar kullanılmıştır. Ölçümler için çift izoleli kablolar, haberleşme için Aselsan el telsizleri kullanılmıştır. DES noktalarının kotu, koordinatları ve nokta alımındaki ilerlemeler, Magellan explorist 600 markalı GPS aleti ile ölçülmüştür.

Laboratuvar çalışmalarını, hidrojeokimyasal, izotopik ve gaz ölçümü analizleri oluşturmaktadır. Bu kapsamda alınan su numunelerinde majör anyon ve katyon analizleri M.T.A. Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında, ICP (Inductively Coupled Plasma Spectrometer), SM 3120 B, SM 4110 B, volumetri ve iyon kromatografi yöntemleriyle yaptırılmış, izotopik ölçümleri ise (^{18}O , ^2H , ^3H), D.S.İ. Teknik Araştırma Kalite ve Kontrol Dairesi (T.A.K.K.) İzotop Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. ^{18}O - ^2H değerleri IAEA standartlarında ve 0,23-1,5 aralığında belirsizlik ile ölçülmüştür. ^3H değerleri ise yine IAEA standartlarında 0,60-0,64 belirsizlik aralığında ölçülmüştür.

Büro çalışmaları kapsamında ise, arazi çalışmalarından elde edilen veriler çeşitli bilgisayar programları yardımıyla (Corel Draw 14, Office 2010, Aqqa, Grahpher 8, Surfer 9, PhreeqC) oluşturulan çizim, grafik ve diyagramlarla değerlendirilmiş ve çalışmanın sonuçları ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada, M.T.A. Genel Müdürlüğü'nün 2011.33.13.06.5 ve 2012.33.13.06 özel kod no.lu "Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları" projeleri kapsamında elde edilen su kimyası, jeoloji, jeofizik ve sondaj verilerinden yararlanılmıştır.

1.3 Önceki Çalışmalar

Çalışma alanında ve çevresinde önceki yıllarda değişik amaçlı çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Özyazıcı (1962), Eskişehir ve yakın civarının jeofizik rezistivite yöntemiyle jeotermik etüt çalışmalarını yapmıştır.

Erden (1971), Eskişehir ili çevresi ve Mihalıççık yöresinin jeofizik gravite çalışmalarını yapmış ve yapılan çalışmalar sonucunda, bölgenin yapısal durumunu ortaya çıkarmış, eksen yükselimi ve alçalımı gösteren bu yapıların genellikle BKB-DGD doğrultusunda olduklarını saptamıştır. Ayrıca, Eskişehir ve yöresinde yapılan gravite çalışmasında bölgede KB-GD doğrultulu, Eskişehir içinden geçen bir fayın varlığını ortaya koymuştur.

Erişen (1974), Sivrihisar-Hamamkarahisar kaplıcasında yaptığı çalışmalarda, yöredeki sıcak suların akifer kayacının metamorfik şistler ve içindeki mermer seviyeleri olduğunu belirtmiştir.

Gürsoy (1975), Eskişehir ve çevresinin jeofizik gravite çalışmaları sonucu saptanan faylarla sıcak su kaynakları arasında ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Koçak (1975), Mihallıççık-Yarıkcı kaplıcasında yaptığı hidrojeolojik etüt çalışmasında yöredeki sıcak suların ofiyolitler ile metamorfik şistler arasındaki faylar aracılığı ile yüzeye çıktığını ileri sürmüştür.

Demirören (1976), Eskişehir ilinde jeofizik rezistivite yöntemiyle etüt çalışması yaparak gömülü tektonik hatları ortaya koymaya çalışmıştır.

Mumcu (1976), Yukarı Sakarya havzası 12-11 alt havzası içerisinde kalan Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler civarındaki köylerde jeofizik rezistivite etütleri yapmış, ayrıca söz konusu çalışmada etüt sahası için yıllık emniyetli verimi $18.75 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplamıştır.

Keçik (1978), Yukarı Sakarya havzası için toplam yıllık emniyetli işletme rezervini $45 \text{ hm}^3/\text{yıl}$ olarak hesaplamıştır.

Ölmez (1985), Eskişehir şehir merkezi ve yakın çevresinde sıcak su kaynaklarının etüdünü yapmış ve Eskişehir yöresindeki sıcak su kaynaklarının Neojen sonlarında oluşan fay sistemleriyle yüzeye ulaştığını belirtmiştir. Ayrıca yöredeki sıcak suların “Mineralce fakir sıcak su” sınıfına girdiğini belirlemiştir.

Şentürk (1991), Eskişehir yöresindeki sıcak su kuyuları ve sıcak su kaynaklarının koruma alanları sınırlarını ve yapılması gereken uygulamaları belirlemiştir.

Güncüoğlu (1996), bölgenin güneydoğusunda yer alan Günyüzü havzasında genellikle bölgenin litolojik, tektonik ve magmatik özelliklerini tanımlamaya yönelik çalışmalar yapmıştır.

Gözler ve diğ. (1997), çalışma alanı ve geniş civarının 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasını yapmış ve bölgedeki jeolojiyi ayrıntılı olarak işleyip denetirmeler yapmıştır. Daha önceki araştırmacılar tarafından Siluriyen-Devoniyen yaşı verilen birimin Triyas yaşlı Karkın Formasyonu olduğunu belirtmiş ve bölgede yer alan ofiyolitlerin yerleşme yaşının Triyas sonrası Eosen öncesi yaş aralığında olduğunu ortaya koymuşlardır. Ayrıca yörede volkanizmanın D-B doğrultulu büyük bindirme zonları boyunca görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Güner ve Güner (2002), Eskişehir-Çifteler-Sakarbaşı kaynaklarının ve civarının hidrojeolojik etüdünü yapmış ve tüm suların kalsiyum bikarbonatlı sular olduğunu ve yapılan doygunluk analizi çalışmalarına göre incelenen suların genel olarak kalsit, dolomit ve aragonit minerallerine doygun; halit, jips, anhidrit ve manyezit minerallerine ise doygun olmadığı sonucuna varmışlardır.

Ocakoğlu (2004), Eskişehir bölgesinin Neotektonik dönemdeki Tektono-stratigrafik ve sedimentolojik gelişimi üzerine çalışmalar yapmıştır.

Selçuk ve Gökten (2004), Mahmudiye-Çifteler havzasının, Yürükaracaören'den Emirdağ'a kadar kuzeybatı-güneydoğu doğrultusunda uzanan yaklaşık 85 km uzunluğunda ve ortalama 25 km genişliğinde Kuvaterner yaşlı çökellerle kaplı sığ bir yarı graben görünümünde olduğunu, bu çöküntü alanının batı kenarları oldukça düzgün şekilde uzanıp Mesozoyik yaşlı mermer-şist ardalanması,

ofiyolitli melanj ve Lütésiyen yaşlı sığ denizel kireçtaşlarından meydana gelen bir temel ile sınırlandırılmakta olduğunu belirtmiştir.

Şahin ve diğ. (2004), Kaymaz Plütönu'nu jeokimyasal açıdan inceleyerek radyoaktivite yönünden zengin olduğunu belirtmişlerdir.

Olgun (2007), Yukarı Sakarya havzasında revize hidrojeolojik bütçe hesaplamaları yaparak 1986-2004 yılları arasında havzada 126 hm³/yıl boşalım olduğunu hesaplamış ve alt havzalara suni beslenim olduğunu belirlemiştir.

Yüce ve diğerleri (2007), Eskişehir ve çevresindeki su kaynaklarındaki doğal radyoaktivitenin jeolojik yapı ile ilişkisini incelemiş ve magmatik (granit, gronodiyorit) ve metamorfik (mermerler) kayaçlar ile ilişkili olan sularda yüksek gross alfa ve gross beta değerlerine rastlanıldığını ortaya koymuşlardır.

Demiroğlu (2009), Eskişehir, Günyüzü ve Sivrihisar dolaylarının hidrojeolojisi ve hidrojeokimyasını ayrıntılı şekilde incelemiştir.

Tün ve diğerleri (2010), Eskişehir fay zonu ile ilgili yeni sismik yorumlamalar yapmışlardır.

Demirbilek ve Mutlu (2011), Günyüzü, Sivrihisar ve Kaymaz granitoidlerinin mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiş ve Günyüzü ve Sivrihisar intrüzif kütleleri etalüminyumlu kalk-alkalen karakterli I-Tipi, Kaymaz intrüzif kütlesi ise metalüminyumlu alkalen karakterli I-Tipi kayaçlarından oluştuğunu belirlemişlerdir.

Yüce ve Gasparon (2013), Eskişehir ilindeki su kaynaklarında radon konsantrasyonlarını ölçerek risk oluşturabilecek bölgeleri belirlemişler ve buradaki yüksek radon değerlerini bölgedeki jeolojik oluşumlarla ilişkilendirmişlerdir.

BÖLÜM 2

JEOLOJİ

Tez çalışması kapsamında Eskişehir, Mahmudiye, Çifteler ve Alpu civarında yer alan 400 km²'lik bir alanın 1/25.000 ölçekli jeotermal jeoloji haritası Gözler v.d.,(1997)'ye ait önceki çalışmalardan da yararlanılarak yapılmıştır. Sahanın çalışmalar sonucunda hazırlanan genelleştirilmiş dikme kesiti Şekil 2.1'de, jeoloji haritası ise Ek-1'de verilmiştir.

2.1 Stratigrafi

Çalışma alanının yer aldığı bölgede temelde Triyas yaşlı metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bu birimleri kesen Paleosen yaşlı granitler ve tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Miyosen ve Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimler ile en genç birimler olarak Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. Temelde yer alan Alt Triyas yaşlı Sivrihisar Metamorfikleri birimi kendi içerisinde litostratigrafik olarak Sivrihisar Mavişistleri ve Sivrihisar Mermerleri olarak ayrılmıştır. Birbirlerine yanal ve düşey olarak geçiş gösteren bu birimler ofiyolit napı altında tektonik pencere olarak yüzeyleyen, güneye devrik antiklinalin kuzey kanadında yüksek basınç mineral parajenezlerinin geliştiği, güneye doğru glokofanitik yeşilşistlere geçen, aralarında kalkışist ve mermer bantları içeren ve üste doğru mermerlere geçiş gösteren metamorfik birimlerdir (Gözler v.d., 1997). Bu metamorfikler üzerine tektonik olarak uyumsuzlukla serpantinit, peridotit ve listvenit türü ofiyolitik kayaçlar gelmektedir. Bu birimlerin üzerine de uyumsuzlukla Orta-Üst Triyas yaşlı metamorfik ve kristalize kireçtaşı birimi gelmektedir. Temel birimleri Paleosen yaşlı Topkaya Granodiyoriti kesmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde Tersiyer yaşlı birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bu birimler; Orta-Üst Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimlerden oluşan, Porsuk Formasyonu ile Pliyosen yaşlı sedimanter birimleri içeren Ilica Formasyonu'dur. Bütün bu birimlerin üzerine ise Kuvaterner yaşlı alüvyon

uyumsuz olarak gelmektedir (Şekil 2.1). Çalışma alanında yer alan birimlerin isimlendirmeleri Gözler ve diğ. (1997)'nden revize edilerek alınmıştır.

2.1.1 Mesozoyik

Sivrihisar Metamorfikleri olarak isimlendirilen ve genelde mavi şistler (Sivrihisar Mavişistleri) ile koyu gri, siyah renkli dolomitik mermerlerden (Sivrihisar Mermerleri) meydana gelen Mesozoyik yaşlı metamorfik birimler pelitik, bazik ve karbonatlı kayaların başkalaşıma uğramasıyla oluşmuşlardır.

Sivrihisar Metamorfikleri üzerine tektonik uyumsuzlukla Alt Triyas yaşlı ofiyolitik kayalar gelmektedir. Ofiyolitik kayaların üzerine ise Orta-Üst Triyas yaşlı Karkın Formasyonu'na ait Metadetritik üyesi ve bu biriminde üzerine yine tektonik uyumsuzlukla Kireçtaşı üyesi gelmektedir.

2.1.1.1 Sivrihisar Metamorfikleri

Sivrihisar'dan itibaren KB yönünde 80 km uzunluğunda, 3-8 km genişliğinde bir kuşak şeklinde uzanan, tabanı görünmeyen, ofiyolit napı altında tektonik pencere konumunda yüzeyleyen, güneye devrik antiklinalin kuzey kanadında yüksek basınç mineral parajenezlerinin geliştiği, güneye doğru glokofanitik yeşilşistlere geçen, aralarında kalkşist ve mermer bantları içeren, üste doğru mermerlere geçiş gösteren bu metamorfikler, pelitik, bazik ve karbonatlı kayaların metamorfizmaya uğraması sonucu oluşmuşlardır. Çalışma sahasında geniş bir yayılım alanı sunan şist (Tş) ve mermerler (Tmr) ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

Tabanı görülmeyen, çok kıvrımlı bir yapı sunan bu metamorfiklerin kalınlığı hakkında bir rakam vermek güç olup tahmini kalınlığı 1.500 m civarındadır.

M E S O Z O Y İ K		S E N O Z O Y İ K					ÜST SİSTEM
T R İ Y A S		T E R S İ Y E R					SİSTEM
A L T		PALEOSEN	M İ Y O S E N		PLİYOSEN	SERİ	
ORTA-ÜST		ORTA		ÜST	FORMASYON	SİMGE	
Karkın		Porsuk		Ilica			
Sivrihisar Metamorfikleri		Topkaya Granodiyoriti		Üm1	Üm2	Ümk	
Tş	Tmr	Mof	Tmt	Tk	γ	Qal	
							LİTOLOJİ
							AÇIKLAMALAR
							Alüvyon; az tutturulmuş kil, silt, kum, çakıl
							Konglomera, kumtaşı, marn, killi, kumlu, tüflü kireçtaşı
							Beyaz, gri, sarımsı bej renkli silisifiye olmuş killi, kireçtaşı
							Yeşil, sarı, alaca renklerde marn, kiltası, çamurtaşı, kireçtaşı bantlı Beyaz, alacalı renkli tuf, aglomera, piroklastik malzeme
							Konglomera, kumtaşı
							Granit, granodiyorit
							Krem, bej, açık gri renkli kristalize kireçtaşı
							Metamorfite, metakonglomera, metakumtaşı, fillit
							Listvenit, peridotit, serpantin
							Beyaz, koyu gri, siyah, renkli az altere, dolomitik mermer
							Mavi, yeşil, gri renklerde kuvarsit ve mermer arabantlı kalkşıst, muskovit şist, glokofan şist

Şekil 2.1 Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler-Alpu sahası ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Gözler ve diğ., 1997'den değiştirilerek alınmıştır).

Sivrihisar Mavişistleri (Tş)

Sivrihisar metamorfiklerinin peridotitler ile olan kuzeydeki tektonik hat boyunca geniş bir mavişist kuşağı oluşmuştur. Mavişist kuşağı içinde yer alan kayaçların ortak özelliği granat, lavsonit, glokofan, sodik piroksen, fenjitik mika ve piyemontit minerallerinin birinin veya birkaçının birlikte görülmesidir (Gözler vd., 1997). Yine aynı araştırmacılara göre Şekil 2.2’de yakın görünümü verilen birimin yaşı Alt Triyas olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 2.2. İnceleme alanındaki Sivrihisar Mavişist’lerinden bir görünüm (Balçıkhisar köyü).

Sivrihisar Mermerleri (Tmr)

Sivrihisar Metamorfikleri'nin en üst seviyelerini oluşturan, beyaz, koyu gri, siyah renkli, çürük yumurta kokulu, dolomitik olan mermerlere çalışma alanında Doğanca köyü kuzeyinde, Balçıkhisar köyü batısında ve güneyinde, Küçükçakal Tepe, İncilli Tepe, Topkaya köyü çevresinde, Uyuzhamam batısında ve Mahmudiye ilçesi doğusunda görülmektedir (Ek-1).

Gözler ve diğ. (1997) tarafından adlandırılan birim çok çatlaklı ve kırıklı yapıda olup yer yer güneye devrik izoklinal kıvrımlara rastlamak mümkündür (Şekil 2.3). Birimin çökel yaşı Gözler vd.,'ne (1997) göre Alt Triyas, metamorfizma yaşı ise Üst Triyas sonrası, Erken Jura öncesi olarak değerlendirilmiştir. Çalışma alanı içerisindeki kalınlığı net olarak belirlenememiştir.



Şekil 2.3. Çalışma alanında yüzeylenen mermerler (Şerefiye köyü güneyi, Bakış GD'ya).

2.1.1.2 Ofiyolitler-Ultramafikler (Mof)

Yeşil, koyu yeşil renkli kromit bantları ve kromit taneleri ihtiva eden dünit, sütlü kahverengi dış görünüşleriyle ve güneş ışığında parlak piroksen mineralleriyle belirgin harzburjit, piroksenit bantlı görünüşte gabrolar ile izotropik gabrolardan oluşmuş, yer yer serpantinleşmiş kısımların görüldüğü okyanus kabuğu malzemesini teşkil eden ultramafik toplulukların birkaçını bir arada görmek mümkündür.

Ultramafikler içinde yer alan serpantinitler çoğunlukla yeşil renkte ve tektonik olayların etkin olduğu yerlerde görülürler.

Peridotitler, yeşil, açık yeşil renkli, kromit taneleri ve bantlar ihtiva eden dünitler ile dış görünüşleri sütlü kahverengi, parlak piroksenler içeren harzburjit ve verlitlerden oluşmaktadır. Verlit oranı çok az olup peridotitlerin % 90'a yakını dünit ve harzburjitler oluştururlar.

Listvenitler, silisleşmiş, karbonatlaşmış ve ultrabazik kayalar özellikle büyük tektonik hatlara tekabül eden yerlerde oluşmuşlardır. Sarımsı kahverengi, kirli sarı renklidir (Şekil 2.4).

Ofiyolitler için iki yaş söz konusudur. Bunlardan biri oluşum yaşı, diğeri de yerleşim yaşıdır. Ofiyolitit napı altındaki metamorfik birimlerden yaş bulgusu Orta-Üst Triyas'tır. Bu verilere göre ofiyolitinin yerleşim yaşı Triyas sonu-Erken Jura öncesi denilebilir. Oluşum yaşı yorumsal olarak Karakaya denizinin açılmaya başladığı zamanla eş yaşlı olmalıdır. Dolayısıyla Alt Triyas denilebilir.



Şekil 2.4. Çalışma alanındaki ofiyolitik kayaçlara ait listvenitlerden bir görünüm (Kocabayır Tepe doğusu).

2.1.1.3 Karkın Formasyonu

Metadetritik Üyesi (Tmt)

Gri, açık gri, siyah, yeşil, haki yeşil metakonglomera, metaKumtaşıve fillitlerden oluşan Alt Karbonifer-Üst Permiyen yaşlı kireçtaşı blokları ihtiva eden metadetritikler ve Orta-Üst Triyas yaşlı veren yarı kristalize kireçtaşları ile son bulan birim Balçıkhisar güneydoğusunda Karabayır Tepe’de ve Uyuzhamam kuzeyinde gözlenmektedir (Ek-1, Şekil 2.5). Birimin görüldüğü yerlerde yoğun tektonik olaylar sonucu birimin üyeleri karışmış olarak görüldüklerinden, formasyonun kalınlığı belirlenememiştir.



Şekil 2.5. İnceleme alanında yüzeyleyen Karkın Formasyonu'na ait Metadetritik Üyesi (Balçıkhisar köyü GD'su).

Kireçtaşı Üyesi (Tk)

Açık krem, bej, açık gri renklerde, yer yer parçalanmış bloklar halinde görülmeleri nedeniyle kristalize olmuş kireçtaşı bloklarından ayrılmaları zor olan bu kireçtaşlarının çoğunda fosil bulunmamıştır (Şekil 2.6). Yapılan paleontolojik incelemelerde birim içinde Orta-Üst Triyas yaşları veren mikrofosiller bulunmuştur (Gözler ve diğ., 1997).



Şekil 2.6. Metadetritiklere bindirmeli olarak gelen Kireçtaşı Üyesi (Karabayır Tepe güneyi, Bakış D'ya).

2.1.2 Senozoyik

2.1.2.1 Tersiyer

Çalışma alanı ve civarında Paleosen'de granitik, Miyosen ve Pliyosen'de ise volkanik ve sedimanter birimler yüzeylemektedir (Ek-1).

Topkaya Granodiyoriti (γ)

Kenarlarda porfiri dokulu, orta yerlerinde taneli dokulu olan granit ve granodiyorit bileşimli plüton D-B istikametinde uzanmaktadır. Küresel ayrışma göstermektedir. İ26-d1 paftasında Topkaya civarında yayılım gösterir (Ek-1). Bu kayalarda alterasyon oldukça fazla izlenmektedir. Plütonun kenar zonu boyunca porfiri doku hakim olup bu kısımlarda 2-5 cm arasında değişen aplit damarları gelişmiştir. Açık gri, beyazımsı gri renkli plütonun rengi iç kısımlara doğru açılmaktadır. Plütonun içinde iri, yuvarlak ve oval şekilli amfibol ve biyotitçe zengin

kısımlar görülmektedir. Topkaya Granodiyoriti Üst Kretase sonrası Eosen öncesi bölgedeki sıkışma sonucu gelişen kıta kabuğu kalınlaşmasına bağlı magmatik olaylar olarak değerlendirilmiştir (Gözler vd., 1997). İnceleme alanında yer alan granitler kendisinden daha yaşlı olan birimleri kesmişlerdir. Özellikle metamorfik kayalarla olan dokanaklarında skarn zonları oluşturmuşlardır. Çelmen 2008'e göre, söz konusu alandaki granitler alkali ve kalkalkalen karaktere sahiptir.

Porsuk Formasyonu

Çalışma alanında konglomera, Kumtaşı, tüf, tüfit, marn, kil ve kireçtaşlarından oluşan birime, yaklaşık D-B doğrultusunda uzanan Porsuk Çayı boyunca görüldüğünden bu ad verilmiştir. Kendisinden yaşlı metamorfik, ultramafik, granit birimleri üzerine uyumsuzlukla gelir. Formasyon içerisinde yaş verebilecek herhangi bir fosile rastlanılmamıştır. Yapılan stratigrafik değerlendirmelere göre birime Orta-Üst Miyosen yaşı verilmiştir (Gözler vd., 1997). Üst Miyosen çökellerinin ortalama kalınlığı 100-300 m'dir (Ölmez, 1985).

Konglomera-Kumtaşı Üyesi (Üm1)

Çalışma alanında çok geniş yayılıma sahiptir (Ek-1).

Kırmızı, kahverengi, boz, sarımsı boz, gri, yeşilimsi gri renklerde görülürler. Çoğunlukla üzerine geldikleri kayaların cinsi ve rengi ile ilgili olarak değişen renkler görülürler. Eosen konglomeralarına yakın yerlerde çökeldiğinde birimler genellikle kırmızımsı kahverengi, granit ve karbonatlı kayalara yakın yerlerde çökeldiğinde ise renk genellikle boz ve sarımsı boz renktedir (Şekil 2.7). Ultramafik ve Sivrihisar Mavişist Üyesi'ne yakın yerlerde ise gri ve yeşilimsi gri renklerde görülürler. Genellikle irili ufaklı taneler hep bir arada görülürler. Tanelerde yuvarlaklaşma genellikle zayıftır. Yer yer iyi yuvarlanmış çakılları da görmek mümkündür.

Konglomeraların, çimentosu ultramafiklere yakın yerlerde genellikle dolomittir. Listvenitleşmenin yoğun olduğu yerlerin yakınındaki konglomeralarda çimento kalsedon ve limonit, metamorfik ve karbonatlara yakın yerlerdeki konglomeralarda ise çimento CaCO_3 olarak görülür. Kumtaşları tane açısından konglomeralardan farklılık göstermemesine rağmen çimento açısından farklılık gösterir. Kumtaşlarında çimento genellikle limonit, kil ve CaCO_3 olarak görülür.



Şekil 2.7. Orta-Üst Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu'nun tabanında bulunan Konglomera-Kumtaşı Üyesi (Doğanca köyü).

Tüf Üyesi (Ümt)

Beyaz, alacalı, pembemsi ve tuğla kırmızısı renklerde tüf ile ince piroklastik malzemelerden oluşmuştur. Çalışma alanında İ26-d1 paftasında Kuşdoğan Tepe'de görülmektedir (Ek-1). Özellikle Eskişehir'in güneyinde metamorfik-ofiyolit bindirmelerindeki zayıf zonlardan çıkan andezitlere ait andezitik tüflerden oluşmaktadır (Gözler vd., 1997).

Marn ve Killer (Üm2)

Şerefiye köyü kuzeyinde, mahmudiye kuzeyinde ve Çifteler ilçesi kuzeybatısında geniş alanlar kaplarlar (Ek-1).

Genellikle yeşil, sarı, boz, yer yer alacalı renklerde olan bu birimler havzanın en derin kesiminde görülürler. Marn ve killer arasında yer yer çok ince bantlar halinde kireçtaşlarını görmek mümkündür. Porsuk Formasyonu'nun en kalın birimi olup 150 m'ye kadar ulaşmaktadır.

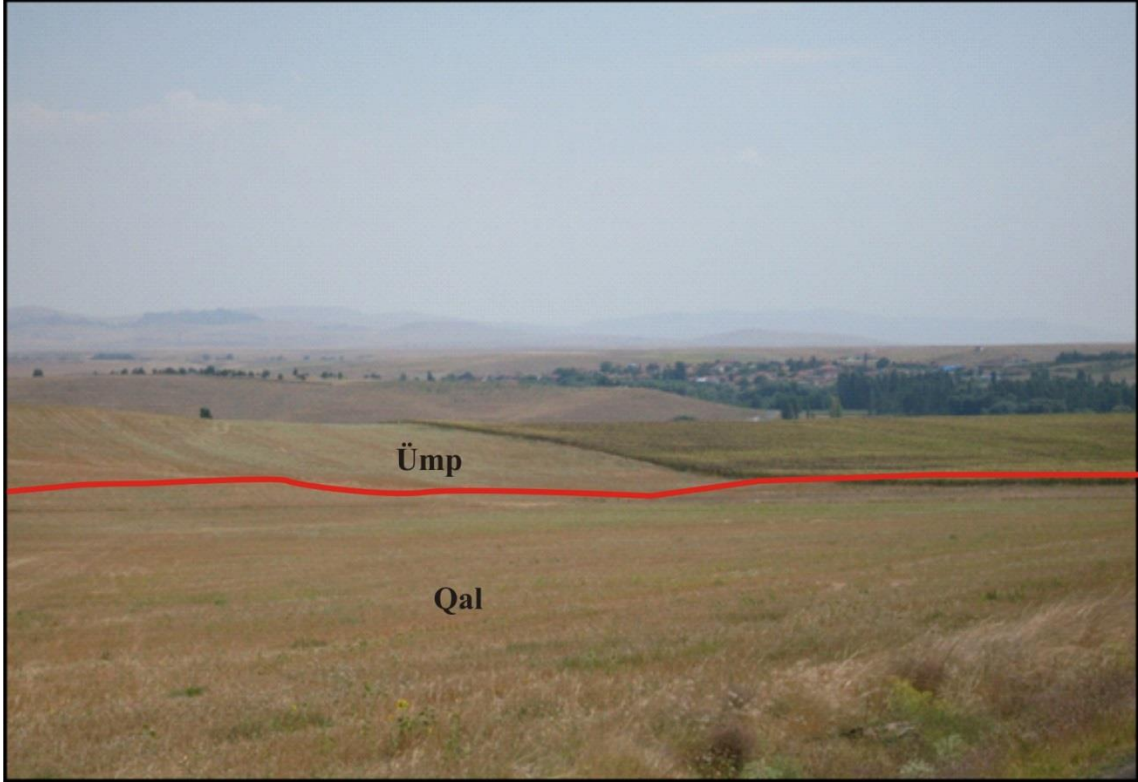
Kireçtaşı Üyesi (Ümk)

Beyaz, gri, sarımsı bej renklerde, batıda silisifiye olmuş ve yer yer silis arabantlı, doğuda poroziteli killi ve tüflü kireçtaşı şeklinde Doğanca köyü doğusunda görülürler (Ek-1). Neojen havzası çökellerinin en son üyesini teşkil ederler. Bölgesel olarak yapılan korelasyona göre birimler Üst Miyosen yaşındadır (Ölmez, 1985).

Ilıca Formasyonu (Ümp)

Birim Kaymazyayla köyü güneydoğusunda, Zaferhamit köyü kuzeyinde ve Saithalimpaşa köyü kuzeybatısında yayılım göstermektedir (Ek-1).

Yeşil, gri, alacalı, kırmızımsı kiremit renginde, ani depolanma ürünü, karasal ve gölsel konglomera ile Kumtaşlarından ve yeşil, kirli beyaz, açık beyaz, kiremit kırmızısı renklerde marn ve killer ile beyaz, sarımsı boz renkli, yüksek poroziteli, killi, kumlu, tüflü kireçtaşlarından oluşan birimde (Şekil 2.8) fosile rastlanılmamış daha önce yapılan stratigrafik değerlendirmelere göre yaşı Pliyosen olarak yorumlanmıştır (Gözler vd., 1997).



Şekil 2.8. Yumuşak bir topografya sergileyen Ilıca Formasyonu'na ait sedimanter birimler (Zaferhamit köyü batısı, bakış KD'ya).

2.1.2.2 Kuvaterner

Alüvyon (Qal)

Başlıca, dere yataklarında özellikle Sakarya Nehri, Seydi ve Sarısu Çayları ile diğer küçük dere yataklarında, gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt ve kilden oluşmuştur (Ek-1) (Şekil 2.8). Kalınlığı 10-50 m arasında değişmektedir.

2.2 Tektonizma

Çalışma alanında Triyas sonunda kapanan bir okyanusta (kuzeye dalan) gelişen olayların tektonik sonuçları Şerefiye köyü çevresinde ekaylı yapılar ve bindirmeler şeklinde kendini göstermektedir. Ancak Triyas sonunda oluşumunu tamamlamış bu ekaylı sistem, daha sonraki yapısal hareketlerden de etkilenmiştir (Gözler vd., 1997).

Bu dönemde hakim olan K-G yönlü sıkışmalar sonucunda D-B yönlü fay sistemleri gelişmiştir.

Diğer taraftan Neojen'de gelişen tektonik olaylar (K-G yönlü gerilmeler) sonucunda da İnönü-Eskişehir-Sivrihisar yönünde gelişen düşey faylar oluşmuştur. Bu faylar Eskişehir'in kuzey ve güneyinden geçmekte olup bir sistem oluşturmaktadır. Ayrıca bu düşey fay sistemi üzerinde sintetik ve antitetik fayların da gelişmiş oldukları gözlenmiştir.

Gözler vd.,'ne göre (1997), çalışma alanında ve yakın civarında gelişen fay sistemleri üç türdür. Bunlar;

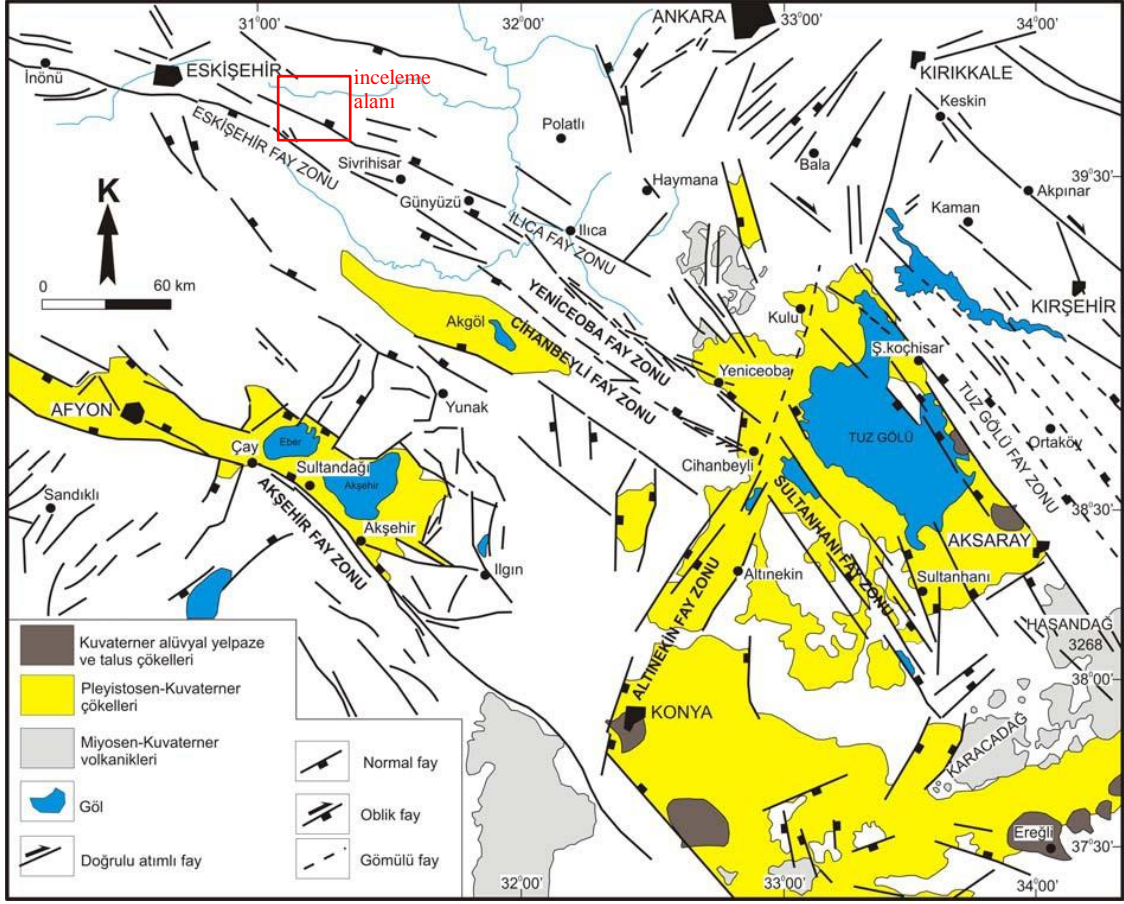
- a) Bindirme Fayları: Triyas sonunda kıtasal kabuk üzerine ilerleyen jeosenkinal malzeme ve okyanus kabuğu malzemesinin birkaç kez tekrarlanması sonucu oluşan bu faylar, D-B, KD-GB ve KB-GD istikametinde olup eğimleri de K-KB ve KD ya doğrudur. Buralarda ofiyolitik kayalar metamorfiklerle ve kendi aralarında tektonik hatlar oluştururlar. Bu hatların kalınlığı 10-100 m arasında değişen limonitize, silisifiye, karbonatlaşmış hidrotermal alterasyon izleri taşıyan listvenit zonları ile temsil edilirler. Bu eski tektonik hatlar, özellikle Paleosen'de görülen ve güneye devrik kıvrımlı yapılar gösteren, Paleosen sonrası sıkışmalardan ve Miyosen sonrası oluşan düşey faylardan etkilenmişlerdir. Ofiyolitik kayaların yerleşimi sırasında kendi içinde de oluşan kırık hatları da magmatik kayaların çıkmasına elverişli birer ortam oluşturmaktadır.
- b) Düşey (Normal) Faylar: İnceleme sahasında halen aktivitesini koruyan Eosen ve Pleyistosen sonrası düşey faylardır. Bu faylar genelde D-B doğrultulu

olup eğimleri de K ve G'ye doğrudur. D-B yönünde gelişen sıkışmaların K-G yönlü gerilmelere yol açması sonucu bu düşey fay sistemleri gelişmiştir.

- c) Doğrultu Atımlı Faylar: Bölgede, ofiyolitik kayalarda ve metamorfik şistlerde doğrultu atımlı faylar çok etkilidir. Çalışma alanının yakın civarında yaklaşık 10 km güneydoğusunda Kaymaz, Karakaya köyünün kuzeyinden, özellikle granit-mermer dokanağından geçen ve çalışma sahasını da kateden sağ yönlü doğrultu atımlı büyük bir fay, Eskişehir-Kaymaz-Tuz Gölü uzantısında devam etmektedir.

Birçok araştırmacı tarafından Eskişehir fay zonu olarak bilinen bu hat, değişik araştırmacıların dikkatini çekmiştir. Birkaç fay zonundan oluştuğu için Eskişehir-Sultanhanı fay sistemi olarak adlandırılan bu yapı (Şekil 2.9) Tuz Gölü'nün güneyinde Sultanhanı civarından itibaren gözlenir (Dirik ve Erol, 2000).

KB yönünde Cihanbeyli-Günyüzü ve Eskişehir'e kadar uzanarak muhtemelen Eskişehir fay zonu ile birleşir. Bu zon, ilk olarak Koçyiğit (1991) tarafından Haymana güneybatısında Ilıca fay zonu olarak adlandırılmıştır (Şekil 2.9). Yaklaşık KB-GD doğrultulu olan fay zonu, Yeniceoba ovasının kuzey kenarına kadar izlenmekte olup Ilıcaözü Vadisi'nin çizgisel yapısı ve sıcaksu kaynakları bu fay zonu boyunca gözlenen önemli özelliklerdir.



Şekil 2.9. Çalışma alanının ve civarının bölgesel jeolojisi ve tektonik haritası (Dirik ve Erol, 2003).

Selçuk ve Gökten (2004)'e göre, olası Pliyosen'den beri aktif olan bu fay sistemi, aletsel dönem içerisinde orta büyüklükte depremler üretmiştir (Örneğin, 1956, $M= 6,4$). İnönü-Eskişehir fay sisteminin segmentlerinden olan Kaymaz-Sivrihisar fayları batıda Yeşilyurt köyünden başlayıp doğuda Sivrihisar ilçesinin batısına kadar $K30^{\circ}B$ doğrultusunda uzanmaktadır. Eskişehir-Kaymaz segmenti Kaymaz civarında sola doğru sıçrama yapmakta ve doğuya doğru Sivrihisar segmenti olarak devam ederken bu bölgede yerel olarak bir sıkışma alanı meydana getirmektedir. Bu sıkışma alanında yaklaşık $K05^{\circ}B$ ve $K25^{\circ}D$ uzanımlı doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Yapılan gerilme analizleri sonucunda bu bölgede KB-GD yönlü bir sıkışmanın ve KD-GB yönlü bir genişlemenin olduğu görülmektedir.

Eskişehir Fay Sistemi'nin Kaymaz dolayında sola sıçrayarak yerel bir sıkışma alanı oluşturması, Kaymaz-Sivrihisar segmentinde sağ yanal hareketi durdurmakta olup kinematik veriler bu segmentin günümüzde çoğunlukla eğim atımlı normal fay olarak hareket ettiğini göstermektedir. Bu durum aynı zamanda Eskişehir Fay Sistemi ile kuzeydeki Alpu havzası arasında kalan kesimin bir horst şeklinde yükselmesine de yol açmıştır. Ancak fay sisteminde sağ yanal hareketin olasılıkla Kaymaz'dan batıda devam etmesi ve Anadolu bloğunun toptan batıya hareketiyle küçük bir yamulma hızı farklılığı oluşturması Kaymaz güneyinde KB-GD doğrultusunda Geç Pleyistosen-Kuvaterner yaşlı Mahmudiye-Çifteler yarı-grabeninin gelişmesine neden olmuştur. Mahmudiye-Çifteler yarı-grabenini her ne kadar zayıf bir sismik etkinlikle karakterize edilmekte ise de batı kenar faylarına asılı genç depolanmalar ve bunlardaki çok genç faylanmalar bu kenar faylarının da aktif olduklarını göstermektedir.

Eskişehir fay zonu ve söz konusu KB-GD doğrultulu genç faylar ile bu fayları belli bir açıyla kesen ikincil faylar, inceleme alanındaki sıcaqsuların ortaya çıkışında önemli rol oynamaktadır.

İnceleme alanındaki çizgisellikler Şekil 2.10'daki uydu görüntüsünde verilmiştir.



Şekil 2.10. İnceleme alanındaki çizgisellikleri gösteren uydu görüntüsü.

2.3 Jeolojik Evrim

Çalışma alanının jeolojik evrimi dört ayrı dönemin ürünüdür. Sahada bulunan Sivrihisar metamorfizmaları, bölge kayalarının derin denizel ortamda Permo-Karbonifer’de bir okyanus kabuğu (Ofiyolitik birimler) üzerinde geliştiğini ve okyanus tabanında gelişen volkanizmanın olduğunu göstermektedir (Demiroğlu, 2009). Kalın tabakalı karbonat kayalarının varlığı daha sonra ortamın sıkıştığını göstermektedir. Permo-Karbonifer döneminde bir okyanus ve onun kenar zonunu temsil eden bölgenin, muhtemelen Erken Triyas’ta derine gömüldüğü ve yeşil şist amfibolit fasiyesinde metamorfizma geçirirken şiddetli bir kıvrımlanmaya maruz kaldığı anlaşılmaktadır. Bu kıvrımlanmayı yaratan sıkışma, günümüze göre KD-GB doğrultuludur. Monod ve diğ. (1991) bölgedeki yeşilşist ve mavişist metamorfizması geçirmiş birimleri, Neotetis’in bölgede Geç Kretase’de kapanması ile ilişkilendirmiştir. Eğer böyle ise Sivrihisar metamorfizmaları çok daha genç bir seri olarak değerlendirilebilir. Fakat Monod ve diğ. (1991) aynı zamanda sahanın hemen kuzeyinde düşük dereceli metamorfik kayalarının içinde bulunan bloklardan, Karbonifer-Orta Triyas arasında yaş almışlardır. Bu durumda yeşil şist-amfibolit fasiyesinde metamorfize olmuş Sivrihisar metamorfizmaları ile benzer yaşlı düşük dereceli metamorfizmaya maruz kalmış grovaklar arasındaki ilişki bir fay ile açıklanabilir. Sahada, Geç Triyas-Paleosen arasındaki döneme ait bir veri bulunmamaktadır.

Eosen döneminde bölgede çarpışma ile kabuk kalınlaşmış, kalınlaşan kabuk kısmi ergimeye uğrayarak Topkaya granodiyoritinin kaynak magmasını oluşturmuş ve magmatizma Topkaya granodiyoritinin yerleşmesi ile sonuçlanmıştır. Oligosen-Erken Miyosen’de bölgede metamorfik masif yüzeylemeye başlamış ve bölgede daha çukur alanlara bu mostralardan kaynaklanan çökeller toplanmıştır. Erken Miyosen sonu Orta Miyosen başından itibaren bölgede meydana gelen faylanma ile Sivrihisar yükselimi iyice şekillenmiş, hem kuzeydoğusu hem güneybatısında yer alan faylar ile Orta Anadolu baseni içinde yükselmiştir. Söz konusu KB-GD doğrultulu faylar sağ yanal bir zonu işaret eder. Geç Miyosen’de faylarla denetlenen havzada gelişen rejim ile Orta Anadolu gölü olarak adlandırılacak büyük bir göl, Sivrihisar yükselimini bir yarımada haline getirir. Erken Pliyosen’de Akdeniz’deki “Lago Mare” kuraklık döneminin sona ermesi (Hsü ve diğ., 1973) ve Trakya-Eskişehir fay zonunun Marmara

denizinde Kuzey Anadolu fayı tarafından kesilerek hareketinin engellenmesiyle (Yaltrak, 2002) bölgedeki evaporitik göl sel dönem ve tektonik rejimi sona erdirmiştir. Kuvaterner döneminde bölgede bulunan Miyosen serisi ve temel kayalar, aşınma dönemine girmiş, Ilica Formasyonu ve Miyosen birimleri üzerindeki drenaj gelişmeye başlamıştır. Bu vadilerde alüvyonal havzaların oluşması, bölgenin jeolojik evriminin son halini yansıtmaktadır.

BÖLÜM 3

HİDROJEOLOJİ

Hidrojeoloji çalışmaları kapsamında, inceleme alanında D.S.İ tarafından daha önce yapılan çalışmalardan yararlanılarak sahanın hidrojeolojik havza sınırları, yeraltısuyu bilançosu, yeraltısuyu akım yönleri ve jeolojik birimlerin hidrojeolojik özellikleri ortaya konulmuştur. Bununla beraber inceleme alanında yer alan yüzey suları, sıcak ve soğuk su kaynakları ile örnekleme yapılan sıcak ve soğuk su noktaları hakkında bilgi sunulmuştur.

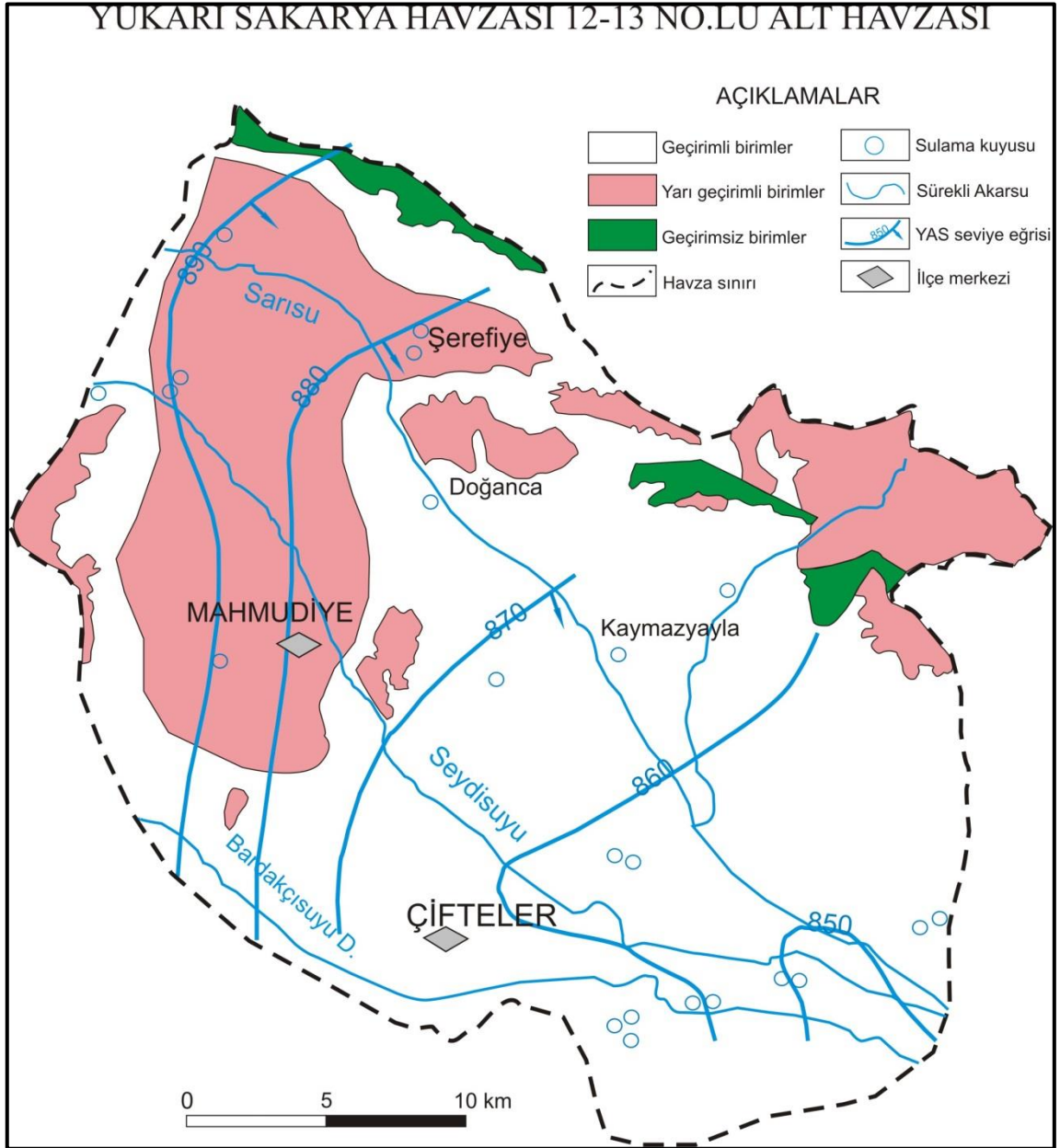
3.1 Yüzeysuları

İnceleme alanı içerisinde yer alan en büyük akarsular Sakarya Nehri, Seydi Suyu Çayı, Bardakçı Suyu ve Sarısu Çayı'dır. Seydi Çayı ve Sarısu Çayı Sakarya Nehri'nin kolları olup birbirlerine yaklaşık paralel şekilde çalışma sahasını KB-GD yönünde kat etmektedir (Ek-1).

Sakarya nehri, Çifteler ilçesinin 4 km GD'sundan Sakarbaşı mevkiinden 5 noktadan çıkan kaynaklardan doğmaktadır. Kaynakların toplam debileri 3600 l/s'dir (Keçik, 1978). Kaynaklar çalışma alanında Bardakçı Suyu'na karışırlar. Seydi Suyu ve Sarısu çayını da aldıktan sonra Sakarya Nehri'ni meydana getiriler. Çalışma sahasında yer alan akarsuların münferit akım ölçümleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışma sahasında yer alan akarsuların münferit akım ölçümleri (Olgun, 2007).

Ölçüm Yeri	31.10.2006	12.11.2006	11.12.2006
	l/s		
Seydi Suyu (Seyitgazi köprü)	149	171	206
Bardakçı Suyu (Bardakçı köyü girişi)	31	34	72
Sarısu (Şerefiye yolu)	194	240	265



Şekil 3.1. İnceleme alanının yer aldığı Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasına ait hidrojeoloji haritası (Olgun, 2007'den değiştirilerek alınmıştır).

3.2 Kaynak ve kuyular

Bu kapsamda özellikle jeotermal enerji araştırmasına yönelik olarak ılık ya da sıcak su noktaları tespit edilip incelenmiştir. Çalışma alanının en kuzey kesiminde Alpu-Uyuzhamamı köyünde 29,5 °C sıcaklıkta (EAU-1 no.lu su örneği), Yayıklı köyü içerisinde ise 23,6 °C sıcaklıklı (EAY-2 no.lu su örneği) doğal çıkış mevcuttur (Ek-1).

Bunun dışında çalışma alanının güney kısımlarına yakın olan Sakarya Nehri'nin doğduğu Sakarbaşı kaynaklarının birisi 23 °C olup bunların dışında inceleme alanında sıcak su kaynağı bulunmamaktadır.

İnceleme alanında Mahmudiye-Şerefiye köyünün 2,5 km GD'sunda şahıs tarafından sulama amaçlı açılan bir kuyuda D.S.İ tarafından 41 °C sıcaklık olduğunu tespit edilmiştir. 200 m civarında açılan bu kuyuda metamorfik birimlere girildiğinde sondaj bitirilmiştir. Yine bu kuyunun 150 m güneyinde açılan bir kuyuda 36 °C sıcaklıkta (EŞ-5 su örneği) akışkan bulunmaktadır (Ek-1). Ayrıca Şerefiye köyünün 3 km GB'sında DSİ tarafından açılan 190 m derinlikteki kuyuda da 24,6 °C sıcaklıkta su olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Mahmudiye ilçesinin yaklaşık 3 km GB'sında açılan yine sulama amaçlı derinlikleri 150-170 m civarında olan ve Miyosen'e ait sedimanter birimlerin kesildiği bazı kuyularda 26,5-33,5 °C sıcaklığa sahip (EM-6, EÇH-7 ve EMİ-8 su örnekleri) sular bulunmaktadır (Ek-1).

Bu çalışma kapsamında Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler ve Alpu jeotermal sahalarında tespit edilebilen, kuyu ağız sıcaklıkları 15,5-41 derece ve EC değerleri 400-1.760 µmho/cm arasında değişen 57 adet kuyu ve kaynaktaki ölçüm yapılmıştır (Çizelge 3.2) (Şekil 3.2). Ölçüm yapılan bu kuyu ve kaynakların dağılım haritası Şekil 3.2'de verilmiştir. Ayrıca çalışma alanını da kapsayacak şekilde Eskişehir ili genelinden N₂, CH₄, Ne, CO₂ gazları ve helyum izotopu analizleri yapılması için 10 adet numune alınmıştır.

Kuyuların derinlikleri 20-170 m arasındadır. Kuyular DSİ tarafından ya da vatandaşlar tarafından sulama amaçlı açılmıştır.

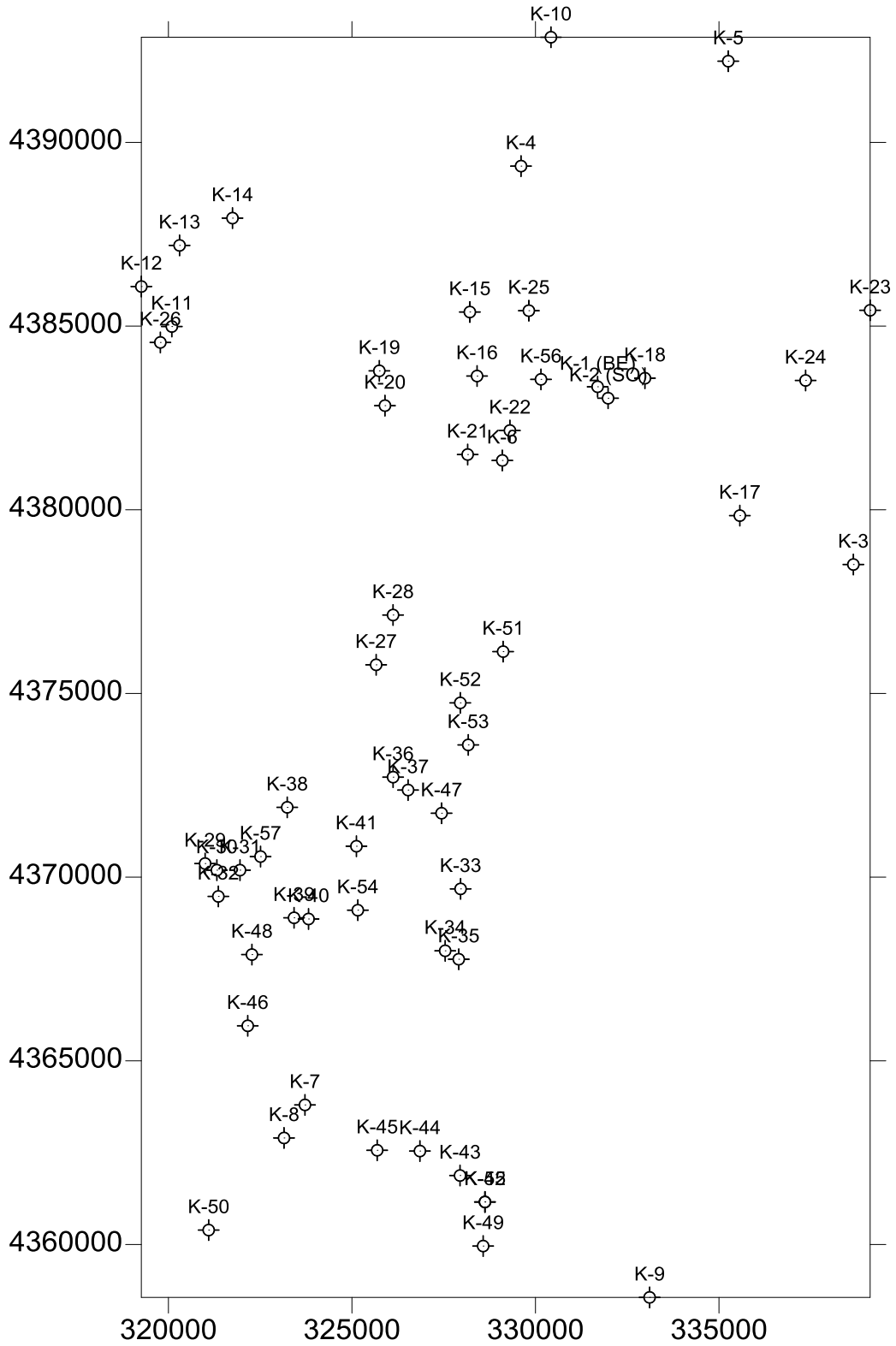
Sahadaki sıcak su ve soğuk su kuyularının yerleri ve fiziksel parametreleri (sıcaklık, EC, debi, vb.) kuyu ve kaynak başında tespit edilmiş olup analizler için 10 adet su kimyası, 8 adet çevresel ve radyoaktif izotop numunesi alınmış, 6 adet su örneğinde radon gazı analizleri yaptırılmıştır.

Çizelge 3.2. İnceleme alanında ölçümü yapılan noktaların koordinatları ve ölçülen değerler

Örnek adları	X (sağa) (39.zon)	Y (yukarı) (31.zon)	Sıcaklık (°C)	Elektriksel Kondaktivite ($\mu\text{mho/cm}$)
K-1 (BE)	39 4383349	31 331693	41,8	1100
K-2 (SO)	4383037	331979	36	972
K-3	4378510	338661	15,1	760
K-4	4389355	329607	15	515
K-5	4392211	335253	23,6	516
K-6	4381343	329097	15,5	905
K-7	4363800	323720	29,5	800
K-8	4362900	323150	31,5	747
K-9	4358560	333110	24,8	906
K-10	4392863	330422	16,2	591
K-11	4384988	320093	15,9	507
K-12	4386077	319262	17,7	504
K-13	4387196	320304	17,5	654
K-14	4387939	321746	15,6	630
K-15	4385383	328212	15,4	650
K-16	4383641	328409	29,5	777
K-17	4379841	335568	21	690
K-18	4383581	332983	18,9	730
K-19	4383782	325746	19	808
K-20	4382835	325900	18,8	834
K-21	4381504	328153	15,9	526
K-22	4382157	329304	24,6	1063
K-23	4385430	339118	16,7	1010
K-24	4383520	337360	17,8	800
K-25	4385420	329820	15,6	575
K-26	4384555	319780	17,6	500
K-27	4375780	325660	22,3	1360
K-28	4377135	326120	13,6	1225
K-29	4370370	321000	16,1	978
K-30	4370190	321320	19,3	745
K-31	4370190	321950	22,1	740
K-32	4369475	321360	17,3	630
K-33	4369680	327960	17,7	1024
K-34	4367995	327540	16,5	724
K-35	4367765	327910	15,9	780
K-36	4372722	326121	18,4	1208
K-37	4372371	326530	19,3	778

Çizelge 3.2. (devam ediyor).

K-38	4371900	323237	18	954
K-39	4368893	323423	20,5	704
K-40	4368861	323818	20,8	638
K-41	4370841	325122	33,5	944
K-42	4361158	328624	16,1	750
K-43	4361878	327945	15,7	770
K-44	4362544	326852	15,7	1090
K-45	4362565	325688	15	650
K-46	4365953	322161	18	600
K-47	4371740	327442	17,7	1453
K-48	4367892	322275	30	1000
K-49	4359958	328575	18,2	681
K-50	4360393	321097	32,5	1044
K-51	4376139	329119	18,2	647
K-52	4374744	327952	15,8	1450
K-53	4373599	328169	17,1	1761
K-54	4369100	325160	19	800
K-55	4361158	328624	16,1	750
K-56 (EMŞ-9)	4383550	330150	65	817
K-57 (EMİ-10)	4370560	322510	60	1082



Şekil 3.2. İnceleme alanında yerinde sıcaklık ve kondaktivite ölçümü yapılan örnek noktalarının dağılımı.

3.3 Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Havzada yer alan sondajların pompa tecrübeleri değerlendirilerek su taşıyan formasyonların hidrolik katsayıları bulunmuştur (Olgun, 2007). Çalışma sahası ve çevresinde yer alan birimlerden Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait olan kalkıştler ve mermerler jeotermal rezervuar özelliği taşımaktadır. Proje çalışmaları kapsamında etüt çalışmaları sonrası Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye'de ve İsmetpaşa'da açılan jeotermal kuyularda (EMŞ-2011/24 ve EMİ-2012/4) rezervuar kayaç olarak Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait şist ve mermerlerden üretim yapılmıştır. Ayrıca bu birimlerin iletkenlik katsayısı $800-1000 \text{ m}^3/\text{gün/m}$, özgül debileri $4,36-5,45 \text{ l/s/m}$ 'dir.

Bununla beraber, yine Karkın Formasyonu'na ait birimler tektonizmanın etkisiyle ikincil gözeneklilik ve geçirimli özellik kazanmışlardır. Ancak ofiyolitik birimler az geçirimli özellik sergilemektedir. Topkaya granodiyoriti, masif yapısıyla geçirimsiz özelliktedir.

Miyosen'e ait Porsuk Formasyonu'nun alt seviyelerini oluşturan Konglomera-Kumtaşı Üyesi ve Kireçtaşı Üyesi geçirimli özellik sergilerken marn ve kil Üyesi geçirimsiz özelliktedir. Konglomeratik birimlerin iletkenlik katsayıları $12-225 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ arasında değişirken, özgül debileri $0,12-0,5 \text{ l/s/m}$ 'dir. Havzanın önemli akiferlerinden biri olan Neojen yaşlı kireçtaşlarında iletkenlik katsayısı $75-1660 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ ve özgül debi $0,01-9,75 \text{ l/s/m}$ 'dir.

Pliyosen yaşlı Ilıca Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ise akifer özelliktedir. Alüvyona ait hidrolik katsayıları ise, Seydisuyu alüvyonunda $200-1200 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ iletkenlik katsayısı ve $1,1-7 \text{ l/s/m}$ özgül debi değerine sahip olup, akifer tamamen Seydisuyu'nu beslemektedir. Sarı su çayı boyunca akifer özelliği gösteren alüvyon ise $460-680 \text{ m}^3/\text{gün/m}$ iletkenlik katsayısı ve $0,38-2,52 \text{ l/s/m}$ özgül debisine sahiptir.

3.4 Yeraltısuyu Akım Yönünün Belirlenmesi

İnceleme alanında yer alan kuyu ve kaynakların verilerinin değerlendirilmesiyle sahadaki yeraltısuyu akım yönü ve eş yeraltısuyu akım eğrileri işaretlenmiştir (Şekil 3.1). Buna göre yeraltısuyu akım yönü özellikle kuzeyden olan beslenimle ilişkili olarak KB'dan GD'ya doğru olmaktadır.

3.5 Yeraltısuyu Bilançosu

İnceleme alanı, hidrojeolojik havza olarak D.S.İ. tarafından belirlenen Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasında yer almaktadır (Şekil 3.1). Söz konusu havzanın yeraltısuyu bilançosu Olgun, 2007'ye göre Çizelge 3.3 'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasına ait yeraltısuyu bilançosu.

Beslenim (x 10 ⁶ m ³ /yıl)	Boşalım (x 10 ⁶ m ³ /yıl)
Pliyosen ve alüvyona yağıştan süzülme : 20	Akarsuya boşalım : 34,5
Neojen kireçtaşlarına yağıştan süzülme : 13,5	Yeraltından dışa akış : 3
Yüzeysel akıştan süzülme : 4	
TOPLAM : 37,5	TOPLAM : 37,5

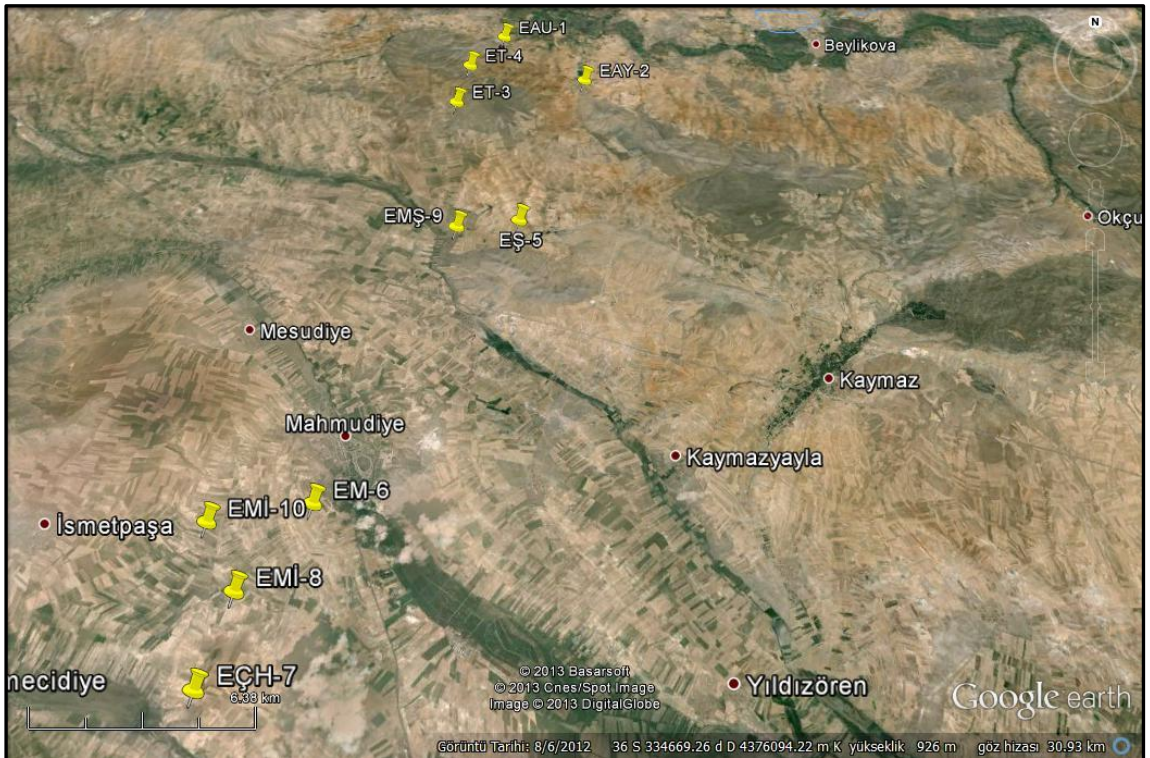
Bu sonuçların yanı sıra 2000-2010 yılları arasındaki yağış verilerinden ve havzadaki kuyulardan D.S.İ. Bölge Müdürlüğü tarafından yapılan kuyu seviyesi ölçümlerine göre hesaplanan hacimsel boşalım 33,3 x 10⁶ m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Kuyulardan yapılan seviye ölçümleri farklı dönemlerde yapıldığından hesaplamalarda bir miktar hata olması olasıdır.

BÖLÜM 4

HİDROJEOKİMYA

4.1 Su Örnekleme Noktaları

Tez çalışması kapsamında inceleme alanında 8 adet sıcak su noktasından ve 2 adet soğuk su noktasından su kimyası analizleri için örnekleme yapılmıştır (Şekil 4.1). Ayrıca söz konusu su noktalarından 8 tanesinde çevresel ve radyojenik izotop analizi için örnekleme yapılmıştır. Bu 8 adet sıcak su noktasından 4 adet ve 2 adet de soğuk su noktalarından olmak üzere 6 adet su örneğinde radon gazı analizi yapılmıştır. Sıcak su örnekleme noktaları çalışma sahası içerisinde yer alan termal kaynaklar ile sulama amaçlı açılmış ancak termal özelliklerde su bulunan kuyulardan ve jeotermal amaçlı açılmış kuyulardan yapılmıştır.



Şekil 4. 1. Çalışma alanındaki su örnekleme noktalarının uydu görüntüsündeki yerleri.

4.1.1 Sıcak su örnekleme noktaları

İnceleme alanından alınan sıcak su örneklerinin koordinatları ile fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Sahada yer alan sıcak su örnekleme noktalarından;

EAU-1, Alpu ilçesine bağlı Uyuzhamamı köyünde yer alan eski kaplıca kaynağından,

EAY-2, Alpu ilçesine bağlı Yayıklı köyünde yer alan ılık su kaynağından,

EŞ-5, Şerefiye köyünün 2 km doğusunda, Bülent Erol isimli vatandaşa ait 202 m derinliğe sahip sulama kuyusundan,

EM-6, Mahmudiye ilçesinin yaklaşık 2 km GB’sında yer alan İdris Özkara isimli vatandaşa ait 170 m derinlikteki sulama kuyusundan (Şekil 4.2),

EÇH-7, Çifteler ilçesine bağlı Hayriye köyünün 5 km kuzeyinde yer alan Sabit Kurt isimli vatandaşa ait 100 m derinlikte sulama kuyusundan,

EMİ-8, Mahmudiye ilçesine bağlı İsmetpaşa köyünün yaklaşık 6 km batısında Ahmet Topçu adlı vatandaşa ait 175 m derindeki sulama kuyusundan,

EMS-9, M.T.A. Genel Müdürlüğü’nün Mahmudiye ilçesine bağlı Şerefiye köyünde açtığı 718 m derinliğe sahip EMS-2011/24 no.lu jeotermal araştırma sondajından,

EMİ-10 ise M.T.A. Genel Müdürlüğü’nün Mahmudiye ilçesiyle İsmetpaşa köyü arasındaki bölgede açtığı 556 m derinliğe sahip EMİ-2012/4 no.lu jeotermal araştırma sondajından alınmıştır.



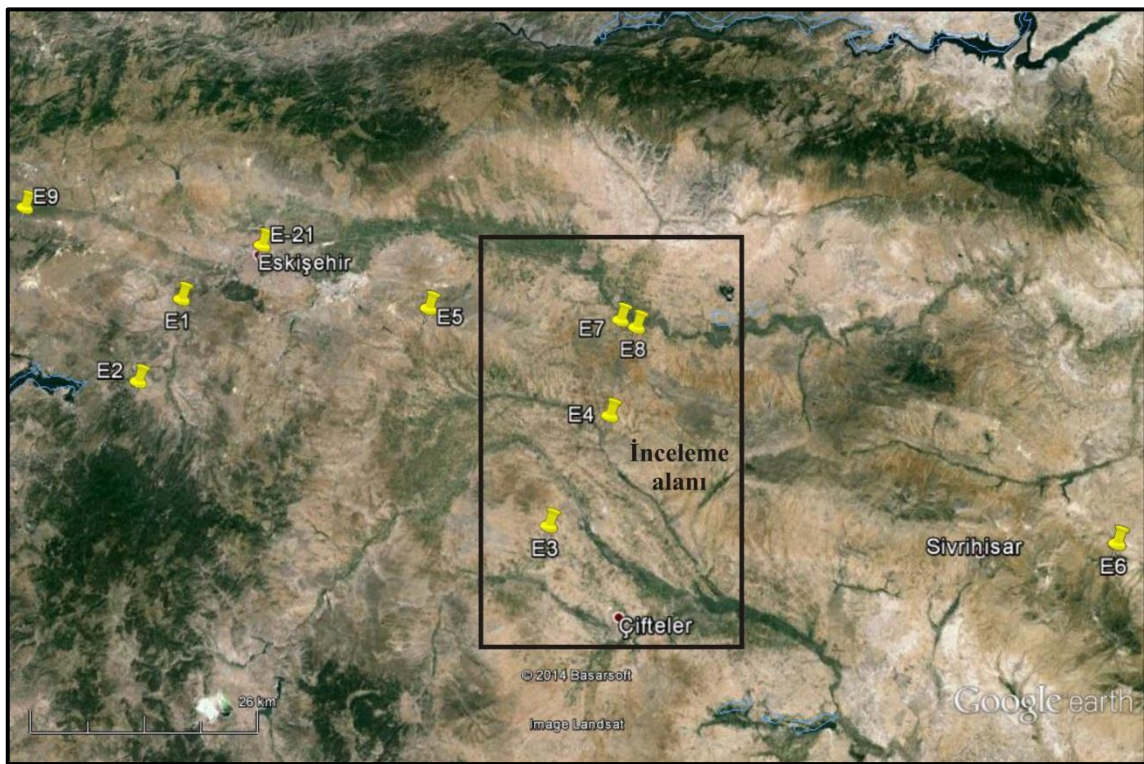
Şekil 4.2. Çalışma sahasından alınan EM-6 su numunesinin örneklendiği kuyudan bir görünüm.

4.1.2 Soğuk su örnekleme noktaları

Çalışma alanında örneklenen soğuk su noktaları ET-3 ve ET-4 no.lu su örneklerinin alındığı yerler olup, **ET-3** Uyuzhamamı köyü ile Topkaya köyü arasındaki yol üzerinde bulunan kaynaktan örneklenmiştir. **ET-4** su numunesi ise Topkaya köyü içerisinde yer alan soğuk su kaynağından alınmıştır. Sulara ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

4.1.3 Gaz Örneklemeye Noktaları

Tez çalışması kapsamında termal sularda N_2 , CH_4 , Ne, CO_2 gazları ile helyum ve argon izotopu analizleri yapılması için 10 adet numune alınmıştır. Alınan numuneler Eskişehir ili genelinde inceleme alanı ve yakın civarından alınmış olup inceleme alanında kalan örnek sayısı 4 adettir. Örneklemeye yapılan noktalar Şekil 4.3'de verilmiştir. Ayrıca inceleme alanı içerisinde yer alan EAU-1, EAY-2, ET-3, ET-4, EMŞ-9 ve EMİ-10 no.lu örneklerde radon gazı analizi yapılmıştır.



Şekil 4.3. Gaz örneklemesi yapılan sıcak su noktaları.

4.2 Suların Kimyasal Özelliklerinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanındaki ılık veya termal sulardan (doğal çıkış veya sulama ve içme suyu kuyularından) toplam 10 adet sıcak ve soğuk su numunesi alınmış, kimyasal analizleri yapılarak hidrojeokimyasal değerlendirilmesi yapılmıştır (Çizelge 4.1). Bununla beraber 8 adet su örneğinin çevresel ve radyoaktif izotop analizleri D.S.İ. T.A.K.K. Dairesi'nde yaptırılmıştır. Ayrıca örneklerden 6 tanesinde, Enerji Hammadde

Etüt ve Arama Dairesi'ne ait mobil analiz laboratuvar cihazları ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarı cihazları ile radon gazı analizleri yapılmıştır. Kimyasal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi çeşitli diyagramlarla yapılmış ve sıcak suların sınıfı, kökeni, rezervuar sıcaklıkları ve kullanım sırasında yaratabileceği çevresel sorunlar araştırılmıştır.

4.2.1 Suların hidrojeokimyasal diyagramlara göre değerlendirilmesi

İnceleme alanından alınan su örneklerinde;

Sıcak ve soğuk su örneklerinin, toplam mineralizasyon değerleri 380,6-1269 mg/l arasındadır. Sulara hakim kanyonlar Alpu-Uyuzhamamı'nda Mg olup diğer tüm sulara Ca iyonudur; hakim anyon ise Mahmudiye-İsmetpaşa jeotermal sondajından alınan su örneğinde (EMİ-10) SO_4 , diğer tüm sulara HCO_3 'dür. Suların pH değerleri ise 6,6-7,4 arasında değişmektedir. Mahmudiye-Şerefiye jeotermal sahasında M.T.A. tarafından açılan EMŞ-2011/24 no.lu 65 °C sıcaklığındaki kuyunun toplam mineralizasyon değeri 795,89 mg/l olup kalsiyumlu, magnezyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı sıcak sular sınıfındadır. Bu da inceleme alanında yer alan dolomitik mermerlerden kaynaklanmaktadır. Mahmudiye-İsmetpaşa jeotermal sahasında M.T.A. tarafından açılan EMİ-2012/4 no.lu 59,5 °C sıcaklığındaki kuyunun toplam mineralizasyon değeri ise 1206,85 mg/l olup kalsiyumlu, sülfatlı, bikarbonatlı sıcak ve mineralli sular sınıfındadır.

Çizelge 4.1. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçları.

Su Tipi	Mg-HCO ₃			Ca-HCO ₃									Ca-SO ₄																	
	Numune Yeri	Yayıklı	Topkaya	Topkaya	Şerefiye	Mahmudiye	Hayriye	İsmetpaşa	Şerefiye	İsmetpaşa																				
Numune İşareti	EAU-1 (Kaynak)	EAY-2 (Kaynak)	ET-3 (Kaynak)	ET-4 (Kaynak)	EŞ-5 (Kuyu)	EM-6 (Kuyu)	EÇH-7 (Kuyu)	EMİ-8 (Kuyu)	EMS-9*	EMİ-10**																				
Pafta ve Koordinatlar	I26d1 X: 4395106 Y: 0331753 Z: 814 m	I26d1 X: 4392211 Y: 0335253 Z: 833 m	I26d1 X: 4392851 Y: 0330465 Z: 906 m	I26d1 X: 4389363 Y: 0329606 Z: 959 m	I26d4 X: 4383010 Y: 0331979 Z: 899 m	J25b2 X: 4370841 Y: 0325122 Z: 897 m	J25b2 X: 4363800 Y: 0323613 Z: 890 m	J25b2 X: 4367720 Y: 0324670 Z: 908 m	I26d4 X: 4383550 Y: 0330150 Z: 895 m	J25b2 X: 4370560 Y: 0322510 Z: 907 m																				
Analiz Tarihi	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	01.08.2011	02.08.2011	06.02.2012	22.05.2012																			
Debi (l/s)	3	10	3	5	15	10	10	8	80 (Komp.)	70 (Komp.)																				
Kuyu derinliği (m)	-	-	-	-	202	170	100	175	718	556																				
Sıcaklık (°C)	29,5	23,6	18,5	15	36	33,5	30	26,5	65	59,5																				
pH	6,6	7,3	7,1	7,2	6,7	6,9	7,4	6,8	6,8	7,2																				
EC (µmho/cm)	1.134	472	546	472	880	850	713	894	817	1.082																				
Toplam Sertlik (°A)	38,8	13,9	15,3	13,2	26,9	29	23,1	30,3	22,1	38,1																				
	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	Meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq	mg/l	meq/l	% meq			
Ca ⁺²	128	6,39	39,57	75,6	3,77	65,34	72,9	3,64	55,6	73,3	3,66	65,47	130	6,49	55,52	145	7,24	64,13	117	5,84	64,53	164	8,18	69,50	117	5,84	58,99	216	10,8	72,19
Mg ⁺²	90,6	7,45	46,13	14,5	1,19	20,62	22,2	1,83	27,9	12,7	1,04	18,60	37,8	3,11	26,60	37,9	3,12	27,63	29,4	2,42	26,74	31,9	2,62	22,26	24,9	2,05	20,71	34,7	2,85	19,05
K ⁺	12	0,31	1,92	2,15	0,05	0,87	1,14	0,03	0,46	1,32	0,03	0,54	9,84	0,25	2,14	5,74	0,15	1,33	4,29	0,11	1,22	5,64	0,14	1,19	7,89	0,20	2,02	5,35	0,14	0,94
Na ⁺	46,1	2,0	12,38	17,5	0,76	13,17	24	1,04	15,90	19,7	0,86	15,39	42,4	1,84	15,74	17,9	0,78	6,91	15,7	0,68	7,51	19,1	0,83	7,05	41,7	1,81	18,28	27	1,17	7,82
Cl ⁻	21,3	0,6	3,96	19,6	0,55	10,66	9,14	0,26	4,45	5,31	0,15	3,49	20	0,55	5,00	11,3	0,32	3,00	8,71	0,25	2,85	10,9	0,31	2,76	19,7	0,55	5,74	12	0,34	2,07
SO ₄ ⁻²	22,3	0,46	3,03	18,5	0,38	7,36	48	1,0	17,12	43,5	0,91	21,16	88,5	1,84	16,71	166	3,45	32,30	116	2,42	27,63	183	3,82	34,02	92,1	1,92	20,04	401	8,34	50,86
HCO ₃ ⁻	863	14,1	93,01	258	4,23	81,98	279	4,58	78,43	198	3,24	75,35	526	8,62	78,20	422	6,91	64,70	372	6,09	69,52	433	7,10	63,22	434	7,11	74,22	453	7,72	47,07
CO ₃ ⁻	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-	< 10	-	-
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
B (Toplam)	0,4	0,1	0	0	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Br ⁻	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Li	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
F	0,5	0,4	0,6	0,4	0,4	1,9	2,2	2,4	2,5	-	3,4																			
SiO ₂	85	13	23	26	51	30	30	31	58,2	54																				
Toplam mineralizasyon (mg/l)	1.269,7	419,85	480,28	380,63	908,04	838,64	696,1	881,64	795,89	1.206,85																				

*EMS-2011/24 jeotermal araştırma kuyusundan (718 m.) alınan su örneği.

**EMİ-2012/4 jeotermal araştırma kuyusundan (556 m.) alınan su örneği.

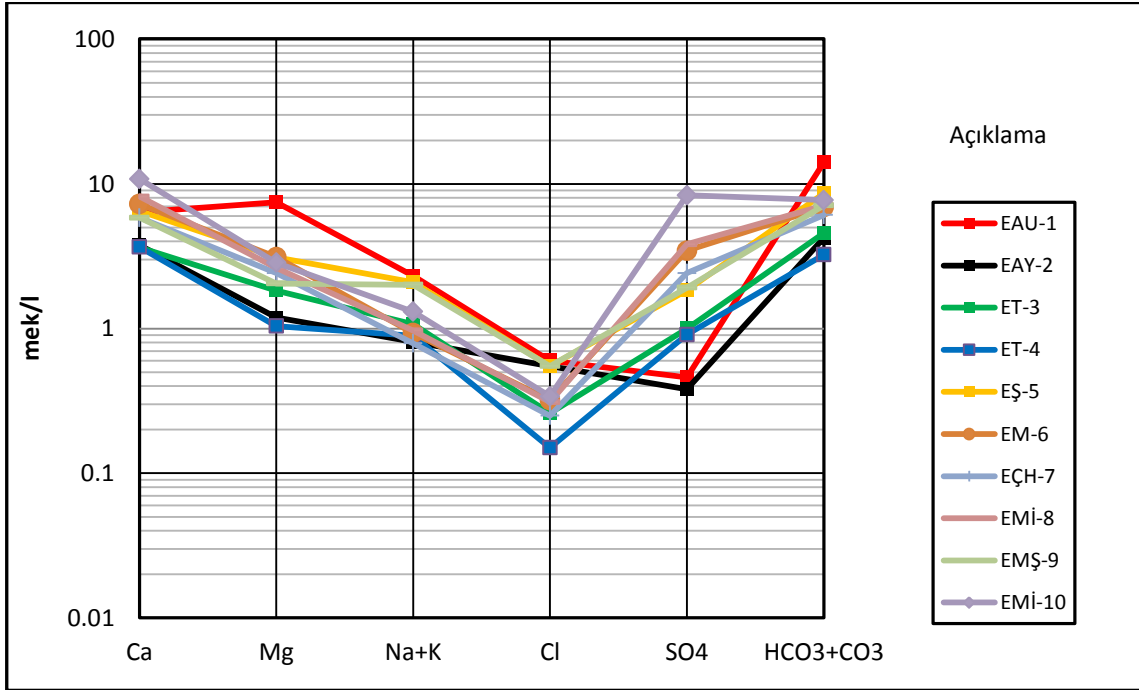
Schoeller yarı logaritmik diyagramı, logaritmik ölçekli Y ekseninde element derişimlerinin meq/l olarak yer aldığı, X ekseninde sırasıyla Ca, Mg, Na+K, Cl, SO₄ ve HCO₃ iyonlarını içeren bir diyagramdır. Bu diyagram üzerine işaretlenen element derişimlerinin oluşturduğu çizgilerin yorumlanması yoluyla suların kökenlerinin benzer olup olmadığı değerlendirilebilmektedir.

Yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre (Şekil 4.4), Eskişehir-Alpu-Uyuzhamamı köyünden alınan EAU-1 no.lu su örneğinde iyon dizilimi, katyonlarda rMg > rCa > r(Na+K); anyonlarda r(HCO₃+CO₃) > rCl > rSO₄, Alpu-Yayıklı köyünden alınan EAY-2 no.lu su örneğinde iyon dizilimi, katyonlarda rCa > rMg > r(Na+K); anyonlarda r(HCO₃+CO₃) > rCl > rSO₄, EMİ-2012/4 no.lu kuyuda, (EMİ-10 no.lu numune) katyonlarda rCa > rMg > r(Na+K); anyonlarda rSO₄ > r(HCO₃+CO₃) > rCl > şeklinde sıralanırken geri kalan diğer su örneklerinde iyon dizilimi, katyonlarda rCa > rMg > r(Na+K); anyonlarda r(HCO₃+CO₃) > rSO₄ > rCl şeklindedir.

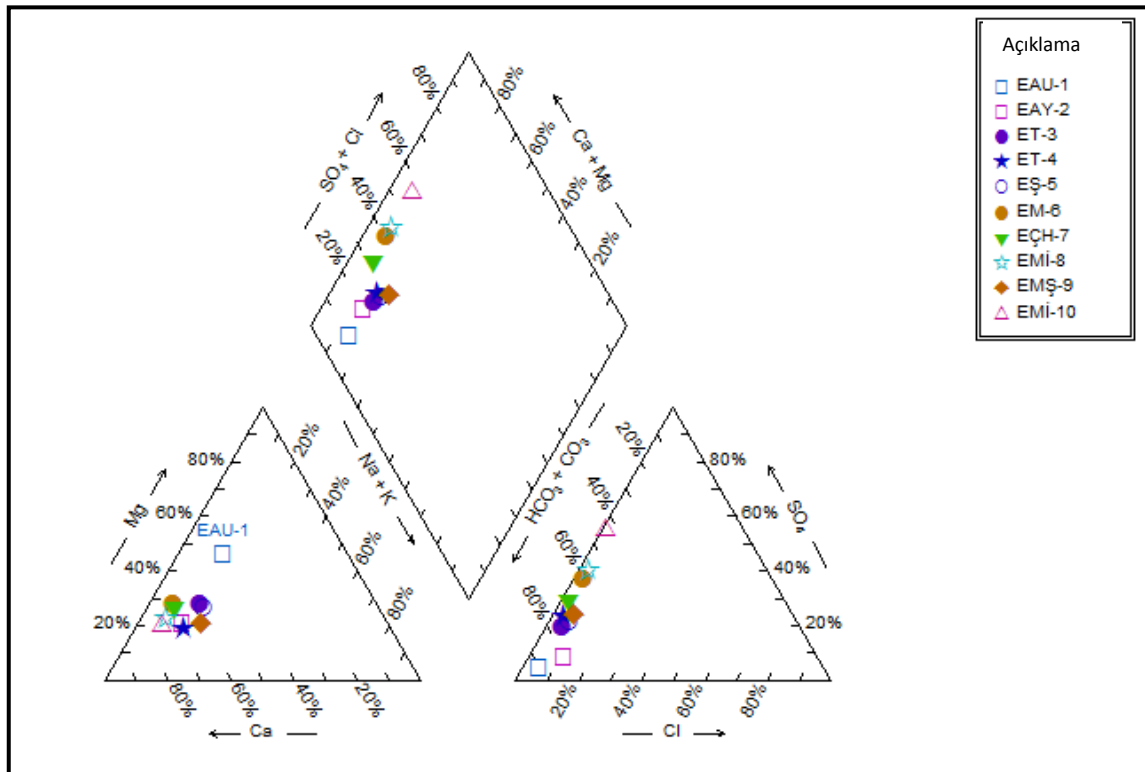
Yine yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre, Eskişehir-Alpu-Uyuzhamamı köyünden alınan sıcak su örneği ve Eskişehir-Mahmudiye-İsmetpaşa sahasında yapılan EMİ-2012/4 no.lu jeotermal kuyudan alınan sıcak su örneği (EMİ-10 no.lu numune) farklı kimyasal karakterler göstermektedirler. Diğer tüm sıcak ve soğuk su örnekleri ise benzer kimyasal karakter göstermektedir.

İyonların topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri Piper (Üçgen) diyagramıdır. Piper diyagramı anyon ve katyonların (% meq/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır.

Çalışma sahasındaki sıcak ve soğuk suların kimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Piper diyagramıyla da değerlendirmeler yapılmıştır. Piper diyagramına göre (Şekil 4.5), sahadaki sulardan EMİ-2012/4 kuyusuna ait EMİ-10 no.lu su örneği, iyonların hiçbiri %50'den fazla olmayan sular sınıfında olup diğer tüm su örneklerinde alkali toprak elementleri (Ca⁺² + Mg⁺²) > alkali elementler (Na⁺ + K⁺) olan ve karbonat sertliği %50'den fazla olan sular sınıfına girmektedir. Yine Piper diyagramına göre, sahadaki sular da hakim katyonlar Ca ve Mg, hakim anyon ise HCO₃ biçimindedir.

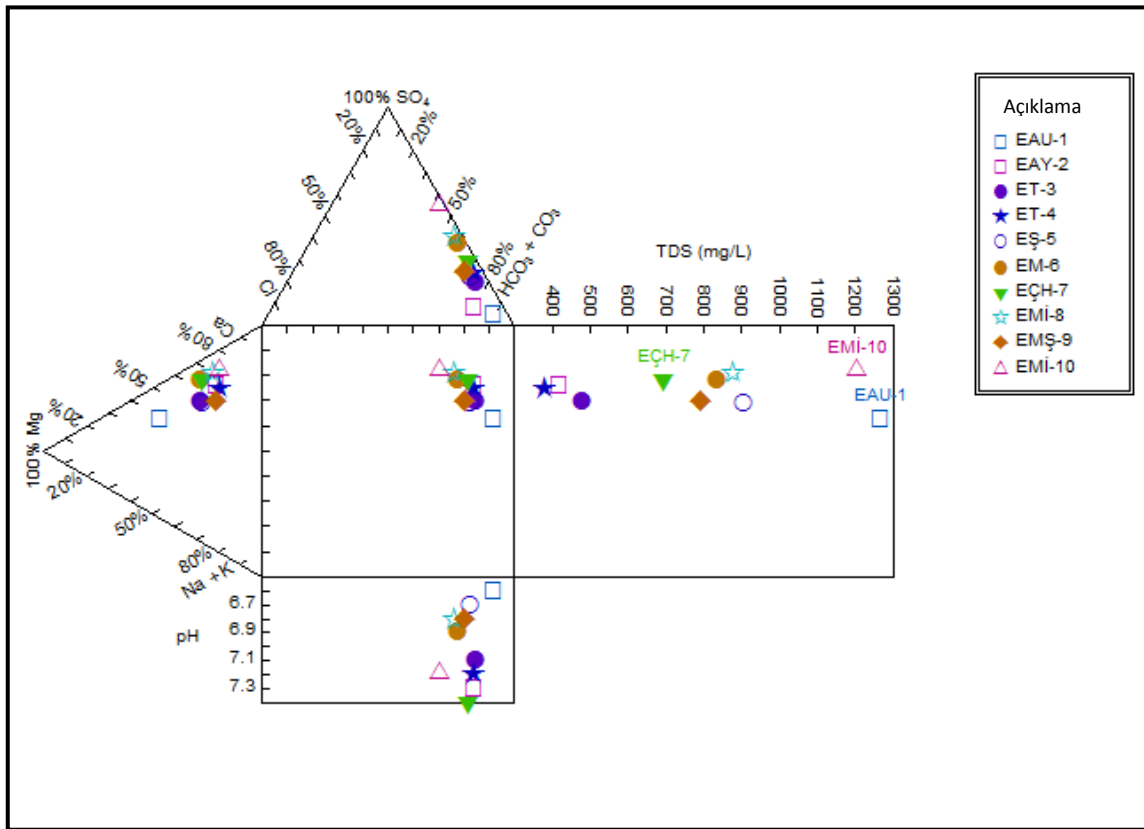


Şekil 4.4. Çalışma alanından alınan su örneklerinin yarı logaritmik Schoeller diyagramı.



Şekil 4.5. Çalışma alanından alınan su örneklerinin Piper diyagramı.

İnceleme alanındaki suların, Durov diyagramı (Şekil 4.6) değerlendirmesine göre de, sahadaki sularda hakim katyonların Ca ve Mg, hakim anyonun ise HCO_3 olduğu, sıcak ve soğuk su kuyularının toplam TDS değerlerinin 472-1.134 mg/l arasında oldukları ve suların pH değerlerinin ise 6,6-7,4 arasında değişmekte olduğu görülmektedir.

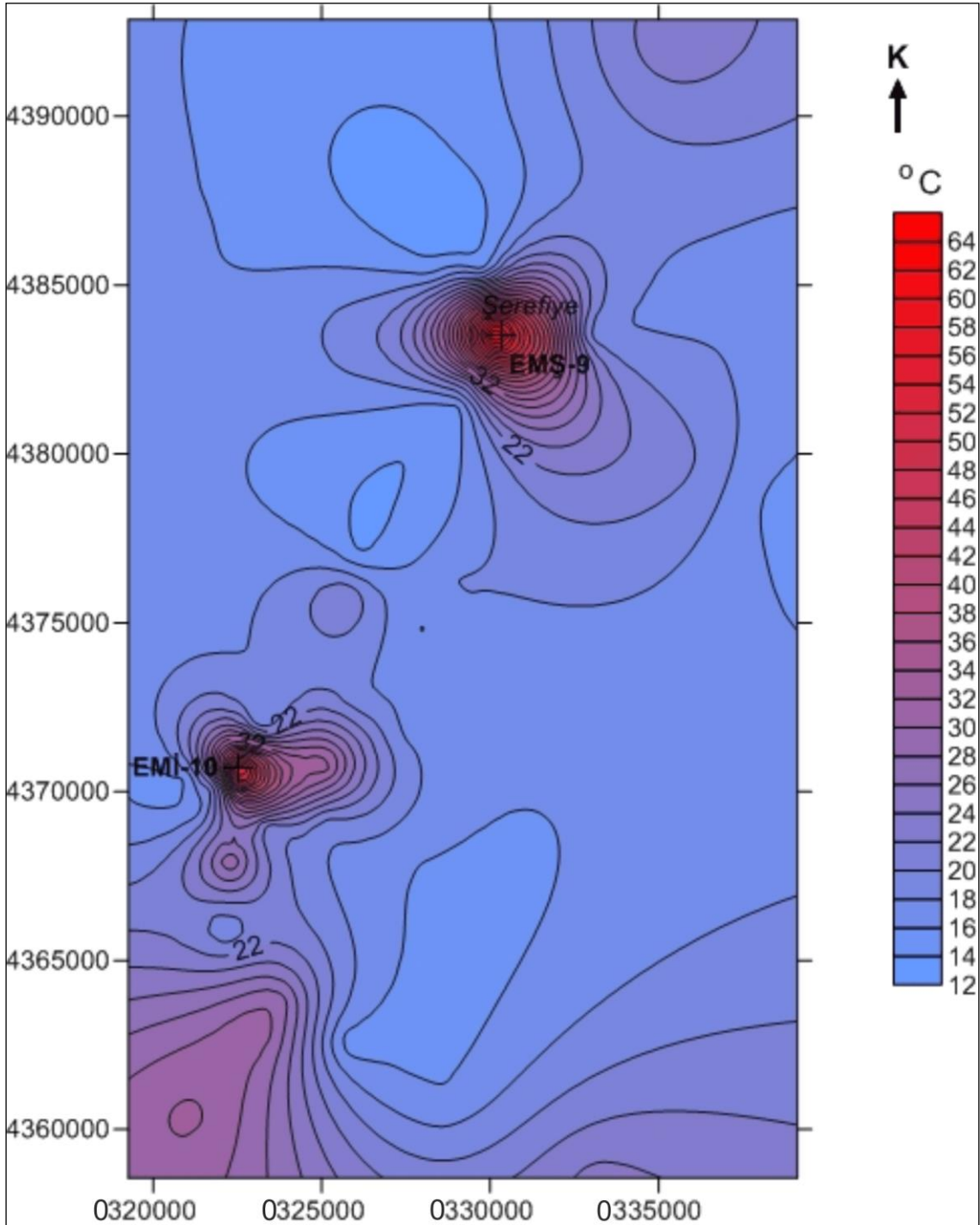


Şekil 4.6. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Durov diyagramı.

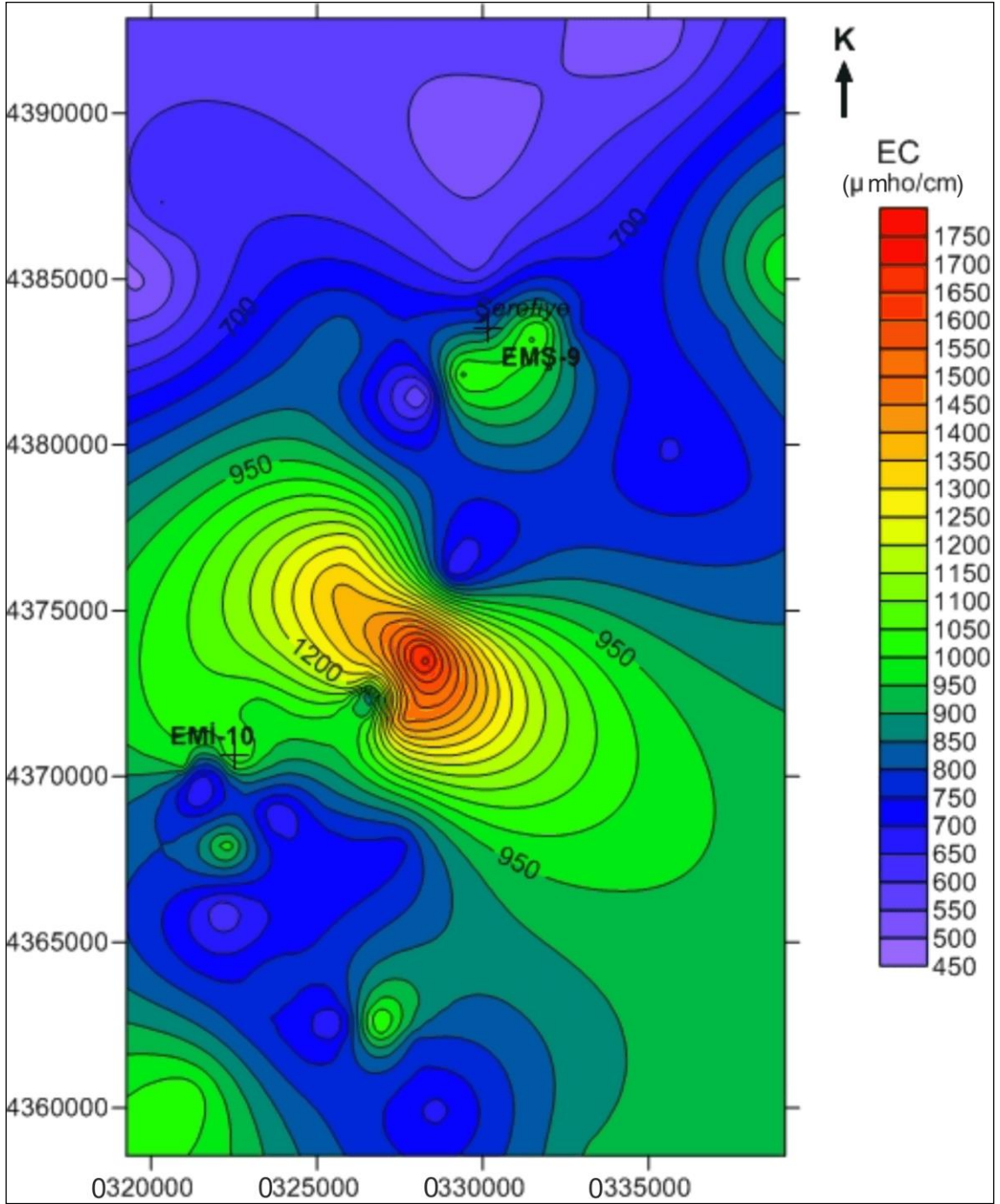
Ayrıca inceleme sahasından alınan su örneklerinde yapılan analiz sonuçlarına göre, doğrudan sulamada sakıncalı olan parametreler (B, Na, Cl, Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni) kullanılabilir değerlerde iken florür değerinin EAU-1 ve EAY-2 no.lu sıcak su örnekleri ile ET-3 ve ET-4 no.lu soğuk su örneklerde Dünya Sağlık Örgütü (W.H.O.) tarafından içme suları için belirlenen 1,5 mg/l limit değerinin altında, geri kalan su örneklerinde ise bu değer üzerinde olduğu belirlenmiştir.

4.2.2 Sularda ölçülen fizikokimyasal parametrelerin dağılım haritaları

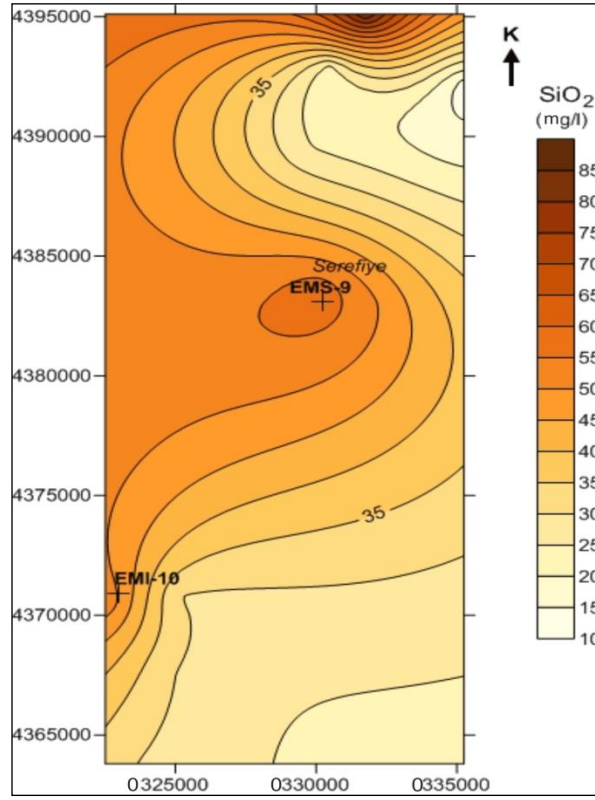
Çalışma sahasındaki suların sıcaklık (Şekil 4.7), EC (Şekil 4.8), SiO₂ (Şekil 4.9) ve Cl (Şekil 4.10) diyagramları incelendiğinde, sahadaki suların sıcaklık değerlerindeki artışına bağlı olarak SiO₂ ve Cl değerlerinde de artış olduğu SiO₂ ve Cl dağılım haritalarından da görülmektedir. EC dağılım haritası ise sıcaklık dağılım haritasıyla benzerlik göstermekle beraber formasyon özelliklerine bağlı olarak değişik bir dağılım sergilemektedir. Cl izokontur haritasına göre (Şekil 4.10), alanda bulunan yeraltı sularının akış yönü yeraltısuyu akım yönü haritasını da doğrulayacak biçimde kuzeybatıdan güneydoğuya ve güneyden kuzeye doğru olmakta, klorür ve toplam mineralizasyonca da büyük ölçüde zenginleşmektedir. Bu saptama sahanın besleme bölgesinin kuzeybatı ve güney olduğunu ortaya koymaktadır.



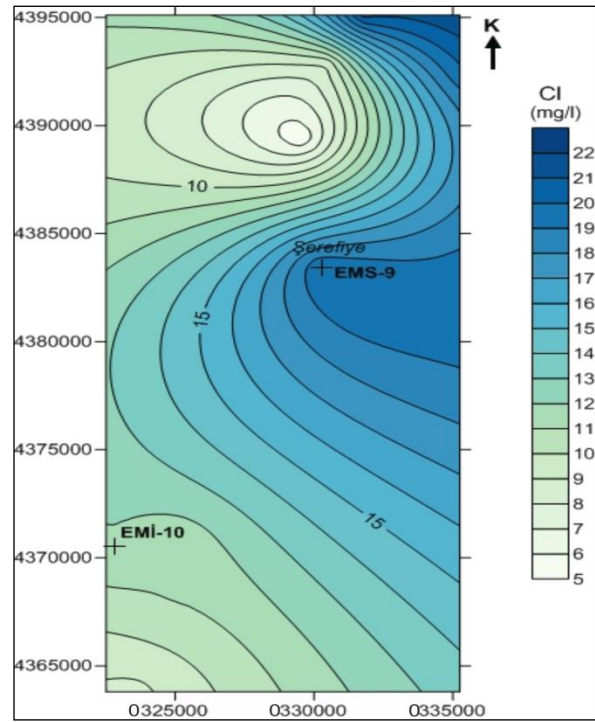
Şekil 4.7. Çalışma sahasında yerinde ölçümü yapılan suların sıcaklık dağılım haritası.



Şekil 4.8. Çalışma sahasında yerinde ölçümü yapılan suların EC dağılım haritası.



Şekil 4.9. Çalışma sahasında örneklenen suların SiO₂ dağılım haritası.



Şekil 4.10. Çalışma sahasında örneklenen suların Cl dağılım haritası.

4.2.3 Suların aşındırıcı-kabuklaştırıcı özellikleri

Jeotermal uygulamalarda, karbonat çökelimleri ve başka bir deyişle kabuklaşma, jeotermal akışkan borularda yukarıya doğru yükselirken veya yatay olarak akarken herhangi bir sebeple basınç düşmesi sonucu karbondioksit (CO₂) gazlarının sıvı ortamı terk edip gaz fazına geçmesiyle birlikte başlar. Bir jeotermal akışkanın kullanım aşamasında kabuklaşma ve korozyon açısından nasıl hareket edeceği çeşitli yöntemlerle tespit edilebilir. “Langelier Kalsiyum Denge Diyagramı” bu yöntemler arasında en çok kullanılanıdır.

Bu diyagramda $I = \text{pH} - \text{pH}_s$ formülünde

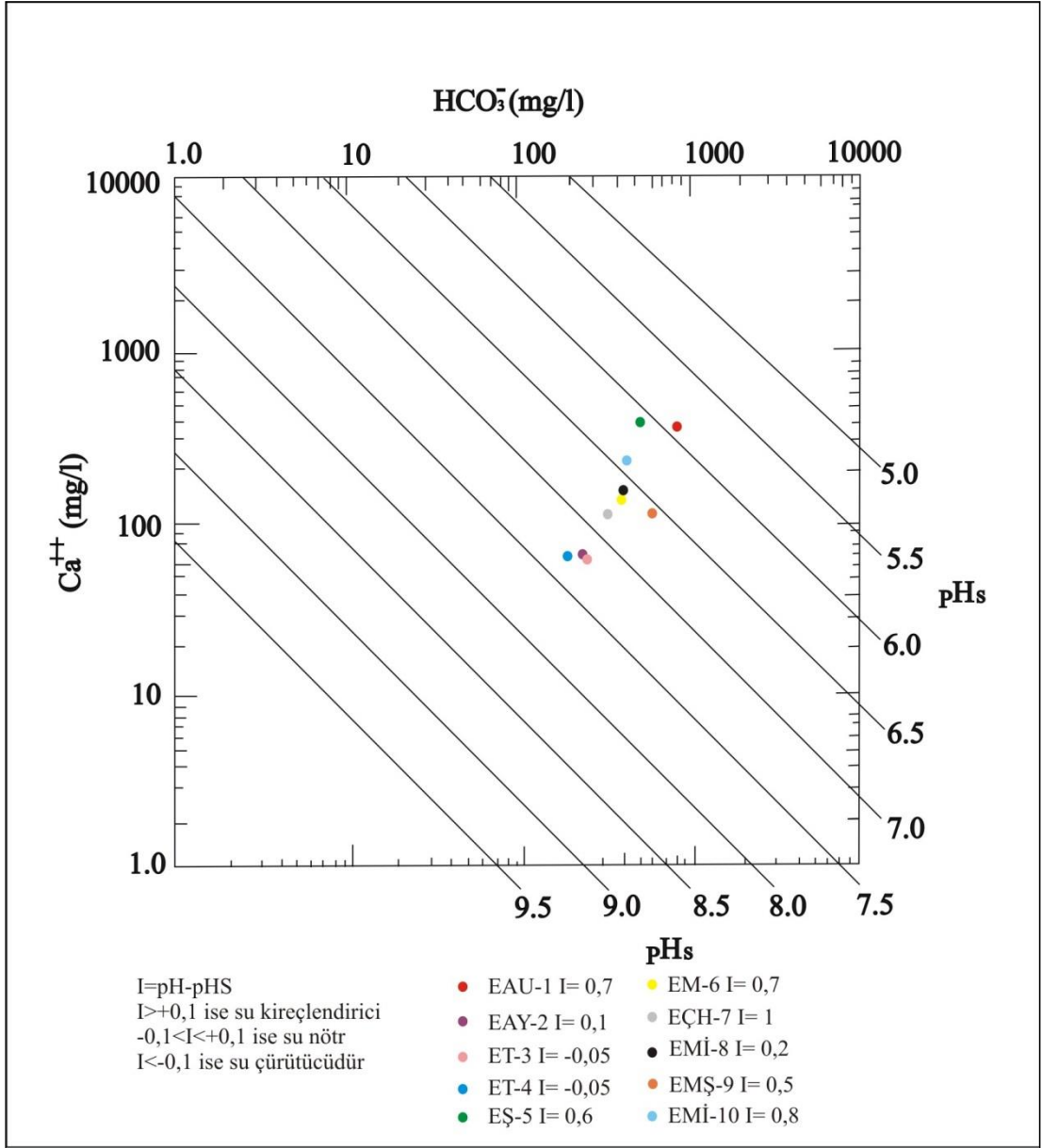
I: Langelier İndeks

pH: Suyun ölçülen pH değeri

pH_s: Suyun hesaplanan doymuluk pH' ı

Formülden de anlaşılacağı gibi Langelier indeksi suyun ölçülen pH'ı ile hesaplanan doymuluk pH'ı (pH_s) arasındaki farka dayanır.

Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler ve Alpu jeotermal ruhsat sahalarında mevcut jeotermal akışkanların kimyası kullanılarak ve akışkanın kabuklaşma ve korozyon eğilimi bu diyagram yardımıyla hesaplanmıştır. Bu hesaplara göre çalışma alanında bulunan sulardan ET-3 ve ET-4 soğuk su örnekleri nötr, geri kalan tüm sıcak su örnekleri ise kabuklaştırıcı özelliktedir (Şekil 4.11). Kabuklaştırıcı özellikteki sular jeotermal işletmeler için kabuklaşma oluştuktan sonra etkilerini ortadan kaldırmak için mekanik temizlik, kazıma, hidrolik çatlatma yöntemleri uygulanabilmektedir. Kimyasal madde dozajı uygun ve ekonomik bir çözüm sağlamaktadır.



Şekil 4.11. Çalışma sahasındaki suların Langelier kalsiyum denge diyagramı.

4.3 İzotop Analizlerinin Değerlendirilmesi

4.3.1 $\delta^{18}\text{O}$ - δD -Tritiyum analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Bir elementin atom numarası aynı, kütle numarası farklı olan izotopların radyoaktif olanları jeolojide yaş tayini, radyoaktif bozunma göstermeyen duraylı olanları ise jeokimya çalışmalarında yaygın olarak kullanılmakta ve konsantrasyonları izotop ayırılma süreci ile kontrol edilmektedir (Hubberten, 2005).

Duraylı izotopları bulunan hidrojen ve oksijen hidrotermal akışkanların kökenlerinin, yan kayaçla etkileşimlerinin belirlenmesinde jeotermal sistemlerde kullanılan iki ana bileşendir. Oksijenin ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O olmak üzere üç duraylı izotopu bulunmakla birlikte, ^{17}O 'nin doğada çok düşük konsantrasyonda bulunması nedeniyle izotop çalışmalarında kullanılmamaktadır. Hidrojenin ise iki adet duraylı izotopu (^1H , $^2\text{H} = \text{D}$) bulunmaktadır.

Kütle spektrometresinde analizleri yapılan izotop konsantrasyonları referans standart çözeltiler kullanılarak, bu çözeltilerden sapmalarla saptanabilmekte ve sonuçlar “ δ ” ile gösterilmektedir;

$$\delta\text{D} (\text{‰}) = \frac{(\text{D}/\text{H})_{\text{örnek}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}}{(\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}} * 10^3$$

$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰}) = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}} * 10^3$$

Kullanılan standart çözeltiler Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) ve Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü (NIST) tarafından kalibre edilmekte ve dünyadaki izotop laboratuvarlarına verilmektedir (Clark ve Fritz, 1997). Referans çözeltilerden en yaygın olarak kullanılanı Craig (1961) tarafından ilk önerilen SMOW kısaltması ile kullanılan okyanus sularının ortalama bileşimini işaret eden çözelti (Standart Mean Ocean Water; $\delta\text{D} = 0 \text{ ‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 0 \text{ ‰}$) ve IAEA tarafından hazırlanan

ve bileşimi SMOW'a yakın olan V-SMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water; $\delta D = +0.20 \text{ ‰}$, $\delta_{18}O = +0.04 \text{ ‰}$) çözeltilisidir.

Craig (1961) tarafından dünyanın farklı bölgelerindeki göl, nehir ve yağışlardan alınan 400 adet örneğin analizleri sonucunda meteorik sular arasında kurulan izotopik ilişkiye dayanarak küresel meteorik su doğrusu (global meteoric water line; GMWL) ortaya konulmuştur. Doğru denklemi " $\delta D = 8 * \delta_{18}O + 10$ " olan doğruya göre yeryüzündeki meteorik suların çizgisellik sunmaktadır. Bu doğru buharlaşma etkisinde olmayan suları yansıtmaktadır. Denklemdaki "10" değeri döteryum fazlalığı (df) olarak tanımlanmakta olup, bölgelere göre değişiklik sunmakta olup (Dansgaard 1964), nem, sıcaklık, buharlaşma etkisine bağlı olarak bölgelere göre değişebilmektedir.

İzotoplar jeotermal sistemlerde gelişen fiziko-kimyasal reaksiyonlar nedeniyle bir atom farklı izotoplarına ayrılabilir. Bu ayrılma işlemi izotop ayrışması (fraksiyonlaşması) olup, atom numarası 40'dan az olan atomlarda tüm kütlelerin belirli bir bölümüne denk geldiği için bu atomlarda belirgin olarak gerçekleşmektedir (Güleç ve Mutlu, 2002). Bu sistemlerde buharlaşma, yoğunlaşma, gaz fazının çözeltiliden ayrılması ve sıcak akışkan-mineral dengelerine bağlı tepkimelerde izotop ayrışması kendini göstermektedir. Bu fizikokimyasal etmenlerden en önemlileri buharlaşma ve yoğunlaşmadır. Su molekülleri, oksijen ve hidrojenin farklı izotoplara sahip olmaları nedeniyle farklı kompozisyonda olabilirler. Bu farklılıklar doğada atomların ağır veya hafif izotoplarının zenginleşmesine /fakirleşmesine neden olur. Örneğin $H_2^{16}O$ (hafif su) $D^{18}O$ (ağır su)'ya göre daha yüksek buhar basıncına sahiptir zira moleküllerin buhar basınçları izotopik kütleleri ile ters orantılıdır (Akçay, 2002; Güleç ve Mutlu, 2002). Bu nedenle okyanus suları buharlaştığında, buhar hafif izotoplarca zengin, kalan su ağır izotoplarca zenginleşmektedir. Bu durumun tersine su buharının yoğunlaşması ile oluşan ilk yağmur ağır izotoplarca zengindir (gravitatif etki nedeniyle). Yağış devam ettikçe kalan buhar fazı hafif izotoplarca zenginleşmektedir. Sürekli tekrarlanan buharlaşma, bulutlar içinde yoğunlaşma ve yeryüzüne yağış olarak düşme sonucunda yeraltı suları okyanus sularına göre hafif izotoplarca zenginleşirken ağır izotoplarca fakirleşir. Okyanuslardan karalara doğru gidildikçe bu zenginleşme artar ve bu durum

yağışların izotop içeriğini etkileyen etmenlerden “karasal etki” olarak adlandırılır (Hubberten, 2005).

Su ve buhar arasındaki izotop ayrışmasını etkileyen bir etki de sıcaklıktır. Meteorik sularda değişen ortalama hava sıcaklığına bağlı olarak izotop değerleri de değişmektedir. Düşük sıcaklıklarda yüksek sıcaklıklardakine oranla ayrışma faktörü değeri artmakta, sular ağır izotop açısından zenginleşmektedir (Dangsgaard, 1964). Mevsimsel etkiler izotop ayrışmasına neden olmaktadır. İzotopik ayrışma sıcaklığa bağlı olduğu kadar, neme de bağlıdır. Meteorik su doğrusunda “df” olarak ifade edilen döteryum fazlası bölgelere göre değişmekte ve okyanusların üzerindeki atmosferin bağıl nemliliğinin ve havadaki sirkülasyonun bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir (Gat, 1971; Satır, 2006). Buharlaşmanın yüksek olduğu bölgelerde artış göstermektedir. Farklı mevsimlerdeki yağışların izotopik bileşimlerinde değişimler gözlenmektedir. Yaz yağmurları kış yağmurlarına göre ağır izotoplarca daha zengindir, zira yazın yeryüzüne düştüğü sırada hafif izotopların daha önce buharlaşmasıyla, düşen yağmur damlaları ağır izotop açısından zengin hale gelmektedir. Yaz-kış sıcaklık farklılıklarının yüksek olduğu bölgelerde bu ayrışma baskın olarak gözlenmektedir (Sayın ve Eyüpoğlu, 2005). Çalışma alanındaki suların Ağustos ve Ocak aylarında alınan örneklerinde oksijen-18 içeriklerinde bir miktar değişiklik görülmektedir. Bunun nedeni beslenme sıcaklığının değişmesidir. Soğuk aylarda sıcaklık azaldıkça izotop değeri daha negatif olmaktadır.

Jeotermal suların içerdikleri $\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesinin nedeni rezervuar sıcaklığının yanı sıra suların yeraltında gerçekleştirmekte oldukları dolaşım sırasında etkileşimde oldukları yan kayaçlardır ve en yoğun zenginleşme karbonatlı akiferlerde gözlenmektedir (Truesdell ve Hulston, 1980). Meteorik sularla kireçtaşının etkileşimi genellikle $\delta^{18}\text{O}$ ’ i zenginleştirmesini beraberinde getirmektedir. Akifer sıcaklıkları kireçtaşı formasyonunun sıcaklığından yüksek olduğundan bu sıcaklık ve $\delta^{18}\text{O}$ farklılıkları, akiferde kalsitin yeniden kristalleşmesi sonucu $\delta^{18}\text{O}$ değerinin suya, $\delta^{16}\text{O}$ değerinin ise kalsite transfer olmasına neden olmaktadır (Drever, 1988). Su akifer boyunca yavaş akışa sahipse su-kaya etkileşiminden daha çok etkilenecek ve ağır

izotoplarca zenginleşecektir. $\delta D'$ da ise genellikle değişim olmamaktadır. Nedeni kayaların bazı kil mineralleri, biotit, amfiboller dışında H^+ içeriğine sahip olmamalarıdır (Clark ve Fritz, 1997; Hubberten, 2005).

Jeotermal kaynakların üretime geçmesiyle bu izotoplar değişen bileşimleriyle jeotermal sondajlarda basınç düşmesi durumları ile kaynama - buharlaşma süreçlerine bağlı entalpinin azalması, kabuklaşma problemlerine ilişkin bilgilendirme sağlamakta, sistemin devamlılığının sağlanmasına yönelik önlem almaya yönlendirmektedir (Güleç ve Mutlu 2002).

Çalışma alanından alınan su örneklerinde Ağustos-2011 kurak döneminde yapılan duraylı ($\delta^{18}O$ ve δ^2H) ve radyoaktif (3H) izotop analiz sonuçları Çizelge 4.2'de Ocak-2012 yağışlı döneminde yapılan analiz sonuçları ise Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Şekil 4.12 ve 4.13'deki grafiklerde $\delta^{18}O$ - δ^2H ilişkisi incelenmiş ve su örneklerinin Craig (1961) tarafından yapılan Dünya Meteorik Su Çizgisi'nin hemen hemen üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu durum söz konusu suların aynı kökenli ve meteorik sulardan beslendiğini göstermektedir. ET-4 örneği ise sığ bir soğuk kaynaktan alındığından buharlaşmanın etkisiyle doğrudan saptığı görülmektedir.

Duraylı izotoplardan döteryum ile oksijen-18 arasındaki ilişki, belli yağış rejimleri için değişmemektedir. Bu nedenle, örneklerdeki döteryum fazlası kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi ve beslenme alanları konusunda bilgi edinme olanağı vardır. İnceleme alanındaki kurak ve yağışlı dönem örnekleri için hesaplanan döteryum fazlası (Df), Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Döteryum fazlası değeri yağışı oluşturan nemin kökenini belirlememizi sağlar. Döteryum fazlasını etkileyen süreçler; yağış kaynağının izotopik kompozisyonu, yağışın oluştuğu andaki nem düzeyi ve ardışık buharlaşmaya uğrayıp uğramamasıdır.

Duraylı izotoplardan Döteryum ve oksijen-18 arasındaki ilişki belli yağış rejimleri için zaman içinde değişmez. Bu nedenle örneklerdeki döteryum fazlaları

kullanılarak farklı yağış rejimlerinin etkisi belirlenebilir. Buradan da, beslenme alanları ile ilgili bilgi elde edilebilir.

Döteryum, fazlası;

$Df = \delta D - 8\delta^{18}O$ eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

Döteryum fazlasının yüksek değerleri ($Df > 10$) denizel kökenli yağışların göstergesi olmasına karşılık, düşük değerler karasal kökenli yağışları temsil etmektedir (Kehinde, 1993). Ortalama değerler ise her iki kökenli yağışlardan beslenme ile ilgilidir.

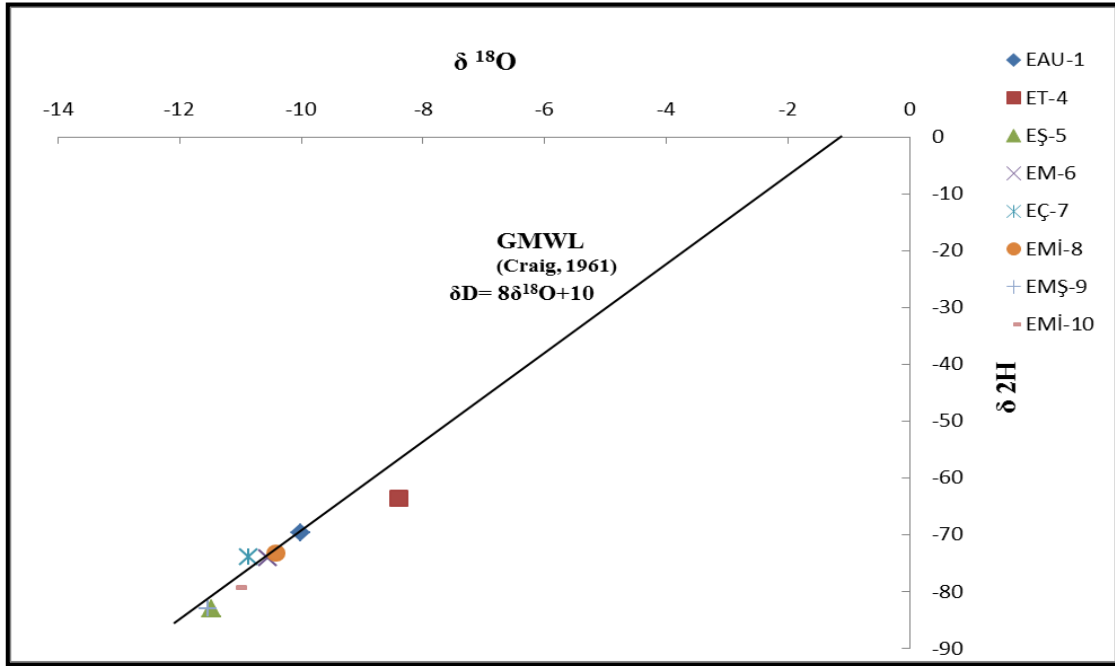
İnceleme alanından alınan su örneklerindeki döteryum fazlaları her iki kökenli, iki farklı cepheden gelen yağışlardan beslense de ağırlıklı olarak karasal yağışları temsil eder niteliktedir.

Çizelge 4.2. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Ağustos-2011 (kurak dönem) çevresel ve radyojenik izotop analiz sonuçları.

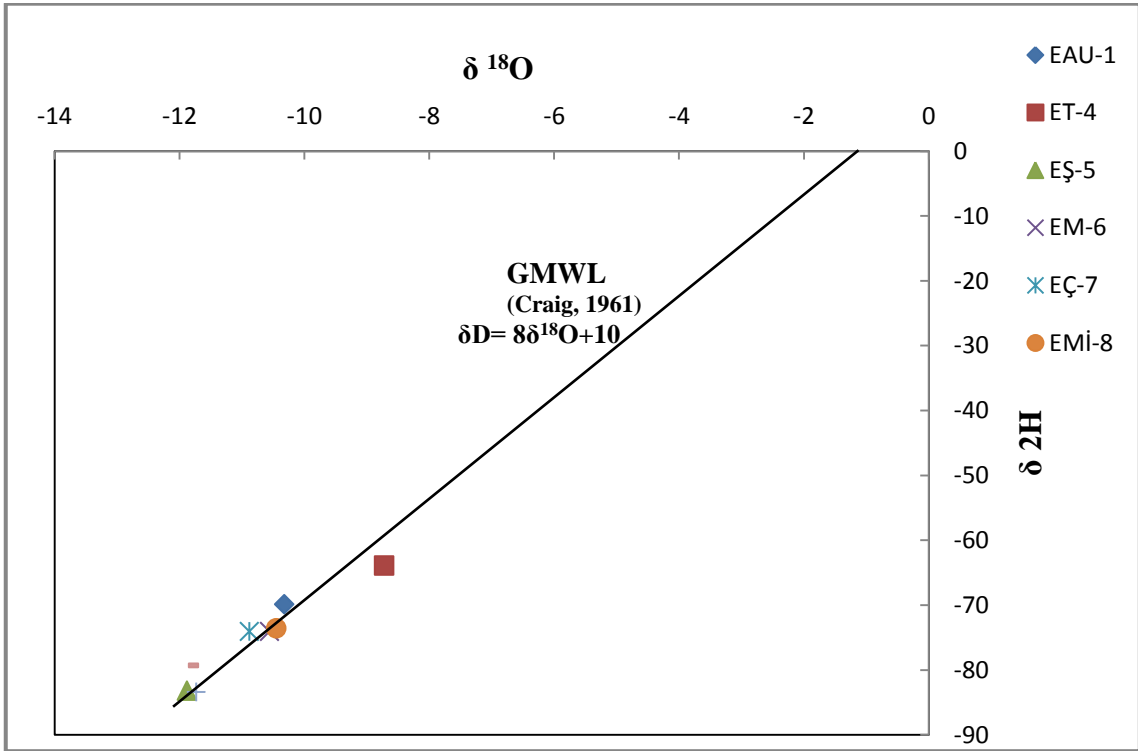
Örnek No	$\delta^{18}O$ δ (SMOW)	δ^2H δ (SMOW)	3H (TU)	Yükselti (m)	Df
EAU-1	-10,02	-69,6	0	814	10,56
ET-4	-8,39	-63,7	7,2	959	3,42
EŞ-5	-11,48	-83,1	0	899	8,74
EM-6	-10,55	-74,1	0	897	10,3
EÇH-7	-10,86	-74	0,25	890	12,88
EMİ-8	-10,42	-73,3	0,5	908	10,06
EMŞ-9	-11,53	-83,1	0	895	9,14
EMİ-10	-11,05	-79,3	0	907	9,09

Çizelge 4.3. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Ocak-2012 (yağışlı dönem) çevresel ve radyojenik izotop analiz sonuçları.

Örnek No	$\delta^{18}O$ δ (SMOW)	δ^2H δ (SMOW)	3H (TU)	Yükselti (m)	Df
EAU-1	-10,32	-69,9	0	814	12,66
ET-4	-8,72	-63,9	7,1	959	5,86
EŞ-5	-11,88	-83,2	0	899	11,84
EM-6	-10,56	-74,1	0	897	10,38
EÇH-7	-10,88	-74,1	0,5	890	12,94
EMİ-8	-10,45	-73,6	0,5	908	10
EMŞ-9	-11,73	-83,4	0	895	10,44
EMİ-10	-11,85	-79,3	0	907	15,5



Şekil 4.12. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Ağustos-2011 (kurak) dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği (GMWL: Dünya Meteorik Su Hattı; Craig, 1961).



Şekil 4.13. İnceleme alanından alınan su örneklerinin Ocak-2012 (yağışlı) dönemine ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği (GMWL: Dünya Meteorik Su Hattı; Craig, 1961).

1963 yılı öncesinde yeraltı sularındaki trityum miktarı 10 TU kabul edildiğinde bunun ne kadarının günümüze kadar gelebildiğini hesaplamak için Kendall ve Caldwell (2006)'da verilen bozunma eşitliğinde;

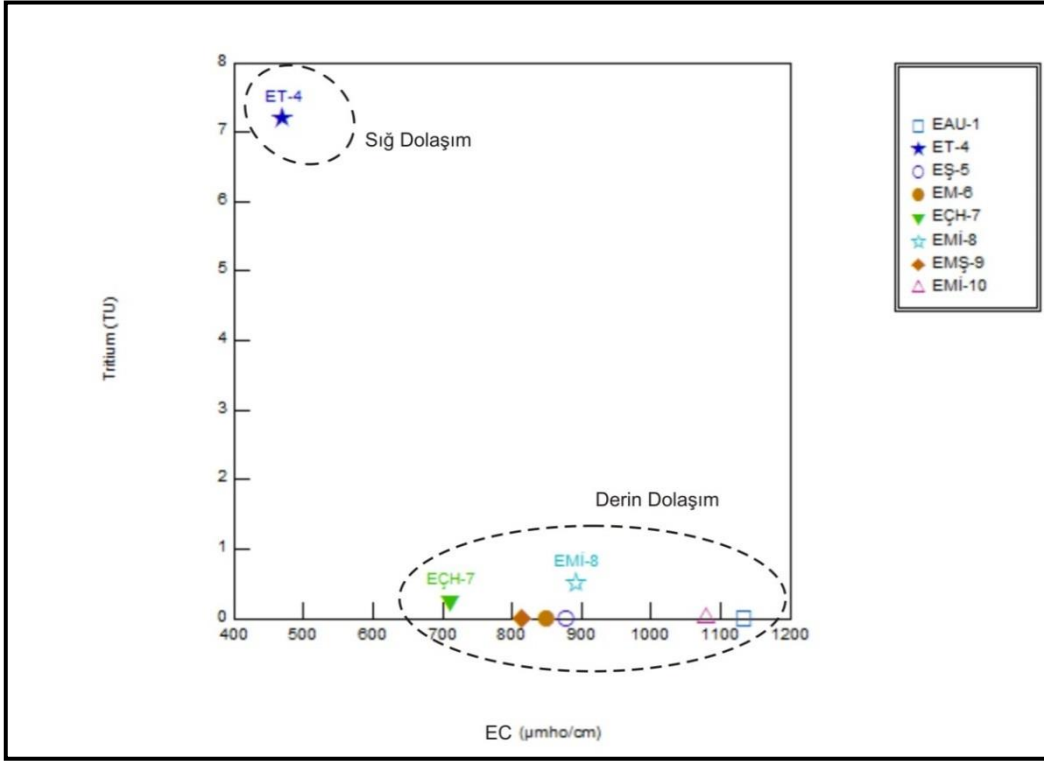
$$A_1 = A_0 e^{-\lambda t}$$

A₁: Güncel trityum miktarı (TU), **A₀**: Başlangıçtaki trityum miktarı, **λ** : Trityumun Bozunma sabiti (0,056 yıl⁻¹), **t**: Başlangıçtan herhangi bir t anına kadar geçen süre (yıl).

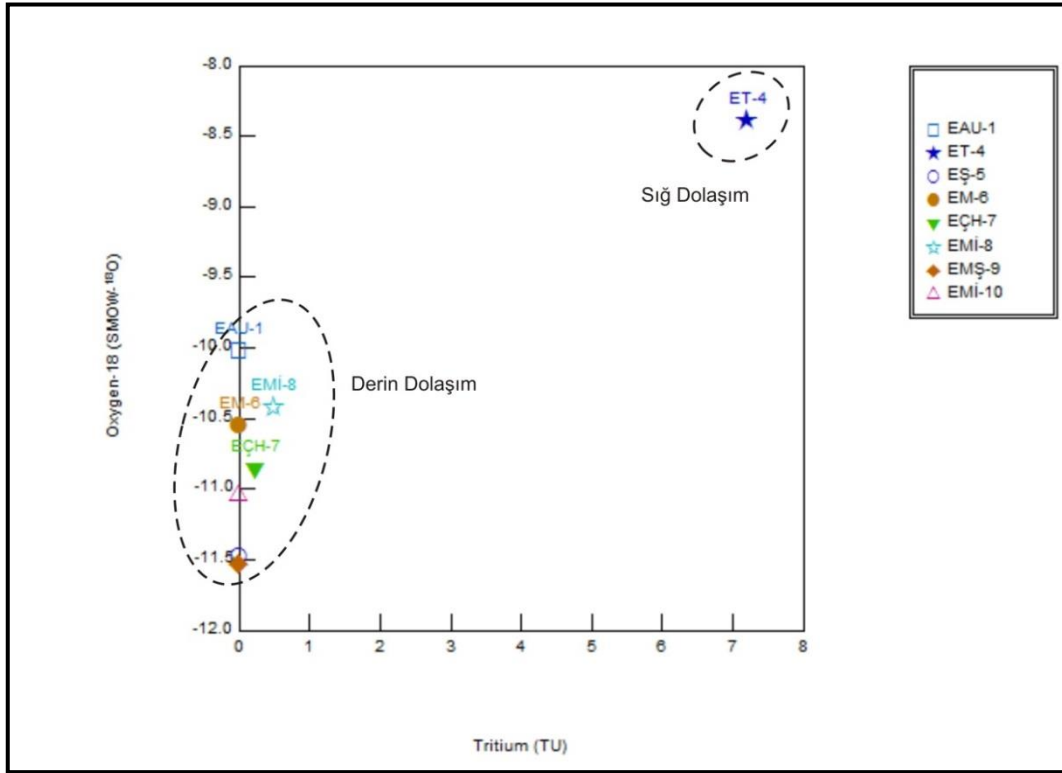
Yukarıdaki formüle göre t=2012-1963= 49 yıl için A₁= **0,64 TU** olarak hesaplanır. Buna göre 0,64 TU'dan fazla trityum içeren sular, nükleer testlerden sonra oluşmuş yağış sularının yeraltı sularına karıştığını işaret eder. Bu hesaplama göre, çalışma alanındaki sıcak suların trityum değerleri ET-3 örneği hariç 0,64 TU'dan daha düşük olduğundan bu sular için 50 yıldan daha yaşlı sular oldukları söylenebilir.

4.3.2 Suların dolaşım ve kökensele ilişkilerinin değerlendirilmesi

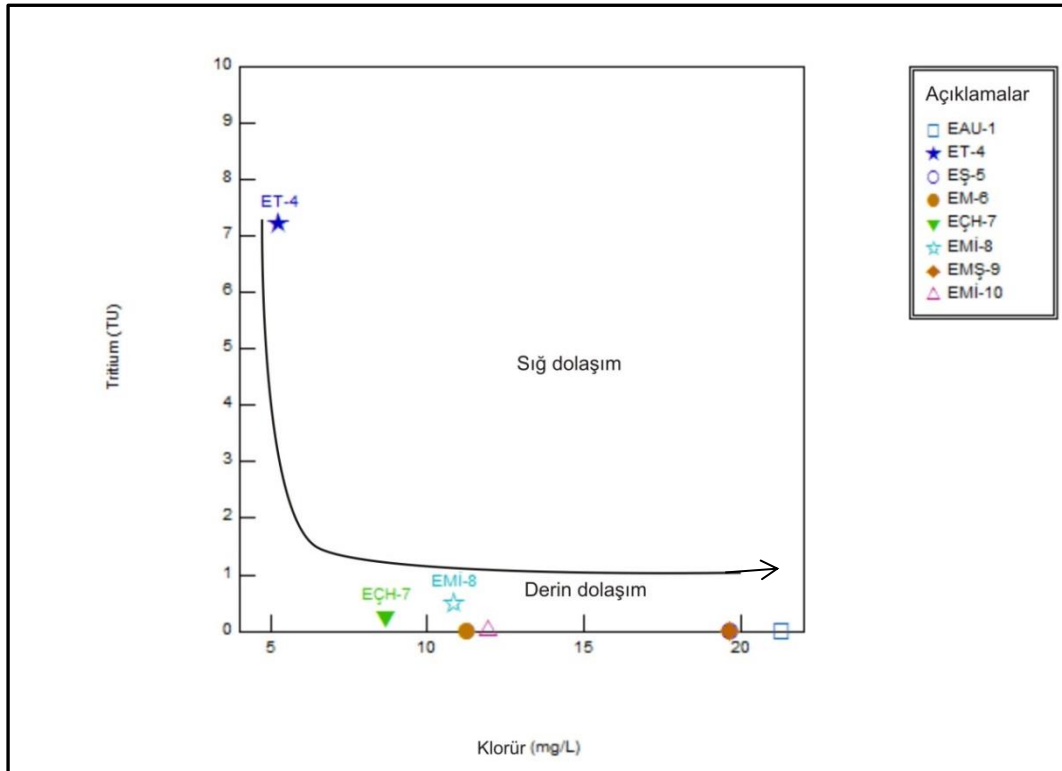
Şekil 4.14'de uygulanan grafikte ET-4 su örneği yüksek trityum ve düşük EC değerleriyle kayaçlarla temas süresi az ve güncel sularla beslenmiş, dolayısıyla sığ dolaşım su olarak yorumlanırken diğer su örnekleri bunun tam tersi olarak derin dolaşım su olarak değerlendirilmiştir. Benzer yaklaşım Şekil 4.15'deki Trityum-¹⁸O ve Şekil 4.16'daki Trityum-Klorür grafiklerinde de izlenmektedir. Söz konusu grafiklerde kurak (Ağustos-2011) dönemde alınan su örnekleri kullanılmıştır.



Şekil 4.14. İnceleme alanından alınan su örneklerinin EC-Tritiyum grafiği.



Şekil 4.15. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Triyum- $\delta^{18}\text{O}$ grafiği.



Şekil 4.16. Çalışma sahasından alınan su örneklerinin Triyum-Klorür grafiği.

4.4 Sularda Yapılan Radon Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Radon doğal olarak oluşan, suda en fazla çözünebilen radyoaktif soy gazdır ve popülasyon tarafından alınan doğal radyasyonun ana kaynağıdır. Radon kayalardaki radyum kalıntılarında türer ve direkt olarak veya suda çözülmüş olarak yeryüzüne yayılabilir (Al-Badrani, 2009). Kıtasal kabukta yer alan kayalardaki radon, ^{222}Rn olarak kayalar içindeki sulara difüzyonuyla termal sulara ve toprağa geçer (Gurler et.al., 2010).

Sularda yapılan radon ölçümlerine göre (Çizelge 4.4 ve 4.5) Topkaya Uyuz Hamamı Yolu Soğuk Kaynak (ET-3) ve Topkaya köyü soğuk kaynak sularında (ET-4), Rn değeri diğer sulara göre daha yüksek olup bu da, bu suların radyoaktivitesi yüksek kayalarla diğer örneklerle göre etkileşiminin nispeten daha fazla olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.4. Çalışma alanından alınan bazı su örneklerindeki radon, uranyum ve toryum analiz sonuçları.

Kaynak	Rn (Bq/l)	Uranyum (ppb)	Toryum (ppb)	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NaCl (ppt)	pH
EAU-1	0,19	3,2	0,8	1248	0,6	6,89
EAY-2	0,19	3,8	2,2	514	0,2	7,10
ET-3	0,89	12,2	9,8	531	0,2	7,37
ET-4	1,63	26,6	11,4	603	0,2	7,37

Çizelge 4.5. Çalışma alanında açılan EMŞ-2011/24 ve EMİ-2012/4 jeotermal sondajlarında yapılan radon analiz sonuçları.

Örnek No	T ($^{\circ}\text{C}$)	Ölçülen Rn (Bq/m^3)	Hesaplanan Rn (Bq/m^3)	Geçen Zaman (saat)	Yeniden hesaplanan Rn aktivitesi (Bq/m^3) $E=E_0 * e^{-(\lambda * t)}$ $\lambda=1/(\text{Emivita} * 1.443)$	Yeniden Hesaplanan Rn Aktivitesi (Bq/l)
EMŞ-9*	65	833,00	0,010	170	833,00	0,83
EMİ-10**	59,5	611,00	0,010	145	611,00	0,61

*EMŞ-2011/24 kuyusundan alınan su örneği

**EMİ-2012/4 kuyusundan alınan su örneği

EMŞ-9 ve EMİ-10 no.lu örneklerin radon ölçümleri yerinde yapılmayıp daha alınan örnekler daha sonra laboratuvar ortamında radon kaybı hesaplanarak geriye dönük radon değeri olarak hesaplanmıştır.

Termal sularında bulunan radon, uranyum, toryum gibi elementler bölgede yer alan jeolojik birimlerle doğrudan ilişkilidir (Gurler et.al., 2010).

İnceleme alanındaki granitlerin uranyum değerleri ortalama 16 ppm, toryum değerleri ise ortalama 17,2 ppm değerlerindedir (Çelmen, 2008). Granodiyoritlerden çıkan kaynaklar olan ET-3 ve ET-4 örneklerinde ise uranyum ve toryum değerlerinin sahadaki granitlerle su-kayaç etkileşimiyle ilişkili göreceli olarak diğer örneklerdeki değerlerin üzerinde olduğu görülmektedir.

Radon gazının içme sularındaki limit değerleri USEPA (United States Environmental Protection Agency, 1991)'e göre 11 Bq/L, UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 1993)'e göre 4-40 Bq/L ve CEC (Commission of the European Communities, 2001)'e göre 100 Bq/l olarak belirlenmiştir. Örneklerdeki radon değerleri ise, **0,19-1,63** Bq/L olarak ölçülmüştür.

Benzer çalışmalar incelendiğinde batı Anadolu'dan alınan 40 adet termal su örneğinde radon değerleri 0,14-5,77 Bq/L (Erees et.al., 2006), Afyon'da 0,085-44,57 Bq/L (Akkurt, 2006), Konya'da 0,6-70 Bq/L aralığında (Erdoğan et.al., 2013) ve Bursa Çekirge yöresinde ortalama 2,5 Bq/L (Gürler et.al., 2010) radon değerleri ölçülmüştür. Daha önce yapılmış olan bu çalışmalarla karşılaştırıldığında özellikle magmatik kayaların yoğun olarak Bursa örneğindeki radon değeriyle kıyaslandığında ve Batı Anadolu'daki sonuçlara bakıldığında inceleme alanındaki suların düşük sayılmayacak bir radon içeriğine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

4.5 Hidrojeotermometre Uygulamaları

Jeotermometreler akifer içerisindeki akışkan sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla kaynak veya kuyu başından alınan numunelerde yapılan kimyasal veya izotopik verilerle hesaplanan denklemlere denir.

Kimyasal jeotermometreler (kation ve silis jeotermometreleri), kimyasal bileşime dayalı jeotermometrelerdir. Bu şartlardan biri, mevcut sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklığında kayaç ve su arasında kimyasal dengenin gerçekleşmesidir.

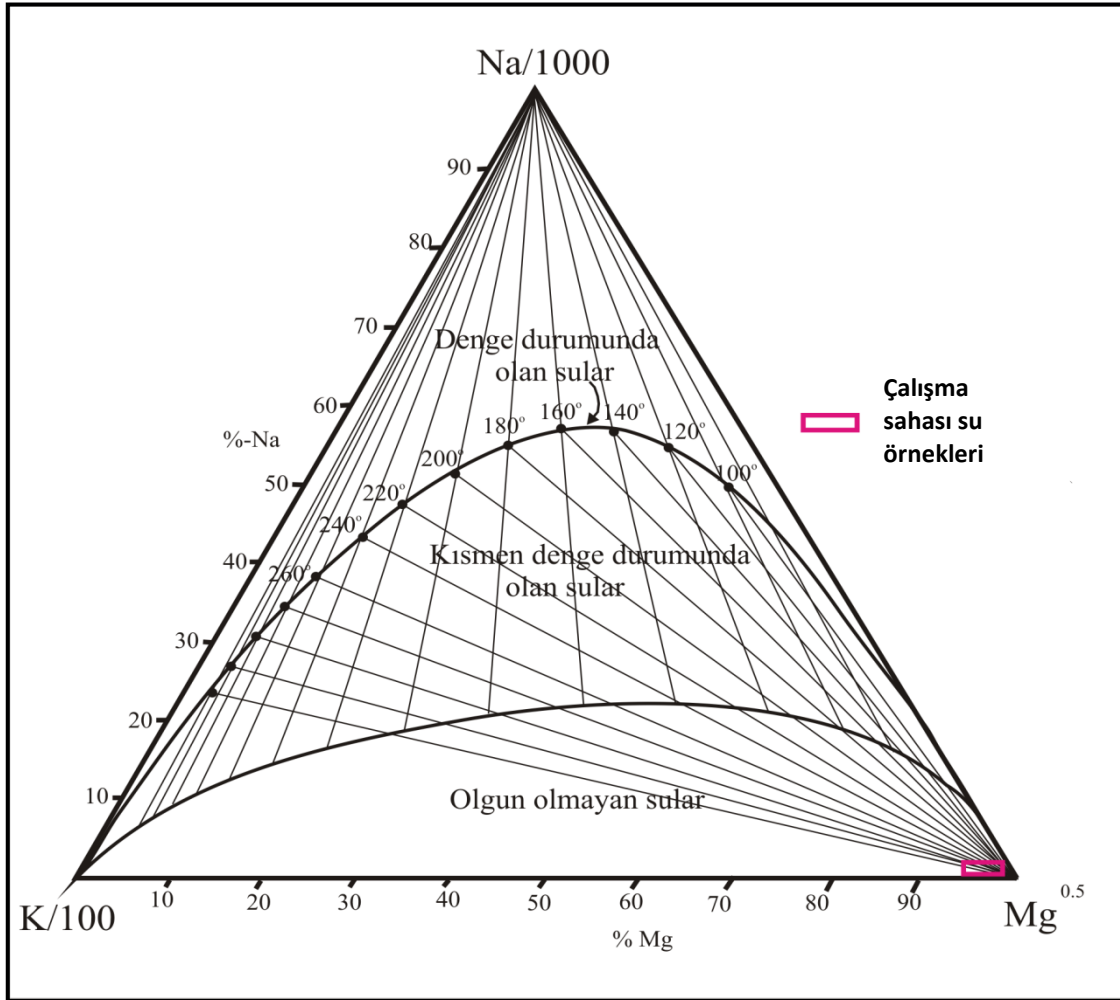
Suların kimyasal jeotermometre kullanımına uygunlukları Na-K-Mg üçgen diyagramında incelenmiş (Giggenbach, 1991) ve olgun olmayan sular grubunda yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 4.17). Bu nedenle genellikle yüksek sıcaklıklı, rezervuarda uzun süre kalmış, derin dolaşimli sular için uygulanabilir olan kation jeotermometrelerinin kullanımı, uygun ve kabul edilebilir sonuçlar vermemektedir. Jeotermometrelerden mineral çözünürlüğüne dayalı olan ve 150-225 °C arasında iyi sonuçlar veren silis jeotermometrelerinden uygun kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle sıcaklıkları < 190 °C olan akışkanlarda kuvarsa nazaran kalsedon ile denge söz konusu olduğundan kalsedon jeotermometresi daha doğru sonuçlar vermektedir (Henley ve diğ., 1985).

Silika jeokimyasal termometreleri, silika minerallerin çözünürlüğüne dayalı jeokimyasal termometrelerdir (Şimşek, 1997). Kuvars, kalsedon, α -kristobalit, opal-CT (β - kristobalit) ve amorf silikanın çözünürlüğü 20 ile 250 °C arasındaki sıcaklıklarda doğrusal bir uzantı sergiler. Sıcaklığın dışında, silika çözünürlüğüne etki eden faktörler basınç, pH ve tuzluluktur. 300 °C sıcaklığa kadar çözeltideki tuzluluk ve basınç silika minerallerinin çözünürlüğüne olan etkisi ihmal edilebilecek kadar düşük düzeydedir. Ancak, daha yüksek sıcaklıklarda basıncın etkisi çözünürlük üzerinde fazladır. 180 °C'den yüksek sıcaklıklarda, çözeltideki silika derişimini kuvars çözünürlüğü kontrol eder (Fournier ve Rowe, 1977; Fournier ve Potter, 1982a; Fournier, 1985). Jeotermal akışkanlar içerisindeki silika derişimi genellikle 700 mg/l'dan küçük olup 100-300 mg/l

arasında değişim sunar (Nicholson, 1993). Kuvarsın çözünlüğü, 20°C'den 340 °C'ye doğru sıcaklık arttıkça artar.

Kalsedon ise, kuvarstan daha yüksek çözünlüğü olduğu için 140 °C'den düşük sıcaklıklarda çözümlenir. Kalsedon jeokimyasal termometresinin hazne kaya sıcaklığı 190 °C den az olan alanlarda daha iyi sonuçlar verdiği kabul görmektedir (Fournier, 1977). Kuvars termometreleri için, jeokimyasal termometrelerdeki varsayımlara ek olarak yapılan bir varsayım ise, rezervuardan yüzeye doğru çıkan akışkanın ya kondüktif soğumaya uğraması ya da 100 °C sıcaklıkta akışkandan buharın ayrılmasıyla adyabatik soğumanın meydana gelmesidir (Palabıyık 2006). Kuvars için hem buhar kaybı varsayımıyla hem de buhar kaybı olmadığı varsayımıyla eşitlikler geliştirilmiştir (Çizelge 4.6). Silis çözünlüğü, diğer iyonlardan, karmaşık molekül oluşuklarından ve uçucu maddelerden ayrılması gibi nedenlerden etkilenmediği için silika jeokimyasal termometreleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Şimşek, 1997). Bu jeokimyasal termometreler 150-225 °C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökeli mi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225 °C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz (Tarcan, 2002).

Buna göre yapılan hesaplamalarda rezervuar sıcaklığının 73-100 °C arasında olabileceği belirlenmiştir (Çizelge 4.6).



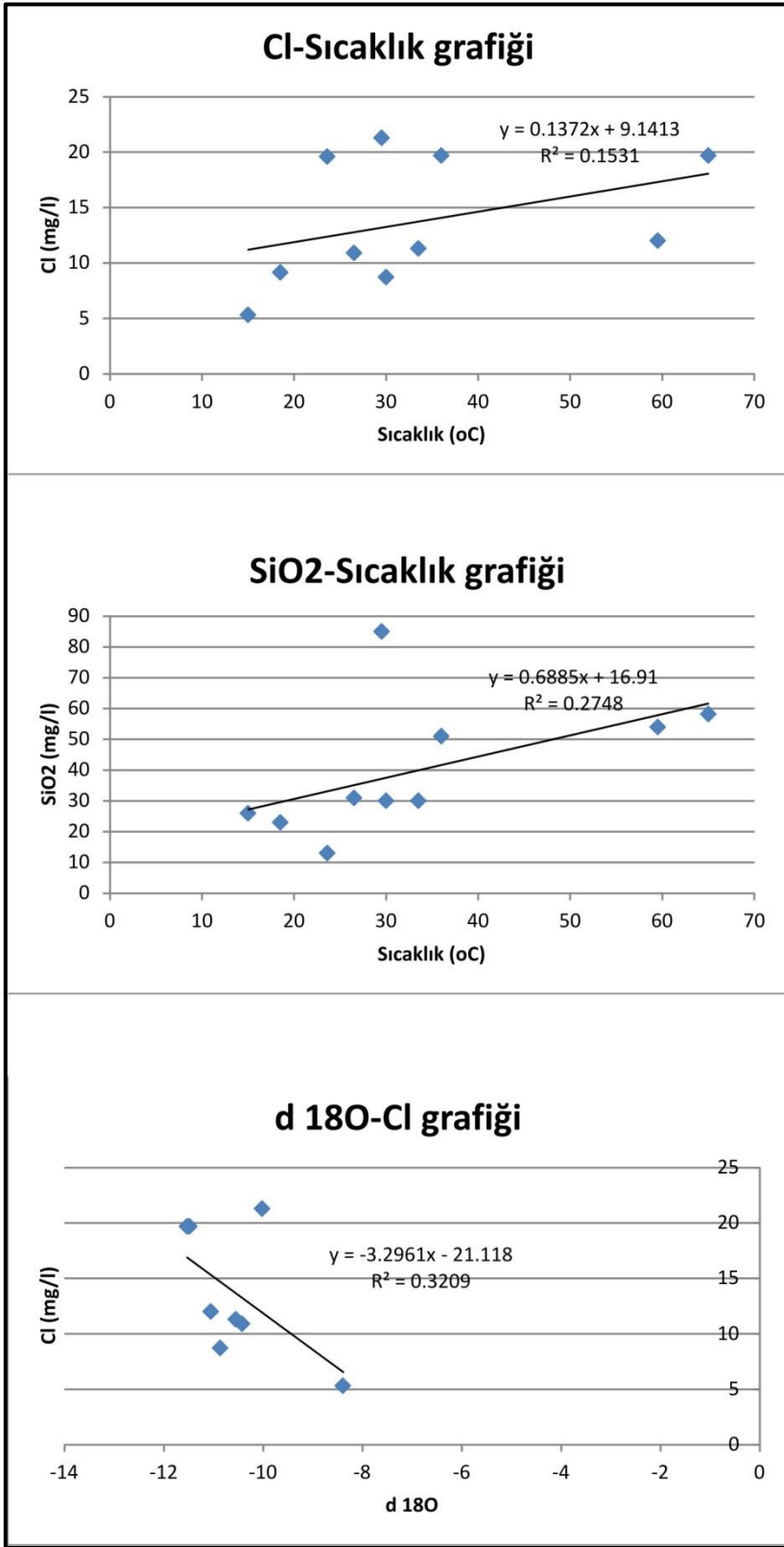
Şekil 4.17. İnceleme alanından alınan su örneklerine ait Giggenbach diyagramı (Giggenbach, 1991).

Çizelge 4.6. Çalışma sahasından alınan su örneklerine ait silis jeotermometre sonuçları.

Örnek No	Ölçülen Sıcaklık	Kuvars	Kuvars (Maks. buhar kayıplı)	Kalsedon
		$t^{\circ}\text{C} = [1309/(5,19 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Fournier,1977)	$t^{\circ}\text{C} = [1522/(5,75 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Fournier,1977)	$t^{\circ}\text{C} = [1032/(4,69 - \log\text{SiO}_2)] - 273$ (Fournier,1977)
EAU-1	29,5 °C	128 °C	125 °C	100 °C
EAY-2	23,6 °C	48 °C	55 °C	15 °C
EŞ-5	36 °C	103 °C	103 °C	73 °C
EM-6	33,5 °C	79 °C	83 °C	48 °C
EÇH-7	30 °C	79 °C	83 °C	48 °C
EMİ-8	26,5 °C	80 °C	84 °C	49 °C
EMŞ-9	65 °C	109 °C	109 °C	80 °C
EMİ-10	59,5 °C	106 °C	106 °C	76 °C

4.6 Sıcak Su-Soğuk Su Karışımı

Birçok alandaki jeotermal sular daha yüzeye erişirken belli oranlarda soğuk sularla karışarak, sıcaklıkları yeraltı sıcaklıklarından daha düşük değerlerle yüzeyler (Tarcan, 2002). Bu karışım ayrıca sıcak suyun kimyasal yapısında da değişiklikler oluşturur. Karışım sonucu sıcak suyun kimyasal özelliklerindeki ve sıcaklığındaki değişiklikler kullanılarak, jeotermal sistemin hazne kaya sıcaklığının ve karışım oranlarının saptandığı çeşitli karışım modelleri geliştirilmiştir. Bu çalışmada Entalpi-Silis ve Entalpi-Klorür karışım modellerini uygulanmak istenmiştir. Ancak her iki model içinde değerler uygun dağılımda olmadığından ve ortalama alınan doğrunun gerçeğe yakınlığı düşük olduğundan tek bir rezervuar için bir rezervuar sıcaklığı ya da karışım oranları hesaplamak mantıklı görünmemektedir. Bu durumda örnekleme yapılan sıcak sular farklı alt rezervuarlardan gelen sular olarak değerlendirilmiş ve tek bir rezervuardan itibaren soğuk su karışımıyla soğuduğu durumu ortaya çıkmamıştır. Şekil 4.18’de söz konusu örneklerin klorür-entalpi, silis-entalpi ve karışım durumlarını denetlemek için yapılan $\delta^{18}\text{O}$ -klorür grafiklerindeki doğrusal regresyon değerleri sıfıra yakın olduğundan uyum iyiliğinin uygun olmadığı ve modeli doğrulamakta yetersiz olduğu görülmektedir.



Şekil 4.18. İnceleme alanındaki su örneklerine ait Cl-entalpi, silis-entalpi ve $\delta^{18}\text{O}$ -klorür dağılım grafikleri.

4.7 Doygunluk İndisi Çalışmaları

Sularda doygunluk indeksi (SI) hesaplamaları ile farklı sıcaklıklarda hangi mineralin çökelme yapıp, hangi mineralin suda dengede olduğu yapılmaktadır. Doygunluk indeksi $\log(Q/K)$ olarak gösterilebilen logaritmik bir kavramdır ve

$SI = \text{Hesaplanan log çözünürlük değeri (log Q)} - \text{Teorik log çözünürlük değeri (log K)}$ ile hesaplanmaktadır.

Elde edilen hesaplamalarla;

$SI = 0$ ise mineralin su ile dengede

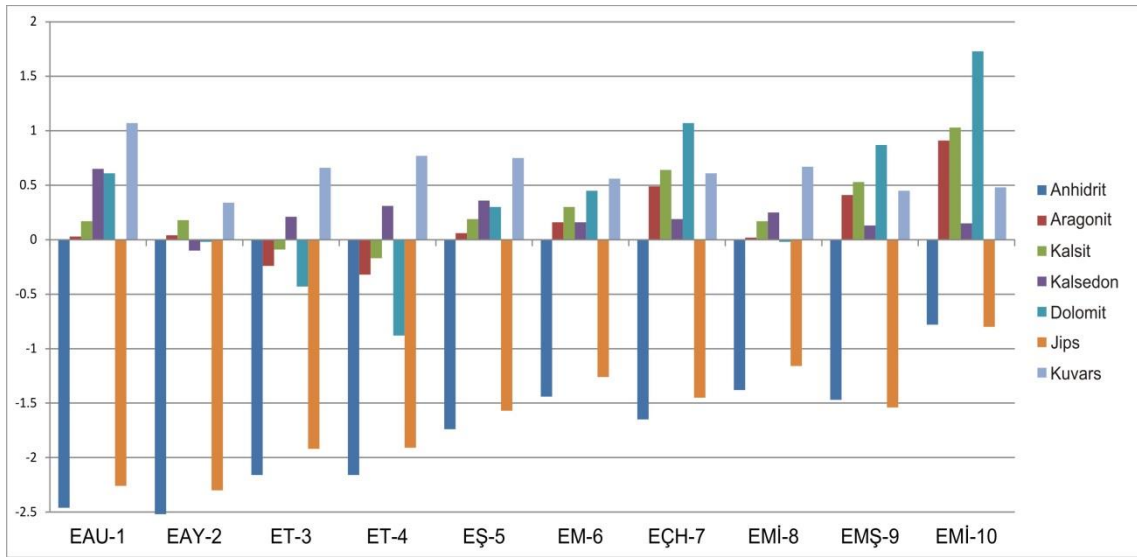
$SI < 0$ ise suyun minerale doygun olmadığı

$SI > 0$ ise suyun minerale doygun olduğu (mineralin çökeldiği) yorumlamasına gidilmektedir.

İnceleme alanındaki sıcak suların doygunluk indisi hesaplamaları PhreeqC programı ile yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir (Çizelge 4.7), (Şekil 4.19).

Çizelge 4.7. İnceleme alanından alınan su örneklerindeki mineral doygunluk indeksi değerleri

Örnek No	EAU-1	EAY-2	ET-3	ET-4	EŞ-5	EM-6	EÇH-7	EMİ-8	EMS-9	EMİ-10
Anhidrit	-2,46	-2,52	-2,16	-2,16	-1,74	-1,44	-1,65	-1,38	-1,47	-0,78
Aragonit	0,03	0,04	-0,24	-0,32	0,06	0,16	0,49	0,02	0,41	0,91
Kalsit	0,17	0,18	-0,09	-0,17	0,19	0,3	0,64	0,17	0,53	1,03
Kalsedon	0,65	-0,1	0,21	0,31	0,36	0,16	0,19	0,25	0,13	0,15
Dolomit	0,61	-0,02	-0,43	-0,88	0,3	0,45	1,07	-0,02	0,87	1,73
Jips	-2,26	-2,3	-1,92	-1,91	-1,57	-1,26	-1,45	-1,16	-1,54	-0,8
Kuvars	1,07	0,34	0,66	0,77	0,75	0,56	0,61	0,67	0,45	0,48



Şekil 4.19. İnceleme alanından alınan su örneklerinin minerallere doygunluk grafiği.

İnceleme alanından alınan su örneklerinde yapılan mineral doygunluk analizleri değerlendirildiğinde, EAU-1, EŞ-5, EM-6, EÇH-7, EMİ-8, EMŞ-9 ve EMİ-10 no.lu suların aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit ve kuvars minerallerine doygun, anhidrit ve jips minerallerine ise doygun olmadıkları görülmektedir. ET-3 ve ET-4 no.lu soğuk sulardan alınan örneklerin kalsedon ve kuvars minerallerine doygun, aragonit, kalsit, dolomit, anhidrit ve jips minerallerine doygun olmadığı belirlenmiştir. EAY-2 no.lu örneğin ise aragonit, kalsit ve kuvarsa doygun, anhidrit, kalsedon, dolomit ve jips minerallerine doygun olmadığı görülmektedir.

Jeotermal kuyularda karşılaşılan önemli problemlerden biri kabuklaşma problemidir. Kabuklaşma, sıcak suyun içerdiği kabuk yapıcı elementlerin belirli koşullarda doygunluğa ulaşması ve çökelerek mineral ve bileşik oluşturması ile oluşur. Karbonat ve silis çökmesi sonucu oluşan kabuklaşma problemi jeotermal kuyularda sıklıkla görülen bir durumdur. Bunun yanında sıcak suyun içerdiği pek çok element, suyun kimyasal ve fizikokimyasal özelliklerine göre çeşitli mineraller oluşturabilmekte ve bu mineraller sıcak su kuyusunda veya sistemde kabuklaşma oluşturabilmektedir.

Buna göre inceleme alanından alınan su örneklerindeki mineral doygunluk durumları değerlendirildiğinde, EAU-1, EŞ-5, EM-6, EÇH-7, EMİ-8, EMŞ-9 ve EMİ-10 no.lu örneklerin üretim kuyuları olması halinde aragonit, kalsit ve dolomit başta olmak üzere kabuklaşma riski bulunmakta, ısıtma sistemi ve reenjeksiyon kuyularında ise kalsedon kabuklaşması riski için gerekli tedbirler alınmalıdır. Doygunluk indisi sonuçlarına göre, alanda yer alan suların bu kabuklaştırıcı özelliği nedeniyle, yapılacak testlerle belirlenecek doğru inhibitör, doğru derinlik ve dozajda basılarak bu risk bertaraf edilmelidir. Silis doygunluklarının (kalsedon, kuvars) özellikle reenjeksiyon kuyularında jelleşmeden dolayı çatlaklarda tıkanma vb. sorun yaratabileceği, karbonat doygunluklarının ise (kalsit, aragonit, dolomit) üretim kuyuları ve iletim hatlarında kabuklaşma riski yaratabileceği düşünülmektedir.

4.8 Gaz Jeokimyası

Gaz jeokimyası, yerbilimlerinin çeşitli disiplinlerine ilişkin problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılagelen bir tekniktir. Gaz salınımları, yerkürenin evriminde halen devam etmekte olan temel süreçlerden birini oluşturduğu için, gaz jeokimyası, atmosfer ve litosfer arasındaki etkileşimleri ve bu bağlamda sismik ve volkanik etkinlikleri izlemede oldukça önemli bir araç konumundadır. Rn, He, CO₂, H₂, N₂ ve CH₄ gibi gazların kimyasal ve izotopik bileşimlerinde meydana gelen değişimler, derinlerde oluşan akışkan karışımları, akışkan basınçlarındaki değişimler, mikro kırık oluşumları, geçirgenlik değişimleri ve bunun gibi fiziko-kimyasal süreçlere bağlı olarak gelişmekte ve gaz jeokimyası giderek daha çok kabul görmektedir. Gaz-sıvı etkileşimi sırasında farklı gazların farklı çözünürlüklere sahip oluşu nedeniyle, gaz jeokimyası, akifer dinamiklerini anlamakta ve hidrojeolojik uygulamalarda da önemli bir kullanım alanı bulmaktadır.

İnceleme alanındaki genel durumu daha iyi anlayabilmek ve daha büyük ölçekte değerlendirme yapabilmek için Eskişehir ili genelinde N₂, CH₄, Ne, CO₂ gazları ile helyum ve karbon izotopu analizleri yapılması için 10 adet numune alınmıştır. Bunlardan 4 adedi çalışma alanı içerisinde kalmaktadır. Alınan gaz örneklerinden E-2, E-7 ve E-8 termal sudaki gaz fazından, diğerleri suda çözülmüş gazlardan alınmıştır (Şekil 4.20). Gaz analizleri için yapılan örneklemeleere ait bilgiler Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.20. Gaz örneklerinin alınması sırasında görülen gaz kabarcığı.

Çizelge 4.8. Eskişehir ili genelinden alınan gaz örneklerinin analiz sonuçları.

Örnek İşareti	E-1	E-2	E-3	E-4	E-5	E-6	E-7	E-8	E-9	E-21
Örnekleme Yeri	Kızılınlar	Eskar	Mahmudiye	Şerefiye	İmi şehir	Hamam Kara hisar	Uyuz Hamam	Uyuz Hamam	İnönü	Esk.
Örnekleme Türü	Ç	B	Ç	Ç	Ç	Ç	B	B	Ç	Ç
Örnekleme Tarihi	24.1.13	24.1.13	24.1.13	24.1.13	24.1.13	9.6.13	9.6.13	9.6.13	9.6.13	9.6.13
Sıcaklık (°C)	37,5	33,5	17,3	60	23,8	35,2	28,3	15,6	27,4	45,7
Kuyu/kaynak	Kaynak	Kaynak	Kuyu	Kuyu	Kaynak	Kaynak	Kaynak	Kuyu	Kaynak	Kuyu
ppmHe	1440	129	512	490	0	9	336	28	47	8
ppmH ₂	0	0	0	122	0	11	-	-	64	12
% O ₂	4,13	8,29	0,23	0,45	7,59	8,30	0,40	0,71	15,77	12,37
% N ₂	83,92	87,58	98,51	77,35	92,10	87,79	60,33	4,71	83,28	86,49
ppmCO	9	6	13	9	1	-	2	0,2	-	-
ppmCH ₄	224	0	6140	14286	4	-	362	108	-	-
% CO ₂	11,79	4,12	0,60	20,71	0,31	3,91	38,18	94,57	0,95	1,14
d ¹³ C	-	-	-	-	-	-6,83	-2,5	-	-5,24	1,9
R/Ra	0,32	0,28	0,38	0,42	1,06	0,86	0,66	0,71	0,94	0,91
He/Ne	55,389	2,665	6,898	28,579	0,481	0,36	23,646	0,723	0,36	0,44
Rc/Ra	0,32	0,20	0,36	0,41	-	-	0,66	0,49	-	-
Ar ⁴⁰ /Ar ³⁶	-	-	-	-	-	-	299,20	302,94	-	-

Ç: Suda çözülmüş gazlardan örnekleme

B: Gaz fazından örnekleme

Çizelge 4.8’de verilen Rc/Ra: Atmosferik kirlenme etkisi düzeltilmiş He izotop oranı olup $[(R_m/R_a \times X) - 1] / (X - 1)$ formülüyle hesaplanır. Bu formülde R_m/R_a , ölçülen ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranının havadaki ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranına bölünmesiyle elde edilir. X ise $X = [({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{ölçülmüş}} / ({}^4\text{He}/{}^{20}\text{Ne})_{\text{hava}}] \times \beta_{\text{Ne}} / \beta_{\text{He}}$ formülüyle hesaplanmaktadır.

Meteorik sularda helyum iki farklı şekilde bulunabilir: kıta kabuğundaki uranyum ve toryum izotoplarının α -bozuşmasından itibaren ${}^4\text{He}$ açısından zenginleşmesi ile kabuksal veya radyojenik helyum oluşması veya kabukta lityum izotopunun nötron bombardımanına uğraması sonucu ${}^3\text{He}$ oluşması. Atmosferik ${}^3\text{He}$ meteorik sulardan itibaren suda çözünerek akifere süzülerek yeraltı sularına karışabilir. Kabuksal helyum bileşeni yaklaşık olarak 10^{-9} - 10^{-7} arasında değişen ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranlarına sahiptir (Mamyrin and Tolstikhin, 1984; Andrews, 1985). Kabuksal helyumun yanı sıra, helyumun bilinen bir diğer kaynağı da mantodur. Manto, yerkürenin oluşumu sırasında hapsedilmiş halde ${}^3\text{He}$ içerdiğinden ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranı 10^{-5} ile 10^{-4} arasındadır (Ozima and Podosek, 1983; Mamyrin and Tolstikhin, 1984). ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranları (R) genellikle günümüzdeki atmosferik ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ oranının (R_a) katı olarak ifade edilirler. Dolayısıyla atmosfer için R/R_a oranı (${}^3\text{He}/{}^4\text{He}_{\text{örnek}} / {}^3\text{He}/{}^4\text{He}_{\text{atm.}}$) 1, radyojenik He için R/R_a oranı 0,001 ile 0,1 arasında, ve mantosal helyum için genellikle 8 ile 20 arasında değişmektedir. Şekil 4.21’de gaz jeokimyası için alınan örneklerin mantosal, atmosferik ve kabuksal helyum oranları verilmiştir.

Örneklerin helyum izotop oranlarına bakıldığında (Şekil 4.21) bazı örneklerin doğrudan hava ile kirlendiği görülürken (E-5 ve E-8) çoğu örneklerin bunun dışında kaldığı ve ağırlıklı olarak kabuksal katkı olmakla birlikte mantosal katkı ile kabuksal katkı aralığında değiştiği izlenmektedir. E-5, E-7 ve E-8 gaz örneklerinde manto kaynaklı helyum katkısı diğerlerine göre (helyum gaz fazında bulunduğu sudaki çözünürlüğü çok düşük olduğundan) daha yüksektir. Diğer alınan örneklerde kabuksal helyum katkısının daha yüksek olduğu söylenebilir.

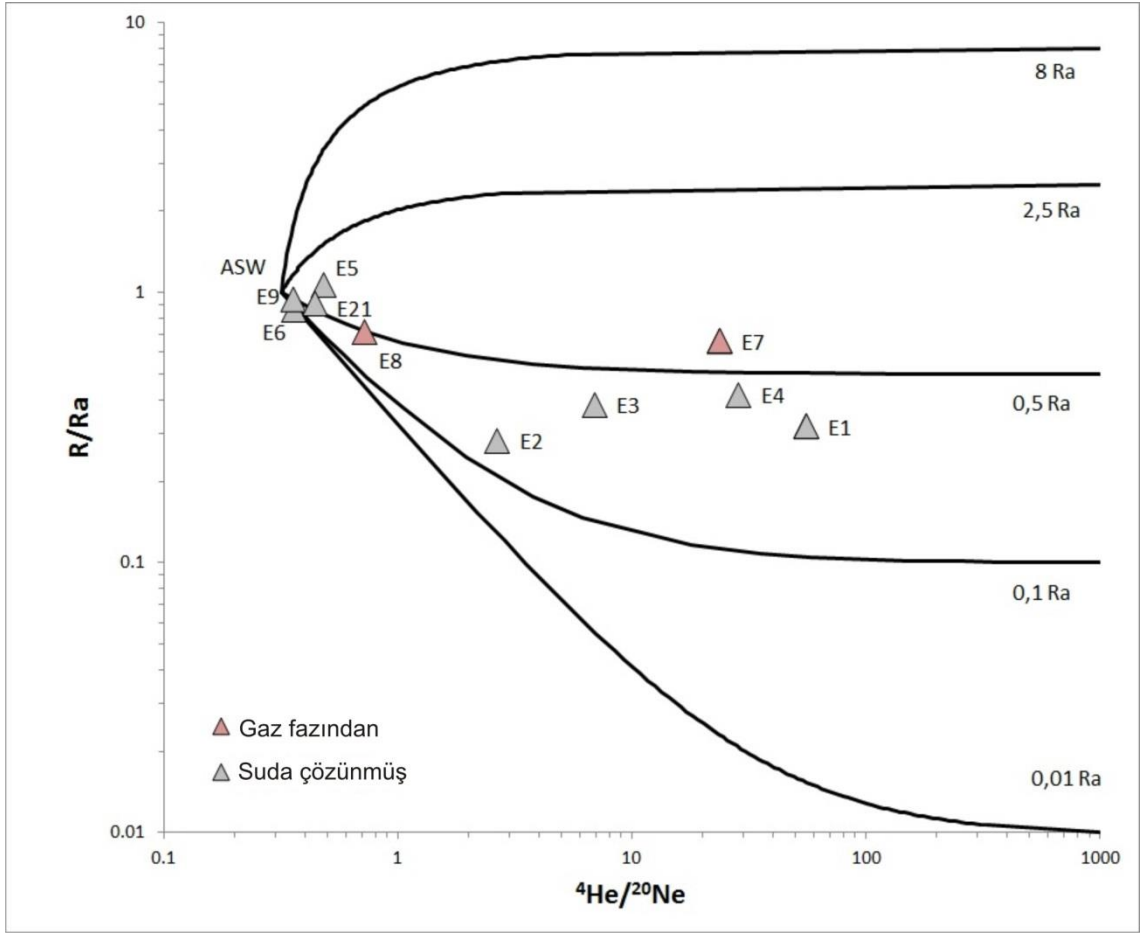
Helyum izotop oranlarına göre (Çizelge 4.9) altta granitik ve metamorfik temele sahip farklı alt havzalardan alınan örneklerde mantosal helyum katkısı düşük de olsa

(ortalama % 5) var olup, bunun kabuk içerisinde geçimdeki fay hareketleri ile yerleşerek, aktif faylar ile yüzeye taşındığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.9. İnceleme alanından alınan gaz örneklerinde hesaplanan helyum izotoplarının kökenleri ve oranları.

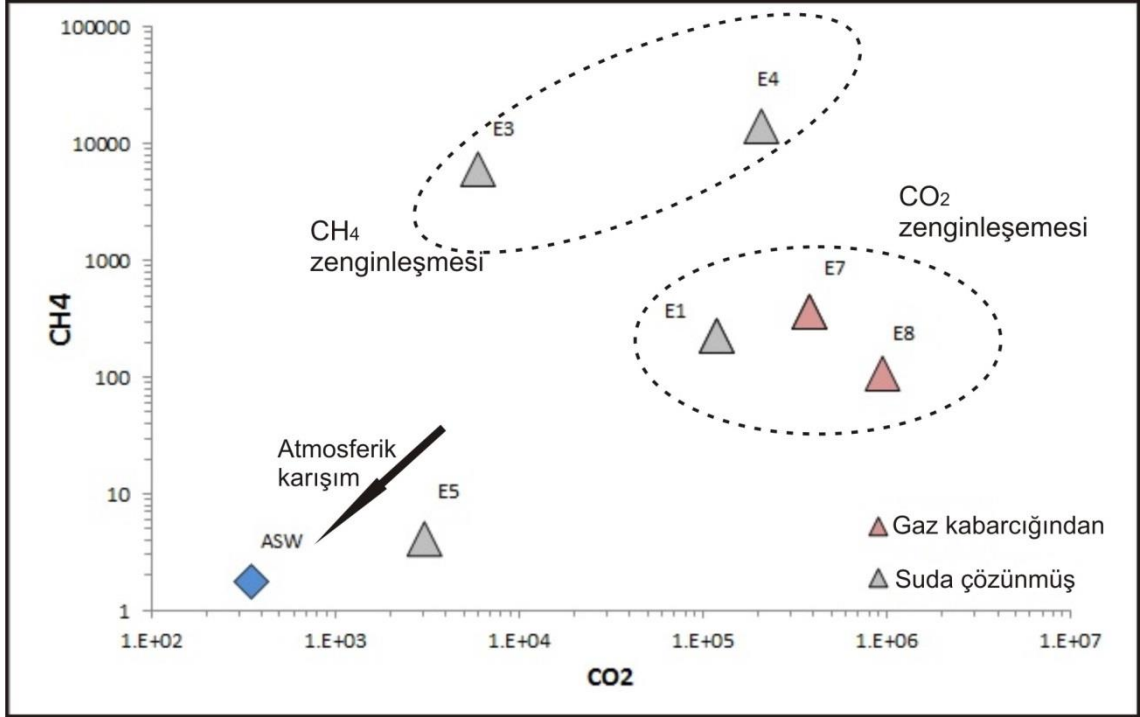
Örnek no	Örn. Şekli	R/Ra	He/Ne	%Atm	%Rad	%Man
E1	D	0,32	55,389	0,5	94,8	4,7
E2	B	0,28	2,665	10,0	87,3	2,7
E3	D	0,38	6,898	3,8	91,0	5,2
E4	D	0,42	28,579	0,9	92,9	6,2
E5	D	1,06	0,481	55,5	36,7	7,8
E6	D	0,86	0,36	73,8	24,3	1,9
E7	B	0,66	23,646	1,3	88,8	9,9
E8	B	0,71	0,723	43,9	51,9	4,2
E9	D	0,94	0,36	74,7	22,3	3,0
E21	D	0,91	0,44	60,1	35,2	4,7

Alınan örneklerin helyum izotop oranlarına göre mantosal helyum katkısının ortalama % 5; radyojenik helyum katkısının % 62,5 ve atmosferik helyum katkısının % 32,5 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.9).



Şekil 4.21. İnceleme alanından alınan örneklerin asal gaz içeriklerinden oluşturulan mantosal, atmosferik ve kabuksal helyum katkı oranları grafiği.

Şekil 4.22'deki $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ grafiğinde alınan örneklerdeki CH_4 ve CO_2 zenginleşmesi olan örnekler görülmektedir. Buna göre gaz kabarcığından alınan örneklerde ve E-1 örneğinde CO_2 zenginleşmesi görülürken E-3 ve E-4 örneklerinde CH_4 zenginleşmesi izlenmektedir. E-5 örneğinde ise atmosferik karışım söz konusudur.

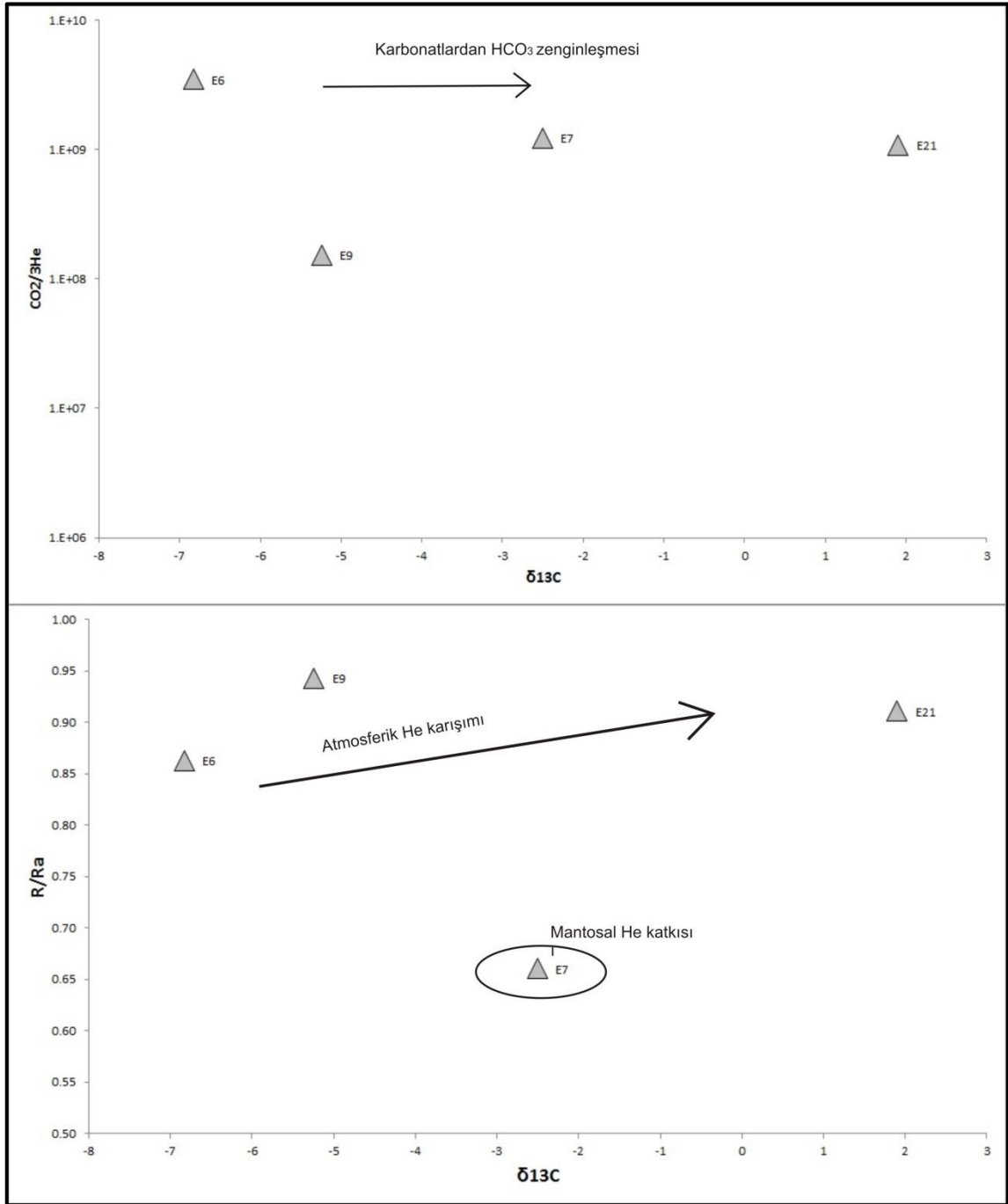


Şekil 4. 22. İnceleme alanından alınan gaz örneklerindeki CH₄'e karşılık CO₂ grafiği.

$\delta^{13}\text{C}$ izotopik kompozisyonu için, veriler nispeten pozitif değerler sunmaktadır. Mantosal kökeni işaret eden $\delta^{13}\text{C}$ izotop değeri -6,5; organik kökeni işaret eden $\delta^{13}\text{C}$ değeri ise -20 ve daha negatif olup, örneklerdeki değerler daha pozitifdir. Örneklerdeki $\delta^{13}\text{C}$ değeri -6,8 ile +1,9 arasında değişmektedir.

CO₂ suda çözünürken karbonun ağır izotopu ¹³C suya ¹²C'den daha fazla HCO₃ olarak geçer. Geriye kalan CO₂ ise ¹²C hafif izotopça zenginleşir. Dolayısıyla ¹²C/¹³C oranı düşer.

Sonuç olarak buradaki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ne magmatik ne de organik kökeni göstermekte olup kayaçlardaki karbonatlardan kaynaklanmaktadır (Şekil 4.23).

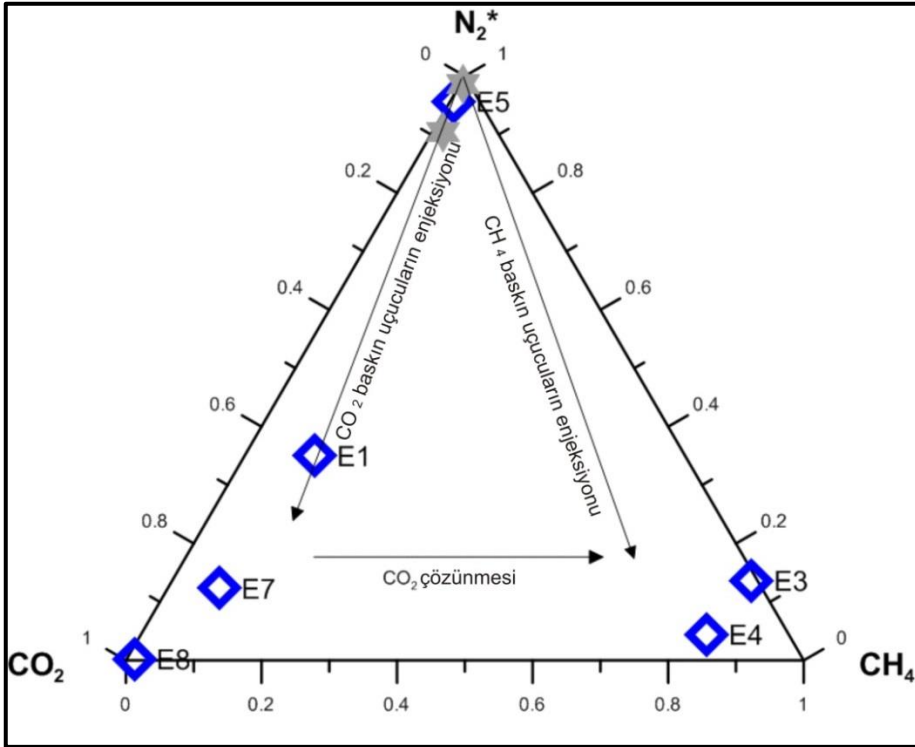


Şekil 4. 23. İnceleme alanından alınan gaz örneklerindeki $\delta^{13}\text{C}$ değerlerine karşılık helyum izotop oranları grafiği

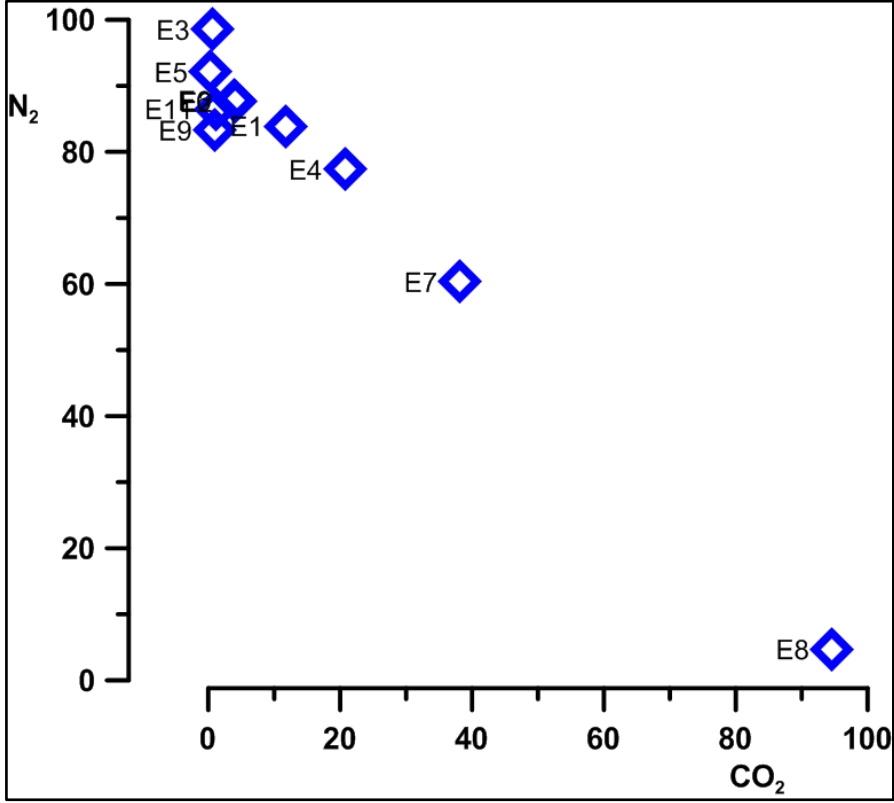
Şekil 4.24'de verilen üçgen diyagrama göre, iki temel gaz fazından söz edilebilir. Buna göre suda çözülmüş gaz örneklerinden E-3 ve E-4 örneklerinde CH_4 baskın, gaz kabarcığından alınan E-7 ve E-8 örneklerinde ise CO_2 baskındır. E-5 örneğinde ise N_2 hakimdir. Bu da örnekleme yapılan alan içerisinde farklı bileşenlerin karışımı olan bir gaz fazı olduğunu göstermektedir.

Bu üçgen diyagramdaki tepede bulunan N_2 atmosferik nitrojeni temsil etmeyip nitrojen fazlası hesabına dayanmaktadır. Buradaki yıldız simgeleri derin kökenli gazın oksijensiz bir gaz olarak varsaydığımızdan yola çıkılarak hesaplanan N_2 fazlalığını göstermektedir. Bu fazlalığı hesaplamak için, suda çözülmüş gaz örnekleri için oksijen bileşenini 2 ile, gaz kabarcığından alınan örneklerdeki oksijen bileşenini ise 3,7 ile çarpılır. Çünkü 2 ve 3,7 havadaki ve hava-doygun su içerisindeki N_2/O_2 oranlarıdır. Bu değer atmosferle ilişkili olan N_2 miktarıdır. Toplam N_2 miktarından bu çıkarıldığında çıkan sonuç atmosferden gelmeyen N_2 miktarıdır.

Sonuç olarak bir CO_2 hakim, bir de CH_4/N_2 hakim olan örnek grupları bulunmaktadır. Buradaki CH_4/N_2 baskınlığı fermantasyon nedeniyle olabilir.

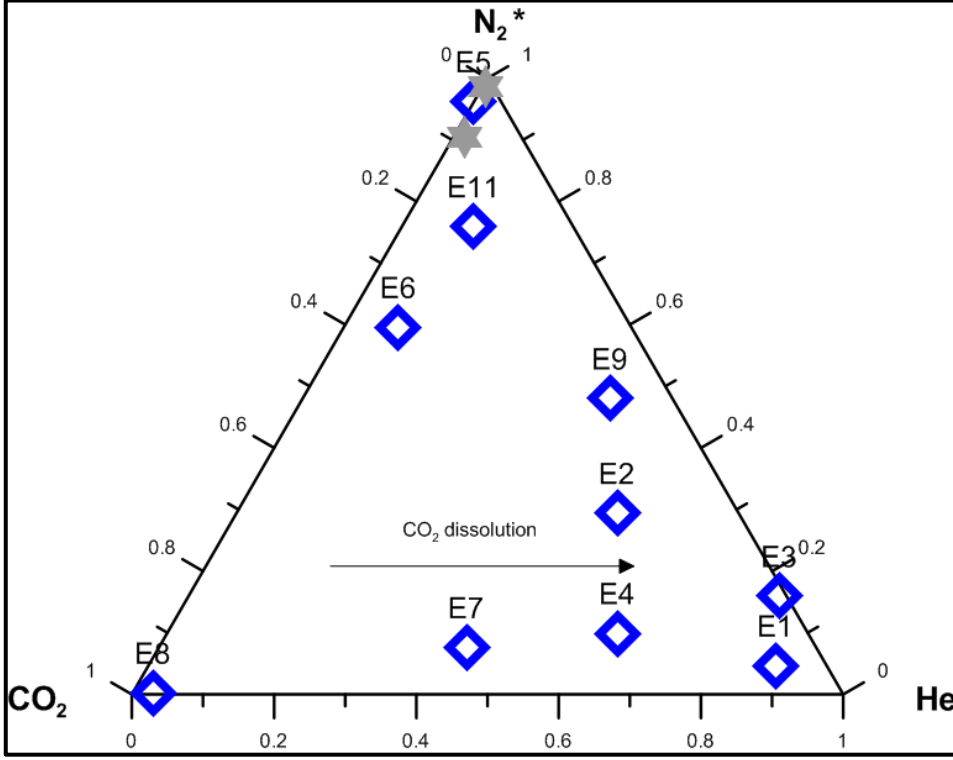


Şekil 4. 24. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait N_2 - CO_2 - CH_4 üçgen diyagramı.



Şekil 4.25. İnceleme alanından alınan gaz örneklerinin CO₂-N₂ grafiği.

Şekil 4.25’de yüksek CO₂ ve düşük N₂ ve tersi durum iki uç üyedir ve E-3 ile E-8 bu uç üyeleri temsil etmektedir. E-3 ve E-8 örnekleri dışındaki örnekler farklı kökenli bu gazların bir karışımı olarak görülmektedir. Bu durum CO₂ çözünürlüğünü de etkiler. CO₂ suda çözüldükçe, suda daha az çözünebilen N₂ konsantrasyonu suda göreceli olarak artar. Bu durum aşağıdaki He-N₂-CO₂ üçgen diyagramında da görülebilmektedir (Şekil 4.26). He zenginleşmesi, CO₂ çözünmesiyle göreceli şekilde artmaktadır. E-7 ve E-8 gaz örnekleri gaz kabarcığından alınan örnekler olduğu için CO₂ konsantrasyonları daha yüksektir.

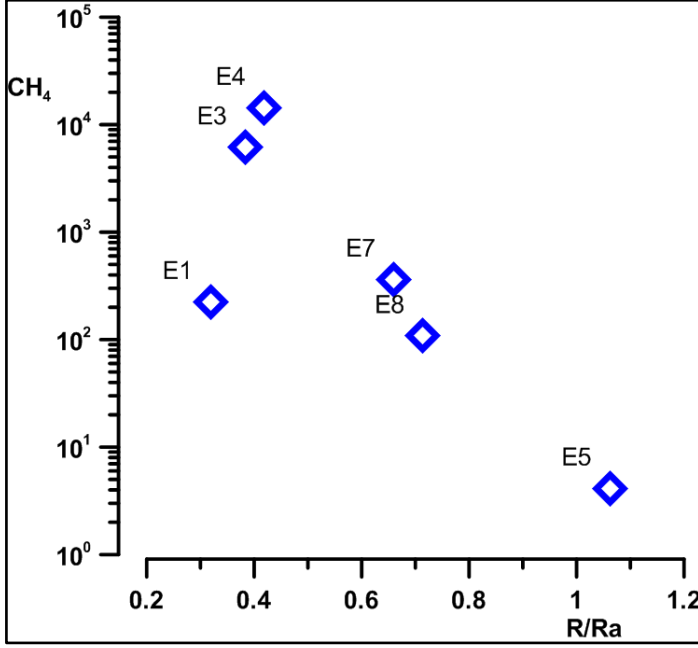


Şekil 4.26. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CO_2 -He- N_2 üçgen diyagramı.

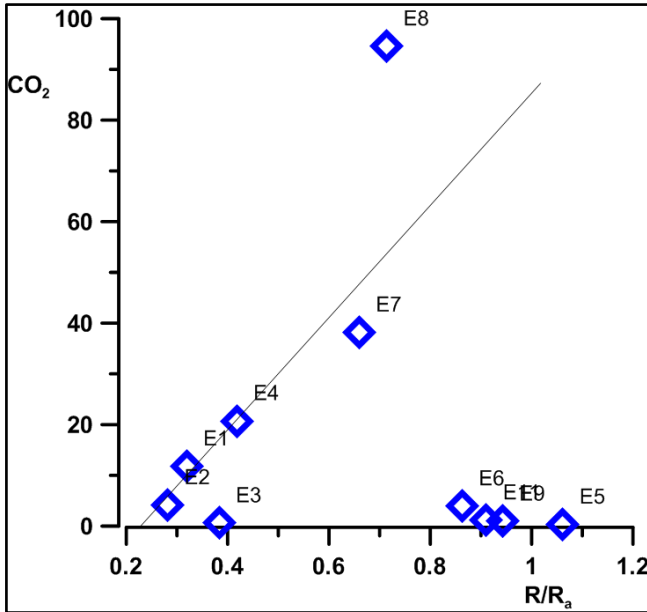
He izotop oranlarıyla CH_4 ve CO_2 değerlerini iki uç üye olarak karşılaştırdığımızda (Şekil 4.27 ve Şekil 4.28), CH_4 değerleri R/R_a ile ters korelasyon, CO_2 ile ise iki türlü korelasyon vermektedir. Yüksek CH_4 ve düşük R/R_a değerleri kabuksal bir akışkan kökeni gösterirken, He izotop oranındaki artış, ^3He eklenmesi nedeniyle ya mantosal ya da atmosferik kökenli ^3He katkısını işaret eder. Burada atmosferik katkının yüksek olduğu söylenebilir. ^3He değerinin yükselmesi için $R/R_a=1$ (atm.) yeterli bir kaynaktır.

CO_2 - R/R_a diyagramı iki farklı grubun olduğunu göstermektedir. Birisi artan CO_2 içeriği ile artan He izotop oranlarının arttığı eğilimi gösterir (E-1, E-2, E-4, E-7, E-8). Hem CO_2 hem de R/R_a değerlerinin en yüksek olduğu örnekler gaz kabarcığından alınan örneklerdir. Diğer örnekler, önemsiz sayılabilecek CO_2 bileşenlerine ve havadakine yakın R/R_a değerlerine sahiptir. Bu grafikte kabuksal kökenli helyuma eklenen mantosal helyumun farklı katkıları izlenmektedir.

Yüksek helyum izotop oranı için, daha yüksek CO_2 değerlerine sahip olan örneklerde helyum, hava içeriği artışı durumunda olduğu gibi havadan gelemmez. CO_2 azalır. Ayrılan grup (E-1, E-2, E-3, E-4), sığ suları veya CH_4 ve N_2 içerikli organik kökenli lokal bir rezervuarı temsil edebilir.



Şekil 4.27. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CH_4 - R/R_a grafiği.



Şekil 4. 28. İnceleme alanından alınan gaz örneklerine ait CO_2 - R/R_a grafiği.

BÖLÜM 5

ÇALIŞMA SAHASINDA JEOTERMAL ARAMA AMAÇLI UYGULANAN YÖNTEMLER

Tez çalışması kapsamında incelenen ve değerlendirilen jeotermal enerji araştırmalarına yönelik jeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofizik etüt çalışmaları gibi dolaylı araştırma yöntemlerinin yanı sıra jeotermal araştırma sondajları ile doğrudan araştırma yöntemlerinden elde edilen veriler de kullanılmıştır. Tüm bu çalışmalarda, M.T.A. Genel Müdürlüğü'nün "Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" verilerinden yararlanılmıştır.

5.1 Jeofizik yöntemler

Gerek sıcaklık ve gerekse sıcak su dolaşımının kayaçların karakteristik fiziksel özelliklerini değiştirmesi nedeniyle jeotermal aramalarda ve sondaj yerlerinin belirlenmesinde jeofizik yöntemler başarılı ve isabetli sonuçları ortaya koyar.

Bu çalışma kapsamında, jeofizik-jeoelektrik etütlerinde, öz direnç yöntemi ile uygulamalar yapılmıştır. Jeoelektrik çalışmalar kapsamında, elektrik-rezistivite ve doğal potansiyel (SP) çalışmaları yapılmıştır.

Jeotermal alanların jeofizik yöntemler kullanılarak araştırılmasında özellikle jeoelektrik yöntemler, dünyanın birçok yerinde başarı ile kullanılmaktadır (Keskinsezer vd., 2009).

Bu amaçla ilk çalışmalar 1950'li yıllarda İtalya'da başlanmıştır. Bu çalışmalarda düşük öz dirençli örtü kayası ve altındaki yüksek öz dirençli hazne kayası için öz direnç haritaları çıkartılmıştır. Haritaların yorumlanması ile kireçtaşı hazne kayasındaki faylar ve doğal buhar zonları büyük bir yakınlıkla bulunmuştur.

Yeni Zelanda'da Taupo volkanik zonunda jeotermal alanların sınırı Wenner elektrik sondajlarından yararlanılarak çizilmiştir. Türkiye'de Tezcan (1971) ve

Demirören (1971) Schlumberger metodu ile yapılan düşey elektrik sondajlarından yararlanarak jeotermal alanları haritalamıştır.

Candansayar v.d., 2009'a göre; Özdirenç yöntemi mühendislik jeofiziğinde ve arama jeofiziğinde kullanılan en eski yöntemlerdendir. Yöntem, kırık çatlak yapıların aranması, yeraltı suyu aramaları, arkeolojik yapı aramaları, maden aramaları ve jeotermal alanların araştırılmasında uzun yıllardır kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında da jeofizik rezistivite yöntemiyle elde edilen verilerin yapılan araştırma sondajlarında kesilen jeolojik birimlerin tespitinde oldukça doğru sonuçlar vermesi ve jeotermal anomali alanlarında sıcak akışkan elde edilmesi uygulanan jeofizik yöntemlerin doğruluğu ve güvenilirliğini ortaya koymaktadır.

Arazi çalışmalarında, 182 adet değişik lokasyonda Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve 10,5 km uzunluğundaki 4 profilde Doğal Potansiyel (SP) ölçüleri alınmıştır (Şekil 5.1).

Jeofizik çalışmaların gerçekleştirildiği alanlar Şerefiye, Mahmudiye ve Çifteler sahaları olarak isimlendirilmiş ve bu şekilde anlatılmıştır. Şerefiye sahası olarak isimlendirilen jeofizik çalışma alanı 33, 38 ve 39 no.lu M.T.A. jeotermal arama ruhsat alanlarında; Mahmudiye sahası olarak isimlendirilen jeofizik çalışma alanı 41 ve 42 no.lu M.T.A. jeotermal arama ruhsat alanları ve Çifteler sahası olarak isimlendirilen jeofizik çalışma sahası ise 31 no.lu M.T.A. jeotermal arama ruhsat sahası sınırları içinde kalmaktadır.

Çalışma sahalarından Şerefiye sahası; İ25-c3, İ26-d3 ve İ26-d4, Mahmudiye sahası; J25-b2, Çifteler sahası; J25-b2 paftalarında yer almaktadır. Ruhsat sahalarına ait jeofizik uygulamaların yapıldığı alanların köşe koordinatları ise aşağıdaki çizelgede verilmiştir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Jeofizik çalışma sahalarının köşe koordinatları.

Köşe	Jeofizik Çalışma Alanı Adı					
	Şerefiye (~ 30 km ²) (AR: 33, 38, 39)		İsmetpaşa (~ 24 km ²) (AR: 41, 42)		Hayriye (~ 10 km ²) (AR: 31)	
	Y (Sağa)	X (Yukarı)	Y (Sağa)	X (Yukarı)	Y (Sağa)	X (Yukarı)
1	0330000	4382000	0322000	4367000	0322000	4362500
2	0335000	4382000	0326000	4367000	0326000	4362500
3	0335000	4388000	0326000	4373000	0326000	4365000
4	0330000	4388000	0322000	4373000	0322000	4365000

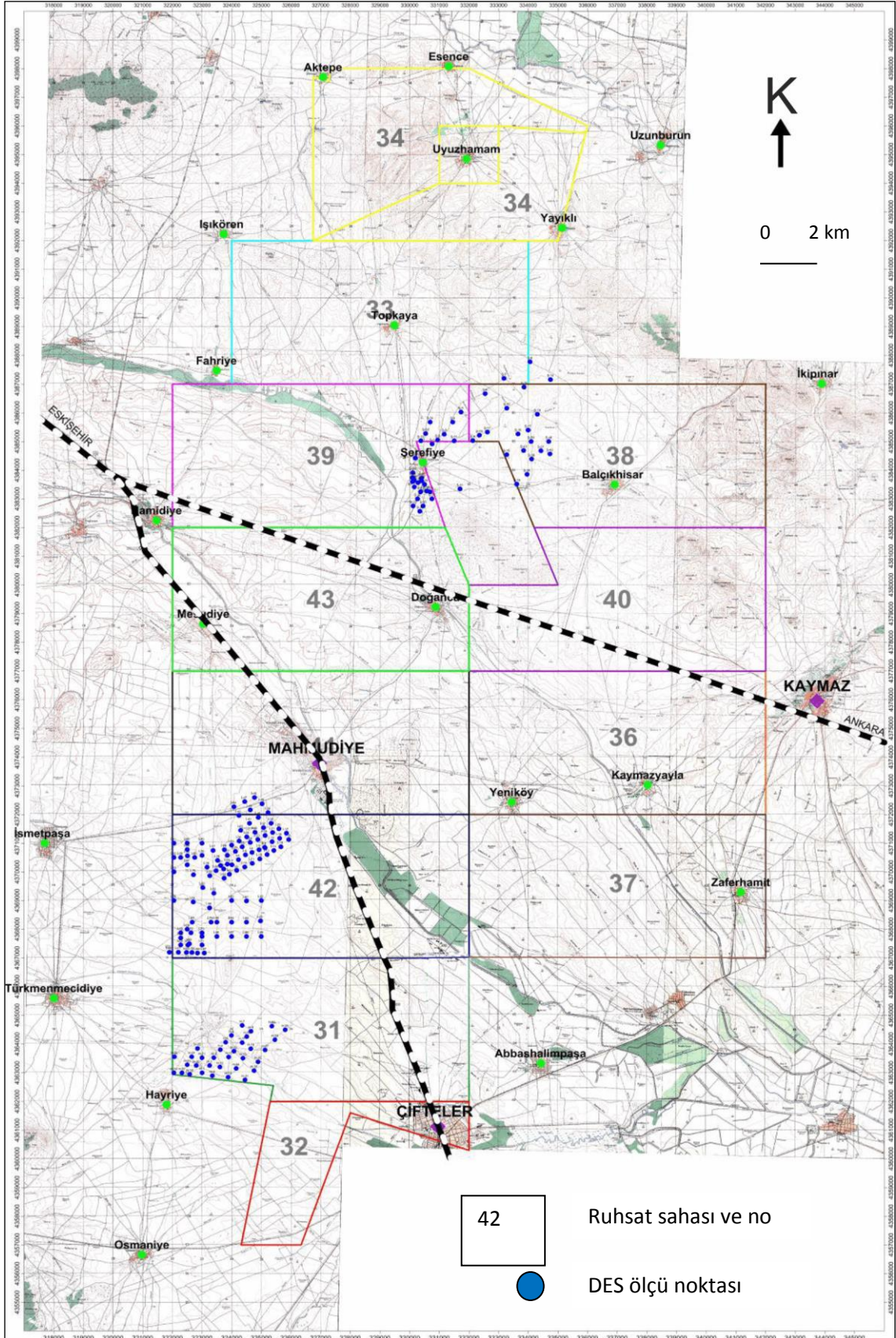
Jeofizik jeoelektrik arazi uygulamaları kapsamında yapılan özdirenç-Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçüleri, Schlumberger elektrot dizilimi ile alınmıştır. Potansiyel fonksiyonunun gradient değerinin ölçüldüğü bu sistemde, hem istenen etkin penetrasyon derinliği sağlanmakta hem de jeotermal aktivitenin elektrik parametrelere yaptığı etkiler daha iyi saptanabilmektedir. Arazi uygulamaları esnasında, elektrot açılımlarının doğrultuları, genel olarak arazideki tarım alanlarına zarar vermeyecek şekilde, topografyanın uygun olduğu yönler göre seçilmiştir. Uygulamalar esnasında, DES lokasyonları arasındaki mesafeler 50-1.000 m arasında değişmiştir.

Özdirenç-Düşey Elektrik Sondaj (DES) çalışmalarında araştırma derinliği (AB/2), arazideki koşulların izin verdiği ve gerektiği ölçüde (600-1.500 m) olmuştur. Arazide alınan ölçüler, görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesitlerine ait DES ve SP profilleri ve önerilen sondaj lokasyonlarının, arazideki konumları için jeofizik lokasyon haritaları hazırlanmıştır.

Görünür özdirenç seviye haritaları, yanal yöndeki özdirenç dağılımını ve buna bağlı olarak da yeraltındaki katmanların belli derinlikteki elektriksel özelliklerini ve yanal özdirenç değişimlerini yansıtmaktadır.

Görünür özdirenç seviye haritaları, önemli görülen derinlikler ve sahanın genel durumu dikkate alınarak oluşturulmuştur. Temel kayanın derin olduğu sahalarda derin seviyelerin, temel kayanın sığ olduğu sahalarda ise sığ seviyelerin önemli olduğu düşünülmüş ve değerlendirilmeler yapılmıştır.

Görünür özdirenç seviye haritaları ile görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesitleri sahanın genel durumu, nokta dağılımı ve jeofizik anlamda önemli görülen noktalar göz önünde bulundurularak oluşturulmuştur. Her saha için oluşturulan kesitlerin önem arz eden kısımları dikkate alınarak anlatılmıştır.



Şekil 5.1. Ruhsat sahaları ve jeofizik lokasyon haritası.

5.1.1 Rezistivite yöntemiyle yapılan çalışmalar

Jeofizik özdirenç-Düşey Elektrik Sondaj (DES) eğrileri, öncelikle 2 tabaka abaklarıyla modellemeler yapılarak ve değerlendirilmiştir. Daha sonra DES eğrileri, Surfer ve Winglink bilgisayar programı kullanılarak, 1 boyutlu Inversion yöntemiyle tek tek değerlendirilmiştir. Böylelikle her lokasyonda yüzeyden derine doğru tüm tabaka istiflenmeleri ile jeoelektrik temel derinlikleri saptanmaya çalışılmıştır.

Jeofizik verilerden tüm sahaya yönelik değerlendirme ve yorumlamalara ulaşabilmek için de; ölçüm sonucu elde edilen görünür özdirenç verileri kullanılarak, özdirenç seviye haritaları ve profiller boyunca düşey yönde görünür özdirenç kesitleri hazırlanmıştır.

Çalışma sahalarında yeraltı stratigrafi ve tektoniğine bağlı olarak oluşturulan jeolojik problemin çözümüne yönelik profiller atılmıştır. Sahalardaki jeotermal aktivite etkisinin en belirgin olarak algılanabildiği yerler tespit edilerek, olası kırık hatları belirlenmiştir. Değerlendirilmiş DES eğrilerinin verilerinden yararlanılarak da, yine aynı profillerde düşey yöndeki jeoelektrik yapı kesitleri ve tüm sahayı kapsayan jeofizik elektrik taban haritaları hazırlanmıştır.

5.1.1.1 Şerefîye sahasında yapılan rezistivite çalışmaları

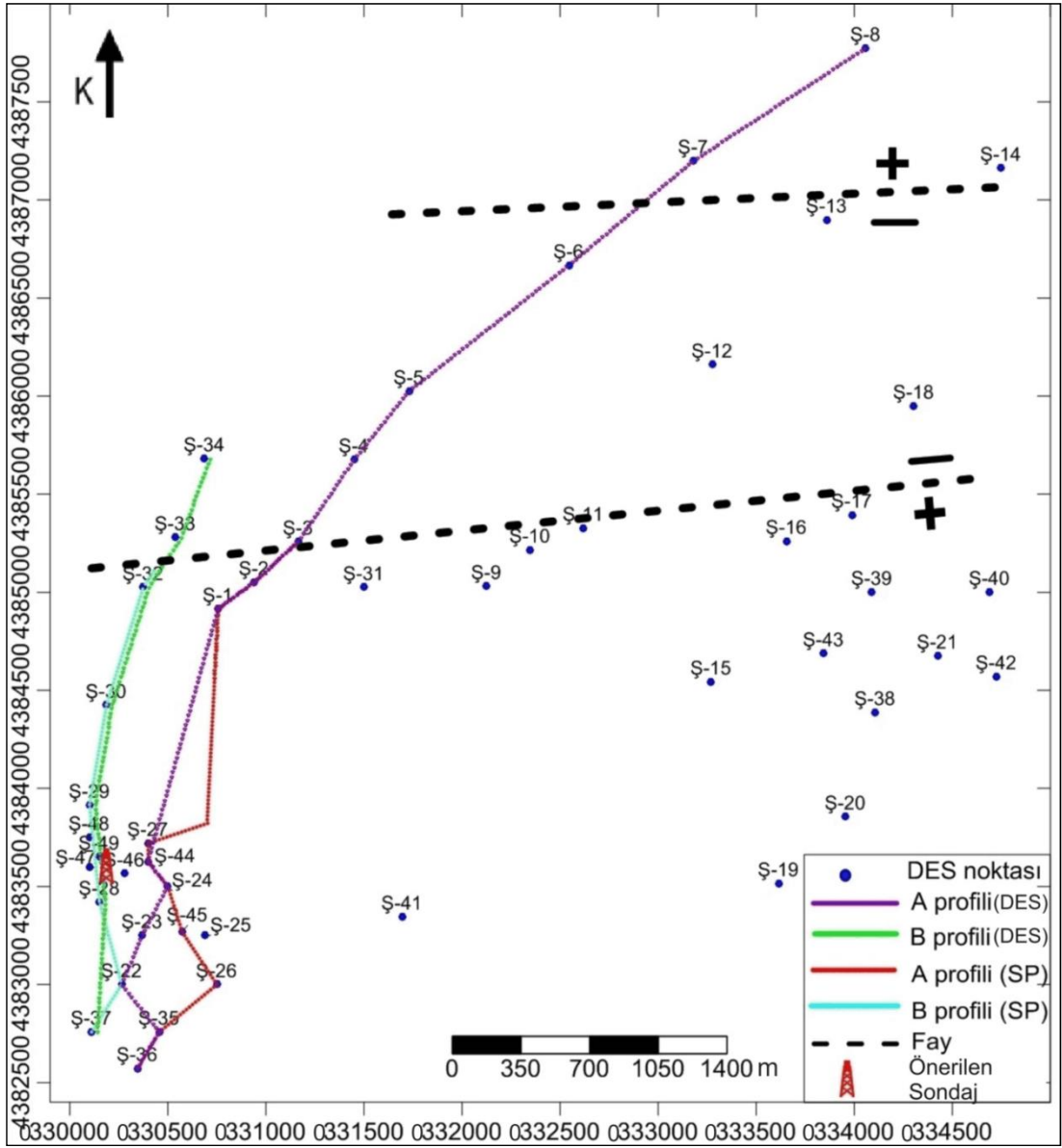
Çalışma sahası, 1/25.000 ölçekli İ25-c3, İ26-d3 ve İ26-d4 paftalarda, Eskişehir ili Mahmudiye ilçesi Şerefîye ve Balçıkhisar köyleri arasındaki ~30 km²'lik bir alanı kapsamaktadır (Şekil 5.2). Bu sahada 49 adet DES ölçüsü alınmıştır. Ölçü aralıkları, jeofizik anomalinin durumuna göre 50 m ile 500 m arasında değişmiştir. Bu sahadaki DES noktaları, SP profilleri ve özdirenç (DES) profilleri lokasyon haritasında görülmektedir (Şekil 5.2).

İki profil boyunca görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesiti hazırlanmıştır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.4).

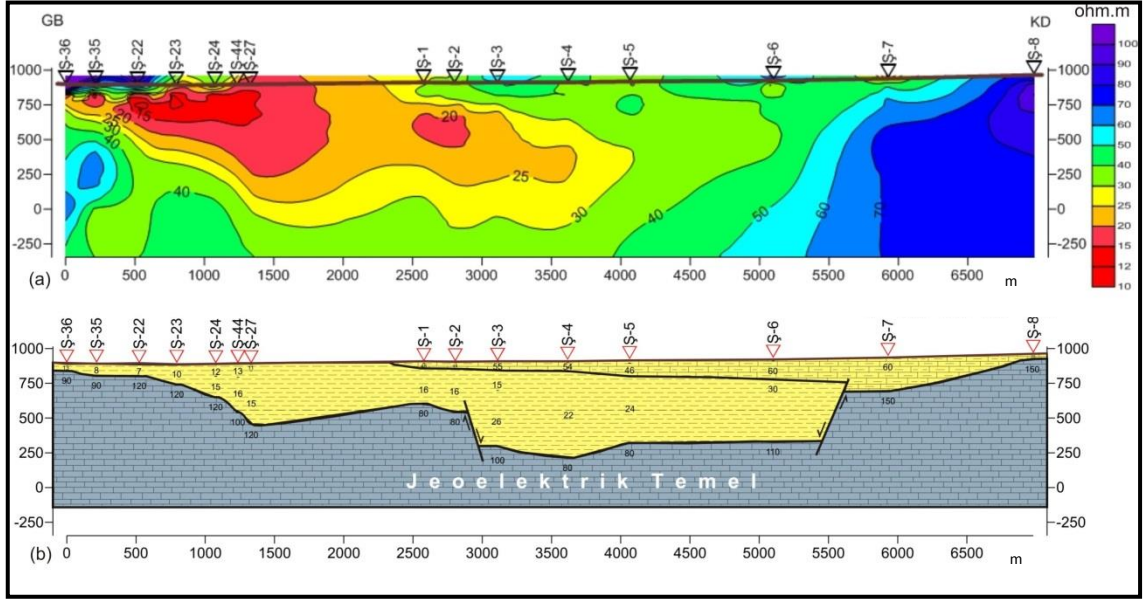
A DES profili; muhtemel sıcak akışkan ile deneştirilen alan, kesitin güneybatısında Ş-22 ile Ş-27 noktaları arasındaki, 15 ohmm'den daha düşük özdirenç değerlerinin olduğu alandır. Kesitin kuzeydoğusuna doğru jeotermal ile deneştirilen anomalinin kaybolduğu görülmektedir. Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; kesitin

güneybatısında, Ş-36 DES noktasında, yaklaşık 100 m olan örtü kalınlığının kesitin kuzeydoğusuna doğru arttığı görülmektedir. Ş-2 ile Ş-3 arasında ve Ş-6 ile Ş-7 arasında normal faylanma olduğu ve buralarda yaklaşık 250 m'lik bir atım yaptığı düşünülmektedir. Ş-6 noktasında örtü birimin ~600 m kalınlığında olduğu görülmektedir (Şekil 5.3b).

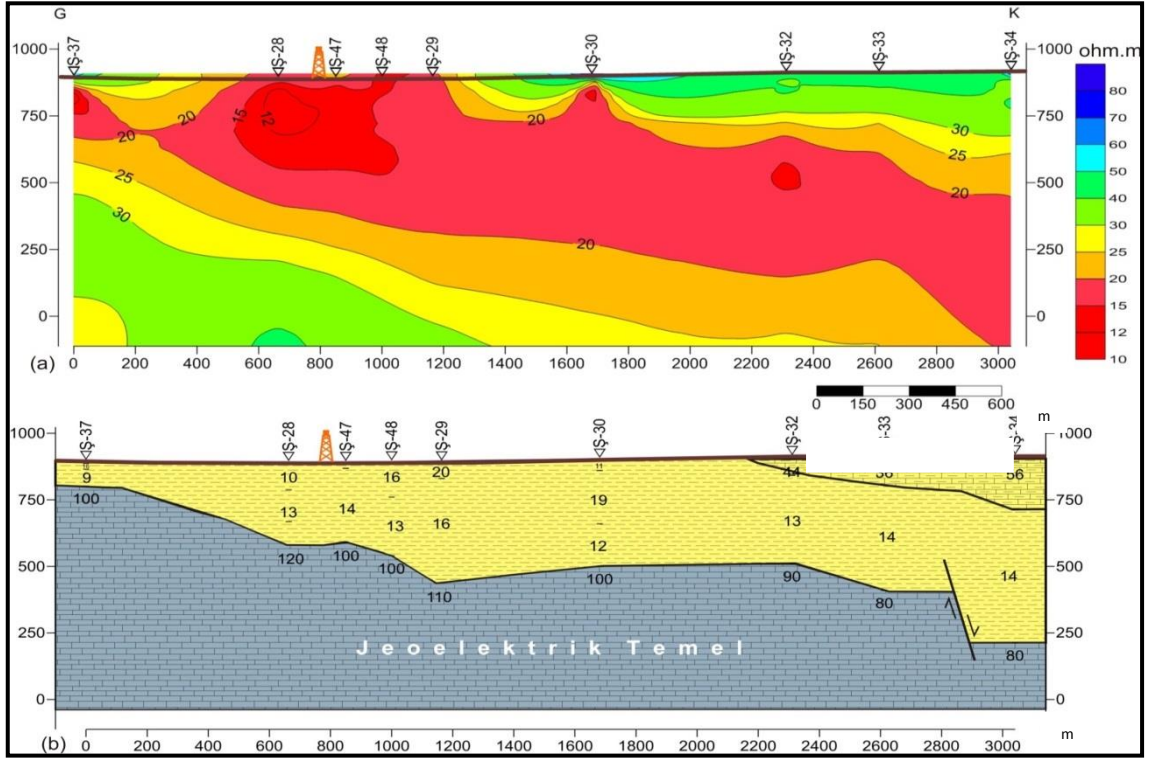
B DES profili; muhtemel sıcak akışkan ile deneştirilen alan, Ş-28 ile Ş-48 noktaları arasına denk gelmektedir. Bu noktalarda özdirenç değerleri 12 ohmm'den daha düşüktür. Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; kesitin güneyinde, Ş-37 DES noktasında, yaklaşık 100 m olan örtü kalınlığının kesitin kuzeyine doğru arttığı görülmektedir. Ş-33 noktasında ~500 m kalınlığında örtü birimin olduğu ve Ş33 ve Ş34 noktaları arasında normal fay olduğu görülmektedir (Şekil 5.4b).



Şekil 5.2. Şerefiye sahası jeofizik lokasyon haritası.

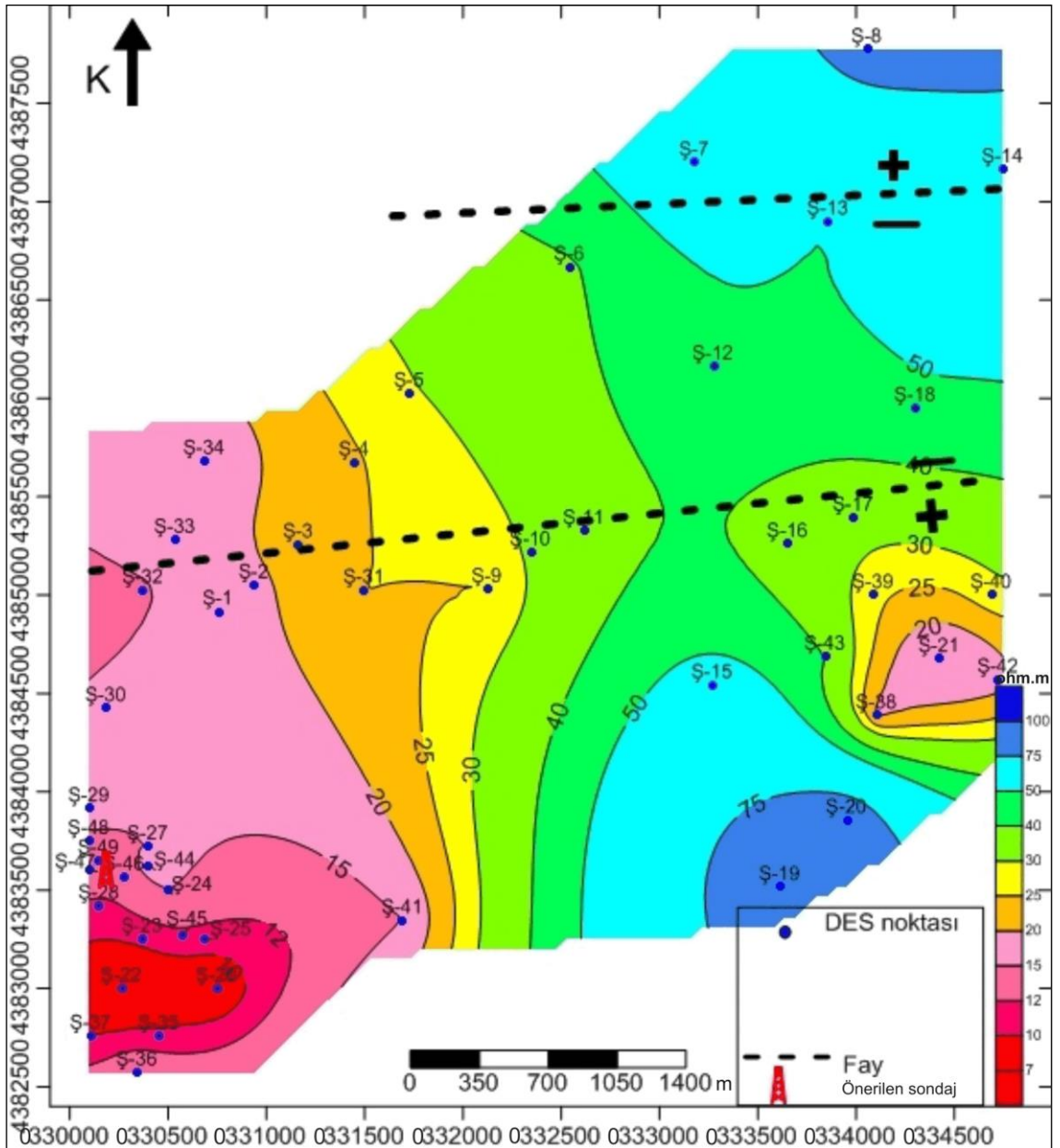


Şekil 5.3. Şerefiye sahası A DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.



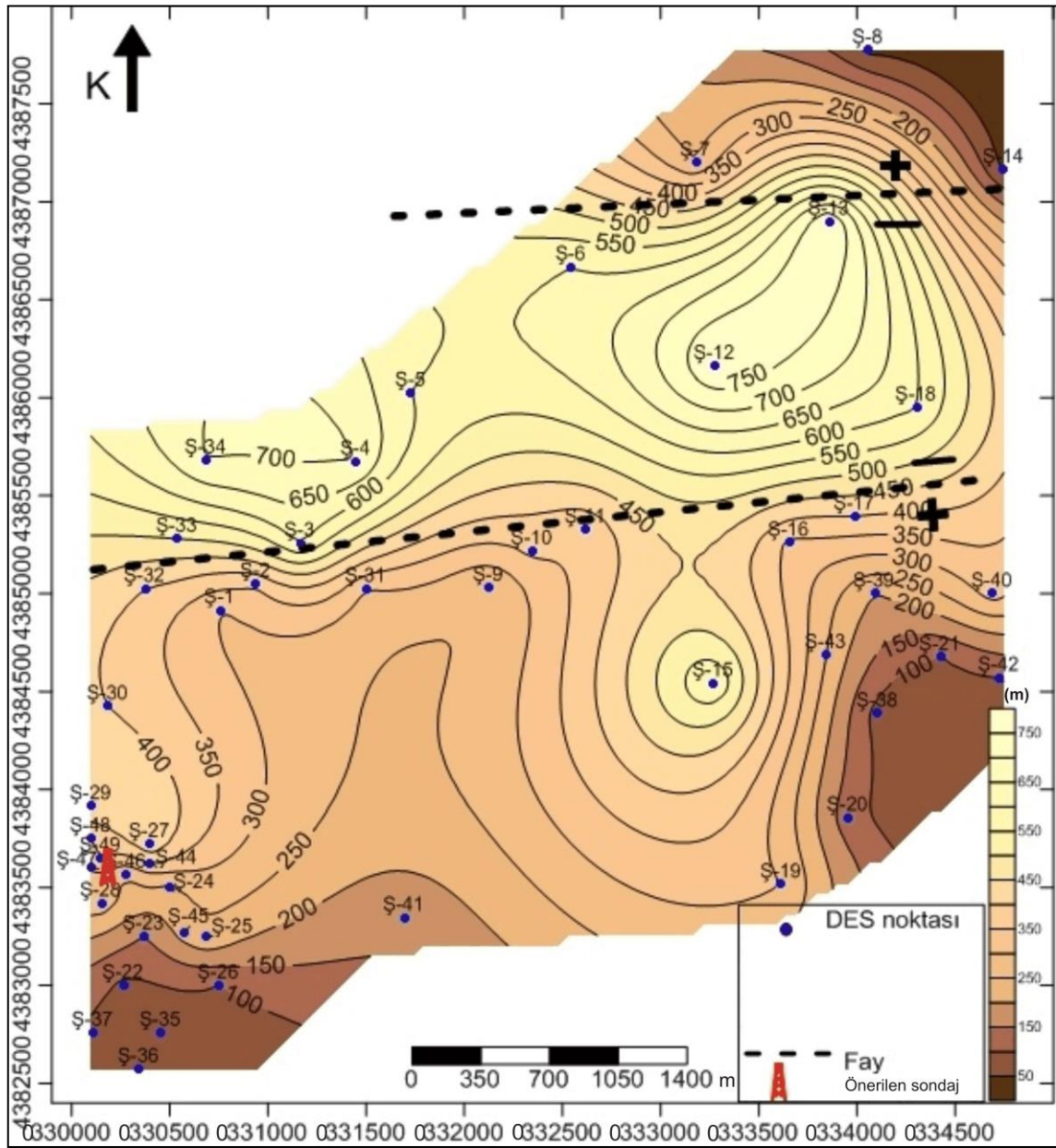
Şekil 5.4. Şerefiye sahası B DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.

Metamorfik birimlere giriş derinliğindeki özdirenç değerlerinden oluşturulan en düşük özdirenç haritasına bakıldığında; sıcaklıkla ilgili özdirenç anomalisinin çalışma sahasının batısında ve özellikle güneybatısında etkili olduğu görülmektedir. Özdirenç değerleri, güneyde 8-12 ohmm arasında iken, kuzeydoğuya gidildikçe 20-30 ohmm olmaktadır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Şerefiye sahası en düşük özdirenç haritası.

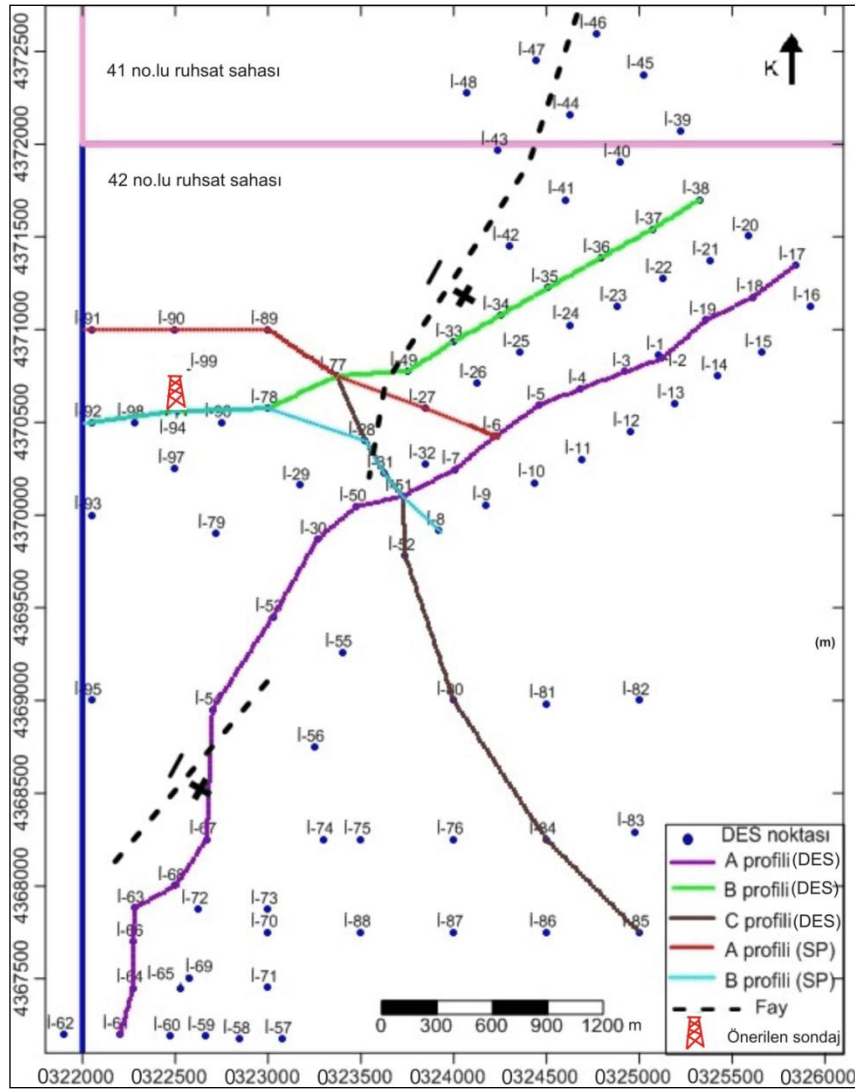
Neojen birimlerin kalınlığına göre oluşturulan jeoelektrik temel haritasına bakıldığında; çalışma alanında, jeoelektrik temel olarak kabul edilen metamorfik birimlerin derinliği, güneyde 100 m iken kuzeye doğru 500-600 m derinliklere ulaşmaktadır. Jeoelektrik anomaliler, Neojen birimlerin ince olduğu yerlerde daha belirginleşmektedir. Sahanın kuzey tarafında, D-B boyunca graben türü bir yapının olduğu görülmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Şerefiye sahası jeoelektrik temel haritası.

5.1.1.2 Mahmudiye sahasında yapılan rezistivite çalışmaları

Mahmudiye sahası, 1/25.000 ölçekli J25-b2 paftasında, Eskişehir ili Mahmudiye ilçesi ile İsmetpaşa ve Türkmenmecidiye köyleri arasındaki $\sim 24 \text{ km}^2$ 'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu sahada 99 adet DES ölçüsü alınmıştır. Ölçü aralıkları, jeofizik anomalinin durumuna göre 200 ile 500 m arasında değişmiştir. Bu sahadaki DES noktaları, SP profilleri ve öz direnç (DES) profilleri lokasyon haritasında görülmektedir (Şekil 5.7).



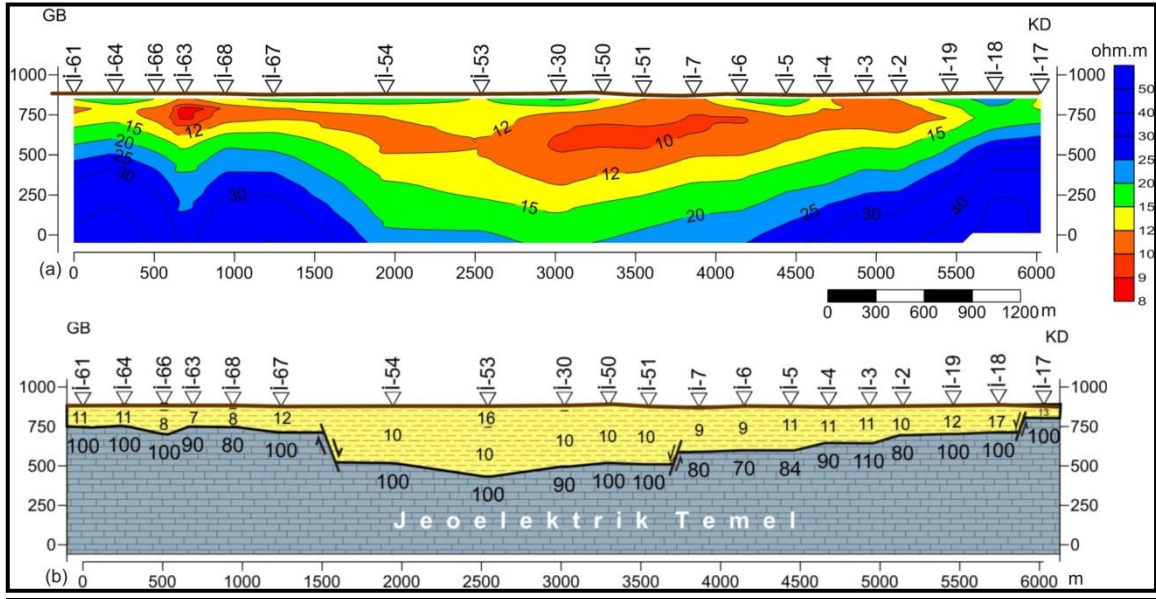
Şekil 5.7. İsmetpaşa sahası jeofizik lokasyon haritası.

Üç profil boyunca görünür özdirenç ve jeoelektrik yapı kesiti hazırlanmıştır (Şekil 5.7).

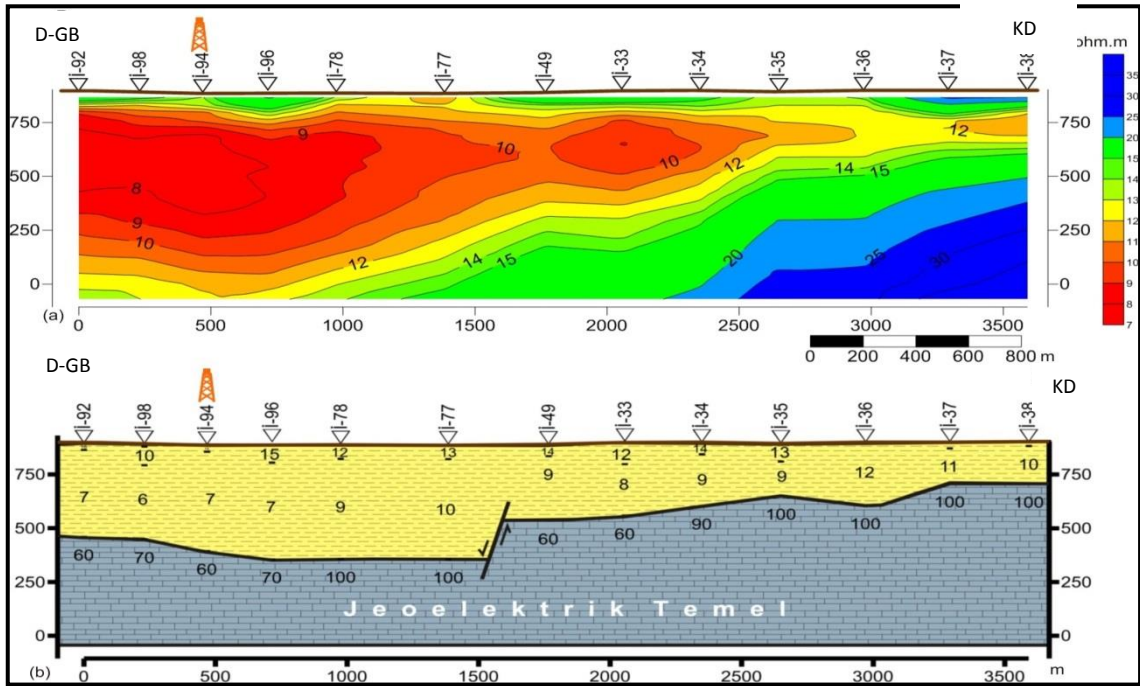
A DES profili; 20 DES noktasından oluşturulan profil, 6.000 m uzunluğundadır (Şekil 5.8a). Görünür özdirenç kesitinde kırmızı renkle gösterilen ve 12 ohmm'den daha düşük kontur dağılımı, örtü birimleri temsil etmektedir. Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; kesitin güneybatısında, İ-67 ile İ-61 noktaları arasında ortalama 180 m kalınlığında Neojen örtü birimlerinin olduğu görülmektedir. İ-54 ile İ-51 noktaları arasında örtü birimlerin kalınlaştığı (ortalama 400 m), kesitin kuzeydoğusuna gidildikçe örtü birimlerin tekrar incelendiği görülmektedir. Ayrıca İ67-İ54, İ7-İ51 ve İ17-İ18 noktaları arasında faylar izlenmektedir (Şekil 5.8b).

B DES profili; 3.600 m uzunluğundaki profil, 13 DES noktasından oluşturulmuştur (Şekil 5.9a). Görünür özdirenç kesitine bakıldığında; kesitin batısında İ-92 ile İ-78 noktaları arasında düşük özdirençli bir anomalinin olduğu görülmektedir. Burada özdirenç değerleri 8 ohmm'den daha düşüktür. Bu değer, jeotermal açıdan önemli sayılabilir. Bu anomalinin etkisinin doğuya gidildikçe kaybolduğu görülmektedir. Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; batıda örtü kayanın kalınlığı yaklaşık 500 m iken, kesitin doğusunda yaklaşık 300 m'dir. İ-77 ile İ-49 noktaları arasında yaklaşık 180'm lik bir atıma sahip normal bir fayın olduğu görülmektedir (Şekil 5.9b).

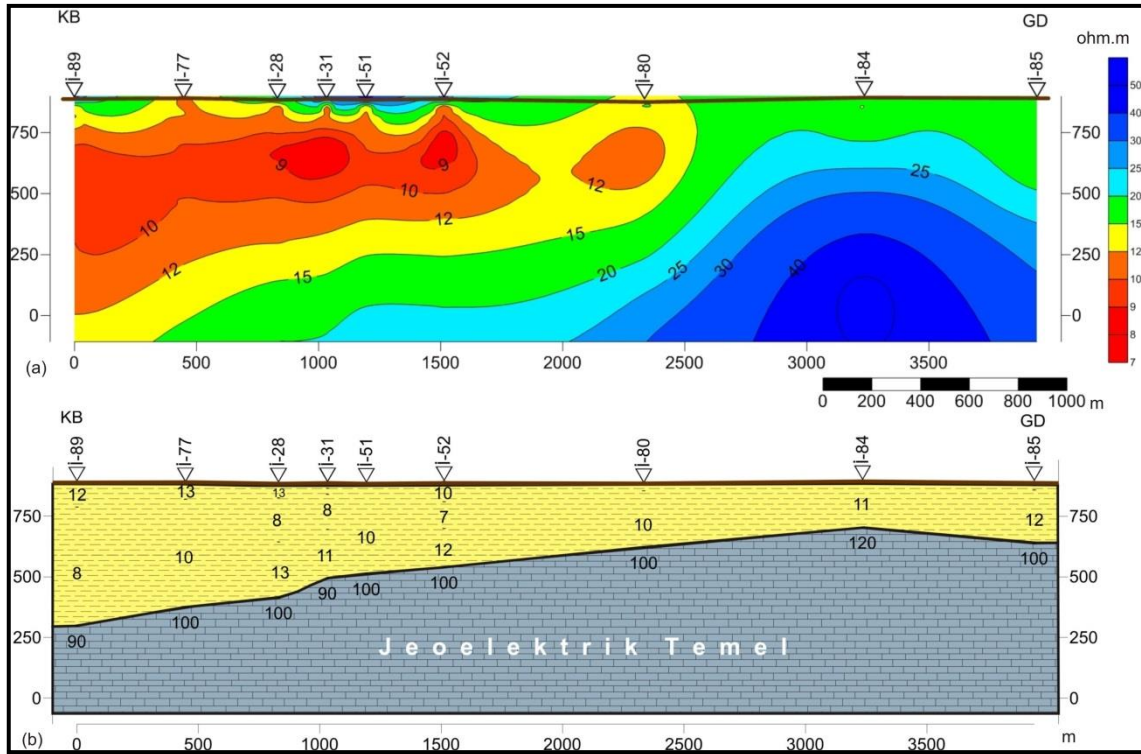
C DES profili; kuzeybatıdan güneydoğuya uzanan 4.000 m uzunluğundaki profil, 9 DES noktasından oluşturulmuştur (Şekil 5.10a). Görünür özdirenç kesitine bakıldığında; kesitin güneybatısındaki 12 ohmm'den daha düşük kontur dağılımı, örtü birimlerin kalın olduğunu göstermektedir. Bu durum, yapı kesitinde daha belirgindir. Güneydoğuya gidildikçe örtü birimlerin incelendiği görülmektedir (Şekil 5.10b).



Şekil 5.8. İsmetpaşa sahası A DES profili görünür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.

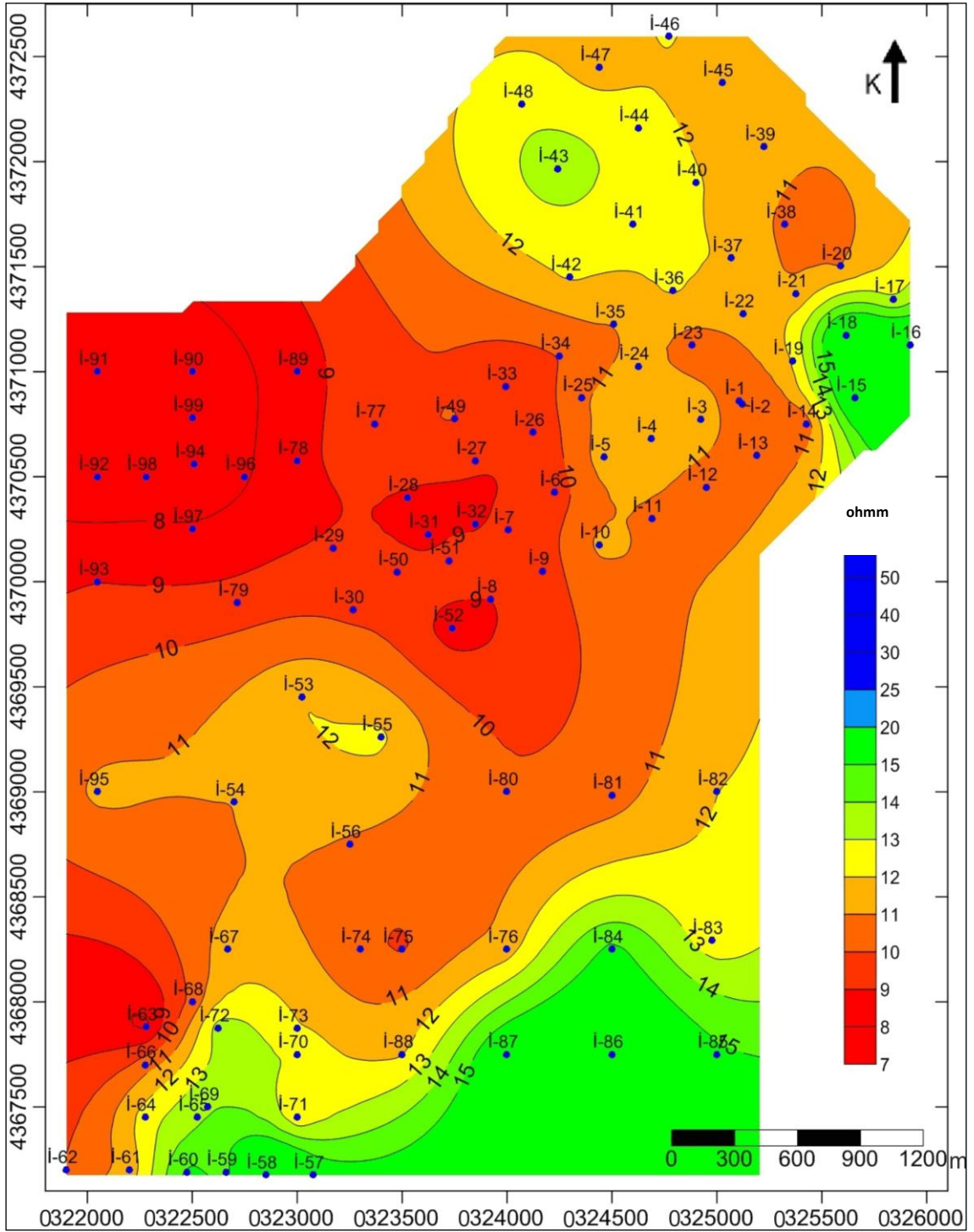


Şekil 5.9. İsmetpaşa sahası B DES profili görünür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.



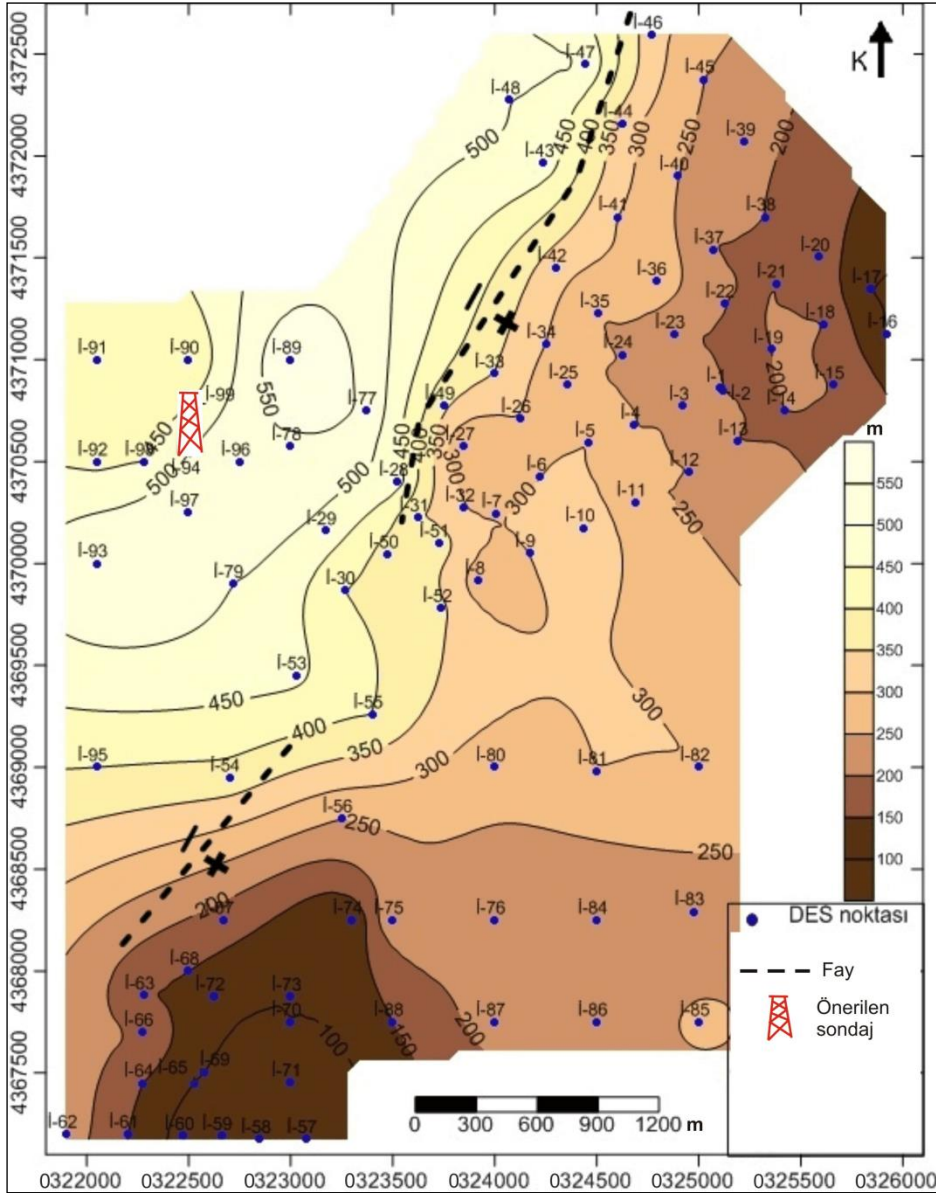
Şekil 5.10. İsmetpaşa sahası C DES profili görünür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.

Metamorfik birimlere giriş derinliğindeki öz direnç değerlerinden oluşturulan en düşük öz direnç haritasına bakıldığında; 12 ohmm'den daha düşük öz dirençli alanlar geniş bir yayılım göstermektedir. Sıcaklıkla ilgili öz direnç anomalisinin çalışma sahasının kuzeybatısında etkili olduğu görülmektedir. Buralarda öz direnç değerleri, 8 ohmm'den daha düşük ölçülmüştür (Şekil 5.11).



Şekil 5.11. İsmetpaşa sahası en düşük öz direnç haritası.

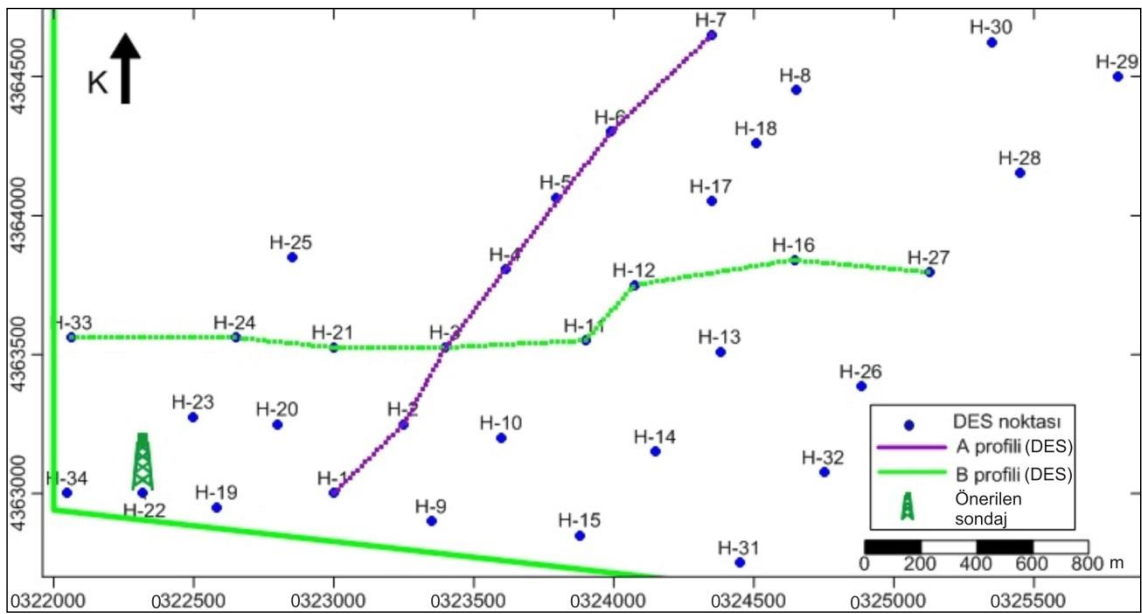
Neojen birimlerin kalınlığına göre oluşturulan jeoelektrik temel haritasına bakıldığında; sıcaklıkla ilişkilendirilen alanda, örtü kaya kalınlığının yaklaşık 500 m olduğu görülmektedir. Sahanın doğusunda ve güneyinde örtünün 200 m'den daha az olduğu söylenebilir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12. İsmetpaşa sahası jeoelektrik temel haritası.

5.1.1.3 Çifteler sahasında yapılan rezistivite çalışmaları

Çalışma sahası, 1/25.000 ölçekli J25-b2 paftasında, Eskişehir ili Çifteler ilçesi ile Hayriye köyü arasındaki ~10 km² lik bir alanı kapsamaktadır. Bu sahada 34 adet DES ölçüsü alınmıştır. Ölçü aralıkları, jeofizik anomalinin durumuna göre 250 m ile 500 m arasında değişmiştir. Bu sahadaki DES noktaları ve öz direnç profilleri lokasyon haritasında görülmektedir (Şekil 5.13).

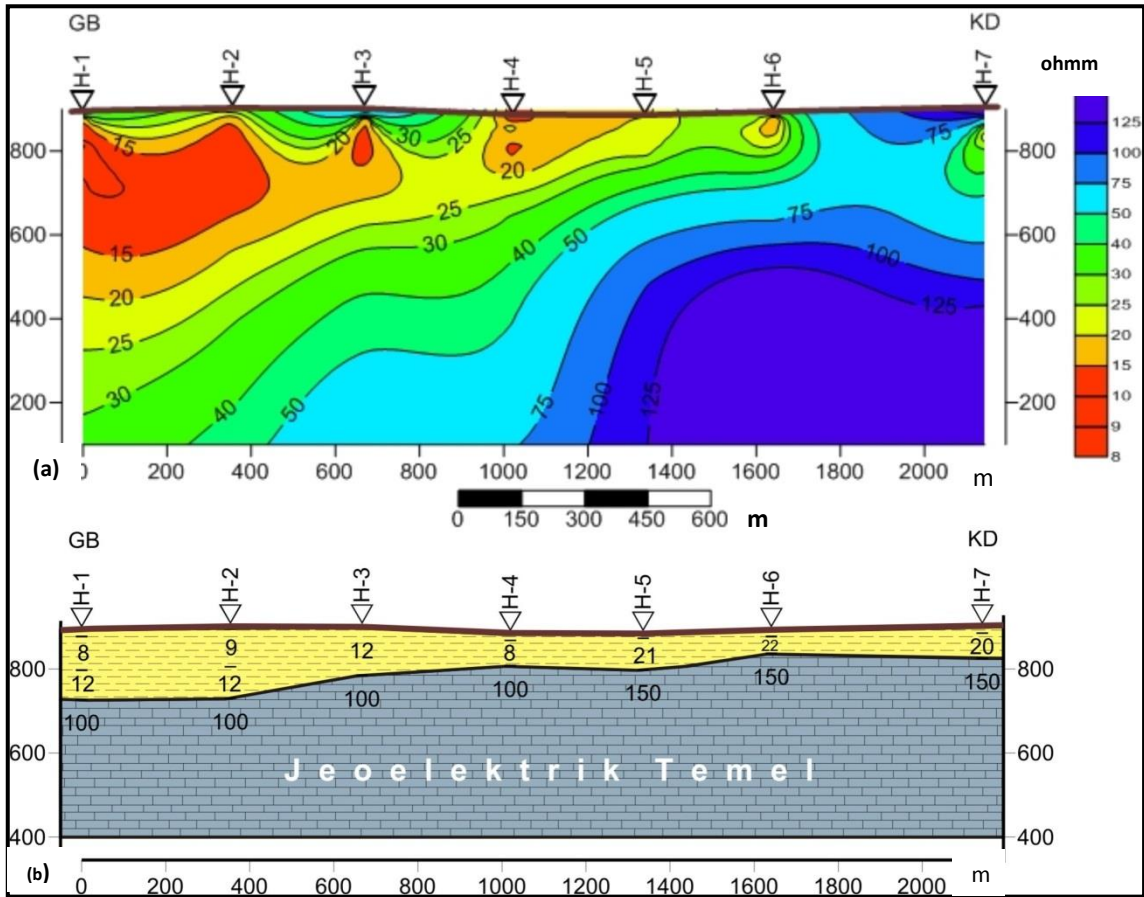


Şekil 5.13. Hayriye sahası jeofizik lokasyon haritası.

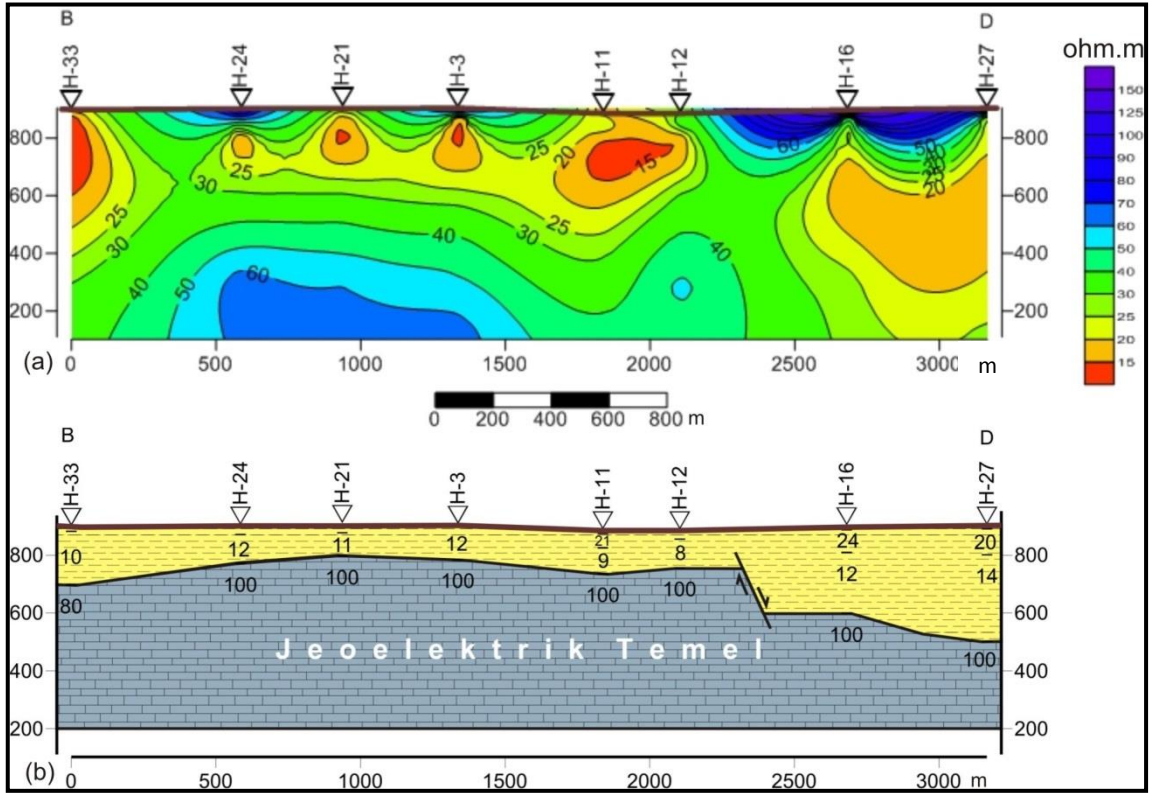
İki profil boyunca görünür öz direnç ve jeoelektrik yapı kesiti hazırlanmıştır (Şekil 5.13).

A DES profili; 7 DES noktasından oluşturulan profil, 2.150 m uzunluğundadır (Şekil 5.14). Görünür öz direnç kesitine bakıldığında kesitin güneybatısında düşük öz dirençli kontur dağılımı geniş yayılım göstermektedir. Kuzeydoğuya gidildikçe, jeoelektrik birimler sığlaştığı için, 40 ohmm den daha büyük öz dirençler elde edilmiştir (Şekil 5.14a). Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; kesitin güneybatısında, H-1 ile H-2 noktalarında 170 m kalınlığında olan Neojen örtü birimler, kesitin kuzeydoğusuna doğru incelmektedir (Şekil 5.14b).

B DES profili; 3.200 m uzunluğundaki profil, 8 DES noktasından oluşturulmuştur. Görünür özdirenç kesitinde 25 ohmm'den küçük özdirenç değerleri, Neojen örtü birimleri temsil etmektedir. Kesitin doğusunda, H-16 ve H-27 noktalarında, düşük özdirençli konturlar geniş yayılım göstermektedir (Şekil 5.15a). Jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında; batıda örtü kayanın kalınlığı ortalama yaklaşık 120 m iken, kesitin doğusuna doğru kalınlık artmaktadır. H-27 noktasında yaklaşık 400 m'dir. H-12 ile H-16 noktaları arasında yaklaşık 170 m'lik atıma sahip normal bir fay izlenmektedir (Şekil 5.15b).

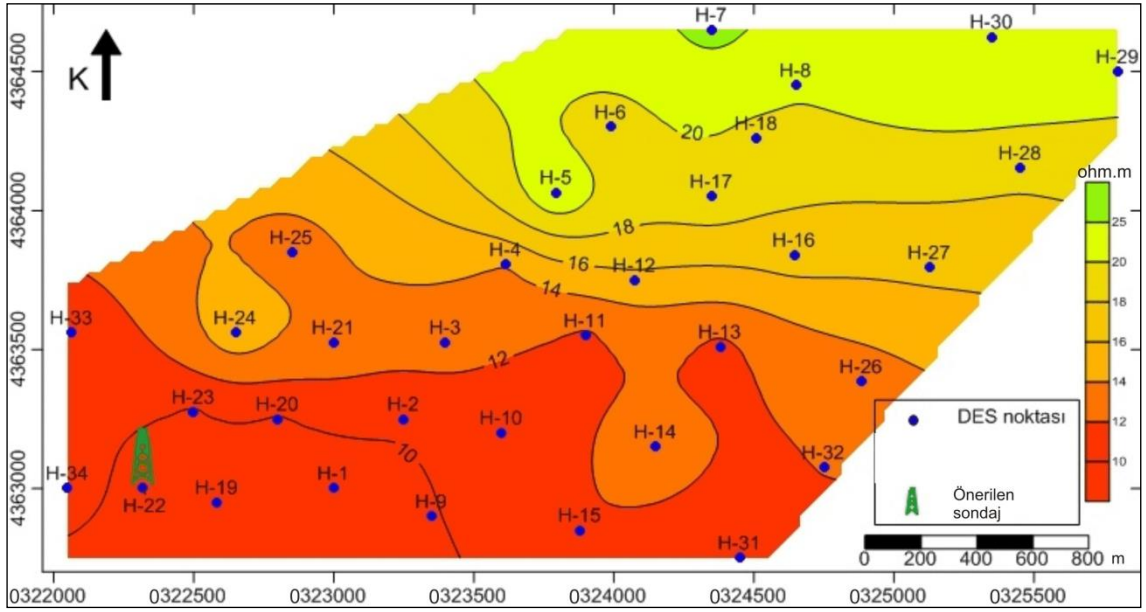


Şekil 5.14. Hayriye sahası A DES profili görünür özdirenç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.



Şekil 5.15. Hayriye sahası B DES profili görünür öz direnç (a) ve jeoelektrik yapı (b) kesiti.

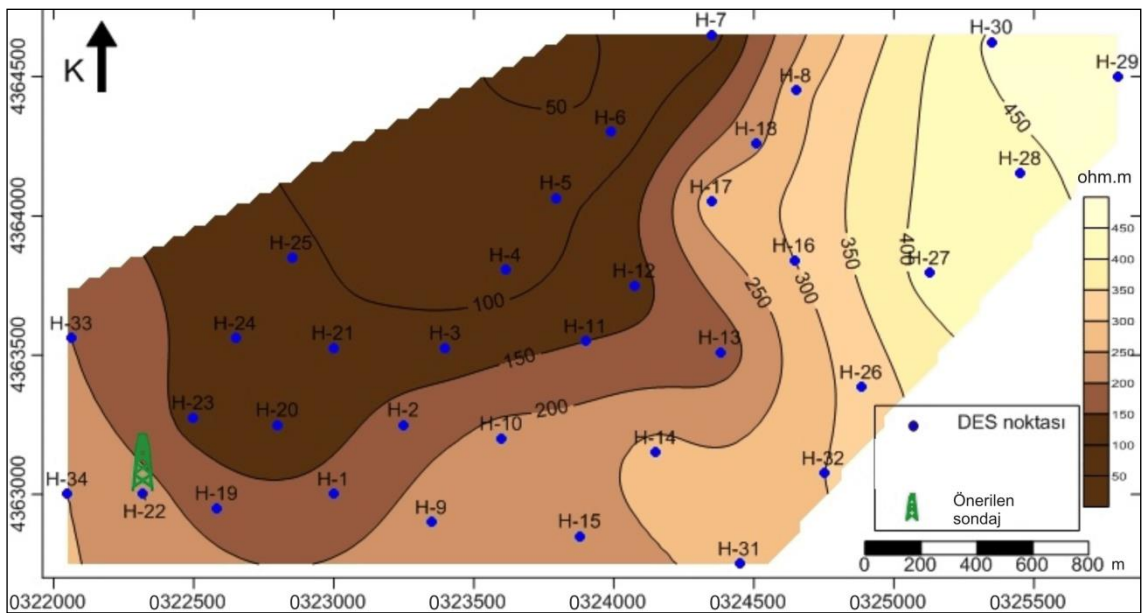
Metamorfik birimlere giriş derinliğindeki öz direnç değerlerinden oluşturulan en düşük öz direnç haritasına bakıldığında; sıcaklıkla ilgili öz direnç anomalisinin çalışma sahasının güney-güneybatısında etkili olduğu görülmektedir. Buralarda öz direnç değerleri, 10 ohmm'den daha düşük ölçülmüştür (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Hayriye sahası en düşük öz direnç haritası.

Neojen birimlerin kalınlığına göre oluşturulan jeoelektrik temel haritasına bakıldığında; sıcaklıkla ilişkilendirilen alanda, örtü kaya kalınlığının yaklaşık 200 m olduğu görülmektedir. Sahanın kuzeybatısında 150 m'den daha az olan kalınlık, kuzeydoğuya gidildikçe artmakta ve 350 m den daha fazla olmaktadır (Şekil 5.17).

H-22 DES noktasında, jeotermal ile deneştirilen anomaliler elde edilmiştir.



Şekil 5.17. Hayriye sahası jeoelektrik temel haritası.

5.1.2 SP çalışmaları

Bu yöntemde yer içinde oluşan elektrik akımlarının doğal potansiyel alanda meydana getirdiği değişimler ölçülmektedir.

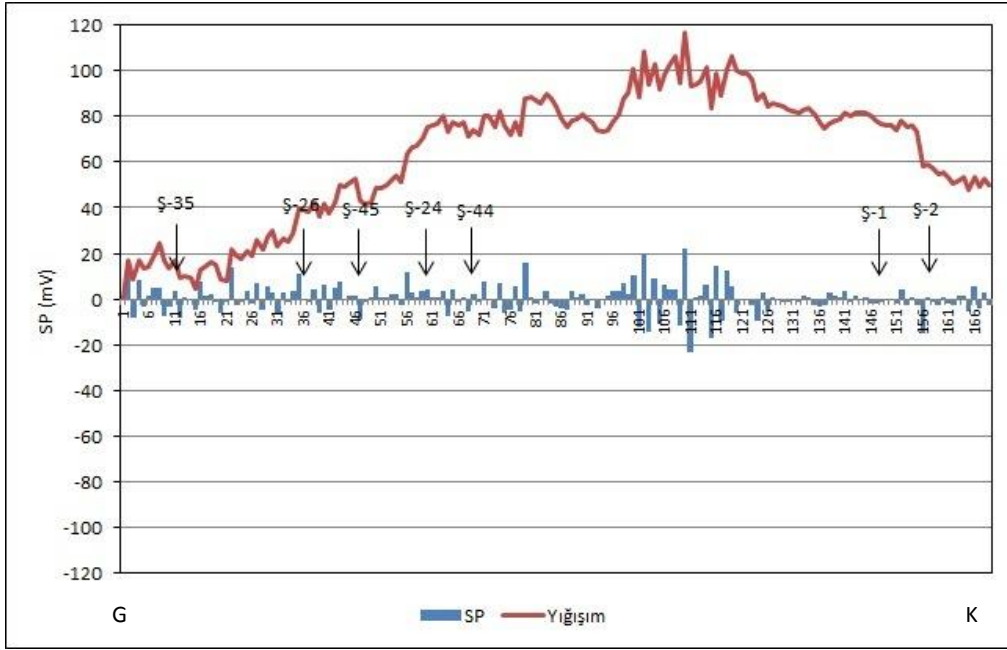
SP kesitleri, sıcak su çıkışlarıyla ilişkili aktif zonların belirlenmesinde olumlu katkılar sağlamaktadır. SP yığışım değerlerindeki pozitif yükselimler, akışkanın yüzeylenmesiyle doğrudan ilişkilidir. SP türev değerleri ise aktif kırık ve çatlaklar üzerinde büyük genlikli pozitif-negatif geçişler göstererek belirgin anomaliler vermektedir. Jeotermal havzalar genellikle negatif SP anomalisi oluşturmaktadır.

Şerefiye ve İsmetpaşa sahalarında, toplam uzunluğu 10.500 m olan dört adet profil üzerinde, 20 m aralıklarla 293 nokta, 2 profil Şerefiye sahası; 231 nokta, 2 profil İsmetpaşa sahası olmak üzere toplamda 524 noktada, Doğal Potansiyel (SP) çalışmaları yapılmıştır.

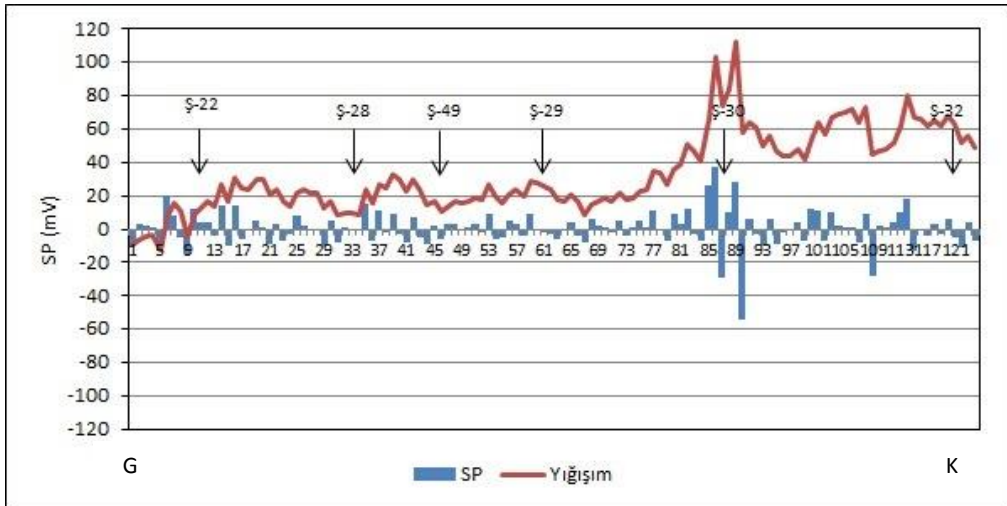
Arazide kaydırma düzeneği ile türev (T) ölçümleri yapılmıştır. Doğal Potansiyel alanının T değerlerinden grafikler hazırlanmıştır. Çalışma sahasında öz direnç ölçümlerine katkı sağlaması amacıyla 2 profilde 20 metre aralıklarla toplam 293 noktada, 5.860 m uzunlukta SP ölçümleri yapılmıştır.

A SP profili 100. ile 120. noktaları arasında, jeotermal açıdan önemli sayılabilecek anomaliler tespit edilmiştir. Burada +20 mV ile -20 mV aralığında genlik değişimleri ölçülmüştür. B SP profilinde ise 85. ile 90. noktalar arasında, Ş-30 noktasına denk gelen yerde, +40 mV ile -50 mV genlik değişimleri ölçülmüştür. Bu değerler, jeotermal aktivite açısından önemlidir (Şekil 5.18 ve Şekil 5.20).

Ş-41 DES noktasında özel sektörün yaptığı 170 m lik sondajda, 41 °C sıcak akışkan elde edilmiştir. Sondaj verileri de çalışmaları yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalara göre, buranın jeotermal anomalinin dışında olduğu görülmüştür. Öz direnç anomalisinin daha iyi olduğu (Ş-28, Ş-46 ve Ş-47 no.lu DES noktaları arası) yere sondaj önerilmiştir.



Şekil 5.18. Şerefiye sahası A SP profili SP grafiği.

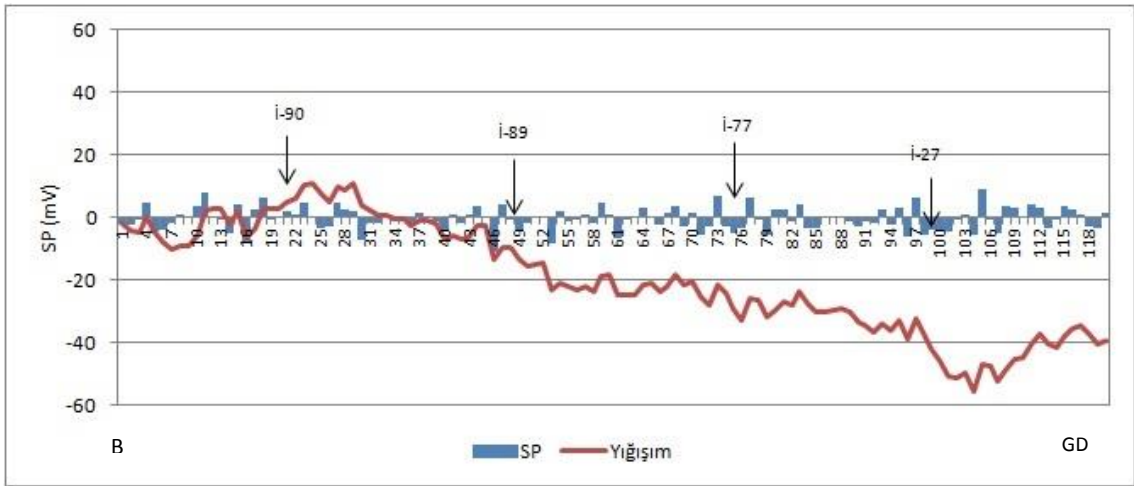


Şekil 5.19. Şerefiye sahası B SP profili SP grafiği.

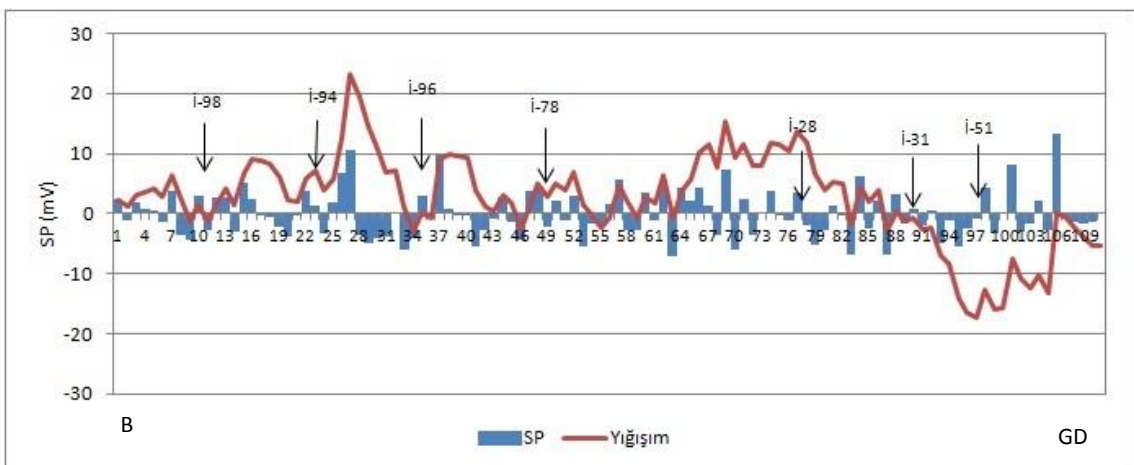
Mahmudiye sahasında öz direnç ölçümlerine katkı sağlaması amacıyla 2 profilde 20 metre aralıklarla toplam 231 noktada 4620 m uzunlukta SP ölçümleri yapılmıştır. A SP profilinde jeotermal açıdan önemli sayılabilecek anomaliler tespit edilmemiştir. İ-27 noktası civarında SP yığışım değerlerinde bir süreksizlik etkisi görülmektedir (Şekil

5.19). B SP profilinde ise İ-94 noktası civarında +10 mV ile -5 mV genlik değişimleri ölçülmüştür. Burada SP yığışım değerlerinde, İ-94 ve İ-31 noktası civarında önemli sayılabilecek süreksizlik etkisi görülmektedir (Şekil 5.21).

İ-2 DES noktasında özel sektörün yaptığı sondajda 33,5 °C lik sıcak akışkan elde edilmiştir. Bu sondaj ve civarda yapılan diğer sondaj verileri çalışmaları yönlendirmiştir. Yapılan çalışmalara göre, buranın jeotermal anomalinin dışında olduğu görülmüştür. Özdirenç anomalisinin daha iyi olduğu (İ-94 ve civarı) yere sondaj önerilmiştir.



Şekil 5.20. İsmetpaşa sahası A SP profili SP grafiği.



Şekil 5.21. İsmetpaşa sahası B SP profili SP grafiği.

5.2 Sondajlı Arama Yöntemleri

5.2.1 Şerefiye sahasında yapılan jeotermal araştırma sondajı

M.T.A. Genel Müdürlüğü'nün Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi kapsamında Eskişehir ili Mahmudiye ilçesi Şerefiye köyünde 2011 yılında gerçekleştirilen proje etüt çalışmaları (jeoloji, jeofizik) sonucu belirlenen koordinatlarda (X: 43 83 550, Y: 03 30 150) yapılan EMŞ-2011/24 no.lu jeotermal sondajı 650 ± 100 m olarak programlanmıştır (Şekil 5.22). Şerefiye EMŞ-2011/24 jeotermal araştırma sondajında ilerlemeye 03.11.2011 tarihinde geçilmiştir. İlerleme sırasında 244,00-250,00, 298,00-312,00, 610,00-612,00 ve 662,00-664,00 m'ler arasında kısmi kaçaklar olmuştur (Şekil 5.23). Kuyuda, jeoloji ve jeotermal anlamda değerlendirme yapmak için 232,00 ve 665,00 m'de jeofizik kuyu logu ölçüleri ve 232,00-233,50 m'ler arasında karot alınmıştır (Şekil 5.24). 13.01.2012 tarihinde 718 m'de ilerlemeye son verilen kuyuda gerekli ölçümler yapılmış, kuyunun bitirilmesine karar verilerek, kuyu teçhiz edilmiş ve üretim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

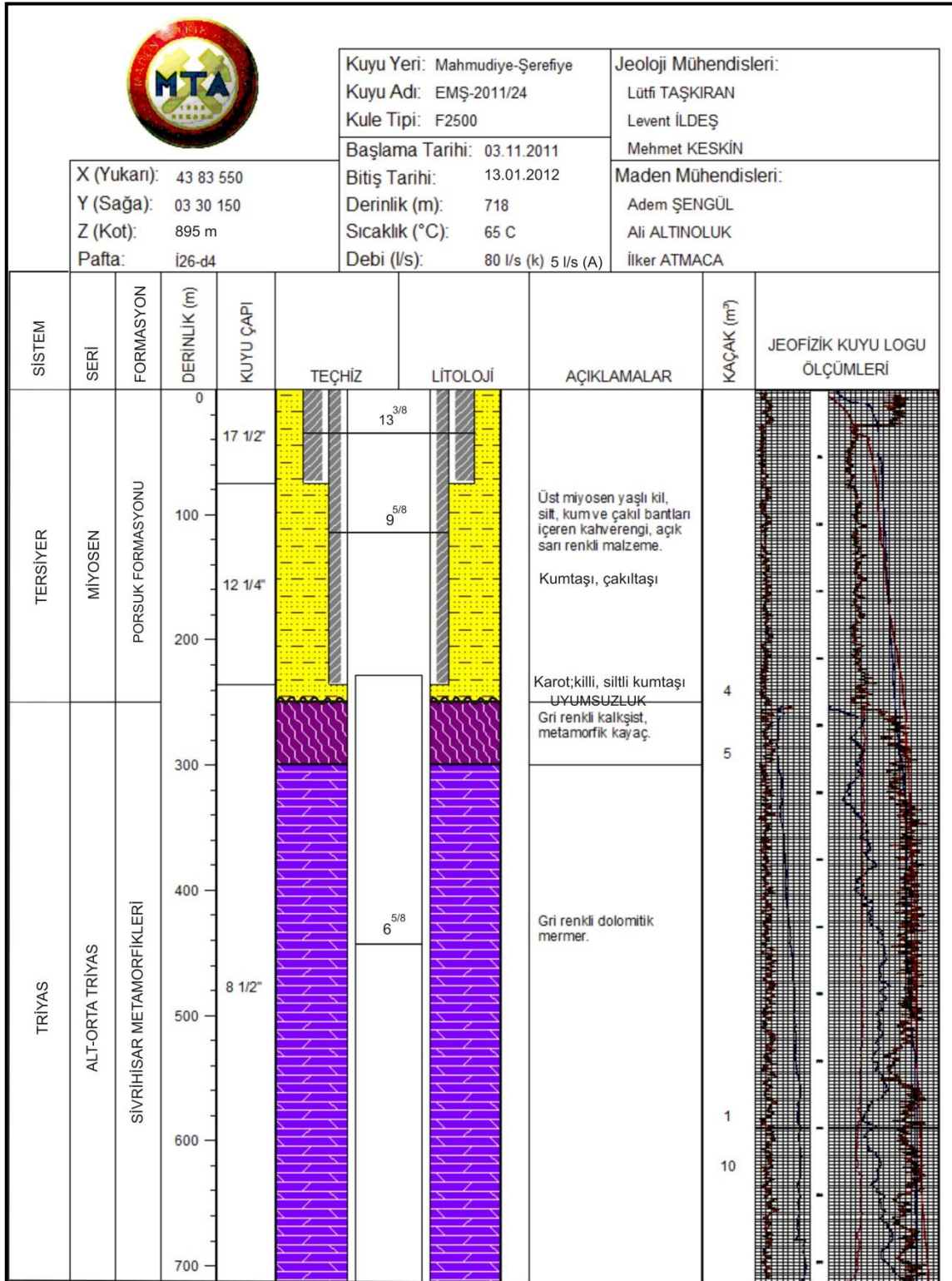
Artezyenik üretime sahip olan kuyuda, 100,00 m'den 12 atm basınçla 8 saat süreyle yapılan kuyu geliştirme ve kompresör üretimi çalışmasının ardından, uygulamaya 200,00 m'den 16 atm basınçla 10 saat olmak üzere toplam 18 saat süreyle devam edilmiş ve kompresörle yapılan kuyu geliştirme ve üretim testi çalışmaları sonucunda, 80 l/s (kompresör) ve 5 lt/s (artezyenik) debide ve 65°C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir (Şekil 5.25 ve Şekil 5.26). EMŞ-2011/24 kuyusunda kesilen birimlere ait bilgiler Çizelge 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.22. EMŞ-2011/24 sondajından bir görünüm.

Çizelge 5.2. EMŞ-2011/24 kuyusunda kesilen litolojik birimler.

Derinlik (m)	Litoloji
00,00-04,00	Toprak örtü
04,00-250,00	PORSUK FORMASYONU KONGLOMERA-KUMTAŞI ÜYESİ
04,00-12,00	İnce taneli kum, silt.
12,00-22,00	Kahverengi kil, silt, kum
22,00-56,00	Açık kahverengi kil, silt, kum
56,00-80,00	Açık kahverengi, sarımsı, kil, az miktarda kum ve çakıl. Çakıllar kireçtaşı, ofiyolit kökenli.
80,00-116,00	Açık kahverengi, sarımsı silt, kil.
116,00-206,00	Kahverengi kil, kum, Kireçtaşı kökenli çakıltaşı.
206,00-232,00	Sarımsı killi Kumtaşı, çakıltaşı
232,00-233,50	KAROT (%94): Kahverengi killi, siltli Kumtaşı
233,50-250,00	Gri, bej renkli karbonatlı şist ve dolomitik mermer kökenli çakıltaşı.
250,00-300,00	SİVRİHİSAR MAVİŞİSTLERİ
250,00-270,00	Koyu gri renkli şist, kalkşist.
270,00-300,00	Açık gri, gri renkli kalkşist.
300,00-718,00	SİVRİHİSAR MERMERLERİ
300,00-358,00	Koyu gri renkli dolomitik mermer.
358,00-622,00	Gri renkli, yer yer beyaz renkli dolomitik mermer.
622,00-718,00	Açık gri, beyaz renkli mermer.



Şekil 5.23. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye EMŞ-2011/24 jeotermal sondajı kuyu litoloji logu (Taşkıran, 2014).

EMŞ-2011/24 jeotermal araştırma sondajında, jeotermal anlamda kuyuda değerlendirme yapılması, permeabilite-porozite zonların belirlenmesi ve sıcaklık dağılımının görülmesi amacıyla 232,00 ve 665,00 metrelerde termik, SP-resistivite, gamma-ray, neutron kuyu içi jeofizik log ölçüleri alınmıştır (Şekil 5.24). Kuyu tabanı 665 m'deyken alınan jeofizik kuyu içi log ölçülerinden sonra kuyu tabanı olan 718 m'ye kadar sondaj tekniği açısından kuyuyu riske atacak derecede takım sıkışmaları meydana gelmiştir. Bu nedenle kuyu tabanına kadar beklemeli termik ölçüler alınamamıştır. 665,00 m'de ölçülen beklemeli (15 dakika) sıcaklık 65,7 °C'dir. Termik log ölçülerine göre kuyunun ortalama jeotermal gradyanı 0,99 °C/10 m'dir.



Şekil 5.24. EMŞ-2011/24 kuyusunda jeofizik kuyu içi log ölçü alımından bir görünüm.



Şekil 5.25. EMŞ-2011/24 kuyusunda kompresörle yapılan ilk yatay üretimden bir görünüm.



Şekil 5.26. EMŞ-2011/24 kuyusunda kompresörle yapılan yatay üretimden bir görünüm.

5.2.2 Mahmudiye sahasında yapılan jeotermal araştırma sondajı

Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi kapsamında Eskişehir ili, Mahmudiye ilçesi, İsmetpaşa köyü yakınlarında 2011 yılında gerçekleştirilen proje etüt çalışmaları (jeoloji, jeofizik) sonucu belirlenen koordinatlarda (X: 43 70 560, Y: 03 22 510) yapılan EMİ-2012/4 no.lu jeotermal sondaj kampında çalışmalar 01.03.2012 tarihinde başlamıştır. 700 ± 50 m olarak programlanan İsmetpaşa EMİ-2012/4 jeotermal araştırma sondajında ilerlemeye 18.03.2012 tarihinde geçilmiştir (Şekil 5.27). İlerleme sırasında 80,00-464,00 ve 478,00-540,00 m'ler arasında kısmi kaçaklar, 546,00 m'de ise fay zonuna girildiğinden dolayı tam kaçak olmuştur (Şekil 5.28). Kuyuda, jeoloji ve jeotermal anlamda değerlendirme yapmak için 308,00 ve 556,00 m'de jeofizik kuyu logu ölçüleri alınmıştır. 04.05.2012 tarihinde 556,00 m'de ilerlemeye son verilen kuyuda gerekli ölçümler yapılmış, kuyunun bitirilmesine karar verilerek, kuyu teçhiz edilmiş ve üretim çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Artezyenik üretime sahip olmayan kuyuda 140,00 m'den 15 atm basınçla 1 saat süreyle yapılan kuyu geliştirme ve kompresör üretimi çalışmasının ardından, uygulamaya 185 m'den 15 atm basınçla 1 saat süreyle daha devam edilmiş ve toplam 2 saat süreyle kompresörle yapılan kuyu geliştirme ve üretim testi çalışmaları sonucunda, 70 l/s (kompresör) debide ve 59,5 °C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir (Şekil 5.29 ve Şekil 5.30). EMİ-2012/4 kuyusunda kesilen birimlere ait bilgiler Çizelge 5.3'de verilmiştir.



Şekil 5.27. EMİ-2012/4 sondajından bir görünüm.

Çizelge 5.3. EMİ-2012/4 kuyusunda kesilen litolojik birimler.

Derinlik (m)	Litoloji
00,00-04,00	Toprak örtü
04,00-92,00	PORSUK FORMASYONU MARN-KİL ÜYESİ
04,00-12,00	İnce taneli kum, silt.
12,00-24,00	Beyaz, bej renkli kil, silt, kum
24,00-62,00	Açık kahverengi kil, silt, kum
62,00-92,00	Açık kahverengi, sarımsı, boz renkli kil, az miktarda kum ve çakıl. Çakıllar kireçtaşı, ofiyolit kökenli.
92,00-440,00	PORSUK FORMASYONU ÇAKILTAŞI-KUMTAŞI ÜYESİ
92,00-204,00	Açık kahverengi kil, kum, ofiyolit ve kireçtaşı kökenli çakıltaşı.
204,00-288,00	Açık kahverengi, sarımsı kil, silt, Kumtaşı.
288,00-320,00	Gri, yeşil renkli kil, Kumtaşı, çakıltaşı.
320,00-394,00	Bordo, şarabi renkli kil, Kumtaşı, çakıltaşı
394,00-414,00	Beyaz, bej, sarımsı Kumtaşı.
414,00-440,00	Kızıl, kahverengi kil, Kumtaşı, çakıltaşı. Çakıllar: Mermer kökenli
440,00-556,00	SİVRİHİSAR MERMERLERİ
440,00-470,00	Gri, bej renkli az altere mermer.
470,00-538,00	Açık renkli, beyaz, bej renkli mermer.
538,00-546,00	TAM KAÇAK NEDENİYLE NUMUNE ALINAMAMIŞTIR.

Tarih		Derinlik (m)	Litoloji ve Donanım	Açıklamalar	Çamur Sıcaklığı		Kaçak Miktar (m ³)	Çamur Özelliği	
					Giriş (°C)	Çıkış (°C)		Ağırlık (g/cm ³)	Viskozite
19/03/12		0		Alüvyon	17,1	17,1	3	1,1	48
		17 1/2"		kil, kum çakıl: az tutturulmuş, sarı boz açık kahve renkli	15,4	15,4			
		13 3/8"			16	16,2			
		12 1/4"			14,5	14,6			
29/03/12		100			19,3	20,2	2,5	1,13	40
		200		kumtaşı, çakıltaşı, kil: beyaz, gri renkli kuvars ve kçt çakılları	22	22,5			
		18,6			20	20,9			
		18,9			17,6	17,6			
01/04/12		200			18,6	19,7	1,04	58	60
		300		kiltası, kum çakıl: kiltası, kum çakıl seviyeleri var, sarı açık kahve yer yer bordo şarabi	18,4	20,5			
		19,6			20	21,5			
		20,8			20,8	22,3			
04/04/12		300			24,4	26,7	4	58	47
		400			24,9	25,3			
		24,1			24,1	26,1			
		27,3			27,3	28,6			
19/04/12		400			26,7	27,1	3	50	48
		500		mermer: beyaz, bej, gri renkli mermer	26,5	28			
		29,6			29,6	30,1			
		26,1			26,1	28,3			
28/04/12		500			28,9	29,6	45	40	47
		31,8			31,8	32,2			
01/05/12		500			31,3	32,6	tam kaçak		
		34				36,7			
						35,5			

Açıklama:

Şekil 5.28. Eskişehir-Mahmudiye-İsmetpaşa EMİ-2012/4 jeotermal sondajı kuyu litoloji logu.

Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi kapsamında 42 no.lu ruhsat alanında yapılmış olan Mahmudiye-İsmetpaşa EMİ-2012/4 jeotermal araştırma sondajında, jeotermal anlamda kuyuda değerlendirme yapılması, permeabilite-porozite zonların belirlenmesi ve sıcaklık dağılımının görülmesi amacıyla 308,00 ve 556,00 metrelerde termik, SP-resistivite, gamma-ray, neutron kuyu içi jeofizik log ölçüleri alınmıştır. Kuyu tabanı olan 556,00 m'de ölçülen en yüksek sıcaklık 53,7 °C olup, bekleme (15 dakika) sıcaklık 46,2 °C'dir. Kuyu tabanında ölçülen en yüksek sıcaklık 59,7 °C'dir. Termik log ölçülerine göre kuyunun ortalama jeotermal gradyanı 1,07 °C/10 m'dir. Kuyuda alınan diğer jeofizik log ölçülerine göre ise muhtemel rezervuar zonların 416,00-420,00 metreler, 430,00-460,00 metreler, 478,00-510,00 metreler, 532,00-535,00 metreler 540,00-552,00 metreler arası olabileceği görülmüştür.



Şekil 5.29. EMİ-2012/4 kuyusunda kompresörle yapılan ilk yatay üretimden bir görünüm.



Şekil 5.30. EMİ-2012/4 kuyusunda kompresörle yapılan yatay üretimden bir görünüm.

BÖLÜM 6

JEOTERMAL KAVRAMSAL MODEL

Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki sıcak bölgelerden yeryüzüne doğru yayılan yerküre iç ısısı olarak tanımlanır. Bir jeotermal modelde aşağıda verilen önemli unsurların bir arada bulunması gerekir:

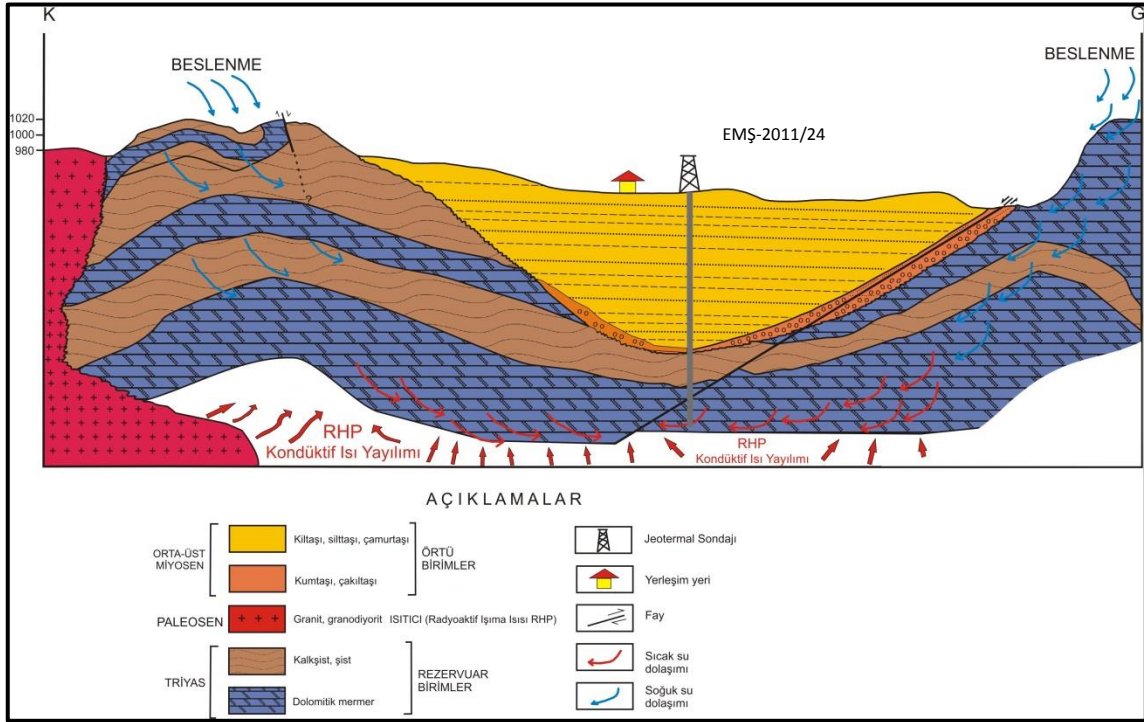
- 1- Isı kaynağı (soğumakta olan magma),
- 2- Isıyı yeraltından yüzeye taşıyan akışkan ve dolaşımını sağlayacak ölçüde geçirimli kayaç,
- 3- Akışkanın yerleşebileceği gözenekli bir rezervuar (hazne) kaya,
- 4- Rezervuarda depolanan ısı ve akışkanın enerjisini yani rezervuarın korunmasını sağlayan geçirimsiz örtü kaya.

Jeotermal enerjinin doğası ve dağılımı ile ilgili üç temel terim vardır;

- 1-Jeotermal gradyan,
- 2-Isı akısı,
- 3-Jeotermal anomali.

Jeotermal gradyan dünya yüzeyinden derinlere doğru inildikçe sıcaklığın artmasından kaynaklanır. Normal olarak yerin altına inildikçe her 33 metre’de sıcaklık 1°C yükselir. Isı enerjisi, kayalardan iletim yoluyla geçerek, magmanın hareketi ile veya jeotermal suyun hareketi ile dünya yüzeyine ulaşır. Isı enerjisinin iletim yoluyla düşey olarak yukarı doğru hareket etmesine ısı akısı denir. Bazı jeotermal alanlarda, bazı derinliklerde sıcaklıklar, komşu alandaki sıcaklıklardan farklılıklar gösterirler. Bu düzensizliğe jeotermal anomali denir.

Çalışma kapsamında yapılan tüm jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofiziksel verilerin yanı sıra yapılan jeotermal araştırma sondajlarının verileri de dikkate alındığında, inceleme alanındaki jeotermal sistemle ilgili kavramsal bir model oluşturulmuştur (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye sahası jeotermal modeli (Ölçeksiz).

6.1 Rezervuar kayalar

Çalışma sahası ve çevresinde yer alan birimlerden Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait olan kalkıştler ve mermerler rezervuar özelliği taşımaktadır. Proje çalışmaları kapsamında etüt çalışmaları sonrası Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye'de ve İsmetpaşa'da açılan jeotermal kuyularda rezervuar kayaç olarak Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait şist ve mermerlerden üretim yapılmıştır. Bununla beraber, yine Karkın Formasyonu'na ait birimler tektonizmanın etkisiyle ikincil gözeneklilik ve geçirimli özellik kazanmışlardır.

6.2 Örtü kayalar

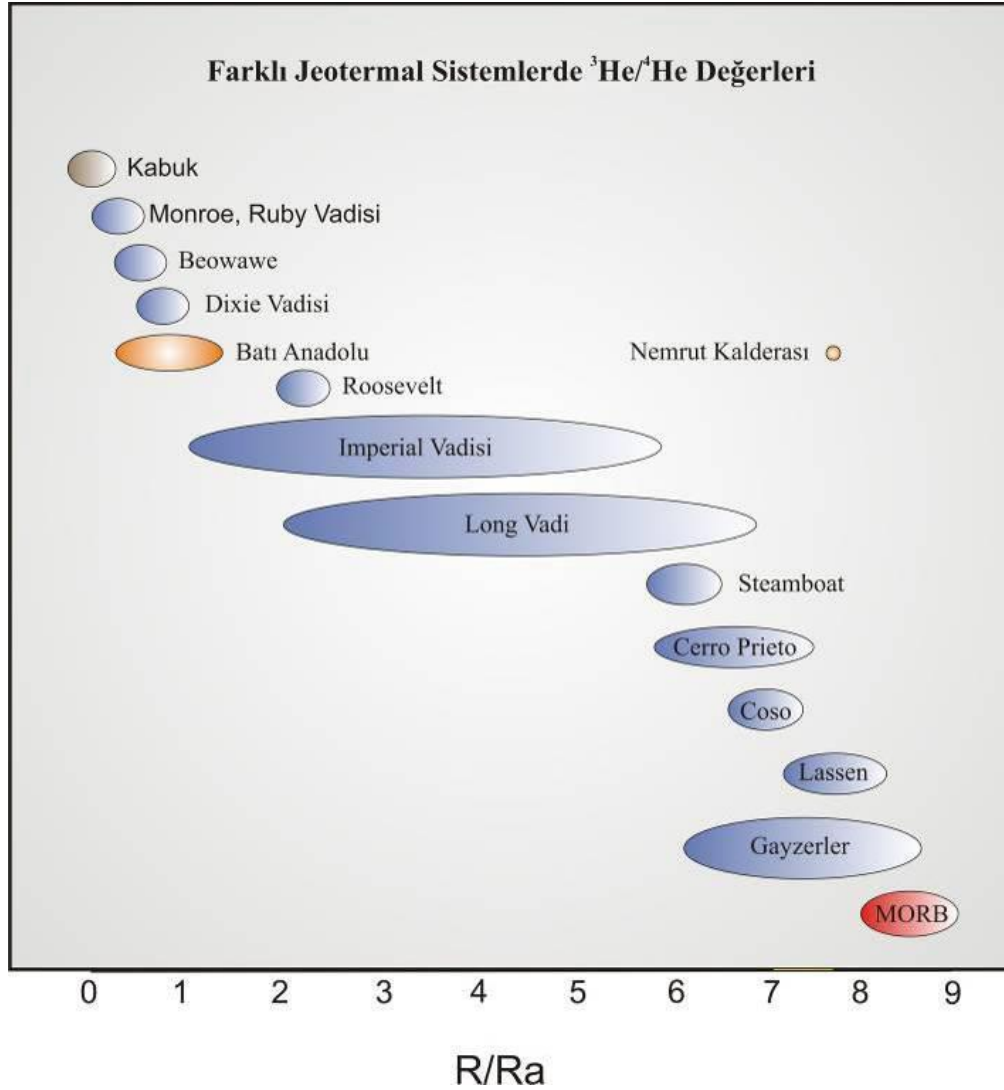
Sahanın örtü kayasını ise Orta-Üst Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerin kiltaş, marn, çamurtaş ve tüflü seviyeleri oluşturmaktadır.

6.3 Isıtıcı Unsurlar

Jeotermal enerjinin büyük bir bölümü volkanizmanın aktif olduğu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ancak yeni araştırmalar jeotermal potansiyelin sadece volkanizma ile sınırlı kalmayıp derin fay düzlemleri boyunca alt kabuğa kadar inen ve ısınarak yüzeye

yükselen meteorik su akışları ile de yakından ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Açılmalı tektonik rejim etkisiyle kırılğan üst kabuk ile sünek alt kabuk arasındaki sınır boyunca geçirimsizliğin artması ve derin fayların uçucular için uygun kanal görevi üstlenmesi manto ve/veya kabuk kökenli akışkanların kolaylıkla yüzeye taşınmasına olanak sağlar. Bu kapsamda, başta helyum olmak üzere diğer asal gaz ve karbon izotopları, jeokimyasal sinyallerin aksine, akışkanın türediği rezervuar kaynağına yönelik önemli ipucu sunarlar (Mutlu v.d., 2011). $^3\text{He}/^4\text{He}$ (R) veya atmosferdeki helyum bileşimine göre oranlanmış şekli ile (R/R_A) ifade edilen helyum izotop değerleri manto kaynaklı akışkanlarda yüksek iken (8 – 30 R_A) kabuksal litolojilerden türemiş akışkanlarda ise oldukça düşüktür (0.05 R_A).

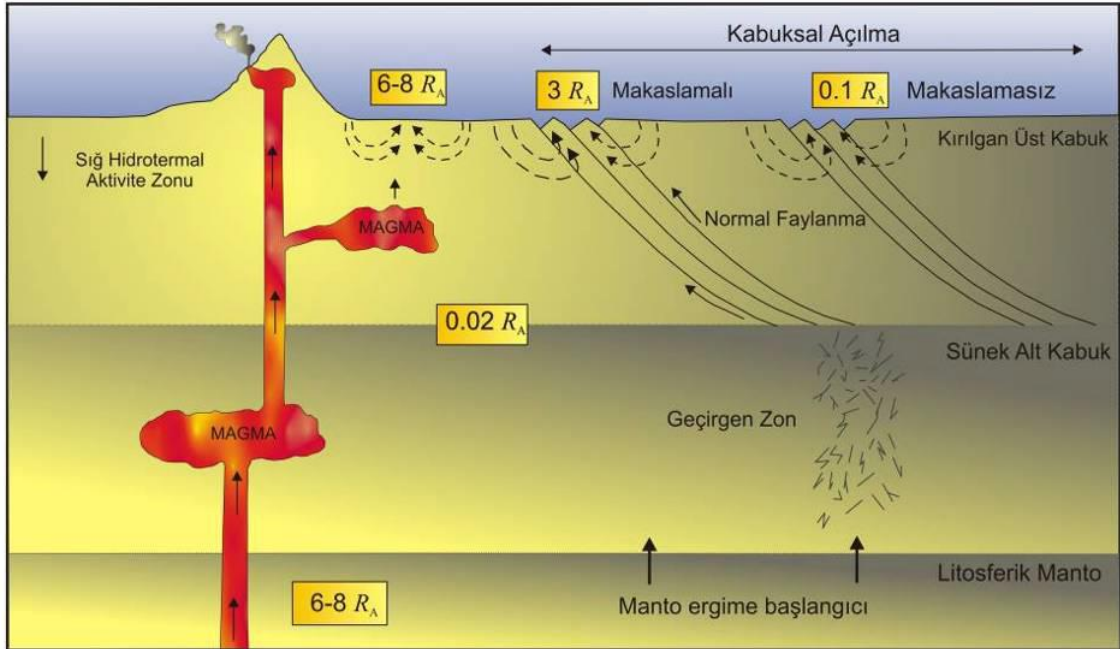
Farklı tektonik ortamlarda oluşan magmatik kayalarda ölçülen helyum izotop değerleri aynı ortamlardaki jeotermal akışkanlarda da tespit edilmiştir. Şekil 6.2’de dünyanın değişik tektonik rejimlerinden örneklenen jeotermal akışkanların (su veya gaz) helyum izotop bileşimleri gösterilmiştir (Mutlu v.d., 2011). Açılma rejimlerine ait helyum izotop değerleri iki uç üye olarak alınan kabuk ve manto arasında oldukça farklı yönelimler sergilemektedir.



Şekil 6.2. Jeotermal Akışkanlardaki He İzotop Bileşimleri (Mutlu v.d., 2011'den alınmıştır).

Çalışma alanında herhangi bir aktif volkanik faaliyet bulunmamasına rağmen bu yöreden elde edilen helyum izotop değerleri ($0.28 - 0.42 R/R_A$) kabuksal bileşimin ($\sim 0.02 R_A$) üzerindedir. Tektonizmadan kaynaklanan gerilmedeki artış manto kaynaklı akışkanların kabuktaki akış hızını arttırmış ve böylece yüzeyde ölçülen yüksek $^3\text{He}/^4\text{He}$ oranları korunmuştur. Her ne kadar yüksek açılı normal fayların sünek alt kabuğa kadar devam etmesi beklenmese de, gerilim zonları fay düzlemlerinin daha derinlere doğru (alt kabuk ve muhtemelen litosferik manto) parçalanmasına ve/veya genişlemesine yol

açabilir (Şekil 6.3). Yüksek geçirgenlikli bu zonlar akışkanların kolaylıkla yüzeye taşınması için uygun kanal görevi üstlenmişlerdir (Kennedy at.al.,2007, Hilton 2007).



Şekil 6.3. Manto akışkanlarının kabuk boyunca kaçış mekanizmalarını gösteren şematik kesit (Hilton, 2007; Mutlu vd.,2011).

Yerkabuğundaki ısının yaklaşık %75'i uranyum ve toryumun radyoaktif bozunmasından ortaya çıktığı için helyum ve ısı arasında mükemmel bir ilişki mevcuttur. Bu ilişki kullanılarak herhangi bir jeotermal rezervuardaki ısı içeriği ve kaynağı değerlendirilebilir.

Eskişehir ili genelinde sıcak sulardan alınan örneklerden yapılan $R/R_a - He/Ne$ grafiği incelendiğinde (Şekil 6.4) Eskişehir genelinde sıcak sulardaki ısınmanın kabuk kökenli (radyojenik) olduğu ortaya çıkmaktadır.

Çalışma sahasında, ısı kaynağı olarak yorumlanabilecek genç magmatik oluşumlara rastlanılmamaktadır.

Sahada ortaya çıkarılan jeotermal bulgular, jeotermal sistemin ısı kaynağı olarak, jeotermal gradyana ilaveten tektonizmanın fay zonu boyunca derinlerden taşıdığı ısı ve literatürde "Radioactive Heat Production (RHP)" olarak geçen, içerisindeki radyoaktif

özellikle mineral içeriği yüksek granit ve granodiyorit türü kayalarındaki bu minerallerden kaynaklanan radyoaktivitenin kondaktif yolla ısı oluşturması olabileceğini göstermektedir.

Bu etkenin daha ayrıntılı araştırılması amacıyla çalışma alanında yer alan iki adet jeotermal sondajdan ve Eskişehir ili genelinde yer alan bazı sıcak su örneklerinde He^3 ve He^4 analizleri yaptırılarak radyojenik kökenli helyum izotoplarının oransal olarak yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bölgedeki ana tektonik yapı olan Eskişehir Fay Zonu, katettiği mesafeler boyunca ortaya çıkan sıcak su çıkışlarından dolayı ısıyı taşıyan-transfer eden bir fay özelliğindedir.

Dolayısıyla buradaki jeotermal sistemin ısıtıcı unsurlarından birinin de bu tektonizmanın oluşturduğu ısı transferinin etkisi olacağı da görülmektedir.

Bu durumu daha net ortaya koyabilmek için inceleme alanındaki ısı akısı ve radyojenik ısı üretimini yaklaşık olarak hesaplayıp değerlendirmeler yapılmıştır.

Yer kabuğundaki uranyum, toryum, potasyum gibi radyoaktif elementlerin doğal bozunmasından "radyojenik ısı" oluşur. Radyoaktif elementlerin bozunması ile birlikte ortamda ve partikülleri salınımı ve elektromanyetik dalga yayılımı meydana gelir. Gerek elektromanyetik dalgaların ortamdaki diğer atomlar tarafından emilmesi, gerekse ortamdaki diğer atomların ve partikülleri ile çarpışması sonucu bu atomların kinetik enerjilerinde bir artış meydana gelir. Böylelikle ortamın ortalama kinetik enerjisi, yani sıcaklığı artar (Göktürkler, 2002). Ortaya çıkan enerji, üst kabuktaki radyojenik ısıyı oluşturur ve bu enerji, litosferin ısı akısına eklenerek ısı akısı değerinin yükselmesini sağlar. Kabuk kaynaklı radyojenik ısı genellikle kıtasal temelin en üst kesiminden yayılan toplam ısının %50 ila 70'ini oluşturur (Rudnick ve Fountain, 1995; Waples, 2001). McLennan ve Taylor (1996)'a göre yer kabuğunun radyojenik ısı değeri 21 mW/m² ile 34 mW/m² arasında kalmaktadır. Condie, (1999)'a göre ise kabuk için ısı akısı değeri 65 mW/m², dünya ortalaması ise 81 mW/m²'dir. Ayrıca Şili'de yapılan çalışmalarda aktif tektonik bölgelerde 200 mW/m² değerinde ısı akıları belirlenmiştir.

İnceleme alanının yakın civarında daha önceki yıllarda ısı akısı hesaplamaları yapılmıştır. Buna göre İlkışık 1989, Bursa civarında 140 mW/m² olarak hesaplanmıştır.

İzmir-Ankara kenet kuşağında ise 100 mW/m^2 ve Kırşehir masifinde $53-108 \text{ mW/m}^2$ ısı akısı hesaplanmıştır (Akın ve Çiftçi, 2011). Ayrıca Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Marmara Denizi civarında yapılan ısı akısı ölçümlerinde $35-115 \text{ mW/m}^2$ arasında değerler elde edilmiştir (Pfiser et.al., 1998). Karadeniz'de ölçülmüş ısı akısı değerleri ortalama 35 mW/m^2 'dir (Lubimova ve Polyak, 1969). Gerçekte Karadeniz'de ölçülen ısı akısı değerlerine hızlı tortullaşmadan dolayı düzeltme uygulandığında $114,2 \text{ mW/m}^2$ gibi yüksek bir ısı akısı olduğu görülmektedir (Erikson, 1970).

Bu literatür verilerinden de anlaşılacağı gibi farklı araştırmacılar tarafından farklı yerlerde çok değişken ısı akısı değerleri elde edilmiştir. İnceleme alanında yapılan ısı akısı hesaplamalarında da her ne kadar oldukça yüksek bir ısı akısı değeri elde edilmiş olsada, bu durum bölgenin genel ısı akısı değerini yansıtmayıp lokal olarak bir sıcak alanı temsil etmektedir.

İnceleme alanı için ise bazı kabullenmeler ve literatür çalışmalarında elde edilen sonuçlar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Buna göre inceleme alanının ısı akısı (Q), mW/m^2 biriminden hesaplanacak olursa;

$$Q = K \times G$$

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

G, düşey sıcaklık gradyanını ($^\circ\text{C}/\text{km}$) ifade etmektedir.

Bölgedeki kayaçların 'k' ısı iletim katsayıları (ortalama olarak), granitler için $2,5 \text{ Wm}/^\circ\text{C}$, metamorfik kayaçlar için $2,75 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$, sedimanter kayaçlar için ise $2,06 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ (Akın ve Çiftçi, 2011) olarak kabul edilmiş ve ortalama $2.44 \text{ W}/\text{m}^\circ\text{C}$ olarak alınmıştır. Bölgedeki gradyan değeri ise mevcut kuyulardan yararlanılarak kuyu taban sıcaklığının ($65,7^\circ\text{C}$) bölgenin ortalama yüzey sıcaklığından (11°C) çıkartılıp kuyu derinliğine (718) bölünmesi sonucu $76^\circ\text{C}/\text{km}$ olarak belirlenmiştir.

Buna göre inceleme alanındaki ısı akısı 185 mW/m^2 olarak hesaplanmıştır.

Kabuktaki radyojenik ısı üretimi A simgesi ile gösterilir ve birimi ($\mu\text{W}/\text{m}^3$)'tür. Radyojenik ısı üretiminin hesaplanmasında Rybach ampirik formülü kullanılmıştır

(Rybach ve Buntebarth, 1982). Aşağıdaki eşitlikte kayaçların yoğunluk değerleri ile uranyum, toryum ve potasyum konsantrasyonlarının bilinmesi gerekir.

$$A(\mu\text{W}/\text{m}^3) = 0.1325 \rho(0.718\text{CU}+0.193\text{CTh}+0.262 \text{CK})$$

Yukarıdaki formülde CU, CTh ve CK sırasıyla uranyum (ppm), toryum (ppm) ve potasyum (%) konsantrasyonlarını; ρ ise yoğunluk (g/cm^3) değerini ifade etmektedir.

İnceleme alanı ve yakın civarındaki kayaçların uranyum, toryum ve potasyum değerleri Çelmen 2008'den alınmıştır. Buna göre ortalama uranyum değeri 16 ppm, ortalama toryum değeri 17,2 ppm ve ortalama potasyum değeri ise % 3,5 olarak alınmıştır. Yoğunluk değeri ise ortalama $2,5 \text{ g}/\text{cm}^3$ olarak alınmıştır.

İnceleme alanındaki kayaçlar için ortalama A radyojenik ısı üretimi değeri $\mu\text{W}/\text{m}^3$ biriminden hesaplanacak olursa;

$A = 0,1325 \times 2,5(0,718 \times 16 + 0.193 \times 17,2 + 0,262 \times 3,5) = 5,2 \mu\text{W}/\text{m}^3$ olarak hesaplanmıştır.

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

$$q = q_0 + Ab$$

Bu eşitlikte (q) yüzey ısı akısını, (q_0) indirgenmiş ısı akısı (reduced heat flow), (A) radyojenik ısı akısı, (b) doğrunun eğimi olup radyojenik ısı akısının sıfır olduğu karakteristik derinliktir. (q_0), kabuktaki radyojenik ısı üretiminin sıfır olduğu andaki manto kaynaklı ısı akısıdır. Bu değer ise eşitlikten yararlanarak üretilen aşağıdaki eşitlik ile temsil edilir (Blackwell, 1971).

$$q_0 = q - Ab$$

b değeri 10 km olarak kabul edilmiş dünya literatürlerinde de yaygınca kabul gören 10 km derinlik değeri seçilerek b katsayısı olarak atanmış ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

Buna göre, $q_0 = 185 - 5,2 \times 10 = 133 \text{ mW}/\text{m}^2$ olarak hesaplanmış olup

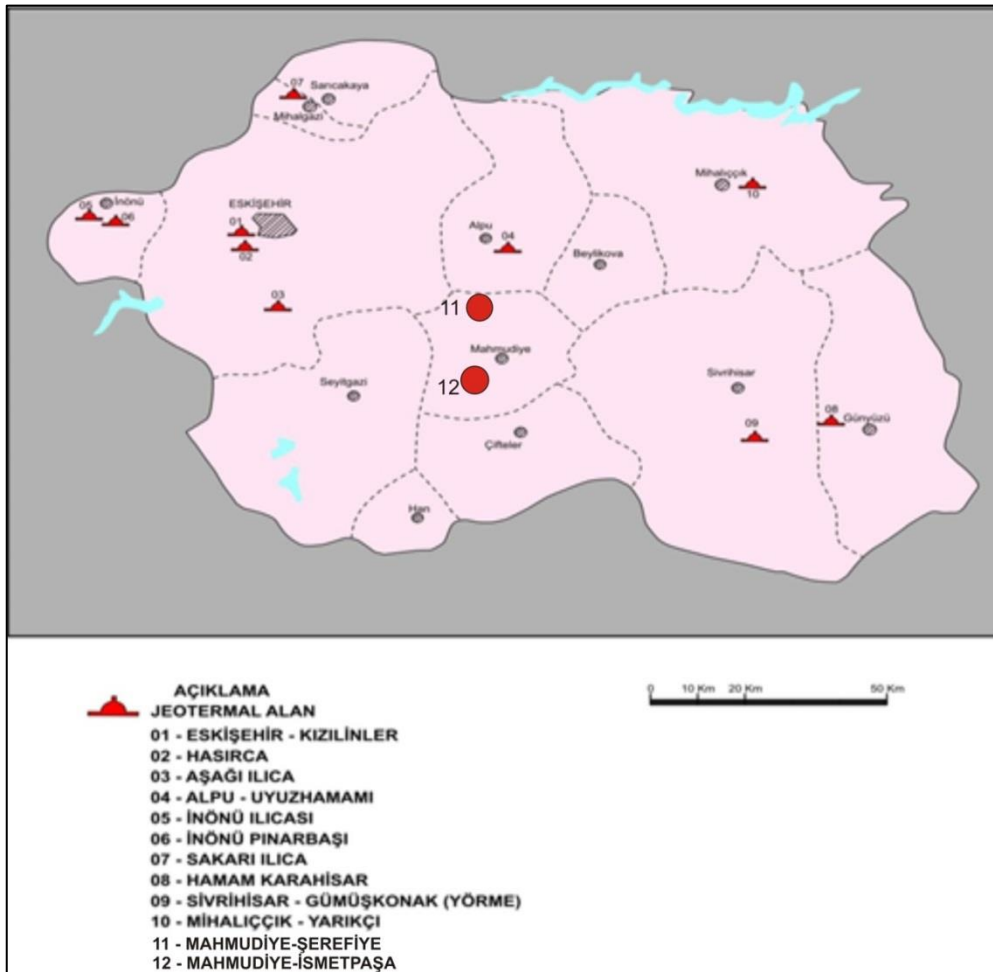
Manto kaynaklı ısı akısı ve radyojenik kaynaklı ısı üretimiyle ortaya çıkan ısı miktarları arasındaki oran hesaplanmıştır. Dolayısıyla inceleme alanındaki ısı üretiminin yaklaşık % 70'i manto kaynaklı, % 30'u radyojenik kökenli ısıdır.

BÖLÜM 7

BELİRLENEN JEOTERMAL POTANSİYEL VE YARARLANMA ÖNERİLERİ

7.1 İnceleme Alanındaki Mevcut Jeotermal Durum

Eskişehir ilindeki mevcut jeotermal alanlarda Şekil 7.1’de gösterilmiştir. Buna göre Eskişehir ilinde sıcaklıkları 28-54 arasında değişen kuyu ve kaynakların yer aldığı jeotermal sahalardan Hamamkarahisar (36 °C), Günyüzü-Gümüşkonak (35 °C) ve Mihalıççık-Yarıkkı (39 °C) sahaları incelleme alanında yer alan jeotermal unsurlarla benzerlik göstermekte olup, metamorfik bir jeotermal rezervuara ve Miyosen-Pliyosen yaşlı örtü birimlere sahiptir.



Şekil 7. 1 Eskişehir ili jeotermal alanları (MTA, 2005a).

Çalışmalar sonrasında 11 ve 12 no.lu jeotermal alanlar ortaya çıkmıştır. Söz konusu alanlar 65 °C ve 60 °C sıcaklıklara sahip olup aynı zamanda Eskişehir ilinin en sıcak jeotermal sahaları olma özelliğini de kazanmıştır.

7.2 Jeotermal Potansiyel

Jeotermal enerji, yer kabuğu içinde depolanmış olan ısı enerjidir. Bu ısı enerjisi yeraltındaki kayaç formasyonlarında ve bu formasyonların çatlaklarında ve gözeneklerinde bulunan doğal akışkanlarda bulunur.

Satman, 2009'a göre, Yer kabuğu içindeki jeotermal enerji "kaynak" olarak değerlendirilebilir ve **kaynak** "varlığı tanımlanmış olanlarla beraber henüz keşfedilmemiş olanları da kapsayacak şekilde ekonomik analizden bağımsız olarak düşünülen tüm ısı enerjisi" olarak tanımlanabilir. **Ulaşılabilir kaynak** olarak "yakın gelecekte yapılacak üretim kuyularıyla ulaşılabilir kaynak" tanımı yapılabilir. Ulaşılabilir kaynak ise tanımlanmış ve keşfedilmemiş olarak tanımlanan iki bileşenden oluşur.

Tanımlanmış ulaşılabilir kaynak, sondaj, jeokimya, jeofizik ve jeolojik gibi verilerle belirlenmiş ve bilinen jeotermal enerjidir. Keşfedilmemiş ulaşılabilir kaynak olarak ise jeolojik bilgi, teori ve deneyime dayanarak var olabileceği varsayılan jeotermal enerjidir.

Jeotermal rezerv tanımı, tanımlanmış ve mevcut koşullarda ekonomik olarak işletilebilir özellikleri olan (üretilebilir) ulaşılabilir kaynak için geçerlidir. Isının yer kabuğu boyunca yeryüzüne akışı yalnızca kayaçların katı kesimlerini oluşturan matriks yapı içinde değil, bu kayaçların birbiriyle bağlantılı gözenek, çatlak vb. boşlukları içinde yüksek basınç ortamından düşük basınç ortamına doğru akan akışkanlar tarafından da taşınarak sağlanır. Bu tür sistemlerde ısı geçişi ya ısı iletimi ve ısı taşınım mekanizmaları ile veya uranyum, toryum ve potasyum izotopları gibi radyoaktif elementlerin bozunması sonucu oluşan ısıdan kaynaklanan ısı ışıması ile gerçekleşir.

Çalışma alanının en kuzey ruhsatında (34 no.lu) Alpu-Uyuzhamamı köyünde 29,5 °C sıcaklıkta (EAU-1 no.lu su örneği), Yayıklı köyü içerisinde ise 23,6 °C sıcaklıklı (EAY-2 no.lu su örneği) doğal çıkış mevcuttur (Ek-1). Bunun dışında çalışma

alanının güney kısımlarına yakın olan Sakarya Nehri'nin doğduğu Sakarbaşı kaynaklarının birisi 23 °C olup bunların dışında inceleme alanında sıcak su kaynağı bulunmamaktadır.

Çalışma alanında sıcak su amaçlı açılmış herhangi bir kuyu bulunmamaktadır. Ancak Mahmudiye-Şerefiye köyünün 2,5 km GD'sunda şahıs tarafından sulama amaçlı açılan bir kuyuda D.S.İ tarafından 41 °C sıcaklık olduğunu tespit edilmiştir. 200 m civarında açılan bu kuyuda metamorfik birimlere girildiğinde sondaj bitirilmiştir. Yine bu kuyunun 150 m güneyinde açılan bir kuyuda 36 °C sıcaklıkta (EŞ-5 su örneği) akışkan bulunmaktadır (Ek-1). Ayrıca Şerefiye köyünün 3 km GB'sında DSİ tarafından açılan 190 m derinlikteki kuyuda da 24,6 °C sıcaklıkta su olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Mahmudiye ilçesinin yaklaşık 3 km GB'sında açılan yine sulama amaçlı derinlikleri 150-170 m civarında olan ve Miyosen'e ait sedimanter birimlerin kesildiği bazı kuyularda 26,5-33,5 °C sıcaklığa sahip (EM-6, EÇH-7 ve EMİ-8 su örnekleri) sular bulunmaktadır (Ek-1).

İnceleme alanında yapılan jeolojik, jeofizik, hidrojeokimyasal çalışmalar ile EMŞ-2011/24 ve EMİ-2012/4 sondajlarından sonra inceleme alanının yer aldığı sahanın potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Satman, 2009'da kapasite hesabı, maksimum akış debisi cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$\text{Kapasite} = w_{\max} \times \Delta T \times 0.004184$$

Denkleminde kapasite (MWt) termal gücü, w_{\max} (kg/s) maksimum akış debisini, ΔT (°C) giriş ve çıkış sıcaklıkları arasındaki farkı temsil etmektedir.

Denklemin kullanılarak kapasite bulunmak istenildiğinde maksimum sıcaklık yerine ortalama sıcaklık değerinin kullanılması daha gerçekçi ve mantıklı olacaktır. İşletimi süren sahalarda, akış debisi değeri olarak ölçülen debi değeri ve giriş sıcaklığı olarak ortalama üretim sıcaklığı değeri kullanılmaktadır. Ancak çalışma alanında olduğu gibi yeni bulunmuş veya henüz geliştirilmemiş sahalarda için Denkleminde sondaj sonrası ilk testlerde elde edilen debi ve sıcaklık değerleri kullanılarak kapasite tahmini yapılmaktadır.

Bu genel denklem ile konut ısıtması için hesaplama yapılacak olursa jeotermal akışkandan elde edilebilecek termal güç EMŞ-2011/24 kuyusunda;

$$Mw_t = \text{Debi} \times \Delta t \times \text{Joule Katsayısı} \times 10^{-3} \times \text{Eşanjör Verimi}$$

$$\text{Debi} = 80 \text{ lt/sn}$$

$$\Delta t = \text{Üretim Sıcaklığı} - \text{Atım Sıcaklığı}$$

$$= 65 \text{ }^\circ\text{C} - 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$= 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Joule Katsayısı} = 4,18$$

$$\text{Eşanjör verimi} = 0,75$$

$$Mw_t = 80 \times 40 \times 4,18 \times 10^{-3} \times 0,75$$

$$Mw_t = 10,05 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

Benzer hesaplama EMİ-2012/24 kuyusunda yapıldığında Mw_t değeri 7,18 olarak bulunmuştur.

EMŞ-2011/4 no.lu Mahmutiye-Şerefiye'de açılan kuyudan, 100 m² alanında 2,8 m yüksekliğinde ısıtılabilir

$$\text{Konut sayısı} = \frac{Mwt \times 1000}{\alpha}$$

α = Coğrafi bölgeler ile ilgili bir katsayı olup Çizelge 7.1'den bulunabilir.

$$\text{Eskişehir için } \alpha = 9,3$$

O halde EMŞ-2011/24 kuyusundan yararlanılarak ısıtılacak;

$$\text{Konut sayısı} = \frac{10,05 \times 1000}{9,3} \quad \text{Konut sayısı} = 1080 \text{ olur.}$$

Çizelge 7.1. α katsayısının coğrafi bölgelere göre değerleri (MTA,2005b).

BÖLGE	α (KW)
Ege-Akdeniz-Marmara Bölgesi	6,98
Karadeniz Bölgesi	8,14
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	8,5
İç-Anadolu Bölgesi	9,3
Doğu Anadolu bölgesi	11,63

Benzer hesaplama Mahmudiye-İsmetpaşa'da açılan EMİ-2012/4 no.lu kuyu için yapılacak olursa, ısıtılacak **konut sayısı 772** olmaktadır.

Elde edilen jeotermal akışkan konut ısıtmacılığında değil de seracılıkta kullanılmak istenirse; modern çift kat örtü ile tesis edilmiş olarak ısıtılacak,

$$\text{Sera miktarı} = \frac{M_{wt} \times 1000}{\beta} \text{ m}^2$$

β : 1 m² serayı ısıtmak için gerekli temel güç olup coğrafi bölgelere göre değerleri Çizelge 7.2' de verilmiştir.

Çizelge 7.2. β katsayısının coğrafi bölgelere göre değerleri (MTA, 2005b).

BÖLGE	β (KW)
Ege-Akdeniz-Marmara Bölgesi	0,19
Karadeniz Bölgesi	0,22
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	0,23
İç-Anadolu Bölgesi	0,25
Doğu Anadolu bölgesi	0,31

Eskişehir için $\beta = 0,25$

O halde EMŞ-2011/24 kuyusundan yararlanılarak ısıtılacak ;

$$\text{Sera miktarı} = \frac{10,05 \times 1000}{0,25}$$

Sera Miktarı= **40.200 m²** olur.

Benzer hesaplama EMİ-2012/4 kuyusu için yapıldığında sonuç **28.720 m²** olmaktadır.

7.3 Belirlenen Jeotermal Potansiyelden Yararlanma Önerileri

Herhangi bir jeotermal kaynağın uygunluğu için belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Bunların birincisi ulaşılabilirliktir. İlgilenilen derinliğe kuyu delmekte başarılıdır. İkinci koşul yeterli rezervuar üretilebilirliğidir. Hidrotermal sistemler için gerekli olan, gözenekliliği ve geçirgenliği olan akiferlerin içerdiği akışkanların ekonomik olarak kabul edilebilir düzeylerde uzun süreli üretimidir (Satman, 2009).

Eğer hidrotermal sistemlerin doğal beslenmesi yeterli değilse, üretimi uzun süreli tutabilmek için bir tekrarbasma (reenjeksiyon) (üretilen akışkanın ısısı alındıktan sonra geldiği yere basılması) uygulamasına başvurulur.

Tez çalışması kapsamında değinilen bölgeyle ilgili yapılan jeotermal enerji araştırmaları çalışmalarını sonucunda söz konusu alanlar Eskişehir ilinin en yüksek sıcaklığa sahip jeotermal sahaları olma özelliğine kavuşmuştur.

Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye EMŞ-2011/24 jeotermal araştırma sondajından elde edilen üretim değerlerine göre kuyudan 10,05 Mwt; Mahmudiye-İsmetpaşa EMİ-2012/4 jeotermal araştırma sondajından ise 7,18 Mwt eşdeğeri enerji elde edilebilecektir.

Bu jeotermal sahaların işletme ruhsatları M.T.A. Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu ihaleler sonucu özel sektöre geçmiştir. Dolayısıyla bu yüksek potansiyeli geliştirmek ilave etüt çalışmalarıyla ve araştırma sondajlarıyla özel sektöre düşmektedir.

Alan ısıtılması, bölge ısıtılması, banyolar, kaplıcalar, spa merkezleri, seralar ve endüstriyel uygulamalar jeotermal enerjinin doğrudan kullanım alanlarını oluşturmaktadır.

Mevcut sahalarda özel sektör jeotermal kaynaklı teknolojik sera uygulamaları yapmayı planlamakta olup entegre tesisler sayesinde termal turizm amaçlı uygulamalar da yapabileceklerdir.

Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler, incelenen alanın jeotermal potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir araştırmanın ilk sonuçlarıdır. Kapasite ve potansiyel olarak verilen değerler, mevcut sahalarda geliştirildiğinde, rezervuar işletme sistemleri değiştirildiğinde (örneğin re-enjeksiyon uygulaması olmayan bu alanlara uygulama gerçekleştirildiğinde), yeni sondajlar yapıldığında revize edilebilecek değerlerdir. Mevcut sahalardan elektrik üretimine ve doğrudan kullanıma yönelik çalışmalar arttıkça ve sahalarda yeni jeolojik, jeofizik ve jeokimya çalışmaları ile veriler üretildikçe daha sağlıklı tahminlere ulaşmak mümkündür.

Ortaya çıkan bu yeni jeotermal sahaların yanı sıra, jeotermal sistemin devamlılığının takip edilmesi sonucunda benzer hatta daha sıcak (enerji üretimine uygun) jeotermal sahaların da ortaya çıkma potansiyeli mevcuttur. Bunun için bölgede jeotermal araştırmaların artarak devam etmesi gerekmektedir.

BÖLÜM 8

SONUÇLAR, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu doktora tez çalışmasıyla, belirlenen çalışma alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal açıdan inceleme ve araştırması yapılarak, bu veriler ışığında söz konusu alanın jeotermal enerji potansiyelini ortaya koymaya yönelik değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmada inceleme alanı, jeotermal araştırma boyutu ön planda tutularak her yönüyle (jeolojik, hidrojeolojik, jeofizik ve hidrojeokimyasal açıdan) incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

Çalışma alanının jeolojisi önceki çalışmalardan yararlanılarak incelenmiştir. Buna göre, çalışma alanının yer aldığı bölgede temelde Triyas yaşlı metamorfik ve ofiyolitik kayalar ile bu birimleri kesen Paleosen yaşlı granitler ve tüm bu birimleri uyumsuz olarak örten Miyosen ve Pliyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimler ile en genç birimler olarak Kuvaterner yaşlı alüvyonlar bulunmaktadır. Temelde yer alan Alt Triyas yaşlı Sivrihisar Metamorfikleri birimi kendi içerisinde litostratigrafik olarak Sivrihisar Mavişistleri ve Sivrihisar Mermerleri olarak ayrılmıştır. Birbirlerine yanal ve düşey olarak geçiş gösteren bu birimler ofiyolit napı altında tektonik pencere olarak yüzeyleyen, güneye devrik antiklinalin kuzey kanadında yüksek basınç mineral parajenezlerinin geliştiği, güneye doğru glokofanitik yeşilşistlere geçen, aralarında kalkşist ve mermer bantları içeren ve üste doğru mermerlere geçiş gösteren metamorfik birimlerdir. Bu metamorfikler üzerine tektonik olarak uyumsuzlukla serpantin, peridotit ve listvenit türü ofiyolitik kayalar gelmektedir. Bu birimlerin üzerine de uyumsuzlukla Orta-Üst Triyas yaşlı metamorfik ve kristalize kireçtaşı birimi gelmektedir. Temel birimleri Paleosen yaşlı Topkaya Granodiyoriti kesmektedir. Tüm bu birimlerin üzerinde Tersiyer yaşlı birimler uyumsuz olarak bulunmaktadır. Bu birimler; Orta-Üst Miyosen yaşlı sedimanter ve volkanik birimlerden oluşan, Porsuk Formasyonu ile Pliyosen yaşlı sedimanter birimleri içeren Ilıca Formasyonu'dur. Bütün bu birimlerin üzerine ise Kuvaterner yaşlı alüvyon uyumsuz olarak gelmektedir.

İnceleme alanı, hidrojeolojik havza olarak DSİ tarafından belirlenen Yukarı Sakarya havzasının 12-13 no.lu alt havzasında yer almaktadır. İnceleme alanı içerisinde yer alan en büyük akarsular Sakarya Nehri, Seydi Suyu Çayı, Bardakçı Suyu ve Sarısu Çayı'dır. Seydi Çayı ve Sarısu Çayı Sakarya Nehri'nin kolları olup birbirlerine yaklaşık paralel şekilde çalışma sahasını KB-GD yönünde kat etmektedir.

Çalışma alanının en kuzey kesiminde Alpu-Uyuzhamamı köyünde 29,5 °C sıcaklıkta (EAU-1 no.lu su örneği), Yayıklı köyü içerisinde ise 23,6 °C sıcaklıklı (EAY-2 no.lu su örneği) doğal çıkış mevcuttur. Bunun dışında çalışma alanının güney kısımlarına yakın olan Sakarya Nehri'nin doğduğu Sakarbaşı kaynaklarının birisi 23 °C olup bunların dışında inceleme alanında sıcak su kaynağı bulunmamaktadır.

Bununla beraber Mahmudiye-Şerefiye köyünün 2,5 km GD'sunda şahıs tarafından sulama amaçlı açılan bir kuyuda DSİ tarafından 41 °C sıcaklık olduğunu tespit edilmiştir. Yine bu kuyunun 150 m güneyinde açılan bir kuyuda 36 °C sıcaklıkta (EŞ-5 su örneği) akışkan bulunmaktadır. Ayrıca Şerefiye köyünün 3 km GB'sında DSİ tarafından açılan 190 m derinlikteki kuyuda da 24,6 °C sıcaklıkta su olduğu tespit edilmiştir. Bununla beraber Mahmudiye ilçesinin yaklaşık 3 km GB'sında açılan yine sulama amaçlı derinlikleri 150-170 m civarında olan ve Miyosen'e ait sedimanter birimlerin kesildiği bazı kuyularda 26,5-33,5 °C sıcaklığa sahip (EM-6, EÇH-7 ve EMİ-8 su örnekleri) sular bulunmaktadır.

Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler ve Alpu jeotermal sahalarında tespit edilebilen, kuyu ağız sıcaklıkları 15,5-41 derece ve EC değerleri 400-1.760 µmho/cm arasında değişen 61 adet kuyu ve kaynakta ölçüm yapılmıştır.

Çalışma sahası ve çevresinde yer alan birimlerden Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait olan kalkışistler ve mermerler jeotermal rezervuar özelliği taşımaktadır. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye'de ve İsmetpaşa'da açılan EMS-2011/24 ve EMİ-2012/4 jeotermal kuyularında rezervuar kayaç olarak Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait şist ve mermerlerden üretim yapılmıştır. Ayrıca bu birimlerin iletkenlik katsayısı 800-1000 m³/gün/m, özgül debileri 4,36-5,45 l/s/m³'dir.

Bununla beraber, yine Karkın Formasyonu'na ait birimler tektonizmanın etkisiyle ikincil gözeneklilik ve geçirimli özellik kazanmışlardır. Ancak ofiyolitik birimler az geçirimli özellik sergilemektedir. Topkaya granodiyoriti, masif yapısıyla geçirimsiz özelliktedir. Miyosen'e ait Porsuk Formasyonu'nun alt seviyelerini oluşturan Konglomera-Kumtaşı Üyesi ve Kireçtaşı Üyesi geçirimli özellik sergilerken Marn ve Kil Üyesi geçirimsiz özelliktedir. Konglomeratik birimlerin iletkenlik katsayıları 12-225 m³/gün/m arasında değişirken, özgül debileri 0,12-0,5 l/s/m'dir. Havzanın önemli akiferlerinden biri olan Neojen yaşlı kireçtaşlarında iletkenlik katsayısı 75-1660 m³/gün/m ve özgül debi 0,01-9,75 l/s/m'dir. Pliyosen yaşlı Ilıca Formasyonu ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ise akifer özelliktedir. Alüvyona ait hidrolik katsayıları ise, Seydisuyu alüvyonunda 200-1200 m³/gün/m iletkenlik katsayısı ve 1,1-7 l/s/m özgül debi değerine sahip olup akifer tamamen Seydisuyu'ndan beslenmektedir. Sarı su çayı boyunca akifer özelliği gösteren alüvyon ise 460-680 m³/gün/m iletkenlik katsayısı ve 0,38-2,52 l/s/m özgül debisine sahiptir.

İnceleme alanından alınan su örneklerinde, sıcak ve soğuk su örneklerinin, toplam mineralizasyon değerleri 380,63-1269,7 mg/l arasındadır. Sularda hakim katyonlar Alpu-Uyuzhamamı'nda Mg olup diğer tüm sularda Ca iyonudur, hakim anyon ise Mahmudiye-İsmetpaşa jeotermal sondajından alınan su örneğinde (EMİ-10) SO₄, diğer tüm sularda HCO₃'dür. Bu sonuçlar, suların kalkıştıkları ve mermerlerle olan etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Mg ve sülfat fazlalığı ofiyolitik birimlerden kaynaklanmaktadır. Suların pH değerleri ise 6,6-7,4 arasında değişmektedir. Mahmudiye-Şerefiye jeotermal sahasında M.T.A. tarafından açılan EMŞ-2011/24 no.lu 65 °C sıcaklığındaki kuyunun toplam mineralizasyon değeri 795,89 mg/l olup kalsiyumlu, magnezyumlu, bikarbonatlı, sülfatlı sıcak sular sınıfındadır. Mahmudiye-İsmetpaşa jeotermal sahasında M.T.A. tarafından açılan 718 m. derinliğe sahip EMİ-2012/4 no.lu 59,5 °C sıcaklığındaki kuyunun toplam mineralizasyon değeri ise 1206,85 mg/l olup kalsiyumlu, sülfatlı, bikarbonatlı sıcak ve mineralli sular sınıfındadır.

Eskişehir-Alpu-Uyuzhamamı köyünden alınan sıcak su örneği ve Eskişehir-Mahmudiye-İsmetpaşa sahasında yapılan 556 m. derinliğe sahip EMİ-2012/4 no.lu jeotermal kuyudan alınan sıcak su örneği (EMİ-10 no.lu numune) farklı kimyasal

karakterler göstermektedirler. Diğer tüm sıcak ve soğuk su örnekleri ise benzer kimyasal karakter göstermektedir.

Çalışma alanında bulunan sulardan ET-3 ve ET-4 soğuk su örnekleri nötr, geri kalan tüm sıcak su örnekleri ise kabuklaştırıcı özelliktedir.

İnceleme alanında kurak (Ağustos-2011) ve yağışlı (Ocak-2012) dönem çevresel ve radyoaktif izotop analizleri yaptırılmış ve çeşitli grafik ve diyagramlar yardımıyla sonuçlar değerlendirilmiştir. Buna göre, su örneklerinin Craig (1961) tarafından yapılan Dünya Meteorik Su Çizgisi'nin hemen hemen üzerinde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla bu durum söz konusu suların aynı kökenli ve meteorik sulardan beslendiğini göstermektedir.

Suların dolaşım ve kökensel ilişkileri çeşitli grafikler yardımıyla ve örneklerin trityum verileri değerlendirildiğinde ET-4 no.lu su örneği kayaçlarla temas süresi az ve güncel sularla beslenmiş, dolayısıyla sığ dolaşımlı su olarak yorumlanırken diğer su örnekleri bunun tam tersi olarak derin dolaşımlı sular olarak değerlendirilmiştir.

Sularda yapılan radon ölçümlerine göre Topkaya Uyuz Hamamı Yolu Soğuk Kaynak (ET-3) ve Topkaya köyü soğuk kaynak sularında (ET-4), Rn değeri diğer sulara göre daha yüksek olup bu da bize bu suların radyoaktivitesi yüksek kayaçlarla doğrudan ilişkisi olduğunu göstermektedir.

Suların jeotermometre kullanımına uygunlukları Na-K-Mg üçgen diyagramında incelenmiş (Giggenbach, 1991) ve olgun olmayan sular grubunda yer aldıkları belirlenmiştir. Bu nedenle genellikle yüksek sıcaklıklı, rezervuarda uzun süre kalmış, derin dolaşımlı sular için uygulanabilir olan katyon jeotermometrelerinin kullanımı, uygun ve kabul edilebilir sonuçlar vermemektedir. Jeotermometrelerden mineral çözünürlüğüne dayalı olan ve 150-225 °C arasında iyi sonuçlar veren silis jeotermometrelerinden uygun kabul edilebilir sonuçlar elde edilmiştir. Silis jeotermometre sonuçlarına göre çalışma sahasındaki sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının 73-100 °C arasında olabileceği belirlenmiştir. Ayrıca uygulanan karışım modellerinde ortaya çıkan dağınık durum alınan sıcak su örneklerinin farklı alt rezervuarlardan geldiğini ve soğuk su karışımının genel olarak olmadığını ortaya koymaktadır.

Çalışma alanını da kapsayacak şekilde Eskişehir ili genelinde N₂, CH₄, Ne, CO₂ gazları ile helyum ve karbon izotopu analizleri yapılması için 10 adet numune alınmıştır. Bunlardan 4 adedi çalışma alanı içerisinde kalmaktadır. Alınan gaz örneklerinden E-2, E-7 ve E-8 termal sudaki gaz fazından, diğerleri suda çözülmüş gazlardan alınmıştır.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, alınan örneklerin helyum izotop oranlarına göre mantosal helyum katkısının ortalama % 5; radyojenik helyum katkısının % 62,5 ve atmosferik helyum katkısının % 32,5 olduğu belirlenmiştir.

Yapılan gaz jeokimyası değerlendirmelerine göre gaz kabarcığından alınan örneklerde (E-7, E-8) ve E-1 örneğinde CO₂ zenginleşmesi görülürken E-3 ve E-4 örneklerinde CH₄ zenginleşmesi olduğu izlenmektedir. E-5 örneğinde ise atmosferik karışım söz konusudur. Başka bir ifadeyle iki temel gaz fazından söz edilebilir. Buna göre suda çözülmüş gaz örneklerinden E-3 ve E-4 örneklerinde CH₄ baskın, gaz kabarcığından alınan E-7 ve E-8 örneklerinde ise CO₂ baskındır. E-7 örneğinde nispeten yüksek mantosal helyum katkısı görülmektedir. E-5 örneğinde ise N₂ hakim olup atmosferik helyum katkısı olduğu görülmüştür. Bu da örnekleme yapılan alan içerisinde farklı bileşenlerin karışımı olan bir gaz fazı olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak bir CO₂ hakim, bir de CH₄/N₂ hakim olan örnek grupları bulunmaktadır. Buradaki CH₄/N₂ baskınlığı fermantasyon nedeniyle olabileceği düşünülmektedir.

$\delta^{13}\text{C}$ izotopik kompozisyonu için yapılan değerlendirmelerde, verilerin nispeten pozitif değerler sunduğu görülmüştür. Sonuç olarak buradaki $\delta^{13}\text{C}$ değerleri ne magmatik ne de organik kökeni göstermekte olup kayalarındaki karbonatlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen ve değerlendirilen jeotermal enerji araştırmalarına yönelik jeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofizik etüt çalışmaları gibi dolaylı araştırma yöntemlerinin yanı sıra jeotermal araştırma sondajları ile doğrudan araştırma yöntemlerinden elde edilen veriler de kullanılmıştır. Tüm bu çalışmalarda,

M.T.A. Genel Müdürlüğü'nün "Eskişehir ve Civarı Jeotermal Enerji Aramaları Projesi" verilerinden yararlanılmıştır.

Çalışma kapsamında, jeofizik-jeoelektrik etütlerinde, öz direnç yöntemi ile uygulamalar yapılmıştır. Arazi çalışmalarında, 182 adet değişik lokasyonda Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve 10,5 km uzunluğundaki 4 profilde Doğal Potansiyel (SP) ölçüleri alınmıştır.

Çalışma kapsamında yapılan tüm jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofiziksel verilerin yanı sıra yapılan jeotermal araştırma sondajlarının verileri de dikkate alındığında, inceleme alanındaki jeotermal sistemle ilgili kavramsal bir model oluşturulmuştur. Buna göre, çalışma sahası ve çevresinde yer alan birimlerden Sivrihisar Metamorfikleri'ne ait olan kalkışistler ve mermerler jeotermal sistemde rezervuar özelliği taşımaktadır. Jeotermal sistemin örtü kayasını ise Orta-Üst Miyosen ve Pliyosen yaşlı birimlerin kıltaşı, çamurtaşı ve tüflü seviyeleri oluşturmaktadır. Çalışma sahasında, ısı kaynağı olarak yorumlanabilecek genç magmatik oluşumlara rastlanılmamaktadır. Sahada ortaya çıkarılan jeotermal bulgular, jeotermal sistemin ısı kaynağı olarak, jeotermal gradyana ilaveten tektonizmanın fay zonu boyunca derinlerden taşıdığı ısı ve literatürde "Radioactive Heat Production (RHP)" olarak geçen, içerisindeki radyoaktif özellikte mineral içeriği yüksek granit ve granodiyorit türü kayalardaki bu minerallerden kaynaklanan radyoaktivitenin kondaktif yolla ısı oluşturmaya olabileceğini göstermektedir.

İnceleme alanındaki ısı akısı 185 mW/m^2 , radyojenik ısı üretimi $5,2 \mu\text{Wm}^3$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçların hesaplanmasında birtakım kabullenmeler yapıldığından daha net sonuçlara ulaşmak için çalışma alanından daha fazla parametrenin ölçülüp detaylandırılması gerekmektedir. Yaklaşık olarak hesaplanan bu verilerle mantosal ısı katkısının toplam ısının % 70'ini, kabuksal ısı katkısının ise % 30'unu sağladığı belirlenmiştir.

Çalışmalar kapsamında incelenen Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye EMŞ-2011/24 jeotermal araştırma sondajından elde edilen üretim değerlerine göre kuyudan 10,05 Mwt ısı enerjisi potansiyeli görünür hale gelmiş olup elde edilen ısı enerjisiyle 1080 konutun ve $40,200 \text{ m}^2$ sera alanının ısıtılması mümkün olmuştur. Mahmudiye-İsmetpaşa EMİ-

2012/4 jeotermal araştırma sondajından ise 7,18 Mwt ısı eneji potansiyeli görünür hale gelmiş olup elde edilen ısı enerjisiyle 772 konut ve 28,720 m² sera alanı ısıtılabilir.

Sıcak ve mineralli su kaynaklarından sürekli ve sağlıklı olarak yararlanmayı sağlamak için sıcak suların özelliklerinin yapay etkilerle değişmemesi, biyolojik-kimyasal hiçbir kirlenici unsur nedeniyle bozulmaması ve kaynakların mekanik etkilerden korunması gerekmektedir.

Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler ve Alpu jeotermal sahalarında koruma alanlarına yönelik bir çalışma yoktur. Sahada M.T.A. tarafından açılan sondajlardan sonra bölgede kurulacak yeni tesislerin kirlenici etki yapmaması için sahada koruma alanlarına yönelik çalışmalar yapılması, çalışmalar sonunda koruma alanı sınırlarının belirlenmesi ve tespit edilecek kriterlere uyulması gerekmektedir.

Çalışma kapsamında yapılan değerlendirmeler, incelenen alanın jeotermal potansiyelinin belirlenmesine yönelik bir araştırmanın ilk sonuçlarıdır. Kapasite ve potansiyel olarak verilen değerler, mevcut sahalar geliştirildiğinde, rezervuar işletme sistemleri değiştirildiğinde (örneğin re-enjeksiyon uygulaması olmayan bu alanlara uygulama gerçekleştirildiğinde), yeni sondajlar yapıldığında revize edilebilecek değerlerdir. Mevcut sahalar elektrik üretimine ve doğrudan kullanıma yönelik çalışmalar arttıkça ve sahalar hakkında yeni jeolojik, jeofizik ve jeokimya çalışmaları ile veriler üretildikçe daha sağlıklı tahminlere ulaşmak mümkündür.

Ortaya çıkan bu yeni jeotermal sahaların yanı sıra, jeotermal sistemin devamlılığının takip edilmesi sonucunda benzer hatta daha sıcak (enerji üretimine uygun) jeotermal sahaların da ortaya çıkma potansiyeli mevcuttur. Bunun için bölgede jeotermal araştırmaların artarak devam etmesi gerekmektedir.

Tüm bu çalışmaların değerlendirilmesi sonucu ortaya çıkan önemli bir jeotermal potansiyele sahip sahalar daha ayrıntılı arama yöntemleriyle detaylı olarak araştırılmalı ve geliştirilmeli bununla beraber jeotermal kaynakların sürekliliği ve çevresel etkileri değerlendirilip gerekli önlemler alınmalı böylece ülke ekonomisine en verimli şekilde katkı sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akçay, M. 2002. Jeokimya Temel Kavramlar ve Uygulamaya Aktarımları. Trabzon: Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Al-Badrani, M. W. M., 2009. Kuzeybatı Irak'ta yeraltı ve kuyu sularında kimyasal ayırım tekniği ile radon ve radyum içeriklerinin ölçümü. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan 2009, Ankara
- Akın, U. and Çiftçi, Y. 2011. Heat flow of Kırşehir massif and geological sources of radiogenic heat production, Mineral Res. Expl. Bull. 143, 53-73.
- Andrews, J.N., The isotopic composition of radiogenic He and its use to study groundwater movement in confined aquifer, Chemical Geology, 49, 339-351, 1985.
- 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.
- Blackwell, D. D. 1971. The thermal structure of the continental crust. The Structure and Physical Properties of Earth's Crust, Geophysical Monography 14, 169-184.
- Clark, I, Fritz, P. Environmental isotopes in hydrogeology, CRS press, 1997, 328.
- Craig, H. 1961. Isotopic variation of meteoric waters. Science, 133 (3465): 1702-1703.
- Çelmen, O. 2008. Sivrihisar ve Beypazarı arasında kalan sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, 250s., Ankara (yayımlanmamış).
- Dansgaard, W. 1964. Stable Isotopes in Precipitation. Tellus, 16-436-438.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Demirbilek, M. ve Mutlu, H., 2011. Tavşanlı zonu (Günyüzü, Sivrihisar, Kaymaz) granitoidlerinin mineralojik ve jeokimyasal özellikleri: Bildiriler, 64. Türkiye Jeoloji Kongresi, 25-29 Nisan 2011, Ankara.
- Demiroğlu, M. 2009. Eskişehir-Sivrihisar-Günyüzü havzası hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 197s., İstanbul (yayımlanmamış).
- Demirören, M. 1976. Eskişehir çevresi rezistivite etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 6273, 68s., Ankara (yayımlanmamış).
- Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, www.mgm.gov.tr, 2014.
- Dinçer, B. ve Özaslan, M., 2004. İllerin ve bölgelerin sosyo-ekonomik gelişmişlik sıralaması araştırması, DPT yayın no: 2671, Ankara.
- Dirik, K. ve Göncüoğlu, M.C. 1996. Neotectonic characteristics of Central Anatolia. Int. Geology Review, 38, 807-817.
- Dirik, K. ve Erol, O. 2000. Tuzgölü ve civarının tektonomorfolojik evrimi Orta Anadolu, Türkiye, Haymana-Tuzgölü-Ulukışla Basenleri Uygulamalı Çalışma (Workshop). TPJD Bülteni, Özel sayı 5.
- Dirik, K. 2001. Neotectonic evolution of the northwestward arched segment of the Central Anatolian fault zone, Central Anatolia, Turkey. Geodinamica Acta, 14, 147-158.
- Dirik, K. ve Erol, O. 2003. Tectonomorphologic evolution of Tuzgölü and surrounding area, central Anatolia-Turkey. Turkish Association of Petroleum Geologists Special Publication, 5, 27-46.
- Drever, J., I. 1988. The Geochemistry of Natural Waters (3rd Ed.). Prentice Hall.
- Erden, F. 1971. Eskişehir-Mihalıççık bölgesi gravite etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 6290, 68s., Ankara (yayımlanmamış).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Erdoğan, M., Özdemir, F., Eren, N. 2013. Measurement of radon concentration levels in thermal waters in the region of Konya, Turkey, *Isotopes in Environmental and Healthstudies*, Vol. 49, Issue 4, 567-574.
- Erişen, B. 1974. Hamamkarahisar-Sivrihisar kaplıcasına ilişkin hidrojeoloji raporu. MTA Genel Müdürlüğü, Rapor No: 7088, 34s., Ankara (yayımlanmamış).
- Eskişehir Valiliği, 2012. www.eskisehir.gov.tr
- Favara, R., Grassa, F., Inguaggiato, S., Pecoraino, G., Capasso, G., A simple method to determine the $\delta^{13}\text{C}$ content of total dissolved inorganic carbon, *Geofisica Internacional*, 41 (3), 313-320, 2002.
- Fournier, R.O. 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*, 5, p41-50.
- Fournier, R. O. and Potter, R.W. 1982. A revised and expanded silica (Quartz) geothermometer. *Geoth. Res. Council Bull.*, 11-10, 3-12.
- Gat, J.R. 1971. Groundwater, In: Gat, J.R. And Gonfiantini, R. (Eds.), *Stable Isotope Hydrology*. IAEA Technical Reports, 20, 223-240.
- Giggenbach, W. F. 1991. Collection and analysis of geothermal and volcanic water and gas discharge, in application of geochemistry in geothermal reservoir development (edited by F. D' Amore). p. 119-144, Unitar, Rome.
- Göktürkler, G., 2002. Yerbilimlerinde ısı transferi modellenmesi: Kararlı hal kondüktif ısı iletimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi* vol. 4, no.3 67-80.
- Göncüoğlu, M.C., Dirik, K., Eler, A., Yalınz, K., Özgül, L. ve Çemen, İ. 1996. Tuzgölü havzası batı kısmının temel jeolojik sorunları: TPAO Rapor No: 3753, 102s., Ankara (yayımlanmamış).

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Gözler, M.Z., Cevher, F., Ergül, E. ve Asutay, H.J. 1997. Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 9231, 93s., Ankara (yayımlanmamış).
- Güleç, N. ve Mutlu, H. 2002. Jeotermal alanlarda izotop jeokimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları içinde (74-103), İzmir.
- Güner, F. ve Güner, İ.N. 2002. Sakarbaşı karstik kaynaklarının (Çifteler-Eskişehir) hidrojeolojisinin hidrojeokimya ve çevresel izotop yöntemleri kullanılarak belirlenmesi. Hidrojeolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu, Adana, 207-212.
- Gürsoy, T. 1975. Eskişehir il merkezi ve yakın çevresi detay jeotermal gravite etüdü. MTA Genel Müdürlüğü. Rapor No: 7725, 44 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Henley, R.W., Truessedell, A.H., Barton, P.B. and Whitney, J.A. 1985. Fluid-Mineral Equilibria in Hydrothermal Systems. Reviews in Economic Geology, Vol. I, 267.
- Hilton, D.R., The helium and carbon isotope systematics of a continental geothermal system: results from monitoring studies at Long Valley caldera (California, U.S.A.), Chemical Geology, 127 (4), 269-295, 1996.
- Hilton, D.R., "The leaking mantle", Science, 318, 1389-1390, 2007.
- Hsü K.J., Ryan, W.B.F. and Cita M.B. 1973. Late Miocene dessiccation of the mediteranean. Nature, 242, 240-244.
- Hubberten, H.W. 2005. Isotope Analysis Of Geothermal Waters. Lecture in Geothermal Geochemistry and Some New Geothermal Approaches International Summer School, İzmir, 15-34.
- Italiano, F., Martinelli, G., Nuccio, P.M., Anomalies of mantle-derived helium during the 1997-1998 seismic swarm of Umbria-Marche, Italy, Geophys. Res. Lett., 28 (5), 839-842, 2001

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İlkışık O.M. 1989. Kuzeybatı Anadolu'da Isı Akısı Dağılımı. Jeofizik, 83-91.
- Keçik, A., Mumcu, N. ve Esen, E. 1978. Yukarı Sakarya Havzası hidrojeolojik ve rezistivite etüt raporu. DSİ Raporu: 148 s., Eskişehir (yayımlanmamış).
- Kehinde, M. O. 1993. Preliminary isotopic studies in the Bida Basin, Central Nigeria, Environmental Geology, Vol. 22, Washington, USA, 212-217.
- Kendall, C. ve Caldwell, E. A. 2006. Fundamentals of isotope geochemistry. C. Kendall ve J. J. McDonnell, (Eds.), Isotope tracers in catchment hydrology (4.Baskı) (51-84). The Netherlands: Elsevier.
- Kennedy, B.M., Van Soest, M.C., "Flow of mantle fluids through the ductile lower crust: helium isotope trends", Science, 318, 1433-1436, 2007.
- Koçak, A. 1975. Mihaliççık Yarıkkı kaplıcasının hidrojeoloji etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 5818, 18s., Ankara (yayımlanmamış).
- Koçyiğit, A. 1991. Changing stres orientation in progressive intracontinental deformation as indicated by the neotectonics of the Ankara region (NW of Central Anatolia): TPJD Bülteni, 3/1, 48-55.
- Koçyiğit, A. ve Özacar, A. 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field an Seismic Data. Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 67-90.
- Mamyrin, B.A., Tolstikhin, I.N., Helium isotopes in nature, Elsevier, Amsterdam, 1984, 273.
- Mazor, E. 1991. Applied chemical and isotopic groundwater hydrology. OpenUniversity Press, First Published, pp 264, Buckingham.
- McLennan, S. M. and Taylor, S. R., 1996. Heat flow and the chemical composition of continental crust: Jour. Geol., Vol. 104, no.4, 369-377.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Monod, O., Andrieux J., Gautier Y. and Kienast, J.R. 1991. Pontides-Torides Relationships in the region of Eskişehir. Bull. Tech. Univ. İstanbul, 44, 257-278.
- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynaklar Envanteri, Ankara, 849.
- Mumcu, N. 1976. Eskişehir-Mahmudiye-Çifteler grup köyleri kooperatif sahaları jeofizik rezistivite etüt raporu. DSİ Raporu: 49 s.,Eskişehir (yayımlanmamış).
- Mutlu, H., Güleç, N., Aral, D., 2011. Asal gaz izotopları yeni jeotermal kaynakların keşfinde öncü olabilir mi?, X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir. 37-50.
- Nicholson, K. 1993. Geothermal Fluids Chemistry and Exploration Techniques. Berlin: Springer-Verlag.
- Ocakoğlu, F. ve Akan, S., 2004. Eskişehir Havzası Güneyindeki Taraçaların Aktif Tektonik Açısından Değerlendirilmesi, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 7. toplantısı makaleler kitabı 88-92.
- Olgun, K. 2007. Eskişehir-Kaymaz-Çifteler-Seyitgazi Ovası (12-10, 12-11, 12-13 ve 12-35 alt havzaları) yeraltısuyu rezerv hesaplarının yeniden değerlendirilmesi. DSİ Raporu: 23s.,Eskişehir (yayımlanmamış).
- Ölmez, E. 1985. Eskişehir ve yöresi jeotermal enerji olanakları. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 7798, 36s., Ankara (yayımlanmamış).
- Ozima, M., Podosek, F.A., Noble Gas Geochemistry, 2nd edition, Cambridge University Press, Cambridge, 1983, 367.
- Özyazıcı, E. 1962. Eskişehir rezistivite ve termik etüdü. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 3230, 50s, Ankara (yayımlanmamış).
- Piper, A. M. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. Trans. Amer. Geophys. Union, 25, 914-923.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Rudnick, R. L. and Fountain, D. M., 1995. Nature and composition of continental crust: A lower crust perspective. *Review Geophysics*, v. 33, no.3, 267-309.
- Rybach, L. and Buntebarth, G., 1982. Relationships between the petrophysical properties density, seismic velocity, heat generation and mineralogical costitution, *Earth and Planetary Science Letters*, 57, pp. 367-376.
- Sano, Y., Wakita, H., Precise measurement of helium isotopes in terrestrial gases, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 61, 1153–1157, 1988.
- Satman, A.:”Türkiye’de Enerji: Elektrğin Yenilenebilir ve Yerli Kaynaklardan Karşılanması”, IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-Jeotermal Semineri, İzmir, 6-7 Mayıs 2009.
- Satır, M. 2006. Radyojenik ve Duraylı İzotoplar Jeolojisi Kurs Notları. Tübingen ve Dokuz Eylül Üniversiteleri Socrates Programı, İzmir (Yayınlanmamış).
- Sayın M., Eyüpoğlu, S.Ö. 2005. Türkiye’deki Yağışların Kararlı İzotop İçeriklerini Kullanarak Yerel Meteorik Doğruların Belirlenmesi. II. Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu Bildiri Kitabı, İzmir, 323-344.
- Schoeller, H. 1962. *Les eauv souterraines*. Mason, Paris.
- Schlumberger, C., 1920, *Etude sur la prospection electrique du sous-sol*, Gaultier-Villars et Cie.,Paris.
- Selçuk, A.S. ve Gökten, S. 2004. İnönü-Eskişehir fay sisteminin Kaymaz (Eskişehir) bölgesindeki Neotektonik özellikleri; Mahmudiye-Çifteler Yarı Grabeni’nin gelişimine etkisi. ATAG, Ankara Üniversitesi, 2-3.
- Şahin, S.Y. Özgün, Y. ve Güngör, Y. 2004. U/Th’ca zengin radyoaktif granitoidlerin jeokimyası: Kestanbol ve Kaymaz Plütonları, Batı Anadolu, Türkiye. Türkiye 57. Jeoloji Kurultayı, 5-9 Nisan 2004, Ankara, 48-49.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Şentürk, N. 1991. Eskişehir yöresindeki sıcak su kuyuları sıcak su kaynaklarının koruma alanları raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 9231, 27s., Ankara (yayımlanmamış).
- Tarcan, G. 2002. Jeotermal su kimyası, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Notları içinde (230-271), İzmir.
- Taşkıran, L. 2014. Eskişehir-Mahmudiye-Şerefiye EMŞ-2011/24 Jeotermal Araştırma Sondajı Kuyu Bitirme Raporu. MTA Genel Müdürlüğü Rapor No: 35s., Ankara (yayımlanmamış).
- Truesdell A. H, Hulston, J.R. 1980. Isotopic Evidence of Environments of Geothermal Systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Fritz, P. And Fontes J. Ch. (Eds.), The Terrestrial Environment, Elsevier, 1, 179-226.
- Tün, M., Avdan, U., Kaplan, O., Güney, Y., Çabuk, A., Kaypak, B., Uyar Aldaş, G., Ecevitoglu, B., Esat, K., Seyitoğlu, G., 2010. A New Look to the Eskişehir Fault. Seismic Interpretation Session 2, No: 43. The 19th International Geophysical Congress & Exhibition of Turkey, Ankara, Turkey.
- Waples, D.W., 2001. A new model for heat flow in extensional basins:Radiogenic Heat, asthenospheric heat and the McKenzie model: Natural Resources Res. 10, 3, 227-238.
- Yaltırak, C. 2002. Tectonic evolution of the Marmara Sea and its surroundings. Marine Geology, 190, 493-530.
- Yüce, G., Sayın, M., Eser, T., Temel Dilaver, A., Özçelik, Ş., Aydın, F., Dönmez M. ve Uğurluoğlu Yasin, D. 2007. Eskişehir ve çevresi su kaynaklarındaki doğal radyoaktivitenin jeolojik yapı ile ilişkisi, 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 2-7 Nisan 2007, Ankara, 89-91.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Yüce, G. ve Gasparon, M., 2013. Preliminary risk assessment of radon in groundwater: a case study from Eskisehir, Turkey. *Isotopes in Environmental and Health Studies (IEHS)* / Volume 49 / Issue 2 / Year 2013 - Abstracts Page 1.

ÖZGEÇMİŞ

1 Ocak 1982 tarihinde Ankara'nın Polatlı ilçesinde doğan Lütfi Taşkıran ilk ve orta öğretimini Polatlı'da tamamladıktan sonra Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden 2003 yılında mezun oldu.

Yine Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümü Uygulamalı Jeoloji ana bilim dalında 2006 yılında yüksek lisans eğitimini tamamladı.

2004 yılında Eskişehir Büyükşehir Belediyesi zemin etüt laboratuvarında bir yıl çalıştıktan sonra 2005 yılında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Jeotermal Enerji biriminde göreve başladı.

Halen görev yaptığı aynı kurumda 30 dan fazla jeotermal enerji araştırma projesinde görev almıştır.

Evli ve bir çocuk babası olan yazar, mesleği dışında tiyatro eğitimi alıp sinema, reklam filmi ve dizi oyunculuğu da yapmaktadır.