

**İKİZDERE-BALLIKÖY SAHASININ HİDROTERMAL
POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Müh. Burak Acet TUNALI
(505011184)**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23 Haziran 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 26 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Doç.Dr. Abdullah KARAMAN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. İlyas ÇAĞLAR
Doç.Dr. Tolga YALÇIN**

HAZİRAN 2005

ÖNSÖZ

Bana az zamanda ne kadar çok iş yapılabilceğini öğreten, kaybolduğum anlarda doğru yolu bulmamı sağlayan ve güçlü desteğini benden esirgemeyen sayın öğretmenim Doç. Dr. Abdullah Karaman' a saygılarımı sunar teşekkürü bir borç bilirim. Gerek ofis gerekse de arazi çalışmalarında her zaman yardımını gördüğüm, en kötümser zamanlarımda bana moral veren iyilik meleği dostum Aysun Nilay Dinç' e sonsuz teşekkür ederim. Arazi çalışmaları esnasında, memleketleri olan topraklara duydukları saygı ve bilime karşı hissettikleri inançla çok sert iklim ve zorlu topoğrafya koşullarına dayanan, ölçülerimizi hızlı ve doğru bir şekilde tamamlamamıza yardım eden ve sıcak dostluklarını benden esirgemeyen arkadaşlarım sevgili Enes Kılıç' a ve İsmet Ekşi' ye teşekkür ederim. Ayrıca, ofis çalışmalarında desteğini her zaman hissettiğim dostum Emre Damcı' ya teşekkür ederim.

Bu projenin tüm giderleri köy bütçesinden karşılanmış ve tüm çalışma ekibi muhtarın evinde misafir edilmiştir. Çalışmanın fikir kaynağı, yaptığı ve yapmayı düşündüğü projelerle Ballıköy için önemli bir şahsiyet olan babacan muhtar Keleş Demir' e ve İkizdere' nin aktif ve dinamik İlçe Özel İdare Müdürü Ali Osman Aksu' ya her şey için teşekkür ederim.

Çalışmalarımız esnasında bize her türlü imkanı sağlayan, kendimizi evimizde gibi hissettiren misafirperver Keleş Demir' e, Ballıköy halkına ve yemekler için Osman Deniz' e ayrıca teşekkür ederim.

Arazi çalışmaları esnasında bizlerle ekipmanlarını paylaşan EMA yerbilimleri şirketine, şirket içinde izin rekoru kırmama rağmen bana her zaman destek veren Kadem Ekşi' ye, yorumlarıyla ve yönlendirmeleriyle bana güven veren Nevzat Mengüllüoğlu' na, Mehmet Abidin' e, Mehmet Ali Mert' e ve Selçuk Karaman' a teşekkür ederim.

Bu tezi adadığım, maddi manevi desteklerini hep yanımda hissettiğim, ulvi sabır ve sevgilerinden güç aldığım canım annem Tülin Acet' e, babam Şahabettin Tunalı' ya ve aileme sonsuz teşekkürler. Ayrıca, zorlu öğrencilik yıllarımın ışığı ve bugünlere ulaşmamda sonsuz emeği olan canım eniştem Atakan Demirseren' e minnettarım.

Haziran/2005

Burak Acet TUNALI

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iv
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeoloji	4
1.1.1. Stratigrafi ve litoloji	5
1.1.1.1. Çatak formasyonu	7
1.1.1.2. Kaçkar granitoyidi	9
1.1.1.3. Kabaköy formasyonu	10
1.1.2. Jeolojik evrim ve tektonizma	11
1.1.3. Yeraltı ve yerüstü su rejimi	14
1.2. Jeotermal Enerji Kaynakları	15
1.2.1. Jeotermal sahaların doğası ve oluşumları	16
1.2.1.1. Alanların sınıflandırılması	16
1.2.1.2. Termal sahaların sınıflandırılması	16
1.2.1.3. Alan ve sahaların dağılımı ve potansiyel değerleri	17
1.2.2. Türkiye' de jeotermal kaynakların durumu	19
1.2.3. Rize' de bilinen jeotermal alanlar	22
1.2.3.1. Ayder yaylası (Çamlıhemşin-Rize) sıcak su kaynakları	22
1.2.3.2. Ilıca Köyü (İkizdere-Rize) sıcak su kaynakları	23
1.2.3.3. Cimil Başköy (İkizdere-Rize) sıcak su kaynakları	23
1.2.3.4. Ortaköy (Çamlıhemşin-Rize) sıcak su kaynakları	24
1.2.4. Yarı-termal saha modeli	24
1.2.5. Hiper-termal saha modeli	25
1.3. Jeotermal Sahaların Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması	27
2. ARAZİ GÖZLEMLERİ	33
2.1. Saha-1: Akcaağıl Göl Yamacı	35
2.2. Saha-2: Koşmer ve Anzer Derelerinin Kesiştiği Saha	37
2.3. Saha-3: Buzluğan ve Anzer Derelerinin Kesiştiği Saha	38
2.4. Saha Gözlemlerinin Genel Değerlendirmesi	40
2.5. Kırık Sistemleri ve Bir Sonraki Adımın Belirlenmesi	42
3. JEOFİZİK ÖLÇÜMLER	44
3.1. Düşey Elektrik Sondaj (Schlumberger) Ölçümleri	45
3.2. Elektrik Öz direnç Kaydırma (Wenner) ve Doğal Potansiyel Ölçümleri	51
4. SONUÇLAR	57
5. TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	68

KISALTMALAR

KGRA	: Roosevelt Hot Springs (Roosevelt Sıcak Su Kaynakları)
AMT	: Aero Magnototelluric (Hava Manyetotellürik Yöntemi)
CSAMT	: (Control Source Aero Magnetotellürik) Kontrol Kaynaklı Manyetotellürik Yöntem
DES	: Düşey Elektrik Sondaj
SP	: (Self Potential) Doğal Potansiyel
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
Kç	: Çatak Formasyonu
Kk1,Tk2	: Kaçkar Granitoyidi
Tk	: Kabaköy Formasyonu

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1 : Alan ve sahaların dağılımları ve potansiyel değerleri.....	18
Tablo 2.1 : Sahalarda yapılan sıcaklık ölçümleri.....	41
Tablo 2.2 : Isı yayılımı deneyi.....	41
Tablo 3.1 : Düz çözümleme ile elde edilen model parametreleri.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 1.1.	İnceleme alanı yer bulduru haritası..... 2
Şekil 1.2.	İnceleme alanı ve çevresinin üç-boyutlu haritası..... 4
Şekil 1.3.	Genelleştirilmiş stratigrafik kesit..... 6
Şekil 1.4.	İnceleme alanı ve civarının jeoloji haritası..... 8
Şekil 1.5.	Tektonik ve volkanik özelliklere bağlı olarak Türkiye’ deki jeotermal alanların dağılımı..... 12
Şekil 1.6.	Tipik bir dalma-batma zonunun görüntüsü..... 13
Şekil 1.7.	Bölgedeki muhtemel tektonik deformasyon modeli..... 14
Şekil 1.8.	İnceleme alanından görüntü..... 15
Şekil 1.9.	Jeotermal alan ve sahaların sınıflandırılması..... 19
Şekil 1.10.	Türkiye jeotermal bölgeleri..... 21
Şekil 1.11.	Türkiye’ deki sıcak suların dağılımı..... 21
Şekil 1.12.	İnceleme alanı ve civarında yer alan enerji hammadde ve zuhurları haritası..... 22
Şekil 1.13.	Termal saha modeli..... 25
Şekil 1.14.	Elektrokinetik kaynak geometrisi..... 31
Şekil 2.1.	Anzer vadisinin topografya haritası..... 34
Şekil 2.2.	Yamaçta gözlemlenen limonitleşme (A) ve tipik bir ılık su çıkışının yakın görüntüsü (B)..... 35
Şekil 2.3.	Anzer vadisi boyunca gelişmiş tipik kırık sistemlerini gösteren fotoğraf..... 36
Şekil 2.4.	Saha-2 alanını gösteren fotoğraf..... 38
Şekil 2.5.	Saha-2’ ye ait ılık su ve gaz çıkışlarının gözlemlendiği gölet..... 38
Şekil 2.6.	Saha-3’ ün genel görüntüsü ve yüzey etkileri..... 39
Şekil 2.7.	Saha-2 ve Saha-3’ te tanımlanan kırık zonları..... 42
Şekil 2.8.	Alanın doğu-batı ve kuzey-güney yönlü yapısal kesitleri..... 43
Şekil 3.1.	Jeofizik ölçü lokasyon haritası..... 45
Şekil 3.2.	DES-1 ölçüsüne ait değerlendirme sonuçları..... 47
Şekil 3.3.	DES-2 ölçüsüne ait değerlendirme sonuçları..... 48
Şekil 3.4.	DES-3 ölçüsüne ait değerlendirme sonuçları..... 49
Şekil 3.5.	DES-4 ölçüsüne ait değerlendirme sonuçları..... 50
Şekil 3.6.	Saha-2 ve Saha-3’ ü kapsayan kuzey-güney doğrultuda oluşturulan andıran kesit..... 51
Şekil 3.7.	Doğal potansiyel ölçümü düzeltilmiş, yığinsal grafikleri ile Wenner kaydırma Grafiği..... 52
Şekil 3.8.	Doğal potansiyel ölçümüne ait düzeltilmiş, yığinsal ve türev değer grafikleri..... 53
Şekil 3.9.	Doğal potansiyel ölçüsünün 0’ dan 290 m’ ye kadar olan kesiminin düz çözümleme modeli..... 54
Şekil 3.10.	Doğal potansiyel ölçüsünün 290 metreden 550 m’ ye kadar olan kesiminin düz çözümleme modeli..... 55
Şekil 3.11.	Doğal potansiyel ölçüsünün 550 metreden 940 m’ ye kadar olan 56

	kesiminin düz çözümleme modeli.....	
Şekil 4.1.	SP ölçümü türev değerleri (A), SP ölçüsü yığınsal değerleri (kaydırma) (B), Wenner kaydırma değerleri (C), gerçek öz direnç yer elektrik kesiti (D).....	58
Şekil 5.1.	İnceleme alanının hidrotermal oluşum modeli.....	61

SEMBOL LİSTESİ

c_1, c_2	: Akışkan sabitleri
m_1, m_2	: Kütle
T_1, T_2	: Sıcaklık
T_f	: Final sıcaklık
S	: Akma gerilimi sabiti
ψ	: Fay eğim açısı
σ_1, σ_2	: İletkenlik değerleri
a	: Fay düzleminin üst noktasının yüzeye olan uzaklığı
b	: Fay düzleminin alt noktasının yüzeye olan uzaklığı

ÖZET

İKİZDERE-BALLIKÖY SAHASININ HİDROTERMAL POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Ballı (Anzer) Rize ili, İkizdere ilçesine bağlı bir köydür ve 2300m kotunda bir buzul vadisinin tabanında yer almaktadır. Bu vadi düşük sıcaklıklı hidrotermal sistem için sınırlı sayıda kanıt sergilemektedir. Düşük sıcaklıklı hidrotermal sistemler enerji üretimi için kullanışlı olmamaları nedeniyle bazen dikkate alınmazlar. Yine de, Anzer vadisi gibi seçkin doğal güzelliklere sahip alanlarda hidrotermal kaynaklar turizm odaklı yatırımları tetikleyerek yöre ekonomisine önemli katkılar koyabilmektedir. Son zamanlarda yöre halkı vadideki bir çok mevkide ılık su sızıntılarını ve soğuk havalardaki buğu çıkışlarını rapor etmiş ve buna bağlı olarak Eylül 2004 tarihinde arazi çalışmalarına başlanmıştır. Alanın hidrotermal potansiyelinin belirlenmesi çerçevesinde ısısal anomali veren yerlerin tespiti için toprak ve su sıcaklık ölçümleri yapılmış, çatlak ve kırık sistemleri çalışılmış ve araştırma sondajının gerekliliğinin sorgulanması amacıyla iletken zonların tayini için doğru akım elektrik özdirenç ve doğal potansiyel ölçümleri yürütülmüştür. Doğru akım elektrik özdirenç ve doğal potansiyel yöntemleri fay zonları, çatlak-kırık sistemleri ve ayrışma zonları gibi tipik hidrotermal sistemlerde oluşan özelliklerin belirlenmesinde başarıyla kullanılmıştır.

ABSTRACT

EXPLORATION OF LOW TEMPERATURE HYDROTHERMAL SYSTEM IN THE ANZER VALLEY, İKİZDERE, RİZE

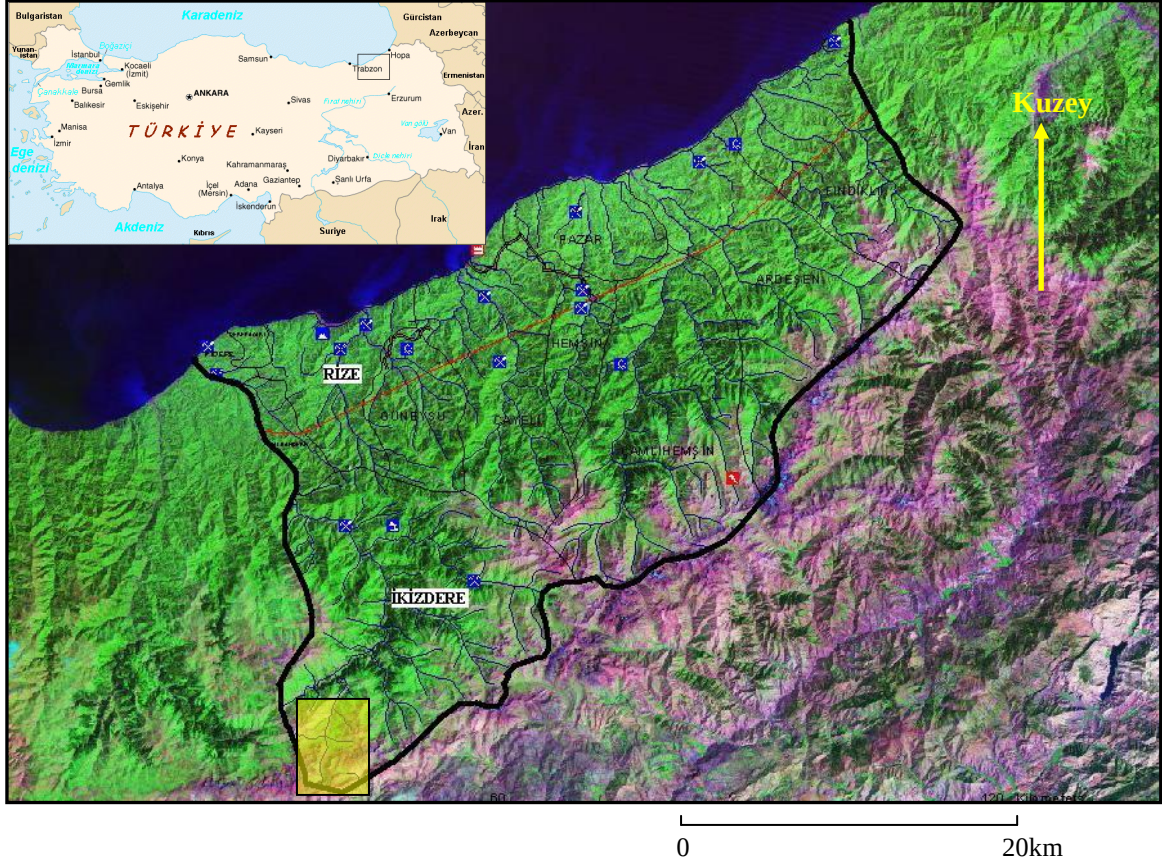
Ballı (Anzer) is a remote village of the town İkizdere, Rize, Turkey, and located at the bottom of a glacial valley at an altitude above 2300 m. This valley exhibits limited evidence for low-temperature hydrothermal system. Low-temperature hydrothermal systems are sometimes ignored since they are not useful for the energy production. However, in areas where natural beauty is prominent as in the Anzer valley, hydrothermal resources may add a significant value to the local economy by triggering investment for recreational centers. Recently, local people have reported warm water seepage and evaporation in cold days in several locations in the valley, and we initiated a field survey in September 2004. For the purpose of determining the potential of the site, we carried out soil and water temperature measurements to identify anomalous warm areas, studied the crack and fault systems, and utilized dc-electrical methods and self potential measurements to delineate the conductive zones for the drilling if necessary. Dc-electrical and self potential methods have successfully been used in identifying the common features such as faults, fracture systems, and alteration zones as occur in hydrothermal sites.

1. GİRİŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi, Rize ilinde varlığı bilinen dört adet jeotermal saha vardır. Bunlar Ayder, Ilıca, Cimil ve Ortaköy jeotermal sahalarıdır. Ayder ve Ilıca sahaları işletilmekte, Cimil ve Ortaköy alanları ise işletilmemektedir. Bu sahaların tümü düşük sıcaklıklı jeotermal alanlar sınıfına girmekte ve bölge ekonomisi ve turizmine önemli katkılar sağlamaktadırlar. Bölgede bilinen jeotermal alanlar çoğunlukla duyarlı vatandaşların ve genellikle çobanların soğuk kış aylarında buğu çıkışları ya da ılık su kaynaklarını gözlemlemesi sonucu ortaya çıkmıştır. Dünya üzerinde işletilmekte olan bir çok maden ya da hidrotermal saha bu tür vatandaşların yönlendirmeleri sonucunda ekonomiye kazandırılmıştır. Bu çalışmada ele alınan Rize İkizdere Ballıköy sahasının jeotermal potansiyelinin incelenmesinin gündeme gelmesi doğrudan orada yaşayan halkın bilgilendirmesi neticesinde oluşmuştur.

Jeotermal enerji kaynakları gerek çevre dostu olmaları gerekse de işletme maliyetlerinin düşük olmalarından dolayı son derece önemlidirler. Ülkemiz bu tip doğal kaynaklar yönünden zengin olmasına karşın, bu konuda yeterince araştırma yapılmamış ve kaynak ayrılmamıştır. Ayrıca, hidrotermal sahalar küçük yatırımlarla turizm açısından cazibe merkezi haline gelebilmeleri nedeniyle bulundukları bölgenin ekonomik kalkınmasında da önemli rol oynamaktadırlar.

Bu tezde çalışılan saha Rize İli, İkizdere İlçesi' ne bağlı Ballıköy (Anzer) merasında yer alan yaklaşık 21 km² lik alandır. İkizdere' den yaklaşık 30 km güneydoğuda vadi yukarı Bayburt il sınırına yakın zirvenin hemen kuzey yamacında yer almaktadır (Şekil 1.1). Doğal güzellikleri açısından son derece zengin bir bitki örtüsüne sahiptir ve bahar aylarından sonbahara kadar değişik çiçeklerle bezenen ender rastlanan bir vadidir. Düşük sıcaklıklı bir jeotermal kaynağın varlığının bile bu vadiye turizm açısından başka bir zenginlik katacağı ve bölge ekonomisine önemli bir canlılık getireceği bir gerçektir.



Şekil 1.1 İnceleme alanı yer bulduru haritası. Çalışılan saha taralı alan olarak gösterilmiştir.

Çalışılan saha 1/25000' lik Tortum G45d4 paftasında yer almaktadır. Doğudan Hakasor başı, Kızıltoprak tepeleriyle Buzluğan yaylası, batıdan Hatalı tepesi, Kurtyurdu yaylası ve Soğanlı tepesi, kuzeyden Ballı (Anzer) ve güneyden ise Akcaağıl gölü ve Öküz yatağıyla sınırlandırılmış alandır. Çalışma alanının en kuzeyinde yer alan Ballı (Anzer) köyün yaklaşık kotu 2310 metredir. İnceleme alanının en güneyinde yer alan Akcaağıl Gölü ise yaklaşık 2950 m kotlarında ve Bayburt il sınırındadır.

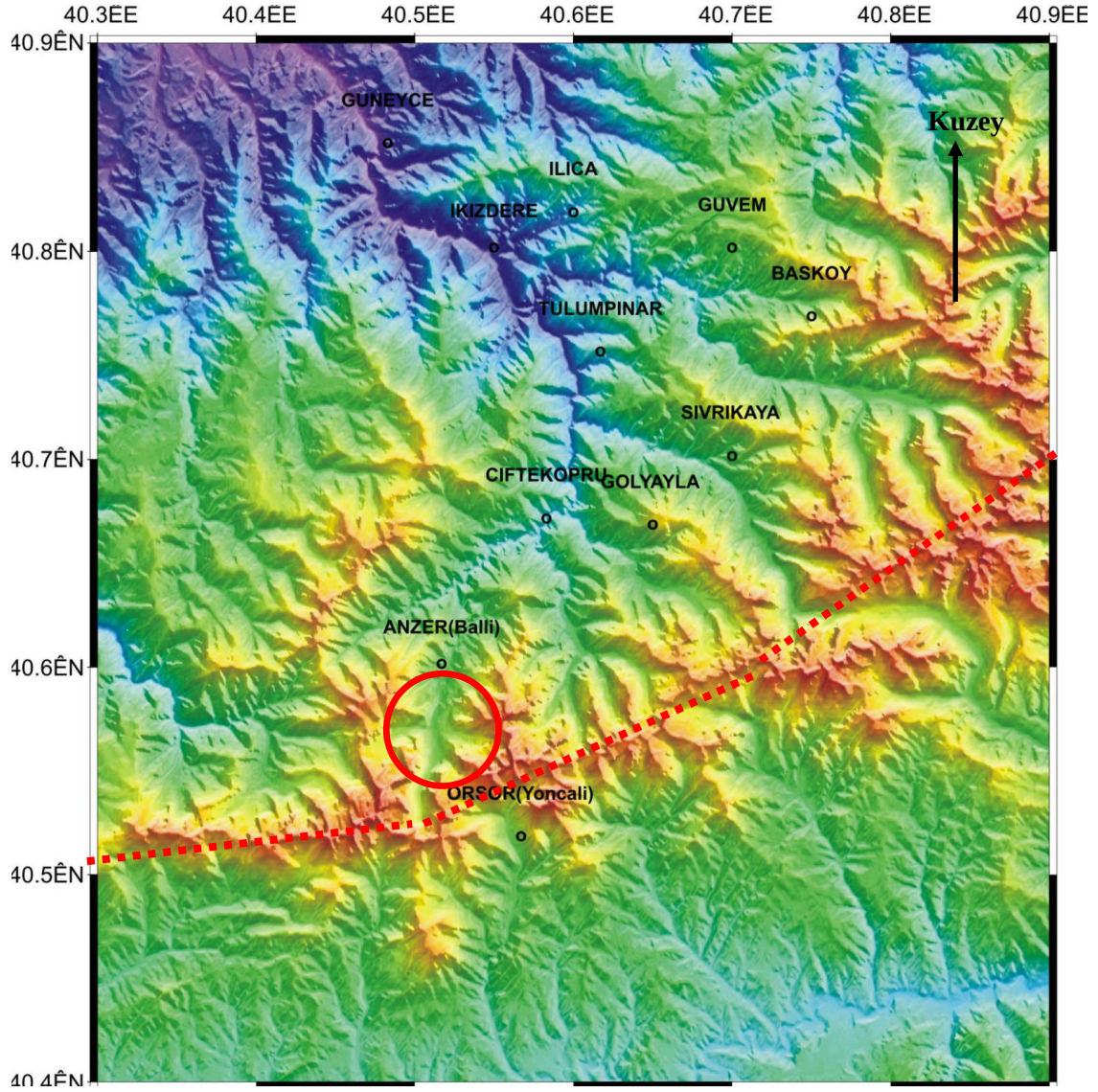
Morfolojik olarak Anzer vadisi derin bir vadidir ve yaklaşık K-G doğrultusunda ve kuzeye doğru yaklaşık 3° lik bir eğime sahiptir. Vadinin her iki yakasında yükseklikleri 3000 m' nin üzerinde tepeler ve sırtlar yer almaktadır. Çalışma alanı oldukça engebeli olup, alanda yüksek tepeler, sarp yamaçlar ve akarsuların meydana getirdiği tali vadiler yer almaktadır. Sahada bulunan en yüksek tepe 3204 m yüksekliğiyle Kısa tepedir. Bunun yanında Sivri Tepe (2826 m), Orsor Dağı (2917 m), Karapınar Tepesi (3021m) ve Hakasorbaşı Tepesi (3116 m) sahanın diğer

yükseltmelerini oluşturmaktadır. Kış aylarında bol kar yağışı alması nedeniyle, çalışma alanında yılın her mevsimi bol miktarda su taşıyan büyük dereler yer almaktadır. Bunların en önemlileri Anzer deresi ve bu dereyle birleşen Buzluğan deresi, Kürtyurdu deresi ve Koşmer dereleridir. Bu ana dere kollarına ek olarak bu dereleri besleyen bir çok tali dere kolları mevcuttur.

İkizdere İlçesi küçük çapta ticaret birimleri barındırmakla beraber ekonomisi çoğunlukla gurbetçiliğe dayanmaktadır. Tarım alanları çok sınırlı ve bitkisel üretim pazara dönük olmaktan çok geçimi sağlayacak niteliktedir. İlçede sınırlı miktarda hayvancılık yapılmaktadır ancak daha çok kişisel ihtiyaçlar için kullanılmaktadır. Anzer ve civarında yaygın olarak arıcılık yapılmakta ve bölgeye önemli bir gelir sağlamaktadır. İnceleme alanı ve çevresinde dağınık bir yerleşim düzeni vardır ve yaylacılık hayatın önemli bir parçasıdır. Köyler genellikle az nüfusludur. Köylerin büyük çoğunluğunda yaşayan halk yaz aylarında yayla ve mezralara çıkmaktadır. Köyler, yaz aylarında doluyken kışın köylülerin sahillere inmesiyle boşalmaktadır.

Doğu Karadeniz Bölgesi' nin çoğu il ve ilçelerinde olduğu gibi çalışma sahasında da ulaşım olanakları oldukça kısıtlıdır. Topografyanın ulaşım olanaklarını önemli ölçüde sınırlamasına ek olarak bölge, ulaşım yatırımlarından da yeterince pay alamamıştır. Bunda, topografik yapının elverişsizliği nedeniyle oluşan yüksek yol yapım maliyetleri de büyük rol oynamaktadır. İnceleme alanına ulaşım Rize-Trabzon karayolu, İyidere Köprüsü, İkizdere-Erzurum karayoluna kadar asfalt, Anzer (Ballıköy) sapağından sonra stabilize olarak sağlanmaktadır.

Çalışılan sahanın rölyef görüntüsü Şekil 1.2' de gösterilmiştir. Şekilde inceleme alanı daireyle temsil edilmiştir. Çalışma alanının güneyinde yer alan Orsor (Yoncalı) tepesi üzerinden yaklaşık GB-KD yönlü uzandığı gözlenen dağ oluşumu (kırmızı kesikli çizgi ile gösterilmektedir) Doğu Pontid yayının bir bölümü teşkil etmektedir.



Şekil 1.2 İnceleme alanı ve çevresinin üç-boyutlu haritası (Aysun Nilay Dinç' in kişisel notlarından).

1.1. Jeoloji

Doğu Karadeniz Bölgesi' nde Rize ile İspir arasında yer alan çalışma alanı ve çevresinde, daha önce Çoğulu (1970), Açar (1977), Pelin (1977), Çakır ve diğ. (1983), Güner ve diğ. (1983), Kahraman ve diğ. (1986,1987), Akdeniz ve diğ. (1994) gibi araştırmacılar çalışmışlardır. Yararlanılan Tortum-D31 paftasının 1:100 000 ölçekli jeoloji haritası, MTA Doğu Karadeniz Bölge Müdürlüğü' nün “Metalik Maden Etüd ve Arama Projeleri” kapsamında yapılan 1:25 000 ölçekli jeoloji harita

alımını ve genel prospeksiyon çalışmaları (Güner ve diğ., 1983, Çakır ve diğ., 1983, Kahraman ve diğ., 1986, 1987) temel alınarak geliştirilmiştir.

1.1.1. Stratigrafi ve Litoloji

Liyas' tan başlayan ve Eosen sonlarına kadar periyotlar halinde gelişimini sürdüren aktif bir magmatizmanın etkisi altında olan inceleme alanında bu magmatizmanın ürünü olan volkanik, volkano-tortul ve intrüzif kayalar yaygındır. Volkanik faaliyetlerin durakladığı dönemlerde ise tortul istifler birikmiştir.

Kuzey ve Güney zon olmak üzere farklı stratigrafik özellikler gösteren Pontidler' in bu kesiminde alttan üste doğru Liyas yaşlı bazalt, andezit, kumtaşı, marn, piroklast vb. kayalar türlerinden oluşan Hamurkesen formasyonu, Üst Jura-Alt Kretase yaşlı kireçtaşlarından oluşan Berdiga formasyonu, Üst Kretase yaşlı bazalt, andezit, piroklastik, kumtaşı vb. kayalar türlerinden oluşan Çatak formasyonu, dasit, riyodasit ve piroklastiklerden oluşan Kızılkaya formasyonu, Kampaniyen-Maastrichtiyen yaşlı bazalt, andezit, aglomera, tüf, kumtaşı, marn ve killi kireçtaşlarından oluşan Çağlayan formasyonu, Kaçkar granotoyidi-II ile andezit, bazalt, piroklastik, kumtaşı, konglomera, kumlu kireçtaşı vb. kayalar türlerinden oluşan Kabaköy formasyonu yüzeylenir. Şekil 1.3' te inceleme alanı ve çevresinin genelleştirilmiş stratigrafik kesiti verilmiştir.

İnceleme alanında Mesozoyik Liyas, Üst Jura-Alt Kretase ve Üst Kretase yaşlı birimlerle temsil edilir. Liyas' ın volkanik, volkano-tortul (Hamurkesen formasyonu), Üst Jura-Alt Kretase' nin neritik karbonatlarla (Berdiga formasyonu) temsil edildiği bölgede, Üst Kretase dönemi kuzey ve güney zonlarda farklı ortam koşulları altında gelişmiş kayalar birimlerini kapsar. Yoğun bir magmatik aktivite ile etkilenen, inceleme alanının bulunduğu kuzey zonda kalın ve kesiksiz volkanik, volkano-tortul istifler gelişirken magmatik aktiviteden nispeten daha az etkilenen güney zondaki karbonat platformu üzerinde fliş karakterli tortul bir istif çökelmiştir (Şekil 1.3).

M E S O Z O Y I K				SENZOYİK	ÜST SİSTEM
JURA	K R E T A S E			TERSİYER	SİSTEM
	ÜST JURA ALT KRETA.	ÜST KRETA S E	KAMPANI. MAASTRIH.	E O S E N	SERİ
SİNEMURİ.	MALM BERRİYASI SENOM.	TURONİYEN-KONİYASİYEN-SANTONİ.	KIZIL- KAYA	ORTA EOSEN	KAT
HAMURKESEN	BERDİGA	Ç A T A K	Kk	KABAKÖY	FORMASYON
Jh	JKb	Kç	Kçq	Tk	SİMGE
				KAYA TÜRÜ	A Ç I K L A M A L A R
					KABAKÖY FORMASYONU Andezit-bazalt lav ve Piroklastları, konglomera, kumlu kireçtaşı, kumtaşı, marn, tuf. Tk2 Kaçkar granitoyidi II UYUMSUZLUK ÇAĞLAYAN FORMASYONU Bazalt-andezit lav ve piroklastları, kumtaşı, marn, kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı, tuf. KIZILKAYA FORMASYONU Riyodasit-dasit lav ve Piroklastları. ÇATAK FORMASYONU Bazalt-andezit lav ve piroklastları, kumtaşı, marn, şeyl, kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı, tuf. Kaçkar granitoyidi I Kk1 BERDİGA FORMASYONU Resifal kireçtaşı, kumlu kireçtaşı. HAMURKESEN FORMASYONU Bazalt andezit dasitik lav ve piroklastları, konglomera, kumtaşı, şeyl.

Şekil 1.3 Genelleştirilmiş stratigrafik kesit (Tortum-D31, Türkiye Jeoloji Haritaları, MTA, Ankara).

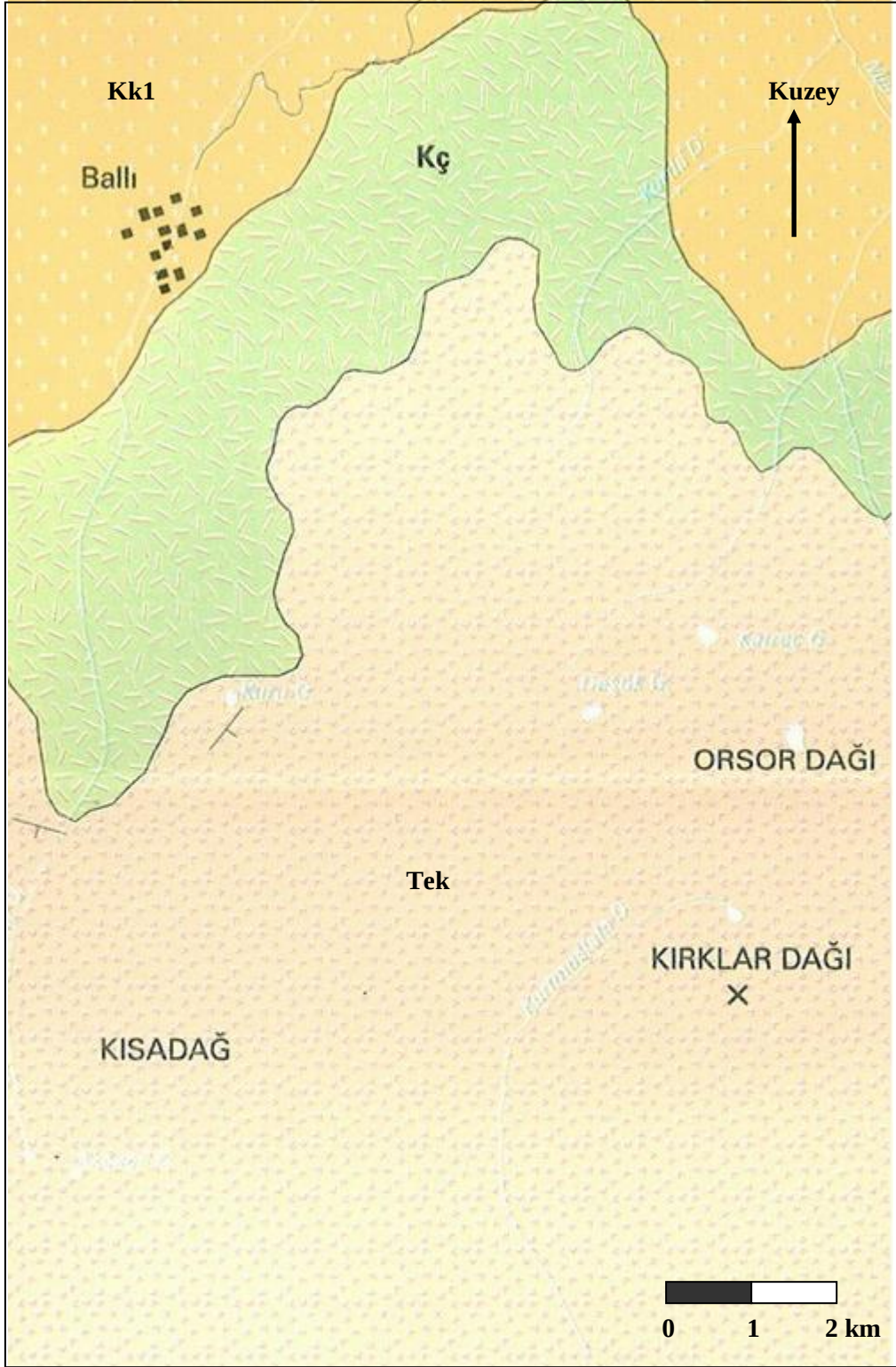
Bu çalışmada sıcak su amaçlı incelemelerin yapıldığı alanda dikme kesitte görülen formasyonlardan üçüne rastlanmaktadır. Aşağıda ayrıntılarıyla açıklanan bu formasyonlar, inceleme alanında yaklaşık GB-KD yönünde uzanım gösteren Çatak formasyonu, alanın kuzeyinde Ballıköy civarında yüzlek veren Kaçkar granitoidleri ve alanın güneyinde yer alan Kabaköy formasyonudur (Şekil 1.4). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan Tortum-D 31 paftasının bir bölümünü içeren jeoloji haritası Şekil 1.4’ te verilmiştir.

1.1.1.1. Çatak Formasyonu

Neritik kireçtaşları (Berdiga formasyonu) üzerine uyumlu olarak gelen bazik karakterli volkano-tortul istif Maçka güneyindeki Çatak köyü civarında tipik olarak görüldüğünden Güven (1993) tarafından Çatak formasyonu olarak adlandırılmıştır. Doğu Pontidlerin kuzey zonunda çok geniş alanlarda yüzeylenen volkano-tortul istife ait en güzel kesitler Maçka güneydoğusunda Değirmendere vadisi boyunca ve Çatak mevkiinde izlenir. Birim çoğunlukla inceleme alanının kuzey kesiminde yaygındır ve bu kesimlerde 1000 m. kalınlığa ulaşır.

Başlıca bazalt, andezit lav ve piroklastları ile kumtaşı, silttaşı, marn, şeyl ve kırmızı-bordo renkli killi kireçtaşı tabaka veya seviyelerinin ardalanmasından oluşan Çatak formasyonu bazik lavlı bir volkano-tortul istiftir. Genel olarak gri-yeşil renk tonunun egemen olduğu birimin lav, tuf ve breşlerden oluşan volkanik seviyeleri koyu gri, yer yer siyah renkli, ayrıştığında kahve renklidir. Lavlar çoğunlukla kırıklı, çatlaklı ve boşluklu olup etkin şekilde ayrışmış, kloritleşmiştir. Breş ve aglomeralar içinde tortul kaya çakıl ve blokları bulunabilir. Kurşuni gri renkli kumtaşı, marn ve şeyller düzenli ince tabakalanmalıdır. Bazı kesimlerde kırmızı-bordo renkli mikritik ve rekristalize kireçtaşları yaygındır.

Çatak formasyonu içinde izlenen ve yaş için önemli kılavuz seviyeler oluşturan çamurtaşı ve marn tabakalarında bulunan, *Globotruncana linneiana* d’ORGINBY., *Globotruncana lapperenti* BROTZEN, *Marginotruncana* sp., *Globigerinella* sp., *Globigerinelloides* sp., *Hedbergella* sp., *Whiteinella* sp., fosilleri formasyonun Turoniyen-Santoniyen aralığında çökeldiğini gösterir (Güven, 1993).



Şekil 1.4 İnceleme alanı ve civarının jeoloji haritası (Tortum-D31, Türkiye Jeoloji Haritaları, MTA, Ankara). Kç Çatak formasyonunu, Kk1 Kaçkar granitoidini ve Tek Kabaköy formasyonunu temsil etmektedir.

1.1.1.2. Kaçkar Granitoidleri

Doğu Karadeniz Bölgesi' nin doğu kesiminde Kaçkar dağlarından batıdaki Canik dağlarına kadar kuş uçuşu 500 km' ye yakın uzunlukta, KD-GB uzanımlı genişçe bir kuşak içinde yüzeylenen irili-ufaklı granitoid kütlelerinin en yoğun olduğu alan Kaçkar Dağları' dır. Bu yörede geniş ölçüde Üst Kretase yaşlı birimlerin ve daha sonraki yenilenmesi ile de Eosen yaşlı birimlerin içine sokulan ve granitten gabroya kadar geniş bir yelpaze içinde değişim gösteren intrüzif kompleks Güven (1993) tarafından, intrüzyon yaşına bakılmaksızın Kaçkar granitoidleri adı ile tanımlanmıştır.

Üst Kretase yaşlı birimleri kesen ve Eosen birimleri tarafından transgresif olarak örtülen granitoidler Kaçkar granitoidi-I (Kk1), Eosen yaşlı birimler içine intrüzyon yapmış granitoidler Kaçkar granitoidi-II (Tk2) olarak ayırt edilmiştir. Kaçkar granitoidleri Coğulu' nun (1970) yaptığı çalışmalarda Rize graniti olarak geçen birimin karşılığıdır.

İkizdere-Kaptanpaşa arasında yaygın olan ve Kaçkar granitoidi-I (Kk1) olarak ayırtlanan granitoidler Çatak ve Kızılkaya formasyonları ile dokanaklıdır. Çapans dere içine Eosen volkanitleri içine sokulmuş olarak yüzeylenen intrüzyon ise, Kaçkar granitoidi-II (Tk2) olmalıdır.

Genellikle gri, yeşilimsi gri, yer yer pembemsi renkte, çok kırıklı, çatlaklı olan granitoidler taneli ve porfirik dokuludur. Mineral kompozisyonları ve dokularına göre, granit, granodiyorit, mikrogranit, kuvars porfir, kuvarslı diyorit ve diyoritler ayırtlanabilir.

Üst Kretase boyunca gelişimini sürdüren ve yerleşimlerini büyük ölçüde Paleosen sonunda tamamlayan granitoidler ile Eosen yaşlı Kabaköy formasyonu arasında bir aşınma düzlemi bulunur. Eosen döneminde yenilenen granit intrüzyonları ise Kabaköy formasyonunda kontakt etkiler yapmıştır.

Kaçkar granitoidlerinin bir bölümü olan Rize plütonunununda Hersiniyen (209.5+13 ile 211.3+28 MY.), Geç kimmeriyen (149.5+2.8 ile 128.3+19 MY.), Laramiyen

(80.7+0.6 ile 65.1+0.6 MY.) ve Pireniyen (39.9+0.3 ile 46.0+0.3 MY.) fazlarına ilişkin intrüzyonların varlığını belirlemiştir (Güven, 1993).

Granitoyidleri pontid yay magmatizması içinde irdeleyen Tokel (1981) in bunları kuzeye dalan yitim zonunun Oligosen' deki etkinliğine bağlamasına karşın, granitoyidlerin dalan okyanus kabuğu ve manto kökenli olduklarını kabul eden Bektaş (1983), güneye doğru dalımlı bir yitim zonuna bağlılığı savunur.

1.1.1.3. Kabaköy Formasyonu

İnceleme alanında kırıntılı çökellerle başlayan ve istifin en üst bölümünde yer alan volkano tortul seviye Güven (1993) tarafından Kabaköy formasyonu olarak adlandırılmıştır. Kabaköy (Gümüşhane) dolayında tip kesit veren birim inceleme alanının güney güney sınırı boyunca gözlenmektedir. Güneyde D-B uzanımlı formasyonun azami kalınlığı 1000 metre kadardır.

Çatak formasyonu üzerine bir taban konglomerası ile açısal uyumsuz olarak gelen Kabaköy formasyonunun tabanında kırmızı-bordo renkli konglomera ve kumtaşları, bunların üzerinde marn ve bol Nummulites' li, sarımsı renkli kumtaşı ve kumlu kireçtaşı tabakaları bulunur. Taban seviyesi üzerinde genel olarak düzenli tabakalanmalı, yeşilimsi gri ve morumsu renkli andezitik, daha az bazaltik lav, aglomera, tuf, tüfit, kumtaşı ve kumlu kireçtaşı ardalanmasından oluşan bir volkano tortul istif yer alır (Güven, 1993).

Hemikristalin, mikrolitik, porfirik dokulu volkanitlerde labrodorit, ojit fenokristal ve mikrolitleri, bazen cm. boyutlarına ulaşan bol hornblend kristalleri ve az biyotit bulunur. Prizmatik veya yastık yapılı lavlara rastlanabilir. Genellikle koyu renkli olan volkanitlerin tabanındaki sarımsı renkteki bol fosilli tortullar bir kılavuz seviye niteliğindedir. Birim içerisine sokulmuş granitoyid intrüzyonlarının çevresinde, porfiri Cu-Mo ve epitermal Au cevherleşmeleri açısından önem arz eden hidrotermal ayrışma zonları gelişmiştir. Formasyon içindeki kireçtaşlarında derlenen örneklerde bulunan fosiller birimin Lütésiyen yaşında olduğunu göstermektedir.

1.1.2. Jeolojik Evrim ve Tektonizma

Türkiye farklı yaşlardaki suture zonlarının ayırdığı birçok mikro-kıtadan ya da küçük kıtasal plakalardan oluşmaktadır. Erken-Mesozoyik metamorfik temel (Batı’ da Menderes, Uludağ, Kazdağ ve Kozak masifleri, doğuda Bitlis masifi ve Orta Anadolu’ da Kırşehir masifi) tektonik olarak Tetis okyanus tabanına ait Mesozoyik yaşlı ofiyolitik kayalar tarafından örtülmüştür. Senozoyik, birçok granodiyoritik sokulum ve geniş alanları kapsayan volkanik ürünler ile karakterize edilen yoğun magmatik aktivite ve genişlemekte olan çökel havzalarla temsil edilmektedir.

Türkiye’ nin tektonik evrimi Paleotektonik ve Neotektonik olarak isimlendirilen iki ayrı fazda incelenebilir. Paleotektonik periyot, Arap ve Avrupa plakalarının yaklaşmasıyla meydana gelen olaylarla temsil edilmektedir. Bu dönem, iki plakanın Orta Miyosen’ de çarpışarak Bitlis suture zonunu teşkil etmesine kadar devam etmiştir (Şekil 1.5). Neotektonik periyot, plakaların yaklaşımı olarak çarpışması ile sonuçlanan birçok neotektonik bölgelerle karakterize edilir (Şekil 1.5). Bu yapılar boyunca gözlenen Bitlis suture zonu, Arap ve Avrupa plakalarının Orta Miyosen’ de çarpışmasının kanıtıdır (Dewey ve Şengör, 1979). Doğu Anadolu’ daki yaygın sismik aktivite (McKenzie, 1972, Rotstein ve Kafka, 1982) ve Arap platformu’ ndaki çökellerin çatlak-kırık sistemlerinin gelişmiş olması (Şengör ve Canitez, 1982, Jackson ve McKenzie, 1984) plakaların birbirlerine halen yaklaşmaya devam ettiğinin göstergeleridir. Kuzey Anadolu (KAF) ve Doğu Anadolu (DAF) fay zonları doğrultulu atımlı faylardır ve Arap plakasının kuzeye doğru hareketi sonucu oluşmuşlardır. DAF, doğuda Karlıova’ dan başlayıp, güneybatıya doğru uzanarak Ölü deniz fayı ile birleşir (Arpat ve Şaroğlu, 1972, 1975). KAF ise yine Karlıova’ dan başlayarak batıya doğru ilerler ve bu ilerleyiş esnasında bir çok kola ayrılır. Bu faylar ve tektonik zonlarla sınırlanmış dört adet neotektonik bölgeden bahsetmek mümkündür (Şekil 1.5): (1) Doğu Anadolu büzüşme alanı, KAF ve DAF kırıklarının birleşme noktası olan Karlıova’ nın doğusunda yer almaktadır. Bu bölge Kuzey-Güney yönlü bir kısalma ile temsil edilmektedir. (2) Kuzey Anadolu bölgesi, KAF zonu kuzeyinde kalan alandır ve Doğu-Batı yönlü kısalma ile ifade edilmektedir. (3) Batı Anadolu genişleme bölgesi, Arap levhasının KAF ve DAF kırıklarının etkisi altında Batı-Güneybatı yönlü kaçışı sonucu Kuzey-Güney yönlü genişleme ile ifade

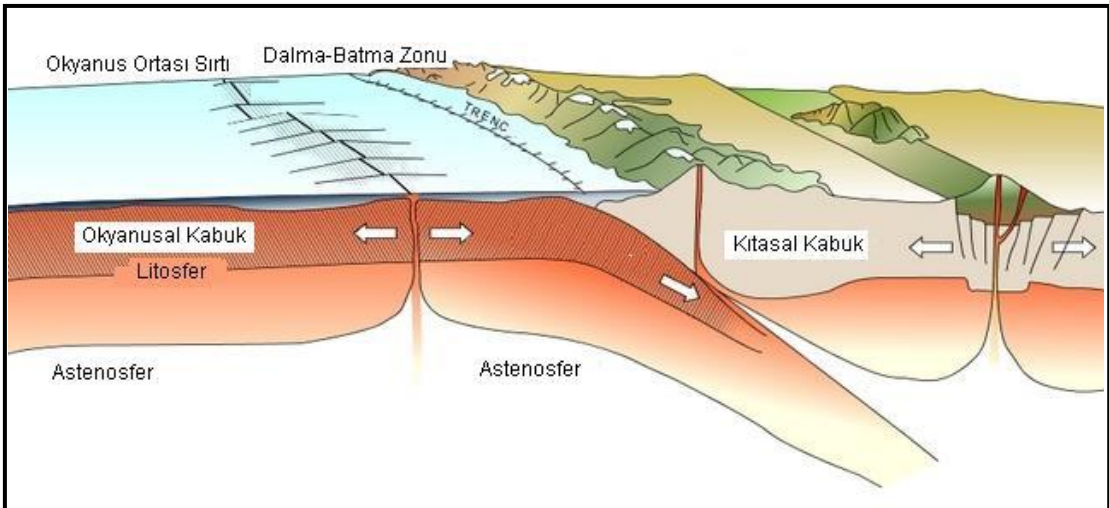
Figure 1 is a geotectonic map of Turkey and surrounding regions. The main map shows the Black Sea to the north, the Mediterranean Sea to the south, and the Dead Sea Fault to the east. Key features include the North Anatolian Fault (NAF), East Anatolian Fault (EAF), and Suture zones. Numbered locations (1-41) indicate specific sites of interest. The map also shows the Pliny-Strabo Trench and Cyprus. An inset map shows the tectonic provinces of Turkey: West Anatolian Extensional, Central Anatolian Ova, North Turkish, and East Turkish Contractional. A legend defines symbols for Jeotermal Sahalar, Neojen-Kuvaterner Vulkanikleri, Önemli Vulkanlar, Doğrultu Atımlı Faylar, Normal Faylar, Sütür Zonları, Dalma-Batma Zonları, and K J Karlıova Birleşim Noktası.

Jeotermal alanlar, tüm Türkiye’ de olduğu gibi Kuzey Anadolu’ da da Neotektonik yapılar üzerinde gözlenmektedir. Yukarıda açıklanan tektonik zonlar, bulundukları alanları birbirinden farklı kuvvetlere maruz bırakmaktadırlar. Bunun sebebi olarak her bölgenin kendine has bir evrimi ve dolayısıyla bir jeotermal oluşum tipi mevcuttur. Pontidler üzerinde yapılan araştırmalarda, magmatizma ile levha tektoniği ile ilgili teoriler savunulmuştur. Bu konular üzerine çeşitli oluşum modelleri geliştirilmiştir. Pontidler ve komşu bölgelerdeki litofasiyes dağılımlar, magmatik ve metalojenik zonalite yanı sıra paleomanyetik veriler, Doğu Pontid arkının Paleozoyik sonlarından itibaren Eosen sonuna kadar süregelen güney yönlü yitim ile gelişmiş olabileceğini gösterir niteliktedir (Altunbaş, 1992).

12

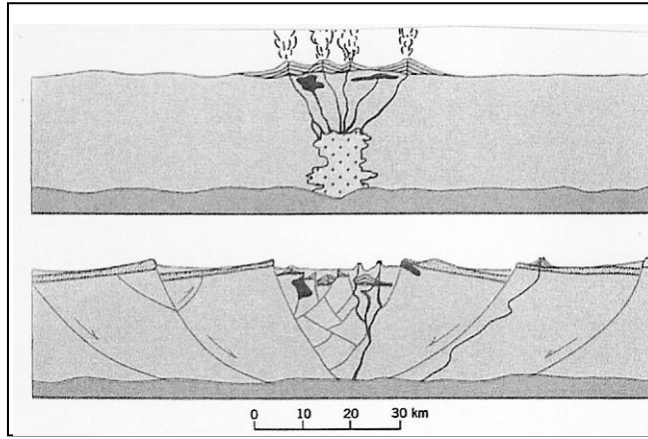
ortası özellikli bazalt içeren ofiyolitler) olarak sağladığı düşünülmektedir. Ark gerisi basen veya basenleri üst Kretase sonlarına doğru Paleotetis' in düşük eğimli yitimi (Şili tipi yitim) ve buna bağlı olarak ark gerisinde gelişen basınç gerilmeleri, Pontid arkının yükselen magma diyapirlerine bağlı olarak güneye doğru yayılması, transform fay hareketleri veya kuzey yönlü yitim ile kapanmıştır.

Doğu Pontid yayının uzanımı ve inceleme alanının konumu göz önüne alındığında alan ve civarı için göz önüne alınabilecek model Şekil 1.6' da gösterilmektedir. Modelde, kıtasal kabuk altında dalmakta olan bir okyanusal kabuk görülmektedir. Derinlere dalan okyanusal kabuğun yüksek ısı değerlerine sahip olmasıyla, Benioff zonu civarında oluşan magma yukarılara doğru çıkarak volkanları ve batolitleri oluşturmaktadır. Böylece genç bir volkanizma oluşmakta ve zayıf zonlardan yukarılara doğru sokulmaktadır. Bu sokulum esnasında, alan yükselmekte ve göreceli olarak genişlemektedir. Aynı zamanda çatlak-kırık sistemleri teşkil olmaktadır. İnceleme alanı böyle bir dalma-batma zonunun kıtasal kabuk kesiminde yer almaktadır. Alandaki ısıtıcı kaynağın Şekil 1.6' da modellenen magma intrüzyonları tarafından sağlandığı düşünülmektedir. Yer altının derinliklerine doğru süzülen sular magma sokulumlarının etkisiyle ısınıp, mevcut kırık ve çatlak sistemlerinden yukarılara doğru çıkarak yüzeye ulaşmaktadırlar.



Şekil 1.6 Tipik bir dalma-batma zonunun görüntüsü.

Havza ve sıradağ oluşumları Dünya’daki fay-bloklu dağ sistemlerinin en yaygın olanlarıdır. Bu oluşumlar fay-sınırlı dağların (horst) gelişimi ve bu gelişimleri ayıran çökel kaplı vadilerden (graben) oluşmaktadır. Genellikle havza ve sıradağ alanlarının jeolojileri biraz karmaşıktır. Bununla beraber bu tip alanlarda hem normal hem de ters faylanmalar göze çarpmaktadır. Havza ve sıradağ oluşum alanları genellikle gerilme veya çek-ayır kuvvetleri etkisi altında genişlemektedir. Bir çok otorite yükselen magmanın kanıtı olarak anılan ve faylanmalara eşlik eden volkanizmanın kabuğu ısıtıp, şişirebileceğini işaret etmektedir. Bu tip yapıları oluşturan ve inceleme alanı ile yakından ilişkili olduğu düşünülen model Şekil 1.7’de gösterilmektedir.



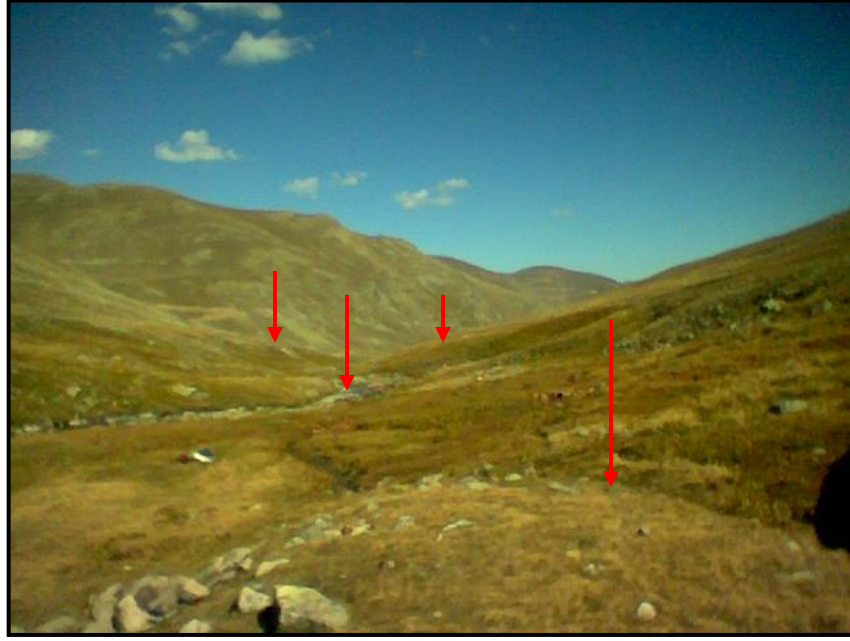
Şekil 1.7 Bölgedeki muhtemel tektonik deformasyon modeli (Skinner ve Porter, 1989).

1.1.3. Yeraltı ve Yerüstü Su Rejimi

Anzer vadisi yılın altı ayında aşırı miktarda kar almakta ve Haziran ayına kadar bölge kısmen kar altında kalmaktadır. Karların erimesiyle bütün vadi sulanmakta ve bütün yıl boyunca akan yüzey sularını beslemektedir.

İnceleme alanının üst seviyelerini oluşturan, buzulların erimesiyle meydana gelen sularının taşıdığı çökeller ve morenler genel olarak geçirimli karakterdedir. Buzul çökelleri ve morenlerin altında yer alan magmatik birimler kısmen az geçirimlidir. Yeraltı suyu eğim boyunca üst kısımlardaki çökeller ve magmatik temel kaya kontağı boyunca olmaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresi kuzey yönlü bir hidrolik boşalıma sahiptir. Bir toplama sahası olan ve güneyden su bölümü çizgisiyle sınırlı saha, yaklaşık kuzey yönlü yüksek debili Anzer deresi, batı yönlü akışa sahip

Koşmer ve Buzluğan ve doğu yönlü akışa sahip Kürtyurdu dereleri tarafından drene edilmektedir. Şekil 1.8 inceleme alanına ait bir görüntüyü göstermektedir ve fotoğrafın bakış yönü yaklaşık kuzeydir. Bu görüntüde yer alan dereler kırmızı oklarla gösterilmektedir. Soldan ikinci ok, yaklaşık güney-kuzey yönlü akışa sahip Anzer deresini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü üzere Anzer deresi doğu ve batı yönlü bir çok tali dere tarafından beslenmektedir.



Şekil 1.8 İnceleme alanından görüntü. Bakış yönü yaklaşık kuzeyi göstermektedir.

1.2. Jeotermal Enerji Kaynakları

Jeotermal enerji, bilinen fosil yakıtlarla nükleer enerji kaynaklarına ek olarak, belki de en çabuk devreye sokulabilecek olan enerji kaynağıdır. Jeotermal enerji yerin içindeki ısıнын dışı vurumu esnasında yer altı rezervuarlarında su buharı, sıcak su veya sıcak taşlar haline gelmiş ürün olarak tanımlanabilir. Bugüne dek bilinen yüksek ısıdaki jeotermal rezervuarlar yerkabuğunun deforme olduğu ve bu nedenle de magma sıcaklığının normalden çok yüksek olarak yukarılara çıkabildiği yerlerde bulunmaktadır. Yerkabuğunda ortalama ısı gradyanı her 33 metre derinlik için 1 °C olarak saptanmıştır. Yerkabuğunun deforme olduğu bölgelerde bu değer her 2-3 metre derinlik için 1 °C kadar olabilmektedir. Aşırı ısınmış (hipertermal) alanların üzerinde alttan ve üstten geçirimsiz birimlerle sınırlandırılmış akiferlerde su ve buhar karışımı bir durum ortaya çıkmaktadır. Su buharı ve/veya sıcak suyun toplandığı

tabakaya rezervuar denmektedir ve kökeni % 90-98 oranında meteorik sulardır. Çok az bir kısmı ise magmadan gelen su buharının oluşturduğu juvenil sulardan oluşabilmektedir. Sondaj yoluyla basınç altında aşırı ısınmış gözenek suyu yeryüzüne doğal buhar olarak çıkartılır ve enerji üretiminde kullanılır. Yüksek sıcaklıklı su buharı, başta elektrik enerjisi üretimi olmak üzere, çeşitli endüstri dallarında, ısıtmada ve taşıdığı çözünmüş tuzları üretmede kullanılmaktadır. Elektrik üretiminin ekonomik olması için doğal buharın sıcaklığının 150 °C' nin üzerinde olması gerekir.

1.2.1. Jeotermal Sahaların Doğası ve Oluşumları

Jeotermal alanlar Dünya üzerinde nadir olarak gözlemlenen sahalardır. Bunlardan yüksek sıcaklıklı olanları aktif sismik kuşaklar üzerinde yer almaktadır. Düşük sıcaklıklı olanlar ise genellikle sismik kuşaklar ile ilgili değildir. Fakat, bu alanlar yinede belirli özellik farklılığı gösteren yerlerde gözlenirler. Jeotermal sistemler üç ana gruba ayrılmaktadır: 1) sıcaklığın 220 °C' den daha yüksek olduğu yüksek sıcaklık sistemleri, 2) sıcaklığın 120-220 °C arasında olduğu orta sıcaklık sistemleri ve 3) sıcaklığın 120 °C' den daha düşük olduğu düşük sıcaklık sistemleridir.

1.2.1.1. Alanların Sınıflandırılması

Dünya yüzeyini oluşturan alanları üç ana grupta sınıflandırmak uygun olacaktır:

1. Termal Olmayan Alanlar: Isı gradyanı 10-40 °C/km arasında olan alanlardır. Termal Alanlar. İki tiptir:
2. Yarı-termal Alanlar: Isı gradyanı 70 °C/km' ye kadar olan alanlardır.
3. Hiper-termal Alanlar: Isı farkları termal olmayan alanlardan kat kat fazla olan alanlardır.

1.2.1.2. Termal Sahaların Sınıflandırılması

Termal alan ve termal saha kavram olarak birbirlerinden ayrı şeyler ifade etmektedir. Termal alan işletme açısından yetersizdir ancak, alandaki geçirimsiz kayalar sıcaktır. Örneğin, Meksika Pathe alanında ısı gradyanı 550 °C/km olduğu halde çapları 12

inch' e kadar olan 17 adet sondaj kuyusundan sadece 150 kW kadarlık bir enerji üretilmektedir (Armstead, 1980). Termal saha buna karşın sıcak kayaçların gözenekli olduğu ve suyun içinde rahatlıkla dolaşabildiği yerdir. Termal sahalarda hem su hem de sıcaklığı sağlayan jeotermal kaynak bir arada hidrotermal sistemi oluşturur. Hiper-termal sahalar su ve buhar karışımı olması durumunda su hakim ya da bütünüyle buhar içermesi durumunda buhar hakim sahalar olarak adlandırılırlar.

Jeotermal alanlarda olduğu gibi jeotermal sahaları da üç ana grupta toplayabiliriz:

1. Yarı-termal sahalar: 1 ya da 2 km derinliklerden 100 °C' ye kadar sıcak su üretimine uygun sahalardır.
2. Hiper-termal sahalar: Bu sahalar kendi içinde iki gruba ayrılırlar.
 - a) Sıvı etkin sahalar: 100 °C' ye kadar basınçlı su üretimi yapılabilen sahalardır. Böylece su yüzeye alındığında ve basıncını kaybettiğinde, bir kısım buhara dönüşürken geri kalan büyük kısım ise kaynayan su fazında kalmaktadır.
 - b) Buhar etkin sahalar: Atmosferik basıncın üzerinde kuru-doygun ya da kısmi süper sıcak buhar üreten sahalardır.
 - c) İki fazlı sahalar

1.2.1.3. Alan ve Sahaların Dağılımı ve Potansiyel Değerleri

Tablo 1.1 alan ve sahaların işletilebilirlik ya da potansiyel ekonomik değerlerine göre sınıflandırılmasını göstermektedir. Islak ya da kuru hiper-termal alanların sismik kuşaklarla sınırlı oldukları gözlenmiş olan bir unsurdur. Bunun yanı sıra, yarı-termal sahalar belirli koşullar altında herhangi bir yerde oluşabilir. Hiper-termal sahalar göreceli olarak çok yüksek sıcaklık sağladıkları için, içinde elektrik üretimi de olan çok geniş uygulama alanlarına olanak sağlamaktadır. Buna karşılık, yarı-termal sahalar için uygulama alanları kısıtlıdır ve daha çok ısıtma ya da kaplıca gibi uygulama alanları yer almaktadır. Tablo 1.1' de göze çarpan, hiper-termal sahaların neden yarı-termal sahalardan daha kıymetli olduğunun cevabını bu durum netlikle açıklamaktadır. Kuru hiper-termal sahaların ıslak olanlarından daha değerli olmasının cevabı ise kuru hiper-termal sahaların teknik olarak daha az sorunlu olmasıdır. Hiper-termal alanlar da hiper-termal sahalar gibi sismik kuşaklarda gözlenmektedirler. Bunlarda daha orta derinliklerde yer alan geçirimsiz ve sıcak

kayalar mevcuttur. Yarı-termal alanlar sismik kuşaklarla alakalandırılmamışlardır ve geçirimsiz, sıcak kayaların çok daha derinde (mesela 2-3 km) yer almasıyla anılırlar.

Tablo 1.1 Alan ve sahaların dağılımları ve potansiyel değerleri (Armstead, 1980).

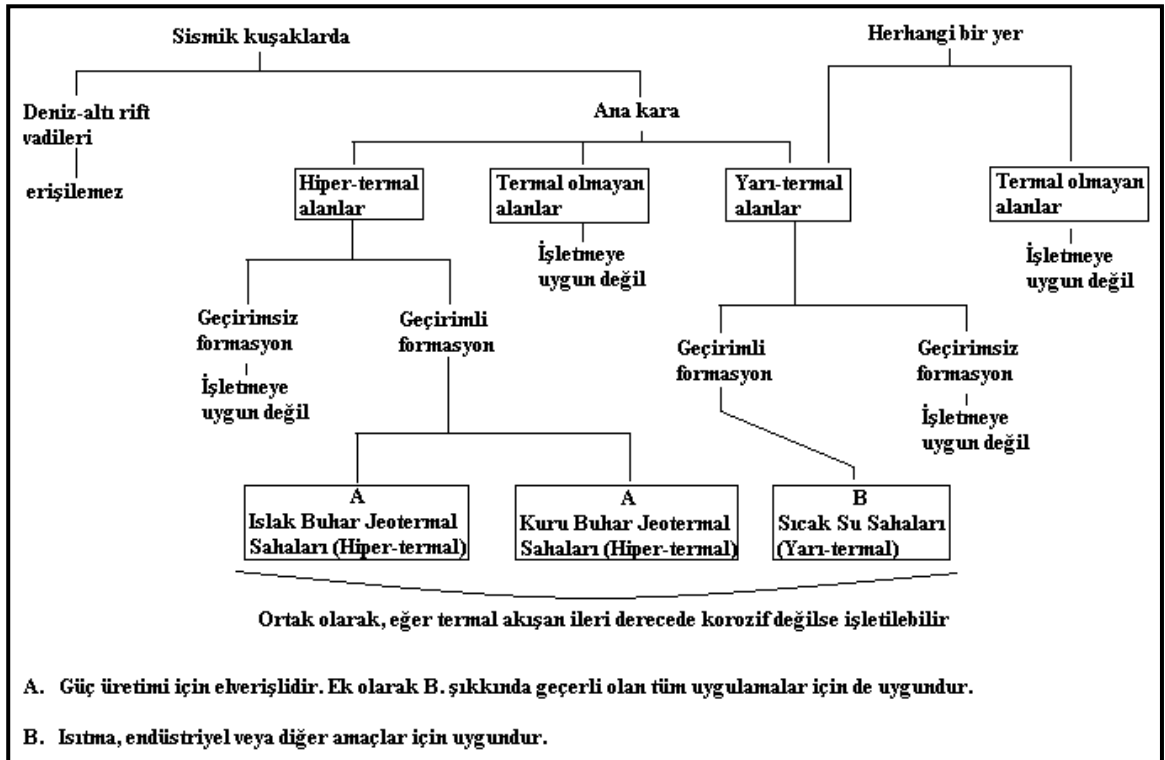
Oluşma Sıklığı	Alanlar ve Sahalar	Ekonomik Değer	Notlar
Olağan	Termal olmayan a.	Değersiz	Belki bir çok yıl sonra işletilebilir
	Yarı-termal a.	Değersiz	Belki 10 yıl ya da daha fazla süre içinde işletilebilir
	Hiper-termal a.	Değersiz	Belki yakında işletilebilir
	Yarı-termal s.	Kıymetli	
	Su hakim termal s.	Daha kıymetli	Hemen işletilebilir
Nadir	Buhar hakim termal s.	En kıymetli	

Alan ve sahaların gruplandırılmasındaki uygunluk açısından yarı-termal sahaların hiper-termal alanlardan daha nadir olmalarına karşın, tersinin daha mantıklı ve olası olması yarı-termal sahaların sismik kuşaklarla alakalandırılmamış olmasındandır. Sadece birkaç yarı-termal sahanın tanımlanmış ve birkaçının işletiliyor olmasına karşın aslında daha yaygın olduklarına inanılmaktadır. Bunların bir kısmının oldukça büyük alanlara yayıldığı düşünülmektedir.

Şekil 1.9 sahaların ve alanların oluşumlarını ve gruplanmasını göstermektedir. Dünya üzerindeki alanlar göz önüne alındığında sismik kuşakların bu alanlara göre çok daha az yer kaplıyor olması ve büyük bir bölümlerinin deniz ve okyanusların altında yer alması, bu alanların neden nadir olduklarının cevabıdır. Şekilde, “işletmeye uygun değil” olarak adlandırılan ve geçirimli formasyonlarla ilişkilendirilmeyen alanlar için, hiçbir zaman işletilemez anlamı çıkarılmamalıdır. Bu noktada, termal olmayan alanlar için sığ derinliklerdeki sıcaklıklar örneğin 100 °C iken, daha derinlerde

(mesela 9-10 km) sıcaklıkların 250 °C mertebelerine ulaşabileceği düşünülmelidir. Bu aşamada teknolojik olarak ancak bu derinliklere kadar ulaşılabilir ve bu derinliklere inmek hem ekonomik olarak mantıklı değil, hem de oluşabilecek teknik problemler nedeniyle olanaksızdır.

Hiper-termal sahalar genellikle gayzer, fümerol gibi yüzey etkileri ile temsil edilmektedirler. Bu tip yüzey etkileri, genel olarak geçirimsiz kayalarda gelişen kırık sistemlerinden yüzeye doğru sızıntılarının bir sonucudur. Yarı-termal sahalar nadiren de olsa ılık su kaynakları gibi yüzey etkileri gösterebilmektedir ancak, genel olarak bu tip alanlarda yoğun yüzey etkileri gözlenmeyebilir.



Şekil 1.9 Jeotermal alan ve sahaların sınıflandırılması (Armstead, 1980).

1.2.2. Türkiye’ de Jeotermal Kaynakların Durumu

Türkiye, tektonik olarak aktif olan Alp-Himalaya kuşağında yer alması nedeniyle, kendini bir çok sıcak su kaynağı, fümerol ve mineralizasyon zonlarının gözlemlendiği geniş bir jeotermal aktivite alanı olarak karakterize edilmektedir (Mutlu ve Güleç, 1998). Türkiye’ nin jeodinamik geçmişi, Mesozoyik’ ten bu güne kadar süregelen Arap ve Avrupa plakalarının göreceli hareketi ve belirli alanlardaki

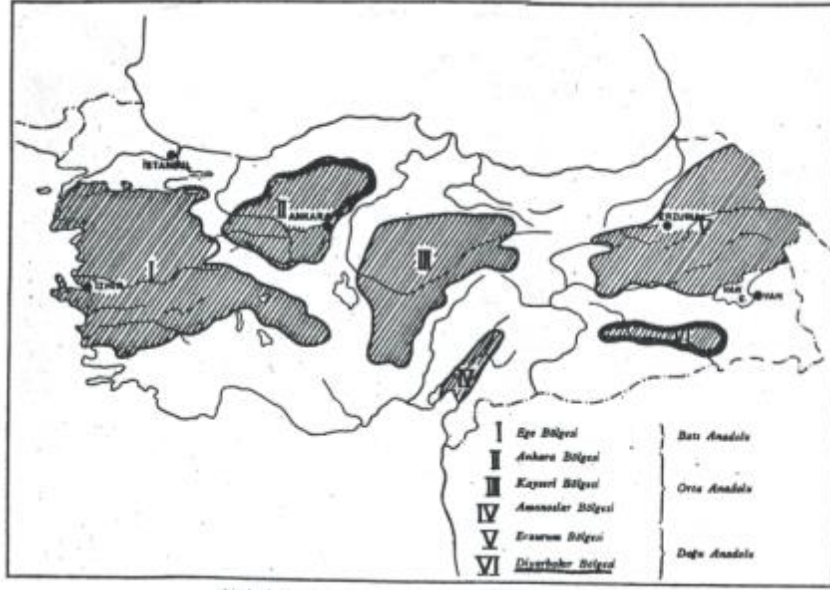
kıtasal levhaların ayrılma, çarpışma, rotasyon ve deformasyonlarının birlikte oluşturduğu evrelerden oluşmaktadır. Bu küçük levhaların sınırları genç volkanizma ve aktif faylarla temsil edilen sismik kuşakları oluşturmaktadır. Bu zonlar, suyu olduğu kadar ısıyı da sirküle etmektedir. Türkiye’ deki sıcak su kaynaklarının dağılımı, fay sistemleri ve Tersiyer-Kuvaterner volkanizması görülen alanlarla tamamıyla bir paralellik içindedir. Sıcaklıkları 100 °C’ ye kadar ulaşan 500’ den fazla sıcak su kaynağı barındıran Türkiye, önemli bir jeotermal potansiyel sergilemektedir. Bu potansiyel, MTA’ nın 1960’ dan beri yapmakta olduğu sondaj çalışmalarıyla kullanıma açılmaktadır. 1997 itibarıyla MTA, 250 jeotermal ve 45 ısı gradyan sondajı tamamlamıştır.

Türkiye, genel olarak düşük sıcaklıklı jeotermal sistemlerin gözlendiği bir ülkedir. Bu tip sahalar elektrik üretimi için elverişli olmamalarına rağmen kaplıca ve ısıtma uygulamaları gibi alanlar için uygundur. Türkiye’ deki jeotermal enerji kullanım alanları, ısıtma ve yerleşim alanlarına sıcak su temini, sera ısıtmacılığı, balneoloji, CO₂ ile kuru-buz ve elektrik üretimi olarak sıralanmaktadır. Bunlara ek olarak, çoğunlukla jeotermal alanlar kaplıca olarak kullanılmakta ve bulundukları alanları birer cazibe merkezi haline getirmektedirler.

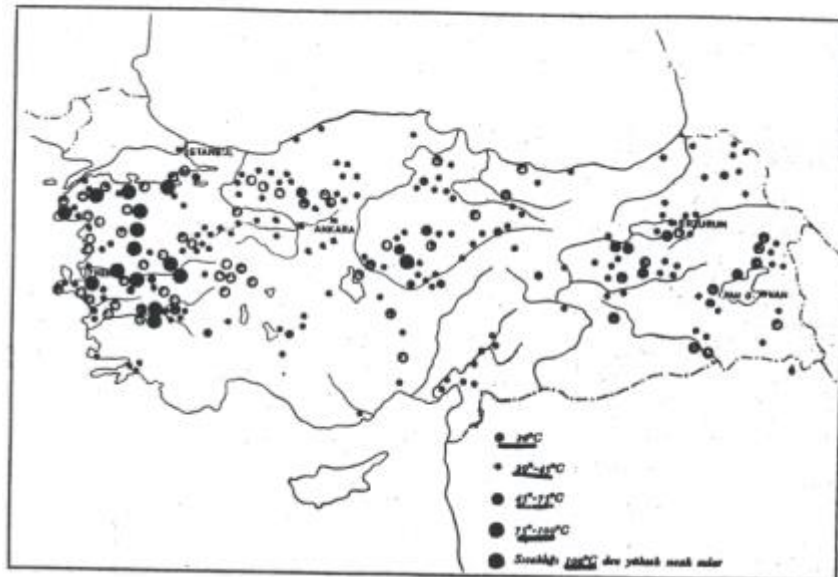
Türkiye’ nin jeotermal enerji potansiyeli yenilenebilir kaynaklar içerisinde üçüncü sırada yer almakta ve bu yönden bakıldığında Türkiye şanslı ülkeler arasında sayılabilir. Volkanizmaya bağlı olarak doğal buharların, hidrotermal alterasyonların ve sıcaklığı yer yer 100 °C’ ye ulaşan, 500’ den fazla sıcak su kaynağının varlığı, Türkiye’ nin önemli jeotermal potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu potansiyelin büyük bir bölümü düşük entalpili sahalardan oluşmaktadır.

Mevcut jeotermal kapasitemiz 31500 MWt olarak verilmektedir (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 1998). Ancak bu raporda kullanılabilir ısı potansiyelimizin 7500 MWt seviyesinde olduğu açıklanmaktadır. Şekil 1.10 Türkiye’ de mevcut jeotermal bölgeleri göstermektedir. Haritada her ne kadar gösterilen bölgeler arasında Doğu Karadeniz Bölgesi yer almasa da, düşük sıcaklıktaki suların bölgenin doğasına uygun olarak önemli bir turizm potansiyelini harekete geçirebilecek niteliktedir. Türkiye’ de bugüne kadar yapılan çalışmalar çoğunlukla

enerji üretimi amaçlı olduğundan Doğu Karadeniz bölgesinin düşük sıcaklık özelliği gösteren sahaları bu araştırmalardan yeterince nasibini alamamıştır.

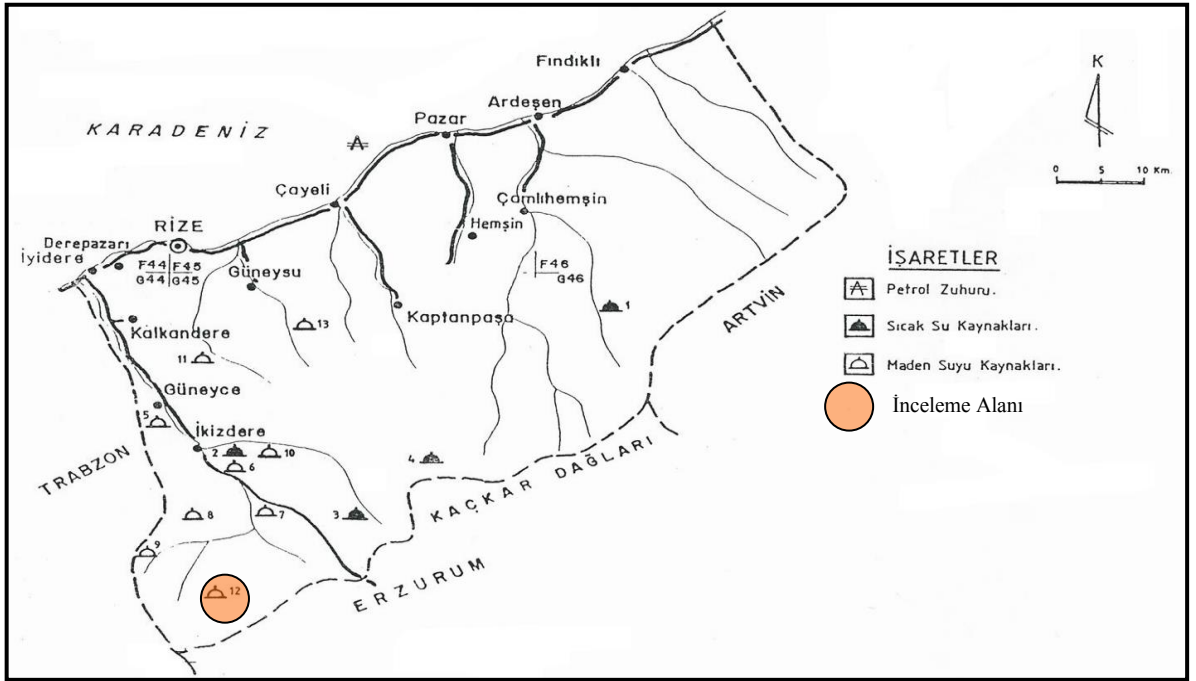


Jeotermal enerji 20 °C deki ılık sudan buhar fazına kadar, ısıya ve sıcak akışkana gereksinim duyulan bütün alanlarda kullanılabilir. Ülkemizde de elektrik üretiminden ısıtmaya kadar birçok alanda jeotermal enerjiden faydalanılmaktadır. Ancak, yüksek jeotermal enerji potansiyelimiz göz önüne alındığında, yapılan çalışmalar ve potansiyele nazaran jeotermal enerjiden yeterince yararlanamadığımız görülmektedir. Bu enerji kaynağı ucuz, temiz ve yenilenir bir kaynaktır ve daha çok yararlanma olanakları araştırılmalıdır. Şekil 1.11 Türkiye’ de sıcak suların dağılımını göstermektedir.



1.2.3. Rize’ de Bilinen Jeotermal Alanlar

Bu bölümde inceleme alanı civarında yer alan jeotermal alanlar incelenecektir. Şekil 1.12 inceleme alanı ve civarında yer alan enerji hammadde yatak ve zuhurları haritasını göstermektedir. Haritada işaretlenmiş olan sıcak su kaynakları düşük sıcaklıklı kaynaklardır (Erişen ve diğerleri, 1996).



Şekil 1.12 İnceleme alanı ve civarında yer alan enerji hammadde ve zuhurları haritası (Erişen ve diğ., 1996).

1.2.3.1. Ayder Yaylası (Çamlıhemşin-Rize) Sıcak Su Kaynağı

Sıcak su kaynağı Tortum G 46 a1 paftası içerisinde yer almaktadır. Alana ulaşım, Çamlıhemşin’ e kadar sahilinden 22 km’ lik asfalt, buradan da 18 km’ lik asfalt ve stabilize bir yolla sağlanmaktadır. Bölgenin en yaşlı birimi Üst Kretase yaşlı Hemşin formasyonu, andezit, bazalt, dasit, tüf, tüfit, aglomera ve yer yer kırmızı kireçtaşı, kumtaşı, marn ara katmanlarından oluşmaktadır. Bu seri yer yer granit, granodiyorit, diyorit, kuvarslı diyorit, gabro ve doleritler tarafından kesilir. En genç birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozlarıdır. Yörede açılma sonucu gelişen basamaklı faylar mevcuttur. Bol çatlaklı ve yer yer altere olmuş olan granitler rezervuar kaya özelliği taşımaktadır (Erişen ve diğ., 1996). Sıcak su 33-47 °C

arasında 2.5 lt/sn' lik debiyle işletilmektedir. Alanda iki kaynak mevcuttur ve bunlardan bir tanesi havuzun içinden kaynamaktadır. Burada yapılan tesis Turban tarafından işletilmektedir. İkinci kaynak ise bir kaptaj içine alınmış ve borularla getirilerek hamama alınmıştır. Bu alan özel idare tarafından işletilmektedir. 1986 yılında açılan ve AK-2 olarak adlandırılan 214.4 metrelik sondaj kuyusundaki sıcaklık 55.5 °C, debi ise 14 lt/sn olarak tespit edilmiştir.

1.2.3.2. Ilıca Köyü (İkizdere-Rize) Sıcak Su Kaynağı

Sıcak su kaynağı Tortum G 45 a4 paftası içerisinde yer almaktadır. Alana ulaşım, İkizdere' nin İspir çıkışından Cimil çayı boyunca uzanan 7 km' lik dar stabilize bir yolla sağlanmaktadır. Sıcak su kaynağı çevresinde Üst Kretase yaşlı granitoidik kayalar yüzeylenmektedir. Kaynakların bulunduğu bölge kırık ve çatlak sistemlerinin etkisi altındadır. Sıcak sular bu kırık ve çatlaklardan yüzeye çıkmaktadır. Ilıca köyü sahasında sıcak su çıkışları kaynaklar ve sızmalar şeklinde görülmektedir. Kaynaklar, kapalı mekan kaplıca binası içinde 0.4 lt/sn debi ve 30 °C sıcaklıkta, bu mevkiinin 5-6 m kadar üstünde yol kenarında 0.09 lt/sn debi ve 30 °C sıcaklıkta, ikinci kaynak ve bu mevkiinin altında hemen dere kenarında bol H₂S kokulu, gazlı, yaklaşık 0.01 lt/sn debi ve 27 °C sıcaklıkta üç kaynaktan ibarettir. Bölgede bunlar dışında sızıntılar şeklinde sıcak su çıkışları da mevcuttur. Ilıca köyü sıcak su sahasında kaynak sularının birinin üzeri gelişigüzel betonla kapatılarak kaplıca binası olarak kullanılmaktadır. İçerisinde küçük iki havuz dışında hiçbir şey yoktur. Bu kaynağın işletme hakkı 2004 yılında yapılan bir ihaleyle devredilmiştir ve tesislerin yapılmasına bu tezin yazıldığı sıralarda henüz başlanılmamıştır.

1.2.3.3. Cimil Başköy (İkizdere-Rize) Sıcak Su Kaynağı

Sıcak su kaynağı Tortum G 45 c1 paftası içerisinde yer almaktadır. Alana ulaşım, İyidere İspir yolu boyunca sahilden yaklaşık 75 km' lik asfalt+stabilize bir yolla sağlanmaktadır. Sıcak su kaynağı çevresinde Üst Kretase yaşlı granitoidik kayalar yüzeylenmektedir. Suyun sıcaklığı 24 °C olup, debisi 0.5 lt/sn' dir. Su normal içme suyu tadında, renksiz, berrak, demiroksit çökeltisi yoktur. Sıcak su kaynağına bir

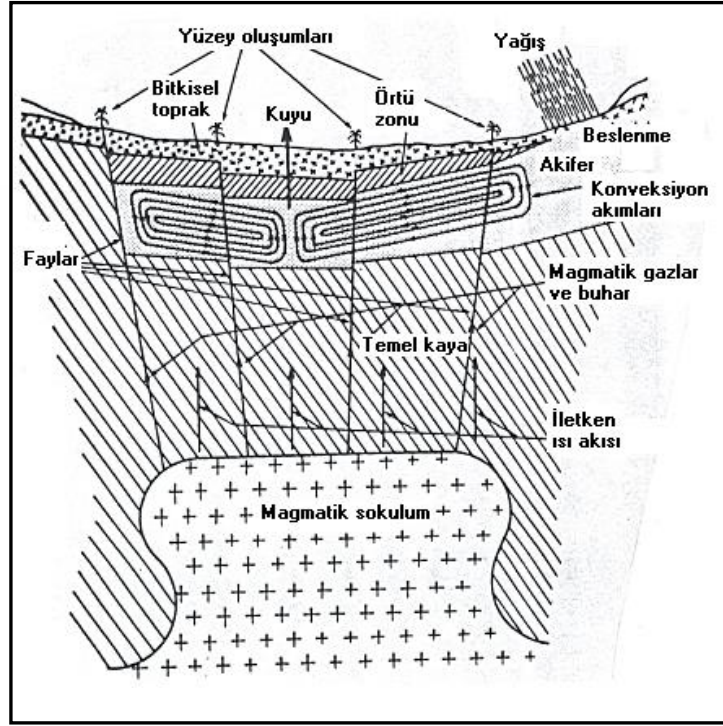
saatlik yürüme yolu ile ulaşılmaktadır. Tesis ve kaptaj yoktur. Geliştirilebilir niteliktedir.

1.2.3.4. Ortaköy (Çamlıhemşin-Rize) Sıcak Su Kaynağı

Sıcak su kaynağı Tortum G 45 c2 paftası içerisinde yer almaktadır. Alana ulaşım, Ardeşen-Çamlıhemşin yolu boyunca sahilden yaklaşık 70 km' lik asfalt+stabilize bir yolla sağlanmaktadır. Sıcak su kaynağı çevresinde Üst Kretase yaşlı granitoyidik kayalar yüzeylenmektedir. Kaynağın bulunduğu bölgede K 60 B doğrultulu 67 ° GB' ya eğimli bir çatlak izlenmiştir. Suyun sıcaklığı 25 °C olup, debisi çok küçüktür. Kaynak etrafında demiroksit çökeltisi yoktur. Debisi çok düşük olduğundan önemsizdir. Tesis ve kaptaj yoktur.

1.2.4. Yarı-termal Saha Modeli

Yarı-termal sahalar Şekil 1.13' te gösterilen düşey kesitte belirtilen öğelerden oluşurlar. Fakat, ısı akısı değerleri hiper-termal sahalarındaki değerlere göre düşüktür. Yarı-termal sahalarındaki suların sıcaklığı 100 ° C' ye kadar ulaşabilir ancak hiper-termal sahalarından farklı olarak sıcaklık ve basınç kaybını engelleyecek bir örtü kaya zonu olması gerekli değildir. Bu örtü kendiliğinden oluşabilir. Yarı-termal sahada ısı farkları konveksiyona neden olur ancak rezervuarın üst kısmının sıcaklığı 100 ° C' ye ulaşmayabilir. Çünkü, kısmi olarak basıncı atmosferik seviyelerde tutacak bir örtü kaya zonu muhtemelen yoktur ve kısmi olarak ortamda soğuk sularla karışım olmaktadır. Meteorik sularla beslenen akiferin üzerindeki geçirimsiz birimler herhangi bir nedenden dolayı oluşmuş olabilir. Bu bilinenlere karşın tektonik plakaların sınırları yakınında olmayan yarı-termal sahalarındaki ısıtıcı kaynak ile ilgili problemler hala cevaplandırılmamıştır.



Şekil 1.13 Termal saha modeli (Armstead, 1980).

1.2.5. Hiper-termal Saha Modeli

Tipik bir hiper-termal sahanın ayrıntıları yarı-termal sahayla Şekil 1.13’ te görüldüğü gibi aynıdır. Bir hiper-termal sahanın beş ana ögesi mevcuttur. Bunlar ısıtıcı kaynak, temel kaya tabakası, su kaynağı, akifer ve örtü kaya tabakasıdır. Bu beş farklı ögenin bir arada oluşması zordur ve bu nedenle hiper-termal sahalar nadir olarak bulunurlar.

Hiper-termal sahalar sadece komşu plakaların göreceli hareketleri olduğu zayıf kabuk zonlarında ve magma intrüzyonunun kabuğa doğru olduğu alanlarda oluşabilirler. Hiper-termal sahalardaki ana ısıtıcı kaynak bir magma intrüzyonudur. Böyle bir intrüzyon, kabuğa doğru şişerek termal olarak izole olmuş alanın kalınlığını azaltır. Magmatik intrüzyonların, magma sıcaklığının genel manto sıcaklığından yüksek olduğu yerlerde oluşma eğilimi vardır, çünkü kıtasal çarpışma alanlarındaki yüksek sürtünme güçleri ve bölünme (deformasyon) alanlarında mantoya derince giriş yapan açılma çatlakları bu duruma katkı koymaktadır. Bu nedenle hiper-termal sahalardaki yüksek ısı akısı değerleri iki farklı reaksiyondan oluşur. Birincisi, mantodaki lokal sıcak noktalar, ikincisi ise kabuğun lokal olarak incelmesidir. Kabuktaki ısının diğer kaynakları kabuğu oluşturan kayalarındaki lokal

radioaktivitenin yüksek konsantrasyonu, egzotermik kimyasal reaksiyonlar, jeolojik fay zonlarında kaya kütlelerinin birbiri üzerinden kayarken oluşturduğu diferansiyel hareketin meydana getirdiği sürtünme ısı, ergimiş kayaların kristalizasyon ya da katılaşma aşamalarında oluşan gizli ısının serbest kalması ve ana kayadaki fay zonlarına ilerleyen sıcak magmatik gazların akiferlere direk girişidir.

Hiper-termal sahaların ikinci ögesi olan termal kaya tabakası genellikle bazaltik kabuk kayalarından oluşmaktadır. Temel kayalar 2-5 km gibi yüksek derinliklerde olduğundan egemen litostatik basınç geçici olsa da yüksektir. Üçüncü öge olan akifer tabakasının geçirimli olmasının muhtemel sebebi volkanik aktivite evresinde oluşan çeşitli ve şiddetli termal ve mekanik streslerin varlığı ve çeşitliliği ile göreceli olarak düşük mekanik özellikler gösteren kayalarda sonuçlanan çatlak ve fissürlerle açıklanabilir. Dördüncü öge olan su kaynaklarını açıklamadan önce hidrojeolog ve saha modellemecileri ilgilendiren üç çeşit su varlığından bahsetmek faydalı olacaktır.

1. Meteorik sular, yağmur suları ya da buharlaşma veya buzul erimeleri sonucu oluşan sular,
2. Magmatik sular, magmatik materyalin soğuma sonucu tam katılaşma gösterdiği evrede kristalizasyon sonucu oluşan sudan ayrılan buhardan meydana gelen sulardır.
3. Bazı kaya formasyonları ile var olan sular olarak düşünülebilir.

Bir hiper-termal sahanın son tipik ögesi olan geçirimsiz örtü kaya zonu, sıcaklık ve buharlaşmanın atmosfere kaybını önleyen bir tencere kapağına benzetilmektedir. Bu kavram son yıllarda bir çok spekülasyona sebep olmuştur. Bir takım çevreler tarafından, böyle bir kapağın bilinen tüm hiper-termal sahalardaki varlığının kazara olduğu düşünülmektedir. Birkaç alanda geçirimsiz kaya tabakaları doğal olarak bunu sağlamış gibi gözükmeyle beraber, çoğu alanda geçirgenliğin sadece akiferle ilgili olmadığı, uzun süreler boyunca kaya formasyonlarının üst tabakalarında yer alan fissürlerden yukarı doğru jeotermal akışkan ve ısının kaçışının olduğu düşünülmektedir. Eğer bu gerçekten böyleyse, akışkanların kaçıışı kaya tabakalarının üst seviyelerini geçirimsiz hale getirebilir. Böylece, sıcaklık ve akışkanların daha fazla kaybı engellenmiş olmaktadır. Bu işlem iki farklı kimyasal olay şeklinde

meydana gelebilir. Birincisi, minerallerin (özellikle silikatlar) solüsyondan depolanmasıyla, ikincisi ise kaolinizasyonla sebeplenene hidrotermal alterasyon olarak düşünölebilir.

1.3. Jeotermal Sahaların Jeofizik Yöntemlerle Araştırılması

Jeotermal alanların tipik yapılarını ortaya çıkartmak için jeofizik yöntemler sıkça ve başarılı olarak kullanılmaktadır. Jeotermal sahalara göreceli olarak diğere alanlara nazaran fiziksel farklılıklar gösterirler ve bu değışiklikleri ortaya çıkarabilecek jeofizik yöntemlerle bu tip sahalara belirlenebilir. Sahadaki problemlere uygun olarak temel jeofizik yöntemler uygulanarak jeotermal sistem hakkında detaylı bilgi sahibi olunabilmektedir. Bu bölümde ölkemiz ve dünyada jeotermal alan araştırmaları için en çok kullanılan jeofizik yöntemler gözden geçirilecek ve çeşitli araştırmacıların yaptığı incelemelere ve sonuçlarına yer verilecektir.

Elektrik özdirenç yöntemleri kuşkusuz jeotermal aramalarda önemli bir yer tutmaktadır. Jeotermal sistemde yer alan formasyonların içerdikleri tuzlu ve sıcak su, elektrik özdirenç değeriinin aşırı düşmesine neden olmaktadır. Yani, sıcak suyun bulunduğu alanlar, göreceli olarak çevre kayalarlara göre çok daha iletken bir yapı sergilemektedir. Buda jeotermal sistemlerde oldukça önemli bir anomali teşkil etmektedir. Bu nedenle jeotermal alan araştırmalarında en çok kullanılan jeofizik yöntemlerden bir tanesi doğru akım elektrik özdirenç yöntemidir. Maddelerin sıcaklıkla değışen önemli fiziksel parametrelerinden bir tanesi maddenin özdirencidir ve jeotermal araştırmalarında en çok kullanılanıdır (Ussher ve diğ., 2000). Genel olarak, jeotermal sistemlerde sıcaklıkla oluşan tuzluluk ve sonuçta kile dönüşen bozuşmalar oldukça düşük özdirenç değeriileri vermektedir. Düşük özdirenç anomalilerinin belirlenmesi ise jeotermal alan araştırmalarında ana hedef haline gelmektedir. Ussher ve diğ. (2000) farklı alanlarda ayrı veriler üzerinde jeotermal alanlardaki özdirenç değeriilerinin jeotermal sistemin en üstünde yer alan sıcaklığı 70-200 °C olan zonda hakim olarak sıcaklık ve iletken killerin (smektit vb.) varlığı nedeniyle düşük özdirençli olacağını belirtilmiştir. Sıcaklık ve iletken killeri bu sıcaklık mertebelerinde bilinen hidrotermal bozuşma ürünleridir. Bu tip iletken zonlarda akışkan içindeki tuzluluğun özdirenç üzerine olan etkisi diğere etkenlere göre çok daha azdır. Özellikle 20-150 °C sıcaklık aralığında özdirenç 10 kat kadar

düşebilmektedir. Bir jeotermal sistemin daha sıcak olan zonları yüksek öz direnç ile karakterize edilir. Gözeneklilik derinlikle azalır ve bu azalma öz direncin artmasına neden olur. Yüksek sıcaklıklarda smektit, illit veya klorit türü killer oluşabileceğinden kısmen yüksek öz direnç tepkisi verebilirler.

Tripp ve diğ. (1978) Roosevelt sıcak su kaynaklarında (ABD) yapmış oldukları Schlumberger ölçülerinin sonuçlarını bir ve iki boyutlu olarak modelleyerek bir tuz domunun teşkil ettiği fay zonu civarında 5 Ωm ' ye kadar inen düşük öz direnç zonunu belirlemişlerdir. Bu düşük öz direnç değeri muhtemelen suya doygun kayacın aşırı derecede ayrışmasından ileri gelmektedir. Fayın batı kesiminde rastlanan 12 Ωm ' lik öz direnç değeri ise muhtemelen tuzlu suyun jeotermal sistemden alüvyon ve aşırı derecede ayrışmış kaya zonuna doğru ilerlemesi sonucunda elde edilmiştir. Geçirimsiz, altere olmamış ve yüksek öz direnç değerlerine sahip temel kayanın bu iletken birimleri altında yer aldığını belirtmişlerdir.

Harthill (1978) Imperial Vadisi' nde (California, ABD) dört-kutup öz direnç çalışması yapmıştır. Dört-kutup öz direnç metodu, kare dalga akımından oluşan iki adet ortogonal bipol kaynak ve elektrik alanın ikişer ortogonal kablo alıcılarıyla ölçülmesi ile yapılmaktadır. Alanda yapılan çalışma, Imperial Vadisi' ndeki bilinen jeotermal alanlarla bilinmedik olanları kıyaslamak amacıyla yapılmıştır. Geniş bir dairesel alanı teşkil eden araştırma sahasının bilinen jeotermal alanlarla aynı karakterde olduğu belirlenmiştir. Öz direnç verilerinden muhtemel jeotermal sahanın yaklaşık 200 °C sıcaklıkta ve 20.000-50.000 ppm tuzlulukta sıcak su sağlayacağı öngörülmüştür.

Hoover ve diğ. (1978) batı Amerika' daki 40' tan fazla jeotermal sahada yapılmış olan manyetotellürik çalışmalarını derlemiş ve yorumlamışlardır. Bu çalışmada elde edilen ortalama öz direnç değerleri ile bilinen jeotermal kaynak alanlarındaki değerler karşılaştırılmış ve düşük öz dirençli alanların geniş jeotermal sistemleri olan ve yüksek ısı akısı değerleri vermeyen alanlarla ilişkili olabileceği belirtilmiştir.

Şahin (1995) Akyazı-Kuzuluk jeotermal sahasının jeotermal potansiyelini ortaya koymak amacıyla alanda öz direnç, doğal potansiyel ve radon gazı ölçümleri yapmışlardır. Uygulama sonucunda jeotermal aktivitenin belirlendiği anomali

sınırları içerisinde 3 adet sondaj açılmıştır. Bu üç kuyudan 84 °C sıcaklıkta ve toplam 170 lt/sn debide sıcak su akışkanı elde edilerek ekonominin kullanımına sunulmuştur. Yücel (1995) tarafından Aydın-İmamköy jeotermal alanında düşey elektrik sondaj ve kontrol kaynaklı manyetotellürik çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmalar neticesinde, sahada hidrotermal akışkan etkisiyle oluşmuş düşük özdirençli seviyelerin bulunduğu, mevcut graben yapısı, çalışma alanında D-B yönlü faylar ve bunu yaklaşık dik kesen K-G yönlü fayların bulunduğu ve düşük özdirençli bölgelerin bu fay sistemleri çevresine denk geldiği belirlenmiştir.

Mabey ve diğ. (1978) Raft Deresi' nde (ABD) vadinin genel litolojisi ve yapısını ortaya koymak amacıyla gravite, hava manyetik ve tellürik akım çalışmaları yapmışlardır. Gravite verilerinden yararlanarak Senozoyik kayaçlarının yaklaşık kalınlıklarını ve büyük normal fayların yerlerini, hava manyetik verilerinden ise volkanik birimlerin uzanımlarını belirlemişlerdir. Tellürik akım verilerinin her iki yöntemi destekler nitelikte olduğu belirtilmiştir. Elde edilen düşük özdirençli alanın jeotermal rezervuar alanı olduğu belirlenmiştir.

Jeotermal sahalarda yerin içinde doğal olarak gelişen sıcak zonlar bulunur. Buralarda ısınan suyun, gözenek basıncını ve çökelti yoğunluğunu arttırması, çevresi ile bir basınç, sıcaklık ve iletkenlik ayrılığı doğurmaktadır. İşte böyle ortamlar sınırlı, düşük özdirençli ve iletken zonlar olarak algılanır (Şahin, 1995). Genellikle jeotermal alanlar sıcak su kaynakları, hidrotermal çökeller ve bozuşum ürünleri ile karakterize edilirler. Jeotermal akışkan içeren hazne kaya ve onu çevreleyen ortam, termal özellik göstermeyen alanlara göre göreceli olarak fiziksel değişiklikler gösterir. Bu fiziksel farklılıklar yöntemlerin kullanılmasıyla belirlenebilmekte ve jeotermal rezervuarın yeri, derinliği ve yapısıyla ilgili çok önemli bilgiler elde edilebilmektedir. Jeotermal alan araştırmalarında, anomali oluşturacağı düşünülen fiziksel parametreler net bir şekilde belirlenmelidir. Daha sonra, bu parametre değişimlerine en iyi cevabı verecek jeofizik yöntem seçilmeli ve uygulanmalıdır.

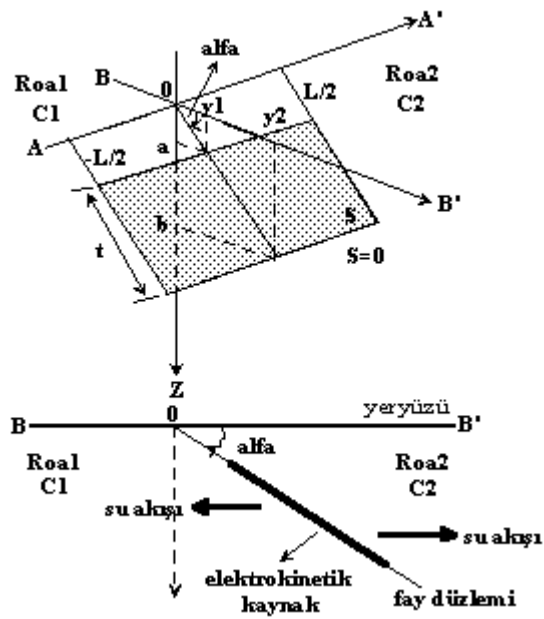
Jeotermal sahalarda gözlenen sıcaklık ve hidrotermal sıvının döngüsü, yüzeyde bir elektrik potansiyel alanı oluşturur (Çağlar ve Demirörer, 1999). Bu tip elektrik alanlar, yeraltındaki ısıtıcı kaynak etrafında hareket eden hidrotermal akışkanın oluşturduğu akma (streaming) potansiyelinin sonucudur (Fitterman ve Corwin,

1982). Bu durum, doğal potansiyel yöntemi ile ölçülebilen bir elektrokinetik olayı ortaya çıkarır. Ogilvy ve diğerleri (1969), bir rezervuarın kaya tabanındaki fissürlerinde oluşan su sızıntı zonlarındaki 50 mV' a kadar olan değişimleri ölçerek, yer altı sularının akışıyla oluşan doğal potansiyel alanlarını tespit etmişlerdir. Bogoslovsky ve Ogilvy (1973), 16 metre derinliğindeki pompanın çalıştığı alanda, yer altı suyu depresyon konisini yansıtan 55 mV' luk pozitif anomali ölçmüşlerdir. Doğal potansiyel anomalilerinin en geçerli sebebi akma (streaming) potansiyelidir (Zohdy ve diğ. (1973) ve Anderson ve Johnson (1976)). Ölçülmesi beklenen anomalinin polaritesi, elektrokinetik gerilim katsayılarının işaretine ve basınç gradyanının yönüne bağlıdır. Söz konusu değişkenlere bağlı olarak anomalinin polaritesi değişkenlik gösterebilir (Corwin ve Hoover, 1979). Sıcak suyun yüzeye çıkabilmesi için kırık sistemlerinin var olması gerekmektedir. Jeotermal alanlarda gözlenen fay, çatlak ve kırık kuşakları, yerel veya bölgesel iletkenlik, basınç, sıcaklık ve yoğunluk farklılığının sınırlarını ortaya koyan çizgisel yapılardır (Çağlar, 1991). Değinilen bu fiziksel farklılıklar fay düzleminin bir tarafında artı, diğer tarafında ise eksi işaretli iyonların toplanmasına neden olurlar. Yani, kırık sistemlerine dik alınan doğal potansiyel ölçülerinde artıdan eksiye ya da eksiden artıya geçen bariz anomaliler gözlemlenir.

Aktif fayların civarında çözelti-çözelti veya su akışının oluşturduğu bir elektrokinetik gerilim mevcuttur. Örneğin 1986 yılındaki Rikuu (Japonya) depreminin ($M=7.2$) olduğu yörede bulunan bu tür bir aktif fayın civarında (fay düzleminin iki yanı arasında) 20-50 mV' luk bir gerilim farkının olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle aktif fayların aranmasında doğal potansiyel yönteminin özellikle kullanılması yaygınlaşmıştır (Çağlar, 1991).

Corwin ve Hoover (1979) birçok alanda gözlenen jeotermal aktivite sonucu oluşan doğal potansiyel anomalilerini incelemişler ve bu anomalilerin hem termoelektrik hem de elektrokinetik kutuplaşma sonucu oluşabileceğini belirtmişlerdir. Dönüşümsüz termodinamik ilkelere göre yapılan çalışmalar sonucunda, basit bir küre modeli için elektrokinetik kutuplaşmayla elde edilen potansiyellerin genlikleri, termoelektrik kutuplaşma ile elde edilenlere göre daha büyüktür. Birçok jeotermal alanda yapılan doğal potansiyel çalışmalarında 50 mV ile 2 V arasında genlik değerleri elde edilmiştir. Polarite ve dalga şekilleri pozitif, negatif, bipolar ve

Eğimli bir fay civarındaki tektonik gerilmenin neden olduğu çözelti akışı bu fayın hangi bölgesini etkiliyorsa o kısımda bir elektrokinetik gerilim ortaya çıkacaktır. Bu özellikteki bir bölgenin şematize edilmiş hali Şekil 1.14' te sunulmuştur.



Araştırma alanında ölçülen SP anomalilerinin değerlendirilmesinde Murakami ve diğ. (1984) vermiş olduğu eğimli fay modeli kullanılmıştır. Eğimli fay modelinde ölçülen potansiyel izleyen bağıntıyla

$$V(x,y,0)= \frac{S.\sin(\psi)}{\pi.(1+\sigma_{1/2}/\sigma_{2/1})} \left[-\arctan \left\{ \frac{C.(x-l/2)}{y.\sin(\psi).(C^2+y^2.\sin^4(\psi)+(x-l/2)^2.\sin^2(\psi))} \right\} \right. \\ + \arctan \left\{ \frac{C.(x+l/2)}{y.\sin(\psi).(C^2+y^2.\sin^4(\psi)+(x+l/2)^2.\sin^2(\psi))} \right\} \\ \left. + \arctan \left\{ \frac{D.(x-l/2)}{y.\sin(\psi).(D^2+y^2.\sin^4(\psi)+(x-l/2)^2.\sin^2(\psi))} \right\} \right]$$

$$- \arctan \left\{ \frac{D \cdot (x+l/2)}{y \cdot \sin(\psi) \cdot (D^2 + y^2 \cdot \sin^4(\psi) + (x+l/2)^2 \cdot \sin^2(\psi))} \right\}, \quad (1.1)$$

ve

$$C = b - (y \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi), \quad (1.2)$$

$$D = a - (y \cdot \sin \psi \cdot \cos \psi),$$

şeklinde verilir. Bu denklemlerde S akma gerilimi sabitini (mV), σ fayın iki kanadındaki iletkenlik değerlerini (Ωm), a elektrokinetik kaynak düzleminin üst noktasının yüzeyden uzaklığını (m), b elektrokinetik kaynak düzleminin alt noktasının yüzeyden uzaklığını (m) ve ψ fayın dalım açısını temsil etmektedir.

2. ARAZİ GÖZLEMLERİ

Sahadaki genel incelemeler sırasında ılık su ve gaz çıkışlarının yanında çeşitli yüzey etkileri de dikkatli bir şekilde incelenmiştir. Kısmen ılık su varlığı belirlenen göletlerde ve sularda, kabarcıklar şeklinde gaz çıkışlarının olup olmadığı takip edilmiştir. Ilık suyun yüzeye çıkması ve ani soğuması ile oluşan limonitleşmeler dikkatlice takip edilmiştir. Bu limonit zonlarının özellikle ılık su göletlerinin soğuk su taşıyan dere kolları ile kesiştiği yerlerde daha yaygın olarak bulunduğu gözlemlenmiştir. Limonit zonları bir ısınmanın ve sonrasındaki soğumanın bir göstergesi olabilir. Ilık su ve gaz çıkışlarının yaşandığı göletlerde bulanıklık, eriyik malzeme varlığının kanıtı olabileceğinden ayrıca dikkatle göz önüne alınmıştır. Ayrıca, soğuk ortamlarda yaşayamayacağı bilinen ve soğuk su ortamlarında gözlemlenemeyen kurbağa, solucan, bakteri kolonileri gibi hayvanların söz konusu ılık su göletlerinde bulunup bulunmadığı takip edilmiştir. Söz konusu sahada kış aylarında su ve toprağın donduğu düşünülürse bu önemli bir emare sayılabilir. Ayrıca, ılık su ve gaz çıkışlarının yaşandığı alanlarda üstte yer alan bitkisel toprak birimlerinde gözlemlenen yoğun ayrışmışlık ılık suların etkisiyle gerçekleşmiş olabileceğinden ayrıca dikkate alınmıştır.

Bölge sakinlerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda, termal anomalilerin gözlemlendiği yaklaşık 21 km²'lik alanda toprak ve kaynak sularında sıcaklık ölçümleri yapılmış ve sıcak su emaresi olabilecek unsurlar (bakteri kolonileri, kristallenmeler, böcekler vs.) belirlenmiştir. Bu aşamadaki incelemelerin amacı termal anomalinin yoğunlaştığı yerleri belirlemek ve bu anomaliye neden olan kırık sistemini gözlemlenektir. Bu kriterler göz önüne alındığında üç adet potansiyel saha belirlenmiş ve Şekil 2.1' de dikdörtgenlerle gösterilmiştir. Bunlardan en güneyde yer alan Akçaağıl göl yamacı (Saha-1), termal anomaliler göstermesine rağmen beslenme alanı oldukça dardır ve çığ ve heyelan gibi afet riskleri içermesi göz önüne alındığında pratikte işletilmesi olanaksızdır. Saha-2 ve Saha-3 olarak isimlendirilen alanlarda beslenme olanaklarının daha iyi, çatlak-kırık sistemlerinin oldukça gelişmiş olduğu belirlenmiş ve ayrıntılı olarak incelemeye değer bulunmuştur.

2.1. Saha-1: Akcaağıl Göl Yamacı

Bu saha Anzer vadisinin en güney kısmının doğu yamacında bulunan Bayburt geçidine yakın mevkide yaklaşık olarak 2650-2800 m kotları arasında yer almaktadır. İsmiini yakınında yer alan Akçaağıl gölünü göz önüne alarak verdiğimiz sahanın en karakteristik özellikleri Anzer deresinin batı yamacında Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi geniş bir alanı kapsayan yoğun hematit ve limonitleşmelerdir. Şekilde yamacın çeşitli yerlerinde gözlemlenen ılık ve soğuk su çıkışlarının yerleri görülmektedir.

(A)



(B)



Şekil 2.2 Yamaçta gözlemlenen limonitleşme (A) ve tipik bir ılık su çıkışının yakın görüntüsü (B).

Bu sahadaki çatlak ve kırık sistemleri hakim olarak doğuya ve güneye dalımlı olarak gelişmiştir. Şekil 2.3’ te gösterilen resim güneye bakılarak inceleme sahasından çekilmiştir ve görüntüdeki tepe Bayburt il sınırını ve su bölümünü teşkil etmektedir. Bu alanda yataya yakın doğu-batı uzanımlı kırık sistemleri dikkat çeken bir unsur olup bu kırıkların baskın dalım yönleri güneye doğrudur. Bu kırık tipleri Anzer vadisi boyunca çeşitli yerlerde gözlemlenebilmektedir. Yani, vadi boyunca doğu-batı yönlü ve güney dalımlı kırıklar mevcuttur. Şekil 2.3’ te görülen şevde bu kırıklara dik yönde (düşey) gelişmiş bir diğer kırık sistemine rastlanmıştır. Bütün bu kırık sistemlerinin oluşum nedenleri ilgi alanımızın dışında olmasına karşın bazıları soğuma çatlakları bazıları ise tektonik kökenli olabilir.



Şekil 2.3 Anzer vadisi boyunca gelişmiş tipik kırık sistemlerini gösteren fotoğraf. Kırmızı çizgi ile gösterilen kırıklar yaklaşık doğu-batı uzanımlı ve güneye dalımlıdır. Şevde bu kırıklara dik olarak gelişmiş bir diğer kırık sistemine de rastlanmıştır.

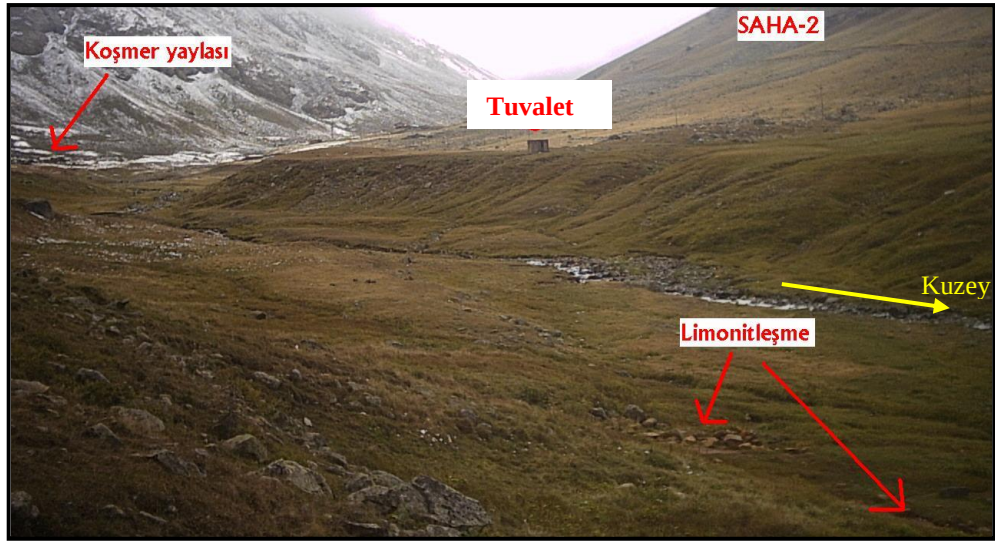
Sahada yüzey sularının yaklaşık olarak 4-7 °C iken ılık suların çıkış yaptığı alanlarda ise sıcaklığın yer yer 18-21 °C’ lere ulaştığı gözlemlenmiştir. Şekil 2.2 (B)’ deki fotoğrafın alındığı anda yüzey sularının sıcaklığı 4 °C iken ılık suyun çıkış yaptığı alanda 14 °C sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Bu sahada yüzey suları ile ılık sular

arasındaki en büyük farkın 10-14 °C civarında olduğu belirlenmiştir. Bu saha göz önüne alındığında yapılan sıcaklık ölçümleri her ne kadar bir termal anomalinin varlığına işaret etmiş olsa da, beslenme koşulları yetersizdir ve bu çalışmada daha fazla incelemeye değer görülmemiştir.

2.2. Saha-2: Koşmer ve Anzer Derelerinin Kesiştiği Saha

Şekil 2.4' te gösterilen saha, Anzer deresi kenarında betonarme olarak inşa edilmiş ve civarda en belirgin referans noktası olabilecek olan tuvaletin karşısında ve derenin doğu yakasında yer almaktadır. Burası aynı zamanda Anzer yayla şenliklerinin yapıldığı alandır. Alandaki limonitleşmeler bölge sakinleri tarafından “paslı su” olarak nitelendirilmekte ve alan şenlikler dışında da bu suyun göz, böbrek vb. sağlık problemlerine iyi geldiğine inanıldığı için sürekli ziyaretçi akınına uğramaktadır.

Sahada bulunan su göletleri dikkatlice incelendiğinde gaz çıkışlarıyla birlikte ılık su çıkışları da göze çarpmaktadır. Göletlerin oluşması da kanımızca gaz çıkışları neticesinde gerçekleşmiştir. Ayrıca gölet sularında madde çözünmüşlüğü yer yer gözlemlenebilen bulanıklıktan anlaşılmaktadır. Bu göletlerde yaygın olarak rastlanan ve sıcak su çalışmalarında önemli bir emare olan bakteri kolonileri ve solucan vb. hayvanların görülmesi sahanın potansiyeli konusunda kanıtları arttırmaktadır. Sahada toprağın büyük bir kısmının kışın donduğu düşünülürse ve donma derinliğinin onlarca santimetre olduğu göz önüne alınırsa bu tür canlıların böyle bir ortamda gözlenebilmesi dikkate değer bir kanıttır. Dünyada birçok jeotermal sahada benzer gözlemlerin yapıldığı rapor edilmiştir (örneğin Pirajno, 1992). Alanda ılık suların çıkış yaptığı bir gölette ara ara gaz çıkışları gözlenmektedir (Şekil 2.5). Ayrıca buralardan çıkış yapan ılık suların soğumasıyla oluşan limonit zonları azda olsa mevcuttur. Sahada hava sıcaklığının 1°C, dere sıcaklığının 6-7 °C ve yüzey sularının yaklaşık olarak 4-7 °C olduğu bir anda okunan en yüksek su sıcaklığı 13 °C civarındadır. Göletlerdeki sıcaklığın en büyük değeri gaz çıkışı gerçekleştiği anda olmakta ve bir sonraki gaz çıkışına kadar sıcaklık sistematik olarak düşmektedir.



Şekil 2.4 Saha-2 alanını gösteren fotoğraf. Bakış yönü güneyi göstermektedir.

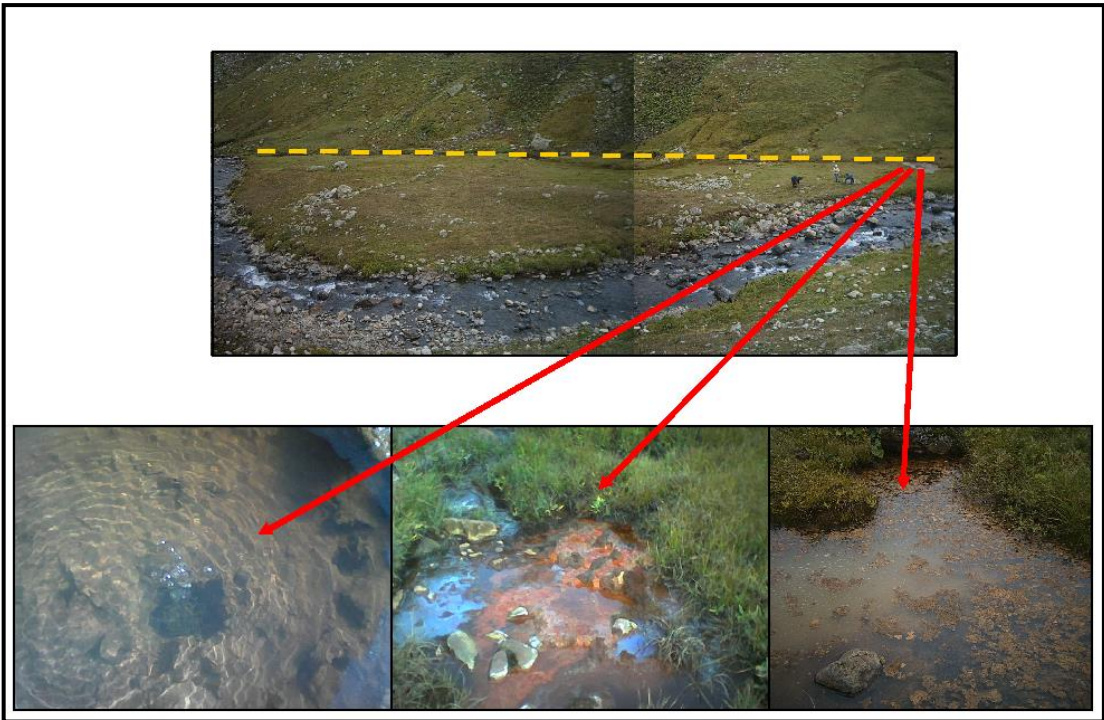


Şekil 2.5 Saha-2' ye ait ılık su ve gaz çıkışlarının gözleendiği gölet. Yüzey sularının sıcaklığının 4-7°C, hava sıcaklığının 1-2 °C olduğu bir zamanda sıcaklığın 13° C' ye ulaştığı örnek bir gölet. Hakim rengin demir oksit tonlarında olduğu gölette bakteri kolonileri göze çarpmaktadır.

2.3. Saha-3: Buzluğan ve Anzer Derelerinin Kesiştiği Saha

Şekil 2.6 sahanın genel bir görüntüsünü ve gözlenen hidrotermal yüzey etkilerini göstermektedir. Şekilde üstteki fotoğrafta çayırılık alan olarak isimlendirilmiş yer görülmektedir. Ilık göletlerin bu zon boyunca çeşitli yerlerde olduğu gözlenmektedir. Altındaki fotoğraflarda ise soldan sağa sırasıyla gaz ve ılık su çıkışları, limonitleşme, eriyik madde ve bakteri kolonileri gibi yüzey etkileri görüntülenmiştir.

Batıdan Buzluğan deresi, doğudan ise Kürtyurdu deresinin Anzer deresiyle buluştuğu yerle çevrili alandır ve Ballıköy' e (Anzer) oldukça yakın bir mesafededir. Bu saha aynı zamanda bir sonraki bölümde tartışılan, Koşmer vadisinden Kürtyurdu vadisine uzandığı düşünülen kırık sistemi ile Kürtyurdu vadisinden Buzluğan vadisine devam ettiği düşünülen kırık sistemlerinin kesiştiği alanda yer almaktadır. Bu saha gözlem açısından Saha-2' ye oldukça benzerdir. Sıcaklık ölçümleri yapıldığı sırada hava sıcaklığı 2 °C' nin altında iken derenin sıcaklığı 6-7 °C civarındaydı. İrili ufaklı göletlerden benzer gaz ve ılık su çıkışları gözlemlenmiştir. Ancak ölçülebilen en büyük sıcaklık bu sahada diğerlerinden farklı olarak 23 °C okunmuştur. En yüksek sıcaklığın okunduğu gölette sıcak sularda gözlemlenen bulanıklık ve bakteri kolonileşmesi ve suyun göleti terk edip yüzey suları ile birleştiği yerlerde sıcaklığın 11 °C' nin altına düştüğü yerlerde limonitleşmenin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca göletlerin olduğu yerlerde ve civarında bitkisel toprak sıcaklığı yüzeyden 20 cm derinlikte 13 °C iken sahanın dışındaki yerlerde bu değer yaklaşık olarak 5-7 °C civarında olduğu gözlemlenmiştir. Bu büyüklükte bir sıcaklık değeri diğer iki sahada hiçbir şekilde gözlemlenmemiştir.



Şekil 2.6 Saha-3' ün genel görüntüsü ve yüzey etkileri.

2.4. Saha Gözlemlerinin Genel Değerlendirmesi

21 km²' lik araştırma sahasında yapılan gözlemsel çalışmalar ve su sıcaklık ölçümleri sonucunda üç adet saha belirlenmiş ve çalışmalar bu sahalarda yoğunlaştırılmıştır. Bu çalışmalarda her üç alanda da limonit zonları, demir oksit boyamaları ve hematitleşmeler, alterasyon zonları, ılık su ve gaz çıkışları, ılık ortamın bir yaşam alanı teşkil etmesinden üremiş solucan türü hayvanlar, bakteri kolonileri ve göletler içindeki çözünmüş maddelerden kaynaklanan bulanıklıklar gibi çeşitli hidrotermal yüzey etkileri belirlenmiştir. Saha-1 Akçaağıl göl yamacı alanı termal anomaliler göstermesine rağmen beslenme alanının küçük olması nedeniyle daha fazla incelemeye bu çalışmada değer görülmemiştir. Saha-2 ve Saha-3 olarak adlandırılan alanlar birbirlerine bitişiktir ve oldukça benzerdirler. Elde edilen termal anomaliler ve dünyada değişik yerlerde de örneklerinin çok olduğu bakteri kolonileri ve diğer organizmaların varlığı bu iki sahanın daha ciddi ve ayrıntılı bir şekilde çalışılmasını gerekli kılmıştır. Bu iki sahanın beslenme koşullarının Saha-1 alanına göre oldukça geniş olması, üretim faaliyetleri için elverişli olması ve detaylı araştırma faaliyetlerinin yürütülmesi için değer olduğu kanaati oluşmuştur.

Yüzeyde gözlemlenen sıcaklık dağılımını göz önüne alarak hangi derinlikte ne kadar bir sıcaklığın ölçülebileceğini tahmin edebilecek bir yöntem ne yazık ki yoktur. Bu tür tahminler genellikle jeokimya analizlerinden yapılabilmektedir. Ancak bu tür jeokimya analizleri bu tezin kapsamında değildir. Tablo 2.1' de üç sahada yapılan sıcaklık ölçümlerinin sonuçları özetlenmektedir. Sıcaklık ölçümleri yüzey suları, hava, bitkisel toprak (yüzeyden 20 cm) ve ılık suların çıkış yaptığı gölet sularında olmak üzere 0.1 °C ölçü hassasiyetli dijital termometre ile yapılmıştır. Alınan ölçülere göre bitkisel toprak ve göletlerdeki su sıcaklıklarının en yüksek olduğu alan Saha-3 olarak göze çarpmaktadır. Diğer sahalarda ılık sular ile yüzey suları arasındaki ısı farkları 7-9 °C iken Saha-3' te bu fark 17 °C mertebelerindedir. Diğer sahalara nazaran yüksek olan ısı farklarının Saha-3' te elde edilmesinin, bu alandaki çatlak-kırık sistemlerinin çok daha gelişmiş ve beslenme özelliklerinin daha güçlü olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, Saha-3' te elde edilen 16-17 °C' lik bir sıcaklık farkının ne anlama geldiğini anlayabilmek için basit bir fizik bağıntısından yararlanabiliriz. Hacmi ve sıcaklıkları belirli iki ayrı kaptaki su

kütlesinin birleştirilmesiyle oluşacak final sıcaklık en temel fizik kitaplarında bulunabilir.

Tablo 2.1 Sahalarda yapılan sıcaklık ölçümleri.

	SICAKLIK (°C)		
Lokasyon	Saha-1	Saha-2	Saha-3
Yüzey suları	6.5 ± 0.5	5.5 ± 1.5	6.5 ± 0.5
Hava	1 ± 0.5	1.5 ± 0.5	1.5 ± 0.5
Bitkisel Toprak	6 ± 1	6 ± 1	13 ± 1
Ilık Sular (maks)	21	13	23

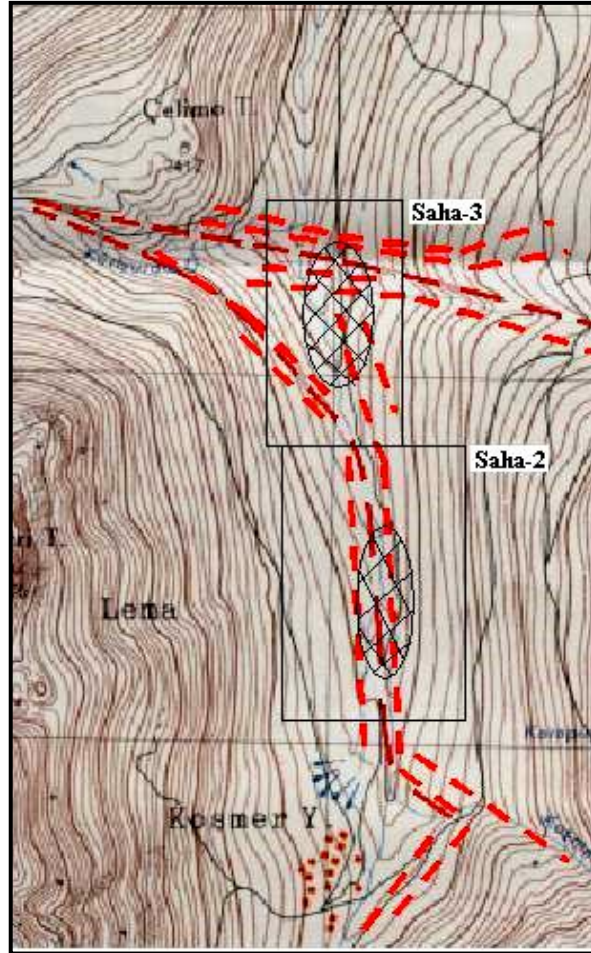
Basit bir hesaplamayla, 100 °C ve 1 lt hacmindeki su ile 4 °C ve 10 lt' lik su karıştırıldığında ısı farkı 8.73 °C, final sıcaklık 12.73 °C olarak, ya da 60 °C ve 1 lt hacmindeki su ile 4 °C ve 10 lt' lik su karıştırıldığında ısı farkı 5.09 °C, final sıcaklık 9.09 °C olarak elde edilmektedir. Bu hesaplar Tablo 2.2' de özetlenmektedir. Sahamızdaki mevcut duruma göz atacak olursak, sıcak suyun miktarı, kaynaktaki sıcaklığı ve kat ettiği mesafe bilinmemektedir. Buna ek olarak, yüzey akıntılarının ortalama sıcaklığı bilinse bile miktarı kestirilememektedir. Bu durumda eldeki veri sadece final sıcaklıktır. Yüzey akıntılarının ya da ılık suların girişim yaptığı soğuk suların ortalama başlangıç sıcaklığını bildiğimizi göz önüne aldığımızda final sıcaklık ile başlangıç sıcaklığı arasındaki ısı farkını bilmekteyiz. 1 lt hacmindeki 100 °C sıcaklığındaki su kütlesinin kendisinden 10 kat fazla hacme sahip 4 °C' lik suyun sıcaklığını 12.7 °C mertebelerine yükselttiği hesaplanmıştır. Buradaki 8.7 °C' lik ısı farkı ki başlangıç sıcaklık 4 °C ve su kütlelerinin hacimleri göz önüne alındığında aslında hiçte küçümsenmeyecek bir farktır. Bu bilgiler ışığı altında göletlere karışan sıcak suyun kabarcıklar göz önüne alındığında çok az olduğu, buna karşın sıcaklık farkının 16-17 °C olmasının kaynakta anlamlı olduğuna dair bir ipucu olarak ele alınabilir.

Tablo 2.2- Isı yayılımı deneyi.

Deney No	m₁ (lt)	m₂ (lt)	T₁ (°C)	T₂ (°C)	T_f (°C)
1	1	10	100	4	12.73
2	1	10	60	4	9.09

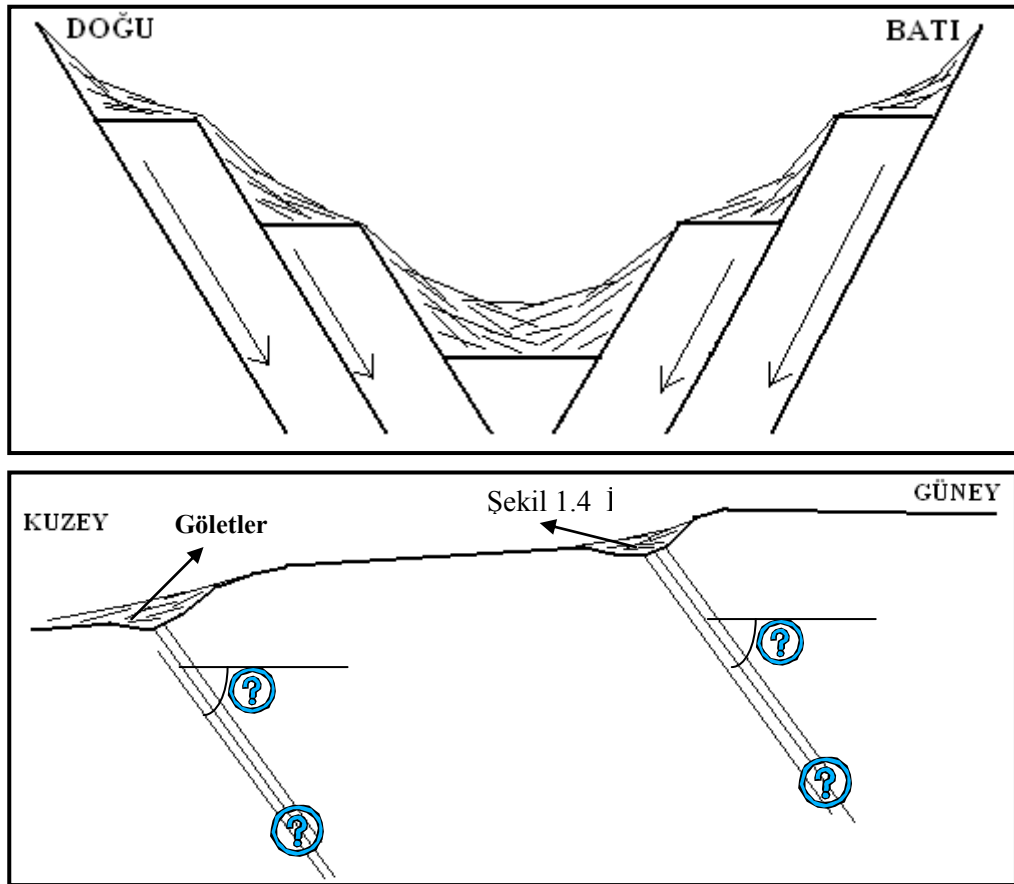
2.5. Kırık Sistemleri ve Bir Sonraki Araştırma Adımının Belirlenmesi

Yapılan gözlemler sonucunda Koşmer deresi ile Kürtyurdu deresi arasında uzanan yaklaşık KB-GD yönlü ve Buzluğan deresi ile Kürtyurdu deresi arasında uzanan yaklaşık D-B yönlü iki ana kırık sistemi belirlenmiştir (Şekil 2.7). Bu kırık sistemlerinden yaklaşık D-B doğrultulu olanları bu çalışmada oldukça önemlidir ve bunların karakterize edilmeleri gerekmektedir. Her iki yamaçta gözlemlenebilen yaklaşık K-G doğrultulu D-B dalımlı çöküntüler (normal faylanmalar) ve heyelanlar bir genişleme hareketine bağlı olarak gelişmiştir. Şekilde görülen taralı elipsler ise hidrotermal aktivitenin en yoğun olduğu alanları göstermektedir.



Şekil 2.7 Saha-2 ve Saha-3’ te tanımlanan kırık zonları. Sahada iki ayrı ana kırık sistemi ve bunlara bağlı olarak gelişmiş tali kırık sistemleri tanımlanmıştır. Birinci ana kırık Buzluğan ve Kürtyurdu vadileri boyunca devam etmektedir, ikincisi ise Anzer Vadisi’ ni açı ile keserek Kürtyurdu Vadisi’ ne doğru uzanmaktadır. Şekilde görülen taralı elipsler hidrotermal aktivitenin en yoğun olduğu yerleri göstermektedir.

Saha-2 ve Saha-3 doğu-batı yönlü, derin bir U tipi vadinin tabanıdır. Söz konusu vadinin doğu-batı ve kuzey-güney yönlü yapısal özelliklerini yansıtan görüntüler Şekil 2.8’ de gösterilmektedir. Şekil 2.8’ de üstte şematize edilen görüntüde Anzer vadisine etki eden muhtemel bir genişleme hareketiyle meydana geldiği düşünülen normal faylanmalar sonucunda oluşan çökme zonlarının yamaç molozları tarafından dolmasıyla vadi yamaçları teraslanmıştır. Alttaki şekilde ise Anzer deresi boyunca kendini gösteren olası yapı gösterilmiştir. Şekilde yer alan kırık zonları, yapılan gözlemsel çalışmalar sonunda belirlenmiştir. Ilık suların yüzeye çıkabilmeleri için böyle bir kırık sisteminin olması ve güneye doğru dalmaları gerekmektedir. Eğer bu hipotez doğruysa sıcak suyun güneye dalan kırıklar boyunca yüzeye çıkması beklenir. Jeofizik yöntemlerden yararlanarak Şekil 2.8’ de şematik olarak çizilen yapısal unsurların kanıtlanması gerekmektedir.

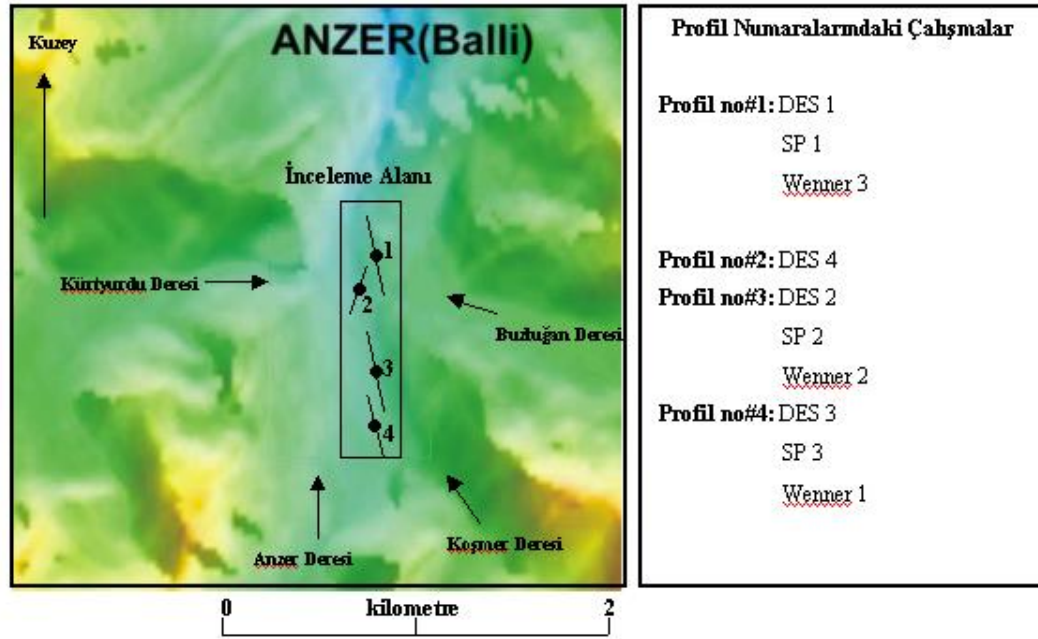


Şekil 2.8 Alanın doğu-batı ve kuzey-güney yönlü yapısal kesitleri. Kırık sistemlerinin eğimlerinin yönü ve büyüklükleri belirsizdir ve soru işaretleri ile gösterilmiştir.

3. JEOFİZİK ÖLÇÜMLER

Sahada yüzeyde kısmen gözlemlenen kırıkların devamları ve dalımları ile yer altının özdirenç özelliklerinin belirlenmesi amacıyla Saha-2 ve Saha-3 alanlarının jeofizik yöntemlerle araştırılması kararlaştırılmıştır. Saha-2 ve Saha-3’ te Bölüm 2’ de belirtilen kırık sistemlerini, dalımlarını ve bu kırıklar boyunca yüzeye sızan sıcak suların neden olabileceği SP anomalilerini ve sıcak suyun yaratabileceği düşük özdirençli zonu tespit etmek amacıyla jeofizik yöntemlerden yararlanılmıştır. Bu kapsamda literatür örneklerinde olduğu gibi alanda, derinlik-özdirenç değişimlerini belirleyip hidrotermal akışkan etkisi ile oluşabilecek iletken zonların tayini için Schlumberger elektrot dizilimli doğru akım elektrik özdirenç yönteminden yararlanılmıştır. Yatay süreksizliklerin tayini ve belirli derinliklerdeki yanal özdirenç değişimlerini incelemek için Wenner elektrot düzenli elektrik özdirenç kaydırma ölçüleri uygulanmıştır. Ayrıca, gözlemsel çalışmalar sonucu alanda yer aldığı düşünülen kırıkların yer ve dalımlarının tespiti amacıyla doğal potansiyel ölçüleri alınmıştır. Çalışılan sahanın uzak ve arazi koşullarının ağır olması nedenlerinden dolayı optimum sayıda ölçüm yapılması gerekmektedir. Doğru akım elektrik ve SP yöntemleri, pratik ve en uygun olmaları nedenlerinden dolayı tercih edilmişlerdir.

Jeofizik ölçülerin uygulandığı saha morenlerle dolu ve yer yer elektrot çakmaya müsait değildir. Jeofizik ölçüler alandaki topografyaya uyum sağlayacak şekilde aynı aksta, yaklaşık K-G yönlü profiller şeklinde alınmıştır. Ölçülerin alındığı doğrultular Şekil 3.1’ de sunulmuştur. Toplam dört adet düşey elektrik sondaj (Schlumberger), üç adet elektrik özdirenç kaydırma (Wenner) ve üç adet doğal potansiyel (SP) ölçümü yapılmıştır.

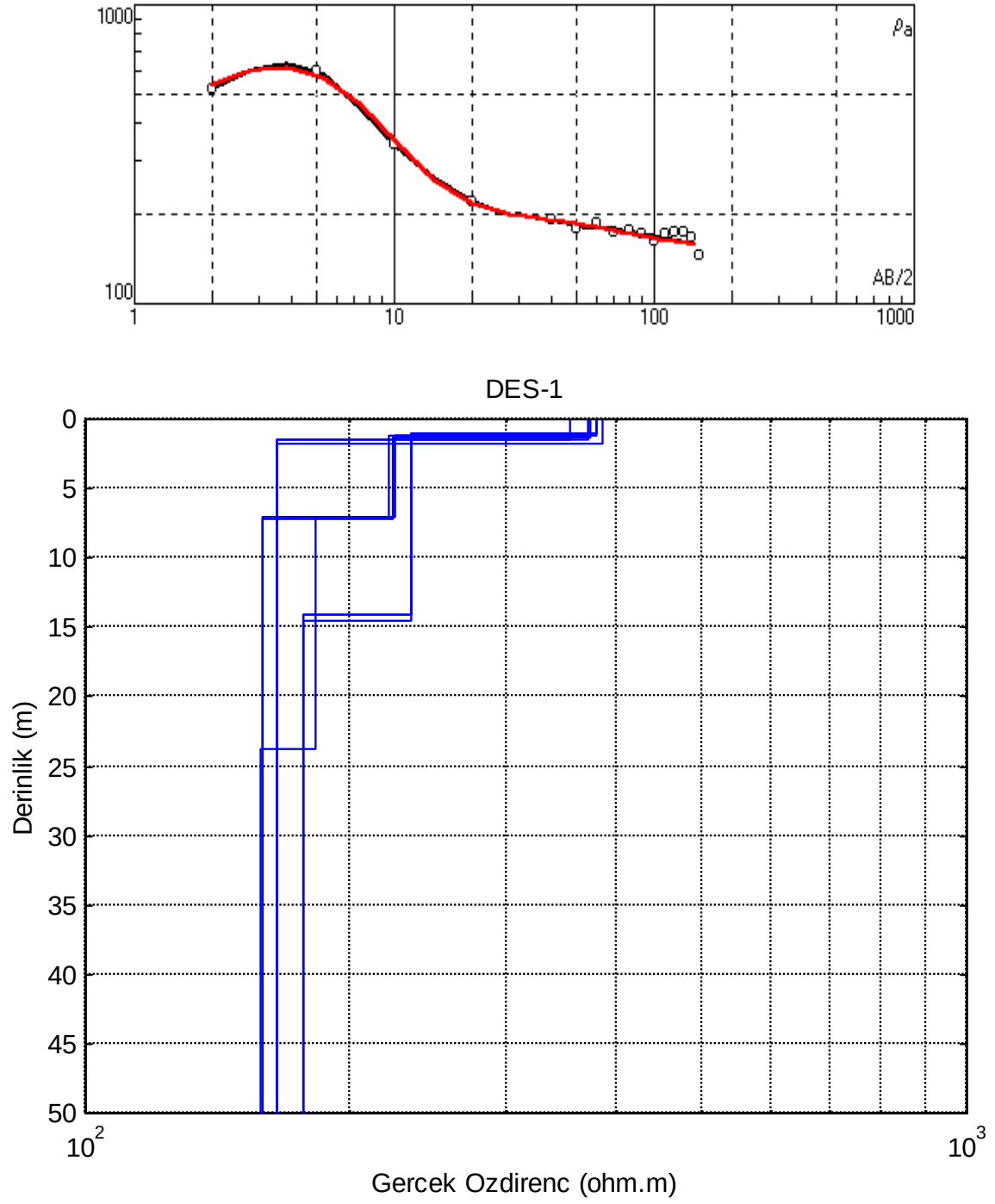


Şekil 3.1 Jeofizik ölçü lokasyon haritası.

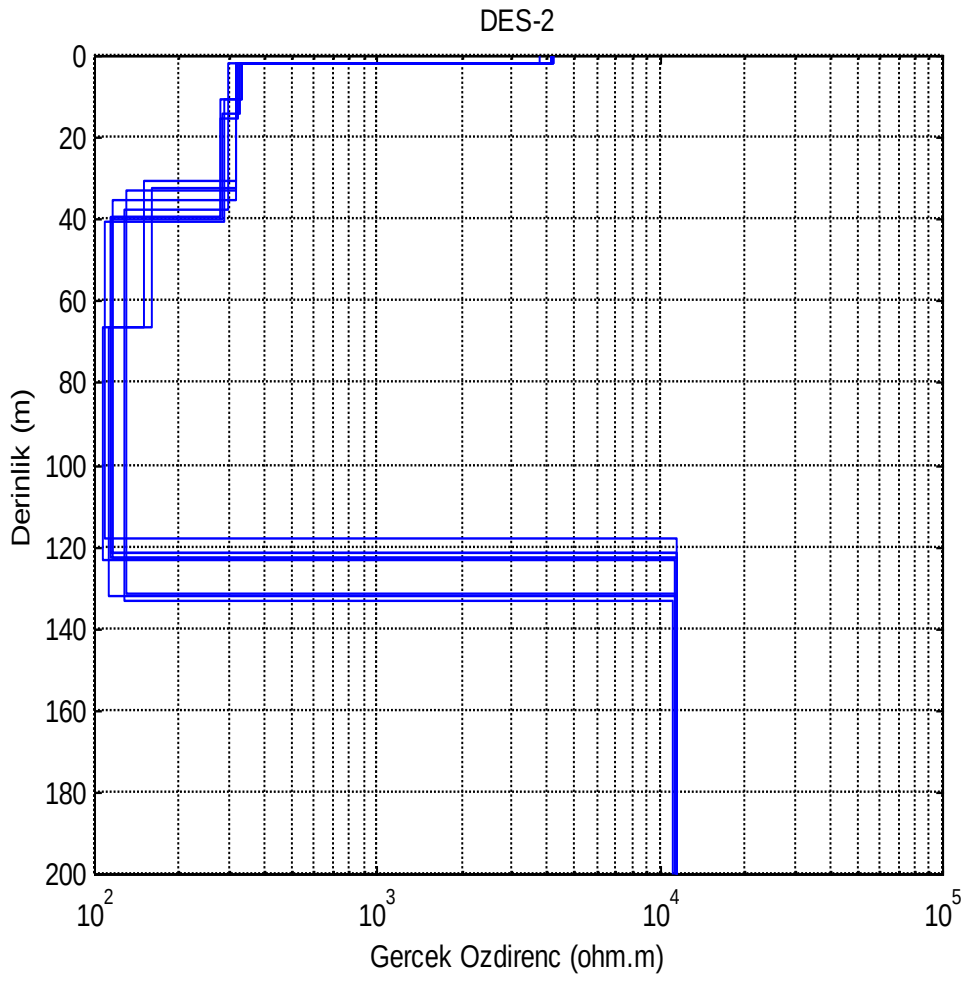
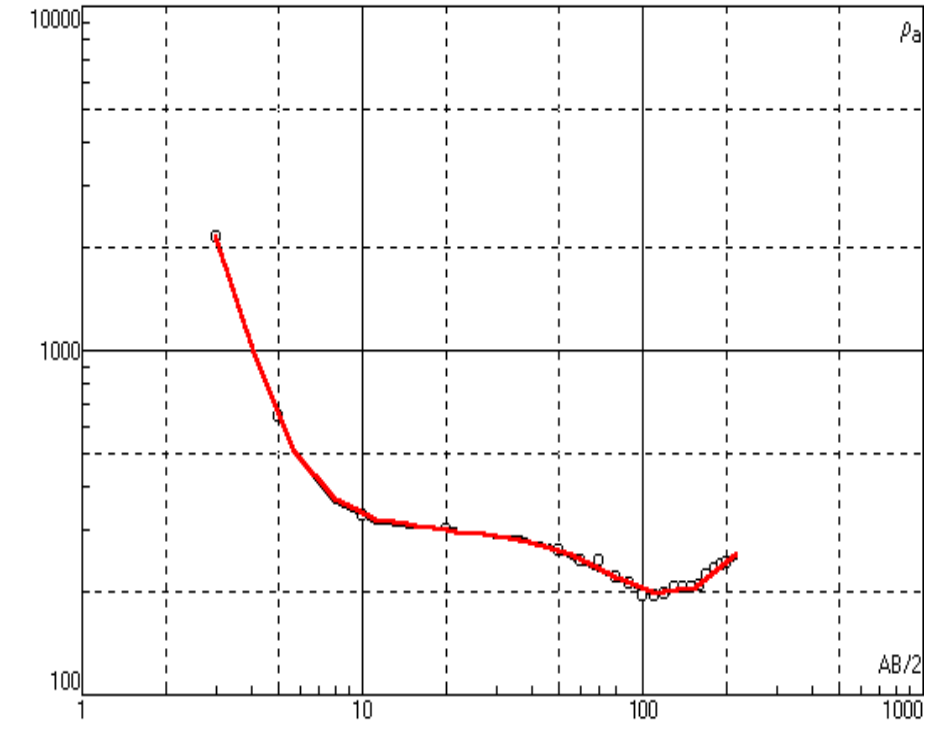
3.1. Düşey Elektrik Sondaj (Schlumberger) Ölçümleri

Düşey elektrik sondaj (DES) çalışmaları Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak uygulanmıştır. Ölçüler inceleme alanı topografyasının elverdiği ölçüde yaklaşık K-G doğrultularında alınmıştır. Anzer deresinin kuzey akış yönüne kıvrılarak devam etmesi ve dere düzlüklerinin yeterince geniş olmaması nedeniyle, alınan DES ölçümlerinin tek kol uzunlukları 60-200 m arasında değişmiştir. AB/2 mesafeleri DES-1 ölçüsünde 150, DES-2' de 200, DES-3' te 140 ve DES-4 ölçüsünde 60 metre olarak uygulanmıştır. Ölçümlerde METZ SAS-303 modeli öz direnç cihazı kullanılmıştır. Cihazın alıcı ve vericisi birleştirilmiş olup akım kaynağı olarak aküden yararlanılmıştır. Bu sistemde, yere verilen akım tam doğru akım olmayıp 0.3 Hz' lik kare dalgadır ve oluşturduğu gerilim değeri her iki polaritede okunur ve genlikler çıkartılarak ortalaması alınır. Sonuçta yere uygulanan akım neticesinde oluşan gerilim ölçülüp gürültüler sadeleşmektedir. Cihazın giriş empedansı yüksek seçilmiş ve yer-elektrot dokanak direncinin sistemi etkilemesi önlenmiştir. Ölçülen görünür öz direnç verileri IPI2WIN (<http://geophys.geol.msu.ru/ipi2win.htm>) elektrik öz direnç ters çözüm programı kullanılarak değerlendirilmiştir. Ters çözüm aşamasında, eşdeğer çözümler göz önüne alınmış ve derinliklerde oluşabilecek standart hatalar belirlenmiştir.

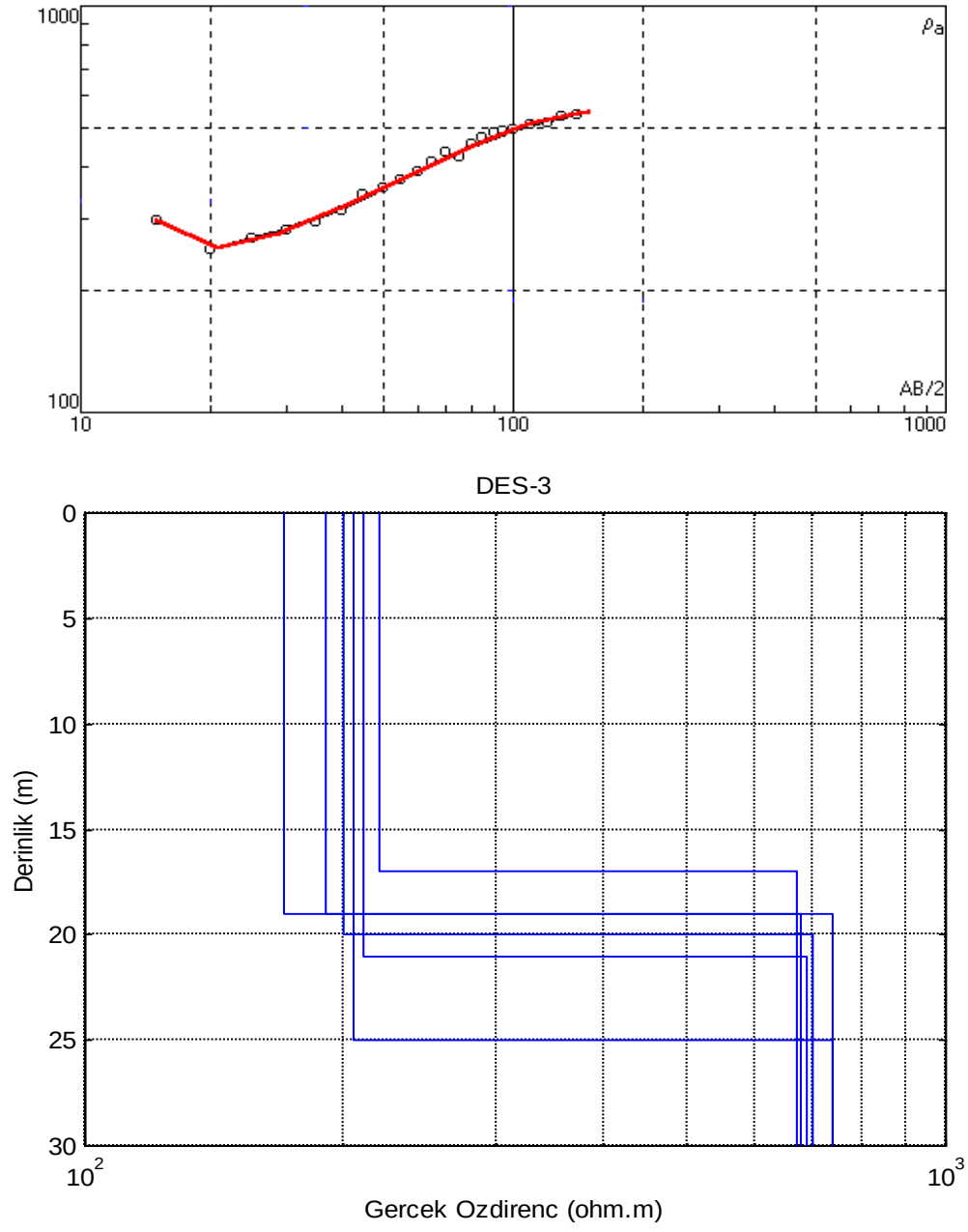
Şekil 3.2, DES-1 ölçüsüne ait görünür özdirenç eğrisini ve gerçek özdirenç kesitini göstermektedir. Şekilde ortalama 10 metreye kadar yaklaşık 380 Ω m olan özdirenç değeri daha derinlerde 200 Ω m' nin altına düşmektedir. Yarı sonsuz ortam yaklaşık 20 m derinlikten sonra başlamaktadır. Şekil 3.3, DES-2 ölçüsüne ait görünür özdirenç eğrisini ve gerçek özdirenç kesitini göstermektedir. Şekilde ilk 40 m civarında özdirençler 300 Ω m civarındayken, bu değerler 40-120 m seviyeleri arasında 100 Ω m' ye kadar düşmektedir. Yarı sonsuz ortam 120 m derinlikten sonra başlamaktadır ve gerçek özdirenci yaklaşık 10000 Ω m' dir. Şekil 3.4, DES-3 ölçüsüne ait görünür özdirenç eğrisini ve gerçek özdirenç kesitini göstermektedir. Ortalama 20 m derine kadar direnci yaklaşık 200 Ω m' lik yapıyı 20 m' den sonra 700 Ω m' lik bir yarı sonsuz ortam izlemektedir. Değerlendirmeler sonucunda yaklaşık 20 metre seviyesinden itibaren özdirenç değişimi olmadığından gerçek özdirenç yapı kesiti 30 metre derinliğe kadar gösterilmiştir. Şekil 3.5, DES-4 ölçüsüne ait görünür özdirenç eğrisini ve gerçek özdirenç kesitini göstermektedir. Ortalama 15 metre derinliğe kadar 20 Ω m' lik yapıyı 13 Ω m' lik oldukça iletken bir yarı sonsuz ortam izlemektedir.



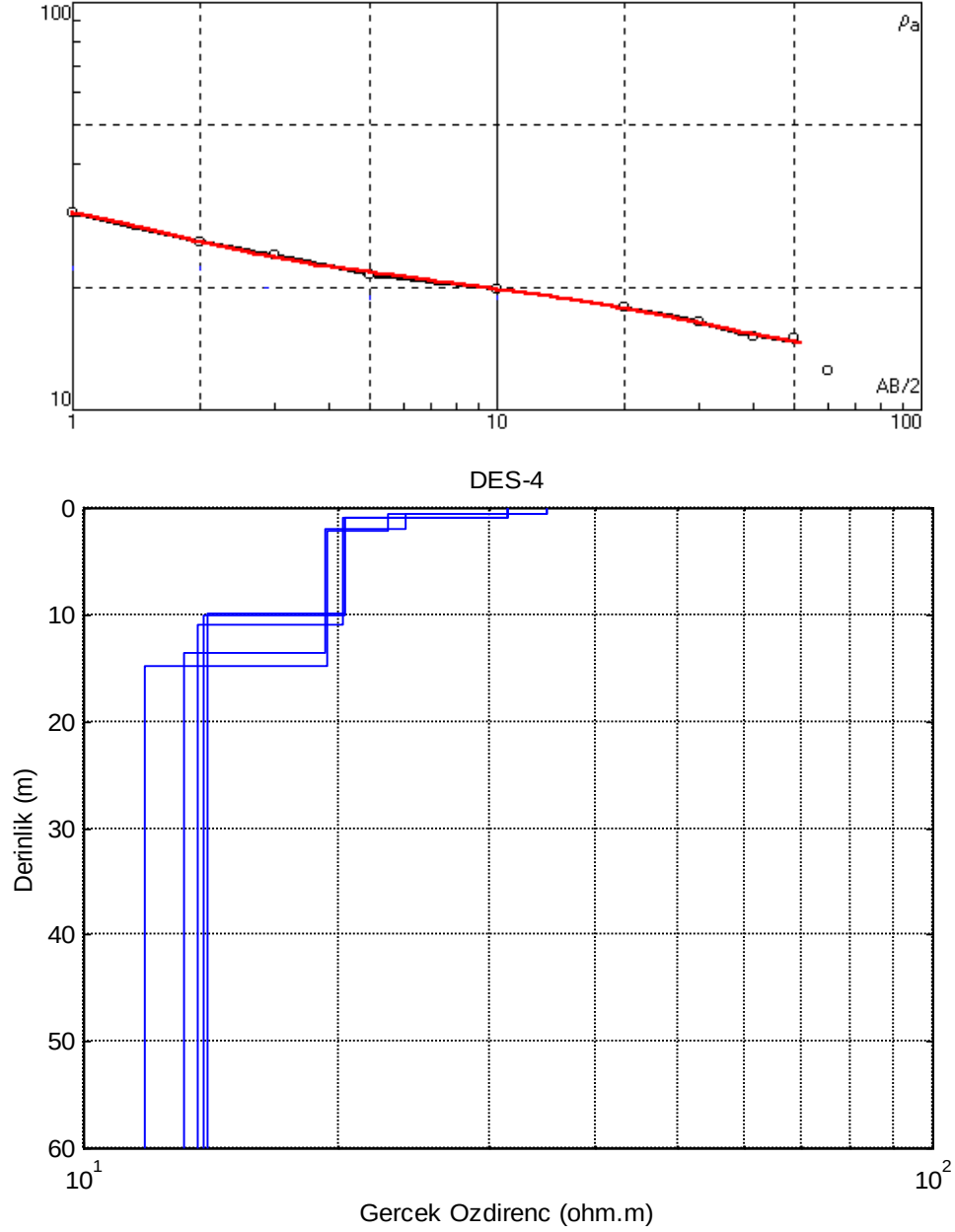
Şekil 3.2 DES-1 arazi verisi ve değerlendirme sonuçları.



Şekil 3.3 DES-2 arazi verisi ve değerlendirme sonuçları.

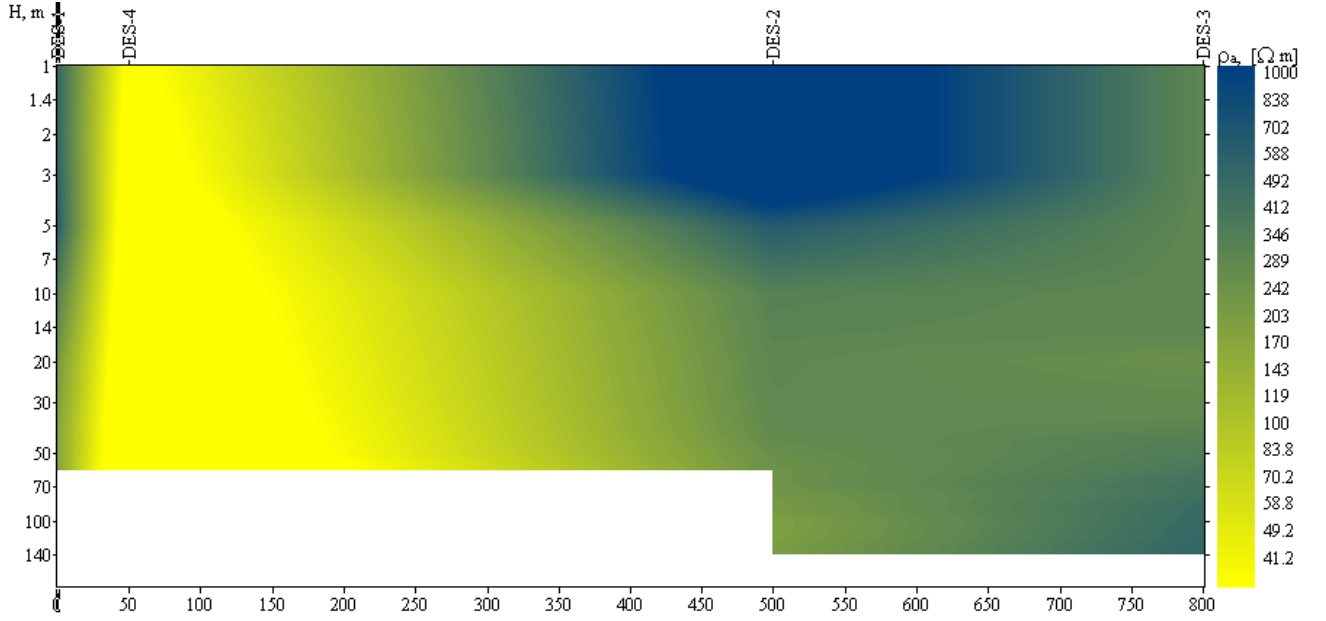


Şekil 3.4 DES-3 arazi verisi ve değerlendirme sonuçları.



Şekil 3.5 DES-4 arazi verisi ve değerlendirme sonuçları.

Şekil 3.6 inceleme alanının kuzey-güney yönlü andıran kesitini göstermektedir. İnceleme alanında alınan düşey elektrik sondaj ölçülerinde elde edilen görünür öz direnç değerlerinin derinliğe göre konturlanmasıyla oluşturulan bu grafik, yer altı birimlerinin öz direnç değişimi hakkında önemli bilgiler içermektedir. Genel olarak yüksek öz direnç karakterinin hakim olduğu inceleme alanında, özellikle DES-4 ölçüsünün alındığı ve tez içinde çayırılık alan olarak isimlendirilen alan civarında oldukça düşük öz direnç (iletken) değerleri görülmektedir.



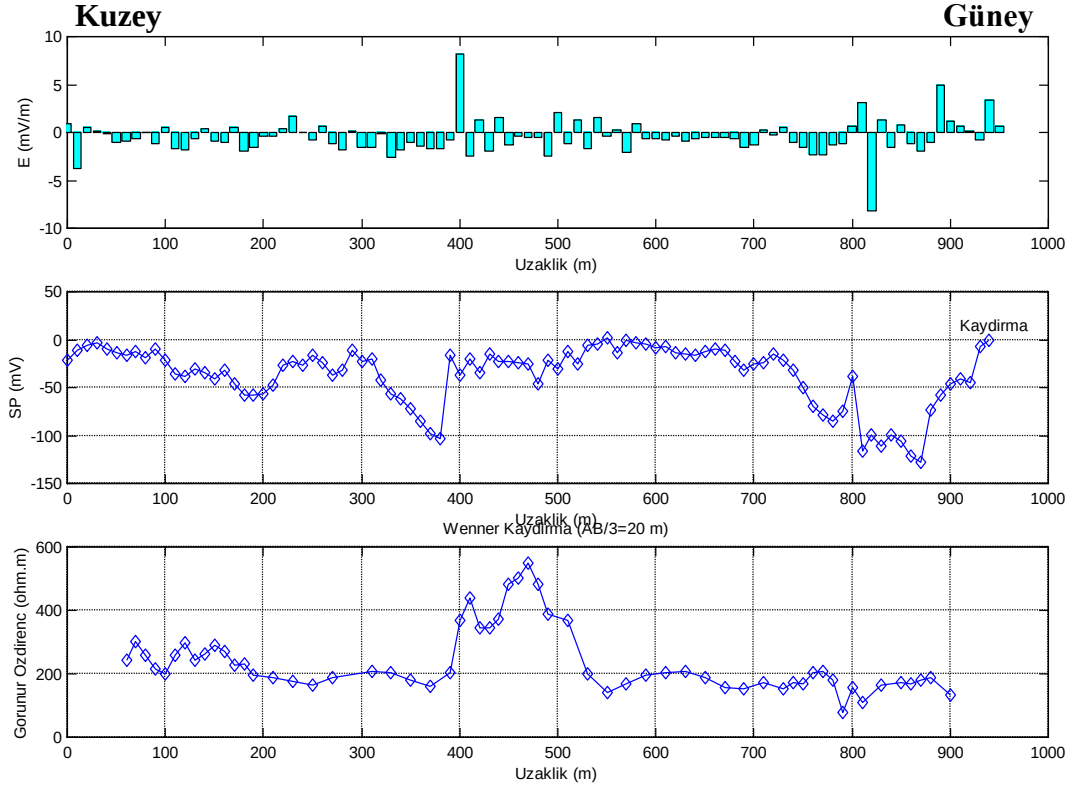
Şekil 3.6. Saha-2 ve Saha-3' ü kapsayan kuzey-güney doğrultuda oluşturulan andıran kesit.

3.2. Elektrik Özdirenç Kaydırma (Wenner) ve Doğal Potansiyel Ölçümleri

Yatay yönlerdeki özdirenç değişimlerinin incelenmesi ve yanal süreksizliklerin belirlenmesi amacıyla elektrik özdirenç kaydırma (Wenner) ölçümleri alınmıştır. Ölçüler, elektrotlar arasındaki mesafe ($AB/3$) 20 metre ve kaydırma aralıkları 10m (topografik etmenlere göre bazen 20 m) olan toplam 940 metrelik bir doğrultuda alınmıştır. Bu uzun doğrultu Şekil 3.1' de gösterilen toplam üç parçadan oluşmaktadır ve her bir parçası Wenner 1,2 ve 3 olarak adlandırılan doğrultuların birleştirilmesinden oluşturulmuştur.

Şekil 3.7 elektrik özdirenç kaydırma (Wenner) grafiğini karşılaştırma yapmak amacıyla doğal potansiyel ölçümünün türev ve yığımsal değerleri ile birlikte göstermektedir. Wenner grafiğine bakılacak olursa 20 metre derinlik için alanın genelinin görünür özdirenç değerlerinin $200 \Omega m$ ' den az olduğu görülmektedir. İnceleme alanında yapılan özdirenç çalışmalarında, kırık sistemleri civarında hidrotermal akışkan etkisiyle düşük özdirençli (iletken) zonlar görülmektedir. Bu anomalinin güney sınırından profil boyunca kuzeye doğru 370 m ye kadar yaklaşık D-B uzanımlı bir sırt aşılmıştır ve özdirenç değerlerinin artışı 20 metre seviyesi için sırtta yer alan iri bloklu alüvyon malzemenin elektrik özelliğiyle örtüşmektedir.

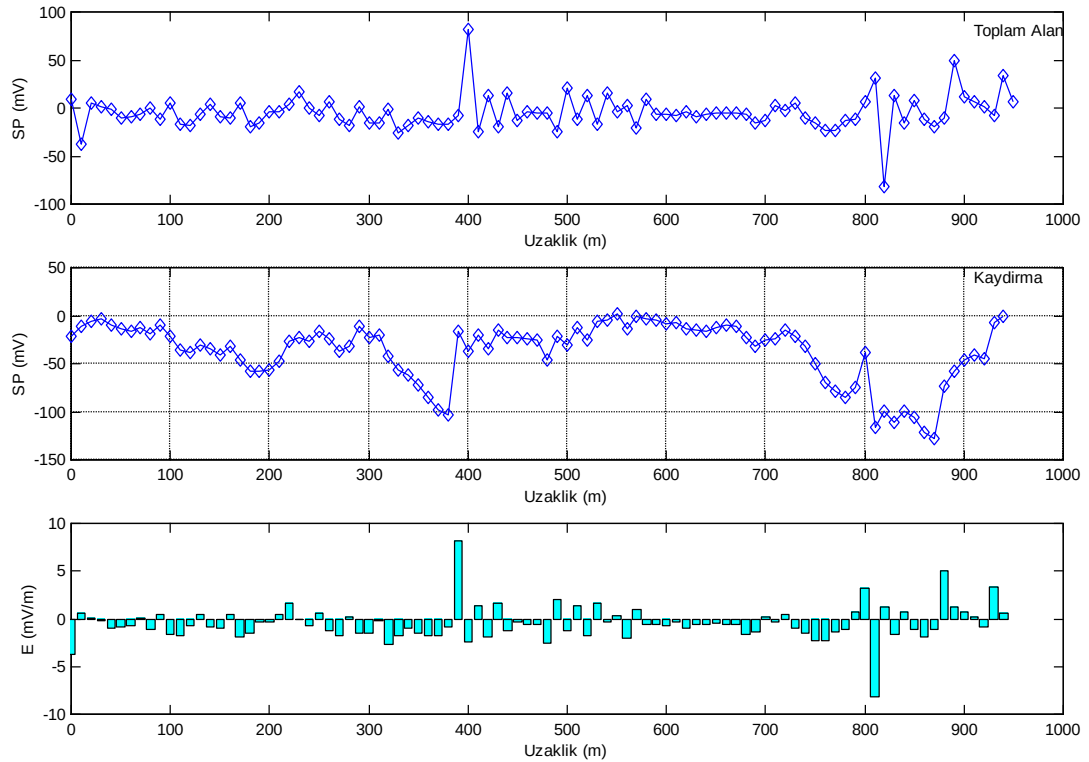
Ayrıca, doğal potansiyel ölçümleri için yapılan çözümlemeler sonucunda elde edilen kırıklardan biri Wenner grafiğinde de gözlenen anomalide olduğu gibi yaklaşık 400 m mesafesine denk gelmektedir. Ana kırıkların ise 230m ve 900m civarlarında olduğunu düşünürsek kaydırma grafiğindeki değişimler doğal potansiyel çözümlerini destekler gözükmemektedir.



Şekil 3.7 Doğal potansiyel ölçümü düzeltilmiş (üstte), yığinsal (ortada) ile Wenner Kaydırma (altta) grafikleri.

Gradyent dizilimi kullanılan SP ölçümlerinde elektrot aralıkları 20 m ve kaydırma aralıkları 10 m olmak üzere vadi boyunca toplam 940 m uzunluğunda bir doğrultu taranmıştır. Şekil 3.1’ de SP1, SP2 ve SP3 olarak gösterilen doğrultular birleştirilerek tek bir doğrultu haline getirilmiştir. Ölçüler 0.1 mV duyarlıklı sayısal bir avometre ve CuSO_4 içerikli potansiyel elektrotları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.8 arazide alınan doğal potansiyel ölçümlerine ait düzeltilmiş (üstte), yığinsal (ortada) ve türev değer (altta) grafiklerini göstermektedir. Kaydırma grafiğindeki (ortada) yığinsal değerler -127.5 mV ile $+2.5$ mV arasında değişmektedir. Sıfır çizgisi civarında eşpotansiyel çizgileri çift yönlü olarak sıklaşmaktadır. Türev değer grafiğinde ise gözlemlenen sık, normal ve yer yer büyük genlikli değişimler alanda çatlak-kırık sistemlerinin bulunduğu işaret etmektedir.

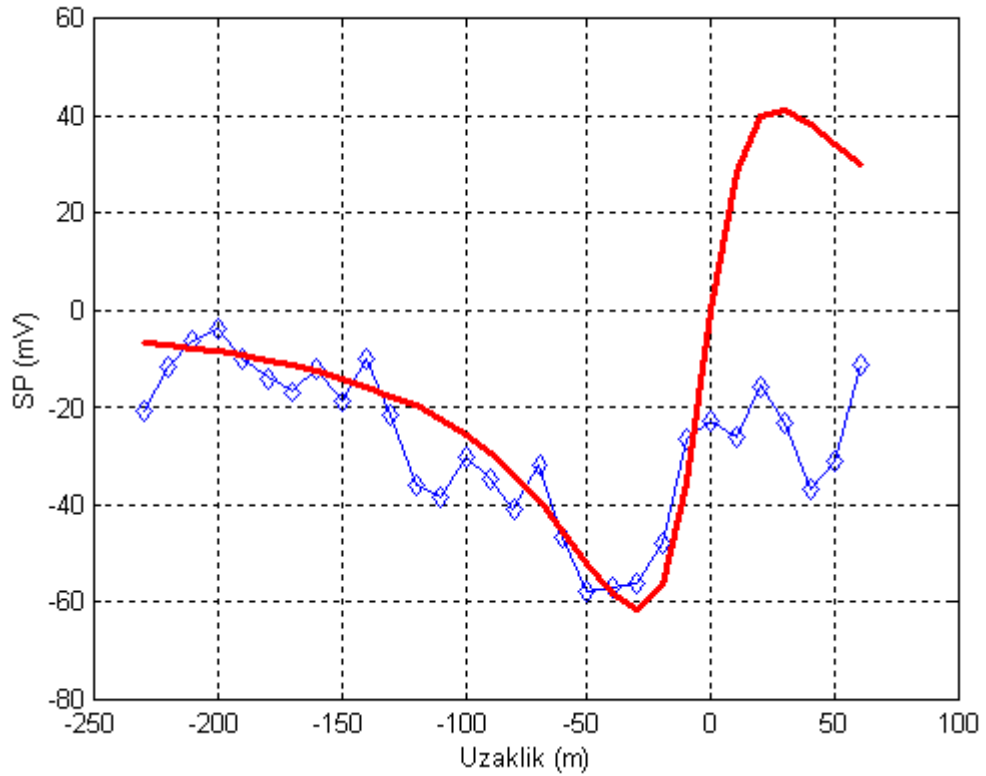


Şekil 3.8 Doğal potansiyel ölçümlerine ait düzeltilmiş (üstte), yığinsal (ortada) ve türev değer (altta) grafikleri.

Doğal potansiyel ölçümlerini değerlendirmek için düz çözümler yapılmıştır. Düz çözümler daha önce Bölüm 1.3' te açıklanmış olan elektrokinetik kaynak geometrisine sadık kalarak Murakami ve diğ. (1984) de verilen eğimli fay modeli kullanılmıştır. Bunun için öncelikle verideki anomaliler göz önüne alınarak, veri üç parçaya bölünmüş ve değerlendirmeler bu üç veriye ayrı ayrı uygulanmıştır. Matematiksel ifadede yer alan değişkenlerin değerleri deneme-yanılma ile modele en uygun çözümü oluşturacak şekilde hesaplanmıştır. Deneme-yanılma yaparken

ölçülen yığmsal veriyle modelden üretilen arasındaki uyum dikkate alınarak kabul edilebilir çözümler üretilmiştir.

Şekil 3.9, Şekil 3.8’ deki doğal potansiyel verisinin 0’ dan 290 m’ ye kadar olan kesiminin çözümü göstermektedir. Şekil 3.9’ da x-ekseninin matematik bağıntılara uygun olacak şekilde $-250+100$ m aralığında değiştirildiğine dikkat çekmek isteriz. Şekilde baklavalı eğri yığmsal veriyi, kalın çizgi ise çözümle elde edilen parametrelerden üretilen teorik modeli göstermektedir. Teorik modelin genel anlamda veriye uygunluğu 0-100 m aralığında çok başarılı olmasa da kabul edilebilirdir. Yığmsal verinin sağ kanadındaki uyumsuzluğun nedeni, bu alanın hemen güneyinde yer alan diğer kırık zonlarının yarattığı etki olabilir. Bu çözümle elde edilen model parametreleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

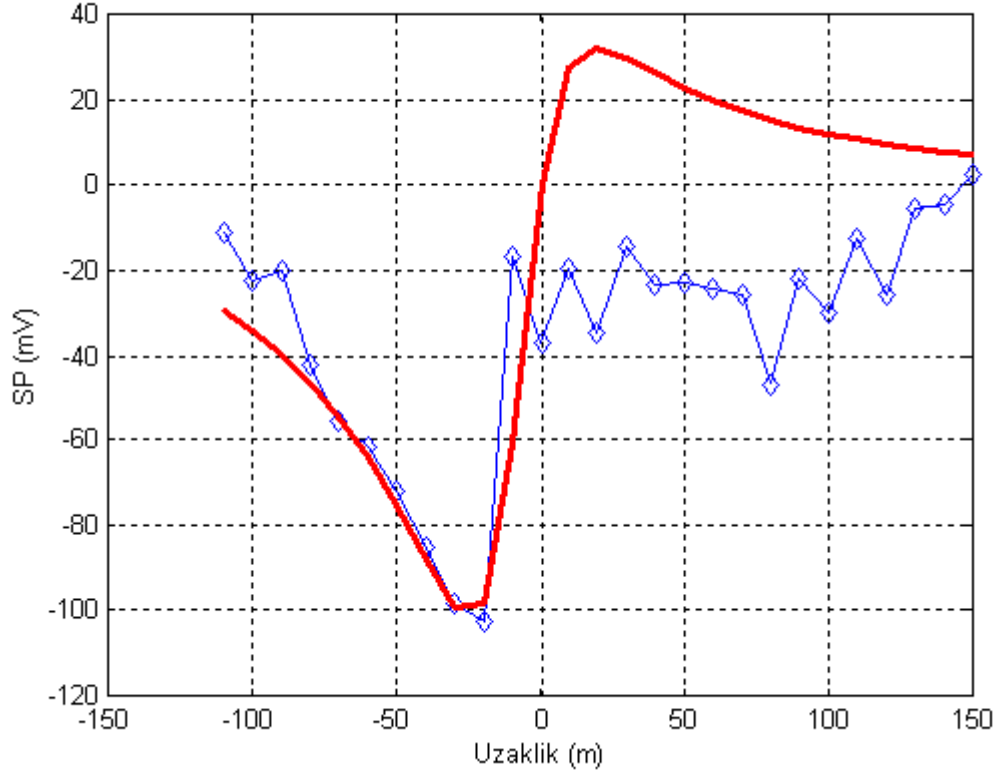


Şekil 3.9 Doğal potansiyel ölçüsünün 0’ dan 290 m’ ye kadar olan kesiminin düz çözümleme modeli. Baklavalı çizgi doğal potansiyel ölçüsü yığmsal grafiğini, kalın çizgi ise teorik modeli göstermektedir. Modelin üretildiği parametrelerin değerleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Tablo 3.1 Düz çözümle elde edilen model parametreleri.

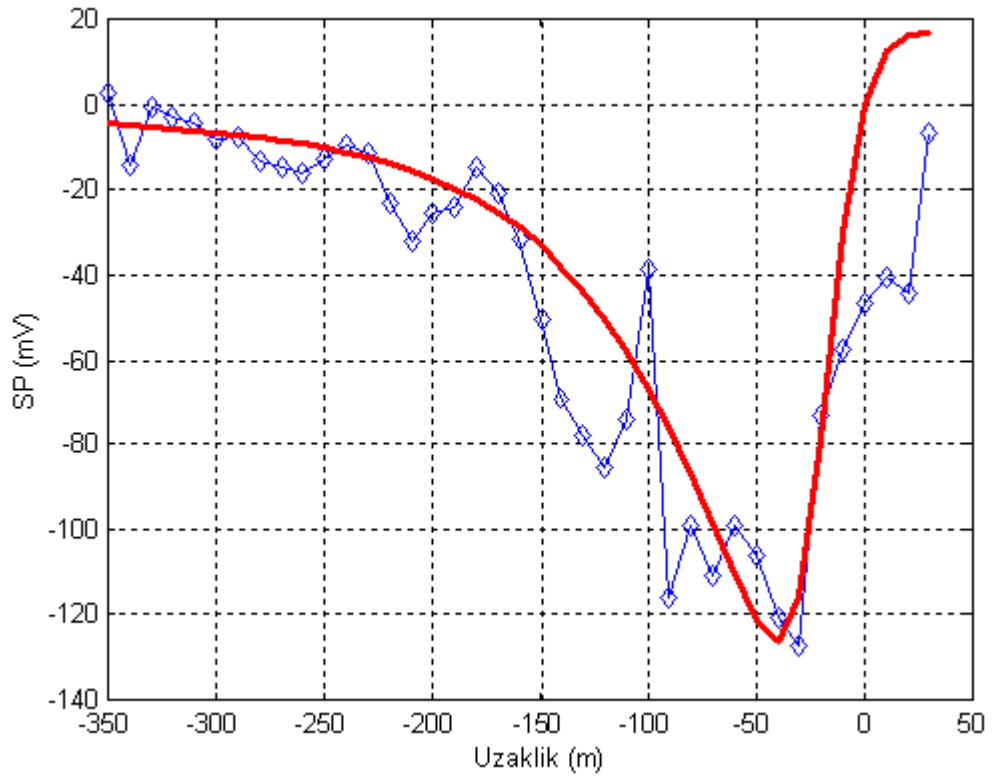
	δ_1 (Ωm)	δ_2 (Ωm)	S (mV)	Ψ (derece)	a (m)	b (m)
Şekil 3.9	80	100	600	30	22	95
Şekil 3.10	100	120	750	25	15	100
Şekil 3.11	120	150	850	40	20	100

Şekil 3.10, Şekil 3.8’ deki doğal potansiyel verisinin 290m’ den 550 m’ ye kadar olan kesiminin çözümü göstermektedir. Şekilde baklavalı çizim yığmsal veriyi, kalın çizgi ise düz çözümle elde edilen parametrelerden üretilen teorik modeli göstermektedir. Teorik modelin genel anlamda veriye uygunluğu 0-150 m aralığında çok başarılı olmasa da kabul edilebilirdir. Özellikle, -110 ile -10 m aralığındaki uyum kırığı oldukça iyi temsil etmektedir. Ancak, 0-150 m aralığındaki bölümün çözüm eğrisinden uzaklaşmasının nedeninin diğer kırık zonlarının etkisiyle oluştuğu düşünülmektedir.



Şekil 3.10 Doğal potansiyel ölçüsünün 290 metreden 550 metreye kadar olan kesiminin düz çözümleme modeli. Baklavalı çizgi doğal potansiyel ölçüsü yığmsal grafiğini, kalın çizgi ise teorik modeli göstermektedir. Model parametreleri Tablo 3.1’ de verilmiştir.

Şekil 3.11, Şekil 3.8’ deki doğal potansiyel verisinin 550m’ den 940 m’ ye kadar olan kesiminin çözümü göstermektedir. Şekilde baklavalı çizim yığınsal veriyi, kalın çizgi ise düz çözümle elde edilen parametrelerden üretilen teorik modeli göstermektedir. Teorik modelin genel anlamda veriye uygunluğu 0-30 m aralığında başarılı olmasa da kabul edilebilirdir. Bu modelden elde edilen parametrelerin değerleri Tablo 3.1’ de verilmektedir.



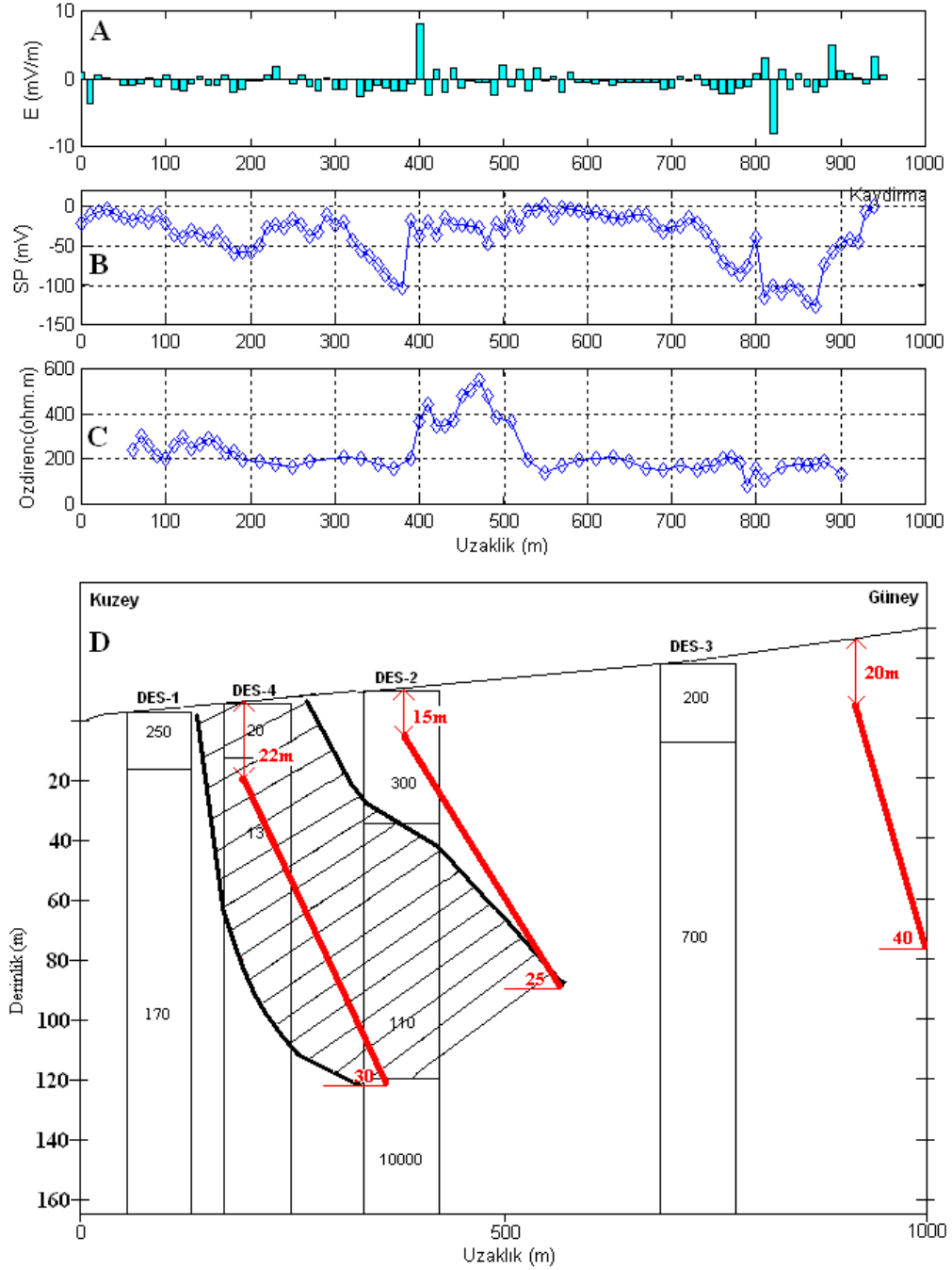
Şekil 3.11 Doğal potansiyel ölçüsünün 550 metreden 940 metreye kadar olan kesiminin düz çözümleme modeli. Baklavalı çizgi doğal potansiyel ölçüsü yığınsal grafiğini, kalın çizgi ise teorik modeli göstermektedir. Model parametreleri Tablo 3.1’ de verilmektedir.

4. SONUÇLAR

Bütün jeofizik çalışmaların sonuçlarının bir araya toplanmasıyla ortaya çıkan yer altı kesiti Şekil 3.12' de gösterilmektedir. Şekilde kuzeye doğru yaklaşık 3° eğimli olan ölçü sahası ve alınan Wenner kaydırma ve SP ölçümleri ölçekli olarak bir araya getirilerek gösterilmiştir. En üstte doğal potansiyel ölçüsü türev değeri, altında yığinsal değerler ve Wenner ($AB/3=20m$) kaydırma ölçüleri yer almaktadır. Şekildeki yeraltı kesiti DES ölçümlerinden elde edilen öz direnç değerleri ve SP ölçümlerinden elde edilen eğimlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. Öz direnç değerleri dikkatle incelendiğinde DES-4 ve kısmen DES-2 ölçülerinde, göreceli olarak düşük öz direnç değerleri elde edilmiş ve yer elektrik kesitinde taralı olarak gösterilmiştir.

Doğal potansiyel ölçülerine uygulanan ve yukarıda açıklanmış olan düz çözümlemeler sonucunda elde edilen kırıklar kalın kırmızı çizgilerle söz konusu kesit içindeki yerlerinde işaretlenmiştir. Sevindirici bir şekilde ve saha gözlemlerimize uygun olarak kırıklı zonların beklendiği gibi düşük öz direnç ve eğimlerin 25-40 derecelik açılarla güneye doğru dalım gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu durumda beslenmenin güneyden kuzeye ve kırıklardan yukarılara doğru çıkarak yüzeye ulaşabilmesi, saha gözlemlerinden elde ettiğimiz beklentilerimize uymaktadır. Bu kırıklardan en güneyde yer alanı Saha-2 ve Saha-3 alanlarının güney sınırında kendini göstermektedir. Alanın kuzey kesimlerinde yer alan diğer iki kırık ise düşey elektrik sondaj çalışmaları sonucunda elde edilen iletken zon civarına denk gelmektedir. Özellikle, inceleme alanının en kuzeyinde yer alan ve güneye doğru 30°' lik dalım yapan kırık zonu, söz konusu çatlak-kırık sistemlerinin en yoğun olduğu yer izlenimini vermektedir. Çünkü, elde edilen en düşük (iletken) öz direnç değerleri bu kırık zonu civarında kendini göstermektedir. Bu oldukça düşük öz direnç değerleri, kısmen yoğun hidrotermal aktivite sonucu oluşabilir. Bu saha çayırılık alanda DES-4 ölçüsünün alındığı yere denk gelmektedir. Yapılan bütün gözlemlerin doğru olması durumunda derinlerde ısınan sıcak su bu kırık zon boyunca inceleme alanında gözlenen göletlerden yeryüzüne çıkış yapmaktadır. Bölüm 2.4' te saha

gözlemleri sonunda elde edilmiş olan kavramsal model bu ölçümlerle doğrulanmış gibi gözükmektedir. Bu durum son derece umut vericidir ve belirlenmiş olan çatlak sistemini kesecek şekilde bir araştırma sondajının açılması gerekmektedir.



Şekil 4.1 SP ölçüsü türev değerleri (A), SP ölçüsü yığımsal değerleri (kaydırma) (B), Wenner kaydırma değerleri (C), Gerçek öz direnç yer elektrik kesiti (D). Taralı alan iletken zonu, kalın çizgiler kırık zonlarını göstermektedir. Şekilde blokların içindeki rakamlar Ωm cinsinden o bloğun öz direncini göstermektedir.

5. TARTIŞMALAR VE ÖNERİLER

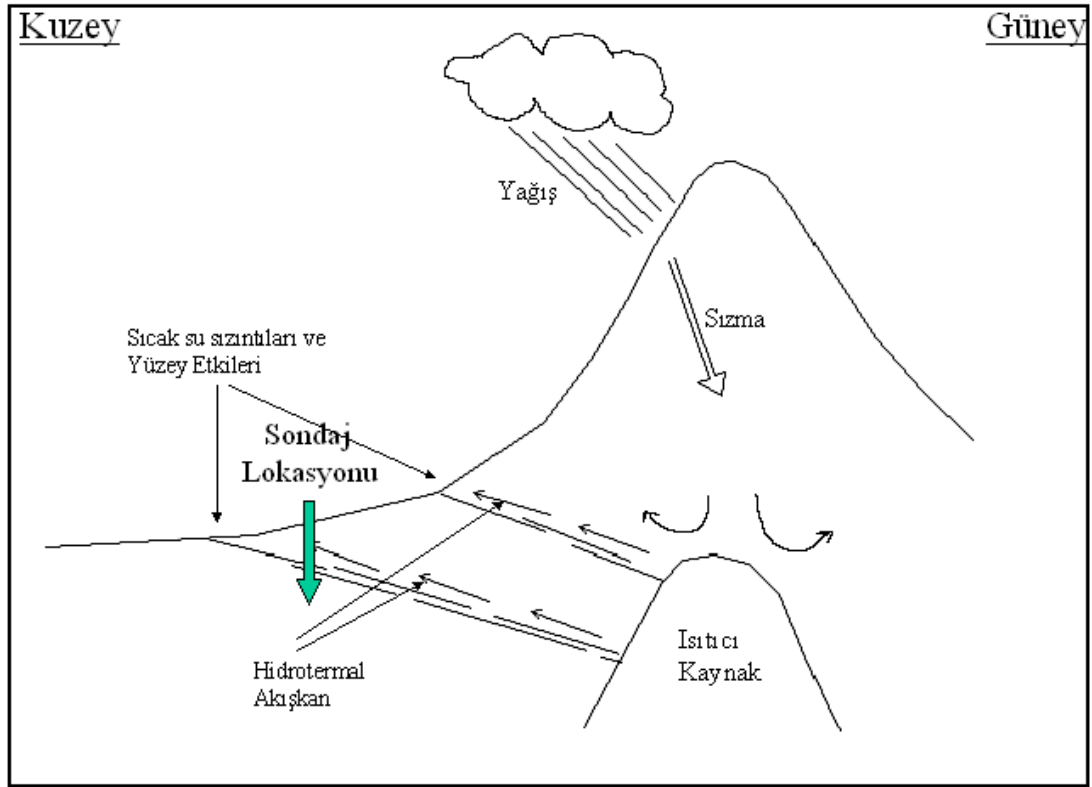
Bu çalışma, yüksekliği 2300 m' den 3000 m' ye kadar değişen 21 km²' lik bir alanda zor koşullarda gerçekleştirilmiştir. Zorlu topografik ve çetin iklim koşulları saha gözlemlerini yaparken ve ölçüleri alırken sıkıntılara neden olmuştur. Belirlenen düşey elektrik sondaj ve doğal potansiyel ölçümlerinin tamamlanabilmesine karşın, elektrik özdirenç (Wenner) ölçümleri, AB/3 mesafesi 20m ve kaydırma mesafesi 10m olacak şekilde bitirmek zorunda kalınmıştır. Yürütülen çalışmalarda öncelikle jeolojik ve gözlemsel araştırmalar yapılmış ve hidrotermal potansiyele sahip olduğu düşünülen üç ayrı saha belirlenmiştir. Bunlardan en güneyde yer alan ve tez içinde Saha-1 olarak isimlendirilen Akçaağıl göl yamacı alanının, olumlu hidrotermal yüzey emareleri göstermesine rağmen topografik zorluklar ve düşük beslenme alanı gibi nedenlerden dolayı saha uygun olsa bile işletilmesinin zor olduğu kanısına varılmıştır. Bu alanın kuzeyinde yer alan Saha-2 ve Saha-3' te benzer riskler bulunmamaktadır ve bu alanlar ileride kurulabilecek bir tesis için çok daha elverişli özellikler göstermektedir. Bu iki sahanın Anzer' e (Ballıköy) yakın ve arazinin uygun olması nedenlerinden dolayı işletmeye son derece uygundur. Saha-2 ve Saha-3 alanlarında yapılan gözlemsel çalışmalarda sıcak su anomalilerinin özellikle, Kürtyurdu deresi vadisinden Koşmer deresine uzandığı düşünülen yaklaşık K20°B doğrultuda gelişmiş çatlak sisteminde kısmen ve Kürtyurdu dere vadisinden Buzluğan vadisine uzandığı düşünülen yaklaşık K78°B doğrultulu ve bir önceki kırık sistemi ile kesişen bölgede yer aldığı belirlenmiştir. Bu alan tez içinde çayırılık alan olarak isimlendirilen yere denk gelmektedir. İnceleme alanında yapılan sıcaklık ölçümlerine göre bu alan, gerek bitkisel toprak gerekse de ılık su sıcaklıklarında en yüksek değerleri vermektedir.

Yer yer düşük debili ılık su ve gaz çıkışları, limonitleşme ve alterasyon zonları vb. yüzey etkilerinin gözlemlendiği ve söz konusu çatlak-kırık sistemlerini sınırladıkları düşünülen Saha-2 ve Saha-3' te jeofizik çalışmalar yürütülmüştür. Topografya ve iklim koşulları göz önüne alınarak probleme cevap verebilecek optimum sayıda

jeofizik ölçü belirlenmiştir. Yöntem seçimi olarak, jeotermal sahalarda başarıları kanıtlanmış metotlar kullanılmış, alan ve civarının özellikleri de göz önünde bulundurularak verebileceği tepkiler ve beklenen jeofizik anomali türleri irdelenmiştir. Jeofizik ölçüler alandaki topografyaya uyum sağlayacak şekilde aynı aksta, yaklaşık kuzey-güney yönlü profiller şeklinde alınabilmektedir.

Düşey elektrik sondaj ölçümleri alanda yer alan jeolojik birimlerin öz direnç değerlerinin ve hidrotermal akışkan etkisiyle iletkenlik kazanmış olan muhtemel zonların belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Elektrik öz direnç kaydırma (Wenner) ölçümleri, inceleme alanının belirli derinliklerde yatay yöndeki öz direnç değişimlerini incelemek ve muhtemel yanal süreksizliklerin tespit edilmesi amacıyla uygulanmıştır. Doğal potansiyel ölçümleri ise jeolojik olarak saptanmış kırıkların varlığının kanıtlanması veya gözlemlenemeyen kırıkların ortaya çıkarılması amacıyla kullanılmıştır. Wenner kaydırma ve doğal potansiyel ölçümleri birbirlerine uygun bir biçimde eklenerek tek profil haline getirilmiş ve yorumlanmıştır. Düşey elektrik sondaj verilerinin değerlendirilmesi sonucunda gerçek öz direnç kesitleri elde edilmiştir. Ayrıca inceleme alanının K-G yönlü elektrik yapı kesiti ve andıran kesiti oluşturulmuştur. Daha sonra elde edilen tüm veriler bir arada yorumlanarak inceleme alanının kuzey-güney yönlü yer altı yapı kesiti belirlenmiştir.

Verilerin analizi neticesinde ılık su çıkışlarının olduğu yerde beklentilerimize uygun olacak şekilde düşük öz dirençli bir zon saptanmış ve bu bulgular sahanın hidrotermal potansiyeli olduğu konusunda umutlarımızı arttırmıştır. Andıran kesite göre DES-4 ölçüsünün alındığı çayırılık alan, hidrotermal akışkanın en yoğun olarak çıkış yaptığı saha olarak gözükmektedir. Gerçekte çayırılık alan ve yakın civarında yüksek termal anomali gözlenmiş ve bu durum elektrik öz direnç ölçülerine beklendiği gibi yüksek iletkenlik olarak yansımıştır. Şekil 4.1’ de verilen kavramsal olarak sunulan modelin jeofizik yöntemlerle kanıtlanmış gözüküyor olması bir araştırma sondajının açılması için yeterli bir neden olabilir. Meteorik sular yer altında süzülerek derinlere sızar ve sıcak zonda ısınarak kırık sistemleri boyunca yüzeye ulaşır. Isınan meteorik sular yol boyunca kayalar eritip bünyesine katarak serbest iyon bakımından zenginleşir. Çayırılık alanda gözlemlenen bulanıklık bunun örneğidir. Ilık su çıkışının olduğu yerlerdeki limonitleşme, civarda mevcut demir içeriği yüksek bazaltlardan bu yolla oluşmuş olabilir.



Şekil 5.1 İnceleme alanının hidrotermal oluşum modeli. Çizim öleksizdir.

Jeotermal alanlarda yüzey etkilerinin en yoğun gözlendiği yerlerde yapılan sondajlar bile başarıya ulaşamayabilir. Yer altında ısınıp yüzeye doğru çıkan sıcak sular kendilerine çatlak-kırık sistemlerini yol yaparlar. Eğer, araştırma sondajı bu kırık sistemlerini kesmezse sondaj başarısız olabilir. Bu durum, normalde başarılı olması beklenen çalışmanın başarısızlıkla sona ermesine bile neden olabilir. Kuşku saha bulguları ve gözlemlerinin bu şekilde jeofizik yöntemlerle hassasiyetle kontrol edilmesi doğabilecek maddi kayıpları engelleyebilir. Ancak, doğu-batı yönünden (ikinci boyuttan) gelen etkilerin ölçüler üzerinde yanıltıcı etkilerinin olabileceğini de hatırlayarak jeofizik bulgularda hatalı karar vermemize neden olabilir ve bu gerçeğin hiçbir zaman unutulmaması gerekir.

Alanda yapılan jeofizik çalışmalar, tipik bir hidrotermal sistemin ana öğeleri olan düşük öz dirençli (iletken) zonları ve kırık sistemlerinin özelliklerini yansıtmaktadır. Bu çalışmada araştırma sondaj lokasyonu olarak jeofizik çalışmaların işaret ettiği yer gözlemsel çalışmalarla uyum içindedir. Yapılması düşünülen araştırma sondajı yeri,

DES-4 noktasının minimum 50 metre güneyindedir. Düşünülen sondaj derinliği ise minimum 50 metredir. Alana ulaşım koşulları sondaj makinesinin girebilmesi için uygun değildir. Araştırma çalışmalarının bitmesine müteakip başlaması gereken yol çalışmaları, iklim koşullarının ağırlaşması nedeniyle başlamadan bir sonraki mevsime bırakılmak zorunda kalınmıştır.

Yapılan jeofizik çalışmalar neticesinde düşük öz dirençli (iletken) alanlar belirlenmiş ve üç adet kırık zon tespit edilmiştir. Genel olarak alandaki gerçek öz direnç değerleri 200-10000 Ωm gibi geniş aralıkta, dirençli yapı sergilerken özellikle çayırılık alanda alınan DES-4 ölçümü civarında 13-110 Ωm gibi iletken değerler elde edilmiştir.

Doğal potansiyel verilerinin düz çözümleme ile modellenmesi sonucu alanda, düşey elektrik sondaj ölçü sonuçlarını doğrulayacak nitelikte üç adet ana kırık zon tespit edilmiştir. Bu kırık zonları alanın yer altı suyu akışı göz önüne alındığında düşünülen model ile uyum sağlayacak şekilde güneye dalımlı olarak çözümlenmişlerdir. Fay düzleminin elektrokinetik kaynak gibi davranan levhalarının yer yüzüne mesafeleri 15-22 m arasındadır. Dalım yönleri güneye doğru olup, dalım açıları 25-40° arasındadır. Burada özellikle DES-2 ve DES-4 ölçümlerinde rastlanan düşük öz dirençli zonlar ile bu ölçülerin civarına denk gelen doğal potansiyel anomalilerinin çakışması son derece önemlidir. Isınan sular bu kırıklardan yukarı doğru çıkarak yüzeye ulaşmakta ve kırık zonunda yarattıkları bozuşmayla ortamın iletkenliğini arttırmaktadırlar.

KAYNAKLAR

- Ağar, Ü.**, 1970. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, *Doktora Tezi*, İ.Ü. Fen Fakültesi, İstanbul.
- Akdeniz, N.**, Akçören, F., Timur, E., 1994. Aşkale-İspir arasının jeolojisi, *MTA Raporu*, **9731**, Ankara
- Altunbaş, C.**, 1992. İkizdere ve dolayının jeolojisi ve plaser mineral potansiyeli, *Lisans Tezi*, İ.Ü., İstanbul.
- Anderson, L.A., Johnson, C.R.**, 1976. Application of self potential method to geothermal exploration in Long Valley, California. *J. Geophys. Res.* **81**, 1527-1532.
- Armstead, H.C.**, 1980. Geothermal energy: its past, present and future contributions to the energy. A. Halsted Press Book, London, 357.
- Arpat, E., Şaroğlu, F.**, 1972. The East Anatolian fault system: thoughts on its development. *Bull. Min. Res. Expl. Inst. Turkey*, **78**, 33-39.
- Arpat, E., Şaroğlu, F.**, 1975. Türkiye' deki bazı önemli genç tektonik olaylar. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **18**, 91-101.
- Bektaş, O.**, 1983. Kuzeydoğu Pontid magmatik yayındaki (I) tipi granitler ve jeotektonik konumları, *T.J.K. Bil. Ve Tek. Kurultayı bildiri özetleri*, Ankara.

Bogoslovsky, V.A., Ogilvy, A.A., 1973. Deformations of natural electric fields near drainage structures, *Geophysical Prospecting*, **21**, 716-723.

Corwin, R.F. and Hoover, D.B., 1979. The self potential method in geothermal exploration, *Geophysics*, **44**,2, 226-245.

Çağlar, İ., 1991. Jeofizikte Doğal Polarizasyon (SP) Yöntemi, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul, 128.

Çağlar, İ., Demirörer, M., 1999. Geothermal exploration using geoelectric methods in Kestanbol, Turkey, *Geothermics*, **28**, 803-819.

Çakır, M., Kayaalp, M., Yılmaz, B.S., Yılmaz, T., Topçu, T., Özdemir, M., Konak, O.,1983. İkizdere (Rize)-İspir (Erzurum) arasında kalan bölgenin jeolojisi, *MTA Raporu, Ankara*

Çoğulu, E., 1970. Gümüşhane ve Rize granit plütonlarının mukayeseli petrografik ve jeokronometrik etüdü, *Doç. Tezi, İ.T.Ü.*, İstanbul.

Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geol. Soc. Am. Bull.*, **Part I 90**, 84-92.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “1998 Enerji Raporu”.

Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., Koçak, A., 1996. Türkiye Jeotermal Envanteri, *MTA Yayınları, Ankara*.

Fitterman, D.V., Corwin, R.F., 1982. The self-potential method in geothermal exploration. *Geophysics*, **44**, 226-245.

Göksu, E., 1986. Enerji Kaynakları, İTÜ Maden Fakültesi, Ofset Matbaası, İstanbul, 66.

- Güner, S., Gülibrahimoğlu, İ., Saraloğlu, A., Akıncı, S., Topçu, T., Konak, O.,** 1983. Rize-Çayeli-Fındıklı yöresinin jeolojisi, *MTA Raporu*, 7688, Ankara.
- Güven, İ.H.,** 1993. Doğu Pontidlerin Jeolojisi ve 1/250 000 Ölçekli Kompilasyonu, *MTA Raporu*, Ankara.
- Harthill, N.,** 1978. A quadripole resistivity survey of the Imperial Valley, California, *Geophysics*, **43**,7, 1485-1500.
- Hoover, D.B., Long, C.L. and Senterfit, R.M.,** 1978. Some results from audiomagnetotelluric investigations in geothermal areas, *Geophysics*, **43**,7, 1501-1514.
- Jackson, J.A., Mc Kenzie, D.P.,** 1984. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between Western Turkey and Pakistan. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* **77**, 185-264.
- Kahraman, İ., Çınar, S., Yılmaz, B.S., Karanis, H.A., Köse, Z., Genç, İ., Dursun, A.,** 1986. Rize-İspir arasının jeolojisi, *MTA Raporu*, **8048**, Ankara.
- Kahraman, İ., Çağlar, O., Şatır, F., Çakır, M., Yılmaz, T., Türkmen, İ.,** 1987. Rize-Kalkandere-Trabzon-Of yörelerinin jeoloji ve cevherleşmelerinin etüdü, *MTA Raporu*, **8406**, Ankara.
- Mabey, D.R. et al,** 1978. Reconnaissance geophysical studies of the geothermal system in southern Raft River Valley, *Geophysics*, **43**,7, 1470-1484.
- McKenzie, D.P.,** 1972. Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* **30**, 109-185.
- Murakami, H., Mizutani, H., Nabetani, S.,** 1984. Self-potential anomalies associated with an active fault, *J. Geomag. Geoelectr.*, **36**, 351-376.

- Mutlu, H., Güleç, N.,** 1998. Hydrochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey), *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515.
- Ogilvy, A.A., Ayed, M.A., ve Bogoslovsky, V.A.,** 1969. Geophysical studies of water leakages from reservoirs, *Geophysical Prospecting*, **17**, 36-62.
- Pelin, S.,** 1977. Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından incelenmesi, *Doç. Tezi*, K.T.Ü., Yer Bilimleri Fakültesi, No. 13, Trabzon.
- Pirajno, F.,** 1992. Hydrothermal mineral deposits: principles and fundamental concepts for the exploration geologist. Springer Verlag, Germany, 709.
- Rotstein, Y., Kafka, A.L.,** 1982. Seismotectonics of the southern boundary of Anatolia, Eastern Mediterranean region: subduction, collision, and arc jumping. *J. Geophys. Res.* **87 (B9)**, 7694-7706.
- Skinner, B.J., Porter, S.C.,** 1989. The dynamic earth an introduction to physical geology, *John Wiley and Sons. Inc., U.S.A.*
- Şahin, H.,** 1995. Akyazı-Kuzuluk Jeotermal Sahası Jeofizik Araştırmaları, *Jeofizik*, **9,10**, 131-136.
- Şengör, A.M.C., Canitez, N.,** 1982. The North Anatolian Fault. In: Berckhemer, H., Hsu, K. (Eds.), *Alpine-Mediterranean Geodynamics*. Am. Geophys. Union, Geodynamic Series, **Vol. 7**, 205-216.
- Tokel, S.,** 1981. Plaka tektoniğinde magmatik yerleşimler ve jeokimya, Türkiye' den örnekler, *Yeryuvarı ve İnsan*, **6**, 53-65.

- Tripp, A.C., Ward, S.H., Sill, W.R., Swift, C.M., Petrick, W.R., 1978.**
Electromagnetic and Schlumberger resistivity sounding in the
Roosevelt Hot Springs KGRA, *Geophysics*, **43**,7, 1450-1469.
- Ussher, G., Harvey, C., Johnstone, R., Anderson E.,** Proceedings World
Geothermal Congress 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10,
2000.
- Yücel, M., 1995.** Aydın-İmamköy Jeotermal Alanın Jeofizik Düşey Elektrik Sondaj
(DES) ve Kontrol Kaynaklı Manyetotellürik Etüdü, *Jeofizik*, **9**,10,
137-142.
- Zohdy, A.A.R., Anderson, L.A., Muffler, L.J.P., 1973.** Resistivity, self potential
and induced polarization surveys of a vapour-dominated geothermal
system. *Geophysics*, **38**, 1130-1144.

ÖZGEÇMİŞ

Burak Acet Tunalı, 26.12.1978’ de Ankara’ da doğmuştur. İlkokulu Eskişehir Cengiz Topel İlköğretim Okulu’ nda okumuş, orta ve lise öğrenimini Eskişehir Anadolu Lisesi’ nde tamamlamıştır. Lisans derecesini İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü’ nden alarak, 2001 yılında yine İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı Jeofizik Mühendisliği programına girmiştir. Yüksek lisans öğrenimi süresince özel sektörde çalışmış ve bir çok projede rapor müellifliği yapmıştır. Halen Ema Yerbilimleri şirketinde çalışmaya devam etmektedir.