

GAP İLLERİ JEOTERMAL KAYNAKLARI ARAŞTIRMA PROJESİ



2015

GAP İLLERİ JEOTERMAL KAYNAKLARI ARAŞTIRMA PROJESİ

PROJE EKİBİ

Prof. Dr. Alper BABA (İYTE)

Proje Yürütücüsü

Prof.Dr. Gülden GÖKÇEN AKKURT (İYTE)

Prof.Dr. Mustafa M. DEMİR (İYTE)

Prof. Dr. M. İrfan YEŞILNACAR (Harran Üniv.)

Doç.Dr. M. Tahir NALBANTCILAR (Batman Üniv.)

Dr. Fuat ŞAROĞLU (MTA Emekli)

Dr. Ebru KUZGUNKAYA (İYTE)

Jeoloji Müh. İbrahim AKKUŞ (MTA Emekli)

Jeoloji Yük. Müh. Nedret ÖZEL (GAP BKİ)

Öğr. Gör. Şükrü ARSLAN (Batman Üniv.)

Arş. Gör. Nesrin DURSUN (Harran Üniv.)

Yük. Şehir Plancı Hamidreza YAZDANI (İYTE)



ÖNSÖZ

Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) başlangıçta Fırat ve Dicle havzalarının bir bölümünü kapsayan Yukarı Mezopotamya Ovalarındaki su ve toprak kaynaklarının etkin ve verimli bir biçimde kullanmak amacıyla geliştirilmiştir. Proje, daha sonra enerji, ekonomik, sosyal, kültürel ve çevresel gelişmeyi içeren entegre bir bölgesel kalkınma programına dönüşmüştür.

Bilindiği gibi enerji sorunu dünyada ve ülkemizde giderek daha görünür hale gelmektedir. Dünya yeni enerji kaynaklarını arama, geliştirme ve kullanmaya yönelmektedir. GAP Bölgesi'nde de nüfus artışının Türkiye ortalamasının üzerinde olması, göç alması, yaşam standartlarının yükselmesi, fosil yakıtların azalması ile enerji ihtiyacı artmaktadır. Dolayısıyla Bölge'de doğal, çevreci ve ucuz olan jeotermal enerji kaynağının kullanımı önem taşımaktadır.

GAP Bölgesi Jeotermal Enerji Kaynaklarının Araştırılması Projesi ile dünyanın en verimli topraklarına ve yeraltı kaynaklarına sahip GAP Bölgesi'nde jeotermal su kaynaklarından en iyi biçimde yararlanılması hedeflenmiştir. Yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak bilinen jeotermal enerjiye yönelik araştırma ve uygulama örnekleri dünyada ve ülkemizde artarken, bölgemizde de bu çalışmanın yapılması önem taşımaktadır.

Proje ile GAP Bölgesi'nde yer alan jeotermal enerji kaynaklarının yerlerinin saptanması, mevcut koşullarda yatırım olanaklarının oluşturulması, bölge üniversitelerinin jeotermal konusunda kapasitelerinin artırılmasının sağlanması, jeotermal kaynakların sağlık, turizm ve tarımda kullanılması amaçlanmaktadır. 10. Kalkınma Planı ve GAP Eylem Planı'nda yer alan bölgenin doğal kaynak ve enerji hammadde potansiyelinin tespit edilerek kaynakların ekonomiye kazandırılması kapsamındaki faaliyetlerle bütünleşmiş olan GAP Bölgesi Jeotermal Enerji Kaynaklarının Araştırılması Projesi'nin ülkemize ve bölgemize hayırlı olmasını dilerim.

Sadrettin KARAHOCAGİL
GAP İdaresi Başkanı

YÜRÜTÜCÜ ÖNSÖZÜ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi, birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış zengin tarihi ve kültürel değerlere sahip özel bir coğrafyadır. Bölge, tüm bu değerlerinin yanısıra doğal kaynaklar açısından da son derece önemli bir merkezdir. Bölgede, yüzeye boşalan çok sayıda sıcak su kaynağı ve değişik rezervuar sıcaklıklarının ölçüldüğü kuyuların yer aldığı jeotermal sahalar bulunmaktadır. Bu sahaların gelişimi, bölgenin jeodinamik evrimine, güncel tektoniğine, litostratigrafik yapısı ve hidrojeolojik özelliklerine bağlıdır.

Bölgedeki jeotermal kaynakların özellikleri ve dağılımlarının belirlenmesine yönelik GAP Bölge İdaresi Kalkınma Başkanlığı ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü (İYTE) arasında Ekim 2014 tarihinde yapılan sözleşme ile "GAP İlleri Jeotermal Kaynakları Araştırma Projesi" isimli bu proje başlatılmıştır. Proje kapsamında, bölgedeki jeotermal kaynaklarla ilgili önceki çalışmalar değerlendirilerek, mevcut jeotermal sahaların jeolojik, tektonik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri detaylı olarak irdelenmiştir. Ayrıca, bölgedeki jeotermal kaynakların kullanım alanları ve olası potansiyelleri hakkında bilgiler verilmiştir.

Sunulan raporun ilk dört bölümünde jeotermal kavramlar, jeotermal kaynak araştırmalarında kullanılan yöntemler, Dünya ve Türkiye'deki jeotermal kaynakların dağılımı ve kullanımına ilişkin bilgiler bulunmaktadır. 5, 6 ve 7. bölümlerde, inceleme alanı olan GAP bölgesinin genel jeolojik özellikleri ve jeotermal kaynakları hakkında bilgiler, 8-16. bölümlerde ise her ilin jeotermal kaynaklarına ait özellikler detaylı olarak sunulmuştur. Ayrıca bu illerin jeotermal potansiyellerine ilişkin değerlendirmeler yapılarak yatırım olanakları belirtilmiştir. Son iki bölümünde ise GAP bölgesinin jeotermal kaynakları genel olarak değerlendirilmiş ve bölgede yapılması gereken çalışmalara ilişkin önerilerde bulunulmuştur.

Yapılan bu projeden elde edilen veriler, GAP illerinin jeotermal potansiyellerinin yüksek olduğunu, Adıyaman ilinde rekreasyon, termal turizm ve seracılık, Batman ilinde termal turizm, sera, konut ısıtması ve elektrik üretimi, Diyarbakır ilinde, termal turizm, kurutma, sera, ısıtma ve elektrik üretimi, Gaziantep ilinde termal turizm ve seracılık, Kilis ilinde kurutma, termal turizm ve seracılık, Şanlıurfa ilinde kurutma, termal turizm ve seracılık, Mardin ve Şırnak illerinde balıkçılık, kurutma, termal turizm ve seracılık, Siirt ilinde ise sağlık turizmi, termal turizm ve sera uygulamalarının yapılabilirliğini ortaya koymuştur. Ancak, alandaki jeotermal kaynakların daha verimli ve doğru kullanılmasına yönelik bir dizi çalışmanın yapılması da şarttır.

Projeye destek sağlayan GAP Bölge Kalkınma İdaresi Başkanlığına, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsüne ve bölgedeki kamu ve yerel yöneticilere teşekkür eder, projenin ülke ve bölge için faydalı olmasını dilerim.

Saygılarımla.

Prof.Dr. Alper BABA
Proje Yürütücüsü

KISALTMALAR

- GAP : Güneydoğu Anadolu Projesi
İYTE : İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü
İTASHY: İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik
MTA : Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TPAO : Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
DES : Düşey Elektrik Sondaj
DTA : Diferensiyel termal analiz
EI : Elektriksel İletkenlik
IC : İyon kromatografi
ICP-MS: Endüktif eşlenik plazma – kütle spektrometresi
MT : Manyetotellürik
ORC : Organik Rankine Çevrimi
SEM : Taramalı Elektron Mikroskobu
SI : Doygunluk İndeksi
TDS : Toplam çözünmüş katı madde
XRD : X-Işını Difraktometre
XRF : X-Işınları Floresans Spektrometre
YAS : Yeraltı suyu

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖNSÖZ	v
YÜRÜTÜCÜ ÖNSÖZÜ	vii
KISALTMALAR	ix
İÇİNDEKİLER LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii
TABLolar LİSTESİ	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. AMAÇ.....	2
1.2. KAPSAM	3
1.3. YÖNTEM	4
2. JEOTERMAL SİSTEMLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	9
2.1. JEOTERMAL KAVRAMLAR	9
2.1.1. Jeotermal Enerji.....	9
2.1.2. Jeotermal Sistem	9
2.1.3. Jeotermal Saha	10
2.1.4. Jeotermal Sistemin Elemanları	10
2.1.4.1. Isı Taşıyan Akışkan	10
2.1.4.2. Rezervuar Kaya ve/veya Zon	10
2.1.4.3. Isı Kaynağı.....	10
2.1.4.4. Örtü Kaya.....	10
2.1.4.5. Beslenme Alanı	10
2.1.5. Alterasyon	10
2.1.6. Jeotermal Rezervuar.....	11
2.1.7. Jeotermal Sahaların Sınıflandırılması	11
2.1.8. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları	11
2.1.8.1. Isıtma	12
2.1.8.2. Endüstriyel Uygulamalar	12
2.1.8.3. Kimyasal Madde Üretimi.....	12
2.1.8.4. Elektrik Enerjisi Üretimi	13
2.2. JEOTERMAL KAYNAK ARAŞTIRMALARINDA UYGULANAN YÖNTEMLER.....	13
2.2.1. Ön Değerlendirme	14
2.2.2. Literatür Çalışması	14
2.2.3. Jeolojik Çalışmalar	14
2.2.4. Hidrojeokimya Çalışmalar.....	14
2.2.5. Alterasyon Çalışmaları	14
2.2.6. Toprak Gazı Ölçümleri	14
2.2.7. Jeofizik Çalışmalar	15

2.2.8. Gradyan Ölçümleri.....	16
2.2.9. Final Raporu.....	16
2.2.10. Arama-Üretim Sondajları.....	16
2.2.11. Kuyu İçi Log Ölçümleri	16
2.2.12. Test Çalışmaları	16
2.2.13. Geliştirme Sondajları	17
2.2.14. Kavramsal Modelin Oluşturulması	17
3. DÜNYADAKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR.....	19
3.1. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİNİN DOĞRUDAN KULLANIMI	19
3.2. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİNİN ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANIMI	22
4. TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR	23
4.1. TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN DAĞILIMI	23
4.2. TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL KAYNAK POTANSİYELİ	24
4.3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN KULLANIMI.....	24
4.3.1. Elektrik Üretimi.....	25
4.3.2. Isıtma Uygulaması	27
4.3.3. Jeotermal Kaynakların Doğrudan Kullanım Kapasitesi	28
5. İNCELEME ALANI	29
6. GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNİN GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ.....	31
6.1. JEODİNAMİK SÜREÇLER.....	31
6.2. JEOMORFOLOJİK ÖZELLİKLER	34
6.3. BÖLGE JEOLJİSİNE GENEL BAKIŞ	35
6.4. GÜNEYDOĞU ANADOLU'NUN NEOTEKTONİĞİ.....	41
6.5. KARACADAĞ VOLKANİTLERİ	44
6.6. GÜNEYDOĞU ANADOLU JEOLJİSİNİN JEOTERMAL YÖNÜNDEN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ	54
7. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR	55
8. ADIYAMAN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	59
8.1. BESNİ-HARMANARDI-ÇÖRMÜK JEOTERMAL SAHASI	61
8.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	61
8.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	62
8.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları	65
8.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	65
8.1.3.1. Ağır Metaller.....	68
8.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	68
8.1.4. Doğunluk İndeksleri	69
8.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	70
8.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	71
8.1.7. Yatırım Olanakları	71
8.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar.....	71

9. BATMAN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR.....	73
9.1. KOZLUK-TAŞLIDERE JEOTERMAL SAHASI.....	74
9.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	74
9.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	77
9.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları	78
9.1.3. Kozluk-Taşlıdere Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	79
9.1.3.1. Ağır Metaller.....	81
9.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	82
9.1.4. Doygunluk İndeksleri	83
9.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	83
9.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	86
9.1.7. Yatırım Olanakları	88
9.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar.....	89
10. DİYARBAKIR İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR.....	91
10.1. ÇERMİK JEOTERMAL SAHASI	94
10.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	94
10.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	96
10.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları	98
10.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	100
10.1.3.1. Ağır Metaller.....	107
10.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	107
10.1.4. Doygunluk İndeksleri	108
10.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	109
10.1.6. İnceleme Sahasında Yapılan Jeofizik Etütler.....	110
10.1.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	112
10.1.8. Yatırım Olanakları	113
10.1.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar.....	113
10.2. BAĞIVAR-ÇARIKLI JEOTERMAL SAHASI.....	115
10.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	115
10.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri	117
10.2.2.1. Açılan Kuyular.....	118
10.2.3. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	119
10.2.4. Yatırım Olanakları	119
10.2.5. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar.....	119
11. GAZİANTEP İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	121
11.1. KARTALKÖY JEOTERMAL SAHASI	123
11.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	123
11.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	124

11.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	124
11.1.3.1. Ağır Metaller.....	125
11.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	128
11.1.4. Doygunluk İndeksleri	129
11.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	130
11.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	131
11.1.7. Yatırım Olanakları	131
11.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	132
11.2. ARABAN JEOTERMAL SAHASI	132
11.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikler	132
11.2.2. Araban Jeotermal Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	134
11.2.3. Araban Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	136
11.2.3.1. Ağır Metaller.....	136
11.2.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	138
11.2.4. Doygunluk İndeksleri	139
11.2.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	140
11.2.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	141
11.2.6. Yatırım Olanakları	141
11.2.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	142
11.3. DURANTAŞ JEOTERMAL SAHASI	142
11.3.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	143
11.3.2. Durantaş Jeotermal Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	144
11.3.3. Durantaş Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	144
11.3.3.1. Ağır Metaller.....	146
11.3.4. Doygunluk İndeksleri	146
11.3.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	148
11.3.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	148
11.3.7. Yatırım Olanakları	149
11.3.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	149
12. KİLİS İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR.....	151
12.1. KÜRTÜNCÜK-GÜVENLİ JEOTERMAL SAHASI.....	153
12.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	153
12.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	154
12.1.3. Kürtüncük-Güvenli Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	154
12.1.3.1. Ağır Metaller.....	156
12.1.4. Doygunluk İndeksleri	157
12.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	157
12.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	158

12.1.7. Yatırım Olanakları	158
12.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	159
13. MARDİN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	161
13.1. GERMAV (ILISU) - HISTA (BELKIS ANA) JEOTERMAL SAHASI	164
13.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	164
13.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri	167
13.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları	168
13.1.3. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	173
13.1.3.1. Ağır Metaller.....	177
13.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	177
13.1.4. Doygunluk İndeksleri	178
13.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	179
13.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	180
13.1.7. Yatırım Olanakları	180
13.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	182
14. SİİRT İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	185
14.1. BİLLURİS (SAĞLARCA)-LİF (KIŞLACIK) JEOTERMAL SAHASI	186
14.1.1. İnceleme Sahasının Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	186
14.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri	190
14.1.3. İnceleme Sahasının Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri	192
14.1.3.1. Ağır Metaller.....	197
14.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	197
14.1.4. Doygunluk İndeksleri	198
14.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	199
14.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	200
14.1.7. Yatırım Olanakları	201
14.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	202
15. ŞANLIURFA İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	205
15.1. KARAALİ JEOTERMAL SAHASI	209
15.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	209
15.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri	211
15.1.2.1. Açılan Kuyular.....	211
15.1.3. İnceleme Sahasında Yapılan Jeofizik Çalışmalar	215
15.1.4. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	216
15.1.4.1. Ağır Metaller.....	218
15.1.4.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	218
15.1.5. Doygunluk İndeksleri	219
15.1.6. Çözünürlük Jeotermometreleri	220

15.1.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	221
15.1.8. Yatırım Olanakları	224
15.1.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	225
15.2. KABAHAJDAR JEOTERMAL SAHASI.....	227
15.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	227
15.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri	229
15.2.3. İnceleme Sahasında Yapılan Jeofizik Çalışmalar	230
15.2.4. İnceleme Sahasının Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri	231
15.2.4.1. Ağır Metaller.....	234
15.2.4.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	234
15.2.5. Doygunluk İndeksleri	235
15.2.6. Çözünürlük Jeotermometreleri	236
15.2.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	237
15.2.8. Yatırım Olanakları	238
15.2.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	238
16. ŞIRNAK İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR	241
16.1. BEYTÜŞŞEBAP-ILICAK JEOTERMAL SAHASI	242
16.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	242
16.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri	245
16.1.3. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri	246
16.1.3.1. Ağır Metaller.....	248
16.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri.....	249
16.1.4. Doygunluk İndeksleri	249
16.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri	251
16.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	251
16.1.7. Yatırım Olanakları	253
16.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	253
16.2. BALVEREN-BESTA JEOTERMAL SAHASI.....	254
16.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	254
16.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	255
16.2.2.1. Ağır Metaller.....	257
16.2.3. Doygunluk İndeksleri	258
16.2.4. Çözünürlük Jeotermometreleri	259
16.2.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	260
16.2.6. Yatırım Olanakları	260
16.2.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar	260
16.3. İKİZCE JEOTERMAL SAHASI	261
16.3.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri	261

16.3.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri.....	262
16.3.2.1. Ağır Metaller.....	264
16.3.3. Doygunluk İndeksleri	264
16.3.4. Çözünürlük Jeotermometreleri	265
16.3.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları.....	267
16.3.6. Yatırım Olanakları	267
16.3.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar.....	267
17. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ	269
18. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL SAHALARDA YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALARA	
İLİŞKİN PROJEKSİYONLAR.....	277
REFERANSLAR	285

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1:	Jeotermal sistemin şematik gösterimi (YEGM, 2015).....	9
Şekil 3.1:	Doğrudan kullanım kurulu kapasitesi ve yıllık enerji kullanımının 1995'ten 2015 yılına kadar olan değişimi (Lund ve Boyd, 2015).....	19
Şekil 3.2:	Dünya doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasite (MWt) dağılımı.....	20
Şekil 3.3:	2015 yılı dünya jeotermal doğrudan kullanım uygulamalarının toplam enerji kullanımı (TJ/yıl) yüzdelere göre dağılımı (Lund ve Boyd, 2015).....	21
Şekil 3.4:	1950-2015 yılları arası kurulu kapasite (MWe) ve üretilen enerji kullanımı (GWh) (Bertani, 2015).....	22
Şekil 4.1:	Türkiye'nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynaklarının dağılımı (Akkuş ve diğ., 2005).....	23
Şekil 4.2:	Jeotermal alanların kullanım olanaklarına göre dağılımı.....	24
Şekil 4.3:	Jeotermal kaynak potansiyeli ve kullanımı (Akkuş, 2015 ten revize).....	25
Şekil 4.4:	Türkiye'de jeotermal elektrik santrallerinin gelişimi ve 2018 yılı için hedef değerler (Mertoğlu ve Başarır, 2013'den değiştirilerek).....	27
Şekil 4.5:	Türkiye'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanım oranları (Mertoğlu ve diğ., 2015).....	28
Şekil 5.1:	İnceleme alanı.....	29
Şekil 6.1:	Türkiye jeoloji haritası (MTA'dan alınmıştır)	31
Şekil 6.2:	Güneydoğu Anadolu'nun tektonik birliklerini gösterir harita (Yılmaz ve Yiğitbaş 1990).....	32
Şekil 6.3:	Güneydoğu Anadolu'nun taslak yapı haritası (Perinçek 1979).....	32
Şekil 6.4:	Güneydoğu Türkiye ve Doğu Torosların tektonik birlikleri (Günay ve diğ. 1999'dan değiştirilerek).....	33
Şekil 6.5:	Doğu Akdeniz ve Anadolu'nun sadeleştirilmiş tektonik birlikleri (Okay ve Tüysüz, 1999).....	34
Şekil 6.6:	Türkiye'nin neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (Şengör, 1980).....	35
Şekil 6.7:	Güneydoğu Anadolu allokton-paraallokton kaya stratigrafi birimleri korelasyon çizelgesi (Perinçek, 1980).....	37
Şekil 6.8:	Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (TPAO'dan alınmıştır).....	38
Şekil 6.9:	Mardin Grubuna ait karbonatlardan görünüm.....	39
Şekil 6.10:	Kozlu (Batman) çevresinde yüzlek veren Germav Formasyonuna ait birimlerden görünüm.....	40
Şekil 6.11:	Billuris Kaplıcası (Siirt) ve çevresinde yüzlek veren Midyat grubuna ait karbonatlardan görünüm.....	41
Şekil 6.12:	Orta Miyosen-Pliyosen paleotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1983)...	43
Şekil 6.13:	Pliyosen-Günümüz neotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1983).....	43
Şekil 6.14:	Güneydoğu Anadolu'nun tektonik birliklerinin gösterir genelleştirilmiş jeoloji enine kesiti (Yılmaz ve Yiğitbaş, 1990).....	44
Şekil 6.15:	Karacadağ volkanitlerinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Şaroğlu ve Emre, 1987).	45
Şekil 6.16:	Karacadağ volkanitleri ve yakın çevresinin sadeleştirilmiş tektonik haritası.....	46
Şekil 6.17:	Karacadağ volkanitleri ve çevresinin jeoloji haritası (Ercan ve diğ. 1991)...	47
Şekil 6.18:	Diyarbakır Bağıvar mevkiinde yüzlek veren Şelmo Formasyonundan görünüm	47
Şekil 6.19:	Karacadağ volkanitlerinin Floyd ve Winchester (1975) diyagramında sınıflandırılması.....	50
Şekil 6.20:	TPAO tarafından açılmış olan sondaj kuyularının derinliği ve sıcaklık değişimi.....	52

Şekil 6.21:	Riftleşmenin değişik derecelerde evrim geçirmiş olduğu günümüz riftlerine örnekler (Yılmaz 1981, Şengör ve Burke 1978'den almıştır).....	53
Şekil 6.22:	Doğu Anadolu volkanik provensinin petrografik ve jeokimyasal verilerle mağmajenetik modelinin şematik kesiti (PSZ: Pontid suture zone, N: Nemrut, S: Süphan, T: Tendürek, A: Ağrı, AL: Aladağ).....	53
Şekil 7.1:	Karaali (Şanlıurfa) jeotermal sahasında kaplıca ve sera uygulamaları	56
Şekil 7.2:	Çermik (Diyarbakır) jeotermal akışkanın termal turizmde kullanılması.....	56
Şekil 7.3:	a ve b) Billoris, c ve d) Lif Kaplıcası ve çevresinden görünüm (Siirt Kaplıcaları)	57
Şekil 7.4:	İnceleme alanındaki jeotermal kaynakların bulunduğu kesimler	57
Şekil 8.1:	Adıyaman il sınırları içinde yer alan Çörmük kaynağının yer bulduru haritası.....	59
Şekil 8.2:	Besni ilçesi sınırları içinde yer alan Çörmük sahasının topoğrafik haritası.....	60
Şekil 8.3:	Çörmük sahasının morfolojik yapısını gösteren harita.....	60
Şekil 8.4:	Çörmük kaynağı ve çevresinin jeoloji haritası (Bozkurt, 1991'den değiştirilerek)	61
Şekil 8.5:	Çörmük çevresinde yüzlek veren Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı birimlerden görünüm	62
Şekil 8.6:	Kaynağın çevresinde yüzeyleyen killi kireçtaşlarında gözlenen çatlaklar	62
Şekil 8.7:	İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası	63
Şekil 8.8:	Çörmük Kaynağı ve çevresinden görünüm.....	64
Şekil 8.9:	Aşağı Söğütlü (Tavas Suyu)'deki karstik kaynaklarından görünüm	64
Şekil 8.10:	Su Gözü (Besni) karstik kaynaklarından görünüm.....	655
Şekil 8.11:	Çörmük kaynağı çevresinde gözlenen alterasyonlar	66
Şekil 8.12:	Alandaki alterasyon numunesinin XRD deseni.....	66
Şekil 8.13:	Çörmük kaynağının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi.....	67
Şekil 8.14:	Çörmük kaynağında Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - $\delta^{2}H$ grafiği	69
Şekil 8.15:	Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	69
Şekil 8.16:	Sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları	70
Şekil 9.1:	Batman ili Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve TPAO kuyuları	73
Şekil 9.2:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasının morfolojik yapısını gösteren harita	73
Şekil 9.3:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)	74
Şekil 9.4:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresinde yüzlek veren kayalar	75
Şekil 9.5:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında açılan TPAO kuyu logu (Dağıstan ve Şimşek, 2005)	76
Şekil 9.6:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresindeki karbonat kayaçlarda gözlenen tektonik yapılar.....	77
Şekil 9.8:	Kozluk-Taşlıdere akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	80
Şekil 9.9:	Kozluk-Taşlıdere akışkanının çevreye deşarj edildiği alanlardan görünüm.....	82
Şekil 9.10:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - $\delta^{2}H$ grafiği	82
Şekil 9.11:	Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	83
Şekil 9.12:	Kozluk jeotermal akışkanının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları.....	84
Şekil 9.13:	Kozluk Jeotermal sahasında gözlenen kabuktan görünüm	85
Şekil 9.14:	Kozluk Jeotermal sahasındaki kabuğun kristal yapısında bulunan "Sodyum Klorür" deseni.....	85
Şekil 9.15:	Kozluk Jeotermal sahasındaki kabuğun kristal yapısında bulunan "Aragonit" deseni	86
Şekil 9.16:	Batman il sınırları içindeki akışkanın sıcaklık dağılımı	86
Şekil 9.17:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası sınırları içinde bulunan Şelmo 64 no'lu petrol kuyusundan görünüm	87
Şekil 9.18:	Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında aktif olan termal tesisten görünüm.....	89

Şekil 10.1:	Diyarbakır il sınırları içinde yer alan jeotermal sahalar (Çermik ve Çarıklı) ve sıcak akışkan içeren petrol kuyuları	91
Şekil 10.2:	Çermik jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki görünümü	92
Şekil 10.3:	Çermik Kaplıcası ve çevresinden görünümü	92
Şekil 10.4:	Çermik jeotermal sahası ve çevresinin morfolojik özellikleri	93
Şekil 10.5:	Çarıklı jeotermal sahası ve çevresinden görünümü	93
Şekil 10.6:	Çermik ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek).....	94
Şekil 10.7:	Çermik jeotermal sahasının etrafında görülen tektonik izler.....	96
Şekil 10.8:	Çermik jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası	97
Şekil 10.9:	İnceleme alanında yüzlek veren temel kayalardan görünüm	97
Şekil 10.10:	İnceleme alanı ve çevresinde yüzlek veren karstik kayalar	97
Şekil 10.11:	Çermik Jeotermal sahasında bulunan dört adet üretim kuyusundan görünüm	98
Şekil 10.12:	Diyarbakır il sınırları içinde açılan kuyuların derinliği ve sıcaklık dağılımı	99
Şekil 10.13:	1 no'lu örnekte bulunan "Kalsit-Magnezyan ve Kuvars" XRD sinyalleri	101
Şekil 10.14:	2 no'lu örnekte bulunan "Kalsit Magnezyan" XRD sinyalleri	103
Şekil 10.15:	3 no'lu örnekte bulunan "Kalsit" XRD sinyalleri	103
Şekil 10.16:	4 no'lu örneğe ait amorf yapının XRD sonucu.....	104
Şekil 10.17:	5 no'lu örnekte bulunan "Kuvars ve Mika" XRD sinyalleri	104
Şekil 10.18:	6 no'lu örnekte bulunan "Kalsiyum Karbonat ve Reinerite" XRD sinyalleri	105
Şekil 10.19:	a) 1, b) 2, c) 3 ve d) 5 no'lu örneklerin SEM görüntüleri	105
Şekil 10.20:	Çermik akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	106
Şekil 10.21:	Çermik jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - $\delta^{2}H$ grafiği	108
Şekil 10.22:	Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	108
Şekil 10.23:	Çermik jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları	110
Şekil 10.24:	Sch. L/2=400 m için rezistivite haritası (Gülay, 1973)	111
Şekil 10.25:	Çarıklı jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritada görünümü	115
Şekil 10.26:	Çarıklı jeotermal sahası ve çevresinin morfolojik özellikleri	116
Şekil 10.27:	Çarıklı jeotermal sahası ve çevresinin jeoloji haritası (Gürler 1990 ve Gürler 1991'den değiştirilerek)	116
Şekil 10.28:	İnceleme alanında yüzlek veren Şelmo Formasyonu ve Karacadağ volkaniklerinden görünüm	117
Şekil 10.29:	Çarıklı jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası.....	118
Şekil 11.1:	Gaziantep il sınırları içinde yer alan jeotermal sahalar	121
Şekil 11.2:	Kartalköy jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritada görünümü.....	122
Şekil 11.3:	Kartalköy jeotermal sahası ve çevresinin morfolojik özellikleri	122
Şekil 11.4:	Kartalköy ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek).....	123
Şekil 11.5:	Kartalköy jeotermal kaynağından görünüm.....	124
Şekil 11.6:	Domuzdere kaynağından görünüm.....	125
Şekil 11.7:	Kartalköy jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi.....	126
Şekil 11.8:	Domuzdere kaynağının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	127
Şekil 11.9:	İnceleme alanındaki suların Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - $\delta^{2}H$ grafiği.....	129
Şekil 11.10:	Doygunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	129
Şekil 11.11:	Doygunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	130
Şekil 11.12:	Araban ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)	133
Şekil 11.13:	Ziyarettepe çevresinde yüzlek veren Fırat Formasyonu'na ait birimler ile Yavuzeli bazaltlarından görünüm	135
Şekil 11.14:	Araban jeotermal sahasında açılmış olan TPAO ve MTA kuyu yerlerinden	135

	görünüm	
Şekil 11.15:	Karatepe (Araban)'de artezyen yapan TPAO kuyusundan görünüm	136
Şekil 11.16:	Araban jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	137
Şekil 11.17:	İnceleme alanındaki suların Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği.....	139
Şekil 11.18:	Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	139
Şekil 11.19:	Araban jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları.....	140
Şekil 11.20:	Uğurlu Termal Tesisindeki havuzdan görünüm.....	143
Şekil 11.21:	Durantaş jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek).....	144
Şekil 11.22:	Uğurlu Kaplıca suyunun a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	145
Şekil 11.23:	Doygunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	147
Şekil 11.24:	Uğurlu kabuk örneğinin XRD sinyalleri	147
Şekil 11.25:	Durantaş jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları.....	148
Şekil 12.1:	Kilis İli sınırları içinde bulunan Kürtüncük-Güvenli jeotermal alanı.....	151
Şekil 12.2:	Kilis ili sınırları içinde yer alan Kürtüncük-Güvenli jeotermal alanın topoğrafik haritası.....	152
Şekil 12.3:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahanın morfolojik yapısını gösteren harita	152
Şekil 12.4:	Kürtüncük-Güvenli Jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilmiştir)...	153
Şekil 12.5:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında açılmış bulunan kuyudan görünüm	154
Şekil 12.6:	Kürtüncük-Güvenli akışkanın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	155
Şekil 12.7:	Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	157
Şekil 12.8:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları	158
Şekil 13.1:	Mardin İli jeotermal alanları.....	161
Şekil 13.2:	İnceleme alanının topoğrafik haritada yeri	162
Şekil 13.3:	İnceleme alanının morfolojik haritası.....	162
Şekil 13.4:	Dicle Nehri üzerinde yer alan İlisu Barajı ve jeotermal sahadan görünüm	163
Şekil 13.5:	Germav (İlisu) kaynağı ve çevresinden görünüm	164
Şekil 13.6:	Hısta (Belkis Ana) kaynağı ve çevresinden görünüm.....	164
Şekil 13.7:	İnceleme alanda yüzlek veren Germav Formasyonu'ndan görünüm	165
Şekil 13.8:	İnceleme alanında yüzlek veren Becirman Formasyonu.....	165
Şekil 13.9:	İnceleme alanında yüzlek veren Midyat ve Germav Formasyonları'nın dokanaklarından görünüm	166
Şekil 13.10:	Germav (İlisu) ve Hısta (Belkis Ana) jeotermal sahaları ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek).....	167
Şekil 13.11:	Germav (İlisu) ve Hısta (Belkis Ana) jeotermal sahalarının hidrojeoloji haritası.....	168
Şekil 13.12:	DSİ tarafından 14.03.2013 tarihinde sıcaklık ölçüleri yapılan kuyuların yerleri.....	170
Şekil 13.13:	İlisu Barajı kretinden görünüm ve sıcak su çıkış noktası (DSİ, 2012).....	170
Şekil 13.14:	DSİ kuyularının derinlik ve sıcaklık ilişkisi	171
Şekil 13.15:	DSİ kuyularında gradyan değişimi	171
Şekil 13.16:	DSİ tarafında gözlem kuyularında farklı zamanlarda ölçülen sıcaklık değerleri.....	172
Şekil 13.17:	İlisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri.....	173
Şekil 13.17:	İlisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri (devamı)	174
Şekil 13.17:	İlisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri (devamı)	175
Şekil 13.18:	Germav ve Hısta akışkanın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	176
Şekil 13.19:	Germav ve Hısta jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği	178
Şekil 31.20:	Germav jeotermal kaynağı Doymunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi.....	178
Şekil 13.21:	Hısta jeotermal kaynağı Doymunluk İndeksi (SI) - Sıcaklık (T) ilişkisi.....	179

Şekil 13.22:	Germav ve Hısta jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları	179
Şekil 13.23:	Hısta Jeotermal kaynağından yararlanan konutlar	181
Şekil 13.24:	Germav Kaplıcasından görünüm	181
Şekil 14.1:	Siirt ili jeotermal sahaları ve TPAO kuyularının bulunduğu kesimler	185
Şekil 14.2:	Billuris kaplıcası ve çevresinden görünüm	186
Şekil 14.3:	Lif kaplıcası ve çevresinden görünüm	187
Şekil 14.4:	Botan Çayı kenarında bulunan Billuris ve Reşan Çayı'nda bulunan Lif kaynaklarının bulunduğu kesimler	187
Şekil 14.5:	Botan Çayı üzerinde yer alan İlisu Barajı'nın kreti ve membasından görünümler	188
Şekil 14.6:	İnceleme sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)	188
Şekil 14.7:	İnceleme alanında yüzlek veren Germav Formasyonu'ndan görünüm	189
Şekil 14.8:	İnceleme alanında yüzlek veren Gercüş Formasyonu'ndan görünüm	189
Şekil 14.9:	Billuris ve Lif jeotermal sahasında görülen süreksizlikler	190
Şekil 14.10:	İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası	191
Şekil 14.11:	Billuris(1) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.	193
Şekil 14.12:	Billuris(2) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.	194
Şekil 14.13:	Lif(1) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.....	194
Şekil 14.14:	Lif(2) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.....	195
Şekil 14.16:	Billuris ve Lif jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği	198
Şekil 14.17:	Billuris Jeotermal Kaynağı Doymunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	198
Şekil 14.18:	Lif Jeotermal Kaynağı Doymunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	199
Şekil 14.19:	Billuris ve Lif jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları	200
Şekil 15.1:	Şanlıurfa ili jeotermal alanları	205
Şekil 15.2:	Karaali jeotermal sahanın 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki yeri	206
Şekil 15.3:	Karaali jeotermal sahanın morfoloji haritası	206
Şekil 15.4:	Karaali jeotermal sahasındaki termal tesisler ve seradan görünüm	207
Şekil 15.5:	Kabahaydar jeotermal sahasından görünüm	207
Şekil 15.6:	Kabahaydar jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki yeri	208
Şekil 15.7:	Kabahaydar jeotermal sahasının morfoloji haritası	208
Şekil 15.8:	Karaali ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)	209
Şekil 15.9:	İnceleme alanının çevresinde yüzlek veren Midyat Grubu'na ait birimlerden görünüm	210
Şekil 15.10:	Karaali ve çevresinin hidrojeoloji haritası	211
Şekil 15.11:	Karaali jeotermal sahasında açılan kuyuların yerleri.....	213
Şekil 15.12:	Karaali jeotermal sahasındaki kuyulardaki sıcaklık dağılım haritası.....	213
Şekil 15.13:	Karaali jeotermal sahasındaki kuyulardaki sıcaklık dağılım haritası.....	214
Şekil 15.14:	Karaali jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	217
Şekil 15.15:	İnceleme alanındaki akışkanın Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği	219
Şekil 15.16:	Doymunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	219
Şekil 15.17:	Kabuk örneğinde bulunan "Kalsit Magnezyan" XRD sinyalleri.....	220
Şekil 15.18:	Karaali jeotermal akışkanın Giggenbach diyagramında gösterimi	221
Şekil 15.19:	Kabahaydar jeotermal sahasından görünüm	227
Şekil 15.20:	Kabahaydar jeotermal sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)	228
Şekil 15.21:	Kabahaydar jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren çatlaklı Eosen yaşlı birimlerden görünüm	229
Şekil 15.22:	Çalışma alanın kuzeyinden geçen doğrultu atımlı faydan görünüm	229
Şekil 15.23:	İnceleme alanında açılan 252 m derinliğindeki kuyudan görünüm	230
Şekil 15.24:	Kabahaydar sahasında DES ve SP ölçülerin alındığı yerler	231

Şekil 15.25:	Kil örneğinde bulunan “Kalsit” XRD sinyalleri	232
Şekil 15.26:	Kaya örneğinde bulunan “ Kalsit ve Renierite” XRD sinyalleri	232
Şekil 15.27:	Kabahaydar jeotermal sahasındaki suların a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	233
Şekil 15.28:	İnceleme alanındaki akışkanın Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği.....	235
Şekil 15.29:	Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	235
Şekil 15.30:	Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	236
Şekil 15.31:	Kabahaydar jeotermal sahasındaki suların Giggenbach diyagramında gösterimi	237
Şekil 16.1:	Şırnak ilindeki jeotermal alanlar ve sıcak akışkan içeren TPAO kuyuları.....	241
Şekil 16.2:	Beytüşşebap İlicak Jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA’dan değiştirilerek)	243
Şekil 16.3:	İnceleme alanında yüzlek veren deformasyona uğramış yapılar	244
Şekil 16.4:	İnceleme alanın çevresinde yüzlek veren kıvrımlı yapılar	244
Şekil 16.5:	İnceleme alanında Zümrüt Kaplıcası’nın üzerinde yer aldığı karbonatlı zon.....	245
Şekil 16.6:	Beytüşşebap İlicak jeotermal sahasında yüzlek veren karstik karbonatlardan görünüm	245
Şekil 16.7:	İlicak jeotermal alanı ve çevresindeki su kaynakların a-d) Pie, e) Piper ve f) Schoeller diyagramlarında gösterimi	246
Şekil 16.7:	İlicak jeotermal alanı ve çevresindeki su kaynakların a-d) Pie, e) Piper ve f) Schoeller diyagramlarında gösterimi (devam)	247
Şekil 16.8:	İnceleme alanındaki suların Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği.....	249
Şekil 16.9:	Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	250
Şekil 16.10:	Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	250
Şekil 16.11:	İlicak jeotermal sahası ve çevresindeki suların Giggenbach diyagramında gösterimi	251
Şekil 16.12:	Kırık zonları üzerinde yer alan Zümrüt Kaplıcasından görünüm	252
Şekil 16.13:	Besta jeotermal sahasının jeoloji haritası	255
Şekil 16.14:	Besta kaynaklarının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi	256
Şekil 16.15:	Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	258
Şekil 16.16:	Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi	258
Şekil 16.17:	Besta kaynaklarının Giggenbach diyagramında gösterimi	260
Şekil 16.18:	İkizce jeotermal sahasının jeoloji haritası	262
Şekil 16.19:	İkizce kaynaklarının a-b) Pie, c) Piper ve d) Schoeller diyagramlarında gösterimi	263
Şekil 16.20:	Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	265
Şekil 16.21:	Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi	265
Şekil 16.22:	İkizce kaynaklarının Giggenbach diyagramında gösterimi	266
Şekil 17.1:	GAP Bölgesi’ndeki sıcak su noktalarından yararlanılarak hazırlanan sıcaklık dağılım haritası	271
Şekil 17.2:	GAP Bölgesi’nde jeotermal uygulamaların yapılabileceği iller	276

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1:	Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanma yerleri (Lindal, 1973).....	12
Tablo 3.1:	Jeotermal enerji doğrudan kullanımında Dünyadaki ilk 13 ülke sıralaması (Lund ve Boyd, 2015)	19
Tablo 3.2:	2015 yılı jeotermal enerji doğrudan kullanım kapasitesi ve enerji kullanım ve yüzdeleri (Lund ve Boyd, 2015)	20
Tablo 3.3:	2015 yılı Jeotermal enerjinin ülke ekonomilerine katkısı (Lund ve Boyd, 2015)	21
Tablo 3.4:	1995-2015 yılları arası Jeotermal enerjiden elektrik üretimi değerleri (Bertani, 2015).....	22
Tablo 4.1:	Elektrik üretilen alanlar ve işletme kapasitesi (EPDK, 2015)	26
Tablo 4.2:	Ülkelerin kurulu kapasiteleri (MWe) (Bertani, 2015'ten değiştirilerek)	26
Tablo 4.3:	Isıtma uygulaması yapılan alanlar ve fiilen ısıtılan/eşdeğer konut sayısı	27
Tablo 6.1:	Karacadağ volkanitlerinin majör, iz ve nadir toprak element kimyasal analizleri, radyometrik yaş ölçümleri ve stronsiyum izotop oranları	49
Tablo 6.2:	Karacadağ volkanitlerinin ölçülen K/Ar yaşları	51
Tablo 8.1:	Çörmük kaynağına ilişkin bilgiler	65
Tablo 8.2:	Çörmük kaynağında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	68
Tablo 8.3:	Çörmük Kaynağı için hesaplanan jeotermometre değerleri	70
Tablo 9.1:	Kozluk-Taşlıdere Jeotermal sahasında açılmış bulunan kuyular.....	78
Tablo 9.2:	Batman İl sınırları içinde TPAO tarafından açılmış bulunan kuyular ve bu kuyulara ilişkin derinlik ve kuyu dibi sıcaklıkları	79
Tablo 9.3:	Kozluk-Taşlıdere akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	81
Tablo 9.4:	Kozluk jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	84
Tablo 9.5:	Kozluk jeotermal sahasında kabuğun XRF ve XRD sonuçları	85
Tablo 9.6:	Şelmo 32A kuyusuna ait çıkış sıcaklığına bağlı tahmini potansiyel verileri.....	87
Tablo 10.1:	Çermik Jeotermal alanında yapılan sondajlar	99
Tablo 10.2:	Diyarbakır İl sınırları içinde TPAO tarafından açılan kuyulardaki kuyu dibi sıcaklıkları.....	100
Tablo 10.3:	Çermik Jeotermal sahasında kabuk ve kaya numunelerinin alındığı kesimler	101
Tablo 10.4:	Çermik jeotermal kaynağı ve çevresindeki katı örneklerin XRF ve XRD sonuçları... ..	102
Tablo 10.5:	Çermik akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	107
Tablo 10.6:	Çermik jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri....	109
Tablo 10.7:	Kuyuların ısı kapasiteleri	112
Tablo 10.8:	Merkez-Çarıklı jeotermal alanında açılan sondajlar	118
Tablo 11.1:	Kartalköy jeotermal sahasında bulunan kaynaklar (Işık ve Dilemre, 1999).....	124
Tablo 11.2:	Domuzdere kaynağından ve Kartalköy sıcak akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	128
Tablo 11.3:	Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	131
Tablo 11.4:	Araban jeotermal alanında açılan kuyulara ilişkin bilgiler	136
Tablo 11.5:	Araban jeotermal sahasındaki akışkanda ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	138
Tablo 11.6:	Araban jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri....	140
Tablo 11.7:	Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları.....	146
Tablo 11.8:	Durantaş jeotermal sahasında kabuğun XRF ve XRD sonuçları	147
Tablo 11.9:	Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	148

Tablo 12.1:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında açılan kuyu bilgileri.....	154
Tablo 12.2:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları.....	156
Tablo 12.3:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	157
Tablo 12.4:	Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahası'nın ısı potansiyeli.....	158
Tablo 13.1:	Mardin il sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar	168
Tablo 13.2:	Germav ve Hısta Jeotermal alanında bulunan kaynakların sıcaklıkları ve debileri (DSİ, 2012)	169
Tablo 13.3:	Germav ve Hısta akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	177
Tablo 14.1:	Billuris ve Lif jeotermal sahalarında bulunan kaynaklar	191
Tablo 14.2:	Billuris Jeotermal sahası ve çevresinde açılmış bulunan kuyular	192
Tablo 14.3:	Mardin İl sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar	192
Tablo 14.4:	Billuris ve Lif Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları	193
Tablo 14.5:	Billuris, Lif ve Botan Çayı'nda ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	197
Tablo 14.6:	Billuris ve Lif jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	199
Tablo 14.7:	Billuris jeotermal sahası mevcut sıcak su kaynakları ve kuyuya ait ısı potansiyel ..	200
Tablo 15.1:	Karaali jeotermal sahasında açılan sondaj kuyularından bazılarının özellikleri.....	212
Tablo 15.2:	Karaali sıcak akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	218
Tablo 15.3:	Karaali Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları	220
Tablo 15.4:	Karaali jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri	221
Tablo 15.5:	Karaali Jeotermal Sahası mevcut kuyuların ısı potansiyeli	222
Tablo 15.6:	Kabahaydar jeotermal sahasında açılan kuyuların litolojik özellikleri	230
Tablo 15.7:	Kabahaydar Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları	232
Tablo 15.8:	Kabahaydar jeotermal sahasında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	234
Tablo 15.9:	Kabahaydar jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri.....	236
Tablo 16.1:	Şırnak İl sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar	241
Tablo 16.2:	Ilıcak jeotermal sahası ve çevresindeki soğuk su kaynaklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları (18: Kaynak Suyu, 19: Zümrüt Kaplıcası, 20: Beytüşşebap içme suyu, 21: Kaniyagerm)	248
Tablo. 16.3:	Balveren-Besta jeotermal alanına ait kaynak özellikleri.....	256
Tablo 16.4:	Besta kaynaklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları.....	257
Tablo 16.5:	Besta_1 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri	259
Tablo 16.6:	Besta_2 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri	259
Tablo 16.7:	İkizce jeotermal alanına ait kaynakların özellikleri	262
Tablo 16.8:	İkizce kayn aklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları	264
Tablo 16.9:	İkizce_1 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri	266
Tablo 16.10:	İkizce_2 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri	266

1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde tüm dünya ülkelerinin en başta gelen sorunları arasındadır. Bunun en önemli nedenleri nüfus artışı, sanayileşme ve yaşam standartlarının yükselmesi olarak gösterilmektedir. Tüm dünyada hızlı bir artış gösteren enerji gereksiniminin büyük bir kısmı ancak bir süre daha fosil yakıtlar ve hidrolik enerji ile karşılanabilecektir. Fosil yakıtların giderek azalan rezervlerinin kısa bir dönemde tükenmesi ve bir süre sonra bunların yerini yeni enerji kaynaklarının alması beklenmektedir. Son yıllarda bütün ülkeler yeni enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem vermektedir. Bu enerjilerden en önemlisi ise yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerji günümüzde ve yakın gelecekte ülkelerin en önemli enerji kaynağı konumuna gelecektir (IEA, 2013; Baba, 2015; Bertani, 2015; Lund ve Boyd, 2015).

Jeotermal enerji; yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, jeolojik yapıya bağlı olarak yerkabuğunun ulaşılabilir derinliklerinde, doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılabilen, yeryüzüne su, buhar ve gaz ile de taşınabilen doğal kaynağın enerjisidir. Yeraltında bulunan yüksek sıcaklıktaki sıcak kuru kayalar ve bu kayalara dışarıdan basılan su, gaz ve diğer akışkanlardan sağlanan sıcak su, buhar ve gazlar da jeotermal enerji kaynağı tanımı kapsamındadır. Ticari anlamda, jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı olarak üretilebilen enerjiye jeotermal enerji denilmektedir. Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; yeni, yenilenebilir, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirlenici etkisi olmayan, sürdürülebilir, tükenmez, ucuz, güvenilir, çevre dostu ve ülkemiz için yerli bir enerji türüdür.

Jeotermal enerji, çok amaçlı ısıtma uygulamaları ve elektrik üretimi için uygun, meteorolojik koşullardan bağımsız, minimum alana ihtiyaç duyan (hidro, güneş vb'nin tersine), fosil ve diğer alternatif enerji kaynaklarına göre çok daha ucuz ve güvenilirdir (Baba ve Ármannsson, 2006). Jeotermal enerji genel bir enerji kaynağı olduğu, ithali ve ihracı ve uluslararası bir fiyatı olmadığı için savaşlara ve uluslararası problemlere neden olmaz. Jeotermal ısıtma evlere fuel-oil, mazot, kömür, odun ve atıklarının taşınmasını ortadan kaldıracığı için şehir içerisindeki trafiğin yükünü azaltır (TCKB, 2014).

Jeotermal enerjinin termal amaçlı olarak kullanımı ilk çağlardan beri bilinmektedir ancak enerji kaynağı olarak kullanımı ilk defa 1904 yılında İtalya'da Larderello kuru buhar jeotermal sahasında küçük çaplı bir elektrik santralının kurulması ile başlamıştır. Daha sonra birçok ülkede farklı amaçlar için (konut ısıtma, sera, termal turizm, balıkçılık, yolların ısıtılması gibi) jeotermal enerjinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde ise çevresel etmenlerden kaynaklı dünyada yenilenebilir enerji kullanımında bir takım anlaşmalarla zorunluluk getirilmiş ve ülkeler enerji üretim politikalarında yenilenebilir enerji paylarını artmışlardır. 2020 yılı itibariyle AB'nin yenilenebilir kaynaklardan üretilmiş enerji payının %20'ye ulaşması hedeflenmiştir. Türkiye ise 2023 yılına kadar yenilenebilir enerjinin toplam elektrik enerjisi talebinin en az % 30'unu ve ulaştırma sektörü ihtiyaçlarının da %10'unu yenilenebilir enerjiden karşılamayı hedeflemekte, diğer yandan 2023 yılında enerji yoğunluğunun yani birim GSYH başına tüketilen enerji miktarını 2011 yılını referans alarak en az %20 düşürmeyi amaçlamaktadır (ETKB, 2014). Bu nedenle son yıllarda jeotermal enerji kullanımı tüm dünya genelinde olduğu gibi ülkemizde de hızlı bir artış göstermektedir (Bertani, 2015; Lund ve diğ., 2015). Hem Türkiye 2023 Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı'nda hem de Güneydoğu Anadolu Projesi

(GAP) 2014-2018 Eylem Planı'nda da bölgede jeotermal kaynakların geliştirilmesine yönelik araştırmaların yapılacağı vurgulanmıştır (GAP, 2014).

Bu alışma kapsamında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan jeotermal sahaların jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal özellikleri, kullanım alanları ve potansiyelleri ile ilgili detaylı bilgiler verilecektir. Jeotermal kaynaklar açısından Güneydoğu Anadolu Bölgesi önemli bir paya sahiptir. TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış ancak sıcak akışkan çıktığı için işletilmeyen çok sayıda kuyu bulunmaktadır. Yapılan gözlemlere göre Adıyaman, Batman, Diyarbakır ve şırnak illerinde TPAO tarafından derinlikleri 1000 m ile 4000 m arasında değişen birçok kuyu bulunmaktadır. Bu kuyuların rezervuar sıcaklıklar 150 °C'ye ulaşan sahalar vardır. Bu verilerde alanın jeotermal açısından oldukça önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Batman (Kozluk-Taşlıdere), Diyarbakır (ermik), Gaziantep (Durantaş), şanlıurfa (Karaali), şırnak (Hısta-Belkıs Ana, Ilıcak-Zümrüt Kaplıcası, İkiyce-Nasrafan Kaplıcası), Siirt (Billuris) ve Mardin (Germav-İlisu)'de termal turizm amaçlı olarak az da olsa sıcak su kaynaklarından faydalanılmaktadır. Ancak, Diyarbakır (arıklı), Gaziantep (Kartalköy, Araban), Kilis (Kürtüncük-Güvenli), şanlıurfa (Kabahaydar), Siirt (Lif) şırnak (Kaniyagerm ve Besta) illerinde yer alan jeotermal kaynaklardan yararlanılmamaktadır. Bu kaynakların geliştirilmesi bölge ekonomisine ciddi katkı sağlayacaktır.

GAP İdaresi'nin belirlediği 3 temel sektörden biri olan "yenilenebilir enerji" kapsamında, bölgede mevcut jeotermal kaynakların yine GAP İdaresi tarafından belirlenen 3 temel sektörden biri olan "turizm"e kazandırılması ve bölgede en önemli faaliyetlerden olan tarımı/organik tarımı (sera ısıtma vb.) ve hayvancılığı (balık çiftlikleri, ahır/kümes ısıtma vb.) desteklemek amacıyla kullanılması son derece önemlidir. Bununla birlikte GAP Bölgesi'ndeki tarımsal üretim işletmelerinin rekabet gücü ve verimliliğini arttırmak üzere geliştirilen projelerde jeotermal kaynakların kullanılması yöre üreticilerine önemli bir rekabet avantajı sağlayacaktır. Seralarda bitki için gerekli olan optimum sıcaklık şartının ucuz bir enerji kaynağı ile sağlanmasıyla erken ürün alma, rekolte artışı ve ürün çeşitliliğinin artırılması mümkün olacaktır. Böylece katma değeri yüksek ürünlerle ekonomik katkı artacaktır.

1.1. AMAÇ

Ülkemizdeki jeotermal alanlarda yapılan çalışmalar fosil enerji kaynakları kadar olmasa bile kullanım olanaklarının sağladığı avantajlardan dolayı seçenek olarak değerlendirilebilecek, önemli bir jeotermal enerji potansiyelinin varlığını göstermektedir. Bu olgu, Türkiye'de jeotermal kaynakların önemsenmesine yol açmış ve son yıllarda kaynağa dönük ciddi yatırımlar gerçekleştirilmiştir. Bu proje ile GAP Bölgesi'nde diğer bir adıyla Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ndeki jeotermal sahalar ile ilgili yeni bilgiler ve potansiyellerin ortaya çıkarılması hedeflenmiştir.

Jeotermal sektöründeki yatırım olanakları ve ülke kaynak potansiyelinin günümüzde ulaştığı değerlerden yola çıkarak yapılan değerlendirmeler; Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan jeotermal alanlarda önemli bir potansiyelin var olduğunu ve bu alanlarda yapılacak yatırımların ülke ekonomisine katkıda bulunmanın yanında, kaynak kullanımının yaratacağı kazançlardan bölge halkının yararlanmasını sağlayacağını ve ciddi bir istihdam alanı yaratacağını göstermektedir. Bu olgudan hareketle kaynakların mevcut durumunun saptanması, önceki çalışmaların irdelenmesi, kaynakların yer aldığı alanların bölge

jeodinamiğinde şekillenen jeotermal sistemlerle ilişkilerinin belirlenmesi, yerinde yapılan gözlem ve analizlerle yeniden değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda bölgedeki jeotermal kaynakların entegre kullanılması ve maksimum ölçüde değerlendirilme seçeneklerinin ortaya konulmasına yönelik, alanlarda inceleme ve araştırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

1.2. KAPSAM

Güneydoğu Anadolu Bölgesi önemli jeotermal sistemleri barındırmaktadır. Yörede daha önce yapılan çalışmalarda üretilen jeoloji, hidrotermal, jeofizik ve kuyu bilgileri bölgenin önemli bir jeotermal potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle Adıyaman, Batman, Diyarbakır, Gaziantep, Kilis, Mardin, Şanlıurfa, Siirt ve Şırnak illerindeki jeotermal sahalarda jeotermal kaynak oluşumu ile ilişkilendirilecek jeotermal bileşen içeriğini saptamak, kaynağın oluştuğu jeolojik ortamın özelliklerini incelemek ve sahaların akışkan üretme yeteneğini belirlemek amacıyla dönük yerinde inceleme ve gözlemler gerçekleştirilmiş, kaynak başı analizleri yapılmış, laboratuvar analizleri için su ve kayaç örnekleri alınarak değerlendirilmiştir. Sistematik olarak sürdürülen söz konusu araştırmalar büro çalışmaları, ön incelemeler ve Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nden sağlanan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritalarının amaca yönelik olarak revizyonunu içermektedir. Bu kapsamda, alanlardaki litostratigrafi birimlerinin tanımlanması, konuyla yakın ilişkisi nedeniyle sahalar ve yakın çevresinin tektonik yapısının ve faylarının incelenmesi, sıcak su kaynakları ile olan mekânsal ve yapısal ilişkilerinin aydınlatılmasına yönelik gözlemler gerçekleştirilmiştir.

Bu rapor, bu alanlarda daha önce yapılan çalışmalar (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ve Özel sektör) ile bu projede gerçekleştirilen inceleme, gözlem ve analizlerin sonuçları esas alınarak yapılan değerlendirmeleri ve önerileri içermektedir. İnceleme sahasında yapılan jeolojik gözlemler daha önce bölgede gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar (birimlerin yaş ve stratigrafik konumları ve litolojik içerikleri) temel alınarak revize edilmiştir. İncelenen sahaların jeoloji haritaları, MTA Genel Müdürlüğü'nden sağlanan haritaların amaca yönelik revizyonu şeklinde hazırlanmıştır. Jeoloji ve bazı alanlardaki jeofizik etütler ile hidrojeokimyasal analizleri içeren kapsamlı araştırmalarda üretilen bilgilere dayandırılan değerlendirmeler ise raporda toplanmıştır.

Bu raporun ilk bölümünde araştırmanın amacı ve kapsamı ile uygulanan yöntemler açıklanmaktadır. Diğer bölümlerinde ise bölgenin genel jeolojisi, stratigrafisi ve tektonik özelliklerine ilişkin bilgiler verilmektedir. Ayrıca çalışmada, bölge yakın çevresindeki magmatizma ve volkanizmaya öz olarak değinilmektedir. Araştırma sahalarının jeotermal potansiyelinin tartışılmasına olanak sağlayan jeolojik bulgu ve fizikokimyasal veriler, jeotermal değerlendirmeler için jeolojik bilgi altyapısı niteliğinde rapor içeriğinde yer almaktadır. Jeotermal sahaların özellikleri, bazı alanlardaki jeofizik ölçüm sonuçları, çalışılan sahalar ve çevresindeki sıcak ve soğuk su kaynaklarında yapılan kaynak başı analizleri ile seçilen örneklerin kimyasal ve izotop analizleri, kayaçlardan derlenen hidrotermal alterasyon örneklerinin analiz sonuçları esas alınarak yapılan yorumlar, araştırmada elde edilen bulguların genel bir sentezi, ulaşılan genel ve spesifik sonuçlara, mevcut ısıl potansiyel ve yatırım olanaklarına ilişkin değerlendirme ve öneriler raporun kapsamını oluşturan diğer bölümlerdir.

1.3. YÖNTEM

Projenin kapsadığı jeotermal alanlardaki çalışmalarda esas alınan temel ilke, jeotermal kaynaktan ekonomik olarak yararlanmak için alanlarda yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte ve yeterlilikte karşılanabileceğine yönelik bilgilerin üretilmesidir. Bu araştırma anlayışından yola çıkarak önce mevcut durumun saptanması, daha sonra tercih edilen araştırma yönteminin gerektirdiği tekniklerin uygulama sonuçlarının değerlendirilmesiyle kullanım ve değerlendirme seçeneklerinin sunulması amaçlanmıştır. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Jeolojik ve Tektonik Çalışmalar

Araştırmanın hazırlık aşamasında bölgesel jeoloji ve tektonik özellikler ile jeotermal alanlarla ilgili literatür derlemesi yapılmış, uydu görüntülerinden bölgenin ana tektonik yapıları ve çizgisellikler belirlenerek çalışmada odaklanması gereken jeo-tektonik özellikler tartışılmıştır. Bölgenin tektonik yapısı irdelenerek sahaların bölgesel neotektonik yapı içindeki konumları belirlenmeye çalışılmıştır. Arazi gözlemlerinde belirlenen faylar, alterasyonlar, soğuk-sıcak su kaynakları vb. veriler daha önce yapılmış olan haritalara işlenmiştir. Oluşturulan haritalar yardımı ile jeolojik, tektonik, volkanizma ve hidrotermal alterasyon bulgularının ortak sentezi sonucu alanların jeotermal sistem bileşenleri tartışılarak jeotermal sistemin ısı kaynağı, rezervuar ve örtü kaya özellikleri irdelenmiştir. Sahaların jeolojisi ve tektoniği jeotermal kaynak potansiyeli açısından incelenmiştir.

Hidrojeolojik Çalışmalar

Proje sahasındaki jeolojik kayaların hidrojeolojik özellikleri detaylı olarak irdelenmiş, yeraltı suyu (YAS) içeren kayalara ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır. Arazi gözlemlerine dayanılarak elde edilen veriler yardımıyla sahalara ilişkin hidrojeoloji haritaları çizilmiştir.

Hidrojeokimyasal Çalışmalar

Proje sahasında jeotermal kaynaklardan ve kuyulardan hem fiziksel hem de kimyasal analizler için numune alınmıştır. Örnekleme noktaları mekânsal olarak alanı yansıtabilecek şekilde seçilmiştir. Tüm örnekleme noktalarında sıcaklık, pH ve elektriksel iletkenlik (EI) gibi fizikokimyasal parametre ölçümleri Hach-Lange HQ40D çoklu parametre probu ile yerinde yapılmıştır. Sahadaki su örnekleme bu çalışmanın önemli bir kısmını teşkil etmektedir. Ortaya çıkabilecek laboratuvar ölçüm hataları ile laboratuvardaki analiz ve test yöntemlerinden doğabilecek hataların en aza indirilmesi için örnek sayısı ve örneklemenin doğru yapılmasına dikkat edilmiştir. Suların örnekleme sırasında farklı hacimlerde (50, 100, 250 ve 1000 ml) sızdırmaz kapaklı polietilen örnekleme şişeleri kullanılmış olup, örnek kapları doldurulmadan önce örnekleme yapılan sularla üç kez çalkalanmıştır. Sularda major anyon ve katyon analizleri İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü ve ulusal standart kalite belgesine sahip Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında, ağır metal analizleri uluslararası standart kalite belgesine sahip ACME laboratuvarlarında, izotop analizleri ise Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği su kimyası laboratuvarlarında yapılmıştır. Örneklemeelerde, temel anyon ve katyonlar için 250 ml, ağır metal ve eser elementler için 100 ml, trityum analizleri için 1000 ml, oksijen-18 ve döteryum izotopu analizleri için ise 50 ml hacimli şişeler kullanılmıştır.

Ağır metal ve eser element analizi için alınan su örneklerinde elementlerin dibe çökmelerini ve yüzeye tutunmalarını önlemek amacıyla örneğin pH'ını 2 - 3 aralığına indirmek için 0,1 -

0,2 ml arasında derişik nitrik asit (HNO_3) ilave edilmiştir. Eklenen nitrik asit ortamda gaz çıkışına sebep olduğundan örnekleme kabının kapağı gazın çıkması sağlandıktan sonra kapatılmıştır. Örnekler analiz edilmeden önce laboratuvarında milipore marka 0,45 μm gözenekli filtrelerle filtrelenmiştir. Daha sonra tüm ağır metal ve eser element örnekleri endüktif eşlenik plazma – kütle spektrometresi (ICP-MS) yöntemi ile analiz edilmiştir. Elde edilen bütün veriler 2005 yılında Resmi Gazete’de yayınlanan İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2005)’teki limitler ile karşılaştırılmıştır.

Major anyon ve katyon analizleri için alınan örnekler de milipore marka 0,45 μm gözenekli filtrelerle filtrelenmiştir. Ancak bu örneklerde nitrik asit ile asitlendirme yapılmamıştır. Tüm örnekler polietilen şişelere hava kalmayacak şekilde doldurulmuş ve örnekler arazi tipi buzdolabında +4 °C’de saklanmıştır. Daha sonra tüm major anyon ve katyon örnekleri iyon kromatografi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir. Hidrojeokimyasal verilerin istatistiki özetlerinin çıkarılması, iyonları topluca tek bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan yöntemlerden Piper ve Schoeller diyagramlarına aktarılmıştır. Piper sınıflamasına göre eşkenar üçgenlerden meydana gelen katyon ve anyon üçgenine iyonların % meq/L değerleri işaretlenerek bulunan noktalar iki üçgenin üzerine çizilen bir eşkenar dörtgene taşınarak kesiştiği nokta ile suyun sınıfı belirlenmektedir. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen diyagramlar ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Schoeller yarı logaritmik diyagramı ise logaritmik ölçekli Y ekseninde element derişimlerinin meq/L olarak yer aldığı, X ekseninde sırasıyla Mg^{2+} , Ca^+ , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Cl^- , SO_4^{2-} ve HCO_3^- iyonlarını gösteren bir diyagramdır. Bu diyagram üzerine işaretlenen element derişimlerinin oluşturduğu çizgilerin yorumlanması yoluyla suların kökenlerinin benzer olup olmadığı değerlendirilmiştir. Hidrojeokimyasal verilerden yararlanılarak rezervuar sıcaklığına yönelik tahminler yapılmıştır. Analiz sonuçları, suların karakteristik özellikleri, sınıfları, köken ilişkileri, su-kayaç etkileşim özellikleri, dolaşım mekanizmaları gibi bilgiler arazi gözlemleri ile beraber değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Jeokimyasal Çalışmalar

Bazı jeotermal sahalarda oluşan kabuk örneklerinden ve altere olmuş kayalardan numuneler alınarak İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Laboratuvarları’nda bir dizi jeokimyasal analiz (X-Işınları Floresans Spektrometre (XRF), X-Işını Difraktometre (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) cihazları ile) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarla, oluşan kabuğun özelliği ve sıcaklık tahminleri yapılmıştır.

Jeofizik Çalışmalar

Bazı sahalarda daha önce yapılmış olan jeofizik çalışmalarından jeolojik verilerin desteklenmesi, yeraltı bilgi eksikliğinin giderilmesi, yüzeyde iyi gözlenemeyen fayların belirlenmesi ve jeotermal aktivite yorumlamalarında yararlanılmıştır.

Jeotermometreler

Proje sahasında alınan su numunelerinden yararlanılarak alandaki suların rezervuar sıcaklığına yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Jeotermometre ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı yorumlanabilmekte hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya

uygulanıp/uygulanamadığı kontrol edilmektedir. Bu proje kapsamında, Na-K, K-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Na-K-Mg ve silis jeotermometresi kullanılmıştır.

Doyunluk İndeksleri

Jeotermal sahalarda ölçülen major katyonlardan yararlanılarak sahadaki akışkanda farklı sıcaklıklarda oluşabilecek minerallerin doyunlukları hesaplanmış, T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doyunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir. Ayrıca bazı sahalarda doyunluk indekslerinden yararlanılarak olası rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmiştir.

Isıl Potansiyelin Belirlenmesi

Bir jeotermal kaynağın ısı potansiyelinin (içerdiği ısı miktarı) ve kullanım alanının belirlenmesinde en önemli iki parametre sıcaklık ve debidir. Bu iki parametre ve sahanın bulunduğu bölgenin ekonomik, lojistik, coğrafik özellikleri göz önünde bulundurularak uygulama alanları önerilir. Rapor kapsamında mevcut kaynakların sıcaklık ve debilerine bağlı olarak ısı potansiyelleri hesaplanmıştır. Bu potansiyele bağlı olarak bir sahada yapılacak olan yatırımın kapasitesi kabaca belirlenebilir. Bu değerler yatırımcıya bir fikir verecektir. Yatırım kararı için detaylı fizibilite çalışması yapılmalıdır.

Mevcut bir jeotermal kaynağın ısı potansiyeli Eşitlik 1.1'e göre hesaplanır. Daha detaylı potansiyel hesabı için rezervuar modelinin yapılmasına ihtiyaç vardır. Proje sonrasında rezervuar modeli yapılan sahalarda ısı potansiyel hesabı güncellenmelidir. Modele her eklenen sondaj bilgisi daha somut bir ısı potansiyel hesabı yapılmasını sağlayacaktır. Rezervuar modeli yapıp sondajlarla geliştirilerek saha yönetimi, sürdürülebilirliği ve doğru yatırım olanakları sağlanmış olacaktır.

$$Q=AHC_v(T - T_o) \quad (\text{West Jec, 2000}) \quad (1.1)$$

Bu eşitlikte A: kaynağın alanı (km²), H: kaynağın derinliği (km), C_v: hacimsel ısı kapasitesi (J/(km³ °C), T: kaynağın ortalama sıcaklığı (°C), T_o: ortalama dış ortam sıcaklığı (°C) olarak ifade edilmektedir. Hacimsel ısı kapasitesi sıcaklık ile değişiyor olmakla beraber hesaplamalarda ortalama 2,5 J/(cm³°C) olarak alınmaktadır.

Eşitlik 1.1'in kullanılabilmesi için rezervuar alanı, derinliği, sıcaklığı ile hacimsel ısı kapasitesinin belirlenebilmesi için rezervuarı oluşturan kayaçların gözeneklilik, su içeriği ve litolojiye ait bilgilerin mevcut olması gereklidir. GAP bölgesindeki sahalarda henüz rezervuar modelleri oluşturulmadığı için sahaların alanı, derinliği ve kayaçların ısı kapasiteleri konusunda güvenilir bilgi mevcut değildir. Bu nedenle Eşitlik 1.1'e göre depolanmış ısı enerjisi hesabı yapılamamaktadır. Bunun yerine mevcut kuyu ve doğal çıkışlara ait sıcaklık ve debi ölçümleri kullanılarak Eşitlik 1.2'ye göre kullanılabilir ısı gücü hesaplanmıştır (West Jec, 2000).

$$Q = \dot{m}C_p (T_g - T_c) \quad (1.2)$$

\dot{m} : Jeotermal akışkan debisi (kg/s), C_p: Spesifik ısı (su için: 4,2 kJ/kgK (su sıcaklığı 0-100°C arasında 4,18-4,22 kJ/kgK arasında değiştiği için ortalama 4,2 kJ/kgK olarak alınmıştır) (Çengel and Boles, 2011), T_g: Jeotermal akışkan kuyu yada doğal kaynak sıcaklığı (°C), T_c: Jeotermal akışkanın kullanımdan sonraki atım ya da re-enjeksiyon sıcaklığı (°C).

T_c ; uygulama alanına, ısı ihtiyacına, dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. T_c sıcaklığı bu çalışmada 20-25-30-35-40 °C olarak alınmıştır. Bu sıcaklık dış ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden bu projede bölgenin yıllık ortalama maksimum dış ortam sıcaklığı ve civarını temsil edecek 5 farklı sıcaklık olarak seçilmiştir.

Gerçekleştirilecek uygulamaya, akışkan ısı değiştirgecinden geçirecekse ısı değiştirgeci performansına göre farklı çıkış sıcaklıkları oluşacaktır. Bu nedenle ilgili sahada gerçekleştirilmesi planlanan uygulamaya bağlı olarak hesaplamaların yenilenmesi önerilir.

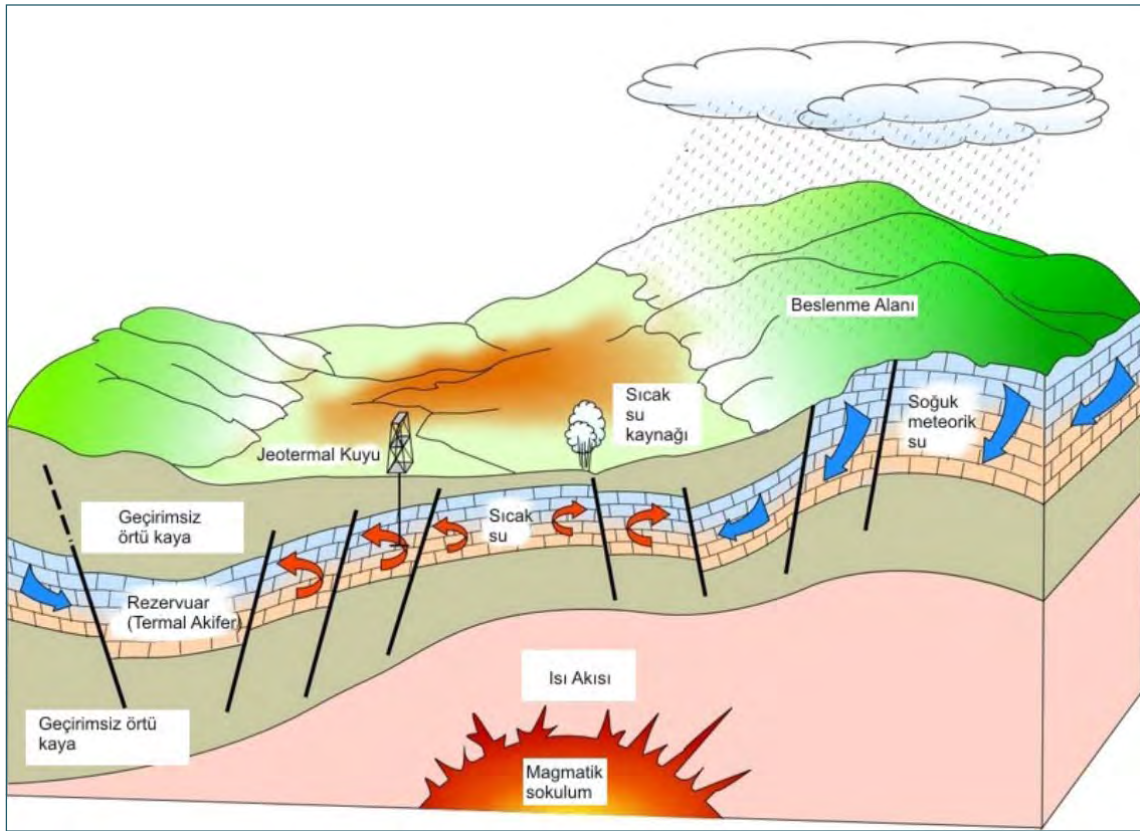
2. JEOTERMAL SİSTEMLERLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu bölümde rapor içeriğinde incelenen sahalarla ilgili değerlendirmelerde kullanılan kavramların ve yaklaşımların daha iyi ifade edilmeleri için temel bilgilerden başlanarak jeotermal sektörde uygulanan arama ve araştırma teknikleri ile ilgili bilgiler anlatılmaktadır.

2.1. JEOTERMAL KAVRAMLAR

2.1.1. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji jeolojik yapıya bağlı olarak oluşan, doğrudan ya da başka enerji türlerine dönüştürülerek yararlanılabilen, yeryüzüne su, buhar ve gaz ile de taşınabilen yerkağının ulaşılabilir derinliklerindeki doğal kaynağın ısı enerjisidir (Şekil 2.1). Ayrıca herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanan "Sıcak Kuru Kayalar" da jeotermal enerji kaynağıdır.



Şekil 2.1: Jeotermal sistemin şematik gösterimi (YEGM, 2015)

2.1.2. Jeotermal Sistem

Biri değiştiğinde ötekilerde de değişikliğe neden olacak şekilde etkileşimli bir bütünsellik içinde yer alan ısı kaynağı, ısı taşıyan akışkan, bunun dolaşım biriktiği kaya ortamı, basınç ve

sıcaklık koşulları, kimyasal bileşenler, bunların beslenme ve boşalma cepheleri ile benzerlerinin tümünü ifade eden ve doğal yollarla birbirleri ile bağ oluşturan sistemdir.

2.1.3. Jeotermal Saha

Derindeki jeotermal rezervuarın, jeolojik araştırmalar ve aletsel ölçümlerle sınırları tanımlanmış yüzeydeki izdüşümü olan yeryüzü parçasıdır.

2.1.4. Jeotermal Sistemin Elemanları

2.1.4.1. Isı Taşıyan Akışkan

Çoğunlukla meteorik kökenli, eser olarak magmatik, metamorfik ve fosil sular da içerebilen, derindeki ısıyı taşımak için kabuk içerisinde dolaşan sulardır. Henüz soğumasını tamamlamamış derinlerdeki bir sokulımdan yayılan ısıyla genellikle kondüktif olarak ısınan akışkanlar, yoğunluk farkı nedeniyle yukarı doğru çıkarak derinlerdeki ısıyı yukarıya doğru taşırlar ve rezervuar kayaç içerisinde depolanırlar. Aynı zamanda yüzeye ulaşarak sıcak su, gaz veya buhar çıkışları şeklinde kaynağı oluştururlar.

2.1.4.2. Rezervuar Kaya ve/veya Zon

Yerkürenin en dıştaki bölümünü oluşturan kabuktaki kıvrımlanma ve kırılmaların, litolojik birimler içerisinde yarattığı yukarılara doğru taşınan ısınmış akışkanın depolanabileceği kırık ve çatlaklı ortamdır. Genellikle tektonik süreçlerle ikincil geçirimsizlik kazanmış olan kaya birimleridir. Akışkanın içerisinde depolanmasını sağlarlar. Değerlendirme yapılırken litolojik özellikleri yanında tektonik konumu da esas alınır. Ekonomik anlamda sığ derinlikte, poroziteli ve permeabiliteli litolojik birimler rezervuar kaya ve/veya zonlar olarak adlandırılır.

2.1.4.3. Isı Kaynağı

Jeotermal kaynak oluşumunda ana bileşenlerden birisi de ısı kaynağıdır. Isı kaynağı, yerküre içindeki akkor ve mantodan kaynaklanan ısıdır. Bunun yanında radyoaktif mineral bozunması da ısı kaynağını oluşturur. Yerkabuğu hareketleri nedeniyle kabuktaki kıvrımlanma ve kırılmalar ile manto üst kesimindeki magma ayrılaşması sonucu gelişen magmatik sokulumlar ve volkanik faaliyetlerle yerin derinliklerinde bulunan ısı, kabuk içerisinde sığ derinliklere ulaşabilmektedir. Bu ısı etrafındaki kayaçları da ısıtarak, bölgede bir ısı anomalisi oluşturur ve ekonomik derinlikte jeotermal sistem oluşturabilecek boyut ve yaşta ısı kaynağını yaratır. Değerlendirmede ısı kaynağının derinliği ve geometrisi dikkate alınır.

2.1.4.4. Örtü Kaya

Isı ve ısınmış akışkanı rezervuar içinde tutmayı ve ısısını korumayı sağlayan örtü kayaç, rezervuar kaya üzerinde geçirimsiz kaya birimlerinden oluşur.

2.1.4.5. Beslenme Alanı

Sistemi besleyen akışkan alanıdır. Jeotermal kaynak araştırmalarında, beslenme alanlarının ve yollarının belirlenmesi sistemin ne kadar akışkan üretebileceğinin tahmininde önemli bilgiler sağlamaktadır.

2.1.5. Alterasyon

Yerkabuğunun görece sığ kesimlerindeki kayaçların, içlerinde dolaşan ısı yüklü hidrotermal akışkanlarla etkilenmesi sonucu oluşan kimyasal ve mineralojik faz değişimleri “hidrotermal alterasyon” olarak adlandırılmaktadır. Hidrotermal alterasyon sonucu kayaçlarda oluşan yeni

mineraller ile jeotermal akışkanın sıcaklığı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkiden hareketle altere olmuş kaya birimlerindeki hidrotermal alterasyon sonucu oluşan hidrotermal alterasyon mineralleri incelenerek alterasyon derecesine göre akışkan sıcaklığı hakkında öngörülebilir bulunmaktadır.

2.1.6. Jeotermal Rezervuar

Jeotermal sistemin kaynak olarak işletilebilir hacimsel bütünlüğüdür.

2.1.7. Jeotermal Sahaların Sınıflandırılması

Ülkelere ve kökenlerine göre değişik sınıflandırmalar olmasına karşılık jeotermal sahalar, yaygın olarak kullanılan sıcaklık değerlerine ve ülkemiz koşullarına göre kabaca üç gruba ayrılır (Kaymakçioğlu ve Kayabaşı, 2005).

- Düşük Entalpili Sahalar (20-70 °C)
- Orta Entalpili Sahalar (70-150 °C)
- Yüksek Entalpili Sahalar (150 °C den yüksek).

Bu sıcaklık eşik değerleri, yüksek sıcaklıklı (entalpili) jeotermal sahalarla sahip birçok ülkede;

- Düşük entalpili <150 °C,
- Yüksek entalpili >150 °C şeklinde de sınıflanabilmektedir.

2.1.8. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları

Jeotermal kaynakların kullanım alanları, gelişen teknolojiye bağlı olarak günümüzde çok yaygınlaşmış ve çeşitlenmiştir. Jeotermal enerjiden günümüzde ya doğrudan kullanım, ya da elektrik üretiminde yararlanılmaktadır.

Jeotermal sahalardan üretilen jeotermal akışkan;

- Isıtma uygulaması: Sera, konut, tarımsal kullanımlar, balıkçılık, yol-kaldırım ısıtılması,
- Endüstride: Yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayi, dericilik ve soğutma tesislerinde,
- Kimyasal madde üretiminde: Borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su ve akışkandaki karbondioksitten kuru buz ve sıvı karbondioksit elde edilmesinde kullanılmaktadır.
- Yüksek sıcaklıklı sahalardan elde edilen akışkandan ise elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da yararlanılmaktadır.

Jeotermal kaynakların kullanım alanları, sıcaklıklarına bağlı olarak Tablo 2.1'de görüldüğü gibi sınıflandırılabilir (Lindal, 1973). Tablo 2.1'den görüleceği gibi 100 °C'nin altındaki sıcaklıklar ısıtma ve kaplıca uygulamalarında, kurutmada, balık çiftliklerinde kullanılabilirken, 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar ise elektrik üretiminde (binary ve konvansiyonel) ve sıcak su ve buhar ihtiyacı olan endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

GAP Bölgesi'nde TPAO tarafından açılan, akışkan içeren ve kullanılmayan kuyular dışında mevcut durumda 100 °C ve üzerinde sıcaklık görülmediği için elektrik üretimi ile yüksek sıcaklıkta su ve buhar gerektiren endüstriyel uygulamalar mümkün değildir. Öte yandan mevcut jeotermal sahalarda derin sondajlarla yüksek sıcaklıklara ulaşılması, yeni sahaların keşfedilmesi ile bu uygulamalar da mümkün olabilir. Sıcak akışkan içeren TPAO kuyularının işletilmesi ile endüstriyel uygulamalar mümkün olabilir.

2.1.8.1. Isıtma

Sıcaklığı 40 °C 'den yüksek jeotermal akışkanlar;

- Binaları ve kentleri merkezi sistemle ısıtmada,
- Seraların ısıtılması ile turfanda sebzeçilik, meyvecilik, çiçekçilik yapılmasında,
- Tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde,
- Tavuk ve hayvan çiftliklerinin ısıtılmasında,
- Toprak, cadde, havaalanı pistlerinin ısıtılmasında,
- Yüzme havuzu, termal tedavi ve diğer turistik tesislerde kaplıca amaçlı kullanım
- Yiyeceklerin kurutulmasında ve sterilize edilmesinde, konserveçilikte kullanılmaktadır.

Tablo 2.1: Jeotermal akışkanın sıcaklığına göre kullanma yerleri (Lindal, 1973)

Sıcaklık(°C)	Kullanım Alanı		
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonun buharlaşması	Konvansiyonel Elektrik Üretimi	
	Amonyum absorpsiyonu ile soğutma		
	Hidrojen süfit yolu ile ağır su eldesi		
170	Diyatomitlerin kurutulması		
	Kağıt hamuru yumuşatma		
160	Kereste kurutulması		
	Balık vb. yiyeceklerin kurutulması		Binary Cycle Elektrik Üretimi
150	Bayer's yoluyla alüminyum eldesi		
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması(konserveçilikte)		
130	Şeker endüstrisi		
	Tuz eldesi	Isı Pompaları ile Isıtma	
120	Temiz su eldesi		
	Tuzluluk oranının artırılması		
110	Çimento kurutulması		
	Organik maddeleri kurutma(Yosun, et, sebze vb.)		
100	Yün yıkama ve kurutma		
90	Balık kurutma		
80	Ev ve sera ısıtma		
70	Soğutma(alt sıcaklık sınırı)		
60	Kümes ve ahır ısıtma-havalandırma		
	Mantar yetiştirme		
50	Balneolojik banyolar		
40	Toprak ısıtma, kent ısıtması(alt sınır), sağlık tesisleri		
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri		
20	Balık çiftlikleri		

2.1.8.2. Endüstriyel Uygulamalar

- Kerestecilikte ve ağaç kaplama sanayinde,
- Dokuma ve boyamacılıkta,
- Deri kurutma ve işlemede,
- Bira ve benzeri endüstrilerde mayalama ve damıtmada,
- Soğutma tesislerinde ve beton blok kurutulmasında kullanılmaktadır.

2.1.8.3. Kimyasal Madde Üretimi

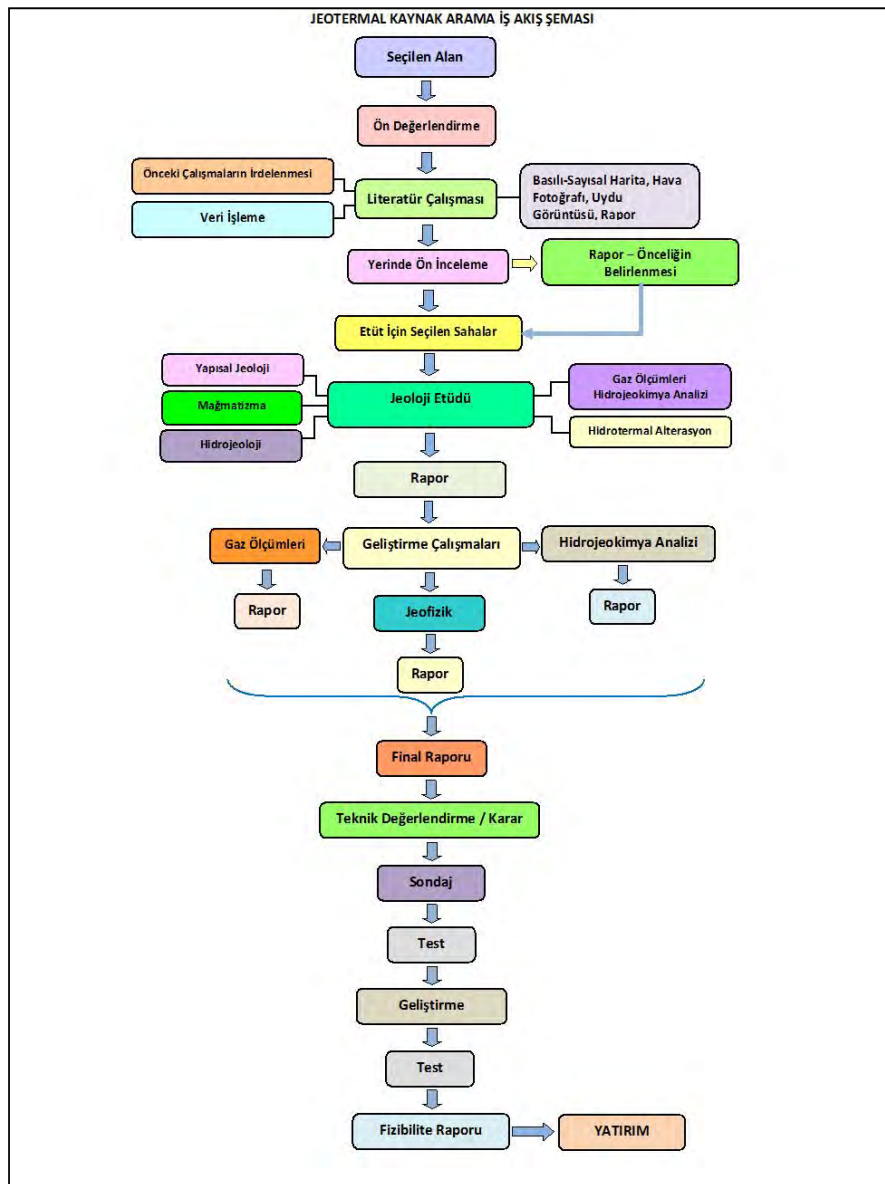
- Borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, amonyum sülfat, potasyum klorür, lityum, hidrojen, karbondioksit vb. kimyasal maddelerin elde edilmesinde,
- Jeotermal akışkandaki CO₂'den kuru buz elde edilmesinde kullanılmaktadır

2.1.8.4. Elektrik Enerjisi Üretimi

Jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi, konvansiyonel (>150 °C) ya da Organik Rankine Çevrimi (ORC) (100-150 °C) kullanan santrallerde üretilir. Konvansiyonel elektrik santrallerinde kuyulardan üretilen akışkan, seperatörlerde buhar ve su olarak ayrıştırıldıktan sonra buhar, türbinlere gönderilerek jeneratör aracılığı ile elektrik üretilir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde kapasite faktörü % 95'lere ulaşmaktadır.

2.2. JEOTERMAL KAYNAK ARAŞTIRMALARINDA UYGULANAN YÖNTEMLER

Jeotermal enerji araştırmaları ön değerlendirmeden fizibilite aşamasına kadar jeoloji, jeofizik, hidrojeoloji, jeokimya, alterasyon ve sondaj çalışmaları başta olmak üzere çeşitli konuları içeren basamaklardan oluşmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2: Jeotermal kaynak aramalarındaki iş akış şeması

2.2.1. Ön Değerlendirme

Yerin derinliklerinde bulunan jeotermal kaynaklar, yüzeyde bir şekilde ipuçları verirler. Ön değerlendirme çalışmaları sırasında jeotermal kaynakların varlığına işaret edebilecek kar tutmayan alanların varlığı, tektonik unsurların ve alterasyonların yoğunluğu, yüzeye ulaşan sıcak su kaynakları, buhar çıkışları, derinde var olabilecek sıcak zonların göstergeleri olarak değerlendirilip ileri aşama çalışmaları yapılacak alan sınırları belirlenmektedir.

2.2.2. Literatür Çalışması

Ön değerlendirme çalışmaları sonucunda belirlenen hedef alanda jeolojik çalışma öncesinde alanın tektonik anlamda çizgiselliklerinin ve alterasyon zonlarının belirlenmesi amacıyla uzay ve hava fotoğrafları üzerinde çalışma yapılır. Belirlenen tektonik hatlar ve alterasyona yönelik elde edilen bilgiler ayrıntılı jeolojik etütler sırasında yerinde denetlenir.

2.2.3. Jeolojik Çalışmalar

Jeotermal kaynak aramalarında uygulanacak yöntemlerin adımının doğru seçimi hem sonuca ulaşmak hem de maddi kaybı önlemek bakımından akılcı, ekonomik ve teknik bir yaklaşım olmalıdır. Jeotermal sistemler genellikle yüzeyde ipuçları verirler. Jeotermal aktivitenin yüzey göstergeleri olarak tanımlanan bu ipuçlarının incelenip değerlendirilmesi sahanın, jeotermal karakterini doğru tanımlamak ve derinlerdeki jeotermal kaynak yeteneğini yansıtacak bilgileri elde etmek üzere yapılan jeoloji etüdü, jeotermal kaynak aramalarında etaplar halinde uygulanan yöntemlerin ilk adımındır. Alanda yapılan jeoloji etüdünde jeotermal aktivitenin varlığını ortaya koymaya yönelik değerlendirmeye esas olacak jeodinamik özellikler, kaya birimlerinin oluştuğu ortam ve süreçler, stratigrafik dizilim, yapısal unsurlar, magmatik ve volkanik aktivite gibi bilgiler üretilir.

2.2.4. Hidrojeokimya Çalışmalar

Bu uygulama kapsamında çalışma sahası ve yakın çevresindeki doğal çıkışlar, çeşme, kuyu, sondaj gibi soğuk ve sıcak su kaynaklarında çeşitli fizikokimyasal parametrelerin (Sıcaklık, pH, TDS (Toplam çözünmüş katı madde), EI (Elektriksel iletkenlik), tuzluluk vb) ölçümü yapılmaktadır. Bu ölçümler sonrasında soğuk ve sıcak su kaynaklarından derlenen su örneklerinin laboratuvarında kimyasal ve izotop analizleri yapılır. Analiz sonuçları çeşitli diagramlar-abaklar ve grafikler kullanılarak yorumlanmakta, suların karakteristik özellikleri, su sınıfları, köken ilişkileri, su-kayaç etkileşim özellikleri, dolaşım mekanizmaları gibi bilgiler, arazi gözlemleri ile beraber değerlendirilmektedir.

2.2.5. Alterasyon Çalışmaları

İncelenecek saha ve yakın çevresindeki alterasyon zonları belirlenerek haritalanır ve örnekler toplanır. Derlenen bu örnekler, mineralojik tayinleri ve alterasyon tiplerinin belirlenmesi için polarizan-elektron mikroskobunda incelenir. Kayaçların SEM, XRD, XRF ve DTA (Diferansiyel termal analiz) cihazları ile analizleri yapılır. Analiz sonuçlarına göre bölgedeki alterasyon tipleri, alterasyon minerallerinin jeotermal sistemler ile ilişkileri belirlenir ve rezervuar sıcaklığı hakkında tahminler yapılabilir.

2.2.6. Toprak Gazı Ölçümleri

Bu çalışmayla sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan radon gazının yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre

kırık ve fay zonlarının haritalanması amaçlanır. Jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılmaktadır.

2.2.7. Jeofizik Çalışmalar

Bütün yeraltı doğal kaynakları ve kayalar jeolojik ve kimyasal özellikleri yanında yoğunluk, elektriği, ısıyı, mekanik titreşimleri, sesi iletme, mıknatıslık özelliği kazanabilme, gözeneklilik, geçirimsizlik gibi fiziksel özelliklere sahiptir. Jeofizik metodlarla aramanın esası yukarıda sayılan özelliklerin çıkarılmasına dayanmaktadır.

Hidrotermal akışkanın kayalar içerisinde dolaşması durumunda, bu kayaların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Örneğin elektrik iletkenliği yüksek olan bir kaya içerisinde sıcak akışkanın yerleşmesi hem elektrik iletkenliğini artırmakta, hem de kimyasal ve mineralojik bileşimini değiştirmektedir. Bu olgudan hareketle jeoloji çalışmaları sonucu elde edilen verilerin desteklenmesi ve yeraltı bilgi eksikliğinin giderilmesi amacıyla jeofizik ölçümleri yapılır. Ölçümlerde elde edilen verilerden jeolojik bilgilerle birlikte kaynak oluşumunun yorumlanmasında, rezervuar kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde, jeotermal sistem modelinin oluşturulmasında, ısı kaynağı olabilecek sokulumların derinliği ve geometrisinin saptanmasında, jeolojik olarak var olması gereken ancak yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde yararlanır. Jeotermal kaynak araştırmalarında kullanılan jeofizik yöntemler:

SP Yöntemi (Doğal Potansiyel): Jeotermal alanların ve aktivitelerin sınırlanması ile kırık hatlarının belirlenmesinde yaygın olarak uygulanır.

Kontrol Kaynaklı Manyetotellürik Yöntemi (CSAMT): Rezistivite ve derinliklerin frekansın bir fonksiyonu olarak saptandığı bu yöntemde, eşrezistivite ve elektrik yapı kesitleri ve eşrezistivite haritaları hazırlanır. Ayrıca tabana yönelik verilerin işlenmesiyle de taban kontur haritası elde edilir. Bu kesit ve haritaların yorumlanması ile saha aydınlatılır.

Rezistivite Yöntemi (Özdirenç): Jeotermal kaynak araştırmalarında en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Yapay kaynaklı doğru elektrik akımıyla uygulanan bu yöntemde yeraltındaki özdirenç değişimlerinin yorumlanmasıyla yeraltının yapısı, çatlak ve kırık sistemleri, sıcak ve soğuk zonlar ve jeotermal aktivite saptanmaya çalışılır.

Gravite Yöntemi: Bu yöntemin uygulandığı araştırmalarda, yeraltındaki farklı yoğunlukların yerçekimi ivmesinde oluşturduğu küçük değişimler ölçülür. Gravite yönteminin uygulandığı jeotermal kaynak araştırmalarında, bölgesel ve yerel tektonik (görünür ve gömülü fay sistemleri), çöküntü havzaları ve temel yükselimleri, yüzey ve dolgu kayaç cinslerinin genel özellikleri hakkında bilgiler elde edilir.

Manyetik Yöntem: Manyetik yöntem uygulamalarında, Yeryuvarının manyetik alanındaki değişimlerden yararlanılarak jeotermal enerji sahalarındaki örtülü intrüfif yapılar, ısı kaynağı, gömülü lavlar ve lav akıntıları, dayklar, faylar ve hidrotermal alterasyon alanları saptanmaya çalışılır.

2.2.8. Gradyan Ölçümleri

Jeoloji, jeofizik ve jeokimya çalışmaları ile saptanan alanlarda, sahanın özelliklerine göre değişen derinliklerde sıg sondajlar açılarak örtü kayaç içinde derinlere doğru sıcaklık artışının belirlenmesine yönelik çalışmalardır. Her 10 m'deki artış gradyan değerini verir.

2.2.9. Final Raporu

Bu aşamaya kadar yapılmış tüm çalışmalar, final raporu içeriğinde değerlendirilir. Rapor aynı zamanda sahanın geleceğini doğrudan etkileyecek olan kuyu/kuyuların açılıp açılmaması kararına temel oluşturacak bilimsel, teknik uygunluk ve açıklıktaki bilgileri içerir.

2.2.10. Arama-Üretim Sondajları

Sondaj çalışması kaynağa dayalı yatırıma baz oluşturacak bilgilerin üretileceği en önemli aşamadır. Maliyet açısından da ciddi yükü olan bir çalışmadır. Bu bakımdan gerek planlanması, programlandırılmasına ilişkin karar sürecinde, gerekse çalışma sırasında son derece dikkatli olmayı gerektirmektedir. Jeoloji, jeofizik ve sondaj aşamasına kadar olan basamaklardaki tüm çalışmalarda elde edilen bilgiler değerlendirilerek belirlenen lokasyonlarda sahanın karakterine göre değişen derinliklerde arama kuyuları açılır. Olumlu sonuçlar alınması halinde üretime yönelik kuyularla sahanın potansiyeli belirlenmeye çalışılır.

2.2.11. Kuyu İçi Log Ölçümleri

- **Çimento Logu:** Boru arkasındaki çimentonun durumunu çimento üst seviyesini ve boru ile formasyon arasında oluşabilecek su ceplerinin yerlerinin belirlenmesi amacıyla ölçülür.
- **S.P Logu:** Jeotermal kuyularda gözenekli kesimlerin yani olası rezervuar kayacın belirlenmesinde yararlanır.
- **Rezistivite Logu:** Rezistivite logu formasyonların rezistivitelerini ölçmek için kullanılır. Rezervuar özellikli kayaçlarda rezistivite logu yüksek değerler gösterir.
- **Gamma-Ray Logu:** Jeotermal kuyularda genellikle killi formasyonlarda radyoaktivite yoğunlaşması olur. Dolayısıyla gamma-ray logu ile kil ve şeyl içeren formasyonlar belirlenir. Yüksek Gamma-Ray değerleri killi formasyonlara işaret eder.
- **Nötron Logu:** Nötron logu genellikle gözenekli zonları görmek ve gözeneklilik miktarını saptamak için kullanılır. Bu ölçüler tamamen formasyon içerisindeki hidrojen miktarı ile ilgilidir. Hidrojen miktarının fazla olması gözenekliliğin yüksek olduğuna işaret eder. Dolayısı ile jeotermal kuyulardaki rezervuar formasyonlarında yüksek nötron değerleri algılanır.
- **Yoğunluk Logu:** Kuyu içindeki formasyonların porozite değerlerini saptayan bir ölçü sistemidir. Yüksek yoğunluğa sahip kesimlerin porozitesi az, düşük yoğunluğa sahip kesimlerin porozitesi çoktur.
- **Sıcaklık Logu:** Jeotermal kuyularda ölçülen en önemli parametredir. Ölçü sonucunda kuyunun sıcaklık eğrisi elde edilir. Sıcaklık eğrisi yüzeyden kuyu dibine kadar olan derinliğin her seviyesindeki sıcaklığı °C cinsinden gösterir.

2.2.12. Test Çalışmaları

Test çalışmaları, sondaj çalışmaları sonucunda yapılır. Bu kapsamda kuyu testleri (sıcaklık, elektrik-SP, sonik, gamma-ray, nötron, yoğunluk, kaliper, çimento logu gibi kuyu içi testleri), kuyu debisi, inhibitör, üretim, re-enjeksiyon testi ve rezervuar parametrelerini belirlemeye

yönelik testler (statik-dinamik sıcaklık, statik-dinamik basınç, su kaybı, basınç düşüm, basınç yükselim, injektivite, pompaj, girişim testi v.b.) yapılmaktadır.

2.2.13. Geliştirme Sondajları

Sahada kuyu açılıp jeotermal kaynak varlığı ortaya çıkarıldıktan sonra, sahanın kullanım kapasitesinin belirlenmesi için açılan yeteri sayıdaki kuyulardır. Yeri ve sayısı ilk önceki kuyu verileri ve sahada yapılmış tüm çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenen geliştirme sondajları sonucunda rezervuar geometrisi, rezervuarın üretim yeteneği belirlenir ve sahada yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte karşılanabileceği ve yararlanma seçenekleri ortaya konur.

2.2.14. Kavramsal Modelin Oluşturulması

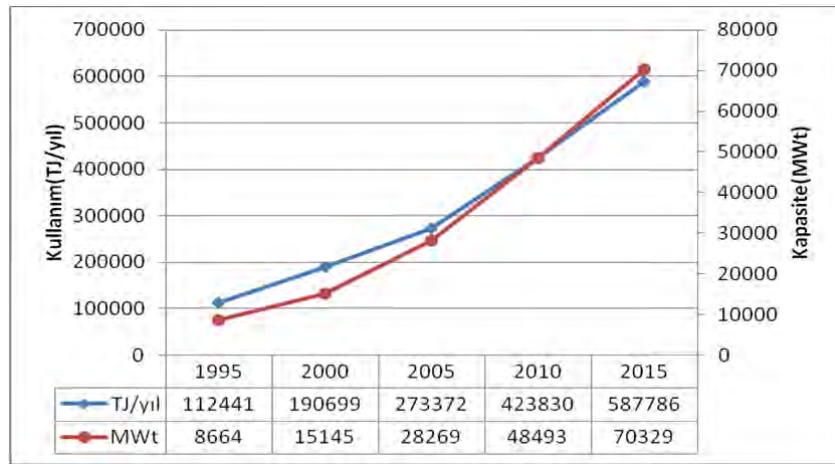
Jeotermal kaynak aramalarında kuyu yeri seçimine kadar geçen süreçte, iş akış şemasına (Şekil 2.2) uygun olarak jeoloji, jeofizik, jeokimya, aletsel ölçüler vb. gibi yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerde üretilen tüm bilgiler birlikte değerlendirilerek kavramsal model oluşturulmaktadır. Aynı zamanda modelin gerçeğe yakın olması için, yeraltı jeolojisini yorumlamada baz bilgi olarak açılmış kuyu bilgileri de kullanılmalıdır. Bu çerçevede jeoloji bilgileri, verilerin değerlendirilmesi, yorumlamalar ve bazı kabuller sonucu oluşturulan kavramsal model, aşağıdaki jeotermal parametreleri açıklar:

- Jeotermal sistemin en önemli bileşenlerinden olan ısı kaynağının oluşum evreleri, geometrisi ve derinliği,
- Yeraltına doğru tanımlanan kaya birimlerinin, üretilen jeoloji haritalarındaki genelleştirilmiş kesitte vurgulanan litoloji türü, yatay ve düşey olarak birbirleriyle ilişkileri ve kalınlıkları,
- Jeofizik profillerinde gözlenen fiziksel farklılıkların, arazi gözlemleri ve yüzey jeolojisinden yararlanılarak kaya türüne göre litolojik ayrımları,
- Bölgenin güncel tektoniğinde yer alan, ısı akısının yüzeye iletildiği, ısı yüklü akışkanı taşıyan faylar ve zayıflık zonları,
- Faylar ve çatlaklar boyunca yüzeyden derinlere doğru süzülen atmosferik suların, ana ısı kaynağı tarafından ısıtılmış olan kütle ile teması sonucunda ısını transfer ederek dinamiği gereği yükselişe geçerek içerisinde depolandığı rezervuar kayanın litolojisi, yayılımı, kalınlığı ve derinliği,
- Rezervuardaki ısının korunmasını sağlayan geçirimsiz nitelikteki örtü kayacın litolojisi ve kalınlığı,
- Jeotermal sistemin beslenmesinde etkili yapılar, beslenme cepheleri ve akışkanın yüzeye boşalım kanalları

3. DÜNYADAKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR

3.1. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİNİN DOĞRUDAN KULLANIMI

Dünyada jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. 2015 yılı verilerine göre, toplam doğrudan kullanımın kurulu kapasitesi 70.797 MWt'dir ve toplam yıllık enerji kullanımı ise 591.674 TJ (164.367 GWh)'dir. Şekil 3.1'de jeotermal enerjinin doğrudan kullanımının yıllara göre artışı gösterilmektedir. Doğrudan kullanım kurulu kapasitesine sahip sırası ile en büyük beş ülke, Çin, Amerika, İsveç, Türkiye ve Almanya'dır. Bu ülkelerde kullanımlar dünya kapasitesinin % 65,8'ini oluşturmaktadırlar. Çin, Amerika, İsveç, Türkiye ve İzlanda dünya kullanımının % 63,6'sını kapsayarak en yüksek yıllık enerji kullanımı ile ilk beş ülke arasındadır (Tablo 3.1) (Lund ve Boyd, 2015).



Şekil 3.1: Doğrudan kullanım kurulu kapasitesi ve yıllık enerji kullanımının 1995'ten 2015 yılına kadar olan değişimi (Lund ve Boyd, 2015)

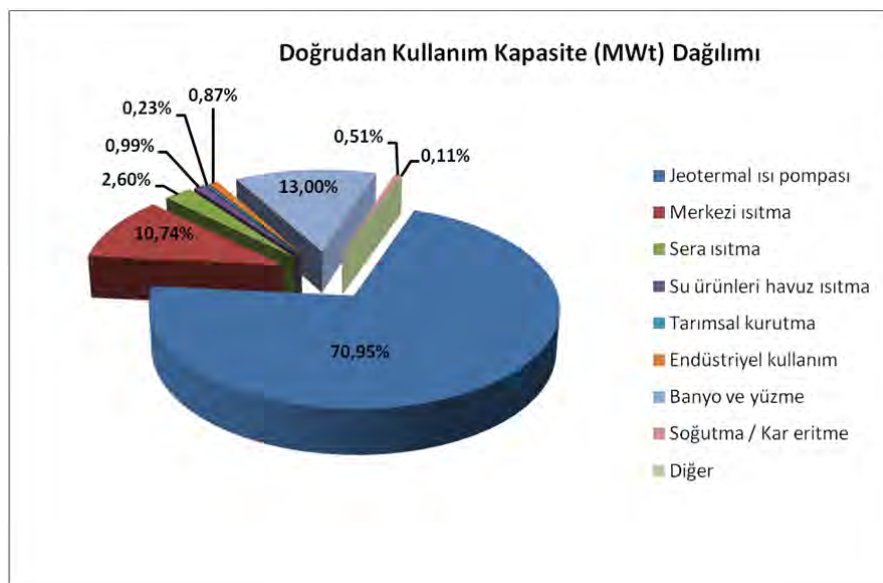
Tablo 3.1: Jeotermal enerji doğrudan kullanımında Dünyadaki ilk 13 ülke sıralaması (Lund ve Boyd, 2015)

Ülke	MWt	TJ/yıl
Çin	17.870,00	174.352,00
ABD	17.415,91	75.862,20
İsveç	5.600,00	51.920,00
Türkiye	2.886,30	45.126,00
Almanya	2.848,60	19.531,30
Fransa	2.346,90	15.867,00
Japonya	2.186,17	26.130,08
İzlanda	2.177,00	28.912,00
İsviçre	1.733,08	11.836,80
Kanada	1.466,78	11.615,00
Finlanda	1.560,00	18.000,00
İtalya	1.354,11	11.065,29
Norveç	1.300,00	8.260,00

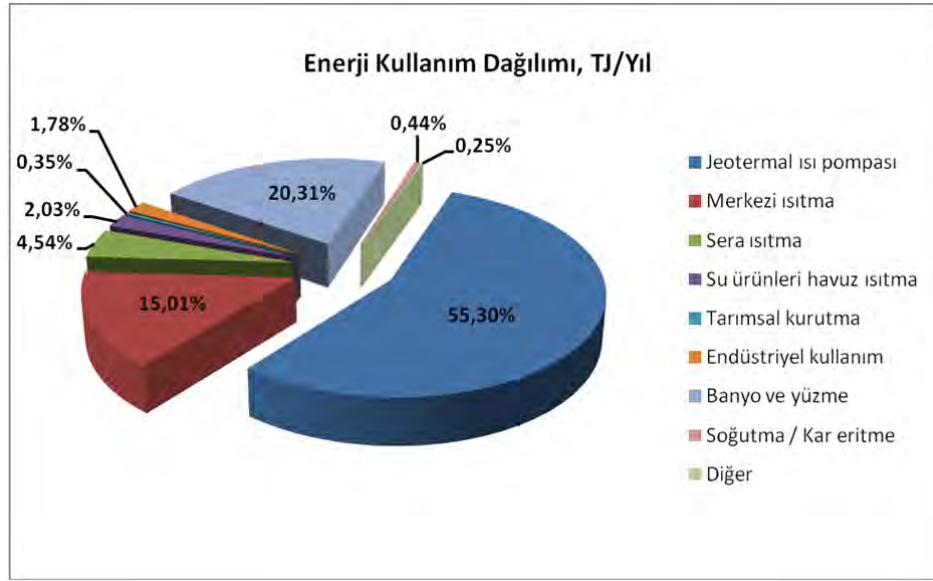
1985 yılında, 100 MWt'tan daha fazla kullanıma sahip sadece 11 ülke varken, 2014 yılının sonlarında, 100 MWt'tan fazla 36 ülkenin jeotermal enerjiyi kullandığı bildirilmiştir. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım dağılımına göre; % 70,9 ısı pompası, % 12,92 banyo ve yüzme, % 10,93 merkezi ısıtma, % 2,59 seracılık, % 0,89 endüstriyel kullanım, % 0,98 su ürünleri yetiştirme havuzu ısıtması, % 0,23 tarımsal kurutma, % 0,44 kar eritme ve soğutma ve % 0,11 diğer kullanımları kapsamaktadır (Tablo 3.2 ve Şekil 3.2). 2015 yılı Dünya jeotermal doğrudan kullanım uygulamalarının toplam enerji kullanımı (TJ/yıl) yüzdeleri ise Şekil 3.3'te verilmiştir. Bu verilere göre en yüksek kullanım, jeotermal ısı pompası uygulamasıdır. Jeotermal enerjinin ülkelere ekonomik katkısı ise Tablo 3.3'de sunulmuştur. Bu verilere göre izlanda ülke ısıtma sisteminin % 90'ını jeotermalden sağlamaktadır.

Tablo 3.2: 2015 yılı jeotermal enerji doğrudan kullanım kapasitesi ve enerji kullanım ve yüzdeleri (Lund ve Boyd, 2015)

	Kapasite		Kullanım	
	(MWt)	%	(TJ/yr)	%
Jeotermal ısı pompası	49.898	70.95	325.028	55.30
Merkezi ısıtma	7.556	10.74	88.222	15.01
Sera ısıtma	1.830	2.60	26.662	4.54
Su ürünleri havuz ısıtma	695	0.99	11.958	2.03
Tarımsal kurutma	161	0.23	2.030	0.35
Endüstriyel kullanım	610	0.87	10.453	1.78
Banyo ve yüzme	9.140	13.00	119.381	20.31
Soğutma / Kar eritme	360	0.51	2.600	0.44
Diğer	79	0.11	1.452	0.25
Toplam	70.329	100.00	587.786	100.00



Şekil 3.2: Dünya doğrudan kullanım uygulamalarının kurulu kapasite (MWt) dağılımı (Lund ve Boyd, 2015)



Şekil 3.3: 2015 yılı dünya jeotermal doğrudan kullanım uygulamalarının toplam enerji kullanımı (TJ/yıl) yüzdelerinin dağılımı (Lund ve Boyd, 2015)

Tablo 3.3: 2015 yılı Jeotermal enerjinin ülke ekonomilerine katkısı (Lund ve Boyd, 2015)

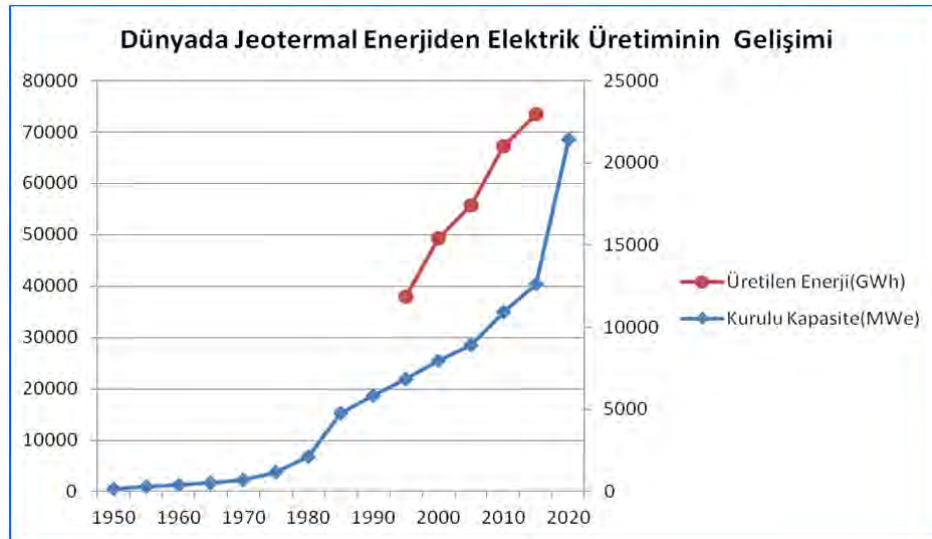
Ülke	Ekonomiye katkısı
İzlanda	Bina ısıtma %90
Japonya	2000 kaplıca, 5000 halk hamamları, 1500 otel, 15 milyon ziyaretçi/yıl
İsveç	Jeotermal ısı pompası kullanılarak ısıtılan bina %20
İsviçre	90.000 kurulu jeotermal ısı pompası (~3 units/km ²)
Tunus	244 ha sera ısıtma
Türkiye	16 şehirde 90,000 konut ısıtması – yaklaşık toplam ünitenin %30'u
USA	1,4 milyon jeotermal ısı pompası (% 7,0 yıllık büyüme)

3.2. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİNİN ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANIMI

1995-2015 yılları arası jeotermal enerjiden elektrik üretimi değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir. Bu verilere göre jeotermal kaynakların enerji sektöründeki miktarı artmış ve 2020 yılında ise 21.443 MW’e ulaşılacağı varsayımları yapılmıştır (Şekil 3.4).

Tablo 3.4: 1995-2015 yılları arası Jeotermal enerjiden elektrik üretimi değerleri (Bertani, 2015)

Yıl	Kurulu Kapasite MWe	Üretilen Enerji GWh
1995	6,832	38,035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,897	67,246
2015	12,635	73,549
2020	21,443	



Şekil 3.4: 1950-2015 yılları arası kurulu kapasite (MWe) ve üretilen enerji kullanımı (GWh) (Bertani, 2015)

4. TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR

4.1. TÜRKİYE'DEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN DAĞILIMI

Ülkemizde jeotermal kaynakların araştırılmasının başlangıcı 1960'lı yıllardaki envanter belirlemeye yönelik çalışmalar olarak kabul edilmektedir. Bu dönemden sonraki süreç içerisinde özellikle 1970-1980 yılları arasındaki araştırmalarla yüksek sıcaklıklı sahaların keşfedilmesi, jeotermal kaynaklarla ilgili çalışmalara önemli bir boyut kazandırmış, çalışmalar sonucu ortaya konulan potansiyel, 1990'lı yıllardan sonra özel sektörün ve belediyelerin konuya olan ilgilerinin yoğunlaştığı konuma taşınmıştır.

Arama/araştırma ve geliştirme sürecindeki çalışmaların sonucu olarak günümüzde Türkiye, sıcaklığı bazı kaynaklarda 103 °C olarak ölçülen toplam 600 doğal boşalımın yer aldığı 346 jeotermal sahaya sahip bir ülkedir. Ülkemiz jeolojik yapısındaki çeşitlilikten dolayı jeotermal kaynaklar belli yöre ve bölgelerde yer almaktadır. Özellikle Batı Anadolu, jeolojik unsurların ve süreçlerin doğal sonucu olarak yüksek potansiyele sahip alanların oldukça yoğun olduğu bir bölgedir (Şekil 4.1). Batı Anadolu'daki yüksek ısı içeren rezervuarlara sahip jeotermal alanlara karşılık, Orta ve Doğu Anadolu'da düşük ve orta sıcaklık kategorisindeki alanlar yer almaktadır. Bunu sırasıyla İç Anadolu, Marmara, Doğu Anadolu, Güney Doğu Anadolu, Karadeniz ve Akdeniz Bölgeleri izler (Akkuş ve diğ., 2005).

Ülkedeki alanların, kaynak ve kuyu sıcaklık değerleri esas alındığında dağılımı % 88'i düşük ve orta sıcaklıklı sahalar, % 12'si ise sıcaklığı 287 °C a kadar ulaşan yüksek sıcaklıklı sahalar şeklindedir. Alanların % 43 gibi önemli bir bölümü konut, termal tesis ısıtmacılığında, % 45'i ise sera, termal turizm ve balneoloji gibi diğer uygulamalarda kullanılabilir özelliktedir (Şekil 4.2). Elektrik üretimi yapılabilecek olan saha sayısı 39, ısıtma (konut-sera) uygulamalarında yararlanılabilecek saha sayısı enerji üretilebilecek sahalardaki entegre kullanımla birlikte 153'dür. Geriye kalan diğer sahalar düşük ve orta sıcaklıkta akışkan içermektedir. Bu nedenle bu alanlardan termal turizm ve balneolojik kullanımlarda yararlanılabilir (Akkuş ve diğ., 2005). Ancak, yeni araştırmalar ile bu sayıların değişmesi mümkündür.



Şekil 4.1: Türkiye'nin genç tektonik unsurları ve jeotermal kaynaklarının dağılımı (Akkuş ve diğ., 2005)



Şekil 4.2: Jeotermal alanların kullanım olanaklarına göre dağılımı

4.2. TÜRKİYE’NİN JEOTERMAL KAYNAK POTANSİYELİ

Önemli bir jeotermal potansiyeli olan Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, jeotermal sistemlerin oluşumunu sağlayan unsurların yaygın olması sonucu jeotermal potansiyeli bakımından Dünya ülkeleri içerisinde ilk sıralardadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi halen mevcut olan kaynakları ile bu potansiyelin bir bölümünü oluşturmaktadır.

Ülkemizde klasik enerji kaynakları kadar olmasa bile önemli bir jeotermal kaynak potansiyeli vardır. Doğal çıkışların potansiyelinin 600 MWt olduğu kabul edilmektedir. Sahalarda açılan kuyuların üretim değerlerine göre, baz sıcaklığın 35 °C varsayıldığı kullanılabilir potansiyel 5.426 MWt’dır (Akkuş, 2015’ten revize). Kuşkusuz ülkenin termal kapasitesi bilinenden çok daha yüksektir. Ancak resmi kayıtlara girmeyen kuyuların üretim bilgilerine ulaşılamadığından güncel termal kapasite bilinmemektedir. Bilinen kapasite ile birlikte gerek üretim bilgilerine ulaşılamayan, gerekse henüz kuyu açılmamış veya potansiyeli ortaya koyabilecek yeterlikte sondajları açılmamış alanlarda açılacak kuyular ve yeni sahaların keşfi sonucunda eklenecek yeni kapasitelerle ortaya çıkacak potansiyel, ülke jeotermal kaynaklarının toplam potansiyel değerini oluşturacaktır.

Türkiye’de yüksek entalpili 39 adet jeotermal alan elektrik üretimine uygundur. Sahalardan üretilebilecek elektrik potansiyeli hakkında farklı öngörüler bulunmakla birlikte, elektrik enerjisi üretim kapasitesinin 2.000 MWe ulaşacağı tahmin edilmektedir. Isıtma uygulaması için 50 °C üzerinde sıcaklığa sahip 153 adet sahada açılan kuyulardaki üretim bilgilerine göre kullanılabilir toplam potansiyel 5.223 MWt’dir.

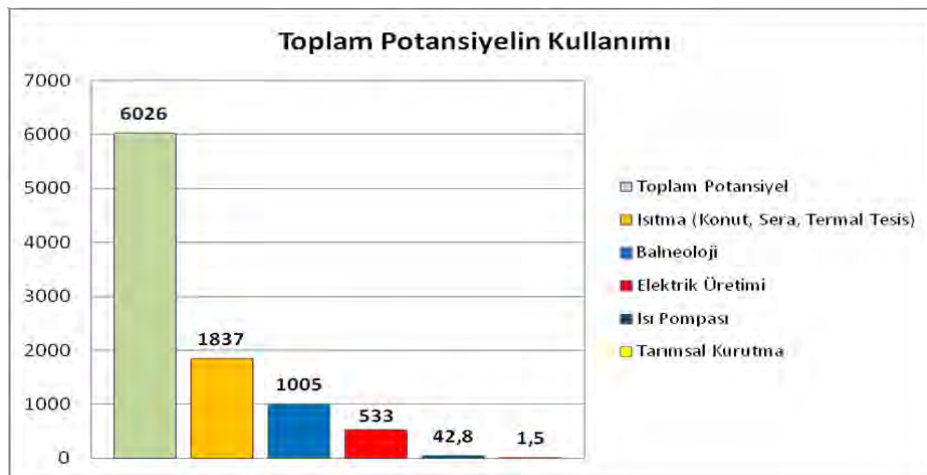
4.3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN KULLANIMI

Türkiye’de jeotermal kaynak arama sürecinde ortaya çıkarılan jeotermal enerjiden günümüzde birçok alanda yararlanılmaktadır. Başarılı uygulamalarla önemi daha iyi anlaşılan ve yatırımcıların ilgisinin arttığı kaynağın kullanımı son yıllarda hızla artmıştır. Temiz, ucuz, yerli, ekonomik, sürdürülebilir, denetiminin ülke kontrolünde olması, üretilen ürünün tümünün tüketilmesi bu artışın ve ilginin önde gelen nedenleridir. Ülke ekonomisine katkısı

yanında optimum üretim koşullarında düzenli, kaliteli ve devamlılığının olması da tercih nedenidir. Son yıllarda yaygınlaşan merkezi şehir ısıtma uygulamaları başarıyla devam etmektedir. Aynı şekilde elektrik üretimine yönelik santral kurulması ve enerji üretimi için de aynı durum söz konusudur (Şekil 4.3).

Ülkemizde jeotermal kaynaklardan;

- Konut, sera, termal tesis ısıtması,
- Elektrik üretimi,
- Termal turizm ve balneoloji,
- Endüstriyel uygulamalar,
- Isı Pompası
- Tarımsal kurutmada yararlanılmaktadır.



Şekil 4.3: Jeotermal kaynak potansiyeli ve kullanımı (Akkuş, 2015 ten revize)

4.3.1. Elektrik Üretimi

Jeotermal enerjiden elektrik üretiminin başlangıcı 1974 yılında Kızıldere sahasında 0,5 MWe gücünde pilot bir türbinde deneme amaçlı yapılan üretimdir. Ticari anlamda ilk üretim ise 20 MWe kurulu güce sahip Kızıldere jeotermal santralinde 1984 yılında Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş. (TEAŞ) tarafından gerçekleştirilmiştir. Süreç içerisinde yapılan çalışmalarla ortaya çıkarılan potansiyel değerleri, özellikle talep artışlarının da etkisiyle yatırımcıların ilgisini çekmiş, yapılan yatırımlar sonucunda Aydın-Germencik, Aydın-Salavatlı, Çanakkale-Tuzla, Aydın-Sultanhisar-Salavatlı, Kuyucak-Pamukören, Germencik-Hıdırbeyli, ve Germencik-Gümüşköy sahalarında kurulan santrallerde jeotermal enerjiden elektrik üretilmeye başlanmıştır. Ayrıca Kızıldere jeotermal santralinin atığı olan 140 °C'lik jeotermal akışkandan yararlanılarak Denizli-Sarayköy'de enerji üretimi yapılmaktadır. Aynı zamanda Kızıldere ve Salavatlı jeotermal tesisi ile entegre bir biçimde sıvı ve kuru karbondioksit üretimi yapılmaktadır.

Ülkemizde bugün için 12 sahada işletmede olan 21 adet jeotermal santral, elektrik üretimine toplam 534 MW katkıda bulunmaktadır (Tablo 4.1). Şekil 4.4'de Türkiye'deki jeotermal güç santrallerinin gelişimi özetlenmiş ve 2018 yılı için Kalkınma Bakanlığı'nın hedefi gösterilmiştir.

Jeotermal kaynaktan enerji üretmek üzere üretim lisansı alınan 11 sahadan bazılarında santral inşası tamamlanmış olup yakın zamanda üretime geçilecektir. Diğerlerinde ise geliştirme çalışmaları ve santral inşaatları devam etmektedir. Yapım aşamasında olan jeotermal güç santrallerinin kurulu gücü 165 MWe'dir.

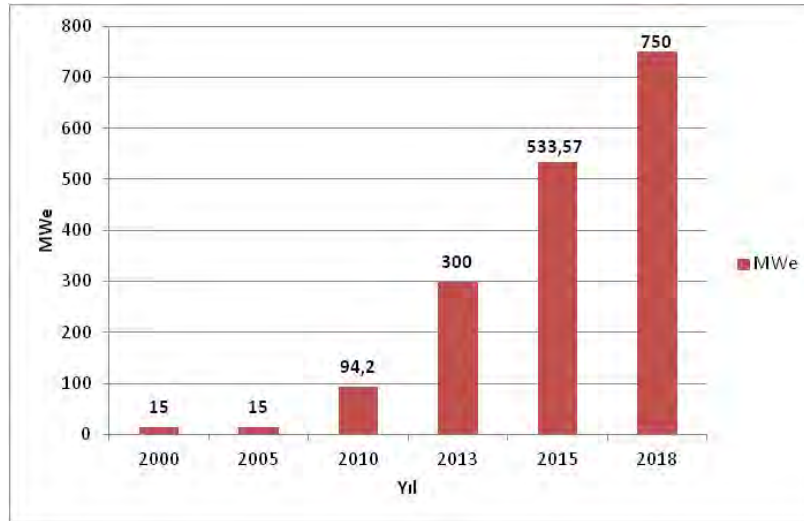
Dünyada jeotermal enerjiden elde edilen elektrik üretiminde, ABD, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya ilk beş sırada yer alırken Türkiye Eylül-2015 itibarıyla devreye alınan son santralle 9. sıraya yükselmiştir (Tablo 4.2).

Tablo 4.1: Elektrik üretilen alanlar ve işletme kapasitesi (EPDK, 2015)

Firma	Saha Adı	İl / İlçe	Kurulu Gücü (MWe)	İşletmedeki Kapasite (MWe)
Zorlu Elek. Üret.	Kızıldere	Denizli / Sarayköy	15	15
			80	80
	Alaşehir	Manisa / Alaşehir	45	33,73
Bereket Enerji Üret.	Kızıldere	Denizli / Sarayköy	6,85	6,85
Gürmat Elek. Üret.	Ömerbeyli	Aydın / Germencik	162,3	162,3
Maren	Hıdırbeyli	Aydın / Germencik	20	20
Maren			24	24
Maren			24	24
Maren			24	24
Çelikler Jeot. Enerji	Pamukören	Aydın / Kuyucak	61,72	45,02
Gümüşköy Jeot. Enerji	Gümüşköy	Aydın / Germencik	13,2	13,2
Türkerler Jeot. Enerji	Alaşehir	Manisa / Alaşehir	24	24
Menderes Geot. Elek.	Köşk /	Aydın / Sultanhisar	7,951	7,951
Menderes Geot. Elek.	Salavatlı		9,5	9,5
Menderes Geot. Elek.			34	34
Tuzla Jeot. Enerji	Tuzla	Çanakkale/ Ayvacık	7,5	7,5
Jeoden	Gerali	Denizli / Sarayköy	2,52	2,52
Toplam Üretim				533,57

Tablo 4.2: Ülkelerin kurulu kapasiteleri (MWe) (Bertani, 2015'ten değiştirilerek)

Ülke	Kurulu Kapasite(MWe)	Ülke	Kurulu Kapasite(MWe)
ABD	3450	İzlanda	665
Filipinler	1870	Kenya	594
Endonezya	1340	Türkiye	533.57
Meksika	1017	Japonya	519
Yeni Zelanda	1005	Diğerleri	1142
İtalya	916		



Şekil 4.4: Türkiye’de jeotermal elektrik santrallerinin gelişimi ve 2018 yılı için hedef değerler (Mertoğlu ve Başarır, 2013’den değiştirilerek)

4.3.2. Isıtma Uygulaması

Türkiye’de 50 °C üzerinde sıcaklığa sahip akışkanla çalışan 17 adet bölgede şehir ısıtma sistemi vardır. Bu sistemler, yaklaşık 90.000 konuta hizmet etmektedirler. Son yıllarda giderek yaygınlaşan konut ısıtmacılığı yanında kurulan modern seralarda jeotermal enerjiden ekonomik olarak yararlanılmaktadır. Halen Türkiye’de Gönen (Balıkesir), Simav (Kütahya), Kızılcahamam (Ankara), Narlıdere+Balçova (İzmir), Sandıklı (Afyon), Kırşehir, Afyon, Kozaklı (Nevşehir), Diyardin (Ağrı), Salihli (Manisa), Sarayköy (Denizli), Edremit (Balıkesir), Yozgat-Sorgun, Bigadiç (Balıkesir), Dikili (İzmir), Bergama (İzmir) ve Güre (Balıkesir) alanlarındaki jeotermal ısıtma sistemlerinde merkezi ısıtma yapılmaktadır (Tablo 4.3).

Tablo 4.3: Isıtma uygulaması yapılan alanlar ve fiilen ısıtılan/eşdeğer konut sayısı

Alan Adı	Sıcaklık	Konut Sayısı	Alan Adı	Sıcaklık	Konut Sayısı
Balıkesir-Gönen	80	3400	İzmir-Dikili	125	1160
Kütahya-Simav	120	7500	Nevşehir-Kozaklı	92	3000
Ankara-Kızılcahamam	80	2500	Ağrı-Diyadin	70	570
İzmir-Balçova-Narlıdere	125	35000	Manisa-Salihli	94	7292
Afyon-Sandıklı	70	6000	Denizli-Sarayköy	140	2200
Kırşehir-Terme	57	1900	Balıkesir-Edremit	60	4881
Afyon-Ömer-Gecek	95	8000	Balıkesir-Bigadiç	96	1950
Balıkesir-Güre	65	650	Yozgat-Sorgun	80	1500
İzmir-Bergama	65	450			

Ayrıca düşük sıcaklıklı jeotermal akışkanla; Afyon-Oruçoğlu Termal Resort tesisleri 48 °C, Hatay-Kumlu Termal Tesisleri 37 °C jeotermal akışkanla tabandan ısıtılmaktadır. Bolu-Karacasu Termal Tesisleri 44 °C jeotermal akışkanla kısmi olarak, Rize-Ayder Kür Merkezi 55 °C, Sivas-Sıcak Çermik Kaplıcaları 46 °C ve Samsun-Havza Termal Tesisleri 54 °C sıcaklığındaki jeotermal akışkanla ısıtılmaktadır. Haymana’da 45°C’lik jeotermal akışkanla tabandan cami ısıtması yapılmaktadır.

Jeotermal kaynakların ekonomik uygulamalarından biri de sera ısıtmasıdır. Sera uygulamalarında, ülke genelinde toplam kapasite Eylül 2014 itibariyle 3.130 dönüme ulaşmıştır. Bu kapasitenin dağılımı: İzmir-Dikili, Bergama (1.000.000 m²), Manisa-Salihli, Urganlı (305.000 m²), Kütahya-Simav (310.000 m²), Denizli-Kızıldere-Tosunlar (200.000 m²), Şanlıurfa-Karaali (474.000 m²), İzmir-Balçova (100.000 m²) ve diğerleri şeklindedir. Ülkenin batısında yer alan altı büyük serada çoğunlukla domates yetiştirilmektedir ve ana pazarı olan Rusya’ya %60, Avrupa’ya %20, yaklaşık %10’nu diğer ülkelere ve %10’nu ülke içinde satılmaktadır (Mertoğlu ve diğ., 2015).

Kurulan modern seralarda üretilen ürünler iç pazarda tüketildiği gibi yurt dışına da ihraç edilmektedir. Bu uygulamayla yakıt için ödenen dövizden tasarruf sağlanması yanında yapılan ihracattan döviz geliri de elde edilmektedir.

4.3.3. Jeotermal Kaynakların Doğrudan Kullanım Kapasitesi

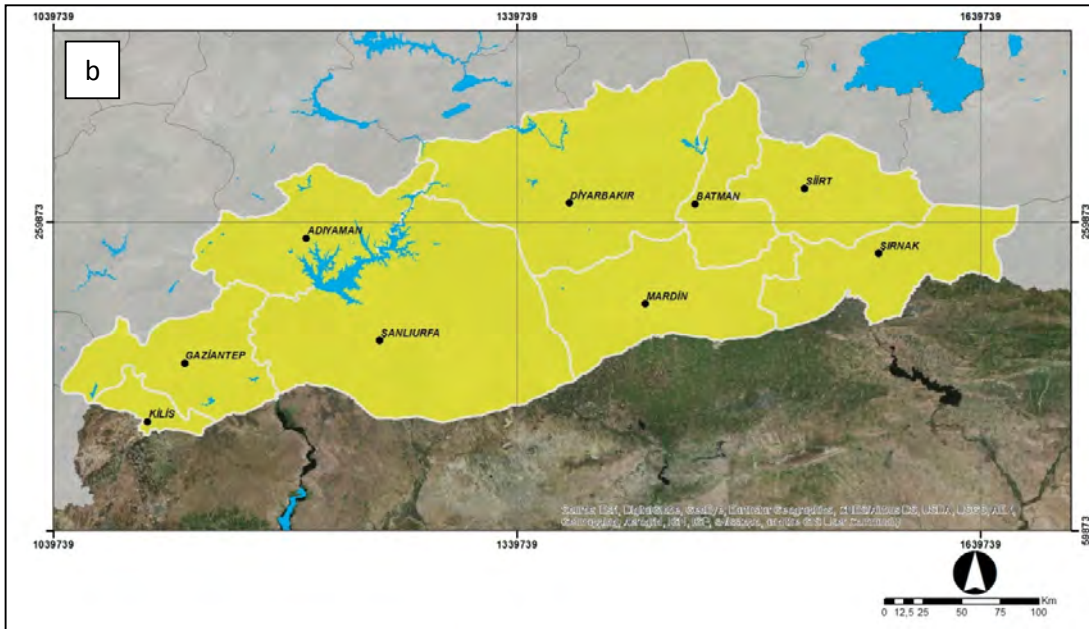
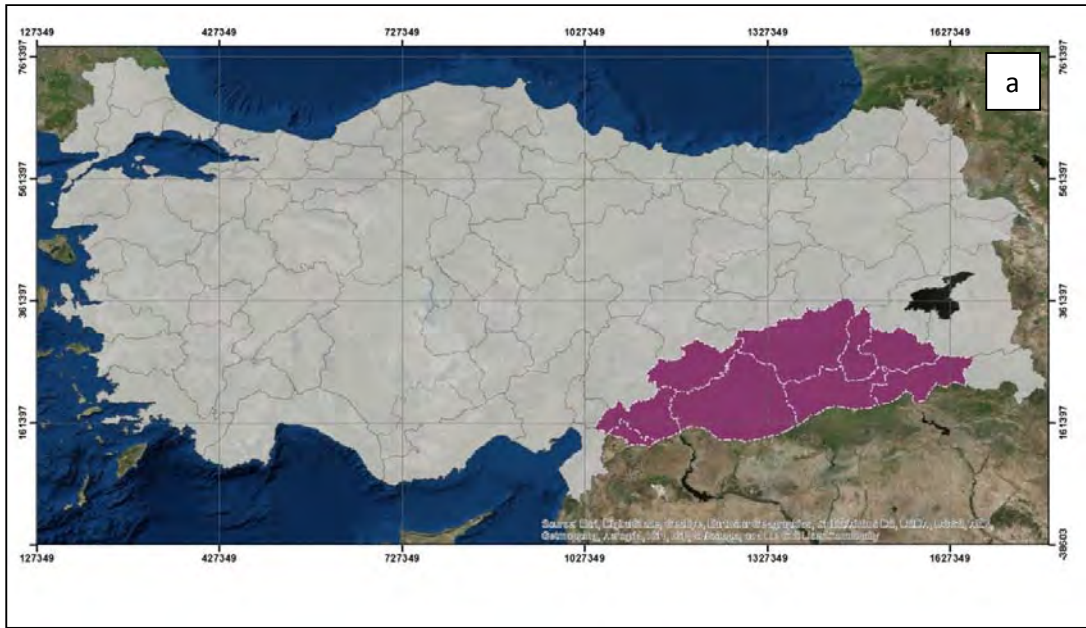
Türkiye’de ısıtma uygulamaları yanında jeotermal akışkandan doğrudan kullanım olarak 16 milyon yerel ve 10.000 yabancı ziyaretçi balneolojik amaçlı olarak yararlanmaktadır. Ülkemizde çeşitli uygulamalar için Aralık-2014 itibariyle doğrudan kullanım kapasitesi ve yıllık enerji kullanımı: 420 MWt ve 4.635 TJ/yıl kişisel ısıtma, 805 MWt ve 8.885 TJ/yıl şehir ısıtma, 612 MWt ve 11.580 TJ/yıl sera ısıtma, 1,5 MWt ve 50 TJ/yıl tarımsal kurutma, 1.005 MWt ve 19.106 TJ/yıl banyo ve yüzme ve 42,8 MWt ve 960 TJ/yıl jeotermal ısı pompalarıdır. Sonuç olarak Türkiye’de, 2.886,3 MWt kurulu kapasite ve 45.126 TJ/yıl enerji kullanımı vardır (Mertoğlu, ve diğ., 2015) (Şekil 4.5). Bu haliyle Türkiye, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı açısından ABD, Çin, İsveç ve Almanya ile birlikte **ilk 5** içerisinde olmak üzere **dördüncü** sırada yer almaktadır. Ancak ülkenin kullanılabilir durumdaki kapasitesi (Şekil 4.3) dikkate alındığında henüz bu kapasitenin yarısının kullanıldığı görülmektedir.



Şekil 4.5: Türkiye’de jeotermal enerjinin doğrudan kullanım oranları (Mertoğlu ve diğ., 2015)

5. İNCELEME ALANI

İnceleme alanı, Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan Güneydoğu Anadolu Bölgesini kapsamaktadır. Bu bölge, Güneydoğu Toroslarının güneyinden Suriye sınırına kadar olan yerleri kapsar. Doğu ve kuzeyden Doğu Anadolu Bölgesi, batıdan Akdeniz Bölgesi, güneyden Suriye ve Irak ile çevrilidir (Şekil 5.1a). Bölge'nin yüzölçümü 75.358 kilometrekare olup Türkiye'nin toplam yüzölçümünün yüzde 9,7'sini oluşturmaktadır. Bölge sınırları içerisinde Adıyaman, Kilis, Gaziantep, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman, Siirt ve Şırnak illeri yer almaktadır (Şekil 5.1b).



Şekil 5.1: İnceleme alanı

Birçok uygarlığa ev sahipliği yapmış zengin tarihi ve kültürel değerlere sahip özel bir alan olan GAP bölgesi, tüm bu değerlerinin yanısıra doğal kaynaklar açısından da son derece önemli bir merkezdir. Güneydoğu Anadolu'nun jeolojisi, doğal kaynakları ve aktif tektoniği ile ilgili olarak literatürde çok sayıda yayın bulunmaktadır. Bölgenin jeolojisi ve genç tektoniğiyle ilgili çalışmalar başlıca MTA, TPAO ve üniversiteler tarafından değişik boyut ve ayrıntılarda incelenmiştir. Çalışmalar çoğu zaman belirli ve spesifik alan ve konulara (petrol vb) özgü olarak yürütülmüştür. Bölgenin doğal kaynaklarına yönelik çalışmaları ise geçtiğimiz yüzyıldan beri çeşitli yerli ve yabancı şirketler tarafından sürdürülmektedir. Ancak bölgenin jeotermal kaynaklarına ilişkin çalışmalar, kaynakların bulunduğu alan bazında bazı sahalarda yapılan jeoloji, jeofizik etütler, kaynak analizleri ve sondajlar ile kaynaklarının özelliklerini irdeleyen (Özel, 2001; Özel ve diğ., 2002) incelemelerle sınırlı olup bölgenin jeodinamiğinin jeotermal sistemlerin gelişmesiyle ilişkisini belirlemeye yönelik kapsamlı araştırma bulunmamaktadır.

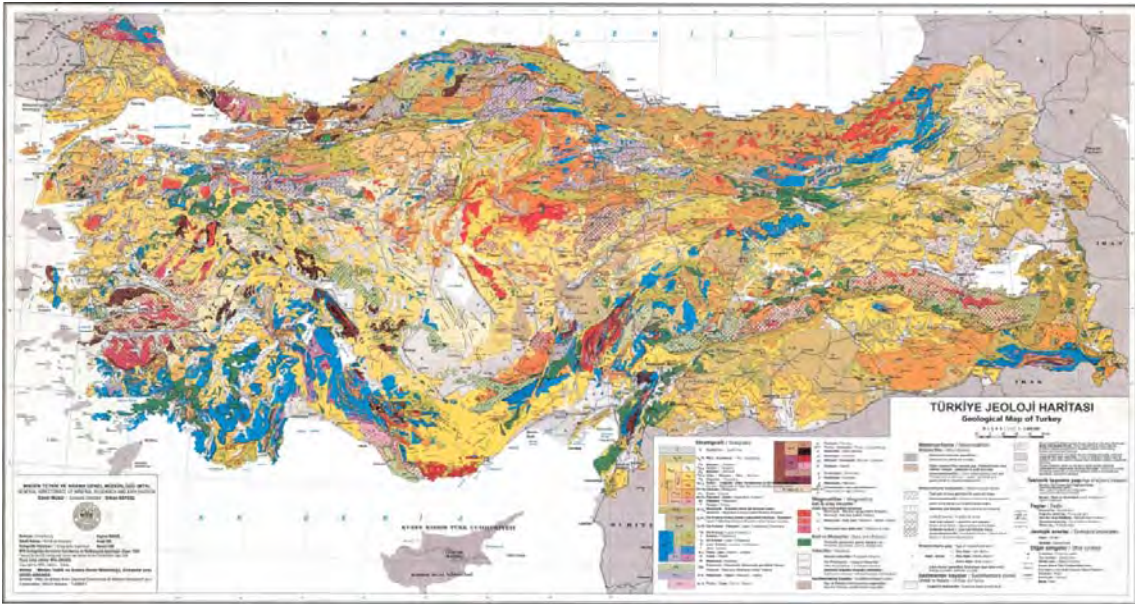
Bölgedeki jeotermal alanlardaki kaynakların kullanımına yönelik yapılacak yatırımlar için alanların kapasitesine ilişkin potansiyelin ortaya konulmasına ve ekonomik kullanım seçeneklerinin belirlenmesine ihtiyaç vardır. Bunun için kapsamı aşağıda belirtilmiş çalışmalar, **“GAP İlleri Jeotermal Kaynakları Araştırma Projesi”** isimli proje kapsamında yapılmıştır.

- GAP bölgesinde jeotermal alanların jeolojisi ve tektoniği ile ilgili bütün veriler değerlendirilmiştir.
- Jeotermal alanların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir.
- Uygun alanlarda hidrojeokimyasal veriler için su numunesi alınmış ve bilgisayar programları kullanılarak değerlendirilmiştir.
- Elde edilen veriler ışığında GAP bölgesindeki jeotermal kaynakların özellikleri belirlenerek, sahalanın potansiyellerine ilişkin değerlendirmeler yapılmıştır.
- Üretim senaryoları belirlenmiştir.
- Kaynakların kullanım alanları ve yatırım olanakları ile ilgili önerilerde bulunulmuş,
- Sahaların geliştirilmesi için öngörülen çalışmalar sıralanmıştır.

6. GÜNEYDOĞU ANADOLU BÖLGESİNİN GENEL JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

6.1. JEODİNAMİK SÜREÇLER

Alp-Himalaya Dağ kuşağı üzerinde yer alan Anadolu, yaklaşık iki milyar yıllık geçmişten günümüze kadar geçen jeolojik süreçleri temsil eden kaya toplulukları bulundurmaktadır (Şekil 6.1). Bölgede bulunan kaya topluluklarının litolojisi, magmatizması, tektonik stili, paleocoğrafyası ve metamorfizması benzerlik gösteren alanlar birleştirilerek bölge ve alt bölgelere ayrılmaktadır. Öz olarak Anadolu'da, jeodinamik açıdan benzer alanların birleştirilmesinden doğan bu jeolojik bölgelendirmede Güneydoğu Anadolu, değişik araştırmacılar tarafından Arap platformu, Arabistan levhası, kenar kıvrımları gibi farklı adlarla adlandırılan, verileri aynı olan bir bölge olarak değerlendirilmektedir. Örneğin Şekil 6.2'de tektonik birliklere göre, Şekil 6.3'te kaya topluluklarına göre ve Şekil 6.4'te ise sadeleştirilmiş tektonik birliklere göre ayırım yapılmıştır.

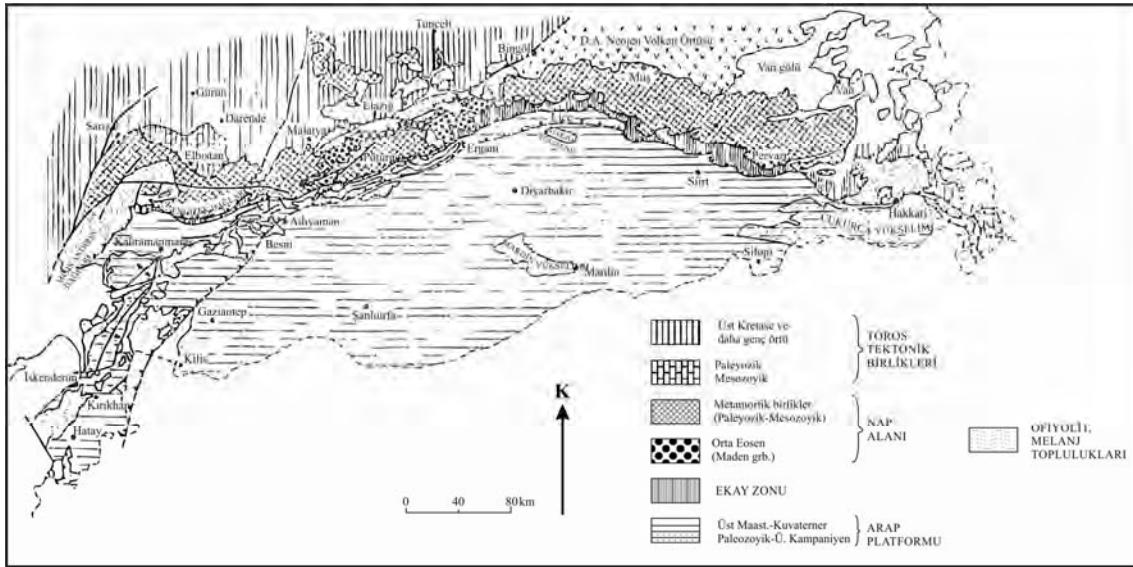


Şekil 6.1: Türkiye jeoloji haritası (MTA'dan alınmıştır)

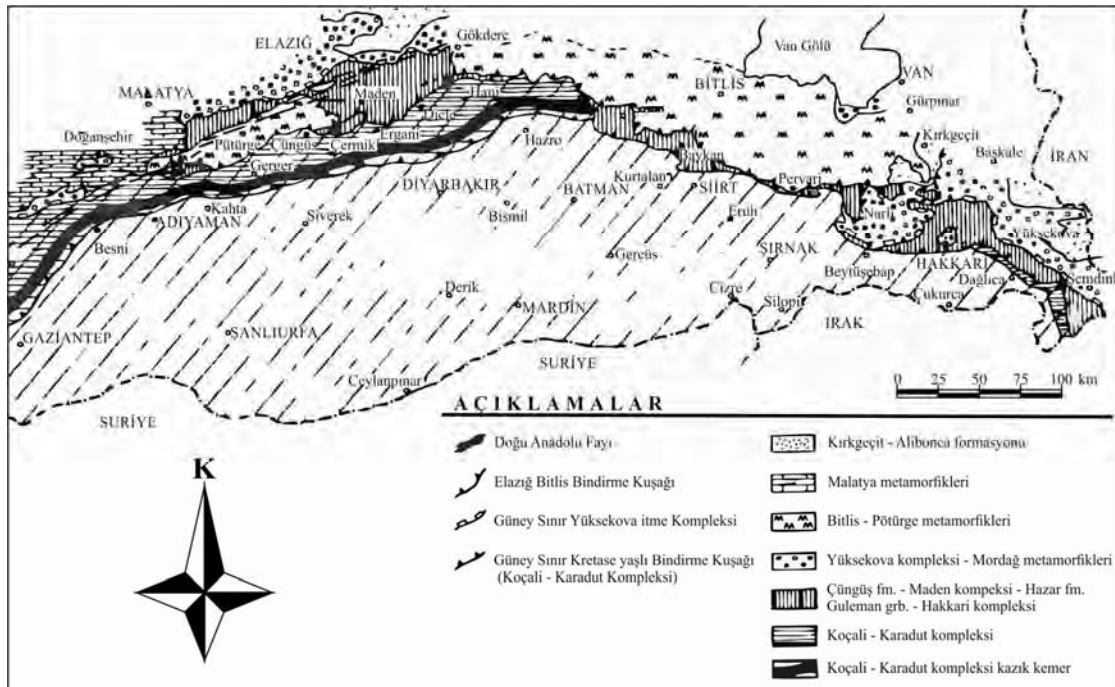
Günümüzde gözlenen kaya toplulukları ve bu kaya topluluklarının geçirdiği jeodinamik süreçlere göre Güneydoğu Anadolu, Arap levhasının kuzey bölümünde var olan suture zonu ile bir araya gelmiş olan Anadolu levhası ile kıta-kıta çarpışmasının izlerini taşımaktadır. Güneydoğu Anadolu'nun diğer bir deyişle Arap levhasının kuzey sınırı ile ilgili yapılmış olan haritalamalardan kaya topluluğu farklılığı, suture zonu, farklı levhaların devinimi ile neotektonik dönem deformasyonu ölçüt alınarak yapılan haritalar benimsenmiştir (Perinçek, 1979).

Aşağıda Türkiye'nin jeodinamik tarihçesi özetle anlatılmış ve bu bağlamda Arap levhasının konumu belirtmeye çalışılmıştır. Jeodinamik ile ilgili tüm anlatımlarda amaç, Güneydoğu Anadolu'nun jeotermal sistemine yorum getirme ve diğer bölgelerden farklılığını ortaya çıkarmaktır. Özetlenerek verilecek jeodinamik süreçler anlatılacak olandan daha karmaşıktır ve tartışılabilir yönleri bulunmaktadır. Bu tartışmalara girmeden, konunun jeotermal sistemin

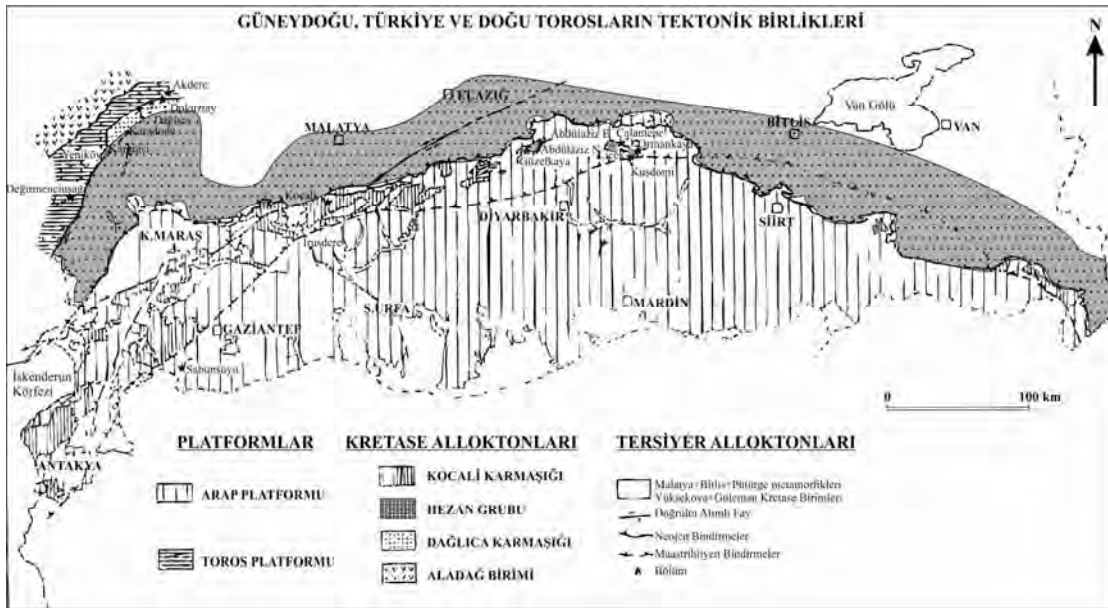
yorumlanmasına yararlı olacak şekilde özetlendiği kabul edilmelidir. Farklı olarak, bu proje kapsamında önemi nedeniyle neotektonik dönem süreci, ayrıntılı bir şekilde irdelenecektir.



Şekil 6.2: Güneydoğu Anadolu'nun tektonik birliklerini gösterir harita (Yılmaz ve Yiğitbaş 1990)



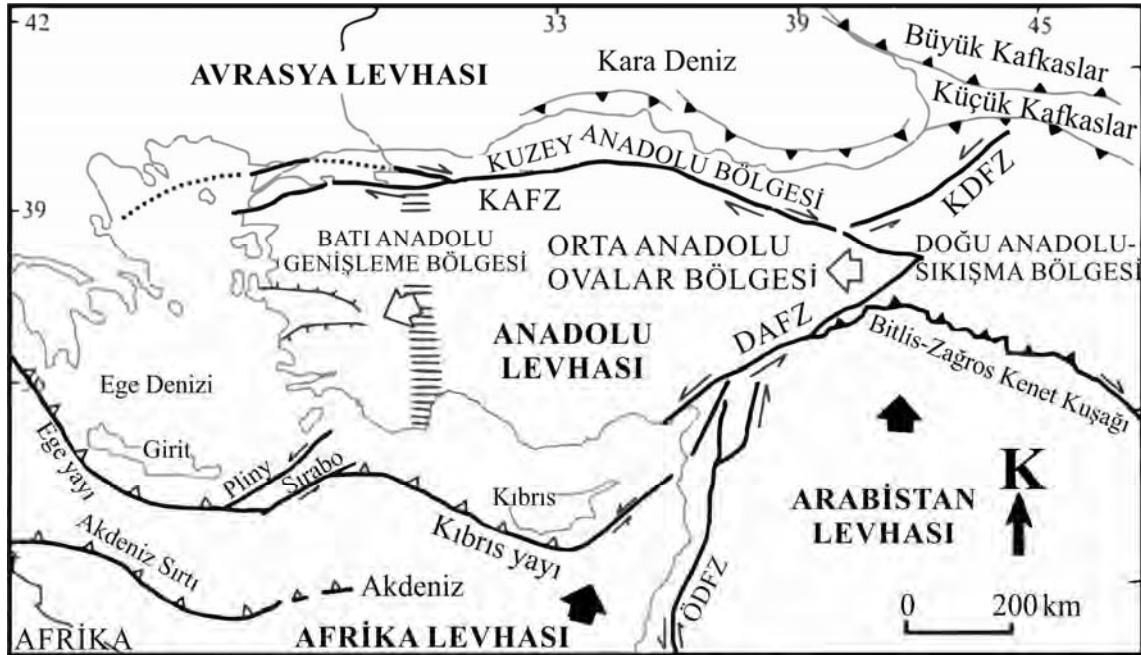
Şekil 6.3: Güneydoğu Anadolu'nun taslak yapı haritası (Perinçek 1979)



Şekil 6.4: Güneydoğu Türkiye ve Doğu Torosların tektonik birlikleri (Günay ve diğ. 1999'dan değiştirilerek)

Levha hareketleri boyutunda Anadolu'nun jeodinamiği, Paleozoyik dönemi sonunda Afrika ile Avrasya kıtalarının birleşmesiyle ortaya çıkmış olan Pangea (Büyük kıta) kıtasının yeniden parçalanması sonucunda oluşan Tetis Okyanusu'nun, farklı zamanlarda ve farklı yerlerde açılıp kapanması ile ortaya çıkan jeolojik süreçlerdir. Bu süreçte Paleotetis, Neotetis, Neotetis'in kuzey kolu, Neotetis'in güney kolu şeklinde okyanuslar ortaya çıkmıştır. Anadolu'da izleri görülen, tanımlanabilen Tetis Okyanusu kayaları, kenar denizleri ve karalarındaki kayalar Anadolu'nun Paleozoyik sonrası jeodinamik süreçlerini açıklayıcı niteliktedir (Şengör ve Yılmaz, 1983). Günümüzde tektonik dokanaklarla karşı karşıya gelmiş olan bu farklı kaya topluluklarının benzer mostraları birleştirilerek Anadolu'da farklı jeodinamik bölgeler ortaya çıkartılmaya çalışılmıştır (Şekil 6.5). Anadolu için yapılmış olan sınıflamalarda; Pontidler, Sakarya kıtası, İzmir-Ankara zonu, Toridler veya Toroslar, Doğu Anadolu yığılma prizması gibi adlamalar kullanılmıştır.

Konu ile ilgili çalışmaların tümünde Anadolu'nun jeodinamik bütünlüklere göre yapılan ayrımlarda Güneydoğu Anadolu özgün bir bölge olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle Eosen ve sonrasında günümüze kadar Güneydoğu Anadolu kaya toplulukları, volkanizması, tektonik yapı stilleri ve jeomorfolojisi ile özgün nitelikli bir bölgedir (Perinçek, 1979; Şengör ve Yılmaz, 1983; Yılmaz ve Yiğitbaş, 1990; Günay ve diğ., 1990). Araştırmacılar bölgeyi; levha boyutundaki ölçütlere göre Arap levhası, kaya toplulukları ortamına göre platform kayaları, deformasyon türüne göre kenar kıvrımları bölgesi olarak adlandırmıştır. Neotektonik dönem olaylarına göre yapılan adlamada bölge, diğer ayrımlardan farklı olarak, Doğu Anadolu bölgesi ile bir bütün kabul edilerek (Şekil 6.6) Doğu Anadolu sıkışma bölgesi olarak tanımlanmıştır (Şengör, 1980; Şengör ve diğ., 1984).



KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu
DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu

ÖDFZ: Ölü Deniz Fay Zonu
KDFZ: Kuzey Doğu Anadolu Fay Zonu

Şekil 6.6: Türkiye'nin neotektonik dönemini şekillendiren ana yapılar ve bölgeler (Şengör, 1980)

Ana düzlükler içinde genellikle D-B gidişli olan sırtlar antiklinallere karşılık gelmektedir. Yer yer yüzeyleyen volkanik ürünler ile karışmaya çok uygun bol çatlaklı kireçtaşlarının oluşturduğu yüzey şekilleri bu monotonluğu bozan ana unsurlardır. Bölge jeodinamiği anlatılırken yapılan alt bölümlendirmede kullanılan idari ayırım, aynı zamanda jeomorfolojik ve jeolojik özelliklerinde bütünlük oluşturması nedeniyle bir sorun ortaya çıkartmamaktadır.

Bölgede var olan yerleşim yerlerinin tarihçesi M.Ö. 9000 ve daha eskilere dayanmaktadır. Son yüzyıl öncesi yerleşim alanlarının ova kenarlarında, dağların eteğinde kurulduğu dikkati çekmektedir. Bu düzen deprensellik, temiz hava, atık deşarjı ve sağlık sorunlarını azaltıcı etkilerinin yanında tarım alanlarının korunmasını da sağlamıştır. Sıcaklıktan korunma, bölgeden uygun yapı taşlarını kullanma, mimari stil ve doğal su kaynaklarına yakınlık bölge için dikkat çekici bir özelliktir.

6.3. BÖLGE JEOLJİSİNE GENEL BAKIŞ

Güneydoğu Anadolu Bölgesi petrol, asfaltit, çimento, endüstriyel hammadde (kil, kireçtaşı vb.), gübre sanayi (fosfat yatakları) ve birçok önemli kaynak ihtiva etmesi nedeniyle ekonomik değerler taşımaktadır. Bu nedenle bölgede farklı amaçlarla çok sayıda jeolojik çalışmalar yapılmıştır. Çalışmaların içinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne (MTA) ait olanlar tüm bölgeyi kapsamı nedeniyle esas alınabilecek niteliktedir.

2002 tarihli yenilenmiş 1/500.000'lik Türkiye jeoloji haritasında da belirtildiği üzere Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde Prekambriyen'den Kuvaterner'e kadar devam eden değişik

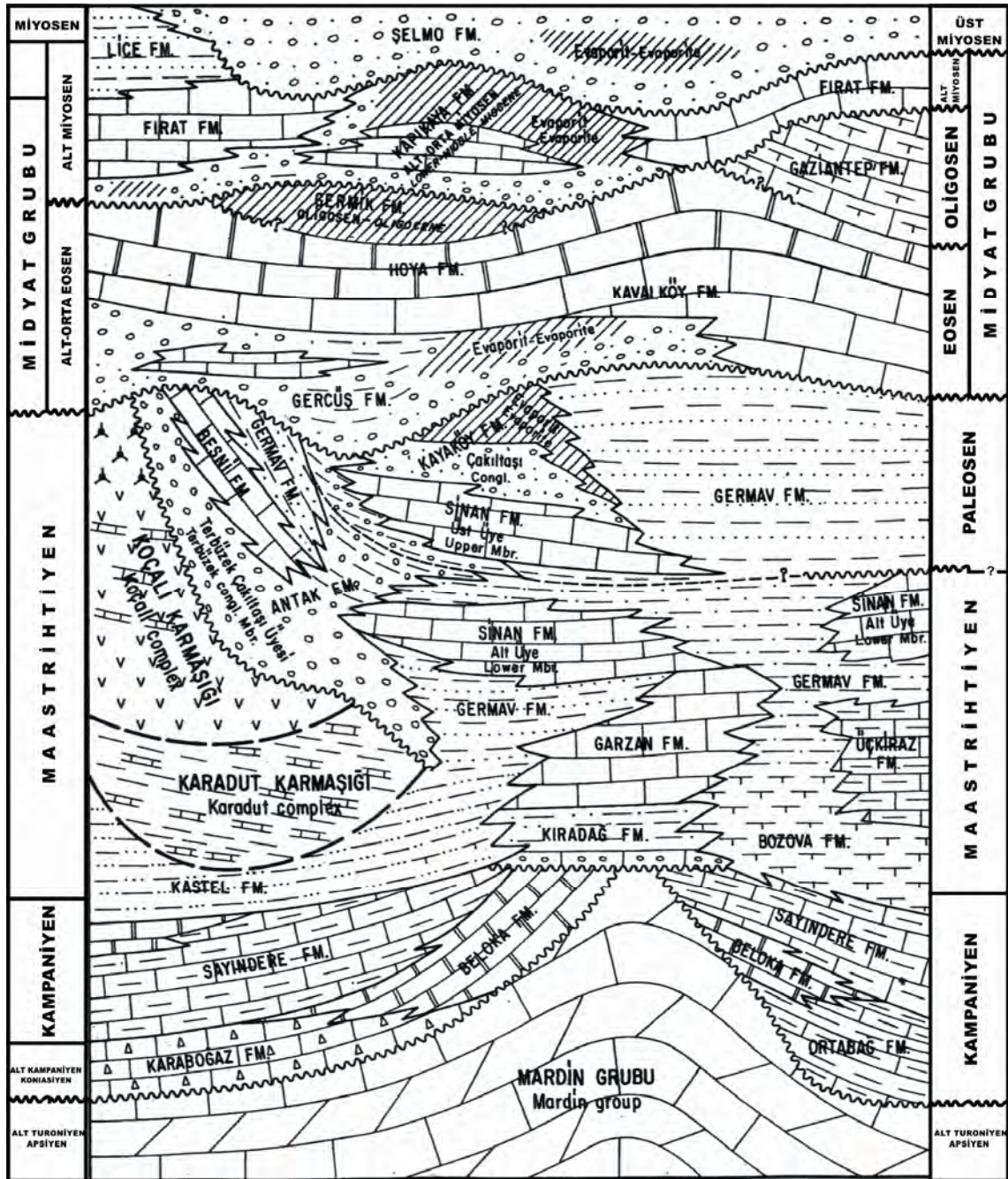
yaşta kaya toplulukları bilinmektedir. Bu kaya toplulukları ayırtlanabildiği kadarı ile Paleozoyik sonu, Kretase-Eosen, Alt Miyosen-Holosen arasında hüküm süren en az üç farklı tektonik rejim geçirmişlerdir (Şekil 6.7). Bölgede Miyosen ve sonrası deformasyon hala devam etmektedir. Neotektonik rejim olarak tanımlanan bu dönemde var olan daha yaşlı kaya topluluklarına ait kayalardaki eski deformasyonlar bozulmuş, kayalar aşınmış, taşınmış ve örtülmüştür. Bu nedenle söz konusu birimleri bölgenin her yerinde aynı kalınlıkta ve aynı derinlikte bulmak mümkün olmamaktadır.

Jeotermal sistemi doğru yorumlayabilmek için neotektonik dönem kaya toplulukları, deformasyon şekilleri, paleocoğrafya, volkanizma, alterasyon, kabuk yapısı ve ısı derinlik değişimi ile bilgiler ayrı başlık altında incelenecektir. Paleotektonik döneme ait jeolojik özellikler günümüz jeotermal sistemini yönlendiren özelliklerle birlikte anlatılacaktır.

Bölgeye ait genelleştirilmiş stratigrafik kolon kesit incelendiğinde (Şekil 6.8), Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından hazırlanmış olan araştırmalarda birimlerin formasyon bazında adlamalarının yapıldığı, olası derinlikleri ile yaşlarının verildiği görülmektedir. Konu ile ilgili ayrıntılı bilgiler TPAO'nun yayınlanmamış arşivlerinde (Yılmaz ve Duran, 1997) ve yayınlarında görülebilir.

Bölgedeki en eski jeolojik birim Telbesmi Formasyonu olup volkanitlerden meydana gelmektedir. Prekambriyen yaşlı olan birimin altı bilinmemektedir. Yörede bulunan Saran (kırıntılı birimler), Koruk (karbonatlar) ile Sosink (şeyl, kumtaşı) formasyonları ile devam eden Kambriyen istifi Telbesmi Formasyonu ile beraber Derik Grubu'nu oluşturmaktadır. Derik Grubu'nun üzerine gelen Habur Grubu kaya toplulukları Ordovisiyen yaşlı olup, altta sığ denizel kırıntılılardan oluşan Seydişehir Formasyonu ile üstte derin deniz şeyl ve kırıntılılarından oluşmaktadır. Bölgede Siluriyen-Devoniyen yaşlı Diyarbakır Grubu; alttan üste doğru kumtaşı ve şeylden oluşan Dadaş Formasyonu, karbonat katkılı kırıntılılar (Hazro fm.) ile karbonat ağırlıklı (Kayayolu fm.) kayalardan oluşmaktadır. Üst Devoniyen-Karbonifer yaş aralığına ait Zap Grubu kaya toplulukları altta kırıntılılar (Yığınlı fm.), üstte ise karbonatlardan (Köprülü fm. ve Belek fm.) oluşmaktadır.

Güneydoğu'da yüzeylenen Permiyen yaşlı Tanin Grubu kaya toplulukları altta karasal kırıntılılar (Kaş fm.) ile üste doğru denizel kırıntılılarla karbonatlardan (Gomaniibrik fm.) meydana gelmektedir. Bölgede bulunan bu birimler arasında sınırlı kesiklikler ve uyumsuzluklar gözlemlenmiştir. Ancak tüm bu birimleri, Mesozoyik yaşlı kaya birimleri tarafından oluşturulan diskordans niteliğindeki yapısal uyumsuzluk üzerlemektedir.



Şekil 6.7: Güneydoğu Anadolu allokon-paraallokon kaya stratigrafi birimleri korelasyon çizelgesi (Perinçek, 1980)

YAS AGE	KAYA BİRİMLERİ (ROCK UNITS)	LİTOLOJİ (LITHOLOGY)	KALINLIK (m) (THICKNESS)	NOTLAR (REMARKS)		
PLİYO-KUVATERNER	ALÜVYON		50-100			
TERTİYER	MİYÖSEN	ŞELMO (T)	200-800	KARADENİZ		
		LİCE (TU)	100-800	DOĞU AKDENİZ		
		FIRAT (TF)	100-200	DOĞU AKDENİZ		
	OLİGÖSEN	MİDYAT (Tm)	200-1200	AKDENİZ PLATOLU		
		EÖSEN	SİRNAK (Ks)	500-1000	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
	500-1500			AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
	50-250			AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
	KRETASE	PALEÖSEN	SİRNAK (Ks)	500-1000	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
				500-1500	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
				50-250	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
ALT MÜDYEN		MARDİN (Km)	SAYINDERE (Ks)	50-250	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			KARABOĞAZ (Ks)	50-200	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			KARABARAK (Ks)	180	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			DERDERE (Ks)	50-275	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			SABUNSUYYU (Ks)	40-425	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			AHERAN (Ks)	50	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			LATDAĞI (Ks)	350-750	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
TRİYAS	ALT MÜDYEN	YOLACAN (Ks)	50-400	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
			CANAKLILIK (Rg)	KOZLUCA (Ks)	50	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ
				DİNÇER (Ks)	80	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ
	TELHASAN (Ks)	80		AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
	ALT - ORTA	CANAKLILIK (Rg)	CAMURLU (Ks)	100-150	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			GEMELİ (Ks)	50	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			BAKÜK (Ks)	300-400	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			UZUNGEÇİT (Ks)	200-400	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			ULUDERE (Ks)	100-200	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
			VONCALLI (Ks)	100-150	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ	
GOMANİBRİK (Ks)			300-400	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
PERMİYEN	TANIN (P)	KAŞ (P)	30-80	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		KÖPRÜLÜ (P)	150-200	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
DEVONİYEN	ZAP (Dz)	YIĞINLI (D)	200-300	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		KAYAYOLU (D)	90-7	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		HAZRO (D)	100-250	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
SİLURİYEN	DİVARRAKIR (Sd)	DADAS (Sd)	200-400	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		BEDİNAN (Sd)	500-1500	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
ORDOVİSİYEN	HABUR (Hb)	SEVDİŞEHİR (Os)	500-1000	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		SOSİNK (Os)	100-300	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
KAMBRIYEN	ORTA ÜST	KORUK (Kb)	30-200	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
		SADAN (Kb)	200-500	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		
PREKAMBRIYEN	DERİK (Dk)	TELRESMİ (Dk)	500-7	AKDENİZ PLATOLU - NARAZ		

Şekil 6.8: Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin geliştirilmiş stratigrafik kolon kesiti (TPAO' dan alınmıştır)

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yüzeyleyen Mesozoyik yaşlı kaya toplulukları, aralarında killi düzeyler bulunduran karbonat istifinden meydana gelmektedir. İstifte alttan üste doğru; Yoncalı (karbonatlar), Uludere (karasal kırıntılılar), Uzungeçit (karbonatlar) formasyonlarından oluşmuş olan Triyas yaşlı Çığılı Grubu, değişik karbonatlardan meydana gelmiş olan Bakük, Girmeli, Çamurlu, Telhasan, Dinçer, Kozluca, Yolaçan ve Latdağı formasyonlarından oluşmuş olan Triyas-Jura yaşlı Cudi Grubu kaya toplulukları yer almaktadır. Mesozoyik yaşlı istifin ortalarında yer alan Mardin Grubu kaya birimleri karbonatlardan meydana gelmektedir ve litolojik farklılıklara göre Areban, Sabunsuyu, Derdere ve Karababa formasyonlarına ayrılmıştır. Bu birimler Kretase yaşlı olup üste doğru Ortabağ, Karaboğaz ve Sayındere formasyonlarına (karbonatlar) geçerler (Şekil 6.9). Bölgesel bazdaki gözlemlere göre istifin üzerinde Şırnak Grubu'na ait kaya toplulukları yer almaktadır. Kretase-Paleosen zaman aralığında oluşmuş olan bu birimler Güneydoğu Anadolu'nun farklı alanlarında, litolojik değişikliklerden dolayı, eş yaşlı olan çok sayıda alt birime ayrılarak haritalanmıştır. Tanımlandığı gibi bu grupta kırıntılılar, şeyller, karbonatlı seviyeler birbirlerine göre yanal ve düşey olarak geçişlidirler. Sadeleştirerek tanımlanacak olursa altta en yaşlı olan birim Karadut, üzerinde Hezan ve Terbüzek formasyonları, daha üstlerde ise Kastel, Bozova ve Kıradağ formasyonları yer almaktadır.



Şekil 6.9: Mardin Grubuna ait karbonatlardan görünüm

Şırnak Grubu'nun ortalarında yer alan istif Germav Formasyonu olup, birim şeyl ve marnlardan oluşmaktadır (Şekil 6.10). Ayrıca bu birim içerisindeki çakıl taşları (Gercüş, Antak fm.), karbonatlı seviyeler (Besni, Garzan, Belveren ve Becirman fm.) ve jipsli seviyeler (Kayaköy fm.) ayrı birimler olarak haritalanmıştır. Şırnak Grubu'nun en üst düzeylerinde çakıltaşı, kumtaşı, çamur taşından oluşan Gercüş Formasyonu yer almaktadır. Birim kırmızı renkli ve alttaki istiflere ait çakıllar bulunduran karasal bir fasiyeste çökellerden meydana gelmiştir. Her ne kadar Şekil 6.8'de TPAO tarafından düzenlenen kolon kesitte formasyon, Şırnak Grubu'nun en üst seviyelerine konmuş ise de, arazi gözlemlerimize göre birim Şırnak Grubu üzerine diskordans olarak gelmekte olan Midyat Grubu kaya topluluğunun taban çakıl taşıdır ve Eosen yaşlıdır.



Şekil 6.10: Kozlu (Batman) çevresinde yüzlek veren Germav Formasyonuna ait birimlerden görünüm

Güneydoğu Anadolu, Eosen-Oligosen zaman aralığında tüm bölgeye yayılmış olan platform kireçtaşları tarafından örtülmüştür. Egemen olan kireçtaşları arasında killi kireçtaşı ve yerel jips ve çakıltaşı düzeyleri bulunmaktadır. Midyat Grubu'nun en alt düzeyinde bulunan bol fosilli kireçtaşları (Kavalköy fm.), kireçtaşları (Hoya fm.), killi kireçtaşı (Gaziantep fm.), jipsli çakıllı düzeyler (Germik fm.) haritalanacak boyutlarda olup ayrı ayrı formasyonlara bölünmüştür (Şekil 6.11). Alt Miyosen'de açılan yeni bir havzada Silvan Grubu kaya toplulukları çökelmiştir. Paleotektonik dönemin en son ürünü olan bu istifte, sığda platform kireçtaşları (Fırat fm.), açıklarda ise yüksek enerjili çökelim gösteren kırıntılılar (Lice fm.) bulunmaktadır. Bölgenin kuzey taraflarında Arap levhası boyunca boydan boya varlığı gözlenen bu havza çökellerinde, büyük boyutlara varan ve kuzeyden taşınan bloklar, olistostromlar ve tektonik dilimler halinde ofiyolitik kaya toplulukları bulunmaktadır. Ağırlıklı olarak istifin üst kısımlarında ve havzanın kuzeyinde görülen bu bloklu yapı bazı araştırmacılar tarafından Çüngüş Formasyonu veya karmaşığı adı verilerek ayrı haritalanmıştır. Orta Miyosen sonunda Lice baseninin kapanması sonucunda var olan Tetis okyanusu veya okyanus artığı denizin nihai çekilmesi gerçekleşmiştir. Bölgede Lice havzası güneyinde var olan kaya birimlerinin hızlı bir şekilde aşınarak topografyasının düzleşmesi ile Güneydoğu Anadolu'da peneplene yakın düzlükler oluşmuştur.

Havza kapanımı sonrasında, karasal fasiyeste çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı ardalanmasından meydana gelen Şelmo Formasyonu tüm Güneydoğu Anadolu'yu kaplayacak şekilde çökelmiştir. Kıta-kıta çarpışması şeklinde devam eden bölgedeki deformasyonlar nedeniyle Şelmo Formasyonunun kuzey bölümlerde kıvrımlı olduğu, buna karşılık güney kısımlarda yataya yakın ilksel konumlarını koruduğu görülmektedir. Kuvaterner döneminde Şelmo Formasyonu üzerinde gelişen akarsu sistemleri, birimi aşındırmıştır ve yataklarında

haritalanacak boyutlarda çökelmeye başlamıştır. Bölgede var olan heyelanlar, seki sistemleri, travertenler de diğer güncel birimleri oluşturmaktadır. En son tektonik rejim değişikliğini ifade eden Lice havzasının kapanması, Şelmo Formasyonu'nun alt birimlerini uyumsuz örtmesi, tüm alt birimlerin çakıllarını içerisinde bulundurması, daha yaşlı kıvrım ve bindirmeleri örtmesi, karasal fasiyeste olması gibi özellikleriyle oldukça belirgindir. Bu rejim değişikliği günümüze kadar ulaşmıştır ve neotektonik olarak tanımlanmaktadır. Neotektonik dönem olayları jeotermal sistem için önem arz ettiğinden bu çalışmada ayrı olarak incelenmiştir.



Şekil 6.11: Billuris Kaplıcası (Siirt) ve çevresinde yüzlek veren Midyat grubuna ait karbonatlardan görünüm

Bölgede bulunan kaya toplulukları, Kretase sonrasında bile üç farklı deformasyona uğramışlardır. Jeoloji haritalarına bakıldığında yöre birimlerinden en yaygın yüzeylenenler; Mardin Grubu'na ait kireçtaşları, Şırnak Grubu'na ait Germav Formasyonu'nun killi-siltli düzeyleri, Midyat Grubu'na ait Gercüş çamurtaşları ile Hoya ve Gaziantep kireçtaşları, Miyosen'e ait Lice ve Şelmo formasyonlarıdır. Daha yaşlı kaya toplulukları sınırlı alanlarda gözlenmektedir. Aşınmış antiklinallerin çekirdek kısımlarında Prekambriyen'e kadar istifleri gözlemlemek mümkündür (Derik ve Hazro antiklinalleri). Yaygın yüzlekler veren Germav, Lice ve Şelmo formasyonları örtü kaya, Mardin ve Midyat gruplarına ait kireçtaşları ana rezervuarlardır.

Kretase yaşlı Mardin Grubu altındaki birimlerin örtülü olması ve aşınıp aşırı tektonizmaya maruz kalmaları nedeniyle yayılımları kestirilememektedir. Kretase öncesi istifte ağırlıklı olarak örtü niteliğinde istifler bulunur. Arada yer alan kireçtaşları ise ikinci derecede rezervuarları oluştururlar.

6.4. GÜNEYDOĞU ANADOLU'NUN NEOTEKTONİĞİ

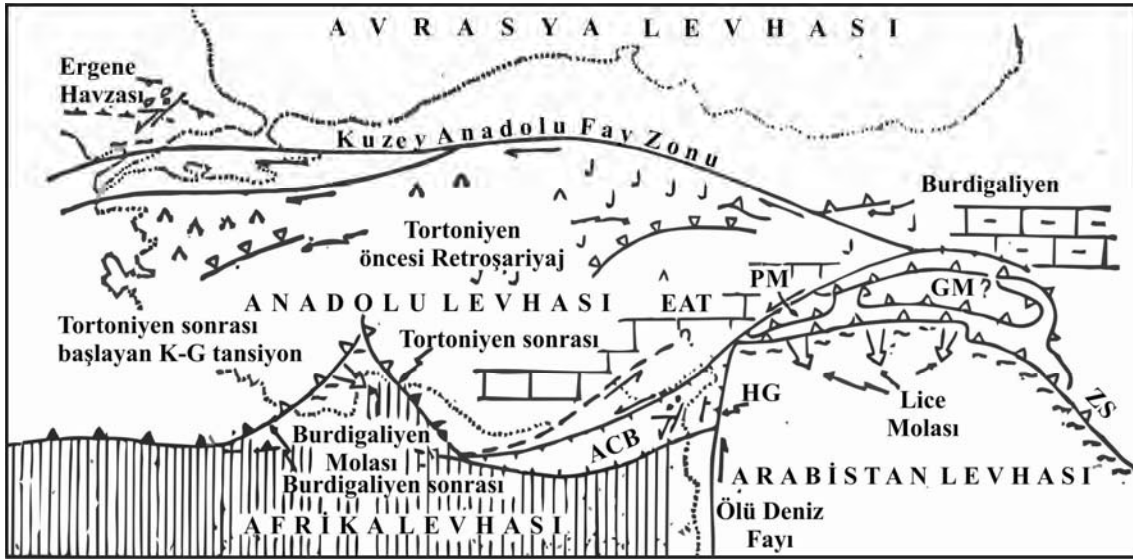
Tektonik; yerkabuğunun kırılğan olan üst kısmının şekillenmesini ve şekil değiştirme geometrilerini inceleyen bilim dalı olarak tanımlanırsa, bir yörede meydana gelen en son rejim değişikliğinden günümüze kadar devam eden kısma Neotektonik dönem adı verilir. Belli bir tektonik stil ile deformasyona uğrayan bölgeye de neotektonik bölge denilmektedir.

Güneydoğu Anadolu'da Üst Oligosen-Alt Miyosen döneminde var olan ve Tetis Okyanusu'nun en son artığı olarak kabul edilen Lice baseninin kapanması sonucunda, kıta-

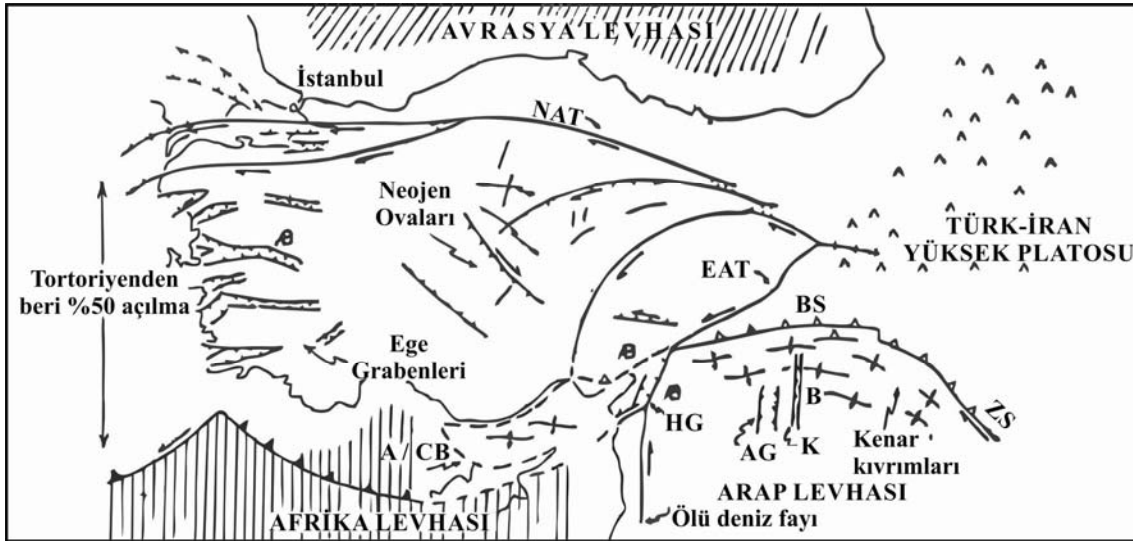
kıta çarpışması gerçekleşmiştir (Şekil 6.12). Ortaya çıkan kıta-kıta çarpışması Orta Miyosen'de gerçekleşmiştir. Günümüzde halen devam eden bu çarpışma neotektonik dönemi (Şekil 6.13) ifade etmektedir (Şengör, 1980; Şengör ve Yılmaz, 1983; Şaroğlu, 1985) ve genel olarak bölge K-G yönde sıkışarak deformasyona uğramaktadır. Lice baseninde izlenen kaya topluluklarının bir kısmı okyanusal malzemeden meydana gelmektedir. Bu malzemelerin tümü, istifin içinde allokton olarak bulunmaktadır. Bu nedenle söz konusu okyanusal kabuk malzemesinin kayaların havza tabanından mı türediği yoksa havza dışından mı taşındığı konusu tartışmalıdır. Bu nedenle Lice havzasının tabanının okyanusal malzeme taşıyıp taşımadığı kesin olarak bilinmemektedir. Diğer bir deyişle, havza ürünleri Tetis Okyanusuna ait mi yoksa okyanusun tamamen bölgeden çekilmesi sonrasındaki artık denizin ürünleri midir, net bir şekilde bilinmemektedir. Derinden gelişen bu levha boyutundaki hareketlerin bir suture zonu ile Anadolu ile Arap levhalarını karşı karşıya getirmesi ile yüzey jeolojisinde bile çarpışma net olarak izlenebilmektedir. Yani tektonik rejim, var olan nihai denizin Anadolu'dan çekilmesi yanında bölgede farklı paleocoğrafya, yapısal şekiller, yeni havzalar, değişik volkanik unsurlar ortaya çıkarmıştır. Anadolu neotektonik dönem deformasyonu süresince ortaya çıkan farklı yapısal tarzla karakterize edilebilen neotektonik bölgeler (örneğin Doğu Anadolu sıkışma, Orta Anadolu-ova, Batı Anadolu açılma veya genişleme bölgesi) ortaya çıkmıştır. Bu kriterlere göre Güneydoğu Anadolu, Doğu Anadolu ile aynı tür deformasyona uğradığından her iki bölge de Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi adı altında değerlendirilmektedir.

Günümüz kaya topluluklarının tektonik dilimlenmeleri dikkate alındığında Lice baseninin kuzeyinde ve güneyinde birbirinden farklı kaya topluluklarının olduğu görülür (Şekil 6.14). Havzanın kuzeyinde daha önce kapanmış olan Neotetis Okyanusu'nun kabuğundan oluşan yığılım prizması ile aralarında bloklar şeklinde allokton duran metamorfitler bulunmaktadır. Lice baseninin kuzey platform çökelleri ve lagünleri bu birimleri örtmektedir. Lice baseninin güneyinde ise varlığı daha yaşlı dönemlere dayanan platform çökelleri ile belirgin olan sığ bir kenar denizi bulunmaktadır. Güney platformu oluşturan bu sığ kenar denizi zaman zaman kuzeye ilerleyerek veya güneye çekilerek varlığını Eosen'den beri korumaktadır. Pennele yakın paleocoğrafyası, sınırlı volkanizması, sade ve belirgin tektonizması nedeniyle Güneydoğu Anadolu Eosen ve sonrası kaya topluluklarının stratigrafisi tanımlanabilen niteliktedir. Bölgede yaygın olan Paleotektonik dönemin en genç kaya paketi ile neotektonik dönem kaya toplulukları; killi, marnlı örtü kayalar ve karstik özellikteki bol çatlaklı olmaları nedeniyle rezervuar olabilecek kireçtaşı düzeyleridir.

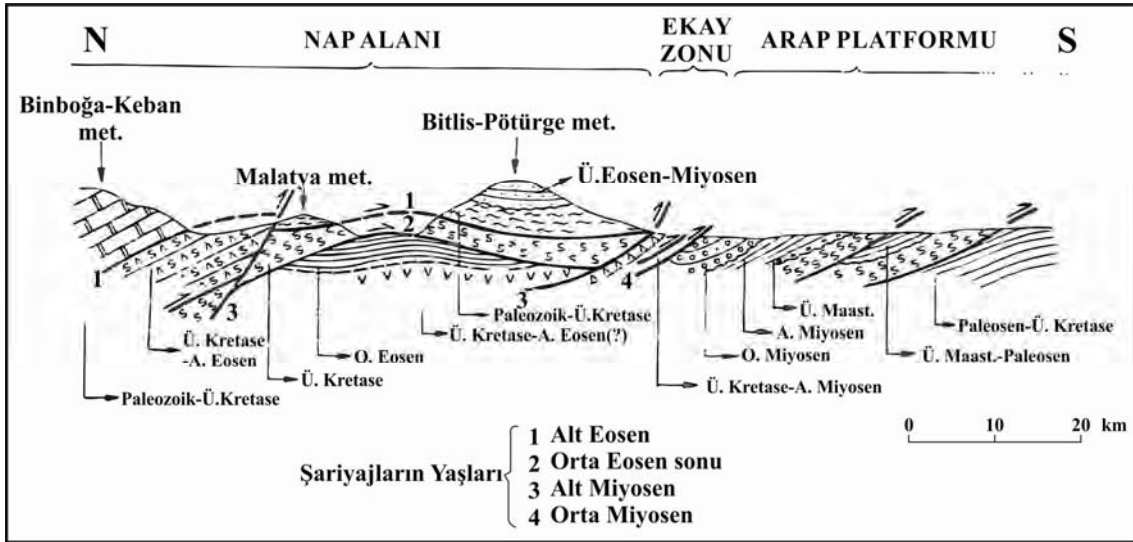
Neotektonik dönemde bölgede meydana gelen açılma çatlakları veya normal faylar boyunca mikro-grabenler ile yer yer volkanizma ürünleri gözlenmektedir. Dönem boyunca bölgede meydana gelen kabaca K-G yönde sıkışma sonucunda D-B eksenli kıvrımlar, K-G yönlü açılma çatlakları ile D-B yönelimli bindirmelerin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bölgenin kuzeyinde ve levha sınırlarına yakın yerlerde atımları 10 km ve daha fazla olabileceği kabul edilen, düzlemleri kuzeye eğimli bindirmeler egemendir. Bölgenin genelinde izlenebilen kıvrımlı yapılar oldukça simetrik, yayvan kanatlı ve birkaç km uzunluğa sahip olabilmektedir.



Şekil 6.12: Orta Miyosen-Pliyosen paleotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1983)



Şekil 6.13: Pliyosen-Günümüz neotektonik haritası (Şengör ve Yılmaz, 1983)



Şekil 6.14: Güneydoğu Anadolu'nun tektonik birliklerinin gösterir genelleştirilmiş jeolojiden kesiti (Yılmaz ve Yiğitbaş, 1990)

Güneydoğu Anadolu'da sınırlı alanlarda ve homojen nitelikte yüzeylenmiş olan volkanizma bazaltik karakterdedir. Dönem boyunca zaman zaman etkinlik göstermiştir. Volkanizma genellikle K-G yönlü açılma çatlaklarından yüzeye ulaşmıştır. Bölgenin değişik yerlerinden çatlaklar boyunca çıkmış, yarık erüpsiyonu şeklinde görülen neotektonik dönem volkanizması Karacadağ çevresinde yanardağ niteliğine dönüşmüş bir bütünlük oluşturmaktadır.

Neotektonik dönem tektonik rejimin etkisiyle bölgede izlenen diğer bir yapı ise K-G doğrultulu fayların sınırladığı mikro-grabenlerdir. Yer yer kıvrımlar ile şeklinin bozulduğu bu tip oluşumlara en iyi örnek Harran ovası ve Akçakale grabenleridir.

6.5. KARACADAĞ VOLKANİTLERİ

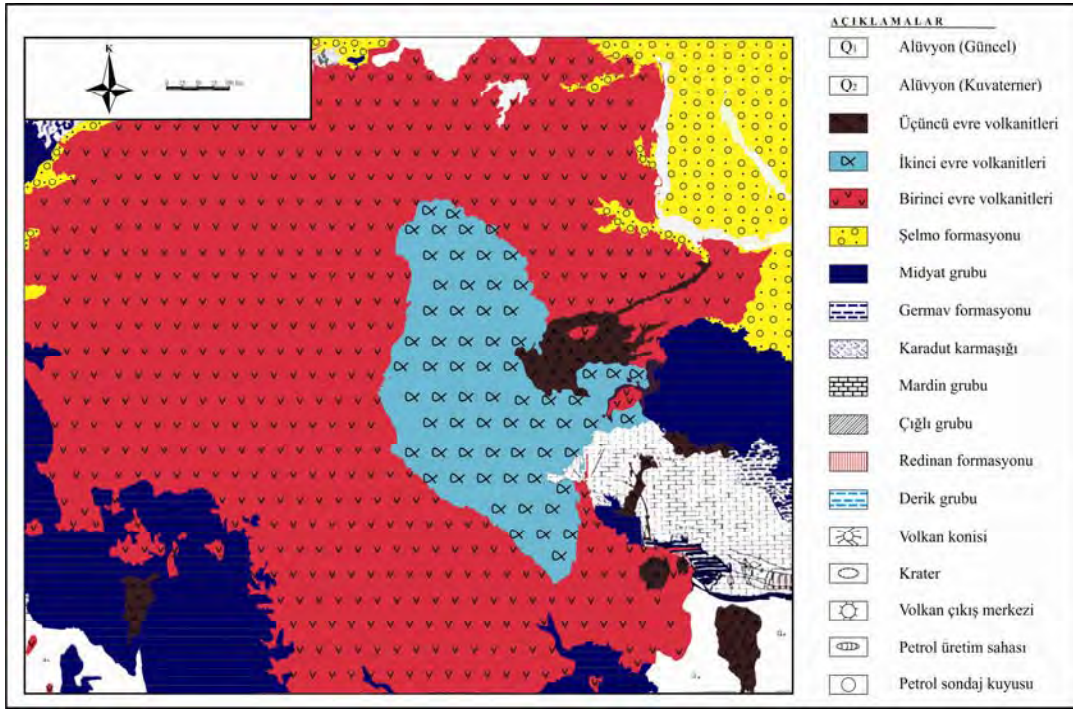
Güneydoğu Anadolu'da sınırlı alanlarda magmatik kayalara rastlanmaktadır. Bölgenin en eski magmatik kayaları Prekambriyen yaşlı olup Telbesmi Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Derik Antiklinali çekirdeğinde yüzeylenmiş olan bu birimi Kambriyen yaşlı çökel kayalar örtmektedir. Andezitik karakterde lavlar ile aralarında yer alan piroklastiklerden oluşur. Birimin altında ve daha yaşlı olan birim yörede bulunmamaktadır. En az 500 m kalınlıkta olduğu yorumlanmaktadır. Andezitleri örten Sodan Formasyonu ile dokanağı uyumsuzdur. Tüm Güneydoğu Anadolu'da jeolojik süreçler boyunca Miyosen'e kadar herhangi bir volkanik etkinlik gözlenmez. Bölgenin kuzey kesimlerinde dağınık alanlarda Mesozoyik yaşlı olduğu kabul edilen allohton ve kuzeyden gelen nap veya bloklu dilimlerde ofiyolitik melanja ait bazalt, split, serpantin ve benzeri magmatik kayalar bulunmaktadır.

Güneydoğu'da etkin, tanımlanabilen ve jeotermal sistemlerle ilişkilendirilebilen tek volkanizma Neotektonik dönemde gözlenmektedir. Bölgenin en batısından doğusuna kadar yer yer yüzeylenen bu volkanizma Diyarbakır-Şanlıurfa arasında Karacadağ'da yoğunlaşmıştır. Bu nedenle jeodinamik açıdan değerlendirildiğinde, neotektonik dönem volkanizmasının Karacadağ Volkanitleri olarak adlandırılması uygun görülmüştür. Bölgenin diğer alanlarında gözlenen lav akıntıları sınırlı kalınlıkta çökel kayalarla örter veya örtülmektedir. Düzenli bir

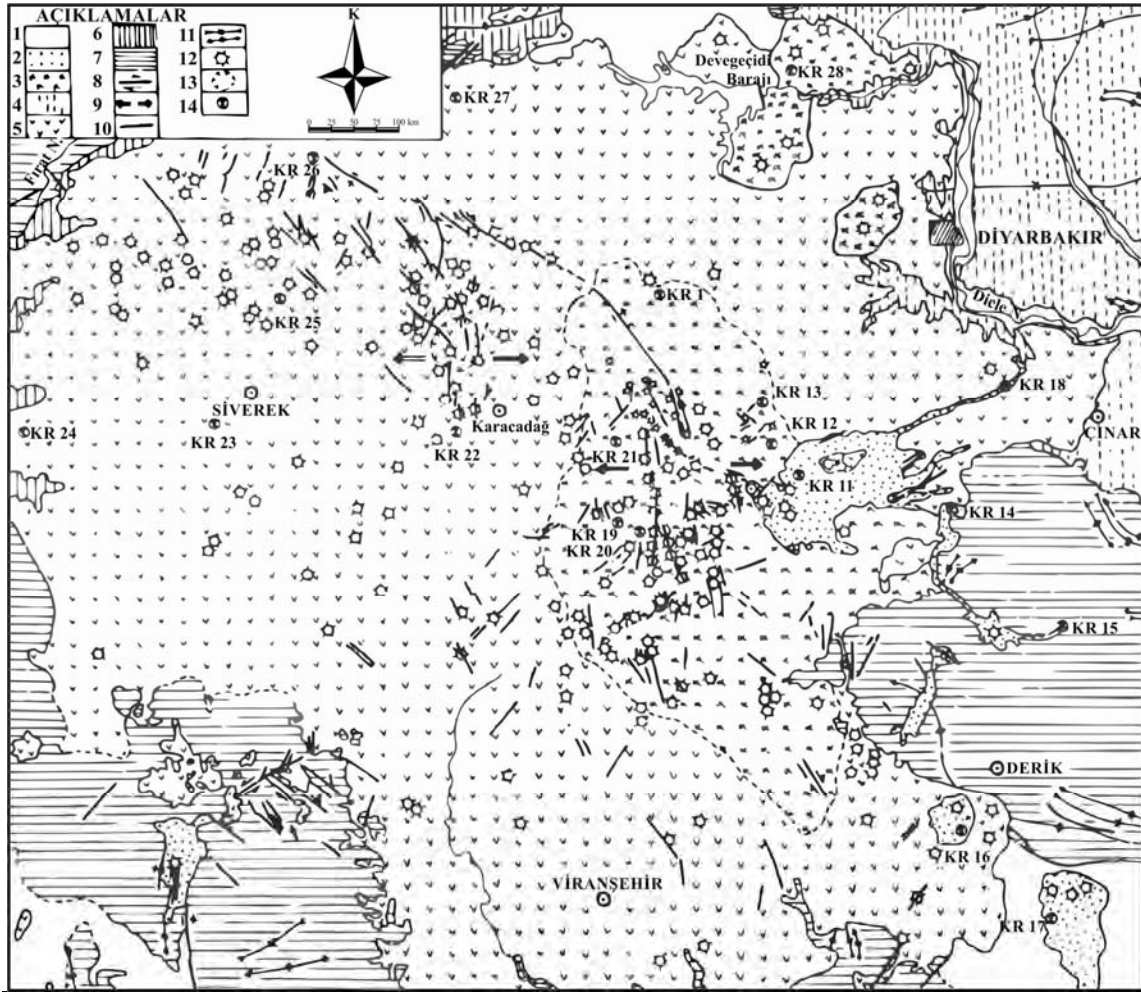
istif görünümündedir. Bu nedenle de Karacadağ dışındaki lav mostraları Yıldızeli bazaltları olarak adlandırılmıştır. Köken olarak aynı volkanik aktiviteye ait olduğu kabul edilmektedir.

Bölgedeki volkanizma farklı araştırmacılar (Haksal (1981), Şaroğlu ve Emre (1987), Pearce ve diğ. (1990), Ercan ve diğ. (1991)) tarafından çalışılmış, petrografisi, kökeni, petrolojisi, ve jeokimyası ile yaşlandırması ortaya konmuştur. Bu proje kapsamında Karacadağ Volkanitleri ile ilgili ayrıntılar ve irdelemeler yukarıda adı geçen araştırmacılardan alınmıştır.

Arap Platformu üzerinde yer alan Karacadağ Volkanitleri Diyarbakır, Şanlıurfa, Mardin arasında yaklaşık 10.000 km² lik bir alanda yayılım göstermektedir (Şekil 6.15). Volkanik etkinlik boyunca bazaltik lavlar ve aynı bileşimdeki piroklastikler çıkarmıştır. Volkanizma tüm aktivitesini tekdüze olarak sürdürmemiştir. Volkanitler üç etkinlik devresi ve her etkinlik devresi birkaç faza ayrılabilir şekilde yüzeylenmiştir (Şekil 6.16) (Şaroğlu ve Emre 1987). Etkinlik devreleri ayırımında lavların stratigrafik konumu, kaya özelliği, çıkış merkezleri, aşınım süreçleri dikkate alınmıştır. Ercan ve diğ. (1991), yörenin ayrıntılı jeolojisini haritalamış ve çökel kaya toplulukları ile olan dokanak ilişkilerini belirleyerek lav çıkışlarını fazlara göre detaylandırmıştır (Şekil 6.17).



Şekil 6.15: Karacadağ volkanitlerinin sadeleştirilmiş jeoloji haritası (Şaroğlu ve Emre, 1987)



1. Alüvyon	8. Doğrultu atımlı fay
2. III. Evre volkanitleri	9. Açılma çatlağı
3. II. Evre volkanitleri	10. Fay (Niteliği belirlenmemiş)
4. Yeniköy Formasyonu	11. Kıvrım eksenleri
5. I. Evre volkanitleri	12. Volkanik çıkış merkezi
6. Şelmo Formasyonu	13. Kaldera
7. Miyosen öncesi kaya toplulukları (Ayrılmamış)	14. Örnek alınan yerler

Şekil 6.16: Karacadağ volkanitleri ve yakın çevresinin sadeleştirilmiş tektonik haritası (Şaroğlu ve Emre 1987)

Karacadağ volkanizmasına ait ikinci evre volkanitleri ile birinci evre volkanitleri arasındaki sınır net değildir. Sınır ayrımı lav akıntılarının geliş yönü, topoğrafik uyumsuzluk ve çıkış merkezlerinin yayılımına göredir. Dağın zirvesinden geçen K-G yönlü açılma çatlakları yaklaşık 35 km uzunluğundadır. Açılma çatlaklarının KD ve KB'ya dönüş yaptığı yerlerde doğrultu atımlı faya dönüşmektedir. İkinci evre volkanik ürünlerin en kalın olduğu Karacadağ yöresinde kalınlık yaklaşık 1000 m'dir. Bu evre volkanizması Üst Pliyosen yaşlıdır.

Karacadağ volkanizması üçüncü evre volkanitleri sınırlı dağılım gösterirler. Genelde Karacadağ'ın GD'sunda, dağın ve birbirleriyle bağlantısız lav akıntıları halindedir. Volkanik ünitenin değişik yerlerinde gözlenen dağın ve çoğu piroklastiklerden oluşan volkan konileri bu dönemde gelişmiştir. Lavlar kilometrelerce uzağa ve günümüz drenaj sisteminin içinde akmışlardır. Kalınlığı 100 m'yi geçmez. Birim Kuvaterner yaşlıdır.

Karacadağ volkanitlerinin jeolojisi gibi petrografisi ve jeokimyası da ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Çoğu örnekler, kullanılan yöntemler ve varılan sonuçların aynı olduğu bu araştırmalar Haksal (1981), Pearce ve diğ. (1990) ile Ercan ve diğ.(1991) tarafından yapılmıştır. Konu ile ilgili çalışmalardan sadece jeotermal kaynak oluşumunun yorumlamasında yarar sağlayacağı düşünülen bölümler özetlenerek verilecektir. Verilen bilgi kaynağı sadece bu kaynak sahibine ait değil de diğer araştırmalardan da bulunabileceği unutulmamalıdır.

Petrografik incelemelere göre Karacadağ'ı oluşturan tüm lavlar, bazaltik karakterdedir. Farklı evrelerde çıkmış olan lavlar arasında petrografik açıdan farklılık yoktur. Tüm bazaltik lavlar "Olivin Bazalt" ve "Olivin-Ojit Bazalt" türündedir. İnce kesitte bol olivin ile daha az ojit ve plajiyoklaslar gözlenmiştir. Hamurunda ise aynı minerallerin ufak kristalleri ile opak mineraller ve volkanik camlar gözlenir (Ercan ve diğ. 1991).

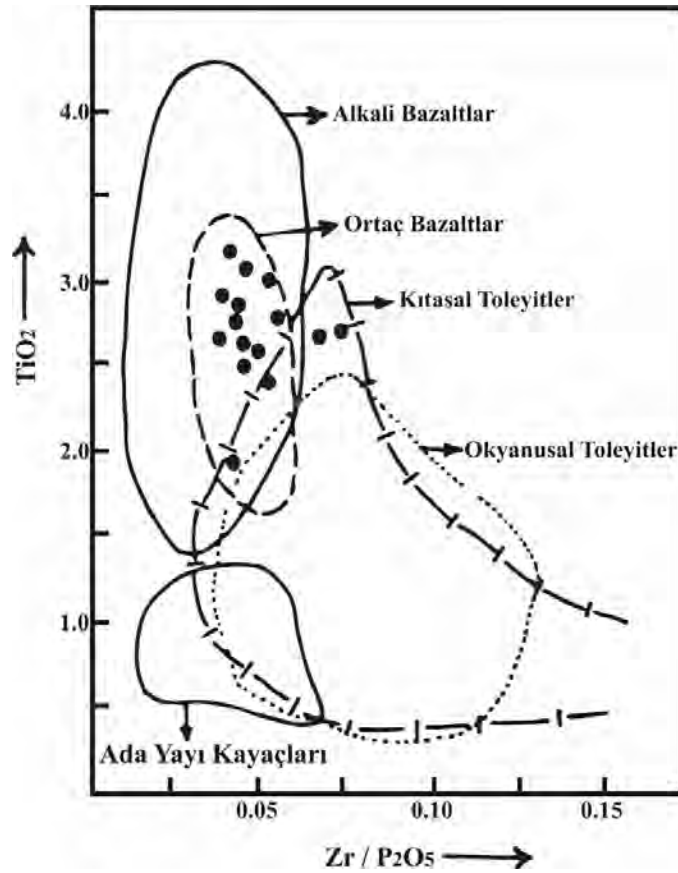
Yukarıda adı verilen araştırmalarda ayrıntılı bir şekilde görülebileceği gibi, bölge volkanizmasından alınan örneklerden major, iz ve nadir toprak element kimyasal analizleri ile yaş tayinleri yapılmıştır (Haksal, 1981, Pearce ve diğ. 1990, Ercan ve diğ. 1991). Ercan ve diğ.(1991)'den alınan Karacadağ Volkanitlerinin major, iz ve nadir toprak element kimyasal analizleri, radyometrik yaş ölçümleri ve stronsiyum izotop oranları aşağıda verilmektedir (Tablo 6.1).

Tablodan elde edilen bilgiler farklı araştırmacıların önerdikleri diyagramlara yerleştirildiğinde öz olarak Karacadağ Volkanitleri'nin lavlarından alınan örneklerdeki major element kapsamına göre genellikle orta derecede alkalin nitelikte oldukları görülmektedir. Lav örneklerinin az bir kısmı subalkalin niteliğindedir. Karacadağ volkanitleri'nin kimyasal yoldan yapılan adlamalarına göre bazalt, trakibazalt, tefrit ve bazalt oldukları belirlenmiştir. Bu özellikleriyle Karacadağ Bazaltları olarak bazalt ve olivin toleyit olarak adlandırılabilir. İz ve nadir element kapsamına göre Karacadağ Volkanitleri manto kökenlidir. Diyagramlardaki yerlerine göre de plaka ortası bazalt sınıfına girmektedir (Şekil 6.19).

Tablo 6.1: Karacadağ volkanitlerinin majör, iz ve nadir toprak element kimyasal analizleri, radyometrik yaş ölçümleri ve stronsiyum izotop oranları

Örnek No	KR1	KR11	KR12	KR13	KR14	KR16	KR17	KR18	KR19	KR20	KR21	KR22	KR24	KR25	KR27	KR28
S102	46,04	48,7	46,79	45,88	48,21	44,37	47,48	49,3	46,52	45,85	47,87	48,33	47,64	45,9	49,72	47,77
T102	3,18	2,62	2,94	2,86	2,56	2,88	2,4	2	3,1	2,71	2,68	2,5	2,84	3,17	1,9	2,58
Al203	13,89	14,05	14,18	13,68	13,72	12,44	13,85	14,33	15,27	14,24	14,43	15,1	14,2	13,39	13,89	13,59
Fe203	4,89	4,32	4,62	4,69	4,33	4,79	4,5	4,61	4,7	5,02	4,64	4,51	4,4	4,49	4,5	4,76
FeO	8,8	7,78	8,31	8,44	7,79	8,63	8,1	8,3	8,47	9,03	8,36	8,12	8,15	8,08	8,11	8,57
MnO	0,15	0,15	0,16	0,16	0,15	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
XgO	8,76	8,57	9,19	8,82	8,47	11,29	9,1	8,6	6,48	9,05	8,27	6,93	7,84	7,72	8,58	8,28
CaO	9,12	8,67	8,77	9,32	9,87	10,03	9,43	8,44	10,35	9,43	8,93	8,54	9,47	9,83	9,16	8,24
Na2O	3,64	3,23	3,18	3,78	3,29	3,53	3,24	3,07	3,35	3,22	3,15	3,33	2,8	3,44	2,75	3,95
K2O	1,04	1,36	1,3	1,63	1,16	1,26	1,26	0,87	1,1	0,86	1,07	1,36	1,33	1,27	0,98	1,44
P2O5	0,44	0,48	0,51	0,69	0,39	0,53	0,43	0,26	0,44	0,37	0,38	0,41	0,44	0,49	0,2	0,61
La	21,6	26,2	27,6	35,9	21,8	21,8	22,7	16,9	20,3	18,5	20,4	25,9	24,9	25	12,8	35,7
Ca	49,9	56,4	58,1	73,3	47	47	49,6	37,7	46,9	41	46,1	57,1	55	53,1	28,8	77,1
Nd	29,5	29,9	30,2	35,8	25	25	25,9	20,2	26,3	22,7	24,6	28,7	29,3	26,3	15,8	39
Sa	6,35	6,38	6,55	7,84	5,84	5,84	5,54	4,72	5,84	5,18	5,65	6,13	6,37	5,68	4,11	8,1
Eu	2,05	2,18	2,12	2,61	1,95	1,95	1,93	1,63	2,05	1,87	1,93	1,98	2,05	1,96	1,41	2,56
Tb	0,8	0,84	0,82	1,01	0,89	0,89	0,74	0,85	0,87	0,74	0,96	0,96	0,97	0,71	0,66	0,92
Yb	1,38	1,6	1,5	1,44	1,72	1,72	1,44	1,74	1,51	1,54	1,71	1,82	1,77	1,58	1,64	1,5
Lu	0,18	0,23	0,2	0,22	0,24	0,24	0,21	0,27	0,22	0,18	0,23	0,24	0,24	0,23	0,26	0,22
Cr	263	294	362	262	370	370	310	342	137	286	287	276	290	231	456	262
Co	65,9	54	58,4	56,9	52,6	52,6	59,5	61,5	51,1	68,3	59,1	59,4	56,4	53,2	60,2	61,6
Ni	216	197	183	168	158	158	216	173	77,3	178	155	159	130	159	178	207
Sc	20,9	21,4	20,8	20,2	23,3	23,3	21,6	24,2	23,4	23	22,7	22,7	23,9	19,7	23,4	18,4
Rb	9,16	17,6	20,5	13,7			9,9	17,6		5,87	18,1	26,5	26,7		20,5	24,8
Sr	645	555	719	835	501	501	567	409	643	624	529	686	625	629	317	950
Ba	138	364	308	241	296	296	334	209	232	167	332	250	220	392	269	266
Ca	0,09	0,46		0,16				0,45					0,65		0,45	
Zr	182	162	168	209	198	198	213	82,9	164	244	218	185	223	180		256
Hf	4,06	4,6	4,72	5,11	4,28	4,28	4,13	3,54	4,2	3,77	4,24	4,91	4,73	4,71	3,09	5,5
Ta	2,2	1,98	2,07	2,29	1,55	1,55	1,76	1,15	1,85	1,62	1,7	1,88	2,01	2,1	0,62	2,51
Zn	144	98,7	93,9	124	110	110	414	101	112	83,6	115	102	92,9	86,9	102	119
Th	1,88	3,03	2,14	3,11	2,51	2,51	2,75	2,28	1,87	1,61	2,23	3,01	2,63	2,28	2,27	3,56
U	0,67	0,79	0,86	1,08	0,64	0,64	0,88	0,62	0,58	0,61	0,75	0,78	0,87	0,84	0,56	1,28

Karacadağ Volkanitleri, yaşı ile ilgili topladığımız bilgilere göre Eosen yaşlı Midyat Grubu'na ait birimleri uyumsuz bir şekilde örterler. Orta-Üst Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu'nun volkanitlerin ilk evreleri ile ardalanmalı olduğu kabul edilir. Ercan ve diğ. (1991) tarafından saptanan Yeniköy Formasyonu, lavların arasında izlenir ve içlerinde Pliyosen yaşlı fosiller saptanmıştır. Radyometrik yaş tayinlerine göre lavlardan ilk evreye ait örnekler $10 \pm 0,3$ milyon yıl, orta evreye ait örnekler $1,3 \pm 0,1$ milyon yıl ve son evreye ait lavlardan $0,101 \pm 0,09$ milyon yıllık yaş elde edilmiştir (Tablo 6.2).



Şekil 6.19: Karacadağ volkanitlerinin Floyd ve Winchester (1975) diyagramında sınıflandırılması

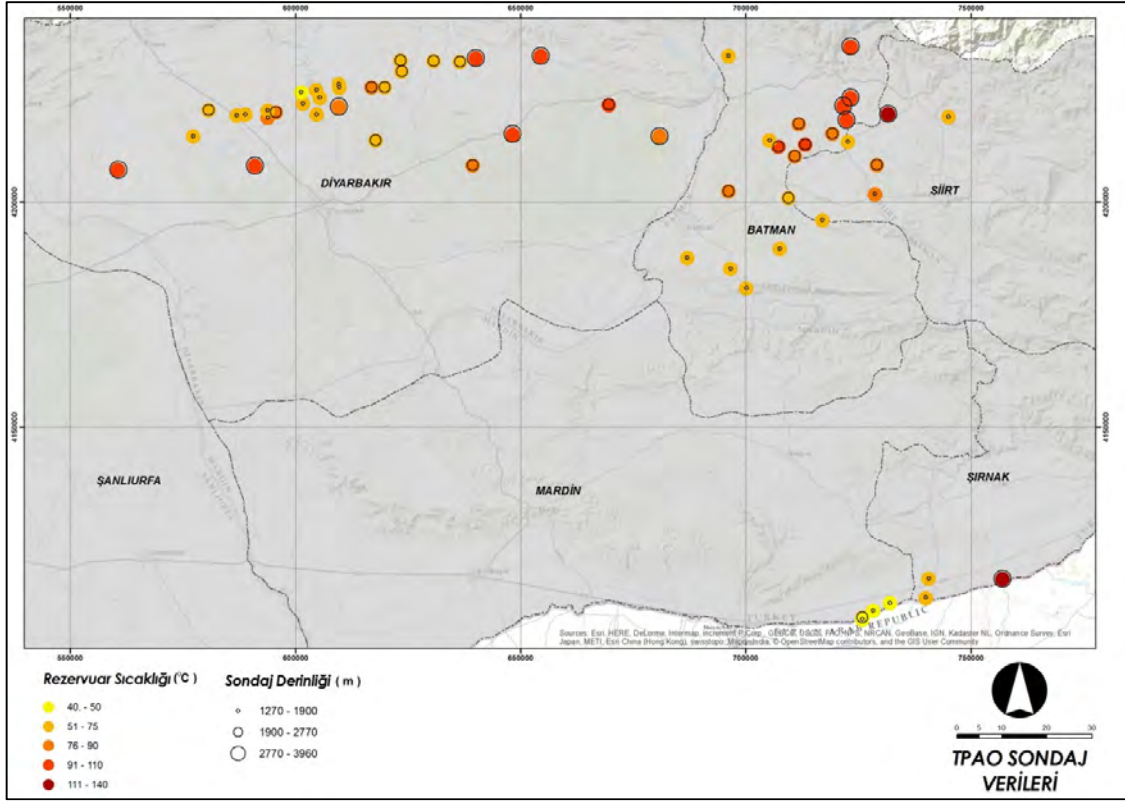
Karacadağ volkanitleri'nin bölge jeodinamiğindeki yeri ve jeotermal açısından değerlendirilmesinde; Karacadağ özelinde ve tüm Güneydoğu'da izlenen aktivitede volkanitler, daha kuzeyde var olan ve Lice baseni olarak ta tanımlanabilen Tetis Denizi'nin en son kapanmasını izleyen kıta-kıta çarpışması tektonik rejiminde ortaya çıkmışlardır. Bu dönemde tektonik rejim sıkışmalıdır. Volkanitler Arap Levhası üzerinde gelişmiştir. Volkanizma K-G yönlü kırık sistemleri yoluyla mantodan yükselmiştir. Tipik plato bazaltlarıdır. Sıkışma, tektonik rejimin hüküm sürdüğü yörede volkanizma impaktojen türde bir riftleşme? gelişmesiyle yüzeylemiştir. Büyük ve havza açılımını sağlar boyutta meydana gelişmiş olan bu açılma çatlaklarının uçlarında sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylara dönüşmeler beklenilmektedir.

Tablo 6.2: Karacadağ volkanitlerinin ölçülen K/Ar yaşları

Örnek	Ağırlık (g)	$^{36}\text{Ar}^*$	$^{38}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	^{36}Ar için doğrulama	$^{40}\text{Ar}_{\text{radi}}$	$= \frac{^{40}\text{Ar}_{\text{air}}}{^{40}\text{Ar}_{\text{toplam}}} (\%)$	K (%)	Yaş (m.y.)
KR11	0,5930	0,0795	0,1863 ± .0006	301,79 ± .45	2,86	0,460 ± .039	98,08	1,180 ± .035	0,101 ± .009
KR12	0,5260	0,0279	0,01882 ± .0015	596,59 ± 9.11	5,43	8,383 ± .563	49,62	1,120 ± .034	1,931 ± .142
KR13	0,5954	0,1096	0,1892 ± .0006	307,53 ± .46	1,52	1,263 ± .059	96,25	1,390 ± .042	0,234 ± .013
KR16	0,6130	0,0791	0,1884 ± .0008	316,54 ± .64	2,03	1,625 ± .067	93,51	1,060 ± .032	0,396 ± .020
KR17	0,6224	0,0245	0,1852 ± .0008	333,33 ± 1.79	6,19	0,915 ± .068	88,8	1,060 ± .0320	0,223 ± .018
KR18	0,4867	0,0738	0,1909 ± .0053	306,76 ± 5.69	13,12	0,794 ± .434	96,49	0,747 ± .022	0,274 ± .150
KR19	0,5046	0,0204	0,1869 ± .0028	516,29 ± 11.42	8,91	4,494 ± .509	57,66	0,938 ± .028	1,236 ± .145
KR20	0,7385	0,0379	0,1898 ± .0007	402,32 ± 2.23	3,47	4,029 ± .147	73,57	0,730 ± .022	1,424 ± .067
KR28	0,6926	0,0985	0,1921 ± .0032	351,29 ± 4.92	5,23	5,444 ± .644	84,26	1,211 ± .036	1,160 ± .141

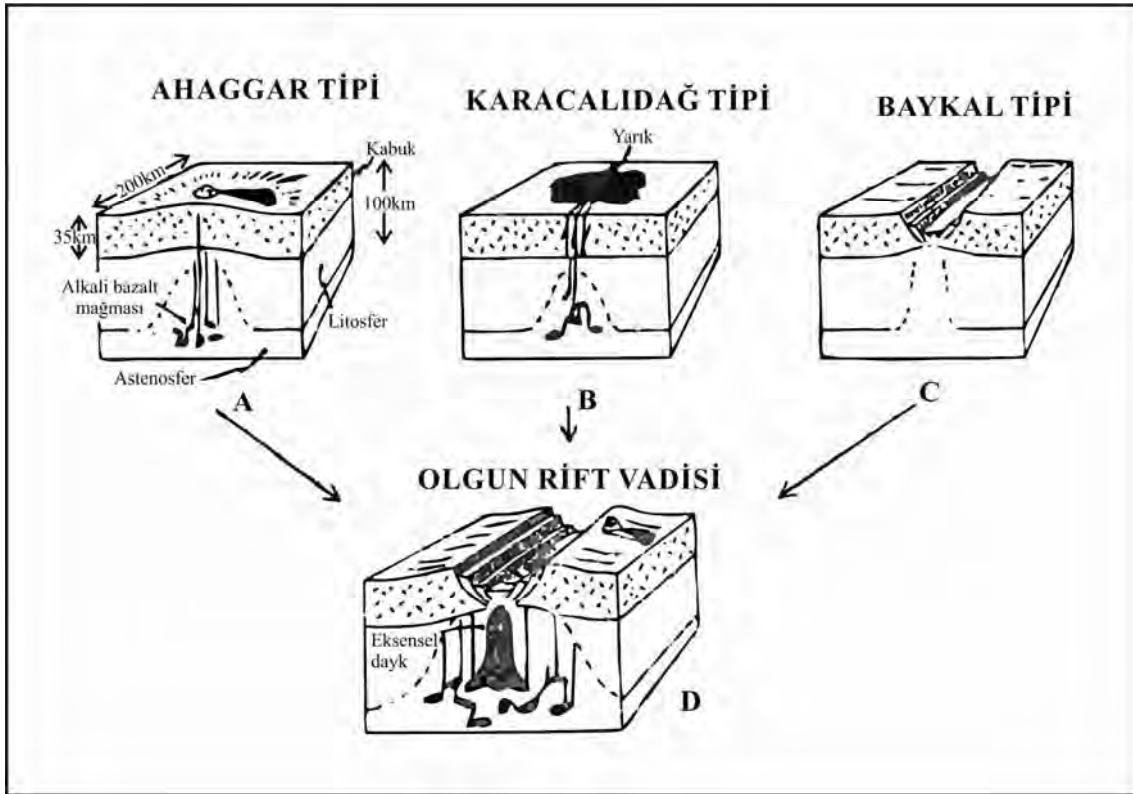
* $\times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ STP/g}$

Bilindiği gibi bir jeotermal sistemin ana unsurları ısı kaynağı, ısı taşıyıcısı, taşıma kanalları, birikimin olduğu rezervuarlar ve örtü kayalarıdır. Anadolu'nun genelinde ısı kaynağı olarak magmatik sokulumlar önerilmektedir. Diğer bir alternatif ise kabuk incilmesi, astenosferin yükselmesi ve termal gradyan değerlerinin yüksek olması şeklindedir. Güneydoğu Anadolu'da yaptığımız çalışma sonucuna göre var olan jeotermal sistemlerle ilişkilendirilebilecek tek volkanizma Karacadağ Volkanitleri ile bunlara eş yaşlı bağımsız lav akıntıları şeklindeki çıkışlardır. Jeotermal sistemlerle ilişkilendirilmek istenen volkanitlerde beklenen, asidik karakterde, dom veya batolit türü derine doğru genişleyerek artan, 4 milyon yıldan genç, tektonik yapı ile uyumlu yapısal kontrolün varlığı ve jeokimyasının jeotermal akışkan ile uyumluluğudur. Bu parametrelere göre bir değerlendirme yapıldığında, Karacadağ ve diğer volkanitlerin yaşı 10-0,01 milyon yıl arasında değişmektedir. Bu yönüyle uyumluluk vardır. Volkanizmanın ortaya çıkışını sağlayan tektonik rejim ile günümüz jeotermal sistemini kontrol eden tektonik rejimle ortaya çıkan çatlak sistemlerinin de aynı olduğu görülmektedir. Buna karşılık volkanizmanın bazaltik olması, çatlaklardan çıkıp örtü şeklinde yayılmış olması beklenen krater oluşumu, dom yapısı gibi şekillerden farklıdır ve olumsuz faktördür. Ancak elde yerin derininde var olan ısı değişimi, magmatik cepler ve yüzeylenmeyen domların varlığına ait yeterli jeofizik bilgiler yoktur. Arazi gözlemlerinde görülen önemli bilgilerden biri sıcak su kaynaklarının bulunduğu yerlerin, bazaltik lavlara yakın veya ilişkilendirilebilecek uzaklıkta olmalarıdır. Diğer bir veri ise bilindiği üzere bölge petrol bakımından zengin bir yöredir ve bölgede çok sayıda petrol amaçlı sondajlar yapılmıştır. Ekonomik değerli olmaları nedeniyle çoğunun bilgilerine ulaşamadığımız bu sondajlardan elimize geçen bazı bilgilere göre 1000 m veya daha sığ sondajlarda sıcak su gelişleri olan kuyular bulunmaktadır (Şekil 6.20).



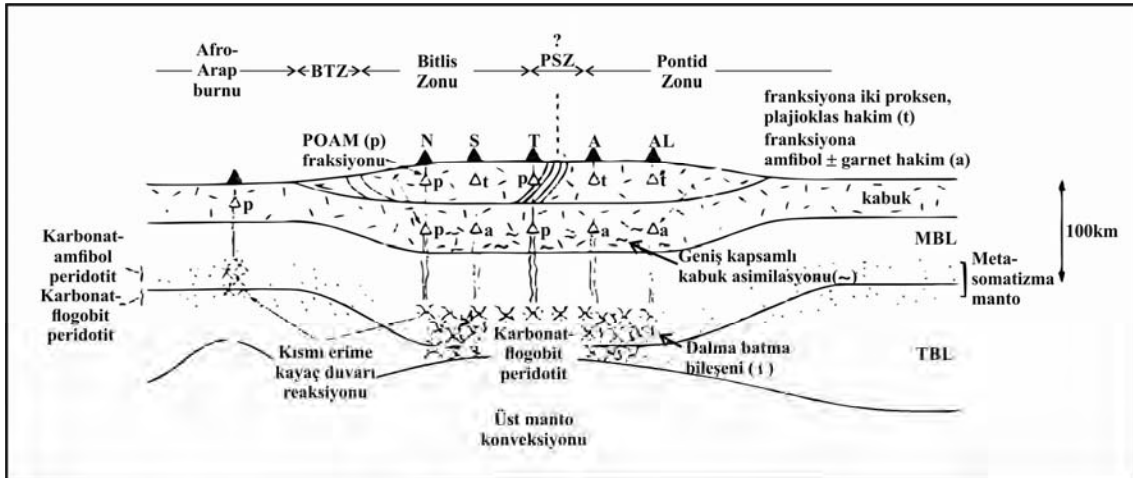
Şekil 6.20: TPAO tarafından açılmış olan sondaj kuyularının derinliği ve sıcaklık değişimi

Ayrıntılı jeofizik çalışmalarının gerektirdiği bu yorumları yapmak oldukça zordur. Öz olarak bölgede volkanizma ile termal kaynaklar aynı veya benzer kırık sistemlerini kullanmışlardır. Çıkış yerleri birbirleriyle ilişkilendirilebilen volkanizmanın bazaltik ve plato şeklinde akmış olmasının yanında, yapılan modellemelere göre tüm kabuğu kesen açılma çatlaklarından çıkmış olması, ısıtıcı rolünü üstlenebileceğine yorumlanmaktadır (Şekil 6.21 ve Şekil 6.22).



- A: Sadece domlaşma ve volkanizmanın ilk verilerinin görüldüğü Ahaggar örneği.
 B: Litosfere varan kırık sistemleri ile şiddetli plato bazalt volkanizmasının yayıldığı Karacadağ (Diyarbakır) örneği.
 C: Normal faylarla çökme alanının geliştiği ve içinde Baykal Gölü'nün yerleştiği Baykal göleti örneği.
 D: Riftlerin ileri evrede ulaşacakları olgun bir rift vadisi taslağı.

Şekil 6.21: Riftleşmenin değişik derecelerde evrim geçirmiş olduğu günümüz riftlerine örnekler (Yılmaz 1981, Şengör ve Burke 1978'den almıştır)



Şekil 6.22: Doğu Anadolu volkanik provensinin petrografik ve jeokimyasal verilerle mağmajenetik modelinin şematik kesiti (PSZ: Pontid suture zone, N: Nemrut, S: Süphan, T: Tendürek, A: Ağrı, AL: Aladağ)

6.6. GÜNEYDOĞU ANADOLU JEOLJİSİNİN JEOTERMAL YÖNÜNDEN GENEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Bölge, petrol alanı olması nedeniyle çok sayıda araştırmacı tarafından ve jeodinamiği önceki bölümlerde özetlendiği şekliyle ortaya konmuştur ve Şekil 6.8'de genelleştirilmiş kolon kesitinde sadeleştirilmiş bir şekilde litostratigrafisi de tanımlanmıştır. Yöre için resmileşmiş kaya birim adlandırmaları, özellikle TPAO çalışmaları ile bu verileri de kullanarak Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından üretilen 1/100.000 ve 1/500.000 ölçekli haritalarda söz konusu litostratigrafik ayrımlar kullanılmıştır. Yörenin jeolojisinin önemini tüm yönleriyle yorumlamak bu projenin amacını aşmaktadır. Jeotermale yönelik ana kavramlar dikkate alındığında bölgede Mesozoyik'ten itibaren gelişen karbonatlar rezervuar, killi, siltli, marnlı kayalar da örtü niteliğindedir.

Gerek bölgedeki yaygınlıkları ve gerekse kalınlıkları nedeniyle Kretase yaşlı Mardin Grubu ile Eosen yaşlı Midyat Grubu kireçtaşları ana rezervuarları oluştururlar. Kretase yaşlı Şırnak Grubu'na ait Germav şeylleri, Miyosen yaşlı Lice ve Şelmo formasyonları da ana örtü kayalardır. Tanımlanan birimlerin altlarında bulunan Mesozoyik yaşlı karbonatlar ile aralarında gözlenen killi düzeyler ise ikincil rezervuar ve örtü kaya olarak kabul edilmektedir. Bu ayrımda kullanılan ölçütlerden biri de ikincil düzeyde düşünülen kaya birimlerinin daha genç birimler tarafından örtülü olması, aşınım evreleri ve farklı tektonik olaylar geçirmiş olması nedeniyle sınırlı yerlerde izlenmesi, yeraltında devamlılığının yorumlanamamasıdır.

Bölgede var olan jeotermal sistemle ısı kaynağı olarak ilişkilendirilebilecek tek volkanizma, Karacadağ volkanitleri ile bununla eş yaşlı yarık erüpsiyonları şeklinde çıkmış olan lavlardır. Jeotermal ısı kaynağı veya ısı taşıyıcı olarak volkanizmalar değerlendirilirken asidik karakterde (granit, riyolit vb.), derine doğru genişleyerek devam eden (dom veya batolit şeklinde) alan önem kazanmaktadır. Yöredeki volkanitlerin büyük bir kısmı çatlaktan çıkıp akan, derine doğru çatlak dolgusu şekline dönüşen bazaltik karakterdedir. Bu özellikleri nedeniyle volkanik etkinlik var ise de yerel olacağı düşünülebilecek yorumlamalar yapılabilmektedir. Karacadağ'ın kuzeybatısı, volkanizmanın krater türü çıkışlı olduğu ve yer yer dom yapıları kazandığı bölgedeki tek alandır.

Günümüzde kıtalar boyutunda ortaya çıkan sıkışmalı tektonik rejimde K-G yönlü açılma çatlakları jeotermal kaynakları yüzeye taşıyan akışkanın çıkışlarını sağlayan ana yapısal unsurlardır. Lavlar ile termal suların aynı veya benzeri çatlak sistemlerini kullandıkları arazide gözlemlenebilmektedir. Buna dayanarak, her iki ögenin birbiriyle yakın ilişkili olabileceği söylenebilir.

Bölgenin jeodinamiği ile ilgili yukarıda yapılan yorumlarda kendi çalışmalarımızın yanında TPAO haritaları baz alınarak MTA tarafından hazırlanmış olan 1/100.000'lik jeoloji haritaları, Yılmaz ve Yiğitbaş (1990), Günay ve diğerleri (1990), Şengör ve diğerleri (1984), Şengör (1980), Şengör ve Yılmaz (1983), Pearce ve diğerleri (1990), Akkuş ve diğerleri (2005), Şaroğlu ve Emre (1987), Ercan ve diğerleri (1991) yayınlarından yararlanılmıştır. Yararlanılan diğer kaynaklara metin içinde yeri geldiğinde değinilmiştir.

7. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLAR

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde (GAP) jeoloji, tektonik ve petrolle ilgili çok sayıda çalışma (Wilson ve Krummencher,1957; Bolgi, 1964; Rigo De Righi, 1964; Schmidt, 1964; Sungurlu, 1972; 1974; Perinçek, 1979; Yılmaz, 1981; Perinçek ve Özkaya, 1981; Ketin, 1983; Şengör ve Yılmaz, 1983; Yazgan, 1984; Şaroğlu, 1987; Yazgan ve Chessex, 1991; Turan, 1995) yapılmış olmasına rağmen jeotermal kaynakların özelliklerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar son derece azdır (Erzenoğlu ve Özeke, 1984; Gök, 1984; Yücel, 1989a,b; Uzel ve Kalkan., 1992; Eşder ve Tümer, 1997; Eşder ve Buzkıran, 1998; Ertürk, 1999; Karlı, 2002; Özel ve Bekişoğlu, 2002; Eşder, 2004; Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006; Akkuş ve diğ., 2005; Mertoğlu, 2010; Özel, 2010). Mevcut çalışmaların önemli bir kısmı MTA tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak yapılan çalışmalar sadece kaynağın varlığına yöneliktir. Son zamanlarda jeotermal enerjiden daha etkin bir şekilde yararlanmak için bölgede çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde jeotermal enerjinin önemi bölgede giderek artmış ve jeotermal enerji ile ilgili yatırımlar da başlamıştır. Jeotermal enerjiden sınırlı da olsa Şanlıurfa (Karaali)'da hem termal turizm hem de seracılık alanında yararlanılmaktadır (Şekil 7.1). Batman (Kozluk-Taşlıdere), Diyarbakır (Çermik), Mardin (Germav-İlisu), Siirt (Billuris, Lif) ve Şırnak (Hısta-Belkıs Ana, Besta, İkizce-Nasrafan ve Ilıcak-Zümrüt Kaplıcası)'ta termal turizm amaçlı olarak sıcak su kaynaklarından faydalanılmaktadır (Şekil 7.2 ve Şekil 7.3). Gaziantep (Kartalköy), Siirt (Lif), Şanlıurfa (Kabahaydar) illerinde yer alan jeotermal kaynaklardan etkin bir şekilde yararlanılmamaktadır. Şekil 7.4'de GAP bölgesinde jeotermal kaynakların olduğu yerler gösterilmiştir. Bölgede önemli oranda jeotermal potansiyel olmasına rağmen, bu kaynaklar ile ilgili bilgiler son derece kısıtlıdır. Bölüm 8-16 arasında il bazında jeotermal kaynaklar, özellikleri, proje kapsamında yapılan çalışmalar ve kullanım önerileri detaylı olarak irdelenmiştir.



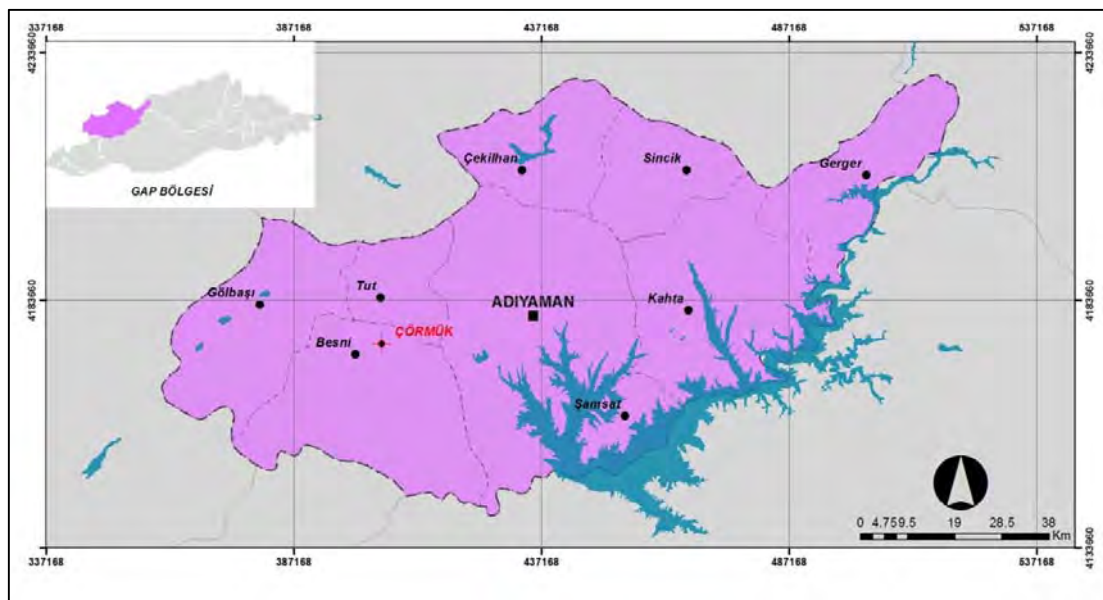
Şekil 7.1: Karaali (Şanlıurfa) jeotermal sahasında kaplıca ve sera uygulamaları



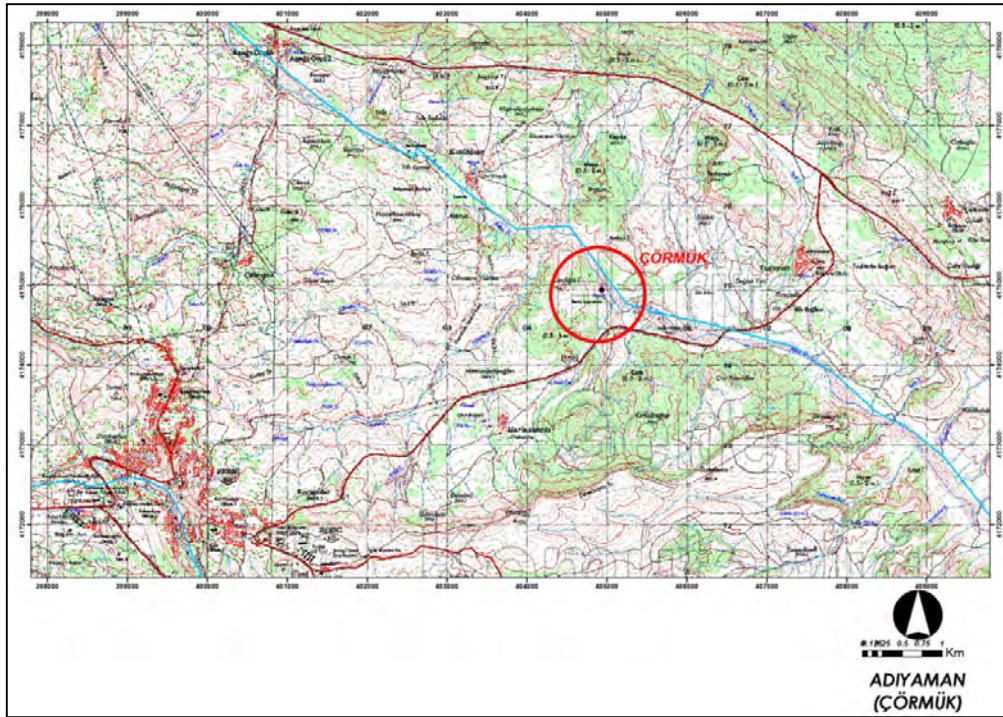
Şekil 7.2: Çermik (Diyarbakır) jeotermal akışkanın termal turizmde kullanılması

8. ADIYAMAN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

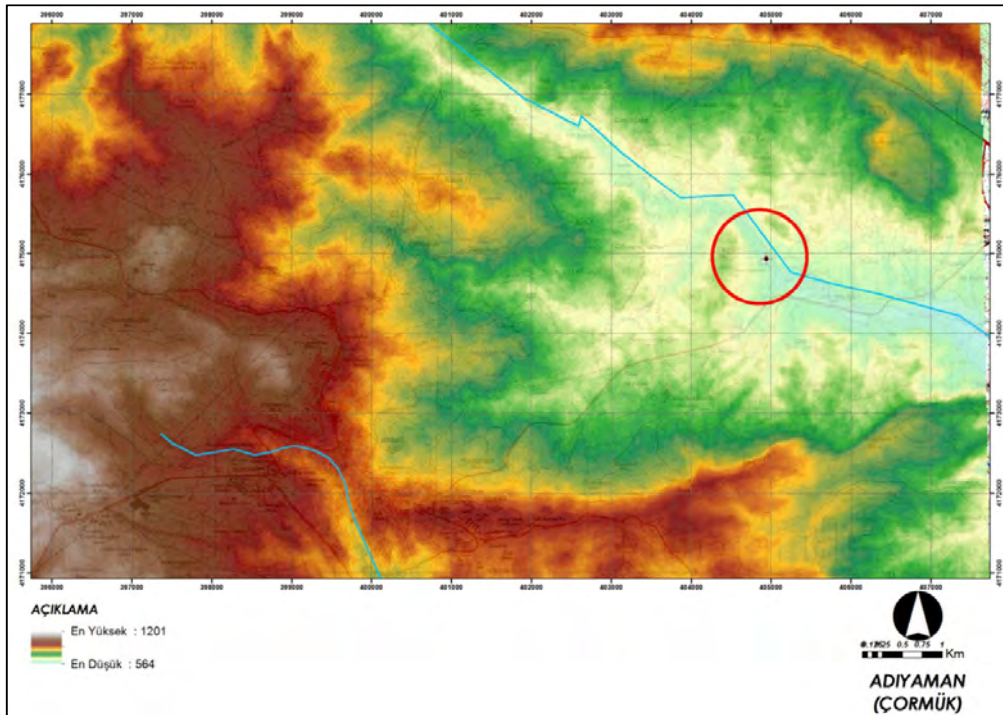
Adıyaman il sınırları içinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından çok sayıda petrol amaçlı sondaj kuyuları açılmıştır. Yapılan gözlemlere göre bu alandaki kesimlerde petrol kuyularında sıcak suların bulunduğu belirtilmektedir. Ancak bu kuyulara ilişkin veriler olmadığı için bu alandaki jeotermal sistemler ile ilgili yorumlar yapılamamıştır. Mart 2015 tarihinde yapılan arazi çalışmalarında sıcaklığı 15,9 °C ve debisi 50 l/s olan bir kaynak (Çörmük Kaynağı) incelenmiştir. Çörmük Kaynağı, 1/25.000 ölçekli Şanlıurfa M 39 c₂ paftasında ve Adıyaman ilinin batı-güneybatısında, Besni ilçesi sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 8.1). Çörmük içmesi olarak adlandırılan sıcak su kaynağı, Besni ilçesi 5, Harmanardı köyünün 2 km kuzeydoğusunda Aksu Dere kenarındadır (Şekil 8.2). Kaynağa, yaklaşık 6 km'lik Besni-Adıyaman asfalt karayolu ve bu yoldan itibaren 1 km'lik stabilize yol ile ulaşılmaktadır. Kaynağın bulunduğu alanın batı ve güneyinde yüksek bir topografya hakimdir (Şekil 8.3).



Şekil 8.1: Adıyaman il sınırları içinde yer alan Çörmük kaynağının yer bulduru haritası



Şekil 8.2: Besni ilçesi sınırları içinde yer alan Çörmük sahasının topoğrafik haritası

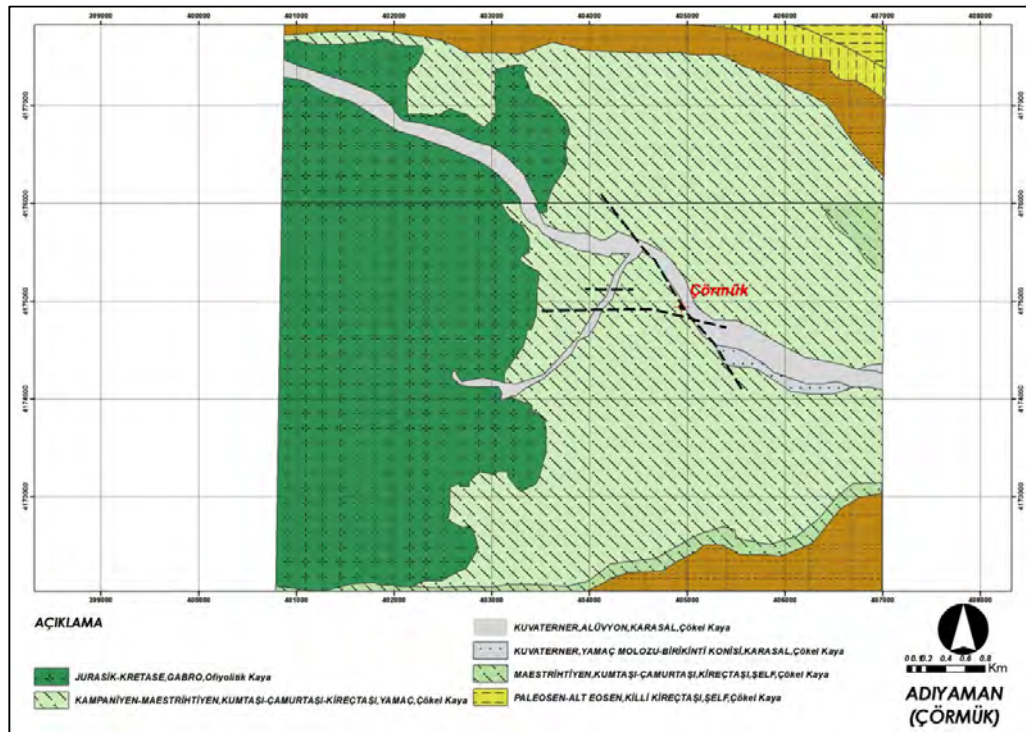


Şekil 8.3: Çörmük sahasının morfolojik yapısını gösteren harita

8.1. BESNİ-HARMANARDI-ÇÖRMÜK JEOTERMAL SAHASI

8.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

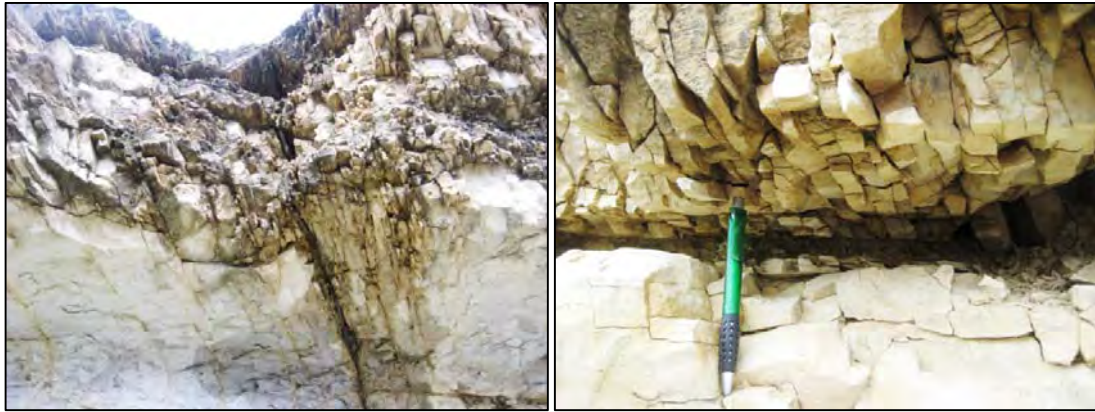
İnceleme alanı ve çevresini, temeli Jura-Kretase yaşlı gabro ve ofiyolitik kayalar oluşturur (Şekil 8.4). Alanda temel üzerinde Kampaniyen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşan birimler yer alır. Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşan yamaç çökelleri ile bunların üzerinde yine aynı litoloji ve yaşta şelf fasiyesinde çökelmiş birimler bulunmaktadır (Şekil 8.5). Bu birimleri Eosen yaşlı killi kireçtaşı ve kireçtaşı birimleri örtmektedir. Alandaki en genç birim ise, dere yataklarında izlenen ve daha yaşlı birimlerin üzerini örten Kuvaterner yaşlı alüvyondur (Bozkurt, 1991). Bölgenin ana yapısını, çalışma alanının ortasından geçen KB-GD doğrultulu bir antiklinal oluşturmaktadır. Ayrıca inceleme alanında haritaya işlenemeyecek boyutta ve genel doğrultusu K-G olan açılma çatlaklarının varlığı dikkati çekmektedir. Ana yapıyla uyumlu, K-G yönlü bir sıkışmanın ürünü olduğuna yorumlanan farklı boyutlardaki kıvrımlar, sahanın çevresinde gözlenmektedir (Şekil 8.6).



Şekil 8.4: Çörmük kaynağı ve çevresinin jeoloji haritası (Bozkurt, 1991'den değiştirilerek)



Şekil 8.5: Çörmük çevresinde yüzlek veren Kampaniyen-Maestrihtiyen yaşlı birimlerden görünüm



Şekil 8.6: Kaynağın çevresinde yüzeyleyen killi kireçtaşlarında gözlenen çatlaklar

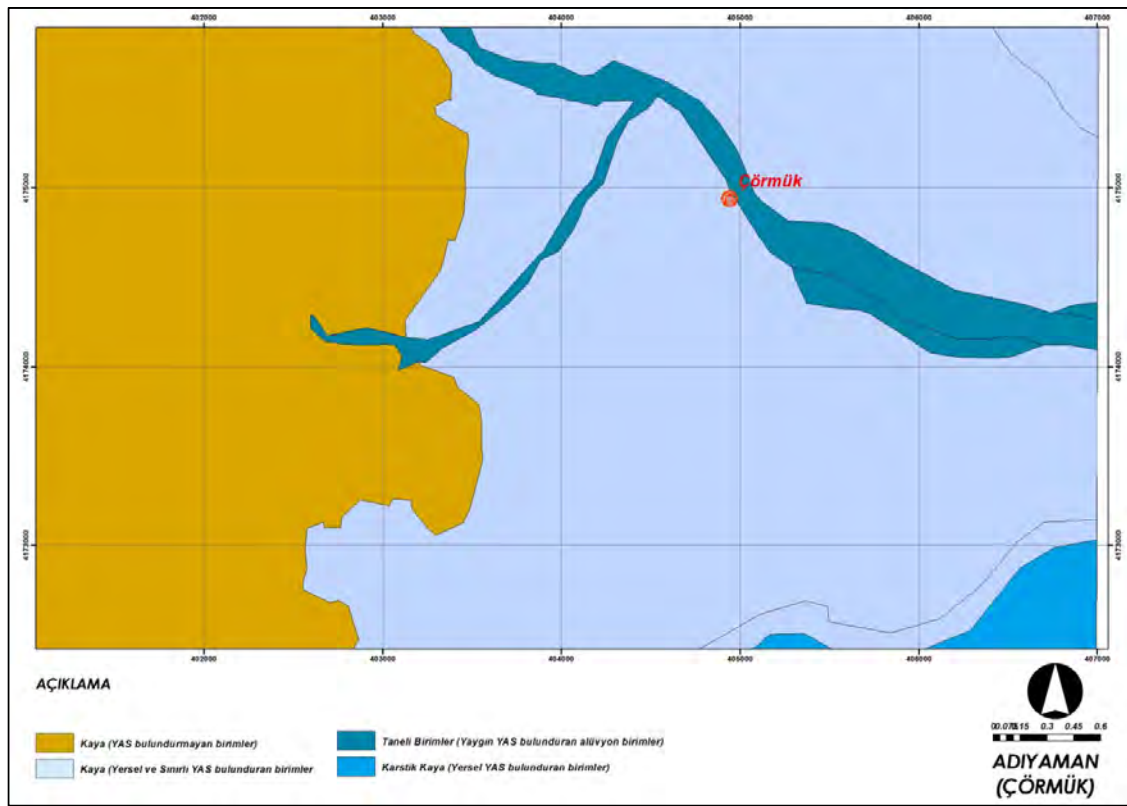
8.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı içindeki Aksu Dere, alan içerisindeki derelerin kolları ve bunların birleşmesinden oluşan en önemli akarsudur. Kaynak yakınında güneydoğu yönünde akar. Diğer derelerin tümü mevsimsel olup devamlı değildir.

İnceleme alanının batısında yer alan ve temeli oluşturan Jura-Kretase yaşlı gabro ve ofiyolitik birimler geçirimsiz kaya özelliği taşımaktadırlar (Şekil 8.7). Alanda temel üzerinde yer alan

Kampaniyen yaşlı kireçtaşları karstik kaya özelliğindedir. Çörmük kaynağı, tektonik kontrollü olup bu karstik kaynaklardan yüzeye çıkmaktadır (Şekil 8.8). Ancak Kampaniyen yaşlı birimler içinde yer alan çamurtaşları ise geçirimsizdir. Bu nedenle hidrojeoloji haritasında Kampaniyen yaşlı olarak işaretlenen birimlerden yersel ve sınırlı oranda su alınabilmektedir. Bölgede Kampaniyen yaşlı birimleri örten Eosen yaşlı killi kireçtaşı ve kireçtaşı birimleri ise oldukça karstik bir özellik taşıyıp bu kesimlerde yüksek debili kaynaklar bulunmaktadır (Şekil 8.9 ve Şekil 8.10). Bu çalışmada, alandaki Eosen yaşlı killi kireçtaşı ve kireçtaşları karstik kaya özelliği gösteren kütleler olarak tanımlanmıştır.

Alandaki en genç birim ise dere yataklarında izlenen ve daha yaşlı birimlerin üzerini örten Kuvaterner yaşlı alüvyondur. Bu birimler ise taneli birimler olup yaygın olarak yeraltısuyu içermektedirler.



Şekil 8.7: İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası



Şekil 8.8: Çörmük Kaynağı ve çevresinden görünüm



Şekil 8.9: Aşağı Söğütlü (Tavas Suyu)'deki karstik kaynaklarından görünüm



Şekil 8.10: Su Gözü (Besni) karstik kaynaklarından görünüm

8.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları

İnceleme alanında Mart-2015'te yapılan arazi çalışmaları sırasında sıcaklığı $15,9^{\circ}\text{C}$ ve debisi 50 l/s olan bir kaynak (Çörmük Kaynağı) incelenmiştir (Tablo 8.1). Bol çatlaklı ve karstik killi kireçtaşından yüzeye boşalan kaynağın, yöre sakinleri tarafından edinilen bilgilere göre yazın debisinin azaldığı, kükürt kokusu alındığı ve sıcaklığın artarak 21°C 'ye ulaştığı belirtilmektedir (Şekil 8.8).

Adıyaman il sınırları içinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından çok sayıda petrol amaçlı sondaj kuyuları açılmıştır. Yapılan gözlemlere göre bu alandaki kesimlerde petrol kuyularında sıcak suların bulunduğu belirtilmektedir. Ancak bu kuyulara ilişkin veriler olmadığı için bu alandaki jeotermal sistemler ile ilgili yorumlar yapılamamıştır.

Tablo 8.1: Çörmük kaynağına ilişkin bilgiler

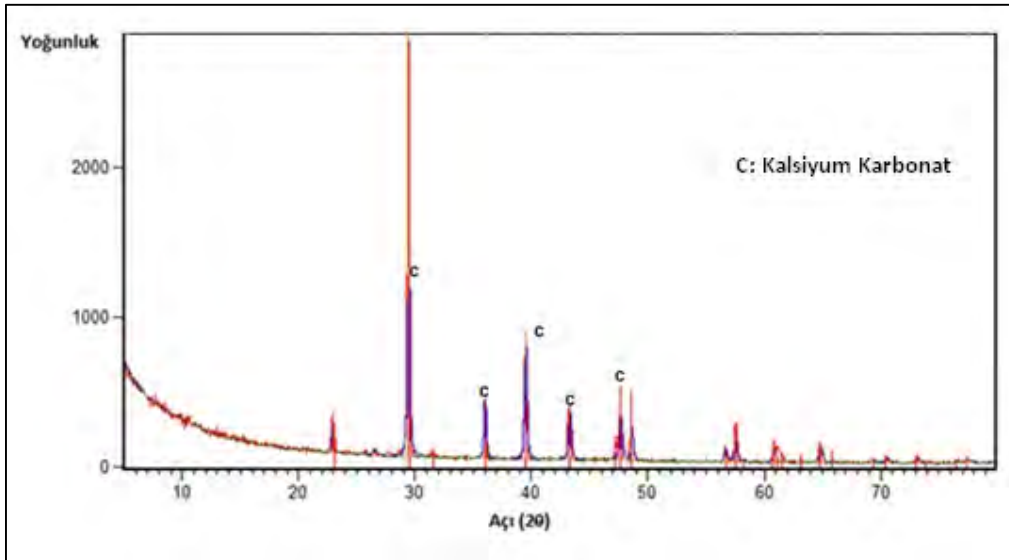
Kaynak Adı	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	pH	EC($\mu\text{S/cm}$)	Debi (l/s)
Çörmük Kaynağı	15,9	7,62	510	50

8.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çörmük kaynağı ve çevresinde yüzlek veren Kampaniyen yaşlı kayalar tektonik etkiler nedeni ile alterasyona uğramıştır (Şekil 8.11). Bu alandaki kayalardan jeokimyasal amaçlı numune alınmış ve alınan katı örnek kimyasal bileşen tayini amacıyla analiz edilmiştir. Numune analizi için X-Işını Difraktometre (XRD) cihazı kullanılmıştır. Elde edilen verilere göre alandaki kayaç Kalsiyum Karbonatça zengindir (Şekil 8.12).



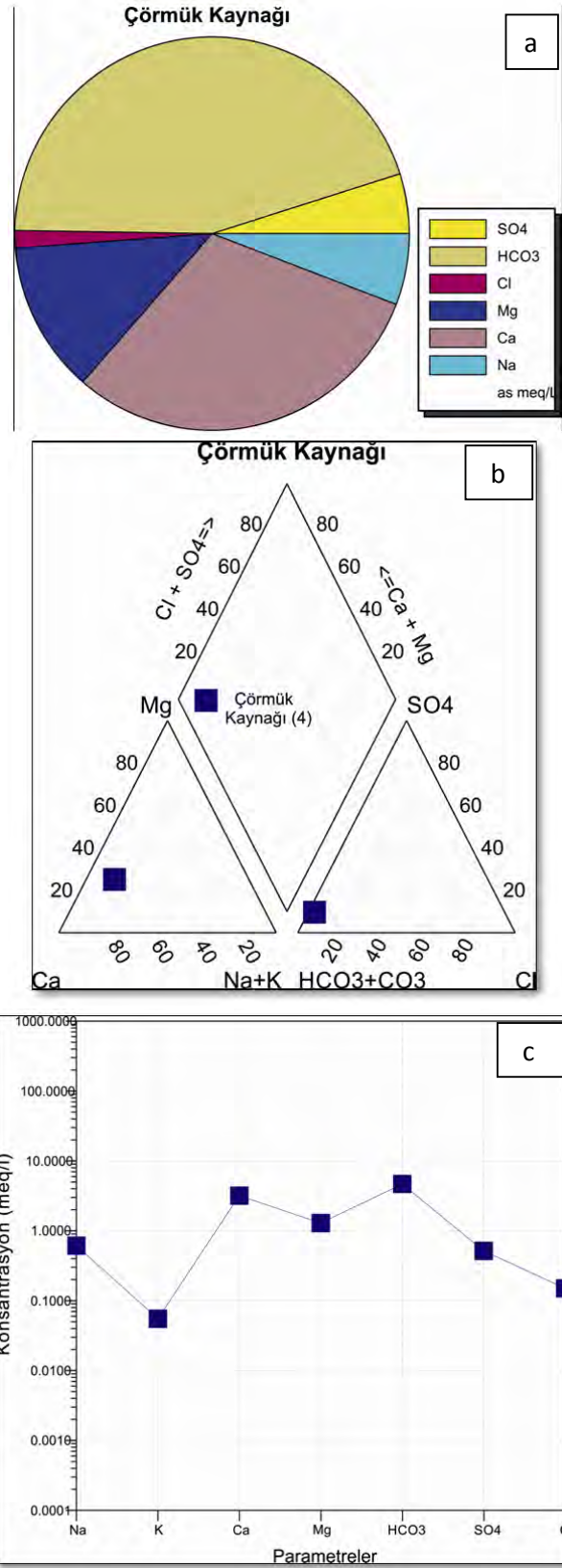
Şekil 8.11: Çörmük kaynağı çevresinde gözlenen alterasyonlar



Şekil 8.12: Alandaki alterasyon numunesinin XRD deseni

Elde edilen hidrojeokimyasal veriler bu karstik kaynağın Elektriksel İletkenliği (EI) $510 \mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH ise 7,62'dir. Bazı karakterli bu kaynak kireçtaşlarında yüzeye çıkmaktadır. Düşük EI değeri kaynağın sığ dolaşımına işaret etmektedir. İnceleme alanındaki Çörmük Kaynağında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) dur. Bunu sırasıyla, genelde Magnezyum (Mg^{2+}) ve Sodyum (Na^+) takip eder. Anyonlardan ise genel olarak Bikarbonat (HCO_3^-) en yüksek gözlenen anyon olup bunu Sülfat (SO_4^{2-}) ve Klorür (Cl^-) izler (Şekil 8.13).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Genel olarak inceleme alanındaki kaynak suyu kalsiyum bikarbonatça zengin sudur (Şekil 8.13c). Bu da alandaki kaynağın kireçtaşlarından beslendiğini göstermektedir. Piper üçgen diyagramına göre yöredeki sular karbonat alkalinitesi % 50'den fazla olan Ca-Mg- HCO_3 tipi sular sınıfına girmektedir.



Şekil 8.13: Çörmük kaynağının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

8.1.3.1. Ağır Metaller

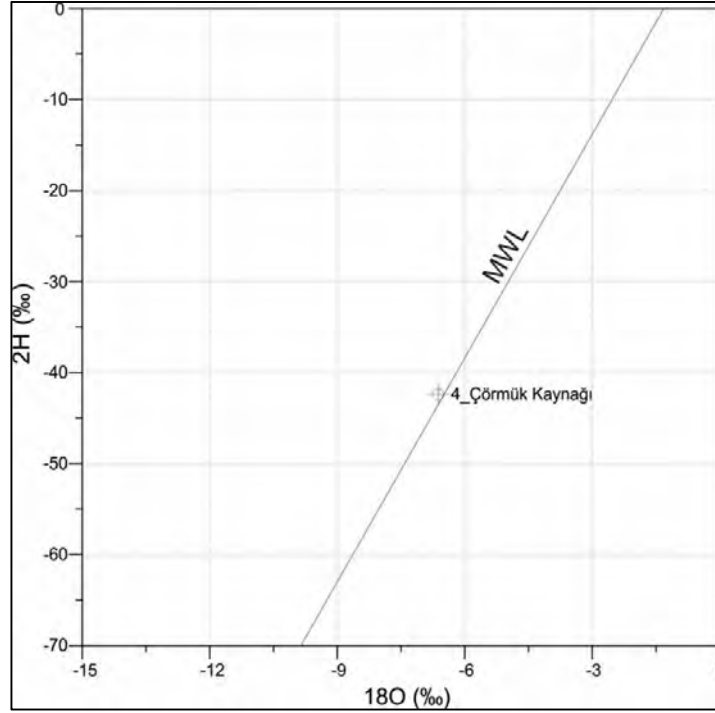
Özellikle ayrıışmış kayaçların olduğu bölgelerde dolaşım halindeki yeraltı sularının konsantrasyonu su-kayaç ilişkisi nedeniyle beklenmedik düzeylerde olabilir. Çalışma alanındaki kaynak suyunun ağır metal içerikleri yapılan analizler ile belirlenmiştir (Tablo 8.2). Mart 2015 ayında alınan analiz sonuçlarına göre alandaki kaynaktan yüksek bir element konsantrasyonu gözlenmemiştir. Elde edilen veriler İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY, 2005)'teki limitler ile karşılaştırılmıştır. Bu veriler bu kaynak suyunun içme suyu standartlarına uygun olduğunu göstermektedir. Ancak içme suyu olarak kullanılabilmesi için bakteriyolojik analizlerin de yapılması gerekmektedir.

Tablo 8.2: Çörmük kaynağında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
Ag	0,05		Ni	0,5	20
Al	2	200	P	16	
As	0,7	10	Pb	0,1	10
Au	0,05		Pd	0,2	
B	109	1000	Pt	0,01	
Ba	265,19		Rb	1,23	
Be	0,05		Re	0,01	
Bi	0,05		Rh	0,02	
Br	23		Ru	0,05	
Cd	0,05		S	11	
Cl	7		Sb	0,06	5
Co	0,02		Sc	1	
Cr	2,5	50	Se	0,6	10
Cs	0,15		Si	8393	
Cu	1,2		Sn	0,05	
Fe	10	200	Sr	718,25	
Ga	0,05		Ta	0,02	
Ge	0,05		Te	0,05	
Hf	0,02		Th	0,05	
Hg	0,1		Ti	10	
In	0,01		Tl	0,01	
Li	8,7		U	0,35	
Mn	2,15	50	V	2,1	
Mo	1,6		W	0,02	
Nb	0,01		Zn	1,9	

8.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

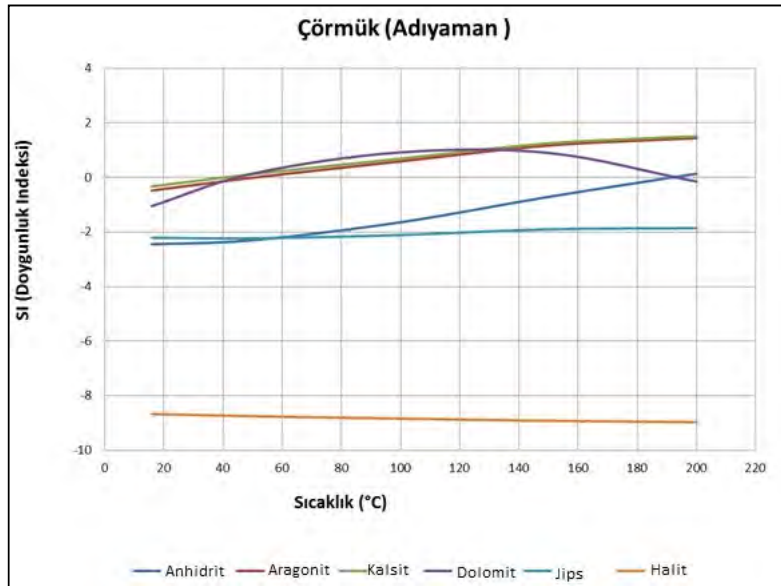
Çörmük kaynağında Trityum (TU), Oksijen-18 (¹⁸O) ve Döteryum (D) analizleri yapılmıştır. Alınan veriler Döteryum (‰) ve Oksijen-18 (‰) grafiklerinde değerlendirildiğinde kaynağın meteorolojik kökenli olduğunu (Şekil 8.14), trityum değerlerine göre (TU=4.35) ise su kaynağının güncel olduğunu göstermektedir.



Şekil 8.14: Çörmük kaynağında Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ grafiği

8.1.4. Doğunluk İndeksleri

İnceleme alanındaki Çörmük Kaynağı için anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit, jips ve halit minerallerinin doğunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doğunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 8.15). Buna göre Çörmük jeotermal sahasında 50 °C sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda sistemde kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması görülebilir.



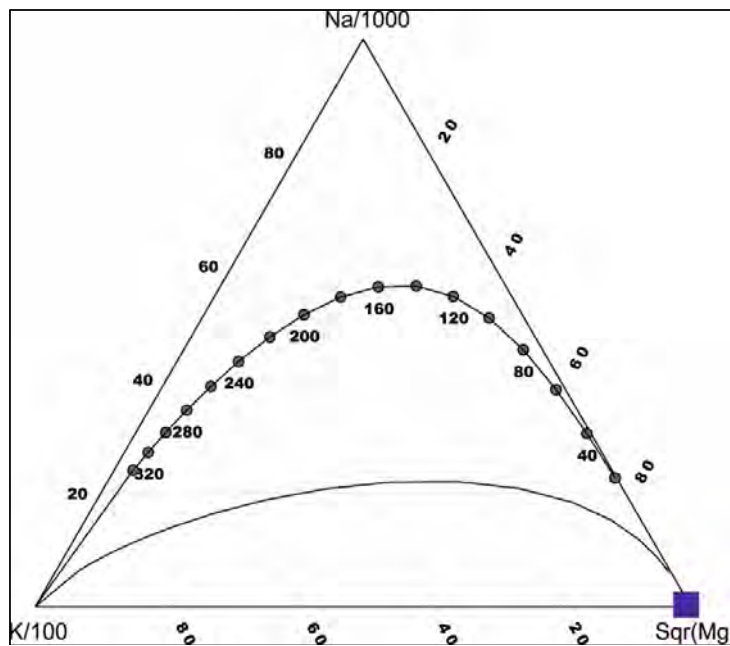
Şekil 8.15: Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

8.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Mg ile düşük sıcaklıklarda hızla gerçekleşen yer değiştirme tepkimelerinden dolayı, K/Mg oranları jeotermal sistemde boşalımdan önce meydana gelen su-kayaç etkileşimini temsil eden oranlar olarak değerlendirilebilirler. Mg derişimi sıcaklık artışıyla azaldığı için düşük sıcaklıklı su-kayaç dengesiyle ilişkili olduğu düşünülebilir (Nicholson, 1993). K/Mg jeotermometresi ilk olarak Giggenbach ve diğ. (1983) tarafından önerilmiş ve Giggenbach (1988) tarafından bir eşitlik geliştirilmiştir. K/Mg oranı özellikle düşük ve orta dereceli sıcaklıktaki sistemlerde kullanılmıştır (Nicholson, 1993). Na-K-Mg Jeotermometresiyle hem sıcak suların hazne sıcaklığı yorumlanabilmekte hem de katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanmadığı kontrol edilebilmektedir (Şekil 8.16). İnceleme alanındaki verilere göre Çörmük Kaynağı'nın doygun olmadığı, sıcaklığın da katyon jeotermometrelerine göre 23 °C ila 42 °C arasında değiştiğini göstermektedir (Tablo 8.3).

Tablo 8.3: Çörmük Kaynağı için hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Silis	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Fournier, 1991	K-Mg ^b	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	23
Fournier, 1991	K-Mg ^c	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	34
Giggenbach,1988	K-Mg	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	30
Fournier, 1997	Silis	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	34
Fournier, 1997	Silis	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	42
Fournier ve Potter, 1982	Silis	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	29
Fournier ve Potter, 1982	Silis	14,13	2,16	15,69	63,84	8,4	31



Şekil 8.16: Sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

8.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Sahada kaynağa yönelik jeotermal arama/araştırma tekniğine uygun yapılmış bir çalışma yoktur. Başka amaçlarla yapılmış jeoloji etütlerindeki bilgilere göre kaynağın yer aldığı sahada gözlenen Kampaniyen yaşlı kilitaşı ve çamurtaşlarından oluşan kaya birimleri geçirimsiz oluşlarından dolayı örtü kaya, bol çatlaklı kireçtaşı sıcak suyun depolanabileceği rezervuar özelliği taşırlar. Ayrıca Eosen yaşlı killi kireçtaşı bol çatlaklı ve kırıklı yapısıyla iyi bir rezervuardır. Ancak bu birim kaynak çevresinde yüzeyde izlenmektedir. Alanda örtü ve rezervuar kayaç yönüyle olumlu özelliklere karşılık hem kaynak sıcaklığı düşüktür, hem de traverten oluşumu, ısı kaynağı olabilecek magmatik özellik ve volkanik etkinlik gibi jeotermal kaynak oluşumuna yorumlanabilecek güçlü veriler gözlenememiştir. Bunun yanında kaynaktan derlenen su örneğinin analiz sonuçları esas alınarak 23-42 °C arasında hesaplanan rezervuar sıcaklığı da, doymun olmaması nedeniyle güvenilir değildir. Tüm bu verilere göre alanda kaynağın sıcaklığının yükselebileceği bir jeolojik ortamın varlığından söz edilememektedir. Kaynağın debisi ise oldukça yüksektir. Bu alandaki karstik kaynağın özelliğine yönelik detaylı hidrojeolojik çalışmaların (akiferin hidrolojik parametreleri, verimlilikleri, koruma alanı vb) yapılması ile kaynağın yöre ekonomisine katkı sağlanabileceği düşünülmektedir.

8.1.7. Yatırım Olanakları

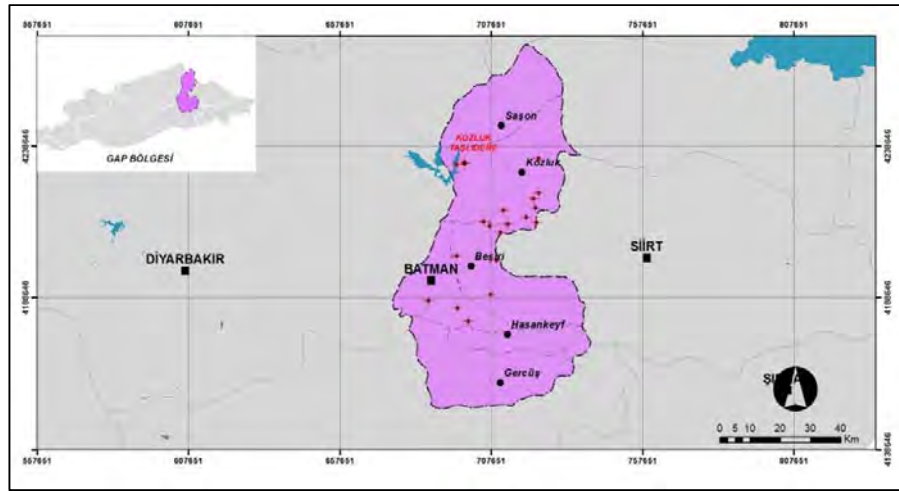
Bölgede daha önce jeotermal amaçlı bir çalışma yapılmadığından saha ile ilgili bilgiler bu proje kapsamında yapılan inceleme, gözlem ve analizlerle sınırlıdır. Tesis işletmecisi ve Besni Belediyesi yetkililerinden alınan bilgiye göre suyun sıcaklığı yaz mevsiminde 21 °C'ye ulaşmaktadır. Kaynak suyu sıcaklığının düşük olmasından dolayı sadece yaz mevsiminde küçük bir tesis içerisindeki havuzda gününbirlik kullanım ve içmece olarak yararlanılmaktadır. Güzel bir doğa ve yüzey şekillerine sahip saha, mevcut kullanım koşullarının iyileştirilmesi alandaki karstik kaynağı da koruyacak şekilde bir rekreasyon çalışmasının yapılması, piknik, kamp alanı, çocuk oyun alanı ve konaklamaya uygun küçük bir tesis, cafe ve restoranlar ile bahar ve yaz aylarında yöresel bir cazibe merkezi olabilir, eko-turizm aktiviteleri gerçekleştirilebilir. Çörmük kaynağının içme suyu olarak kullanılmadan önce bakterolojik analizlerinin de yapılması gerekir. Eğer bu sonuçlarda iyi çıkarsa kaynak içme suyu açısından da ekonomik olarak değerlendirilebilir.

8.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

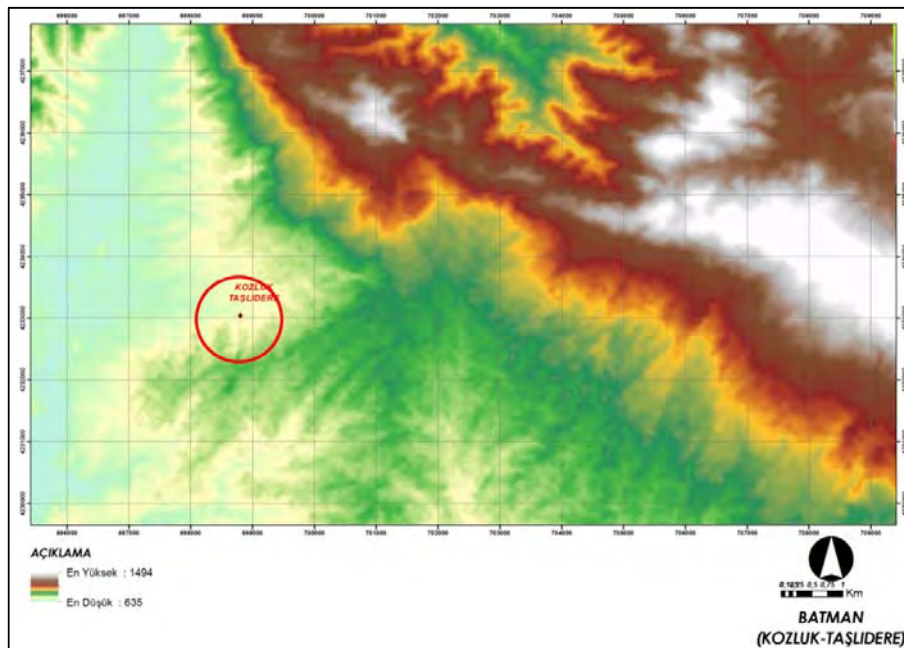
Sahada yapılan inceleme, gözlem ve analizler sonucu toplanan veriler ile kaynağın sıcaklığının yükselebileceği uygun bir jeolojik ortam gözlenememiştir. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından açılmış ve sıcak su içerdiği ifade edilen kuyulara ait bilgilerin temin edilmesi, sıcaklık ve debilerine bağlı olarak kullanılıp kullanılmayacaklarının belirlenmesi önerilir. Ayrıca sahada bulunan karstik kaynak için önerilen rekreasyon çalışması öncesi detaylı hidrojeolojik etütlerin (akiferlerin hidrolik parametreleri, akiferlerin özellikleri) ve koruma bandının belirlenmesi kaynağın sürdürülebilirliği için önemlidir. İçmece olarak kullanılan suyun sağlık etkileri incelenmelidir.

9. BATMAN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

Batman ili jeotermal potansiyel açısından son derece zengindir. İl sınırları içerisinde yüzeye çıkan bir kaynak olmamakla birlikte sahada TPAO tarafından derinliği 3000 m'ye varan sondajlar bulunmaktadır. Bu sondajların birçoğunda orta ve yüksek sıcaklığa sahip jeotermal akışkan elde edilmiştir (Şekil 9.1). Kozluk-Taşlıdere mevkiinde açılan bir petrol sondajından artezyen yapan jeotermal akışkan yöre halkı tarafından sınırlı da olsa kullanılmaktadır. Taşlıdere sahası, Batman ilinin 40 km kuzeyinde ve Kozluk İlçesi sınırları içinde yer almaktadır. Sahanın kuzeyi ve doğusu yüksek bir topoğrafyaya sahiptir (Şekil 9.2).



Şekil 9.1: Batman ili Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve TPAO kuyuları

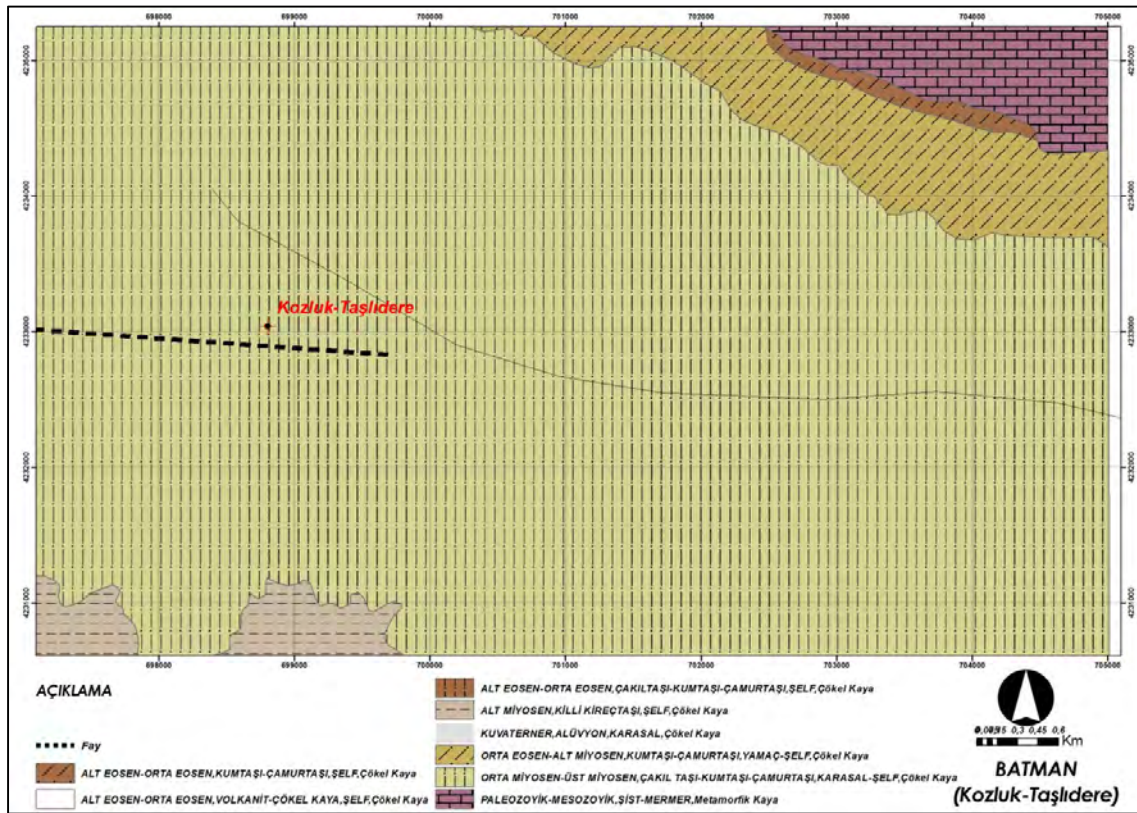


Şekil 9.2: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasının morfolojik yapısını gösteren harita

9.1. KOZLUK-TAŞLIDERE JEOTERMAL SAHASI

9.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Taşlıdere jeotermal sahası, Bitlis sürüklenim kuşağı güneyinde Arap kıtası üzerinde yer alır. Saha içerisinde yaşları Paleozoyik'ten Kuvaterner'e kadar değişen kaya birimleri yüzylemektedir (Şekil 9.3). Bölgede Neotektonik dönemde Üst Miyosen'den itibaren sıkışma tektoniğinin etkisiyle kıvrımlı yapılar gelişmiştir.

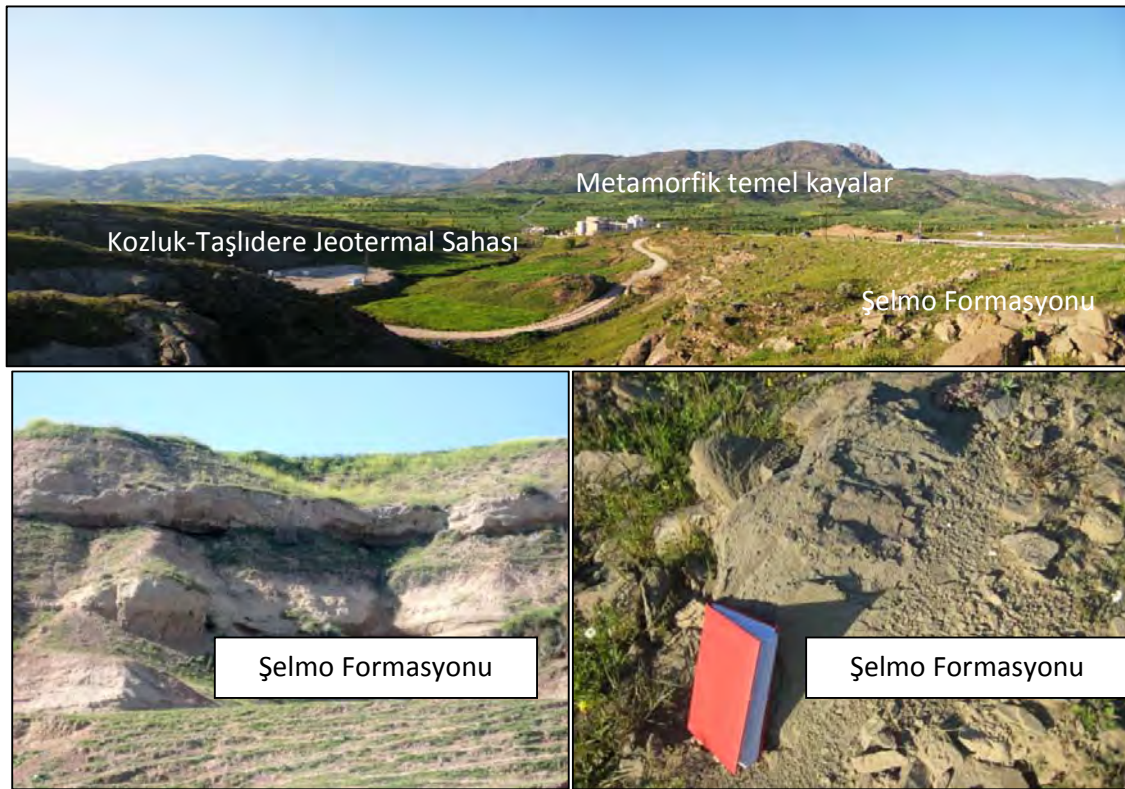


Şekil 9.3: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası alanda Arap platformunun en kuzey ucunda yer almaktadır. Şekil 9.3'te görülebileceği gibi sahanın kuzey doğusunda Bitlis dağ kuşağına ait Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı ve allokon konumlu kaya toplulukları bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında, bölgede var olan istifler aşağıda yaşlıdan gence doğru anlatılırken allokon olan birimler de ayrıca irdelenmiştir.

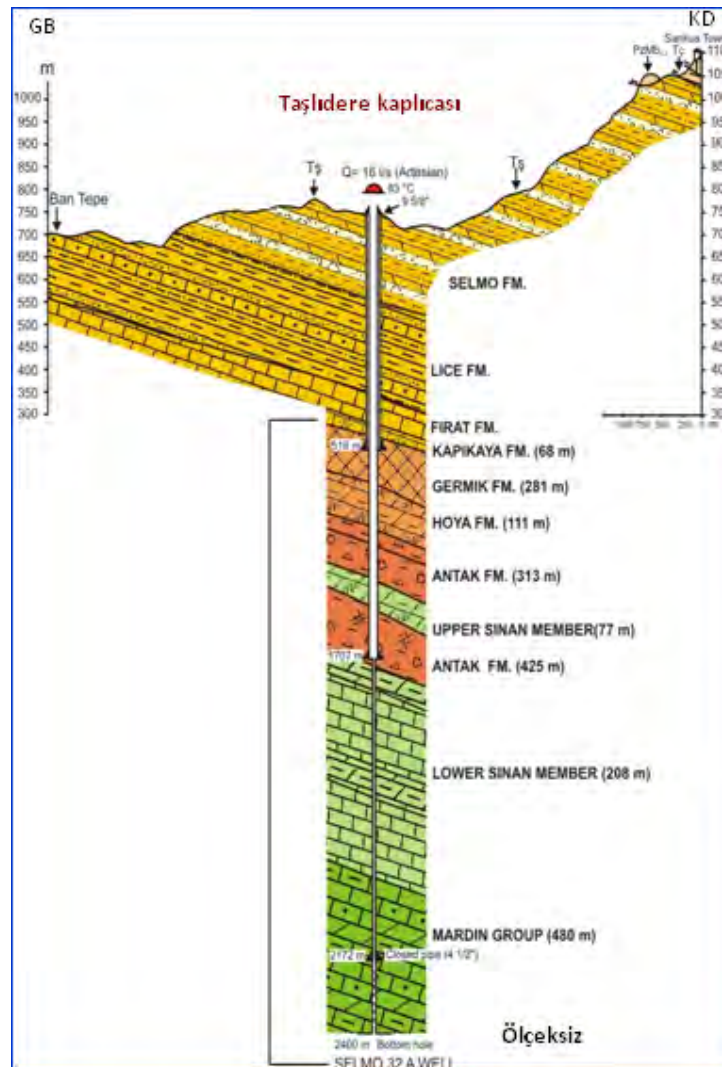
Alanda en yaşlı kaya toplulukları Bitlis metamorfilerine ait Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı mermerler ve metamorfik kayalardır. Jeotermal saha ve çevresinde gözlenen Lice Formasyonu yamaç-şelf fasiyesindeki kumtaşı ve çamurtaşından meydana gelir ve Orta Eosen-Alt Miyosen yaşındadır. Şelf fasiyesindeki Alt Miyosen yaşlı çökel kayalar ise killi kireçtaşından oluşan Fırat Formasyonudur. Formasyonun alt düzeylerinde gözlenen ileri derecede karstik özellik gösteren kireçtaşlarının Eosen yaşlı Hoya Formasyonu'na ait olabileceği muhtemeldir. Yörede geniş alanlar kaplayan Orta-Üst Miyosen yaşındaki Şelmo

Formasyonu karasal-şelf fasiyesindeki çakıltaşı, kumtaşı ve çamur taşından meydana gelmektedir (Şekil 9.4).



Şekil 9.4: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresinde yüzlek veren kayalar

Yukarıda stratigrafik konumu ve yaş ilişkileri tanımlanan bu birimler, yüzey jeolojisinde gözlenen kaya türleridir. Bununla beraber Taşlıdere sahasında açılan kuyu jeolojisi bilgileri esas alındığında istifin, aşağıda tanımlanan formasyonlardan oluştuğu görülmektedir (Şekil 9.5). Kuyuda Mardin, Şırnak, Midyat ve Silvan Grubu'na ait birimler ile Şelmo Formasyonu'na ait kayalar kesilmiştir. Kuyu tabanında Mardin Grubu'na ait Alt-Orta Kretase yaşlı, dolomit ve kireçtaşından oluşan kalın bir karbonat paketi yer almaktadır. Bu birimin üzerinde yer alan, Üst Kretase-Paleosen yaşlı kireçtaşı ve dolomitten oluşan Alt Sinan, Paleosen yaşlı çört, anhidrit ve silttaşından oluşan Antak ve jipsli seviyeler içeren marn ve kireçtaşından oluşan Üst Sinan Formasyonları Şırnak Grubu'na aittir. Eosen-Oligosen yaşlı Midyat Grubu'nun anhidrit ve şeyl seviyeleri ile kireçtaşından oluşan Hoya, anhidrit ve dolomitik mercceklerden oluşan Germik Formasyonları, Şırnak Grubu üzerinde bulunmaktadır. Silvan Grubu'na ait jipsli-killi kireçtaşının oluşturduğu Kapıkaya, kireçtaşından oluşan Fırat ile marn, kumtaşı, silttaşı ve şeylden kurulu Lice Formasyonları Alt Miyosen yaşındadır ve Şırnak Grubu üzerinde yer alır. En üstte yer alan Üst Miyosen yaşındaki Şelmo Formasyonu çakıltaşı, kumtaşı ve kiltası kaya birimlerini içerir.



Şekil 9.5: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında açılan TPAO kuyu logu (Dağistan ve Şimşek, 2005)

Bölgede Neotektoniğe ait yapısal unsurlar etkin bir şekilde gözlenmektedir. Çalışma sahasının kuzey-kuzeydoğusunda bindirmeli yapılarla üst üste gelmiş kaya topluluklarından en yaşlısı en üstte görülecek şekilde konumlanmıştır. Yörenin diğer alanlarında gözlenen Şelmo Formasyonu'nda D-B eksen konumlu kıvrımlar, otokton istifinde izlenen Neotektonik dönem ana yapılarını oluşturur.

Bu çalışma kapsamında, inceleme sahasının GB'sında genel gidişi D-B olup sağ yönlü doğrultu atımlı ve normal bileşenli bir fay saptanmıştır (Şekil 9.3). Fayın tek kırıktan ziyade birbirine paralel zonlar şeklinde kırıklardan meydana geldiği gözlenmekte, karbonat ağırlıklı kireçtaşı-killi kireçtaşlarında izlenebilecek boyutta geliştiği dikkati çekmektedir (Şekil 9.6). Fayın topografyadaki genel gidişi ve izlenebilen kırık düzlemlerinin eğimlerine göre dik veya dike yakındır. Bu düzlemlerin yer yer kuzeye yüksek açılı eğimlenmeleri olduğu söylenebilir. Fırat Formasyonu'nda bu kırık zonunun kuzey-güney açılma çatlakları ve bol karstik yapıların beraberinde olduğu görülebilmektedir. Sahada üretilen akışkanın bu fay zonu ile ilişkili olduğu ve muhtemelen ana faya açılı çatlaklardan yüzeylendiği söylenebilir.

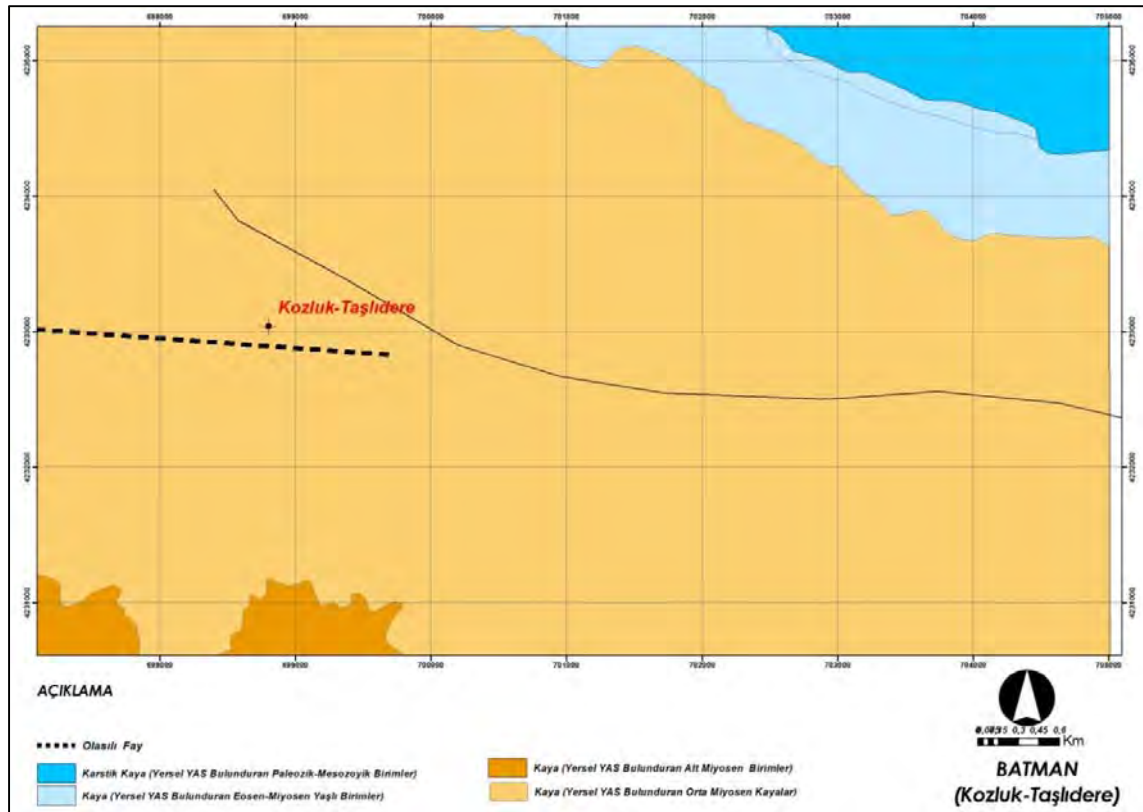


Şekil 9.6: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası ve çevresindeki karbonat kayaçlarda gözlenen tektonik yapılar

9.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme sahasının kuzeydoğusunda yüzlek veren Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı şistler yeraltı suyu (YAS) bulundurmeyen kayaçlardır. Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı mermerler ise yersel YAS bulunduran karstik kaya kütleleri olarak tanımlanmıştır (Şekil 9.7). Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren Fırat Formasyonu'na ait birimler yersel yeraltı suyu bulunduran birimlerdir. Ancak bu birimin üzerinde yüzlek veren marn, kumtaşı, silttaşı ve şeylden oluşan Lice Formasyonu ve bu alandaki birimleri ağırlıklı olarak örten kumtaşı ve kil taşından oluşan Üst Miyosen yaşındaki Şelmo Formasyonu ise yeraltı suyu bulundurmeyen birimlerdir.

Yöre jeolojisinin jeotermale yönelik özellikleri irdelendiğinde Fırat Formasyonu karbonatlarının iyi bir rezervuar, Şelmo Formasyonu'nun örtü kaya olduğu, bunları kesen olası normal bileşenli doğrultu atımlı fayın ise sistemin, akışkanının yukarıya doğru çıkmasını sağlayan yapısal unsurlar olduğuna yorumlanabilir. Nitekim bölgede petrol amaçlı yapılan jeolojik araştırmalarda, görülebileceği gibi bir yapısal kapan hedef alınarak sondaj önerilmiş fakat yukarıda anlatılan model gereği bu fay zonuna ulaştığında jeotermal akışkan üretilmiştir.



Şekil 9.7: İnceleme sahasının hidrojeoloji haritası

9.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları

İnceleme sahasında Nisan-2015'te yapılan arazi çalışmaları sırasında sıcaklığı 84,5 °C ve debisi 16 l/s olan, petrol amaçlı açılmış ancak sıcak akışkan çıktığı için terkedilmiş bir sondaj kuyusu görülmüştür. TPAO tarafından Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında açılan kuyuların derinlik, sıcaklık, debi ve üretim şekilleri Tablo 9.1'de verilmiştir. Bununla birlikte TPAO tarafından bölgede petrol amaçlı çok sayıda kuyu açılmıştır. Derinlikleri 1270 m ile 3220 m arasında değişen bu kuyularda, 51-109 °C arasında kuyu dibi sıcaklıkları ölçülmüştür. Söz konusu bu kuyular, jeotermal akışkan içerdiği için terk edilmiştir (Tablo 9.2).

Tablo 9.1: Kozluk-Taşlıdere Jeotermal sahasında açılmış bulunan kuyular

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	pH	EC (mS/cm)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
Kozluk-Taşlıdere (Şelmo 32 A)	26.04.2015	2400	84,5	6,16	18,55	16	Aktif
Kozluk-Taşlıdere (Şelmo 64)	26.04.2015	?	70 ^(*)	6,31	31,1	?	Aktif

^(*) Özel bir şirkete ait sahadaki petrol kuyusu olması nedeniyle, sadece sıcaklık ölçüsü alınabilmektedir.

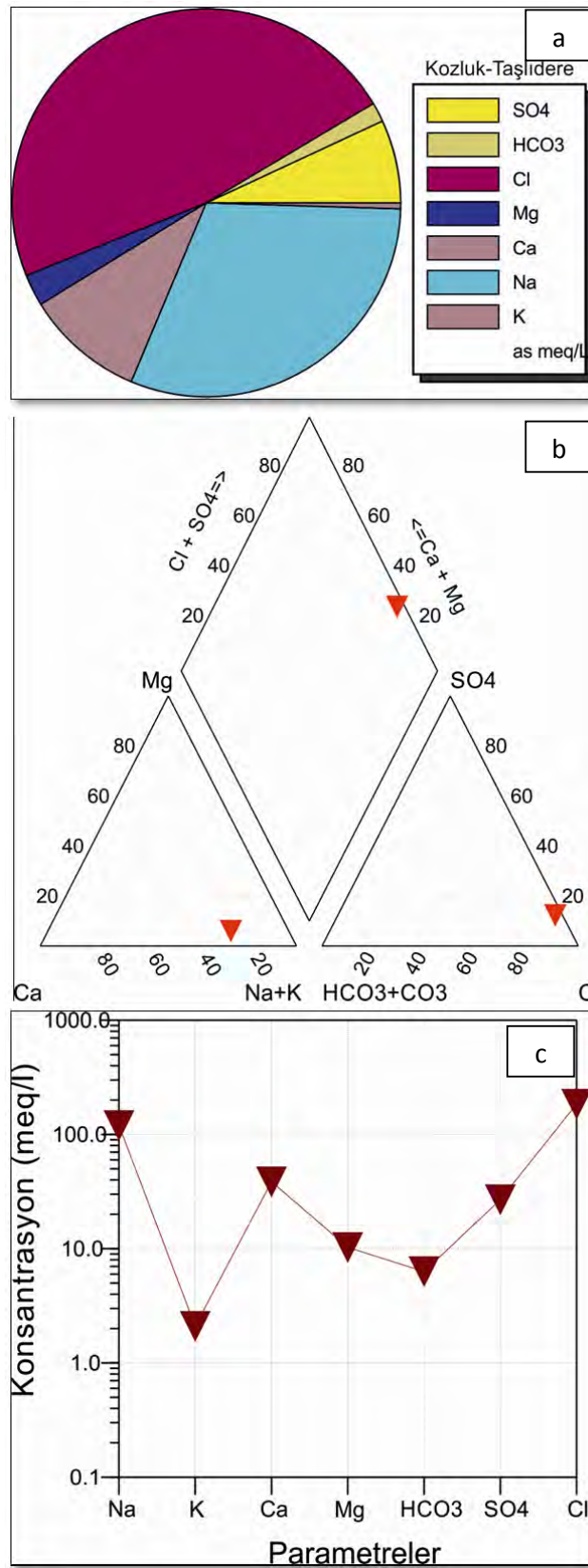
Tablo 9.2: Batman il sınırları içinde TPAO tarafından açılmış bulunan kuyular ve bu kuyulara ilişkin derinlik ve kuyu dibi sıcaklıkları

Saha Adı	Sondaj Derinliği (m)	Rezervuar Sıcaklığı (°C)	Saha Adı	Sondaj Derinliği (m)	Rezervuar Sıcaklığı (°C)
Raman	1360	60,00	Batı Haznemir	2430	84,44
Güney Raman	1270	65,56	Doğu Silivanka	2480	92,22
Sezgin	1700	51,67	Güzeldere	2645	87,78
Batı Raman	1300	65,56	Köseler	3220	93,33
Germik	1980	71,11	Arıkaya	2980	108,89
Silivanka	2375	92,22	Yemişlik	2884	93,33
Beyçayır	2350	78,89	K.Arıkaya	2900	97,78
Batı Şelmo	1820	74,44			
Oyuktaş	2380	79,44			
Silivanka Sinan	1300	51,11			
Yanarsu	1440	54,44			

9.1.3. Kozluk-Taşlıdere Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Kozluk jeotermal sahasındaki jeotermal akışkanın özelliğini belirlemek amacı ile bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Bu kuyu suyunun Elektriksel İletkenliği (EI) 18550 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH ise 6,16 dir. Asidik karakterli bu kaynak Mardin Grubu'na ait kireçtaşlarında yüzeye çıkmaktadır. EI değeri oldukça yüksektir ve bu durum suyun derin dolaşımına işaret etmektedir. Jeotermal akışkanda görülen başlıca katyon sodyum (Na^+) dur. Bunu sırasıyla, genelde kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) takip eder. Anyonlardan ise klorür (Cl^-) en baskın gözlenen anyon olup bunu sülfat (SO_4^{2-}) izler (Şekil 9.8).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak inceleme sahasındaki akışkan sodyum klorürce zengindir ve NaCl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 9.8b ve c). Bu da sahadaki akışkanın derinden beslendiğini göstermektedir.



Şekil 9.8: Kozluk-Taşlıdere akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

9.1.3.1. Ağır Metaller

Özellikle ayrıışmış kayaçların olduğu bölgelerde dolaşım halindeki yeraltı sularındaki konsantrasyon, su-kayaç ilişkisi nedeniyle beklenmedik düzeylerde olabilir. Çalışma sahasındaki akışkanın ağır metal içerikleri yapılan analizler ile belirlenmiştir (Tablo 9.3).

Tablo 9.3: Kozluk-Taşlıdere akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
Ag	<100		Nb	-	
Al	<600	200	Ni	<300	20
As	<3000	10	P	<4000	
Au	<500		Pb	<4000	10
B	3052	1000	Pd	-	
Ba	204		Pt	-	
Be	-		Rb	-	
Bi	<3000		Re	-	
Br	-		Rh	-	
Cd	<700		S	406	
Cl	-		Sb	<2000	5
Co	<300		Sc	-	
Cr	<300	50	Se	-	10
Cs	-		Si	-	
Cu	<80		Sn	-	
Fe	<10000	200	Sr	16908	
Ga	-		Ta	-	
Ge	-		Te	-	
Hf	-		Th	<500	
Hg	-		Ti	<100	
In	-		Tl	-	
Li	<1000		V	<200	
Mn	<50	50	Zn	<300	
Mo	<300				

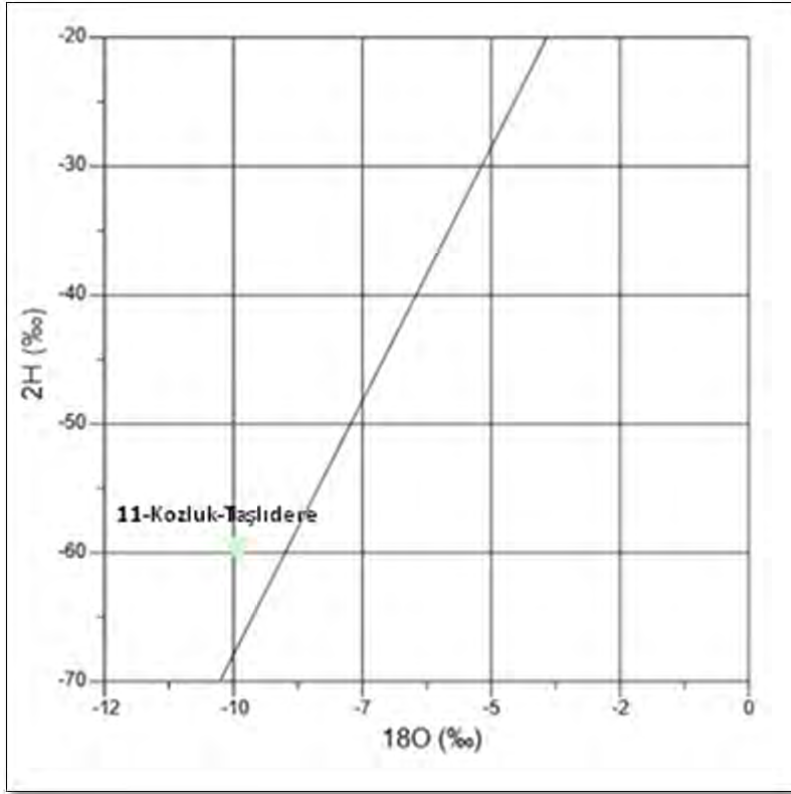
Nisan 2015 tarihinde alınan örneklerin analiz sonuçlarına göre sahadaki akışkanda yüksek konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. ICP-MS ile ölçülen verilerin sonuçları net alınmamakla birlikte bütün elementler ulusal içme suyu standartlarını aşmaktadır. Bor değerleri 3 ppm'i aşmıştır. Söz konusu akışkanın bir kısmı çevreye deşarj edilmektedir (Şekil 9.9). Bu da hem tatlı su kaynaklarının hem de toprağın kirlenmesine neden olabilmektedir.



Şekil 9.9: Kozluk-Taşlıdere akışkanının çevreye deşarj edildiği alanlardan görünüm

9.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

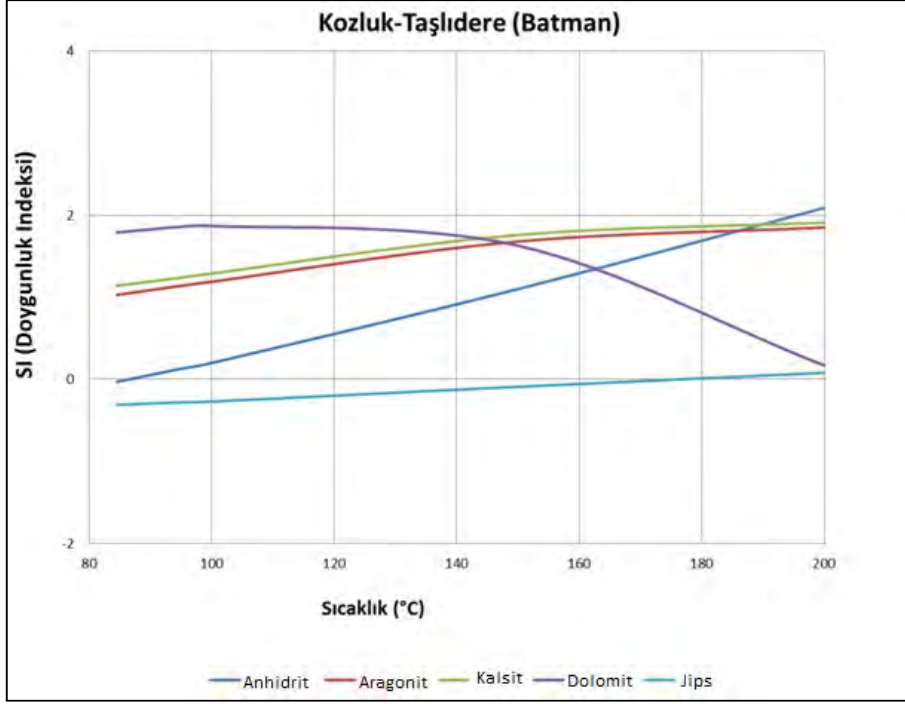
Kozluk-Taşlıdere'deki kuyudan üretilen akışkandan trityum (T), oksijen-18 (^{18}O) ve döteryum (D) analizleri yapılmıştır. Alınan veriler Döteryum (‰) ve Oksijen-18 (‰) grafiklerinde değerlendirildiğinde akışkanın meteorik su çizgisi üst kısmında yer aldığı görülmekte, bu durum akışkanın meteorik kökenli olduğunu (Şekil 9.10), trityum değerlerine göre (TU=0) ise akışkanın 50 yıldan daha yaşlı ve derin beslenmeli olduğunu göstermektedir.



Şekil 9.10: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

9.1.4. Doygunluk İndeksleri

Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit, jips ve halit minerallerinin doygunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doygunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 9.11). Buna göre Kozluk jeotermal sahasında anhidrit, kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması görülebilir. Günümüzde bu kabuklaşma çeşitli inhibitörlerle minimize edilebilmektedir.



Şekil 9.11: Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

9.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

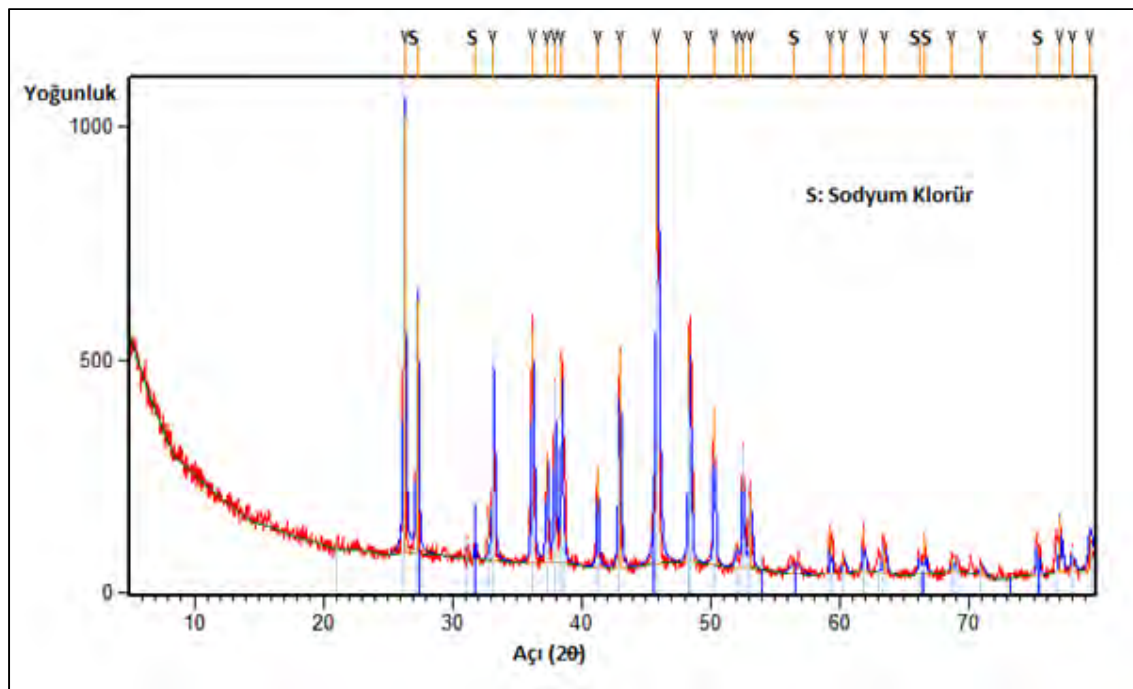
Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Na/K oranının yüksek sıcaklıklarda düşük olması ve sıcaklığa bağlı değişiminin duyarlı kalibrasyonu sayesinde yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde Na/K jeotermometresi oldukça kullanışlıdır. Bu sistemlerde sodyum ve potasyumun sıcaklığa bağlı dağılımı bu elementler ile alkali feldispatlar arasındaki iyon değişimine bağlıdır (Nicholson, 1993). Deneysel olan jeotermometre eşitlikleri, Truesdell (1976), Fournier (1979), Giggenbach (1988) ve Arnorsson ve diğ., (1983) tarafından geliştirilmiştir. Na/K jeotermometrelerine göre inceleme sahasındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 86 ile 151 °C arasında değişmektedir (Tablo 9.4). Na/K jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalarda kalsiyum miktarı, yüksek ve düşük sıcaklıklı sistemlerde beklenen değerlerden çok yüksektir. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre 180 °C'den yüksek sıcaklıklarda kabul edilebilecek sonuçlar vermekte daha düşük sıcaklıklarda ise karbondioksit kısmi basıncından



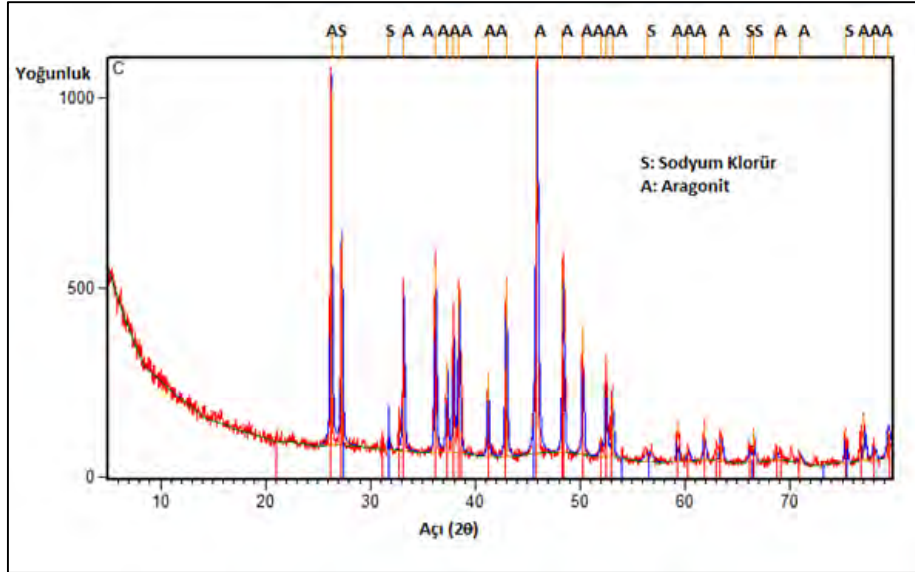
Şekil 9.13: Kozluk Jeotermal sahasında gözlenen kabuktan görünüm

Tablo 9.5: Kozluk jeotermal sahasında kabuğun XRF ve XRD sonuçları

Örnek	Element	XRF ANALİZİ SONUÇLARI (%kütle)		XRD ANALİZİ SONUÇLARI Kristal Yapı
		Oksitsiz	Oksitli	
KOZLUK KABUK	Ca	64,5	90,2	Sodyum Klorür ve Aragonit
	Na	3,3	4,4	
	Ta	1,5	1,9	



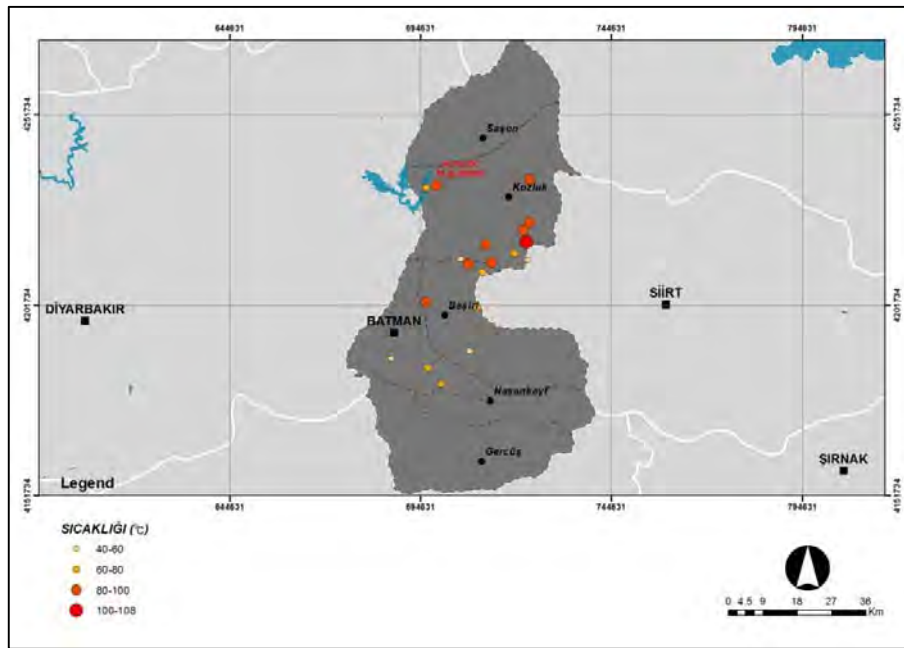
Şekil 9.14: Kozluk Jeotermal sahasındaki kabuğun kristal yapısında bulunan “Sodyum Klorür” deseni



Şekil 9.15: Kozluk Jeotermal sahasındaki kabuğun kristal yapısında bulunan “Aragonit” deseni

9.1.6. Potansiyel İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Taşlıdere sahası ve yakın civarında, yüzeye çıkan herhangi bir sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Ancak Batman bölgesinde petrol ve diğer amaçlarla açılmış olan kuyularda jeotermal gradyan yüksektir ve bu kuyulardan bazıları sıcak akışkan içermektedir (Şekil 9.16). Alanda bir bölümü yüzeyleyen ve Şelmo 32A kuyusunda kesilen Mardin Grubu, Şırnak Grubu'nun Alt ve Üst Sinan Formasyonu ve Hoya Formasyonu (Şekil 9.5), kırıklı ve çatlaklı yapılarıyla iyi rezervuar özellikleri gösterir. Antak, Lice, Yapraklı ve kısmen Şelmo formasyonları ise örtü kaya karakterindedir.



Şekil 9.16: Batman il sınırları içindeki akışkanın sıcaklık dağılımı

Sahadaki Şelmo 32A kuyusundaki 84,5 °C sıcaklık ve 16 l/s debiye sahip akışkan, petrol amaçlı açılmış 2400 m derinliğindeki 2172 m'ye kadar kapalı boru ile teçhizli kuyudan artezyen halinde çıkmaktadır (Tablo 9.1). Kozluk-Taşlıdere sahasında sıcak akışkan bulunan ikinci kuyu da yine petrol amaçlı açılmıştır. Şelmo 32A kuyusuna yaklaşık 550 m mesafede açılan kuyunun sıcaklık dışında diğer teknik bilgilerine ulaşılamamıştır (Şekil 9.17). Kuyu üretimde olmadığı için akışkanın debisi ölçülemedi, kuyu başındaki tahliye borusundan sadece sıcaklık ölçüsü alınabildi. Birkaç dakikayla sınırlı üretimde, sıcaklığı 70 °C olarak ölçülen akışkanın uzun süreli üretimde sıcaklığı kuşkusuz daha yüksek olacaktır. Her iki kuyudaki sıcaklık değerleri sahada önemli bir potansiyel varlığının göstergeleridir.



Şekil 9.17: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahası sınırları içinde bulunan Şelmo 64 no'lu petrol kuyusundan görünüm

Şelmo 32A kuyusunun ısı potansiyeli jeotermal akışkanın çıkış sıcaklığına bağlı olarak 3-4.3 MW arasında değişmektedir (Tablo 9.6). Şelmo 64 kuyusunun debisi bilinmediği için ısı potansiyeli hesaplanamamıştır.

Tablo 9.6: Şelmo 32A kuyusuna ait çıkış sıcaklığına bağlı tahmini potansiyel verileri

Kuyular	m (l/s)	T _g (°C)	T _ç (°C)					Q (kW)
			40	35	30	25	20	
Şelmo 32A	16	84,5	2990,4	3326,4	3662,4	3998,4	4334,4	

Tablo 9.2'de listelenen petrol kuyularının debilerinin bilinmemesine rağmen sıcaklıklarının 41-137 °C arasında değişiyor olması ve jeotermometrelerin 86-151 °C arasında verdiği rezervuar sıcaklıkları dikkate alındığında sahada oldukça yüksek bir ısı potansiyelin olduğu söylenebilir. Ancak potansiyel alan sınırları jeolojik olarak belirli olan sahadaki rezervuarın yayılımı ve üretim yeteneği, kapsamlı bir geliştirme çalışmasında yapılacak aletsel ölçümler sonucunda elde edilecek verilerin, jeoloji bilgileriyle birleşik değerlendirilmesiyle seçilecek lokasyonlarda açılacak yeni kuyularla belirlenebilecektir. Mevcut kuyu bilgileri ve yapılacak

ilave jeolojik, jeofizik etüdler ve açılacak yeni kuyu bilgileri ile sahanın rezervuar modelinin oluşturulması önemlidir.

Sahadaki kuyulardan derlenen su örneklerinin analizleri yanında jeotermal akışkan potansiyeli için gerekli olan ana unsurlardan örtü kalınlığı, rezervuar derinliği ve kalınlığı gibi etmenler bu düşünceyi doğrular nitelikte olup mevcut sıcaklıklardan daha yüksek sıcaklık yakalama umudunu artırmaktadır. Jeolojik çalışmalar sonucunda kurgulanan istife göre açılacak kuyularda rezervuar kayası kireçtaşıdır. Bu tip rezervuarlarda karstik olayların da etkisiyle ikincil permeabilite çok gelişmiş olmaktadır. Dolaylı olarak bu kuyularda yüksek debili akışkan üretimi beklenilir. Bu durumda, kuyu yerleri seçiminin derine doğru etkili olan, ısı ve akışkan taşıma özellikleri iyi gelişmiş fayların belirlenerek derinde kesilmesi şeklinde tercih edilmesi, sıcaklık yanında yüksek debi beklentisini de karşılayacaktır.

9.1.7. Yatırım Olanakları

Önemli bir ısıl potansiyele sahip olduğu görülen sahadan şu anda sadece bir termal tesis ve yakınında bulunan birkaç pansiyondan yararlanılmaktadır. Termal tesis 165 yatak kapasitelidir. Kür merkezi, 2 kapalı havuz, 1 açık havuz ve 1 çocuk havuzu bulunmaktadır (Şekil 9.18). Tesis Batman, çevre iller ve Kuzey Irak'tan gelen turistlere hizmet vermektedir. Termal tesisin hemen yanında bir sera uygulaması gerçekleştirilmiş. İki sezon ürün alınıp yakın çevreye pazarlanmış, sonrasında yaşanan ekonomik sorunlar nedeniyle işletilemeyip terkedilmiştir.

Sahanın geliştirilmesi ile ortaya çıkarılacak ısıl kapasiteye bağlı olarak öngörülen sıcaklıklar ve yeterli debilere ulaşılması durumunda öncelikle elektrik üretmek mümkün olacaktır. 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar elektrik üretimi için yeterli olacaktır. Elektrik üretiminin yanısıra geniş bir yelpazede ve değişik seçeneklerde doğrudan kullanım uygulamaları da mümkün olacaktır. Yakın civarda bulunan ilçeler ile Batman il merkezinin ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanmasına ekonomik değerlendirmeler sonucu karar verilebilir.

Başarı ile işletilmekte olan termal tesis müşteri potansiyeli, doğası ve ulaşım olanakları gözönünde bulundurularak saha, bir termal turizm bölgesi haline getirilebilir ve sağlık turizmi yapılabilir. Buna ilave olarak basit de olsa teknik olarak başarılı olmuş bir örneği görülen seracılık bölgede yaygınlaştırılabilir. Sahadaki geniş tarım arazileri, bölgenin iklim ve ulaşım koşulları, sera uygulaması için ekonomik bir seçenek sunmaktadır. Ayrıca baraj gölünde denenmiş olan balıkçılık uygulamaları da gerçekleştirilerek, soğuk suda yetişen balıklar yerine sahada sıcak sularda yetişen türler denenebilir.

Kuşkusuz bu aşamada dile getirilen senaryoların gerçekleşmesi, yapılması gereken çalışmalara ilişkin önerilen ilave etütler (jeokimyasal ve jeofizik) ve ölçümler sonucunda açılacak kuyularda sıcaklık ve debi değerlerinin artırılmasıyla mümkün olabilecektir.



Şekil 9.18: Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında aktif olan termal tesisten görünüm

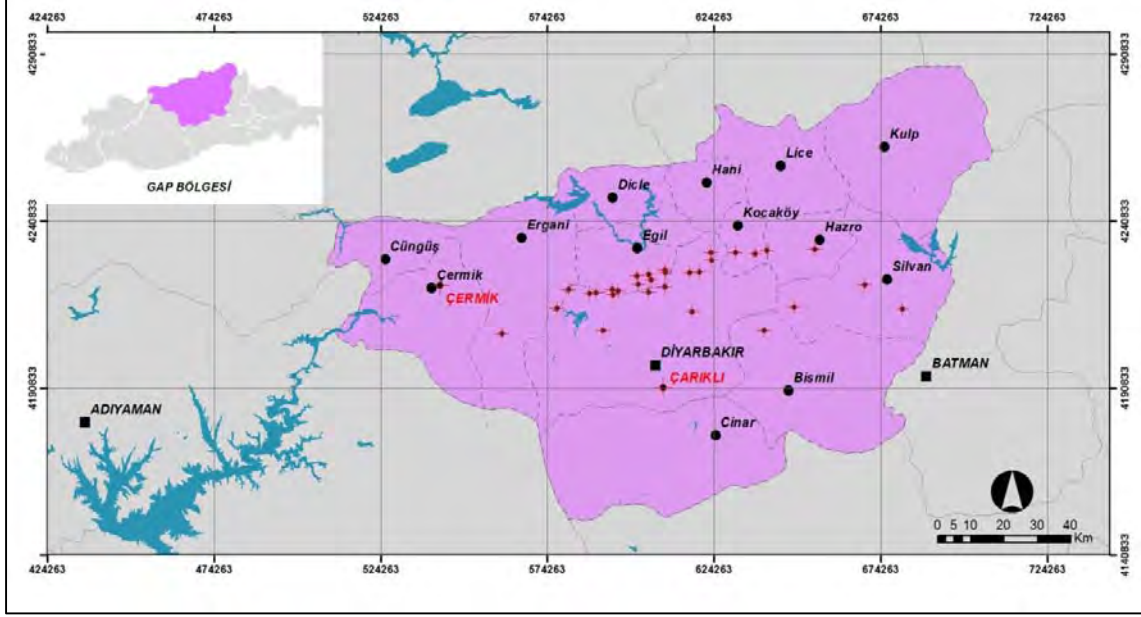
9.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Yapılan incelemelere göre, Batman il genelinde jeotermal enerjiye yönelik daha önceden yeterli çalışmalar yapılmamıştır. Elde edilen veriler de Batman ilinin jeotermal açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Mevcut halde işletilmekte olan Batman-Kozluk-Taşlıdere alanında, araştırma sistematığının ilk etabı olan jeoloji etüdü ile proje kapsamında gerçekleştirilen inceleme, jeolojik gözlemler, kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri jeotermal kaynağın olduğu potansiyel alanın belirlenmesine yönelik özgün çalışmalardır. Bu çalışmaları izleyen aşamada, önceki araştırmalarda elde edilen bilgiler ve önerilen diğer çalışmaların uygulanmasıyla toplanacak veriler birleşik değerlendirilerek, kuyu yerleri seçimi yapılabilecek, öngörülen ileri aşama araştırmalarının son etabını oluşturan sondajlar ve bunu izleyen testler sonunda alanda ulaşabilecek kapasite belirlenebilecektir. Bu nedenle Kozluk jeotermal sahasında aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması önemlidir.

- Jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması ve sondajların yer seçimlerinin yapılması için Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve MT çalışmalarının yapılması, elde edilen veriler ile yeraltındaki süreksizlikler belirlenmiş olacak ve hangi derinlikte bir sondaj yapılması gerektiği hususunda bilgiler sağlanmış olacaktır.
- Alandaki sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık zonlarının belirlenmesi için toprakta gaz ölçümlerinin yapılması, yoğun olan noktalarda sondaj açılması durumunda daha hızlı sonuç alınmasını sağlayacaktır.
- Rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması için alanda ilk etapta 3 kuyu açılması önerilmektedir.
- Sahanın rezervuar modelinin oluşturulmasında yarar vardır. Bu veriler ışığında kaynağın ısıl potansiyeli belirlenebilir ve hangi uygulamalarda kullanılabileceği gerçekçi olarak ortaya çıkarılabilir. Sonrasında bölgeye uygun stratejiler belirlenerek saha yatırıma açılabilir.

10. DİYARBAKIR İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

Diyarbakır il sınırları içinde yapılan sondaj çalışmalarında çok sayıda sıcak su kaynağına ulaşılmıştır. Bu sıcak su kaynaklarının önemli bir bölümü TPAO tarafından il sınırları içinde açılan kuyularda ölçülmüştür (Şekil 10.1). Ancak bu güne kadar bölgede sadece iki jeotermal saha (Çermik ve Çarıklı) ile ilgili bilimsel çalışmalara vurgu yapılmıştır. Diyarbakır ilinde Çermik jeotermal sahası ile ilgili çalışmalar diğer sahalara oranla daha çoktur. Bu alandaki jeotermal akışkan termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Çermik, Diyarbakır'ın 84 km kuzeybatısında yer alır. Çermik kaplıcası Diyarbakır-Çermik yolu üzerinde ve Çermik ilçesinin doğusunda, ilçe merkezine 3 km mesafede yer alan Hamambaşı mevkiindedir (Şekil 10.2).



Şekil 10.1: Diyarbakır il sınırları içinde yer alan jeotermal sahalara (Çermik ve Çarıklı) ve sıcak akışkan içeren petrol kuyuları

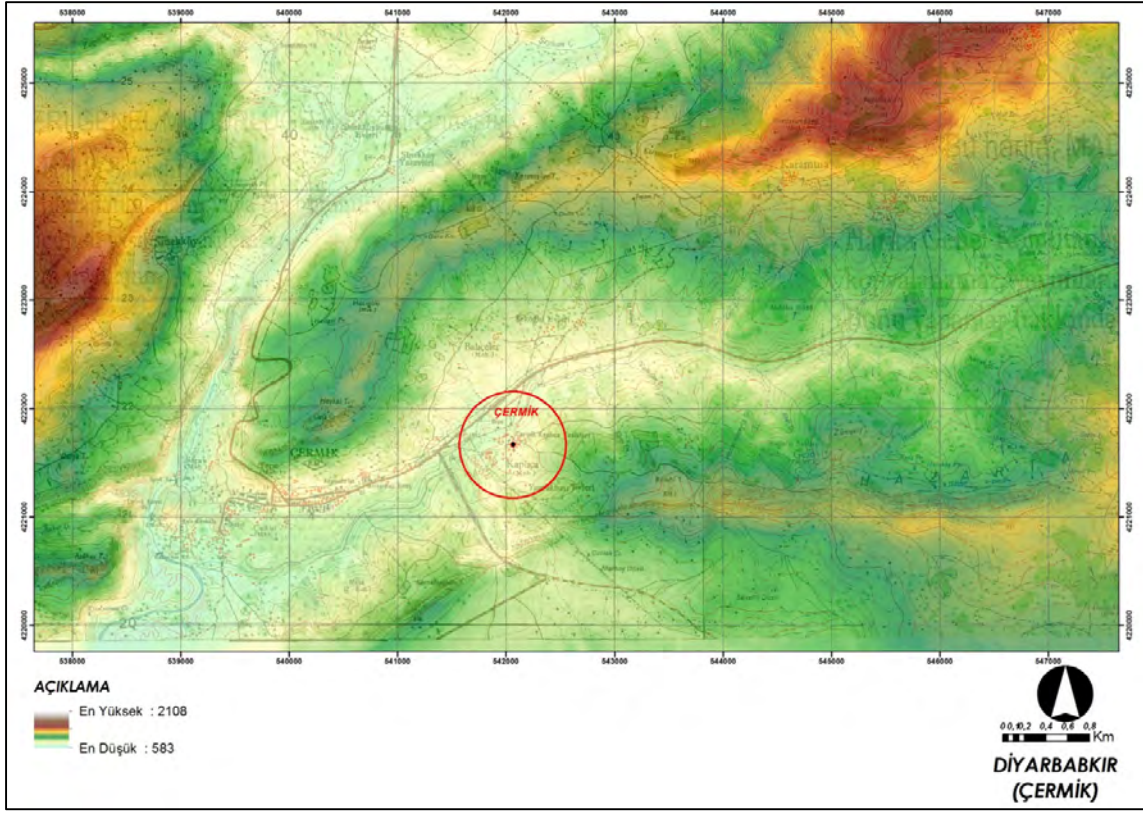
Çermik ilçesi doğusunda, Çermik belediyesi imar sınırları içerisindeki Kaplıca Mahallesi'nde yer alan ve alana adını veren sıcak su kaynağı, alanda kuyu açıldıktan sonra kurumuştur (Şekil 10.3). Sıcak sudan termal amaçlı yararlanılan Çermik ilçesinin doğusundaki Kaplıca tesislerine, Siverek-Çermik ve Çermik-Diyarbakır karayoluyla ulaşılmaktadır. İyi bir ulaşım ağına sahip olan alan, 1/25.000 ölçekli Elazığ L 42 c₂ ve Elazığ L 43 d₁ paftaları içinde yer almaktadır. Siverek-Çermik karayolu sahanın güneyinden Çermik ilçesine ulaşır. Çermik-Diyarbakır karayolu yaklaşık GB-KD yönünde alanı kat eder. Ayrıca Çermik'ten köylere ulaşım yolları bulunmaktadır. Çermik jeotermal sahasının batısı ve kuzeyi yüksek bir topografyaya sahiptir (Şekil 10.4).



Şekil 10.2: Çermik jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki görünümü



Şekil 10.3: Çermik Kaplıcası ve çevresinden görünümü



Şekil 10.4: Çermik jeotermal sahası ve çevresinin morfolojik özellikleri

Diyarbakir ilindeki diğer bir saha il merkezindeki Çarıklı jeotermal sahası olup Çarıklı Fabrika ve Bağıvar Mahalleleri arasındaki alanda yer almaktadır (Şekil 10.5). Eski ve yeni Diyarbakir-Mardin yolu arasında kalan alanda yüzeyde sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Jeotermal alan olarak değerlendirilmesindeki en belirgin parametre, sahada MTA tarafından açılan kuyudaki sıcaklık değeridir.

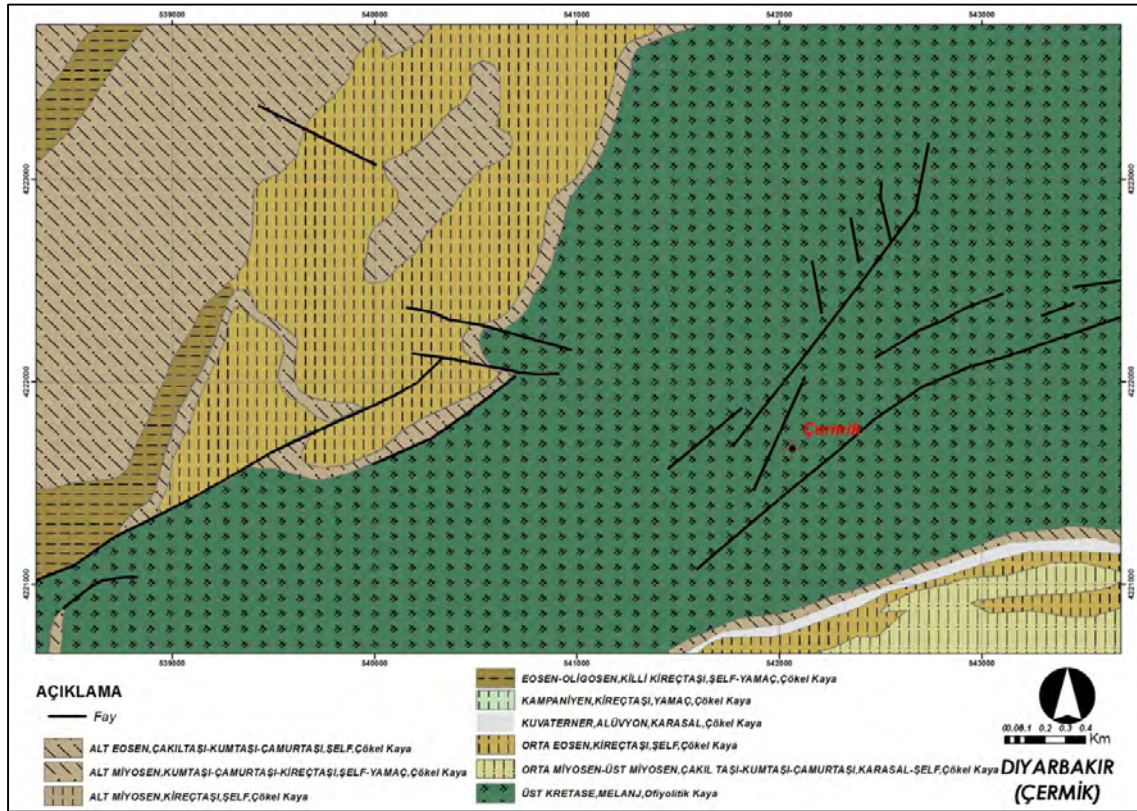


Şekil 10.5: Çarıklı jeotermal sahası ve çevresinden görünümü

10.1. ÇERMİK JEOTERMAL SAHASI

10.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Alanın jeolojik özellikleri ile ilgili bir dizi (Sungurlu, 1974; Yücel, 1989 ve Koyuncu, 2005) araştırma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalardan ve arazi gözlemlerine dayanılarak jeolojik birimlerin özellikleri (formasyon adlamaları, birimlerin yaş ve stratigrafik konumları, litolojik içerikleri) irdelenmiştir (Şekil 10.6).



Şekil 10.6: Çermik ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

Çermik ve çevresi jeolojik tarih boyunca oldukça etkin bir tektonizmanın etkisinde kalmış, özellikle Üst Kretase'den bu yana birimler, stratigrafik olarak konumlarını kaybedip, birbirlerine itilmişlerdir. Bu nedenle bölgedeki birimler otokton ve allokton olarak iki gruba ayrılmışlardır. Allokton birimler bölgeye Üst Kretase ve Üst Miyosen olmak üzere iki farklı dönemde yerleşmişlerdir (Koyuncu, 2005).

Çalışma alanında, Kretase yaşlı ofiyolit, ofiyolitik melanj ile eş yaşlı derin deniz çökellerinden oluşan kaya toplulukları, yörenin en yaşlı birimleridir. Bu birimlerin allokton olarak yerleştikleri kabul edilir. Birimler Eosen ve daha genç yaşta olan otokton Arap platformu tarafından örtülmektedir. Buna dayanarak allokton birimlerin Eosen öncesi yöreye yerleştikleri kabul edilir. Ancak birim içindeki kaya topluluklarının birbirleriyle yakın ilişkili ve geçişli olmaları nedeniyle sınır ayırımı oldukça zordur. Koyuncu (2005) tarafından ultrabazik, volkanik piroklastikler ile pelajik kireçtaşlarından oluşan Koçali Karmaşığı ve kumtaşı, kil-kiltaşı/silttaşı, marn, killi kireçtaşı-kireçtaşı ardalanması ile temsil olunan ve bu ardalanma içerisinde mercekler şeklinde konglomera blokları içeren Karadut Karmaşığı şeklinde

ayırılanması önerilmiştir. Proje çalışmasında, tanımlanan iki birimi doğru ayırma olanağı bulunmamıştır. Bu nedenle MTA tarafından yapılan haritalamadaki (Şekil 10.6) allokon birimler ayırımı aynen kabul edilmiştir.

Midyat Grubu'nun taban konglomerası niteliğindeki Alt Eosen yaşlı Gercüş Formasyonu, Eosen-Oligosen yaşlı kireçtaşı, killi kireçtaşı litolojisindeki şelf-yamaç fasiyesindeki Gaziantep Formasyonu ile yanıl geçişli olan kireçtaşı ile temsil edilen şelf fasiyesinde Orta Eosen yaşlı kireçtaşı yer almaktadır. Yörede Miyosen yaşlı kaya toplulukları, şelf fasiyesindeki kireçtaşı litolojisi ile temsil edilen Fırat Formasyonu ile başlar, üste doğru kumtaşı, çamurtaşı ve kireçtaşından oluşan şelf-yamaç fasiyesindeki Alt Miyosen yaşlı Lice Formasyonu'na dönüşür. Yanıl ve düşey olarak birbirlerine geçişli olan her iki birimi Orta-Üst Miyosen yaşlı Şelmo Formasyonu örter. Şelmo Formasyonu karasal-şelf fasiyesindeki çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı ile tanımlanır. Küçük derelerin alüvyonları ile heyelanlar haritalanamayacak ölçekte olduğu için işlenmemiştir.

Çalışma sahası ve yakın çevresinde farklı zaman aralıklarında meydana gelmiş olan değişik tektonik hareketlere ait veriler bulunmaktadır. Bunların içinde Üst Kretase öncesi ofiyolitik kaya topluluklarının yerleşimine ait tektonik süreçler ile alt Eosen'den Orta Miyosen'e kadar geçen tektonik süreçler ki bunlar bölge için paleotektonik süreçler olarak kabul edilirse Orta Miyosen'den başlayıp günümüze kadar devam eden Neotektonik süreç olarak tanımlanabilecek olaylar sayılabilir. Bu yapıların içinde Üst Kretase sürecinde büyük bindirme ve naplarla ofiyolitlerin yöreye taşındığı, tektonik olarak örttüğü daha yaşlı otokton kaya topluluklarının yayılımını bilmek ve ofiyolitik napların kalınlığını bu çalışmalarla kestirmek oldukça zordur. Alt Eosen-Alt Miyosen zaman aralığı içinde kaya topluluklarının yayılımı, yanıl ve düşey sürekliliği ve tabakalar içindeki sedimantasyonun özelliği gereği durgun bir tektonik evre ve sınırlı boyutta deniz ilerlemesi ve gerilemesi şeklinde yapısal olaylar gelişmiştir. Bundan dolayı bu tektonik zaman aralığına özgü yapısal unsurları bölgede ayırmak oldukça zordur. Bu ayırımı zorlayan diğeri bir neden neotektonik döneme ait deformasyonun tüm bölgeyi kapsayacak şekilde ve çok etkili olmasının sonucu olarak daha eski yapıları bozmuş veya değiştirmiş olmasıdır. Orta Miyosenden günümüze kadar süregelen tektonik rejim yörede var olan ve Tetis Okyanusu'nun artık denizi olarak kabul edilen arazide Lice Formasyonu çökelleri ile tanımlanan denizin kapanmasıyla meydana gelen kıta-kıta çarpışmasının ürünü yapılarla tanımlanır. Kabaca K-G yönlü bir sıkışma ve ona uyumlu olarak D-B eksenli kıvrımlar, yine D-B yönlü genelde kuzeye eğimli ters fay-bindirmeler ile KD-GB, KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylar yörede bu zamana ait egemen yapılarıdır. Ayrıca doğrultu atımlı fay olduğuna yorumlanan yapıların zonlarında etkin olmak üzere, yer yer bağımsız olarak da gözlenen K-G yönlü açılma çatlakları önemsenecek boyutlara ulaşmaktadır.

MTA tarafından 2015 yılında yayınlanan 1:25.000 ölçekli jeoloji haritasında gösterilen ve egemen olan doğrultuları KD-GB olan fakat niteliği belirtilmemiş faylar, haritada aynen korunmuştur. Ancak yaptığımız arazi gözlemlerine göre bu doğrultudaki fayların doğrultu atımlı ve/veya normal fay bileşenli doğrultu atımlı faylar olduğu kabul edilmiştir. Bunların arasında yer alan ve yer yer bu faylar tarafından kesilmiş olan kıvrımların olması, arazi gözlemlerinin yanında düşüncemizi destekleyen ek verilerdir.

Çermik jeotermal kaynakları ve yakın çevresinde K-KD ve G-GB ile KD-GB uzanımlı faylar, önemli yapısal unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bu yapıların var olan dokanakları ötelediği

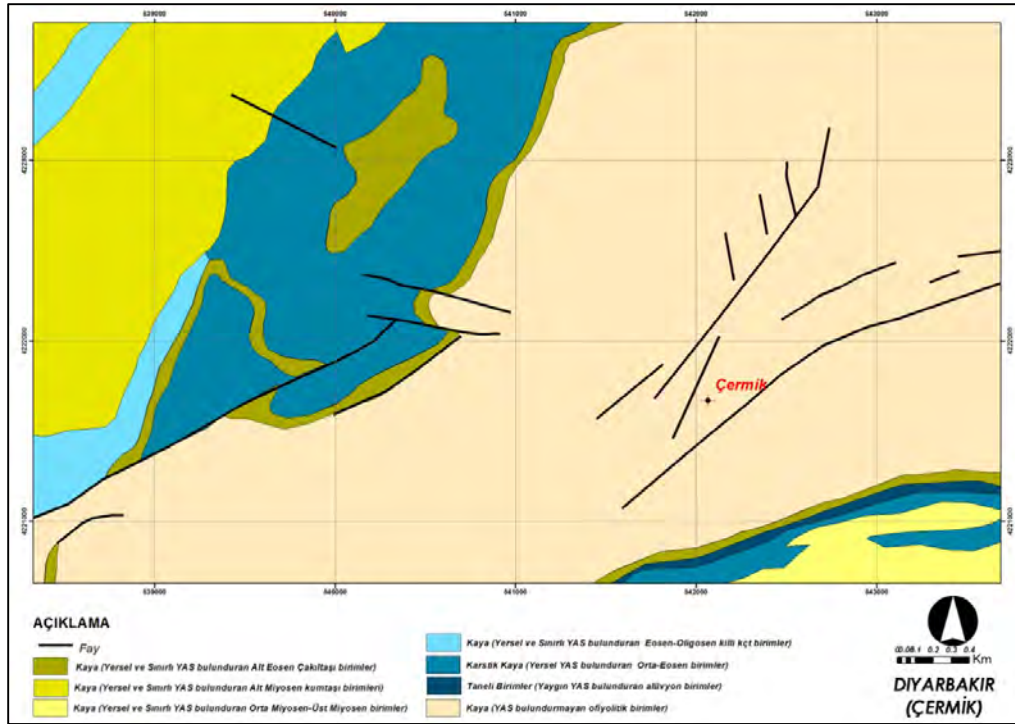
gibi bölgedeki kıvrımları da kestiği görülmektedir. Dolayısıyla bölgenin en genç yapıları olduğu ve bir kısmının aktif bile olabileceği düşünülmektedir. Jeotermal kaynakların çıkış yerleri ve bunların olası dizilimi gözetildiğinde, haritada işaretlendiği gibi ofiyolitik melanj veya ofiyolitik melanja ait olan eş yaşlı çökellerin içinden geçen KD-GB doğrultulu bir hat üzerinde olduğu görülür. Kaya toplulukları etkin kırılğan olmamaları nedeniyle bu fayların arazide sürekli gözlenmeleri mümkün olmamıştır. Ancak bu bölgenin genelinde olduğu gibi, bu faya açılı bir şekilde faya birleşen boyları bir kaç yüz metre ile km arasında değişen ikincil kırıklar bulunmaktadır. Her iki yapının normal fay bileşenleri olma ihtimali kuvvetlidir. Dolayısıyla iki sistemin kesişme noktalarının jeotermal çıkış için en uygun ortam olacağı kabul edilir (Şekil 10.7).



Şekil 10.7: Çermik jeotermal sahasının etrafında görülen tektonik izler

10.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı ve çevresi yoğun bir tektonik etkinin altında olduğu için bu alanda yüzlek veren bazı kayalarda (Kampaniyen ve Eosen yaşlı kireçtaşları gibi) ikincil gözeneklilik gelişmiştir (Şekil 10.8). Alanda yüzlek veren Kretase yaşlı ofiyolit kayaları yeraltı suyu (YAS) buldurmamaktadırlar (Şekil 10.9). Özellikle de jeotermal saha çevresinde yüzlek veren ve ofiyolit melanj içerisinde yer alan kiltası, silttaşı ve marn birimlerinin su kapasitesi son derece düşüktür. Ancak Miyosen-Oligosen ve Eosen yaşlı kireçtaşları, karstik kaya özelliğinde ve yersel olarak YAS alınabilen kaya özelliğindedirler (Şekil 10.10). Alanda karstik yapılı kireçtaşlarından önemli miktarda su alınmaktadır.



Şekil 10.8: Çermik jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası



Şekil 10.9: İnceleme alanında yüzlek veren temel kayalardan görünüm



Şekil 10.10: İnceleme alanı ve çevresinde yüzlek veren karstik kayalar

Çermik jeotermal kaynakları ve yakın çevresinde K-KD ve G-GB ile KD-GB uzanımlı faylar bulunmaktadır. Bu fayların olduğu kesimlerde jeotermal kaynakların çıktığı görülmektedir. Alanda özellikle de fayların kesişme noktalarından jeotermal akışkan yüze çıkmaktadır. Bu alandaki kireçtaşları iyi birer rezervuar kayacıdır. Alanda yüzlek veren ofiyolitik melanj içinde yer alan kıltaşı, silttaşı gibi birimler ise örtü kaya özelliğindedir. Alandaki jeotermal sistem tektonik kontrollüdür.

10.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları

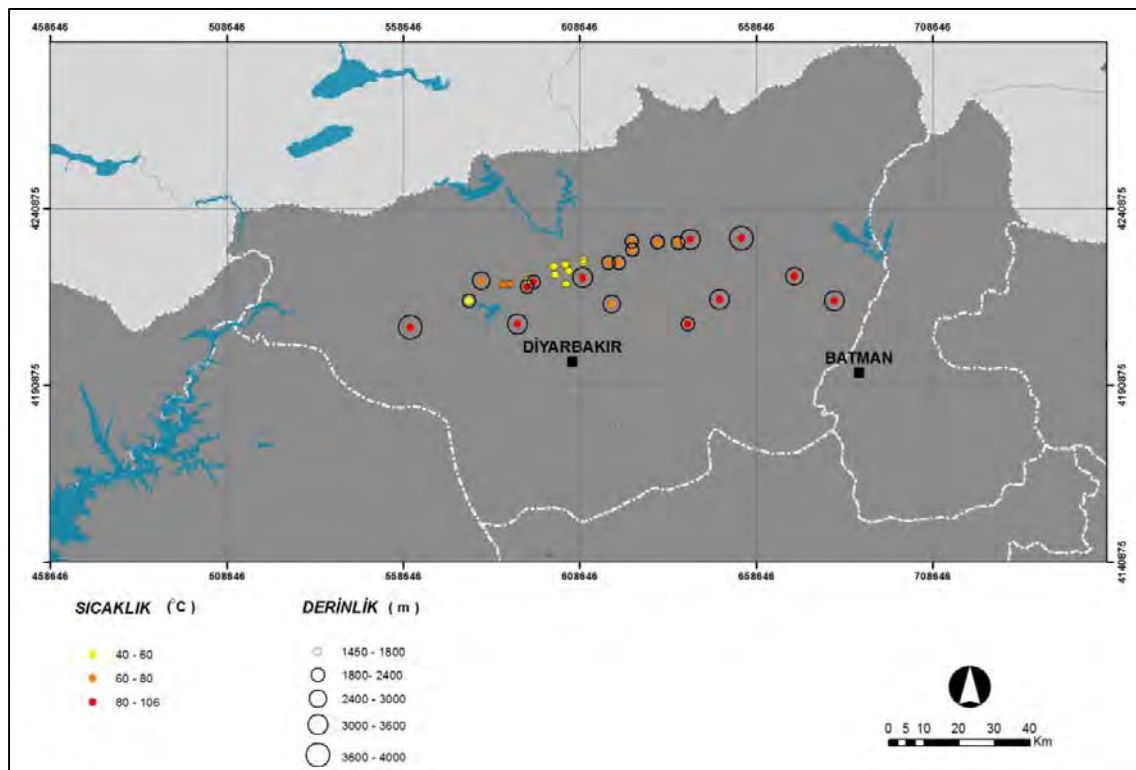
İnceleme alanında Nisan-2015'te yapılan arazi çalışmaları sırasında sıcaklığı 51 °C ve debisi 20 l/s'yi geçen dört adet jeotermal sondaj kuyusu görülmüştür (Şekil 10.11). MTA, İl Özel İdaresi ve özel şahıs tarafından açılan bu kuyuların derinlik, sıcaklık, debi ve üretim şekilleri Tablo 10.1'de verilmiştir. Bu kuyular dışında, Diyarbakır il sınırları içinde TPAO tarafından bölgede petrol amaçlı çok sayıda kuyu açılmıştır. Bu kuyuların derinlikleri, 1450 m ile 3960 m arasında değişmektedir. TPAO tarafından açılan bu kuyularda ölçülen kuyu dibi sıcaklıkları 41-107 °C arasındadır (Şekil 10.12). Söz konusu bu kuyular, jeotermal akışkan içerdiği için terk edilmiştir (Tablo 10.2).



Şekil 10.11: Çermik Jeotermal sahasında bulunan dört adet üretim kuyusundan görünüm

Tablo 10.1: Çermik Jeotermal alanında yapılan sondajlar

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
MTA-1	1984	115,50	51	21	P
Özel İdare	2004	250	51	20	P
Özel İdare	2004	250	51	22	P
Özel Şahıs	-	250	51	20	P

**Şekil 10.12:** Diyarbakir il sınırları içinde açılan kuyuların derinliği ve sıcaklık dağılımı

Tablo 10.2: Diyarbakır İl sınırları içinde TPAO tarafından açılan kuyulardaki kuyu dibi sıcaklıkları

Kuyu Adı	Sondaj Derinliği (m)	Kuyu Dibi Sıcaklıkları (°C)
Didan	2770	96
Karaali	3030	89
Kastel	2400	85
Sarıcak	1600	57
Güney Sarıcak	1600	54
Güney Kayaköy	3160	86
Güney Şahaban	1660	54
Bostanpınar	2500	75
Yeniköy	2020	66
Mehmetdere	2000	68
Kartaltepe	2000	64
Beyazçeşme	2000	78
Karacan	1725	68
Güney Kırtepe	1725	68
Baysu	1950	82
Bektaş	1850	82
Beykan	1900	58
Kurkan	1600	54
Katin	2200	68
Barbeş	2278	69
Derin Barbeş	3600	107
Güney Hazro	3780	93
Kayayolu	3540	104
Güney Sarık	3960	98
Çıksor	3300	106
Miyadin	2600	64
Malatepe	1600	54
D. Yatır	1500	54
B. Malatepe	1595	54
Yatır	1450	41

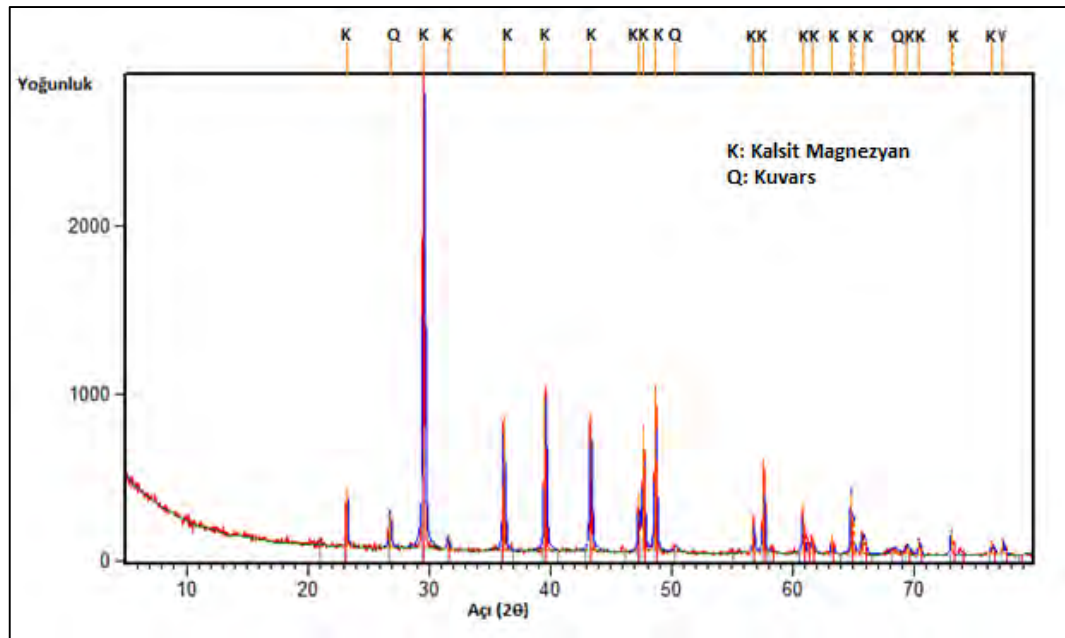
10.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Çermik jeotermal sahası ve çevresinde alterasyona uğramış kesimlerden ve alandaki jeotermal akışkanın oluşturduğu kabuk örneklerinden jeokimyasal amaçlı numuneler alınmıştır (Tablo 10.3). Alınan katı örneklerin kristal yapı ve kimyasal bileşen tayininin yapılması amacıyla X-ışını Difraktometre (XRD), X-ışınları Floresans Spektrometre (XRF) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. XRD ölçümü ile kabuk yapının kristal yapıda olup olmadığı ayrıca kristal yapıda ise hangi kristal yapıyı içerdiği tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre Çermik Kaplıcası'nın yanındaki fay zonundan alınan numunede ağırlıklı olarak kalsiyum karbonat kristalinin varlığı tespit edilmiştir. XRD sonuçları da kalsit magnezyan ve kuvars kristallerinin varlığını göstermektedir (Tablo 10.4 ve Şekil 10.13). Üretim kuyusunun yanından alınan kabukta ise kalsit magnezyan kristali bulunmaktadır (Şekil

10.14). Çermik Kaplıcası içindeki hamamda oluşan kabuktan alınan örnekte ise, kalsit kristali ağırlıklı olarak görülmektedir (Şekil 10.15). Üretim kuyusunun yanındaki depodan alınan kabukta ise amorf bir yapı görülmekle birlikte numunede ağırlıklı olarak demir kristali XRF ile tespit edilmiştir (Şekil 10.16). Alanda Çermik Kaplıcası'na ait olup aktif olarak işletilmeyen kuyu üzerinde bulunduğu fay zonundan alınan numunede ise ağırlıklı olarak kuvars ve mika kristalleri gözlenmiştir (Şekil 10.17). Ayrıca özel şahıs tarafından açılan kuyu çevresinden alınan örnekte de ağırlıklı olarak kalsiyum karbonat ve renierit kristalleri saptanmıştır (Şekil 10.18). Bu alandaki alterasyon zonlarında kuvars ve kalsit minerallerin gözlenmesi bu kesimlerde sıcak akışkanın varlığına işaret etmektedir. Kabukların yapı tayini için XRD ve XRF kullanılmasının yanı sıra SEM görüntüleri de alınmıştır. Şekil 10.19' da 50.000 büyütme oranıyla görüntüsü alınan 1, 2, 3 ve 5 nolu örneklerin ağırlıklı olarak kristal yapıya sahip oldukları görülmektedir.

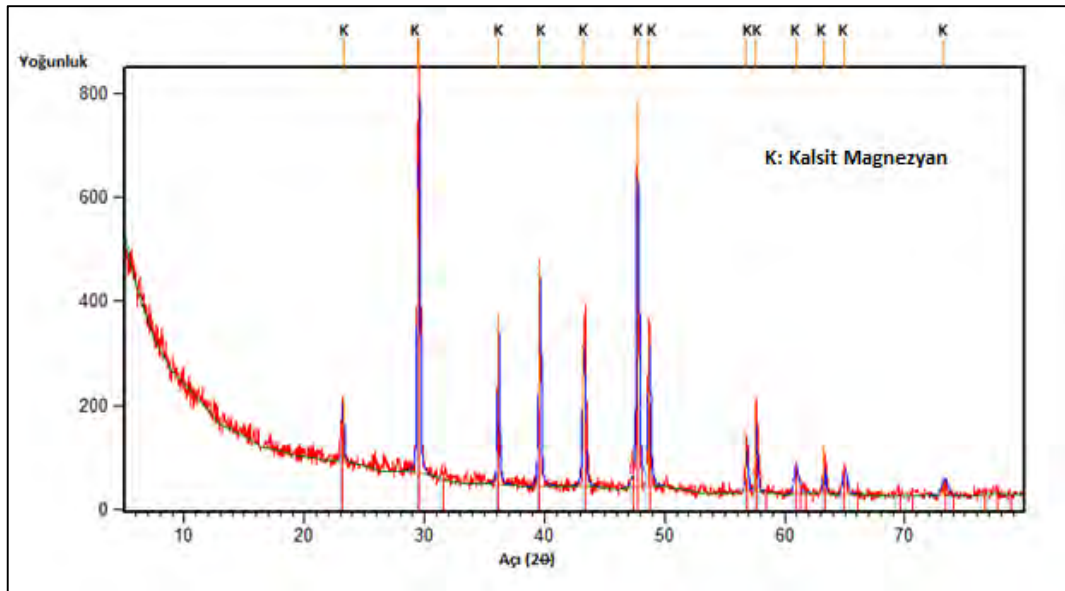
Tablo 10.3: Çermik Jeotermal sahasında kabuk ve kaya numunelerinin alındığı kesimler

No	Numunenin Alındığı Yer
1	Çermik kaplıcasının yakınındaki fay zonu
2	Kaplıca üretim Kuyusu
3	Kaplıcadaki hamam
4	Üretim kuyusunun yanındaki depo
5	Çermik kaplıcasının yakınındaki fay zonu
6	Üretim kuyusu yanındaki altere birim

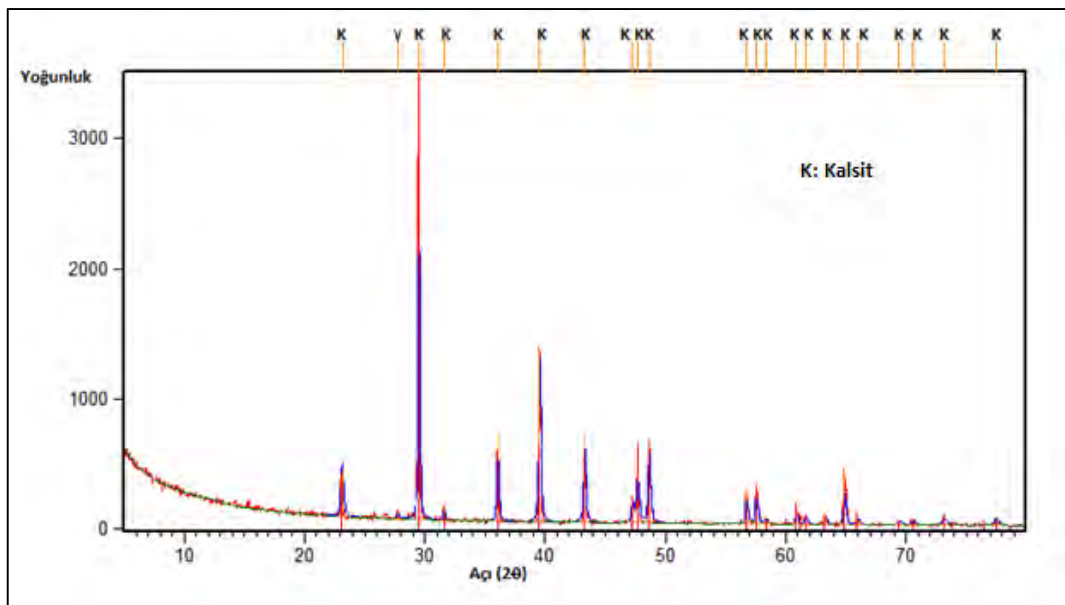


Tablo 10.4: Çermik jeotermal kaynağı ve çevresindeki katı örneklerin XRF ve XRD sonuçları

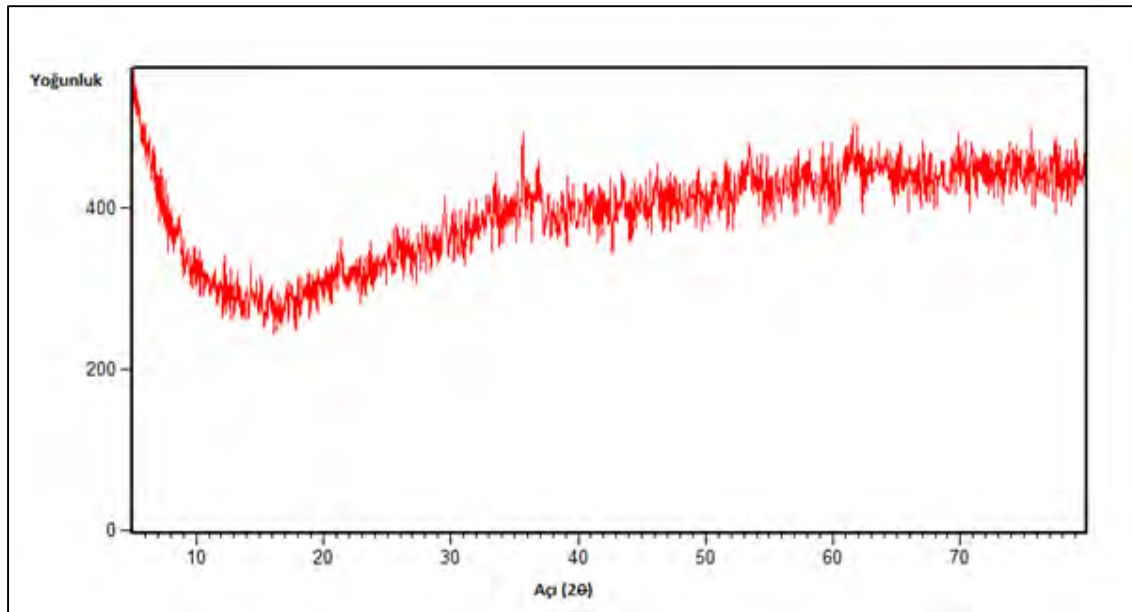
Örnek	Element	XRF Analizi Sonuçları (% Kütle)		XRD Analizi Sonuçları
		Oksitsiz	Oksitli	
1	Ca	66,02	92,37	Kalsit Magnezyan ve Kuvars
	Na	1,35	1,82	
	Al	1,36	2,58	
	Ta	0,85	1,04	
	Fe	0,78	1,12	
2	Ca	44,95		Kalsit Magnezyan
	Na	15,81		
	Mg	3,24		
	Al	1,16		
	S	2,61		
3	Ca	41,95	58,69	Kalsit
	Na	18,79	25,32	
	Mg	3,41	5,66	
	S	2,97	7,43	
	Al	0,93	1,76	
4	Fe	53,47	76,45	Amorf yapıda olduğu için kristal yapı tayini yapılamamıştır.
	V	5,19	9,26	
	Na	3,29	4,43	
	Al	1,3	2,46	
	Mg	1,02	1,69	
	Ca	1,98	2,77	
5	Ta	1,13		Kuvars ve Mika
	Si	35,15	75,2	
	Al	7,26	13,73	
	Fe	2,88	4,11	
	Ca	1,44	2,02	
6	K	1,39		Kalsiyum Karbonat ve Renierit
	Mg	1,14	1,88	
	Ca	47,22	66,07	
	Na	14,88	20,06	
	Mg	3,11	5,16	
	S	2,27	5,66	
	Al	0,9	1,7	



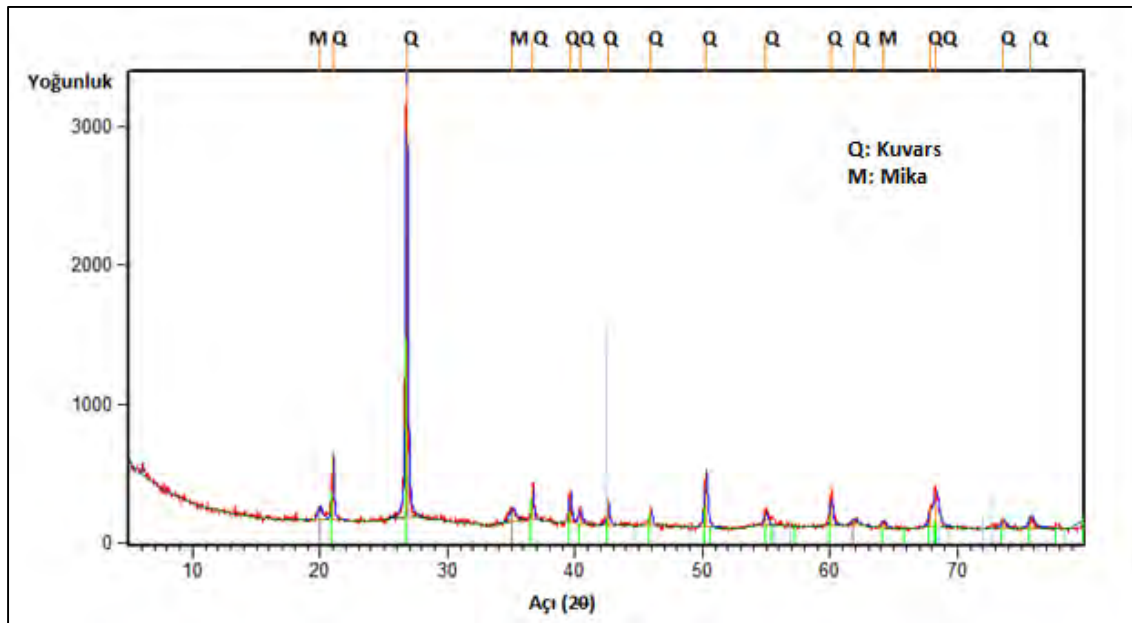
Şekil 10.14: 2 no'lu örnekte bulunan "Kalsit Magnezyan" XRD sinyalleri



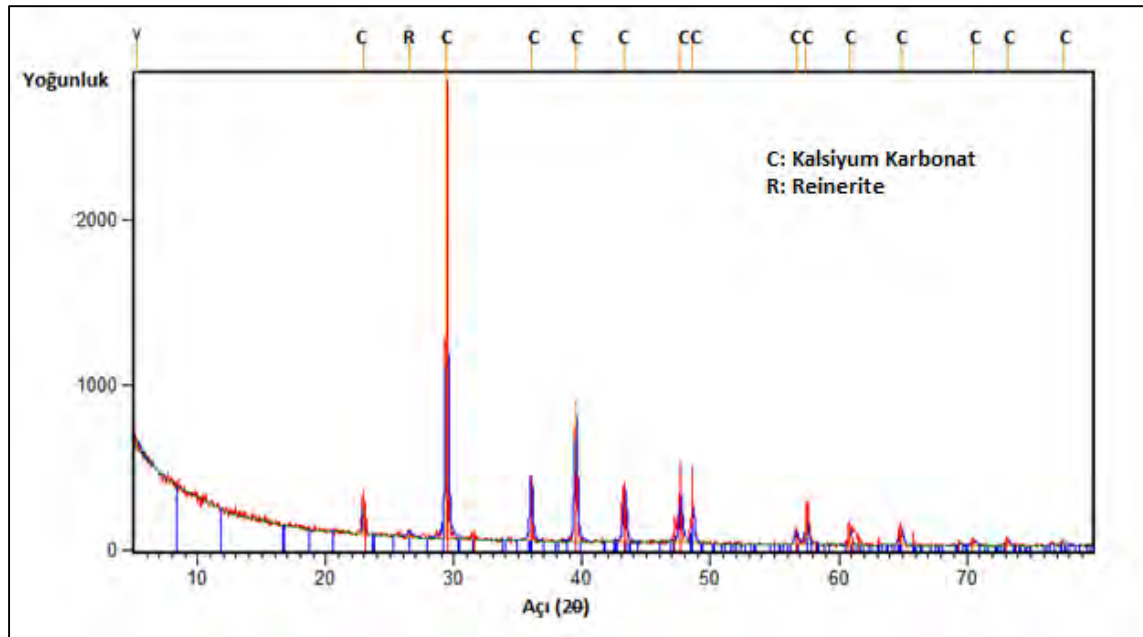
Şekil 10.15: 3 no'lu örnekte bulunan "Kalsit" XRD sinyalleri



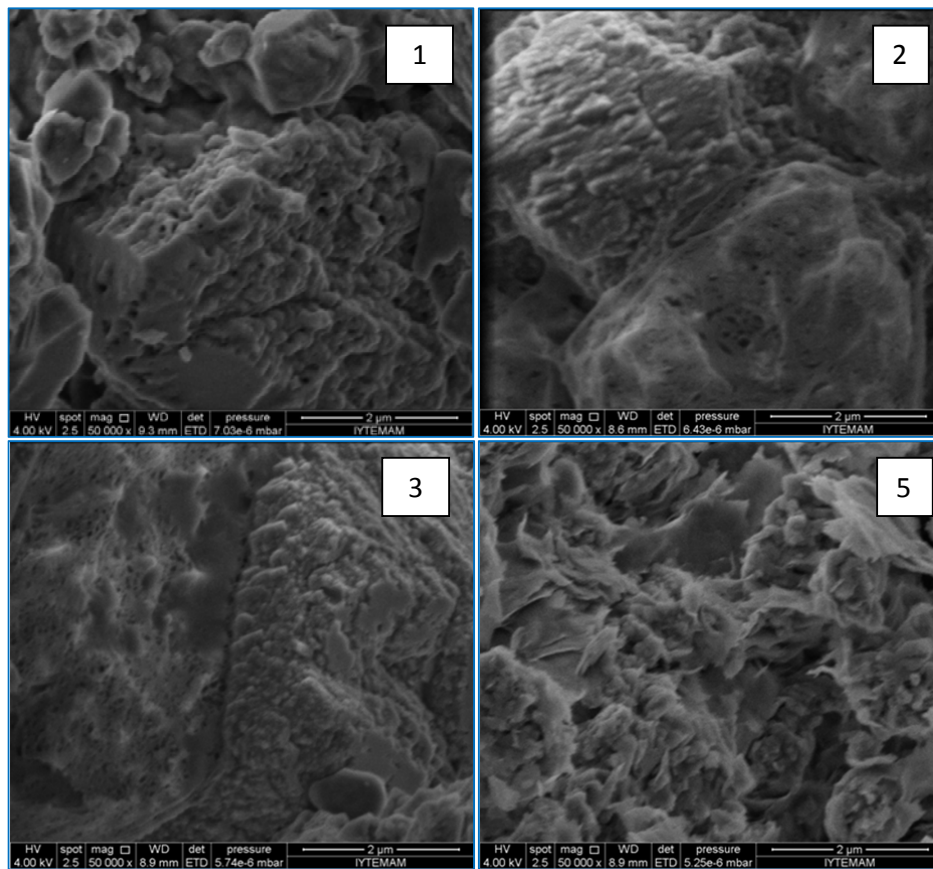
Şekil 10.16: 4 no'lu örneğe ait amorf yapının XRD sonucu



Şekil 10.17: 5 no'lu örnekte bulunan "Kuvars ve Mika" XRD sinyalleri



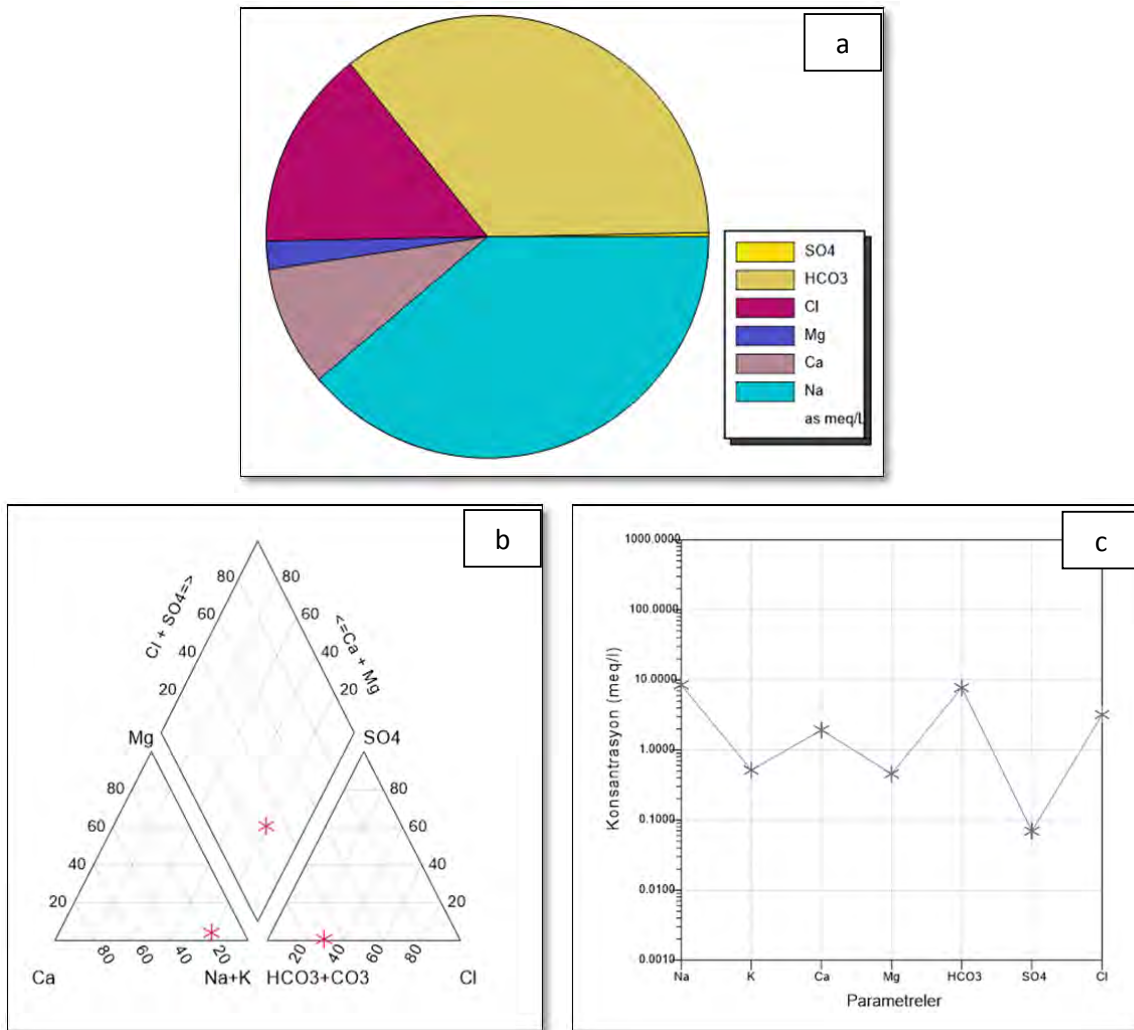
Şekil 10.18: 6 no'lu örnekte bulunan "Kalsiyum Karbonat ve Reinerite" XRD sinyalleri



Şekil 10.19: a) 1, b) 2, c) 3 ve d) 5 no'lu örneklerin SEM görüntüleri

Çermik jeotermal sahasındaki akışkanın özelliğini belirlemek amacıyla bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Çermik jeotermal sahasındaki akışkanın Elektriksel İletkenliği (EI) 1370 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve pH ise 7,27'dir. Jeotermal akışkanda görülen başlıca katyon sodyum (Na^+) dur. Bunu sırasıyla, genelde kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}) takip eder. Anyonlardan ise bikarbonat (HCO_3^-) en baskın gözlenen anyon olup bunu Klorür (Cl^-) izler (Şekil 10.20).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak inceleme alanındaki akışkan sodyum bikarbonatça zengindir ve Na-HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 10.20b ve c). Bu da alandaki akışkanın derinden beslendiğini göstermektedir.



Şekil 10.20: Çermik akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

10.1.3.1. Ağır Metaller

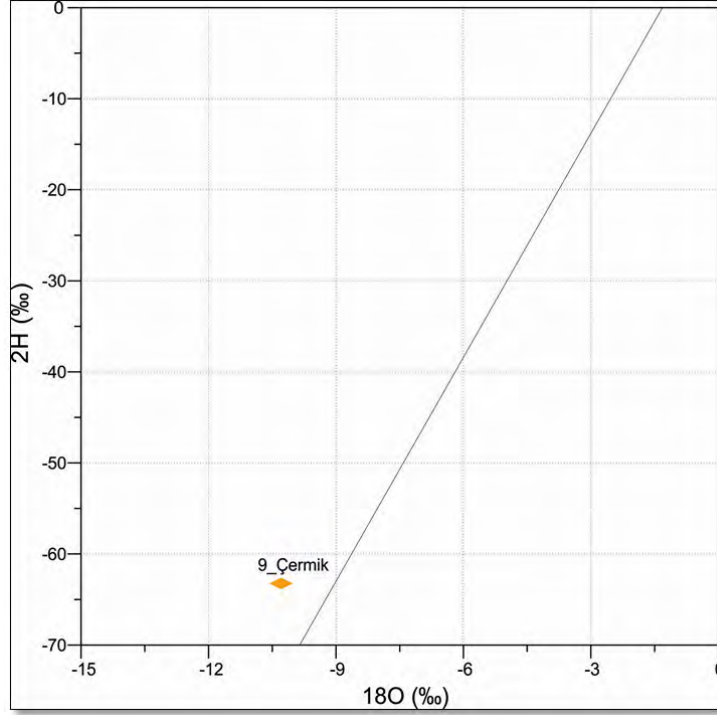
Çalışma alanındaki akışkanın ağır metal içerikleri yapılan analizler ile belirlenmiştir (Tablo 10.5). Nisan 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre, alandaki akışkanda düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu akışkanda içme suyu limitlerini aşan toksik bir element gözlenmemiştir.

Tablo 10.5: Çermik akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
Ag	<0,05		Nb	<0,01	
Al	<1	200	Ni	<0,2	20
As	1,7	10	P	<10	
Au	0.12		Pb	<0,1	10
B	723	1000	Pd	<0,2	
Ba	401		Pt	<0,01	
Be	<0,05		Rb	34,39	
Bi	<0,05		Re	<0,01	
Br	596		Rh	0,02	
Cd	<0,05		S	32	
Cl	129		Sb	<0,05	5
Co	<0,02		Sc	4	
Cr	0,5	50	Se	2	10
Cs	2,5		Si	19443	
Cu	1,1		Sn	<0,05	
Fe	<10	200	Sr	1232,3	
Ga	<0,05		Ta	<0,02	
Ge	1,36		Te	0,1	
Hf	<0,02		Th	<0,05	
Hg	<0,1		Ti	<10	
In	<0,01		Tl	<0,01	
Li	453		V	0,6	
Mn	2,91	50	Zn	0,6	
Mo	<0,1		Zr	<0,02	

10.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

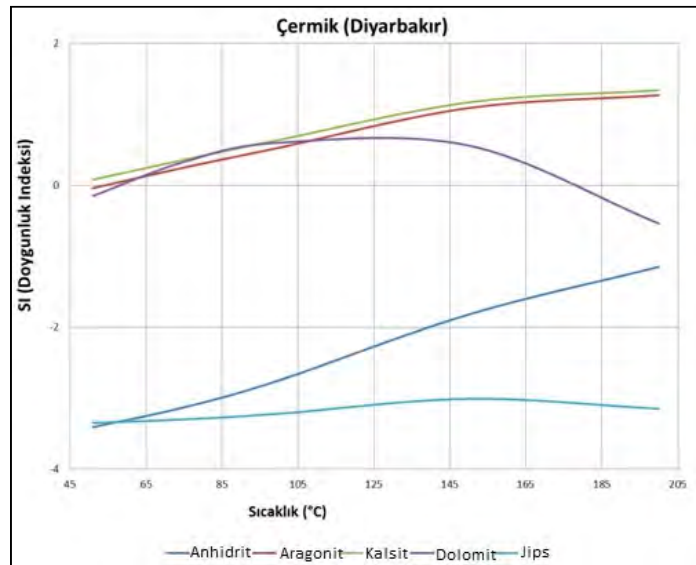
Çermik jeotermal sistemi içerisinde yapılan izotop analizleri Şekil 10.21’de gösterilmiştir. İnceleme alanındaki akışkanın trityum değerleri, TU=0,5’ten küçük olup suların en az 50 yıllık yeraltı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -10,29‰ ve -63,23‰ arasında değişmektedir. Çermik sıcak akışkanından alınan izotopik veriler, $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramına göre bu alandaki kaynağın meteorik kökenli olduğunu göstermektedir.



Şekil 10.21: Çermik jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ grafiği

10.1.4. Doğunluk İndeksleri

Çermik jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doğunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doğunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 10.22). Buna göre Çermik jeotermal sahasında kalsit ve aragonit kabuklaşması görülebilir. İnceleme alanında alınan kabuk analizlerinde de benzer bir sonuç elde edilmiştir.



Şekil 10.22: Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

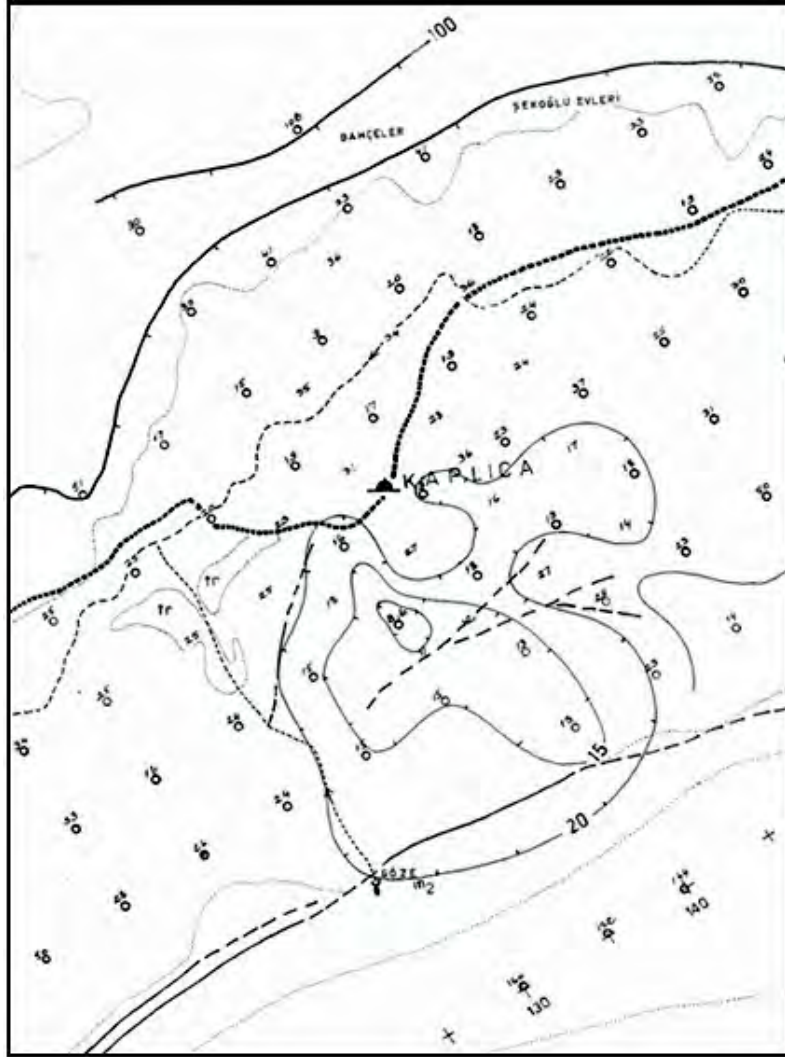
10.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Na/K oranının yüksek sıcaklıklarda düşük olması ve sıcaklığa bağlı değişiminin duyarlı kalibrasyonu sayesinde yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde Na/K jeotermometresi oldukça kullanışlıdır. Bu sistemlerde sodyum ve potasyumun sıcaklığa bağlı dağılımı, bu elementler ile alkali feldispatlar arasındaki iyon değişimine bağlıdır (Nicholson, 1993). Deneysel olan jeotermometre eşitlikleri Truesdell (1976), Fournier (1979), Giggenbach (1988) ve Arnorsson ve diğ., (1983) tarafından geliştirilmiştir. Na/K jeotermometrelerine göre inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 191 ile 219 °C arasında değişmektedir (Tablo 10.6). Na/K jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalarda kalsiyum miktarı, yüksek ve düşük sıcaklıklı sistemlerde beklenen değerlerden çok yüksektir. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre 180 °C'den yüksek sıcaklıklarda kabul edilebilecek sonuçlar vermekte, daha düşük sıcaklıklarda ise karbondioksit kısmi basıncından kaynaklanan kalsiyum miktarı ve magnezyum, hesaplamalarda hataya yol açmaktadır. Bu nedenle magnezyum düzeltilmesi Fournier ve Potter (1979) tarafından önerilmiştir. Çermik jeotermal akışkanından elde edilen verilere göre inceleme alanındaki jeotermal akışkan doygun değildir ve katyon jeotermometrelerine göre rezervuar sıcaklığı 90 °C ile 219 °C arasında değişmektedir (Tablo 10.6; Şekil 10.23). Doygunluk indeksi değerleri incelendiğinde ise sahada 100 °C'ı geçen bir sıcaklık olabileceğine işaret etmektedir.

Tablo 10.6: Çermik jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	191
Tonani, 1980	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	199
Arnorsson ve diğ.,1983	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	213
Arnorsson ve diğ.,1983	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	218
Fournier, 1979	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	219
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	195,49	20,2	5,55	38,65	206
Fournier, 1991	K-Mg ^b	195,49	20,2	5,55	38,65	152
Giggenbach, 1988	K-Mg	195,49	20,2	5,55	38,65	90
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca ^d	195,49	20,2	5,55	38,65	118

- f. Bir diğ er sonuç ise düşük rezistiviteli sıcak su anomalisinin kuzey-güney yönünde uzandığı ve gene aynı yönde daldığıdır.
- g. Düşük rezistiviteli zonlar etüt sahasının büyük bir kısmını kaplamakta ve kumtaşı, marn, kireçtaşı, çört ve marn ar dalanmasından oluş an birime karş ılık gelmektedir.
- h. Orta rezistiviteli zonlar da jeolojik olarak üst Kretase ofiyolitik serisine, yüksek rezistiviteli kısımlar ise beyaz kireçtaş larına karş ılık gelmektedir.
- i. Yüksek rezistiviteli kireçtaş ları aynı zamanda taban serisini yani asıl rezervuarı oluşturmaktadır. Bu seri için rezistivite olarak 50-00 ohm m verilebilir. Ölçü ler sonucunda oluş an düşük rezistiviteli sıcak su anomalileri sahadaki en düşük rezistiviteli formasyonların içinde meydana gelmiştir. Buradaki anomaliler beyaz kireçtaş ları arasında görülürler. Bu düşük rezistiviteli sıcak su anomalilerinin rezistivite değı ş im skalası 4-10 ohm m arasındadır.
- j. Örtü kayaç görünümündeki kumtaşı, kil, kireçtaşı çört ar dalanması aynı zamanda rezervuar kayaç özelliğindedir. Diğ er bir anlatımla örtü kayaç içindeki kumtaşı, kireçtaşı ve çörtlü seriler sıcak su için ayrıca bir rezervuar olabilirler. Asıl rezervuar örtü kayacın altında bulunan beyaz kireçtaş larıdır.



Ş ekil 10.24: Sch. L/2=400 m için rezistivite haritası (Gülay, 1973)

10.1.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Çermik jeotermal sahasında sığ derinlikte 4 adet kuyu açılmıştır. Bu kuyularda elde edilen akışkanın sıcaklığı 51 °C olup debileri yüksektir (>20 l/s). Mart 2015 tarihinde hamamı besleyen kuyunun kuyu başı sıcaklığı 48 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen veriler gerek sondaj öncesinde var olan kaynak sıcaklığı ve gerekse sahada açılan kuyuların sıcaklık ve debi değerleri, önemli bir jeotermal potansiyel varlığının göstergeleridir.

Mevcut kuyuların ısı kapasiteleri Tablo 10.7’de verilmiştir. Gerçekleştirilmesi planlanan uygulamaya göre değişecek jeotermal akışkan çıkış sıcaklığına bağlı olarak kuyularda yaklaşık 1 MW ile 3 MW arası bir ısı potansiyel mevcuttur.

Tablo 10.7: Kuyuların ısı kapasiteleri

Kuyular	m (l/s)	T _g (°C)	T _ç (°C)					Q (kW)
			40	35	30	25	20	
MTA-1	21	51	970,2	1411,2	1852,2	2293,2	2734,2	
Özel İdare	20	51	924	1344	1764	2184	2604	
Özel İdare	22	51	1016,4	1478,4	1940,4	2402,4	2864,4	
Özel Şahıs	20	51	924	1344	1764	2184	2604	

TPAO tarafından açılan kuyuların debileri belli olmadığı için ısı potansiyel hesabı yapılamamaktadır. Sıcaklık değerleri göz önünde bulundurularak bu kuyuların önemli bir potansiyel içerdiği görülebilir.

Jeotermometrelerin verdiği sıcaklık aralığı olan 90-218 °C sıcaklıklardan 90 ve 152 °C dikkate alınarak yapılan bir hesaplama ile bir kuyunun ısı potansiyelinin farklı çıkış sıcaklıkları için 4,5-12 MW arası değişebileceği hesaplanmıştır. Bu değerler sahanın oldukça yüksek bir ısı potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir.

Bölgede var olan kaya topluluklarından ofiyolit veya ofiyolitik kaya topluluğu olarak ayrılan birimin içinde bulunan kireçtaşı veya kristalize kireçtaşı blokları, karstik özellikte olup rezervuar niteliğindedir. Bunun yanında ofiyolitleri örten kaya topluluklarından Eosen yaşlı Hoya Formasyonu kireçtaşları, Fırat Formasyonu’nun kireçtaşı seviyeleri de rezervuar niteliğindedir. Ofiyolitik birimin killi, marnlı ve çamurtaşı niteliğindeki düzeyler ile bunları örten kaya toplulukları, Fırat Formasyonu’nun killi seviyeleri, Gaziantep, Lice ve Şelmo formasyonları örtü kaya özelliğindedir. Çermik alanında yüzeye boşalan ve kuyudan üretilen sıcak sular yukarıda tanımlandığı şekli ile ofiyolitik melanj biriminden yüzeylenmektedir. Buradan elde edilen verilere göre rezervuar kayası ofiyolitik melanjdaki kireçtaşı blokları ve/veya birimle eş yaşlı karbonatlı kayalardır. Çıkış yolu olarak kullanılan fayın eğiminin dik veya dike yakın kuzeye eğimli olduğu tahmin edilmektedir. Alanın jeotermal potansiyelini anlamaya yönelik daha derin kuyuları önerebilmek için ofiyolitik kaya topluluğunun kalınlığı ve altında çıkabilecek otokton kayaların türlerinin bilinmesi gerekmektedir. Muhtemelen ofiyolitik melanjın altında Arap Platformu’na ait otokton istiflerinden Mardin Gurubu’na ait Kretase yaşlı kireçtaşları ile Jura yaşlı Cudi Gurubu’na ait farklı formasyonlarda bulunan karbonatlı kayalar rezervuar ve bunların arasında bulunan killi seviyeler ise örtü kaya olarak karşımıza çıkacaktır. Alanda yapılan jeofizik rezistivite çalışmasında (Gülay, 1973) kaplıca ve çevresinde derine doğru 100 m den başlayıp 600 m’ye kadar devam eden düşük rezistivite

anomalileri saptanmıştır. Ancak bölgenin jeolojik istiflenmesine göre ofiyolitik melanjin içinde veya altında olması gereken düşük rezistiviteli zonların sondajlarla test edilmesi durumunda değerlendirilebilir.

10.1.8. Yatırım Olanakları

Çermik jeotermal sahasındaki mevcut sığ kuyuların sıcaklık ve debileri ile jeotermometre değerleri göz önüne alındığında sahanın yüksek bir ısıl potansiyele sahip olduğu görülmektedir. TPAO tarafından açılan derin kuyularda elde edilen 100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar da bunun bir kanıtıdır. Isıl potansiyeli belirleyen en önemli parametreler olan sıcaklık ve debinin birlikte yüksek olması sahada elektrik üretiminden başlayarak bölgesel ısıtma sistemi, proses sıcak suyu, seracılık, kurutma, kaplıca ve daha düşük sıcaklık ihtiyacı olan diğer uygulamaların hepsinde kullanılabilceğini göstermektedir.

Sahada açılan kuyuların birbirlerine yakın olması etkileşime neden olmakta, sıcaklıklar düşmektedir. Pompa ile üretim yapılan kuyularda debilerin yüksek olması da bu durumu tetiklemektedir. Dolayısı ile mevcut durumda kuyulardan yararlanma kapasitesi sınırlıdır ve faaliyette olan sadece bir termal tesis bulunmaktadır. Bir sonraki bölümde yapılması önerilen çalışmalar ile sahanın potansiyelinin ortaya çıkarılması ile saha termal turizm açısından önemli bir merkez haline getirilebilir. Adıyaman'a yakın olmasından dolayı bu ile de hizmet verebilir.

Sahanın bir diğer avantajı Çermik ilçe merkezine 3 km uzaklıkta olmasıdır. İlçenin tamamının ısıtılıp sıcak kullanım suyunun sağlanabileceği bir bölgesel ısıtma sistemi kurulabilir. Saha ile ilçenin çok yakın olması jeotermal akışkanın sıcaklık düşümü, borulama ve pompalama masraflarının düşük olması avantajını birlikte getirir.

Jeotermometrelerin verdiği yüksek sıcaklıklara ulaşılması halinde öncelikle bir elektrik santrali kurulup atık akışkan ile bölgesel ısıtma sistemi beslenebilir ve entegre pek çok doğrudan kullanım uygulaması gerçekleştirilebilir. Çermik jeotermal akışkanının mümkün olan tüm uygulamalarının gösterilebileceği Türkiye için örnek bir uygulama alanı haline getirilebilir.

Bölüm 10.1.7'de önerilen çalışmaların gerçekleştirilmesi sonucu ortaya çıkarılacak potansiyel değerlerine göre kullanım seçenekleri belirlenebilecektir.

10.1.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Diyarbakır-Çermik alanında, araştırma sistematığının ilk etabı olan jeoloji etüdü ile bunu izleyen jeofizik-rezistivite (DES) çalışması, sondajlar ile proje kapsamında gerçekleştirilen inceleme, gözlemler, kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri, jeotermal potansiyelin belirlenmesine yönelik özgün çalışmalardır.

İlçe merkezinde yer alan kaynaktan daha verimli bir biçimde şehir ve sera ısıtmasında yararlanmak için, çalışmalarda tüm bilgiler yeniden değerlendirilerek, sıcaklık ve debinin daha yüksek olabileceği noktalarda açılacak kuyularla kapasitenin artırılması yoluna gidilmelidir. Mevcut durumun sonucu olarak ortaya çıkan ihtiyaç doğrultusunda kuyu yerleri seçimi, önceki çalışmalarda elde edilen bilgiler ve önerilen diğer çalışmaların uygulanmasıyla toplanacak veriler birleşik değerlendirilerek belirlenmeli, sahanın gerçek

kapasitesinin ortaya çıkarılmasına yönelik öngörülen ileri aşama araştırmalarının son etabını oluşturan sondajlar ve bunu izleyen testler sonunda alanda ulaşabilecek kapasite belirlenmelidir. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması sahanın hem geliştirilmesi hem de sürdürülebilirliği için son derece önemlidir.

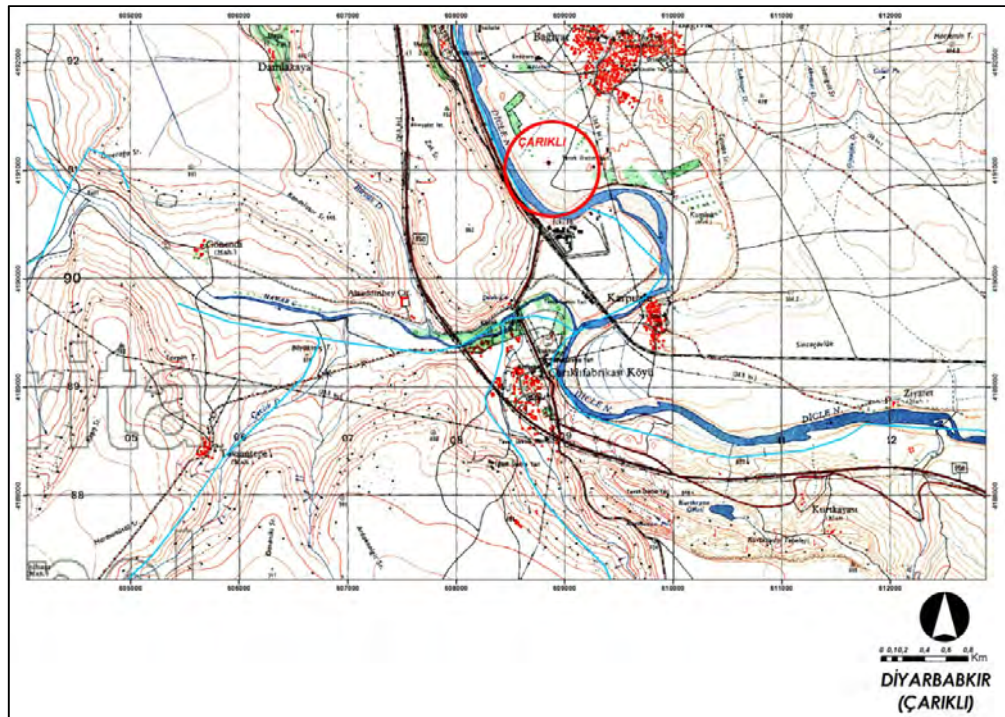
- Alanda kaynağa yönelik jeofizik-rezistivite (DES) yöntemi uygulanmıştır. Jeoloji etütleri sonucunda jeolojik ve tektonik özellikleri ile potansiyel sınırları belirlenmiş alanda, jeofizik MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların daha önce yapılmış olan DES çalışmasıyla birlikte değerlendirilmesi, hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması, hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Öte yandan çalışma alanı ve yakın çevresinde ısı kaynağı olabileceğine yorumlanmış herhangi bir genç volkanizma gözlenmemektedir. Bu nedenle nokta sayısı öngörülen anomali alanını kapsayan ve aralığı yanılığını önleyecek şekilde belirlenen önerilen MT çalışmasıyla, alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi yanında, derine doğru ısı kaynağına yorumlanabilecek verilerin elde edilmesi de sağlanabilecektir.
- Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması öngörülmektedir. Ayrıca örtü olarak kabul edilen ofiyolitik melanj niteliğindeki kayaların özelliği nedeniyle tabanlarını kestirmek oldukça zordur. Bu gibi alanlarda var olan derin sismik ve gravite çalışmaları ek bilgiler sağlaması bakımından önem taşımaktadır.
- Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurların belirgin olmadığı alanda, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı ölçümleri ile sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.
- Alanda mevcut olan kuyu bilgileri önemli bir potansiyelin göstergesidir. Ancak jeolojik potansiyel sınırları belli olan alanda, rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristikleri bilinmemektedir. Hidrojeolojik özellikleri ile ilgili bilgiler yetersizdir. Belirsizliklerin giderilmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması, ancak rezervuar modelinin oluşturulması, yeterli sayıda kuyu açılması ve gerekli testlerin yapılmasıyla mümkün olabilecektir. Mevcut kuyular birbirlerine yakın olduklarından dolayı sahanın gelişmesini aydınlatacak berraklıkta değildir. İlk etapta tanımlanan fay zonu boyunca toprak gazı ölçümleri yapılarak süreksizliklerin devamlılığı ortaya konulmalıdır. Elde edilecek bilgilerin de desteği ile belirlenen lokasyonda denenecek kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması önerilmektedir. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülecektir. Ancak açılan her kuyudan elde edilen kılavuz bilgilerin, sonraki kuyuların açılıp açılmayacağına karar verilmesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.
- Her yeni kuyu bilgisinin eklenmesi ile gelişecek olan rezervuar modeli ile sahanın ısı kapasitesi daha yüksek doğrulukta belirlenebilecektir. Bu da sahada doğru yatırımların yapılabilmesi ve sahanın ve yatırımların sürdürülebilirliği için önemlidir.
- TPAO'ya ait kuyuların sondaj ve test bilgileri edinilmelidir, bu kuyular bölgede önemli bir jeotermal potansiyelle işaretir.

10.2. BAĞIVAR-ÇARIKLI JEOTERMAL SAHASI

10.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Çalışma alanı Diyarbakır şehir merkezinin güneydoğusunda yer alır (Şekil 10.25). Alanın tümü, düz bir plato üzerinde yayılım gösteren Üst Miyosen ve daha genç kaya toplulukları ile kaplıdır (Şekil 10.26 ve Şekil 10.27). Yörenin en yaşlı birimi Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal nitelikte çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı litolojisinde Şelmo Formasyonu'nu oluşturur. İyi tutturulmamış ve yatay tabakalı bu birimin üstünde Karacadağ volkanizmasının lavları yer almaktadır (Şekil 10.28). Şelmo Formasyonu'nun bu lavların alt seviyeleri ile girik olduğu gözlenmektedir. Sahada Dicle Nehri eski alüvyonları olan sekilerine ait çökelleri ile günümüz yatağının güncel alüvyonları, yörenin en genç birimlerini oluştururlar (Gürler, 1991). Çalışma alanında yüzeylememekle beraber etrafta izlenebilen ve değişik amaçlı sondajlarla elde edilen verilere göre Fırat, Germik ve Hoya formasyonlarının kireçtaşı, dolomit, yer yer kil ara bantlı kireçtaşları Şelmo Formasyonu'nun altında bulunabilecek birimlerdir. Lavların bazaltik karakterde olduğu, Karacadağ volkanizmasının ürünü olarak tasarlanabileceği ve çıkış merkezlerinin çalışma alanının dışında olduğu görülmektedir. Bölgede plato bazaltları olarak örtü şeklinde yaygınlık göstermektedir.

Çalışma alanının içinde tektonik etkinliği ifade edecek önemli bir yapısal unsur bulunmamaktadır. Bölge genelinde Şelmo Formasyonu kıvrımlı ve faylı olmakla beraber çalışma alanında tabakalar yatay ve kıvrımsızdır. Alanda izlenebilen tek yapısal unsur Dicle Nehri'nin güneyinde ve Çarıklı'dan geçen D-B yönlü kırık sistemidir. İlksel durumda bile bol soğuma çatlakları bulunduran bazaltların içinden geçtiği için bu kırığın niteliğini ortaya çıkarmak mümkün olmamıştır. Sınırlı alanda izlenen verilere göre yüksek açılı ve kuzeye eğimli normal fay veya doğrultu atımlı faydır.



Şekil 10.25: Çarıklı jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritada görünümü

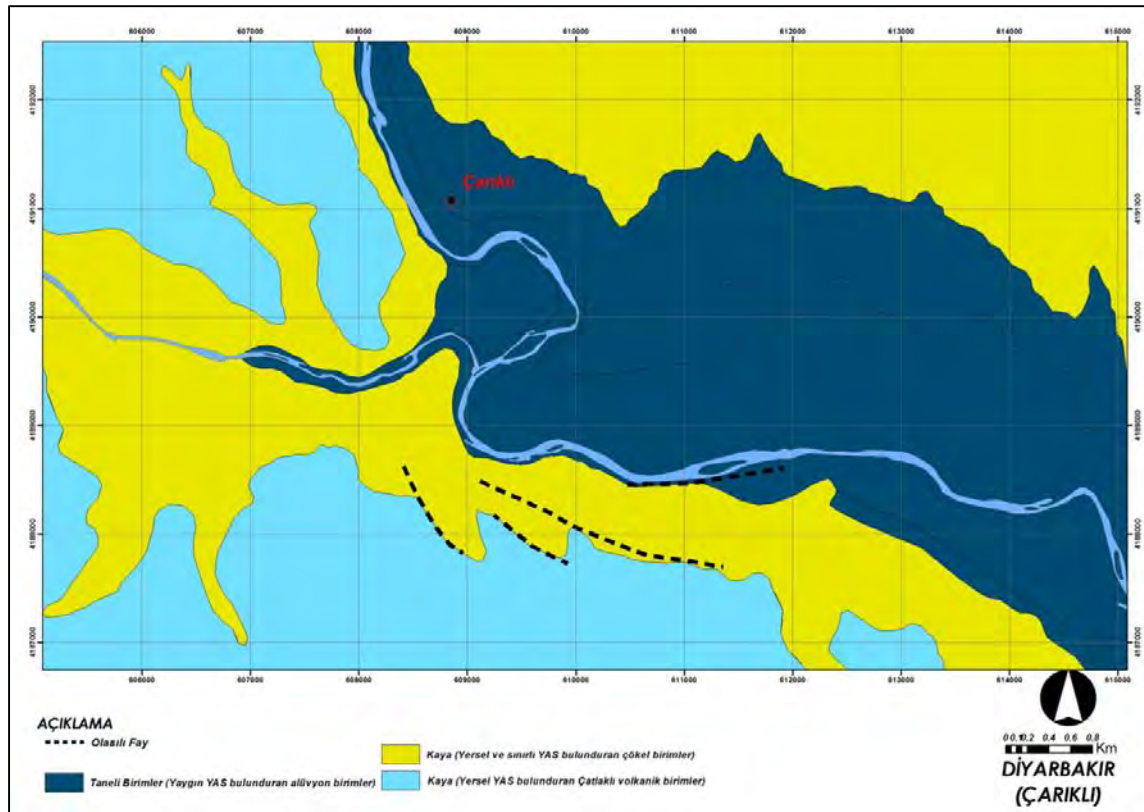


Şekil 10.28: İnceleme alanında yüzlek veren Şelmo Formasyonu ve Karacadağ volkaniklerinden görünüm

10.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

Çarıklı jeotermal sahası ve çevresinde yapılan gözlemlerde yüzlek veren Orta-Üst Miyosen yaşlı karasal nitelikte çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı birimlerinden oluşan Şelmo Formasyonu, yersel olarak yeraltı suyu (YAS) bulundurmaktadır. Şelmo Formasyonu'nu uyumsuz olarak örten Karacadağ volkanizmasına ait birimler, çatlaklı kaya özelliğindedir. Çalışma alanında, Dicle Nehri eski alüvyonları olan sekilerine ait çökeller ile günümüz yatağının güncel alüvyonları, yörenin en genç birimlerini oluştururlar. Bu birimler taneli kaya birimleridir ve YAS açısından iyi akiferlerdir (Şekil 10.29).

Alanda, jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarını belirlemek, faylı, kırıklı, çatlaklı yapıların yoğun olduğu iletken zonları saptamak amacıyla sondaj öncesinde Bağıvar-Çarıklı yöresinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından jeofizik-rezistivite çalışması kapsamında Düşey Elektrik Sondaj (DES) yöntemi uygulanmıştır. Ancak raporu yazılmadığından arşive girmemiştir. Bu nedenle çalışmanın teknik bilgilerine ulaşamamıştır.



Şekil 10.29: Çarıklı jeotermal sahasının hidrojeoloji haritası

10.2.2.1. Açılan Kuyular

Çarıklı jeotermal alanı, kapsamlı bir jeotermal kaynak arama amaçlı jeoloji etüdüne konu olmamıştır. Sahada MTA tarafından açılan kuyu doğrudan jeotermal kaynak aramaya yöneliktir. MTA tarafından açılan kuyunun bitirme raporu yazılmamış ve dolayısıyla arşive girmemiştir. Bu bakımdan kuyunun, aşağıdaki tabloda yer alan derinlik, sıcaklık ve debi dışındaki teknik bilgilerine ulaşamamıştır (Tablo 10.8).

Tablo 10.8: Merkez-Çarıklı jeotermal alanında açılan sondajlar

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
Merkez-Çarıklı	2012	648,15	31	4,68	P

10.2.3. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Bağıvar-Çarıklı alanı ve yakın civarında, yüzeye çıkan herhangi bir sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Sıcak akışkanın varlığı alanda yapılan kuyu ile ortaya çıkarılmıştır. Bu haliyle örtülü jeotermal sistem olarak değerlendirilmektedir. Alanda yüzeye boşalan sıcak su kaynağının olmaması ve inceleme sırasında kuyunun kapalı olması nedeniyle örnek alınamadığından sıcaklık tahmini yapılamamaktadır. Sıcaklık tahmininde kullanılabilecek başka bir parametre de gözlenmemektedir. Alanda açılan kuyu bilgisi ise yüksek sıcaklık beklentisi ve umudunu azaltmaktadır. Bu haliyle saha düşük sıcaklıklı alan kategorisinde değerlendirilmektedir.

Alanda jeotermal kaynak aramalarında önemli bir parametre olan ve akışkanı yukarıya taşıyacak fay sistemi gözlenmemekte, açılan kuyu, güneyinde bulunan kırık sistemiyle ilişkilendirilememektedir. Bunun yanında üretim yapıldığı düşünülen rezervuarın hangi litolojik birime ait olduğunun bilinmemesi, elde edilecek kuyu logunda rezervuar birim bilirse dahi sahanın her tarafının örtülü olması nedeniyle yayılımı kestirilememektedir. Tüm bu zorluklar, alanın jeotermal potansiyelinin yorumlanmasındaki olumsuzluklardır.

10.2.4. Yatırım Olanakları

Çarıklı jeotermal sahasında açılan kuyudan üretilen akışkan bilgileri herhangi bir yatırımı özendirerek nitelikte değildir. Bu bakımdan bu aşamada yatırıma ilişkin öneride bulunulamamaktadır. Ancak denenmesi önerilen kuyudan ekonomik yararlanmaya uygun değerde akışkan üretilmesi durumunda yatırım seçenekleri geliştirilebilecektir.

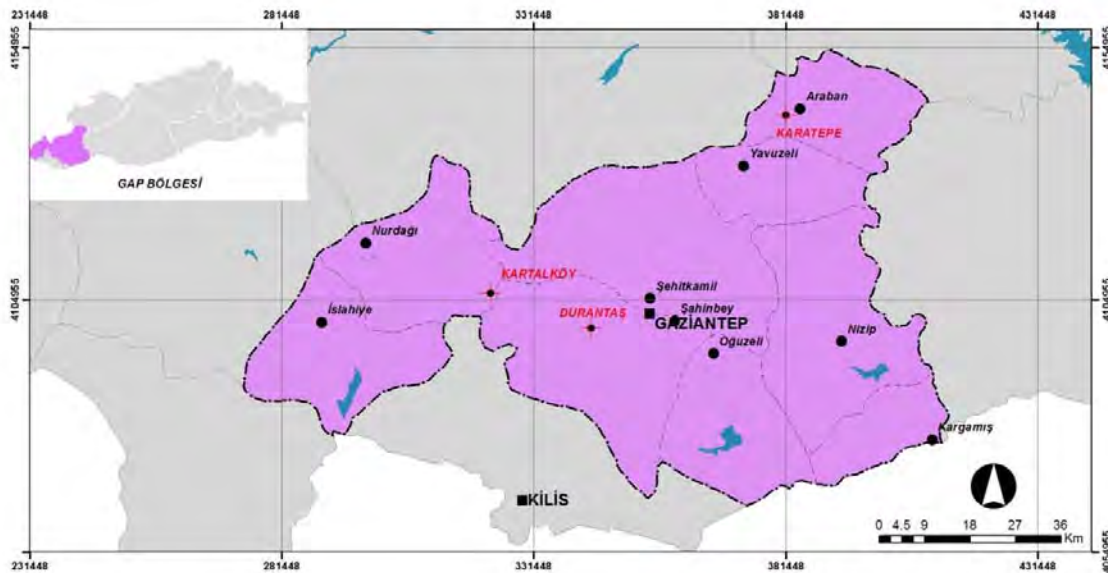
10.2.5. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Alanda açılan kuyunun sıcaklık ve debi değerleri, kapasitenin artabileceğine ilişkin beklentiyi karşılayabilecek durumda değildir. Buna karşılık ilk kuyudaki sonucu bir kez daha test etmek ve saha hakkındaki kararı verebilmek için, yapılmış çalışmaların tekrar irdelenerek belirlenecek noktada bir kuyu denemesi yerinde olacaktır. Bu nedenle Bağıvar-Çarıklı alanında yapılan jeoloji, jeofizik etüt ve açılmış olan kuyu bilgilerinin irdelenmesi sonucu elde edilen bulguların yönlendirmesiyle belirlenecek lokasyonda açılacak kuyudaki üretim ve test bilgileri, sahanın geleceği hakkında karar verilmesini sağlayacaktır. İlk aşamada açılarak yeni kuyudan olumlu sonuç elde edilmesi halinde toprak gazı ölçümleri, geniş alanları kapsayan ve maliyeti yüksek olan jeofizik ölçümler ve ısının derine doğru değişimini ifade eden gradyan kuyuları yapılması gerekmektedir.

11. GAZİANTEP İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

Gaziantep ilinde jeotermal araştırmalara yönelik çalışmalar son derece azdır. “Doğu Akdeniz Jeotermal Enerji Aramaları” kapsamında MTA Genel Müdürlüğü tarafından 2011-2013 yılları arasında Araban, İslahiye ve Nurdağı ilçelerinde bir dizi araştırma yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda Araban ilçesi Ziyarettepe civarında 2012 yılından 700 m derinliğinde bir adet sondaj açılmış ve kuyu tabanında 27,8 °C sıcaklık ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında, yapılan incelemelere göre Nurdağı ilçesi sınırları içerisindeki Kartalköy’ünde sıcaklığı 27 °C ve debisi 1 l/s olan bir kaynak irdelenmiştir. Kaynak, köyün yaklaşık 3 km güneydoğusunda Değirmendere kenarındadır (Şekil 11.1). Nurdağı ilçesinin yaklaşık 26 km güneydoğusunda yer alan bu sıcak su kaynağına ulaşım, önce Nurdağı-Gaziantep karayolu üzerindeki Sakçağöz’den itibaren Kartalköy’e 7,5 km’lik asfalt yol ile Kartalköy’e ulaşarak, oradan da 3,5 km’lik bir toprak yolla sağlanmaktadır (Şekil 11.2). Oldukça engebeli olan ve dik yamaçların yer aldığı alanda, yağışlı bir havada araçla kaynağa ulaşmak mümkün değildir (Şekil 11.3). Jeotermal saha, 1/25.000 ölçekli Gaziantep N37c₃ ve Gaziantep N38d₄ paftaları içinde yer almaktadır.

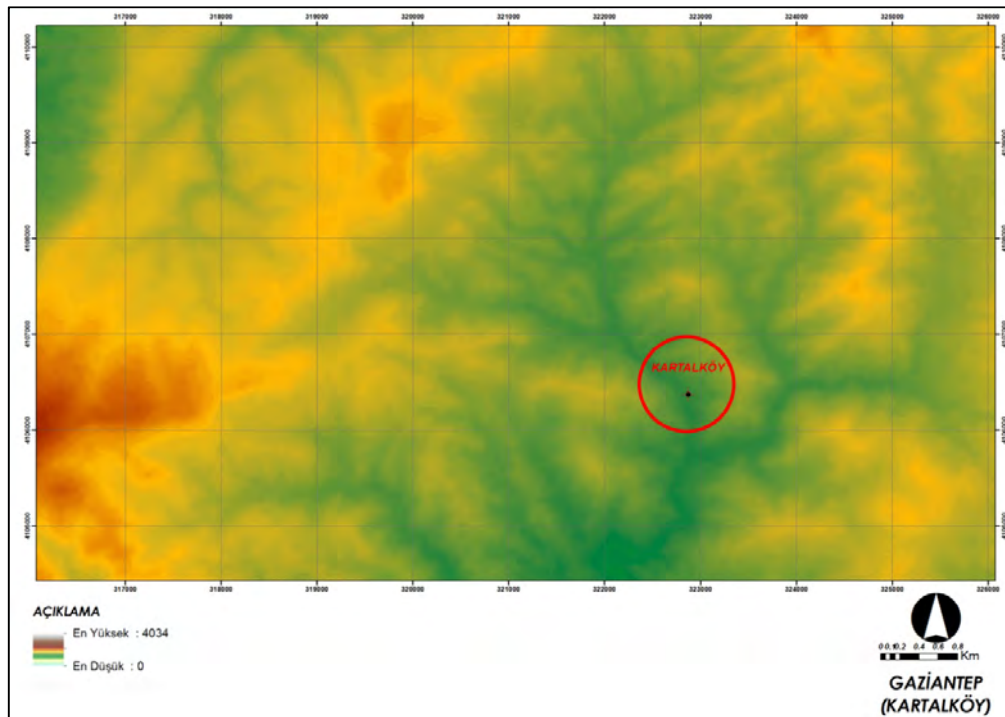
Bu proje kapsamında yapılan incelemelere göre yukarıda belirtilen jeotermal kaynaklar dışında TPAO tarafından Gaziantep il sınırları içinde açılan ve sıcak akışkana rastlandığı için terk edilen bazı kuyular mevcuttur. Örneğin Araban ilçesinde Karatepe mevkiinde açılan ve artezyen yapan kuyuda bu akışkanı görmek mümkündür. Bu kuyu Araban alanı 1/25.000 ölçekli Gaziantep N39a₂ paftası içerisinde yer almaktadır. Gaziantep ilindeki diğer jeotermal alan ise il merkezinin yaklaşık 12 km batısındaki Durantaş köyü sınırları içerisinde yer almaktadır. Bu kaynaklara ilişkin veriler aşağıda ayrı başlıklar altında detaylı olarak sunulmuştur.



Şekil 11.1: Gaziantep il sınırları içinde yer alan jeotermal sahalara



Şekil 11.2: Kartalköy jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritada görünümü

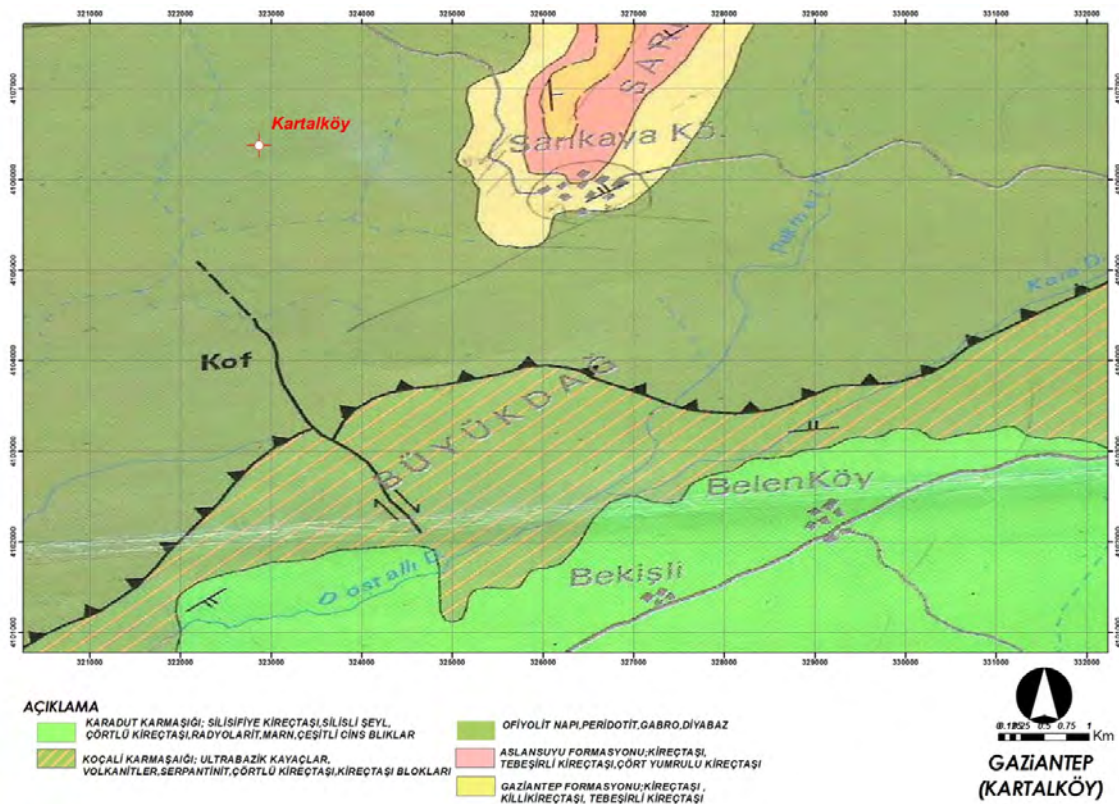


Şekil 11.3: Kartalköy jeotermal sahası ve çevresinin morfolojik özellikleri

11.1. KARTALKÖY JEOTERMAL SAHASI

11.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Kartalköy çevresinde ofiyolit-ofiyolitik melanja ait Mezozoyik yaşlı kaya toplulukları ile Tersiyer yaşlı formasyonlar yüzeilenmektedir. Altta bulunan Kretase yaşlı kaya toplulukları yapısı gereği birbirine karışmakta veya tektonik olarak karşı karşıya gelmektedir. Bu nedenle kaya topluluğunda yoğun olan kayaların türlerine göre üç birim ayrılmıştır. En altta kabul edilen Karadut Karmaşığı silisifiye kireçtaşı, silisli şeyl, çörtlü kireçtaşı, radyolarit, marn ve çeşitli bloklardan meydana gelmektedir. Ayırtlanan diğer bir birim ise Koçalı Karmaşığıdır. Birim ultrabazik kayalar, volkanitler, serpantinit, çörtlü kireçtaşı ve kireçtaşı bloklarından oluşur. Kaya topluluğunda ayırtlanabilen üçüncü birim ise peridotit, gabro ve diyabazlardan oluşan ofiyolitik naptır. Her üç birimin yerleşim yaşının Üst Kretase olduğu kabul edilmektedir. Yukarıda tanımlanan ofiyolitik kaya topluluklarına ait formasyonları Germav Formasyonu uyumsuz bir şekilde örtmektedir. Marn, killi kireçtaşı, kumtaşı, kireçtaşı litolojisi ile temsil edilen Germav Formasyonu, Paleosen-Eosen yaşlıdır. Germav Formasyonu'nun üst seviyeleri Belveren Formasyonu'na geçmektedir. Çakıllı kireçtaşlarından meydana gelen birim Orta-Üst Paleosen yaşlıdır. Yörede Tersiyer yaşlı istifin en üst seviyeleri Hoya Formasyonu ile temsil edilir. Midyat Grubu'na ait olan bu birim Orta-Üst Eosen yaşlı kireçtaşı-dolomitik kireçtaşlarından meydana gelir. Yörede Yavuzeli bazaltları olarak haritalanan birim Üst Miyosen yaşlı olup bazalt ve piroklastik kayalardan meydana gelmektedir. Sınırlı boyutta var olan alüvyon, yamaç molozu, heyelan gibi Kuvaterner yaşlı genç oluşuklar haritaya işlenecek boyutta değildirler. Şekil 11.4'de Kartalköy sahasının jeoloji haritası gösterilmektedir.



Şekil 11.4: Kartalköy ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

Bölgenin tektonik yapısı irdelendiğinde, birbirinden farklı üç ana unsur tanımlanabilmektedir. Birinci ve en eski ana yapı, ofiyolit veya ofiyolitik melanj özelliğindeki kayaların bir araya gelişini sağlayan naplı yapılardır. Bu yapıların Maestrihtiyen yaşlı olduğu kabul edilir. Bölgede gözlenen ikinci önemli yapı, Tersiyer yaşlı kayaların alttaki birimleri örttüğü büyük diskordanstır. Germav Formasyonu ile alttaki birimler arasındaki bu ilişki nettir. Bölgede görülen üçüncü yapısal stil ise Neotektonik döneme ait sıkışmalı yapıdır. Yörede sınırlı boyutta ve düşük açılı eğimlenmelerle gözlenebilen neotektonik döneme ait bu tektonik fazda, ayrıca K-G yönlü normal faylar ve/veya açılma çatlakları gelişmiştir. Tanımlanan her üç tektonik faza ait gözlemler harita alanında mevcuttur. Bu tektonik stillerin içinde neotektonik döneme ait olan K-G yönlü yapısal unsurlar jeotermal sistemlerin geliştirilmesini sağlamıştır.

11.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

Gaziantep ilinde yer alan Kartalköy jeotermal sahasındaki kaynaklara yönelik kapsamlı bir araştırmaya rastlanamamıştır. Bu proje kapsamında yapılan incelemelere göre, Kartalköy'ün 3 km güneydoğusunda Değirmendere kenarında yer alan 2 adet kaynak saptanmıştır. Söz konusu kaynakların sıcaklığı ve debisi düşüktür (Şekil 11.5; Tablo 11.1).



Şekil 11.5: Kartalköy jeotermal kaynağından görünüm

Tablo 11.1: Kartalköy jeotermal sahasında bulunan kaynaklar (Işık ve Dilemre, 1999)

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Kartalköy İçmecesesi 1	27	1
Kartalköy İçmecesesi 2	27	

11.1.3. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu proje kapsamında hem İslahiye ilçesinde bulunan Kartalköy jeotermal sahasından hem de Nurdağı ilçesi sınırları içinde bulunan Domuzdere su kaynağından hidrojeokimyasal amaçlı su numunesi alınmıştır. Kartalköy jeotermal kaynağı tektonik kontrollü olup sepantinitlelerden yüzeye çıkmaktadır. Nurdağı Belediyesi sınırları içinde yer alan Domuzdere kaynağı da tektonik kontrollü bir kaynaktır ve serpantinitlelerden çıkmaktadır (Şekil 11.6). Bu kaynağın yüzey sıcaklığı 14,5 °C'dir.



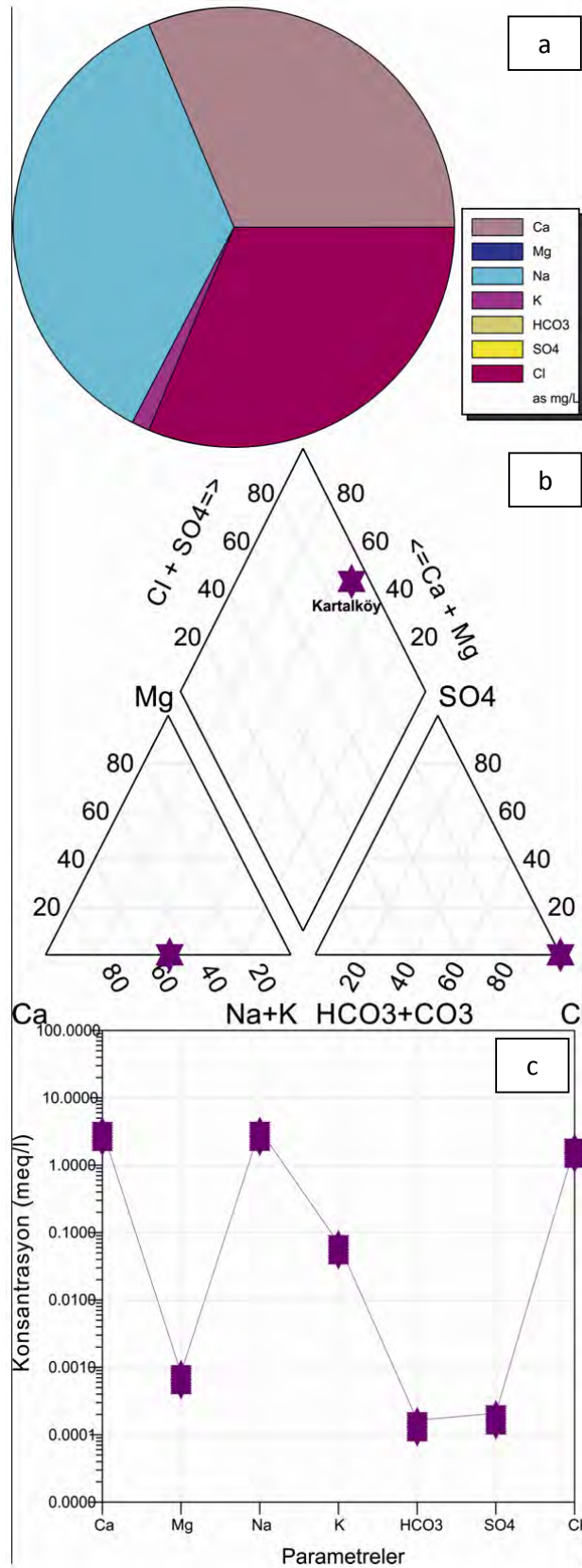
Şekil 11.6: Domuzdere kaynağından görünüm

Hem Kartalköy jeotermal sahasında yer alan akışkanın özelliğini, hem de Domuzdere de yüzeye çıkan soğuk su kaynağının özelliklerini belirlemek amacı ile bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Kartalköy jeotermal akışkanında görülen başlıca katyon sodyum (Na^+) ve kalsiyum (Ca^{2+})'dur. Anyonlardan ise klorür (Cl^-)'dür (Şekil 11.7). Domuzdere kaynağında en yaygın katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve en yaygın anyon ise klorür (Cl^-)'dür (Şekil 11.8).

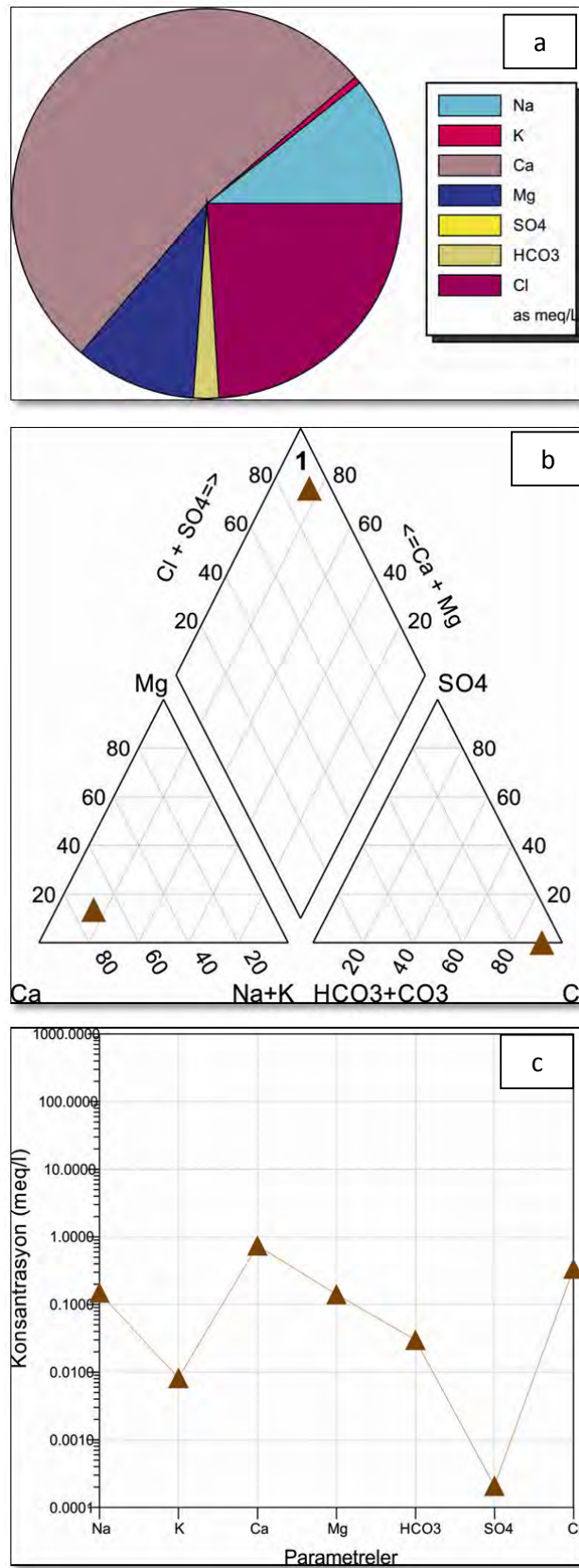
Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak hem Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkan hem de Domuzdere'deki soğuk su kaynağı Ca-Na-Cl su tipini yansıtmaktadır (Şekil 11.7b ve 11.7c; Şekil 11.8b ve 11.8c).

11.1.3.1. Ağır Metaller

Proje alanındaki Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkandan ve Domuzdere soğuk su kaynağından alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 11.2). Mart 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre her iki alandaki su kaynağında düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu su kaynaklarında içme suyu limitlerini aşan toksik bir element gözlenmemiştir.



Şekil 11.7: Kartalköy jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi



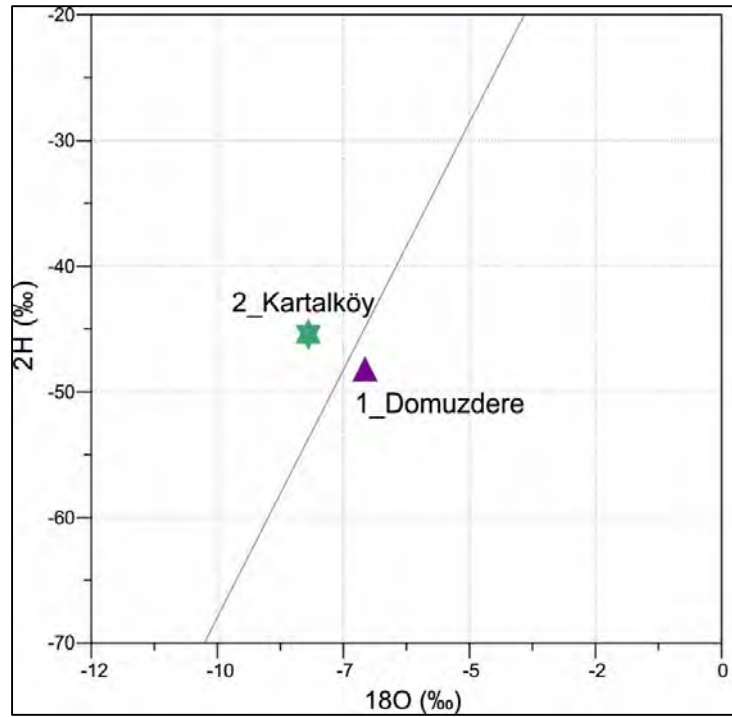
Şekil 11.8: Domuzdere kaynağının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

Tablo 11.2: Domuzdere kaynağından ve Kartalköy sıcak akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)
	Kartalköy	Domuzdere			Kartalköy	Domuzdere	
Ag	<0,05	<0,05		Nb	<0,01	0,02	
Al	3	30	200	Ni	<0,2	4,1	20
As	1,1	<0,5	10	P	<10	<10	
Au	<0,05	<0,05		Pb	<0,1	<0,1	10
B	101	115	1000	Pd	<0,2	<0,2	
Ba	3,19	3,61		Pt	<0,01	<0,01	
Be	<0,05	<0,05		Rb	1,19	0,54	
Bi	<0,05	<0,05		Re	<0,01	<0,01	
Br	328	62		Rh	<0,01	<0,01	
Cd	<0,05	<0,05		S	1	<1	
Cl	96	13		Sb	<0,05	<0,05	5
Co	0,02	0,35		Sc	<1	<1	
Cr	0,8	1,3	50	Se	0,5	<0,5	10
Cs	0,05	0,03		Si	157	1535	
Cu	0,2	0,6		Sn	<0,05	<0,05	
Fe	<10	32	200	Sr	49,71	13,12	
Ga	<0,05	<0,05		Ta	<0,02	<0,02	
Ge	<0,05	<0,05		Te	0,07	<0,05	
Hf	<0,02	<0,02		Th	<0,05	<0,05	
Hg	0,3	0,2		Ti	<10	<10	
In	<0,01	<0,01		Tl	<0,01	<0,01	
Li	7,4	2,5		V	0,9	0,8	
Mn	<0,05	14,73	50	Zn	<0,5	1,6	
Mo	0,2	<0,1		Zr	<0,02	0,05	

11.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

Kartalköy jeotermal kaynağı ve Domuzdere soğuk su kaynağında yapılan izotop analizleri Şekil 11.9'da gösterilmiştir. İnceleme alanındaki akışkanın trityum değerleri TU=0, 5'den küçük olup suların en az 50 yıllık yeraltı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. Kartalköy jeotermal sahasındaki $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -7,87 ‰ ve -45,42 ‰ arasında değişmektedir. Domuzdere'deki kaynağın $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri ise sırası ile -6,79 ‰ ve -48,19 ‰ arasındadır. Tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı üzerindeki Dünya meteorik su doğrusuna göre konumları meteorik kökene işaret etmektedir. Domuzdere kaynağı oksijence daha zengindir. Bu da Domuzdere kaynak suyunun daha derin dolaşımına işaret eder.



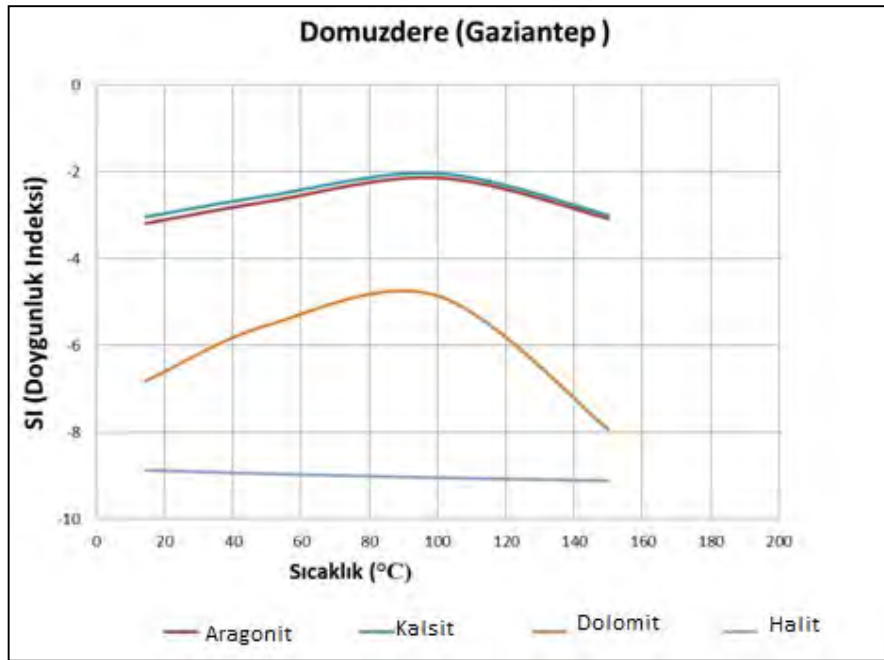
Şekil 11.9: İnceleme alanındaki suların Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

11.1.4. Doğunluk İndeksleri

Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doğunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doğunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 11.10). Elde edilen verilere göre alandaki su kaynaklarında kabuklaşma problemi gözlenmemektedir. Benzer durum Domuzdere soğuk su kaynağı için de geçerlidir (Şekil 11.11).



Şekil 11.10: Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi



Şekil 11.11: Doygunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi

11.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Na/K oranının yüksek sıcaklıklarda düşük olması ve sıcaklığa bağlı değişiminin duyarlı kalibrasyonu sayesinde yüksek sıcaklığa sahip sistemlerde Na/K jeotermometresi oldukça kullanışlıdır. Bu sistemlerde sodyum ve potasyumun sıcaklığa bağlı dağılımı bu elementler ile alkali feldispatlar arasındaki iyon değişimine bağlıdır (Nicholson, 1993). Deneysel olan jeotermometre eşitlikleri Truesdell (1976), Fournier (1979), Giggenbach (1988) ve Arnorsson ve diğ., (1983) tarafından geliştirilmiştir. Na/K jeotermometrelerine göre inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 98 ile 146 °C arasında değişmektedir (Tablo 11.3). Na/K jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalar kalsiyum miktarı yüksek ve düşük sıcaklıklı sistemlerde beklenen değerlerden çok daha yüksektir. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre verilerine göre ise Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı 33,6 °C'dir. Elde edilen verilere ve yapılan gözlemlere göre bu saha için Na-K-Ca jeotermometresinin daha doğru sonuç verdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 11.3: Kartalköy jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	97,7
Tonani, 1980	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	100,2
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	118,2
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	145,6
Fournier, 1979	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	141,6
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	77,15	2,73	0,01	66,92	130,1
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca	77,15	2,73	0,01	66,92	33,6

11.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Bugüne kadar Kartalköy kaynağına yönelik jeotermal arama/araştırma tekniğine uygun yapılmış bir çalışma yoktur. Kaynağın yer aldığı sahada gözlenen Kretase yaşlı kilitaşı ve marnlardan oluşan kaya birimleri geçirimsiz oluşlarından dolayı örtü kaya özelliği taşırlar. Bol çatlaklı ve kırıklı olan kireçtaşları ve killi kireçtaşı sıcak suyun depolanabileceği rezervuardır. Ancak bu iki olumlu parametreye karşılık düşük kaynak sıcaklığı, traverten oluşumu, ısı kaynağı olabilecek magmatik özellik ve volkanik etkinliğe ilişkin veri gözlenemediği gibi kaynaktan derlenen su örneğinin analiz sonuçları da alanda kaynağın sıcaklığının yükselebileceği bir jeolojik ortamın varlığına yorumlanabilir değildir. Dolayısıyla jeotermal sistemin geliştiği bir ortamdan söz edilememektedir.

Jeotermal amaçlı bir çalışma yapılmadığından saha ile ilgili bilgiler, MTA tarafından yapılan envanter çalışması ve bu proje kapsamında yapılan inceleme, gözlem ve analizlerle sınırlıdır. Sahada birbirlerine yakın mesafelerde iki kaynak vardır. MTA envanter çalışmasında Haziran ayında yapılan ölçümlere göre bu kaynakların sıcaklığının 27 °C, toplam debisinin ise 1 l/s civarında olduğu belirlenmiştir (Işık ve Dilemre, 1999). Ancak bu proje kapsamında yapılan çalışmada kaynak sıcaklığı 23 °C olarak ölçülmüş, debisinde bir değişimin olmadığı gözlenmiştir. İki ölçüm arasındaki farklılık, çok düşük debideki kaynağın mevsimsel sıcaklıktan etkilenmesiyle ilişkilidir.

11.1.7. Yatırım Olanakları

Yöre halkı Kartalköy jeotermal kaynağından içmece olarak yararlanmaktadır. Ancak kaynağın üst kotlarında yer alan ve köyün atıklarını taşıyan derenin kenarında bulunan kaynak, kirlenmeye açık konumdadır. Kaynağın kirlenmeye karşı korunmasının ve mevcut kullanım koşullarının iyileştirilmesinde yarar vardır. Söz konusu kaynağın etrafının düzenlenerek yöre ekonomisine katkı sağlayacak şekilde planlanması önerilir. Sahada yapılan inceleme, gözlem ve analizler sonucu toplanan veriler, kaynağın sıcaklığının ekonomik kullanıma uygun değerlere yükselebileceği bir jeolojik ortamın görülmediği yönündedir.

11.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

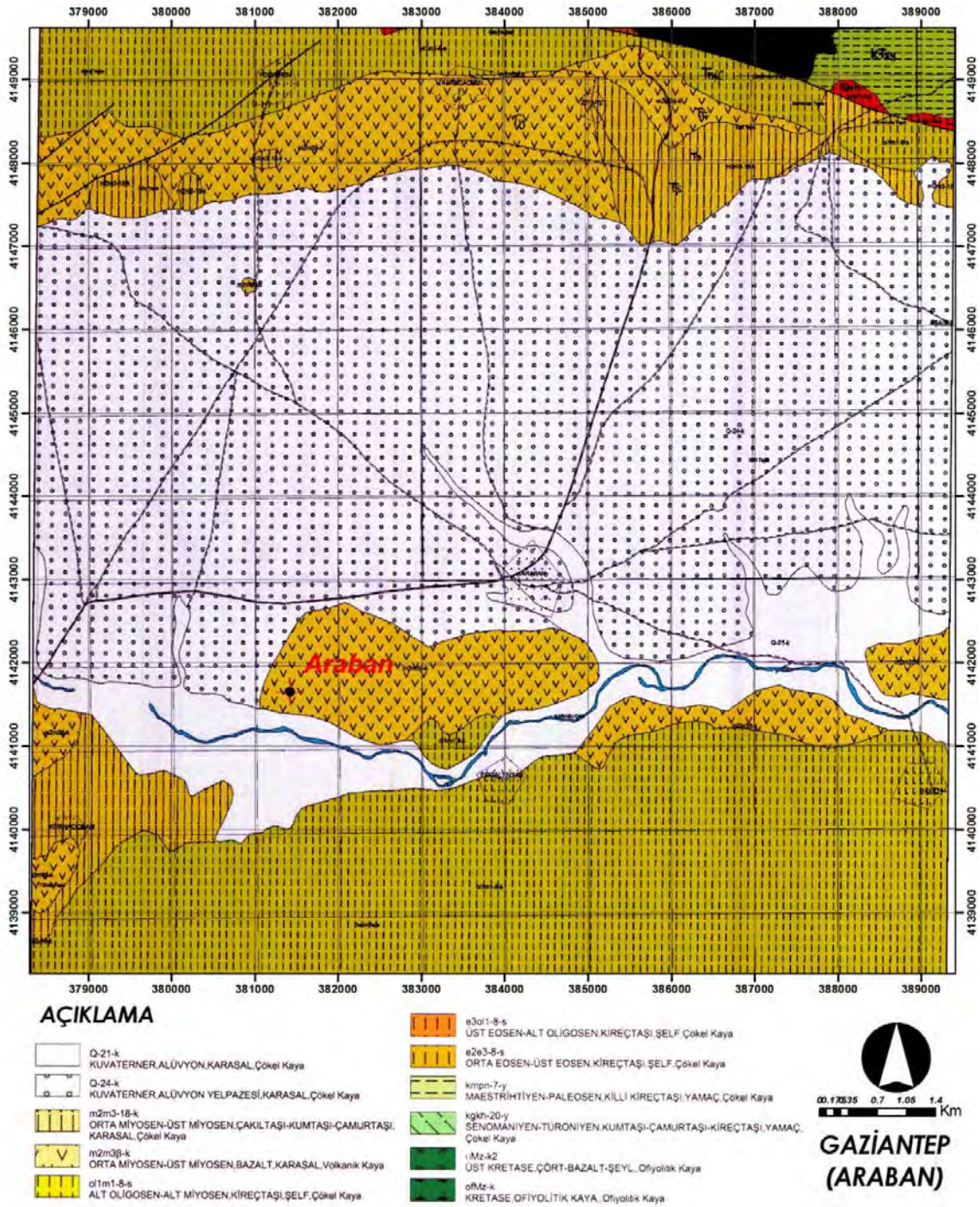
Sahada yapılan inceleme, gözlem ve analizler sonucu toplanan verilere göre kaynağın sıcaklığının ekonomik kullanıma uygun değere yükselebileceği bir jeolojik ortamın varlığına işaret etmemekle birlikte bölgedeki bu su kaynaklarının (Kartalköy ve Domuzdere) hidrojeolojik açıdan daha detaylı olarak çalışılmasında yarar vardır. Ayrıca içmece olarak kullanılan suyun sağlık etkileri ve yakınında bulunan, köyün atıklarını taşıyan derenin kaynağa olan etkisi incelenmelidir.

11.2. ARABAN JEOTERMAL SAHASI

11.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikler

Araban sahasının jeolojik özelliklerini yansıtan, birimlerin yaş ilişkilerine göre istiflenmesi, formasyon adlamaları, stratigrafik konumları ve litolojik içerikleri gibi bilgiler MTA Genel Müdürlüğü'nün bölgede yaptığı jeoloji etüdünün raporundan (Ulu ve diğ., 1991) özetlenmiş, bu proje kapsamında yapılan inceleme ve gözlemlerde toplanan bulgularla birlikte değerlendirilmiştir. Araban sahasında en altta allokton konumlu Karadut Karmaşığı, Koçali Karmaşığı ve bunların üzerinde de otokton konumlu Kretase yaşlı Germav Formasyonu, Tersiyer yaşlı Midyat Grubu'na ait Hoya, Gaziantep ve Fırat formasyonları, Çatboğazi bazaltı, Şelmo Formasyonu ve Yavuzeli bazaltı yüzeyleyir. Ayrıca ova düzlüğünü yaygın bir şekilde örten Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökelleri ile günümüz dere yatağı alüvyonları yörenin en genç birimlerini oluştururlar (Şekil 11.12).

Karadut Karmaşığını oluşturan kaya türleri silisleşmiş, bol çörtlü ve marn ara katkılı silisifiye kireçtaşları, silisleşmiş marn ara düzeyleri içeren silisli şeyller, çörtlü killi kireçtaşlarıdır. Bunların dışında kumtaşları, çört ve ultrabazik çakıllı ve makro fosil kavkılı konglomeratik kireçtaşları, kumlu kireçtaşları ve volkanitler de izlenmektedir. Karadut Karmaşığı içinde kireçtaşı ve oldukça ayrılmış serpantin blokları yer almaktadır. Koçali Karmaşığı, Karadut Karmaşığı üzerinde yer almaktadır. Ultrabazik kayalar, volkanitler, serpantin, radyolarit, çörtlü kireçtaşı ve farklı yaşlarda kireçtaşı bloklarından oluşan Koçali Karmaşığı, düzensiz bir içyapı gösterir. Egemen kayatürü ultrabazikler ve serpantinlerdir. Ayrıca aglomera ve lav akıntıları, oldukça kıvrımlı, yer yer manganezli radyolarit ve silisli şeyller, çörtlü kireçtaşları izlenmektedir. Bu kaya türleri tektonik bir dokanakla birbirleriyle yan yana gelmiş karmaşık bir yapı sunarlar. Koçali Karmaşığı üzerinde ise Üst Maastrichtiyen-Alt Paleosen yaştaki Germav Formasyonu uyumsuz olarak gelir. Germav Formasyonu altta marn ve killi kireçtaşlarından üstte ise marnlardan oluşmuştur. Germav Formasyonu üzerinde Karadut Karmaşığı tektonik dokanakla yer alır. Ayrıca bazı kesimlerde Germav Formasyonu üzerine açısız uyumsuz olarak Hoya Formasyonu gelmektedir. Karbonatlardan oluşan Hoya Formasyonu'nun egemen kaya türü kireçtaşıdır. Altta çakıllı kireçtaşı, bol çatlaklı ve makro fosil kavkılı kireçtaşı özelliğindedir. İnceleme alanı ve çevresinde ayrıca Gaziantep ve Fırat Formasyonu'na ait birimler yüzlek vermektedir. Gaziantep Formasyonu yumuşak topografya gösteren killi kireçtaşı, kireçtaşı ve tebeşirden oluşmuştur. Killi kireçtaşları çok az çört yumrudur. Kireçtaşlarından oluşan Fırat Formasyonu yer yer resifal karakterlidir. Gaziantep Formasyonu üzerinde uyumlu bir dokanakla bulunmaktadır. Üzerinde ise Şelmo Formasyonu ve Yavuzeli Bazaltı, açılı uyumsuz bir dokanakla yer alır.



Şekil 11.12: Araban ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

Çatboğazı Bazaltlı traki andezit görünümlü, küresel ayrışmalı, deformasyon geçirmiş, olivin-
ojit bazaltlardan oluşmuştur. Altındaki Fırat Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunan
formasyon, üzerindeki Şelmo Formasyonu'na tedrici bir ilişki ile geçer. Akarsu çökelleri ile göl
çökellerinden oluşan Şelmo Formasyonu, kumtaşı, kiltası, çamurtaşı, siltaşı ile bunların
arasında yer alan çakıltaşlarından, bazı bölümleri ise kumtaşı, çakıllı marn ve şeyl, tüfit ve killi
kireçtaşlarından oluşmaktadır. Bu iki bölümün yüzeylemeleri birlikte izlenebildiği gibi

birbirinden bağımsız olarak da görülmektedir. Birlikte olduğu yerlerde birbirleriyle yanal ve dikey geçişlidir. Fırat Formasyonu üzerine açılal uyumsuzlukla gelmektedir. Üzerinde ise Yavuzeli Bazaltlı açılal uyumsuz bir dokanakla yer alır. Üst Miyosen yaşlı Yavuzeli Bazaltlı gözenekli, gözenekleri kalsit dolgulu lav akıntısından oluşmaktadır. Ayrıca bu lav akıntısının altında yer yer aglomera ve tuf yüzeylemeleri yer almaktadır. Şelmo Formasyonu ve kendisinden daha yaşlı diğer birimler üzerinde açılal bir uyumsuzlukla bulunmaktadır.

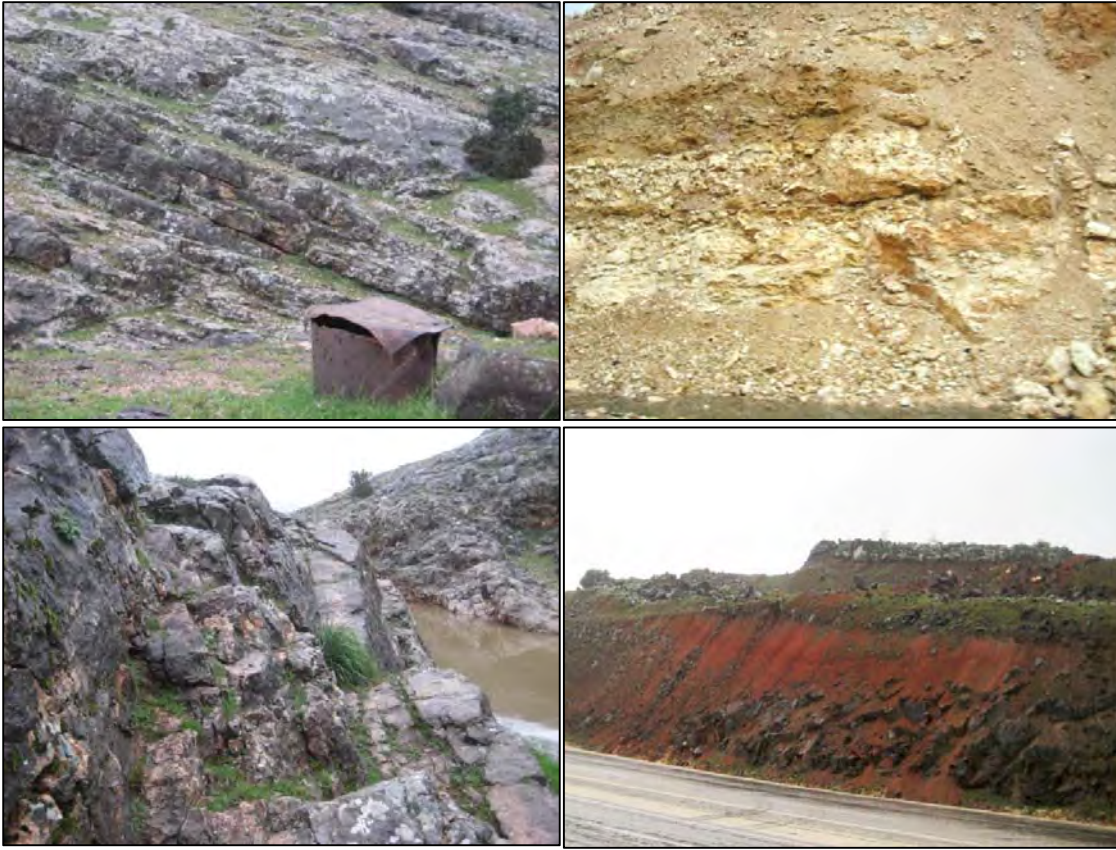
Pliyo-Kuvaterner yaşlı alüvyon yelpazesi, Araban yerleşim merkezi ve çevresinde oldukça geniş bir alanda izlenir. Tutturulmamış kumtaşı, miltaşı, çakıltası ve bloktaşından oluşur. Alüvyon büyük akarsuların vadilerinde ve düzlüklerinde, tutturulmamış çakıl, kum ve çamur depolarıdır.

Araban jeotermal sahası ve çevresinde allokton olarak kabul edilen Koçali ile Karadut formasyonları arasında dokanak genellikle bindirmelidir. Bunların dışında bölgede izlenebilen ana yapılar, Neotektonik döneme ait kıvrımlar ile bunları kesen veya yaşıt olan faylardır. Genel gidişleri KD-GB veya KB-GD doğrultulu olanları yanında çalışma alanını boydan boya kesen D-B doğrultulu faylar da mevcuttur. Tanımlanan bu fayların niteliği hakkında yeterli veri elde edilememiştir. Sınırlı bilgilere dayanarak bu fayların normal fay bileşenli doğrultu atımlı oldukları yorumlanmıştır. Aynı gözlemlere dayanarak fay düzlemlerinin dik veya dike yakın eğimli oldukları düşünülmektedir. Özellikle çalışma alanının kuzeyinde izlenen ve bölgenin ana fayı olarak düşünülen fay düzleminde paralanmanın ve killeşmenin yoğun olduğu gözlenmiştir. Bu da doğrultu atımlı fayda beklenen deformasyonlardır. Araban Ovası'nın çevresindeki kaya topluluklarına dayanarak Pliyo-Kuvaterner örtüsü altında bir senkinal veya birden fazla kıvrımların olabileceği düşünülmektedir. Yörede bulunan karbonatlarda, özellikle Fırat Formasyonu'nda olmak üzere yoğun çatlaklar mevcuttur. Bu çatlaklar kalsit dolgulu olup çevresinde alterasyon gözlenmemiştir (Şekil 11.13).

11.2.2. Araban Jeotermal Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

Araban jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren Fırat Formasyonu'na ait birimler, yersel yeraltı suyu bulduran birimlerdir. Bu alandaki birimler tektonizmadan oldukça etkilenmiştir. Alanda Fırat Formasyonu karbonatlarının iyi bir rezervuar olduğu anlaşılmaktadır. Bölgedeki jeotermal sistemler hem tektonik hem de volkanizmanın etkisi altındadır.

Araban sahası Ziyarettepe yöresinde sondaj öncesinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından jeofizik-rezistivite çalışması yapılmış ancak raporu yazılmadığından arşive girmemiştir. Bu nedenle çalışmanın teknik bilgilerine ulaşılammıştır. Araban jeotermal sahasında biri MTA Genel Müdürlüğü, diğeri TPAO tarafından olmak üzere 2 kuyu açılmıştır (Şekil 11.14). MTA tarafından açılan kuyu doğrudan jeotermal kaynak aramaya yöneliktir. TPAO kuyusu ise petrol arama amaçlıdır (Tablo 11.4.). MTA tarafından açılan kuyunun bitirme raporu yazılmamış ve dolayısıyla arşive girmemiştir. TPAO kuyusu ise petrol amaçlı açıldığından bilgileri gizlidir. Bu bakımdan her iki kuyunun, aşağıdaki tabloda yer alan bilgiler dışındaki teknik bilgilerine ulaşılammıştır.



Şekil 11.13: Ziyarettepe çevresinde yüzlek veren Fırat Formasyonu'na ait birimler ile Yavuzeli bazaltlarından görünüm



Şekil 11.14: Araban jeotermal sahasında açılmış olan TPAO ve MTA kuyu yerlerinden görünüm

Tablo 11.4: Araban jeotermal alanında açılan kuyulara ilişkin bilgiler

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
Araban-Ziyarettepe	2012	750	30,7	-	Üretim yok
Araban-Karatepe	?	2248	29	~0,1	Artezien

11.2.3. Araban Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Bu proje kapsamında Araban sahasında TPAO tarafından açılan ve artezyen yapan kuyudan alınan su numunesinden bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır (Şekil 11.15). Bu kuyu ova ortasında yer almaktadır. Bu kaynağın yüzey sıcaklığı 29 °C'dir.

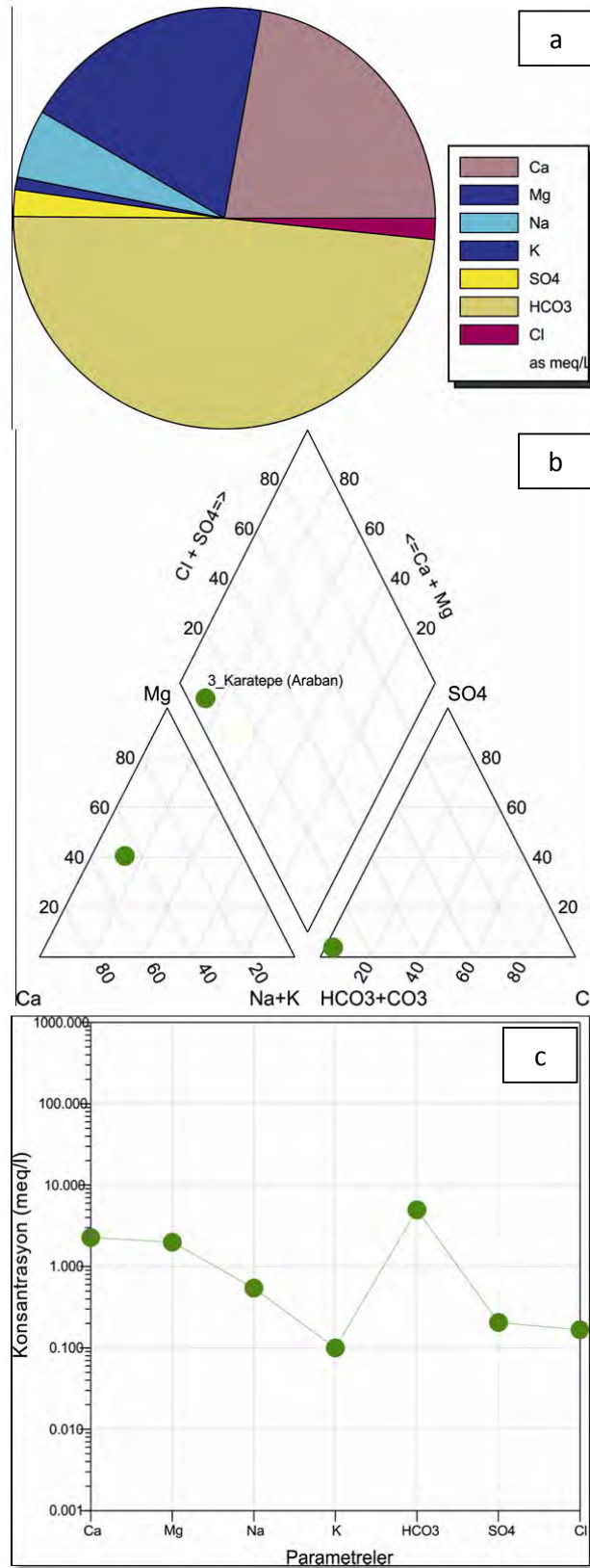


Şekil 11.15: Karatepe (Araban)'de artezyen yapan TPAO kuyusundan görünüm

Karatepe (Araban) jeotermal akışkanında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve sodyum (Na^+)'dur. Anyonlardan ise bikarbonattır (HCO_3^-)'dür (Şekil 11.16). Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak Araban jeotermal sahasındaki akışkan $Ca-Mg-HCO_3$ su tipini yansıtmaktadır (Şekil 11.16). Bu veriler rezervuar kayanın sahada yüzlek veren karbonatlı kayalardan oluştuğunu göstermektedir.

11.2.3.1. Ağır Metaller

Proje alanındaki Araban jeotermal sahasındaki akışkandan alınan su numunesinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 11.5). Mart 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre bu alandaki akışkanda düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu su kaynağında içme suyu limitlerini aşan toksik bir element gözlenmemiştir.



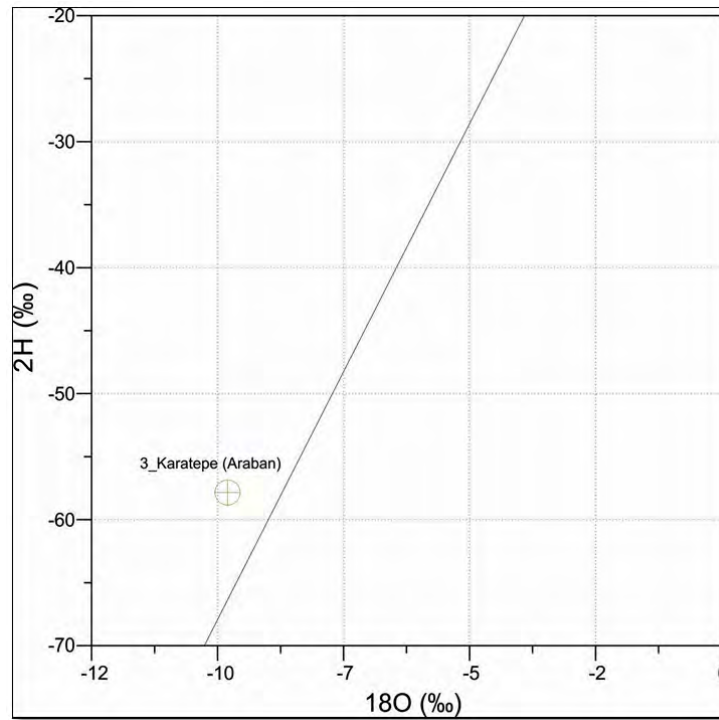
Şekil 11.16: Araban jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

Tablo 11.5: Araban jeotermal sahasındaki akışkanda ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
	Arabab			Arabab	
Ag	<0,05		Nb	<0,01	
Al	1	200	Ni	<0,2	20
As	<0,5	10	P	<10	
Au	<0,05		Pb	<0,1	10
B	78	1000	Pd	<0,2	
Ba	162,56		Pt	<0,01	
Be	<0,05		Rb	6,54	
Bi	<0,05		Re	<0,01	
Br	31		Rh	0,05	
Cd	<0,05		S	5	
Cl	4		Sb	<0,05	5
Co	<0,02		Sc	2	
Cr	2,9	50	Se	<0,5	10
Cs	0,26		Si	15277	
Cu	0,4		Sn	<0,05	
Fe	<10	200	Sr	2591,25	
Ga	<0,05		Ta	<0,02	
Ge	0,06		Te	<0,05	
Hf	<0,02		Th	<0,05	
Hg	<0,1		Ti	<10	
In	<0,01		Tl	<0,01	
Li	10,5		V	<0,2	
Mn	27,95	50	Zn	1	
Mo	1,4		Zr	<0,02	

11.2.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

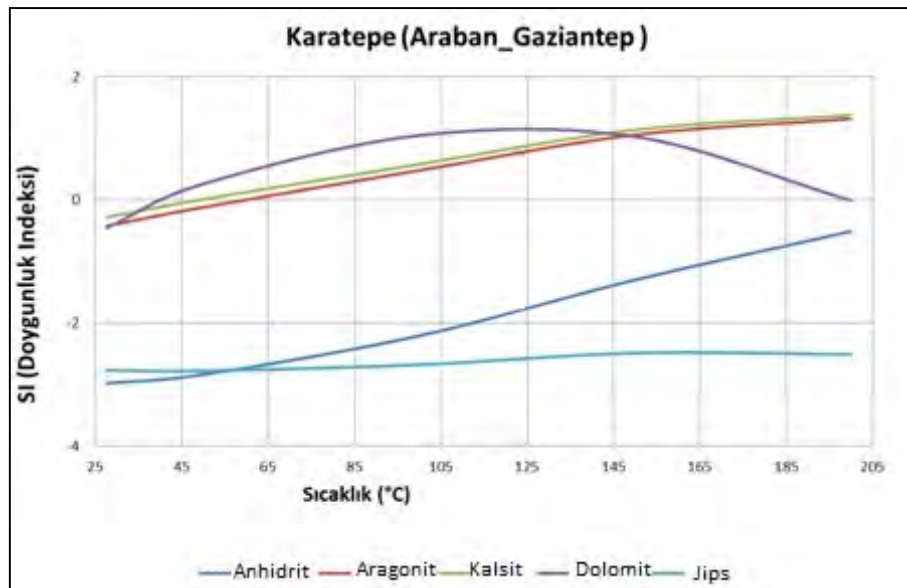
Arabab jeotermal akışkanda yapılan izotop analizleri Şekil 11.17'de gösterilmiştir. İnceleme alanındaki akışkanın trityum değerleri TU=0,5'den küçük olup suların en az 50 yıllık yeraltı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. Arabab jeotermal sahasındaki $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -9,41 ‰ ve -57,84 ‰ arasında değişmektedir. Arabab jeotermal örneği $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı üzerindeki Dünya meteorik su doğrusuna göre konumları meteorik kökene işaret etmektedir. Arabab kaynağı meteorik kökenli ve sık dolaşımıdır.



Şekil 11.17: İnceleme alanındaki suların Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

11.2.4. Doğunluk İndeksleri

Araban jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doğunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doğunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 11.18). Elde edilen verilere göre alandaki akışkanda 45 °C üzerinde kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması gözlenebilir.



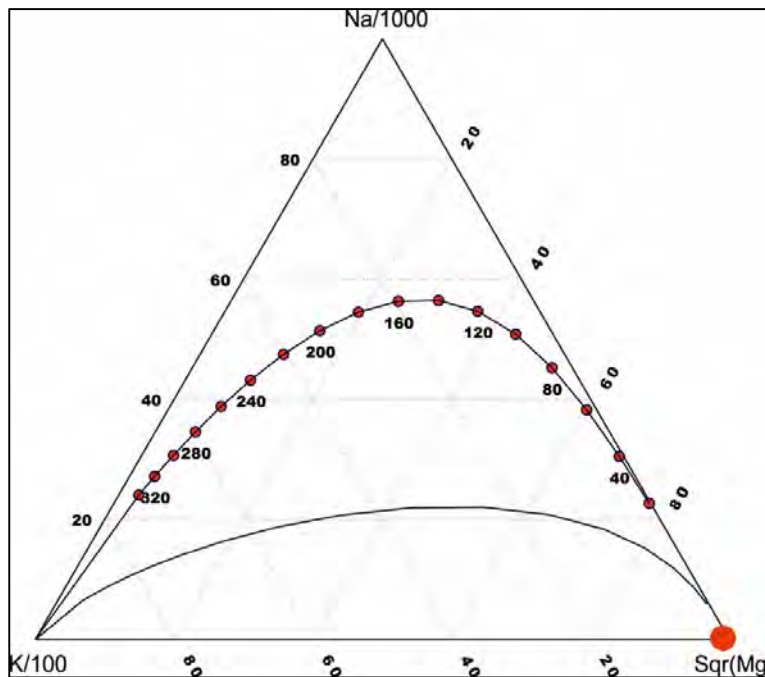
Şekil 11.18: Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

11.2.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre verilerine göre ise Araban jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı 33,9 °C'dir. Ayrıca, bu saha için silis jeotermometreleri de kullanılmıştır. Bu jeotermometrelere göre ise alandaki akışkanın rezervuar sıcaklığı 52 ile 60 °C arasında değişmektedir (Tablo 11.6). Giggenbach diyagramına göre ise Araban jeotermal akışkanının doymun olmadığı görülmektedir (Şekil 11.19). Bu alandaki kuyuya soğuk su girişiminin olduğu düşünülmektedir.

Tablo 11.6: Araban jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	SiO ₂	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Fournier, 1997	Silis	12,49	3,91	24,23	45,56	15	53
Fournier, 1997	Silis	12,49	3,91	24,23	45,56	15	60
Fournier ve Potter, 1982	Silis	12,49	3,91	24,23	45,56	15	52
Fournier ve Potter, 1982	Silis	12,49	3,91	24,23	45,56	15	53
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca	12,49	3,91	24,23	45,56	15	33,9



Şekil 11.19: Araban jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

11.2.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Sahada jeotermal kaynak arama/araştırma tekniğine uygun bir çalışma yapılmamıştır. Genel jeoloji amaçlı etütlerdeki jeoloji bilgilerine göre, stratigrafik dizilimde çeşitli kaya birimlerinin gözlemlendiği bir istiftten söz edilebilir. Bu istifte yer alan kilitaşı ve marnlardan oluşan kaya birimleri geçirimsiz oldukları için örtü kaya özelliği taşırlar. Bu bağlamda özellikle Şelmo Formasyonu'nun kilitaşı, çamurtaşı, silttaşı, şeyl, tüfit ve Germav Formasyonu'nun killi ve marnlı düzeyleri, altındaki rezervuarın ısısını koruyacak örtü nitelindedir. Alanda bol çatlaklı ve kırıklı olan Hoya, Gaziantep ve Fırat formasyonlarının kireçtaşıları ve killi kireçtaşıları sıcak suyun depolanabileceği rezervuar kayalardır.

Alanda açılan kuyulardaki sıcaklık değerleri potansiyel varlığına işaret etmektedir. Karatepe mevkiinde TPAO tarafından açılan kuyudaki kesilen birimler, derine doğru sıcaklık artışı gibi bilgilere ulaşılamamıştır. Edinilen bilgilere göre kuyuda kapalı boru derinliği 2000 m'dir. Bu derinlikten tabana kadar filtreli boru vardır. Bu durumda akışkan 2000 m derinliğin altındaki birimden gelmektedir. Esasen akışkanın yüzeyde ölçülen düşük sıcaklığı, üretim zonundan kuyu ağzına ulaşınca kadar ısısını kaybetmesi, debinin ve basıncın çok düşük oluşuyla da ilişkilidir. Kuyu üretime alındığında akışkan sıcaklığı daha yüksek olacaktır. Bununla birlikte yüzeyde hiçbir jeotermal göstergesi olmayan bir saha için bu sıcaklık değeri, daha yüksek sıcaklık yakalama umudunu yaratmaktadır. Kuşkusuz üretim zonunun derinliği akışkanın ekonomik kullanımında belirleyicidir. Dolayısıyla kuyunun teknik bilgileri yeniden değerlendirilerek derine doğru sıcaklık artış eğiliminin saptanması ve üretim zonunun ekonomik derinlikte olması durumunda yeni kuyu denemeleri yapılabilir.

Ziyarettepe mevkiinde MTA tarafından yapılan kuyu öncesindeki etüt ve aletsel ölçümler ile kuyunun raporu arşive girmediği için kuyunun derinlik ve sıcaklık bilgileri dışındaki saha ile ilgili etüt ve sondaj bilgilerine ulaşılamamıştır. Açılan kuyuda ölçülen sıcaklık değeri, oldukça düşük olup üretim de sağlanamamıştır. Saha ve yakın civarında, yüzeye çıkan herhangi bir sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Derindeki sıcaklığın varlığı alanda yapılan kuyu ile belirlenmiştir. Yüzeye boşalan sıcak su kaynağının olmaması ve kuyunun üretim yapmaması nedeniyle örnek alınamadığından sıcaklık tahmini yapılamamakta, sıcaklık tahmininde kullanılabilecek başka bir parametre de gözlenememektedir. Açılan kuyu bilgisi ise yüksek sıcaklık beklentisi ve umudunu azaltmaktadır. Bu haliyle saha düşük sıcaklıklı alan kategorisinde değerlendirilmektedir.

Kuyularda ölçülen sıcaklık değeri, yüzeyde kaynak varlığına yönelik ipucu vermeyen bölge açısından önemli bir bulgudur ve potansiyel varlığına yorumlanmaktadır. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması için kaynak aramaya yönelik araştırmalar yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla bu aşamada mevcut bilgilerin, geliştirme çalışması yapılmasını özendirerek nitelikte olmasının dışında sahadan üretilecek akışkan değerlerine yönelik herhangi bir öngöründe bulunulamamaktadır.

11.2.6. Yatırım Olanakları

Sahada açılan kuyulardaki akışkana ilişkin mevcut üretim bilgileri, herhangi bir yatırımı özendirerek nitelikte değildir. Ancak önerilen geliştirme çalışmalarının yapılması ve amaçlanan hedefe ulaşılmasıyla ortaya çıkacak potansiyel değerine göre yatırım seçenekleri somutlaşacaktır.

11.2.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Alanda açılan kuyulardan birinde tabanda ölçülmüş sıcaklık değeri, diğerinde ise artezyen halindeki akışkanın kuyu ağzı sıcaklık bilgileri bulunmaktadır. Ziyaret Köyü'nde açılan kuyunun derinliği göz önüne alındığında ölçülen sıcaklık değeri, önemsenecek bir potansiyel artışını ifade etmez. Diğer kuyudaki akışkanın yüzeye ulaşınca kadar ısını kaybetmiş olmasından dolayı derinde daha yüksek sıcaklığa sahip olabileceği öngörüsüyle önemsenmesi gerekmektedir. Mevcut bilgiler, sahanın potansiyeline yönelik bu aşamada değerlendirme yapılmasına yetecek nitelikte değildir. Bu bakımdan sahada açılan kuyulardaki sonucu bir kez daha test etmek ve saha hakkındaki kararı verebilmek için, yapılmış çalışmaların (sondaj ve jeofizik verilerin) tekrar irdelenerek belirlenecek noktalarda bir kuyu denemesi yerinde olacaktır. Yapılan incelemelere göre alanda kaynağa yönelik jeofizik-rezistivite (DES) yöntemi yapılmıştır.

Ancak sahanın daha doğru yorumlanması için jeoloji etütleri sonucunda jeolojik ve tektonik özellikleri ve potansiyel sınırları belirlenmiş alanda, jeofizik MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların, daha önce yapılmış olan DES çalışmasıyla birlikte değerlendirilmesi hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca nokta sayısı öngörülen anomali alanını kapsayan ve aralığı yanılığın önleyecek şekilde belirlenen önerilen MT çalışmasıyla, alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağına yorumlanacak bilgiler sağlayabilecektir. Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması önemlidir.

Bölgenin etkin bir tektonizmanın etkisinde kalması nedeni ile alanın kuzeyini sınırlayan kesimde gelişen önemli yapısal unsurlar bulunmaktadır. Ancak ova içerisinde yer alan jeotermal akışkanın geldiği kuyu ve çevresindeki tektonik unsurlar belirgin değildir. Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı bu unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprakta gaz ölçümleri ile, sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.

Ayrıca alanda açılan kuyu bilgileri bir potansiyel varlığına işaret etmektedir. Ancak jeolojik potansiyel sınırları belli olan alandaki rezervuarda depolanmış olan akışkanın ekonomik kullanıma uygunluğu netleştirilmiş değildir. Bu bağlamda öncelikle akışkan sıcaklığının belirlenmesi için alanda ilk etapta yeni kuyuların denenmesi, hedefe ulaşılması halinde kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulmasına yönelik ilave kuyuların açılması önemlidir. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşılınca kadar sürdürülmelidir.

11.3. DURANTAŞ JEOTERMAL SAHASI

Durantaş sahasında, Uğurlu Termal Tesisi'ne ait bir kuyu bulunmaktadır (Şekil 11.20). Yerinin görülmesine işletmeci tarafından izin verilmeyen kuyunun, akışkanın kuyu ağzındaki sıcaklığı dışında hiçbir teknik verisine ulaşılamamıştır.

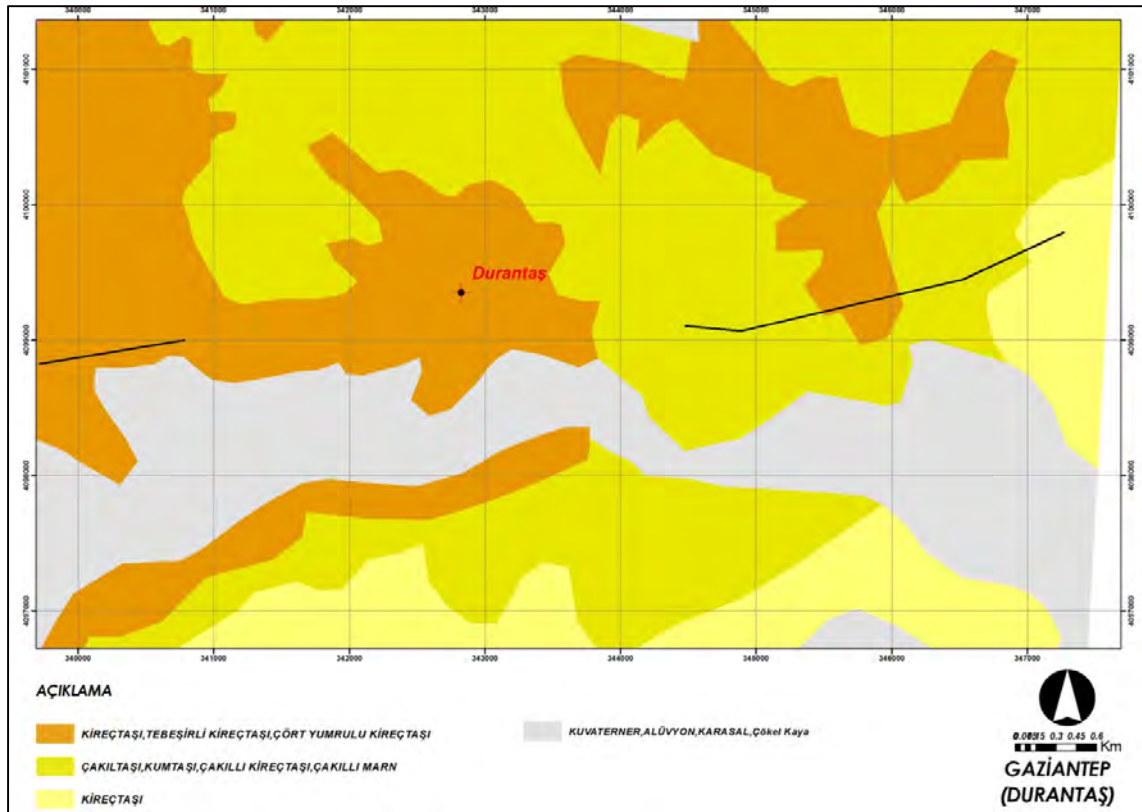


Şekil 11.20: Uğurlu Termal Tesisindeki havuzdan görünüm

11.3.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Gaziantep Şahinbey ilçesi Durantaş köyü sınırları içerisinde bulunan alanı da kapsayan Terlemez ve diğ. (1992)'nin yaptığı çalışmaya göre, yörede en yaşlı birim olarak Orta-Üst Eosen yaşlı Aslansuyu Formasyonu yüzeylemektedir. Birim kireçtaşı, tebeşirli kireçtaşı, çört yumrulu kireçtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Birimin alt sınırı çalışma alanında izlenememektedir. Alanın batısında yüzeyleyen ofiyolitik karmaşığın bu alanda Aslansuyu formasyonunun altında yer aldığı belirtilmektedir. Birim üste doğru Ardıçlıtepe Formasyonu'na geçmektedir. Aynı yaşta olan Ardıçlıtepe Formasyonu kireçtaşları ile temsil edilir. Yörede yüzeyleyen Gaziantep Formasyonu Alt-Orta Oligosen yaşlı olup kireçtaşı, killi kireçtaşı ve tebeşirli kireçtaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Yöredeki Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlarla günümüz dere yataklarına ait yeni alüvyonlar en genç çökel birimleri oluşturur (Şenel ve diğ., 1997).

Tersiyer yaşlı ve Arap otoktonuna ait olan Bölge kayaları kıvrımlı bir yapı gösterir. Ancak alanın ortasından geçen sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay, kıvrımların dışındaki tek yapısal unsurdur. Jeotermal açıdan önemsendiği için fayın çalışma alanı doğusunda ve batısında net olarak izlenen iki fay olasılı bir şekilde birleştirilmiştir. Kuyu ve yakın çevresinde önemli kırık yapısı gözlenememesine rağmen, olasılıkla bu doğrultu atımlı faya açılı çatlak sistemlerinin sınırlı da olsa gelişmiş olması gerekmektedir (Şekil 11.21).



Şekil 11.21: Durantaş jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

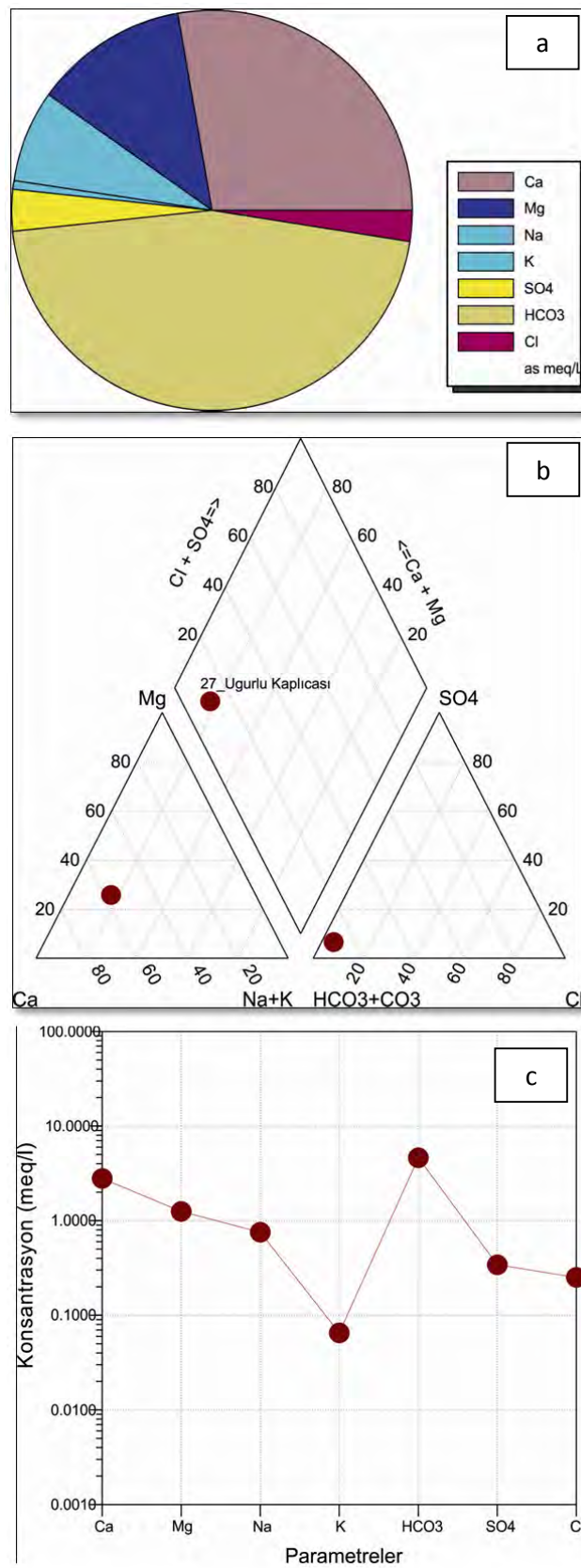
11.3.2. Durantaş Jeotermal Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

Durantaş jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren karbonatlı birimler yerel yeraltı suyu bulunduran birimlerdir. Bu alandaki birimler tektonizmadan oldukça etkilenmiştir. Alandaki karbonatların iyi bir rezervuar olduğu anlaşılmaktadır. Bölgedeki jeotermal sistemler tektonik kontrollüdür.

11.3.3. Durantaş Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Durantaş sahasındaki termal tesiste bulunan kuyuda 2011 yılında İstanbul Üniversitesi tarafından ölçümler yapılmıştır. Kuyubaşı sıcaklığı 34,8 °C, EC = 2.116 µS/cm ve pH=7,01, otel kaplıca havuzu giriş sıcaklığı 44,5 °C, EC = 516 µS/cm ve pH=7,46 olarak ölçülmüştür. Sondaj çıkış noktası ile havuz girişi arasındaki 10 °C'lik sıcaklık artışının ilave bir ısıtma sistemi ile sağlandığı otel işletmesi tarafından verilen katalogta beyan edilmiştir. Bu proje kapsamında Uğurlu Termal Tesisi'nden alınan su numunesinden bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır.

Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanda görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+})'dur. Anyonlardan ise bikarbonat (HCO_3^-)'tir (Şekil 11.22). Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak Durantaş jeotermal sahasındaki akışkan Ca-Mg- HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 11.22).



Şekil 11.22: Uğurlu Kaplıca suyunun a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

11.3.3.1. Ağır Metaller

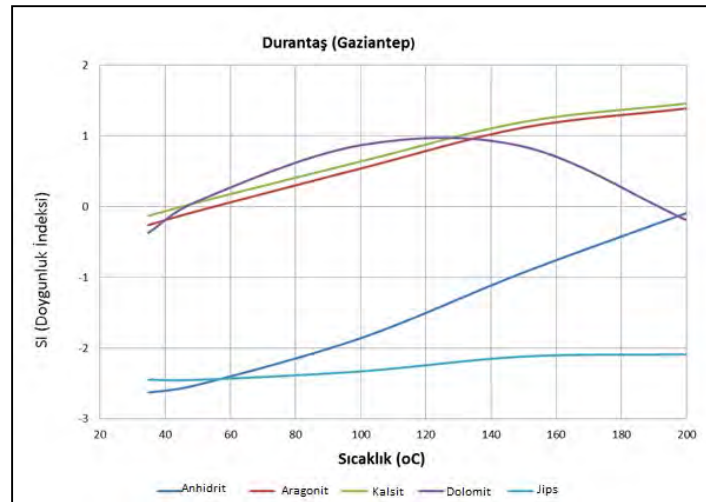
Proje alanındaki Durantaş jeotermal sahasındaki akışkandan alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 11.7). Mayıs 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre bu alandaki akışkanda düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu su kaynaklarında içme suyu limitlerini aşan toksik bir element gözlenmemiştir.

Tablo 11.7: Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
	Durantaş			Durantaş	
Ag	<0,05		Nb	<0,01	
Al	1	200	Ni	<0,2	20
As	0,9	10	P	<10	
Au	0,13		Pb	<0,1	10
B	42	1000	Pd	<0,2	
Ba	178,46		Pt	<0,01	
Be	<0,05		Rb	2,45	
Bi	<0,05		Re	<0,01	
Br	44		Rh	0,12	
Cd	<0,05		S	7	
Cl	10		Sb	0,15	5
Co	0,08		Sc	2	
Cr	9,3	50	Se	3,3	10
Cs	<0,01		Si	14223	
Cu	1,4		Sn	<0,05	
Fe	<10	200	Sr	4895,73	
Ga	<0,05		Ta	<0,02	
Ge	0,15		Te	0,12	
Hf	<0,02		Th	<0,05	
Hg	<0,1		Ti	<10	
In	<0,01		Tl	<0,01	
Li	3,7		V	0,4	
Mn	2,92	50	Zn	169,7	
Mo	3,2		Zr	<0,02	

11.3.4. Doymunluk İndeksleri

Durantaş jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 11.23). Elde edilen verilere göre alandaki akışkanda kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması gözlenmektedir.

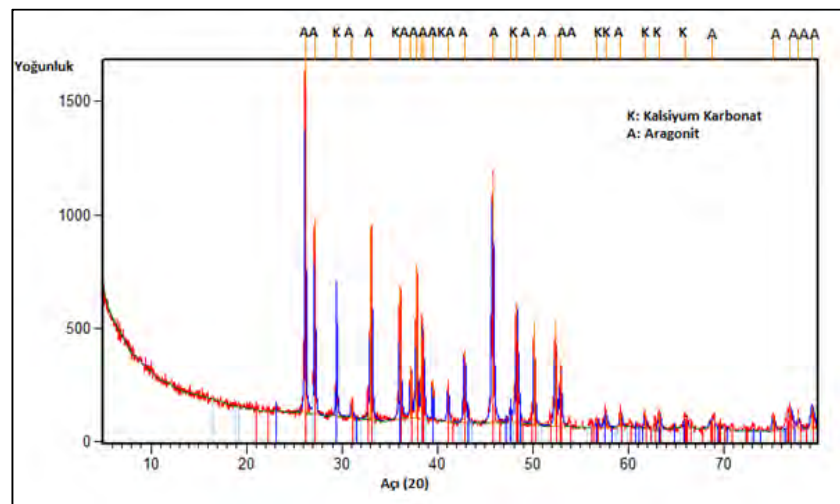


Şekil 11.23: Doygunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi

Durantaş Jeotermal sahasında bulunan tesis içindeki havuzdan alınan kabuğun morfolojik özelliklerini belirlemek amacı ile jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Alınan katı örneğin kristal yapı ve kimyasal bileşen tayininin yapılması amacıyla X-Işını Difraktometre (XRD) ve X-Işınları Floresans Spektrometre (XRF) kullanılmıştır. XRF sonuçlarına göre alınan örneğin baskın olarak Kalsiyum içerdiği, XRD sonuçlarına göre ise kabukta ağırlık olarak Kalsiyum Karbonat ve Aragonit gözlenmiştir (Tablo 11.8; Şekil 11.24)

Tablo 11.8: Durantaş jeotermal sahasında kabuğun XRF ve XRD sonuçları

Örnek	Element	XRF ANALİZİ SONUÇLARI		XRD ANALİZİ SONUÇLARI
		%kütle)		
		Oksitsiz	Oksitli	Kristal Yapı
Uğurlu Kaplıcası	Ca	62	86,7	Kalsiyum Karbonat ve Aragonit
	Ta	1,3	1,6	
	Sr	5,4	6,4	



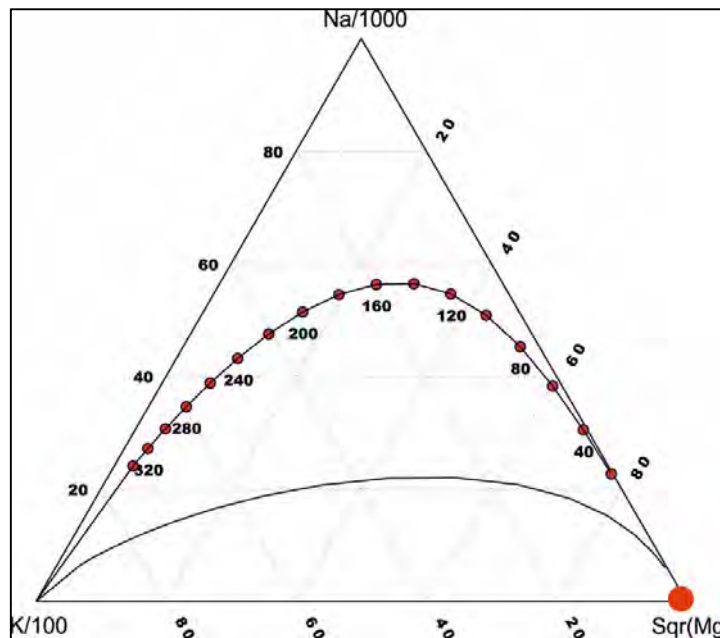
Şekil 11.24: Uğurlu kabuk örneğinin XRD sinyalleri

11.3.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı silis jeotermometrelerine göre 37,4 °C ile 57,9 °C arasında değişmektedir (Tablo 11.9). Diğer katyon jeotermometrelerinden elde edilen veriler ise alanın özelliklerini yansıtmadığından kullanılmamıştır. Giggenbach diyagramına göre ise Durantaş jeotermal akışkanının doygun olmadığı görülmektedir (Şekil 11.25).

Tablo 11.9: Durantaş jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	SiO ₂	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Fournier, 1997	Silis	17,36	2,55	15,24	56,03	14,2	51,0
Fournier, 1997	Silis	17,36	2,55	15,24	56,03	14,2	57,9
Fournier ve Potter, 1982	Silis	17,36	2,55	15,24	56,03	14,2	49,9
Fournier ve Potter, 1982	Silis	17,36	2,55	15,24 <td 56,03	14,2	50,6	
Arnorsson ve diğ., 1983	Silis	17,36	2,55	15,24	56,03	14,2	56,2
Arnorsson ve diğ., 1983	Silis	17,36	2,55	15,24	56,03	14,2	37,4



Şekil 11.25: Durantaş jeotermal akışkanının Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

11.3.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Çalışma alanında yüzeylenen kaya birimlerinden Ardıçlıtepe Formasyonu ile Aslansuyu Formasyonu ve Gaziantep Formasyonu'nun kireçtaşı düzeyleri rezervuar kaya niteliğindedir. Aslansuyu Formasyonu ve Gaziantep Formasyonu'nun killi seviyeleri ise örtü kaya özelliği

taşrlar. Sahada yüzeylememekle beraber, tanımlanan istiflerin altında beklenen ofiyolitik melanjin içinde düşünölen kireçtaşı blokları da rezervuar olarak değerdendirilmelidir. Sahada jeotermal parametre olarak kabul edilen herhangi bir veri elde edilememiştir. Alanda açılan kuyunun derinlik, derinliğe bağılı sıcaklık değışimi, debi vb. bilgilerine ulaşılamadığından potansiyeline ilişkin yorumda bulunulamamaktadır. Jeotermometrelerin maksimum 58 °C'ye ulaşılabilceğı bilgisi ümit vericidir fakat debi bilgisi olmadan ısı potansiyel belirlenememektedir.

11.3.7. Yatırım Olanakları

Gaziantep şehir merkezine çok yakın olması nedeniyle alan, termal turizm açısından önemli bir konumdadır. Bunun yanında, yakın çevrede bu tür bir kullanım olanağının bulunmaması, bölgenin ulaşım koşulları, alanı bölgesel çekim merkezi haline getirebilecektir.

Sahada jeotermometrelerin verdiği 58 °C sıcaklık ve yeterli debide akışkana ekonomik olarak ulaşılabilirse iklim koşullarının da uygunluğu nedeniyle jeotermal seracılık ön plana çıkarılabilir. Bunun dışında jeotermal akışkan balık çiftlikleri, kurutma, çeşitli ısıtma uygulamalarında da kullanılabilir. Ancak alanın potansiyeline ilişkin bir değerdendirmede kullanılabilcek yeterlilikte çalışma yapılmadığından ve var olan bilgilere de ulaşılamadığından yatırım olanakları ile ilgili bu aşamada her hangi bir öneride bulunulamamaktadır. Bu bakımdan somut yatırım seçenekleri, önerilen geliştirme çalışmalarının yapılması ve amaçlanan hedefe ulaşılmasıyla ortaya çıkacak potansiyel değeri göre belirlenebilecektir.

11.3.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörölen Çalışmalar

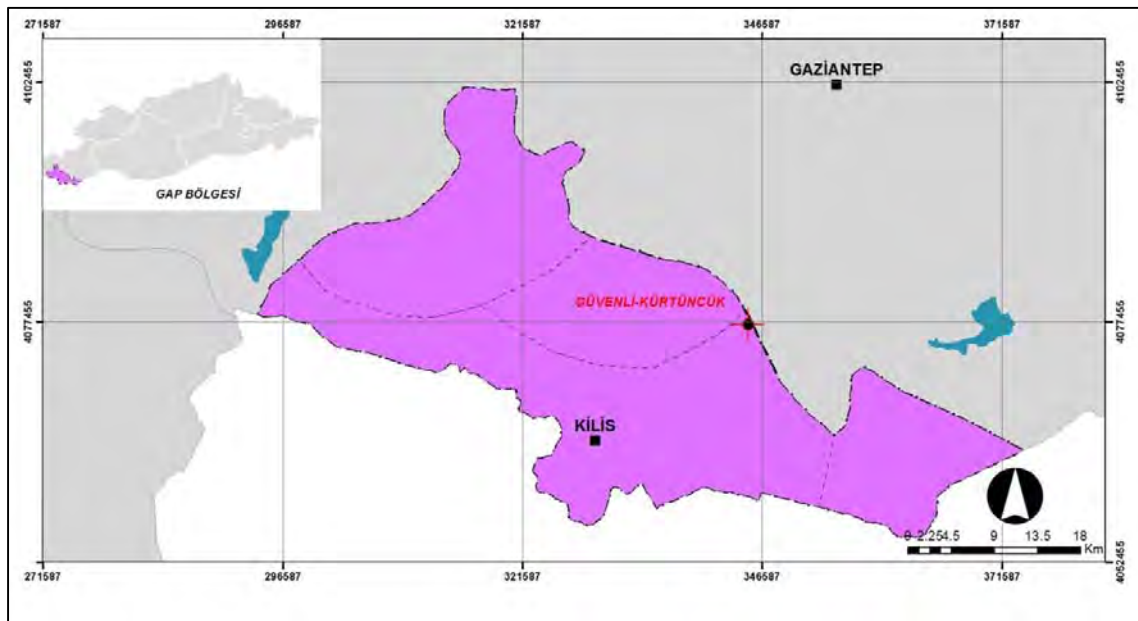
Alanda açılan kuyu ağızında ölçölen sıcaklık değeri, önemsenecek bir potansiyel varlığını işaret etmektedir. Ancak işletmecinin kuyu yerinin görölmesine izin vermemesi, sahada ne tür çalışma yapılarak kuyu açılması kararının verildiğı, kuyu derinliği, üretim şekli, taban sıcaklığı, kuyuda kesilen birimler gibi bilgilerin bulunmaması nedeniyle saha ile ilgili belirsizlikler oldukça fazladır. Bu bakımdan sahada açılan kuyudaki sonucu test etmek ve sahada ulaşılabilcek potansiyeli belirlemeye yönelik, aşağıdaki çalışmaların yapılmasında yarar vardır.

- Alanda, kaynağına yönelik jeofizik-rezistivite (DES) ve MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların değerdendirilmesi, hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması, hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca önerilen DES ve MT çalışmasıyla, alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağına yorumlanacak veriler saptanabilecektir.
- Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerdendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması öngörülmektedir.
- Alanda tektonik unsurlar belirgin değildir. Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı bu unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı ölçümleri çalışmayla, sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.

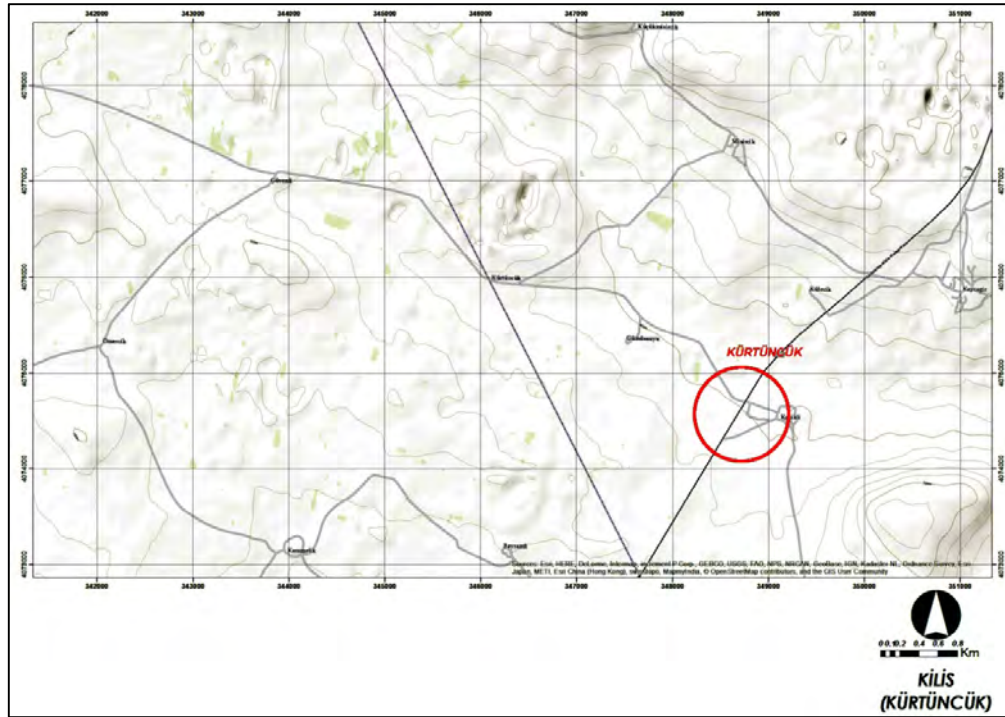
- Alanda açılan kuyu bilgileri bir potansiyel varlığına işaret etmektedir. Ancak jeolojik potansiyel sınırları belli olan alandaki rezervuarda depolanmış olan akışkanın bilgileri net değildir. Bu bağlamda önerilen çalışmaların sonuçlarının yönlendirmesiyle belirlenecek lokasyonda ilk etapta bir kuyunun denenmesi, hedefe ulaşılması halinde kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulmasına yönelik ilave kuyuların açılması önerilmektedir. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülmelidir.

12. KİLİS İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

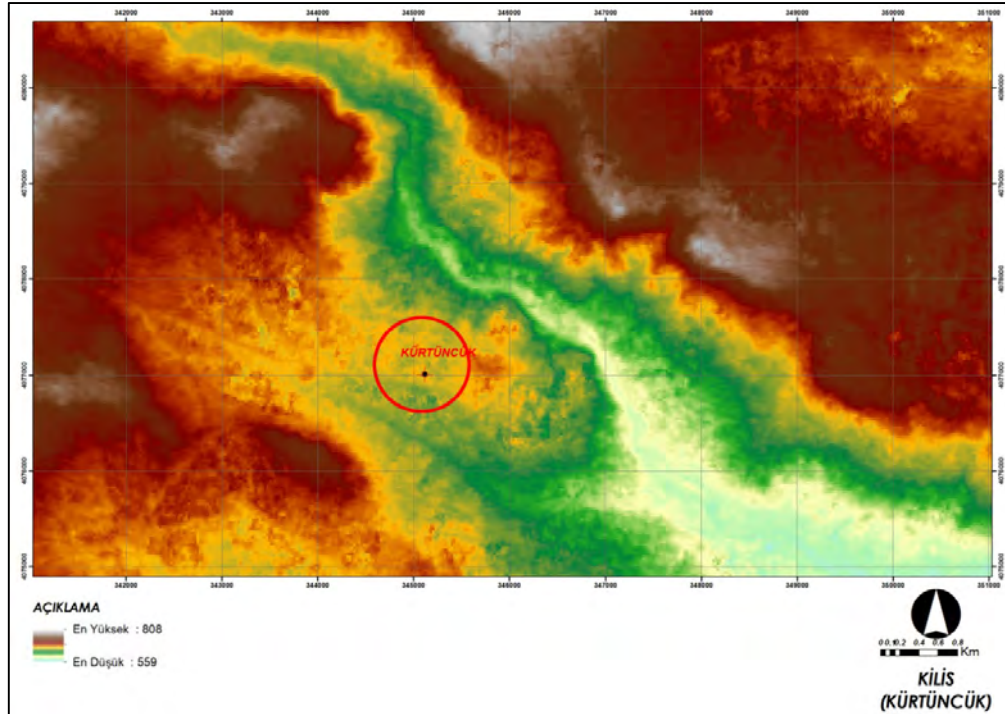
Kilis ilinde jeotermal ile ilgili çalışma sadece TPAO tarafından yapılan bir kuyu ile sınırlıdır. Yerin derinliklerindeki jeotermal aktivite, genelde yüzeyde jeotermal belirteçlerle bir şekilde ipuçları verir. Sıcak su kaynağı, hidrotermal alterasyon, traverten oluşumu gibi jeotermal aktiviteye yorumlanan belirteçlerin yüzeyde görülmediği, ancak derinlerde bir potansiyel barındıran saklı sistemler olarak değerlendirilmektedir. Kaynağa yönelik bilimsel çalışmanın olmadığı Kilis iline bağlı Gaziantep-Kilis yolu üzerindeki Kazıklıköyü sınırları içinde bulunan Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında, yüzeyde jeotermal kaynağın varlığına dair yorumlanacak herhangi bir parametre bulunmamaktadır (Şekil 12.1 ve Şekil 12.2). Alan oldukça düz bir topoğrafyada yer alır (Şekil 12.3). Saklı sistem olarak tanımlanması ve jeotermal alan kategorisinde değerlendirilmesinin dayanağı, yapılan bir sondajdan 35 °C sıcaklık ve 2 l/s debide akışkan üretimidir.



Şekil 12.1: Kilis İli sınırları içinde bulunan Kürtüncük-Güvenli jeotermal alanı



Şekil 12.2: Kilis ili sınırları içinde yer alan Kürtüncük-Güvenli jeotermal alanın topoğrafik haritası



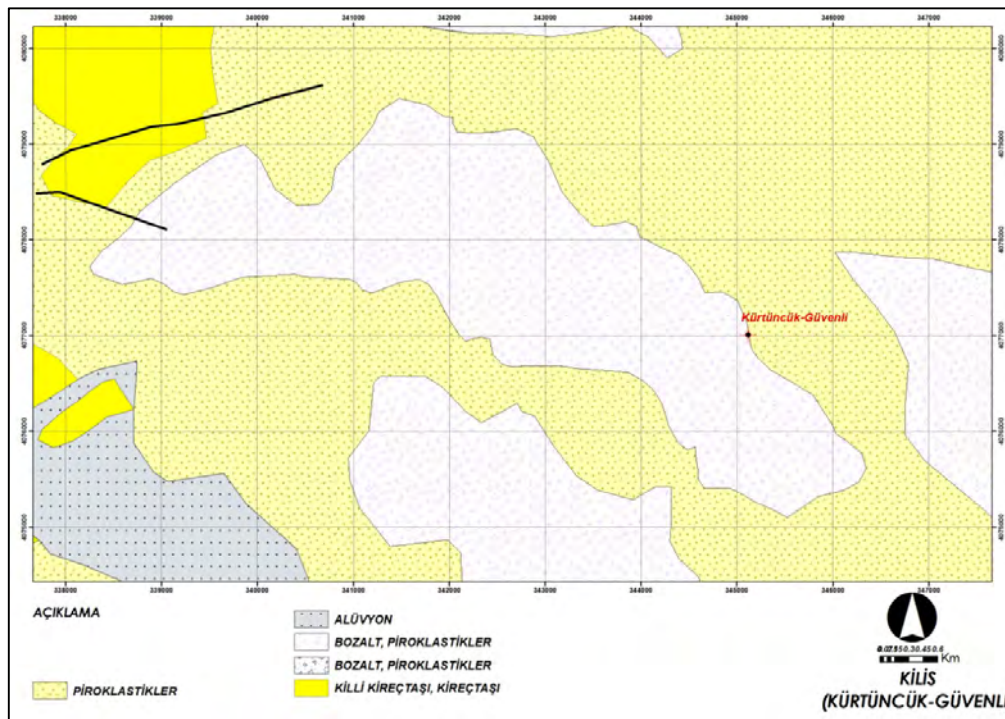
Şekil 12.3: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahanın morfolojik yapısını gösteren harita

12.1. KÜRTÜNCÜK-GÜVENLİ JEOTERMAL SAHASI

12.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Terlemez ve diğ. (1992)'nin çalışmalarına göre Kürtüncük-Güvenli yakın çevresinde Üst Eosen-Alt Oligosen yaşta Gaziantep Formasyonu, Alt Oligosen-Alt Miyosen yaşta Fırat Formasyonu ve Yavuzeli bazaltı yer almaktadır. Alanın tamamına yakın bölümü Yavuzeli bazaltı ve Kuvaterner yaşlı eski alüvyon birimi ile örtülüdür (Şenel ve diğ. 1994) (Şekil 12.4).

İnceleme alanı ve çevresinde killi kireçtaşı, tebeşirli kireçtaşı ve kireçtaşından oluşan Gaziantep Formasyonu, yumuşak topografya gösteren killi kireçtaşı ve tebeşirli kireçtaşı şeklinde görülür. Fırat Formasyonu ise altta kireçtaşı, üstte ise bol çört yumrulu ve bol fosil kavkılı kireçtaşından oluşmaktadır. Genelde çatlaklı ve çatlakları kalsit dolguludur. Üst yüzeyleri yağmur sularının oluşturduğu karstik bir topografya sunar. İnceleme alanında bu birimleri örten Yavuzeli bazaltı, gözeneklidir ve gözenekler kalsit dolgululu olup genel olarak lav akıntısından oluşmuştur. Ayrıca bu lav akıntılarının altında yer yer aglomera ve tüf yüzeylemeleri yer almaktadır. Yavuzeli bazaltı bölgede olivin bazalt ve amigdaloidal olivin bazalt olarak izlenmektedir. Plato şeklinde düzlükleri kaplamıştır. Lavların çıkış merkezleri saptanamamıştır. Bölgesel gözlemlere göre K-G yönlü açılma çatlaklarından yüzeylendiği düşünülmektedir. Gevşek tutturulmuş çakıl, kum ve çamurdan oluşan eski alüvyon, genellikle nehirlerin eski yataklarında ve yüksek tepelerle çevrili ovalarda yüzeylenmektedir.



Şekil 12.4: Kürtüncük-Güvenli Jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilmiştir)

Saha, platoya yakın düzlüklerden meydana gelmekte olup gerek bazaltlar, gerekse eski alüvyonların üzerinde kalın bir toprak örtüsü ile örtülüdür. Bu nedenle bölgenin yapısal unsurlarını ortaya koyacak veriler toplanamamıştır. Şekil 12.4'te görüleceği gibi alanın

kuzeybatısında izlenen sınırlı boyuttaki normal faylar ve eğimli tabakalar, haritalanabilen unsurlardır. Bu yapıların kaynak alanına doğru devamlılıkları izlenememiştir.

12.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasının yakın çevresinde yüzlek veren Üst Eosen-Alt Oligosen yaşlı Gaziantep Formasyonu ve Alt Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu akifer özelliği taşımaktadır. Bu formasyonlar jeotermal sistemin rezervuarı konumundadırlar. Bölge genelinde yüzlek veren ve alanda da izlenen volkanikler (Yavuzeli bazaltı) ise jeotermal sistemin ısı kaynağıdır. Alanda bir adet sondaj bulunmaktadır. Söz konusu sondajda ölçülen akışkanın sıcaklığı 35 °C, debisi ise 2 l/s dir (Işık ve Dilemre, 1999) (Tablo 12.1; Şekil 12.5).

Tablo 12.1: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında açılan kuyu bilgileri

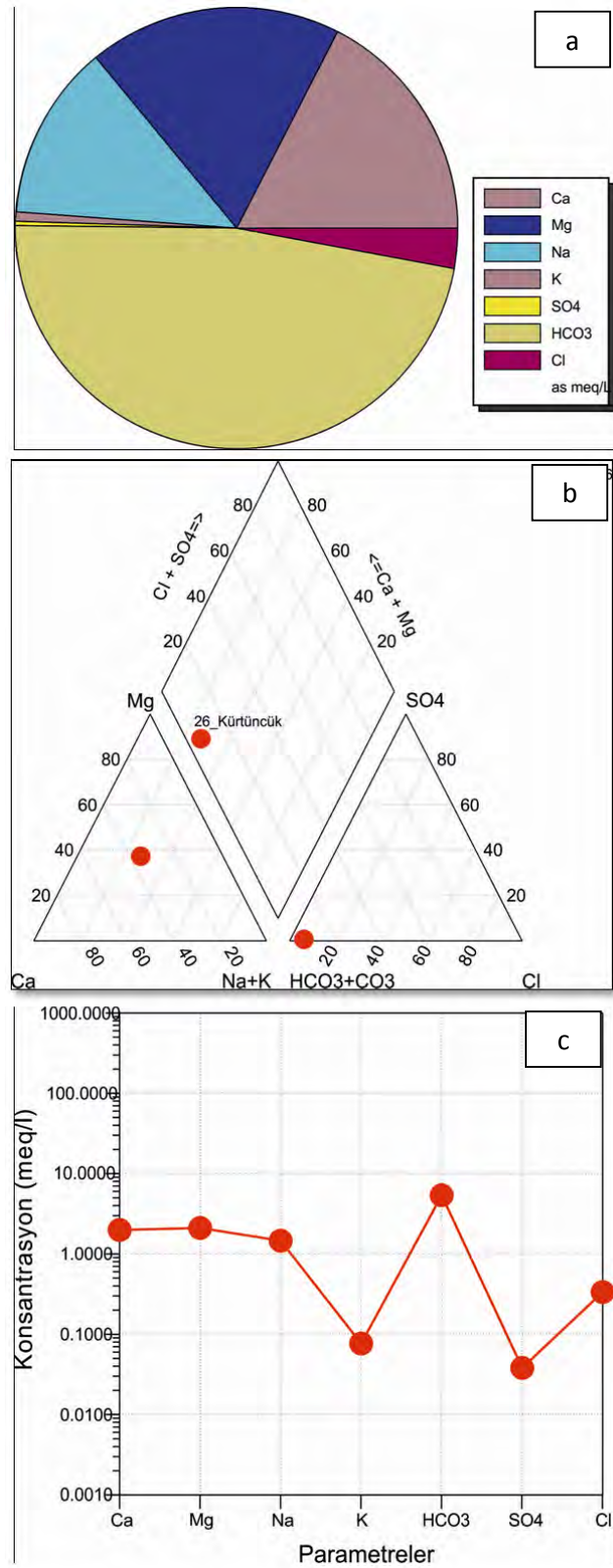
Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Üretim Şekli
Güvenli-Kürtüncük	?	300	35	2	Artezyen



Şekil 12.5: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında açılmış bulunan kuyudan görünüm

12.1.3. Kürtüncük-Güvenli Jeotermal Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanın hidrojeokimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla Mayıs 2015 tarihinde su numunesi alınmıştır. Alınan akışkanda görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve magnezyum (Mg^{2+}), başlıca anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tir (Şekil 12.6). Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkan Ca-Mg-HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 12.6). Bu veriler sahadaki akışkanın rezervuar kayasının alanda yüzlek veren Gaziantep ve Fırat formasyonuna ait karbonatlı kayaçlar olduğunu göstermektedir



Şekil 12.6: Kurtuncük-Güvenli akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

12.1.3.1. Ağır Metaller

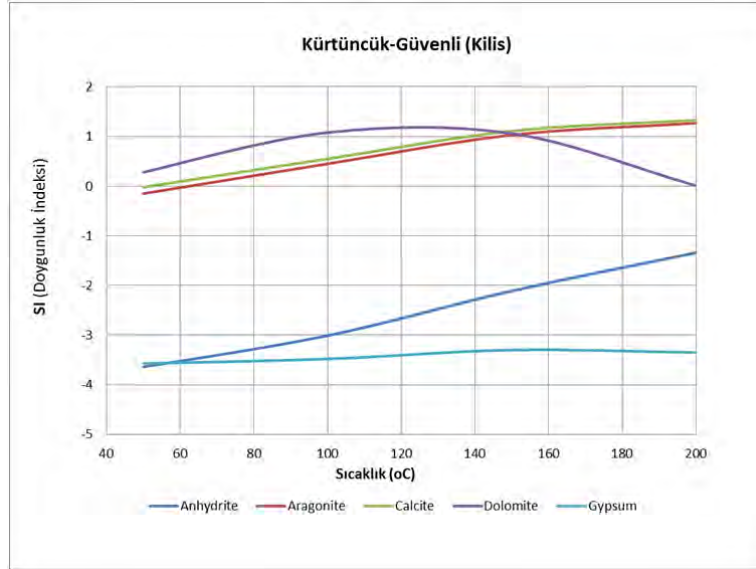
Proje alanındaki Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkandan alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 12.2). Mayıs 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre bu alandaki akışkanda düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu su kaynaklarında içme suyu limitlerini aşan toksik bir element gözlenmemiştir.

Tablo 12.2: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
	Kürtüncük-Güvenli			Kürtüncük-Güvenli	
Ag	<0,05		P	<10	
Al	1	200	Pb	<0,1	10
As	<0,5	10	Pd	<0,2	
Au	0,24		Pt	<0,01	
B	59	1000	Rb	5,05	
Ba	881,98		Re	<0,01	
Be	<0,05		Rh	0,05	
Bi	<0,05		Ru	<0,05	
Br	55		S	<1	
Cd	<0,05		Sb	<0,05	5
Cl	14		Sc	2	
Co	<0,02		Se	<0,5	10
Cr	10,6	50	Si	13909	
Cs	0,11		Sn	<0,05	
Cu	0,4		Sr	2106,32	
Fe	16	200	Ta	<0,02	
Ga	<0,05		Te	<0,05	
Ge	0,26		Th	<0,05	
Hf	<0,02		Ti	<10	
Hg	<0,1		Tl	<0,01	
In	<0,01		U	<0,02	
Li	18,6		V	<0,2	
Mn	3,82	50	W	0,06	
Mo	0,4		Zn	0,9	
Nb	<0,01		Zr	<0,02	
Ni	<0,2	20			

12.1.4. Doğunluk İndeksleri

Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkan için anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doğunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doğunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 12.7). Elde edilen verilere göre alandaki akışkanda kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması gözlenmektedir.



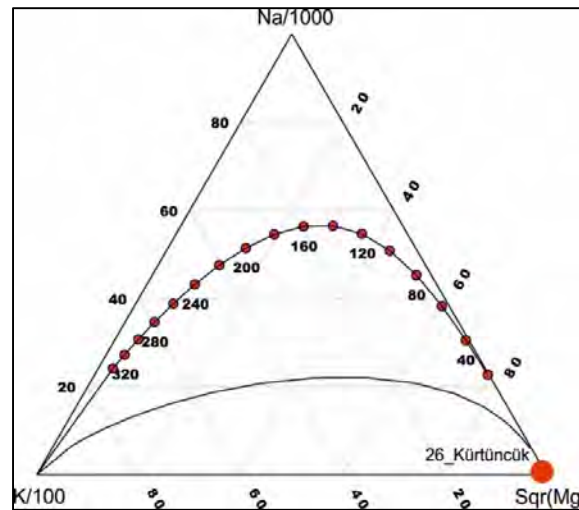
Şekil 12.7: Doğunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

12.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı silis jeotermometrelerine göre 49,1°C ile 57,2 °C arasında değişmektedir (Tablo 12.3). Diğer katyon jeotermometrelerinden elde edilen veriler ise alanın özelliklerini yansıtmadığından kullanılmamıştır. Giggenbach diyagramına göre ise Kürtüncük-Güvenli jeotermal akışkanının doğun olmadığı görülmektedir (Şekil 12.8).

Tablo 12.3: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	SiO ₂	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Fournier, 1997	Silis	33,63	3	25,6	39,85	13,90	50,3
Fournier, 1997	Silis	33,63	3	25,6	39,85	13,90	57,2
Fournier ve Potter, 1982	Silis	33,63	3	25,6	39,85	13,90	49,1
Fournier ve Potter, 1982	Silis	33,63	3	25,6	39,85	13,90	49,8
Arnorsson ve diğ., 1983	Silis	33,63	3	25,6	39,85	13,90	55,6



Şekil 12.8: Kürtüncük-Güvenli jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

12.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahası ile ilgili kaynak aramaya yönelik kapsamlı bir çalışmaya rastlanamamıştır. Saha ile ilgili bilgiler bu proje kapsamında yapılan inceleme ve gözlemlerle sınırlıdır. Alanda TPAO tarafından petrol arama amaçlı bir kuyu açılmıştır. Kürtüncük-Güvenli köyleri arasındaki yolun kuzeyinde ve Güvenli köyünün yaklaşık 1 km kuzeydoğusunda açılan kuyuda 300 m. derinlikten üretilen akışkanın sıcaklığı 35 °C, debisi 2 l/s dir. Akışkan artezyen halinde yüzeye boşalmaktadır (Işık ve Dilemre, 1999). Mevcut durumda kuyunun ısıl potansiyeli, jeotermal akışkan çıkış sıcaklığının en düşük olduğu durum (20 °C) da bile sadece 126 kW'dır (Tablo 12.4). Jeokimyasal çalışmalar sonucu erişilme ihtimali olan 49-57 °C sıcaklıklara ulaşılması ve debinin aynı kalması halinde ısıl potansiyel en iyi durumda 310 kW olmaktadır. Sıcaklık artışı ile birlikte debinin de 10 lt/s'ye çıkması halinde ise ısıl potansiyel 1,5 MW'a ulaşmaktadır.

Tablo 12.4: Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahası'nın ısıl potansiyeli

Saha	m (l/s)	T _g (°C)	T _ç (°C)					Q (kW)
			40	35	30	25	20	
Kürtüncük- Güvenli		35	-42	0	42	84	126	
	2	57	142,8	184,8	226,8	268,8	310,8	
	10	57	714	924	1134	1344	1554	

Alanda açılan kuyuda ölçülen sıcaklık değeri, bölge açısından önemli bir bulgudur ve potansiyel varlığına yorumlanmaktadır. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması için kaynak aramaya yönelik araştırmalar yapılması gerekmektedir. Sınırlı da olsa çalışma alanının kuzey batısında izlenen fayların, sahanın doğusuna doğru devam etme olasılığı ve yaygın bir bazalt örtüsünün varlığı sahaya olumlu açıdan değer kazandırmaktadır.

12.1.7. Yatırım Olanakları

Sahadaki akışkan sıcaklığı ümit verici olmasına rağmen debi çok düşüktür. Ancak yapılacak geliştirme çalışmaları sonucunda mevcut sıcaklık ve debiden daha yüksek değerde akışkan üretilmesi halinde, tarıma yönelik arazilerin bulunduğu bu bölgede sera uygulaması

yapılabilir, bölgeye hizmet verebilecek bir termal tesis kurulabilir. Termal tesiste havuzlarda kullanımın yanı sıra tesisin ısıtılması da mümkün olabilir. Akışkan ayrıca balık üretimi ve hayvancılık uygulamaları olarak kümes/ahır/tavuk çiftliği ısıtma, kurutma amaçlı da kullanılabilir.

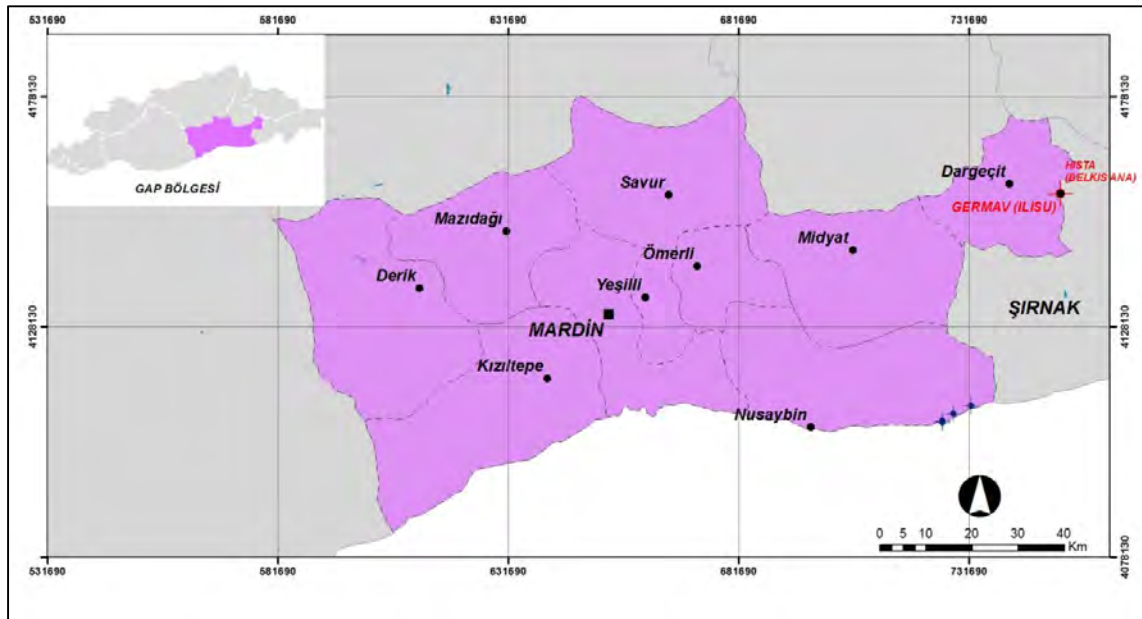
12.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Sahada TPAO tarafından açılmış, kuyu başı sıcaklık ve debisi ölçülen kuyunun sıcaklık değeri önemsenecek bir potansiyel varlığını ifade eder. Kuyudibi sıcaklığı bilgisi olmayan kuyuda, akışkanın yüzeye ulaşmaya kadar ısınıp kaybedebileceği ve derinde daha yüksek sıcaklığa sahip olabileceği öngörüsüyle önemsenmesi gerekmektedir. Mevcut bilgiler, sahanın potansiyeline yönelik bu aşamada değerlendirme yapılmasına yetecek nitelikte değildir. Bu bakımdan sahada açılan kuyulardaki sonucu bir kez daha test etmek ve saha hakkındaki kararı verebilmek için, yapılmış çalışmaların tekrar irdelenerek belirlenecek noktalarda bir kuyu denemesinin yapılmasında yarar vardır. Bu nedenle aşağıdaki çalışmaların yapılması saha için önemlidir.

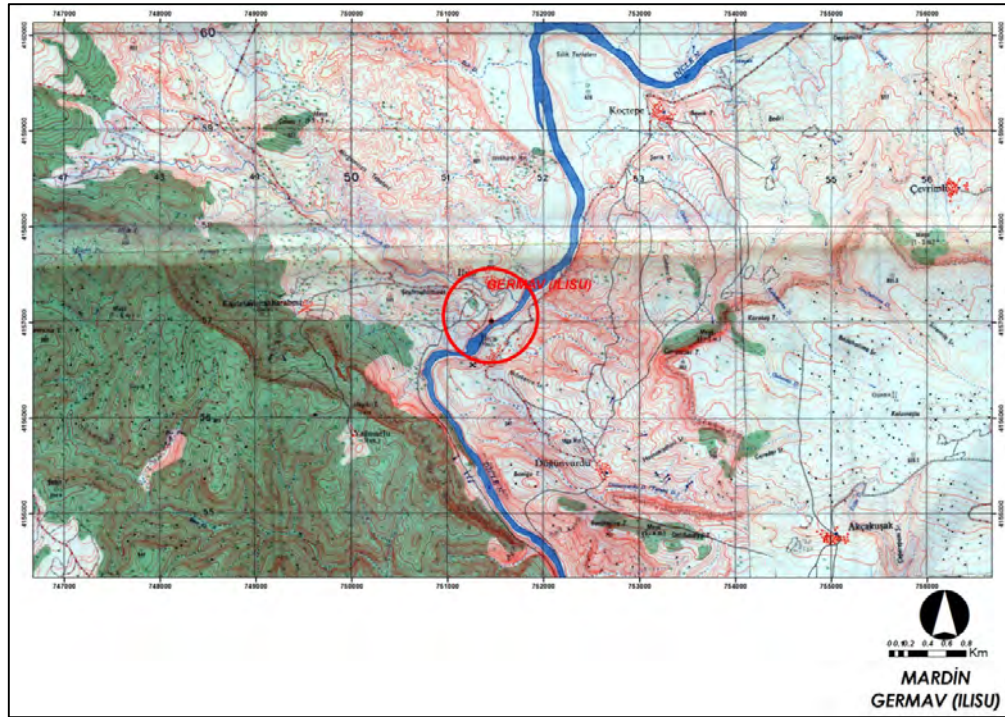
- Jeoloji etütleri sonucunda jeolojik ve tektonik özellikleri ve potansiyel sınırları belirlenmiş alanda, kaynağa yönelik jeofizik-rezistivite (DES) ve MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların değerlendirilmesi hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca nokta sayısı öngörülen anomali alanını kapsayan ve aralığı yanılığını önleyecek şekilde belirlenen noktalarda DES ve MT çalışmasıyla, alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi sağlanacak, ısı kaynağına yorumlanacak veriler saptanabilecektir.
- Ölçümlerden elde edilecek bilgiler ışığında jeotermal kaynak, oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması öngörülmektedir.
- Ova içerisinde yer alan alanda fay, kırık ve çatlaklar gibi tektonik unsurlar belirgin değildir. Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı bu unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan bu çalışmayla, toprak gazı ölçümleri ile sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenmelidir.
- Yukarıda önerilen çalışmalar ve sondaj verileri ile sahanın rezervuar modelinin oluşturularak ısı potansiyelinin belirlenmesi, rezervuarda depolanmış olan akışkanın ekonomik kullanım seçeneğinin netleştirilmesi açısından öncelikli hedef olmalıdır.
- Bu bağlamda öncelikle akışkan sıcaklığının belirlenmesi için alanda ilk etapta yeni bir kuyunun denemesi, hedefe ulaşılması halinde kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulmasına yönelik ilave kuyuların açılması önerilmektedir. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşılincaya kadar sürdürülmelidir. Tüm bu çalışmalar tamamlandıktan sonra saha, doğasına ve kapasitesine uygun olarak yatırıma açılabilir. Böylece hem sahanın sürdürülebilirliği sağlanabilir hem de yatırımcı detaylı bir fizibilite çalışması için yeterli veriye sahip olup güvenli bir yatırım yapabilecektir.

13. MARDİN İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

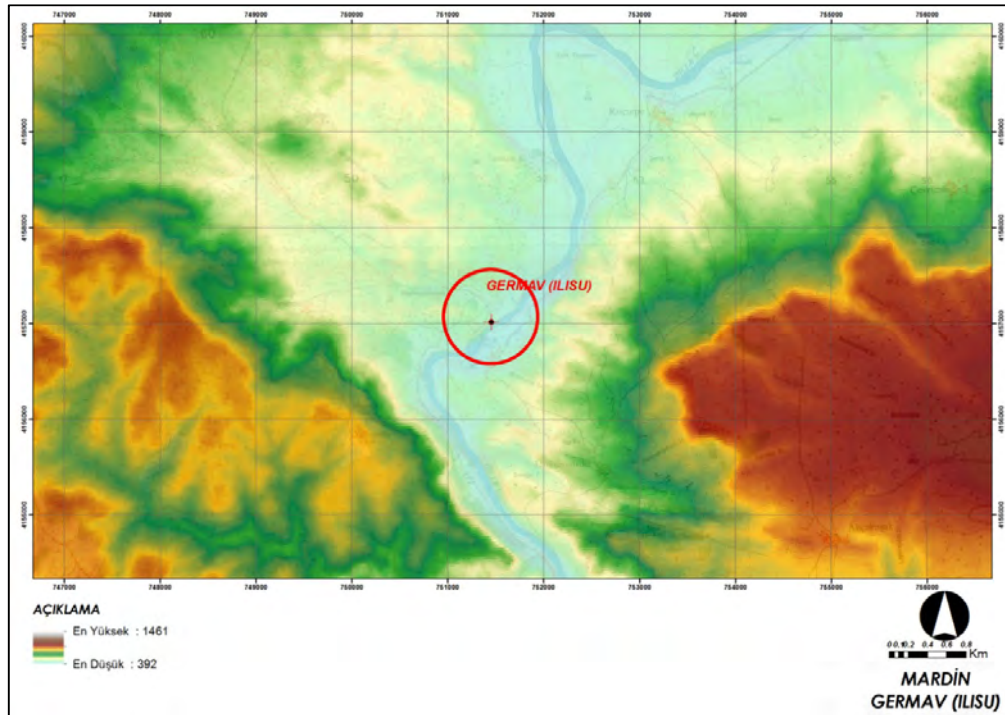
Mardin ili sınırları içinde TPAO tarafından petrol amaçlı 1400 ile 2035 m derinliklerinde açılmış bazı kuyularda sıcaklıkları 46 – 74 °C arasında akışkana rastlanmıştır. Ayrıca Mardin ve Şırnak il sınırında önemli bir jeotermal saha yer almaktadır. Jeotermal kaynaklar doğası gereği idari sınırlara bağlı olmaksızın, doğrudan jeolojik yapı ve jeodinamik sürece bağlı olarak gelişmektedirler. Dolayısıyla yerin derinliklerindeki rezervuarın yüzeydeki izdüşümü olan jeotermal alanların sınırları, idari sınırlardan bağımsızdır. Bu teknik gerekçeyle idari sınırlar dikkate alınmayarak değerlendirildiğinde Mardin ve Şırnak il sınırları içerisindeki Germav (Ilisu) ve Hısta (Belkıs Ana) sıcak su kaynaklarını içeren tek bir alandan söz edilebilir (Şekil 13.1). Proje amaçları doğrultusunda kaynaklar il bazında değerlendirildiğinden, bu bölümde alan içerisindeki Mardin ilindeki kaynağa ilişkin bilgiler yer alacaktır. Mardin ilinde, Dargeçit ilçesi sınırları içerisinde 56,6 °C sıcaklık ve 1,5 l/s debisi olan Germav (Ilisu) kaynağı bulunmaktadır (Şekil 13.2). Söz konusu kaynak Dicle Nehri üzerinde yer almaktadır (Şekil 13.3).



Şekil 13.1: Mardin İli jeotermal alanları

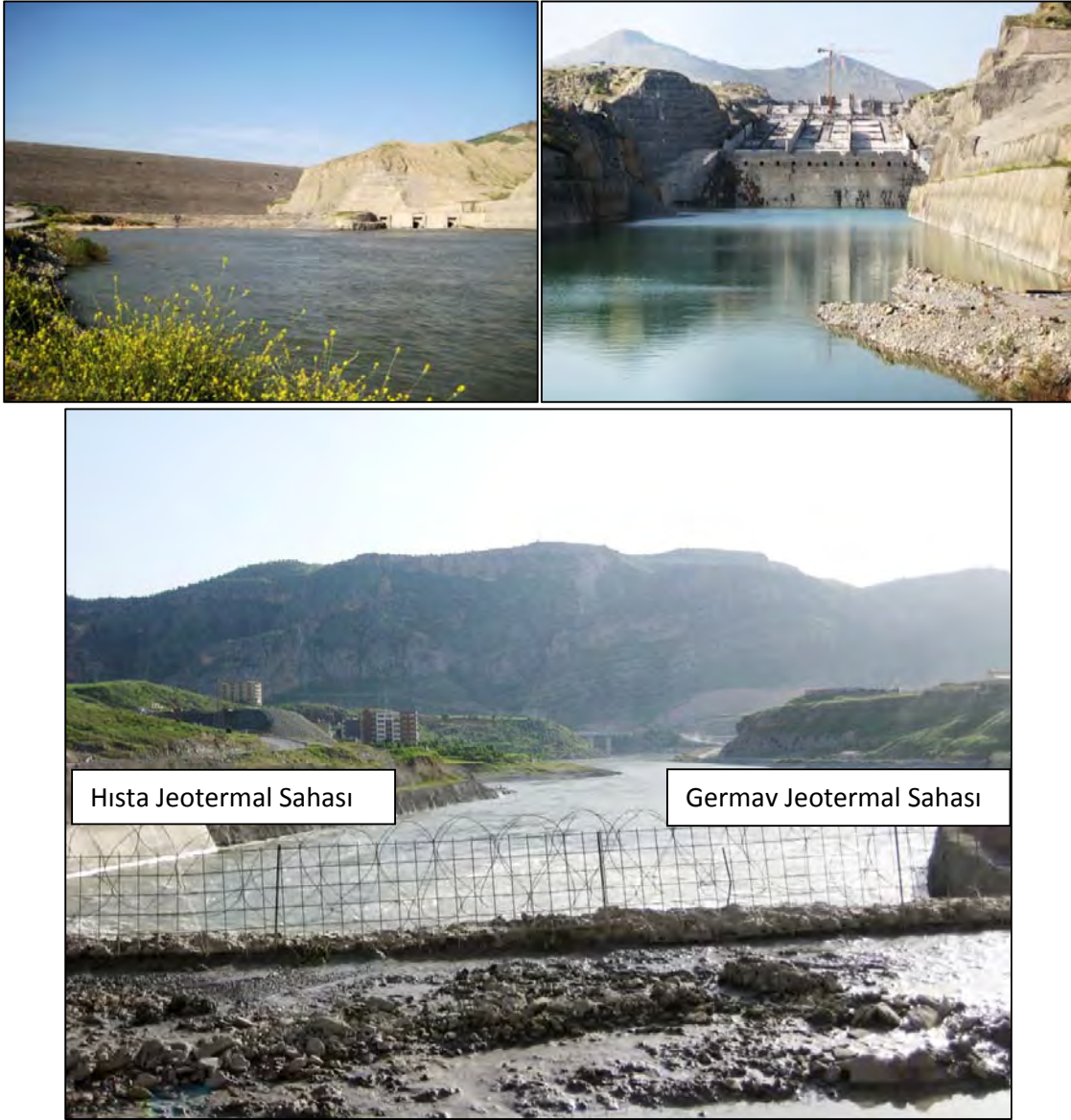


Şekil 13.2: İnceleme alanın topoğrafik haritada yeri

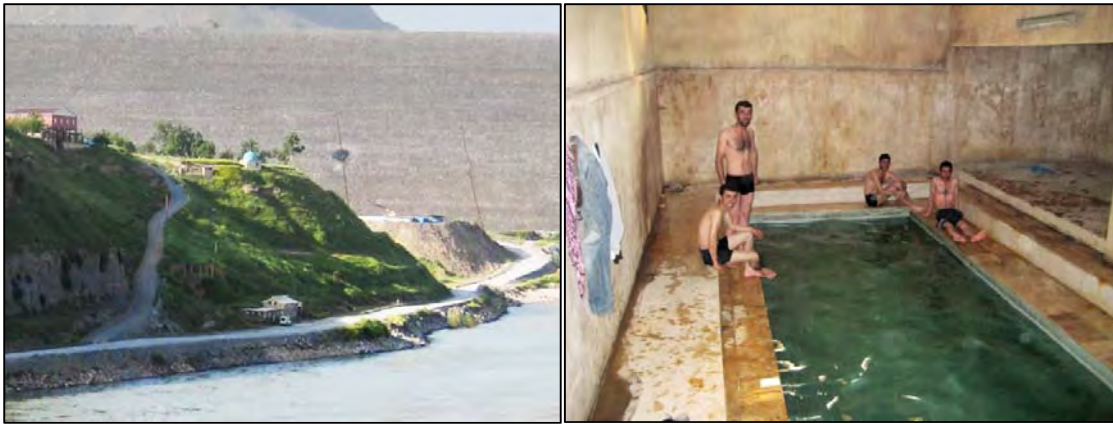


Şekil 13.3: İnceleme alanının morfolojik haritası

Jeotermal alan içerisinde akan Dicle Nehri Mardin ve Şırnak il sınırını oluşturmaktadır (Şekil 13.4). Nehrin sol sahilinde yüzeye boşalan Germav (İlisu), Ammara Bahçeleri ve Dolusavak kaynağı, Mardin-Dargeçit ilçesi sınırları içerisinde (Şekil 13.5). Alanın Şırnak ilindeki Hısta (Belkıs Ana) kaynağı ise Güçlükonak ilçesine 10 km uzaklıkta, Düğünürdu köyü sınırları içerisinde, Dicle Nehri'nin sağ (Doğu) sahilindedir (Şekil 13.6).



Şekil 13.4: Dicle Nehri üzerinde yer alan İlisu Barajı ve jeotermal sahadan görünüm



Şekil 13.5: Germav (Ilisu) kaynağı ve çevresinden görünüm



Şekil 13.6: Hısta (Belkis Ana) kaynağı ve çevresinden görünüm

13.1. GERMAV (ILISU) - HISTA (BELKIS ANA) JEOTERMAL SAHASI

13.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Jeotermal alanının yer aldığı bölgede, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimleri içeren kalın bir istif bulunmaktadır. Üst Kretase-Alt Paleosen yaşlı killi kireçtaşı, marn, kumtaşı ara tabakalı marn ve siltaşı ve kiltaşından oluşan Germav Formasyonu istifin alanda izlenen en yaşlı birimidir (Şekil 13.7). Kalınlığı fazla ve yayılımı geniş olan Germav Formasyonu, killi kireçtaşlarının yoğun olduğu seviyeler altta, kumtaşı ara tabakalı seviyeleri ise üstte olacak şekilde iki alt birime ayrılarak haritalanmıştır. Kireçtaşı ve marnlı kireçtaşından oluşan ve diğer formasyonlara göre kalınlığı az olan Becirman Formasyonu Germav Formasyonu'nun üzerinde yer alır (Şekil 13.8). Bu formasyon üzerindeki jipsli çakıltaşı, kumtaşı, marn, kiltaşından oluşan karasal fasiyesteki Paleosen-Alt Eosen yaşlı Gercüş Formasyonu yer yer kireçtaşı arabandı içerir. Daha üste doğru Eosen yaşlı, alt seviyeleri çörtlü tebeşirli kireçtaşı içeren Midyat Grubu'na ait Gaziantep Formasyonu bulunmaktadır (Şekil 13.9). Bu formasyonu Gercüş Formasyonunu uyumlu olarak örtmektedir. Çalışma alanının değişik yerlerinde yüzeylenen bazaltik karakterde lav akıntıları alttaki birimleri örtmesi nedeniyle Kuvaterner yaşlı olarak kabul edilmiştir. Lav akıntılarının genel uzanımı K-G yönlü olup plato şeklinde yatay akıntı istifleri şeklinde yüzeylenmektedir. Hısta (Belkis Ana) kaplıcası

çevresinde termal çıkışlara bağlı olduğu görülen traverten oluşumları da Kuvaterner yaşlı olarak kabul edilmiştir. En genç birim, Kuvaterner yaşlı kil ve tutturulmamış kum ve çakıllardan oluşan alüvyondur.



Şekil 13.7: İnceleme alanında yüzlek veren Germav Formasyonu'ndan görünüm



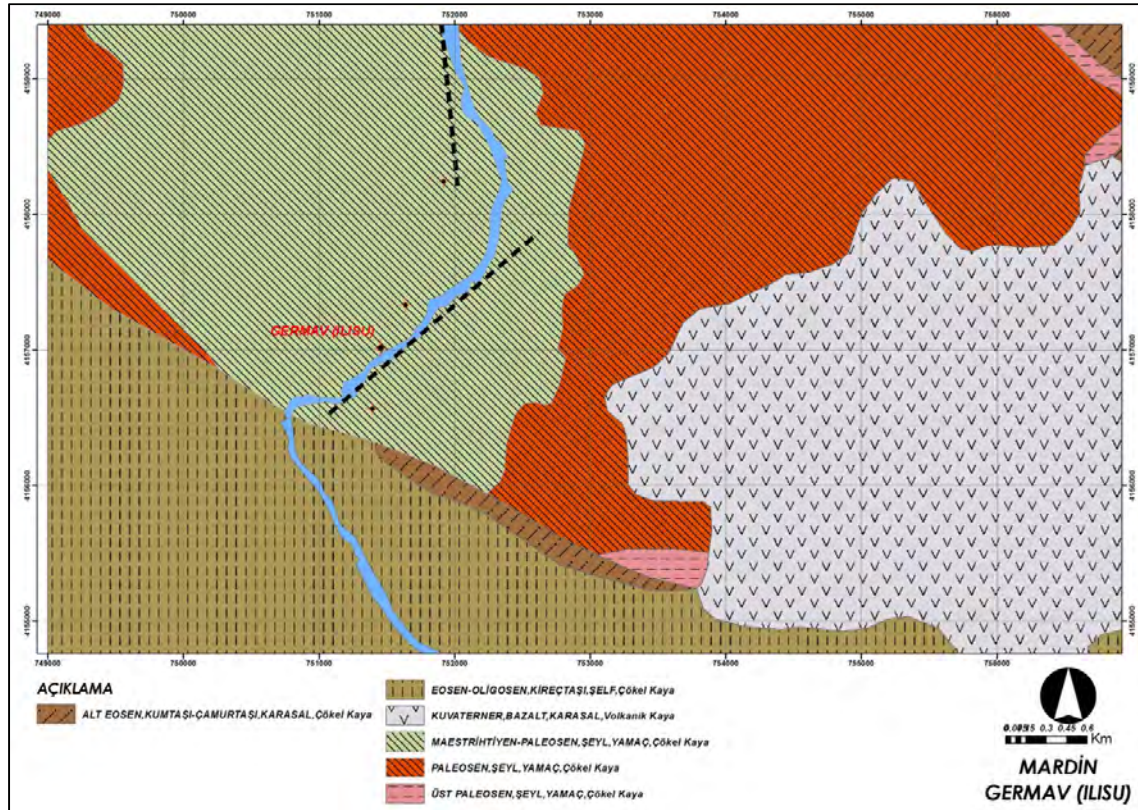
Şekil 13.8: İnceleme alanında yüzlek veren Becirman Formasyonu



Şekil 13.9: İnceleme alanında yüzlek veren Midyat ve Germav Formasyonları'nın dokanaklarından görünüm

Güneydoğu Anadolu genelinde olduğu gibi çalışma alanında da Tersiyer yaşlı çökel kayalar bol kıvrımlı ve kırıklıdır. Kıvrım eksenlerinin genel doğrultuları D-B veya BKB-DGD'dur. Özellikle Germav Formasyonu'nun yüzeylendiği alanın büyük bir antiklinale karşılık geldiği görülmektedir (Şekil 13.10). Orta ince tabakalı olan Germav Formasyonu'nda kıvrımlar sık ve yüksek eğimli, buna karşılık kalın tabakalı veya masif olan kireçtaşından oluşan birimlerde ise düşük eğimli ve yayvandır. Yörenin ana yapısal unsurlarından diğeri ise yine KB-GD doğrultulu fay sistemidir. Bu fay daha önceki araştırmalarda İlisu fayı olarak adlandırılmış, kimi araştırmacılara göre eğim atımlı normal fay, bazılarına göre ise yine eğim atımlı ters fay olarak tanımlanmıştır. Bu proje kapsamında yapılan araştırmalarda ise bu yapısal unsurun fay düzleminin dik veya dike yakın olması, düşen ve yükselen blok ilişkilerinin kurulamaması, farklı bloktaki kaya topluluklarının aniden kesilmesi ve karşı bloktaki karşılıklarının bulunamaması nedeniyle doğrultu atımlı olarak kabul edilmiştir. Fayın hareket yönü için yeterli veri gözlenememiştir. Bunun dışında bu ana fay zonuna açılı ve K-G genel doğrultulu açılma çatlakları yörede gözlenen ikincil yapılardır. Açılma çatlakları, sürekli olmaması ve boyutlarının küçük olması nedeniyle haritaya işlenememiştir. Yörede gözlenen bazaltik akıntıların K-G yönlü uzanımlarının olması bu çatlaklardan yüzeylendiğine yorumlanmıştır. Aynı şekilde yörede gözlenen sıcak su kaynakları, bu çatlaklar üzerinde dizilim gösterirler. Bu nedenle bölgede var olan jeotermal sistem ile yapısal unsurlar arasındaki ilişki bakımından doğrultu atımlı olan İlisu fayınının ikincil yapıları olan açılma çatlaklarının bu ana faydan daha önemli olduğu ortaya çıkmıştır. Nitekim DSİ tarafından İlisu Barajı ile ilgili yapılan çalışmada, kaynakların doğrudan ana fay üstünde konumlanmadığı, bu faya belli bir mesafede (sol sahilde Hısta sıcak su kaynağına 250 m, sağ sahilde Dolusavak kazısındaki sıcak su kaynağına, İlisu ve Kuyruksuyu kanalı kazılarındaki sıcak su kaynaklarına sırasıyla 150, 600 ve 950 m) olduğu ifade edilmektedir (DSİ, 2012). Aynı raporda ana faya paralel ikincil fayların var

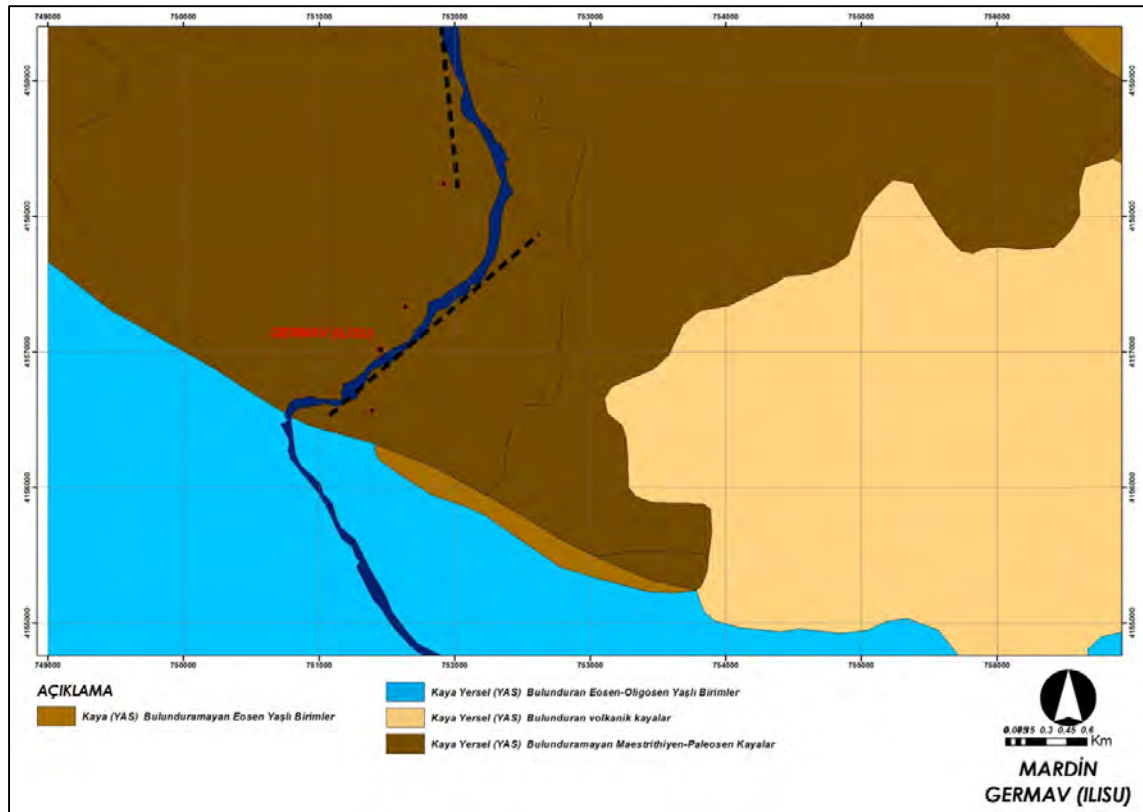
olduğu, bunlardan birinin Dolusavak bölgesindeki yeni kaynak alanı çevresinde açık bir şekilde gözlemlendiği belirtilmekte ve alanda çok sert, büyük boşluklara sahip ve termal kaynakların önceden yüze çıktığı zon ile bağlantılı silisli kireçtaşının varlığına dikkat çekilmektedir. Yukarıda gözlemlerini aktardığımız araştırmacıların ters fay olarak tanımladığı ana fayın, yaptığımız araştırmalar sırasında doğrultu atımlı Ilisu fayı olduğu, ikincil fayların açılma çatlakları, silisliye kireçtaşlarının ise Gaziantep Formasyonu'nun çörtlü kireçtaşı seviyelerine karşılık geldiği görülmektedir.



Şekil 13.10: Germav (Ilisu) ve Hista (Belkis Ana) jeotermal sahaları ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

13.1.2. İnceleme Sahası ve Çevresinin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı ve çevresi yoğun bir tektonik etkinin altında olduğu için bu alanda yüzlek veren Midyat Formasyonu'nda ikincil gözeneklilikler gelişmiştir. Eosen yaşlı kireçtaşları karstik kaya özelliğinde ve yersel olarak yeraltı suyu alınabilen kaya özelliğindedirler (Şekil 13.11.) Alanda karstik yapılı kireçtaşlarından önemli miktarda su alınmaktadır. Alanda yaygın olarak gözlenen Germav Formasyonu kiltası, seyl ağırlıklı olup geçirimsiz özelliktedir. Bu birim alandaki jeotermal sistemin örtü kayacıdır ve yeraltı suyu içermemektedir. Alanda Dicle Nehri havzasında yüzlek veren alüvyonel birimler yeraltı suyu açısından verimli akiferlerdir.



Şekil 13.11: Germav (Ilisu) ve Hista (Belkis Ana) jeotermal sahalarının hidrojeoloji haritası

Jeotermal kaynaklar ve yakın çevresinde doğrudan atımlı olan Ilisu fayının ikincil yapıları olan açılma çatlakları boyunca birçok sıcak su kaynağı yüzeye çıkmaktadır. Alandaki jeotermal sistem tektonik kontrollüdür.

13.1.2.1. Sıcak Su Kaynakları

Germav (Ilisu) ve Hista (Belkis Ana) jeotermal sahaları dışında TPAO tarafından Mardin ili sınırları içinde açılmış petrol amaçlı açılan bazı kuyularda sıcak akışkana rastlanmıştır (Tablo 13.1) Ancak bu kuyulara ilişkin bilimsel veriler olmadığı için bu kuyuların bulunduğu alanların jeotermal potansiyeli ile ilgili yorumlar yapılmamıştır.

Tablo 13.1: Mardin il sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar

Sondajların Açıldığı Bölge	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
Doğu Sınırtepe	1400	50
Dodan - Mardin	2035	74
Çamurlu	1450	48
İkiztepe	1490	46

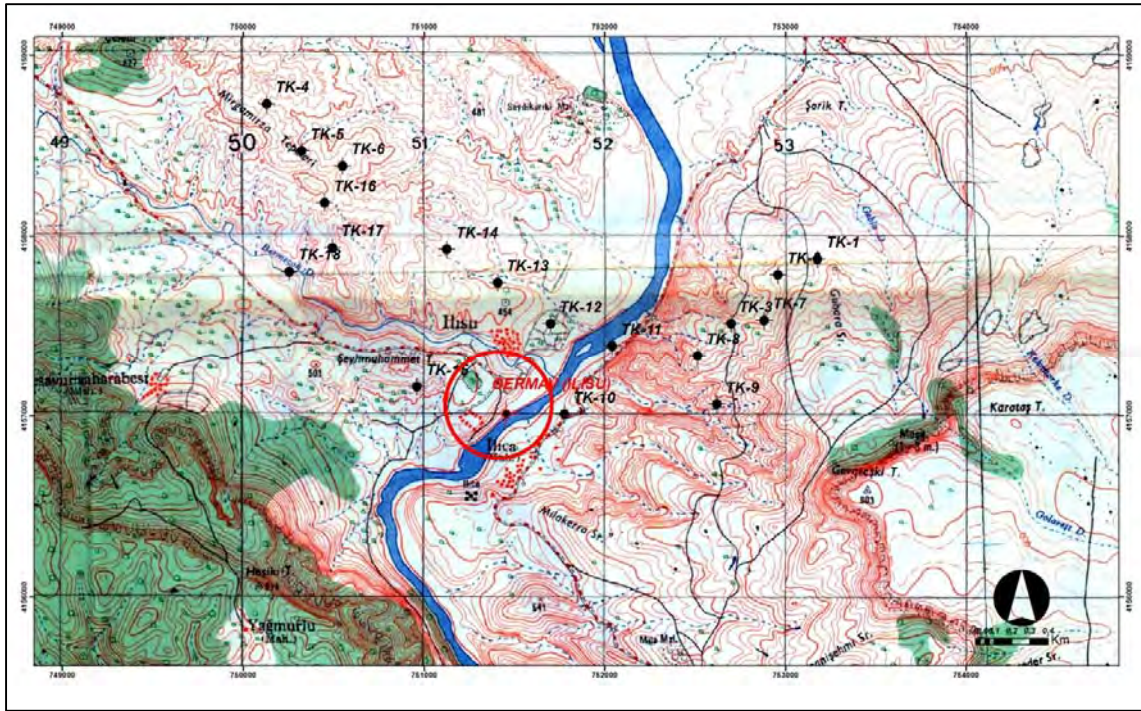
Germav (Ilisu) ve Hista (Belkis Ana) jeotermal sahalarında Nisan 2015 tarihinde yapılan arazi çalışmaları sırasında sıcaklığı 25 °C ile 62 °C arasında değişen bir çok sıcak su noktası gözlenmiştir (Tablo 13.2). Jeotermal alanda Hista (Belkis Ana) ve Germav (Ilisu) kaynakları dışında, DSİ tarafından Ilisu Barajı kretinin bulunduğu kesimde yapılan araştırma amaçlı kazı ve kuyularda sıcak su kaynaklarına rastlanmıştır ve bir dizi analiz yapılmıştır. Bununla birlikte

Hısta kaplıcasının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerine ilişkin 1964 yılında bir dizi analiz yapılmıştır (Özel, 2013). Bu verilere göre söz konusu kaynağın sıcaklığı 63 °C'tir. Ayrıca MTA tarafında 1995 yılında yapılan araştırmalara göre ise kaynağın debisinin 2 l/s olduğu belirtilmektedir.

Tablo 13.2: Germav ve Hısta Jeotermal alanında bulunan kaynakların sıcaklıkları ve debileri (DSİ, 2012)

Kaynak Adı		Sıcaklık (°C)	Debi(l/s)	Koordinatları		Kot ^(*)
				D	K	
Ammara Bahçeleri	Üst Havuz	43,5	0,3	486 462	4 158 014	431
	Alt Havuz	41,4	0,4	486 491	4 157 976	427
	Bataklık Drenajı	25	0,2			
Germav (İlisu) Kaynağı		56,6	1,5	486 320	4 154 712	408
Sağ Sahil Kaynağı		44	Ölçülmedi			
Hısta Kaynağı		62,5	3,5	486 116	4 154 241	432
Otel Eteği		25	Ölçülmedi	486 577	4 154 342	430
Dolusavak	1.Nokta	54	Ölçülmedi	485 628	4 154'608	398
	2.Nokta	54	Ölçülmedi	485 632	4 154'633	399
Kuyruksuyu Kazısı	1.Nokta	22,3	Ölçülmedi	486 199	4 155036	420
	2.Nokta	22,7	Ölçülmedi			

Jeotermal sahada jeotermal kaynak arama ve üretim amacıyla açılmış kuyu bulunmamaktadır. Ayrıca İlisu Barajı ve HES projesi termal kaynaklar izleme programı çerçevesinde, sığ derinliklerde açılan kuyularda yapılan sıcaklık ölçümleri, derinlere doğru sıcaklık artışını ve yoğunlaşmasını göstermesi bakımından önemli bilgiler sağlanmıştır. Alanda DSİ tarafından 2011 yılında 18 ve 2013 yılında 19 adet olmak üzere toplam 37 adet piezometre kuyuları açılmıştır (Şekil 13.12). Bu kuyularda DSİ tarafından 2011, 2013 ve 2014 yıllarının değişik tarihlerinde sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Kuyuların önemli bir bölümü baraj kretinde açılmıştır (Şekil 13.13). Ancak kuyulara ilişkin sondaj yöntemi, ekipman, delgi sırasında su kaybı ve su tablası ve sıcaklık ölçümleri metodolojisi ile ilgili herhangi bir bildirim veya gösterim bulunmamaktadır.



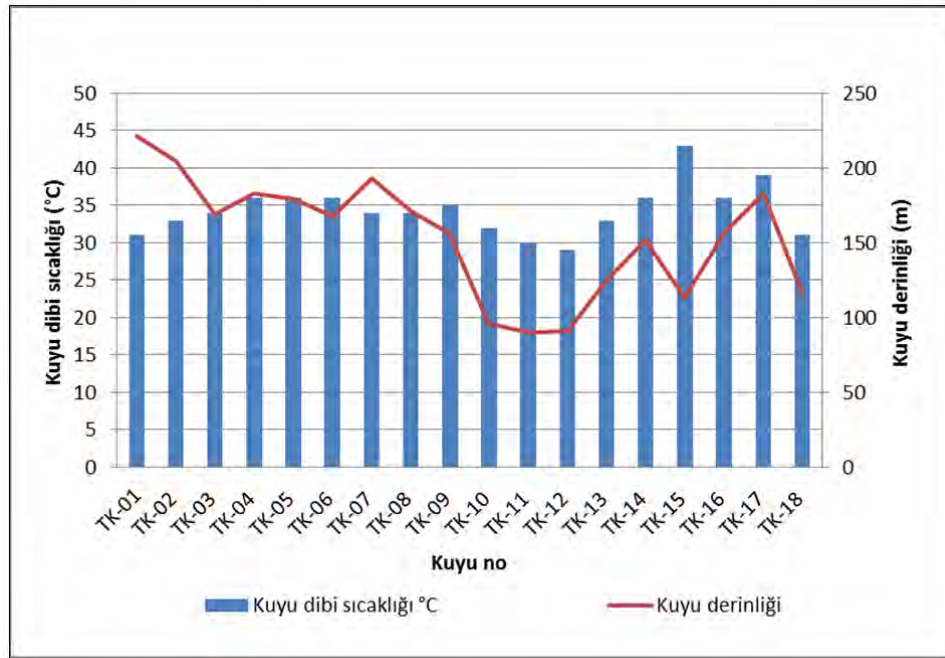
Şekil 13.12: DSİ tarafından 14.03.2013 tarihinde sıcaklık ölçüleri yapılan kuyuların yerleri



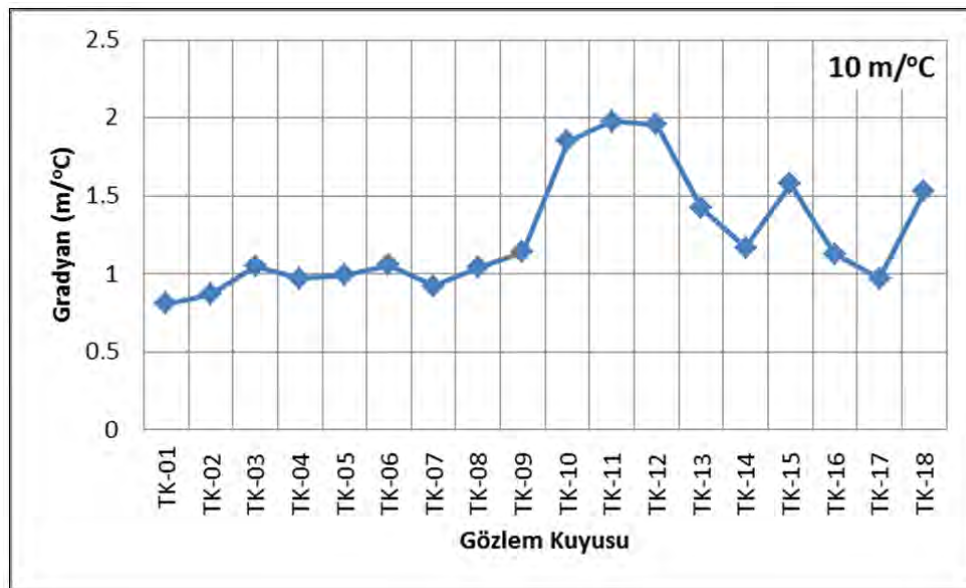
Şekil 13.13: Ilisu Barajı kretinden görünüm ve sıcak su çıkış noktası (DSİ, 2012).

DSİ tarafından Pz koduyla açılan ve derinlikleri 90-221 m arasında değişen piezometre kuyularının taban kotunda yapılan sıcaklık ölçümlerinde nehir sağ sahilindeki Pz-15 kuyusunda 43 °C, Pz-17 kuyusunda ise 39 °C sıcaklık ölçülmüştür. Diğer piezometrelerde elde edilen sıcaklık değerleri 29-37 °C arasındadır. Derinlere doğru ısı artışı belirlemek amacıyla kuyularda ölçülen taban sıcaklıkları kullanılarak derinlik-sıcaklık ilişkisine göre oluşturulan grafiklerde derinlik-sıcaklık çizgileri arasındaki en fazla fark, başka bir ifadeyle en yüksek

gradyan Pz-09, Pz-10, Pz-11, Pz-12, Pz-13, Pz-14, Pz-15 ve Pz-16 kuyularındadır (Şekil 13.14). Söz konusu bu kuyular DSİ tarafından daha sonra TK olarak kodlandırılmış ve gözlem kuyularına dönüştürülmüştür. Birkaç metre derinliklerdeki kayaç sıcaklığının, jeotermal alanın (Germav) yıllık ortalama sıcaklık değerlerine (17,8 °C) karşılık geldiği varsayılarak (DSİ, 2012) yapılan gradyan hesaplamasında 0,81-1,98 10 m/°C arasında sıcaklık gradyanları elde edilmiştir. Nehrin sol (doğu) sahilindeki Hısta kaynağı çevresinde yer alan TK-11 ise 1,98 10 m/°C ile en yüksek değere sahiptir (Şekil 13.15).



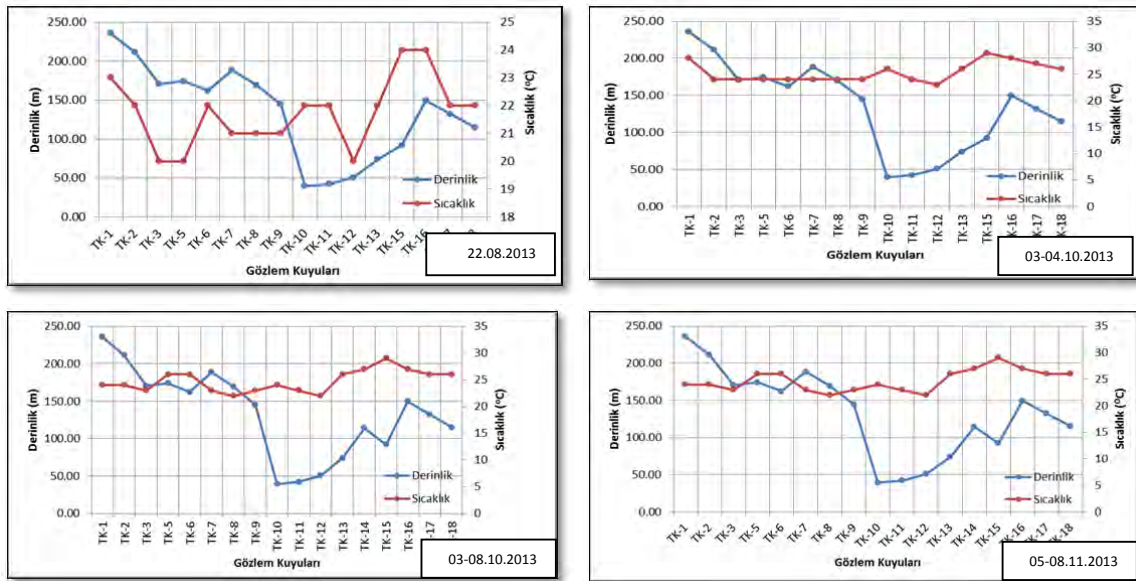
Şekil 13.14: DSİ kuyularının derinlik ve sıcaklık ilişkisi



Şekil 13.15: DSİ kuyularında gradyan değişimi

Derinlikleri 39,44-235,75 m arasında değişen TK kodlu kuyularda derinlik-sıcaklık ilişkisine göre oluşturulan grafiklerde ise sıcaklık ve derinlik çizgileri arasında en fazla farkın TK-10, TK-11, TK-12, TK-13, TK-14 ve TK-15 no'lu kuyularda olduğu görülmektedir (Şekil 13.16). Başka bir ifadeyle anlamlı gradyan artışı bu kuyulardadır. Elde edilen verilere göre inceleme alanında yüksek gradyanın ve sıcaklık yoğunlaşmasının kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı bir doğru üzerinde sıralanan aynı kuyularda görülmesi önemli bir gösterge olarak dikkat çekmektedir. Kuyu tabanına doğru sıcaklık artışının bu kuyuların yer aldığı alanla sınırlanması, bu alan içerisinde Dicle Nehri'nin her iki kenarındaki sıcak su kaynaklarının, nehri verevine kesen kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı çatlakları kullanarak yüzeye boşaldığına yorumlanır. Nitekim İlisu Barajı dolusavağındaki iki noktada (DSİ, 2012) sıcak su bu çatlaklardan yüzeyleir. Aynı zamanda Germav (İlisu) Kaynağı, Hısta Kaynağı (Belkıs Ana Kaplıca Kaynağı), Belkıs Ana Kaplıcaları sol sahil (Doğu) kaynaklarının sözü edilen tektonik hat boyunca dizilimleri ve Dicle Nehri'nin sol sahilinde yer alan Hısta Kaplıcası'ndan batıya doğru 4-5 noktada bir doğru boyunca sıcak suların çıkması bu düşüncüyü desteklemektedir. Genel görünümü ile bölgenin genel yapısına uyumlu olmayan D-B genel gidişli bir faya yorumlanan çıkışların, olasılıkla birbirinden bağımsız ve bölgenin genel tektonik yapısına uyumlu olan K-G yönlü açılma çatlakları üzerinde yer aldığı diğer bir yorum olarak söylenebilir. Bu yorum farkı, ters faylar üzerinde termal çıkışların beklenmediği varsayımı ile de desteklenmektedir. Bu farklılık çıkış kanalı olarak yorumlanan yapısal unsurun süreksizlik düzleminin eğim derecesi ve sürekliliği bakımından önem taşımaktadır. Şöyle ki açılma çatlakları ters faylardan farklı olarak düzlemleri, dik veya dike yakın ve doğrultu boyunca varlıkları ve devamlılıkları birkaç yüz metre veya kilometreyi geçmemektedir.

Kayaçların ısı iletkenliği, mineralojik bileşimi, gözenekliliği, geçirgenliği, su ve gazı doygunluğu, ısı akışı dağılımı, aktif tektonik ve yeraltı sıcak su dolaşimleri, gradyan değerini etkileyen faktörlerdir. Bu bağlamda, alanda ısı iletkenliği düşük kaya birimlerinin oluşturduğu örtü kaya özelliğindeki formasyon içerisinde açılan gözlem kuyularındaki jeotermal gradyan değerlerinin, derinlerde mevcut kaynak sıcaklığından daha yüksek ısıda akışkan bulmanın mümkün olduğunu göstermesi, kuyu bilgilerinden elde edilen diğer önemli bir sonuç olarak vurgulanması gereken bir husustur.

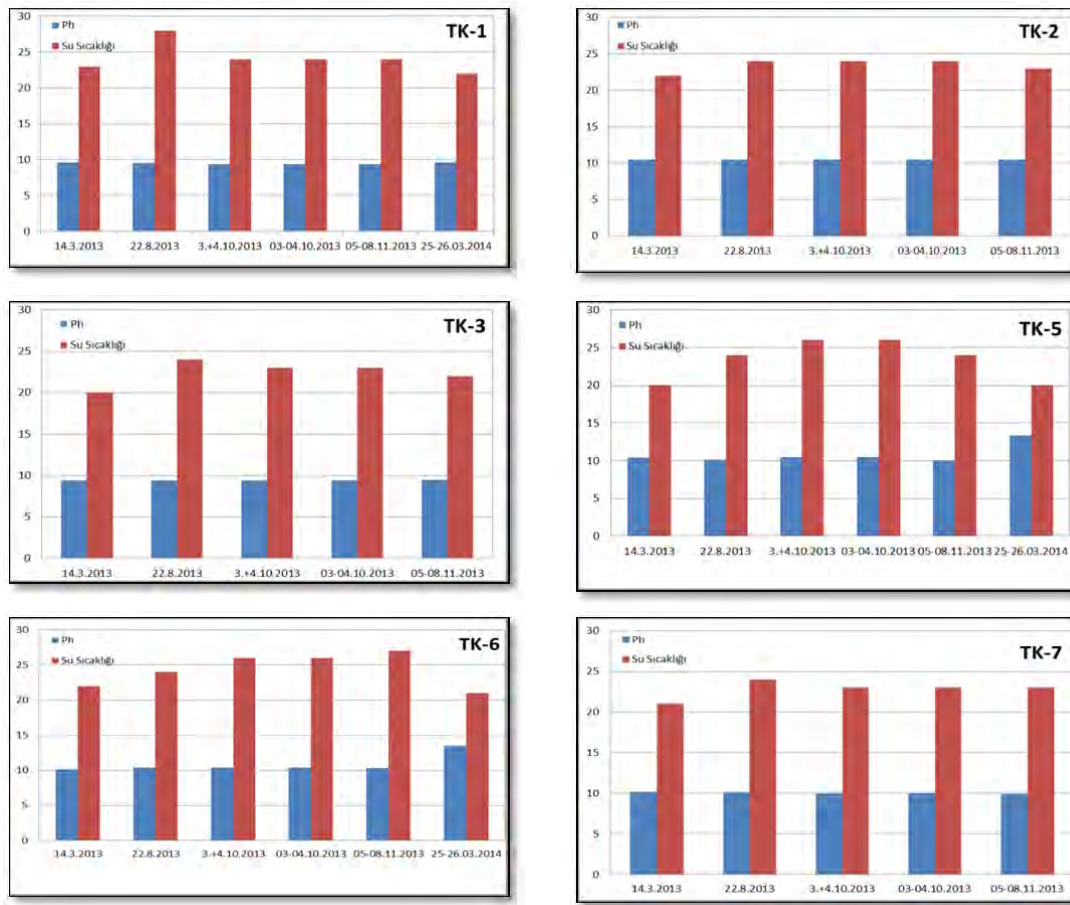


Şekil 13.16: DSİ tarafında gözlem kuyularında farklı zamanlarda ölçülen sıcaklık değerleri

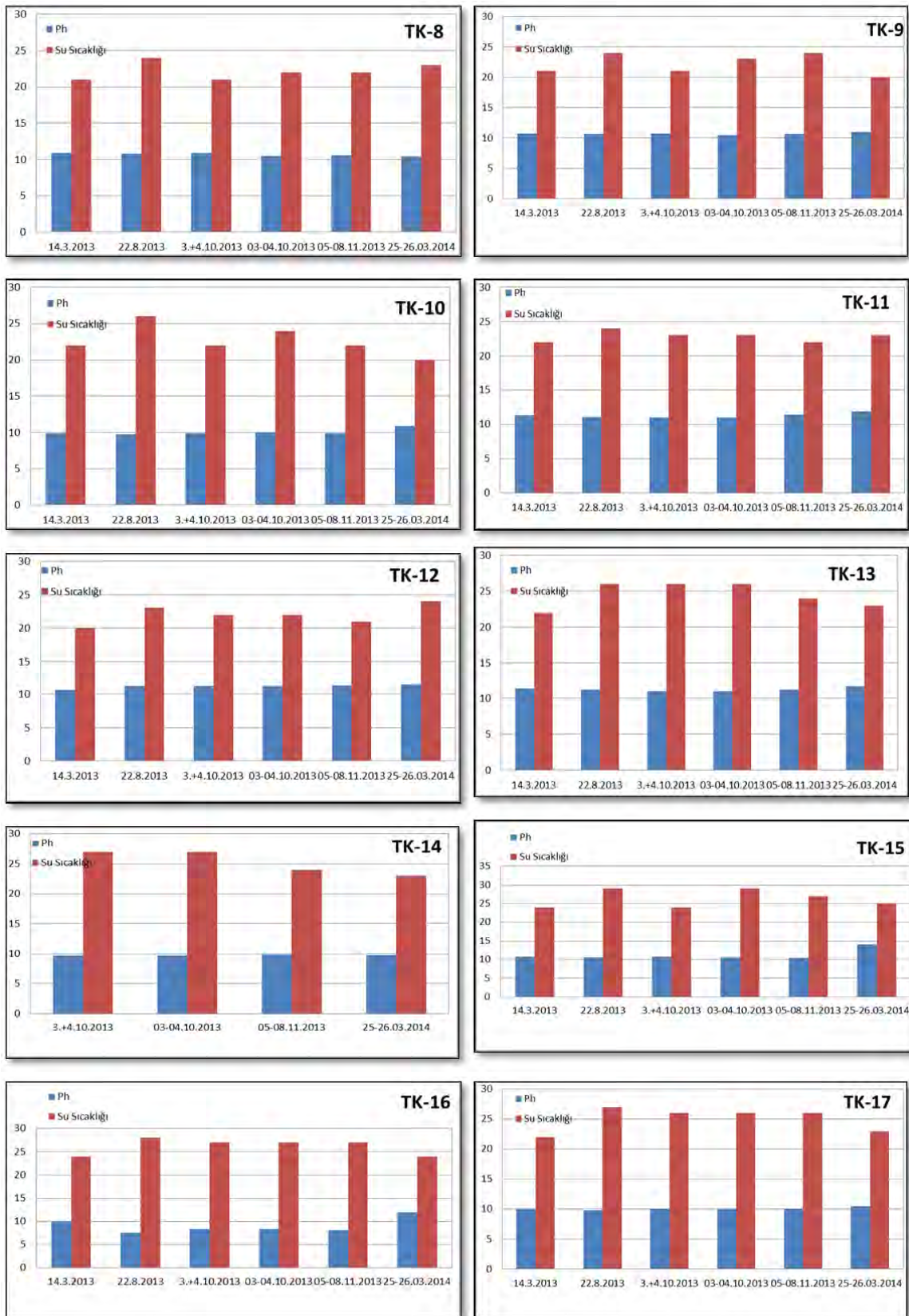
Elde edilen verilere göre derine doğru akışkanın daha yüksek sıcaklığa ulaşacağı öngörülmektedir. Bu düşünce doğrultusunda Germav Formasyonu'nun altındaki rezervuara ulaşmak gerekmektedir. Ancak Germav Formasyonu'nun altındaki çalışma alanında yüzeylenen bir birim bulunmamaktadır. Bölgesel bilgilere dayanarak, Germav Formasyonu'nun altında Mardin Grubu'na ait karbonatlı kayalara rastlanacağı söylenebilir. Bu öngörüden hareketle, büyük açılma çatlaklarının ana rezervuar olarak öngörüldüğü Mardin Grubu'na ait kireçtaşlarının kesişme noktaları daha yüksek sıcaklıkta akışkan elde etmek amacıyla hedef olarak seçilmelidir. Eldeki verilerle bu yorumu somutlaştırmak mümkün değildir. Öngörülen hedefe ulaşmak için ayrıntılı aletsel çalışmalar gerekmektedir.

13.1.3. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

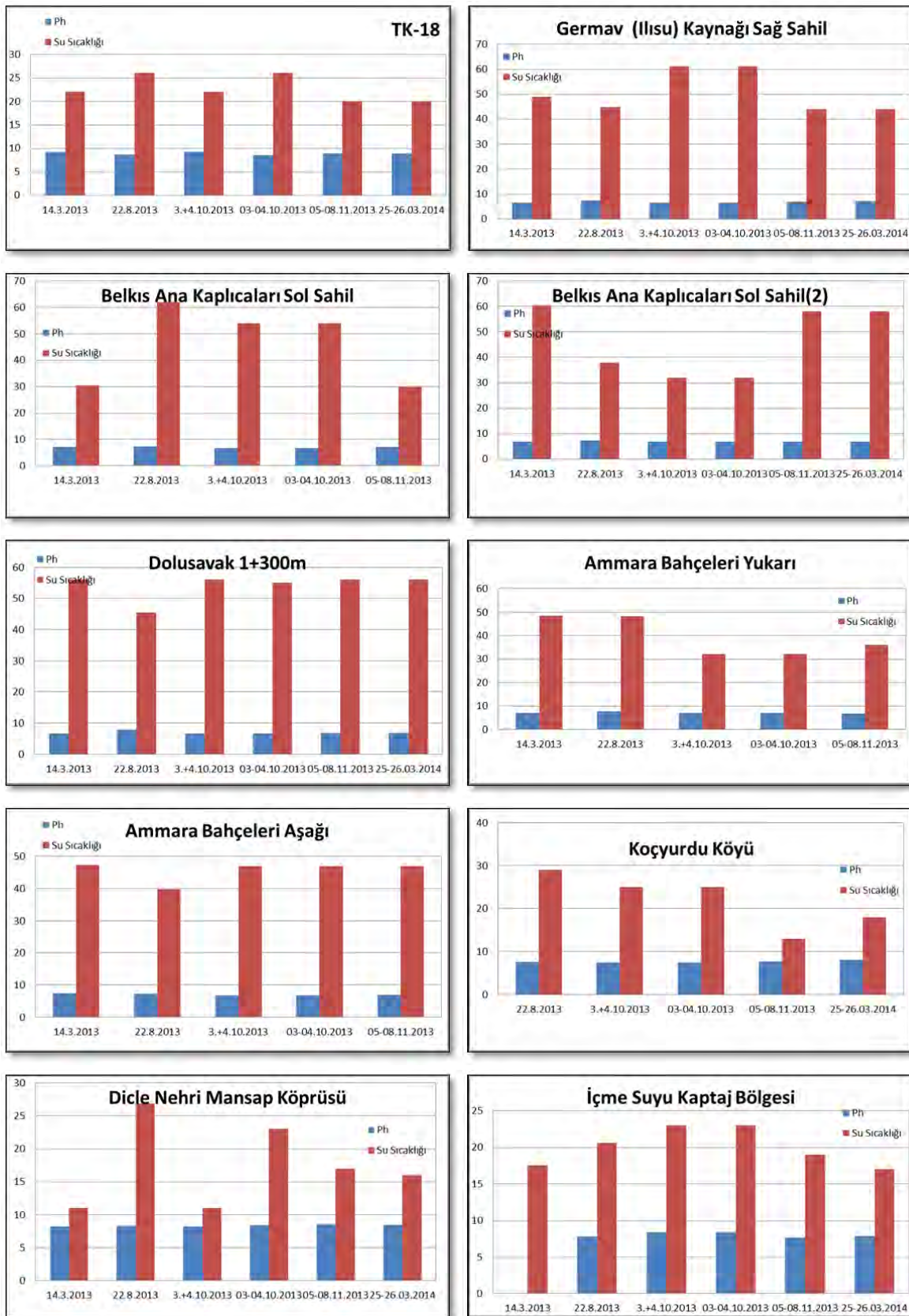
DSİ tarafından Germav ve Hısta jeotermal kaynağı ile açılan gözlem kuyularında 2011 yılından günümüze değin farklı zamanlarda suların fiziksel, kimyasal ve izotopik özelliklerine ilişkin bir dizi çalışma yapılmıştır. Bu alanlardaki hidrojeokimyasal çalışmaların başlıca nedeni sıcak suyun barajın kretine olan etkisi ve İlisu Barajı'nın, mansabında bulunan sıcak su (Germav ve Hısta kaynakları) kaynaklarına etkisinin irdelenmesidir. DSİ tarafından yapılan çalışmalara göre İlisu Barajı ve çevresinde birçok sıcak su kaynağı bulunmuştur. Bu kaynakların yüzey sıcaklıkları 11-62 °C arasında değişmektedir (Şekil 13.17). Düşük olarak ölçülen sıcaklıklar yüzeysel su kaynaklarından ve yağışlardan etkilenmiştir. Kurak dönemde düşük sıcaklıklar 20 °C üzerine çıkmıştır. Bu su kaynakların önemli bir kısmının pH'ları oldukça yüksek olup, bazik karakterdedir.



Şekil 13.17: İlisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri



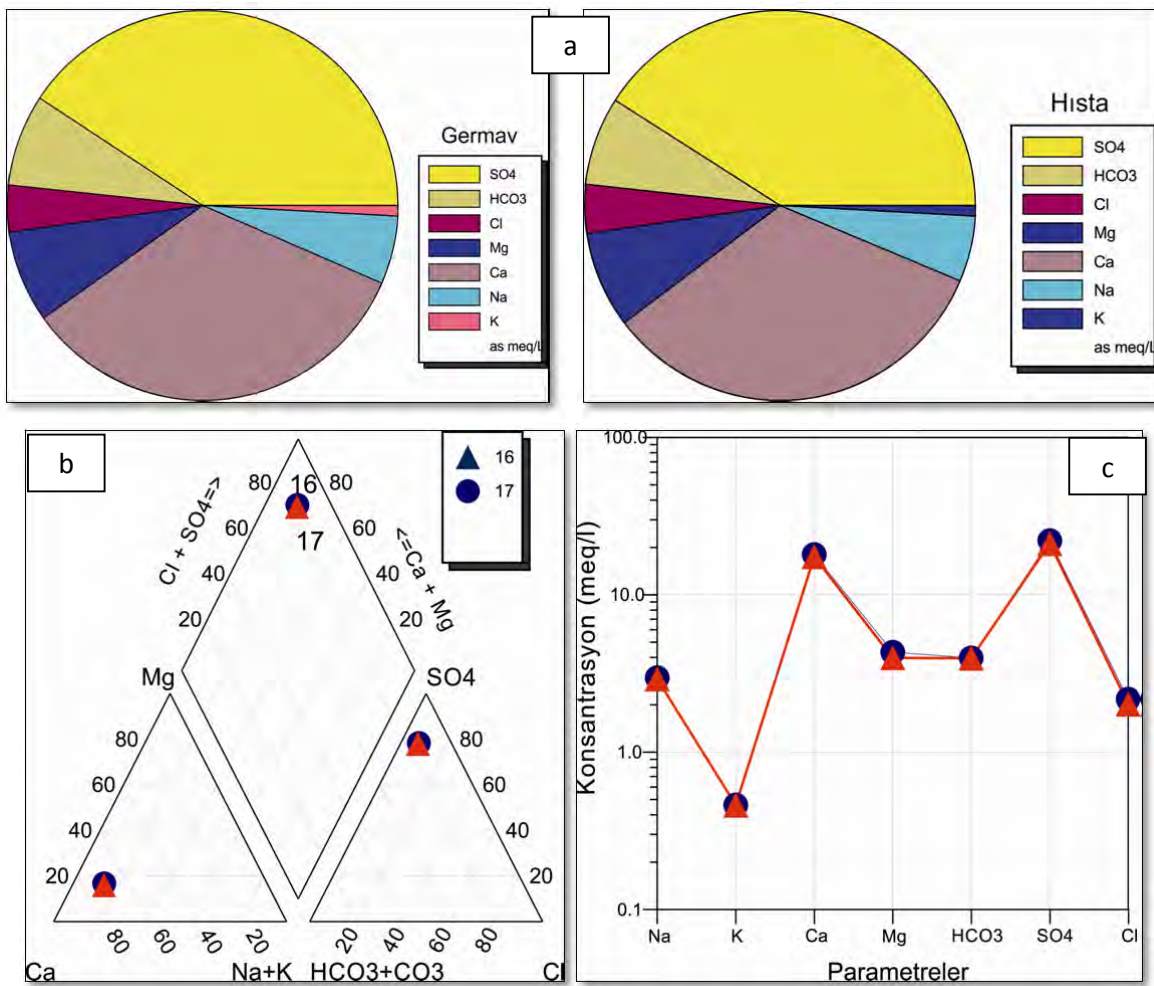
Şekil 13.17: Ilisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri (devamı)



Şekil 13.17: Ilisu Barajı etrafındaki su kaynaklarının sıcaklık ve pH değerleri (devamı)

Bu çalışma kapsamında da Germav ve Hista kaynaklarının özelliğini belirlemek amacı ile bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Elde edilen verilere göre jeotermal akışkanda görülen başlıca katyon Kalsiyum (Ca^{2+}) dur. Bunu sırasıyla, genelde magnezyum (Mg^{2+}) ve sodyum (Na^+) takip eder. Anyonlardan ise sülfat (SO_4^-) en baskın gözlenen anyon olup bunu bikarbonat (HCO_3^-) izler (Şekil 13.18a).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak inceleme alanındaki akışkan kalsiyum sülfatça zengindir ve Ca-SO_4 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 13.18b ve c). Germav ve Hista kaynakları aynı kökenlidir.



Şekil 13.18: Germav ve Hista akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

13.1.3.1. Ağır Metaller

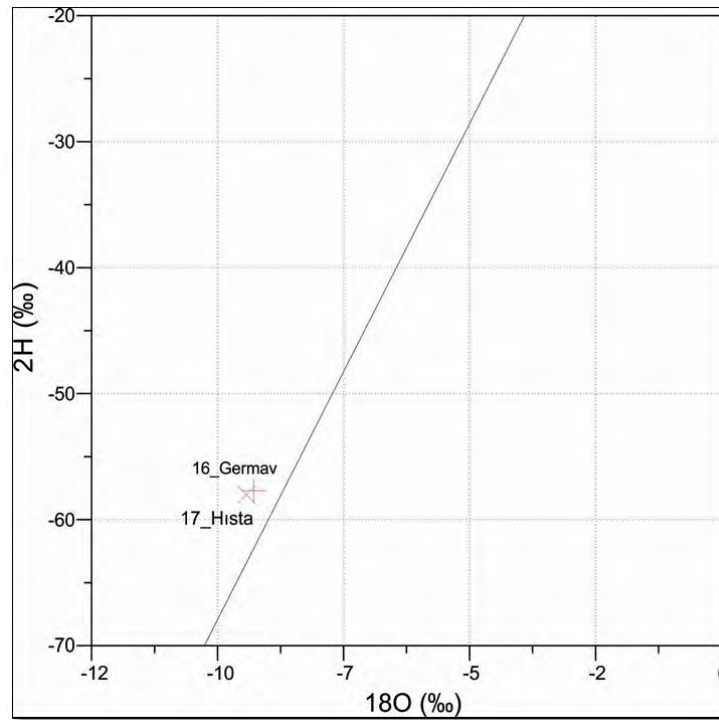
Çalışma alanındaki akışkanın ağır metal içerikleri yapılan analizler ile belirlenmiştir (Tablo 13.3). Nisan 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre alandaki akışkanda yüksek konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Söz konusu akışkanda ölçülen değerler limitlerin üzerinde çıktığı için ICP-MS cihazı ile duyarlı bir şekilde ölçülememiştir.

Tablo 13.3: Germav ve Hista akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Germav (ppb)	Hista (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Germav (ppb)	Hista (ppb)	İTASHY (ppb)
Ag	<100	<100		Nb	*	*	
Al	<600	<600	200	Ni	<300	<300	20
As	<3000	<3000	10	P	<4000	<4000	
Au	<500	<500		Pb	<4000	<4000	10
B	<400	<400	1000	Pd	*	*	
Ba	<80	<80		Pt	*	*	
Be	*	*		Rb	*	*	
Bi	<3000	<3000		Re	*	*	
Br	*	*		Rh	*	*	
Cd	<700	<700		Ru	*	*	
Cl	*	*		S	515	860	
Co	<300	<300		Sb	<2000	<2000	5
Cr	<300	<300	50	Sc	*	*	
Cs	*	*		Se	*	*	10
Cu	<80	<80		Si	*	*	
Fe	<10000	<10000	200	Sn	*	*	
Ga	*	*		Sr	7442	8144	
Ge	*	*		Ta	*	*	
Hf	*	*		Te	*	*	
Hg	*	*		Th	<500	<500	
In	*	*		Ti	<100	<100	
Li	<1000	<1000		Tl	*	*	
Mn	<50	<50	50	U	<3000	<3000	
Mo	<300	<300		V	<200	<200	
Zn	<300	<300		W	<2000	<2000	

13.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

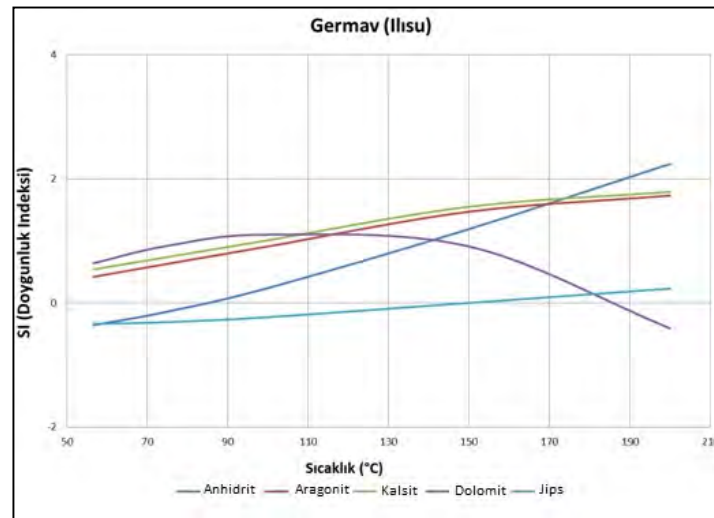
Germav ve Hista jeotermal sistemleri içerisinde yapılan izotop analizleri Şekil 13.19'de gösterilmiştir. İnceleme sahasındaki akışkanın trityum değerleri TU=0, 5'den küçük olup suların en az 50 yıllık yeraltı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -8,91 ‰ ve -57,70 ‰ (Germav) ve -9,05 ‰ - -58,03 ‰ (Hista) arasında değişmektedir. Bu verilere göre sözkonusu iki kaynakta aynı kökenlidir. $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramında her iki kaynakta Dünya meteorik su doğrusunun üzerinde yer almaktadır. Bu veriler alandaki kaynakların meteorik kökenli olduğunu göstermektedir.



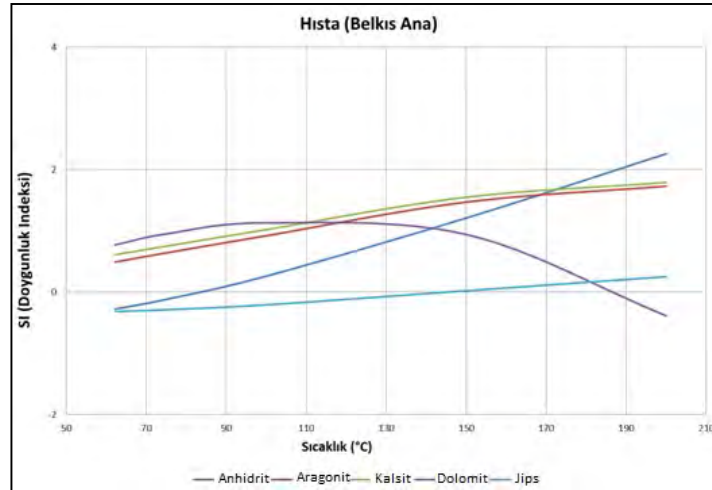
Şekil 13.19: Germav ve Hista jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ grafiği

13.1.4. Doymuluk İndeksleri

Germav (İlisu) ve Hista (Belkıs Ana) jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 13.20 ve 13.21). Buna göre her iki kaynakta anhidrit, kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması görülebilir. 170 °C'nin üzerinde ise jips kabuklaşması görülebilir.



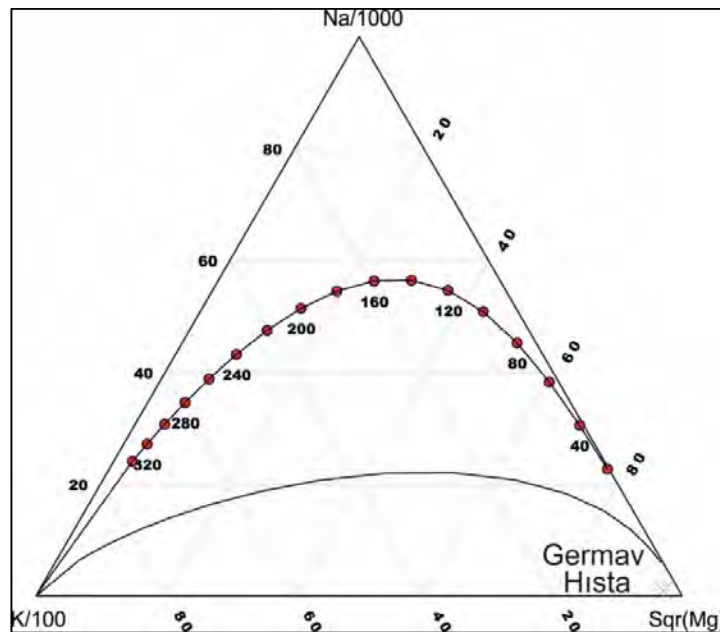
Şekil 31.20: Germav jeotermal kaynağı Doymuluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi



Şekil 13.21: Hista jeotermal kaynağı Doymuluk İndeksi (SI) - Sıcaklık (T) ilişkisi

13.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Kullanılan katyon jeotermometreleri çok yüksek sıcaklıklar verdiği için bu sahadaki kaynakların sıcaklıklarını doğru yansıtamadığı gerekçesi ile kullanılmamıştır. Giggenbach verilerine göre alandaki kaynaklar doymun olmayan su grubuna girmektedir (Şekil 13.22).



Şekil 13.22: Germav ve Hista jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

13.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Sahada jeotermal kaynak arama/araştırma tekniğine uygun bir çalışma yapılmamıştır. Genel jeoloji amaçlı etütlerdeki jeoloji bilgilerine göre, stratigrafik dizilimde çeşitli kaya birimlerinin oluşturduğu bir istif gözlenir. Bu istifte yer alan kıltaşı ve marnlardan oluşan kaya birimleri geçirimsiz oluşlarından dolayı örtü kaya özelliği taşırlar. Sahada, Üst Kretase birimlerin yüzeylendiği alan ile güneydeki Eosenin kompleks serisi arasında Dicle Nehri'ni kesen kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı Ilisu fayı bulunur. Bu fayın kuzeyinde Germav (Ilisu) Kaynağı, Hısta (Belkıs Ana) Kaynağı ve Ammara Bahçeleri kaynaklarına ilaveten baraj çalışmaları sırasında belirlenen kaynaklarla birlikte 9 adet sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Alanda arama ve üretime dönük açılmış kuyu yoktur. Doğal boşalimler halinde yüzeyde bulunan kaynakların debisi düşüktür. Bu durum kaynakların yüzeye çıkış yolunda geçtiği formasyonların kaya türü, kayaçların altere olmasıyla fiziksel özelliklerinin değişmesi sonucu geçirgenlik özelliğinin azalması, akışkanın basıncı ve kullandığı kanalı oluşturan tektonik mekanizmanın şekliyle ilişkilidir. Kaynakların yer aldığı alanda değişik kaya birimlerinin oluşturduğu kalın bir istif bulunmakta, bu istifte yer alan Germav Formasyonu'nun killi ve marnlı düzeyleri, altındaki rezervuarın ısısını koruyacak iyi bir örtü kaya özelliğindedir. Faylar nedeniyle hasar görmüş, ikincil geçirimsizlik kazanmış olan bol çatlaklı ve kırıklı bu tür kayalar jeotermal akışkan üretimi için ideal litolojilerdir. Bu bağlamda ana fayın kuzeyinde yer alan ve kaynakların yüzeye çıkmasına aracılık eden açılma çatlakları hedeflenerek, bu kaya birimi içerisinde açılacak kuyularda mevcut sıcaklıktan daha yüksek sıcaklık ve debide akışkan üretimi sağlamak mümkündür.

Alanda yer alan kaynak sıcaklıkları ve açılan sığ kuyulardaki sıcaklık değerleri önemli bir potansiyel varlığının göstergeleridir. Ancak alanın potansiyel öngörüsünde, Dicle Nehri kıyısında yer alan kaynakların, yeraltı suyunun soğutucu etkisinde kaldığı göz ardı edilmemelidir. Dolayısıyla tamamen korumasız biçimde yüzeye doğru yükselen akışkanın rezervuardaki sıcaklığı, kaynaklarda ölçülenden çok daha yüksek olmalıdır. Jeoloji bilgileriyle potansiyel alan sınırları belirlenen sahadaki rezervuarın yayılımı ve üretim yeteneği, kapsamlı bir geliştirme çalışmasında yapılacak aletsel ölçümler sonucunda elde edilecek verilerin birleşik değerlendirilmesiyle, seçilecek lokasyonlarda açılacak yeni kuyularla belirlenebilecektir. Kuyu bilgilerinin de eklenmesiyle oluşturulacak rezervuar modeli sahanın beslenmesi ve buna bağlı olarak üretilen akışkan miktarı hakkında bilgi verecektir. Mevcut sıcak su kaynaklarının yok olmasını sağlayacak miktarda akışkan üretilmesine izin verilmemesi, ısı potansiyelin buna göre belirlenmesi önemlidir.

Barajda su tutulması sonucunda oluşacak basıncın kaynaklar üzerindeki olumsuz etkileri de göz ardı edilmemelidir. Ayrıca üretime yönelik hedeflerde barajın bitiminde su altında kalabilecek alanların dikkate alınması gerekmektedir.

13.1.7. Yatırım Olanakları

Hısta kaynağı günümüzde termal amaçlı olarak kullanılmaktadır (Şekil 13.23). Jeotermal sahada erkeklere ve kadınlara ait olan iki adet hamam mevcuttur. Dicle Nehri seviyesinden 30–40 m yüksekteki kaynak kaptajı iki hamam arasındadır. Üç kaynaktan birleşerek bu kaptaja gelen sıcak su, hamamlara ve yeni yapılan havuza verilmektedir.



Şekil 13.23: Hısta Jeotermal kaynağından yararlanan konutlar

Şırnak Valiliği'nin, bölge vatandaşlarının yıllardır sağlıksız bir ortamda kullandığı Güçlükonak ilçesinde bulunan Hısta kaplıcasını turizme kazandırmak için hizmete açtığı modern bir tesisle, kaplıca yeniden hayat bulmuştur. Hizmete açılan tesis sayesinde konaklama, yeme-içme sorunu karşılanmıştır. Kaplıcada 75 oda (12 suit, 1 özel), 200 yatak bulunmaktadır. Kadınlar ve erkekler için ayrı ayrı olmak üzere 2 jimnastik salonu, yüzme havuzları, 2 sauna, 2 buhar odası, 2 Türk Hamamı, cafe ve restaurant kaplıcadan yararlananların ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Doğal çıkış halinde yüzeye boşalan 57 °C'a yaklaşan sıcaklıktaki Germav (Ilisu) kaynağından yararlanma ise günümüzde ilkel şekilde kaplıca uygulamasıyla sınırlıdır (Şekil 13.24).



Şekil 13.24: Germav Kaplıcasından görünüm

Alanda Dicle Nehri'nin kıyısında yüze çıkıp ve kaplıcalarda yararlanılan kaynaklar, bu nehrin soğutucu etkisi altındadır. Kaynaklar, sahanın potansiyeline ilişkin önemli göstergeler olmakla birlikte sahada kuyu açılmadığı için yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemektedir. Alanda gözlenen jeotermal parametreler, jeolojik olarak belirlenen potansiyel alanın büyüklüğü ve açılacak kuyular sonucunda ulaşılabilecek kapasite öngörülerini gibi etmenler, bu kaynağa dayalı ekonomik bir yatırım olanağı sunmaktadır. Alanın yer aldığı bölgenin coğrafik ve iklim koşulları, jeotermal kaynaktan çok çeşitli ve entegre yararlanma olanakları yaratmaktadır. Termal turizm ve rekreasyon alanı olarak değerlendirilebilecek saha Mardin, Şırnak ile çevre iller ve Kuzey Irak, İran gibi komşu ülkelere hizmet verebilir. Açılacak kuyularda en azından 63 °C'ye ulaşan kaynak sıcaklığına ulaşılsa bile bu sıcaklık seracılık, kurutma, balıkçılık vb. yeni uygulamalar bölgeye ekonomik girdi sağlayabilir, iş olanakları yaratır.

13.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Sahada değişik amaçlarla gerçekleştirilmiş jeoloji etütleri, açılan sığ kuyular, bu proje kapsamında yapılan jeolojik gözlemler, kaynak başı ve laboratuvar analizleri potansiyel öngörüsünde kullanılan bilgilerdir. Başta kaynak sıcaklıkları olmak üzere önemli bir potansiyelin varlığına yorumlanan göstergeler, sahada ileri aşama çalışmalarını özendirir ve gerektiren niteliktedir. Bu bağlamda sahanın kapasitesinin ortaya çıkarılması ve yatırım seçeneklerinin belirlenmesi için aşağıda tanımlanan çalışmaların yapılması son derece önemlidir.

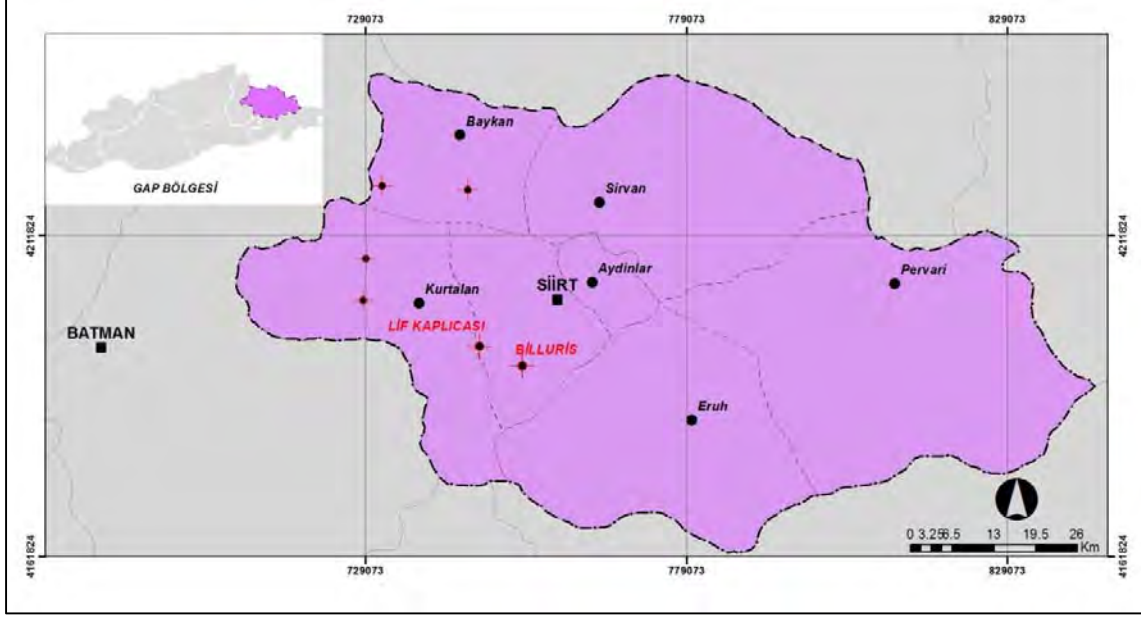
- Jeotermal kaynak araştırmalarında uygulanan yöntemlerden biri de, jeoloji çalışmaları sonucu elde edilen verilerin desteklenmesi, değerlendirilmesi ve yeraltı bilgi eksikliğini giderilmesi amacıyla yapılan jeofizik etütlerdir. Jeofizik rezistivite, manyetotellürik ve doğal potansiyel ölçümlerinde elde edilen veriler jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek, iletkenlik değerlerinin jeotermal kaynak oluşumu bakımından yorumlanmasında, rezervuar kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde, jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında kullanılır. Aynı zamanda bu sonuçlar, ısı kaynağı olabilecek sokulumların derinliği ve geometrisinin saptanmasında, jeolojik olarak var olması gereken ancak yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde önemli katkı sağlamaktadır. Sahada jeofizik etüt yapılmamıştır. Önerilen Düşey Elektrik Sondaj (DES) şeklinde uygulanacak jeofizik rezistivite çalışmasında, sahadaki jeolojik birimlerin ayırtlanması, sıcaklık, tuzluluk, gözeneklilik gibi etmenlerin jeotermal aktiviteyle ilişkilendirilebilirliği yönüyle yorumlanması amaçlanmaktadır. Yine bu yöntemle temel kayanın konumu, örtü kaya kalınlığı, fayların ve rezervuar kayanın belirlenmesi, olası gömülü fayların konumunu belirlemek amacıyla SP ölçümleri, çalışmanın diğer önemli hedefidir. Sahada ısı kaynağı ile ilgili bilgiler bölgesel ölçeklidir. Yapılacak MT çalışmasında elde edilecek bulgular ısı kaynağına ilişkin bilgileri saha bazında berraklaştırabilecektir. Bunun yanında jeofizik çalışmalarında toplanan tüm veriler birlikte değerlendirilerek, iletkenlik değerlerinin jeotermal kaynak oluşumu bakımından yorumlanmasında, derindeki rezervuar karakterindeki kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde kullanılabilir. Yine bu bilgiler, jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında, ısı kaynağı ile ilgili bilgilerin elde edilmesinde, yüzeyde izleri

görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

- Akışkanın yüze ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı ölçümleri ile sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.
- Alanda sığ kuyuların dışında arama ve üretim amaçlı açılmış kuyu bulunmamaktadır. Sığ kuyular derinlikleri itibariyle rezervuara ulaşmadığından, derine doğru sıcaklık artışını göstermesi dışında, potansiyel alanı karakterize etmemektedir. Sahanın gerçek üretim kapasitesinin ortaya çıkarılarak sürdürülebilir üretim ve buna dayalı yatırım planlaması yapılması için yukarıdaki başlıklarda tanımlanan etütlerin yönlendirmesiyle, ilk etapta, olumlu sonuç alınması durumunda üretim kuyusuna dönüştürülen araştırma kuyuları önerilir. Daha sonra, önceki çalışmalar ve önerilen etüt bilgilerinin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen lokasyonlarda denenecek kuyu verilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması önerilmektedir. Lokasyonları ve derinlikleri bu etütler sonunda belirlenecek kuyularla belirsizliklerin giderilmesi, sahanın üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması mümkün olabilecektir. Sondaj çalışmalarının olumlu olması durumunda testler yapılabilir ve yeni kuyular programlanabilir.

14. SİİRT İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

Siirt ili jeotermal kaynaklar açısından zengin olmasına rağmen, bu kaynaklara yönelik çalışmalar son derece azdır. Siirt şehir merkezinin güney ve güneybatısında, sıcaklıkları 30,6-34,5 °C arasında değişen iki adet jeotermal kaynak (Billuris ve Lif) bulunmaktadır (Şekil 14.1). Bu kaynaklar yöre halkı tarafından kullanılmaktadır (Şekil 14.2 ve Şekil 14.3). Bunun dışında alanda jeotermal amaçlı MTA tarafından açılmış bir adet kuyu ve petrol amaçlı TPAO tarafından açılmış kuyular bulunmaktadır. Hem Billuris hem de Lif kaplıcasındaki gerek sıcak su kaynakları ve gerekse mevcut kuyunun üretim değerleri bu alanda önemli bir jeotermal potansiyel varlığına işaret etmektedir.



Şekil 14.1: Siirt ili jeotermal sahaları ve TPAO kuyularının bulunduğu kesimler

Billuris kaplıcası ve güney batısındaki Lif kaplıcası, Siirt şehir merkezinin yaklaşık 17 km güneyinde bulunan 1/25.000 ölçekli Mardin M 47-b₂, b₃ paftasında yer alır. Alana adını veren Billuris jeotermal sahasındaki kaynaklar, Sağlarca köyünün yaklaşık 1 km kuzeybatısında ve Botan Çayı kenarındadır (Şekil 14.4). İyi bir ulaşım ağına sahip olan sıcak su kaynağına, yaklaşık 17 km'lik Siirt-Eruh asphalt karayolu ve bu yoldan itibaren 1 km stabilize yol ile ulaşılmaktadır. Lif kaplıcasındaki kaynaklara ulaşım, köy yolları ile sağlanmaktadır (Şekil 14.3 - Şekil 14.4).

Bölgedeki bu önemli jeotermal kaynaklar, yapımı süren Ilisu Barajı'nın göl alanı içerisinde kalacaktır (Şekil 14.5). Ancak çalışmanın yapıldığı sürede barajın bitmemiş olması nedeniyle her iki alanın jeotermal kriterlerini belirleme açısından sağlıklı arazi çalışmaları yapılmıştır. Bu nedenle, var olan duruma göre sahaların jeotermal özellikleri irdelenecektir.

14.1. BİLLURİS (SAĞLARCA)-LİF (KIŞLACIK) JEOTERMAL SAHASI

14.1.1. İnceleme Sahasının Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

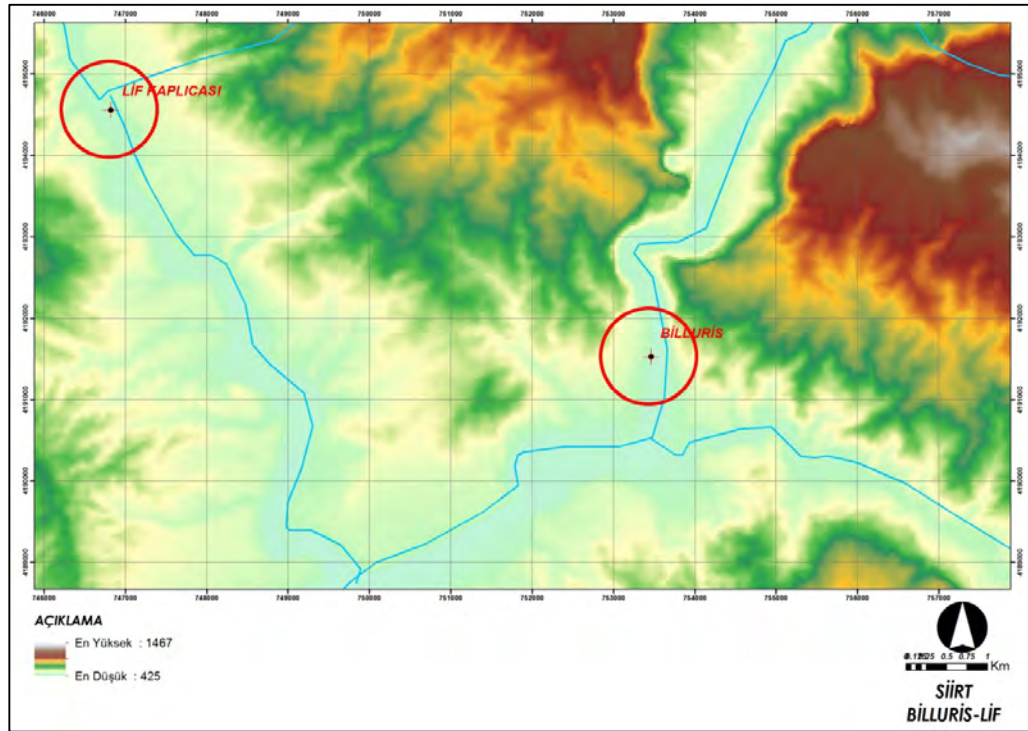
İnceleme sahası ve çevresinde, Tersiyer yaşlı kaya toplulukları ve onları kesen veya örten volkanikler ile Kuvaterner yaşlı alüvyonlar yüzlek verir (Şekil 14.6). Tabanda Üst Kretase - Alt Paleosen yaşlı yamaç çökel fasiyesindeki şeyl, marn, kumtaşı, çamurtaşı, miltaşı ardalanmasından oluşan Germav Formasyonu bulunmaktadır (Şekil 14.7). Birimi, Paleosen-Alt Eosen yaşlı karasal fasiyeste marn, kumtaşı, konglomera ardalanmasından oluşan ve yer yer kireçtaşı ara bantı içeren Gerçüş Formasyonu üzerler (Şekil 14.8). Eosen-Oligosen yaşlı self çökel fasiyesindeki kireçtaşı içeren Hoya Formasyonu, Gerçüş Formasyonu'nun üstünde uyumlu olarak yer alır. Sahada bölgenin diğer alanlarından farklı olarak Oligosen yaşlı evaporitik çökel kayalarla temsil edilen Germik Formasyonu izlenmektedir. Alanda Üst Miyosen yaşlı kumtaşı, çakıtaşı, çamurtaşı, marn ardalanmasından oluşan Şelmo Formasyonu ise Hoya Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Bütün bu birimleri ise Kuvaterner yaşlı iyi-orta derecede tutturulmuş eski alüvyon, tutturulmamış kil, kum, çakıllardan oluşan güncel alüvyon ve kaynakların çevresinde sıcak suyun bıraktığı travertenler örter. Bölgedeki diğer bir farklılık, genç bazaltik aktivitenin mostralarının görülmemesidir.



Şekil 14.2: Billuris kaplıcası ve çevresinden görünüm



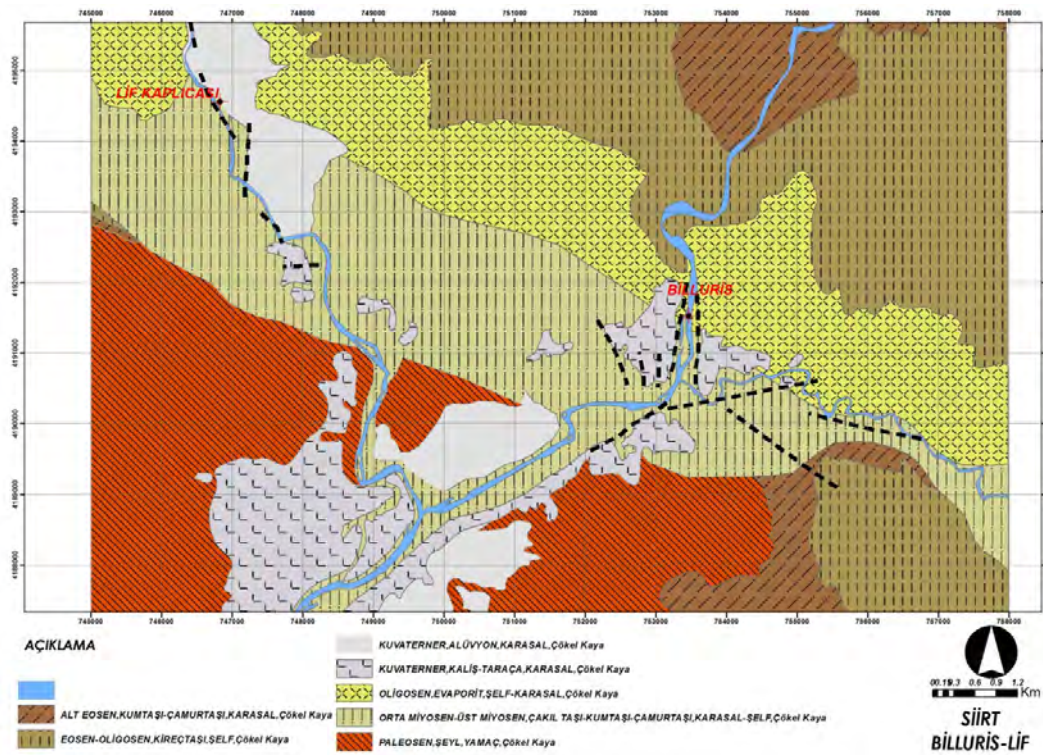
Şekil 14.3: Lif kaplıcası ve çevresinden görünüm



Şekil 14.4: Botan Çayı kenarında bulunan Billuris ve Reşan Çayı'nda bulunan Lif kaynaklarının bulunduğu kesimler



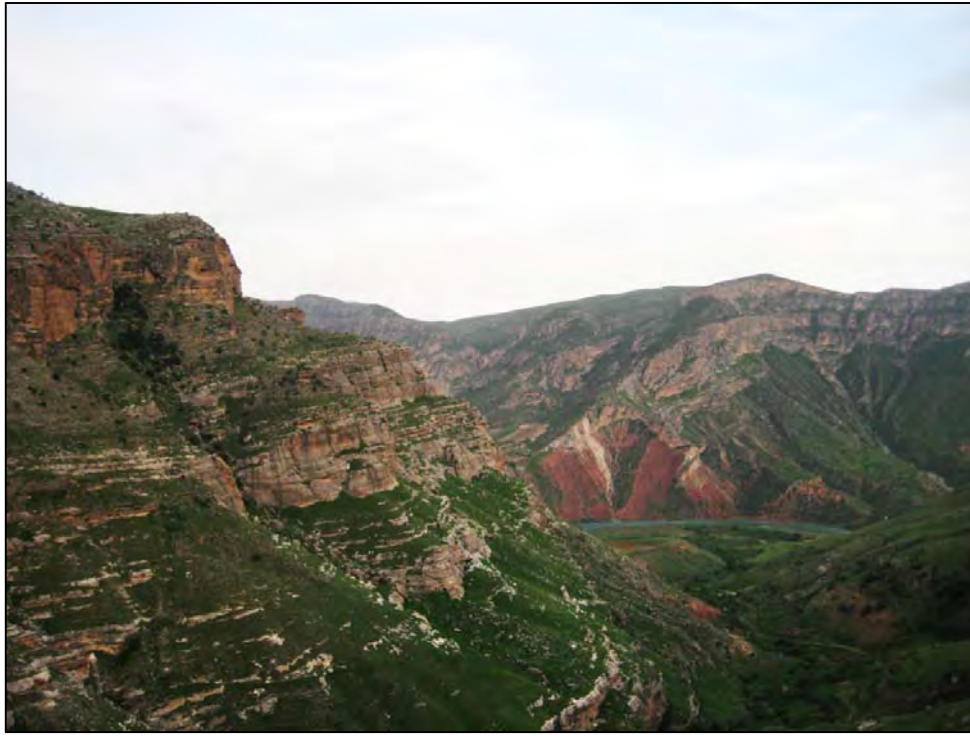
Şekil 14.5: Botan Çayı üzerinde yer alan Ilisu Barajı'nın kreti ve membasından görünümeler



Şekil 14.6: İnceleme sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)



Şekil 14.7: İnceleme alanında yüzlek veren Germav Formasyonu'ndan görünüm



Şekil 14.8: İnceleme alanında yüzlek veren Gercüş Formasyonu'ndan görünüm

Şekil 14.6'da görüldüğü gibi, çalışılan sahada genel gidişi D-B veya KB-GD doğrultulu olan kıvrımlar egemendir. Birimler arasındaki dokanak ilişkilerinin ilksel şekilleri, korunmuş biçimde arazide gözlenebilmektedir. Aynı haritada görüldüğü üzere KB-GD genel doğrultulu iki ana fay, bölgedeki birimleri boydan boya kesmektedir. Her ne kadar haritada bu fayların karakterleri hakkında yeterli bilgi bulunmasa da bu fayların çizgisel oluşu, birimlerin karşı bloklarında karşılığının olmaması, yer yer akarsu yataklarını ötelemiş görüntü vermeleri doğrultu atımlı olmalarına yorumlanmıştır. Güneyde olanın dokanak ilişkileri net olması nedeniyle kesin fay olarak, kuzeyde olanı ise yeterli veri toplanamadığı için olası fay olarak haritalanmıştır. Bu ana yapıların yanında arazi gözlemlerinde ortaya çıkarılan K-G, KB-GD ve KD-GB çapraz kırık sistemlerinin (makaslama kırıklarının) etkin olarak bölgede yer aldığı görülmüştür. Bu çapraz kırıkların arazide gözlenen şekliyle sınırlı boyutlarda olduğu ve açılma

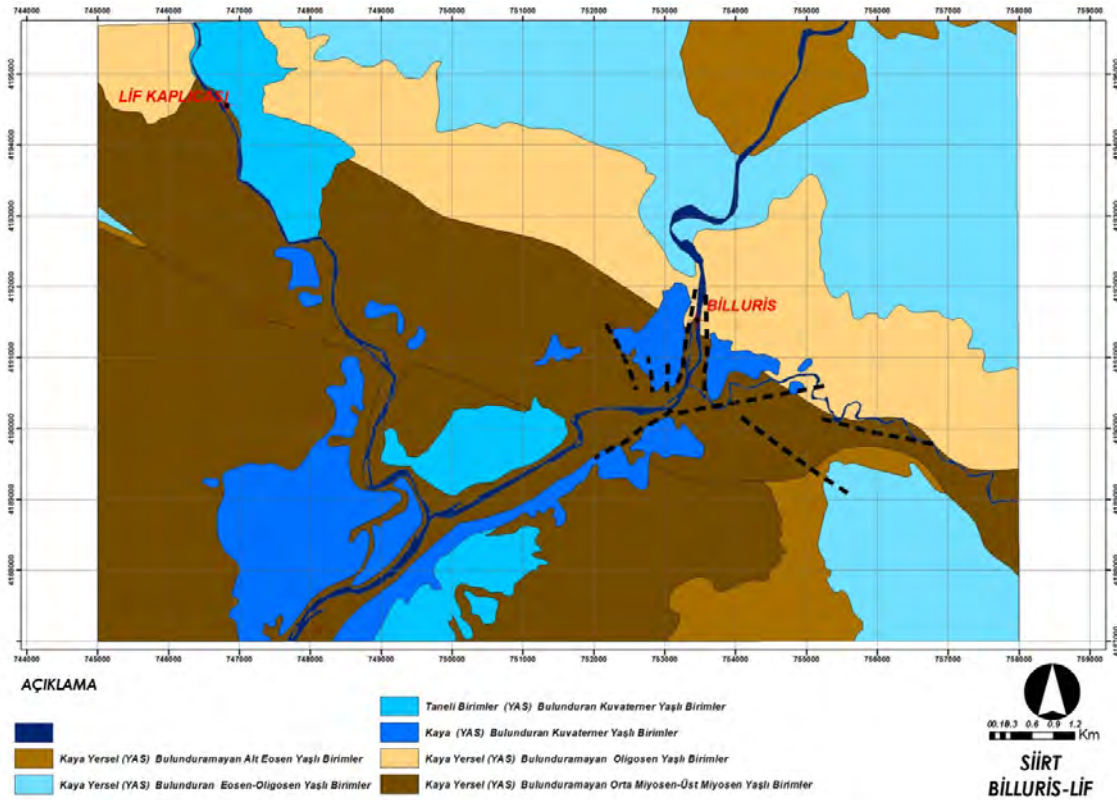
çatlağı ve/veya normal fay özelliğinde olduğuna dair gözlemler yapılmıştır (Şekil 14.9). Çatlakların etkin olduğu yerlerde Botan ve Reşan Çayı'nın yataklarını kontrol edecek şekilde geliştikleri arazide gözlenmiştir. Gerek Billuris Kaplıcaları ve çevresinde ve gerekse Lif sahasında akışkan çıkışlarının bu süreksizlikler boyunca çıktığı görülmüştür. Bölgede var olan faylar veya açılma çatlaklarının düzlem eğimlerinin dik veya dike yakın oldukları dikkati çeken önemli bir özelliktir. Botan çayında özellikle vadinin gömülerek aktığı, çevresindeki seki sistemlerinden anlaşılmaktadır. Bu durum, gömülmenin tektonik aktivitenin kontrolünde geliştiğine yorumlanmıştır.



Şekil 14.9: Billuris ve Lif jeotermal sahasında görülen süreksizlikler

14.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme sahası ve çevresinde yüzlek veren şeyl, marn, kumtaşı, çamurtaşı, miltası ardalanmasından oluşan Germav Formasyonu yeraltı suyu (YAS) açısından geçirimsiz bir birimdir (Şekil 14.10). Germav Formasyonu üzerinde yer alan kumtaşı, konglomera ve yer yer kireçtaşı ara bantı içeren Gerçüş Formasyonu yeraltı suyu açısından yarı geçirimli bir özellik sunmaktadır. Gerçüş Formasyonu üzerinde yer alan karstik Hoya Formasyonu ise yerel YAS bulundurmaktadır. Alanda Botan Çayı çevresinde yüzlek veren kil, kum, çakıllardan oluşan alüvyonlar ise yeraltı suyu açısından verimli akiferlerdir.



Şekil 14.10: İnceleme alanı ve çevresinin hidrojeoloji haritası

Çalışma sahası içerisinde iki önemli akarsu bulunmaktadır. Kuzeydoğu-güneybatı yönünde akan Botan ile kuzeybatı-güneydoğu yönünde akan Reşan Çayı alanı boydan boya kat etmekte ve yeraltı suyunu beslemektedir. Zengin soğuk su kaynakları yanında inceleme sahasında 30,6 ile 34,5 °C arasında değişen sıcaklık ve 100 l/s üzerinde debiye sahip kaynaklar bulunmaktadır (Tablo 14.1).

Tablo 14.1: Billuris ve Lif jeotermal sahaslarında bulunan kaynaklar

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)
Kaplıca Kaynağı	34,5	90
İkinci Kaynak	34,5	10
Ilıca Kaynağı	33,9	-
Çempir Ilısu Kaynağı	30,6	0,01
Lif Ilısu Kaynağı	33,1	10

Billuris Jeotermal sahasında 2005 yılında MTA tarafından 696 m derinliğinde açılmış bir adet sondaj bulunmaktadır. Kuyuya ilişkin bilgiler Tablo 14.2'de sunulmuştur. Bu verilere göre sahadaki kuyunun debisi 7 l/sn ve sıcaklığı ise 45 °C'tır. Billuris sahasında sondaj öncesinde MTA Genel Müdürlüğü tarafından jeofizik-rezistivite çalışması yapılmış ancak raporu yazılmadığından arşive girmemiştir. Bu nedenle çalışmanın teknik bilgilerine ulaşamamıştır. Ayrıca, TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış 1440 ile 3200m derinliğindeki kuyularda 54-

134 °C arasında değişen sıcaklıklarda akışkan elde edilmiştir (Tablo 14.3). Sıcak akışkan içeren bu kuyular terkedilmiştir.

Tablo 14.2: Billuris Jeotermal sahası ve çevresinde açılmış bulunan kuyular

Kuyu No	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi l/s)	Üretim Şekli
Siirt-Billuris	2005	696,00	45	7	P

Tablo 14.3: Mardin il sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar

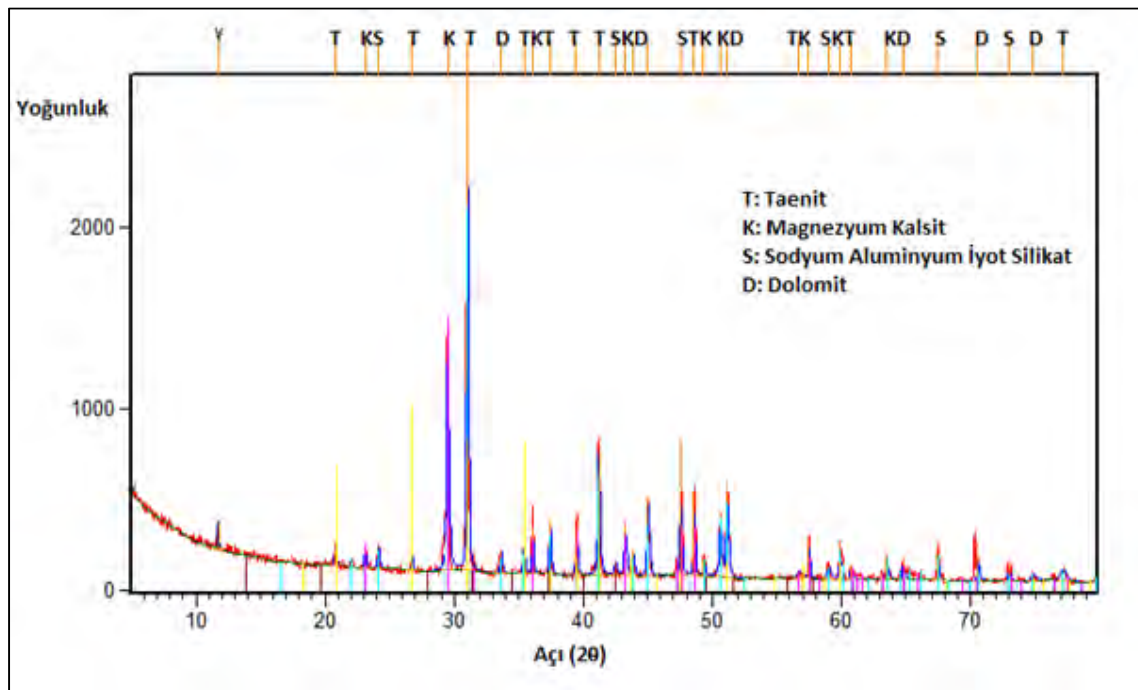
Sondajların Açıldığı Bölge	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
Dodan - Garzan	1792	68
Garzan	1480	71
Mağrip	1740	88
Çelikli	3200	134
Yanarsu	1440	54
Kapıkaya	2350	84

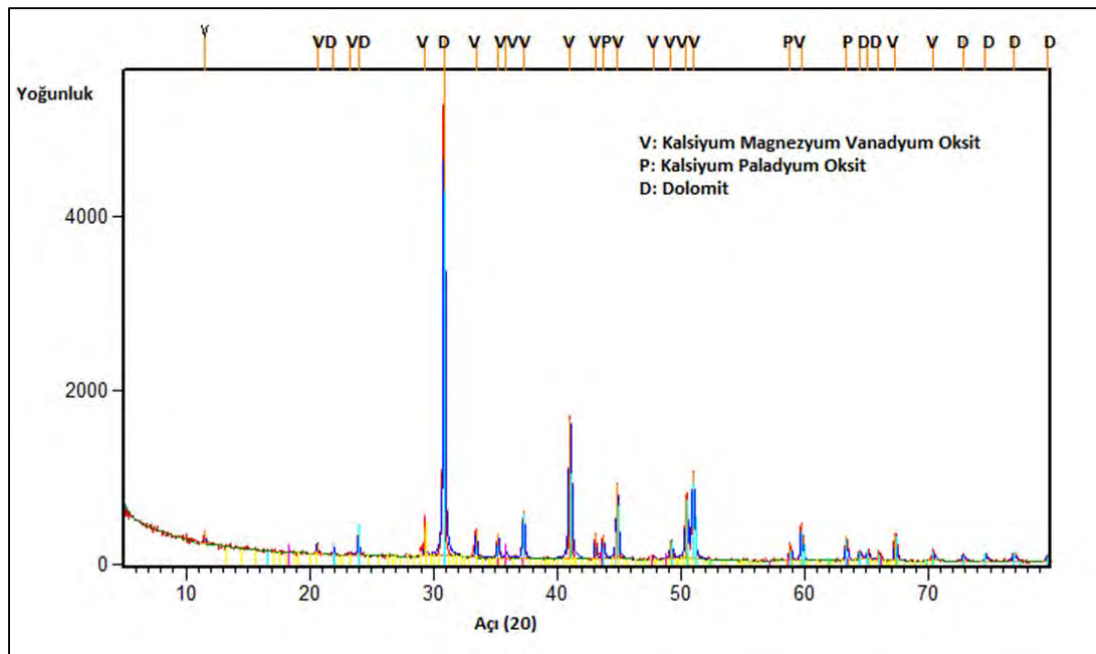
14.1.3. İnceleme Sahasının Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Billuris ve Lif Kaplıcalarının içinde yer aldığı jeotermal alandaki altere olmuş kayalardan alınan örneklerde jeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Alınan katı örneğin kristal yapı ve kimyasal bileşen tayininin yapılması amacıyla X-Işını Difraktometre (XRD), ve X-Işınları Floresans Spektrometre (XRF) kullanılmıştır. XRF sonuçlarına göre Billuris(1)'de alınan örneğin baskın elementlerin Kalsiyum ve Magnezyum olduğu ve XRD sonuçlarına göre ise kabukta ağırlık olarak Taenit, Magnezyum Kalsit, Sodyum Alüminyum İyot Silikat ve Dolomit gözlenmiştir. Billuris(2)'den alınan örnek te ise XRF sonuçlarına göre baskın elementlerin Kalsiyum ve Magnezyum olduğu ve XRD sonuçlarına göre ise kabukta ağırlık olarak Kalsiyum Magnezyum Vanadyumoksit, Kalsiyum Paladyumoksit ve Dolomit gözlenmiştir. XRF sonuçlarına göre Lif'te alınan 1.örneğin baskın elementleri Kalsiyum, Demir ve Alüminyumdur ve XRD sonuçlarına göre ise ağırlıklı olarak Kuvars ve Albit Kalsiyan gözlenmiştir. Lif(2)'den alınan örnek te ise XRF sonuçlarına göre baskın olarak Silikon bulunduğu ve XRD sonuçlarına göre ise kabukta Kuvars, Albit ve Kalsit gözlenmiştir(Tablo 14.4; Şekil 14.11-14.16).

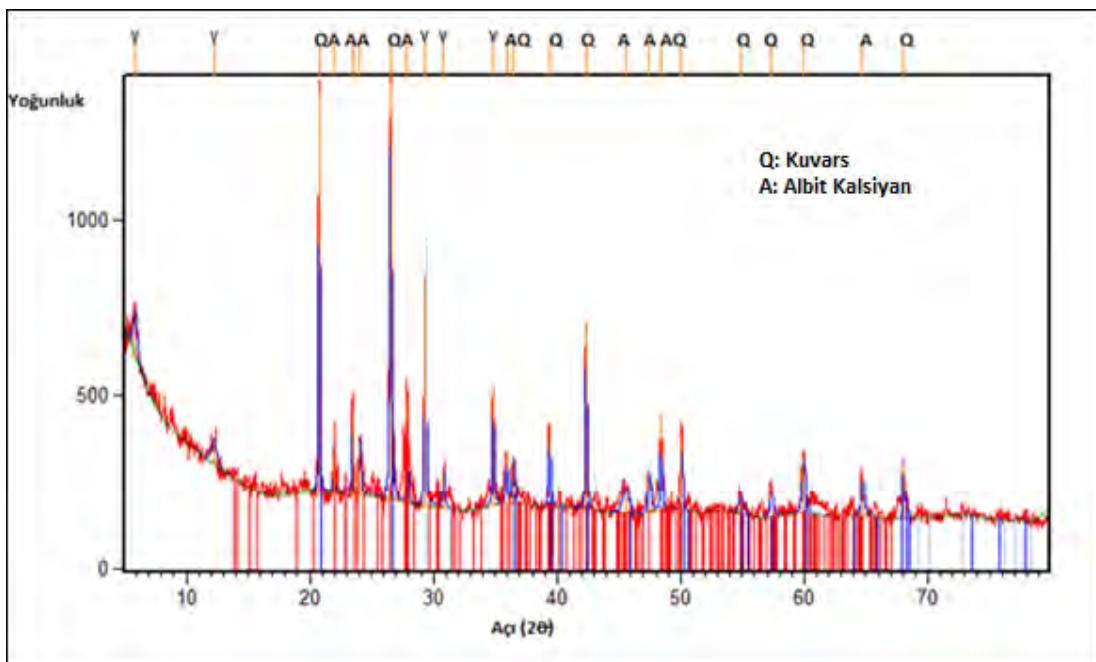
Tablo 14.4: Billuris ve Lif Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları

Örnek	Element	XRF Analizi Sonuçları (% kütle)		XRD Analizi Sonuçları Kristal Yapısı
		Oksitsiz	Oksitli	
Billuris 1	Ca	45,1	63,1	Taenit, Magnezyum Kalsit, Sodyum Alüminyum İyot Silikat ve Dolomit
	Mg	12	19,9	
	Na	5,5	7,4	
	Al	1,9	3,6	
	Fe	1,4	2	
Billuris 2	Ca	45,6	63,8	Kalsiyum Magnezyum Vanadyumoksit, Kalsiyum Paladyumoksit ve Dolomit
	Mg	15,4	25,6	
	Na	4,6	6,2	
	Ta	1,3	1,6	
Lif 1	Ca	13,4	18,8	Kuvars, Albit Kalsiyon,
	Al	8,5	16	
	Fe	8,1	11,6	
	Mg	5,5	9,1	
	Na	2	2,7	
Lif 2	Si	5,2	11,1	Kuvars, Albit ve Kalsit

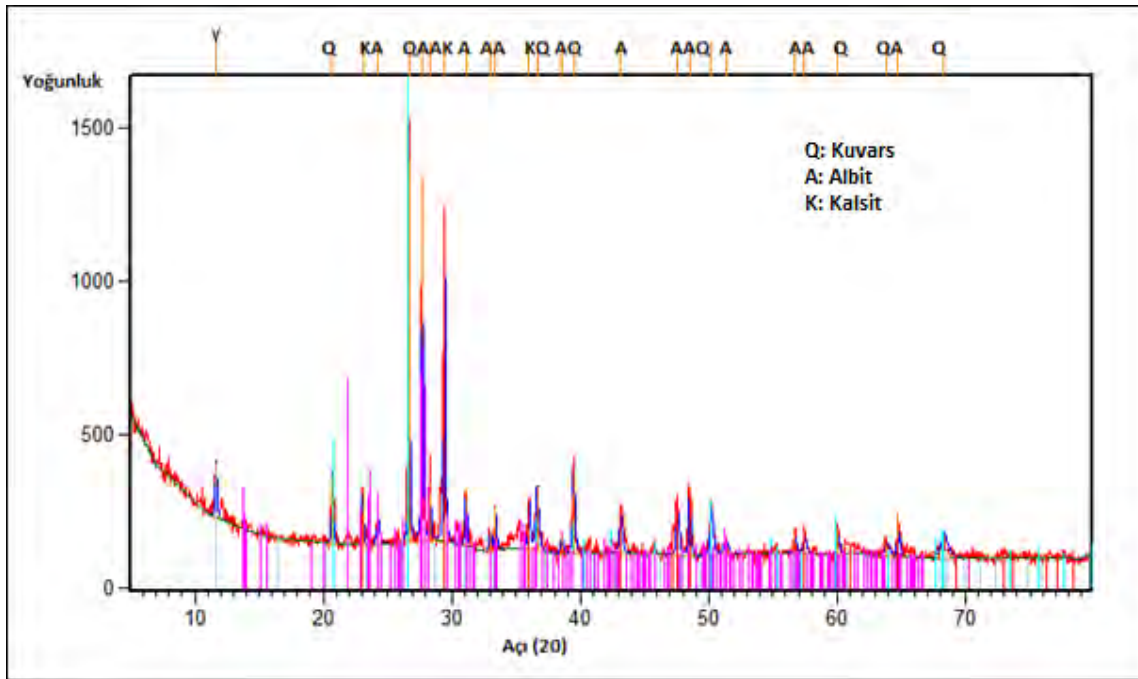
**Şekil 14.11:** Billuris(1) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.



Şekil 14.12: Billuris(2) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri.



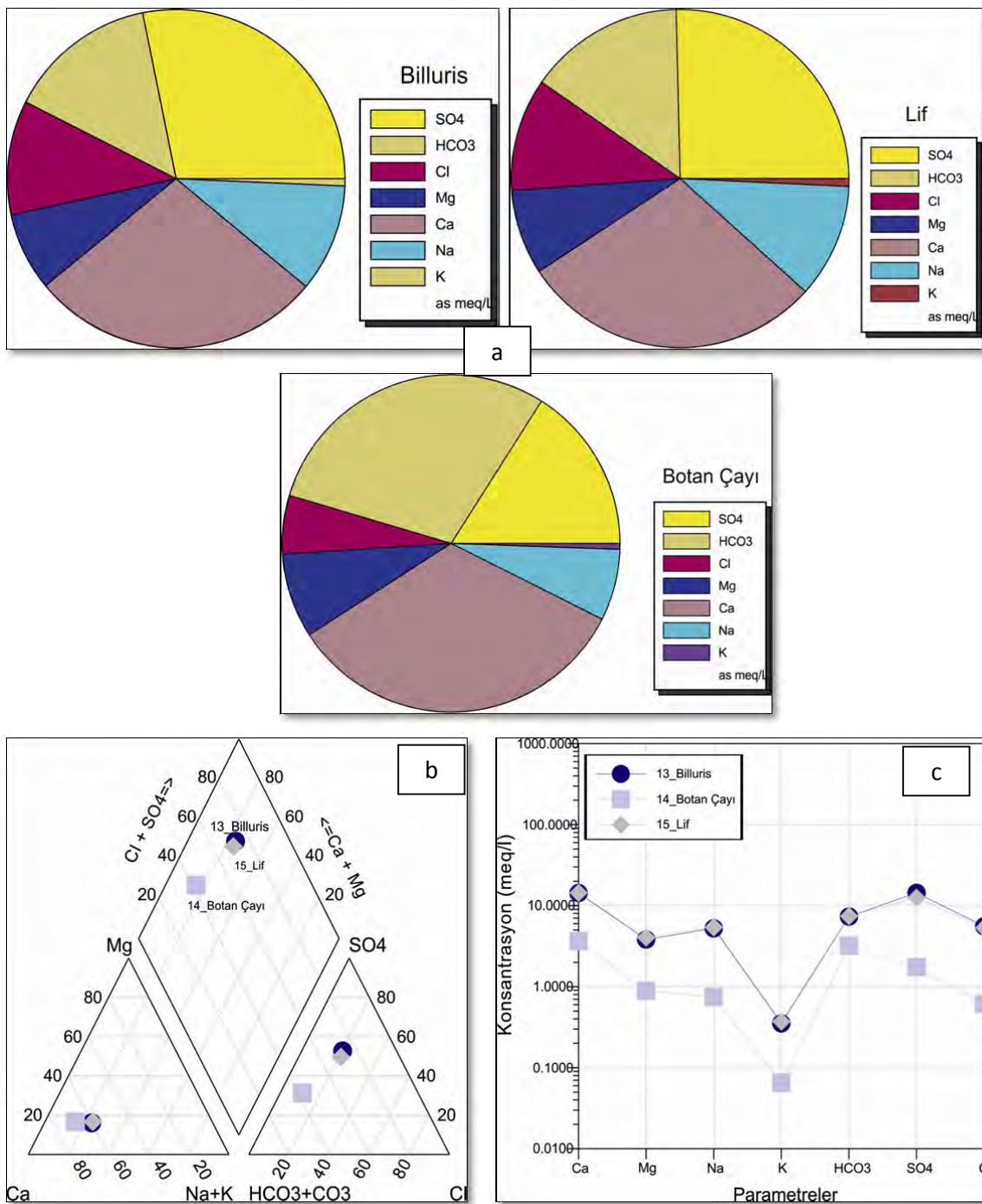
Şekil 14.13: Lif(1) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri



Şekil 14.14: Lif(2) kaplıcasından alınan örneğin yapısının XRD sinyalleri

Bu çalışma kapsamında da Billuris ve Lif kaynaklarının özelliğini belirlemek amacı ile bir dizi hidrojeokimyasal çalışma yapılmıştır. Ayrıca kaynakların üzerinde yer aldığı Botan Çayı'ndan da numune alınmıştır. Böylece yüzeysel su kaynağı ile jeotermal kaynakların kıyaslanması düşünülmüştür. Botan Çayı'nın pH=7,02 ve Elektriksel İletkenliği (EI) ise 472 $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{dir}$. Kaynakların pH'ları ise 6.40 (Billuris) ve 6.50 (Lif)'dir. EI değerleri ise 2310 (Billuris) ile 2390 (Lif) $\mu\text{S}/\text{cm}'\text{dir}$. Elde edilen verilere göre, Botan Çayı başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve en baskın gözlenen anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tir (Şekil 14.15a). Billuris ve Lif kaynaklarındaki akışkan da aynı özelliklere sahiptir. Bu kaynaklarda görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) dur. Bunu sırasıyla, sodyum (Na^+) ve magnezyum (Mg^{2+}) takip eder. Anyonlardan ise sülfat (SO_4^{2-}) en baskın gözlenen anyon olup bunu bikarbonat (HCO_3^-) izler (Şekil 14.15a).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre Billuris ve Lif kaynaklarının aynı kökenli olduğu görülmektedir. Bu sıcak su kaynakları kalsiyum sülfatça zengindir ve Ca-SO₄ su tipini yansıtmaktadır (Şekil 14.15b ve c). Botan Çayı ise Ca-HCO₃ su tipine sahiptir.



Şekil 14.15: Billuris ve Lif akışkanının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

14.1.3.1. Ağır Metaller

Çalışma alanındaki hem soğuk hem de sıcak su kaynaklarının ağır metal içerikleri yapılan analizler ile belirlenmiştir (Tablo 14.5). Nisan 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre alandaki akışkanda yüksek konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Billuris ve Lif sıcak su kaynaklarındaki ağır metal değerleri oldukça birbirine yakındır. Sadece her iki kaynak da arsenik (As) değerleri içme suyu limitlerini aşmıştır. Bu nedenle, bu iki kaynağın içme suyu olarak kullanılmaması gerekir. Botan Çayı'nda herhangi bir inorganik kirlilik söz konusu değildir.

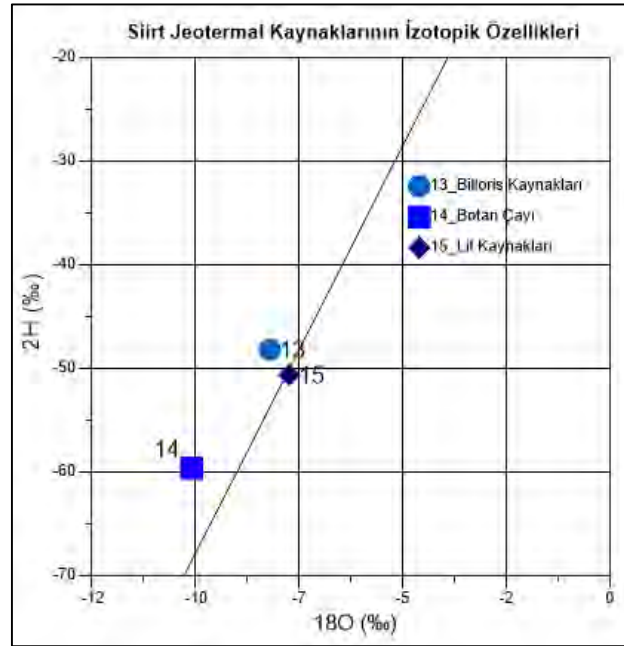
Tablo 14.5: Billuris, Lif ve Botan Çayı'nda ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Billuris (ppb)	Lif (ppb)	Botan (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Billuris (ppb)	Lif (ppb)	Botan (ppb)	İTASHY (ppb)
Ag	<0,05	<0,05	<0,05		Nb	0,01	<0,01	<0,01	
Al	6	2	90	200	Ni	<0,2	<0,2	1,4	20
As	24,2	27,8	3,4	10	P	<10	<10	17	
Au	<0,05	<0,05	<0,05		Pb	<0,1	<0,1	0,1	10
B	778	860	115	1000	Pd	<0,2	<0,2	<0,2	
Ba	28,77	28,17	29,74		Pt	<0,01	<0,01	<0,01	
Be	<0,05	<0,05	<0,05		Rb	33,87	36,39	5	
Bi	<0,05	<0,05	<0,05		Re	<0,01	<0,01	<0,01	
Br	974	1040	120		Rh	0,06	0,09	0,01	
Cd	<0,05	<0,05	<0,05		Ru	<0,05	<0,05	<0,05	
Cl	200	223	26		S	207	206	29	
Co	<0,02	<0,02	0,18		Sb	<0,05	<0,05	<0,05	5
Cr	8,3	9,5	3,3	50	Sc	<1	<1	<1	
Cs	12,4	13,66	1,28		Se	1,9	2	0,5	10
Cu	3,9	3,8	1		Si	12885	13539	5420	
Fe	<10	<10	105	200	Sn	<0,05	<0,05	<0,05	
Ga	<0,05	<0,05	<0,05		Sr	4727,87	4755,44	799,09	
Ge	0,52	0,63	0,08		Ta	<0,02	<0,02	<0,02	
Hf	<0,02	<0,02	<0,02		Te	<0,05	<0,05	0,07	
Hg	<0,1	<0,1	<0,1		Th	<0,05	<0,05	<0,05	
In	<0,01	<0,01	<0,01		Ti	<10	<10	<10	
Li	328,4	360	37,2		Tl	0,01	<0,01	0,01	
Mn	14,57	13,78	16,47	50	U	0,65	0,66	0,34	
Mo	2,4	2,5	0,4		V	1,2	1,2	1,8	
Zn	3,4	2,8	2		W	<0,02	<0,02	<0,02	
Zr	0,12	0,11	0,09						

14.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

Billuris ve Lif jeotermal sistemleri içerisinde yapılan izotop analizleri Şekil 14.16'de gösterilmiştir. İnceleme alanındaki akışkanın trityum değerleri TU=0, 5'den küçük olup suların en az 50 yıllık yer altı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -7.87 ‰ ve -48.19 ‰ (Billuris) ve -7.42‰ - -50.65 ‰ (Lif) arasında

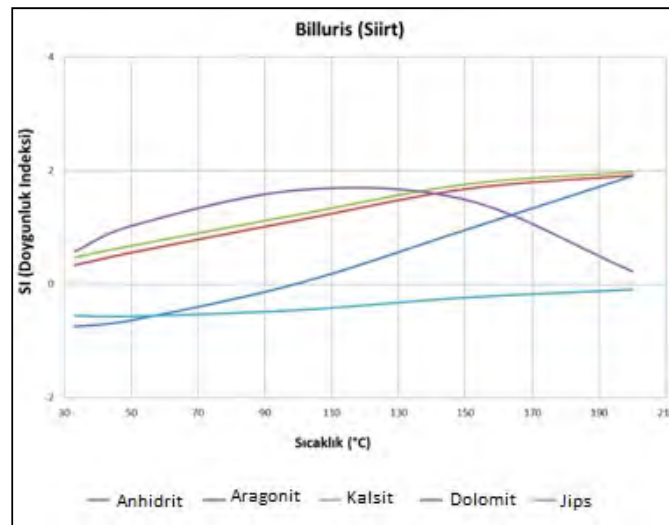
değişmektedir. Tüm örneklerin $\delta^{18}\text{O}$ - δD diyagramı üzerindeki dünya meteorik su doğrusuna göre konumları meteorik kökene işaret etmektedir. Her iki jeotermal kaynak da aynı kökenlidir.



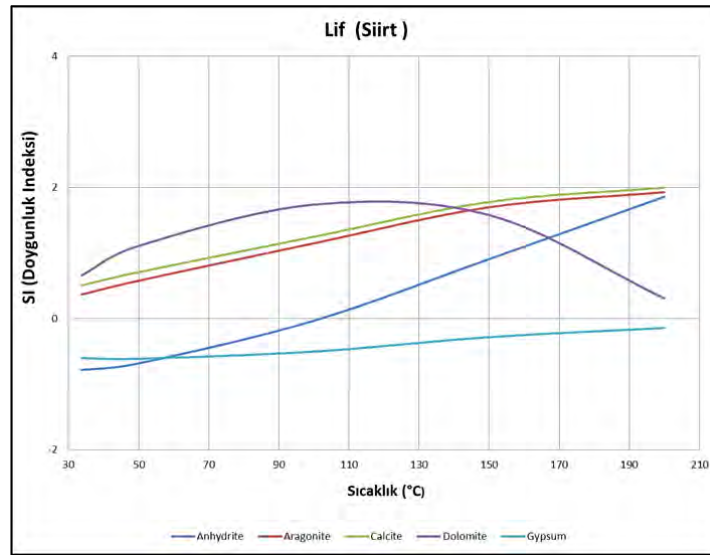
Şekil 14.16: Billuris ve Lif jeotermal sahasındaki akışkanın Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

14.1.4. Doymuluk İndeksleri

Billuris ve Lif jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 14.17 ve 14.18). Buna göre her iki kaynakta jips dışında, anhidrit, kalsit, aragonit ve dolomit kabuklaşması görülebilir. Doymuluk indeksi bu alanda rezervuar sıcaklığının 140 °C olabileceğine işaret etmektedir.



Şekil 14.17: Billuris Jeotermal Kaynağı Doymuluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi



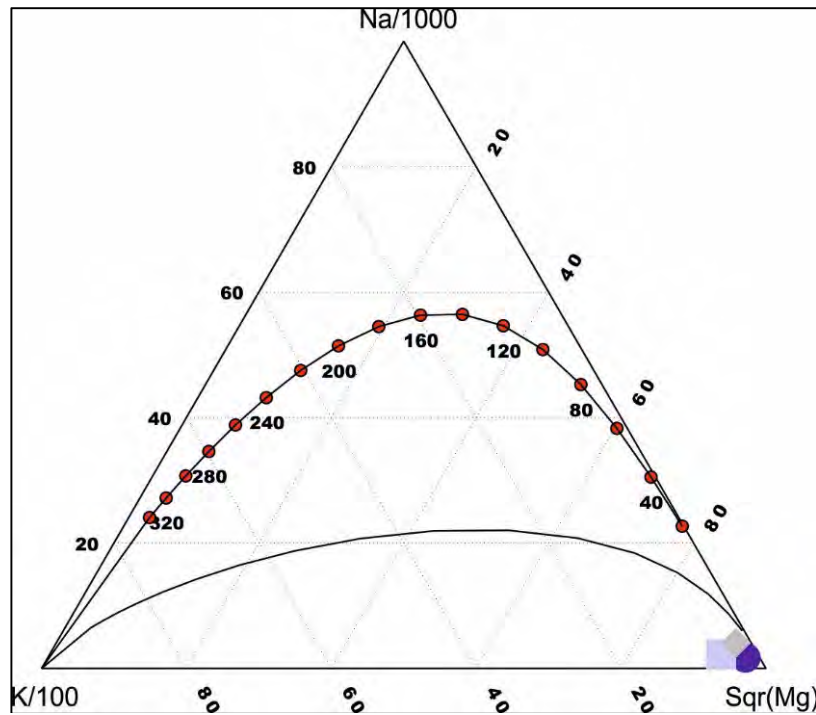
Şekil 14.18: Lif Jeotermal Kaynağı Doymuluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

14.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Kullanılan katyon jeotermometreleri alandaki akışkanın rezervuar sıcaklığının 54,8 ile 215 °C arasında değiştiğini göstermektedir (Tablo 14.6). Giggenbach verilerine göre alandaki kaynaklar doymun olmayan su grubuna girmektedir (Şekil 14.19).

Tablo 14.6: Billuris ve Lif jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	120,47	13,79	46,39	286,9	202,8
Tonani, 1980	Na-K	120,47	13,79	46,39	286,9	210,8
Fournier, 1991	K-Mg ^a b	120,47	13,79	46,39	286,9	72,7
Giggenbach, 1988	K-Mg	120,47	13,79	46,39	286,9	56,3
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca ^d	120,47	13,79	46,39	286,9	54,8
Tonani, 1980	K-Ca	120,47	13,79	46,39	286,9	215



Şekil 14.19: Billuris ve Lif jeotermal akışkanın Na-K-Mg üçgeninde denge durumları

14.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Billuris alanındaki kuyudan mevcut sıcak su kaynaklarından daha yüksek sıcaklıkta akışkan üretiminin sağlanması, sahada önemli bir potansiyel varlığına işaret etmektedir. Botan ve Reşan Çayı kenarlarında yer alan Billuris ve Lif kaynaklarının kuyuya oranla daha düşük kaynak sıcaklıkları, bu akarsulardan soğuk su karışımı olduğuna yorumlanmaktadır. Gerek Billuris, gerekse Lif kaynaklarının Botan ve Reşan Çayı'ndaki dizilimleri, bu çayları kontrol eden faylar boyuncadır. Billuris jeotermal sahasında açılan kuyu ve sıcak su kaynaklarının ısı potansiyeli Tablo 14.7'de verilmiştir. Bu verilere göre Billuris jeotermal sahasında 7,3MW_t bir enerji elde edilebilir.

Tablo 14.7: Billuris jeotermal sahası mevcut sıcak su kaynakları ve kuyuya ait ısı potansiyel

Kuyular	m (l/t)	T _g (°C)	T _ç (°C)					Q (kW)
			40	35	30	25	20	
Kaplıca Kaynağı	90	34,5			1701	3591	5481	
İkinci Kaynak	10	34,5			189	399	609	
Çempir Ilısu Kaynağı	0,01	30,6			0,0252	0,2352	0,4452	
Lif Ilısu Kaynağı	10	33,1			130,2	340,2	550,2	
Siirt-Billuris Kuyu	7	45	147	294	441	588	735	
Toplam			147	294	2461	4918	7396	

Sahanın geliştirilmesi kapsamında açılacak ek kuyularla sıcaklık ve debinin, dolayısıyla kapasitenin daha da artırılacağı öngörülmektedir. Ancak kaynaklardan boşalan akışkanın yüksek miktardaki debi değerlerine karşılık, MTA tarafından 2005 yılında açılmış kuyunun veriminin düşük oluşu dikkat çekicidir.

Tanımlanan jeolojik özellikler, açılacak kuyu yerlerinin seçimi için değerlendirilirken, yüksek sıcaklık ve debide üretimin sağlanacağı iyi bir rezervuar, iyi bir örtü, hidrotermal akışkanı taşıyıcı ve aynı zamanda tektonik etkileşimden dolayı kaya birimlerine ikincil geçirgenlik kazandıran fay ve derinliğin gözetildiği lokasyonlar tercih edilmektedir. Dolayısıyla kuyularda, rezervuar özelliği taşıyan birimlerin kesilebileceği, aynı zamanda tektonik etkilerle ikincil geçirgenliğin geliştiği ve fayın rezervuarın içinde kesileceği yer hedef alınmalıdır. Bu bağlamda, fay zonlarında paralanmış ve üretim sürekliliği daha güvenli dolomitik Mardin kireçtaşları, hedef rezervuar kaya olarak seçilmelidir.

Yapılan gözlemler ve laboratuvar sonuçlarına göre bölge jeotermal potansiyel taşımaktadır. Yüzeyde kendi cazibesıyla 30-34,5 °C sıcaklığında yüzeye boşalan ve Botan ile Reşan gibi büyük akarsuların kenarlarında yer almaları nedeniyle bunların soğutucu etkisinde bulunan kaynakların derine doğru sıcaklığının artacağı düşünülmektedir. Yüzeyleyen birimlerin içinde karstik özelliğe sahip ve bol çatlaklı kireçtaşları rezervuar, killi düzeyleri içeren formasyonlar ise örtü niteliğindedir. Çalışma alanı içinde gözlenmemekle beraber çevrede volkanik çıkış alanları bulunmaktadır. Bu birimler ısı kaynağı veya ısı aktarımı yapan unsurlar olarak düşünülmektedir. Yapılmakta olan İlisu Barajın su altında kalacak bölümleri dikkate alınarak Lif (Kışlacık) çevresindeki kaynak çıkışlarının bulunduğu alanda gerekli jeofizik ve sondaj çalışmalar yapılarak değerlendirilmesi bölge ekonomisi için önemlidir. En azından var olan doğal çıkışların bir merkeze kanalize edilerek toplanması ve değerlendirilmesi ekonomik kazanç olacaktır. Alanda üretime yönelik, lokasyonlarına göre derinlikleri, kesilecek kaya birimleri, sıcaklıkları ve debileri de farklı olacak ilk etapta toplam 3 kuyu açılabilir. Ancak açılacak her kuyunun, bir sonraki kuyunun kılavuzu niteliğinde olması nedeniyle bu sayı değişebilir Kuyu sayısı, bu kuyuların birbirlerini etkilemelerini tespit eden uzun süreli testler sonucunda belirlenebilir.

14.1.7. Yatırım Olanakları

Alanda yüzeye boşalan 35 °C'ye yaklaşan sıcaklıktaki doğal kaynaklardan yararlanma, günümüzde ilkel şekilde kaplıca uygulamasıyla sınırlıdır. Botan ve Reşan Çayı'nın kıyılarında yüzeye çıkan ve kaplıcalarda yararlanılan kaynaklar, bu nehirlerin soğutucu etkisi altında olduklarından dolayı sıcaklıkları düşüktür. Nitekim açılan kuyuda, kaynaklardan daha yüksek sıcaklıkta akışkan sıcaklığı ölçülmüştür. Gerek kaynaklar, gerekse açılan kuyu bilgileri, sahanın potansiyeline ilişkin önemli göstergeler olmakla birlikte, sahada sadece bir kuyu açıldığı için yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemektedir. Öte yandan açılan kuyunun yer seçimi yapılırken baraj gölalanı dışında kalmasına özen gösterildiği, dolayısıyla kaynakları yüzeye ulaştıran kırık sisteminden uzaklaşıldığı anlaşılmaktadır. Kısıtlayıcı bu nedenden dolayı, kuyuda kaynaklardan daha yüksek sıcaklık ölçülmesine karşılık debisi oldukça düşüktür.

Alanda gözlenen jeotermal parametreler, jeolojik olarak belirlenen potansiyel alanın büyüklüğü ve açılacak kuyular sonucunda ulaşılabilecek kapasite öngörülerini gibi etmenler, bu kaynağa dayalı ekonomik bir yatırım olanağı sunmaktadır. Alanın yer aldığı bölgenin coğrafik ve iklim koşulları göz önüne alındığında modern kaplıca uygulamaları ile yörede bir cazibe

merkezi oluşturulabilir. Ölçülen kuyu sıcaklığı ve uygun yer seçimi ile ulaşılabilecek aynı ya da daha yüksek sıcaklıklar ve daha yüksek debilerle bölgede sağlık turizmi yapılabilir. Botan ve Reşan nehirlerinin yarattığı doğal güzellikler nedeniyle bölge ayrıca gününbirlik termal turizm ve rekreasyon alanı olarak da değerlendirilebilir, eko turizme açılabilir. Ulaşılabilecek sıcaklıklara bağlı olarak sera, kurutma ve ısıtma uygulamaları yapılabilir.

Sahada yapılması önerilecek çalışmalar ile jeotermal kaynak varlığı ortaya çıkarıldıktan sonra sahanın kullanım kapasitesinin belirlenmesi için yeterli sayıda kuyu açılması gerekmektedir. Yeri ve sayısı ilk önceki kuyu verileri ve sahada yapılmış tüm çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenecek olan bu geliştirme çalışmalarının sonucunda rezervuar geometrisi belirlenerek, rezervuarın üretim yeteneğini belirlemek üzere testler yapılmalıdır. Elde edilecek bilgiler, sahada yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte karşılanabileceğini ortaya koyacak, buna göre yararlanma seçeneklerine ilişkin öneriler geliştirilecektir. Ancak jeolojik olarak sürprizlerle karşılaşılabilirliğini de göz ardı etmemek gerçekçi bir yaklaşımdır olacaktır.

14.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

İnceleme alanında, araştırma sistematığının ilk etabı olan jeoloji etüdü ile bunu izleyen jeofizik-rezistivite (DES) çalışması, sondaj ile proje kapsamında gerçekleştirilen inceleme, gözlemler, kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri, jeotermal potansiyelin belirlenmesine yönelik özgün çalışmalardır. Sahadaki akışkandan yararlanma kapasitesi sınırlıdır ve günümüzde ilkel bir şekilde kaplıca amaçlı kullanılmaktadır. Kaynaktan daha verimli bir şekilde yararlanmak için, çalışmalarda tüm bilgiler yeniden değerlendirilerek, sıcaklık ve debinin daha yüksek olabileceği noktalarda açılacak kuyularla kapasitenin artırılması yoluna gidilmelidir. Mevcut durumun sonucu olarak ortaya çıkan ihtiyaç doğrultusunda kuyu yerleri seçimi, önceki araştırmalarda elde edilen bilgiler ve önerilen diğer çalışmaların uygulanmasıyla toplanacak veriler birleşik değerlendirilerek yapılmalı, sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılmasına yönelik öngörülen ileri aşama araştırmalarının son etabını oluşturan sondajlar ve bunu izleyen testler sonunda alanda ulaşabilecek kapasite belirlenmelidir. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması sahanın geliştirilmesi ve sürdürülebilirliği için önemlidir.

Billuris sıcak su kaynaklarının bulunduğu bölümünde, kaynağa yönelik jeofizik-rezistivite (DES) yöntemi uygulanmıştır. Jeoloji etütleri sonucunda jeolojik ve tektonik özellikleri ve potansiyel sınırları belirlenmiş alanda, daha önce yapılmış olan DES çalışmasının Lif kaynaklarının bulunduğu bölümü de kapsayacak şekilde genişletilmesi, DES ve MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların birlikte değerlendirilmesi, hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması, hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Ayrıca anomali alanını kapsayan bu etütlerdeki nokta sayısı ve aralığının, yanılığını önleyecek şekilde belirlenmesi gerektiği vurgulanması gereken önemli bir husustur. Önerilen jeofizik yöntemlerle, alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağı olabilecek magmatik kütlelerin derinliği ve geometrisi saptanabilecektir. Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması öngörülmektedir.

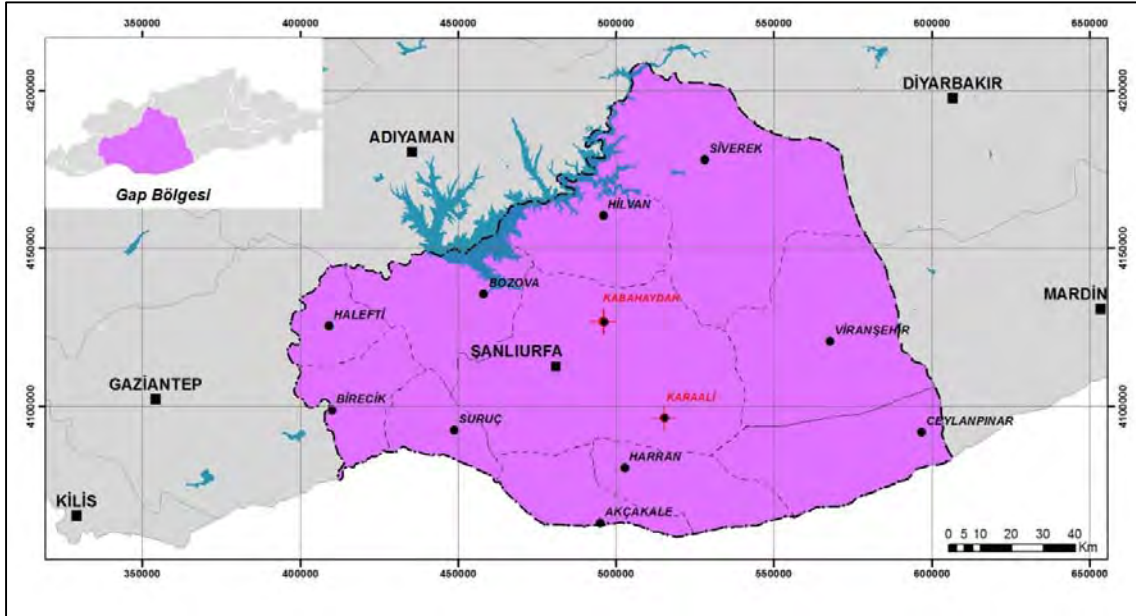
Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik

çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı ölçümleri ile sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.

Sondaj çalışması kaynağa dayalı yatırıma baz oluşturacak bilgilerin üretileceği en önemli aşamadır. Maliyet açısından da ciddi yükü olan bir çalışmadır. Bu bakımdan gerek planlanması, programlandırılmasına ilişkin karar sürecinde, gerekse çalışma sırasında son derece dikkatli olmayı gerektirmektedir. Alanda açılan kuyu bilgileri önemli bir potansiyelin göstergesidir. Ancak jeolojik potansiyel sınırları belli olan alanda, rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristikleri bilinmemektedir. Belirsizliklerin giderilmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması, ancak yeterli sayıda kuyu açılması ve gerekli testlerin yapılmasıyla mümkün olabilecektir. İlk etapta belirlenen lokasyonda denenecek kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması son derece önemlidir. Sondaj çalışmalarının olumlu olması durumunda testler yapılarak ve kuyular programlanabilir. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülebilir. Ancak açılan her kuyudan elde edilen kılavuz bilgilerin, sonraki kuyuların açılıp açılmayacağına karar verilmesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

15. ŞANLIURFA İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

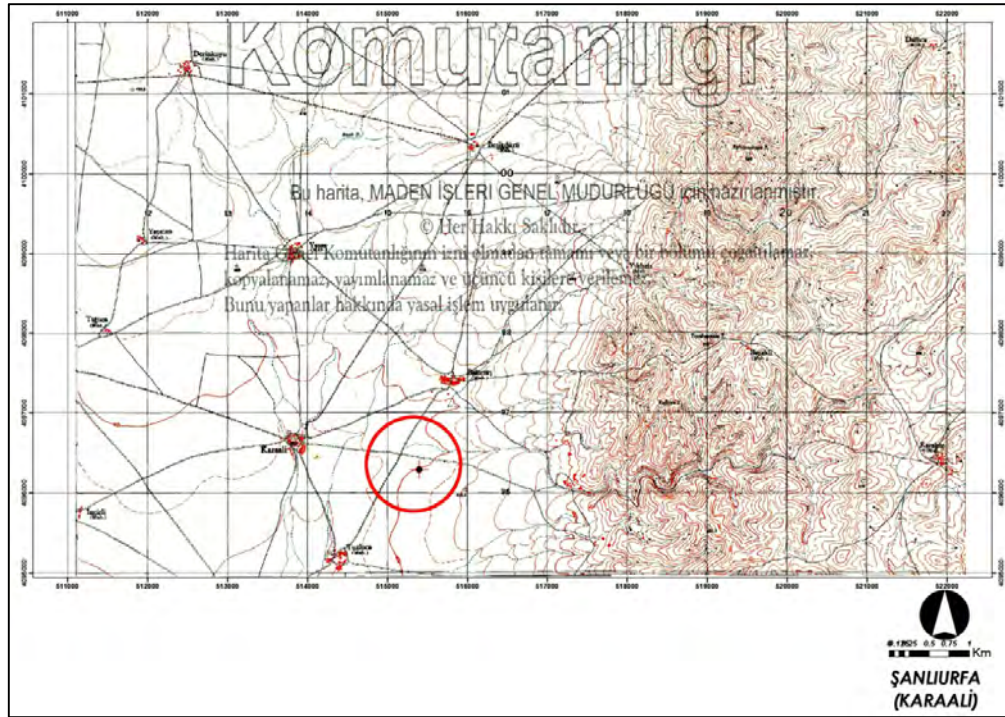
Şanlıurfa ilinde Karaali ve Kabahaydar olmak üzere iki adet jeotermal alan bulunmaktadır. Ülkemizin kalkınmasında çok önemli potansiyel vadeden Harran Ovası'nda bulunan Karaali jeotermal alanı, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Orta Fırat Bölümü'nde bulunan Şanlıurfa'nın 45 km güneydoğusunda ve Akçakale grabeni içerisindeki Karaali köyünü de içine alan sahayı kapsar. Kabahaydar alanı ise Şanlıurfa ilinin 35 km kuzeydoğusundaki Aşağı Koymat Köyü'nde yer almaktadır (Şekil 15.1).



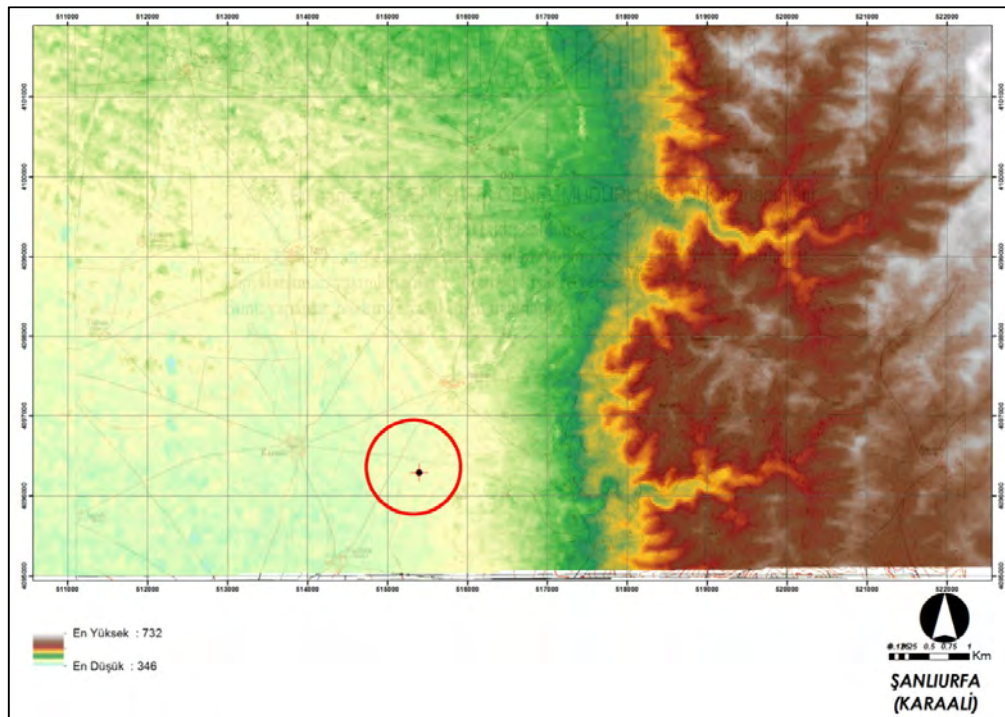
Şekil 15.1: Şanlıurfa ili jeotermal alanları

Sıcak su, termal tesis ve seracılık uygulamasının yapıldığı alanın içinde bulunan Karaali köyüne, Şanlıurfa-Mardin karayolu üzerindeki Çamlıdere'den itibaren yaklaşık 25 km'lik asfalt yol ile ulaştırılmaktadır. İyi bir ulaşım ağına sahiptir. Harran Ovası'nda yer alan Karaali jeotermal alanı, 1/25.000 ölçekli Diyarbakır N42d₃ paftası içerisinde olup düz bir topoğrafyaya sahiptir (Şekil 15.2, Şekil 15.3). Karaali sahası içinde seralar ve termal tesisler bulunmaktadır (Şekil 15.4)

Şanlıurfa'nın kuzeydoğusunda konumlanmış olan Kabahaydar jeotermal sahası (Şekil 15.5), Diyarbakır 1/25.000 ölçekli N42a₄ paftası içerisinde (Şekil 15.6). Sıcak su üretiminin yapıldığı Aşağı Koymat köyüne, Şanlıurfa-Diyarbakır karayolu ve bu yolun 12 km'lik Kabahaydar bağlantısı ile ulaşılmaktadır. Ulaşım tamamen asfalt yol ile sağlanmaktadır. Alan içerisindeki köyler genelde asfalt yollarla birbirine bağlıdır. Bazıları ise stabilize edilmiştir. Jeotermal alan, Karaali jeotermal sahasına göre daha yüksek bir topoğrafyada yer alır (Şekil 15.7). Kabahaydar jeotermal sahasında jeotermal kaynaklar aktif olarak kullanılmamaktadır.



Şekil 15.2: Karaali jeotermal sahanın 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki yeri



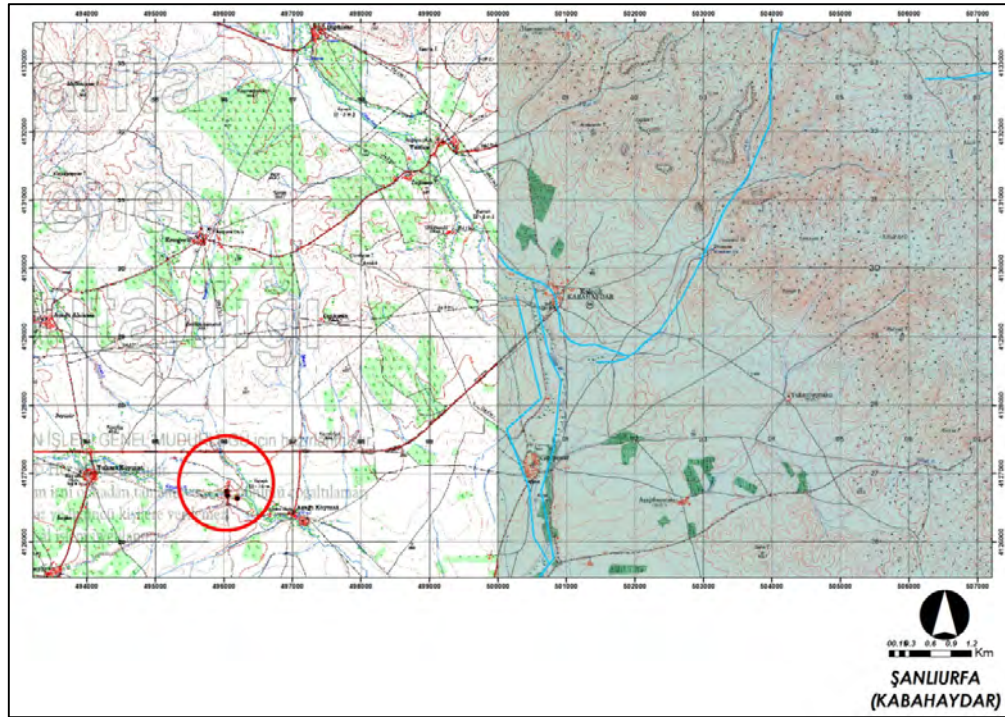
Şekil 15.3: Karaali jeotermal sahanın morfoloji haritası



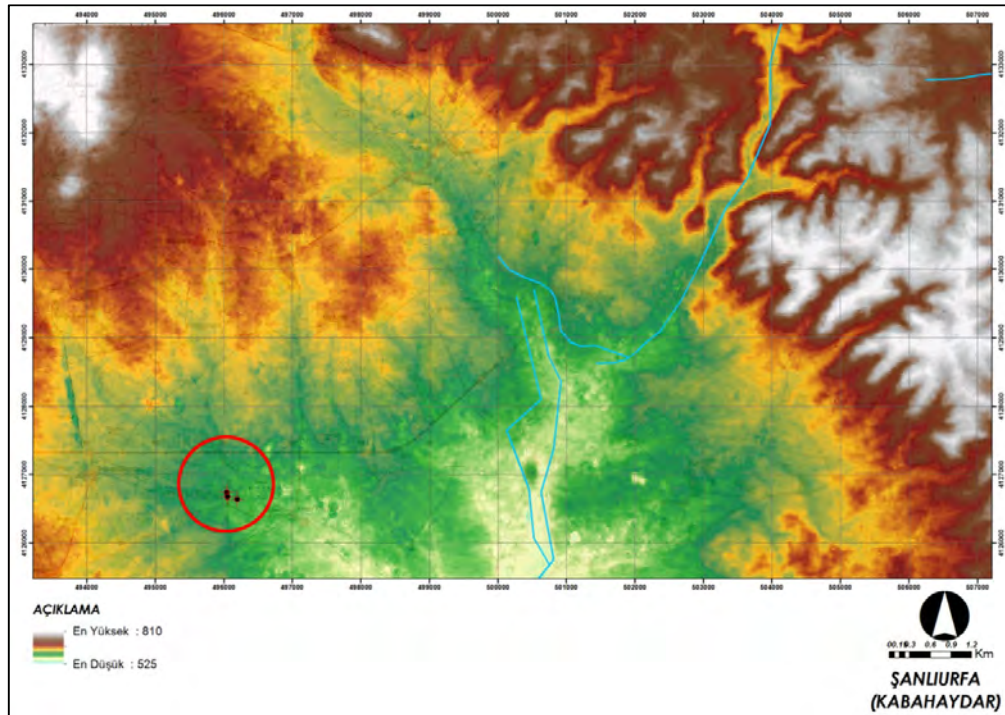
Şekil 15.4: Karaali jeotermal sahasındaki termal tesisler ve seradan görünüm



Şekil 15.5: Kabahaydar jeotermal sahasından görünüm



Şekil 15.6: Kabahaydar jeotermal sahasının 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritadaki yeri



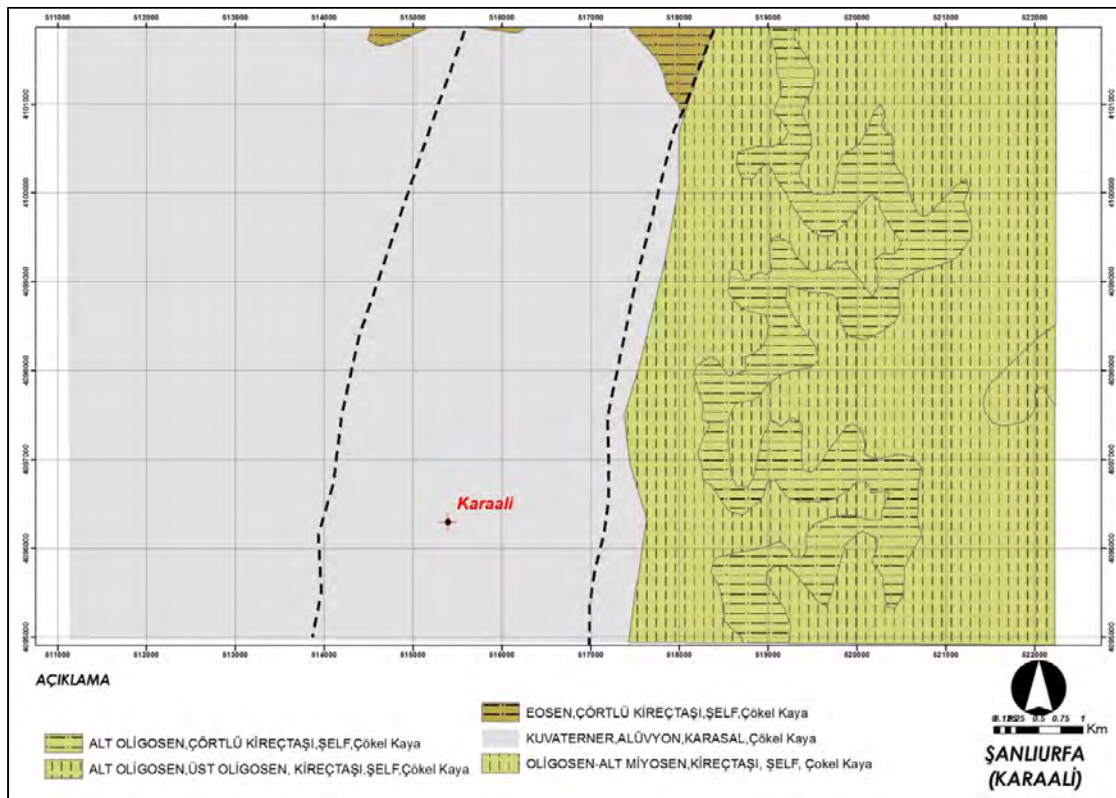
Şekil 15.7: Kabahaydar jeotermal sahasının morfoloji haritası

15.1. KARAALI JEOTERMAL SAHASI

15.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Karaali jeotermal sahası, Akçakale grabeni diye tanımlanan alüvyon dolgulu düzlükler ile aralarında yüzeylenen Eosen ve daha genç çökellerden meydana gelmektedir. Çalışma alanının dışında Paleozoyik'ten Eosene kadar değişik yaş ve türünde kaya birimleri mevcuttur. Söz konusu bu kayaların hiçbiri grabenin içinde yüzeylenmemiştir (Şekil 15.8).

Önceki araştırmalara göre, Gaziantep Formasyonu olarak tanımlanan Tersiyer yaşlı birimler (Eşder, 2004), harita alanında alt birimlere ayrılarak gösterilmiştir. Bunlardan Eosen yaşlı kaya toplulukları 3 alt birime ayrılarak haritalanmıştır. Tümü kireçtaşlarından meydana gelen bu birimlerin en alt düzeyleri çörtlü, ortaları tamamen kireçtaşı, üst seviyeleri çörtlü kireçtaşlarından meydana gelmektedir. Bu birimler, şelf fasiyesinde başlayıp yamaç-şelf fasiyesine dönüşerek sonlanmaktadır. Birimler içerdikleri fosillere göre yaşlandırılarak sıralanmıştır. Yukarıda anlatılan kaya toplulukları, bölgesel stratigrafik tanımlamalarda Midyat Grubu'nun içinde yer almaktadır (Şekil 15.9). Bu grubunun içinde bulunan tamamen kireçtaşlarından meydana gelen düzeyler Hoya Formasyonu olarak Gaziantep Formasyonu'ndan ayrı bir birim olarak da adlandırılmıştır.



Şekil 15.8: Karaali ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)



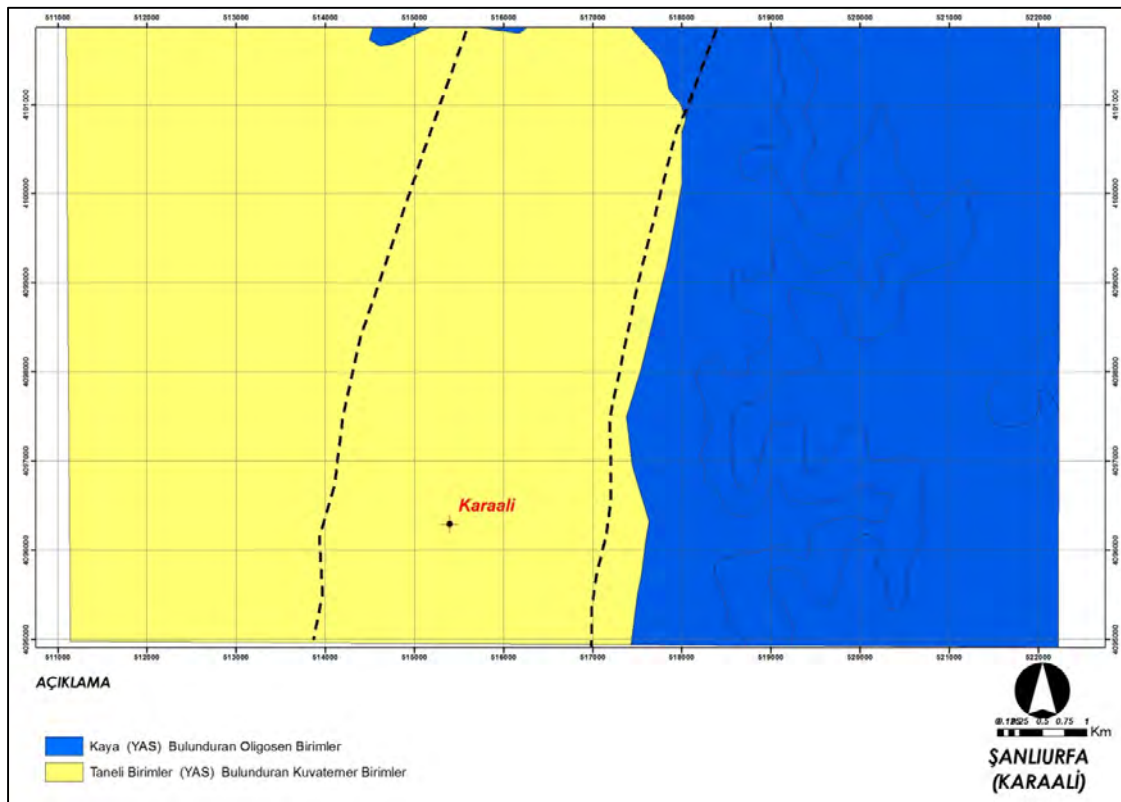
Şekil 15.9: İnceleme alanının çevresinde yüzlek veren Midyat Grubu'na ait birimlerden görünüm

Gaziantep Formasyonu üst seviyeleri Oligosen yaşlı olup, alt seviyeleri kireçtaşı, üst seviyeleri ise çörtlü kireçtaşı niteliğindeki şelf fasiyesindeki kayalarla temsil edilir. Bölgenin geniş alanlarını kaplayan Kuvaterner yaşlı alüvyonlar, çalışma alanının en genç birimini oluştururlar. Alanın dışında ve kuzeyinde, genç bazalt çıkışlarının varlığı dikkati çekmektedir. Bölgenin tümünde görülen kireçtaşları bol çatlaklı, çatlaklar damar dolgulu, yer yer karstik boşlukludurlar.

Çalışma sahası, genelde Miyosen sonrası gelişen bir grabenin doğu kenarında yer almaktadır. Akçakale grabeni olarak adlandırılmış olan bu yapının doğu ve batı sınırları, K-G genel doğrultulu ve normal fay karakterindeki yapılarla kontrol edilmektedir. Arazi gözlemlerinde yer yer bazı alanlarda açılma çatlakları niteliğindeki yapılara da rastlanmıştır. Grabeni kontrol eden ana yapıları, normal fay veya açılma çatlakları olarak ayırmak çoğu zaman zordur. Ayrıca grabenin ortalarındaki yine K-G genel doğrultulu olası bir normal fay, MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasında işaretlenmiştir. DSİ tarafından yapılmış olan bölgeye ait hidrojeoloji amaçlı haritalarda da grabenin içinden geçen benzer veya olası faylar çizilmiştir. Bu verilerden yola çıkarak ova içinde, kenar faylarına benzer başka fayların da olabileceği söz konusudur. Tersiyer yaşlı birimlerde gözlenen kıvrımları kesen bu fayların, diri olması da muhtemeldir. Grabenin doğu sınırını kontrol eden fay düzleminin dike yakın, ovaya eğimli gözlenmesine rağmen, alüvyonla olan dokanağı örtülü gibidir ve haritada devamı alüvyonun altında olası olarak çizilmiştir. Fay, kuzeydoğuya doğru Eosen yaşlı birimler ile Oligosen yaşlı birimlerin ayrıldığı yerde net olarak gözlenebilmektedir. Çalışma alanının kuzey doğusunda, bu graben fayına açılı gelen ve KKB-GGD doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı fayın varlığı dikkat çekmektedir. Saptanan bu ana yapıların ova alüvyonları altında devam etmesi veya başka fayların varlığı güçlü bir olasılıktır. Çalışma sahasının dışında ve Urfa şehir merkezinin Mardin'e doğru olan doğu bölümünde yüzeylenmiş olan bazaltik volkanizmanın, bölgede izlenen açılma çatlaklarının benzeri bir süreksizlikten yüzeylendiği rahatlıkla söylenebilir. Dolayısıyla bölgedeki kırık sistemleri ile volkanizma arasındaki bu ilişki, jeotermal sistemi yorumlamada ayrı bir önem taşımaktadır.

15.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

Harran Ovası'nda yapılan çalışmalar GAP idaresinin kurulması ile birlikte yoğunlaşmıştır. 1500 km² büyüklüğünde olan Harran Ovası'ndaki sulama 1993 yılına kadar tamamen yeraltı suyu ile sağlanmıştır. Karaali jeotermal sahasının yer aldığı Harran Ovası'nda 1995 yılında yüzey sulamasına geçilmesine rağmen alan hala yeraltı sularına bağlıdır. Harran Ovası'nda, sulama amaçlı olarak hem özel hem de kamu kurumları tarafından açılmış yaklaşık 10.000 adet kuyu bulunmaktadır. Karaali jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren Paleosen yaşlı tortul kayalar akifer özelliği taşımamaktadır ve alanda bariyer görevini görmektedir. Paleosen birimler üzerinde yüzlek veren kireçtaşları ise yeraltı suyu açısından zengindir. Ovanın kuzeyinde, kuzeydoğusunda ve kuzeybatısında Eosen yaşlı kireçtaşları, Ovanın doğusunda geniş bir alanda Miyosen kireçtaşları, batısında ise Oligo-Miyosen yaşlı kireçtaşları yüzlek vermiştir. Karaali çevresinde yüzlek veren Eosen yaşlı kireçtaşları karstik özelliğe sahiptir (Şekil 15.10)



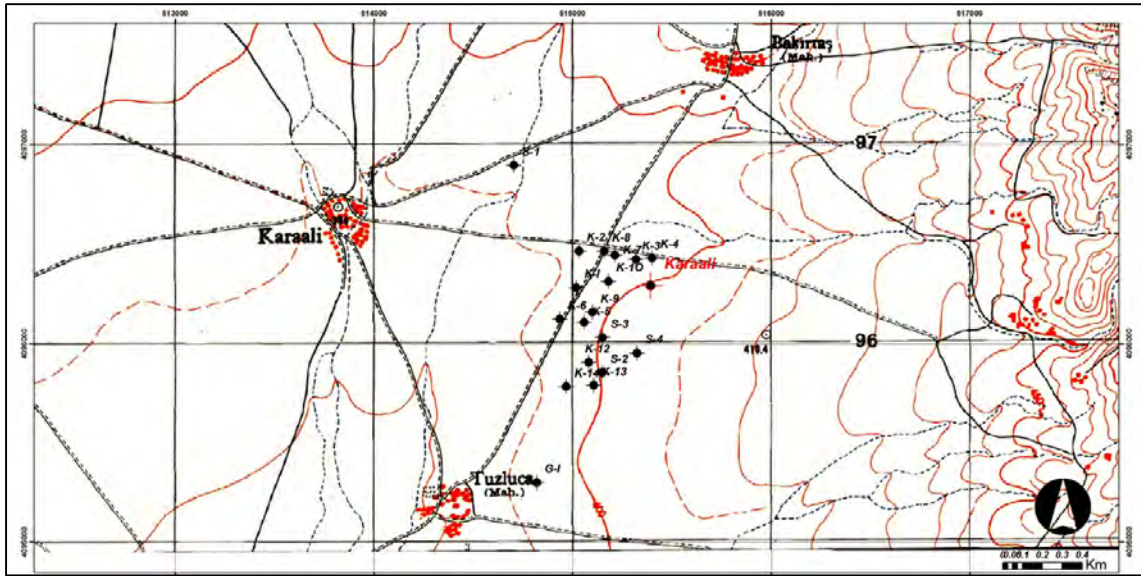
Şekil 15.10: Karaali ve çevresinin hidrojeoloji haritası

15.1.2.1. Açılan Kuyular

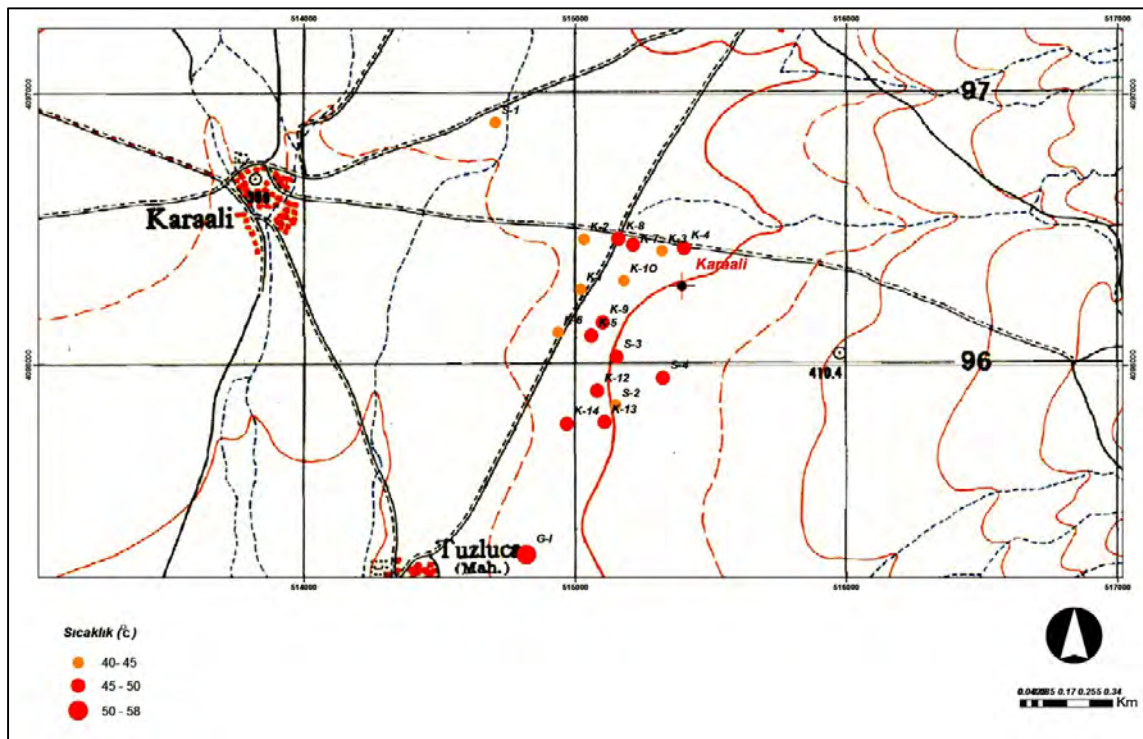
Karaali jeotermal alanında 1993 yılından bu yana jeotermal amaçlı 17'si özel idare, 15'i özel sektör tarafından olmak üzere toplam 32 adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiş, 39-58 °C arasında değişen sıcaklıkta akışkan üretimi sağlanmıştır (Tablo 15.1; Şekil 15.11 ve Şekil 15.12). Söz konusu kuyuların debileri 7 ile 100 l/s arasında değişmektedir. Açılan kuyu verilerine göre, Karaali jeotermal sahasının güneyinde daha yüksek sıcaklıklar ölçülmüştür (Şekil 15.13).

Tablo 15.1: Karaali jeotermal sahasında açılan sondaj kuyularından bazılarının özellikleri

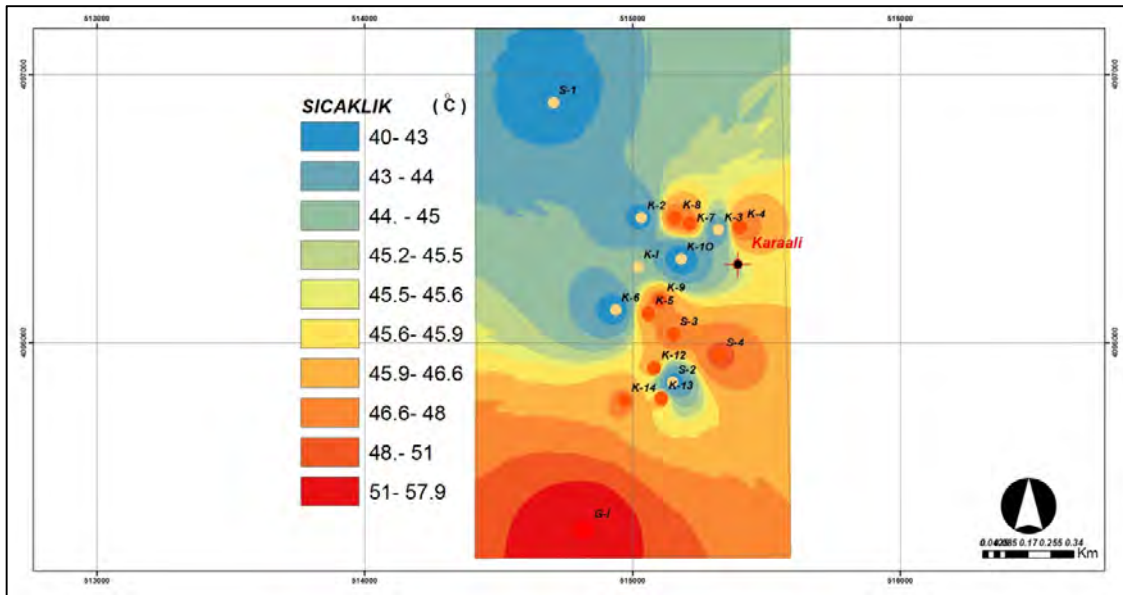
Kuyu No	Tarihi	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Statik Seviye	Dinamik Seviye	Mevcut Kullanım
Karaali-1	1993	183	48	38			
Karaali-3	2000	420	-	-			
Karaali-4	2000	203	-	-			
Karaali-5	1998	550	39,2	30			
Çamlıdere	2012	269	-	-			
K-1	1999	250	45,2	80 P	47,1	48,6	Kullanılmıyor
K-2	1999	250	42	80 P	49	51,3	Termal Turizm
K-3	1999	250	42,8	80 P	54,6	57,7	Termal Turizm
K-4	1999	260	48,2	70 P	52,4	58	Termal Turizm
K-5	1999	303	47	80 P	48	51	Termal Turizm
K-6	1999	260	41	80 P	46,55	50,5	Kullanılmıyor
K-7	1999	195	47,3	108 P	52	-	Termal Turizm
K-8	1996	183	48,5	38 P	51,09	-	Termal Turizm
K-9	1996	245	47,5	-	53,91	79,7	Kullanılmıyor
K-10	1998	550	40	33 P	48,75	-	Termal Turizm
K-12	2009	280	46,4	60 P	47	-	Seralara veriliyor
K-13	2009	360	46,3	60 P	42	-	Seralara veriliyor
K-14	2009	358	47	60 P	45	-	Seralara veriliyor
G-1	2010	1005	58	100 P	20	-	
Kaplıca-1	2011	365	51	60 P	45	120	
Kaplıca-2	2011	360	49	65 P	43	120	
S-1	1992	138	41,5	20			Kullanılmıyor
S-2	1992	140	41,5	26	53,42		Kullanılmıyor
S-3	2003	250	49	-			Termal Turizm
S-4	2007	250	49	-			Termal Turizm
R-1(K-11)	2008	807	38	90 P	-	-	Re-Enjeksiyon Kuyusu
Karaali Ö-1		270	?	7	49	50	
Karaali Ö-2		260	?	?			



Şekil 15.11: Karaali jeotermal sahasında açılan kuyuların yerleri



Şekil 15.12: Karaali jeotermal sahasındaki kuyulardaki sıcaklık dağılım haritası



Şekil 15.13: Karaali jeotermal sahasındaki kuyulardaki sıcaklık dağılım haritası

Eşder, 2004'e göre Akçakale grabeninde yer alan Karaali jeotermal sistemi; Güneydoğu Anadolu'da Miyosen ve sonrasında oluşan şiddetli tektonizmanın bir eseridir. Bu sistemin oluşumunda Arap Plakası ile Anadolu karasının çarpışması sonucu oluşan tektonizma, Arap Plakası'nda temeli derinlemesine kat eden doğrultu atımlı faylarla, mozaik blok şeklinde bir yapının meydana gelmesine neden olmuştur. Sıkıştırıcı kuvvetler etkisi altında oluşan bu faylar, daha sonra açılmayı sağlayan kuvvetler etkisinde Üst Mantoya kadar ulaşarak, sıcak magmatik gazların derinlerden yüzeye doğru yükselmesini, ikincil permeabiliteye sahip rezervuarlardaki meteorik kökenli suların ısı transferi yoluyla ısınmasını sağlamıştır. Araştırmacı, jeotermal akışkan üreten kuyularda sıcak suyla birlikte halen magmatik kökenli H₂S, SO₂ ve CO₂ gibi gazların çıkmasının bu görüşü doğruladığını savunur.

Yapılan çalışmalarla, bugüne kadar sadece Fırat Formasyonu'nun oluşturduğu 1. rezervuara ulaşılmıştır. Aynı sistem içerisinde daha derinlerde başka jeotermal rezervuarların varlığını araştırmak için 550 metre derinliğine ulaşan (K-10) kuyusunda 450 metreden itibaren yukarı doğru bir ısı transferinin olmaması, Karaali tesis alanında Fırat Formasyonu'nun oluşturduğu 1. rezervuardaki jeotermal akışkanın daha çok başka yerlerde ısınarak buraya yanal doğrultuda gelip yerleştiğine yorumlanmaktadır. Ancak 450 metreden derine doğru 0,5 °C/10 m jeotermal gradyan değerinin sıcaklık artışını işaret etmesi, daha derinde ikinci bir jeotermal rezervuarın varlığı ile ilişkilendirilmekte, bunun büyük bir olasılıkla Bozova Formasyonu olabileceği düşünülmektedir (Eşder, 2004). Karaali sıcak suyunun oluşumunu inceleyen Doğdu ve Kırmızıtaş (2006)'a göre alanda sıcak su rezervuarı kireçtaşından oluşan Fırat Formasyonu'dur. Sıcak su rezervuarının beslenme alanı, bu birimin yüksek alanlarda bulunan ve Pliyosen yaşlı çökellerle örtülmemiş bölümleri ile yakın bölgede geniş alanlar kaplayan ve kireçtaşları üzerinde yer alan bol soğuma çatlaklı volkanik kayalardır. Bu alanlardan sisteme giren yağış suları, derinlere süzülerek yüksek jeotermal gradyan ve olası magmatik sokulumlar ile ısınmakta ve sıcak suları oluşturmaktadır. Derinlerde ısı kazanan sıcak sular faylarla yüzeye doğru yükselmekte ve soğuksu içeren Fırat Formasyonu içerisine yayılmaktadır. Sistemin sıcaklık kaybını önleyen örtü kayaç birimlerini ise, Adıyaman Formasyonu olarak da adlandırılan Pliyosen yaşlı çökeller içindeki geçirimsiz kiltası ve marn

ardalanmaları oluşturmaktadır (Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006). Karaali köyünün doğusundaki sondajlarda Fırat Formasyonu'nda sıcak suya, batısındaki sondajlarda ise aynı birimde soğuk suya rastlanmaktadır. Bu durumun, doğuda graben sınırına doğru sıcak su gelişinin artması, grabeni sınırlayan doğu fayına bağlı olarak gelişen ve güncel etkinliği devam eden magmatik sokulum ile ilgili olduğu düşünülmektedir (Uzel ve Kalkan, 1992). Yakın çevrede magmatik etkinlik görülmemesine karşın sahada Karacadağ volkanizmasının ürünleri Şanlıurfa-Mardin karayolu civarında bolca gözlenmektedir (Doğdu ve Kırmızıtaş, 2006).

15.1.3. İnceleme Sahasında Yapılan Jeofizik Çalışmalar

Karaali jeotermal sahasında farklı zamanlarda 4 etap halinde jeofizik etüt yapılmıştır (Eşder ve Tümer, 1997, Eşder ve Buzkıran, 1998, Karlı, 2000, Kurt ve Olağan, 2010). Düşey Elektrik Sondaj şeklinde uygulanan bu çalışmalarda, sahadaki jeolojik birimlerin öz direnç kalınlıklarının yüzeyden derinlere doğru değişimine bağlı olarak birimlerin ayırtılması ve rezistivite değişimine neden olabilecek sıcaklık, tuzluluk, gözeneklilik gibi etmenlerin jeotermal aktiviteyle ilişkilendirilmesi ile yorumlanması amaçlanmıştır. Yine bu yöntemle kayaçların elektrik iletme yeteneğindeki farklılıklardan yararlanılarak temel kayanın konumu, örtü kaya kalınlığı, fayların ve rezervuar kayanın belirlenmesi çalışmanın ana hedefini oluşturmaktadır. Karaali jeotermal alanında gerçekleştirilen 1. etap jeofizik çalışmasında araştırma derinliği 500-1500 m'dir (Eşder ve Tümer, 1997). Ölçümler sonucu oluşturulan harita ve kesitlerin yorumlanması sonucunda, çalışma alanında KB-GD doğrultulu bir fayın varlığına dikkat çekilmekte, Midyat Formasyonu'nun çok derin olmadığına işaret edilmektedir. Elde edilen bilgiler değerlendirilerek, derinlikleri 400, 600 ve 700 m olarak belirlenen 22 noktada kuyu önerilmiştir.

Karaali sahasında 2. etap jeofizik çalışmasında araştırma derinliği 1000 m olarak seçilmiştir (Eşder ve Buzkıran, 1998). Hazırlanan eş rezistivite ve yapı kesitlerinin yorumunda; sahanın doğusunda izlenen çukurlaşma, DES noktaları arasında işaretlenen fay ile jeolojik haritada olası olarak gösterilen fay arasındaki graben yapısıyla açıklanmaktadır. Bazı ölçü noktalarında temel 300 m derinliktedir. Bu lokasyonlardaki ölçüler jeotermal akışkan ile ilişkilendirilmektedir. Taban kontur haritasında Midyat Formasyonu kuzeyden güneye, batıdan doğuya doğru derinleşmektedir. Çalışmalar sonucu beş bölgeye ayrılan sahada;

- Rezervuar derinliğinin 600 m olduğu ve yüksek sıcaklıklı akışkan beklenen 1. bölgede, üç lokasyonda araştırma sondajı önerilmiştir.
- Jeotermal sistemin güneye doğru devam edebileceği belirtilen 2. bölgede, sondaj öncesinde daha sık aralıklarla ve daha derin DES ölçülerinin alınması önerilmektedir.
- Sistemik jeotermal üretim kuyuları açabilmek için sık aralıklı, araştırma derinliği $AB/2=1000$ m olacak şekilde ayrıntılı jeofizik çalışma yapılması istenen 3. bölgede, 500 m derinliğinde bir araştırma sondajının yapılabileceği belirtilmiştir.
- Sık aralıklı ve araştırma derinliği $AB/2=500$ m olan ayrıntılı jeofizik çalışma yapılması önerilen 4. bölgede de 500 m derinliğinde araştırma sondajı öngörülmektedir.
- Jeotermal açıdan önemli olduğu düşünülen 5. bölge, sahanın güneydoğusunda temelin 300 m olduğu bir alandır (Eşder ve Buzkıran, 1998).

İnceleme alanında, 1. ve 2. etap çalışmalarının yapıldığı alanı da içeren 3. etap çalışması, MTA tarafından gerçekleştirilmiştir. Geniş bir alanda gerçekleştirilen üçüncü etap jeofizik düşey elektrik sondaj çalışmasında, araştırma derinliği 500-1500 m arasında değişmektedir (Karlı, 2000). Seviye haritalarından Karaali jeotermal sahasının rezervuar yayılımının kuzeyde

Bakırtaş, doğuda Tektek Dağları, güneyde Tuzluca ve batıda Karaali köyleri arasında olduğu yorumlanmıştır. Tektek Fayı'nın 75° batıya eğimli olduğu alandaki, birinci rezervuarın 400 m derinlikte, ikinci rezervuarın ise 500 m'den daha derinde olacağı öngörülmektedir.

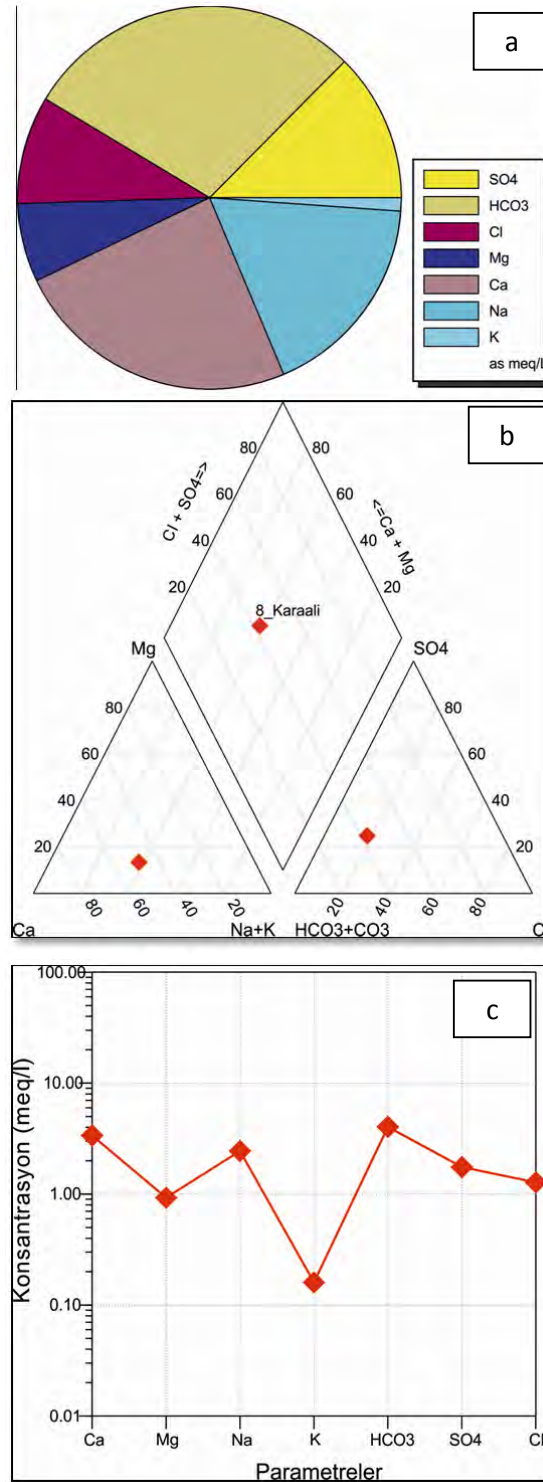
En düşük öz direnç kapanımları 10 ohm-m değerinin altındadır. Buna göre jeotermal anomali alanı Bakırtaş ile Tuzluca köyleri arasındadır. Bu anomalinin kuzey-güney uzanımlı Tektek fayı üzerinde yer alması, jeotermal aktivitenin tektonik kökenli olduğuna yorumlanmaktadır. Çalışmada, Midyat Formasyonu en derin olarak Tektek dağları ile Tuzluca ve Akmeşet köyleri arasında görülmekte ve derinliğinin 700 m olduğu tahmin edilmektedir.

Karaali ve çevresinde yapılan bir diğer jeofizik etüt, rezistivite ve SP çalışmasıdır (Kurt ve Olağan, 2010). Düşey Elektrik Sondaj (DES) şeklinde uygulanan jeofizik rezistivite çalışmasının değerlendirilmesinden dikkate değer sonuçlar çıkarılmıştır. Eşrezistivite haritalarında sahanın doğusundaki kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı yüksek rezistiviteli bölüm bir süreksizliğin varlığına yorumlanır. Bu durum, grabenin doğu kenarına doğru temel kayaların derinleştiği, bu nedenle yüksek rezistivite değerlerinin belirginleştiği şekilde açıklanmaktadır. Karaali doğusu, kuzey doğusu ve güneyinde $AB/2 = 200$ m seviyesindeki 12-14 ohm-m'luk rezistivite değerleri, 1. rezervuar olan ve kırıklı, çatlaklı kireçtaşlarından oluşan Fırat Formasyonu ile açıklanmaktadır. Jeotermal anomali açısından önemli görülen düşük rezistiviteli kapanımlar $AB/2=400$ m eşrezistivite haritasında Karaali sondaj bölgesinin güneyine doğru izlenmektedir. Karaali güneyinde jeotermal aktivite bakımından önemsenen $AB/2 = 600$ m eşrezistivite haritasındaki 18 ohm-m'lik kapanımın hemen doğusunda hızla yükselen rezistivite değerleri bir süreksizliği ifade etmekte, önceki seviye haritalarında da doğrusal olarak görülen süreksizlik hattı ile uyumaktadır. Yine sahanın bu bölümünde düşük rezistiviteli kapanım, $AB/2 = 800$ m eş rezistivite haritasında genişleyerek devam etmektedir. Haritanın kuzeyinde kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu kırık hatları ile haritanın ortalarından güneye doğru devam eden ve kuzey-güney doğrultulu fayları görmek mümkündür. Seviye haritalarının değerlendirilmesinde $AB/2 = 1000$ m'den itibaren 1800 m'ye kadar dikkate değer düşük rezistiviteli kapanım bulunmamaktadır. Karaali fayı ve olası gömülü fayların konumunu belirlemek amacıyla yapılan SP çalışmaları sonucunda önemsenen fayı simgeleyen en belirgin değişim 1. Profilin 57-61 noktaları arasındadır (Kurt ve Olağan, 2010). Karaali sahasında yapılan jeofizik çalışmalardan biri de, 8 adet kuyuda gerçekleştirilen log ölçümleridir. Bu kuyuların inilebilen derinliklerinde gamma-ray, neutron, density, elektrik ve termik log ölçüleri alınmıştır (Sözen ve Kapucu, 1999). Kuyulardaki sıcaklık ölçüleri, sahaya ait termik gradyanın yüksek olduğunu göstermektedir. MTA tarafından 540 m derinliğinde açılan K-10 kuyusunda sıcaklığın 400 m'lerden itibaren düşmesi ve bu derinlikten sonra tekrar yükselmesi, dikkat çeken diğer bir husustur. Bu durum iki farklı rezervuarın varlığına yorumlanmaktadır (Mertoğlu ve diğ. 2010).

15.1.4. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Araştırmacılar tarafından farklı zamanlarda söz konusu alandaki sıcak su kaynaklarının fiziksel ve kimyasal özellikleri ile ilgili bir dizi araştırma yapılmıştır. Bu proje kapsamında Karaali sahasında, alanı temsil eden bir noktadan hidrojeokimyasal amaçlı su numunesi alınmıştır. Karaali jeotermal kaynağı, tektonik kontrollü olup Fırat Formasyonu'na ait karbonatlardan yüzeye çıkmaktadır. Karaali jeotermal akışkanında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve sodyum (Na^+)'dur. Anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tir (Şekil 15.14).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper, hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak Karaali jeotermal sahasındaki akışkan Ca-Na-HCO₃ su tipini yansıtmaktadır (Şekil 15.14b ve 15.14c).



Şekil 15.14: Karaali jeotermal sahasındaki kaynağın a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

15.1.4.1. Ağır Metaller

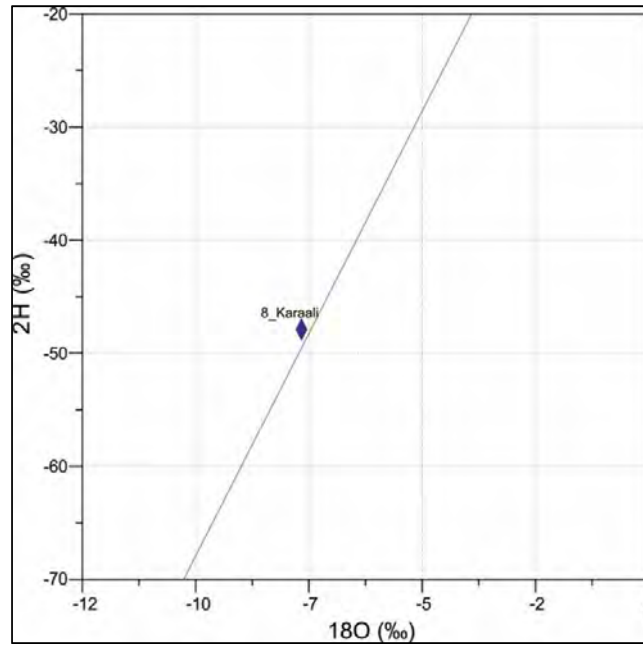
Karaali jeotermal sahasındaki akışkandan alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 15.2). Mart 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre alandaki su kaynağında arsenik dışında düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Arsenik değeri ise içme suyu limitlerini aşmıştır. Bu nedenle bu alandaki sıcak suyun kesinlikle içilmemesi gerekmektedir.

Tablo 15.2: Karaali sıcak akışkanında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)	İTASHY (ppb)
Karaali			Karaali		
Ag	<0,05		P	<10	
Al	1	200	Pb	<0,1	10
As	44	10	Pd	<0,2	
Au	<0,05		Pt	<0,01	
B	211	1000	Rb	8,04	
Ba	89,2		Re	1,34	
Be	<0,05		Rh	0,03	
Bi	<0,05		Ru	<0,05	
Br	265		S	30	
Cd	0,18		Sb	5,17	5
Cl	51		Sc	2	
Co	7,77		Se	153,1	10
Cr	0,6	50	Si	12848	
Cs	1,81		Sn	<0,05	
Cu	3,1		Sr	1196,35	
Fe	39	200	Ta	<0,02	
Ga	0,58		Te	<0,05	
Ge	0,39		Th	<0,05	
Hf	<0,02		Ti	<10	
Hg	<0,1		Tl	2,06	
In	<0,01		U	58,24	
Li	33,8		V	2405,8	
Mn	3,15	50	W	0,06	
Mo	146,4		Zn	25,2	
Nb	<0,01		Zr	<0,02	
Ni	114	20			

15.1.4.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

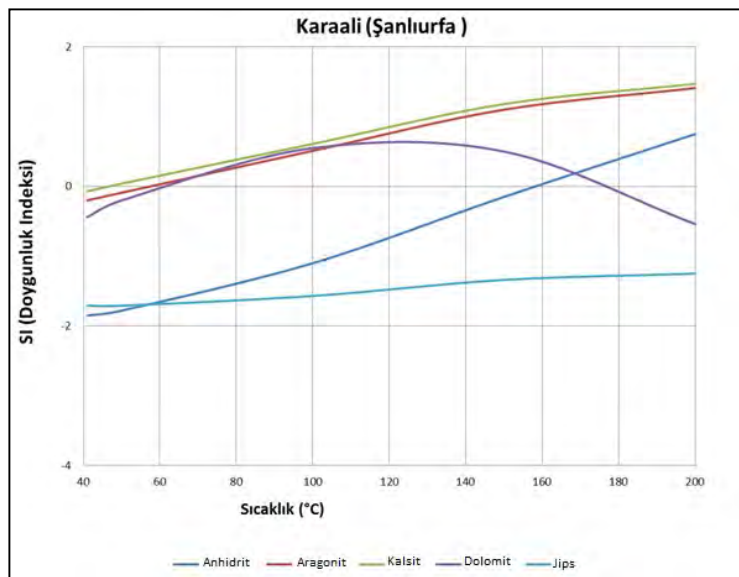
Karaali jeotermal akışkanından yapılan izotop analizleri Şekil 15.15'te gösterilmiştir. İnceleme sahasındaki akışkanın trityum değerleri TU=0, 5'den küçük olup suların en az 50 yıllık yeraltı suyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. Karaali jeotermal sahasındaki $\delta^{18}\text{O}$ ve δD değerleri sırası ile -7,36 ‰ ve -47,89 ‰ şeklindedir. Karaali jeotermal akışkanı meteorik kökene işaret etmektedir.



Şekil 15.15: İnceleme alanındaki akışkanın Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

15.1.5. Doymuluk İndeksleri

Karaali jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 15.16). Elde edilen verilere göre alandaki su kaynağında kabuklaşma problemi gözlenmektedir. Akışkan aragonit ve kalsite göre tamamen doygundur. 170 °C'ye kadar akışkanda dolomit kabuklaşması görülmekte ancak bu sıcaklıktan sonra akışkanda dolomit çözünmektedir. Ayrıca, sistemde 160 °C üzerinde anhidrit kabuklaşması görülebilir.

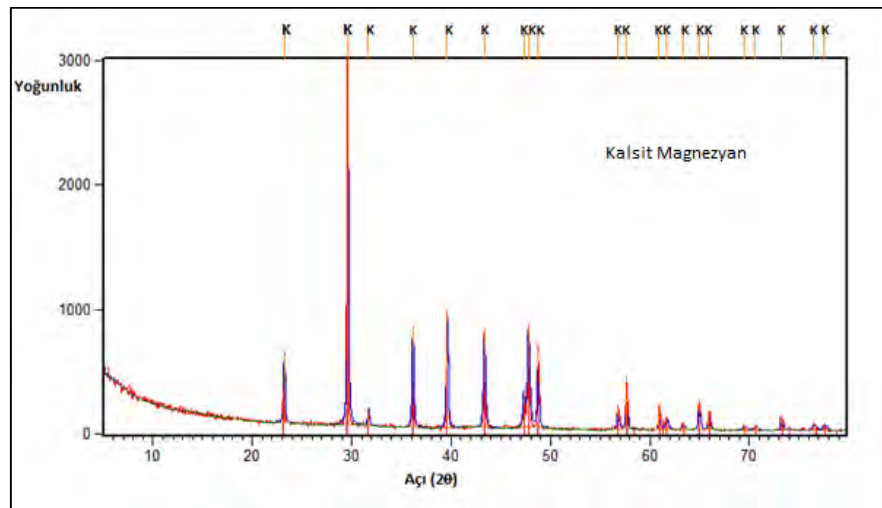


Şekil 15.16: Doymuluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

Karaali jeotermal sahasında kuyu başlarında gözlenen kabuklardan bir örnek alınmıştır. Alınan katı örneğin kristal yapı ve kimyasal bileşen tayininin yapılması amacıyla X-ışını Difraktometre (XRD) ve X-ışınları Floresans Spektrometre (XRF) kullanılmıştır. XRF sonuçlarına göre Karaali’de alınan kabuk örneğinin baskın kristallerinin kalsiyum (Ca) ve sodyum (Na) olduğu, XRD sonuçlarına göre ise kabukta ağırlıklı olarak kalsit magnezyan kristalleri olduğu gözlenmiştir (Tablo 15.3; Şekil 15.17)

Tablo 15.3: Karaali Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları

Örnek	Element	XRF Analizi Sonuçları (% kütle)		XRD Analizi Sonuçları Kristal Yapısı
		Oksitsiz	Oksitli	
Karaali	Ca	54,02	75,58	Kalsit Magnezyan
	Na	11,95	16,1	
	Mg	2,26	3,74	
	Ta	0,66		
	Cl	0,67	0,67	
	S		1,51	



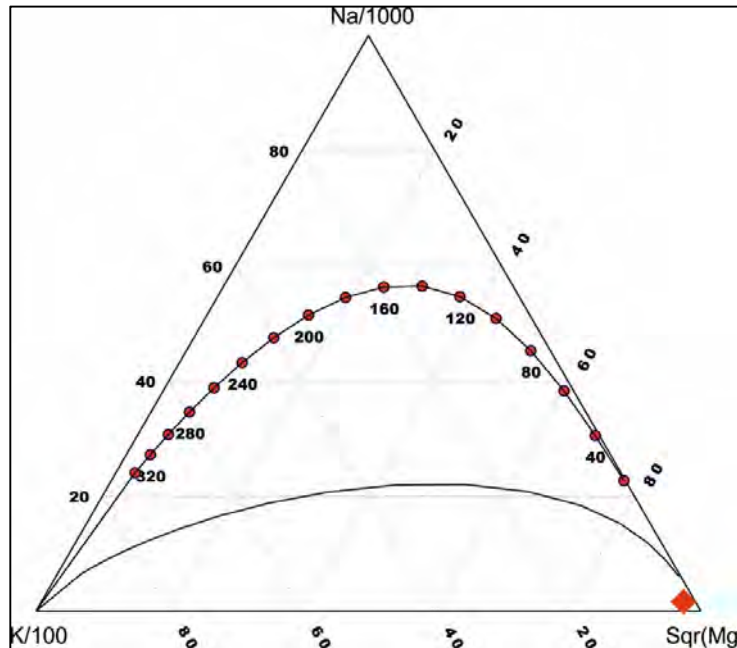
Şekil 15.17: Kabuk örneğinde bulunan “Kalsit Magnezyan” XRD sinyalleri.

15.1.6. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. Na/K jeotermometrelerine göre inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 207 ile 226 °C arasında değişmektedir (Tablo 15.4). Na/K jeotermometreleri ile yapılan hesaplamalar kalsiyum miktarı yüksek ve düşük sıcaklıklı sistemlerde beklenen değerlerden çok yüksektir. Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre verilerine göre ise Karaali jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı 52 °C’dir. Elde edilen veriler Giggenbach grafiğine aktarılmıştır. Ölçülen değerler Karaali akışkanın doymun olmadığını göstermektedir (Şekil 15.18).

Tablo 15.4: Karaali jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	199,8
Tonani, 1980	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	207,6
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	221,6
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	224,2
Fournier, 1979	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	226,5
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	56,16	6,26	11,27	67,69	213,0
Tonani, 1980	K-Ca	56,16	6,26	11,27	67,69	211,8
Fournier, 1991	K-Mg ^b	56,16	6,26	11,27	67,69	69
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca ^d	56,16	6,26	11,27	67,69	52
Giggenbach, 1988	K-Mg	56,16	6,26	11,27	67,69	54

**Şekil 15.18:** Karaali jeotermal akışkanın Giggenbach diyagramında gösterimi

15.1.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Şanlıurfa Karaali jeotermal sahasında yüzeye boşalan kaynak bulunmamaktadır. Bölgedeki diğer örtülü jeotermal sistemlerden biri olan Karaali sahasında akışkan üretimi açılan kuyulardan sağlanmaktadır. Gerek kamu, gerekse özel sektör tarafından sahada açılan kuyulardan sıcaklık ve debisi bilinenlere ait ısıl potansiyel değerleri hesaplanmış ve Tablo 15.5’de verilmiştir. Tablo 15.5’ten görüleceği gibi jeotermal akışkan çıkış sıcaklığına bağlı olarak mevcut kuyuların ısıl potansiyeli 32-137 MW arasındadır. Sahadaki kuyuların sıcaklıkları 38-58 °C, debileri ise 20-100 lt/s arasında değişmektedir. Sıcaklıklar yüksek olmamakla birlikte debiler yüksektir ve önemli bir potansiyele işaret etmektedir. Kuyuların birbirine yakın olması ve kuyu içi pompa ile üretim yapılıyor olmasının sahanın

sürdürülebilirliğini nasıl etkilediği bilinmemektedir. Kuyulardaki basınç ve seviye düşümü olup olmadığı, üretilecek akışkan debisinin belirlenmesinde önemlidir. Ayrıca kuyuların yakınlığı, birbirlerini etkilemelerine ve sıcaklığın düşmesine neden oluyor olabilir.

Karaali jeotermal sahasının potansiyeline yönelik, öngörü sağlaması bakımından önemsenen bir çalışma Mertoğlu ve diğ. (2010) tarafından yapılmıştır. Sahada jeofizik çalışmalarının çeşitli seviye haritaları ve kesit çalışmaları esas alınarak yapılan yorumlama sonucunda yaklaşık rezervuar alan büyüklüğü 3 km, jeotermal rezervuar kalınlığı ise ortalama 350 m alınmıştır. Çalışmada silis jeotermometre eşitlikleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklığı ortalama 70,4 °C olarak kabul edilmiştir. Ayrıca jeokimyasal analiz değerlerinden, bölgede daha önce çalışma yapmış uzmanların rezervuar sıcaklığına ilişkin beklentilerinden yola çıkarak sahanın rezervuar sıcaklığı alternatifli olarak 50 °C, 70 °C ve 90 °C olarak belirtilmiştir. Dönüş sıcaklığı ise 30 °C olarak alınmıştır. Bu parametrelere bağlı olarak rezervuarın ısı kapasitesi 20-61 MW arasında hesaplanmıştır.

Tablo 15.5: Karaali Jeotermal Sahası mevcut kuyuların ısı potansiyeli

Kuyular	m (l/s)	T _g (°C)	T _ç (°C)					Q (kW)
			40	35	30	25	20	
Karaali-1	38	48	1276,8	2074,8	2872,8	3670,8	4468,8	
Karaali-5	30	39,2		529,2	1159,2	1789,2	2419,2	
K-1	80	45,2	1747,2	3427,2	5107,2	6787,2	8467,2	
K-2	80	42	672	2352	4032	5712	7392	
K-3	80	42,8	940,8	2620,8	4300,8	5980,8	7660,8	
K-4	70	48,2	2410,8	3880,8	5350,8	6820,8	8290,8	
K-5	80	47	2352	4032	5712	7392	9072	
K-6	80	41	336	2016	3696	5376	7056	
K-7	108	47,3	3311,28	5579,28	7847,28	10115,28	12383,28	
K-8	38	48,5	1356,6	2154,6	2952,6	3750,6	4548,6	
K-10	33	40	0	693	1386	2079	2772	
K-12	60	46,4	1612,8	2872,8	4132,8	5392,8	6652,8	
K-13	60	46,3	1587,6	2847,6	4107,6	5367,6	6627,6	
K-14	60	47	1764	3024	4284	5544	6804	
G-1	100	58	7560	9660	11760	13860	15960	
Kaplıca-1	60	51	2772	4032	5292	6552	7812	
Kaplıca-2	65	49	2457	3822	5187	6552	7917	
S-1	20	41,5	126	546	966	1386	1806	
S-2	26	41,5	163,8	709,8	1255,8	1801,8	2347,8	
R-1(K-11)	90	38		1134	3024	4914	6804	
Toplam			32446,68	58007,88	84425,88	110843,9	137261,9	

Kuşkusuz bu aşamada dile getirilen senaryoların ve öngörülerin gerçekliği tartışmalıdır ve varsayımlar ile birtakım kabullere dayalıdır. Hesaplanan rezervuar potansiyeli, bölge ekonomisi için önemli katkı sağlayacak büyük bir değeri ifade etmektedir ve somutlaştırılması için ilave çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Bu doğrultuda, akışkanın ısı yüklenerek yüzeye doğru yükselmesini sağlayan mekanizmayı açıklayıcı, akışkanın ısını transfer ettiği kaynağı tanımlayıcı, üretim yapılacak rezervuarın geometrisini ortaya koyan bilgilerin

üretilmesinden sonra sahanın üretim potansiyelini belirlemek, daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

Yukarıda aktarılan görüşler, bu çalışma kapsamında yapılan arazi çalışmalarındaki etüt, inceleme ve gözlemlerle birlikte değerlendirildiğinde;

1. Yörede daha önce oldukça ayrıntılı çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Buna karşılık bu çalışmalarda jeotermal sistem tanımlamasında kullanılan ısı kaynağı, rezervuar, örtü kaya ile akışkanı taşıyıcı fay sistemleri ve birbirleri ile ilişkileri net bir şekilde tanımlanmamıştır. Ağırlıklı olarak jeofizik (Rezistivite, SP) ölçümlerin ortaya koyduğu ve jeotermal jeolojiye yorumlanmamış harita anomalilerine dayanmaktadır. Sözü edilen çalışmaların bir kısmında sondaj kuyusu önerisinde bulunulurken, diğer bir kısmında daha ileri aşamaya gidilerek rezerv hesaplamaları yapılmıştır.
2. Bu çalışmalar havza bazından ziyade ruhsat sınırları ve yakın çevresi ile sınırlı kalmıştır. Bir jeotermal sistemin ana parametrelerinden ısı kaynağı, ısınan akışkanı rezervuara taşıyan fay sistemi ile rezervuarın kesiştiği noktasının ortaya çıkarılarak hedef alınması bilgileri ortaya konmamıştır. Yapılan arazi çalışmalarına göre yukarıda tanımlamaya çalıştığımız jeotermal sistem parametreleri ve birbirleri ile ilişkileri kurularak yapılacak hedef noktaların belirlenmesi halinde saha için daha başarılı sonuçlar elde edilebilecektir.

Araştırma, inceleme, gözlemler ve önceki çalışmaların irdelenmesi sonucu oluşturulan veriler çerçevesinde sahanın potansiyelini ortaya çıkarmaya yönelik aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- a. Harran Ovası'nda çalışma alanının kuzeyinde yüzeyleyen genç volkanizmanın benzerinin örtü altında cepler halinde izlenebileceği, ısı kaynağı veya ısı aktarıcı özelliği taşıyabileceği düşünülmektedir.
- b. Harran Ovası'nın oluşumunu (açılmasını) açıklayabilmek için ovanın doğu ve batı sınırında bulunan ana fayların yanında ova içinde ve bu faylara paralel birkaç fayın da olması gerekmektedir.
- c. Ova düzlüğünün tutturulmamış malzeme dolgulu (alüvyon vb) ve çok eskilere dayanan tarım işlevleri olması nedeniyle ova içinde beklenen fay izlerinin yok olduğu düşünülmekte, dolayısıyla ova örtüsü altında akışkan çıkışına aracılık eden kanallar özelliğindeki fayların varlığı kabul edilmektedir. Diğer taraftan ovanın iki tarafını sınırlandıran fayların üzerinde ve/veya yakınında jeotermal aktiviteye yorumlanabilecek verilen bulunmaması ova içindeki fayların varlığı ve önemini destekler niteliktedir.
- d. Yüzeyde veya yüzeye yakın rezervuarlarda soğuk ve sıcak su girişi olmaktadır.
- e. Rezervuar hesaplamasında kullanılan rezervuar kalınlığının hangi birimlere karşılık geldiği net değildir. Arazi çalışmalarında ortaya çıkan birinci rezervuar Fırat Formasyonu'dur. Ancak yapılan 11 sondajda Fırat Formasyonu 40-147 m arasında değişen kalınlıkta kesilmiştir. Dolayısıyla rezervuar kalınlığının 350 m olarak alındığı rezervuar hesabında (Mertoğlu ve diğ., 2010) ikinci bir rezervuarın dikkate alınıp alınmadığı bilinmemektedir.
- f. Bugüne kadar yapılmış olan sondajlarda ancak Fırat Formasyonu ve altındaki Germav Formasyonu'na kadar ulaşılabilmiştir. Germav Formasyonu'nun altında gerek kırık

- sistemleri ve gerekse karstik özelliği nedeniyle daha iyi rezervuar niteliğinde karbonatlı kayalar bulunmaktadır.
- g. Bu nedenle, bölgede daha derinde daha yüksek sıcaklık ve debideki akışkanın olabileceği, derindeki rezervuarı kesen süreksizliğin (fay veya açılma çatlağı) kesişme noktaları yakalanabildiği takdirde arzulan hedefe ulaşılabileceği söylenebilir.
 - h. Bu bilgiler havza bazında çalışma alanını genişleterek ve daha derinden bilgiler sağlayacak jeofizik MT ve gaz ölçümleri gibi aletsel ölçüleri gerektirmektedir.
 - i. Proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve önerilecek ilave etütlerle yapılacak ölçümler sonucunda elde edilecek verilerin önceki çalışmalarla birleşik değerlendirilmesiyle kaynağın oluşum mekanizmasını aydınlatmak, öngörülen daha derindeki ikinci rezervuarın varlığını ortaya koymak, açılacak ilave kuyularla alanın üretim kapasitesini belirlemek mümkün olabilecektir.

15.1.8. Yatırım Olanakları

Karaali jeotermal sahasından üretilen 58 °C'ye ulaşan sıcaklıktaki yaklaşık 200-300 l/s akışkandan yararlanma, günümüzde termal tesislerde kaplıca amaçlı kullanım ve sera ısıtmasıyla sınırlıdır. Sahanın yer aldığı bölgenin coğrafik ve iklim koşulları, jeotermal kaynaktan çok çeşitli ve entegre yararlanma olanakları yaratmaktadır. Karaali sahasındaki jeotermal kaynaktan daha verimli ve daha yüksek kapasitede yararlanmak için mevcut uygulamalara ilave olarak kurutma, balık çiftlikleri gibi başka uygulamalar da sisteme entegre edilebilir.

İl Özel İdaresi'nce Karaali jeotermal sahasında başlatılan jeotermal enerjiye dayalı seracılık uygulaması hızlı bir gelişme göstermiştir. Sahada 500 dönümlük arazide jeotermal kaynaktan yararlanılarak seracılık yapılmaktadır. İlgili bölümlerde açıklandığı gibi, Fırat Formasyonu olarak adlandırılan kireçtaşının oluşturduğu birinci rezervuardan üretilen akışkandan yararlanmayla sınırlı bu uygulamayı, sahanın gerçek büyüklüğünün belirlendiği alana yayarak genişletmek mümkündür. Bunun yanında öngörülen ikinci rezervuarın somutlaştırılması sera uygulama kapasitesini de büyütecektir.

Karaali sahasında dar bir alanda açılan kuyulardan üretilen akışkandan klasik kaplıca anlayışıyla yararlanılmaktadır. Özel İdare kuyularınının 11 tanesi faal olarak hizmet vermekte, 6 tanesi ise atıl durumdadır. Faal olan kuyuların 2 tanesi kaplıca tesisleri, 9 tanesi ise jeotermal seracılık için kullanılmaktadır. Jeotermal saha içerisinde tüm odalara sıcak su sağlandığı 54 adet özel odayla Termal Apart Otel ve 160 yatak kapasitesiyle Karaali Kaplıca Oteli hizmet vermektedir. Aynı zamanda seracılık uygulamasının yapıldığı sahada, kuyuların birbirini etkilemesi nedeniyle teknik ve idari sorunların yaşandığı bilinmektedir. Önemli bir potansiyelin olduğu öngörülen sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılması, hem bu tür sorunların yaşanmayacağı, hem de daha büyük ve modern tesislerde yararlanılacağı bir zemin yaratacaktır. Yapılacak çalışmalar sonunda belirlenecek lokasyonlarda açılacak kuyularla kapasite büyüyecek ve kullanım alanı genişleyecektir. Üretilecek akışkanı sahanın dışına taşıyarak kurulacak tesislerde kullanmak için fiziki koşullar uygundur. Bölgenin kültürel varlıkları, ulaşım ve mevsim koşulları turizmin çeşitlendirilmesi bakımından önemli bir avantajdır. Bölge, tüm yıla yayılacak termal kullanımla yerli ve yabancı, özellikle Arap ülkelerinden gelecek turistler için çekim merkezi olma avantajına sahiptir. Sahanın mevcut kapasitesi bile önemli bir büyüklüğü ifade etmekte, kurulacak büyük ve modern termal

tesislerde kullanımı, maddi kazanç sağlaması yanında istihdam yaratarak ciddi bir ekonomik seçenek sunmaktadır.

Sahada yapılan çalışmalar irdelendiğinde, bugüne kadar sahada Fırat Formasyonu'nun oluşturduğu birinci rezervuara ulaşıldığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Yukarıda sözü edilen mevcut uygulamalar da bu rezervuardan üretilen akışkandan yararlanılarak yapılmaktadır. Ancak söz konusu rezervuarın yayılımı, başka bir ifadeyle sınırları sondajlarla belirlenmediğinden, bu aşamada yararlanılan alanın büyüklüğü belirsizdir. Öte yandan sahadaki çalışmalarda toplanan bazı bilgiler, aynı sistem içerisinde daha derinlerde ikinci rezervuar olasılığını güçlendirmektedir. Dolayısıyla sahadan en yüksek verimi elde etmek için, mevcut üretim yapılan rezervuarın yanında, başka jeotermal rezervuarların varlığının araştırılması son derece önemlidir.

Sahada yapılan çalışmalar dikkate alınarak, rezervuarın kapasitesi 61,1 MWt olarak öngörülmüştür (Mertoğlu ve diğ., 2010). Bu değer henüz test edilmemiş olmakla birlikte önemli bir büyüklüğü ifade etmektedir ve ciddi bir yatırım olanağı sunmaktadır. Ancak yatırım riskini minimize etmek bakımından kaynağın oluşum mekanizmasının aydınlatılması, birinci rezervuar yayılımının belirlenmesi, derindeki ikinci rezervuar varlığının somutlaştırılması gibi bazı belirsizliklerin giderilmesi ve sistemin tüm bileşenlerinin net bir şekilde tanımlanması öncelikli görülmektedir. Bu bağlamda, sahada proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve önerilecek ilave etütlerle yapılacak ölçümlerin, önceki çalışmalarla birleşik değerlendirilmesiyle elde edilecek verilerin yönlendirmesiyle açılacak ilave kuyularla sahanın üretim kapasitesinin belirlenmesinden sonra mevcut yararlanmaya ilave kullanım seçenekleri sunulmalıdır.

15.1.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Projeye konu olan illerde yer alan jeotermal sahalardaki kaynak araştırılmasına yönelik en kapsamlı çalışma, Şanlıurfa Karaali sahasında gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, ısı kaynağı, üretim zonları, sıcak suyun yüze ulaşmasını sağlayan mekanizma, akışkanın kullandığı yapısal öğeler gibi parametreler ve tüm bunların bileşimi olan sistemin oluşum modeli tartışmalı olup üzerinde görüş birliği sağlanabilmiş değildir. Termal tesislerde yararlanma ve sera ısıtması gibi yöreye önemli bir ekonomik katkı sağlayan uygulamalarda kaynağın sürdürülebilirliği, sahanın geleceği açısından hayati önem taşımaktadır. Bu bakımdan mevcut yatırımın riskini minimize etmek, sahadaki kapasite/üretim dengesini oluşturmak için yukarıda sözü edilen belirsizliklerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca önerilen bu çalışmalarla, yeni yatırımların yükünün hangi boyutlarda karşılanabileceğini de belirlemek mümkün olabilecektir.

Sahada değişik zamanlarda etaplar halinde jeofizik etütler yapılmıştır. Düşey Elektrik Sondaj şeklinde uygulanan jeofizik rezistivite çalışmasında, sahadaki jeolojik birimlerin ayırtlanması, sıcaklık, tuzluluk, gözeneklilik gibi etmenlerin jeotermal aktiviteyle ilişkilendirilebilirliği yönüyle yorumlanması amaçlanmıştır. Yine bu yöntemle temel kayanın konumu, örtü kaya kalınlığı, fayların ve rezervuar kayanın belirlenmesi, çalışmanın ana hedefini oluşturmuştur. Ayrıca Karaali fayı ve olası gömülü fayların konumunu belirlemek amacıyla SP çalışması gerçekleştirilmiştir. Sahada ısı kaynağı ile ilgili bilgiler net olmayıp araştırmacılar, buna ilişkin değişik görüşler öne sürmektedirler. Yapılacak MT çalışmasında elde edilecek bulgular, ısı kaynağına ilişkin önemli bilgiler sağlayacaktır. Bunun yanında sonuçlar, önceki jeofizik etütlerdeki verilerle birlikte değerlendirilerek, iletkenlik değerlerinin jeotermal kaynak

oluşumu bakımından yorumlanmasında, güncelde üretimin sağlandığı rezervuardan daha derindeki rezervuar karakterindeki kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde kullanılabilir. Yine bu bilgiler, jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında, ısı kaynağına yönelik verilerin elde edilmesinde, jeolojik olarak var olması gereken ancak yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

Ayrıca, akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması ve bu çalışmayla, sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenmelidir.

Sondaj çalışması, maliyet açısından ciddi yükü olan ancak kaynağa dayalı yatırıma temel oluşturacak bilgilerin üretileceği en önemli aşamadır. Alanda, potansiyele ilişkin önemli bilgilerin sağlandığı derinlikleri farklı çok sayıda kuyu açılmıştır. Ancak, rezervuarın karakteristiklerini tam olarak yansıtmamaktadır. Öte yandan dar alanda açılmaları nedeniyle birbirlerini etkilemektedir. Bunun sonucunda, debi miktarları düşen bu kuyulardan üretim yaparak yararlanan mevcut yatırımlarda olumsuzluklar yaşanmaktadır. Sahanın gerçek üretim kapasitesinin ortaya çıkarılarak sürdürülebilir üretim ve buna dayalı yatırım planlaması yapılması için yukarıdaki başlıklarda önerilen etütlerin yönlendirmesiyle yeni kuyular açılmalıdır. Lokasyonları ve derinlikleri bu etütler sonunda belirlenebilir. Bu kuyularla belirsizliklerin giderilmesi, sahanın üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması mümkün olabilecektir. İlk etapta mevcut kuyuların etkileşim mesafesi dışında belirlenen lokasyonlarda denenecek kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması önemlidir. Sondaj çalışmalarının olumlu olması durumunda testler yapılmalı ve yeni kuyular planlanmalıdır. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülmelidir. Ancak açılan her kuyudan elde edilen kılavuz bilgilerin, sonraki kuyuların açılıp açılmayacağına karar verilmesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir. Kuyulardan toplanan bilgilerle sahanın rezervuar modeli oluşturulmalı, mevcut kuyuların kullanımı bu modele göre tekrar değerlendirilmelidir.

Ayrıca alandaki sıcak su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerin düzenli olarak izlenmesinde yarar vardır.

15.2. KABAHAJDAR JEOTERMAL SAHASI

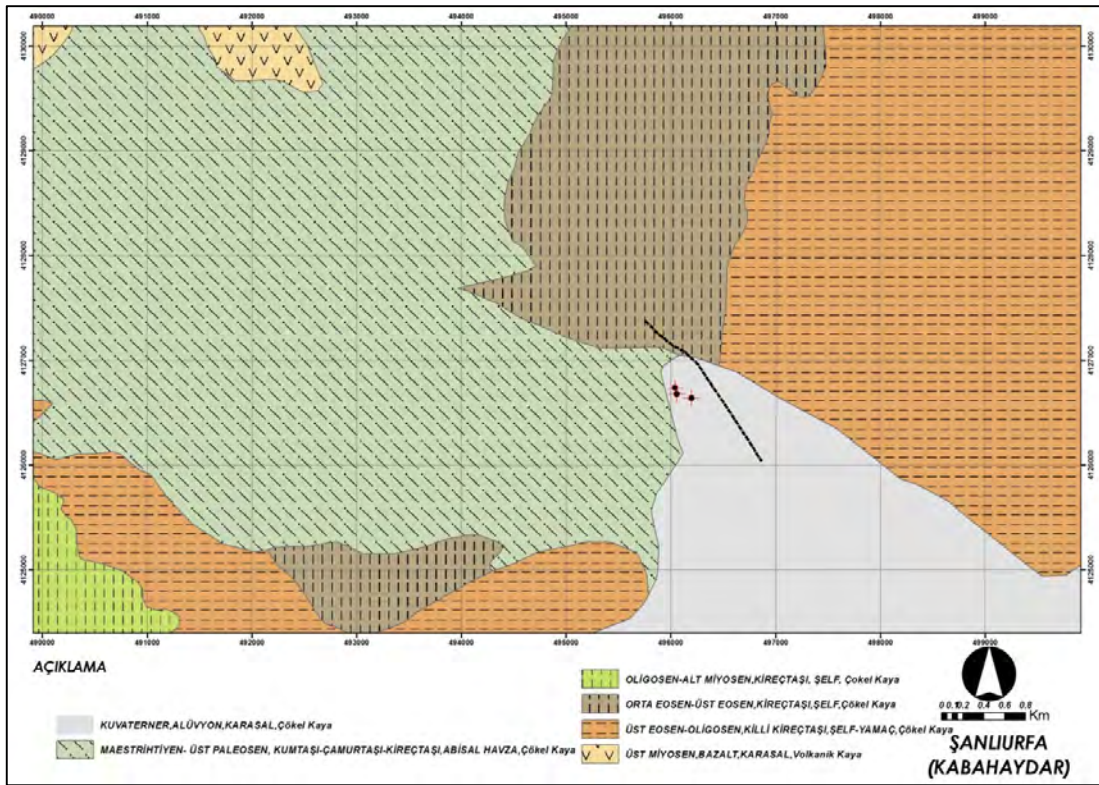
Kabahaydar jeotermal sahası Şanlıurfa ilindeki ikinci jeotermal sahadır (Şekil 15.19). Bu saha ile ilgili bilimsel veriler son derece azdır. 2012 yılında Şanlıurfa İl Özel İdaresi tarafından özel bir firmaya “Aşağı Koymat Köyü 5000 Dekarlık Alanda Jeoloji, Jeokimya ve Hidrojeoloji Raporları” isimli bir çalışma yaptırılmıştır. Bu raporda ağırlıklı olarak jeofizik çalışmalar yapılmış, bunun dışında bu alanda jeotermal sistem ile ilgili diğer bilimsel çalışmalar yapılmamıştır.



Şekil 15.19: Kabahaydar jeotermal sahasından görünüm

15.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Kabahaydar çalışma sahası, Tersiyer yaşlı kaya toplulukları, bunları kesen bazaltik lavlar ile Kuvaterner yaşlı alüvyonal dolgulardan meydana gelmektedir. Yüzeylenen en yaşlı birim Maestirhtiyen-Paleosen yaşlı şelf fasiyesindeki kumtaşı, çamurtaşı, kireçtaşıdan meydana gelen Germav Formasyonudur. Bölgede Orta Eosen-Üst Eosen şelf çökeli olan kireçtaşlarından meydana gelen Hoya Formasyonu, Germav Formasyonu’nu örtmektedir. Birim üste doğru Üst Eosen-Oligosen yaşlı şelf-yamaç fasiyesindeki killi-çörtlü kireçtaşı ile temsil edilen Gaziantep Formasyonu’na geçmektedir. Çalışma alanının sınırlı bir bölümünde yüzeylenen Oligosen-Alt Miyosen yaşlı Fırat Formasyonu, şelf fasiyesindeki kireçtaşları ile temsil edilir ve alttaki birimleri uyumsuz bir şekilde örter. Bölgede Yıldızeli bazaltları veya Karacadağ bazaltları olarak adlandırılan volkanitler daha yaşlı birimleri kesmiş şekilde sahada gözlenmektedir. Aşağı Koymat ve güneyinde geniş düzlükler oluşturan ovanın Kuvaterner yaşlı alüvyon dolguları bölgenin en genç birimlerini oluşturmaktadır (Şekil 15.20).



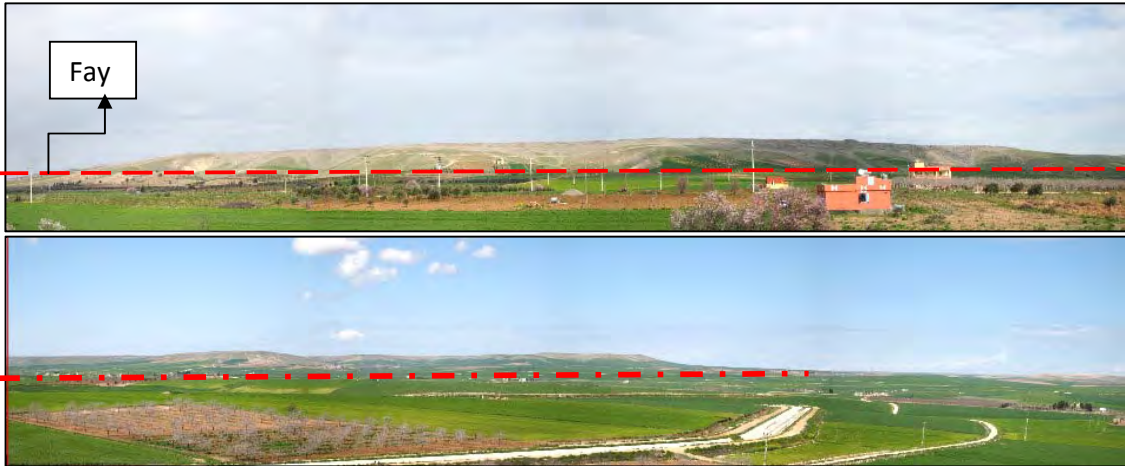
Şekil 15.20: Kabahaydar jeotermal sahası ve çevresinin jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)

Proje sahasında, Eosen ve daha genç birimler bol kırıklı, fakat az eğimli olacak şekilde kıvrımlar içermektedir (Şekil 15.21). Aşağı Koymat ovasının batı sınırı Şekil 15.22'de görülebileceği gibi kuzey güney yönlü bir fay tarafından sınırlanmaktadır. Fayın çoğu yerlerde örtülü olması ve yoğun tarım işlevleri nedeniyle varlığı ve niteliği hakkında yeterli veri toplanamamıştır. Bu nedenle olasılı olarak açılma çatlakları şeklinde nitelendirilmiştir. Fayın kuzeyde ova dışında Gaziantep Formasyonu'nda ve güneyde alüvyonların içindeki devamlılığı izlenememiştir. Ancak Gaziantep ve Hoya formasyonlarının bu süreksizliğe yakın yerlerinde deformasyona uğradığı dikkati çekmektedir. Çalışılan alandaki ova düzlüğünün kuzeyini kontrol eden KD-GB doğrultulu dokanağın büyük bir kısmının olasılıklı faylı olduğu düşünülmektedir. Ancak alüvyon örtü nedeniyle iyi bir şekilde izlenemediğinden, haritaya fay olarak işaretlenememiştir. Ayrıca bu fayın aynı şekilde alüvyonlar tarafından örtülü olması ya da sürekliliğinin olmaması nedeniyle ovanın çoğu kenarında izlenememektedir. Bölgesel tektonik yorumlara göre bu sınırın doğrultu atımlı bir fay olabileceğini göstermektedir. Yine bölgesel bilgiler alana doğru taşındığında, çalışma alanında ova içinde de K-G genel doğrultulu bazı süreksizliklerin (fay veya çatlak) olabileceği beklenmektedir. Arazi gözlemlerine göre, Tersiyer yaşlı kaya toplulukları düşük eğimli olmasına rağmen bol çatlaklıdır. Bu çatlakların bir kısmının dolgu olduğu ve genel doğrultularının kuzey veya kuzeye yakın olduğu gözlenmiştir. Bu verilere göre benzeri kırık sistemlerinin alüvyon altında devam edebileceği söylenebilir. Saha gözlemlerinde kuyu yeri ve çevresinde drenajları sınırlayan bazı çizgiselliklerin varlığı gözlenmiştir. Ancak bu çizgiselliklerin çoğunun boyutları küçük olduğundan haritaya işlenememiştir. Sadece Aşağı Koymat köyü batısında bulunan ve Koymat deresine birleşen yan dereyi kontrol eden KB-GD doğrultulu fay (çatlak olabilir) jeofizik destekli olması nedeniyle haritaya işlenmiştir. Bu süreksizliğin hareket yönü ve

niteliği hakkında bilgi sağlanamamıştır. Ancak kontrol ettiği topoğrafyaya göre doğu bloğunun düştüğü yorumlanabilir.



Şekil 15.21: Kabahaydar jeotermal sahası çevresinde yüzlek veren çatlaklı Eosen yaşlı birimlerden görünüm



Şekil 15.22: Çalışma alanının kuzeyinden geçen doğrudan atımlı faydan görünüm

15.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanı ve çevresinde Eosen yaşlı birimler ve daha genç birimler bol kırıklı bir özellik göstermektedir. Bu özelliği nedeniyle alandaki birimler yeraltı suyu açısından sürdürülebilir

akiferlerdir. Kabahaydar ve çevresindeki tarım arazileri ağırlıklı olarak yeraltı suyu ile sulanmaktadır. Kabahaydar sahasında farklı derinliklerde açılmış kuyular bulunmaktadır. Elde edilen verilere ve gözlemlere göre jeotermal kaynak tektonik kontrollü olup Fırat Formasyonu'na ait karbonatlardan yüzeye çıktığı anlaşılmaktadır.

Jeotermal sahada, Aşağı Koymat köyü sakinlerinden Mehmet UZUN kendi imkanlarıyla 252 m ve 835m derinliğinde 2 adet sondaj kuyu açmıştır (Tablo 15.6; Şekil 15.23). Kuyu sahibinin verdiği bilgilere göre 252 m derinliğindeki kuyuda 80 m'den sonra ve 835 m derinliğindeki kuyuda ise 400 m derinlikten sonra bol miktarda kuvars kesildiği ifade edilmiştir. 252 m derinliğindeki kuyuda bir dizi testler yapılmıştır. Yapılan testlere göre kuyunun debisinin 30 l/sn statik su seviyesinin 150 m'de dinamik su seviyesinin ise 151 m'de olduğu belirtilmiştir. Kuyuda düşümün az olması bu alandaki karbonatlı kayaçların sürdürülebilir akifer olduğunu göstermektedir. Mart 2015 tarihinde yapılan ölçümlerde alandaki kuyuların sıcaklıkları 24 ile 29 °C ve Elektriksel iletkenlik (EI) değerleri ise 589-1105 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmiştir.



Şekil 15.23: İnceleme alanında açılan 252 m derinliğindeki kuyudan görünüm

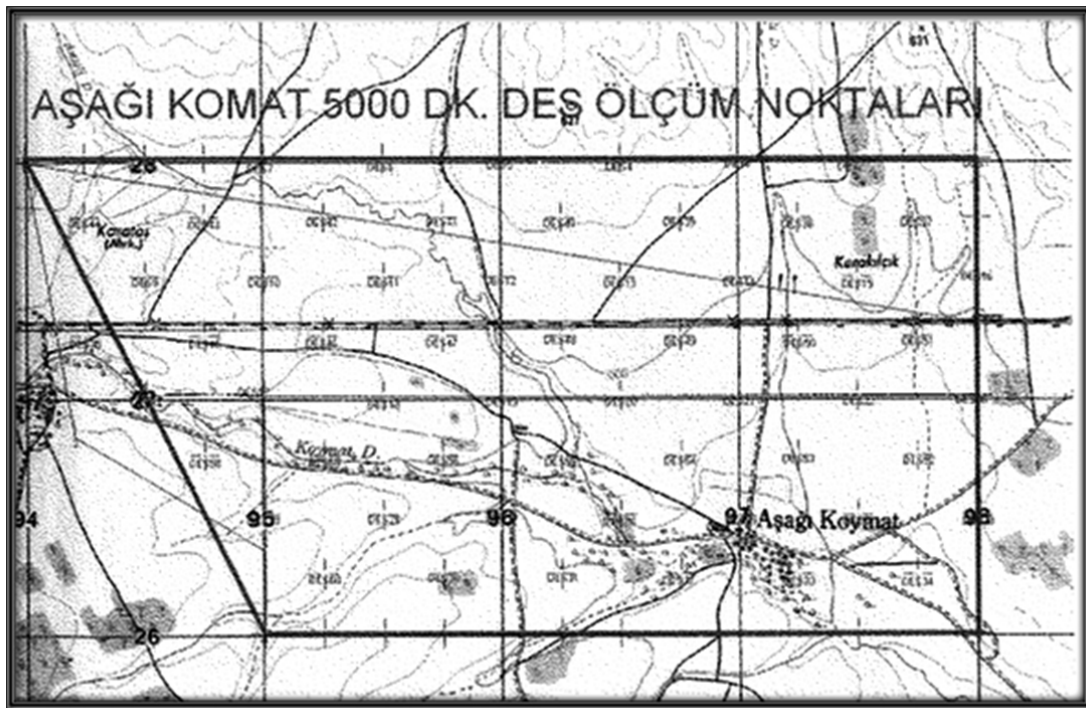
Tablo 15.6: Kabahaydar jeotermal sahasında açılan kuyuların litolojik özellikleri

252m Derinliğindeki Kuyu		835m Derinliğindeki Kuyu	
Derinlik (m)	Litoloji	Derinlik (m)	Litoloji
00-10	Alüvyon	00-10	Alüvyon
10-80	Çörtlü kireçtaşı	10-25	Kireçtaşı
80-152	Çörtlü kireçtaşı+marn	25-150	Marn
152-210	Sirkülasyonsuz ilerleme	150-230	Çörtlü kireçtaşı
210-252	Çörtlü kireçtaşı+marn	230-400	Marn+kireçtaşı
		400-550	Marn
		550-650	Bazalt
		650-835	Çörtlü kireçtaşı

15.2.3. İnceleme Sahasında Yapılan Jeofizik Çalışmalar

Jeotermal alanındaki jeotermal kaynağa ilişkin verileri araştırmaya yönelik, Özel İdare tarafından 2012 yılında Kabahaydar sahasında yatırılan çalışmada, kuzey-güney ve doğu-batı uzanımlı profillerde rezistivite etüdü (Düşey Elektrik Sondaj_DES) ile verileri arttırmak ve değerlendirmede yardımcı bilgiler elde etmek amacıyla sahanın bazı bölümlerinde uzun

profillerde SP ölçümleri yapılmıştır. Alanda toplam 60 noktada DES ve 6 profile 10 km SP ölçümleri alınmıştır (Şekil 15.24). Ancak yapılan çalışmada, gürültü nedeni ile ölçülerin çok sağlıklı olmadığı vurgulanmaktadır (Olağan ve Kurt, 2012). Bu çalışmada açılım yönleri sadece vadiler boyunca seçilebilmiştir. Çalışmada karşılaşılan diğer bir sorun elektrot açıklığının jeolojik tabanın derinliği veya araştırılması istenen seviyeye göre değil, topoğrafya olanaklarına bağlı olarak uygulanmasıdır. Vadi içindeki en geniş açılımlarda bile $AB/2=2000$ m geçilememiş, kuramsal olarak 2000 m'nin altına inilememiştir. Yukarıda açıklanan uygulama zorluklarına karşılık, gerçekleştirilen ölçüler değerlendirilerek, 41-42, 31-32 ve 26-27 ile 55 no'lu DES noktaları arasında belirlenen anomali, bu doğrultuda uzanan bir fayın varlığına yorumlanmıştır. Hidrojeolojik amaçlı olarak hazırlanan bu raporda hidrojeolojik verileri son derece azdır.



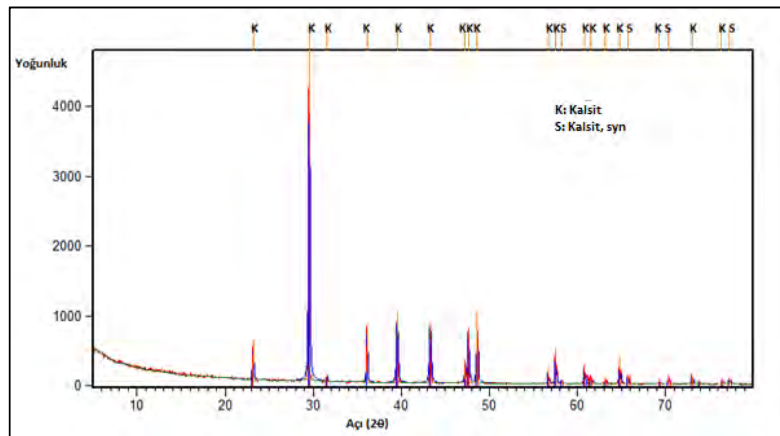
Şekil 15.24: Kabahaydar sahasında DES ve SP ölçülerin alındığı yerler

15.2.4. İnceleme Sahasının Jeokimyasal ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

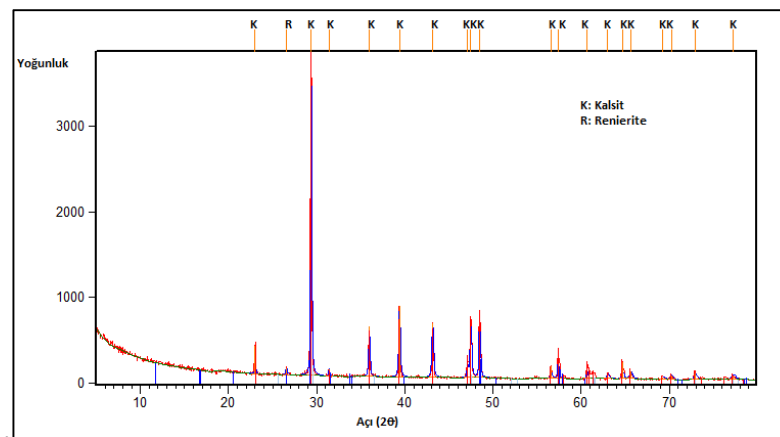
Kabahaydar jeotermal sahasında yüzlek veren kayalardan iki adet örnek alınmıştır. Alınan kaya ve kil örneğinin kristal yapı ve kimyasal bileşen tayinlerinin yapılması amacıyla X-ışını Difraktometre (XRD-) ve X-ışınları Floresans Spektrometre (XRF) cihazları kullanılmıştır. XRF sonuçlarına göre Kabahaydar'da alınan hem kaya hem de kil örneğinde baskın kristalin kalsiyum olduğu, XRD sonuçlarına göre ise kilde ağırlıklı olarak kalsit, kabukta ağırlıklı olarak kalsit ve renierit kristalleri gözlenmiştir (Tablo 15.7; Şekil 15.25 ve Şekil 15.26).

Tablo 15.7: Kabahaydar Jeotermal sahalarındaki kabuğun XRF ve XRD sonuçları

Örnek	Element	XRF Analizi Sonuçları (% kütle)		XRD Analizi Sonuçları
		Oksitsiz	Oksitli	Kristal Yapısı
Kabahaydar Kil	Ca	67,29	94,15	Kalsit
	Na	2,39	3,22	
	Ta	0,69	0,84	
	Mg	0,56	0,92	
	Al	0,33	0,63	
Kabahaydar Kaya	Ca	60,74	84,98	Kalsit ve Renierite
	Al	3,05	5,76	
	Na	2,4	3,23	
	Fe	2,04	2,91	
	Mg	1,09	1,8	
	Ta		1,05	



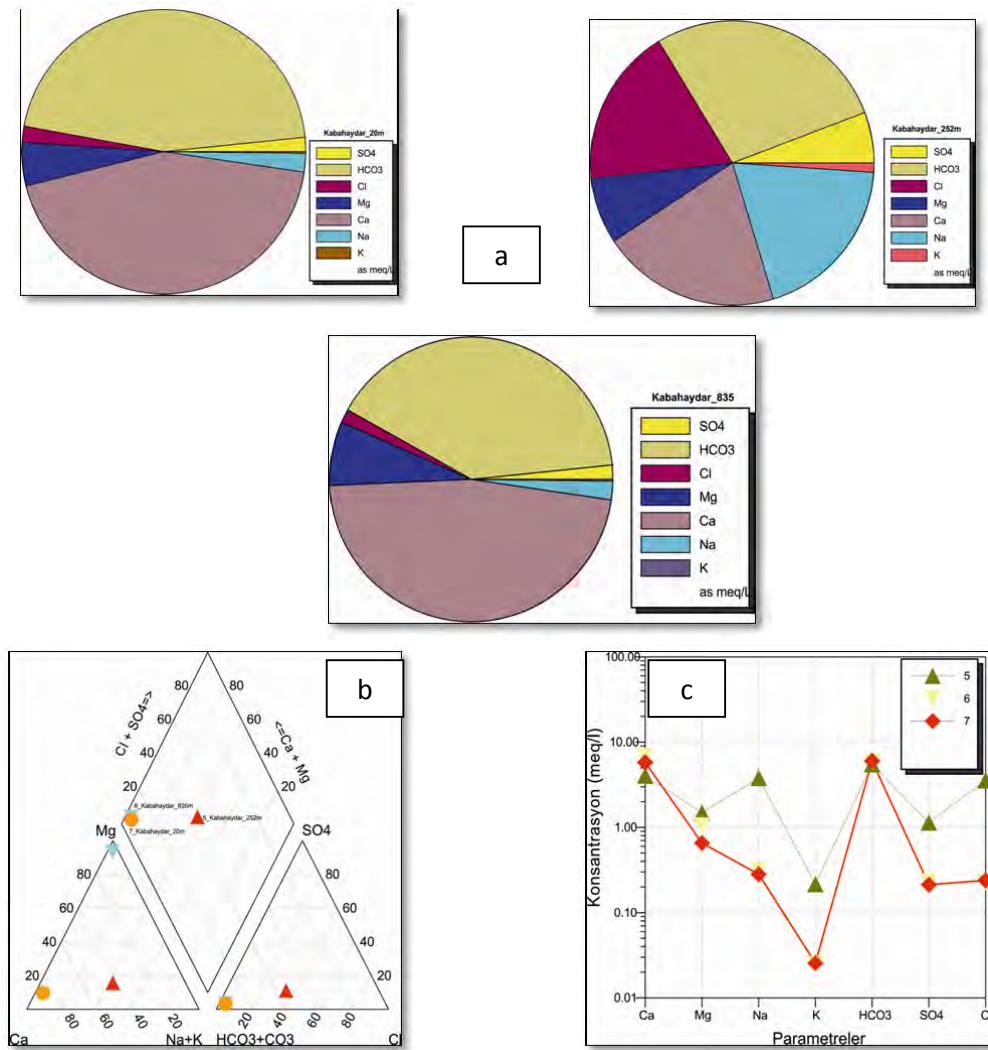
Şekil 15.25: Kil örneğinde bulunan “Kalsit” XRD sinyalleri



Şekil 15.26: Kaya örneğinde bulunan “Kalsit ve Renierite” XRD sinyalleri

Bu proje kapsamında Kabahaydar sahasında farklı derinliklerde (20 m, 252 ve 835 m) açılmış olan üç adet kuyudan hidrojeokimyasal amaçlı su numunesi alınmıştır. Bu verilere göre Kabahaydar jeotermal sahasında 20 m'lik soğuk su kaynağında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve başlıca anyon bikarbonattır (HCO_3^-)'dür (Şekil 15.27). 252 m'deki kuyuda ise başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve sodyum (Na^+)'dur. Başlıca anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tır. Bunu klorür (Cl^-) takip etmektedir. Derin kuyuda ise başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve başlıca anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tır (Şekil 15.27).

Schoeller yarı logaritmik diyagramında benzer kökenli, aynı hazneye ve beslenme alanına sahip sular benzer değişim gösterir. Hem Piper hem de Schoeller diyagramlarına göre 20m'lik kuyu suyu Ca-HCO_3 ; 252m kuyu suyu Ca-Na-HCO_3 ve 835 m derinliğindeki kuyu suyu ise Ca-HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 15.27b ve 15.27c). 252 m kuyu sıcaklığı en yüksek kuyudur. Buradaki kuyunun suyu Karaali jeotermal sahasındaki sularla benzer bir özellik taşımaktadır. Bu üç adet kuyuda soğuk su amaçlı açılmıştır. Derin kuyuya soğuk su girişi vardır ve bu kuyunun sürdürülebilir verimi yüksektir.



Şekil 15.27: Kabahaydar jeotermal sahasındaki suların a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

15.2.4.1. Ağır Metaller

Kabahaydar jeotermal sahasından alınan su numunelerinden ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 15.8). Mart 2015 ayında alınan analiz sonuçlarına göre alandaki su kaynağında düşük konsantrasyonda ağır metaller ölçülmüştür. Değerler, içme suyu limitlerini aşmamaktadır.

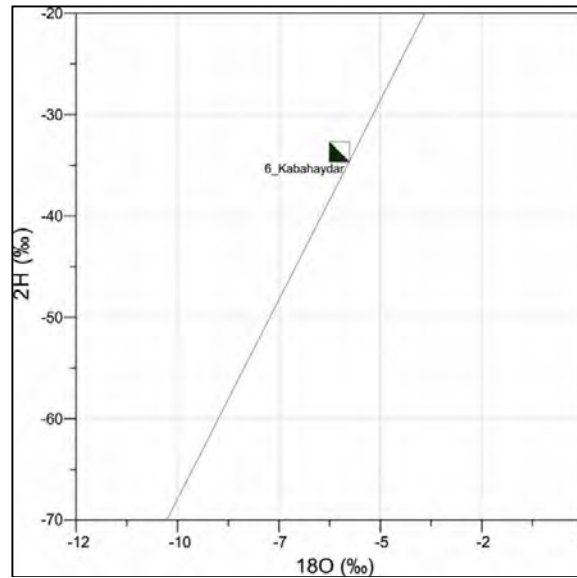
Tablo 15.8: Kabahaydar jeotermal sahasında ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppb)			İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)			İTASHY (ppb)
	20m Kuyu	252m Kuyu	835m Kuyu			20m Kuyu	252m Kuyu	835m Kuyu	
Ag	<0,05	<0,05	<0,05		P	<10	<10	42	
Al	<1	<1	3	200	Pb	<0,1	<0,1	<0,1	10
As	1,7	1,8	1,7	10	Pd	<0,2	<0,2	<0,2	
Au	<0,05	<0,05	<0,05		Pt	<0,01	<0,01	<0,01	
B	48	454	53	1000	Rb	0,97	9,09	0,84	
Ba	571,5	133,8	505,3		Re	<0,01	<0,01	<0,01	
Be	<0,05	<0,05	<0,05		Rh	0,01	0,05	0,02	
Bi	<0,05	<0,05	<0,05		Ru	<0,05	<0,05	<0,05	
Br	84	710	78		S	6	22	7	
Cd	<0,05	<0,05	0,41		Sb	<0,05	<0,05	0,13	5
Cl	11	132	11		Sc	3	2	3	
Co	<0,02	0,04	1,25		Se	1	1,2	1,3	10
Cr	5,7	5,5	5,7	50	Si	17185	11315	15595	
Cs	<0,01	1,04	0,03		Sn	<0,05	<0,05	<0,05	
Cu	0,6	0,8	1,5		Sr	653,3	2228	713,6	
Fe	<10	79	<10	200	Ta	<0,02	<0,02	<0,02	
Ga	<0,05	<0,05	<0,05		Te	<0,05	0,09	0,07	
Ge	<0,05	0,61	0,54		Th	<0,05	<0,05	<0,05	
Hf	<0,02	<0,02	<0,02		Ti	<10	<10	<10	
Hg	<0,1	0,1	<0,1		Tl	<0,01	<0,01	0,03	
In	<0,01	<0,01	<0,01		U	0,96	<0,02	0,88	
Li	7,9	71	7,5		V	11,3	1,1	9,5	
Mn	4,49	24,27	32,66	50	W	<0,02	0,19	0,12	
Mo	0,3	0,5	2		Zn	7,5	0,7	17,5	
Nb	<0,01	<0,01	<0,01		Zr	0,05	0,08	<0,02	
Ni	<0,2	<0,2	7,2	20					

15.2.4.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

Kabahaydar sahasında derin kuyudan alınan su numunesinde yapılan izotop analizleri Şekil 15.28'de gösterilmiştir. İnceleme alanındaki suyun trityum değerleri TU=5,5 olup suların sığ dolaşıma sahip olduklarını göstermektedir. Kabahaydar jeotermal sahasında $\delta^{18}\text{O}$ ve δD

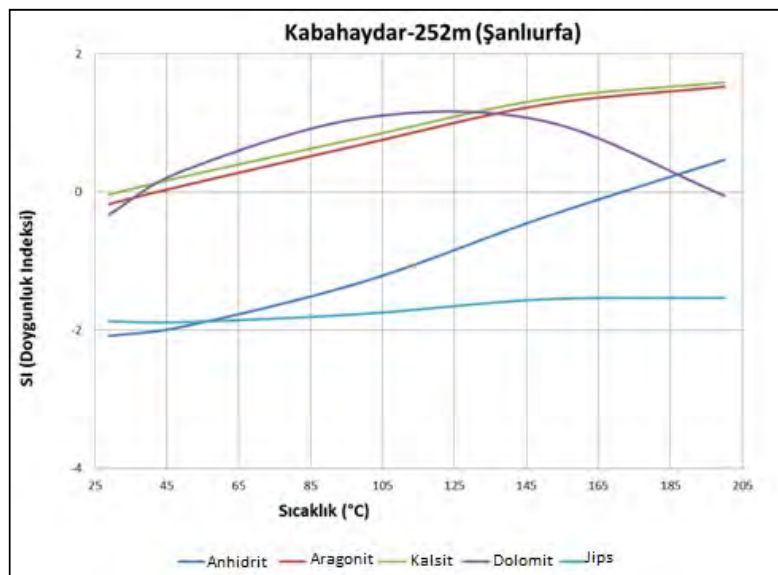
değerleri sırası ile -5,77 ‰ ve -33,66 ‰ arasında değişmektedir. Kabahaydar jeotermal akışkanı meteorik kökene işaret etmektedir.



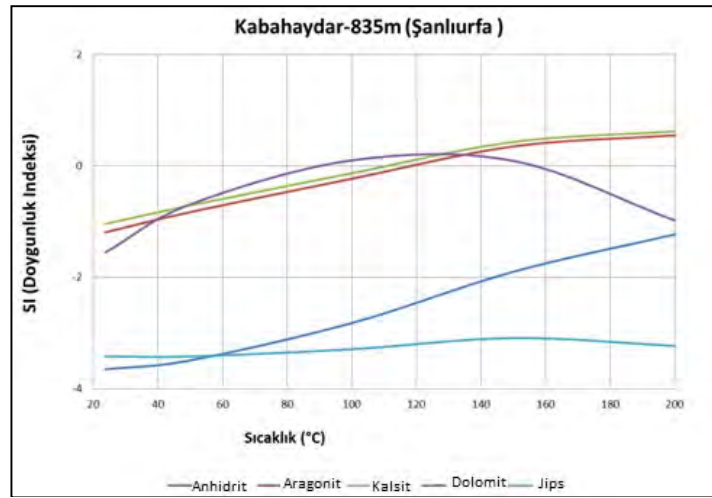
Şekil 15.28: İnceleme alanındaki akışkanın Mart 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği

15.2.5. Doymuluk İndeksleri

Kabahaydar jeotermal sahasındaki akışkana ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 15.29 ve Şekil 15.30). Elde edilen verilere göre alandaki 252 m derinliğindeki kuyudan üretilen sıcak suda kabuklaşma problemi gözlenmektedir. Akışkan aragonit, kalsit ve dolomite göre tamamen doygundur. 835 m derinliğindeki kuyuda ise 100 °C üzerinde aragonit ve kalsit kabuklaşması görülebilir (Şekil 15.30).



Şekil 15.29: Doymuluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi



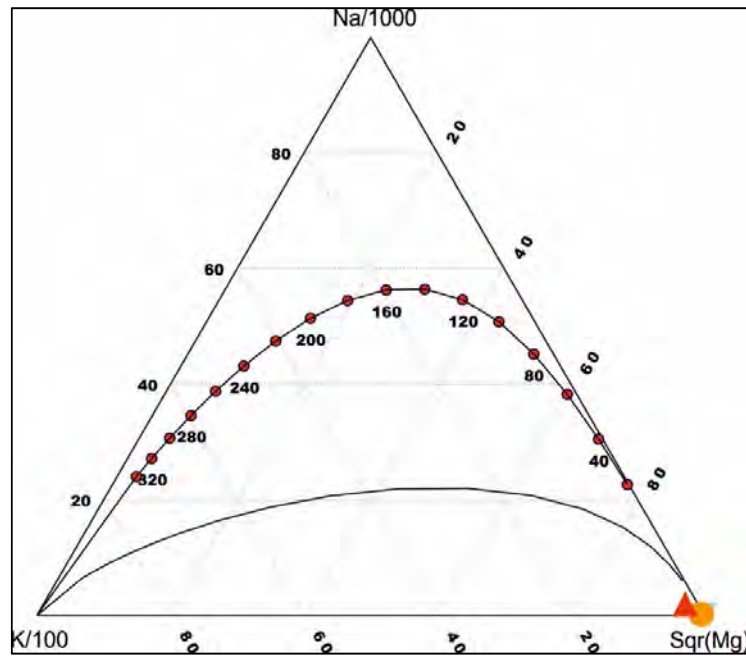
Şekil 15.30: Doymunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

15.2.6. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. 252 m derinliğindeki kuyudan üretilen akışkan verilerinden yararlanılarak katyon jeotermometreleri hesaplanmıştır. Na/K jeotermometrelerine göre inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 183 ile 213°C arasında değişmektedir (Tablo 15.9). Düşük sıcaklıklı ve kalsiyum miktarı yüksek olan sistemlerde Ca, Na ve K ile silikat mineralleri arasında iyon değişimi tepkimeleri meydana gelir. Kalsiyumu hesaplamalarda dikkate almak gerektiği için Na-K-Ca jeotermometresi geliştirilmiştir (Fournier ve Truesdell, 1973). Bu jeotermometre verilerine göre ise Karaali jeotermal sahasındaki akışkanın rezervuar sıcaklığı 62 °C'dir. Elde edilen veriler Giggenbach grafiğine aktarılmıştır. Ölçülen değerler Kabahaydar akışkanının doymun olmadığını göstermektedir (Şekil 15.31). Genel olarak, bütün veriler irdelendiğinde bu alanda 56 °C üzerinde bir sıcaklığa ulaşılması mümkündür.

Tablo 15.9: Kabahaydar jeotermal sahasındaki akışkanda hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	183
Tonani, 1980	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	190
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	205
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	212
Fournier, 1979	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	213
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	87,45	8,42	18,1	80,97	200
Fournier, 1991	K-Mg ^{ab}	56,16	6,26	11,27	67,69	71
Fournier ve Truesdell, 1973	Na-K-Ca ^d	56,16	6,26	11,27	67,69	62
Giggenbach, 1988	K-Mg	56,16	6,26	11,27	67,69	56



Şekil 15.31: Kabahaydar jeotermal sahasındaki suların Giggenbach diyagramında gösterimi

15.2.7. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Kabahaydar sahası ve yakın civarında yüzeye çıkan herhangi bir sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Sıcak akışkan varlığı, alanda açılan kuyu ile anlaşılmıştır. Bu haliyle Kabahaydar sahası da Karaali alanında olduğu gibi örtülü jeotermal sistem olarak tanımlanmaktadır. Açılan kuyulardaki sıcaklık değerleri alanda bir potansiyel varlığının somut göstergesidir. Ancak jeotermal kuyu standardında açılmayan her iki kuyudaki donanımın derinlik tercihi, yeraltı suyunun soğutucu etkisine açık bir şekilde yapılmıştır. Bu durum, alanda mevcut sondajlarda ölçülen değerden daha yüksek sıcaklıkta akışkan üretilebileceği beklentisini yaratmaktadır. Bununla beraber kuyuların taban derinlikleri, donanımdaki kapalı boru derinlikleri dikkate alındığında kuyular arasındaki sığ kuyuda daha yüksek, derin kuyuda ise daha düşük gibi sıcaklık farklılığı, açıklanması gereken teknik bir sorun olarak ortada durmaktadır. Kuyulardan birisi 252 m derinlikte açılmış ve 155 m ye kadar kapalı boru ile teçhiz edilmiştir. Bu kuyudan ölçülen ilk veriler üretilen akışkan sıcaklığı 35 °C'dir. Diğer kuyunun tabanı 835 m, kapalı boru derinliği 60 m'dir. Kuyudan üretilen akışkan sıcaklığı ise 31 °C'dir. Muhafaza borusunun indirildiği derinlikten sonra kuyu, tabana kadar geçirimsizdir. Birbirine çok yakın olan kuyulardaki derinlik/sıcaklık çelişkisi, donanım derinlikleri farkından dolayı soğuk yeraltı suyunun kuyuya giriş derinliği ile açıklanması, bir yaklaşım olarak benimsenmektedir. Yeterli basınç olmadığı için artezyenik üretim yapmayan her iki kuyudaki akışkanın, üretim yaptığı derinlikten kuyu ağzına doğru yükselirken korumasız durumdaki kuyunun kaya birimlerine ısısını transfer etmesiyle ısı kaybettiği, en fazla kaybın da yeraltı suyunun etkisindeki derinlikte olduğu düşünülmektedir. Esasında bu senaryoların somutlaştırılması, kuyuda ölçülecek jeofizik loglarla mümkün olacaktır.

Bölgede yüzeyleyen Hoya ve Fırat formasyonları ile Gaziantep Formasyonu'nun kireçtaşı seviyeleri rezervuar niteliğindedir. Bunun yanında Germav Formasyonu ile Gaziantep Formasyonu'nun killi seviyeleri ile Pliyo-Kuvaterner yaşlı ova dolgularının killi seviyeleri örtü niteliğindedir. İstifin bu dağılımına göre ana örtü kaya Germav Formasyonu olmaktadır.

Dolayısıyla ana rezervuar kayanın bu örtünün altındaki kireçtaşları olması gerekmektedir. Çevre jeolojisine göre Germav Formasyonu'nun altında Mardin Grubu'na ait kireçtaşları önemli rezervuar olarak rastlanılacak bir birimdir. Ovada gözlenen ve yorumlanan K-G doğrultulu süreksizlikler akışkan için çıkış kanalları durumundadır. Çalışma alanının batı kesimlerinde gözlenen volkaniklerin sondajda dayk niteliğinde kesilmesi alanda ısı kaynağına dönüşebilecek devamının beklentisi, olumlu yönde jeotermal yoruma götürmektedir. Alan tamamen örtülü olduğundan yerinde yapılan inceleme ve gözlemlerde sıcak suyun yüzeye ulaşmak için kullandığı mekanizmayı açıklayıcı bilgilere ulaşmak mümkün olamamakta, yorumsal olarak yaklaşımda bulunmaktadır. Bu durumda sıcak suyun, uydu görüntülerinde belirlenen çizgisellikler ve yerinde yapılan gözlemlerde de faya yorumlanan unsurlarla yüzeye doğru taşınarak rezervuarda depolandığı yorumlanmaktadır. Böyle ise akışkanın derinlerde, mevcut kuyularda ölçülen değerlerden daha yüksek sıcaklığa sahip olması gerekir. Bu görüşü somutlaştırmak ve açılan kuyularda derine doğru sıcaklık artışını belirlemeye yönelik ölçümler, bundan sonraki ilave çalışmaları yönlendirici olacaktır. Alan için mevcut bilgilerin değerlendirilmesiyle bu aşamada dile getirilen senaryoların gerçekliği kuşkusuz tartışmalıdır. Ancak bu proje kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar ve önerilecek ilave etütlerle yapılacak ölçümler sonucunda elde edilecek verilerin birleşik değerlendirilmesiyle kaynağın oluşum mekanizmasını aydınlatmak mümkün olabilecektir. 252 m'deki kuyunun su kimyasına göre yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler bu alandaki kaynağın sıcaklığının 56 °C'nin üzerine çıkabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, bu alanın detaylı olarak incelenmesi ve jeotermal amaçlı sondajlarla alanın geliştirilmesi son derece önemlidir.

15.2.8. Yatırım Olanakları

Sahada açılan kuyulardan üretilen akışkan sıcaklıkları düşüktür. Bu değerler esas alınarak uygulama yapılması yanında asıl yatırım planlamasının geliştirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkacak kapasiteye göre yapılması daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

15.2.9. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Kabahaydar sahasında jeoloji etütleri yanında, jeofizik DES ve sahanın bazı bölümlerinde SP yöntemi uygulanmış, iki adet sondaj yapılmıştır. Sahada ısı kaynağı, üretim zonları, sıcak suyun yüzeye ulaşmasını sağlayan mekanizma, akışkanın kullandığı yapısal öğeler gibi parametreler ve tüm bunların bileşimi olan sistemin oluşum modeli belirgin değildir. Bu bakımdan sözü edilen belirsizliklerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca önerilen bu çalışmalarla, herhangi bir uygulamanın olmadığı sahada yapılacak yatırımların yükünün hangi boyutlarda karşılanabileceğini de belirlemek mümkün olabilecektir. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması sahanın hem geliştirilmesi ve hem de sürdürülebilirliği için önemlidir.

Sahada bir dizi jeofiziksel çalışma (Düşey Elektrik Sondaj ve SP çalışması) yapılmıştır. Ancak, sahada ısı kaynağına ilişkin bölgesel aktiviteyi saha bazında yorumlayabilmek için jeofizik MT yönteminin uygulanması önemlidir. Yapılacak MT çalışmasında elde edilecek bulgular, ısı kaynağına ilişkin önemli bilgiler sağlayacaktır. Bunun yanında sonuçlar, önceki jeofizik etütlerdeki verilerle birlikte değerlendirilerek, iletkenlik değerlerinin jeotermal kaynak oluşumu bakımından yorumlanmasında, güncelde üretimin sağlandığı rezervuardan daha derindeki rezervuar karakterindeki kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde kullanılabilir. Yine bu bilgiler, jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında, ısı kaynağına yönelik verilerin saptanmasında, jeolojik olarak var olması

gereken ancak yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

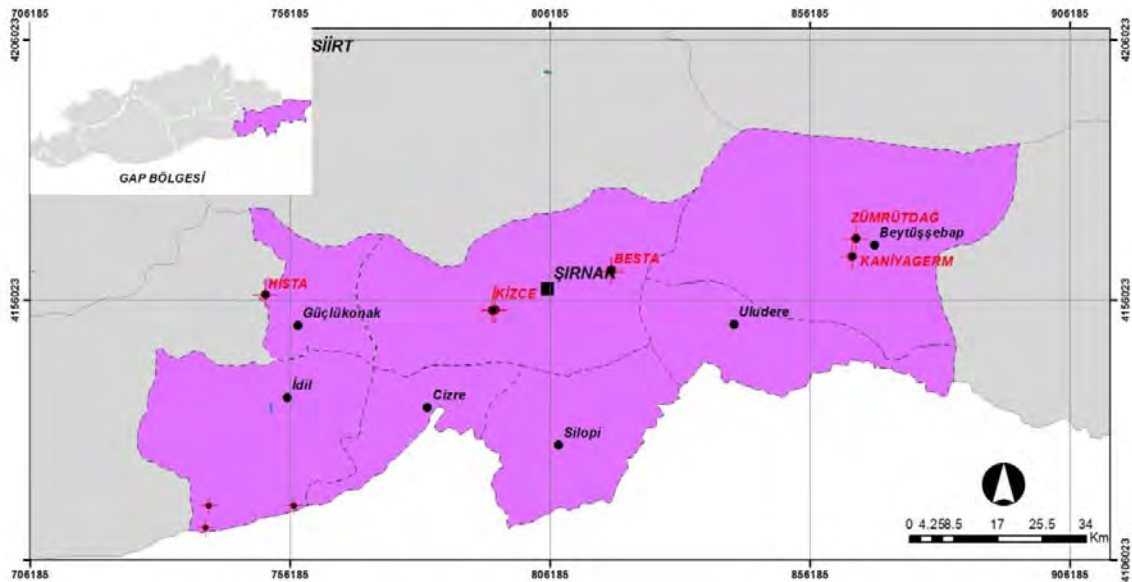
Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı ölçümü ile, sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenebilecektir.

Alanda derinlikleri birbirinden oldukça farklı iki adet kuyu (252 m ve 835 m) açılmıştır. Ancak, bu kuyular potansiyel alanı karakterize etmemekte ve rezervuarın karakteristiklerini yansıtmamaktadır. Sahanın gerçek üretim kapasitesinin ortaya çıkarılarak sürdürülebilir üretim ve buna dayalı yatırım planlaması yapılması için yukarıdaki başlıklarda önerilen çalışmaların yönlendirmesiyle yeni kuyular açılmalıdır. Lokasyonları ve derinlikleri bu etütler sonunda belirlenecek kuyularla belirsizliklerin giderilmesi, sahanın üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması mümkün olabilecektir. İlk etapta önceki çalışmalar ve önerilen etütlerin değerlendirilmesi sonucunda belirlenen lokasyonlarda denenecek kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması önemlidir. Sondaj çalışmalarının olumlu olması durumunda testler yapılmalı ve yeni kuyular planlanmalıdır. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülebilir. Ancak açılan her kuyudan elde edilen kılavuz bilgilerin, sonraki kuyuların açılıp açılmayacağına karar verilmesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

16. ŞIRNAK İLİNDEKİ JEOTERMAL SAHALAR

Şırnak ili jeotermal kaynaklar açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Ancak, bu alandaki kaynaklar ile ilgili bilimsel araştırmalar son derece azdır. Şırnak il sınırları içinde, Güçlükönak ilçesi Düğünürdu köyü yakınında Dicle ırmağı kıyısında Ilisu Barajı'nın mansabında yer alan Hısta (Belkis Ana) kaynağı, Beytüşşebap ilçe merkezine 7 km uzaklıktaki Ilıcak köyü sınırı içinde yer alan ve Zümrüt Dağı Kaplıcasını da bulunduran Beytüşşebap-Ilıcak kaynağı, il merkezinin 30 km doğusunda yer alan Besta kaynağı ve İkizce köyü sınırları içinde yer alan İkizce kaynağı (Nasfaran Kaplıcası) bulunmaktadır (Şekil 16.1). Bunun dışında TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış ancak sıcak su çıktığı için terkedilmiş kuyular bulunmaktadır (Tablo 16.1). Bu kuyuların derinliği 1520 ile 3830 m arasında değişmekte olup, kuyu dibi sıcaklıkları ise 56-137 °C'dir.

Hısta (Belkis Ana) jeotermal kaynağı Mardin ili sınır içinde yer alan Germav (Ilisu) kaynağı ile aynı jeotermal sistem içinde ve aynı özelliktedirler. Bu teknik gerekçeyle, idari sınırlar dikkate alınmayarak değerlendirildiğinde, Mardin ve Şırnak il sınırları içerisindeki Germav ve Hısta (Belkis Ana) sıcak su kaynaklarını içeren tek bir alan olarak irdelenmiş ve Bölüm 13'te detaylı olarak verilmiştir. Diğer jeotermal kaynakların jeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri bu bölümde aşağıda daha detaylı olarak irdelenmiştir.



Şekil 16.1: Şırnak ilindeki jeotermal alanlar ve sıcak akışkan içeren TPAO kuyuları

Tablo 16.1: Şırnak il sınırları içinde açılmış olan TPAO kuyularında ölçülen sıcaklıklar

Sondajların Açıldığı Bölge	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
Güney Dinçer	1630	63
Batı Kozluca	1520	56
Yolaçan	3830	137

16.1. BEYTÜŞŞEBAP-ILICAK JEOTERMAL SAHASI

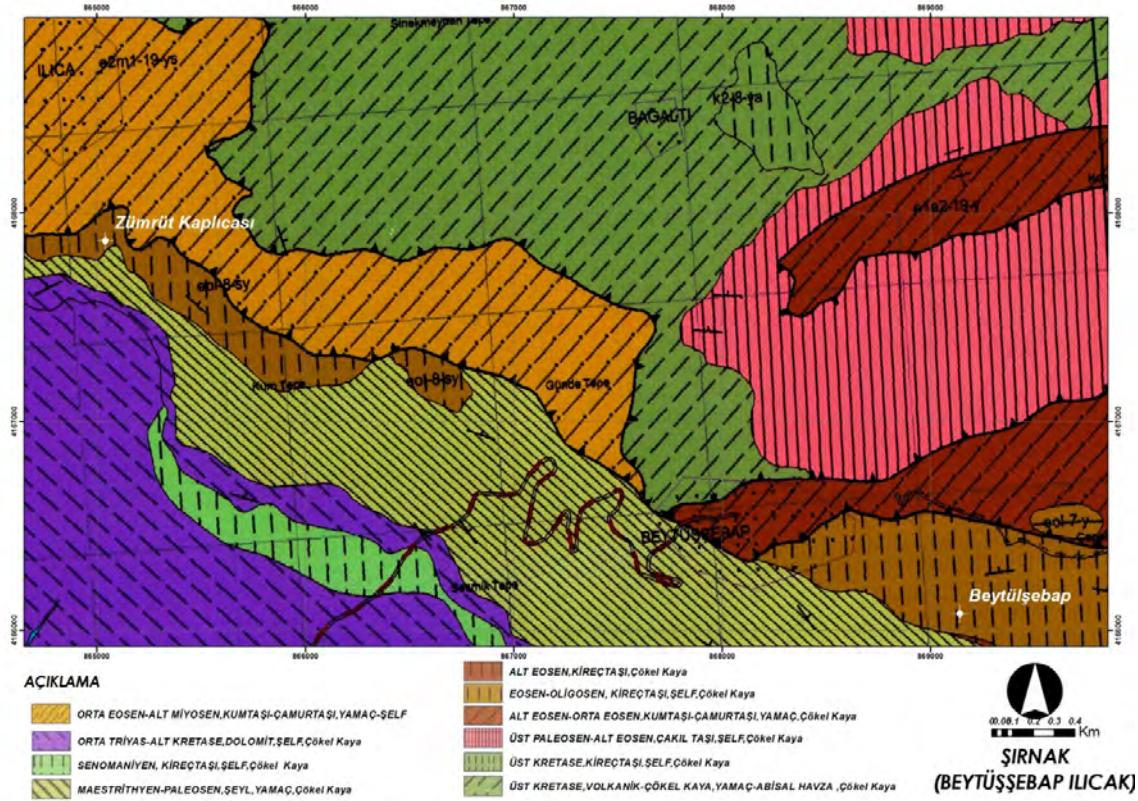
16.1.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Beytüşşebap ilçe sınırları içinde yer alan Ilıcak jeotermal alanı, proje kapsamında yer alan jeotermal bölgelerin en doğusunda yer alır. Bölgenin en karmaşık jeolojisi, yörenin bu kesimindedir ve aynı zamanda alan, en dağlık ve ulaşılması zor konumdadır. Bu çalışmada daha önce MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılmış olan 1/25.000 ölçekli jeoloji haritasından yararlanılmıştır. Ayrıca bu çalışma kapsamında jeoloji haritasında ayrılan birimlerin TPAO tarafından yapılmış olan formasyon adlamasının karşılığı kestirilemediğinden birimler stratigrafik konumlarına göre ve formasyon adlanması yapılmadan anlatılmıştır.

Proje sahası ve çevresinde yüzlek veren en yaşlı birim Orta Triyas-Alt Kretase yaşlı şelf fasiyesindeki dolomitik kireçtaşıdır. Birim çalışma alanının güneybatısında yüzeylemektedir. Alanın kuzeyinde yaygın olarak yüzeyleyen Üst Kretase yaşlı volkanit-çökel aradalanmasından meydana gelen kaya topluluğu, derin deniz-yamaç havza çökelleridir. Alttaki birimle arasında büyük bindirme dokanakları olması nedeniyle ilişki gözlenmemektedir. Triyas yaşlı dolomitik kireçtaşlarının örttüğü gözlenen Üst Kretase (Senomaniyen) yaşlı kireçtaşları şelf fasiyesinde olup çalışma alanının güneyinde gözlenmektedir. Kuzeyinde sınırlı yüzlek veren Üst Kretase kireçtaşları yamaç-derin deniz havza çökelleri ile temsil edilir. Alanda KB-GD doğrultulu bir uzanımı olan Maestrihtiyen-Paleosen yaşlı şeyler yüzeylemektedir. Birim havza yamacında çökelmiştir. Beytüşşebap kuzeydoğusunda yüzeyleyen ve çakıltası ile temsil edilen şelf fasiyesindeki kayalar, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlıdır. Eosen-Oligosen yaşlı killi kireçtaşları olarak haritalanan birim, çalışma alanının güneydoğusunda çok sınırlı bir alanda izlenir ve alttaki birimlerden Üst Kretase yaşlı volkanit-çökel kayaları örtmektedir. Çalışma alanında sınırlı yüzlek veren Eosen-Oligosen yaşlı şelf fasiyesindeki kireçtaşları Maestrihtiyen yaşlı Paleosen şeyleri uyumlu bir şekilde örter. Birimin arazideki kuzey sınırı bindirmeli bir yapıyla sonlanmaktadır. Bölgede çok sınırlı bir alanda izlenen Alt Eosen yaşlı şelf fasiyesindeki kireçtaşları çalışma alanının GD ucunda gözlenmektedir. Birimin alt ve üst dokanakları ilksel konumludur. Beytüşşebap yerleşim merkezi ve doğusuna doğru yüzeyleyen Alt Eosen-Orta Eosen yaşlı kumtaşı-çamurtaşı havza yamacında çökelmiş bir fasiyestedir. Birimin tüm dokanakları bindirmeli olduğu için diğer kaya toplulukları ile olan ilişkisi ayırt edilememektedir. Yörede yüzeyleyen Tersiyer yaşlı en genç birim Beytüşşebap yerleşim merkezinin kuzeybatısında yüzeyleyenir. Birim, yamaç-şelf ortamında çökelmiş kumtaşı, çamurtaşlarından meydana gelir. Birimin tüm dokanakları tektonik yapılarla sınırlı olduğundan daha yaşlı birimlerle olan ilişkisi gözlenmemektedir. Birim Orta Eosen-Alt Miyosen yaşlıdır. Bölgede haritalanamayacak boyutta bulunan alüvyon, yamaç molozu, birikinti konisi gibi karasal çökeller, Kuvaterner yaşlı en genç oluşuklardır (Şekil 16.2).

Yöre, birbirinden farklı kaya topluluklarının tektonik dokanaklarla karşı karşıya getirildiği bir ortamı karakterize eder. Birimlerin sedimanter kayalarla temsil edildiği yerlerde bol kıvrım ve kırıklar gözlenmektedir (Şekil 16.3 ve Şekil 16.4). Çalışma sahasının kuzeybatısından güneydoğusuna doğru varlığı görülen iki adet bindirme bölgenin ana yapısal unsurlarıdır. Kuzeye düşük eğimli olduğu kabul edilen bu bindirmelerin, birbirinden farklı ortamlarda çökelmiş olan kaya topluluklarını karşı karşıya getirecek düzeyde ve km boyutunda atımları olduğu kabul edilmektedir. Bu ana yapıların öneylerinde ve yapılara dik yönde gelişen çatlak sistemleri arazide gözlenmektedir. Yer yer bindirmelerin ön cephelerinde normal faya yorumlanabilen süreksizlikler mevcuttur. Gerek açılma çatlakları ve gerekse söz konusu

normal faylar haritaya işlenemeyecek boyuttadırlar. Jeotermal açıdan önemli olmaları nedeniyle bu çatlakların gözlemlendiği yerler fotoğraflarla gösterilmeye çalışılmıştır (Şekil 16.5). Jeolojisi tanımlanırken ortaya çıktığı gibi, birimlerin içinde farklı yaşta karbonatlı kayalar rezervuar niteliğinde, killi ve marnlı kayalarla temsil edilen birimler ise örtü niteliğindedir. Birimlerin dokanak ilişkisi çoğu yerlerde tektonik kontrollü olduğu için birimlerin alt-üst ilişkileri kestirilememiştir.



Şekil 16.2: Beytüşşebap İlıcak Jeotermal sahasının jeoloji haritası (MTA'dan değiştirilerek)



Şekil 16.3: İnceleme alanında yüzlek veren deformasyona uğramış yapılar



Şekil 16.4: İnceleme alanının çevresinde yüzlek veren kıvrımlı yapılar



Şekil 16.5: İnceleme alanında Zümrüt Kaplıcası'nın üzerinde yer aldığı karbonatlı zon

16.1.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik Özellikleri

Proje alanı ve çevresinde yüzeylenen dolomitik kireçtaşları karstik kaya akiferidir. Bu karstik yapılarda yüksek debili kaynaklar çıkmaktadır. Alandaki jeotermal kaynak ise tektonik kontrollü ve karstik bir kaynaktır (Şekil 16.6).

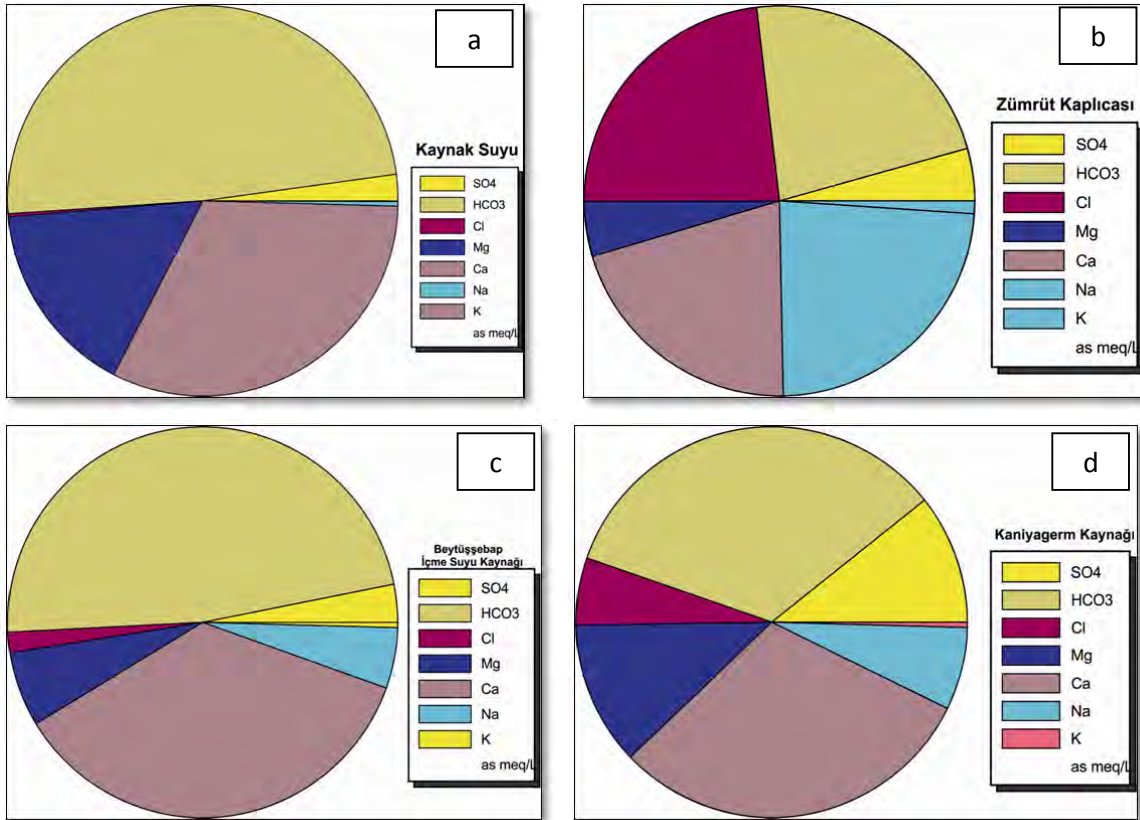


Şekil 16.6: Beytüşşebap ılıcak jeotermal sahasında yüzlek veren karstik karbonatlardan görünüm

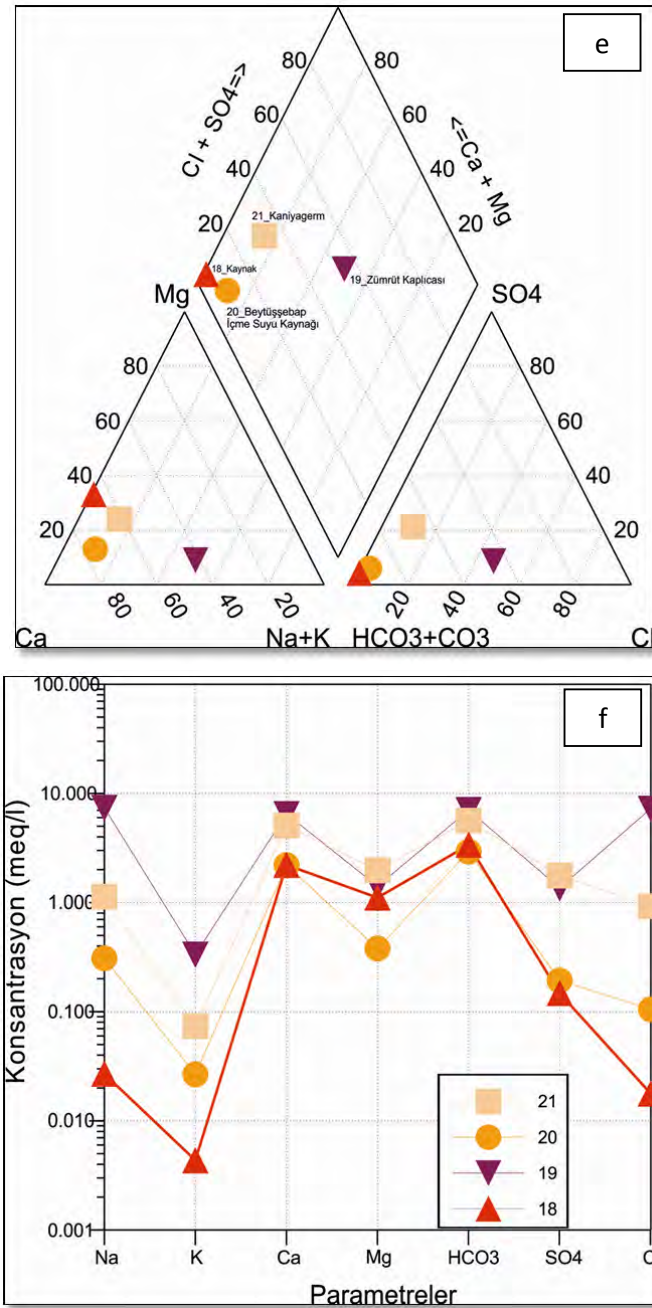
16.1.3. İnceleme Sahasının Hidrojeokimyasal Özellikleri

Proje kapsamında yapılan çalışmada Beytüşşebap ve çevresinde iki adet sıcak su kaynağının (Ilıcak ve Kaniyagerm) hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. Sıcak su kaynakları ile birlikte alanda iki adet soğuk su kaynağından hidrojeokimyasal amaçlı su numunesi alınmıştır. Zümrüt Kaplıcasının bulunduğu Ilıcak kaynağının debisi 10 l/sn üzerindedir ve bu kaynağın yüzeysel sıcaklığı 44 °C'dir. Kaniyagerm ise yüksek debiye sahip olup dere yatağının yanında çıkmaktadır. Bu kaynağın debisi 20 l/sn civarındadır. Soğuk su kaynaklarının debileri 50 l/sn üzerindedir. Bu kaynakların sıcaklıkları ise 8,6 ile 9 °C'dir. Sıcak su kaynaklarının Elektriksel İletkenlik (EI) değerleri 817-1736 μ S/cm ve soğuk suların EI ise 260-320 μ S/cm.

İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve başlıca anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tır (Şekil 16.7). Zümrüt Kaplıcasındaki (Ilıcak Kaynağı) sıcak su kaynağında görülen başlıca katyon sodyum (Na^+)'dur ve bunu kalsiyum (Ca^{2+}) takip etmektedir. Başlıca anyon ise klorür (Cl^-) ve bikarbonat (HCO_3^-)'tır. Kaniyagerm kaynağında başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve başlıca anyon bikarbonat (HCO_3^-)'tır. Kaniyagerm yüzeysel sulardan etkilenmektedir. Hem Piper, hem de Schoeller diyagramlarına göre genel olarak Ilıcak jeotermal sahasındaki akışkan Na-Ca- HCO_3 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 16.7e ve 16.7f). Diğer su kaynakları ise Ca- HCO_3 ' su tipindedir.



Şekil 16.7: Ilıcak jeotermal alanı ve çevresindeki su kaynaklarının a-d) Pie, e) Piper ve f) Schoeller diyagramlarında gösterimi



Şekil 16.7: Ilıcak jeotermal alanı ve çevresindeki su kaynaklarının a-d) Pie, e) Piper ve f) Schoeller diyagramlarında gösterimi (devam)

16.1.3.1. Ağır Metaller

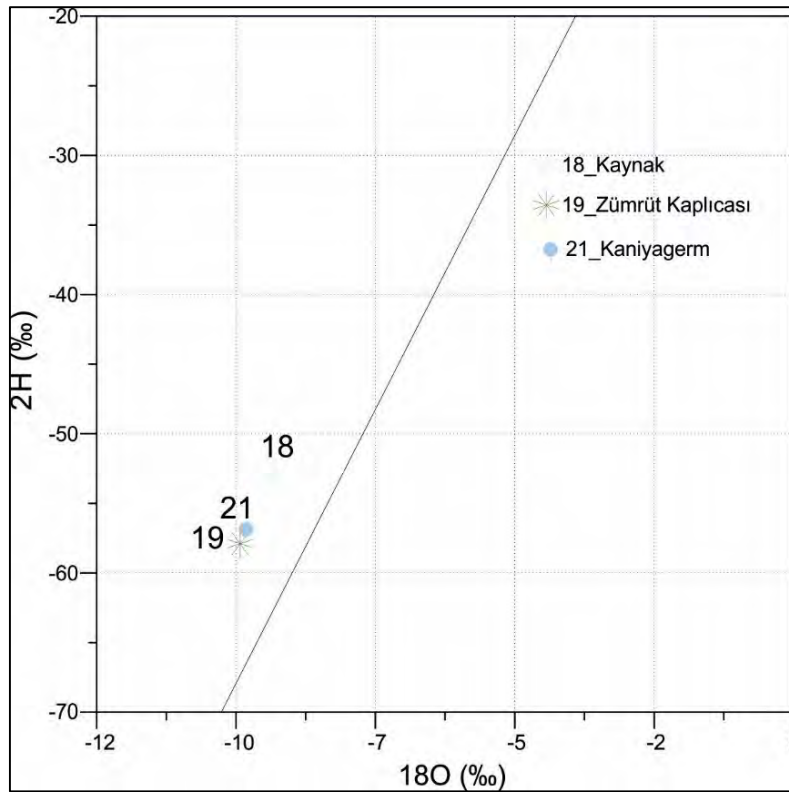
İlıcak jeotermal sahası ve çevresindeki soğuk su kaynaklarından alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 16.2). Nisan 2015 ayında alınan analiz sonuçlarına göre alandaki sıcak su kaynaklarında (İlıcak Kaynağı ve Kaniyagerm) içme suyu limitlerini aşan arsenik (As) değerleri ölçülmüştür. Arsenik dışında İlıcak kaynağında bor (B) değeri de limit değerlerindedir. Bu nedenle bu alandaki sıcak suların kesinlikle içilmemesi gerekmektedir.

Tablo 16.2: İlıcak jeotermal sahası ve çevresindeki soğuk su kaynaklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları (18: Kaynak Suyu, 19: Zümrüt Kaplıcası, 20: Beytüşşebap içme suyu, 21: Kaniyagerm)

Element	Konsantrasyon (ppb)				İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)				İTASHY (ppb)
	18	19	20	21			18	19	20	21	
Ag		<0,05				P	<10	<10	70	<10	
Al	10	4	91	20	200	Pb	0,3	<0,1	<0,1	<0,1	10
As	0,6	333,1	<0,5	335,2	10	Pd	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
Au		<0,05				Pt	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
B	11	1000	17	171	1000	Rb	0,35	33,74	0,84	4,99	
Ba	15,95	208,4	209,6	83,2		Re		<0,01			
Be		<0,05				Rh	<0,01	0,02	<0,01	0,02	
Bi		<0,05				Ru		<0,05			
Br	12	454	7	99		S	4	39	3	33	
Cd		<0,05				Sb		<0,05			5
Cl	<1	299	2	38		Sc	<1	1	<1	<1	
Co	<0,02	0,06	2,29	<0,02		Se	<0,5	0,8	<0,5	<0,5	10
Cr	2	7,4	2,7	3,2	50	Si	2065	17987	2599	8922	
Cs	<0,01	25,62	0,02	2,74		Sn		<0,05			
Cu	0,4	0,7	0,9	1		Sr	191,5	1346,2	186,5	1309,4	
Fe	<10	<10	46	<10	200	Ta		<0,02			
Ga		<0,05				Te	<0,05	0,06	0,09	<0,05	
Ge	<0,05	1,44	<0,05	0,23		Th		<0,05			
Hf		<0,02				Ti		<10			
Hg		<0,1				Tl	0,01	<0,01	<0,01	0,02	
In		<0,01				U	0,34	0,36	<0,02	0,48	
Li	0,5	58,7	0,3	55,6		V	0,5	1,2	0,5	0,7	
Mn	9,75	21,64	81,22	1,95	50	W	<0,02	0,06	<0,02	<0,02	
Mo	0,2	0,9	<0,1	0,5		Zn	3,4	0,6	3,1	1,6	
Nb		<0,01				Zr	0,18	0,15	0,1	0,43	
Ni	<0,2	<0,2	7,8	<0,2							

16.1.3.2. İnceleme Sahasındaki Kaynakların İzotopik Özellikleri

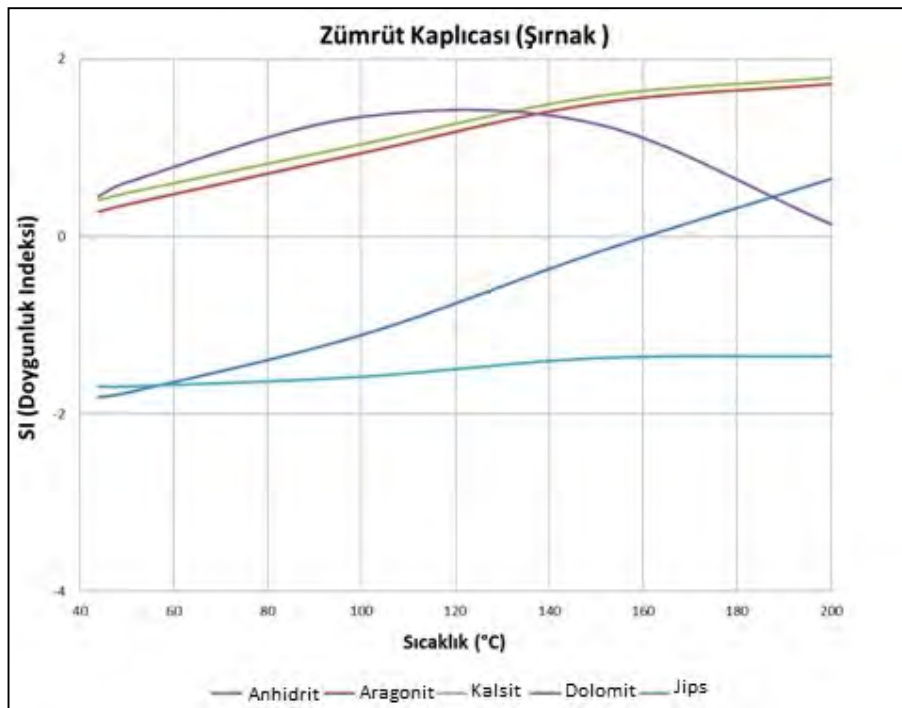
İlıcak jeotermal sahasında sıcak sulardan ve çevresindeki soğuk su noktalarından alınan su numunelerinde yapılan izotop analizleri Şekil 16.8'te gösterilmiştir. Zümrüt kaplıcasından alınan akışkanın trityum değerleri $TU=5$ 'ten küçük olup ($TU=3,40$) suların en az 50 yıllık yeraltısuyu geçiş süresine sahip olduklarını göstermektedir. Ancak, hem kaynaktan ($TU=5,83$) hem de Kaniyagerm'den alınan suların ($TU=5,99$) trityum değerleri 5'in üzerindedir. Bu sular Zümrüt Kaplıcasına göre daha sık dolaşım ve güncel sulardır. İlıcak jeotermal sahasındaki sıcak ve soğuk suların $\delta^{18}O$ ve δD değerleri sırası ile $-9,01$ - $-9,01$ ‰ ve $-53,02$ - $-57,89$ ‰ arasında değişmektedir. İlıcak jeotermal sahasındaki sular meteorik kökene işaret etmektedir.



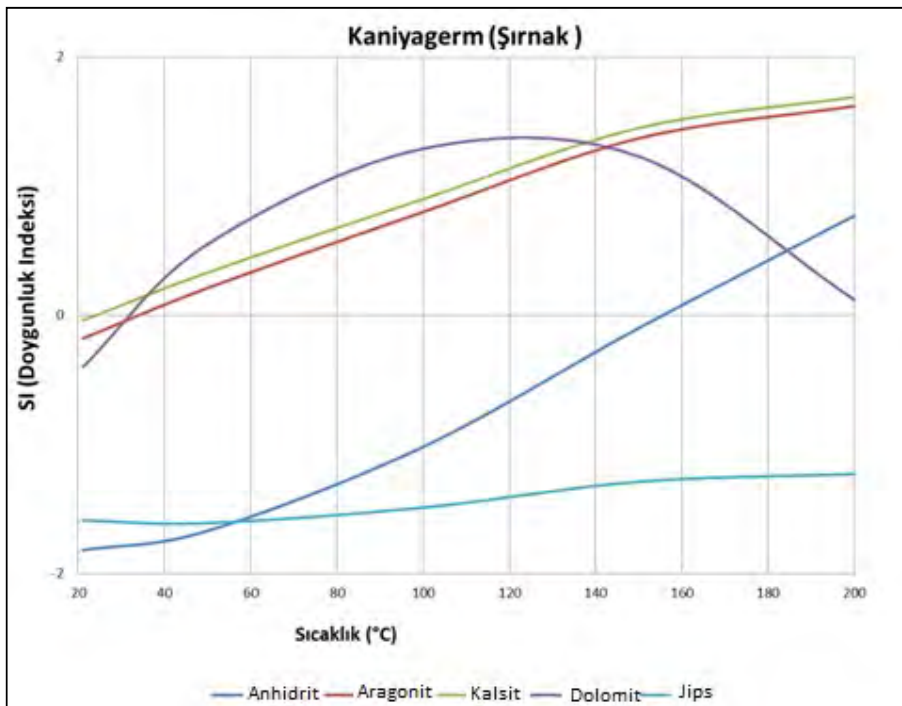
Şekil 16.8: İnceleme alanındaki suların Nisan 2015 dönemi numune sonuçlarına göre oluşturulan $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği

16.1.4. Doymuluk İndeksleri

İlıcak jeotermal sahasındaki akışkana (Zümrüt Kaplıcası ve Kaniyagerm) ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 16.9 ve Şekil 16.10). Elde edilen verilere göre alandaki sıcak su kaynaklarında kabuklaşma problemi gözlenmektedir. Hem Zümrüt kaplıcası, hem de Kaniyagerm'deki akışkan aragonit, kalsit ve dolomite tamamen doygundur.



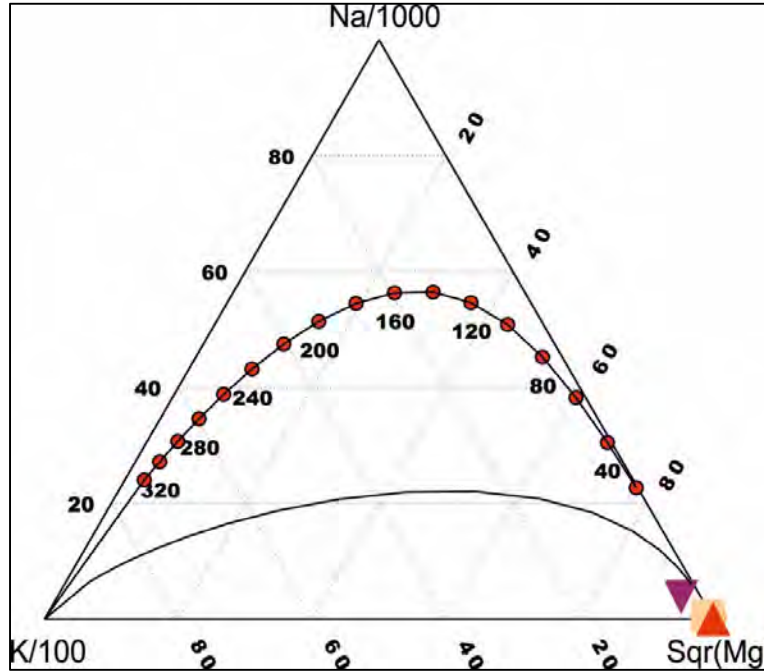
Şekil 16.9: Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi



Şekil 16.10: Doğunluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi

16.1.5. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak sular için uygulanan katyon jeotermometreleri bu alandaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıklarını 200 °C'den yüksek vermiştir. Bu alan için uygulanan katyon jeotermometrelerin doğru bir sonuç vermediği gerekçesi ile bu alana ilişkin veriler sunulmamıştır. Alandaki su kaynakları Giggenbach grafiğine aktarılmıştır. Ölçülen değerler alandaki su kaynaklarının doymun olmadığını göstermektedir (Şekil 16.11).



Şekil 16.11: Ilıcak jeotermal sahası ve çevresindeki suların Giggenbach diyagramında gösterimi

16.1.6. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Beytüşşebap ilçesinin batısında yer alan Zümrüdağ kaplıcası, yörenin ana termal merkezidir. Jeotermal saha ile ilgili jeotermal kaynak aramaya yönelik kapsamlı bir çalışma yapılmamıştır. Saha ile ilgili bilgiler bu proje kapsamında yapılan inceleme ve gözlemlerle sınırlıdır. Alanda doğal çıkış halinde yüzeye boşalan kaynağın sıcaklığı, sahanın potansiyeline işaret eden en önemli ipucudur. Bu potansiyelin ortaya çıkarılması için kaynak aramaya yönelik araştırmalar yapılması gerekmektedir. Jeoloji haritasında (Şekil 16.2) görülebileceği gibi Zümrüdağ kaplıca kaynakları bölgenin ana yapıları olan bindirmelerin güneyinde yer almaktadır. Bu alanda farklı kaya topluluklarının karşı karşıya geldiği karmaşık bir jeolojik yapı mevcuttur. Ayırtılabildiği kadarıyla kaynaklar, Orta Eosen-Alt Miyosen yaşlı kumtaşı, çamurtaşı, çakıltaşından meydana gelen istifte gözlenir. Burada kaynakların, K-G yönlü ve bindirmelere dik açılma çatlaklarından yüzeylendiği gözlenmiştir (Şekil 16.12). Bölge yoğun bir tektonik deformasyona maruz kalmış, kıvrım ve bindirmelerle şekillenmiştir. Bu nedenle dağlık bir bölgeyi temsil eder. Dolayısıyla jeotermal kaynak açısından önemli yapılar olan normal faylar

ve/veya açılma çatlaklarına pek rastlanmamaktadır. Buna karşılık Zümrütdağı kaplıcası, yörede pek görülmemekle beraber ayrıcalıklı olarak Beytüşşebap batısında gelişik açılma çatlakları üzerindedir. Sahada jeotermal araştırma ve üretim amaçlı açılmış kuyu bulunmadığından derine doğru sıcaklık artışı bilinmemektedir. Dolayısıyla bu aşamada mevcut bilgilerin, geliştirme çalışması yapılmasını özendirerek nitelikte olmasının dışında sahadan üretilen akışkan değerlerine yönelik herhangi bir öngöründe bulunulamamaktadır.



Şekil 16.12: Kırık zonları üzerinde yer alan Zümrüt Kaplıcasından görünüm

16.1.7. Yatırım Olanakları

Doğal çıkış halinde yüzeye boşalan 44 °C sıcaklıktaki Zümrütdağ kaynağından yararlanma, günümüzde ilkel şekilde kaplıca uygulamasıyla sınırlıdır. Kaynak sıcaklığı, sahanın potansiyeline ilişkin önemli bir gösterge olmakla birlikte, alanda kuyu açılmadığı için yatırım yapılacak gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemektedir.

Alanda gözlenen açılma çatlakları, çatlak kenarlarında gelişen alterasyon, farklı yaştaki rezervuar ve örtü kayaların varlığı gibi jeotermal parametreler, jeolojik olarak belirlenen potansiyel alanın büyüklüğü ve açılacak kuyular sonucunda ulaşılabilecek kapasite öngörülerini gibi etmenler, bu kaynağa dayalı ekonomik bir yatırım olanağı sunmaktadır. Jeotermal kaynaktan daha verimli ve daha yüksek kapasitede yararlanmak için mevcut kullanıma ilave olarak başka uygulamalar da sisteme entegre edilebilir. Sahada kuyu açılıp jeotermal kaynak varlığı ortaya çıkarıldıktan sonra sahanın kullanım kapasitesinin belirlenmesi için yeterli sayıda kuyu açılması gerekmektedir. Yeri ve sayısı sahada yapılmış tüm çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenecek olan bu geliştirme çalışmalarının sonucunda rezervuar geometrisi belirlenebilecek, rezervuarın üretim yeteneğini belirlemek üzere testler yapılabilir. Elde edilecek bilgiler, sahada yapılacak yatırımın yükünün hangi ölçekte karşılanabileceğini ortaya koyacak, buna göre yararlanma seçeneklerine ilişkin öneriler geliştirilebilir. Özetle, mevcut bilgilerle termal kullanım ve sera ısıtmasına uygun olduğu görülen kaynağın değerlendirme seçenekleri, önerilen çalışmalar sonucunda belirlenerek kapasitesine göre sunulabilir.

16.1.8. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Beytüşşebap kaynaklarının yer aldığı alanda jeotermal araştırma amaçlı herhangi bir çalışma yoktur. Sahaya ilişkin bilgiler, değişik amaçlarla yapılan jeoloji etüdü, proje kapsamında gerçekleştirilen jeoloji gözlemleri, kaynak başı ve laboratuvar analizleriyle sınırlıdır. Kaynak sıcaklığı, sahanın önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermekte, ileri aşama çalışmalarını özendirilmektedir. Yörenin sosyal ve ekonomik koşulları göz önüne alındığında, önerilen çalışmalarla sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılması ve kullanım seçeneklerinin belirlenmesi sonucunda yapılacak yatırımlar istihdam yaratması yanında bölgeye önemli bir ekonomik katkı da sağlayacaktır. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması hem kaynağın geliştirilmesi hem de sürdürülebilirliği için önemlidir.

Ilıcak jeotermal sahasında jeotermal kaynak araştırmalarında uygulanan jeofizik etüt bulunmamaktadır. Jeotermal kaynağın olduğu jeolojik ortamın ve jeolojik potansiyel öngörülerinin aletsel ölçülerle desteklenmesi, bu bağlamda örtü kaya, rezervuar kaya, ısı kaynağı gibi jeotermal bileşenlere yönelik yeraltı bilgisini elde etmek amacıyla jeofizik DES, SP ve MT yöntemlerinin uygulanmasında yarar vardır. Bu yöntemlerden Düşey Elektrik Sondaj şeklinde uygulanacak jeofizik rezistivite çalışmasında, açılacak kuyuda kesilecek jeolojik birimlerin ayırtlanması, sıcaklık, tuzluluk, gözeneklilik gibi etmenlerin jeotermal aktiviteyle ilişkilendirilebilirliği yönüyle yorumlanması gerekmektedir. Ancak alanın topografyasındaki yükselti farklılıklarının, bu yöntemin uygulanmasında kısıtlayıcı olduğu göz ardı edilememelidir. Yine bu yöntemle temel kayanın konumu, örtü kaya kalınlığı, fayların ve rezervuar kayanın belirlenmesi, olası gömülü fayların konumunu belirlemek amacıyla SP ölçümleri çalışması yapılması gereken diğer önemli bir çalışmadır. Sahada ısı kaynağı ile ilgili bilgiler bölgesel ölçektir. Yapılacak MT çalışmasında elde edilecek bulgular ısı kaynağına ilişkin bilgileri saha bazında berraklaştırabilir. Bunun yanında jeofizik çalışmalarında toplanan

tüm veriler birlikte değerlendirilerek, iletkenlik değerlerinin jeotermal kaynak oluşumu bakımından yorumlanmasında, derindeki rezervuar karakterindeki kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesinde kullanılabilir. Yine bu bilgiler jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında, ısı kaynağı olabilecek magmatik kütlelerin derinliği ve geometrisinin saptanmasında, yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesinde ve kuyu yerlerine karar verilmesinde önemli katkı sağlayacaktır.

Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere yapılacak olan toprak gazı çalışmasıyla, sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık ve fay zonları belirlenmelidir.

Alanda arama ve üretim amaçlı açılmış kuyu bulunmamaktadır. Sahanın gerçek üretim kapasitesinin ortaya çıkarılarak sürdürülebilir üretim ve buna dayalı yatırım planlaması yapılması için yukarıdaki başlıklarda tanımlanan etütlerin yönlendirmesiyle, ilk etapta, olumlu sonuç alınması durumunda üretim kuyusuna dönüştürülen araştırma kuyuları açılması önemlidir. Daha sonra, önceki çalışmalar ve önerilen etüt sonuçları değerlendirilerek belirlenen lokasyonlarda denenecek kuyu verilerinin yönlendirmesiyle, diğer kuyuların açılması önerilmelidir. Lokasyonları ve derinlikleri bu etütler sonunda belirlenecek kuyularla belirsizliklerin giderilmesi, sahanın üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması mümkün olabilecektir. Sondaj çalışmalarının olumlu olması durumunda testler yapılmalı ve yeni kuyular programlanmalıdır. Sahada kuyu açma işlemi, kapasiteyi belirleyen ve sahayı sınırlandıracak bilgilere ulaşıncaya kadar sürdürülmelidir. Ancak açılan her kuyudan elde edilen kılavuz bilgilerin, sonraki kuyuların açılıp açılmayacağına karar verilmesini etkileyeceği göz ardı edilmemelidir.

16.2. BALVEREN-BESTA JEOTERMAL SAHASI

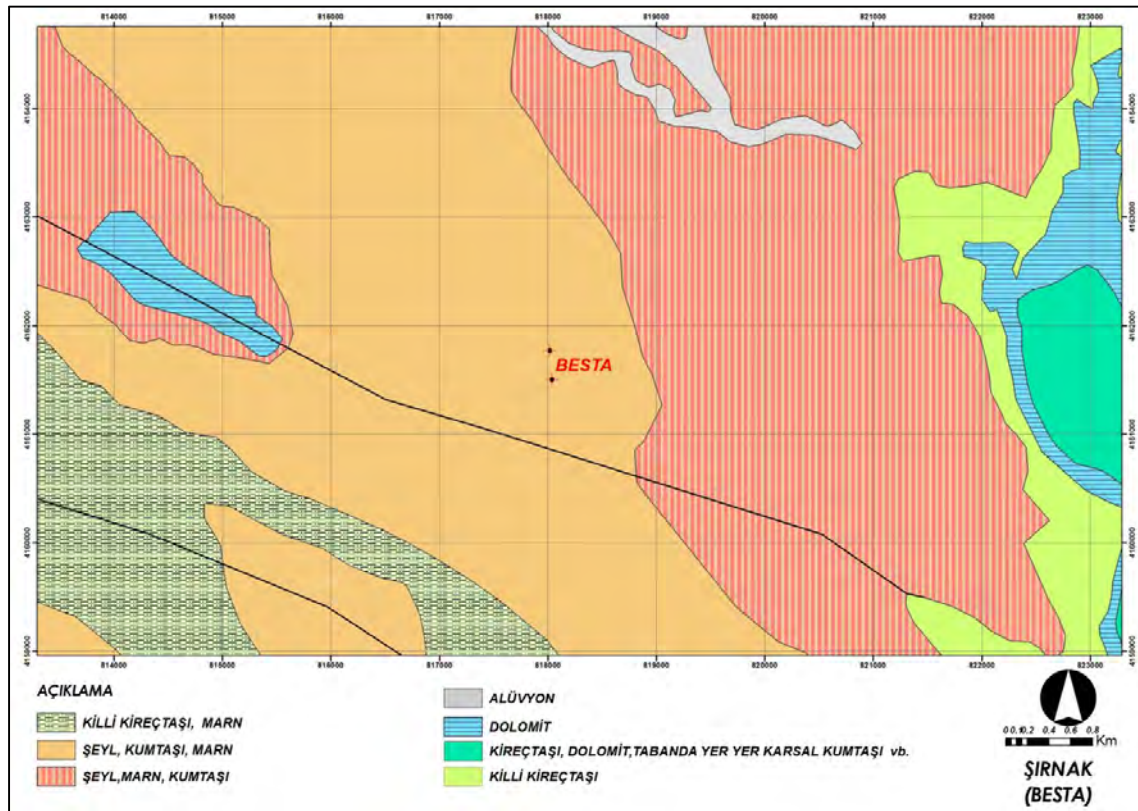
16.2.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Çalışma sahasının jeolojik özelliklerinin yorumlanmasında, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü'nün jeolojik haritaları temel alınarak, MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Şenel, 2008) kullanılmıştır. Bu proje kapsamında, MTA tarafından yapılan jeoloji haritasında ayrılan birimler stratigrafik konumlarına göre ve formasyon adlamalarına bağlı kalınarak anlatılmıştır.

İnceleme için sınırlandırılan ve sıcak su kaynaklarının içinde yer aldığı alanda Şenel (2008)'e göre yüzeylenen en yaşlı birim Cudi Grubu'na ait Dogger-Erken Kretase yaşlı, iri kristalli dolomitik kireçtaşı, neritik kireçtaşı ve dolomitten oluşan Latdağı formasyonudur (Şekil 16.13). Yörede yaygın olarak yüzeylenen ve sığ deniz ortamında çökelmiş birim, sahanın güneydoğusunda oldukça dar bir alanda görülür. Alanın doğusunda yaklaşık KD-GB uzanımlı bir doğrultuda ve batısında dar bir alanda yüzeylenen Mardin Grubu'na ait Derdere Formasyonu, Latdağı Formasyonu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Senomaniyen (Çoruh ve diğ., 1997) yaşlı dolomitten oluşan birim, sınırlı-yarı sınırlı sığ deniz ortamında çökelmiştir (Perinçek ve diğ., 1991). Derdere Formasyonu üzerinde bulunan kireçtaşı, dolomit, yer yer karasal kumtaşı Mardin Grubu'na ait diğer kaya birimleridir. Alanın doğusunda geniş bir alanda yüzeylenen, batısında ise sınırlı bir alanda yüzlek veren türbitidik karakterdeki Orta(?) -Geç Kampaniyen yaşlı killi kireçtaşından oluşan Sayındere Formasyonu, Mardin

Grubu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Orta Maastrichtiyen yaşlı killi kireçtaşı ve marndan oluşan Üçkiraz Formasyonu alanın güneybatısında izlenir. Germav Formasyonu alanın bütününe yakın bölümünde görülür. Kalınlığı fazla ve geniş yayılımı olan Germav Formasyonu kireçli, kumlu marn ara bantlı şeyllerin yoğun olduğu seviyeler altta, kumtaşı ara tabakalı şeyl ve marnlar ise üstte olacak şekilde iki alt birime ayrılarak haritalanmıştır. Formasyon Orta Maastrichtiyen-Paleosen yaşlıdır. Yöredeki günümüz dere yataklarına ait alüvyonlar en genç çökel birimleri oluşturur (Şenel, 2007).

Bölge, birbirinden farklı kaya topluluklarının tektonik dokanaklarla karşı karşıya getirildiği bir ortamı karakterize eder. Buna karşılık alan, daha durgun bir görünüm sunar. Birimlerin sedimanter kayalarla temsil edildiği yerlerde bol kıvrımlar gözlenmektedir. Kabaca KD-GB yönlü bir sıkışma ve ona uyumlu olarak KB-GD eksenli kıvrımlar, yine KB-GD yönlü genelde kuzeye eğimli ters fay-bindirmeler yöredeki egemen yapılardır. Alanın güneyinde, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru uzanan iki adet bindirme ile yine aynı doğrultuda eğim atımlı bir fay izlenmektedir. Jeolojisi tanımlanırken açıklanan birimlerin içinde farklı yaştaki karbonatlı kayalar rezervuar niteliğinde, killi ve marnlı kayalarla temsil edilen birimler ise örtü niteliğindedir.



Şekil 16.13: Besta jeotermal sahasının jeoloji haritası

16.2.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

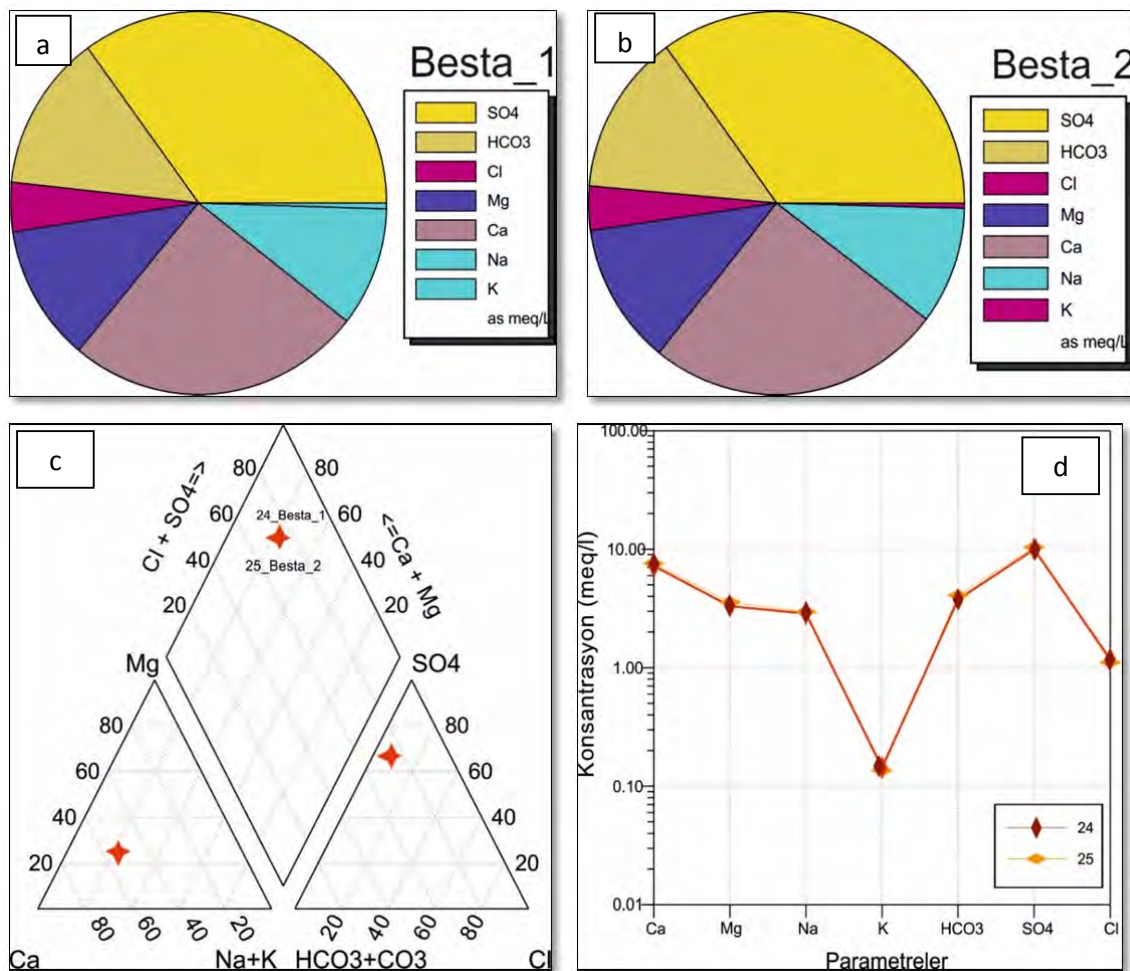
Proje kapsamında yapılan çalışmada Balveren Beldesi sınırları içinde yer alan iki adet sıcak su kaynağının (Besta_1 ve Besta_2) hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. Besta_1 ve Besta_2 kaynakları yaklaşık olarak birbirlerinden 1500 m uzaklıkta olup Besta deresi içinde

yer almaktadırlar. Besta_1 kaynağının sıcaklığı 27,3 °C'dir. Besta_2 kaynağının sıcaklığı ise 26,5 °C'dir (Tablo 16.3). Bu kaynakların pH'ları 7,18-7,22 ve Elektriksel İletkenlik (EI) değerleri ise 1070-1095µS/cm arasında değişmektedir.

Tablo. 16.3: Balveren-Besta jeotermal alanına ait kaynak özellikleri

Kaynak Adı	Sıcaklık (°C)	Debi (l/s)	Koordinatları		Kot
			D	K	
Balveren Beldesi Besta dereleri-1	27,3	~10	287 930	4 158 319	1032
Balveren Beldesi Besta dereleri-2	26,5	~10	287 933	4 158 049	1048

Besta kaynaklarında görülen başlıca katyon kalsiyum (Ca^{2+}) ve başlıca anyon ise sülfat (SO_4^{2-})'tır (Şekil 16.14). Hem Piper, hem de Schoeller diyagramlarına göre Besta kaynakları Ca- SO_4 su tipini yansıtmaktadır (Şekil 16.14c ve 16.14d). Her iki kaynak suyunun kimyasal yapısı aynıdır.



Şekil 16.14: Besta kaynaklarının a) Pie, b) Piper ve c) Schoeller diyagramlarında gösterimi

16.2.2.1. Ağır Metaller

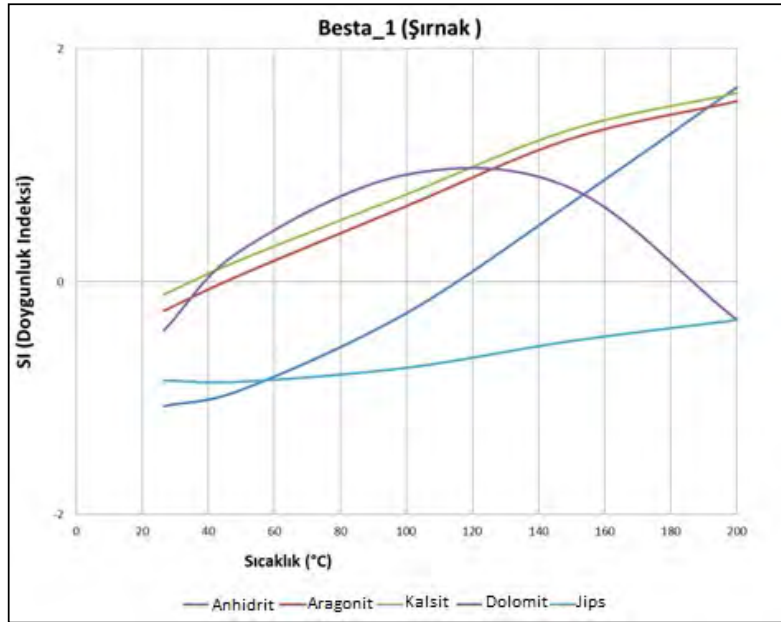
Besta kaynaklarından alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 16.4). Nisan 2015 tarihinde alınan analiz sonuçlarına göre alandaki sıcak su kaynaklarında içme suyu limitlerini aşan arsenik (As) değerleri ölçülmüştür. Bu nedenle bu alandaki sıcak suların kesinlikle içilmemesi gerekmektedir.

Tablo 16.4: Besta kaynaklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

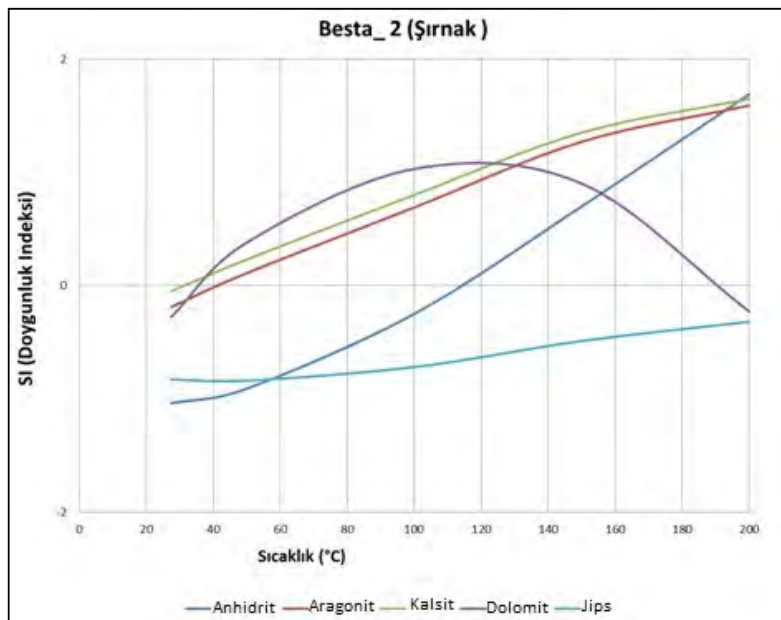
Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)
Lokasyon	Besta_1	Besta_2			Besta_1	Besta_2	
Ag	<0,05	<0,05		P	<10	<10	
Al	6	431	200	Pb	<0,1	<0,1	10
As	15,3	13,4	10	Pd	<0,2	<0,2	
Au	0,05	<0,05		Pt	<0,01	<0,01	
B	432	423	1000	Rb	14,2	14,04	
Ba	22,67	22,92		Re	<0,01	<0,01	
Be	<0,05	<0,05		Rh	0,17	0,14	
Bi	<0,05	<0,05		Ru	<0,05	<0,05	
Br	156	156		S	151	157	
Cd	<0,05	<0,05		Sb	<0,05	<0,05	5
Cl	43	43		Sc	<1	<1	
Co	0,14	0,03		Se	0,9	0,7	10
Cr	4,5	3,7	50	Si	12386	12531	
Cs	1,85	1,87		Sn	<0,05	<0,05	
Cu	1,9	2		Sr	6210,93	6454,9	
Fe	<10	42	200	Ta	<0,02	<0,02	
Ga	<0,05	<0,05		Te	<0,05	<0,05	
Ge	1,4	1,6		Th	<0,05	<0,05	
Hf	<0,02	<0,02		Ti	<10	<10	
Hg	0,2	0,3		Tl	<0,01	<0,01	
In	<0,01	<0,01		U	0,04	0,08	
Li	62,5	70,8		V	2,5	3,9	
Mn	66,17	78,62	50	W	0,03	<0,02	
Mo	<0,1	<0,1		Zn	2,7	3,9	
Nb	<0,01	<0,01		Zr	<0,02	0,5	
Ni	<0,2	<0,2	20				

16.2.3. Doymuluk İndeksleri

Besta sıcak su kaynaklarına ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymuluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymuluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 16.15 ve Şekil 16.16). Elde edilen verilere göre alandaki sıcak su kaynaklarında kabuklaşma problemi gözlenmektedir. Her iki kaynak da aragonit, kalsit ve dolomite tamamen doymudur. 120 °C üzerinde anhidrit kabuklaşması da görülebilir.



Şekil 16.15: Doymuluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi



Şekil 16.16: Doymuluk İndeksi (SI)-Sıcaklık (T) ilişkisi

16.2.4. Çözünürlük Jeotermometreleri

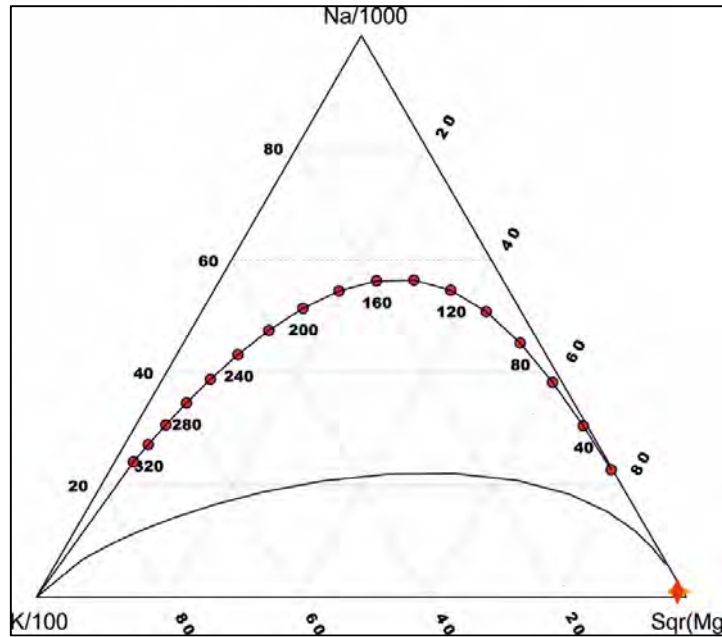
Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. İnceleme sahasındaki sıcak sular için Na-K katyon jeotermometreleri uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre bu alandaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 162-219 °C arasında değişmektedir (Tablo 16.5 ve Tablo 16.6). Alandaki su kaynakları Giggenbach grafiğine aktarılmıştır. Ölçülen değerler alandaki su kaynaklarının doygun olmadığını göstermektedir (Şekil 16.17).

Tablo 16.5: Besta_1 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	171,14
Tonani, 1980	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	177,2
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	192,73
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	203,25
Fournier, 1979	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	203,61
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	190,69
Giggenbach, 1988	Na-K	65,86	5,61	40,18	145	219,82

Tablo 16.6: Besta_2 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	162,43
Tonani, 1980	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	168,02
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	183,94
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	196,72
Fournier, 1979	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	196,52
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	183,76
Giggenbach, 1988	Na-K	68,12	5,31	43,45	151,9	219,82



Şekil 16.17: Besta kaynaklarının Giggenbach diyagramında gösterimi

16.2.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Yüzeye boşalan kaynakların varlığı ve limitler üzerindeki sıcaklık değerleri, sahada jeotermal potansiyelin göstergesidir. Ancak kaynak sıcaklıkları, yeraltı suyunun soğutucu etkisinde olmaları nedeniyle düşüktür ve alanın gerçek potansiyelini temsil etmemektedir. Bu bakımdan mevcut haliyle alan, düşük sıcaklıklı jeotermal saha kategorisindedir. Yeraltı suyu karışımı nedeniyle sıcaklığı düşen kaynakların bulunduğu alanda, yeraltı suyunun soğutucu etkisinden arındırılmış sondaj çalışmasıyla, güncel kaynak sıcaklıklarından daha yüksek sıcaklığa ulaşılacak akışkan üretimi mümkün olacak ve alanın kapasitesi yükselecektir. Ancak mevcut bilgilerin geliştirme çalışması yapılmasını gerektirecek olmasına karşılık, önerilen çalışmalar yapılmadan, sahadan üretilecek akışkan değerlerine yönelik herhangi bir öngöründe bulunulamamaktadır.

16.2.6. Yatırım Olanakları

Sahada yüzeye boşalan kaynak sıcaklıkları esas alındığında ekonomik bir yatırımı özendirerek gibi görünmemektedir. Ancak yeraltı suyu karışımının söz konusu olduğu bu kaynakların, mevcut sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa sahip olması yüksek olasılıktır. Dolayısıyla kaynağın kullanılma seçeneklerinin belirlenmesi, sahada önerilen çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra ortaya çıkacak kapasitesine göre yapılması daha ekonomik ve gerçekçi bir tercih olacaktır.

16.2.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Sahada jeotermal araştırma amaçlı herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Sahaya ilişkin bilgiler, değişik amaçla yapılan jeoloji etüdü, proje kapsamında gerçekleştirilen jeoloji gözlemleri, kaynak başı ve laboratuvar analizleriyle sınırlıdır. Sahada yüzeye boşalan sıcak su kaynakları, jeotermal potansiyelin göstergesidir. Bu potansiyeli ortaya çıkarmak ve sahanın kapasitesinin belirlenmesi için aşağıda önerilen çalışmaların yapılması önerilmektedir. Yörenin sosyal ve

ekonomik koşulları göz önüne alındığında, önerilen çalışmalarla sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılması ve kullanım seçeneklerinin belirlenmesi sonucunda yapılacak yatırımlar, istihdam yaratması yanında bölgeye önemli bir ekonomik katkı da sağlayacaktır.

Sahada jeotermal kaynak araştırması için uygulanan jeofizik etüt bulunmamaktadır. Yüzeysel jeolojisinde belirlenen örtü kaya, rezervuar kaya, ısı kaynağı gibi jeotermal bileşenlere yönelik yer altı bilgisinin elde edilmesi ve konumunun belirlenmesi amacıyla jeofizik DES, SP ve MT gibi aletsel ölçümlerin yapılması önemlidir. Ayrıca, alandaki akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprakta gaz ölçümleri yapılması gerekir. Bununla birlikte, sahada araştırma amaçlı sondajlar yapılarak saha geliştirilmelidir.

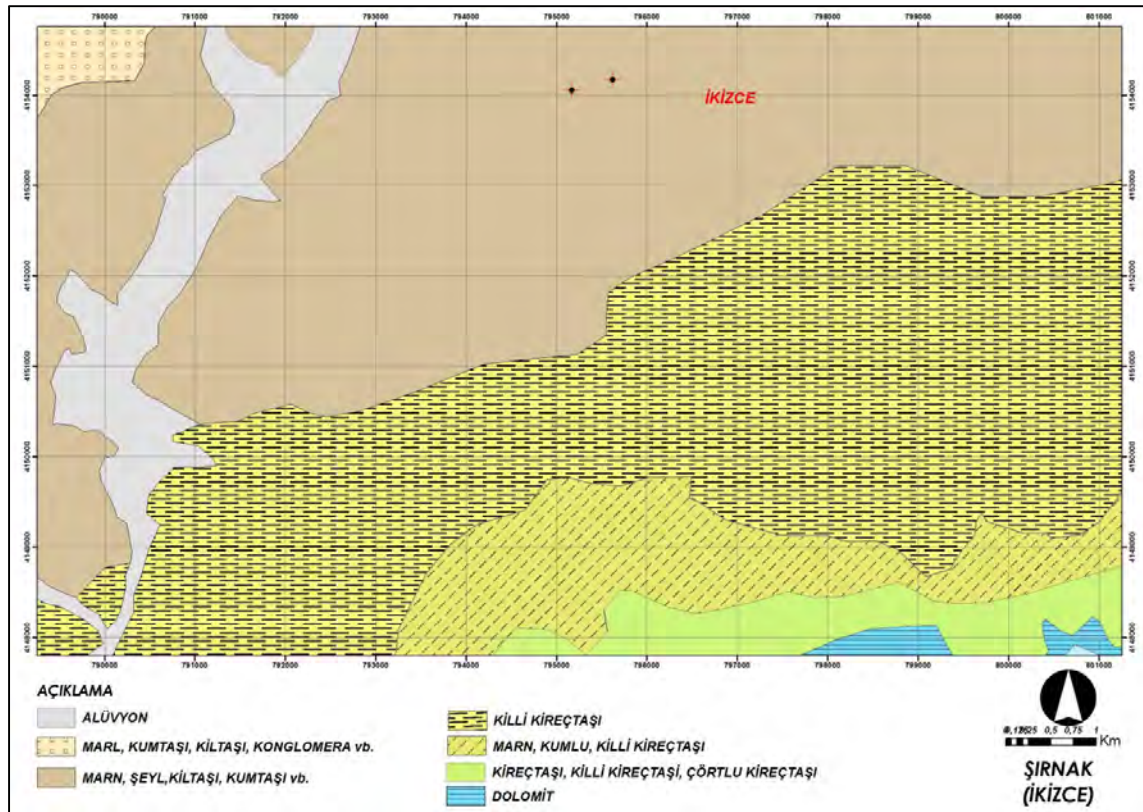
16.3. İKİZCE JEOTERMAL SAHASI

16.3.1. Jeolojik ve Tektonik Özellikleri

Çalışma sahasının jeolojik özelliklerinin yorumlanmasında, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı Genel Müdürlüğü'nün jeolojik haritaları temel alınarak, MTA Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası (Şenel, 2007) kullanılmıştır (Şekil 16.18).

İnceleme için sınırlandırılan ve sıcak su kaynaklarının içinde yer aldığı sahada Şenel (2007)'e göre yüzeylenen en yaşlı birim, alanın güneydoğusunda yüzlek veren Mardin Grubu'na ait Derdere Formasyonudur. Senomaniyen yaşlı dolomitten oluşan birim, sınırlı-yarı sınırlı sığ deniz ortamında çökelmiştir (Perinçek ve diğ., 1991). Derdere Formasyonu üzerinde bulunan ve alanın güneydoğusunda geniş bir alanda yüzeylenen Adıyaman Grubu'na ait kireçtaşı, killi kireçtaşı ve çörtlü kireçtaşından oluşan Orta(?) -Geç Kampaniyen yaşlı Sayındere Formasyonu, Mardin Grubu üzerinde uyumsuz olarak bulunur. Sayındere Formasyonu üzerinde uyumlu olarak yer alan ve genelde marnlardan oluşan Bozova Formasyonu, bölgesel olarak yer yer tebeşirli, çörtlü marn, killi kireçtaşı, şeyl, siltaşı ve kumtaşı seviyeleri içerir. Alanın güneybatı bölümünde yaygın olarak yüzeyleyen formasyon, Geç Kampaniyen-Erken Maastrichtiyen yaşlı kabul edilmektedir (Çoruh, 1991). Orta Maastrichtiyen yaşlı killi kireçtaşı ve marnlardan oluşan Üçkiraz Formasyonu geniş bir alanda izlenir. Alanın kuzey kesimlerinde Germav Formasyonu yüzeylenmektedir. Kalınlığı fazla ve geniş yayılımı olan Germav Formasyonu marn, şeyl, kiltası, kumtaşı vb kaya birimlerinden oluşmaktadır. Formasyon Orta Maastrichtiyen-Paleosen yaşlıdır. Germav Formasyonu üzerinde yer alan Midyat Grubu'na ait Gercüş Formasyonu, alanın kuzey batısında sınırlı bir alanda izlenmektedir. Marn, kumtaşı, kiltası çakiltası vb kaya birimlerinden oluşan formasyon Erken Eosen yaşlı kabul edilir. Yöredeki günümüz dere yataklarına ait alüvyonlar en genç çökel birimleri oluşturur (Şenel, 2007).

Sahanın yakın çevresinde yaklaşık KD-GB yönlü sıkışmayı ifade eden kıvrımlar ve bu yapıyla uyumlu KD-GB uzanımlı faylar gelişmiştir. Buna karşılık alan, tektonik olarak durgun bir görünüm sunar. Alanın güneyinde yaklaşık D-B uzanımlı bir fay ile K-G uzanımlı iki fay sahada gözlenen yapısal unsurlardır. İnceleme alanındaki farklı yaştaki karbonatlı kayalar rezervuar, killi ve marnlı kayalarla temsil edilen birimler ise örtü kaya niteliğindedir.



Şekil 16.18: İkizce jeotermal sahasının jeoloji haritası

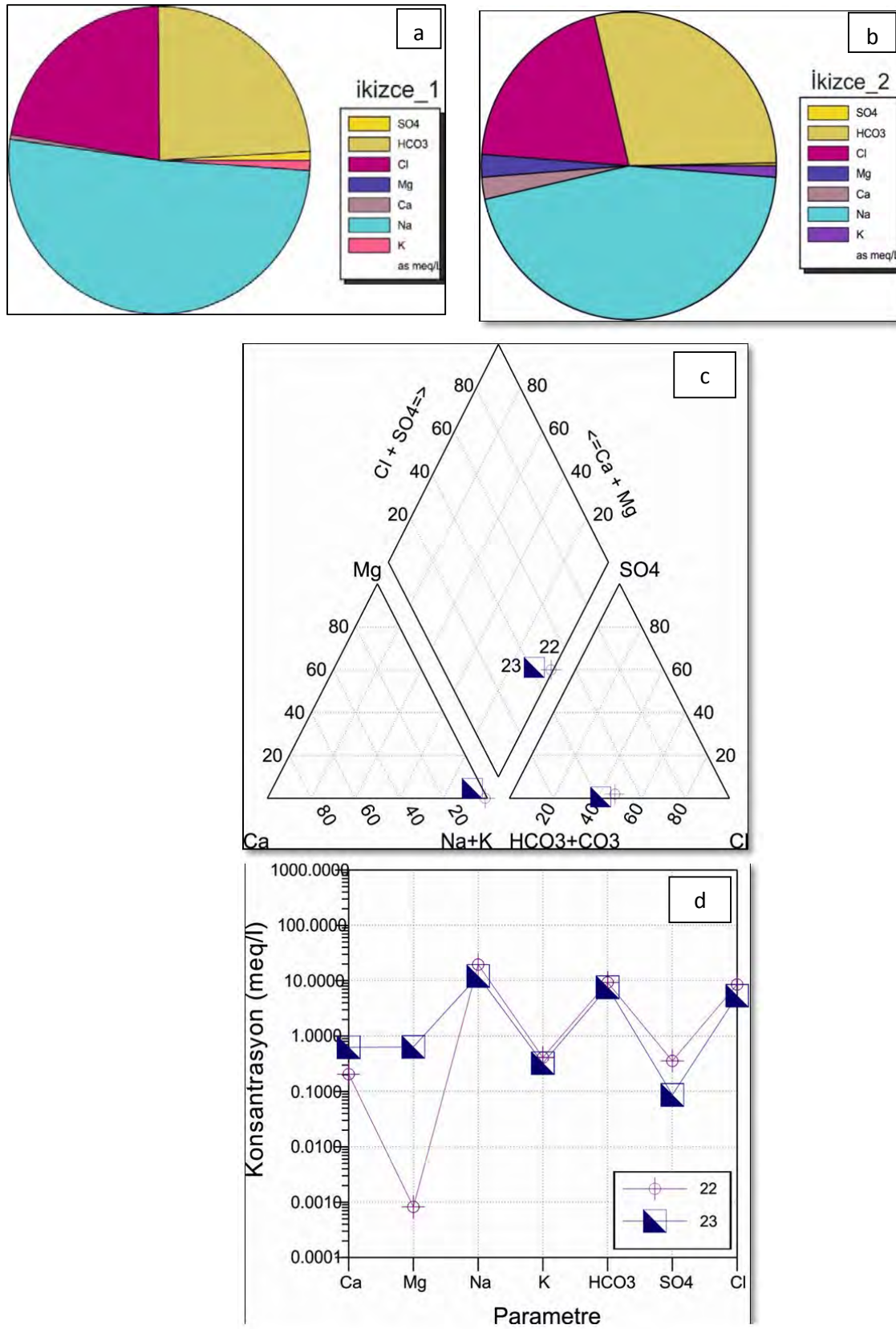
16.3.2. İnceleme Sahasının Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Özellikleri

Proje kapsamında yapılan çalışmada İkizce Köyü sınırları içinde yer alan iki adet sıcak su kaynağının (İkizce_1 ve İkizce_2) hidrojeokimyasal özellikleri irdelenmiştir. İkizce_1 kaynağının sıcaklığı 20,4 °C'dir. İkizce_2 kaynağının sıcaklığı ise 22,7 °C'dir (Tablo 16.7). Bu kaynakların pH'ları 8,96-8,01 ve Elektriksel İletkenlik (EI) değerleri ise 1739-1201µS/cm arasında değişmektedir.

Tablo 16.7: İkizce jeotermal alanına ait kaynakların özellikleri

Kaynak Adı	Sıcaklık °C)	Debi (l/s)	Koordinatları		Kot
			D	K	
İkizce-1	20,4	~0,03	265 099	4 152 197	592
İkizce-2	22,7	~0,01	264 651	4 152 078	591

İkizce kaynaklarında görülen başlıca katyon sodyum (Na^+) ve başlıca anyon ise bikarbonat (HCO_3^-)'tir (Şekil 16.19). Hem Piper, hem de Schoeller diyagramlarına göre ikizce kaynakları $\text{Na}-\text{HCO}_3$ su tipini yansıtmaktadır (Şekil 16.19c ve 16.19d). Her iki kaynak suyunun kimyasal özellikleri aynıdır. Bu veriler, kaynakların aynı kökenli olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 16.19: İkizce kaynaklarının a-b) Pie, c) Piper ve d) Schoeller diyagramlarında gösterimi

16.3.2.1. Ağır Metaller

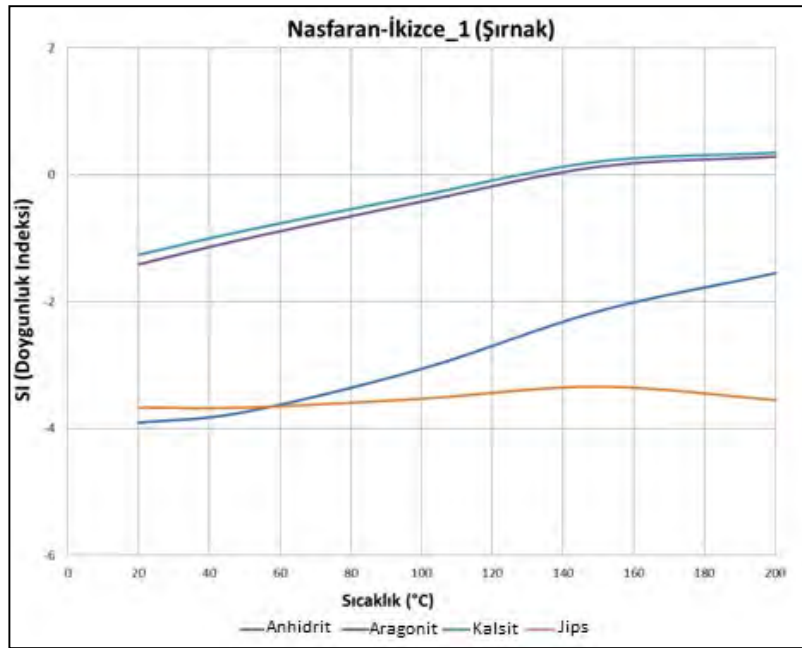
İkizce kaynaklarından alınan su numunelerinde ağır metal analizleri yapılmıştır (Tablo 16.8). Nisan 2015 ayında alınan analiz sonuçlarına göre alandaki sıcak su kaynaklarında içme suyu limitlerini aşan bor (B) değerleri ölçülmüştür. Bu nedenle bu alandaki sıcak suların içilmemesi gerekmektedir.

Tablo 16.8: İkizce kaynaklarından ölçülen major ve minör elementlerin konsantrasyonları

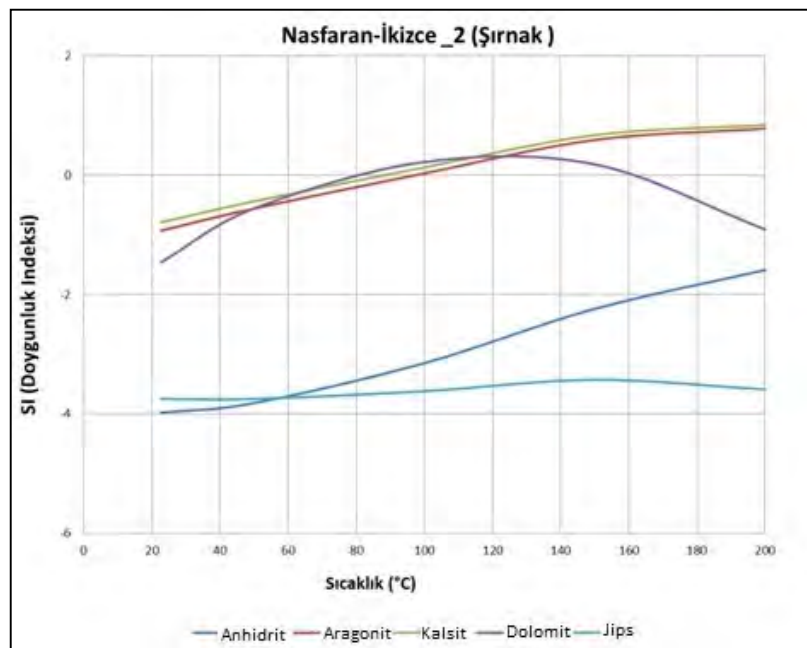
Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)	Element	Konsantrasyon (ppb)		İTASHY (ppb)
	İkizce_1	İkizce_2			İkizce_1	İkizce_2	
Ag	<0,05	<0,05		P	11	<10	
Al	12	15	200	Pb	<0,1	<0,1	10
As	2,5	1,5	10	Pd	<0,2	<0,2	
Au	0,27	0,15		Pt	<0,01	<0,01	
B	3364	1677	1000	Rb	27,98	14,07	
Ba	147,96	781,76		Re	<0,01	<0,01	
Be	<0,05	<0,05		Rh	<0,01	0,06	
Bi	<0,05	<0,05		Ru	<0,05	<0,05	
Br	1174	734		S	16	13	
Cd	<0,05	<0,05		Sb	<0,05	<0,05	5
Cl	282	167		Sc	<1	<1	
Co	0,02	0,04		Se	2,9	1,7	10
Cr	16,5	10,6	50	Si	7128	7008	
Cs	1,65	0,67		Sn	<0,05	<0,05	
Cu	0,7	0,6		Sr	294,49	2947,69	
Fe	19	26	200	Ta	<0,02	<0,02	
Ga	<0,05	<0,05		Te	<0,05	<0,05	
Ge	4,72	2,83		Th	<0,05	<0,05	
Hf	<0,02	<0,02		Ti	<10	<10	
Hg	0,5	0,3		Tl	<0,01	<0,01	
In	<0,01	<0,01		U	<0,02	<0,02	
Li	52,7	36,7		V	4,9	3,2	
Mn	6,69	6,36	50	W	0,46	0,16	
Mo	0,5	<0,1		Zn	1	0,8	
Nb	<0,01	<0,01		Zr	0,11	0,08	
Ni	0,2	<0,2	20				

16.3.3. Doymunluk İndeksleri

İkizce sıcak su kaynaklarına ilişkin anhidrit, kalsit, aragonit, dolomit ve jips minerallerinin doymunluk indeksleri hesaplanmış ve T (sıcaklık) değerlerine karşılık gelen SI (doymunluk indeksi) değerlerinin değişim grafiği çizilmiştir (Şekil 16.20 ve Şekil 16.21). Elde edilen verilere İkizce_1 kaynağında 120 °C üzerinde aragonit ve kalsit kabuklaşması görülebilir. İkizce_2 kaynağında ise 80 °C üzerinde aragonit, dolomit ve kalsit kabuklaşması görülebilir.



Şekil 16.20: Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi



Şekil 16.21: Doygunluk İndeksi (SI)- Sıcaklık (T) ilişkisi

16.3.4. Çözünürlük Jeotermometreleri

Çözünürlük jeotermometreleri ve diğer jeotermometreler (gaz ve izotop) akifer sıcaklığını belirlemek için kullanılmaktadır. İnceleme alanındaki sıcak sular için Na-K kasyon jeotermometreleri uygulanmıştır. Elde edilen verilere göre, bu alandaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 98-160 °C arasında değişmektedir. Alandaki su kaynakları

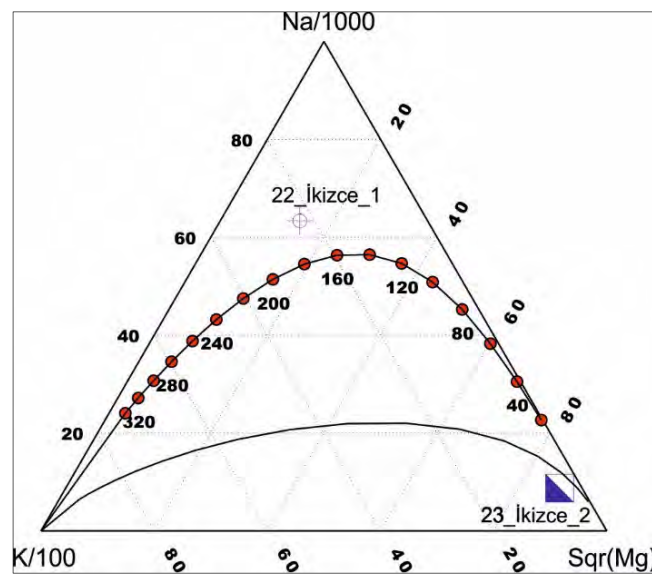
Giggenbach grafiğine aktarılmıştır (Tablo 16.9 ve Tablo 16.10). Ölçülen değerler, İkizce_1 değerinin doygun ve İkizce_2 kaynağının ise doygun olmadığını göstermektedir (Şekil 16.22).

Tablo 16.9: İkizce_1 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	450,03	16,04	0	4,11	98,211
Tonani, 1980	Na-K	450,03	16,04	0	4,11	100,72
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	450,03	16,04	0	4,11	118,7
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	450,03	16,04	0	4,11	145,97
Fournier, 1979	Na-K	450,03	16,04	0	4,11	142,06

Tablo 16.10: İkizce_2 kaynağında hesaplanan jeotermometre değerleri

Jeotermometreler	Element (mg/l)	Na	K	Mg	Ca	Hesaplanan Sıcaklık Değerleri (°C)
Truesdell, 1976	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	115,99
Tonani, 1980	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	119,27
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	136,82
Arnorsson ve diğ., 1983	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	160,48
Fournier, 1979	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	157,53
Nieva ve Nieva, 1987	Na-K	278,51	12,65	7,72	12,54	145,66
Fournier, 1991	K-Mg ^a b	278,51	12,65	7,72	12,54	113,03



Şekil 16.22: İkizce kaynaklarının Giggenbach diyagramında gösterimi

16.3.5. Potansiyele İlişkin Değerlendirmeler ve Üretim Senaryoları

Alanda birbirlerine uzaklığı 500 m olan iki kaynak bulunmaktadır. Doğal boşalımlar halinde yüzeyde bulunan bu kaynakların sıcaklığı ve debisi düşüktür. Dere kenarında yer alan kaynakların sıcaklığı, yeraltı suyu girişimi nedeniyle düşmektedir. Debilerinin düşük oluşu ise, yüzeye çıkış yolunda geçtiği formasyonların kaya türü, kayaçların geçirgenlik özelliği, akışkanın basıncı ve kullandığı kanalı oluşturan tektonik mekanizmanın şekliyle ilişkilidir.

Kaynak sıcaklıkları jeotermal kaynak tanımında belirlenen değerin en alt sınırındadır. Kuşkusuz bu değer esas alınarak alanın potansiyeli hakkında hemen karar vermek güçtür. Bölgesel jeotermal sistem oluşumu gözetildiğinde, alanda mevcut potansiyelden daha yüksek değerde bir kapasitenin varlığının mümkün olabileceği söylenebilir. Jeotermometreler de bunu desteklemektedir. Ancak önerilen çalışmalar yapılmadan, sahadan üretilcek akışkan değerlerine yönelik herhangi bir öngöründe bulunulamamaktadır.

16.3.6. Yatırım Olanakları

Sahadaki kaynakların sıcaklığı, yeraltı suyu karışımı nedeniyle çok düşüktür ve bu haliyle, herhangi bir yatırım için özendirici değildir. Yeraltı suyunun soğutucu etkisinin olmadığı durumda, kaynakların, mevcut sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa sahip olması beklenir. Bu bakımdan kaynaktan yararlanma seçeneklerinin belirlenmesi, önerilen çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra ortaya çıkacak kapasitesine göre yapılması daha doğru bir tercih olacaktır.

16.3.7. Sahanın Geliştirilmesi İçin Öngörülen Çalışmalar

Sahada jeotermal araştırma amaçlı herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Jeotermal potansiyel yorumunda, değişik amaçla yapılan jeoloji etüdü, proje kapsamında gerçekleştirilen jeoloji gözlemleri, kaynak başı ve laboratuvar analizleri kullanılmıştır. Sahada yüzeye boşalan sıcak su kaynakları, jeotermal potansiyelin göstergesidir. Bu potansiyeli ortaya çıkarmak ve sahanın kapasitesinin belirlenmesi için hidrojeolojik çalışmalar, jeofizik çalışmalar, toprak gazı ölçümleri ve sondajların yapılması son derece önemlidir.

17. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL KAYNAKLARIN GENEL DEĞERLENDİRMESİ

Bu rapor, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan sahaların jeotermal potansiyellerinin belirlenmesi ile bu potansiyelin ne şekilde değerlendirileceğine yönelik çalışmaları içermektedir. Raporda, bu sahalarda daha önce yapılmış olan jeoloji, hidrojeokimya, jeofizik-rezistivite etütleri ve aynı zamanda bu proje kapsamında gerçekleştirilen diğer etütler, incelemeler, gözlemler ve analiz sonuçları da yer almaktadır. MTA Genel Müdürlüğü'nden temin edilen 1/25.000 ölçekli jeoloji haritaları revize edilerek jeolojik bilgi altyapısı oluşturulmuş, elde edilen bulgular değerlendirip ileri aşama etütler için öneriler belirlenmiştir. Ayrıca, bölgenin tektonik yapısı irdelenmiş ve sahalardaki faylar haritalanmıştır. Bölge bütününe ilişkin genel jeolojik, hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve jeotermal sistemle ilgili elde edilen bulgularla birlikte, jeotermal alanların özellikleri de dikkate alınarak sahaların jeotermal potansiyellerine ilişkin önerilerde bulunulmuştur. Sözü edilen sahalardaki değerlendirmeler, ön inceleme çalışmaları, büro çalışmaları, jeoloji etütleri, hidrojeokimya çalışmaları, jeofizik etütleri ve sondaj verilerinin sonuçları dikkate alınarak yapılmıştır.

İncelenen alanların bazılarında doğal sıcak su kaynağı tespitine yönelik kuyu açılmadığı için bu alanlara ait veri bulunmamakta, aynı zamanda jeotermal aktiviteye işaret edebilecek belirgin hidrotermal alterasyonlara da rastlanmamaktadır. Bu nedenle sahaların jeotermal potansiyelinin değerlendirilmesinde jeolojik, tektonik ve hidrojeokimyasal özellikleri göz önünde bulundurulmuştur. İncelenen sahalara yönelik olarak aşağıdaki yorumlar yapılabilir.

Bölgesel jeodinamik evrim, güncel tektonik, litostratigrafik yapı ve sıcak su kaynakları, bölgede jeotermal sistemlerin gelişmesine uygun jeolojik ortamların bulunduğunu açıklar. Bölgede gelişen güncel tektonik rejimin yapısal öğeleri olan faylar ve diğer fay sistemleri, meteorik suların yer içine sızması ve ısınarak geri dönmesi şeklinde cereyan eden akışkan devinimini sağlayan geçirgen zonlar niteliğindedir. Dolayısıyla jeotermal sistemde gerek beslenme gerekse derinlerde ısınan meteorik suların yeniden yeryüzüne taşınmasını sağlayan yapılarıdır.

Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerek bölgedeki yaygınlıkları ve gerekse kalınlıkları nedeniyle Kretase yaşlı Mardin Grubu ile Eosen yaşlı Midyat Grubu kireçtaşları jeotermal sistemlerin ana rezervuarlarını oluşturmaktadır. Kretase yaşlı Şırnak Grubu'na ait Germav şeylleri, Miyosen yaşlı Lice ve Şelmo formasyonları da jeotermal sistemin ana örtü kayalardır. Yöredeki volkanitlerin büyük bir kısmı çatlaktan çıkıp akan, derine doğru çatlak dolgusu şekline dönüşen bazaltik karakterdedir. Bölgede, günümüzde kıtalar boyutunda ortaya çıkan sıkışmalı tektonik rejimde K-G yönlü açılma çatlakları jeotermal kaynakları yüzeye taşıyan akışkanın çıkışlarını sağlayan ana yapısal unsurlardır. Lavlar ile termal suların aynı veya benzeri çatlak sistemlerini kullandıkları arazide gözlemlenebilmektedir. Buna dayanarak, her iki öğenin birbiriyle yakın ilişkili olabileceği söylenebilir.

Değerlendirmeye esas olan Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki jeotermal sistemler, yüzeye boşalan çok sayıda sıcak su kaynakları ve değişik rezervuar sıcaklıklarının ölçüldüğü kuyuların bulunduğu jeotermal sahaları barındırmaktadır. Sözü edilen sahalarda, yüzey sıcaklığı 20-63 °C arasında değişen sıcak su kaynakları yanında, bölge koşulları gözetildiğinde başta ısıtma uygulaması olmak üzere geniş yelpazede kullanım seçeneği sunan sıcaklıkta akışkan üretilen kuyular ile genç tektonik ve volkanik aktivite gibi parametreler, bölgedeki önemli bir

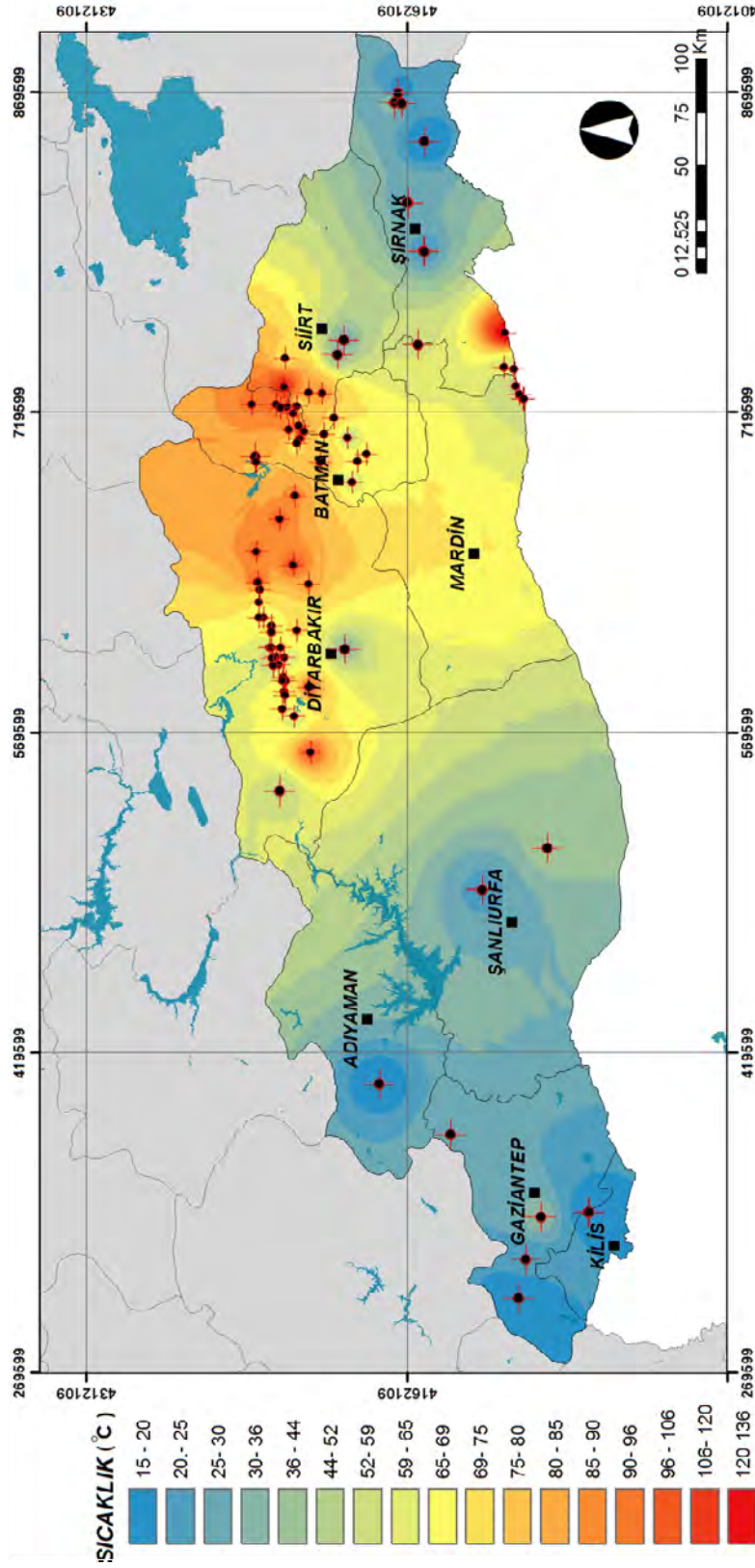
potansiyel varlığının göstergeleridir. Bunlardan Karaali ve Kabahaydar (Şanlıurfa), Germav-İllisu (Mardin), Hısta ve İlıcak (Şırnak), Çermik (Diyarbakır), Billuris (Siirt), Taşlıdere (Batman), Güvenli-Kürtüncük (Kilis) ve Durantaş (Gaziantep) sahaları kaynak kullanımı için ısı yüklü akışkan içeren jeotermal alanlardır. Ayrıca bölgede petrol amaçlı açılan ancak sıcak akışkan çıktığı için işletilmeyen çok sayıda kuyunun yer aldığı alan bulunmaktadır. Adıyaman, Batman, Diyarbakır ve Şırnak illerinde, TPAO tarafından 1000 m ile 4000 m arasındaki derinliklerde açılan kuyularda, rezervuar sıcaklıkları 137 °C'ye ulaşan sahalar vardır (Şekil 17.1). Bu veriler de bölgenin jeotermal açıdan oldukça önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Petrol kuyuları ile ilgili yeterli veri olmamasına rağmen bütün verilerin değerlendirilmesi durumunda alandaki jeotermal potansiyelin daha da artacağı açıktır. Amerika, Çin ve İsrail'de petrol ile birlikte jeotermal enerjiden yararlanmaya dönük çalışmalar yapılmaktadır. Mevcut olan ve terk edilmiş kuyuların sıcaklıkları bazı kesimlerde enerji, konut, termal tesis, seracılık ve kurutma için uygundur.

Bölgede jeotermal enerjinin öneminin giderek artmış olduğu ve az da olsa jeotermal enerji ile ilgili yatırımların başladığı görülmektedir. Jeotermal kaynak, sınırlı da olsa Karaali (Şanlıurfa)'de hem termal turizm amaçlı kullanılmakta, hem de seracılık alanında yararlanılmaktadır. Bununla birlikte, Kozluk-Taşlıdere (Batman), Çermik (Diyarbakır), Durantaş (Gaziantep), Hısta-Belkıs Ana, İlıcak-Zümrüt Kaplıcası, İkizce-Nasrafan Kaplıcası (Şırnak), Billuris (Siirt) ve Germav-İllisu (Mardin)'de termal turizm amaçlı olarak az da olsa sıcak su kaynaklarından faydalanılmaktadır. Ancak, Çarıklı (Diyarbakır), Kartalköy, Araban (Gaziantep), Kürtüncük-Güvenli (Kilis), Kabahaydar (Şanlıurfa), Lif (Siirt), Kaniyagerm ve Besta (Şırnak) yerleşimlerinde bulunana jeotermal kaynaklardan yararlanılmamaktadır.

Adıyaman il sınırları içinde Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından çok sayıda petrol amaçlı sondaj kuyusu açılmıştır. Edinilen bilgilere göre bu alandaki petrol kuyularında sıcak sular bulunmuştur. Ancak söz konusu kuyulara ilişkin veriler olmadığı için jeotermal sistemler ile ilgili yorumlar yapılamamıştır.

Adıyaman il sınırları içindeki Çörmük kaynağı, bol çatlaklı ve karstik killi kireçtaşından yüzeye boşalmaktadır. Kaynağın debisi oldukça yüksektir. Bu sahada jeotermal kaynak oluşumuna yorumlanabilecek güçlü veriler gözlenmemektedir. Kaynaktan derlenen su örneğinin analiz sonuçları esas alınarak 23-42 °C arasında hesaplanan rezervuar sıcaklığı da doygun olmaması nedeniyle güvenilir değildir. Dolayısıyla alanda kaynağın sıcaklığının yükselebileceği bir jeolojik ortamın varlığından söz edilemez. Kaynak suyu yüzeysel sıcaklığının düşük olmasından dolayı sadece yaz mevsiminde küçük bir tesis içerisindeki havuzda günübirlik kullanım ve içme suyu olarak kullanılmaktadır. Mevcut kullanım koşullarının iyileştirilmesinin ve alanda karstik kaynağı da koruyacak şekilde hidrojeolojik çalışmanın yapılması yöre ekonomisine katkı sağlayacak şekilde rekreasyonunun yapılması yöre ekonomisi için önemlidir.

Batman ili jeotermal potansiyel açısından son derece zengindir. İl sınırları içerisinde yüzeye çıkan bir kaynak ve jeotermal amaçlı açılmış kuyu bulunmamakla birlikte TPAO tarafından petrol arama amaçlı açılmış, derinlikleri 1270 m ile 3960 m arasında ve sıcaklıkları 41-137 °C arasında değişen birçok sıcak su kuyusu mevcuttur. Kozluk ilçesindeki Taşlıdere jeotermal sahasında 2400 m derinliğinde açılmış olan kuyudan yüzey sıcaklığı 84,5 °C ve 16 l/s debiye sahip akışkan elde edilmiştir.



Şekil 17.1: GAP Bölgesi'ndeki sıcak su noktalarından yararlanılarak hazırlanan sıcaklık dağılım haritası

Bu alanda açılan başka bir kuyuda ise sıcak suyun yüzey sıcaklığı, kısa süreli üretimde 70 °C olarak ölçülmüştür. Akışkanın uzun süreli üretimde sıcaklığı kuşkusuz daha yüksek olacaktır. Mevcut potansiyel dikkate alındığında Taşlıdere jeotermal sahasında mevcut kuyudan üretilen jeotermal akışkandan 2304 kişi termal turizm amaçlı yararlanabilir. Ancak sahanın geliştirilmesi ile ortaya çıkarılacak ısıl kapasiteye bağlı olarak öngörülen sıcaklıklar ve yeterli debilere ulaşılması durumunda öncelikle elektrik üretmek (100 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar elektrik üretimi için yeterlidir) mümkün olacaktır. Ayrıca bu jeotermal sahada elektrik üretiminin yanı sıra geniş bir yelpazede ve değişik seçeneklerde doğrudan kullanım uygulamaları da mümkündür.

Sahanın potansiyeli üzerine değerlendirme yapılırken, petrol amaçlı açılan kuyuların teknik karakterinin bilinmesi ayrı bir önem taşımaktadır. Diğer önemli bir husus, yeni açılacak kuyular programlanırken rezervuar kaya, tektonik özellikler, üretim zonu gibi teknik bilgilerin dikkate alınmasıdır. Bu sahada yapılacak yeni sondajlar ile beklenen akışkan üretiminin sağlanması halinde Batman ve civarının ekonomisine önemli katkı sağlayacak jeotermal kaynak konut ısıtması, seracılık, termal turizm gibi birçok alanda kullanılabilir.

Diyarbakır il sınırları içinde TPAO tarafından petrol amaçlı çok sayıda kuyu açılmıştır. Derinlikleri 1450 m ile 3960 m arasında değişen kuyuların kuyu dibi sıcaklıkları 41-107 °C arasındadır. Bu sıcaklık değerleri bölgenin jeotermal potansiyelinin önemine işaret eder. Ancak bu güne kadar bölgede sadece iki jeotermal saha (Çermik ve Çarıklı) ile ilgili bilimsel çalışmalara vurgu yapılmıştır. Çermik jeotermal sahası, diğer sahalara oranla daha çok çalışmaya konu olmuştur. Çermik jeotermal sahasında sıcaklığı 51 °C ve debisi 20 l/s'yi geçen dört adet jeotermal sondaj kuyusu bulunmaktadır. Bu sahadaki akışkanın sıcaklığı konut ısıtmasına uygun değerde olmasına karşın, dar bir alanda açılan kuyuların birbirlerini etkilemeleri nedeniyle yararlanma kapasitesi sınırlıdır ve küçük ölçekte termal amaçlı olarak işletilmektedir. İlçe merkezinde yer alan sahadan üretilen akışkandan ekonomik biçimde şehir ve sera ısıtmasında yararlanmak mümkün iken, sadece termal amaçlı kullanılması, kaynağın gerektiği biçimde değerlendirilememesi sonucunu yaratmaktadır. Önerilen çalışmalar sonucunda hedeflenen kapasiteye ulaşılması durumunda Çermik alanından üretilen sıcak akışkan, ısıtma uygulamasından (konut-sera) başlamak üzere diğer kullanımlarda da yararlanılabilecektir.

Gaziantep ilinde jeotermal kaynaklara yönelik araştırmalar sınırlıdır. Kartalköy dışındaki alanlarda yüzeye boşalan sıcak su kaynağı bulunmamaktadır. Gerek Kartalköy'deki kaynak gerekse kuyulardan üretilen akışkan sıcaklıkları düşüktür.

Araban ilçesi Ziyarettepe civarında 700 m derinliğinde jeotermal amaçlı açılan kuyudaki kuyu dibi sıcaklığı 30 °C'dir. Bunun yanında TPAO tarafından açılan kuyudaki akışkanın yüzey sıcaklığı da buna yakındır. Buna karşılık kuyularda ölçülen sıcaklık değeri, yüzeyde kaynak varlığına yönelik ipucu vermeyen bölge açısından önemsenen bir bulgudur ve potansiyel varlığına yorumlanmaktadır. Ancak üretim zonunun derinliği akışkanın ekonomik kullanımında belirleyicidir. Dolayısıyla yeni kuyu denemeleri, kuyuların teknik bilgileri değerlendirilerek derine doğru sıcaklık artış eğiliminin saptanması ve üretim zonunun ekonomik derinlikte olması durumunda yapılabilir. Bu aşamada mevcut bilgilerin, geliştirme çalışması yapılmasını özendirerek nitelikte olmasının dışında sahadan üretilen akışkan değerlerine yönelik herhangi bir öngörüle bulunulamamaktadır.

Durantaş sahasındaki termal tesiste bulunan kuyudan yüzeye boşalan akışkanın sıcaklığı 34,8 °C'dir. Kuyunun derinlik, derinliğe bağlı sıcaklık değişimi, debi vb. teknik bilgilerine ulaşılamadığından potansiyeline ilişkin yorumda bulunulamamaktadır. Bu sahada uygulanan jeotermometreler alandaki rezervuar sıcaklığının 58 °C'ye ulaşabileceği bilgisi ümit vericidir, fakat debi bilgisi olmadan ısı potansiyel belirlenememektedir. Durantaş jeotermal sahası, ulaşım koşulları gözetildiğinde termal turizm açısından önemli bir konumdur. Yakın çevrede bu tür bir kullanımın olmaması da alanı, bölgesel çekim merkezi haline getirebilecektir. Ayrıca sahada jeotermometrelerin verdiği 58 °C sıcaklık ve yeterli debide akışkana ekonomik olarak ulaşılabilirse iklim koşullarının da uygunluğu nedeniyle jeotermal seracılık ön plana çıkarılabilir. Bunun dışında bu sahada jeotermal akışkan balık çiftlikleri, kurutma ve çeşitli ısıtma uygulamalarında da kullanılabilir.

Nurdağı ilçesinde Kartalköyü kaynağının sıcaklığı ise 23 °C'dir. Alandaki bu kaynak yüzeysel suların etkilenmektedir. Söz konusu kaynak, yöre halkı tarafından bazı hastalıkları iyileştirdiğine inanılarak şifa amaçlı olarak kullanılmaktadır. Bu kaynak, etrafında rekreasyon çalışmalarının yapılması, kullanım koşullarının iyileştirilmesi ve kaynağın geliştirilmesine yönelik bir dizi detay hidrojeolojik çalışmaların yapılmasında yarar vardır.

Kilis ilindeki Kürtüncük-Güvenli jeotermal sahasında sıcak su kaynağı ve jeotermal kaynak arama sondajları bulunmamaktadır. Jeotermal saha olarak değerlendirilmesinin dayanağı TPAO tarafından açılan kuyudan sıcak su üretilmesidir. Kürtüncük-Güvenli köyleri arasındaki bir lokasyonda 300 m derinlikten artezyen halinde üretilen akışkanın sıcaklığı 35 °C, debisi 2 l/s'dir. Mevcut durumda kuyunun ısı potansiyeli, jeotermal akışkan çıkış sıcaklığının en düşük olduğu durum (20°C) da bile sadece 126 kW'dır. Jeotermometre çalışmaları sonucu erişilme ihtimali olan 49-57 °C sıcaklıklara ulaşılması ve debinin aynı kalması halinde ısı potansiyel en iyi durumda 310 kW olmaktadır. Sıcaklık artışı ile birlikte debinin de 10 lt/s'ye çıkması halinde ise ısı potansiyel 1,5 MW'a ulaşmaktadır. Sahadaki akışkan sıcaklığı ümit verici olmasına rağmen debi çok düşüktür. Önerilen geliştirme çalışmaları sonucunda mevcut sıcaklık ve debiden daha yüksek değerlerde akışkan üretilmesi beklenmektedir. Bunun gerçekleşmesi durumunda tarıma yönelik arazilerin bulunduğu bu bölgede sera uygulaması yapılabilir, bölgeye hizmet verebilecek bir termal tesis kurulabilir. Termal tesiste havuzlarda kullanımın yanı sıra tesisin ısıtılması da mümkün olabilir. Akışkan ayrıca balık üretimi ve hayvancılık uygulamaları olarak kümes/ahır/tavuk çiftliği ısıtma ve kurutma amaçlı olarak da kullanılabilir.

Mardin ili, Dargeçit ilçesinde 56,6 °C sıcaklık ve 1,5 l/s debisi olan Germav (İlisu) kaynağı bulunmaktadır. Sahada yer alan kaynak sıcaklıkları ve açılan sığ kuyulardaki sıcaklık değerleri önemli jeotermal potansiyel varlığının göstergeleridir. Alanda Dicle Nehri'nin kıyısında yüzeye çıkan ve kaplıcalarda yararlanılan kaynaklar, bu nehrin soğutucu etkisi altındadır. Dolayısıyla açılacak kuyularda kaynak sıcaklığından daha yüksek sıcaklıkta akışkan üretimi mümkün olacaktır. Alanda gözlenen jeotermal parametreler, jeolojik olarak belirlenen potansiyel alanın büyüklüğü ve açılacak kuyular sonucunda ulaşılacak kapasite öngörülerini gibi etmenler, bu kaynağa dayalı ekonomik bir yatırımı özendirilmektedir. Alanın yer aldığı bölgenin coğrafik ve iklim koşulları, jeotermal kaynaktan çok çeşitli ve entegre yararlanma olanakları yaratmaktadır. Termal turizm ve rekreasyon alanı olarak değerlendirilebilecek saha Mardin, Şırnak ile çevre iller ve Kuzey Irak, İran gibi komşu ülkelere hizmet verebilir. Açılacak kuyularda en azından 63 °C sıcaklığa ulaşılsa bile bu değer konut sera ısıtması,

kurutma, balıkçılık vb. yeni uygulamalar bölgeye ekonomik girdi sağlayabilir, iş olanakları yaratır.

Siirt ili jeotermal kaynaklar açısından zengin olmasına rağmen bu kaynaklara yönelik çalışmalar potansiyeli ortaya koyacak kullanım seçeneklerini sunacak yeterlikte değildir. Alanda sıcaklıkları 30,6-34,5 °C arasında değişen iki adet jeotermal kaynak (Billuris ve Lif) vardır. Bunun dışında alanda jeotermal amaçlı MTA tarafından açılmış bir adet kuyu ve petrol amaçlı TPAO tarafından açılmış kuyular bulunmaktadır. Gerek sıcak su kaynakları ve gerekse mevcut kuyunun üretim değerleri bu alanda jeotermal potansiyel varlığına işaret etmektedir. Sahada gözlenen jeotermal parametreler, jeolojik olarak belirlenen potansiyel alanın büyüklüğü ve açılacak kuyular sonucunda ulaşılabilecek kapasite öngörülerini gibi etmenler, bu kaynağa dayalı ekonomik bir yatırım olanağı sunmaktadır. Sahanın yer aldığı bölgenin coğrafik ve iklim koşulları göz önüne alındığında modern kaplıca uygulamaları ile yörede bir cazibe merkezi oluşturulabilir. Ölçülen kuyu sıcaklığı ve uygun yer seçimi ile ulaşılabilecek aynı ya da daha yüksek sıcaklıklar ve daha yüksek debilerle bölgede sağlık turizmi yapılabilir. Botan ve Reşan nehirlerinin yarattığı doğal güzellikler nedeniyle bölge ayrıca günübirlik termal turizm ve rekreasyon alanı olarak da değerlendirilebilir, eko turizme açılabilir. Ulaşılabilecek sıcaklıklara bağlı olarak sera, kurutma ve ısıtma uygulamaları yapılabilir.

Şanlıurfa ilinde Karaali ve Kabahaydar jeotermal sahaları bulunmaktadır. Her iki sahada da yüzeye boşalan kaynak bulunmamaktadır. Sıcak akışkan varlığı açılan kuyu ile ortaya çıkarılmıştır. Bu haliyle örtülü jeotermal sistem olarak tanımlanmaktadır. Sahadaki kuyuların sıcaklıkları 38-58 °C, debileri ise 20-100 lt/s arasında değişmektedir. Gerek kamu, gerekse özel sektör tarafından sahada açılan mevcut kuyuların ısı potansiyeli 32-137 MW arasındadır. Mevcut kullanımlar bile, öngörülen rezervuar büyüklüğüne karşılık, dar bir alandaki birbirlerini etkileyen kuyulardan akışkan üretilerek sağlanmaktadır. Sahanın gerçek üretim kapasitesi henüz bilinmemektedir. Derinde beklenen rezervuardaki akışkan sıcaklığının üretim yapılan rezervuardaki akışkan sıcaklığından daha yüksek olacağı düşünüldüğünde, kullanım kapasitesinin büyüyeceği kuşkusuzdur. Karaali sahasındaki jeotermal kaynaktan daha verimli ve daha yüksek kapasitede yararlanmak için mevcut uygulamalara ilave olarak kurutma, balık çiftlikleri gibi başka uygulamalar da sisteme entegre edilebilir.

Önemli bir potansiyelin olduğu görülen sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılmasıyla kapasite büyüyecek ve kullanım alanı genişleyecek, daha büyük ve modern tesislerde yararlanılacağı bir zemin yaratılabilecektir. Bölgenin kültürel varlıkları, ulaşım ve mevsim koşulları turizmin çeşitlendirilmesi bakımından önemli bir avantajdır. Tüm yıla yayılacak termal kullanım, yerli ve yabancı, özellikle Arap ülkelerinden gelecek turistler için çekim merkezi olmasını sağlayacaktır. Değişik sıcaklık seçeneklerine göre hesaplanan rezervuar kapasiteleri öngörü niteliğinde bile olsa önemli bir büyüklüğü ifade etmekte, kurulacak büyük ve modern termal tesislerde kullanımı, maddi kazanç sağlaması yanında, istihdam yaratarak ciddi bir ekonomik seçenek sunmaktadır.

Şanlıurfa ilinde yer alan diğer bir saha ise Kabahaydar jeotermal alanıdır. Açılan kuyulardaki sıcaklık değerleri alanda bir potansiyel varlığının somut göstergesidir. Ancak açılan her iki kuyudaki donanımın derinlik tercihi, yeraltı suyunun soğutucu etkisine açık bir şekilde yapılmıştır. Bu durum, alanda mevcut sondajlarda ölçülen değerden daha yüksek sıcaklıkta akışkan üretililebileceği beklentisini yaratmaktadır. Kabahaydar jeotermal sahasında 252

m'deki kuyudan yapılan hidrojeokimyasal değerlendirmeler alandaki akışkan sıcaklığının 56 °C'nin üzerine çıkabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, alanın detaylı olarak incelenmesi ve jeotermal amaçlı sondajlarla geliştirilmesi gerekmektedir. Yatırım planlamasının da geliştirme çalışmaları sonucunda ortaya çıkacak kapasiteye göre yapılmasında yarar vardır.

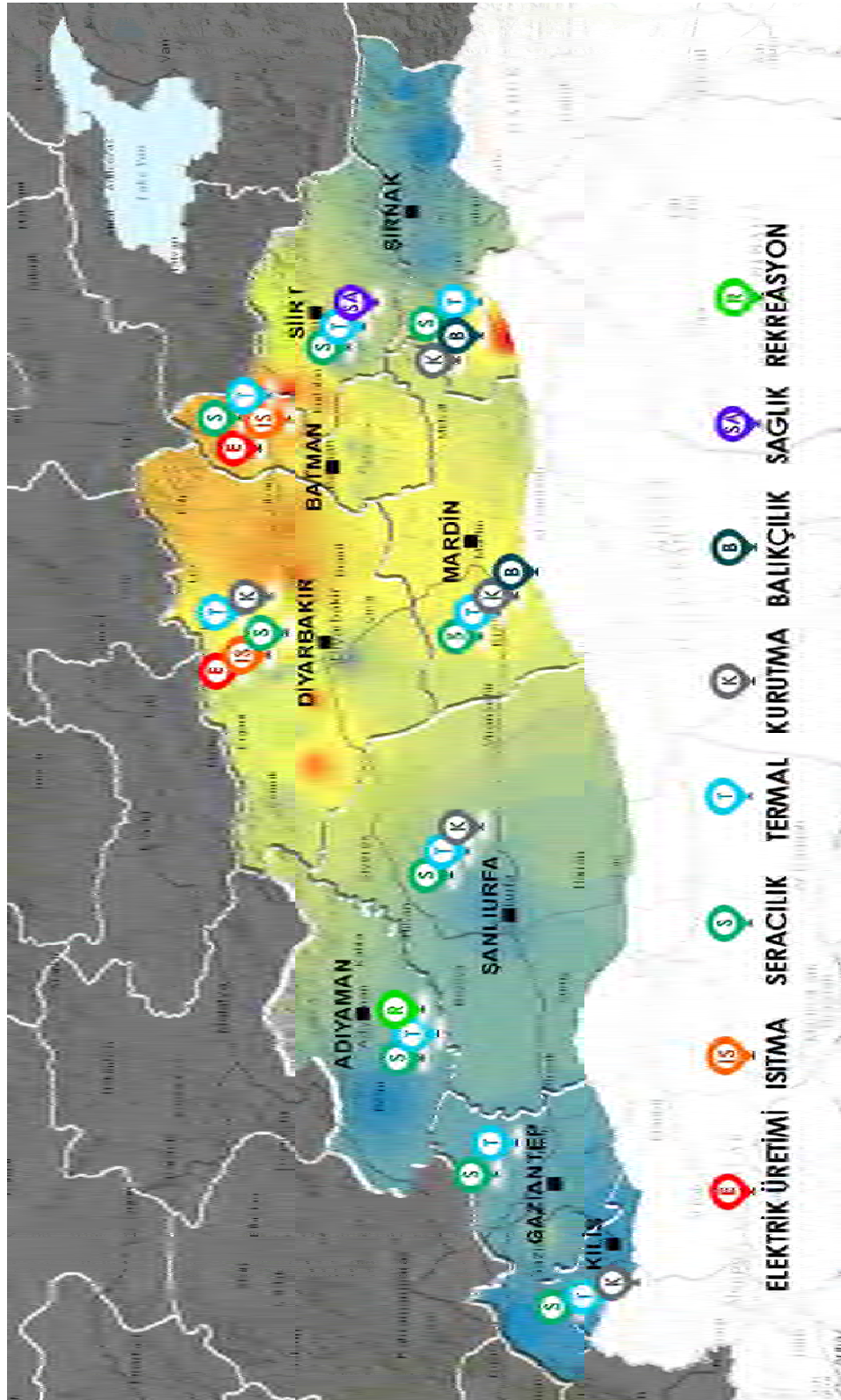
Şırnak ili jeotermal kaynaklar açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Jeodinamiği gereğince farklı sistemlerde gelişmiş jeotermal alanlar, il geneline dağılmış durumdadır. Bunlar; Güçlükönak ilçesi Düğünürdu köyü yakınındaki Hısta (Belkis Ana) kaynağı, Beytüşşebap ilçesi İlıcak köyündeki Zümrüt Dağı Kaplıcasını da bulunduran İlıcak kaynağı, il merkezinin doğusunda yer alan Besta kaynağı ve İkizce köyü sınırları içinde yer alan İkizce kaynağı (Nasfaran Kaplıcası)'dır. Ancak bu kaynakların yer aldığı alanlarla ilgili araştırmalar yok denecek kadar azdır. Şırnak'ta yukarıdaki alanlar dışında TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış ancak sıcak su çıktığı için terkedilmiş kuyuların yer aldığı alanlar da bulunmaktadır.

Hısta kaynağı idari olarak Şırnak il sınırları içerisinde yer almakla birlikte jeolojik olarak Mardin'deki İlısu sahasıyla aynı jeotermal sistem içerisinde bulunmaktadır. Bu bakımdan İlısu kaynağına yönelik olarak yapılan değerlendirmeler, bu kaynak için de geçerlidir.

Beytüşşebap ilçesinin batısında yer alan İlıcak kaynağı (Zümrütdağ kaplıcası), yörenin ana termal merkezidir. Kaynağın yer aldığı saha ile ilgili jeotermal kaynak aramaya yönelik çalışma yoktur, tüm bilgiler bu proje kapsamında yapılan inceleme ve gözlemlerle sınırlıdır. Alanda doğal çıkış halinde yüzeye boşalan kaynağın sıcaklığı, sahanın potansiyeline işaret eden en önemli ipucudur. Sıcaklığı 44 °C olan İlıcak kaynağından yararlanma, günümüzde ilkel bir şekilde kaplıca uygulamasıyla sınırlıdır. Kaynaktan daha verimli ve daha yüksek kapasitede yararlanmak için mevcut kullanıma ilave olarak başka uygulamalar da sisteme entegre edilebilir. Mevcut bilgilerle termal kullanım ve sera ısıtmasına uygun olduğu görülen kaynaktan yararlanma seçeneklerine ilişkin öneriler, sahada yeri ve sayısı, yapılmış tüm çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenecek lokasyonlarda açılacak kuyularla, rezervuarın üretim yeteneği ve yapılacak yatırım ölçeği belirlenerek geliştirilebilir.

Besta jeotermal sahasındaki kaynaklar (26,5 - 27,3 °C) ve İkizce köyü sınırları içinde yer alan kaynakların (20,4 - 22,7 °C) yüzeysel sıcaklıkları esas alındığında ekonomik bir yatırımı özendirerek gibi görünmemektedir. Yeraltı suyu karışımının söz konusu olduğu bu kaynakların, mevcut sıcaklığından daha yüksek sıcaklığa sahip olması yüksek olasılıktır. Hidrojeokimyasal çalışmalar da bunu desteklemektedir. Dolayısıyla bu kaynakların kullanılma seçeneklerinin belirlenmesi, sahada önerilen çalışmaların sonuçlarının değerlendirilmesinden sonra ortaya çıkacak kapasitesine göre yapılması daha ekonomik ve gerçekçi bir tercih olacaktır.

Elde edilen bütün veriler irdelendiğinde Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki illerin önemli bir jeotermal potansiyele sahip olduğu, Adıyaman ilinde rekreasyon, termal turizm ve seracılık, Batman ilinde termal turizm, sera, konut ısıtması ve elektrik üretimi, Diyarbakır ilinde, termal turizm, kurutma, sera, ısıtma ve elektrik üretimi, Gaziantep ilinde termal turizm ve seracılık, Kilis ilinde kurutma, termal turizm ve seracılık, Şanlıurfa ilinde kurutma, termal turizm ve seracılık, Mardin ve Şırnak illerinde balıkçılık, kurutma, termal turizm ve seracılık, Siirt ilinde ise sağlık turizmi, termal turizm ve sera uygulamaları yapılabilir (Şekil 17.2). Ancak bölgede jeotermal kaynaklar ile ilgili araştırmalar çok azdır. Bu nedenle 18. bölümde belirtilen çalışmaların yapılması son derece önemlidir.



Şekil 17.2: GAP Bölgesi'nde jeotermal uygulamaların yapılabileceği iller

18. GAP BÖLGESİNDEKİ JEOTERMAL SAHALARDA YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALARLA İLİŞKİN PROJEKSİYONLAR

Bu bölümde sahaların mevcut durumları ve yapılmış çalışmalar esas alınarak ileri aşama araştırmaları yapılması halinde ulaşabilecekleri kapasiteye yönelik projeksiyonlar sunulmaktadır. Değerlendirmeye konu olan sahalardan Karaali (Şanlıurfa), Çermik (Diyarbakır), Billuris (Siirt) sahalarındaki jeofizik DES ölçümleri ve sondajlar ile Kozluk-Taşlıdere (Batman) alanındaki jeoloji etüdü bu sahalara ilişkin özgün çalışmalardır. DES ölçümlerinde kayaçların elektrik özdirenç farklılıkları esas alınarak jeotermal alanlardaki sıcak akışkan ve alterasyon zonları ile fayların belirlenmesinde yararlanır. Kuşkusuz sahalarda yapılan bu jeofizik ölçümler çok önemli bilgiler sağlamaktadır. Ancak standart jeotermal kaynak arama çalışmalarında bu yöntemler uygulanmadan önce, jeotermal sistem oluşumu ile ilişkilendirilecek jeolojik ortamın örtü kaya, rezervuar kaya, ısı kaynağı, ısı taşıyan akışkan gibi jeotermal ana bileşenler yanında sıcak su kaynağı, yapısal elemanlar, hidrotermal alterasyon özelliklerinin belirlenmesine yönelik ek jeoloji etüdünün yapılması gerekir. Araştırmalarda yapılan ve etaplar halinde veya beraberce uygulanan çalışmalarda veri analizleri sonucunda bir sonraki aşamaya karar verilmesi araştırmaya ayrılan kaynağın doğru ve verimli kullanılmasının gereğidir. Bu bakımdan iş akış şemasına uygun olarak, önce sistemin özelliklerinin tanımlanması ve belirlenmesine yönelik jeoloji etütleri, analizler, gaz ölçümleri, yer içi sıcaklık belirlenmesi çalışmaları ve jeofizik etütlerde üretilen bilgiler birlikte değerlendirilerek, alanın modellenmesinin yapılması, bunun sonucunda kuyu açılması kararının verilmesi riski minimize etmeyi sağlayacak yaklaşım olarak önemsenmekte ve benimsenmektedir.

Sahalarda uygulanan araştırma sistematığı, standart uygulama ile uyumsuzdur. Bazı alanlarda jeotermal kaynağın olduğu jeolojik ortamı değerlendirmeye esas olacak jeoloji bilgisi, başka amaçlarla gerçekleştirilen çalışmaların sonucunda elde edilen verilerdir. Jeotermal kaynak arama tekniğinde öncelikle kaynağın oluşabileceği jeolojik ortamın varlığını araştırmaya yönelik jeoloji etüdü yapılır. Jeoloji bulgularını destekleyici jeofizik gibi diğer yöntemler jeoloji bilgileri yönlendiriciliğinde uygulanır. Kaynak varlığının değerlendirilmesine esas olacak jeolojik ortamın özelliklerinin tanımlanması ve belirlenmesine yönelik jeoloji etüdü yapılmadan, doğrudan jeofizik çalışmasıyla sonuca gitmek kaynak arama sistematığı ve metodolojisine ters olması bir yana, hem teknik olarak yanıltıcıdır hem de yatırımcıyı yanlış yönlendirir.

Bu bağlamda öncelikle jeolojiye ilişkin var olan bilgilerin jeotermal kaynak araştırmalarına yönelik revize edilmesi, toplanan bilgiler doğrultusunda jeofizik çalışmalarının planlanması, uygulanması ve değerlendirilmesi, bu bilgiler doğrultusunda özellikle yapısal unsurlara yönelik bazı sahalarda ilave jeofizik çalışmalarının yapılması gerekmektedir. İncelenen bazı sahalarda yüzeyde sıcak su kaynağı, jeotermal kaynak oluşumuna yorumlanabilecek hidrotermal alterasyon, volkanizma, tektonik kontrol, traverten oluşumu, silisleşme gibi göstergelere ilişkin bilgi bulunmamaktadır. Daha da önemlisi yüksek sıcaklık yakalama olasılığını güçlendirecek ısı kaynağının varlığı, geometrisi ve derinliğinin saptanması vurgulanması gereken en önemli hususlardan biridir. Böyle bir olasılığı test etmek için DES ölçüsü ile birlikte jeotermal sistemlerin en önemli bileşenlerinden olan ısı kaynağına yönelik değerlendirmede yararlanan ve ısı kaynağının derinliği ve geometrisinin belirlenmesinde kullanılan jeofizik-MT çalışması

denenmelidir. Uygulanacak bu yöntemlerdeki sonuçların birlikte değerlendirmesi yorumlamayı daha da kolaylaştıracak ve riski azaltacaktır.

Bölgesel ölçekteki jeotermal parametreler, akışkan üretimini sağlayacak alanların varlığını göstermektedir. Sahalar sıcak akışkan üretimine uygun jeotermal sistemlerin içerisinde yer almakla birlikte, alanlara ilişkin bilgiler hemen kuyu açılmasını özendirerek netlik, nitelik ve yeterlikte değildir. Dolayısıyla öngörülen her çalışma, bir sonraki çalışma için kılavuz bilgiler sağlayacağından, etaplar halinde yapılması gereken çalışmalarda elde edilen bilgilerin yönlendirmesi durumunda değerlendirmeye alınması önemlidir. Değerlendirmeye konu olan sahalardan bazıları (Kozluk-Taşlıdere, Germav (Ilisu), Hısta gibi) termal potansiyeli yüksek olan bölgede bulunmaktadır. Bu potansiyel özellik yerel jeolojik şartlara göre değişmektedir. Alanlara ilişkin mevcut bilgiler, değişikliğin alanlar bazında etkisini ortaya koyacak ve bu aşamada alanlar hakkında karar verilmesini sağlayacak yeterlikte değildir. Bu bakımdan sondajlı çalışma öncesinde yer seçiminin yapılması ve riskin azaltılması için her sahada yapılmış çalışmaların aşamaları gözetilerek tanımlanan ek çalışmaların yapılması son derece önemlidir. Aşağıda bölgedeki jeotermal sahalarda yapılması gereken çalışmalar ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Adıyaman ilinde, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) tarafından açılmış ve sıcak su içerdiği ifade edilen kuyulara ait bilgilerin temin edilmesi, bu bilgiler kullanılarak alanda jeotermal kaynak aramaya yönelik ileri aşama çalışmalarının yapılıp yapılmayacağına kararının verilmesinde önem taşımaktadır. Ayrıca bu bilgiler, çalışmayı gerektiren doğrultuda sonuç vermesi durumunda, yapılacak ayrıntılı çalışmaların türü ve miktarının programlanmasında belirleyici olacaktır. Yine bu kuyu bilgileri, sıcaklık ve debilerine bağlı olarak kullanılıp kullanılmayacaklarına karar verilmesini sağlayacaktır.

Adıyaman il sınırları içinde yer alan Çörmük karstik kaynak için önerilen rekreasyon çalışması öncesi detay hidrojeolojik çalışmaların (kaynağın hidrolik parametreleri vb) ve koruma bandının belirlenmesi kaynağın sürdürülebilirliği için önemlidir. Ağır metallerle ilgili bu kaynak içme suyu standartları içindedir. Ancak, kaynağın içme suyu olarak kullanılabilmesi için bakteriyolojik analizlerinde yapılması gerekir.

Batman ilinde işletilmekte olan Kozluk-Taşlıdere alanında, jeotermal kaynağın olduğu potansiyel alanın belirlenmesine yönelik jeoloji etüdü ile proje kapsamında gerçekleştirilen inceleme, jeolojik gözlemler, kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri özgün çalışmalardır. Alanda ulaşabilecek kapasitenin belirlenebilmesi için, önceki araştırmalarda elde edilen bilgiler ve önerilen diğer çalışmaların uygulanmasıyla toplanacak verilerin birleşik değerlendirilmesi sonucu yer seçimi yapılacak kuyuların açılması gerekecektir. Bu bağlamda Kozluk-Taşlıdere jeotermal sahasında aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması önemlidir.

- Jeotermal sisteme ilişkin modelin oluşturulmasına katkı sağlamak ve sondajların yer seçimlerinin belirlenmesi için Düşey Elektrik Sondaj (DES) ve Manyetotellürik (MT) çalışmalarının yapılması,
- Alandaki sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yeryüzüne taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımına göre kırık zonlarının belirlenmesi için toprakta gaz ölçümlerinin yapılması,
- Alanda ilk etapta 3 kuyu açılması, bu kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, sahanın rezervuar modelinin

oluşturulması, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması için yeterli sayıda ilave kuyu açılması,

- Yukarıda belirtilen çalışmalar ile bu çalışma kapsamında elde edilen verilerin birlikte değerlendirilmesi, bu veriler ışığında kaynağın ısıl potansiyelinin belirlenmesi ve hangi uygulamalarda kullanılabileceğinin gerçekçi olarak ortaya konulması ve sonrasında bölgeye uygun stratejiler belirlenerek sahanın yatırıma açılması gerekir.

Diyarbakır'daki jeotermal alanlarla ilgili yapılması öncelikle önerilen ilk çalışma, bölgede önemli bir jeotermal potansiyele işaret eden il sınırları içindeki sıcak akışkan içeren TPAO'ya ait kuyuların, sondaj ve test bilgilerinin edinilmesidir. Çermik jeotermal sahasında daha önce yapılmış olan DES çalışmaları, sondajlar ile bu proje kapsamında gerçekleştirilen jeolojik incelemeler, gözlemler, kaynak başı ölçümleri ve laboratuvar analizleri, jeotermal araştırmalara yönelik özgün çalışmalardır. Bu çalışmaların sonuçları değerlendirildiğinde mevcut kapasitesinden daha yüksek bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir. İlçe merkezinde yer alan jeotermal kaynaktan daha verimli bir biçimde şehir ve sera ısıtmasında yararlanılması için sahanın gerçek kapasitesinin ortaya çıkarılması, bu bağlamda önerilen çalışmaların yapılması ve ilave kuyuların açılması gerekmektedir. Bu nedenle hem sahanın geliştirilmesi hem de sürdürülebilirliği için son derece önemli olan aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Alanda kaynağa yönelik uygulanan jeofizik-rezistivite (DES) çalışmasına ilaveten MT yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek bulguların, birlikte değerlendirilmesi, hem jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması hem de yeni kuyuların yer seçiminde önemli bilgiler sağlayacaktır. Aynı zamanda yapılacak MT çalışmasıyla, derine doğru ısı kaynağına yorumlanabilecek verilerin elde edilmesi de sağlanabilecektir.
- Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeotermal kaynak oluşumu bakımından jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması öngörülmektedir.
- Örtü olarak kabul edilen ofiyolitik melanj niteliğindeki kayaların tabanlarını kestirmenin zorluğundan dolayı, bu gibi alanlarda var olan derin sismik ve gravite çalışmaları ek bilgiler sağlaması bakımından önem taşımaktadır.
- Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurların belirgin olmadığı alanda, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprak gazı (CO₂ gibi) ölçümlerinin yapılmasında yarar vardır.
- Jeolojik potansiyel sınırları belli olan alanda, rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristikleri bilinmemektedir. Hidrojeolojik özellikleri ile ilgili bilgiler de yetersizdir. Mevcut kuyular ise birbirlerine yakın olduklarından dolayı sahanın gelişmesini aydınlatacak yeterlilikte değildir. Belirsizliklerin giderilmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulması, rezervuar modelinin oluşturulması için yeterli sayıda kuyu açılması gerekmektedir.
- İlk etapta tanımlanan fay zonu boyunca toprak gazı ölçümleri yapılarak süreksizliklerin devamlılığı ortaya konulmalıdır. Elde edilecek bilgilerin de desteği ile belirlenen lokasyonda denenecek kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer kuyuların açılması gerekir.
- Her yeni kuyu bilgisinin eklenmesi ile gelişecek olan rezervuar modeli ile sahanın ısıl kapasitesi daha yüksek doğrulukta belirlenebilecektir. Bu da sahada doğru

yatırımların yapılabilmesi ve sahanın ve yatırımların sürdürülebilirliği için önemlidir.

Diyarbakır kent merkezine yakın bulunan Çarıklı jeotermal sahasında açılan kuyu bilgileri, kapasitenin artabileceğine ilişkin umut verici değildir. Ancak bu kuyudaki sonucu bir kez daha test etmek ve saha hakkındaki kararı verebilmek için, yapılmış çalışmaların tekrar irdelenmesi ve bu sahada yeni bir kuyunun açılmasında yarar vardır.

- Bu nedenle, Çarıklı jeotermal sahasında yapılan jeoloji, jeofizik etüt ve açılmış olan kuyu bilgilerinin irdelenmesi sonucu elde edilen bulguların yönlendirmesiyle belirlenecek lokasyonda açılacak kuyudaki üretim ve test bilgileri, sahanın geleceği hakkında karar verilmesini sağlayacaktır.

Gaziantep il sınırları içinde üç jeotermal saha (Kartalköy, Araban ve Durantaş) bulunmaktadır.

Kartalköy kaynağı sıcaklığının ekonomik kullanıma uygun değere yükselebileceği bir jeolojik ortamın varlığına işaret etmemekle birlikte, hidrojeolojik açıdan daha detaylı olarak çalışılmasında yarar vardır. Ayrıca içmece olarak kullanılan suyun sağlık etkileri ve yakınında bulunan, köyün atıklarını taşıyan derenin kaynağa olan etkisi incelenmelidir.

Araban ilçesindeki sahalarda, MTA tarafından açılan kuyuda tabanda ölçülmüş sıcaklık değeri, TPAO tarafından açılan diğer kuyuda kuyu ağız sıcaklık bilgileri bulunmakta, bu bilgiler bir potansiyel varlığına işaret etmektedir. Ancak rezervuarda depolanmış olan akışkanın ekonomik kullanıma uygunluğu net değildir. Bu bakımdan TPAO kuyusunun teknik bilgileri ve bu kuyunun açılması öncesinde yapılan çalışmaların sonuçlarının, jeotermal kaynak oluşumunu sağlayan jeolojik ortamın yorumlanması ve sahada yapılacak çalışmaları yönlendirmesi bakımından çok önemlidir ve mutlaka edinilmesi gereklidir. TPAO kuyusuna ilişkin bilgilerin sahada detaylı araştırma yapılmasını gerektirmesi durumunda öncel çalışmalarına ilave araştırmalar yapılması önerilir. Etkin bir tektonizmanın etkisinde kalan alanın kuzeyini sınırlayan kesimde önemli yapısal unsurlar gelişmiştir. Ancak ova içerisindeki kuyu ve çevresindeki tektonik unsurlar belirgin değildir. Bu nedenle, yukarıdaki araştırmalara ilaveten akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı fay, kırık ve çatlak gibi bu tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprakta gaz ölçümlerinin yapılması önemli bilgiler sağlayacaktır.

Alanda yeni kuyuların denenmesinde önerilen çalışmaların sonuçları belirleyici olacaktır. Verilerin ekonomik bir kapasiteye işaret etmesi halinde kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle gerçek kapasitesinin ortaya konulmasına yönelik ilave kuyuların açılması önemlidir.

Durantaş jeotermal sahasında açılan kuyu ağızında ölçülen sıcaklık değeri, önemsenerek bir potansiyel varlığına işaret etmektedir. Ancak sahada kuyu öncesi ne tür çalışma yapıldığı, kuyunun teknik bilgilerinin bulunmaması nedeniyle belirsizlikler oldukça fazladır. Bu bakımdan sahada açılan kuyudaki sonucu test etmek ve sahada ulaşılabilecek potansiyeli belirlemeye yönelik, aşağıdaki çalışmaların yapılması önerilmektedir.

- Alanda, jeotermal aktiviteyi yansıtan anomali zonlarının saptanması, stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağına yorumlanacak veriler elde etmek için jeofizik-rezistivite (DES) ve MT yönteminin uygulanması,

- Ölçümlerde elde edilen bilgiler, jeolojik bilgilerle birlikte değerlendirilerek jeotermal sistem modelinin oluşturulması, sondajların yer seçimlerinin yapılması,
- Alanda tektonik unsurlar belirgin olmadığından akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı bu unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması,
- Yapılması önerilen çalışmaların sonuçlarının yönlendirmesiyle belirlenecek lokasyonda ilk etapta bir kuyunun denenmesi, hedefe ulaşılması halinde kuyu bilgilerinin ışığında rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi, üretim yeteneğinin saptanması ve gerçek kapasitesinin ortaya konulmasına yönelik ilave kuyuların açılması gerekir.

Kilis ilindeki sahada açılan kuyunun sıcaklık değeri önemsenecek bir potansiyel varlığını ifade etmektedir. Mevcut bilgiler, sahanın potansiyeline yönelik değerlendirme yapılacak yeterlikte değildir. Bu nedenle TPAO tarafından açılan ve sıcak akışkan içeren kuyu verilerin irdelenmesinde yarar vardır. Kürtüncük-Güvenli jeotermal saha hakkındaki kararı verebilmek için, yapılmış çalışmaların tekrar irdelenerek belirlenecek noktada yeni bir kuyunun denenmesi öncesinde aşağıdaki çalışmaların yapılması saha için önemlidir.

- Alanda stratigrafik istifte yer alan ve yeni açılacak kuyularda kesilecek kaya birimlerinin tanımlanması, süreksizliklerin yerleri ve tipleri, rezervuar kaya birimlerinin derinliği ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağına yorumlanacak verilerin saptanmasına yönelik DES ve MT ölçümlerinin yapılması,
- Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı fay, kırık ve çatlaklar gibi tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması,
- Yukarıda önerilen çalışmalar ve sondaj verileri ile sahanın rezervuar modelinin oluşturularak ısı potansiyelinin belirlenmesi,
- Yukarıdaki veriler ışığında yeni bir kuyunun denenmesi, hedefe ulaşılması halinde kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle rezervuarın dikey/yanal yayılımı ve karakteristiklerinin belirlenmesi

Mardin ilindeki Germav (İlisu) jeotermal sahasının potansiyel öngörüsünde jeoloji etütleri, açılan sığ kuyular, bu proje kapsamında yapılan jeolojik gözlemler, kaynak başı ve laboratuvar analiz bilgileri kullanılmıştır. Sahada, başta kaynak sıcaklıkları olmak üzere önemli bir potansiyelin varlığına yorumlanan göstergeler, mevcut çalışmalara ilave araştırmaları gerektiren niteliktedir. Bu bağlamda sahanın kapasitesinin ortaya çıkarılması ve yatırım seçeneklerinin belirlenmesi için aşağıda tanımlanan çalışmaların yapılması son derece önemlidir.

- Rezervuar kaya birimlerinin derinliğinin ve yayılımının belirlenmesi, ısı kaynağı olabilecek sokulumların derinliği ve geometrisinin saptanması, yüzeyde izleri görülemeyen süreksizliklerin yerlerinin ve tipinin belirlenmesi ve jeotermal sistem modelinin yorumlanmasında yararlanmak üzere rezistivite, manyetotellürik ve doğal potansiyel ölçümlerinin yapılması,
- Akışkanın yüzeye ulaşmak için kullandığı tektonik unsurları belirlemek, jeoloji ve jeofizik çalışmalarını destekleyici veri toplamak üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması,

- Alanda sığ kuyuların dışında arama ve üretim amaçlı açılmış kuyu bulunmamaktadır. Sahanın gerçek üretim kapasitesinin ortaya çıkarılarak sürdürülebilir üretim ve buna dayalı yatırım planlaması yapılması için yukarıdaki başlıklarda tanımlanan etütlerin yönlendirmesiyle, ilk etapta araştırma kuyuları açılması önerilmektedir.

Siirt ili jeotermal kaynaklar açısından zengin olmasına rağmen, bu kaynaklara yönelik bilimsel çalışmalar azdır. Billuris ve Lif doğal kaynakları dışında alanda jeotermal amaçlı MTA tarafından açılmış bir adet kuyu bulunmaktadır. Ayrıca Siirt'te TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış kuyuların yer aldığı alanlar vardır. Hem Billuris hem de Lif kaplıcasındaki gerek sıcak su kaynakları ve gerekse mevcut kuyunun üretim değerleri bu alanda önemli bir jeotermal potansiyel varlığına işaret eder. Ancak, alandaki kaynaklardan daha etkin biçimde yararlanılabilmesi için aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması gerekmektedir.

- Alanın Billuris sıcak su kaynaklarının bulunduğu bölümünde, rezistivite (DES) yöntemi uygulandığı bilinmektedir. Ancak raporu arşive girmediği için sonuçları ile ilgili değerlendirme yapılamamaktadır. Bu çalışmanın Lif kaynaklarının bulunduğu bölümü de kapsayacak şekilde genişletilmesi, DES çalışmasına ilaveten MT yönteminin de uygulanması,
- Sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yüzeye taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımının yorumlanarak kırık ve fay zonlarını belirlemek üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması,
- Sondaj çalışması kaynağa dayalı yatırıma temel oluşturacak bilgilerin üretileceği en önemli aşamadır. Bu nedenle yukarıda belirtilen çalışmalar değerlendirilerek belirlenecek lokasyonlarda araştırma kuyularının açılması son derece önemlidir.

Şanlıurfa Karaali sahasında detaylı jeolojik ve jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Buna karşılık, sistemin oluşum modeli tartışmalı olup üzerinde görüş birliği sağlanabilmiş değildir. Termal tesislerde yararlanma ve sera ısıtması gibi yöreye önemli bir ekonomik katkı sağlayan uygulamalarda kaynağın sürdürülebilirliği, sahanın geleceği açısından hayati önem taşımaktadır. Bu bakımdan mevcut yatırımın riskini minimize etmek, sahadaki kapasite/üretim dengesini oluşturmak için belirsizliklerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca önerilen bu çalışmalarla, yeni yatırımların yükünün hangi boyutlarda karşılanabileceğini de belirlemek mümkün olabilecektir.

- Sahada çalışma yapan araştırmacılar, ısı kaynağı ile ilgili değişik görüşler öne sürmektedirler. Isı kaynağına derinliği ve geometrisini belirlemeye yönelik tüm çalışmalarla birlikte değerlendirmek üzere MT çalışmasının yapılması,
- Alanda, derinlikleri farklı çok sayıda açılan kuyular rezervuarın karakteristiklerini tam olarak yansıtmamaktadır. Özellikle mevcut üretimin sağlandığı rezervuardan daha derindeki rezervuarı araştırmak üzere, DES ve MT çalışmaları da dikkate alınarak sahada daha derin bir kuyunun açılması, bu kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer geliştirme kuyularının açılması,
- Karaali jeotermal sahasında, dar alanda açılan kuyular birbirlerini etkilemektedir. Bunun sonucunda, debi miktarları düşen bu kuyulardan üretim yaparak yararlanan mevcut yatırımlarda olumsuzlukları minimize etmek için, hem izleyici çalışmaların yapılması hem de rezervuar modelinin ortaya konması son derece önemlidir.

Şanlıurfa Kabahaydar sahasında jeolojik ve jeofizik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Sahada jeotermal parametreler ve tüm bunların bileşimi olan sistemin oluşum modeli belirgin değildir. Bu bakımdan sözü edilen belirsizliklerin giderilmesine yönelik çalışmaların yapılmasına ihtiyaç vardır. Ayrıca önerilen bu çalışmalarla, herhangi bir uygulamanın olmadığı sahada ne tür bir yatırım yapılabileceğini de belirlemek mümkün olabilecektir. Bu nedenle aşağıda belirtilen çalışmaların yapılması sahanın hem geliştirilmesi ve hem de sürdürülebilirliği için önemlidir.

- Sahada bir dizi jeofizik çalışma (Düşey Elektrik Sondaj ve SP çalışması) yapılmıştır. Ancak çalışma sırasında karşılaşılan kısıtlayıcı koşullardan dolayı çok sağlıklı ölçüler alınamamıştır. Bu bakımdan kuşkuyla görülen ölçülerin tekrarlanması gerekmektedir. Buna ilave olarak ısı kaynağına ilişkin bölgesel aktiviteyi saha bazında yorumlayabilmek için MT yönteminin uygulanması,
- Sıcak akışkan veya CO₂ gibi taşıyıcı gazlar ile birlikte fay, kırık ve çatlak gibi tektonik unsurlarla yüzeye taşınan gazların yeryüzünde yoğunluk ve dağılımının yorumlanarak kırık ve fay zonlarını belirlemek üzere toprak gazı ölçümlerinin yapılması,
- Sondaj çalışması kaynağa dayalı yatırıma temel oluşturacak bilgilerin üretileceği en önemli aşamadır. Bu nedenle daha önce yapılmış çalışmalar ile jeofizik DES ve MT çalışmaları da dikkate alınarak sahada daha derin bir kuyunun açılması, bu kuyu bilgilerinin yönlendirmesiyle diğer geliştirme kuyularının açılması önerilmektedir.

Şırnak ili birbirinden farklı sistemlerde gelişmiş jeotermal alanlarıyla jeotermal kaynaklar açısından önemli bir potansiyele sahiptir. Alanlarla ilgili jeotermal kaynak aramaya dönük araştırmalar yok denecek kadar azdır. Şırnak'ta, bazı kuyularının taban sıcaklıkları 140 °C olan ve TPAO tarafından petrol amaçlı açılmış, ancak, sıcak su çıktığı için terk edilmiş kuyuların yer aldığı alanlar da bulunmaktadır. Kuşkusuz bu alanlarda sondaj öncesinde jeoloji, jeofizik gibi gerekli araştırmalar yapılmıştır. Ancak bu kuyulara ilişkin sıcaklık ve derinlik dışında teknik verilerin olmaması nedeni ile değerlendirmeler yapılamamaktadır. Beytüşşebap Ilıcak köyünde yer alan Zümrüt Dağı Kaplıcası, il merkezinin doğusundaki Besta kaynağı ve İkizce köyü sınırları içinde bulunan İkizce kaynağı (Nasfaran Kaplıcası) yöre ekonomisi için önemlidir. Sahada yüzeye boşalan sıcak su kaynakları, jeotermal potansiyelin göstergesidir. Hidrojeokimyasal verilerde bu alandaki sahaların jeotermal açıdan umutlu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, alanlardaki jeotermal sistemlerin potansiyelini ortaya çıkarmak ve sahanın kapasitesinin belirlenmesi için detay hidrojeolojik çalışmalar, jeofizik çalışmalar, toprak gazı ölçümleri ve sondajların yapılması son derece önemlidir.

REFERANSLAR

- AKKUŞ, İ., 2015. Türkiye’de Jeotermal Kaynakların Güncel Durumu / Yaşanan Sorunlar. JMO Haber Bülteni. Sayı:2015/1. S 55-66.
- AKKUŞ, İ., AKILLI, H. , CEYHAN, S., DİLEMRE, A. , TEKİN, Z., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, Envanter Serisi No:201 849 s, Ankara.
- ARNORSSON, S., GUNNLAUGSSON, E. SVAVARSSON, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland, III. Chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47,567-577.
- BABA, A. ve ÁRMANNSSON, H., 2006. Environmental Impact of the utilization of a geothermal area in Turkey, *Energy Source*, volume 1, pp. 267-278.
- BABA, A., 2015. Doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir yönetimi:Jeotermal kaynaklar örneği, *Enerji güvenliği perspektifinden Türkiye’ye Bakış*, Enerji Hukuku Enstitüsü, 85-100.
- BERTANI, R., 2015. Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report, *Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015*.
- BOLGI, T., 1964. Adıyaman sahalarının jeolojik etüdü, TPAO Arşivi No.32 (Erişim tarihi: 22 Nisan 2009).
- BOZKURT, H., 1991. 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Urfa M39-c2 paftası, Türkiye Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ÇENGEL, Y.A., BOLES, M.A., 2011. *Thermodynamics: An Engineering Approach*, McGraw Hill, NY.
- ÇORUH, T., 1991. Adıyaman civarındaki (XL Bölge kuzeybatısı ve XII. Bölge) yüzeylenen Kampaniyen-Tanesiyen istifinin biyostratigrafisi ve paleocoğrafik evrimi, TPAO Araş. Rap. No: 1656, 94 s.
- ÇORUH, T., YAKAR, H. ve EDİGER, V.Ş., 1997. Güneydoğu Anadolu Bölgesi otokton istifinin biyostratigrafi atlası. TPAO, Araştırma Merkezi Grubu Bşk., Eğitim Yayınları, no: 30.
- D’AMORE, F., ARNÓRSSON, S., 2000. *Geothermometry*. S. Arnórsson, (Ed.), *Isotopic and Chemical Techniques in Geothermal Exploration, Development and Use içinde* (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 s.
- DAĞISTAN ve ŞİMŞEK, 2005. Geological and Hydrogeological Investigation of Kozluk-Taşlıdere (Batman) Geothermal Field. MTA Genel Müdürlüğü 70. Yıl Etkinlikleri.
- DOĞDU, M.Ş. ve KIRMIZITAŞ, H., 2006. Karaali (Şanlıurfa-Yardımcı) Sıcak Suyunun Oluşumu ve Rezervuar Sıcaklığının Tahmini, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi* 30 (1), 1-16.
- DSİ, 2012. Ilisu Barajı ve HES, Termal Kaynaklar Raporu, Rep-15.104/0076 (Yayınlanmamış).
- DSİ, 2014. ILISU Barajı ve HESS, Termal Su Kaynakları Numune Analiz Sonuçları Raporu, Rep-16.104 / 0107 (Yayınlanmamış)
- EPDK, 2015. *Elektirik Piyasası, Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu*, Ankara.
- ERCAN, T., ŞAROĞLU, F., TURHAN, N., MATSUDA, J., UI, T., FUJITANI, T., NOTSU, K., BAĞIRSAKÇI, S., AKTİMUR, S., CAN, B., EMRE, Ö., AKÇAY, A.E., MANAV, E., GÜRLER, H., 1991. Karacadağ Volkanitlerinin Jeolojisi ve Petrolojisi. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, S 6, S. 118-133.
- EROL, O., 1982. Türkiye Jeomorfoloji Haritası, MTA Yayınları, Ankara.
- ERTÜRK, İ., 1999. Urfa-Karaali K-5 Kuyusu Kuyu Bitirme Raporu.
- ERZENOĞLU, Z. ve ÖZEKE, H., 1984. Diyarbakır-Çermik Kaplıcası I ve II nolu sıcak su sondajları kuyu bitirme raporu: MTA Der. Rap. No: 7652, 7s.,(yayımlanmamış), Ankara

- EŞDER, T. ve BUZKIRAN, M., 1998. Karaali (Şanlıurfa) Jeotermal Alanının Jeofizik (DES) Rezistivite Etüdü.
- EŞDER, T. ve TÜMER, M., 1997. Şanlıurfa (Karaali) İl Özel İdaresine Ait Arazinin Jeofizik (DES) Etüdü.
- EŞDER, T., 2004. Karaali İl Özel İdaresi Sahasında Açılan Jeotermal Enerji Üretim kuyuları ile Jeotermal Alana İlişkin Rapor.
- ETKB, 2014. Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
- FLOYD, P.A. and WINCHESTER, J.A., 1975. Magma type and tectonic setting discrimination using immobile element & Earth Planet. SoL Lett., 27: 211--218.
- FOURNIER, R. O., 1991. Water geothermometers applied to geothermal energy. F. D'Amore (Ed.). Applications of Geochemistry In Geothermal Reservoir Development in (37-69). UNITAR/UNDP Centre on Small Energy Resources, Rome, 408 s.
- FOURNIER, R.O. and TRUESDELL, A.H., 1973. An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters: Geochem. Cosmochim. Acta., v. 37, p. 1255-1275.
- FOURNIER, R.O. and POTTER R.W.II, 1979. Magnesium correction to Na-K-Ca geothermometer.
- FOURNIER, R.O., 1979. Geochemical and hydrological considerations and the use of enthalpy-chloride diagrams in the prediction of underground conditions in hot-spring systems, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 5, 1-16.
- GAP, 2014. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) 2014-2018 Eylem Planı, Şanlıurfa, www.Gap.gov.tr.
- GIGGENBACH, W. F., CONFIIANTINI, R., JANGI, B. L. VE TRUESDELL, A. H., 1983. Isotopic and chemical composition of Partabi Valley geothermal discharges, northwest Himalaya, India, Geothermics, 12, 199-222.
- GIGGENBACH, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria, derivation of Na-K-Mg-Ca geothermometers. Geochimica et. Cosmochimica Acta, 52, 2749-2765.
- GÖK, C., 1984. Çermik ilçesi ve Çermik kaplıcası içmesuyu temini hakkında hidrojeolojik rapor. Çermik Belediyesi Arşivi.
- GÜLAY, A., 1973. Diyarbakır-Çermik Bölgesi Sıcak Su Araştırmaları Rezistivite Etütleri Raporu, MTA, Ankara.
- GÜNAY, Y., FOURCAD, F., DERCOURT, J., AZEMA, J., KOZLU, H., BELLIER, J.P., CORDEY, F., CROSS, P., WEVER. P., DE-ENAY, R., LOVER, J.P. ve VRIELYNCK, B., 1990. Güneydoğu Türkiye'de Arap Plâatformunun Kuzey Kenarı ve Bu Kenarın Mesozoyik'te Bir Tetis Okyanusal Alanına Geçiş: Stratigrafi-Paleocoğrafya: Türkiye 8. Petrol Kongresi Bildirileri, Ankara.
- GÜRLER H., 1990. 1/25000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, Diyarbakır M44-a3 Paftası Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- GÜRLER H., 1991. 1/25000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, Diyarbakır M44-b4 Paftası Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- HAKSAL, A., 1981. Petrographie und Geochemie des Schildvulkans Karacadağ: Doktora tezi, Hamburg Üniv. (yayımlanmamış), Batı Almanya.
- IEA, 2013. Medium-Term Renewable Energy Market Report 2013, OECD/IEA, Paris.
- İŞİK, A. ve DİLEMRE, A., 1999. Türkiye Termal Ve Mineralli Sular Envanteri (Gaziantep) MTA Der. Rap. No: (yayımlanmamış), Ankara.

- İTASHY, 2005. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Hakkında Yönetmelik (İTASHY), Sağlık Bakanlığı Resmi Gazete Tarihi: 17.02.2005 Resmi Gazete Sayısı: 25730.
- KARLI R., 2002. Şanlıurfa Karaali Sahası Jeotermal Aramaları Jeofizik Rezistivite Etüdü Raporu MTA Der. Rap. No: 10383(yayımlanmamış), Ankara
- KAYMAKÇIOĞLU, F. ve KAYABAŞI, A., 2005. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 10. Enerji Kongresi Elektrik Üretiminde Jeotermal Enerjinin Kullanımı Ve İleriye Dönük Perspektifler, http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi_10/fatihkaymakcioglu.pdf
- KETİN, İ., 1983. Türkiye Jeolojisi'ne Genel Bir Bakış. İTÜ Vakfı, Kitap Yayın No:32, İstanbul, 309s.
- KOYUNCU, M., 2005. Çermik Termal Turizm merkezine ait 1/ 1000 uygulama imar planlarına esas güncelleştirilmiş jeolojik ve jeoteknik etüt raporu, Çermik, Diyarbakır.
- KURT Ö. F. ve OLAĞAN Y., 2010. Şanlıurfa İli Karaali Jeotermal Sahası Jeofizik Rezistivite ve SP Etüdü Raporu. Dicle Zemin Araştırma Mühendislik İnş. Taş. San. ve Tic. Ltd. Şirketi. Şanlıurfa
- LINDAL, B., 1973. Industrial and other applications of geothermal energy, 135-148, Geothermal Energy, Armstead, H.C.H. (Ed.), UNESCO, Paris.
- LUND, J.W. ve BOYD, T.L., 2015. Direct Utilization of Geothermal Energy 2015 Worldwide Review, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- MERTOĞLU, O., ŞİMŞEK, Ş., DAĞISTAN, H., BAKIR, N., DOĞDU, N., 2010. Geothermal Country Update Report of Turkey (2005-2010), Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali-Indonesia, paper #0119.
- MERTOĞLU, O., BAŞARIR, N., 2013. Geothermal Development Activities in Turkey, "Accelerating Geothermal Development in Turkey", 22-23 October 2013, Wyndham Kalamış – İstanbul.
- MERTOĞLU, O., 2010. Şanlıurfa Karaali Jeotermal Sahası Muhtemel Teorik Potansiyel ve Ön Değerlendirme Raporu, T.C. Şanlıurfa Valiliği İl Özel İdaresi Su Ve Kanal Hizmetleri Müdürlüğü, Şanlıurfa.
- MERTOĞLU, O., ŞİMŞEK, Ş., BAŞARIR, N., 2015. Geothermal Country Update Report of Turkey (2010-2015), Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Cizre M50-d₃ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Diyarbakır N42-a₄ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Diyarbakır N42-d₃ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Mardin M47-c₃ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Mardin M47-c₄ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Mardin N47-b₁ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Mardin N47-b₂ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

- MTA, 2011. 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Elazığ L42-c₂ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2011. 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Şanlıurfa N39-a₂ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2011a. 1/25.000 Ölçekli Jeoloji Haritaları, Elazığ L43-d₁ paftası, Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- NICHOLSON, K., 1993. Geothermal Fluids; Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 263s.
- NIEVA, D. and NIEVA, R., 1987. Development in geothermal energy in Mexico, part 12-A cationic composition geothermometers for prospection of geothermal resources. Heat recovery systems and CHP, 7, 243-258.
- OKAY, A.I., TÜYSÜZ, O., 1999. Tethyan sutures of northern Turkey, Geological Society, London, Special Publications, v. 156; p. 475-515, doi:10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22
- ÖZBEK T., 1975. Siirt Billuris Kaplıcası Hidrojeoloji Etüt Raporu. MTA Genel Müd. Derleme Rapor No: 5398. Ankara (Yayınlanmamış)
- ÖZBEK, T., 1/25000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, Mardin M47-b₃ Paftası Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ÖZBEK, T., 1/25000 Ölçekli Sayısal Jeoloji Haritaları, Mardin M47-b₄ Paftası Türkiye Jeoloji Veri Tabanı, Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- ÖZEL, N. ve BEKİŞOĞLU, Ş., 2002. Güneydoğu Anadolu Bölgesi Termal Su Kaynaklarının Seracılık ve Termal Turizmde Değerlendirilmesi. ÇESAV, Yayın No.1, Ankara, 158s.
- ÖZEL, N., 2001. GAP Bölgesi'nin Jeolojisi Maden ve Enerji Kaynakları, Şanlıurfa.
- ÖZEL, N., 2010. Diyarbakir (Çermik) Ve Şanlıurfa (Karaali) İllerinde Yer Alan Kaplıca Kaynaklarının Kökensel İncelenmesi, Y. Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği, p. 141, Adana.
- PEARCE, J.A., BENDER, J.F., DE LONG, S.E., KIDD, W.S.F., LOW, P.J., GÜNER, Y., ŞAROĞLU, F., YILMAZ, Y., MOORBATH, S., MITCHELL, J.J., 1990. Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia Turkey. Journal of Volcanology and Geothermal Research 44, 189–229.
- PERİNÇEK, D. ve ÖZKAYA, I., 1981. Arabistan Levhası Kuzey 114 Kenarının Tektonik Evrimi: H.Ü. Yerbilimleri Enstitüsü Bült., 8, s. 91-101.
- PERİNÇEK, D., 1979. The Gology of Hazro-Korudağ-Çüngüş-Maden-Ergani-Elazığ- Malatya Area: Guide Book, T.J.K. Yayını, 33 s.
- PERİNÇEK, D., 1980. Arabistan Kıtası Kuzeyindeki Tektonik Evrimin Kıta Üzerinde Çökelen İstifteki Etkileri, Türkiye 5. Petrol Kong., Tebliğler, 77-93.
- PERİNÇEK, D., DURAN, O., BOZDOĞAN, N., ÇORUH, T., 1991. Stratigraphy and Paleogeographical evolution of the Autochthonous sedimentary rocks in the SE Turkey, Ozan Sungurlu Symp., Kasım/1991, Proceedings, 274-305.
- RIGO DE RIGHI, M. ve CORTESINI, A., 1964. Gravity Tectonics in Foothills Structure Belt of Southeast Turkey: AAPG Bult.Vol.48, No.12 pp, 1911-1937.
- SCHMIDT, G.C., 1964. Türkiye-Irak sınırlarında, Harbol Civarında Mevcut Permian ve Mesozoik Formasyonlar MTA Dergisi No. 62, Ankara.

- SÖZEN, İ. ve KAPUCU K., 1999. Şanlıurfa Karaali Sıcak Su Sahasında Açılan Kuyularda Yapılan Jeofizik Kuyu Ölçümleri Raporu. MTA Der. Rap. No: (yayımlanmamış), Ankara
- SUNGURLU, O., 1972. VI. Bölge Gölbaşı-Gerger Arasındaki Sahanın Jeolojisi, TPAO Raporu.Arşiv No.802 (yayımlanmamış).
- SUNGURLU, O., 1974. IV. Bölge Kuzey Saha Jeolojisi: Türkiye 1.Petrol Kongresi Tebliğleri, 85-107.
- ŞAROĞLU, F. ve EMRE, Ü. 1987. Karacadağ volkanitlerinin genel özellikleri ve Güneydoğu Anadolu otoktonundaki yeri: Türkiye 7.Petrol Kongresi Bildiriler Kitabı, 384-391.
- ŞAROĞLU, F., 1985. Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora tezi, (yayımlanmamış).
- ŞAROĞLU, F., 1987. Doğu Anadolu'da Neotektonik Dönemdeki Jeolojik Evrim ve Havza Modelleri. MTA Dergisi, 107, s.73-94
- ŞENEL M., 2007. Cizre N 48 Paftası 1/100.00 ölçekli jeoloji haritası. No: 59 MTA Genel Müd.
- ŞENEL M., 2008. Cizre M 49 Paftası 1/100.00 ölçekli jeoloji haritası. No: 57 MTA Genel Müd.
- ŞENEL ve Diğ., 1994. Antakya L 24 Paftası 1/100.00 ölçekli jeoloji haritası. MTA Genel Müd.
- ŞENEL ve Diğ., 1994. Gaziantep K 24 Paftası 1/100.00 ölçekli jeoloji haritası. MTA Genel Müd.
- ŞENGÖR, A.M.C., 1980. Türkiye'nin Neotektoniğinin Esasları, Türk. Jeol. Kur., Konf. Serisi, 2, 40.
- ŞENGÖR, A.M.C., YILMAZ, Y., 1983. Türkiye'de Tetis'in Evrimi, Levha Tektoniği Açısından Bir Yaklaşım T.J.K. Yerbilimleri Özel Dizisi, No: 1, 75 s.
- ŞENGÖR, A.M.C., SATIR, M., AKKÖK, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey: implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. Tectonics 4: 693- 707.
- TCKB, 2014. 10'ncü Kalkınma Planı (2014-2018). T.C. Kalkınma Bakanlığı, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri Grubu, Jeotermal Çalışma Alt Grubu Raporu, <http://www.onuncuplan.gov.tr/>
- TERLEMEZ, H.Ç.I., ŞENTÜRK, K., ATEŞ, Ş., SÜMENGİN, M. ve ORAL, A., 1992. Gaziantep dolayının ve Pazarcık-Sakçagöz-Kilis-Elbeyli-Oğuzeli arasının jeolojisi: MTA Rap. No. 9526, Ankara (yayımlanmamış).
- TONANI, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, 428-443.
- TRUESDELL, A.H., 1976. Summary of Section III. Geochemical techniques in exploration. 2nd UN Symposium on the development and use of geothermal resources, San Francisco, 1975, 1, liii-lxxix.
- TURAN, M., 1995. Doğu Torosların Jeodinamik Evriminin Elazığ Civarındaki Özellikleri, F.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, C.7/2, s.177-199, Elazığ.
- ULU, Ü., GENÇ, Ş., GİRAY, S., METİN, Y., ÇÖREKÇİOĞLU, E., ÖRÇEN, S., ERCAN, T., YAŞAR, T. ve KARABIYIKOĞLU, M., 1991. Belveren-Araban-Yavuzeli-Nizip-Birecik dolayının jeolojisi, Senozoyik yaşlı ve volkanik kayaçların petrolojisi ve bölgesel yayılımı: MTA Rap. no. 9226, Ankara (yayımlanmamış).
- UZEL, Ö.F., KALKAN, İ., 1992. Şanlıurfa-Yardımcı-Karaali kaplıcası hidrojeoloji etüdü, MTA Derleme No: 9419, 8s.
- WEST JEC, 2000. The Feasibility Study on Geothermal and Fresh Water Resource Survey for İzmir District Heating System and on (Manisa, Salihli, Turgutlu, Balıkesir, Susurluk, Bigadiç) District Heating Systems for Surrounding Municipalities in Turkey, Japan External Trade Organization (JETRO), Commissioned by the Ministry of International Trade and Industry.

- WILSON, H.H., KRUMMENACHER, R., 1957. Geology and oil prospects of the Gaziantep region; Available information in technical fields of NV Turkse Shell, 1963 Petroleum activities in Turkey. Petroleum Administration Publication Bult.No.8.
- YAZGAN, E., 1984. Geodynamic evolution of the Eastern Taurus region; Tekeli, O. and Göncüoğlu, M.C., eds., "the Geology of the Taurus Belt", 199-208.
- YAZGAN, E., CHESSEX, R., 1991. Geology and Tectonic Evolution of The Southeastern Taurides in the Region of Malatya, T.P.J.D. Bült., 3/1,1-42.
- YEGM, 2015. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerjiler Genel Müdürlüğü, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_enerji_nedir.aspx.
- YILMAZ, E., DURAN, O., 1997. Güneydogu Anadolu Bölgesi otokton ve allokton birimler stratigrafi adlama sözlüğü 'Lexicon'. Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Araştırma Merkezi Grubu Başkanlığı Eğitim Yayınları, No: 31, 460 s.
- YILMAZ, Y., 1981. Rift, Alakojen, İmpaktojen ve Türkiye'den örnekler. TJK Konferans Dizisi 17, Ankara
- YILMAZ, Y., YİĞİTBAŞ, E., 1990. SE Anadolu'nun farklı ofiyolitik - metamorfik birlikleri ve bunların jeolojik evrimdeki rolü; Türkiye Petrol Jeologları Derneği, Türkiye 8. Petrol Kongresi, Tebliğler, 128-140.
- YÜCEL, B., 1989. Çermik(Diyarbakır) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Der. Rap. No: 8744 (Yayınlanmamış) Ankara.
- YÜCEL, B., 1989a. Çermik(Diyarbakır) yöresinin jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Der. Rap. No: 8744 (Yayınlanmamış) Ankara.
- YÜCEL, B., 1989b. Siirt-Bilboris kaplıcası dolayının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları: MTA Der. Rap. No: 8750 (Yayınlanmamış) Ankara.