

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFYON-SANDIKLI JEOTERMAL ALANINDA YER ALAN
KUYULARIN VE KUYULARDAN ELDE EDİLEN SICAK AKIŞKANIN
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bilal ŞAHİN

Danışman
Prof. Dr. M. Nuri DOLMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2019



© 2019 [Bilal ŞAHİN]

TEZ ONAYI

Bilal ŞAHİN tarafından hazırlanan "**Afyon-Sandıklı Jeotermal Alanında Yer Alan Kuyuların Ve Kuyulardan Elde Edilen Sıcak Akışkanın Fiziksel Özellikleri**"adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

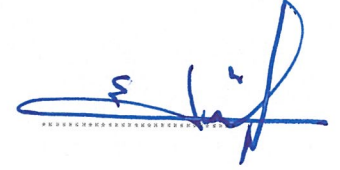
Danışman

Prof. Dr. M. Nuri DOLMAZ
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Şakir Şahin
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Ü. H.Evrin TÜTÜNSATAR
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Bilal ŞAHİN



İÇİNDEKİLER

İçindekiler	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	2
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	8
3.1. Materyal	8
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Yöntem	10
4. GENEL JEOLJİ	14
4.1. Sandıklı Jeotermal Alanının Jeolojisi.....	14
4.2. Formasyonlar.....	17
4.2.1. Kestel yeşilşist formasyonu	17
4.2.1.1. Koçgazi Fillit Üyesi.....	17
4.2.1.2. Hüdai Üyesi.....	18
4.2.1.3. Çaltepe Üyesi.....	18
4.2.1.4. Seydişehir Formasyonu.....	19
4.2.1.5. Karatepe Formasyonu.....	19
4.2.1.6. Derealanı Formasyonu.....	19
4.2.1.7. Akdağ Kireçtaşı Formasyonu.....	20
4.2.1.8. Sandıklı Formasyonu.....	20
4.2.1.8.1. Soğucak Tuf Üyesi.....	21
4.2.1.8.2. Sandıklı Üyesi.....	21
4.2.1.8.3. Hamamçay Üyesi.....	21
4.2.1.9. Traverten.....	22
4.2.1.10. Alüvyon.....	22
4.3. Stratigrafi.....	22
4.3.1. Tortul Kayaçlar	22
4.3.2. Magmatik kayaçlar.....	24
4.3.3. Metamorfik kayaçlar	25
4.4. Hidrojeoloji	25
4.4.1. Genel Hidrojeoloji	25
4.4.1.1. Su Kaynakları.....	25
4.4.1.2. Akarsular.....	26
4.4.2. Formasyonların Yeraltısuyu Taşıma Özellikleri ve Akiferler.....	27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME	28
5.1. Özdirenç Yöntemi Bulguları	29
5.2. Kuyuların Sıcaklık Değerleri	35
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AFYON-SANDIKLI JEOTERMAL ALANINDA YER ALAN KUYULARIN VE KUYULARDAN ELDE EDİLEN SICAK AKIŞKANIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Bilal ŞAHİN

**Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. M. Nuri DOLMAZ

Bu tez çalışmasında Afyon Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyuların ve kuyulardan elde edilen sıcak akışkanın fiziksel özellikleri bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin ortaya konması amacı ile incelenmiştir. Sahanın genelinde yapılan gözlemler, DES çalışmaları ve kuyulardan elde edilen verilerin sonuçlarına dayandırılarak yüksek entalpi beklentisinin maksimum olacağı olası jeotermal akışkan bulunduracak zonlar tespit edilmiştir. Zonların tespit edilmesinde Sandıklı bölgesinde iki alanda DES çalışması gerçekleştirilmiş olup, elde edilen verilerin ters çözüm ile modellenmesi yapılmıştır.

Jeofizik veriler ve sonuçların değerlendirilmesi sahanın jeotermal aktivitesinin fayların kesişme noktasında olabileceğini göstermiştir. Seviye haritaları öz direnç dağılımı incelendiğinde Miyosen yaşlı birimlerin öz direnç değerlerinin temel birimlerden daha düşük olması beklenir. Sahanın F-8, F-9, B-2, B-3 noktalarının yer aldığı kesiminde elde edilen düşük öz direnç kapanımlarının bu gözlem noktalarından geçen ve jeotermal aktivite taşıyan fayın etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Sandıklı havzasındaki sığ ve derin kuyulardan alınan sıcaklık bilgileri değerlendirildiğinde Sandıklı ilçe merkezinin batısındaki kuyulardaki sıcaklık değerlerinin çevredeki diğer alanlara göre yüksek olması (ortalama 65 °C) jeotermal kökenli rezervuarın bu bölgede yoğunlaştığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sandıklı, Jeotermal kuyu, Fiziksel özellik, DES

2019, 51 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PHYSICAL PROPERTIES OF THE WELLS AND HOT FLUIDS OBTAINED FROM THESE WELLS LOCATED IN AFYON-SANDIKLI GEOTHERMAL REGION

Bilal ŞAHİN

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geophysical Engineering Department**

Supervisor: Prof. Dr. M.Nuri DOLMAZ

In this thesis; physical properties of wells and hot fluids obtained from wells in Afyon Sandıklı geothermal area were investigated in order to reveal geothermal energy potential of the region. Based on the results of observations throughout the study area, DES studies and obtained data from wells in the whole area, zones with possible geothermal fluids with high enthalpy expectation were determined. DES studies were carried out in two areas in Sandıklı region and the obtained data were modelled with the inverse solution for the determination of the zones.

The evaluation of the geophysical data and their results showed that the geothermal activity of the study area might be at the intersection of the faults. When the level maps of the resistivity distribution are examined; the resistivity values of the Miocene units are expected to be lower than the basic units. The low resistivity inclusions obtained in the F-8, F-9, B-2, B-3 points of the study area are thought to be caused by the effect of the fault passing through these observation points and carrying the geothermal activity.

When the temperature data obtained from shallow and deep wells in Sandıklı basin are evaluated; the temperature values in the wells in the west of Sandıklı district center are higher than the other surrounding areas (average 65 °C). This situation shows that the geothermal reservoir is concentrated in this region.

Keywords: Sandıklı, Geothermal well, Physical property, VES

2019, 51 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan sayın Prof. Dr. M. Nuri DOLMAZ'a teşekkürlerimi sunarım. SDÜ Jeofizik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi sayın Doç. Dr. Çağlayan BALKAYA'ya Yüksek Lisans tez çalışmamın DES verilerinin ters çözümünde katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

4453-YL1-15 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Hidrojeolojik verilerin temininde Hidrojeoloji Mühendisi Ender Ertunç'a teşekkür ederim.

Yazım konusunda yardımlarını esirgemeyen Jeofizik Yüksek Mühendisi ve İnşaat Mühendisi Çağdaş Çelik'e teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Bilal ŞAHİN
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	9
Şekil 3.2. Çalışma alanının topografik haritası.....	10
Şekil 3.3. DES yöntemi genel esası şekil çizimi.....	11
Şekil 4.1. Sandıklı Bölgesinin jeoloji haritası.....	15
Şekil 4.2. Araştırma sahasına ait olan ilin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.....	23
Şekil 4.3. Çalışma alanı civarında yer alan kuru ve sulu dereler.....	26
Şekil 5.1. Özdirenç çalışmasının yapıldığı birinci alan.....	29
Şekil 5.2. Özdirenç çalışmasının yapıldığı ikinci Örenkaya alanı.....	29
Şekil 5.3. Çizelge 5.3. te koordinatları verilen alana ait eş özdirenç seviye haritaları.....	30
Şekil 5.4. Çizelge 5.4.'te koordinatları verilen alana ait özdirenç eğrileri b) Ters çözüm modeli ve kesitler.....	33
Şekil 5.5. Kuyuların sınıflandırılmış ortalama sıcaklık değerlerini gösteren yerbulduru haritası.....	38
Şekil 5.6. Kuyuların ortalama sıcaklık değerlerini gösteren topografya haritası.....	38
Şekil 5.7. Sandıklı jeotermal havzasında kuyu ve kaynaklardan alınan su örneklerinin analizinden hazırlanan EC dağılım haritası.....	40
Şekil 5.8. Sandıklı jeotermal havzasında kuyulardan elde edilen sıcaklık dağılım haritası.....	41
Şekil 5.9. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik sıcaklığın derinlikle değişimi.....	43
Şekil 5.10. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik sıcaklığın derinlikle değişimi.....	43
Şekil 5.11. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik basınç profili.....	44

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

kcal/saat	Kilokalori/saat
° C	Santigrad derece
lt/sn	Litre/saniye
MWt	Megavat
Ωm	Ohm metre



1. GİRİŞ

Ülkemizin enerji ihtiyacının sürekli artması, yeni jeotermal alanların bulunmasını zorunlu kılmaktadır. Afyon ili jeolojik yapısından dolayı çeşitli maden yatakları oluşumu için uygun bir ortam sunmaktadır. Bu nedenle Afyon maden rezervleri ve maden çeşitliliği bakımından zengin bir ilimizdir. Önceki çalışmalar göstermiştir ki çok sayıda endüstriyel hammadde, metalik maden ve zuhurları ile jeotermal kaynaklar olduğu görülmektedir. Yeraltı sularına ait jeolojik bilgiler, özellikle yeraltı su depolarını içerebilen alüvyon havzalarının belirlenmesi amacıyla uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr>). Afyon sınırları dahilinde jeotermal potansiyelinin olduğu alanların belirlenmesine dair yapılan çalışmalarla Gazlıgöl, Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz, Sandıklı ve Heybeli-Çay-Çobanlar jeotermal alanları tespit edilmiştir. Ömer-Gecek-Kızık-Uyuz alanında sıcaklıkları 48-128 ° C aralığında değişen jeotermal kaynaklar bulunmuştur. Bölgede gerçekleştirilen jeotermal amaçlı sondaj çalışmaları sonucunda Ömer-Gecek havzasında 51-128 ° C sıcaklık ve 1600 lt/sn debide akışkan yeryüzüne çıkarılmıştır. Alanda 275.25 MWt termal güce sahip jeotermal enerji üretilmiştir. Gazlıgöl jeotermal alanında akışkan sıcaklıkları 39-68 ° C arasında değişen sondaj kuyuları belli bir süreden kaynaklar kurumuştur. Sandıklı Bölgesi içerisinde de Koçhisar, Hüdayi Hamamı ve Kızılören bölgelerinden geçen KD-GB doğrultulu fay belirlenmiştir. Şamilgil, E.(1964) Yapılan saha çalışması sırasında yüzeysel belirtilerde (Alterasyon, doğal çıkış v.b.) aranmış ancak belirgin bir tespit yapılamamıştır. Bu tespit yapılamamasının 2 temel sebebi olduğu düşünülmektedir. Buna göre; Rezervuarın derin kökenli bir konvektif yapıya sahip olması ve örtü kalınlığının görece fazla olması, Doğal çıkış niteliğindeki boşalım noktalarının, araştırma sahasının dışında kalması muhtemeldir. Sonuç olarak, araştırma sahasından elde edilen tüm bu veriler, jeofizik (DES) verilerin öngördüğü modelle entegre edilip, kuramsal bir rezervuar modelinin tespiti birinci öncelik olmalıdır. Buna ek olarak jeo-hidrokimyasal verilerin de modele ışık tutması kuvvetle muhtemeldir.

Bu çalışmada, Afyon-Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyuların ve kuyulardan elde edilen sıcak akışkanın fiziksel özellikleri incelenerek bölgenin genel durumu irdelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Çalışma alanı ve çevresini kapsayan bölgede jeotektonik ve jeofizik açıdan birçok yerli ve yabancı araştırmacı tarafından çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Aşağıda genel olarak bu çalışmalara değinilmiştir:

Parejas (1942) tarafından Sandıklı, Dinar, Burdur, Isparta ve Eğirdir kapsayan bölgede jeolojik löveler hakkında çalışmalar yapılmıştır ve bölgenin 1/100000 ölçekli jeoloji haritası hazırlanmıştır. Alanın, Alp Jeosenklinali, Torid çukurunun kuzey sahilinde olabileceği ve bölgenin stratigrafisinin Paleozoyik, Verrukana, Mesozoyik, Tersiyer (Eosen-Oligosen) ve Neojen'den meydana geldiği savunulmuştur.

Müller (1955) tarafından yapılan Afyon vilayetindeki termal kaynaklar adlı çalışmasında Hüdai Hamamı yanısıra Gazlıgöl, Ömer, Gecek ve Kızıl Kilise kaynakları hakkında bilgiler verilmiştir. Hüdai kaplıcasının bulunduğu alanın tektoniğinden söz edilmiş ve Hamamçayı vadisi boyunca oluşmuş sıcak su kaynaklarının iyi bir kaptaja tabi tutulması gereğini vurgulanmıştır.

Ronner (1956) tarafından Hüdai hamamı termal kaynaklarına ve kaplıcalarına dair muvakkat rapor adı altında, bölgenin jeolojisi ve tektoniği, sıcak suların radyoaktivite özellikleri çalışılmıştır.

Ronner (1962) tarafından Sandıklı ovası tektonik ve volkanik açıdan değerlendirilmiştir. Sandıklı ovasının (Orta Anadolu) bir Neojen havzası çöküntüsü olduğu, iki kademedan oluştuğu ve alttaki kademenin Pliyosen-Kuvaterner'den, üstteki kademenin ise Miyosen'den meydana geldiği savunulmuştur. Ayrıca, Kuvaterner boyunca Hüdai hamamı sıcak su kaynaklarının oluştuğunu ve bunların çıkış ısı ve radyoaktivite tenörü bakımından orta termal ve post volkanik bir safhaya ait olduğu ortaya konulmuştur (Ronner,1962).

Şamilgil (1964) tarafından Hüdai Hamamı (Sandıklı) hakkında jeolojik ve hidrojeolojik rapor isimli çalışmasında bölgenin jeolojisi ve tektoniği incelenmiş olup, sıcak suların

kökenine dair değerlendirmeler yapılmıştır. Yüksek debide su temini için derin sondajların yapılması gereğini vurgulayan araştırmacı, kaynak civarındaki fayların düşeye yakın bir konuma sahip oldukları ve sondaj lokasyonlarının kaynaklardan çok uzakta olması gerektiği belirtilmiştir.

Öngür (1973) tarafından yapılan çalışmada Sandıklı yerleşim merkezi ve civarının jeolojisi 1/25000 ölçekli olarak çalışılmıştır. Bunun yanısıra, jeomorfolojik ve tektonik özelliklere ayrıntılı olarak yer verilmiştir. Sonuç olarak da hidrojeolojik ve jeotermal yönden jeofizik çalışmalarının yapılmasının gerekliliği ve önemi vurgulanmıştır (Öngür, 1973).

Yenal vd. (1975) tarafından Sandıklı kaplıcası ile ilgili yapılan çalışmada, yörede bulunan sıcak su kaynaklarının kimyasal tahlil sonuçlarına göre alkali, toprak alkali-acı ve bikarbonatlı sular olarak üç gruba ayrılmıştır. Tıbbi açıdan değerlendirmelerin de yer aldığı çalışmada, ileri aşamaya ulaşmayan romatizma vb hastalıkların terapötik tedavilerinde sıcak suların çok yararlı olduğu belirtilmiştir.

Afşin (1991) tarafından Sandıklı Kuruçay ovası ve Hüdai kaplıcasının ayrıntılı olarak hidrojeoloji incelenmiştir. 450 km² lik bir alana yayılan inceleme sahasının temelini, Paleozoyik yaşlı epimetamorfitletlerin oluşturduğu, bunların üzerine gelen birimlerin Mesozoyik ve Senozoyik boyunca Kuvaternere kadar yer yer kesikli olarak devam ettiği savunulmuştur. İnceleme alanına düşen yıllık ortalama yağış miktarının 474,93 mm, gerçek buharlaşma-terlemenin 380,74 mm olduğu, serbest ve basınçlı akiferlerde yeraltısuyu akım yönünün GD'dan KB'ya doğru olduğu belirlenmiştir. Hüdai kaplıcasında; sıcak ve mineralli su kaynaklarının K-G ve D-B doğrultusunda uzanan fayların birbirini kestiği noktalarda olduğu, sıcaklıklarının 46,5-70 °C, debilerinin ise 87,0-91,5 l/s arasında değiştiğini belirlenmiştir (Afşin, 1991).

Afşin ve Canik (1996) çalışmasında ise, Sandıklı yerleşim merkezinde yeralan Hüdai kaplıcasını detaylı olarak incelemiştir. Hüdai sıcak ve mineralli su kaynaklarının K-G ve D-B yönünde uzanan fayların kesişme noktalarında açığa çıktığını ve kaynakların sıcaklık, pH, toplam debi ve toplam çözünmüş madde miktarlarının sırasıyla 62°C-68°C, 6.2-7.5, 87-91.5 l/s ve mineral değerinin 1360-1750 mg/l arasında değiştiği belirlenmiştir. Ayrıca, kimyasal bileşimleri nedeniyle tedavi edici nitelikte olan

kaynakların Ca, HCO₃, SO₄, SiO₂ 'li radyoaktif sıcak ve mineralli sular olduğu ifade edilmiş ve kaynakların hazne kaya sıcaklığını farklı jeotermometreler kullanarak 100 °C - 250 °C arasında değıştiği belirtilmiştir (Afşin ve Canik, 1996).

Mutlu (1997) tarafından Gazlıgöl (Afyon) termal ve maden sularının jeokimyasal özellikleri ve jeotermometre uygulama çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Ölmez vd. (2000) tarafından Afyon- Sandıklı Hüdai kaplıcası çevresinde yapılan jeofizik çalışmaları sonucu AFS-3 nolu sondaj lokasyonu önerilmiştir.

Hamut ve Şengüler (2001) tarafından hazırlanan Afyon-Sandıklı (Hüdai) jeotermal sahası koruma alanları raporunda 1994 yılında yapılan AFS-1 ve AFS-2 sondaj verileri ile 2000 yılında yapılan AFS-3, AFS-4, AFS-5 ve AFS-6 sondaj verilerini baz alarak koruma alanları belirlenmiştir.

Erdoğan vd. (2004) tarafından Sandıklı bölgesindeki temel birimler ayrıntılı olarak incelenmiş ve metamorfik temelde mikaşist, kuvarsit, fillit ve mermerlerin egemen oldukları belirlenmiştir.

Karamandere (2004) tarafından Afyon Sandıklı Hüdai Kaplıcası sıcak su sondajlarının (AFS-11, AFS-12, AFS-13 ve AFS-14) lokasyonları belirlenerek gerçekleşmesi sağlamıştır.

Karamandere (2008) tarafından Afyon- Sandıklı hüdai kaplıcası çevresinde yapılan çalışmalar sonucu AFS-14 nolu sondaj lokasyonu belirlenerek sondajın takibi gerçekleştirmiştir.

Memiş (2010) tarafından Afyon Sandıklı Hüdai jeotermal alanının hidrojeokimyasal özellikleri belirlenerek iz element kirliliği incelenmiştir. Çalışma alanındaki jeotermal sular Na-SO₄-HCO₃ tipli sular, yeraltısuları ise Ca-HCO₃ tipli sular olarak sınıflandırılabilir. Jeotermal sularda hakim iyon dizilimi, katyonlar için Na+K>Ca>Mg, anyonlar için SO₄>HCO₃>Cl olarak belirlenmiştir. İyon değışim diyagramları, jeotermal suların yeraltında uzun süre kalmadığını göstermektedir. Hüdai jeotermal alanındaki suların rezervuar sıcaklıkları silika jeokimyasal

termometreleri ile 85-120 °C arasında hesaplanmıştır. Entalpi-silika ve entalpi-klorür karışım modelleri sırasıyla 108-134 °C ve 98-120 °C rezervuar sıcaklıkları önermektedirler (Memiş, 2010).

Aksever (2011) tarafından yapılan çalışmada yarı kapalı havza özelliğindeki Afyon Sandıklı havzasının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özellikleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Sandıklı havzasında en önemli sorunun yoğun tarımsal faaliyetler sonucu aşırı yeraltısuyu çekimi olduğu ve bu nedenle sürdürülebilir kullanım için su potansiyelinin belirlenmesinin büyük önem taşıdığı ifade edilmiştir. Çalışma alanının orta kesimlerindeki hazne kayacın kuvarsit ve kireçtaşı olan Hüdai sıcak ve mineralli su kaynağının ise Na-SO₄'lı sular sınıfında olduğu belirtilmiştir. Özellikle Al, Fe, Ba ve Cd elementlerinde kaya-su etkileşimi ve sıcak su akiferi ile etkileşim olan noktalarda yersel artışlar gözlenmektedir (Aksever, 2011).

Koçyiğit vd. (2001) tarafından Batı Anadolu horst-graben sisteminin en doğu kesiminde yeralan Sandıklı grabeninin neotektonik özellikleri ve depremselliği incelenmiştir. Sandıklı grabeninin, verev atımlı normal faylarla (Akın, Kemer kayatepe, Ballık fayları) Miyosen sonunda gelişmeye başlamış, Geç Pliyosende başlayan ve Kuvaternerde de devam eden faylanmalarla (Gökçealan, Sandıklı, Maymunkayası ve Hüdaihamamı fayları) bugünkü geometrisini kazandığı ve bölgedeki fayların jeolojik olarak diri olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, Sandıklı grabeninin de deprem riski taşıdığı ve graben kenarı ile içindeki her tür yapılaşmada depremselliğin dikkate alınması gerektiği savunulmuştur (Koçyiğit vd., 2001).

Özpınar vd. (2002) tarafından Sandıklı civarındaki volkanitlerin yayılımını belirlemek amacıyla öncelikle, 250 km² lik alanda 1/25 000 ölçekli jeolojik haritası yapılmış, daha sonra bölgedeki tüflerin teknolojik özelliklerinin saptanmasına yönelik laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Tüf örneklerinin mineralojik bileşimleri, tüflerin yapı taşı olarak kullanılabilirliği, volkaniklerin jeokimyası, tüf ve tüfitlerin tras olarak kullanılabilirliği ve portland çimentosuna katılacak katkı miktarının saptanması gibi konulara yönelik olarak çok sayıda deney ve testler gerçekleştirilmiştir. Deney verilerine göre, ekonomik değere sahip volkanitlerin değerlendirilerek bölge ekonomisine çok yönlü katkılar sağlayacağı sonucunu elde etmişlerdir (Özpınar vd., 2002).

Gürsu vd. (2003) tarafından Orta Torosların batı kesiminde, Isparta Dirseğinde, Sandıklı yöresinde, Sultandağlarında ve Afyon kuzeyindeki alanlarda, farklı tektonik dilimlerde Erken Paleozoyik ve öncesi yaşlı birimleri incelenmiştir. Birimlerin bir bölümü Geyikdağı Birliği içerisinde değerlendirilen Karacahisar Kubbesindeki (Eğirdir) iki, Sultandağları kesimindeki iki ve Sandıklı bölgesi ile Afyon kuzeyindeki iki istifi karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Temel kaya olan Sarıçiçek formasyonunun Sarıçiçek üyesi ve Kocaosman üyesinden oluştuğu, bu iki üye arasında ise Çaltepe formasyonunun yer aldığı ve Seydişehir formasyonu ile de devam ettiği öne sürülmüştür. Bu birimler Mesozoyik istifleri tarafından örtülmektedir. İstifin temelini Bozburun şistlerinin oluşturduğu, üzerinde ise sırasıyla Sandıklı Temel Kompleksi, Gögebakan formasyonu, Hüdai formasyonunun Celiloğlu üyesi ile Örenkaya Kuvarsit üyesi ve Çaltepe formasyonu ile devam ettiği savunulmuştur (Gürsu vd., 2003).

Güngör vd. (2004) çalışmalarında, Sandıklı (Afyon) bölgesinde bulunan Erken Kambriyen yaşlı Kocayayla Grubu'nun deformasyon özelliklerini tanımlanmışlardır. Kocayayla Grubu 2500 m kalınlığa ulaşan Erken Kambriyen yaşlı bir istif ile temsil edilmektedir. Bu istifin en altında, Erken Kambriyen simgeleyen iz fosilleri içeren fillit arakatkılı kuvars kumtaşlarından oluşan Celiloğlu birimi bulunmaktadır. Gögebakan birimi, çört mercekleri, mafik volkanit ve kanal dolgusu çakıltası arakatkıları içeren metapelitler ve metapsammitlerden oluşur ve uyumlu bir dokanak boyunca Celiloğlu biriminin üstünde yer alır. Gögebakan birimi, tortul arakatkılar içeren riyolitlerden oluşan Kestel Çayı volkanitleri ile yanal ve düşey yönde geçişlidir. Taşoluk biriminin fillit arakatkıları içeren sarı renkli kumtaşlarından oluşup uyumlu bir dokanak boyunca Kestel Çayı volkanitlerinin üstünde Kocayayla Grubunun en üst birimini oluşturduğunu savunmuştur. (Güngör vd., 2004).

Oğuz (2011) tarafından Sandıklı'da jeotermal alanın temelini oluşturan Paleozoyik yaşlı kayaçların sıcak suların ana rezervuarı olduğu ifade edilmiştir. Afyon Paleozoyik grubu olarak tanımlanan birimin metamorfe olmuş kesimi Kestel formasyonu olarak adlandırılmıştır. Paleozoyik yaşlı kayaçların en üst seviyelerini Hüdai kuvarsit üyesi oluşturmaktadır. Bölgede yapılan arama ve üretim sondajlarından AFS-14 nolu sondaja ait kırıntı örnekleri üzerinde yapılan XRD analiz sonuçlarına göre; dolomit, kuvars, feldispat, kil mineralleri, zeolit, klorit, illit, mika birliktelikleri saptanmıştır.

Bu verilerden hareketle, bölgede potasik - albitik alterasyon ve 70 °C-110 °C'lik bir jeotermal ve/veya hidrotermal akışkan etkilerinden söz edilebilir (Oğuz, 2011).

Dolmaz (2014) tarafından İç Batı Anadolu'daki sismik belirtisi olmayan zon ile Sandıklı alanının jeotermal yapısı arasındaki ilişki ile ilgili çalışma yapılmıştır. Yüksek sismik aktiviteli alanlardaki sismik olmayan zonlar ile jeotermal yapı arasında bir ilişki bulunduğu belirtilmiş ve sismik olmayan bu rejyonal zonlarda jeotermal yapılar hakkında arama çalışmalarının yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Sandıklı ilçesi ve civar yerleşimi, konum olarak Afrika-Avrasya litosferik plaka sınırlarındaki tektonik hareketlerin etkili olduğu iç batı Anadolu'da bulunmaktadır. Afrika litosferik levhasının K-KD yönünde Anadolu litosferik levhası altına doğru daldığı Antalya Körfezi ve civarındaki derin odaklı depremlerin yanıl ve düşey dağılımları neticesinde ortaya konmuştur. Dalan litosferik levha üzerindeki K-G yönlü açılmalar yükselen astenosferle birlikte iç batı Anadolu'da rejyonal termal yapıların oluşmasına neden olmuştur. Dolmaz (2014) göre, Sandıklı yerleşimi de sismik olmayan Uşak-Afyon zonunda bulunduğu ve Sandıklı'nın jeotermal yapısının Afrika-Avrasya litosferik plaka sınırlarındaki tektonik hareketler ile ilişkili kontrol edildiği belirtilmiştir. Sismik aktif olmayan bu zonun kuzeyinde Gediz güneyinde ise Dinar son yüzyıl içersinde büyük depremlere maruz kalmıştır. Sismik aktivite görülmeyen Uşak-Afyon zonunda ise elde edilen sığ Curie derinlikleri, yüksek ısı akısına sahip alanlar, yüksek düşey ısııl gradiyentler, bölgede üst kabuktaki incelme ve yüksek kondüktiviteli alt kabuğun sığlaşması büyük bir termal yapıdan kaynaklanmaktadır. Güneyde Dinar ve kuzeyde Gediz gibi iki rejyonal aktif sismik alan arasında kalan ve Sandıklı'yı da içine alan düşük sismik aktivitenin bulunduğu Uşak-Afyon zonu sığ Curie derinlikleri ve yüksek ısı akısı ile özdeşleşmiş olup rejyonal bir jeotermal yapıya sahiptir. Sıcaklıktan dolayı bu alanda büyük deprem oluşumu için yeterli enerji birikemediği ve büyük magnitüdlü depremlerin Uşak-Afyon rejyonal jeotermal yapısının sınırlarında meydana gelebileceği vurgulanmıştır (Dolmaz vd., 2005; Dolmaz, 2014).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışma alanı, Afyon il merkezine yaklaşık 65 km uzaklıkta bulunan Sandıklı ilçesi ve çevresinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Çalışma alanının topoğrafik haritası Şekil 3.2 de gösterilmektedir. Ege-Orta Anadolu ve Akdeniz bölgelerinin kavşak noktasında yer alan Sandıklı ilçesinde ED 50, 6 derecelik harita sistemine göre 0251022D-4260488K, 0255782D-4261124K, 0255794D-4248403K, 0249008D-4249898K köşe koordinatları içerisinde 1/25.000 lik topoğrafik harita standartlarına göre Afyon K24D3, K24C4, L24A2, L24B1, L24A3 pafta sınırlarında bulunmaktadır. Çalışma sahası yaklaşık 16.000 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. Sandıklı ilçesi doğuda Denizli ili, Hocalar ilçesi, güneyde Dinar ve Haydarlı ilçeleri batıda, Şuhut ilçesi, kuzeyde ise Sinanpaşa ve Afyon'un merkez ilçeleri ile çevrilmektedir. Afyon'u Isparta, Antalya, Denizli ve Ankara'ya bağlayan karayolu ve Ankara-İzmir-İstanbul demiryolu bağlantıları mevcuttur.

Coğrafi Konumu

Sandıklı ilçesi Afyon iline bağlı olup Ege bölgesinde bulunmaktadır. Ankara-Antalya ulaşım güzargahı üzerindedir. Sandıklı ilçesi doğu yönü olarak Kumalar dağı eteklerine yakın yerleşim birimi olarak kurulmuştur. Coğrafi konum olarak 29° 50' – 30° 30' Doğu boylamları ile 38° 15' – 38° 45' Kuzey enlemleri arasındaki yer alır. Yüzölçümü ise bin otuz altı km² dir. Doğusunda Şuhut ilçesi, güneyinde Dinar, Denizli iline bağlı Çivril ilçesi, Uşak iline bağlı Sivashlı ve Hocalar ilçeleri, kuzeyinde ise Afyona bağlı Sinanpaşa ve merkez ilçesi vardır.

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Yöntem

Araştırma sahasında çalışmalar iki aşamalı olarak yapılmıştır. Öncelikli olarak açılan kuyuların ED 50, UTM 6 dereceye göre lokasyonları belirlenmiştir. Lokasyonları belirlenen birçok kuyudan sıcaklık değerleri alınmıştır. Alınan değerler çizelge haline getirilmiştir (Çizelge 5.3).

İkinci aşama olarak Sandıklı çalışma sahasında iki ayrı alanda özdirenç yöntemi kullanılmıştır. Özdirenç yöntemi jeolojik birimlerin elektrik özdirençlerinin saptanarak yer için özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan bir yöntemdir. Yatay tabakaların sağlıklı ölçülmesi, daha derinleri inceleyebilmesi, arazide uygulanmasının pratikliği, alınan ölçülerin yorumlanabilir olunması, ekonomik olması gibi sebeplerden dolayı bu yöntem maden, petrol, yeraltısuyu ve jeotermal araştırmalarda başarı ile kullanılmaktadır.

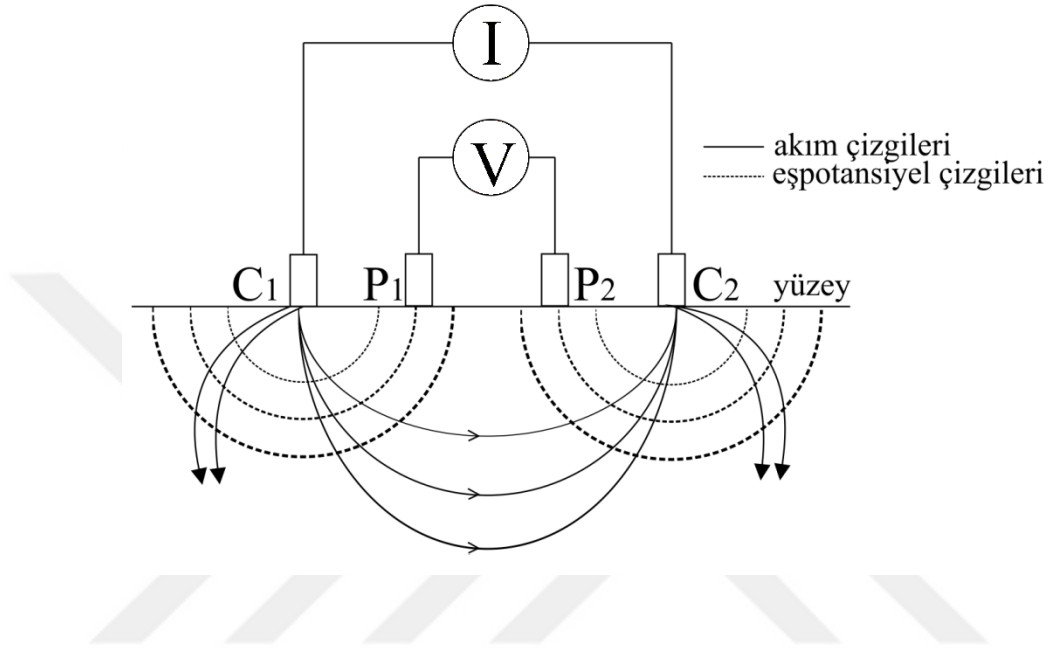
Yer içinde bir akım kaynağından iki elektrot ile gönderilen elektrik akımı metalik ortamda elektron ile taşınır. Bu sayede yer içinde elektrik potansiyel dağılımı oluşur. Bu oluşan potansiyel başka iki adet elektrot ile ölçülür. Uygulanan bu akım ve ölçülen potansiyel elektrotlar arasındaki geometrik durumun da göz önüne alınması ile ilgili bağıntılar kullanılarak özdirenç değerleri elde edilir.

Düşey Elektrik Sondaj (DES)

Düşey Elektrik Sondaj (DES) yöntemi dünya genelinde mühendisler tarafından en çok uygulanan yapay kaynaklı elektrik yöntemidir. Yöntemin kullanım kolaylığı ve ekonomikliği avantaj sayılıp pekçok jeolojik yapının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Jeotermal aramalarda, gömülü fayların bulunmasında, yeraltında su taşıyan rezervuar birimlerin aranmasında, zemin araştırmalarında, maden aramalarında, yeraltındaki fayların belirlenmesi çalışmaları vb. etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

DES çalışmasında yapay enerji kaynağı kullanılmaktadır. İki akım elektrotu sayesinde yere akım verilerek diğer iki potansiyel elektrotu arasındaki potansiyel farkın ölçülmesi üzerine uygulanan bir yöntemdir. (Şekil 3.3). Görünür özdirenç, verilen akımın etkilediği zeminin içeriğine bakmaksızın ortalama özdirencidir. Elektrik

özdirenç, ölçülmüş olan potansiyel değer farkının yere verilen akıma miktarına oranının elektrotların bulunduğu noktalarındaki konumları ile ilişkili bir geometrik katsayı ile çarpılmasıyla elde edilir. DES aramalarında gözlemlenen görünür özdirenç verilerinin yorumundan, yeraltının gerçek özdirenç ve formasyon kalınlıklarının bulunması amaçlanır (Narman, 2013).



Şekil 3.3. DES yönteminin genel esası: yüzeyde C1- C2 akım ve P1-P2 potansiyel elektrotlarına karşılık yarı sonsuz ortamdaki akım (düz çizgi) ve eş potansiyel çizgileri (kesikli çizgi) (Narman, 2013)

Ölçülen Parametre

Görünür Özdirenç: Görünür özdirenç değeri yere verilen akıma karşılık ölçülen gerilim farkından hesaplanır ve

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

bağıntıda;

Burada K geometrik faktör olarak isimlendirilir ve uzaklık boyutundadır. Hesaplanan gerilim farkı elektrotlar arasındaki uzaklığa, yere uygulanan akıma ve homojen ortamın özdirencine bağlıdır.

k = Geometrik faktör (elektrot dizilim tekniğine göre değişir),

C = Akım elektrotları (elektrot dizilim tekniğine göre değişir),

P = Potansiyel elektrotları (elektrot dizilim tekniğine göre değişir),

Schlumberger dizilim tekniğine göre;

$$k = \frac{2\pi}{\frac{1}{C_1 P_1} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} + \frac{1}{C_2 P_2}}$$

hesaplanır.

ΔV = Ölçülen potansiyel fark (mV),

I = Yere verilen akım (mA),

ρ_a = Görünür öz direnç (ohm.m) dır.

Elektrik öz direnç yönteminde genel dizilim yerine akım ve potansiyel elektrotların yerleri değiştirilerek buradan türetilmiş özel dizilimler kullanılmaktadır. Bu dizilimler elektrotların bir simetri merkezine göre düz bir hat boyunca yerleştirilmesinden elde edilen Schlumberger, Wenner, dipol-dipol, pol-dipol, pol-pol ve Wenner-Schlumberger dizilimleridir. Bu dizilimlerin özellikleri göz önünde bulundurularak karşılaşılan soruna göre sonuca ulaşmada en etkili olan dizilim seçilmektedir (Narman, 2013). Bu tez çalışmasında hedeflenen araştırma derinliğinin yüksek olması yatan tabakaların bulunabilmesi, yüzey koşullarının uygun olması sebebiyle Schlumberger dizilimi kullanılmıştır.

Ters Çözüm

Elektrik öz dirençte kullanılan ters çözüm yöntemi yapı parametrelerinin saptanmasında önemli bir değerlendirme yöntemidir. Ölçümlerde elde edilen veri, görünür öz direnç olduğundan; nesnenin öz direnç farklılığı, dizilim geometrisi ve derinlik gibi değişirgenler, bu değerinde değişiminde etkilidir ve nesnenin doğru elektriksel modelini yansıtmaz. Bu nedenle, nesnenin gerçek modelini elde etmek için ters çözüm çalışmaları yapmak gerekmektedir (Karataş, 2017).

Ters çözüm modellemesi, eldeki veriden nesneye ait parametrelerin saptanması ve bu parametrelere bağlı modelin oluşturulması işlemidir. Bu yöntemde nesne, sonlu sayıda sabit öz direnç değerinde bloklarla temsil edilir ve bu bloklara ait öz direnç değerleri

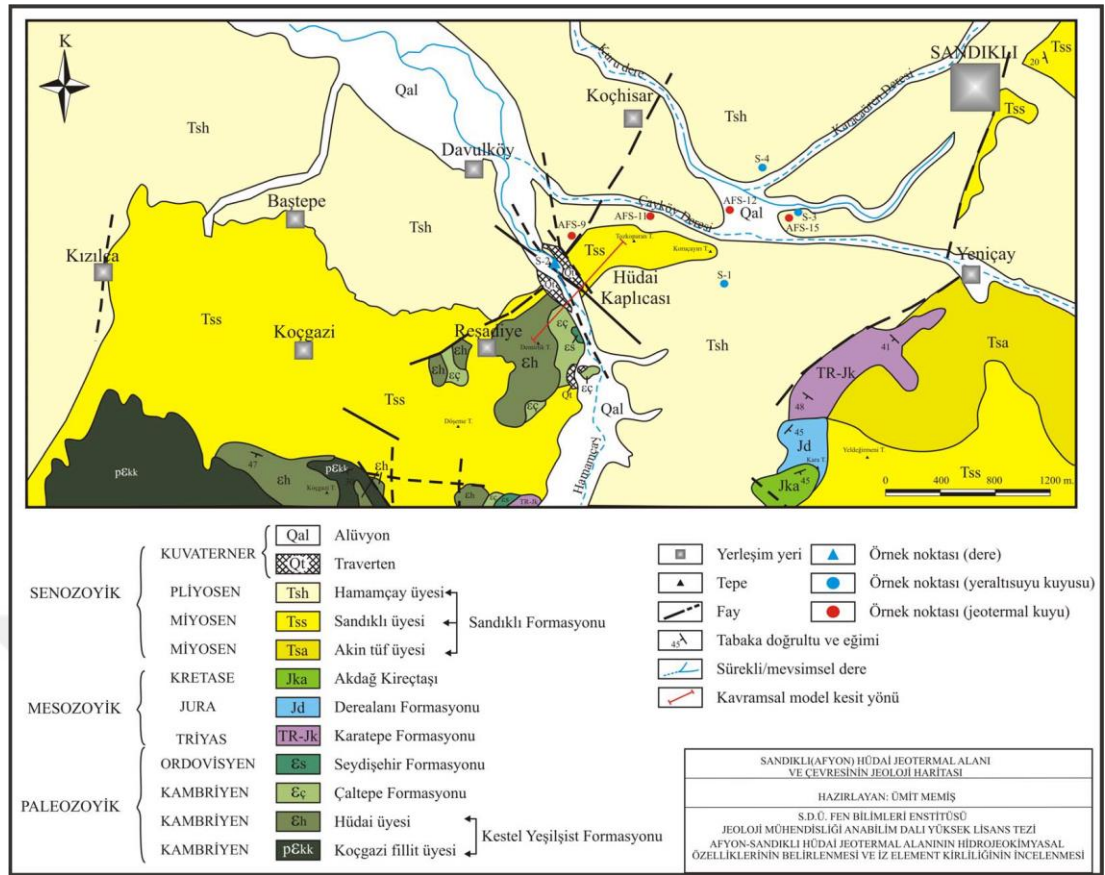
saptanmaya çalışılır. Başokur (2004) tarafından önerilen şekli ile belirli bir önkestirime karşılık gelen kuramsal veri hesaplanarak, ölçülen veri ile karşılaştırılır ve ortaya bir çakışma ölçütü çıkarılır. Ters-çözüm işleminde; ölçülen ve hesaplanan veri arasındaki hata miktarı, bu ölçüte göre en aza indirilmeye çalışılır ve böylece veriler arasında en uygun çakışmanın olduğu durumdaki parametreler belirlenerek çözüme ulaşılır. Ancak, ters çözüm işleminde; sadece belirli bir yinelemeye bağlı olarak elde edilen iyi bir çakışmayla sonuca ulaşmak her zaman için mümkün gözükmemektedir (Başokur, 2004).



4. GENEL JEOLojİ

4.1. Sandıklı Jeotermal Alanının Jeolojisi

Hüdaî jeotermal alanı, Sandıklı ilçesi sınırları içerisinde Afyon iline 65 km uzaklıkta ve güneybatısında bulunmaktadır. Sandıklı ilçesi ve civarında Hamamçay kaynakları adı altında bir çok sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Tabanda Koçgazi fillit üyesi çok düşük metamorfizmalı bej, kahvemsî bej renkli ince taneli kumtaşı, siyah ve kahve-mor renkli silttaşı ve bunlarla yer yer arakatlı metabazik sillerinden meydana gelir. Alt Kambriyen yaşlı Hüdaî formasyonu çoğunlukla kuvarsitlerden meydana gelmekte ve yer yer şistlerle aralanmalı bulunmaktadır. Jeotermal sistemin örtü kayacını oluşturan Seydişehir formasyonu miltaşı, şeyl ve kuvars kumtaşı aralanmasından oluşmaktadır. İstifin alt düzeylerinde ince, alacalı renkli ve yumrulu kireçtaşı bantları izlenmektedir (Afşin 1991; Özgül vd., 1991; Günay vd., 1995; Gürsu ve Güncüoğlu, 2005). Üst Triyas-Alt Jura yaşlı Karatepe formasyonu çakıltası, kumtaşı ve silttaşlarından oluşur. Derealanı formasyonu Alt Jura yaşlı olup, marnlı kumtaşı ile başlayıp, üste doğru kumlu, siltli ve killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı aralanması şeklinde devam etmektedir. Üst Jura-Alt Kratese yaşlı olan Akdağ formasyonu ise masife yakın breşik kireçtaşları ile başlar, yukarıya doğru çıkıldıkça çört bantları bulunan kireçtaşları ve daha üstte çört oranı artarak dolomitik özellikte kireçtaşları ile devam eder (Afşin, 1991; Özpınar, 2008). Sandıklı Formasyonu, Üst Miyosen yaşlı Akin tuf üyesi, Üst Miyosen yaşlı Sandıklı üyesi ve Pliyosen yaşlı Hamamçayı üyesinden oluşmaktadır. Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyon en genç çökellerdir (Afşin, 1991; Özgül vd., 1991; Dean ve Özgül, 1994; Kozlu ve Güncüoğlu, 1995; 1997; Gürsu ve Güncüoğlu, 2005; Özpınar, 2008). Sandıklı jeotermal sahasının ısı kaynağını bölgedeki volkanikler oluştururken, Paleozoik yaşlı metamorfikler içindeki çatlak ve kırıklı şistler ve kuvarsitler rezervuar kayacı meydana getirir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Sandıklı bölgesinin jeoloji haritası (Memiş, 2010)

Orta Anadolu, Ege ve Akdeniz bölgelerinin ortasında bulunan Sandıklı ilçesinde sektör olarak verimli arazileri sebebi ile tarım, arazi paylaşımı olarak diğer sektörlerle göre önemli derecede yer almaktadır. Tarım ürünlerinin üretimi, Sandıklı ilçesindeki ekonomik faaliyetlerin başındadır. Bu anlamda tarım alanlarının sahip oldukları verimlilik, bu verimliliğin mevcut tarımsal yapı durumu ile uyuşup uyuşmadığının belirlenmesi ve tarım alanlarından en yüksek seviyede faydalanılmasını sağlamak, tarımsal projelerin geliştirilmesiyle başarılı olacaktır. Sandıklı ilçesindeki tarıma elverişli arazilerin yer aldığı doğal çevre koşulları belirlenmiş ve bu doğal çevre koşullarının tarımsal faaliyetler üzerinde nasıl etkiler bıraktığı konusuna değinilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda tarım alanlarıyla alakalı planlar öneri olarak geliştirilecektir.

Kocayayla Porfiroid üyesi içindeki Eşeköreni Fayının Kestel çayını kestiği birimde yoğun kaolenleşme, serizitleşme malakit ve azurit bulaşıkları gibi bazı hidrotermal kalıntılar mevcuttur. Soğucak Tuf üyesinin Yağman civarındaki yanardağların etkin

bulundukları dönemlerde ağız ve çatlaklardan güçlü olarak ve çok az gürültüyle çıkan gaz ve buharların fümerol etkinliği de eski hidrotermal sistemlerin güncel göstergeleridir. Memiş (2010)

Sahada bugün etkinliğini sürdüren tek sistem Hüdai-Sandıklı hidrotermal sistemidir. Travertenler ile jeotermal kaynakları da sistemin yüzey verilerini oluşturmaktadır. Sıcak su kaynaklarının çevresinde travertenler 1 km²'lik bir alanı kaplarlar ve yer yer ışınsal yapılar içerirler. Öngür (1973) kaynakların ısı boşalımını yıllık ortalama hava sıcaklığı olan 11 °C ile kıyaslamış ve 4,45* 106 kcal/saat olarak hesaplamıştır.

Isıtıcı Sistem:

Bilindiği gibi yerkabuğunun içinden ve kabuk altından yeryüzüne doğru ısı transferi kondüktif ve konvektif olarak gerçekleşmektedir. Kondüktif ısı transferinde; katı cisimde ısı dağılımı her alanda düzgün değil ise akı adı verilen ısı transferi tedrici olarak gerçekleşir. Konvektif ısı transferinde ise; farklı sıcaklıklarda bulunan iki ortam arasındaki akışkanların taşınması ile ısı transferi meydana gelir. Her ikisinde de sıcaklık farkı olayın temelini oluşturur.

Sandıklı-Hüdai jeotermal alanında hidrotermal sistemin termalliği volkanik etkinlik sonucu oluşmuş olabilir. Ancak sahada etkin bir volkanik aktivite yoktur. Volkanik etkinlik alanda 7 milyon yıl önce gerçekleşmiştir. Bunun yanı sıra alanda termal suların varlığı normalin üzerinde bir ısı akışının göstergesidir. Bu durumda ısıtıcı olarak gittikçe alçalan bir gelişimin son aşamalarında da olsa volkaniklere bağlı bir ısı söz konusudur. Kısaca ısı kaynağı volkanizma sonrası hidrotermal aşamaya bağlı yüksek basınç altındaki emanasyonlardır.

Rezervuar:

Sandıklı-Hüdai hidrotermal sisteminde temeldeki metamorfik kayalardan kuvarsitler ikincil permeabiliteleri nedeniyle üstün bir rezervuar kaya özelliğindedir. Bunların üzerine devrik olarak oturan Akdağ kireçtaşları da aynı özelliğe sahiptir. Daha üstte yer alan formasyonlardan Derealanı Formasyonu ile Sandıklı Formasyonunun bu bölümdeki kesiti ise düşük geçirgenlikleri nedeniyle rezervuar kaya olma özelliğinde değildir. Sandıklı-Hüdai jeotermal alanında rezervuar kaya olarak tanımlanan

kuvarsitler ve Akdağ Kireçtaşlarının kalınlıklarına bakıldığında yerelde toplam 1500 metrelere ulaştığı görülür. Alandaki düşey yöndeki değişimler ve yapısal jeoloji dikkate alındığında kalınlığın 500 m olarak alınması yeterince emniyetli sonuçları ortaya koyar.

Örtü Kaya:

Ova içinde muhtemelen rezervuarın üzerinde yer alacak olan, Derealanı formasyonu ve Sandıklı formasyonunun kayaçları düşük geçirimsizlikleri nedeniyle iyi örtü olabilecek özelliktedirler. Ancak gravite sonuçları ve yapısal jeoloji bulguları, Hüdai hidrotermal sisteminin rezervuar kayaçların yeryüzüne yakın olduğunu örtü olacak kayaçların bulunmadığını horst kenarlarında kendini yüzeye vurduğunu göstermektedir. Bu durumda, örtü kayacın varlığını ortadan kaldıran bir yapının söz konusu olduğu görülmektedir.

4.2. Formasyonlar

4.2.1. Kestel yeşilist formasyonu (Pzk)

Yeşilist fasiyesi koşullarında metamorfizma geçirmiş olan birim aşağıdan yukarıya doğru Kocayayla porfiroid üyesi, metabazalt üyesi, Koçgazi fillit üyesi ve Hüdai kuvarsit üyesi olmak üzere dört üyeden meydana gelmiştir (Öngür, 1973). Birim, Gutnic (1977) tarafından Sandıklı Porfiroyitleri, Öztürk (1981) tarafından Kocayayla Metamorfizmaları ve Çakmakoglu (1986) tarafından da Kestel formasyonu olarak isimlendirmiştir.

4.2.1.1. Koçgazi fillit üyesi (Pekk)

Koçgazi fillit üyesi çalışma alanının güney batısında yüzeyde gözlenmektedir. İlk olarak Öngür (1973) tarafından Koçgazi fillit üyesi olarak adlandırılmıştır. Özgül vd. (1991)'de Kocayayla formasyonu içinde sadece üye olarak mertebesinde gözlemlenmiştir. Bu birim oldukça düşük metamorfizmalı bej, renkli ince taneli kumtaşı, kahvemsî bej, siyah ve kahve-mor renkli silttaşı ve bunlarla yer yer arakatkılı metabazik sillerinden oluşmuştur. Fillitlerin dış yüzeyi hafifçe siletleştir. Serizit

pulları aksesuar kuvars ve opak minerallerden kurulu olan fillitlerin kloritin çok olduğu örneklerinde apatit, titanit ve ilmenit aksesuar mineral olarak bulunmaktadır. Bu birimin kalınlığı olarak 200 m dolaylarındadır (Afşin, 1991; Gürsu ve Göncüoğlu, 2005). Tane boylarının küçüklüğü ve metabazitlerin varlığı büyük olasılıkla 16 volkanizmaya bağlı düşük enerjili denizel bir ortamı göstermektedir (Öztaş, 1989). Birim üste doğru Hüdai formasyonu ile yanal ve tedrici geçişlidir (Öngür, 1973).

4.2.1.2. Hüdai üyesi (Eh)

Hüdai üyesi çalışma alanının güney ve güney batısında yayılım haindedir. Hüdai formasyonu ilk kez Öngür (1973) tarafından “Kestel Yeşilşist formasyonu” içerisinde Hüdai kuvarsit üyesi olarak isimlendirmiş, Öztaş (1989) ve Afşin (1991) bu birimi Hüdai formasyonu olarak adlandırmıştır. Hüdai formasyonu daha çok kuvarsitlerden oluşmakta ve ara ara şistlerle aralanmalı haldedir. Kuvarsitler orta kalın katmanlı yer yer düzlemsel çapraz katmanlı, katman içi laminalı, açık gri, demirpası ve pembe renklidir (Afşin, 1991). Hüdai üyesinin kalınlığı yaklaşık olarak 400- 600 m aralığında olup delta ortamında çökelmiş olduğu araştırmacılar tarafından belirtilmiştir.

4.2.1.3. Çaltepe formasyonu (Eç)

Bu formasyon inceleme sahasının güney ve güney batısında herhangi bir kazı çalışması yapılmadan yüzeyden doğal olarak mostra halindedir. Blumenthal (1947) tarafından bulunmuş olup sonraki dönemlerde Dean ve Monod (1970); Özgül ve Gedik (1973) Çaltepe formasyonu araştırmışlardır. Birim başlıca dolomit, siyah renkli neritik kireçtaşı ve en üst düzeylerinde alacalı renkli yumrulu kireçtaşlarından oluşmaktadır Birimin büyük bir bölümünü oluşturan dolomitler, ayrışma yüzeyinin kızılımsı, koyu kahve renkli olmasıyla ayrılırlar. Taze yüzeyi gri, kirli beyaz renkli, iri kristalli, kalın katmanlı olan dolomitler en üst düzeylerinde bej, şarap renkli yumrulu kireçtaşı tabakalarını kapsarlar (Dean ve Özgül, 1994). Bu formasyon alttaki Hüdai formasyonu ile uyumlu haldedir. Üstüne gelen Seydişehir formasyonu ile ise daha çok uyumlu ve geçişli olarak görülmektedir. (Afşin, 1991; Gürsu ve Göncüoğlu, 2005). Birim içindeki trilobit fosillerden yararlanılarak birimin yaşının Orta Kambriyen olduğu belirlenmiştir. (Dean ve Özgül, 1994).

4.2.1.4. Seydişehir formasyonu (Es)

Seydişehir formasyonu inceleme alanının güneyinde daha seyrek bir alanda yayılmaktadır. Bu formasyon ilk olarak Blumenthal (1947) tarafından Seydişehir civarında Seydişehir şistleri diye adlandırılmıştır. Birim kuvars kumtaşı, ankimetamorfik miltaşı ve şeyl ardalanmasından meydana gelmektedir. İstifin alt kısımlarında ince, alacalı renkli ve yumrulu kireçtaşı bantları gözlemlenmiştir. Birimin kalınlığını kesin olarak belirlemek kıvrımlı özelliğinden güçleşmiştir. Buna rağmen 300 m civarında olduğu tahmin edilmektedir. Seydişehir formasyonu alttaki Çaltepe formasyonu ile uyumlu üstteki Mesozoyik birimlerle farklılık göstermektedir. Seydişehir formasyonunun içinde bulunan kireçtaşlarında gözlenen fosiller değerlendirildiğinde birimin yaş olarak Üst Kambriyen-Orta Ordovisyen aralığında olması gerektiği belirtilmiştir. (Gürsu ve Güncüoğlu, 2005).

4.2.1.5. Karatepe formasyonu (Tr-Jk)

Çalışma alanının güney ve güney batısında yeralan Karatepe formasyonu ilk olarak Parejas (1942) tarafından Güney Avrupa'daki Verrukona fasiyesine benzetilerek Verrucana olarak isimlendirmiştir. Öngür (1973)'de Karatepe verrucanası, Afşin (1991)'de Karatepe formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Formasyon en altlarda, bordo renkli ara ara açık kahverengi, demirpası renkli ve kirli sarı renklerde çakıltaşı, kumtaşı ve silttaşlarından meydana gelmektedir. Çakıltaşları kuvarsit, kuvarslı serisitli şist ve fillitik çakılları ile bağlayıcısı hematitli kumlu bir karbonat çimentodur. Karatepe formasyonu Üst Triyas-Alt Jura yaşlı olup, tabanda Seydişehir formasyonu üzerine uyumsuz olarak görülürken, üst kısımda ise Derealanı formasyonu ile uyumlu ve geçişli halde bulunmaktadır. (Afşin, 1991; Özpınar, 2008).

4.2.1.6. Derealanı formasyonu (Jd)

İnceleme alanının güney doğusunda yeralan Derealanı formasyonu ilk olarak Öngür (1973) tarafından Derealanı şist formasyonu olarak adlandırılmıştır. Sonraki çalışmalarda Gutnic (1977), Öztürk (1981), Çakmakoglu (1986), Öztaş (1989) ve Afşin (1991) Derealanı formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Bordo, kirli sarı renkli marnlı kumtaşı ile başlar, üste doğru gri, mor, kirli sarı, yeşilimsi, kahve renklerde

kalın katmanlı kumlu, siltli ve killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşı ar dalanması şeklinde devam etmektedir (Afşin, 1991). Tabanda Karatepe formasyonu ile uyumlu üstteki Akdağ formasyonu ile uyumlu ve geçişlidir. Alt Jura yaşıdır (Afşin, 1991; Özpınar, 2008).

4.2.1.7. Akdağ Kireçtaşı Formasyonu (Akçt)

Jeotermal alanda geniş bir yayılım gösterir, alanın dışında Akdağ zirvesini oluşturur. Hakim litolojisini kireçtaşları oluşturur. Geniş yayılımında değişik kayaç birimlerinden oluşur. Öngür (1973) çalışmalarında Akın Kireçtaşı Üyesi, Radyolarit ve Spilit Tabakaları, Kusura Kireçtaşı Üyesi ve Ergenlik Resif Üyesi olarak ayırarak incelemiştir. Hüdai Hamamı ve Karatepe'de küçük mostralara halinde gözlenirken, güneyde geniş yayılım gösterir. Kalınlığı yanal olarak değişmektedir ve genellikle 1000 m dolayındadır.

Uyumlu ve yanal geçişli olarak Derealanı formasyonunun üzerinde yer alır. Üstten ise uyumsuz olarak Eosen, Oligosen ve Neojen formasyonları ile sınırlandırılır.

Litolojik olarak ince kesitte mikrit niteliğindedirler. Hüdai Hamamı çevresindeki bindirmiş ve ezilmiş kireçtaşları, granoblastik dokulu makrokristalin dolomitten kuruludur ve az miktarda limonit süzülmesine rastlanır.

Derealanı şistleri üzerinde uyumlu olarak yer alır. Hüdai Hamamı dolaylarında kuvarsitlerin üzerinde bindirmeli olarak yer alır. Alanda diğer yerlerde kendinden genç tüm formasyonlar ile uyumsuz olarak örtülmekte ve lavlarla kesilmektedir.

4.2.1.8. Sandıklı formasyonu (Ts)

Tez çalışma inceleme alanı içerisinde geniş halde bulunan Derealanı formasyonu ile Sandıklı formasyonuna ait kayaçlar düşük geçirimliliğe sahip birimlerdir. Bu sebeple jeotermal sisteme dair uygun bir örtü kayaç özelliğine sahiptir. Yapısal jeolojiyi göz önüne aldığımızda ise hidrotermal sistem yapısının, rezervuar kayaçlarının yüzeyde

bulunan bölümlerde ve örtü kayacın olmadığı horst kenarlarında bulunduğunu göstermektedir.

4.2.1.8.1. Soğucak tuf üyesi (Tsa)

Soğucak tuf üyesi adıyla Öngür (1973) tarafından gözlemlenmiştir. Neojen formasyonunun tabanında ve inceleme alanının bütün doğu yarısında gözlemlenmektedir. Tümüyle tüflerden oluşmuş ve üstündeki Neojen birimleriyle, diğer volkanik kayalardan ayrılmıştır. Tuf breşi genellikle köşeli ve hemen hepsi kireçtaşı olan 0.2-3 cm boyutlu parçalar kum ve kül boyutundaki piroklastik gereç içinde bulunmaktadır. Tuf breşinin tavanı yerel olarak süngertaşı kumundan kurulu beyaz bir tuf düzeyi kurmaktadır. Karatepe'de tuf breşi, batıda Yayman Köyü güneyindeki küçük kireçtaşı (0.2-2 cm) ve kuvarsit parçaları içeren tuf breşi şeklindedir. Kalınlık olarak 50 - 120 m ler arasında değişiklik gözlenmiştir. Çoğu yerde daha yaşlı formasyonlar üzerine uyumsuz olarak gelip üstten de Sandıklı Miyosen Üyesi tarafından sınırlandırılır.

4.2.1.8.2. Sandıklı üyesi (Tss)

İnceleme alanı içerisindeki Sandıklı üyesi, taban boyunca kumtaşı ve çakıltaşları ile başlayan birim, aşağıdan yukarıya doğru kalın tabakalı marnlarla yer yer aralanmalı olarak kimi yerde kömür ara seviyeli şeklinde bulunarak killi kireçtaşları ve çamurtaşları ile sona erer. Afşin (1991)'de Üst Miyosen yaşlı Sandıklı üyesi özellikle doğuda tabanda karasal ve fluvial çökellerle başladığı ve giderek tatlı ve acı su özelliğine dönüştüğü belirtilmektedir. Sonraki zamanlarda ise killi kireçtaşı ve en üstteki kireçtaşı ile karakterize edilen birimlerin karasallaşma ile sona erdiği belirtilmiştir.

4.2.1.8.3. Hamamçay üyesi (Tsh)

Büyük bir bölümü Hamamçay boyunca gözlemlenmiştir. Karatepe-Hüdaî arasında devam eden birim, Sandıklı ovasına doğru daha da genişlemiştir. Yanal olarak değişkenlik göstermektedir. Hüdaî civarında yoğunluklu olarak kil birimleri ardından

da kum ve çakıl tabakaları; Karatepe-Sandıklı mevkiisinin doğusunda volkanik konglomera örtüsü, batısında ise ince çakıllı-killi silt, genelde volkanit, kısmen de kuvarsit ve kireçtaşı çakıllı konglomera şeklindedir. Koçgazi'nin batısında kırmızı kahverengi gevşek konglomera, altında silt, kil ve arasında konglomera halinde rastlanır. Kalınlık lokal olarak değişgenlik gösterip 30-120 m aralığındadır. Genel olarak doğu yönüne doğru daha çok siltli, batıda yönünde ise çakıllı olarak öne çıkmaktadır. Kalınlık batıda daha fazladır. Tabanda Sandıklı Üyesi ile uyumlu, üstten ise Alüvyon zonu ile sınırlıdır.

4.2.1.9. Traverten (Qt)

Çalışma alanında traverten oluşumları daha çok Hüdai kaplıcası çevresinde bulunmaktadır. Kalınlıkları 15 ile 25 m arasında bulunmaktadır. Uzunlukları 1 km boyunda birbirine paralel olarak iki doğrultu halinde KB-GD yönünde yayılmışlardır. Travertenler, iki paralel fay boyunca oluşmuş olup, bu faylar tamamen travertenle örtülmüştür (Mutlu, 1996). Sıcak su kaynakları yüzeyden akarken içerisinde bulundurduğu kireci ve başka ağır mineralleri maddeleri belli bir hat boyunca bırakmışlardır. Bu hat boyunca oluşan birimlerin esas aragonittir.

4.2.1.10. Alüvyon (Qal)

Hamamçayı boyunca gözlenir. Çakıl ve kumlardan oluşmuştur. Yüzeyden itibaren gözlenebilmektedir. Fazla derinliklere inmezler. Sığ olarak gözlenirler.

4.3. Stratigrafi

4.3.1. Tortul Kayaçlar

Mesozoyik

Jura-Kretase: İnceleme alanının yer aldığı bölgede yer alan ikinci zamana ait tortullar muhtemelen Jura-Kretase yaşlıdır. Güneyde geniş bir sahayı kaplayan bu seri yarı kristalize kalkerlerden ibarettir ve Paleozoyik yaşlı kalkerler üzerine diskordans olarak gelir. Genellikle doğrultu; kuzey-kuzeydoğu- güney güneybatı, eğimler ise güneybatıdır. Oldukça iltivalı olan bu seride birçok antiklinal ve senklinal yapılar

meydana gelmiştir. Bu kalkerlerin renkleri gri ve açık griden pembeye kadar değişir, 10 ile 25cm arası ince tabakalanmalar gösterir. Alpin tektoniğinin yakın etkilerine maruz kaldıklarından birkaç yönde çatlaklar bulundurlar. Yer yer karstik boşluklar mevcut olabileceği düşünülmektedir. Fakat sulu karstik boşluklara rastlanılmamıştır. Alüvyonun altına aşırı bir eğimle dalarlar. Görünür kalınlıkları 600-700 m civarındadır. (Memiş, 2010). Genelleştirilmiş stratigrafik harita Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

ÜST SİSTEM	SENZOYİK	MESOZOYİK	PALEOZOYİK	ÜYE	SİMGE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
	Kuvaterner				Qal	50-100		Alüvyon
					Qt	20		Traverten
	Pliosen				Tsh	100-250		Çakıltı, kum, silt, kil aralanmalı; gevşek dokulu
	Myosen				Tss	200-500		Tss: Marn, Killi kireçtaşı, Kumtaşı, Çakıltı Dismikrit, Biyomikrit, Kömür
	Üst				Tsa	60-100		Tsa: Tüf Breşi, Tüf, Tüfit
								UYUMSUZLUK
					Jka	500-700		Karstik, yer yer bloklu dolomitik kireçtaşları
								Masif, yer yer katmanlı kireçtaşı
								Breşik kireçtaşı
								Çoğunluğu mikritik kireçtaşı
					Jd	300-450		Kireçtaşı, fosilli, killi, kumlu kireçtaşları
								Silttaşı
								Marnlı kumtaşları
					TR-Jk	175-350		Silttaşı
								Çakıltı
								UYUMSUZLUK
					g	300		Yer yer çapraz katmanlı killi kireçtaşı mercekleri
								Silttaşı
					ç	350		Fosilli kireçtaşları
								Orta katmanlı dolomitler
					gh	400-600		Şistler
								Yer yer çapraz katmanlı kuvarsitler
					pekk	> 200		Bazik spilitik
								Metavolkanit
								Metakumtaşı
								Silttaşı

Şekil 4.2. Araştırma sahasına ait Afyon ilinin genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Memiş, 2010).

Senozoyik

Tersiyer: Etüt sahasında Tersiyer, ovanın kuzey ve doğusunda görülen Neojene ait kalkerlerle temsil edilmiştir. bu kalkerler gölsel olup ince tabakalıdır. Neojen esnasında pek şiddetli volkanik faaliyetler olduğundan, gölsel tortullar yer yer

kristalize olmuş ve alışıla gelen yataylıkları bozulmuştur. Genellikle eğimler düşük olup, nadir olarak da 45° kadar eğimler görülür. Genel doğrultu, kuzeydoğu-güneybatı, eğim; güneydoğudur. Neojen kalkerleri sarımsı beyaz renkli genellikle gevşek dokulu bazen kristalizedir. Kalınlıkları 50 m yi geçmez. Çoğunlukla tuf üstünde yer alırlar. Bazen marn, tuf ve aglomeralarla ara tabakalıdır. Kuvaterner: Etüt alanında Kuvaternere ait çökeller; yamaç molozu, birikinti konisi ve alüvyondur (Ertunç, 2017).

4.3.2.Magmatik kayaçlar

Genel olarak Neojende meydana gelmiş ve bütün sistem boyunca devam etmiş bir volkanizma faaliyeti; aşağıdaki volkanikleri oluşturmuştur. Trakit Tuf ovanın batısında geniş alanlar kaplar. Kuzey ve güneydoğuda Neojen kalkerleri altında yer alan bu formasyon ova alanında da alüvyon altında sürekli. Tüfler, genellikle kurşuni renkli, elle kırılır, daha nadiren de sarı renkli ufanır karakterdedir. Bol piroklastik içerirler. Satıhta çok yumuşak olan trakit tüfler, altdoğru sert kısımlar ihtiva ederler. Kalınlıkları çoğu zaman 300 m altındadır.

Aglomera: Çoğunlukla trakit tüflerin üstünde şapka şeklinde mostra veren bu formasyon başlıca siyah ve sarı renklidir. Siyah, kırmızı, kurşuni ve yeşilimsi renkli köşeli trakit çakıllarının siyah bir lav çimento ile birleşmesinden tipik bir volkanik breş ve aglomera meydana gelmiştir. Çimentolanan malzeme ise çoğunlukla sarı renkli tuf çakıllarıdır. Trakit çok azdır ve hiç bulunmaz. Aglomeralar genel olarak doğu-batı yönünde bir yayılım gösterir.

Tüfit: bölgede çok az mostra veren tüfitler, sığ Neojen göllerinde oluşmuşlardır. Genellikle kumtaşı görünüşündedir. Grimsi siyah renkli, gevşek çimentolu ve ince yatay tabakalıdır.

Trakit: Özellikle batı kesimde mostralar veren trakitler, yükseklerde dayanımlılığı sebebiyle tepeler halinde korunmuşlardır. Bütün Neojen boyunca devam etmiş magmatizma faaliyetleri, farklı renkte trakitler oluşturmuştur. Başlıca renkleri kurşuni siyah, eflatun, kırmızı ve yeşildir. En genç trakit yeşil renklidir ve çakıllarına yalnız alüvyon içinde rastlanır. Dokuları itibariyle pek rijit olup, birkaç istikamette çatlak sistemi ihtiva ederler (Ertunç, 2017).

4.3.3. Metamorfik kayalar

Ovanın kuzeydoğusunda, klorit şist ve killi şistler muhtemelen Predevoniyen yaşlıdır. Klorit şistler batıya doğru tüf altında yer alırlar. Bu bölgede Paleozoyik, kirli sarı renkli yer yer mikalı, killi şistlerle temsil edilmiştir. Çok ihtivalı bu formasyon üzerine yersel olarak kurşuni renkli kalsit damarlı bitümlü kalkerler konkordan olarak gelmiştir. Genel eğimleri batıya doğrudur (Ertunç, 2017).

4.4.Hidrojeoloji

4.4.1. Genel Hidrojeoloji

Çalışma alanı ve civarında Kuvaterner yaşlı alüvyon, yamaç molozu ve birikinti konisi, Neojen yaşlı kalker, tüf, tüfit, trakit, aglomera, Mesozoyik yaşlı kalkerler (yer yer kristalize olmuş) ve Paleozoyik yaşlı mermer ve şistler bulunur. Ova, orta ve güneyde meydana gelen bir çökmeden sonra oluşmuştur.

Yeraltı suyunun beslenme alanları; birikinti konisi, yamaç molozu, alüvyonun kum ve çakılları, Neojen kalker, tüf, aglomeraları ile muhtemelen mesozoyik kalkerlerdir. Beslenme; yağ ve yüzeysel akış, yeraltı suyu boşalımı ise; dereler, suni çekim ve boşalma vasıtası ile olmaktadır (Ertunç, 2017).

4.4.1.1. Su Kaynakları

Taşoluk kaynağı: Kargın köyünün 1,4 km güneydoğusunda Dibekkaya Tepe'nin kuzeyinde yer almaktadır.

Karapınar kaynağı: Sandıklı ilçesinin 6 km güneydoğusunda, Killik sırtının kuzeybatısında yamaçlarında bulunmaktadır.

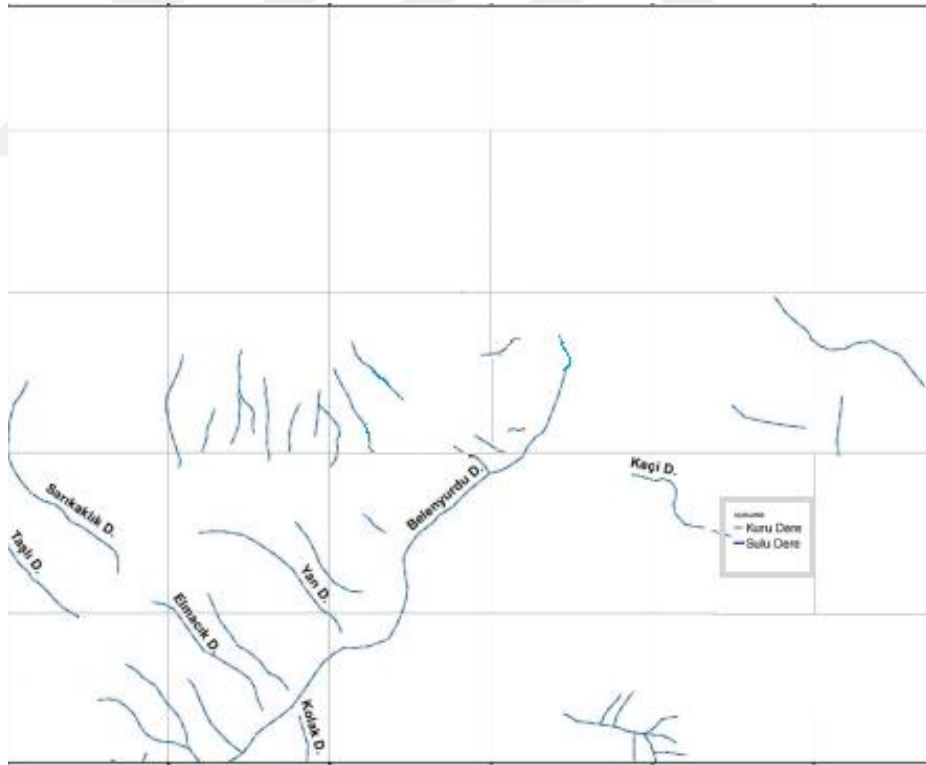
Karadere kaynağı: Selçik köyünün 1,5 km güneyinde ve Karapınar kaynağının 2,5 km kuzeybatısında bulunmaktadır.

Kızılca kaynağı: Kaynak Sandıklı yerleşim merkezinin güneybatısında Kızılca köyünün 1,2 km kuzeydoğusunda bulunmaktadır.

Yumruca kaynağı: Yumruca kaynağı, Sandıklının batısında bulunan Yumruca köyünün 1 km kuzeydoğusunda ve 983 m kotunda yer alan bir vadi çıkışlı kaynaktır.

4.4.1.2. Akarsular

Çalışma sahası genel itibariyle engebeli bir yapıya sahiptir ve bazı yerlerde keskin topografik düşümler gözlenmektedir. Çalışma sahasının güneybatısı yükseltilerden oluşan bir topografya üzerinde bulunmaktadır. Diğer kesimler düzlük tarımsal arazilerden oluşmaktadır. Bölgede yer alan dereler çoğunlukla mevsimsel akış özelliğine kuru derelerdir (Şekil 4.3). Bu derelerde yağışlı aylar dışında çoğunlukla su akışı gözlenmemektedir. Arazi etüdünün yapıldığı Ekim ayında bu derelerde su varlığına rastlanılmamıştır. Yıl içerisinde çoğunlukla kuru olan bu derelerden işletme aşamasında su kullanımı söz konusu değildir (Ertunç, 2017). Etüt alanı ve yakın çevresi yaklaşık olarak 1.150-1.230m kotları arasında değişen yükseltilere sahiptir.



Şekil 4.3. Çalışma alanı civarında yer alan kuru ve sulu dereler

4.4.2. Formasyonların Yeraltısuyu Taşıma Özellikleri ve Akiferler

Yeraltısuyu taşıma ve iletme özelliklerine göre proje alanında yer alan birimler geçirimsiz birimler, yarı geçirimli birimler ve geçirimli birimler (Akiferler) olarak aşağıdaki gibi ayırtlanmıştır.

4.4.2.1. Geçirimsiz Birimler

İnceleme alanında geçirimsiz nitelikte birimler bulunmamaktadır. Fakat yer yer alüvyonlar ve kalkerler içerisinde yer alan kil seviyeleri geçirimsizlikleri ile akiferlere basınçlılık özelliği kazandırabilmektedirler (Ertunç, 2017).

4.4.2.2. Yarı Geçirimli Birimler

Üst Senoniyen yaşlı kırıntılı, karbonatlı kayaçlar ile Orta Miyosen yaşlı piroklastik kayaçlar pekişmiş ve çimentolu yapılarından dolayı yarı geçirimli birimler olarak ayırtlanmışlardır. Pekişmiş ve çimentolu yapılarından dolayı yeraltısuyu iletimlilikleri çok iyi değildir (Ertunç, 2017).

4.4.2.3. Geçirimli Birimler (Akiferler)

Alanın en verimli akiferi alüvyon olup, bu akifer çoğunlukla tuf ve aglomera üzerinde yer alır. Arada geçirimsiz bir seviye olmadığından alüvyon, aglomera ve tuf, birlikte akifer olarak değerlendirilmişlerdir. Alüvyonun kalınlığı büyük değişkenlik göstermektedir. Alüvyon kuzey-güney yönünde ince, fakat yayılımı fazla; doğu-batı yönünde ise kalın, fakat yayılımı azdır. İnceleme alanında yer alan Neojen ve Miyosen yaşlı kalker düzensiz çatlak sistemleri ile yeraltı suyu iletirler ve yeraltı suyu beslenimine önemli katkı sağlarlar. Bu nedenle akifer özelliği göstermektedir. Alüvyon ve kalkerler ile birlikte Pliyosen ve Miyosen yaşlı kırıntılı çökellerde yeraltı suyu beslenimine katkı sağlamaktadırlar (Ertunç, 2017).

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında Afyon Sandıklı bölgesinde yer alan araştırma sahaları içerisinde jeotermal potansiyelin araştırılması kapsamında aşamalı olarak bölgede daha önce açılmış kuyulardan alınan sıcaklık değerlerinin değerlendirilmesi ve jeofizik yöntemlerden rezistivite yöntemi uygulanmıştır. Rezistivite çalışması lokal olarak iki ayrı bölgede gerçekleştirilmiştir. Bu sahalardan birincisi Sandıklı ilçesinin yaklaşık 8 km güneybatısında yer almakta olup 1.525 hektarlık bir alanı kapsamaktadır. L24A2-L24B1 paftaları içerisindeki alan kuzeyde Koçhisar ve Davulköy, batıda Reşadiye ve Hüdai Hamamı ile doğuda Yeniçay, güneyde Örenkaya ve Gökçealan mevkinin arasında kalmaktadır. Şekil 5.1’de birinci çalışılan alanın haritası verilmiştir. Diğer çalışma ise Sandıklı ilçesinin güneyinde yeralan Örenkaya kasabası civarında yapılmıştır. Şekil 5.2. de ikinci çalışılan alanın haritası verilmiştir. L24A2, L24A3 ve L24A4 paftaları içerisinde 3067 hektarlık alanı kapsamaktadır.

Klasik bir yöntem olan öz direnç yöntemi jeofizik aramalarda uygulanan başlıca yöntemler arasında yer alır. Jeotermal enerji kaynakları aramalarında en çok kullanılan yöntemdir. Bu açıdan uygulama alanlarının yaygınlığı ile hala güncel olan bu yöntem teknolojik ölçme cihazlarının kullanımı ve modelleme aşamasında gelişmiş teknikler kullanılarak uygulandığında oldukça iyi sonuçlar vermektedir. Günümüzde yeraltı yapısının daha anlaşılır ve daha ayrıntılı olarak ortaya konulabilmesi için bir boyutlu (1B) değerlendirme ve yorumlama teknikleri yeterli olmamaktadır. Bununla birlikte teknolojik gelişmeler ve yapılan araştırmaların sonuçları dikkate alınarak iki boyutlu (2B) değerlendirme ve yorumlama tekniklerinin kullanılması artık standart hale gelmeye başlamıştır.

Bir boyutlu (1B) değerlendirmelerde ve yorumlama aşamalarında ölçülen Düşey Elektrik Sondaj (DES) eğrileri üzerinde yüzeye yakın cisimlerden ve akımların yerleştirildiği ortamdan kaynaklanan etkiler önemli ölçüde bulunabilmektedir. Bu etkiler DES eğrilerinde ölçülen öz dirençlerin azalmasına ya da artmasına neden olabilir. Bu olay bir boyutlu (1B) çözümde aslında bulunmayan katmanların varmış gibi gözükmesine ve görünür öz direnç eğrilerinde düşey kayma etkisine neden olabilmektedir.

Bu tez çalışmasında Sandıklı grabeni dahilinde ilçe civarından güneyde Kızılören yerleşimine kadar yer alan alanlarda toplam 6 profil üzerinde bulunan 84 DES noktasında elektrik özdirenç çalışması gerçekleştirilmiştir. Görünür özdirenç verileri hem 1B hem de iki boyutlu 2B ters çözüm teknikleriyle değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Sandıklı grabeni boyunca tektonik hatlar ve olası jeotermal zonların varlığını açıkça ortaya koymuştur.



Şekil 5.1. Özdirenç çalışmasının yapıldığı birinci alan (<http://yerbilimleri.mta.gov.tr>)

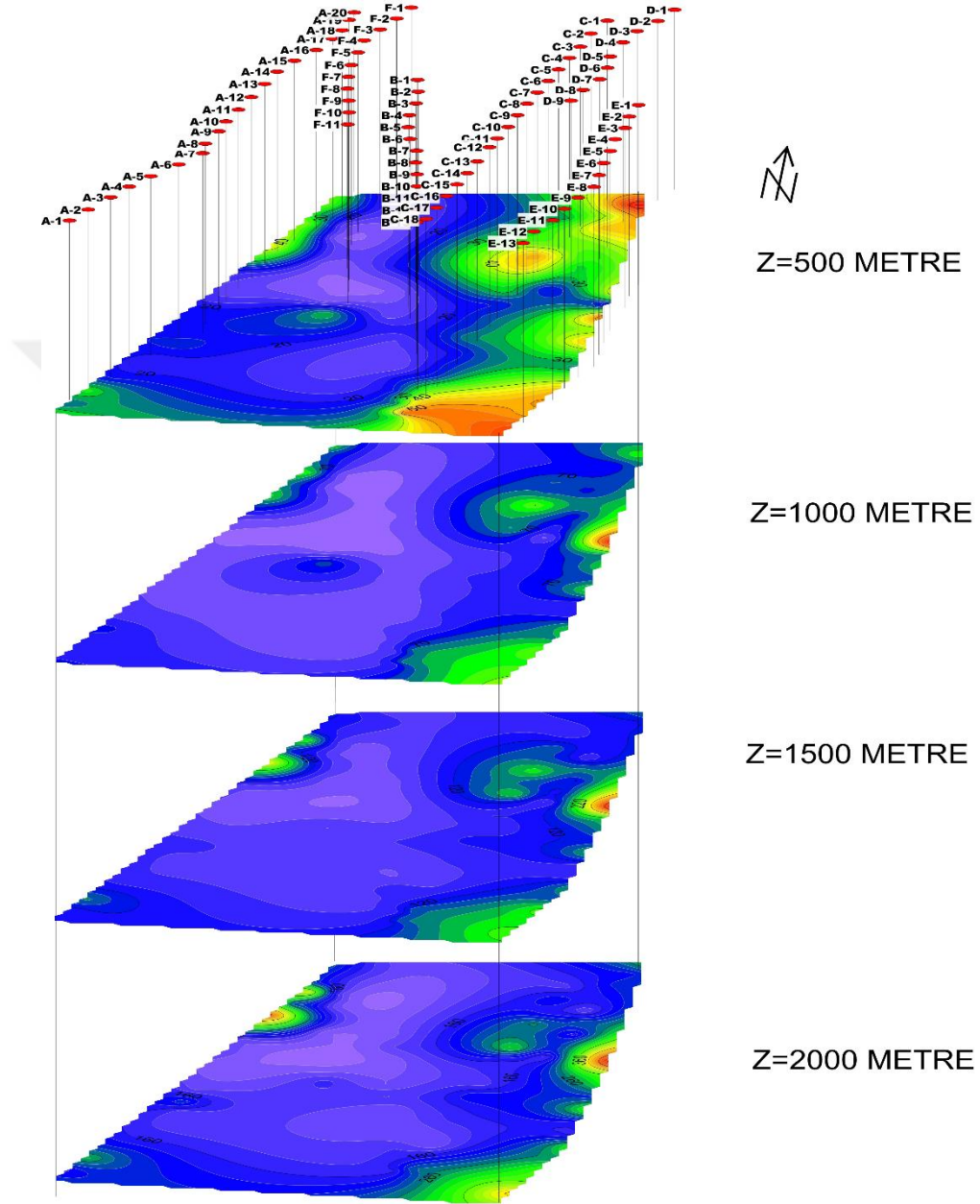


Şekil 5.2. Özdirenç çalışmasının yapıldığı ikinci Örenkaya alanı
(<http://yerbilimleri.mta.gov.tr>)

5.1. Özdirenç Yöntemi Bulguları

Birinci çalışma sahasında, Schlumberger elektrot dizilimiyle (sensen dört 84 noktada DES yöntemi uygulanmıştır. Şekil 5.3’ te koordinatları verilen alana ait eş-özdirenç seviye haritaları, Çizelge 5.1’ de ise ölçü noktalarının koordinatları verilmiştir. İkinci olarak 3068 hektarlık bir alanın jeotermal potansiyelinin araştırılması amacı ile

Örenkaya Kasabası civarında Schlumberger elektrot dizilimiyle 6 noktada DES yöntemi uygulanmıştır. Şekil 5.4'te bu alanın ters çözüm modellemesi ve öz direnç eğrileri gösterilmektedir.



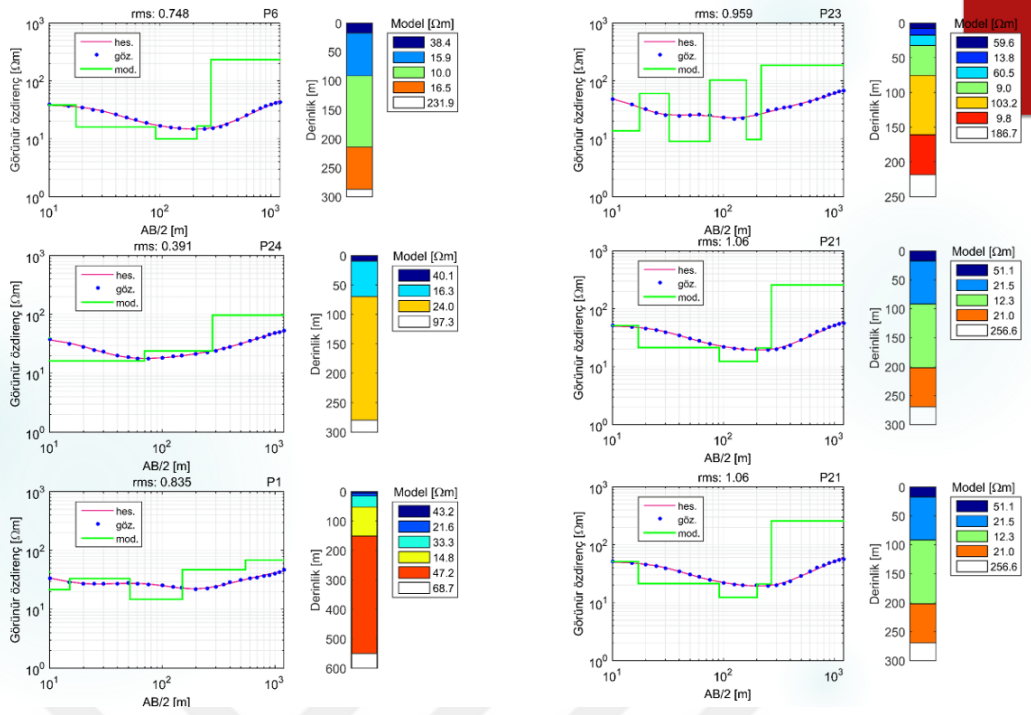
Şekil 5.3. Çizelge 5.3' te koordinatları verilen alana ait eş-öz direnç seviye haritaları

Çizelge 5.1. Şekil 5.3'deki ölçüm noktaları koordinat tablosu

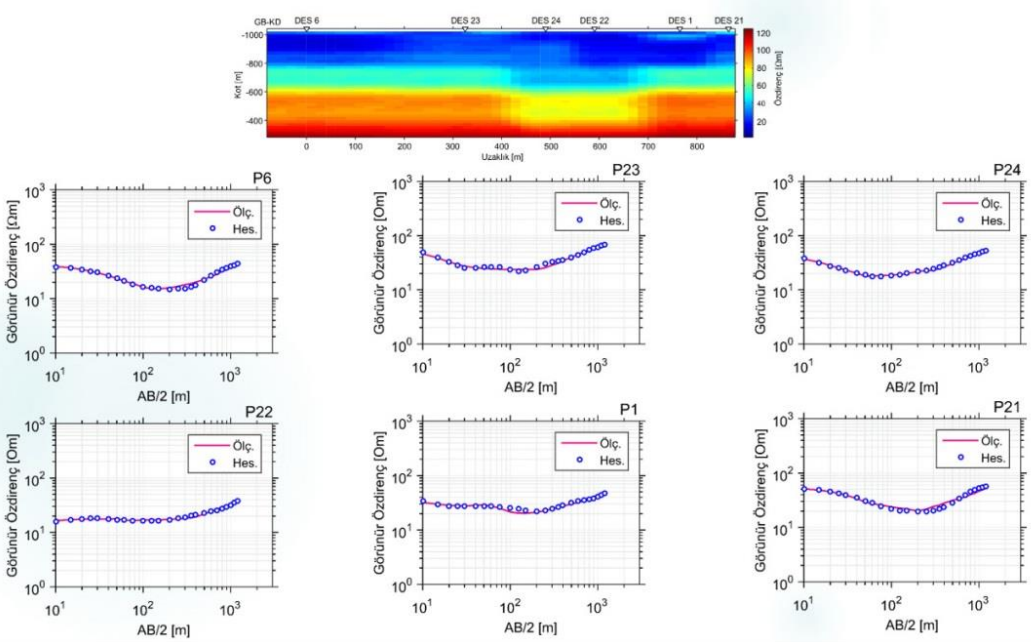
	Boylam	Enlem		Boylam	Enlem
A-1	4247867	251651	D-1	4254949	257472
A-2	4248232	251831	D-2	4254579	257311
A-3	4248645	252047	D-3	4254239	257112
A-4	4249011	252226	D-4	4253860	256976
A-5	4249361	252434	D-5	4253382	256853
A-6	4249750	252702	D-6	4252999	256827
A-7	4250131	252933	D-7	4252616	256750
A-8	4250452	252958	D-8	4252253	256593
A-9	4250863	253087	D-9	4251897	256475
A-10	4251201	253156	E-1	4251748	257127
A-11	4251598	253276	E-2	4251365	257035
A-12	4252017	253399	E-3	4250976	256997
A-13	4252460	253530	E-4	4250601	256901
A-14	4252871	253649	E-5	4250208	256852
A-15	4253239	253815	E-6	4249795	256789
A-16	4253603	254025	E-7	4249394	256745
A-17	4253979	254183	E-8	4248995	256698
A-18	4254265	254275	E-9	4248638	256546
A-19	4254610	254340	E-10	4248259	256413
A-20	4254862	254390	E-11	4247878	256301
B-1	4252600	255000	E-12	4247495	256118
B-2	4252202	255006	E-13	4247108	256016
B-3	4251802	254983	F-1	4255027	254940
B-4	4251406	254920	F-2	4254654	254798
B-5	4251008	254908	F-3	4254290	254639
B-6	4250610	254926	F-4	4253921	254487
B-7	4250217	254990	F-5	4253520	254426
B-8	4249819	254981	F-6	4253094	254362
B-9	4249420	254994	F-7	4252697	254333
B-10	4249014	254998	F-8	4252298	254324
B-11	4248624	255000	F-9	4251898	254338
B-12	4248211	255001	F-10	4251500	254340
B-13	4247812	254996	F-11	4251100	254329
C-1	4254584	256825			
C-2	4254155	256668			
C-3	4253715	256565			
C-4	4253331	256461			
C-5	4252943	256356			
C-6	4252559	256257			
C-7	4252171	256152			
C-8	4251793	256053			
C-9	4251406	255960			
C-10	4251013	255870			
C-11	4250630	255765			
C-12	4250332	255692			
C-13	4249853	255573			
C-14	4249462	255479			
C-15	4249079	255379			
C-16	4248691	255278			
C-17	4248303	255183			
C-18	4247920	255082			

Schlumberger elektrot dizilimi kullanılarak Düşey Elektrik Sondajı (DES) tekniği ile toplanan toplam ellibeş veri kümesi bir ve iki boyutlu (1B ve 2B) modellenmiştir. 1B'lu modellemede sönümlü en-küçük kareler yöntemi kullanılırken düzgünlük-kısıtlı doğrusallaştırılmış en-küçük kareler iyileştirmesine dayanan 2B'lu modellemede yaklaşık K-G doğrultulu üç profil üzerinde toplam 28 DES noktası değerlendirilmiştir. Böylece jeolojik formasyonların yanal ve düşey yöndeki uzanımları, yeraltındaki su içeriği ve düşük öz dirençli zonlar belirlenerek çalışma alanının jeotermal potansiyeli ortaya konmuştur. Bu çalışmadan elde edilen tüm sonuçlar dikkate alındığında alandaki 15 ohm.m'den düşük öz direnç değerleri gösteren bölgelerde sondajlar önerilmiştir.

Şekil 5.4' te ise Sandıklı ilçesinin güneyinde yeralan Örenkaya kasabası civarında Schlumberger elektrot dizilimiyle 6 noktada DES yöntemi uygulanarak elde edilen ters çözüm modellemesi gösterilmektedir. Ters çözüm modellemesi, yapılan DES ölçümlerdeki parametrelerin bulunması ve bu parametrelere bağlı modelin oluşturulması işlemidir. Alınan DES ölçülerinin sonucunda kesitler ortaya çıkarılmıştır. Örenkaya kasabası civarından alınan DES ölçülerinin ters çözüm modellemesi ile oluşturulan kesit bütün ölçülerin bir arada değerlendirilmesini sağlamıştır.



(A)



(B)

Şekil 5.4.a) Çizelge 5.4'te koordinatları verilen alana ait öz direnç eğrileri, b) Ters çözüm modeli ve kesitler

Çizelge 5.2. Şekil 5.4'teki ölçüm noktaları koordinat tablosu

DES	SAĞA Y	YUKARI X	KOT	MESAFE m
6	4251448	252421	1042	325
23	4251687	252650	1029	165
24	4251852	252679	1032	100
22	4251934	252729	1033	175
1	4252105	252705	1038	100
21	4252149	252787	1038	

5.2. Kuyuların Sıcaklık Değerleri

İnceleme alanındaki kuyuların koordinatları ve bazıları için elde edilen sıcaklık değerleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.4'te ise kuyuların sıcaklık değerleri sınıflandırılmış olarak renk skalasıyla belirtilmiştir.

Çizelge 5.3. Çalışma alanındaki koordinatları verilen mevcut kuyuların sıcaklık değerleri

KUYU NO	KUYU ADI	KOORDİNATLARI		SICAKLIK (°C)
		Y	X	
1.	AFS-1	4257695	254265	-
2.	AFS-2	4257656	254342	66.8
3.	AFS-3	4257888	254326	-
4.	AFS-4	4257862	254294	-
5.	AFS-5	4257625	254262	-
6.	AFS-6	4257628	254544	-
7.	AFS-7	4258067	254678	-
8.	AFS-8	4257360	254312	-
9.	AFS-9	4258055	254684	69.1
10.	AFS-10	4257758	254395	-
11.	AFS-11	4258473	257731	80
12.	AFS-12	4258911	257191	-
13.	AFS-13	4258123	257428	80
14.	ŞK1	4257932	255087	-
15.	ŞK2	4258054	255326	-
16.	ŞK3	4258849	257245	-
17.	ŞK4	4259090	257491	-
18.	Sinanoğlu-1	4258107	255078	69.2
19.	Sinanoğlu-2	4258487	255575	-
20.	Okşanlar kuyusu	4258533	255946	71.5
21.	Koçhisarlı kuyusu	4258578	255822	-
22.	ASS-1	4259546	259656	18.5
23.	Mevlüt Özçınar	4257589	254854	62.7
24.	Kadioğlu kuyusu	4257241	254930	26.4
25.	DSİ Kuyusu	2258259	254626	-
26.	Mustafa Özer Kuyusu	4258254	254630	-
27.	Hüseyin Şimşek kuyusu	4258299	254567	-
28.	DSİ Kuyusu-2	4259162	254868	-
29.	Şaban kuyusu	4260276	257026	36.1
30.	Ali Rıza Karakoç kuyusu	4260163	257607	-
31.	Orman Fidanlığı kuyusu	4260173	258043	-
32.	Sandıklı Beton kuyusu	4260127	258758	29.1

Çizelge 5.3. Çalışma alanındaki koordinatları verilen mevcut kuyuların sıcaklık değerleri devamı

33.	Belediye Terfi merkezi içme suyu	4259587	259798	14.3
34.	Sandıklı Tarım kuyusu	4259321	259708	16.4
35.	Mehmet Diker kuyusu	4259586	259412	16.4
36.	Hidayet Kıymaz kuyusu	4261785	258989	17.8
37.	Ali Yağcı kuyusu	4261388	257758	27.9
38.	Sipsim 2 nolu içme kuyusu	4257393	256932	22.3
39.	İrfan Coşkun kuyusu	4257359	255837	26.6
40.	Çelik Turşu Fabrikası-1	4256396	254797	14.6
41.	Çelik Turşu Fabrikası-2	4256556	254915	18.2
42.	Halil Hilmi Kırkpınar kuyusu	4258633	253109	13.3
43.	Beştepe kuyusu	4258439	249464	28.6
44.	Çandırın Cengiz kuyusu	4259050	257896	-
45.	Selçiköyü kuyusu	4259113	258035	-
46.	Osman Amca kuyusu	4259179	258802	-
47.	Sera arkası kuyusu	4259237	259626	-
48.	Çayköylü yusuf amca kuyusu	4259082	258692	-
49.	Çakıcının kuyusu	4259005	258211	38.8
50.	Selçiköyü kuyu güneyi	4258978	258064	24.6
51.	Gaganalar çiftliği kuyusu	4258454	256943	-
52.	Necmi Kuyusu	4257462	254368	-
53.	Hasan Hüseyin Şimşek Kuyusu	4259256	256600	-
54.	Koçhisarlı Halil kuyusu	4259535	256968	-
55.	Koca Veliler-1	4259373	257064	-
56.	Tatların Ahmet	4259237	257206	-
57.	Koca Veliler-2	4259227	257314	-
58.	Aktürkler kuyusu	4256163	248977	85
59.	Yaşarlar kuyusu	4258223	255551	78
60.	Aldosan 1 kuyusu	4256163	248977	80
61.	Aldosan 2 kuyusu	4255974	248074	61
62.	Sanjet kuyusu	4260175	259155	76
63.	İshak Özbek kuyusu	4259094	253039	46.5
64.	İshak Özbek Koç 1	4259877	254719	51.4

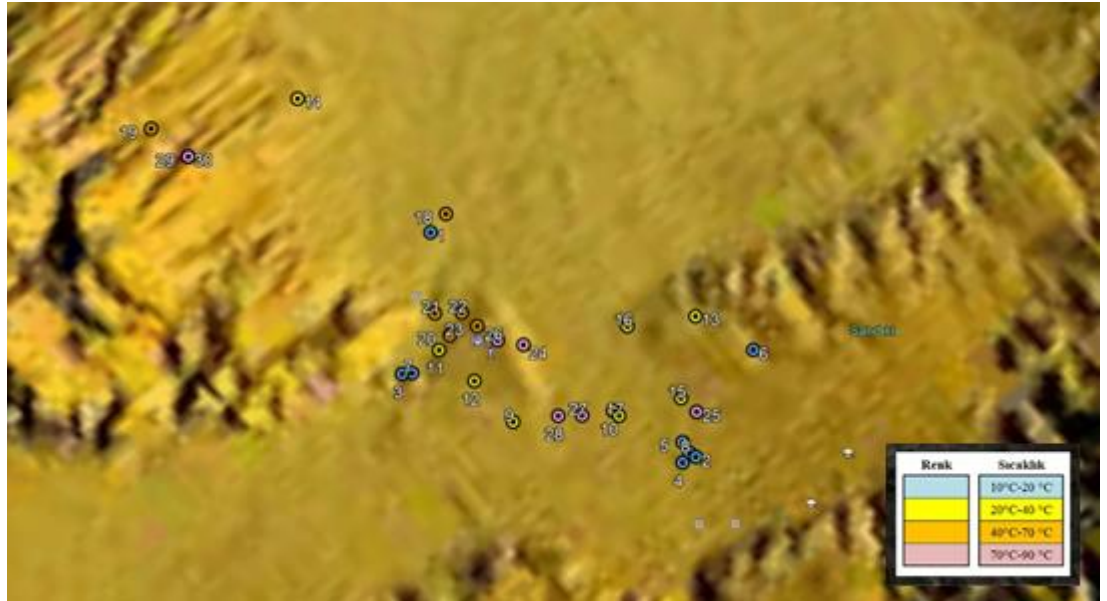
Çizelge 5.4. Çizelge 5.3'te verilen kuyuların sıcaklık durumuna göre sınıflandırılması

KUYU NO	KUYU ADI	KOORDİNATLARI		SICAKLIK	Renk	Sıcaklık
		Y	X	(°C)		
1	Halil Hilmi Kırkpınar kuyusu	4258633	253109	13.3		10°C-20°C
2	Belediye Terfi merkezi içme suyu	4259587	259798	14.3		20°C-40°C
3	Çelik Turşu Fabrikası-1	4256396	254797	14.6		40°C-70°C
4	Sandıklı Tarım kuyusu	4259321	259708	16.4		70°C-90°C
5	Mehmet Diker kuyusu	4259586	259412	16.4		
6	Hidayet Kıymaz kuyusu	4261785	258989	17.8		
7	Çelik Turşu Fabrikası-2	4256556	254915	18.2		
8	ASS-1	4259546	259656	18.5		
9	Sipsim 2 nolu içme kuyusu	4257393	256932	22.3		
10	Selçiköyü kuyu güneyi	4258978	258064	24.6		
11	Kadıoğlu kuyusu	4257241	254930	26.4		
12	İrfan Coşkun kuyusu	4257359	255837	26.6		
13	Ali Yağcı kuyusu	4261388	257758	27.9		
14	Beştepe kuyusu	4258439	249464	28.6		
15	Sandıklı Beton kuyusu	4260127	258758	29.1		
16	Şaban kuyusu	4260276	257026	36.1		
17	Çakıcının kuyusu	4259005	258211	38.8		
18	İshak Özbek kuyusu	4259094	253039	46.5		
19	İshak Özbek Koç 1	4259877	254719	51.4		
20	Aldosan 2 kuyusu	4255974	248074	61		
21	Mevlüt Özçınar	4257589	254854	62.7		
22	AFS-2	4257656	254342	66.8		
23	AFS-9	4258055	254684	69.1		
24	Sinanoğlu-1	4258107	255078	69.2		
25	Okşanlar kuyusu	4258533	255946	71.5		
26	Sanjet kuyusu	4260175	259155	76		
27	Yaşarlar kuyusu	4258223	255551	78		
28	AFS-11	4258473	257731	80		
29	AFS-13	4258123	257428	80		
30	Aldosan 1 kuyusu	4256163	248977	80		
31	Aktürkler kuyusu	4256163		85		

Sandıklı bölgesindeki açılan 63 adet kuyunun ortalama sıcaklık değerlerine göre sınıflandırılmış halini gösteren yerbulduru haritası Şekil 5.5'te görülmektedir. Şekil 5.6'te ise aynı bölge topografik olarak gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Kuyuların sınıflandırılmış ortalama sıcaklık değerlerini gösteren yerbulduru haritası



Şekil 5.6. Kuyuların ortalama sıcaklık değerlerini gösteren topografya haritası

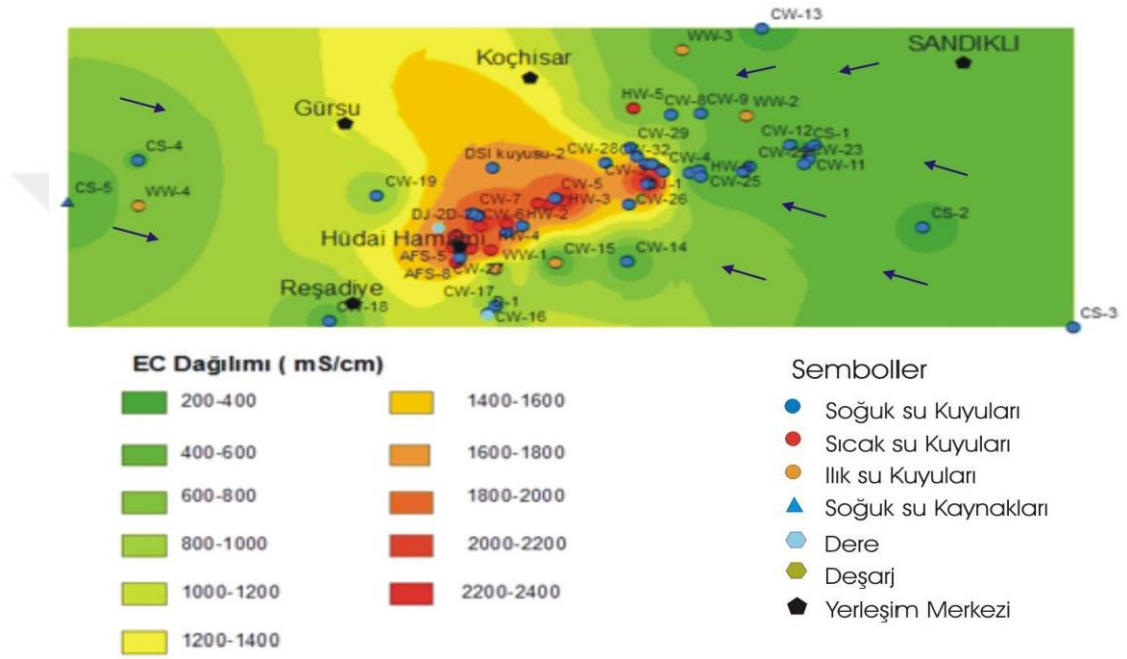
Sandıklı ilçesi ve civarında bulunan sığ ve derin kuyulardan alınan sıcaklık bilgileri değerlendirildiğinde, çalışma alanı içerisinde sıcaklıkların homojen ve düzenli bir dağılım göstermediğini söyleyebiliriz. Sandıklı ilçe merkezinin batısındaki kuyulardaki sıcaklık değerleri çevredeki diğer alanlardaki kuyulara göre göreceli olarak nispeten daha yüksektir. Ortalama 65 °C seviyelerindedir. Buna rağmen yüksek ısıda akışkan bulunduran kuyulara yakın mesafedeki düşük sıcaklık (18-25 °C arası) içeren soğuk su kuyularının olmasının sebebi ise, bu kuyuların derinliklerinin sığ olması, kuyu teçhiz planları (çapı, boru dizaynı, çakılama vb) ve çıkarılan akışkanın kullanım amaçları (tarımsal sulama, hayvancılık vb) önemli rol oynamaktadır.

Sandıklı jeotermal alanında bulunan suların kaynak başında ölçülen bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Termal suların pH değerleri 6.42 ile 6.90 arasında değişim göstermektedir. Bu değerlere göre, Sandıklı sıcak su kaynakları asidik karakter taşımaktadır (Tamgaç vd., 2008; Oğuz, 2011). Sıcak ve mineralli suların genel olarak hakim iyon diziliminin Na+K>Ca>Mg ve SO₄>HCO₃>Cl şeklinde olduğu ve Schoeller diyagramından elde edilen sonuca göre, inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suların genel olarak Na-SO₄'lı sular sınıfına girdiği ifade edilmiştir (Oğuz, 2011)

Çizelge 5.5. Çalışma alanındaki bazı kuyuların fiziksel, kimyasal ölçümler ve majör anyon-katyon analiz sonuçları (Oğuz, 2011)

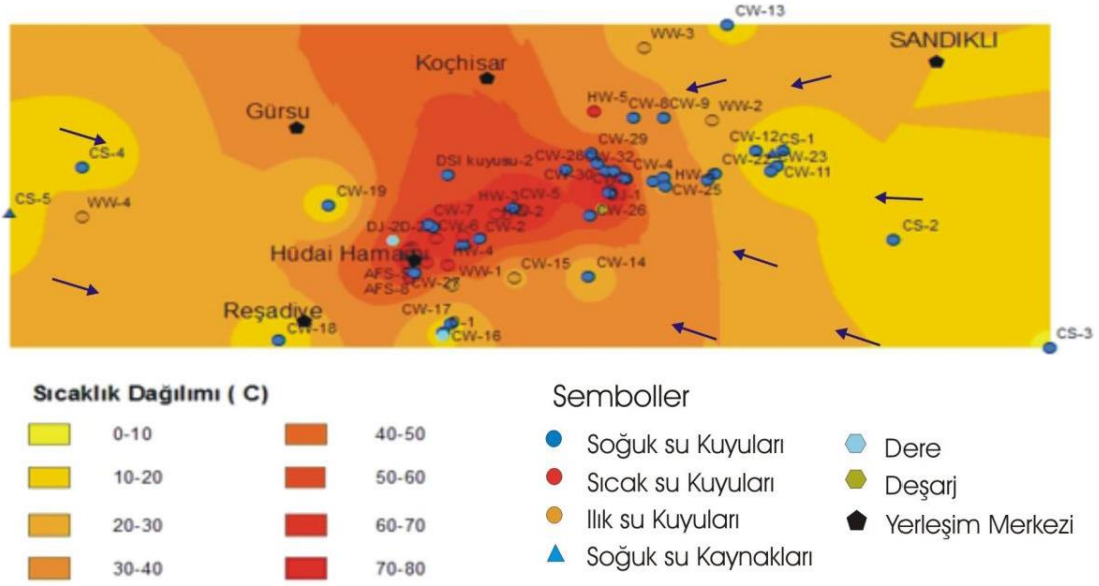
Kuyu Adı	Koordinatları		ec (µmho /cm)	Fiziksel Özellikleri			Kimyasal Özellikleri						
	Y	X		Sıcaklık (°C)	PH	K (mg/l)	Na (mg/l)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)
AFS-2	4257655	254334	1829	61.0	6.53	41.2	292	155	16	616	<10	476	100
AFS-9	4258055	254682	1904	69.0	6.47	43	257	151	51	634	<10	516	105
AFS-11	4258474	255724	1890	72.3	6.49	45	276	200	12	670	<10	484	109
AFS-12	4258904	257253	2130	77.6	6.59	47.6	340	201	16	695	<10	560	154
AFS-13	4259136	257421	2128	73.0	6.86	50	334	178	8	640	<10	554	118
AFS-14	4259219	258402	2017	73.9	6.53	50	328	164	17	598	<10	570	124
AFS-15	4259275	258858	2014	76.6	6.42	48.6	363	156	8	646	<10	565	111
Bld. Terfi	4259575	259800	498	18.4	7.35	15.7	21	71	12	158	<10	108	35
Eşanjör Çı.	-	-	1720	55.0	6.91	40	328	138	1.2	545	<10	485	93
Eşanjör Gi.	4257696	254205	1815	66.5	6.90	40	339	142	8	618	<10	475	125

Sandıklı jeotermal alanında yer alan kuyu ve kaynaklardan alınan su örneklerinin analiz sonuçlarına göre, beslenmenin alanın doğu, batı ve güney kesiminden alana doğru bu bölgelerden geldiği Tamgaç vd. (2008) tarafından belirtilmiştir. Şekil 5.7’de sıcak su kuyularının etrafında görülen kırmızı ve turuncunun tonları ile gösterilen bölge sıcak suyun bulunduğu bölgedir. Bu bölgede EC 1600–2400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir (Tamgaç vd., 2008).



Şekil 5.7. Sandıklı jeotermal havzasında kuyu ve kaynaklardan alınan su örneklerinin analizinden hazırlanan EC dağılım haritası (Tamgaç vd., 2008)

Tamgaç vd. (2008) tarafından Sandıklı jeotermal alanındaki kuyulardan elde edilen bilgilere göre oluşturulan sıcaklık dağılımı haritası Şekil 5.8.’de görülmektedir. Haritaya göre; mevcut sıcak su kuyularının civarında koyu kırmızı renkle görülen bölgeler en yüksek sıcaklıklı alanlardır. Başlangıçta DSİ’den soğuk su ruhsatı olarak alınan 200–300 m derinliklere sahip ılık su kuyuları civarı bölgeler turuncu renkle temsil edilmektedir. Bu kuyulardan elde edilen suyun sıcaklığı 28–40 °C arasında değişmektedir. Mevcut haritadaki sıcak su dağılımı EC dağılımı haritası ile uyum içersindedir. Turuncu ile gösterilen bölgelerde sıcak su-soğuk su karışımından bahsedilebileceği Tamgaç vd. (2008) tarafından ifade edilmiştir.



Şekil 5.8. Sandıklı jeotermal havzası kuyulardan elde edilen sıcaklık dağılım haritası (Tamgaç vd., 2008)

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen İshak Özbek Koç 1 jeotermal kuyusuna ait statik sıcaklık ve basınç ölçümleri aşağıda verilmiştir. İshak Özbek'e ait Afyon ili Koçhisar köyünde bulunan jeotermal sahasındaki Koç-1 jeotermal kuyusunda alınan kuyu içi ölçümleri Datacan firmasının 1,25"DXB elektronik kuyu içi sıcaklık basınç ölçüm ve kayıt cihazı ile yapılmıştır. Ölçümler yapılırken dakikada 40 metre halat çekebilen elektrikli wireline vinç kullanılmıştır.

Kuyu Konfigrasyonu:

Üretim Borusu: 9 5/8"

İndirilme çimentolama derinliği: 397 m

Açık Kuyu: 8 1/2" matkap ile 397- 900 m delgi yapılmıştır.

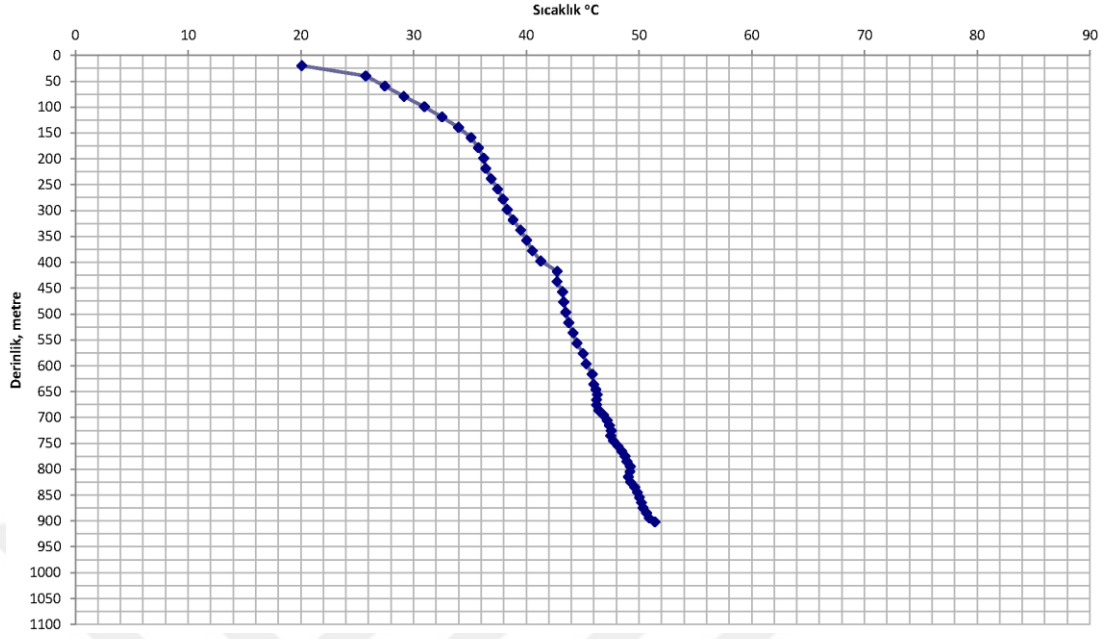
Liner: 6 5/8" kapalı ve filtreli boru üst ucu 392 metrede alt ucu 900 metrede.

Yüzeyden itibaren 640 metreye kadar her 20 metrede bir, 640-900 metre arasında her 10 metrede bir, 1'er dakika beklenerek statik sıcaklık-basınç profili alınmıştır (Şekil 5.9). Kuyu içinde statik su seviyesi 18 metrede. Bu profile ait veriler (Çizelge 5.6) ve diğer grafiklerde sunulmaktadır (Şekil 5.9, 5.10, 5.11).

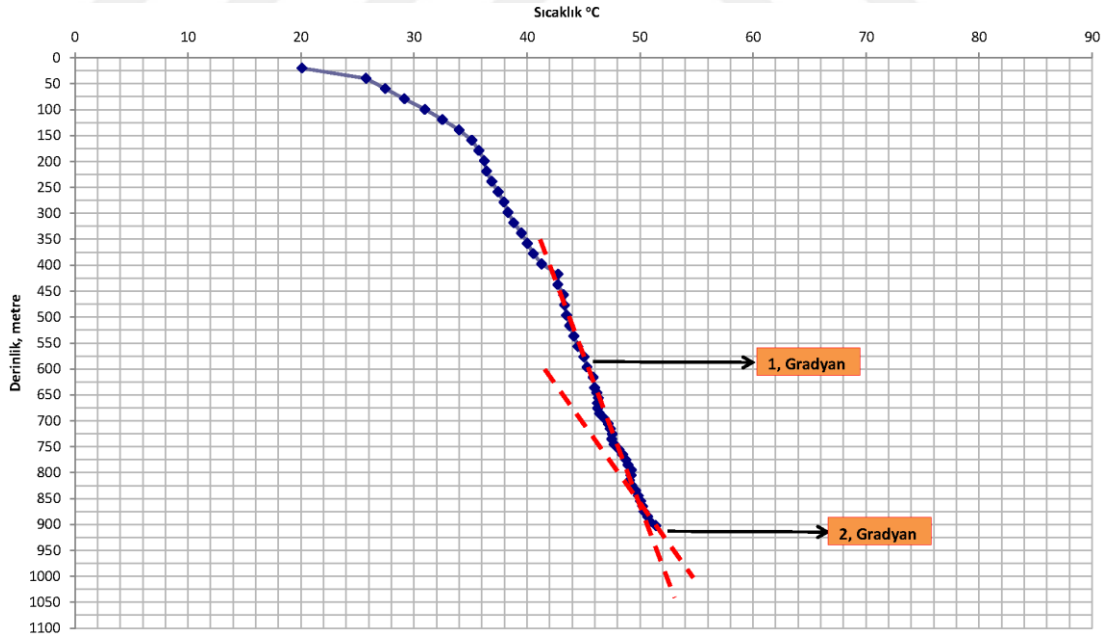
Çizelge 5.6. Çalışma alanındaki İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik sıcaklık ve basınç ölçümleri

Derinlik(m)	Basınç(bar)	Sıcaklık(°C)	Derinlik(m)	Basınç(bar)	Sıcaklık(°C)
20	0.278168	20.085	616	57.252795	45.849
40	2.113654	25.753	636	59.147397	45.98
60	4.001597	27.463	646	60.097859	46.175
80	5.907887	29.151	656	61.029399	46.304
99	7.828236	30.961	666	61.9837	46.227
119	9.71506	32.524	676	62.939571	46.243
139	11.622561	33.989	686	63.898472	46.41
159	13.543716	35.11	696	64.847433	46.842
179	15.429334	35.749	706	65.783182	47.182
199	17.319961	36.221	716	66.727077	47.371
219	19.320357	36.414	726	67.679987	47.537
239	21.13995	36.882	736	68.631455	47.492
258	23.056468	37.453	746	69.577683	47.718
278	24.967248	37.953	755	70.52452	48.144
298	26.862834	38.311	765	71.479375	48.465
318	28.766703	38.825	775	72.420421	48.759
338	30.675788	39.503	785	73.359907	48.933
358	32.575114	40.032	795	74.314626	49.231
378	34.484091	40.55	805	75.269994	49.2
398	36.312928	41.287	815	76.213893	49.07
417	38.296061	42.745	825	77.165103	49.248
437	40.175781	42.729	835	78.102735	49.624
457	42.080225	43.221	845	79.04213	49.855
477	43.977361	43.324	855	79.982463	50.038
497	45.988639	43.505	865	80.936088	50.221
517	47.771837	43.769	875	81.884507	50.347
537	49.679572	44.143	885	82.850134	50.671
557	51.586111	44.494	895	83.802224	50.892
577	53.449115	45.043	902	84.732465	51.41
596	55.367341	45.306			

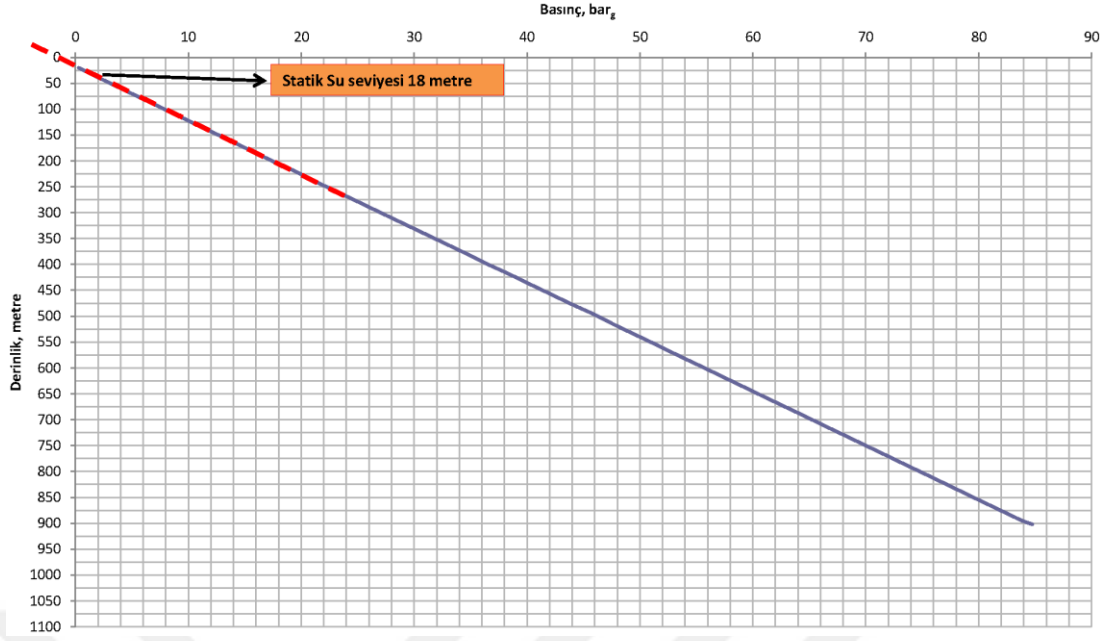
Kuyu tabanı 900 metrede ölçülen sıcaklık 51,41 °C dir. Kuyu tabanı basıncı 84,73 bar'g'dır. Yeryüzünden derine inildikçe jeotermal ısının artması konusunda kuyu içinde 2 farklı gradyan gözlenmektedir. 1. Gradyan 417-746 metreler arasında, 2. Gradyan ise 805-900 metreler arasındadır. 1. Gradyan değeri 100 metrede ortalama 1,5 °C olarak hesaplanmıştır. 2. Gradyan değeri 100 metrede ortalama 2,2 °C olarak hesaplanmıştır. Kuyu içindeki su seviyesi yaklaşık 18 metrededir.



Şekil 5.9. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik sıcaklığın derinlikle değişimi



Şekil 5.10. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait sıcaklık gradyan değişimi



Şekil 5.11. İshak Özbek Koç 1 kuyusuna ait statik basınç profili

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Araştırma bulgularında verilen tüm bu tespitler ışığında;

Sandıklı jeotermal sahası, jeotermal saha tanımlamasının temel bileşenleri olan ısıtıcı kayaç, rezervuar kayaç ve örtü kayaç niteliğindeki litolojik grupları ve bunları kesen fay zonlarını bünyesinde barındıran bir sahadır. Bu temel bileşenlerin varlığı, jeotermal bir potansiyelden söz edilebilmesinin kanıtlarıdır. Sahada yapılmış olan jeofizik etütleri verilerinin mevcut tespitlerle entegre edilerek, teorik model geliştirilmiştir. Entalpi (debi, sıcaklık) beklentisi optimum noktalarda yapılacak sondaj ya da sondajlarda alınacak birincil veriler ışığında netleşebilecektir. Ancak yakın çevredeki sahalar olan Afyon-Ömer ve Gecek sahalarında yakalanmış olan 80-135 °C aralığındaki bir akışkan sıcaklığı, Sandıklı bölgesi için karakteristik sıcaklık beklentisinden uzaktır. Olası debiye ilişkin ise, net bir şey söylemek şu an için pek mümkün görünmemektedir. Sahanın genelinde yapılan gözlemler ve daha önce yapılan çalışmalara ilişkin elde edilen kısıtlı veriler çerçevesinde yüksek entalpi beklentisinin maksimum olacağı zonun derinlerde olduğu düşünülmektedir.

Yapılan çalışmalar yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı gibi ofis ortamında özel olarak değerlendirilmiştir. Bütün sonuçlar tek tek ele alınmış ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Düşük rezistivite ortamlarının tespiti yapılırken; üst ve alt formasyonların etkileri elimine edilmeye çalışılmıştır.

Birinci alanda yapılan jeofizik çalışmalar neticesinde toplam 84 adet düşey elektrik sondaj noktasını içeren 6 profil çalışması ile alan incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlara varılmıştır;

Jeofizik veriler ve sonuçların değerlendirilmesi sahanın jeotermal aktivitesinin fayların kesişme noktasında olabileceğini göstermiştir. Bu duruma göre; çalışma sahasında temel kayanın güney yönünden derinleşmesi üstte bulunan Pliyosen birimlerinin öz direnç değerlerinin güney yönünde azalım göstermesi litoloji gereği beklenir.

Elde edilen kesitlerde bu durum gözlemlenirken F-8 ve F-9 noktalarında elde edilen düşük öz direnç kapanımları bu gözlem noktalarından geçen ve jeotermal aktivite taşıyan fayın etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

K-KB yönlü ve doğuya doğru eğimli Hüdai hamamı fay segmenti ile kesişen ve kesiştiği yerde sıcak su çıkışlarının olduğu fay Örenkaya fayı olarak bilinmektedir. Jeofizik ölçümlerde özellikle F-8 ve F-9 ölçüm noktaları civarında elde edilen değerler örtü kayaç olarak kabul edilen Pliyosen-Miyosen birimlerde düşük öz direnç kapanımları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Seviye haritaları öz direnç dağılımı incelendiğinde; Miyosen birimlerinin öz direnç değerlerinin temel birimlerden daha düşük olması beklenir. Oysa araştırma sahası grabenin ortalarına doğru derinleşmesine rağmen, öz direnç azalması sahanın F-8, F-9, B-2, B-3 noktalarının yer aldığı kesiminde yoğunlaşmıştır. Bu etkinin faya bağlı aktiveden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İkinci çalışma alanı olan Örenkayanın kuzeyinde K-G yönlü genişlemenin gözlemlendiği bu fay jeolojik olarak diri kabul edilmekte ve kapanımların tespit edildiği lokasyonlarda ölçüm noktalarının zenginleştirilmesi önerilmektedir.

Sandıklı havzasındaki sığ ve derin kuyulardan alınan sıcaklık bilgileri değerlendirildiğinde; Sandıklı ilçe merkezinin batısındaki kuyulardaki sıcaklık değerlerinin çevredeki diğer alanlara göre yüksek olması (ortalama 65 °C) jeotermal kökenli rezervuarın bu bölgede yoğunlaştığını göstermektedir.

KAYNAKLAR

- Afşin, M., 1991. Afyon-Sandıklı Kuruçay Ovası ve Hüdai Kaplıcalarının Hidrojeoloji İncelemesi. AÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (yayınlanmamış), 330s.
- Afşin, M., Canik, B., 1996. Hüdai (Sandıklı/Afyon) sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeoloji ve hidrokimyasal incelemesi ve kökensel yorumu, *Yerbilimleri Dergisi (Geosound)*, 28, 69-86.
- Aksever, F., 2011. Afyon Sandıklı Havzası Hidrojeoloji İncelemesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 231 s, Isparta.
- Başokur A.T., 2004. Düşey Elektrik Sondajı Verilerinin Yorumu; e-kitap, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara Üniversitesi, Türkiye.
- Blumenthal, M., 1947. Seydişehir-Beyşehir Hinterlandındaki Toros Dağlarının Jeolojisi. MTA Enst., no. 2, 108 s., Ankara.
- Çakmakoglu, A., 1986. Çivril-Banaz-Sandıklı-Dinar Arasındaki Bölgenin Jeolojisi, Ön Rapor. MTA Der. Rap. No. 8026, Ankara.
- Dean, W. T. ve Monod, O., 1970. The Lower Paleozoic stratigraphy and faunas of the Taurus Mountains near Beyşehir, Turkey, I. Stratigraphy: *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.) Geol.*, 19, 411-426.
- Dean, W.T. ve Özgül, N., 1994. Cambrian rocks and faunas, Hüdai area, Taurus Mountains, southwestern Turkey. *Bull. Instit. R. Sci. Naturelle de Belgique-Science de la Terre*, 64, 5-20.
- Dolmaz, M.N., 2014. İç Batı Anadolu'daki Sismik Olmayan Zon ile Sandıklı'nın Jeotermal Yapısı Arasındaki İlişki, *Markakent Sandıklı Sempozyumu*, Bildiriler Kitabı, 254-264, 16-18 Ekim 2014, Sandıklı-Afyonkarahisar, 2014
- Dolmaz, M.N., Ustaömer, T., Hisarlı, Z.M., Orbay, N., 2005. Curie Point Depth variations to infer thermal structure of the crust at the African-Eurasian convergence zone, SW Turkey, *Earth Planets and Space*, 57, 5, 373-383.
- Erdoğan, B., Uchman, A., Güngör, T., Özgül, N., 2004. Lithostratigraphy of the Lower Cambrian metaclastics and their age based on trace fossils in the Sandıklı region, southwestern Turkey. *Geobios*, 37(3), 346-360.
- Ertunç, E., 2017. Afyonkarahisar İli, Şuhut İlçesi, Atlıhisar Köyü Kalker Ocağı ve Kırma-Elleme Tesisi Kapasite Artışı Projesi'ne Ait Hidrojeolojik Etüt Raporu (Yayınlanmamış).
- Gutnic, M., 1977. *Geologie de Taurus Pisidien au Nord d'Isparta (Turquie)*. These, Univ. Paris, 130 s. (yayınlanmamış).

- Günay, Y., Derman, A. S., Kozlu, H., Göncüoğlu, C. M. ve Gül M. A., 1995. Stratigraphy of Lower Paleozoic in Southern Turkey. IGCP Project 351 –Early Paleozoic Evolution in NW Gondwana Excursion Guide Book, 3-9.
- Güngör, T., Akay, E., Arslan, A., 2004. Deformation of the Sandıklı porphyroids, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 102Y064, 1-39, Ankara.
- Gürsu, S., Besbelli A., Güler, Ü., Özvatan, N., Yavuz, İ., İlter, C., Göncüoğlu, C., 2003. Sandıklı (Afyon) Porfiroidlerinin Minerolojik Petrografik ve Petrojenez Özelliklerinin Belirlenmesi. M.T.A. Rap. No. 10685, Ankara
- Gürsu, S., Göncüoğlu, M. C., 2005. Batı Torosların (Sandıklı GB'sı, Afyon) Geç Neoproterozoyik ve Erken Paleozoyik Yaşlı Birimlerinin Jeolojisi ve Petrografisi. MTA Dergisi, 130, 29-55.
- Hamut, M.N., Şengüler, L., 2001. Afyon-Sandıklı (Hüdai) jeotermal sahası koruma alanları raporu. MTA Rap., No. 10458, Ankara.
- <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa>, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2019. Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü. Erişim Tarihi: 29.04.2019. [.aspx](#)
- Karamanderesi, İ.H., 2004. Sandıklı (Afyon) SANJET A.Ş. Sıcak su arama etüt raporu. JEM-2004-1. (SANJET A.Ş.).
- Karamanderesi, İ.H., 2008. Sandıklı(Afyonkarahisar) SANJET A.Ş. AFS-14 nolu sondaj ve kuyu jeolojisi bitirme raporu 8.
- Karataş, D.C., 2017. Doğru Akım Özdirenç Kuyu Loğları Verilerinin Çok Boyutlu Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Üniversitesi FBE, 48 s.
- Koçyiğit, A., Cihan, M.; Özacar, A., 2001. Dombayova ve Sandıklı (Afyon) grabenlerinin depremselliği ve kenar faylarının, kinematik analizi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 199Y007, 1-57, Ankara.
- Kozlu, H., ve Göncüoğlu, M.C., 1995. Infracambrian units in Sandıklı area. (eds: Göncüoğlu M.C. and Derman A.S.) Guide Book to Early Palaeozoic in NW Gondwana. Turkish Association Petroleum Geologists, Special Publication, 2, 11–13.
- Kozlu, H. ve Göncüoğlu, M.C., 1997. Stratigraphy of the Infracambrian Rock-Units in the Western Taurides and Their Correlation with Similar Units in Southern Turkey. (eds: Göncüoğlu M.C. and Derman A.S.) Early Palaeozoic in NW Gondwana. Turkish Association Petroleum Geologists Special Publication, 3,50–61.
- Memiş, Ü., 2010. Afyon-Sandıklı Hüdai Jeotermal Alanının hidrojeokimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi ve İz Element Kirliliğinin İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 74 s., Isparta.

- Monod, O., 1967. Batı Toros Kalkerlerinin Temelindeki Seydişehir Şistlerinde Bulunan Ordovisien Bir Fauna. MTA Derg., 69, 76-85, Ankara.
- Mutlu, H., 1996, Geochemical assesment of thermal waters from the Afyon geothermal area: Geothermometry applications and fluid-mineral equilibria., Ph. D. Thesis,, Middle East Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, 169p (yayımlanmamış), Ankara.
- Mutlu, H., 1997. Gazlıgöl (Afyon) termal ve maden sularının jeokimyasal özellikleri ve jeotermometre uygulamaları. MTA Genel Müdürlüğü, Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi, Ankara.
- Müller, G., 1955. Heybeli (Kızılkilise) Kaplıcasının Hidrojeolojisi., 20, Ankara.
- Narman, C., 2013. Karayolu Boyunca Bir Heyelan Araştırması İçin Elektrik Özdirenç Yöntem Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ FBE, 84 s.
- Oğuz, A., 2011. Sandıklı (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanının Hidrotermal Alterasyon Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi FBE, 73s.
- Ölmez, E., Karlı, R., Hamut, M.N., Karzaoğlu, H., 2000. Afyon-Sandıklı (Hüdai Kaplıcası) jeotermal alanı jeolojik etüt raporu. MTA Rap., No.10419, Ankara.
- Öngür, T., 1973. Sandıklı (Afyon) Jeotermal Araştırma Bölgesine İlişkin Jeolojik Durum ve Jeotermal Enerji Olanakları. MTA Rapor No: 5520, Ankara (yayımlanmamış).
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, Y., 1991. Göller bölgesi ve Ispartanın Jeolojisi ve Stratigrafisi. TPAO arama grubu rapor no: 3028, 321 s., Ankara (yayımlanmamış).
- Özgül, N. ve Gedik, L., 1973. Orta Toroslarda Alt Paleozoyik Yaşlı Çaltepe Formasyonu ve Seydişehir Formasyonunun Stratigrafisi ve Konodont Faunası Hakkında Yeni Bilgiler. TJK Bülteni, 16(2), 39-52.
- Öztaş, Y., 1989. Homa-Akdağ Yöresi, Sandıklı-Şuhut Kuzeylerinin Jeolojisi ve Petrol Olanakları. TPAO Arşiv Rap. No. 2584, Ankara.
- Öztürk, A., 1981. Homa-Akdağ (Denizli) Yöresinin Stratigrafisi. TJK Bülteni, 24, 75-84.
- Özpınar, Y., 2008. Sandıklı (Afyon) Yöresinde Şabazit ve Fillipsit Mineralleri İçeren Tüflerin Minerolojik Petrografik ve İyon Değişirme Özellikleri ve Tarımda Kullanılması, GB Anadolu, Türkiye. MTA Dergisi, 137, 27-47.
- Özpınar, Y., Çobanoğlu, İ., Bozkurt, R., 2002. Sandıklı zeolitik tüflerin petrografik petrokimyasal ve teknolojik özelliklerin incelenmesi, TÜBİTAK YDABÇAG Proje No. 198Y102, 1-268, Ankara.

Parejas, E., 1942. Sandıklı, Dinar, Burdur Isparta ve Eğirdir Bölgesinde Yapılan Jeolojik Löveler Hakkında Rapor. MTA Rap. No. 1390 (Yayınlanmamış), Ankara.

Ronner, F., 1956. Hüdai Hamamı termal kaynaklarına ve kaplıcalarına (Sandıklı-Afyon) dair muvakkat kısa rapor. M. T. A. Rap. No. 2493, Ankara.

Ronner, F., 1962. Sandıklı ovası çöküntüsü -Genç tektonik ve volkanik durumlar, MTA Dergisi, 59, 69-89, Ankara.

Şamilgil, E. 1964. Hüdai Hamamı (Sandıklı) hakkında jeolojik ve hidrojeolojik rapor. MTA Rap. No:3598, Ankara.

Tamgaç, Ö.F., Akan, B., Peker, B., Ünal, H., 2008. Sandıklı (Afyon) Jeotermal Alanının Koruma Alanları Etüt Raporu, MTA Rap. No. 2006-33-46, Ankara.

Yenal, O., Osman, N., Kanan, E., 1975. Türkiye Maden Suları Ege Bölgesi, İstanbul Üniversitesi Tıp Fakültesi, Hidroklimatoloji Kürsüsü, İstanbul, 3, 335 s.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bilal ŞAHİN

Doğum Yeri ve Yılı : Malatya/Hekimhan 01.01.1978

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : jeofizikhizmetleri@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Yunus Emre Endüstri Meslek Lisesi

Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Böl.

Mesleki Deneyim

Şahiner Mühendislik 2009- Devam etmekte

Evren Jeofizik Hiz. ve Tek. Tic. Ltd. Şti. 2014- Devam etmekte

Yayınlar

Şahin, B., Dolmaz, M.N., Tutunsatar, H.E., Erbek, E., 2016. Geothermal investigations in Sandıklı (Afyon) city, SW Turkey. *International Conference on Engineering and Natural Sciences, Book of Abstracts*, p.131, 24 – 28 May 2016, Sarajevo, 2016.

Şahin, B., Dolmaz, M.N., Balkaya, Ç., 2017. Sandıklı (Afyonkarahisar) Jeotermal Alanında Elektrik Özdirenç Araştırmaları. *Engineers of Future International Student Symposium (EFIS)*, p.70, 15 – 17 June 2017, Zonguldak, 2017.