

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**MENDERES GRABENİ KUZEY SINIRINDA DOĞUDAN  
BATIYA (TEKKEHAMAM-GERMENCİK ARASI)  
JEOTERMAL GRADYANIN LİTOLOJİ VE TEKTONİK  
DENETİMLİ DEĞİŞİMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENGİN KIZILKAYA**

**DENİZLİ, NİSAN - 2024**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**MENDERES GRABENİ KUZEY SINIRINDA DOĞUDAN  
BATIYA (TEKKEHAMAM-GERMENCİK ARASI)  
JEOTERMAL GRADYANIN LİTOLOJİ VE TEKTONİK  
DENETİMLİ DEĞİŞİMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN  
İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ENGİN KIZILKAYA**

**DENİZLİ, NİSAN - 2024**

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**

**ENGİN KIZILKAYA**

## ÖZET

### MENDERES GRABENİ KUZEY SINIRINDA DOĞUDAN BATIYA (TEKKEHAMAM-GERMENCİK ARASI) JEOTERMAL GRADYANIN LİTOLOJİ VE TEKTONİK DENETİMLİ DEĞİŞİMİ VE ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENGİN KIZILKAYA

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: DOÇ. DR. ALİ BÜLBÜL)

DENİZLİ, NİSAN - 2024

Büyük Menderes Grabeni'nde kuzey sınır fayının açılma tektoniği ile permeabilitenin artması ve buna bağlı olarak sentetik basamak fayları ve segmentlerin atlama noktasındaki sıçrama faylarının derinlerdeki jeotermal rezervuara ulaşarak akışkan getirimini sağlaması, jeotermal potansiyel bakımından önemli tektonik unsurlar olarak değerlendirilmektedir. Büyük Menderes Grabenindeki jeotermal alanlardaki üretken sondajlar incelendiğinde, sondajların pek çoğunun grabendeki kuzey sınır sıyrılma ana fayını kestiği görülmektedir. Bununla birlikte çatlaklı ortam permeabilitesini rezervuarda yakalayabilen jeotermal sondajlar da jeotermal potansiyel olarak verimlidir.

Grabende çok daha derin sondajlar bulunmasına karşın bu çalışmada sıcaklık basınç, litoloji ve üretkenlik indeksi verileri kullanılan sondajların derinliği; 400 m ile 3800 m arasında değişmektedir. Elde edilebilen akışkan sıcaklığı 175 °C ile 95 °C arasında değişirken, kuyularda üretilebilen akışkan debisi; 50 ton/sa ile 600 ton/sa arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

En yüksek jeotermal gradyana sahip Kızıldere ve Ömerbeyli jeotermal sahalarında, gelişmiş birçok fay sistemleri ve magmatik intrüzyonun etkisi ile devam eden kayaç ergimelerinin akışkan sıcaklığını daha da artırdığı düşünülmektedir. Denizliden itibaren Batı'ya doğru jeotermal gradyanın arttığı, özellikle Doğu'dan Batı'ya Kızıldere, Kuyucak ve Ömerbeyli sahalarında ölçülen kuyu dibi sıcaklıklarına göre, jeotermal gradyanın bölgedeki en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Bu bölgelerde magmatik sokuluma yaklaşılması veya daha fazla kabuk incilmesi olarak değerlendirilmiştir. Sonrasında, Doğu'dan Batı'ya doğru, Germencik'ten Gümüşköy'e doğru jeotermal gradyanın düştüğü gözlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Büyük Menderes Grabeni, Jeotermal, Kuyu Tamamlama Testleri, Üretim Potansiyeli

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF THE LITHOLOGY AND TECTONICALLY CONTROLLED CHANGE OF THE GEOTHERMAL GRADIENT FROM EAST TO WEST (BETWEEN TEKKEHAMAM-GERMENCİK) AND THE AFFECTING FACTORS ON THE NORTHERN BORDER OF THE MENDERES GRABEN

MSC THESIS

ENGİN KIZILKAYA

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE  
GEOLOGICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: DOÇ. DR. ALİ BÜLBÜL)

DENİZLİ, APRIL 2024

The increase in permeability due to the opening tectonics of the northern boundary fault in the Büyük Menderes Graben and the resulting synthetic step faults and jump faults at the jump point of the segments reaching the deep geothermal reservoir and providing fluid flow are considered as important tectonic elements in terms of geothermal potential. When the productive drillings in the geothermal areas in the Büyük Menderes Graben are examined, it is seen that most of the drillings cut the northern boundary detachment main fault in the graben. However, geothermal drillings that can capture the fractured media permeability in the reservoir are also potentially productive.

Although there are much deeper drillings in the graben, the depth of the drillings using temperature, pressure, lithology and productivity index data in this study; It varies between 400 m and 3800 m. While the attainable fluid temperature varies between 175 °C and 95 °C, the fluid flow rate that can be produced in the wells is; It has been observed that it varies between 50 tons/hour and 600 tons/hour.

It is thought that ongoing rock melting with the effect of many developed fault systems and magmatic intrusion in the Kızıldere and Ömerbeyli geothermal fields, which have the highest geothermal gradient, further increases the fluid temperature. It has been determined that the geothermal gradient increases from Denizli to the West, and especially according to the well bottom temperatures measured from East to West in the Kızıldere, Kuyucak and Ömerbeyli fields, the geothermal gradient has reached the highest values in the region. It has been evaluated as approaching magmatic intrusion or further crustal thinning in these regions. Afterwards, it was observed that the geothermal gradient decreased from East to West, from Germencik to Gümüşköy.

**KEYWORDS:** Büyük Menderes Graben, Geothermal, Well Completion Tests, Production Potential

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1    Tezin Amacı ve Önemi.....	2
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
2.1    Jeotermal Enerji.....	3
2.1.1    Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Elektrik Üretimi .....	6
2.1.2    Türkiye’de Jeotermal Enerji Santralleri.....	8
2.2    Büyük Menderes Havzasının Jeolojisi ve Jeotermal Açından Değerlendirilmesi .....	13
2.3    Jeotermal Kuyularda Kuyu Testleri.....	18
2.4    Jeotermal Kuyularda Basınç ve Sıcaklık Verileri ile Yapılmış Önceki Çalışmalar.....	23
2.5    Jeoloji, Litoloji ve Tektonik Unsurlar .....	25
<b>3. METODOLOJİ</b> .....	<b>30</b>
<b>4. JEOTERMAL KUYULARDA SICAKLIK BASINÇ ÖLÇÜMLERİNİN LİTOLOJİK VE TEKTONİK UNSURLAR İLE KORELASYON</b> .....	<b>32</b>
<b>5. SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>38</b>
<b>6. KAYNAKLAR</b> .....	<b>40</b>
<b>7. ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>45</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Yer küreyi oluşturan katmanlar ve sıcaklıkları .....	4
Şekil 2.2: İdeal bir jeotermal sistem modeli .....	5
Şekil 2.3: Türkiye’de bölgelere göre jeotermal enerji potansiyeli yüzde dağılımı .....	6
Şekil 2.4: Türkiye’de jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (MTA, 2023b) ...	8
Şekil 2.5: Yenilenebilir enerji kaynakları ve kapasite faktörleri .....	9
Şekil 2.6: 1984'ten günümüze kadar jeotermal enerji üretiminin büyümesi .....	10
Şekil 2.7: Türkiye’deki mevcut jeotermal santrallere ait lokasyon haritası .....	11
Şekil 2.8: Türkiye'nin büyük jeotermal şehirlerinin kurulu jeotermal kapasitesi .....	13
Şekil 2.9: Menderes masifi .....	15
Şekil 2.10: Kuzey sınır fayına bağlı jeotermal alanları gösteren Büyük Menderes grabeni .....	16
Şekil 2.11: Üretimde kuyu başı dizaynı .....	21
Şekil 2.12: Kızıldere Jeotermal Sahası ve Tekkehamam-1 kuyusu enine kesiti ....	26
Şekil 2.13: Büyük Menderes Grabeni’nin genelleştirilmiş kesiti .....	26
Şekil 2.14: Büyük Menderes Graben’inde Denizli-Söke Havzalarındaki stratigrafi .....	27
Şekil 2.15: Büyük Menderes Grabeni’nde Kuyucak ve Aydın’da Güney-Kuzey sismik kesit .....	28
Şekil 3.1: Büyük Menderes Grabeninde Doğu’dan Batı’ya doğru, belirlenen jeotermal alanlardaki sıcaklık-basınç verilerinin alındığı temsili örnekleme noktaları .....	31
Şekil 4.1: 1 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik logu.....	32
Şekil 4.2: 2 ve 3 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik logu.....	33
Şekil 4.3: 4 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik logu ve su kaybı testi sıcaklık grafiği.....	34
Şekil 4.4: 5 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik logu.....	34
Şekil 4.5: 6 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik logu .....	35
Şekil 4.6: 7 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyuda yapılan su kaybı testi .....	35
Şekil 4.7: 8 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik logu.....	36
Şekil 4.8: 9 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik logu.....	36
Şekil 4.9: 10 ve 11 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan su kaybı testi ve statik sıcaklık derinlik logu.....	37
Şekil 5.1: Büyük Menderes Grabeninde oluşan depremlerin grid haritası.....	38

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

Tablo 2.1: Jeotermal santraller ve işletme kapasiteleri .....	11
---	----



## ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimin başından sonuna bilgi birikimi, deneyimi, önerileri ve rehberliği ile bana yardımcı olan değerli danışman hocam Doç. Dr Ali BÜLBÜL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitim hayatım boyunca bana destek veren aileme teşekkür ediyorum. Her zaman bana destek olup ve cesaret veren canım eşim Yağmur Meltem AYDIN KIZILKAYA'ya gösterdiği sevgi, sabır ve anlayış için teşekkür ediyorum. Yanımda olduğunu hep hissettiğim canım kızım Eylül Nisa KIZILKAYA'ya hayatımızda olduğu için teşekkür ediyorum.

Engin KIZILKAYA

# 1. GİRİŞ

Fosil enerjinin sınırlı bir kaynak olması ve sürekli azalan arzı, düzenli olarak artan maliyeti ve fosil enerjiyle ilişkili küresel ısınmayı ve iklim değişikliğini tetikleyen karbondioksit emisyonuna bağlı çevresel zararlar nedeniyle, modern sanayi toplumları artık enerji gereksinimlerini daha düşük özgül enerji içeriğine sahip jeotermal enerji ile karşılamak zorunda kalmaktadır (Bobok ve diğ. 2014). Jeotermal kaynakların verimli ve ekonomik kullanılabilmesi için gerekli bilgiler kuyu testleri ile elde edilmektedir. Kuyu testleri kuyular delinirken başlayan, jeotermal kaynağa uygun optimum performanslı işletmenin planlanması sürecinde devam eden ve jeotermal sistemlerin dinamiği gereği işletme aşamasında da süreklilik arz etmektedir (Erkan 2014). Jeotermal kuyu testlerinin amacı rezervuar ve kuyu hakkında tüm fiziki ve kimyasal verilere ulaşılarak kısa, orta ve uzun dönemde üretimin, reenjeksiyonun rezervuar parametreleri üzerine etkilerinin gözlenmesi ve buna bağlı olarak sürdürülebilir işletme stratejilerinin oluşturulmasıdır. Jeotermal enerjinin üretim-zaman ilişkisi uzun dönemde öyle bir değere ulaşır ki saptanan bu değer dengenin sağlandığı, rezervuardan düzenli olarak sürdürülebilir üretim yapılabildiği değer olarak gösterilir. Jeotermal bir kuyudan ilk veriler sondaj sırasında elde edilmektedir. Rezervuar sıcaklığı hakkında ilk bilgiyi çamur giriş ve çıkış sıcaklıkları verirken, meydana gelen çamur kaçaklarının derinlikleri ve miktarı üretim zonu hakkında bilgi verir. Sondajın kazılması sırasında belli derinliklerden alınan karot örnekleri ise rezervuar kayacın geçirgenlik (permeabilite) ve boşluk oranı (porozite) değerleri hakkında fikir verir. Kuyu tamamlama testlerini ise; kuyu bitiminde alınan statik ve dinamik sıcaklık-basınç ölçüleri, kuyunun üretime açılması, su kaybı testi, enjeksiyon testleri, basınç yükselme ve basınç düşüm testleri ve üretim testleri kapsamaktadır (Özüdoğru 2005).

Jeotermal enerjiyi içeren sıcak akışkan-kayaç sisteminin üretim potansiyeli, jeolojik araştırmalarla, litoloji sıralamasının, kalınlıklarının ve özelliklerinin ortaya konması, fay-çatlak gibi süreksizliklerin belirlenmesi, jeotermal alanda açılmış kuyularda yapılan basınç-sıcaklık-spinner (PTS) ölçümleri, kuyu tamamlama ve üretim testleri, girişim testleri birlikte değerlendirilerek, önce deskriptif bir kavramsal

model oluşturulur, parametrelerin minimum-maksimum dağılımına göz önüne alınarak stokastik modeller hazırlanmak suretiyle en iyi ve en kötü potansiyel parametreleri (depolama katsayısı, permeabilite, sıcaklık) bir araya getirildikten sonra Monte Carlo Simülasyonu gibi yaklaşımlarla yüksek olasılıklı potansiyel üst ve alt değerleri ortaya konabilmektedir. Sonrasında parametreler boyutlandırılıp, gridlenerek hücrelere bölünmek suretiyle oluşturulan nümerik modele yerleştirilerek model çalıştırıldığında, ölçülen kontrol kümesinin gerçek değerleri modelin ürettiği verilerle karşılaştırılarak yakınsamak için model parametreleri değiştirilir ve gerçek değerlerle çakışma yakalandığında model kalibre edilmiş olur. Nümerik model, kütle ve enerjinin korunumu üzerine çalışan denklemlerle çalışır. Modeli oluşturmak için jeoloji, jeofizik, karot, kuyu logları işlenerek oluşturulan kavramsal model gridlendikten sonra statik ve dinamik durumda PTS testleri, akışkan sıcaklıkları, gaz buhar oranları, üretim debileri, rezervuar sıcaklık-basınç değerleri, kararsız kuyu basınç testleri ve tracer test verileri) girilerek veriler modelde birleştirilmiş ve nümerik modelin çalışmasıyla birlikte değerlendirilmiş olur. Nümerik yaklaşımlar analitik olarak çözülebilen depolardan, üç boyutlu dinamik nümerik modellere kadar yapılabilir.

## **1.1 Tezin Amacı ve Önemi**

Jeotermal kuyuların açılmasından sonra kuyu tamamlama testleri olarak bilinen akış testleri, interference test, PTS, gaz buhar oranı testi, akışkan kimyası parametreleri, jeotermal sahanın üretim potansiyelinin belirlenmesini sağlar. Büyük Menderes Grabeninde isimleri telif ve aidiyet hakkından dolayı verilemeyen farklı jeotermal alanlarda yer alan farklı jeotermal kuyularda yapılmış olan testlerin bir bütün olarak değerlendirilmesi ve jeolojik-litolojik ve tektonik unsurlarla korelasyonu ele alınmıştır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Jeotermal Enerji

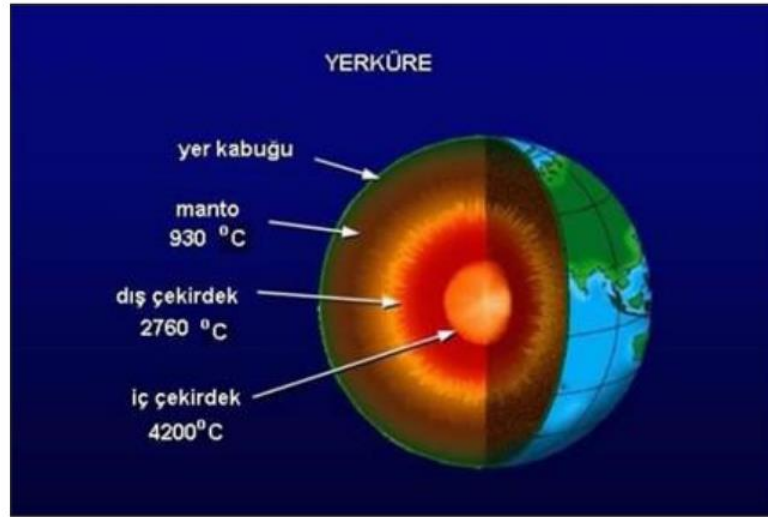
Gelecek nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmeleri için gerekli olan kaynakları tüketmeden ve yeterlilikleri tehlikeye atmadan, bugünün ihtiyaçlarını karşılayabilen enerji biçimini ifade eden “sürdürülebilir enerji” kavramı dünya gündeminde sık sık yer almaktadır. Enerjide sürdürülebilirliğin sağlanması için düşük karbonlu enerji kullanımına yönelip fosil yakıt kullanımının minimize edilmesi amaçlanmalıdır. Bu noktada da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önemi ortaya çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji, doğal kaynaklardan elde edilen ve sürekli yenileyebilme özelliğine sahip enerji çeşididir. Bu tür enerjiler ile karbon salınımını azaltarak, çevreye verilebilecek zararlar azaltılmaktadır. İthal hammadde kaynaklı fosil yakıtlara, dolayısıyla, dışa bağımlılığı da azalttığından bağımsızlığını korumaya çalışan ülkeler açısından oldukça önem arz eder (EÜGEE 2023).

Güneş Enerjisi, Rüzgar Enerjisi, Jeotermal Enerji, Hidrolik Enerji, Biyokütle Enerjisi, Dalga Enerjisi, Hidrojen Enerjisi yenilenebilir enerjiler arasında yer almaktadır (EÜGEE 2023). Bu enerjilerin en önemli özelliği enerji kaynaklarının tükenmemesidir, çünkü temel kaynakları Yeryuvarın iç enerjisi ve Güneşin ürettiği ısı enerjisi olup, kondüktif, konvektif, dispersiv ve advektiv olarak taşınır.

Jeotermal enerji, Yunanca sırasıyla 'toprak' ve 'ısı' anlamına gelen 'geo' ve 'therme' kelimelerinden gelmektedir. Dünyanın oluşumundan bu yana milyonlarca yıl boyunca yer altında üretilen ve depolanan ısı formundaki doğal enerji, jeotermal enerjinin temel kaynağı olmuştur. Dünyanın çekirdeğinde biriken ısı enerjisi dünyanın çekirdeği ile yüzeyi arasında önemli bir sıcaklık farkı yaratmaktadır. Bu sıcaklık farkı Jeotermal enerjinin kaynağı olup 'Jeotermal Gradyan' olarak adlandırılmaktadır (Gupta ve Roy 2006).

ETBK (2023<sup>a</sup>) Jeotermal enerji için çekirdekten gelen ısı akısının, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde (Şekil 2.1) depolanması sonucu, akışkan içeren veya içermeyen, basınçlı veya basınçlı olmayan sıcak derinlik zonlarından elde edilen enerji olarak tanımlamıştır. Bu enerji akışkan kullanılarak seracılık, kentsel ısıtma, kurutma, elektrik üretimi gibi amaçlarda kullanılmaktadır. Bir başka deyişle bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineraller, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su, buhar ve gazlar ile yüzeye taşınan ısı enerjisi olarak da tanımlanabilir. (ETKB 2023<sup>b</sup>).

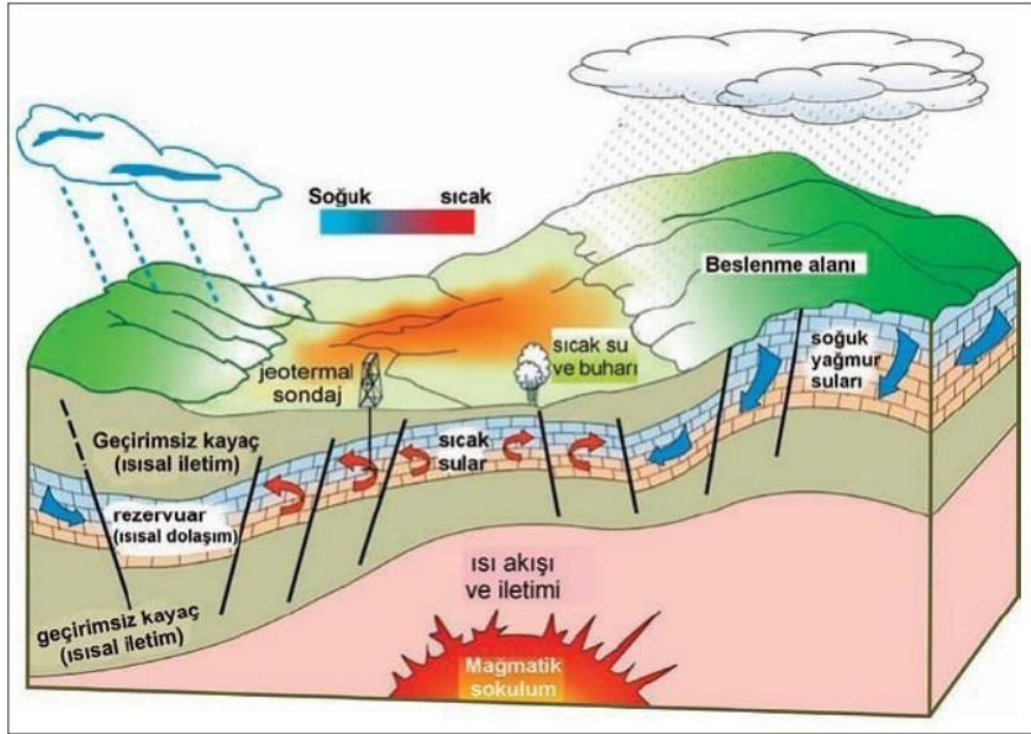


Şekil 2.1: Yer küreyi oluşturan katmanlar ve sıcaklıkları (Kahraman 2022).

Nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artan küresel enerji talebi, fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı emisyonları gibi kaygıları da gözönünde bulunduran kaynaklara geçişi zorunlu kılmaktadır. Jeotermal enerji, karbon emisyonlarını azaltırken sürdürülebilir enerji ihtiyaçlarını karşılamak için çok yönlü bir çözümdür (Soltani ve diğ. 2019).

Jeotermal sistem dört ana unsurdan oluşmaktadır. Bunlar; ısı kaynağı, rezervuar ve/veya hazne kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan ve örtü kaynağıdır. Isı kaynağı; yüksek sıcaklığı (>600 °C) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5 - 10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan) ortalama 2,5 – 3 °C/100 m olabilmektedir

(Şekil 2.2). Rezervuar ise ısıyı taşıyan akışkanın sirkülasyon yapabileceği çatlaklı/geçirgen kayaçlardır. Rezervuarların üzerinde genellikle örtü kaya denilen ve sıcaklığın rezervuardan kaçmasını önleyen geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır (Dickson ve Fanelli 2004, Şener). Jeotermal akışkan ise genellikle meteorik kökenli sulardan beslenir. Rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak mineralleri ve gazları çözerek yüksek derişimli bir akışkan olarak bulunsa da, bölgesel veya derinliğe bağlı basınç ve sıcaklık değişimine göre buhar halinde görülebilmektedir. Jeotermal su genellikle yüksek oranlarda çözülmüş minerallere bağlı kimyasal iyonlar ve gazlar (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S gibi) içerir (Haklıdır ve Tut Haklıdır 2010).



Şekil 2.2: İdeal bir jeotermal sistem modeli (Kahraman 2022).

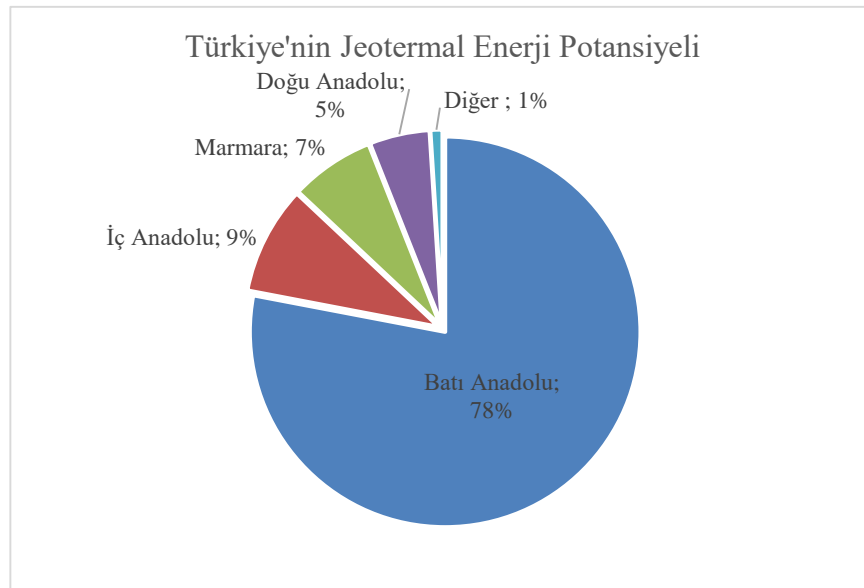
Jeotermal kaynak araştırması için yapılan başlıca çalışmalar jeolojik etüt, jeofizik etüt ve hidrojeolojik etüt olarak sıralanabilir. Bu çalışmaların sonucunda jeotermal enerji araştırma amacı ile üretim ve reenjeksiyon kuyularının açılacağı yerler ve derinlikler tespit edilebilmektedir. Jeotermal araştırmaların son aşaması ise sondaj kuyularının açılması sonrasında kuyu testlerinin yapılmasıdır. Özetle; bu sondajlar ile

jeotermal rezervuarın gerçek karakteristiği ve sahanın potansiyelini ortaya çıkarılabilmektedir (Kahraman 2022).

Jeotermal kaynaklar ile elektrik enerjisi üretimi, merkezi ısıtma, soğutma, sera ısıtması vb., endüstriyel amaçlı kullanım, proses ısısı, kurutma vb., kimyasal madde ve mineral, karbondioksit, gübre, lityum, ağır su, hidrojen vb. üretimi, kaplıca amaçlı kullanım (termal turizm), düşük sıcaklıklarda (30 °C) kültür balıkçılığı vb., mineralli su olarak içilerek kullanımı gerçekleştirilmektedir. Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir (Kahraman 2022).

### 2.1.1 Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Elektrik Üretimi

Ülkemizin jeotermal potansiyeli oldukça yüksek olup, potansiyel oluşturan alanların % 78’i Batı Anadolu’da, %9’u İç Anadolu’da, % 7 si Marmara Bölgesinde, % 5’i Doğu Anadolu’da ve % 1’i diğer bölgelerde yer almaktadır (Şekil 2.3). Jeotermal kaynakların % 90’ı düşük ve orta sıcaklıklılıdır. Bu kaynaklar ısıtma, termal turizm, çeşitli endüstriyel uygulamalar vb. doğrudan uygulamalar için uygun, %10’u ise elektrik enerjisi üretimi için uygun görülmektedir (MTA 2023<sup>a</sup>)



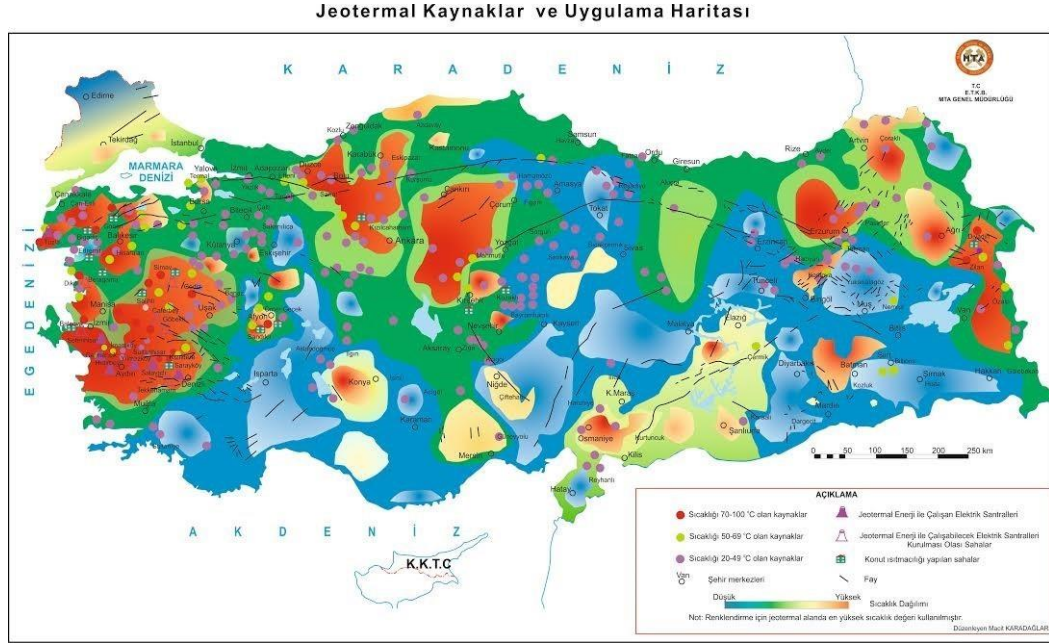
Şekil 2.3: Türkiye’de bölgelere göre jeotermal enerji potansiyeli yüzde dağılımı (MTA 2023<sup>a</sup>).

2022 yılı sonu verilerine göre Dünya’da jeotermal enerji kurulu gücü 16,1 GWe düzeyindedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke sırası ile ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye ve Yeni Zelanda olarak belirtilmektedir. Elektrik dışı kullanım ise 107.000 MWt değerini aşmış olup ABD, Çin, İsveç, Türkiye ve Almanya Dünya’da doğrudan kullanım uygulamalarındaki ilk 5 ülke olarak gösterilmektedir (MTA, 2023<sup>a</sup>). 20. yüzyılın sonlarında yer altı buharından elektrik üretimine başlayan Türkiye’de, 2022 yılı itibarıyla 27 jeotermal sahada 63 jeotermal enerji santrali faaliyet gösteriyor. Türkiye, 2 gigawatt'a yakın kurulu gücüyle jeotermal enerji kapasitesinde dünya genelinde dördüncü sırada yer alıyor (Richter 2022).

2005 yılından itibaren enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı desteğiyle, mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranması çalışmalarına ağırlık verilmesi nedeniyle, 2004 sonu itibari ile 3100 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi, 2022 yılı Aralık sonu itibari ile ilave 1900 MWt ısı enerjisi artışı ile 5000 Mwt değerine yükselmiştir. MTA tarafından 173 adet olan keşfedilmiş jeotermal saha sayısı da sondajlı aramalarla 16 adedi elektrik üretimine uygun olan yeni sahaların keşfiyle 243 sahaya çıkarılmış olup, bugüne kadar toplam 658 adet, 447.000 metre sondajlı arama çalışması yapılarak doğal çıkışlar dahil açılan kuyularla yaklaşık 5000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir. Türkiye’de jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası Şekil 2.4’te sunulmuştur (MTA, 2023<sup>a</sup>).

Türkiye’de bölgesel ısıtma, seracılık, kurutma yanı sıra elektrik üretiminde de yaygın olarak kullanılan jeotermal enerji kurulu gücü Haziran 2022 sonu itibarıyla 1686 MW, toplam kurulu güç içerisindeki oranı %1,66 olarak verilmiştir (ETKB 2023<sup>a</sup>).

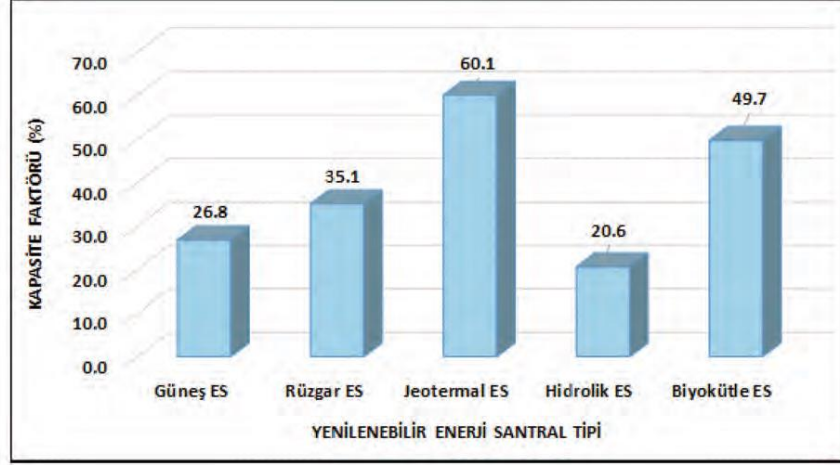




**Şekil 2.4:** Türkiye’de jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası (MTA 2023<sup>b</sup>).

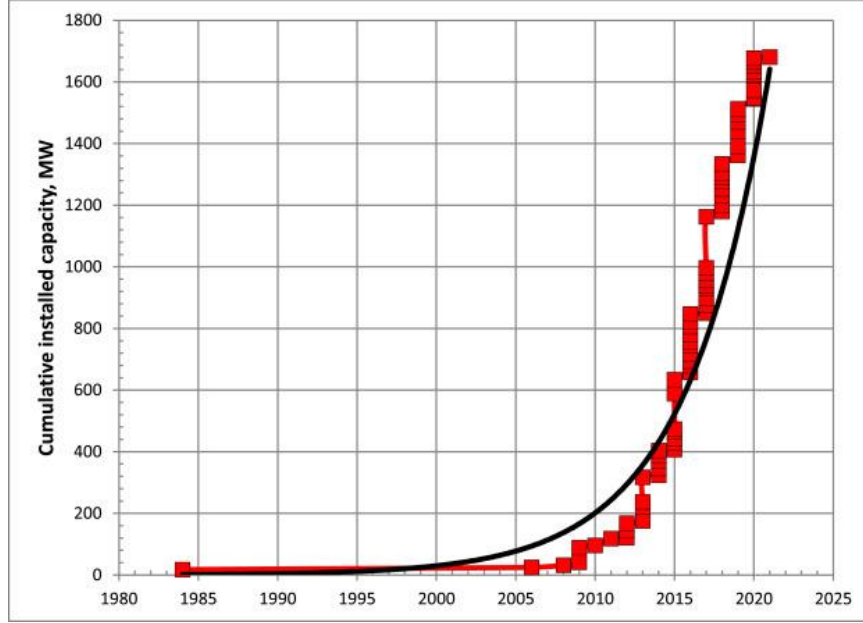
### 2.1.2 Türkiye’de Jeotermal Enerji Santralleri

Jeotermal enerji santralleri ilgili kapasite faktörü dikkate alındığında yenilenebilir enerji kaynakları arasında Enerji Piyasaları İşletme A.Ş. (EPİAŞ)’nin 2021 yılı ağustos ayı verilerine göre yüksek kapasite faktörü jeotermal enerji santrallerine aittir (EPİAŞ 2021, Selanka 2021, MAPEG 2022). Şekil 2.5’te sunulan verilere göre JES’ler %60,1’lik kapasite faktörü ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre ilk sırada yer almaktadır (Selenka 2021). MAPEG raporuna göre bunun en büyük sebebi jeotermal enerjiden yağış, güneş veya rüzgar gibi dış faktörlerden bağımsız 4 mevsim 24 saat enerji üretilebilmesidir (MAPEG 2022).



**Şekil 2.5:** Yenilenebilir enerji kaynakları ve kapasite faktörleri (Selenka 2021; MAPEG 2022).

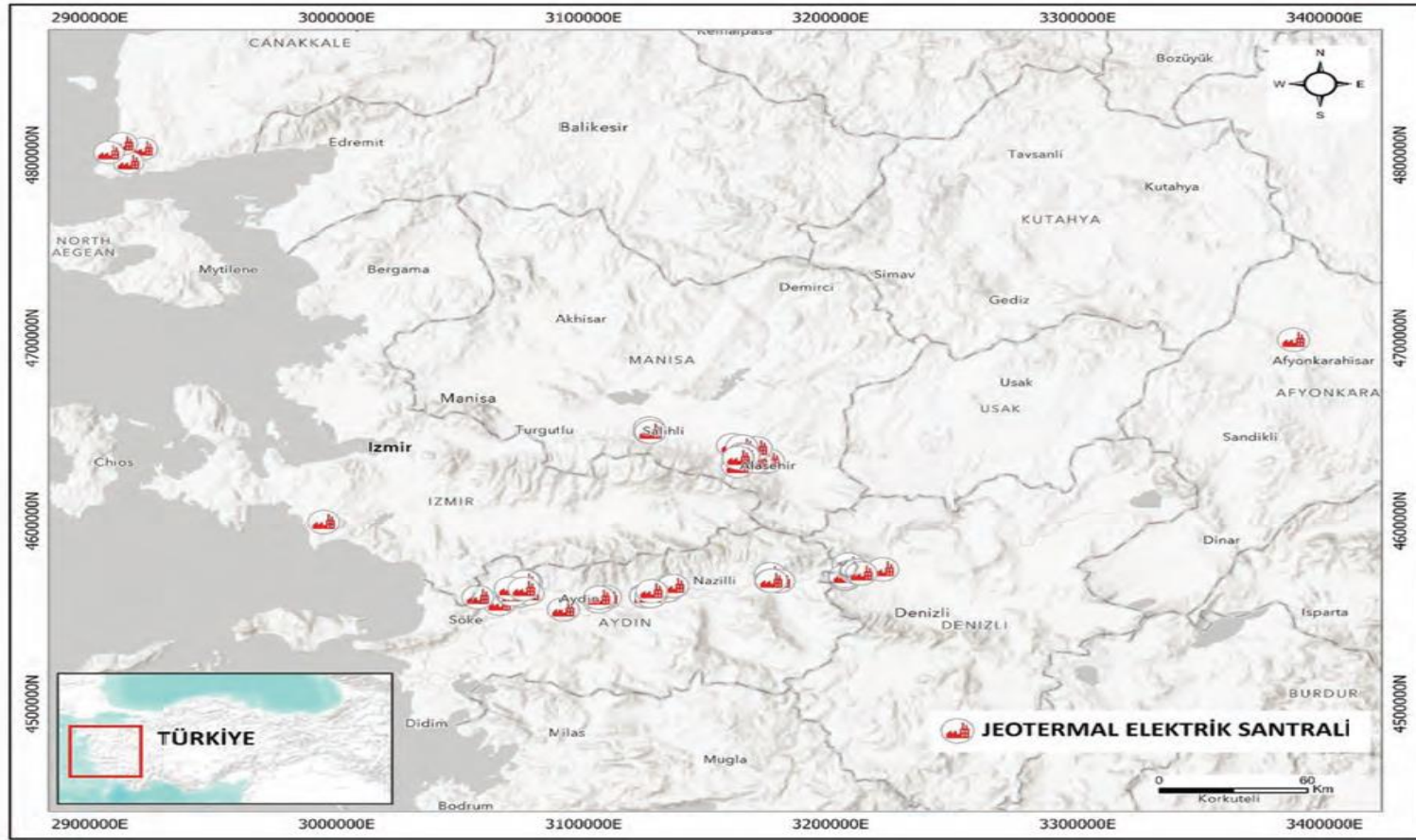
Türkiye'nin ilk pilot jeotermal enerji santrali, 1974 yılında Kızıldere sahasında faaliyete geçen 500 kW flaş ünitesidir. On yıl sonra 17,4 MW gücündeki Kızıldere I ilk ticari büyüklükteki santral olarak devreye girmiştir. Yirmi yıldan fazla bir süre boyunca başka jeotermal faaliyet gerçekleşmemiştir. Ancak 2006 yılından itibaren Salavatlı'da flaş, ikili, kombine flaş-ikili tipteki jeotermal santrallerin devreye girmesiyle büyük ve hızlı bir genişleme başlamıştır. Şekil 2.6, 1984'ten günümüze kadar kurulu kapasitedeki büyümeyi göstermektedir. Kesintisiz siyah çizgi, çevrimiçi MW'daki gerçek büyümeyle yakından eşleşen üstel bir büyüme eğrisidir. Görüldüğü gibi gelişme yıldan yıla oldukça istikrarlı olmuştur (Serpen ve DiPippo 2022).



**Şekil 2.6:** 1984'ten günümüze kadar jeotermal enerji üretiminin büyümesi (Serpen ve DiPippo 2022).

MAPEG raporuna göre jeotermal enerji santrallerinin hepsi Türkiye'nin batısında bulunan şehirlerde yer almaktadır. Santrallerin büyük bölümü Aydın, Denizli ve Manisa illerinde yer almakta iken, İzmir, Afyon ve Çanakkale'de gelişmekte olan sahalarda yeni hizmete giren santraller bulunmaktadır (Şekil 2.7) (MAPEG 2022).

Türkiye'deki jeotermal santraller ve işletme kapasiteleri Tablo 2.1'de sunulmuştur. Mevcut verilere göre jeotermal hareketliliğin %98'inin Batı Anadolu Bölgesi'nde özellikle Denizli-Aydın-Manisa illerinin bulunduğu alanlarda olduğu görülmektedir (MAPEG 2022). Aydın, ağırlıklı olarak lisanslı santrallerden oluşan 888 megawatt kurulu jeotermal enerji ile ülke lideridir (Şekil 2.8) (ETKB 2023<sup>b</sup>).



Şekil 2.7: Türkiye'deki mevcut jeotermal santrallere ait lokasyon haritası (MAPEG 2022).

**Tablo 2.1:** Jeotermal santraller ve işletme kapasiteleri (EPDK 2022, MAPEG 2022)

İl	İlçe	Saha Adı	Firma Adı	İşletme Kapasitesi (MWe)
Denizli	Sarayköy	Kızıldere-Karataş	Zorlu Elek.	260
			Bereket Enerji	6,85
		Tekkeköy	Greeneco Enerji	77,2
		Tosunlar	Akça	3,804
Manisa	Alaşehir	Kurudere-Alkan	Zorlu Elek.	45
			Türkerler Jeot.	78
		Kemaliye	Enerjeo	24,9
		Alaşehir-Soğukyurt	Sis Enerji	47.52
		Alaşehir-Kavaklıdere	Maspo Enerji	44
		Alaşehir-Baklacı	Akça Enerji	19.4
	Piyadeler	Soyak Enerji	60.3	
	Salihli	Caferbey-Hasalan-Sart	Sanko	64
Aydın	Germencik	Ömerbeyli	Gürmat Elek.	259.9
		Hıdırbeyli/Bozköy	Kipaş Holding.	218.6
		İncirliova	3 S Kale	25
		Turanlar	Beştepeler Enj.	24
		Gümüşköy	Gümüşköy Jeot.	13.2
	Nazilli	Güzelköy-Durasıllı	Kipaş Holding.	10
	Kuyucak	Yöre	Turcas	18
		Pamukören	Çelikler Jeot.	176.55
	Sultanhisar	Sultanhisar		36.31
	Köşk	Salavatlı	Menderes Jeot.	7.951
		Umurlu		60.5
	Buharkent	Buharkent	Karkey	24
			Buharkent	Limgaz
İzmir	Seferihisar	Kavakdere	RSC Elektrik	12
Çanakkale	Ayvacık	Tuzla	Yerka	11.75
		Tuzla	Tuzla Jeot.	7.5
		Babadere	MTN Enj.	7.95
Afyon		Ömer-Gecek	AFJET	2.755
Denizli	Sarayköy	Gerali	Jeoden	2.52
		Toplam Üretim		1663,23



**Şekil 2.8:** Türkiye'nin büyük jeotermal şehirlerinin kurulu jeotermal kapasitesi (megawatt) (TGE 2023, Pamukcu ve diğ. 2024).

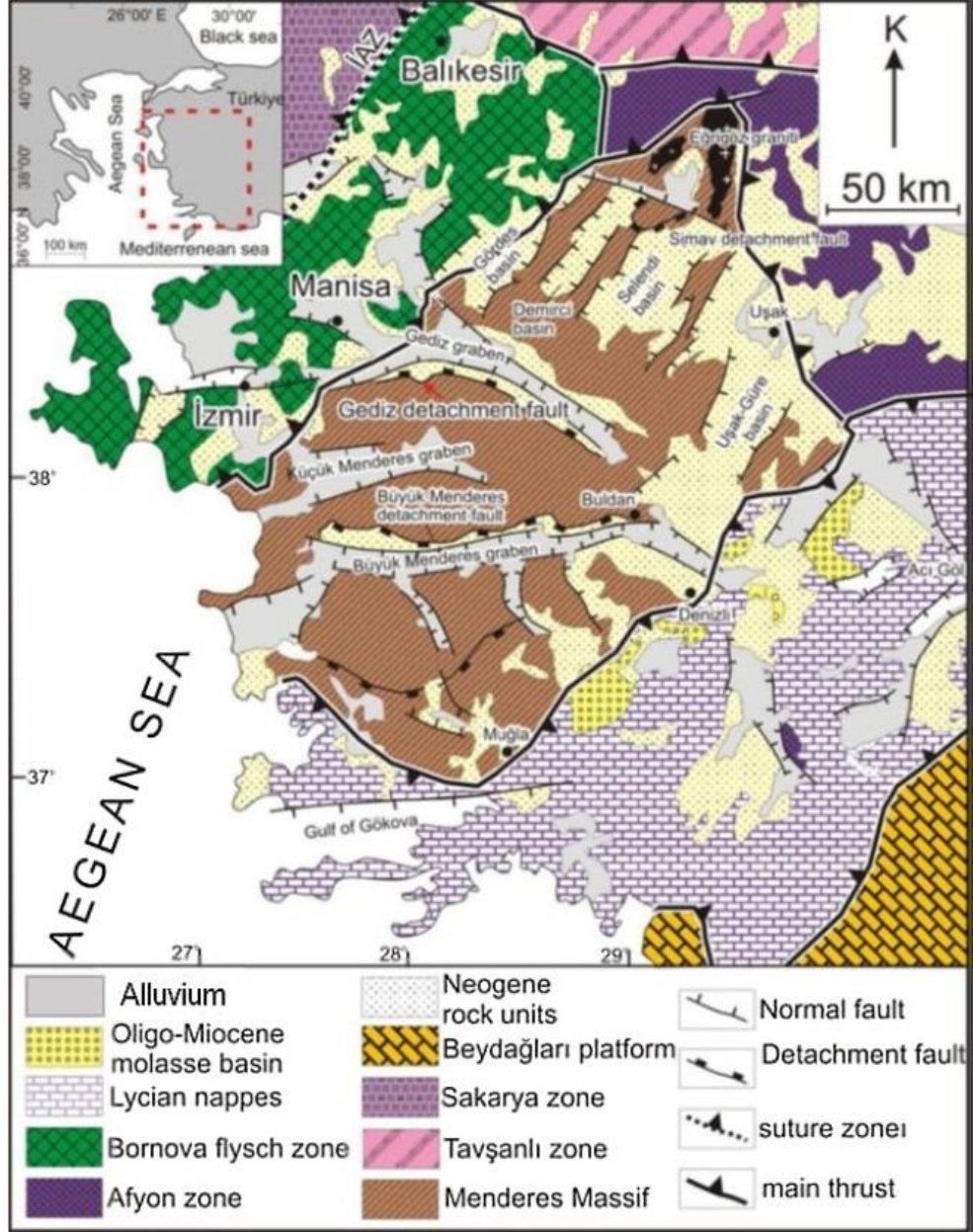
## 2.2 Büyük Menderes Havzasının Jeolojisi ve Jeotermal Açından Değerlendirilmesi

Türkiye'nin batısında yer alan Büyük Menderes (B. Menderes) grabeni, Türkiye'nin jeotermal kaynaklarının çoğunun yer aldığı, tektonik olarak oluşmuş büyük bir yapıdır (Yamanlar ve diğ. 2020). Batı Anadolu'da kabaca 200 km K-G ve yaklaşık 150 km D-B uzunluğuyla Türkiye'nin en büyük metamorfik masiflerinden biri olan kristal Menderes Masifi içinde yer almaktadır (Şekil 2.9) (Ciftci ve diğ. 2011). Alp nesli sırasında faylanmalarla kırılan kubbe benzeri bir yapı olarak tanımlanabilir. Menderes Masifi, çeşitli şist ve dolomitik mermerlerle sarılmış bir paragnays ve ortognays çekirdeği içerir (Yamanlar ve diğ. 2011).

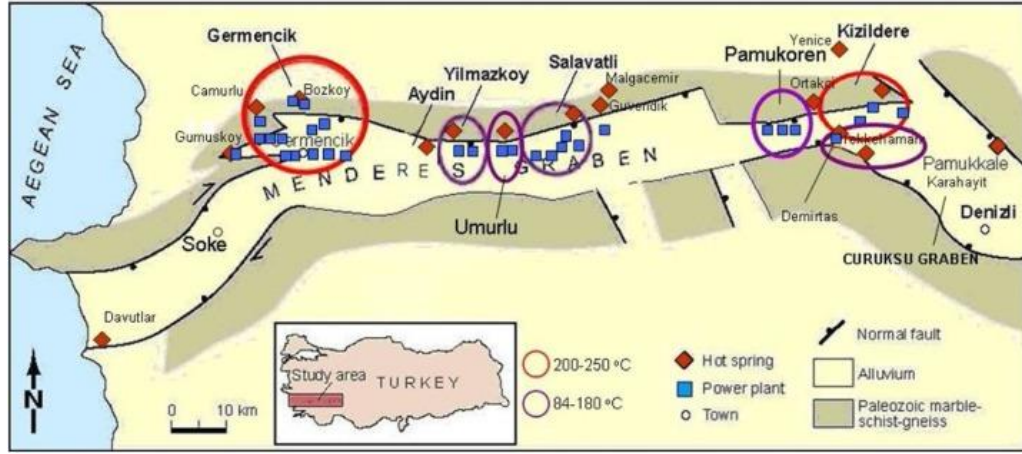
Menderes Masifi metamorfik kayalardan ve bunları üzerleyen geç çökeltilerden oluşur. Jeofizik çalışmalar ve sondaj, normal fayları ve aynı zamanda B. Menderes grabeninin kuzey kanadındaki tüm jeotermal sahaların karakteristik özelliği olan kademeli bir grabenin gelişimini göstermiştir (Faulds ve diğ. 2010) (Şekil 2.10).

Bu graben, keşfedilmiş birçok jeotermal kaynağa sahiptir ve bir jeotermal havza olarak değerlendirilebilir. Graben boyunca Tezcan (1979) tarafından yayınlanan yüksek ısı akışı anomalileri, bilinen birçok jeotermal alan, kaplıca ve bazı gizli

jeotermal sistemler de dahil olmak üzere diğer jeotermal oluşumların oluşmasına neden olmuştur (Serpen ve DiPippo 2022).



Şekil 2.9: Menderes masifi (eğik çizgilerle kahverengi) (Ciftci ve diğ. 2011, Yamanlar ve diğ. 2020).



**Şekil 2.10:** Kuzey sınır fayına bağlı jeotermal alanları gösteren Büyük Menderes Grabeni (Faults ve diğ. 2010, Yamanlar ve diğ. 2020).

Türkiye, Afrika ve Avrasya levhaları arasındaki kıtasal çarpışmanın neden olduğu karmaşık kaya deformasyonunun meydana geldiği Akdeniz Deprem Kuşağı'nda yer almaktadır (Bozkurt, 2001<sup>a</sup>). Bu plakaların sınırı, genç volkanik ve aktif faylarla işaretlenmiş sismik kuşakları oluşturur; suyun dolaşımının yanı sıra ısı akışı ve jeotermal enerjiye de izin verir. Türkiye'deki kaplıcaların dağılımı kabaca fay sistemlerinin, genç volkanizmanın ve hidrotermal alterasyona uğramış alanların dağılımına paraleldir (Simsek ve diğ. 2003). Ülkede toplam 1000'e yakın termal ve maden suyu kaynak grubu bulunmaktadır (MTA 1980, Simsek ve diğ. 2003). En muhtemel bölge, Miyosen çağından bu yana yaygın hidrotermal aktivitenin eşlik ettiği tektonik aşındırma ve genişleme yaşayan, Tetis orojenik kuşağı içindeki büyük bir temel kompleksi olan Menderes Masifi'dir. Menderes Masifi'ndeki jeotermal dolaşım magmatik aktiviteden değil, geniş kıtasal litosferdeki yüksek termal eğimlerden kaynaklanmaktadır. Bölgenin ısı akışı haritası, grabenler boyunca büyük olasılıkla magmatik sokulumlardan kaynaklanan yüksek ısı akışı anormalliklerinin varlığını göstermektedir (Simsek 2010<sup>a,b</sup>). Güleç, Türkiye'nin batı kısmı için bu tür jeotermal akışkanların mantodan geldiğini belirlemiştir (Güleç 1988). Sonuçlar, kabuğun derinliklerine süzülen meteorik suların magmatik sokulumlardan ısı kazandığını göstermektedir (Gökgöz ve diğ. 2010). Bu bölgede Erken Tersiyer ve Geç Tersiyer çağlarında magmatik aktivite mevcut olmasına rağmen, bugün bölgede astenosferik ergimeler üreten yalnızca küçük bir volkanik merkez kalmıştır (Seyitoğlu ve diğ. 1997). Filiz (1982), Menderes ve Gediz Grabenleri kenarları boyunca jeotermal akışkandan gelen CO<sub>2</sub> gazının kökeninin magmatik olduğunu ileri sürmüştür.



Literatürde yer alan bu jeotermal kaynaklar üzerinde kapsamlı jeobilimsel ve mühendislik araştırmaları yapılmış, kaynak değerlendirme ve geliştirme çalışmaları yapılmıştır (Bozkurt 2014). Bölgenin jeolojisi farklı araştırmacılar tarafından uzun dönemlerde çalışılmıştır. Uzel ve diğ. (2015) Menderes Grabenindeki paleomagnetik evrimi ve stres gelişimini incelemiş. 87 lokasyondan aldıkları 1100 adet örnekle İzmir-Balıkesir Transfer Zonunun Menderes Grabenin gelişimindeki etkisini, stres kinematikiğini ve deformasyon yönünü ortaya koymuşlardır. Alçiçek (2010) tarafından yapılan çalışmada Menderes Grabeni; Denizli, Söke, Yatağan, Karacasu, Bozdoğan, Çameli, Eşen olmak üzere 7 adet alt havzaya ayrılarak stratigrafileri, paleocoğrafik, paleoklimatik ve tektonik gelişimine bağlı karşılaştırmalı korele edilmiştir. Tektonik grabenlerin daha genç olanları olan Karacasu, Bozdoğan, ameli ve Eşen Havzalarının gelişmelerine en erken Tortoniyen döneminde başladığı, Messiniyede bu havzalarda sığ gllerin kurumasıyla evaporitik jips- anhidrit oluşumları gözlendiği belirtilmiştir.

Büyük Menderes Havzası, Batı Anadolu'da yer alan ve jeotermal enerji açısından zengin bir bölgedir. Havza, aktif tektonik hareketler ve genç volkanizma faaliyetleri nedeniyle jeotermal enerji potansiyeli yüksek bir alandır (Aksoy 2021). Havzanın jeolojik yapısı, metamorfik ve sedimanter kayaçlarla karakterize edilir, bu da çeşitli jeotermal sistemlerin varlığına işaret eder (Demir ve diğ. 2020).

Büyük Menderes Havzası'nın hidrojeolojisi, karmaşık akifer sistemleri ve termal su akış yolları ile karakterizedir. Jeotermal sular genellikle derin, yüksek sıcaklıklı rezervuarlardan gelir ve bu suların kimyasal bileşimi, çevredeki kayaç türlerine, basına ve sıcaklığa bağlı olarak değişir (Göktürkler ve diğ. 2021). Pamukkale sisteminin doğu ucundan batı ucu Söke'ye kadar çok sayıda sıcak su kaynağı bulunmaktadır (Erisen ve diğ. 1996). Havzadaki termal sular, yüksek sıcaklık ve mineral içeriğine sahiptir. Meteorik orijinli suların, derin çatlaklardan sızarak rezervuara ulaştıktan sonra, basınç, sıcaklık ve çözünmüş mineral içeriğinin artmasından sonra, permeabilitesi yüksek zonlardan yeryüzüne ulaşarak jeotermal kaynakları oluşturur. Hiçbir doğal jeotermal kaynaktan boşalan akışkan sıcaklığı 100 C'yi geçmez, hatta kondüktif soğuma, adiyabatik soğuma ve soğuk suların karışmasıyla daha düşük sıcaklıklarda görülebilir ve jeotermal enerji üretimi için uygun koşulları sağlamazlar. Ancak jeotermal sondajlarla rezervuara ulaşılarak üretim yapıldığında rezervuarda daha yüksek sıcaklık ve basınç değerleri yakalandığından

enerji üretimi için elverişli hale getirilmiş olurlar (Yılmaz ve diğ. 2019). Erdem ve diğ. (2022) tarafından Büyük Menderes Havzası'nda, hidrotermal alterasyonun geniş bir alanı kapsadığı ve bu alanlarda jeotermal enerji üretimi için uygun koşulların bulunduğu ifade edilmiştir.

Jeotermal kaynakların oluşumuna uygun jeolojisi nedeniyle Büyük Menderes Grabeni çeşitli fırsatlara sahiptir. Kısmen veya tamamen bilinen bu jeotermal sahaların bazı ortak jeolojik özellikleri bulunmaktadır. Örneğin, bu jeotermal sistemlerin çoğu, orta entalpili (sıcaklıklar 120–180 °C) rezervuarlar geliştirmiştir. Germencik ve Kızıldere yatakları Türkiye'de bugüne kadar keşfedilen en sıcak, en büyük ve en gelişmiş su ağırlıklı hidrotermal rezervuarlardan ikisidir. Kızıldere jeotermal sahasında 245 °C'ye kadar yüksek dip kuyusu sıcaklıkları kaydedilmiştir (Serpen ve Uğur 2000; Güney ve diğ. 2011; Satman ve diğ. 2017; Pamukçu ve diğ. 2019). Germencik jeotermal sahasında 2800 m derinliğe ulaşan (Özgür 2018) ve sıcaklıkları 276 °C'ye ulaşan (Türeyen ve diğ. 2016) 100 civarında üretim ve reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. Rezervuarları genellikle metamorfik temelin farklı litolojik birimlerinde oluşmuştur. Bu temelin tipik bir özelliği, bölgesel aşırı güvenin bir sonucu olarak, başlangıçta daha derinde yer alan gnaysların metamorfiklerin üst birimleri üzerinde yer almasıdır (Ongur 2010). Özdirenç araştırmalarından elde edilen bir diğer önemli özellik ise B. Menderes grabeninin farklı jeotermal sistemlerinde tipik düşük özdirenç anormalliklerinin (5–20 ohm-m) olmasıdır. Keşfedilen jeotermal alanların tümü bu tipik özelliklere sahiptir (Şahin 1985; Yücel ve diğ. 1994; Batum ve Üçer 2009).

Büyük Menderes Havzası'ndaki jeotermal kaynaklar, elektrik üretimi ve seracılık gibi çeşitli uygulamalar için kullanılmaktadır. Havzada yer alan jeotermal santraller, Türkiye'nin toplam jeotermal enerji üretim kapasitesine önemli bir katkı sağlamaktadır (Özkırım ve diğ. 2021).

Büyük Menderes Havzası'ndaki jeotermal kaynakların daha verimli kullanımı için devam eden araştırmalar, rezervuar yönetimi ve sürdürülebilirlik konularına odaklanmaktadır. Bu araştırmalar, jeotermal enerjinin olumsuz çevresel etkilerini azaltmayı ve kaynakların uzun vadeli kullanımını sağlamayı amaçlamaktadır.

### 2.3 Jeotermal Kuyularda Kuyu Testleri

Jeotermal kuyu testleri, jeotermal rezervuarların fiziksel ve kimyasal özelliklerini değerlendirmek için yapılan deneysel süreçlerdir. Bu testler, jeotermal kaynakların potansiyelini ve sürdürülebilir kullanımını anlamak için kritik öneme sahiptir (Grant 2021).

Jeotermal kuyu testleri başlıca Rezervuar Karakterizasyonu, kuyu performans tahmini ve optimum tasarım ve işletme parametrelerinin belirlenmesi amaçları ile yapılır.

Rezervuar Karakterizasyonu: Kuyu testleri, rezervuarın fiziksel özelliklerini (örneğin, geçirgenlik ve porozite) anlamak için yapılır.

Performans Tahmini: Rezervuarın uzun vadeli performansının ve sürdürülebilir enerji üretiminin tahmin edilmesi için gerekli verileri sağlar.

Optimal Tasarım ve İşletme: Jeotermal santrallerin tasarımı ve işletmesi için gerekli parametreleri belirler (Axelsson 2022).

Kuyu testlerin önemli parametreler ise aşağıda anlatıldığı şekilde tanımlanmaktadır.

Akış Hızı (Debi): Kuyudan çıkan akışın miktarı, rezervuarın kapasitesi hakkında bilgi verir.

Sıcaklık: Rezervuarın termal karakteristiklerini ve enerji üretim potansiyelini belirler.

Basınç: Rezervuar basıncı, jeotermal sıvının yüzeye çıkış kapasitesi ve rezervuarın sağlığı hakkında bilgi sağlar.

Kimyasal Bileşim: Rezervuardaki suların kimyasal analizi, korozyon ve çökelme risklerini belirlemek için önemlidir ki her ikisi de üretimde kayba ve verim düşüklüğüne neden olur (Nicholson 2023).

Jeotermal kuyu kazma işleminin hemen sonrasında kuyu üretime açılmadan belirli zaman aralıklarında ve kuyu boyunca sıcaklık ölçümleri yapılır. Bu sıcaklık ölçümlerinde orijinal rezervuar sıcaklığı tespit edilmesi amaçlanır. Bu ölçümlerden gerçek formasyon sıcaklıklarının saptanmasında, Horner Plot sıcaklık yükselme metodu vb. yöntemlere başvurulmaktadır. Yüksek basınç ve debi ile üretim yapan iki fazlı kuyularda, kuyu uç kısmında bir manometre olan dikey veya yatay bir boru ile üretime açılır (Şekil 2.11). Kuyu üretime açılırken ve kapatılırken vana tur sayısı ile kuyu başı basıncı ve manometrede okunan uç basınç kaydedilir. Bu yöntem uç basınç yöntemi (lip-pressure method) olarak adlandırılmaktadır. Analiz tekniğinde konduktif ısı akış modeli kullanıldığından önemli sirkülasyon kaçaklarının olduğu bölümde gerçek formasyon sıcaklıklarının saptanması için kullanılmamalıdır. Kuyu dibinde kaçaklar oluşmuşsa ölçüm, kaçağın başladığı noktadan yeteri kadar uzaklaşarak rezervuardan olacak konvektif ısı akışları ihmal edilebilecek seviyeye getirilmelidir. Farklı rezervuar seviyeleri arasında kuyu içi akış varsa değerler bozulacağından bu analiz tekniği kullanılmamalıdır.

Uç basınç yöntemi ile yapılacak üretim hesabı Eşitlik 2.1 de sunulmuştur (Özüdoğru 2005).

$$M_t = 4 \times 10^5 \times \frac{P_c^{0,96} \times d_c^2}{h_0^{1,102}} \quad (2.1)$$

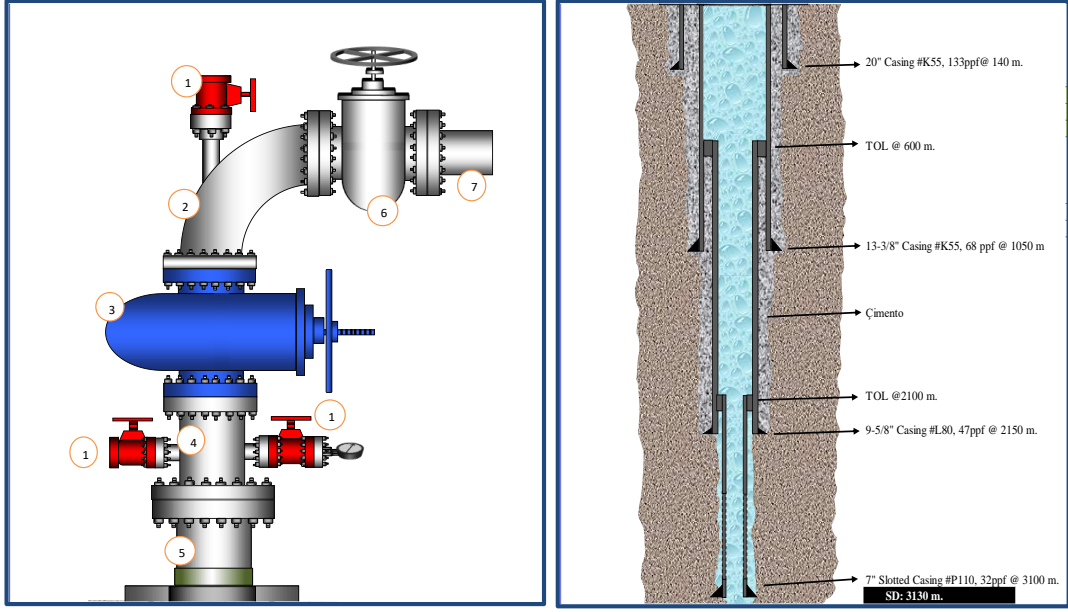
Burada;

$M_t$  :Toplam akışkan debisi (ton/sa),

$P_c$ : Uç basınç (psia),

$d_c$ : Uç boru iç çapı (metre),

$h_0$ : Akış entalpisi (kJ/kg) olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Üretimde kuyu başı dizaynı.

Rezervuar hakkında gerçek bilgilere bir takım kuyu testleri yapılarak ulaşılır. Bu veriler rezervuardan elde edilebilecek akışkan veya reenjeksiyon kapasiteleri hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar. Kuyu testlerinden elde edilecek veriler optimal ve sürdürülebilir bir santral dizaynı yapmamıza olanak sağlayacaktır.

Bu testler şu şekildedir:

- ***İlk Üretim Testi:*** Sondaj bitiminde sondaj sırasında kullanılan sondaj sıvısı temiz su ile ötelenerek kuyudan atılır, böylelikle rezervuar kirliliğinin önüne geçilen ilk adım atılmış olur. Kule demontajı yapılmadan veya demontajın hemen akabinde kuyu üretime açılarak kuyunun temizlenmesi, rezervuara kaçan sondaj sıvısının ve kırıntıların temizlenmesi sağlanır. İlk akış verileri alınır (Kuyu başı basıncı, kuyubaşı sıcaklığı, debi gibi).
- ***Statik Sıcaklık ve Basınç Ölçümleri:*** İlk üretim testinden sonra kuyunun dengeye gelmesi beklenir. Kuyu dengeye geldikten sonra kuyu içerisine indirilecek ölçüm aleti ile sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılır. Sondaj sırasında kesilen formasyonlardan elde edilen bilgiler, kaçak zonları ve miktarları, sondaj sıvısının fiziksel ve kimyasal değişimleri (sıcaklık, viskozite, iletkenlik gibi değişimler); statik sıcaklık ve basınç ölçümleri ile değerlendirilerek rezervuar hakkında

yorumlar yapılabilir. Ancak statik ölçümlerden elde edilen verilerde üretim zonları kondüktif ısı akısının etkisiyle gözden kaçabilir. Sondaj sırasında yaşanan kaçakların kesilen zonlardan mı yoksa üst zonlardan mı olduğu, kaçığın kapanıp kapanmadığı, sondaj sıvısındaki değişimler çamur müdahalesi mi yoksa ilerlemeye bağlı mı olduğu gözden kaçabilir.

Bu ölçümler su kaybı testi ile değerlendirilerek daha sağlıklı bilgiler elde edilir.

- *Su Kaybı Testi:* Bu test üretim zonlarının belirlenmesinde bize bilgiler sağlamaktadır. Kuyubaşı vanası kapalı iken kuyu hacminin en az iki katı su mümkün olan maksimum debi ile kuyuya basıldıktan hemen sonra kuyu içerisine basınç sıcaklık ölçüm aleti indirilerek ölçümler yapılır, hatta filtrelili boru boyunca bir iki ölçüm yapılabilir. Su kaybı testinde üretim zonları boyunca rezervuara kaçan soğuk su ile bu zonlarda maksimum soğuma görülecektir, geçirgen olmayan zonlarda ise soğuma olmayacaktır.. Ancak basılan suyun kendine en kolay yolu bulacağı ve daha derinlere doğru rezervuarda daha az kaçaklar olacağı ve basılan suyun ısınacağı da göz ardı edilmemelidir. Ayrıca farklı bir yöntem olarak spinner verisi alınabilecek ise kuyuya su basımı devam ederken ölçüm aleti indirilebilir. Rezervuar boyunca spinner verisinin de yorumlanması mümkün olacaktır.
- *Dinamik Sıcaklık Basınç ve Spinner Ölçümleri:* Kuyu serbest akış halde iken dengeye ulaştıktan sonra kuyu içerisine ölçüm aleti indirilerek üretimdeki veriler alınır. Üretim zonlarının tespitinde fikir verir. Ayrıca dinamik haldeki rezervuar basıncı basınç düşüm testi, basınç yükselim testi ile değerlendirilir.
- *Basınç Yükselim ve Düşüm Testi:* Bu testler rezervuarın geçirgenliği, ortalama basıncı, skin faktör hesaplarında kullanılır. Skin faktörü, kuyu çevresindeki rezervuarda mevcut olan uyarım veya oluşacak hasarın boyutları hakkında bilgi verir. Hatta bu test uzun tutularak rezervuar modeli hakkında yorum yapılabilir.

Basınç düşüm testinde, rezervuara indirilen bir ölçüm aleti kuyunun belirli bir süre üretime açılması ile basınç düşümünü kaydetmektedir.

Basınç yükselim testinde ise rezervuara indirilen bir ölçüm aleti kuyunun yine aynı süre boyunca üretime kapatılması ile basınç yükselimi kaydetmektedir.

- Enjeksiyon Testleri: Bu testler ile kuyunun reenjeksiyon kapasitesi hesaplanabilir. Tek debili ve çok debili enjeksiyon testi olarak iki şekilde yapılır.

Çok debili enjeksiyon testinde kuyubaşı vanası kapalı halde iken kuyubaşı basıncı kaydedilir. Kuyuya sabit debi ile soğuk su basılırken kuyubaşı denge basıncına ulaştığında bu değer ve debi kaydedilerek debi artırılır ve yine değerler kaydedilir. Bu şekilde iki ya da üç farklı debi ile basınçlardan elde edilen veriler ile enjektivite endeksi hesaplanır (Eşitlik 2.2) (Serpen 2003).

Enjektivite endeksi:

$$EE = \frac{Q}{P_i - P_{wf}} \quad (2.2)$$

Formülde;

EE: Enjektivite endeksi (L/sn/kg/cm<sup>2</sup>, L/sn/bar),

Q: Kuyuya basılan akışkanın debisi (L/sn),

P<sub>i</sub>: Enjeksiyon basıncı (Kg/cm<sup>2</sup>, Bar),

P<sub>wf</sub>: Rezervuar derinliğinde beslenme noktası basıncı (kg/cm<sup>2</sup>, bar)'dır.

- Üretim Testi: Kuyulardan elde edilecek akışkan bir savak düzeneği ile hesaplanabilir. Ancak kuyunun tek fazlı ya da iki fazlı üretimi göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü tek fazlı üretimde herhangi bir seperasyona ihtiyaç duyulmazken iki fazlı üretimde buhar ve NCG verisi hesabı için bir seperasyona ihtiyaç duyulmaktadır.

Gelen akışkanın hidrolik gücünü yavaşlatacak bir susturucuya ve debi ölçümü için bir savağa ihtiyaç vardır. İki fazlı üretim yapan kuyularda üretim hattı üzerine bir mini seperatör ile buhar ve NCG hesaplaması mümkün olmaktadır. Savak yöntemi ile hesaplamada % 3-4 gibi bir hata payı ile gerçeğe çok yakın debi ölçümü mümkündür.

Hacimsel debi (Eşitlik 2.3) (Serpen 2003):

$$Q = \frac{k * b * h^{1,5}}{60} \quad (2.3)$$

Q: Akış debisi (m<sup>3</sup>/sa)

k: Savak sabiti

b: Savak akış penceresi açıklığı (m)

h: Savak akış penceresi tabanından su seviyesi yüksekliği (m)

Formülde seperasyon şartlarındaki termodinamik değerler alınmaktadır. Burada jeotermal akışkanın atmosfere boşaldığı kabul edilmekte olduğundan 100°C’de suyun entalpisi hf=418 KJ/kg, buharın entalpisi hg=2676 KJ/kg, karışım entalpisi olarak hfg=2258 KJ/kg değerleri alınabilir. Yukarıda bahsedilen test operasyonlarına ilave olarak üretim sırasında akışkanın kimyasal özelliklerinin tespitine yönelik kimyasal analizler, üretim miktarı-kabuklaşma hızı ilişkileri, yoğunlaşmayan gaz analizleri de gerçekleştirilen diğer işlemlerdir. Sahada derin rezervuar kuyularından elde edilen veriler bir istatiksel programda değerlendirilecek ve bu test verilerinin birbiri ile olan ilişkisi ile kuyu üretim potansiyeline olan katkısı belirlenecektir.

#### **2.4 Jeotermal Kuyularda Basınç ve Sıcaklık Verileri ile Yapılmış Önceki Çalışmalar**

Jeotermal kuyularda basınç ve sıcaklık verilerinin rezervuar analizinde nasıl kullanıldığını gösteren önemli çalışmalar bu bölümde sunulmuştur. Çalışmalar incelendiğinde; rezervuar yönetimi, sürdürülebilir enerji üretimi ve olumsuz çevresel etkilerin azaltılması gibi konular bu araştırmaların temel odak noktaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Sunulan kaynaklar, jeotermal enerji alanında mevcut bilgi birikimini ve araştırma eğilimlerini yansıtmaktadır.

Onur (2014) yaptığı çalışmasında jeotermal sistemlerde kuyu basınç testleri ve analizlerinin önemini vurgulamaktadır. Çalışma, bu testlerin tasarımı,



değerlendirilmesi ve analizi ile ilgili temel prensipler ve yöntemler hakkında kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Yapılan dört kuyu testi uygulaması, Türkiye'nin Afyon Ömer-Gecek ve Balçova-Narlidere jeotermal sahalarında gerçekleştirilmiştir ve bu testlerin değerlendirilmesinden elde edilen bilgiler, kuyu basınç testlerinin jeotermal sistemlerin tanımlanması ve işletilmesi için ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Kuyu basınç testlerinin, jeotermal sistemlerin daha gerçekçi bir şekilde tanımlanmasına ve uygun işletme tasarımlarının oluşturulmasına olanak sağladığını vurgulamaktadır. Bu testler, jeotermal sistemlerin performansını değerlendirmede ve rezervuarların sürdürülebilir kullanımında kritik rol oynamaktadır. Ayrıca, kuyu basınç testlerinin, jeolojik ve jeofizik verilerle birleştirildiğinde daha etkili sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir. Bu birleşik yaklaşımın, jeotermal rezervuarların doğru bir şekilde tanımlanmasında ve etkin işletme stratejilerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır.

Brown ve diğ. (2019) çalışmalarında Yeni Zelanda'daki jeotermal rezervuarların modellenmesi, rezervuarların enerji üretimi kapasitesinin doğru tahmin edilmesinde önemli rol oynadığını belirtmiştir. Çalışmada, rezervuarın fiziksel ve kimyasal özellikleri ile enerji üretim potansiyeli arasındaki ilişki araştırılmıştır. Sıcaklık ve basınç verilerinin entegre analizi ile rezervuarların daha etkili ve verimli kullanılması sağlandığı ortaya koyulmuştur.

Smith-Johnsen ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada İzlanda'daki The Geysers jeotermal alanındaki basınç ve sıcaklık verilerinin uzun vadeli analizinin, rezervuarın sürdürülebilir kullanımı için önem taşıdığı vurgulanmıştır. Çalışmada, rezervuar yönetimi stratejilerinin, enerji üretimindeki düşüşleri minimize edebileceği ve rezervuarın ömrünü uzatabileceği sonucuna varılmıştır.

Demir ve diğ. (2021), Aydın-Denizli bölgesindeki jeotermal rezervuarların analizini sunmuşlardır. Rezervuarların sürdürülebilir kullanımı için kritik olan basınç ve sıcaklık verilerini inceleyerek, gelecekteki enerji üretimi senaryolarını değerlendirmişlerdir. Basınç ve sıcaklık verilerinin yönetiminin, rezervuarın verimliliğini artırmak ve enerji üretimini optimize etmek için anahtar rol oynadığını rapor etmişlerdir.

Jonsson ve diğ. (2021) tarafından İzlanda'daki jeotermal rezervuarlarda, basınç ve sıcaklık değişimlerinin zaman içinde rezervuar performansını nasıl etkilediği detaylı olarak incelenmiştir. Rezervuar basıncının, sürdürülebilir enerji üretimi için kritik bir parametre olduğu ve bu parametrenin yönetilmesinin rezervuarın uzun vadeli sağlığı için önemli olduğu vurgulanmıştır.

Yılmaz ve diğ. (2022), Türkiye'nin en büyük jeotermal sahası olan Kızıldere'de yaptıkları çalışmada, basınç ve sıcaklık verilerinin derinlemesine analizini hesaplamışlardır. Bölgenin yüksek sıcaklık ve basınç koşullarının enerji üretimi için uygun olduğunu göstermiştir. Rezervuarın sürdürülebilir kullanımı için su ve buhar fazlarının dengesinin önemli olduğu belirtmişlerdir.

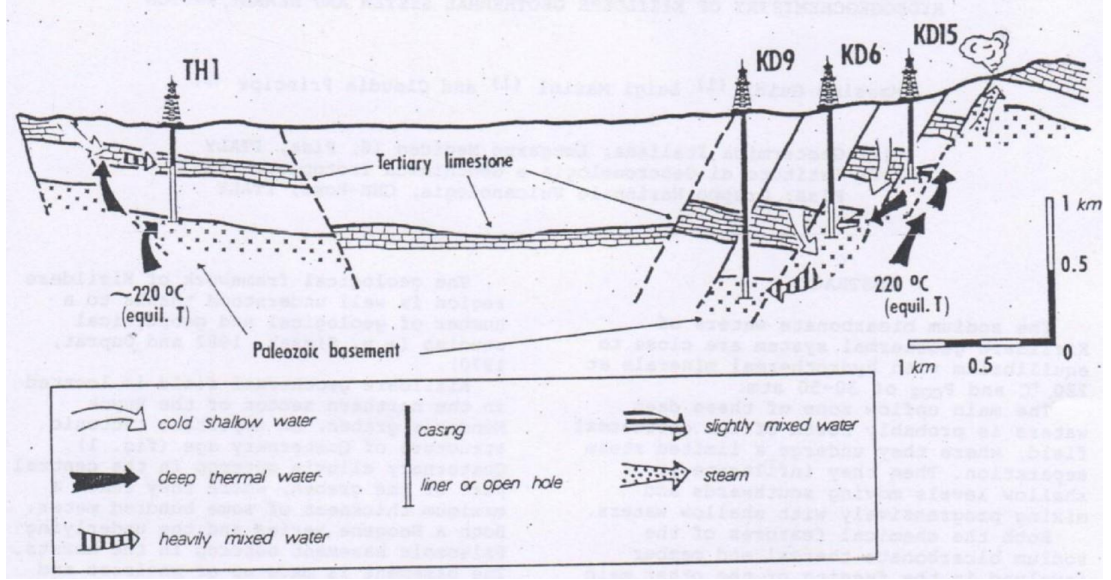
Kaya ve diğ. (2023), Türkiye genelindeki jeotermal rezervuarların yönetimi ve potansiyeli üzerine geniş çaplı bir değerlendirme sunan çalışmaları ile çeşitli jeotermal sahaların basınç ve sıcaklık verilerini analiz etmişlerdir. Basınç ve sıcaklık verilerinin analizinin, rezervuarların daha etkin kullanımında stratejik bilgiler sağladığını belirtmişlerdir.

## **2.5 Jeoloji, Litoloji ve Tektonik Unsurlar**

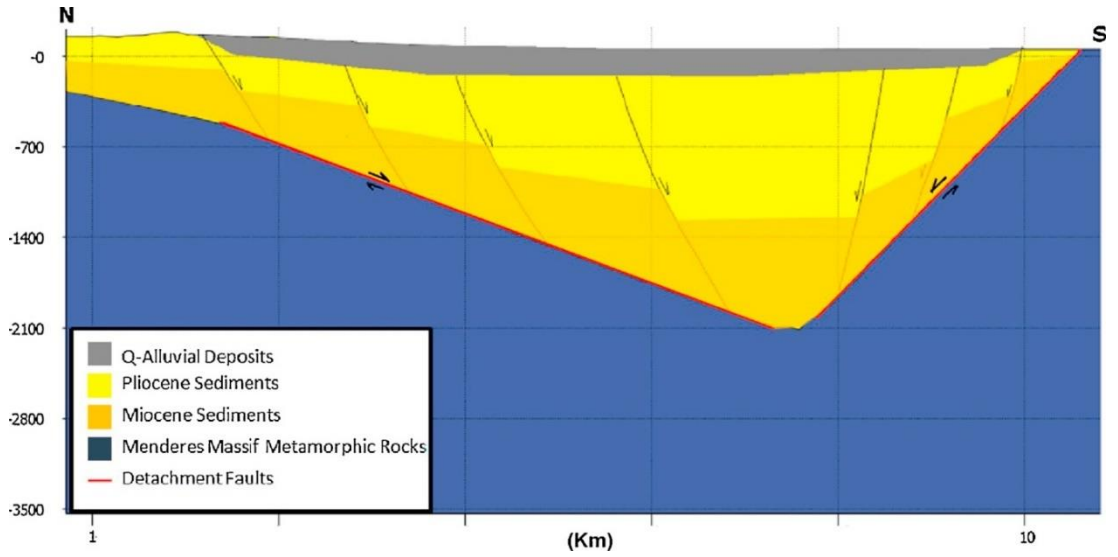
### **Tosunlar-Tekkehamam-Kızıldere Jeotermal Alanı**

Temelde Paleozoyik yaşlı menderes metamorfikleri bulunmaktadır. Alt Pliyosen yaşlı gölsel çökeller masifi kaplar Bu kayalar ile temel birimler arasında büyük bir stratigrafik boşluk bulunmaktadır. Kızılburun Formasyonu metamorfiklerin üzerinde taban konglomerası ile yer almaktadır. Yukarıya doğru alacalı, kırmızıdan kahverengiye kadar değişen bir dizi konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve kiltaşından oluşur ve bazı kısımlarında linyit yatakları ile ara katkılıdır. Kolankaya Formasyonu'nun sarımsı ve açık kahverengi kumtaşı, kiltası ve killi kireçtaşı araldanmasından oluştuğu görülmektedir. Bu istif içerisinde kireçtaşlarından oluşan belirgin işaret tabakaları bulunmaktadır. Kalınlıkları 500 m'ye ulaşır. Pliyo-Kuvaterner yaşlı Tosunlar Formasyonu Alt Pliyosen ve Paleozoyik yaşlı birimler üzerinde açısal uyumsuzlukla yer alır. Gri renkli, zayıf konsolidasyonlu, kısmen iri çakiltası, kumtaşı ve çamurtaşı ile fosilli killi kireçtaşı araldanmasından oluşur.

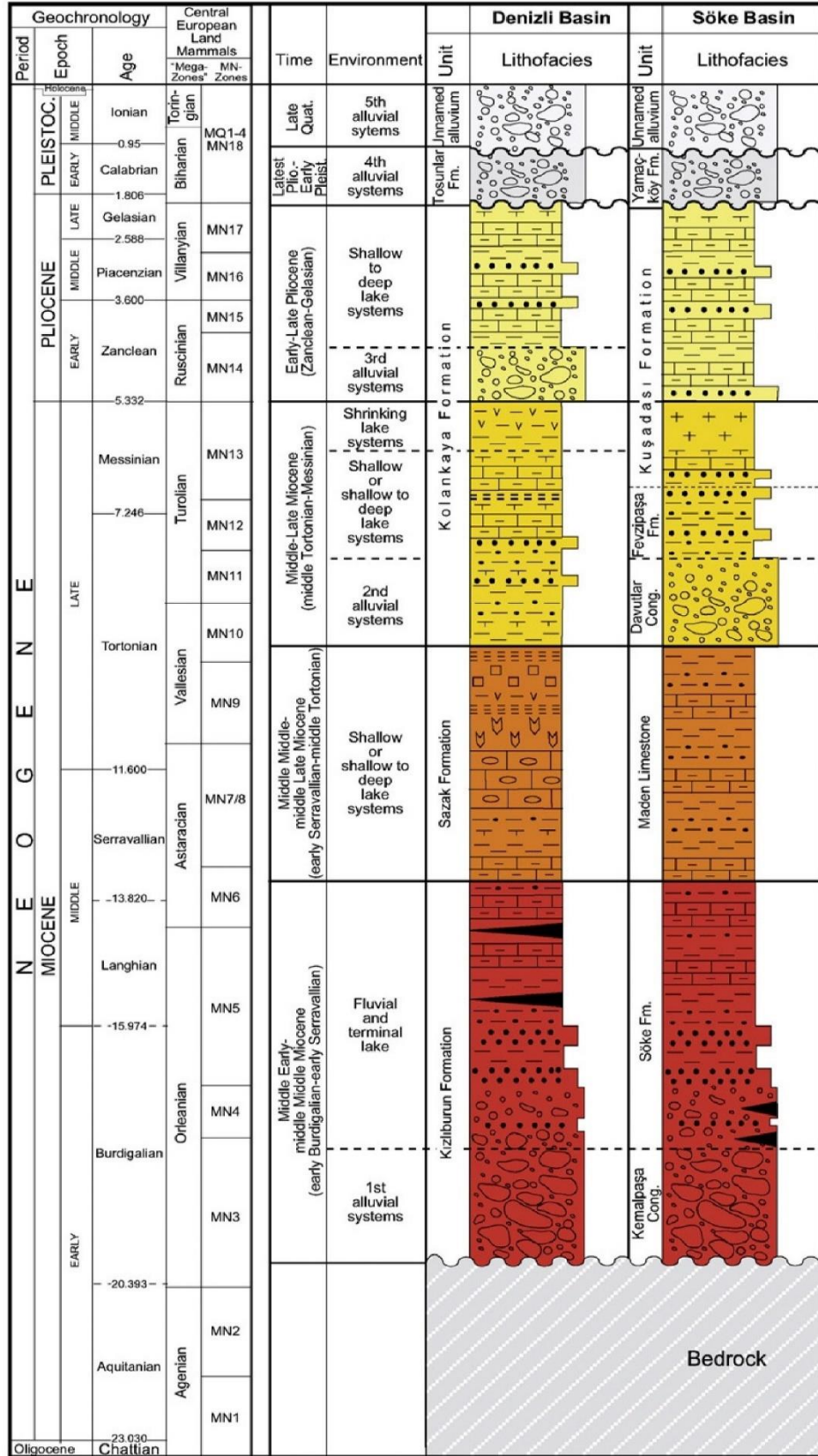
Kalınlığı yaklaşık 500 m'dir. Kuaterner, teras çökelleri, alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpazeleri ve travertenlerle karakterize edilir (Şimşek 1985).



Şekil 2.12: Kızıldere Jeotermal Sahası ve Tekkehamam-1 kuyusu enine kesiti (Guide ve diğ. 1988).



Şekil 2.13: Büyük Menderes Grabeni'nin genelleştirilmiş kesiti (Yamanlar ve diğ. 2020).

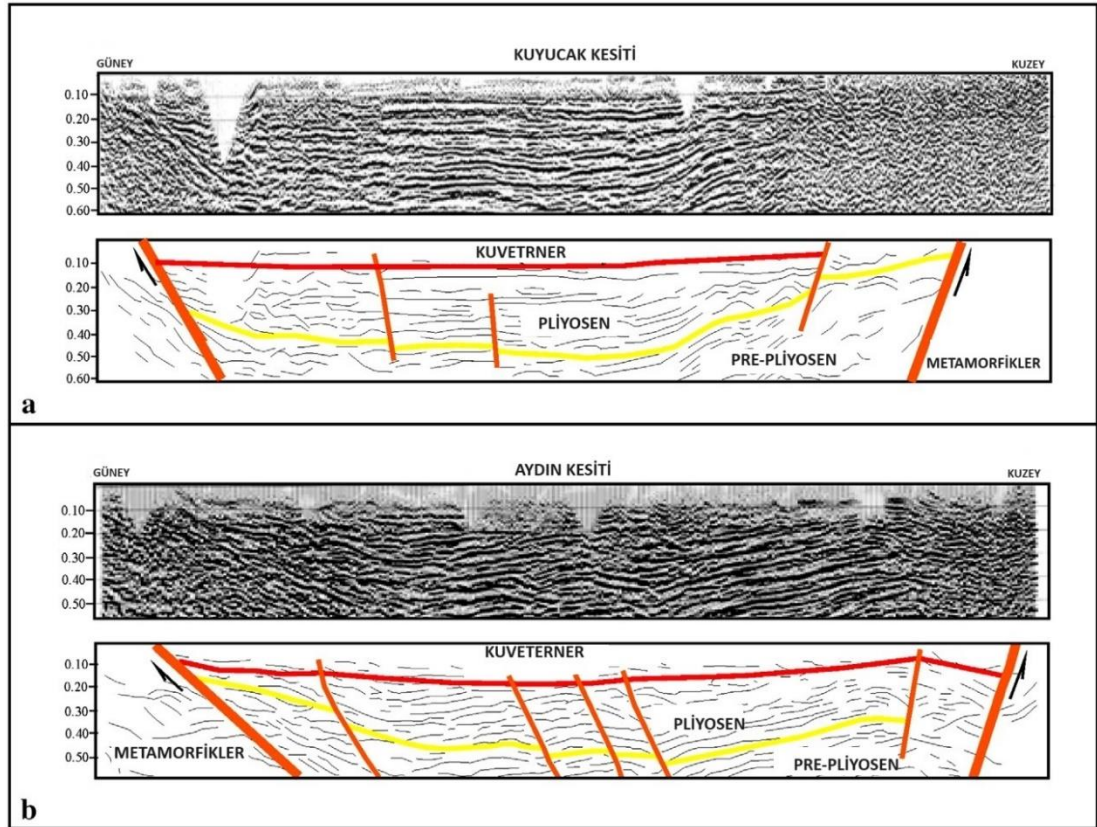


Şekil 2.14: Büyük Menderes Grabeninde Deniz-Söke Havzalarındaki stratigrafi (Alçiçek 2010).

### Pamukören Jeotermal Alanı

Pamukören Jeotermal alanında sıyrılma fayının etkisiyle Temeli oluşturan Menderes masifi metamorfiklerini kuvaterner alüvyon diskordansla örtmektedir. Yine Menderes Masifi metamorfik birimleri rezervuar olabilecek mermerler ve şistleri örterek örtü kaya görevi görmektedir.

### Kuyucak Jeotermal Alanı



**Şekil 2.15:** Büyük Menderes Grabeninde Kuyucak ve Aydın'da Güney-Kuzey Sismik Kesit (Kazancı ve diğ. 2009).

### Germencik Jeotermal Alanı

Menderes masifi metamorfiklerini senozoyik yaşlı çöeller örtmektedir. Miyosen yaşlı Vişneli formasyonunu kiltası, killi kumtaşı, silttaşı, kumtaşı, çakiltası ardalanması menderes metamorfiklerini örten ilk örtü kayadır. Vişneli formasyonu üzerine Pliyosen yaşlı Arzular Formasyonu killi kumtaşı, çakiltası ardalanması ile örtmektedir. Pleyistosen yaşlı Hüseyinciler Formasyonu Arzular formasyonu üzerinde

kiltaşı, killi kumtaşı, kumtaşı, çakıltaşı ardalanması şeklinde gelmiştir. Kuvaterner birim alüvyondur.

### **Gümüšköy Jeotermal Alanı**

Temelde menderes masifi metamorfikleri üzerine uyumsuzlukla gelen orta triyas-geç kretase yaşlı Ayrıcadağ kireçtaşları yer almaktadır. Bu kireçtaşları bol kırık çatlaklı ve yer yer karstik boşluklu yapısı ile ilk rezervuar niteliğinde soğuk su taşımaktadır. Kuvaterner birimi ise alüvyon, yamaç molozu, teras çökelleri oluşturur.

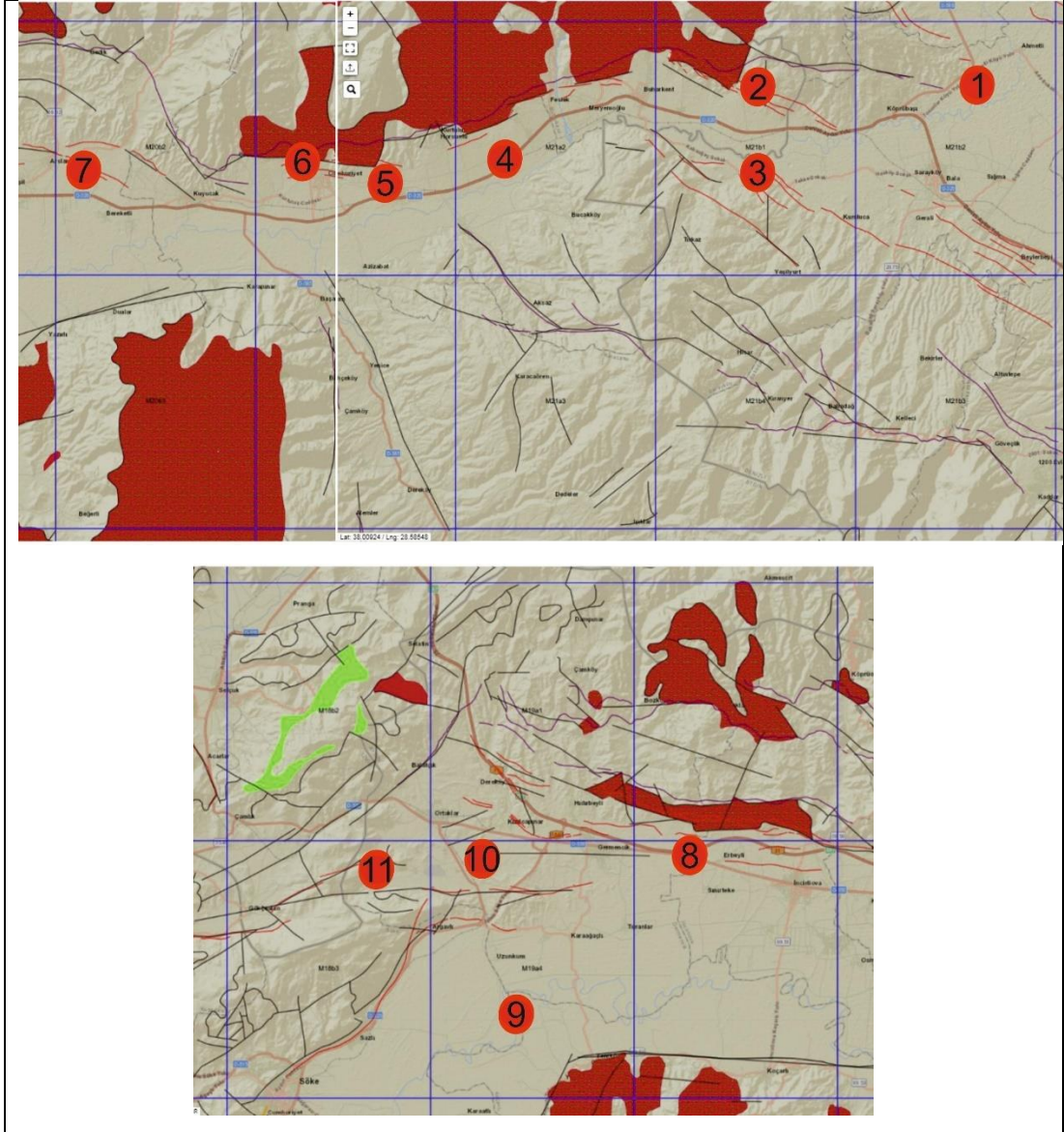
### 3. METODOLOJİ

Bu çalışmada, farklı jeotermal alanlarda yapılan çalışma verilerine göre korelasyon yapılarak Menderes Grabeninin Kuzey Graben Fayı boyunca Doğudan Batıya Doğru, jeotermal potansiyelin değişimine yaklaşım sağlanmıştır.

Yapılan tez çalışması kapsamında sonuçları değerlendirilen testler ve parametreler sıcaklık-derinlik logları, kuyu litoloji logları, örtü kaya jeotermal gradyanı, rezervuar kalınlığı ve derinliği, su kaybı testleri, kuyu bitirme testleridir.

Çalışma, jeotermal kuyulardan, litoloji logları, tektonik unsurlar ve kuyu tamamlama testleri sonuçlarından temin edilen verilerin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Büyük Menderes Grabeninde isimleri telif ve aidiyet hakkından dolayı verilemeyen farklı jeotermal alanlarda yer alan farklı jeotermal kuyularda yapılmış olan testlerin sıcaklık ve basınç testlerinin yapılmış olduğu kuyu yerleri temsili olarak Şekil 3.1’de sunulmuştur.



**Şekil 3.1:** Büyük Menderes Grabeni'nde Doğu'dan Batı'ya doğru, belirlenen jeotermal alanlardaki sıcaklık-basınç verilerinin alındığı temsili örnekleme noktaları.

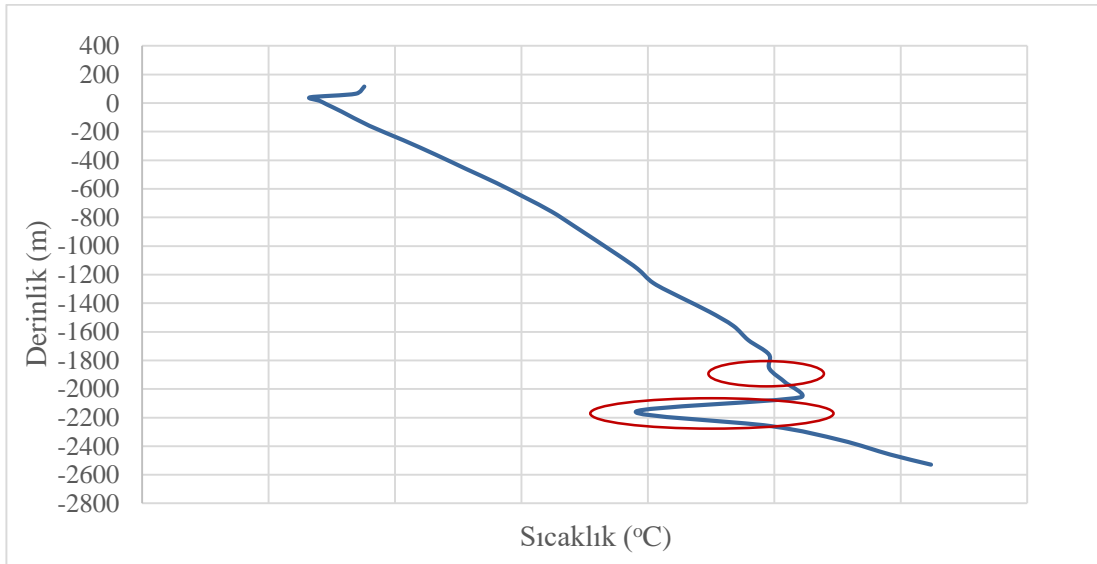


#### 4. JEOTERMAL KUYULARDA SICAKLIK BASINÇ ÖLÇÜMLERİNİN LİTOLOJİK VE TEKTONİK UNSURLAR İLE KORELASYONU

Büyük Menderes Grabeni'nde yerleri Şekil 3.1'de temsili olarak belirlenmiş olan farklı jeotermal sahalarda yapılmış derinliğe dayalı sıcaklık basınç ölçümleri, kuyu litoloji logları, üretim ve test çalışmaları ile deneştirilerek rezervuar litoloji, kalınlık, sıcaklık özellikleri ortaya konmuştur.

1 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler olduğu, rezervuarın 1800-2200 metreler arasında; 400 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 90-100°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 200-350 t/sa üretim yapılabilmektedir.

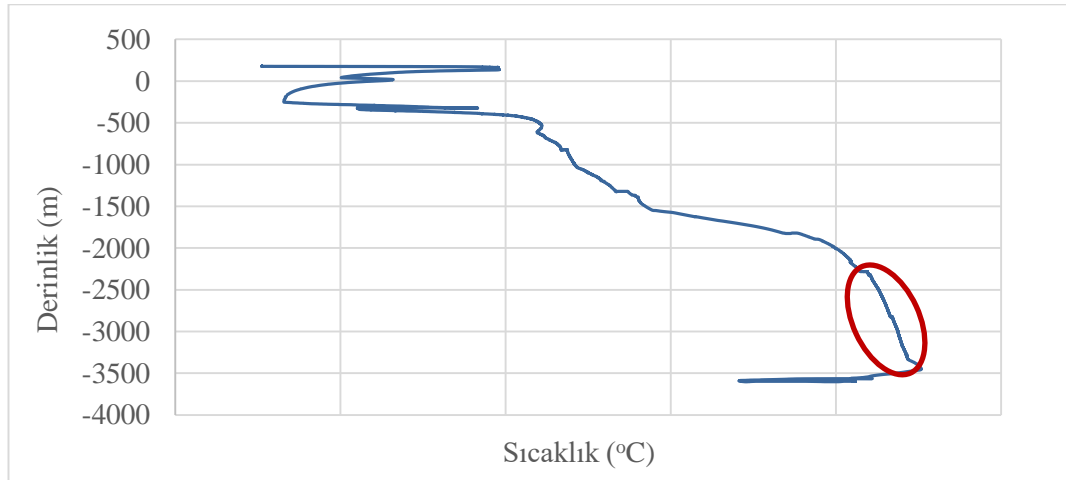
Bu jeotermal alanda statik sıcaklık ölçümü, su kaybı testleri ve litoloji ile değerlendirildiğinde tersiyer çökellerin rezervuar olduğu görülmüş ancak temeldeki paleozoyik yaşlı menderes masifi metamorfiklerinden üretilen akışkanı soğuttuğu görülmüştür.



Şekil 4.1: 1 No.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik loğu.

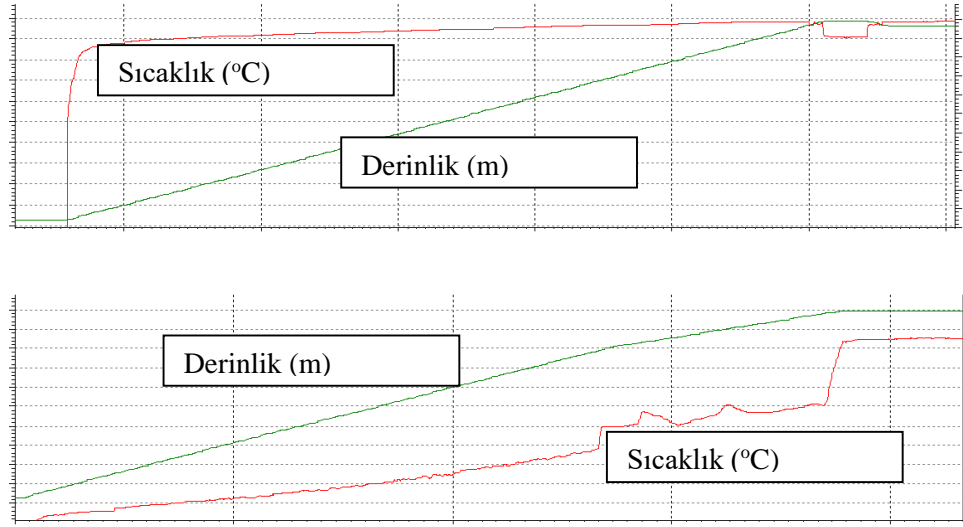
2 ve 3 No.lu jeotermal alanlarda jeotermal kuyular açılmaya başlandığında daha sığ derinliklerde jeotermal akışkana ulaşılmış ve magmatik intrüzyonun ve açılma faylarının etkisiyle Tersiyer çökellerden akışkan üretimi yapılmış ve yatırımcılar için elektrik üretim tesislerinin kurulmasının başlangıcı olmuştur. Zamanla yapılan üretim, reenjeksiyondaki zorluklar, beslenmenin yetersiz oluşu rezervuarın basıncının düşmesine soğumalara sebep olmuş ve daha derinlerde akışkan aramaya yönelik çalışmalar ile menderes masifi metamorfiklerinde 225 °C kuyu dibi sıcaklığına ulaşılmıştır.

2 ve 3 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler ve şistler olduğu, rezervuarın 2200-3600 metreler arasında; 1400 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 210-230°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 350-450 t/sa üretim yapılabilmektedir.



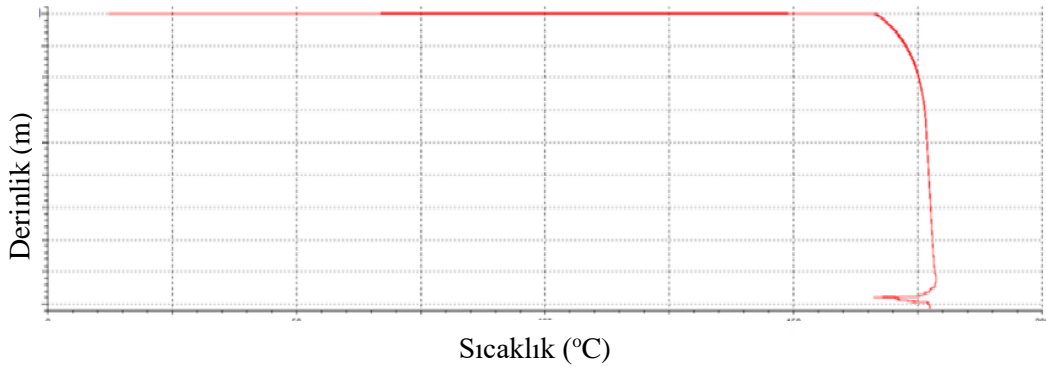
**Şekil 4.2:** 2 ve 3 No.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik loğu.

4 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler ve şistler olduğu, rezervuarın 1900-2500 metreler arasında; 600 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 125-145°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 150-250 t/sa üretim yapılabilmektedir.



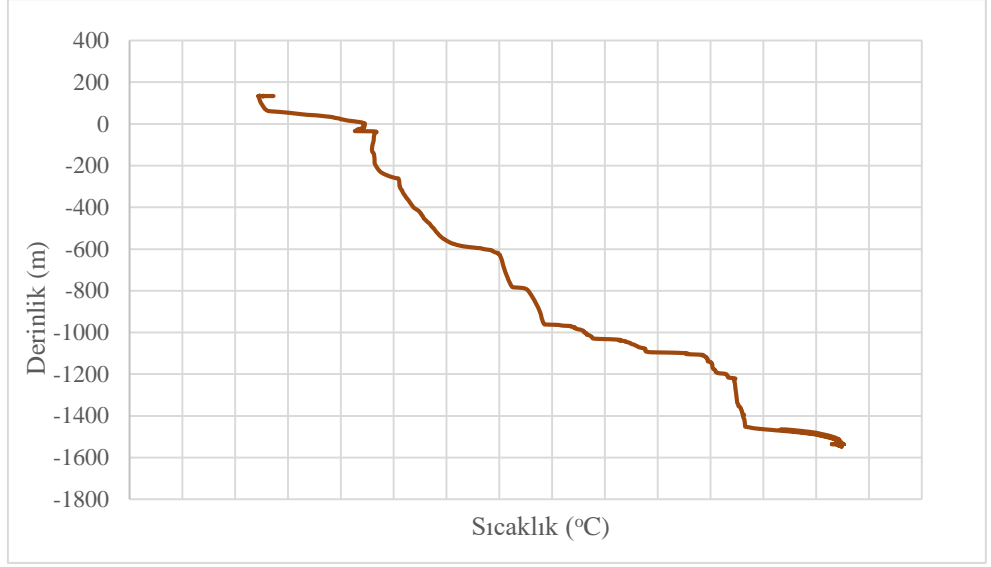
**Şekil 4.3:** 4 No.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik logu ve su kaybı testi sıcaklık grafiği.

5 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler olduğu, rezervuarın 2000-2200 metreler arasında; 200 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 180°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 250-300 t/sa üretim yapılabilmektedir.



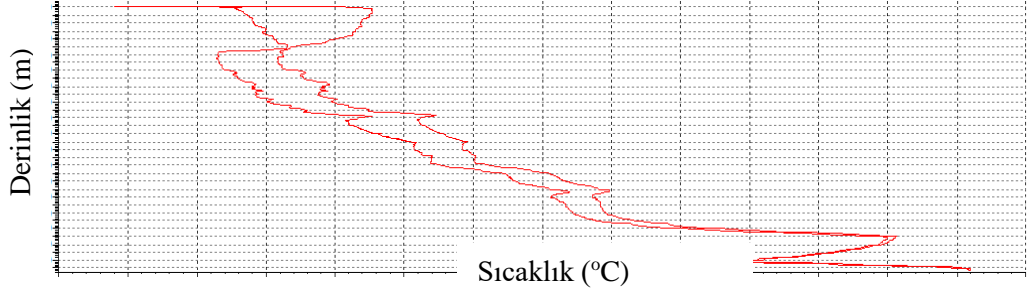
**Şekil 4.4:** 5 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik logu.

6 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler ve şistler olduğu, rezervuarın 1500-1700 metreler arasında; 200 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 160-165°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 250-300 t/sa üretim yapılabilmektedir.



**Şekil 4.5:** 6 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan dinamik sıcaklık derinlik loğu.

7 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler olduğu, rezervuarın 600-700 metreler arasında; 100 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 145°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 200 t/sa üretim yapılabilmektedir.



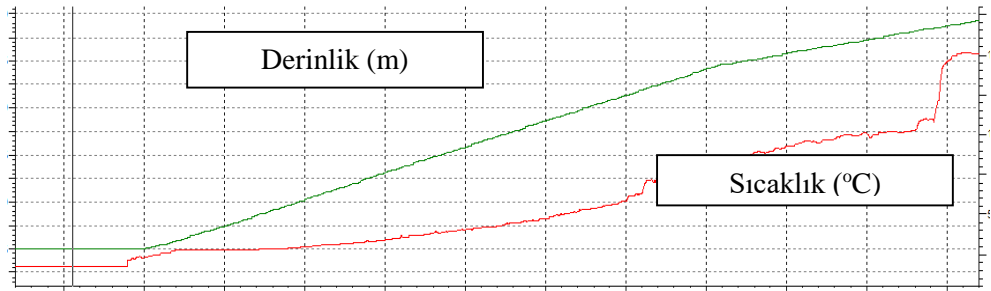
**Şekil 4.6:** 7 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyuda yapılan su kaybı testi.

8 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler ve şistler olduğu, rezervuarın 1400-1800 metreler arasında; 400 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 225-230°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 400-600 t/sa üretim yapılabilmektedir.



**Şekil 4.7:** 8 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik loğu.

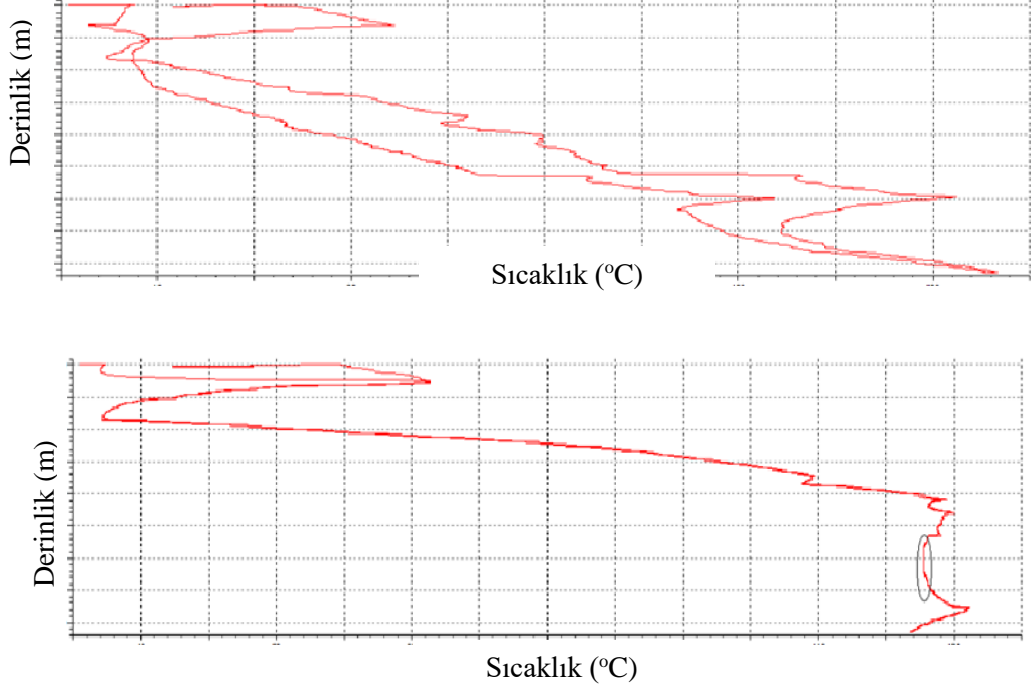
9 No.lu alanda yapılan sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermedar ve şistler olduğu, rezervuarın 2200-3050 metreler arasında; 850 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 90-100°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 100 t/sa üretim yapılabilmektedir.



**Şekil 4.8:** 9 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan statik sıcaklık derinlik loğu.

10-11 No.lu alanda yapı%90sondajlardan elde edilen verilerden rezervuarın Menderes masifi metamorfikleri içerisindeki mermerler ve şistler olduğu, rezervuarın 1200-1600 metreler arasında; 400 metre kalınlıkta olduğu, rezervuar sıcaklığının 155

150°C olduğu görülmüş ve bu rezervuardan yaklaşık 180 t/sa üretim yapılabilmektedir.

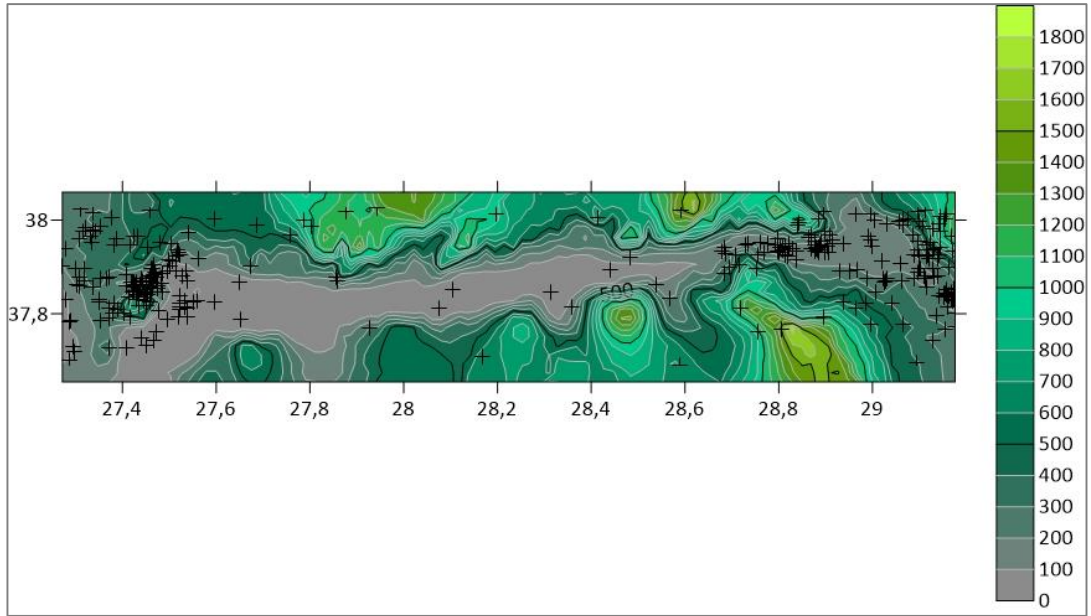


Şekil 4.9: 10 ve 11 no.lu jeotermal alandaki belirsiz kuyudan alınan su kaybı testi ve statik sıcaklık derinlik loğu.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Büyük Menderes Grabeni boyunca Tekkehamam-Germencik arası farklı jeotermal alanlarda yapılmış sondajlardan elde edilen sıcaklık basınç ölçümleri ile litoloji verileri değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler graben kuzey ana fayını ve bu faya bağlı gelişmiş sentetik fayları kesen sondaj kuyularının sıcaklık gradyanlarının bölgesel olarak incelenmesini içermektedir.

Son 20 yıllık deprem verileri incelendiğinde Büyük Menderes Grabeni'ndeki fayların aktif deprem üreten faylar olduğu ve bu depremlerin en büyük kısmının graben kuzey ana fayı ve bu faya bağlı gelişmiş sentetik fay zonlarında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1: Büyük Menderes Grabeni'nde oluşan depremlerin grid haritası.

Jeotermal gradyanın bölgesel değişimine bakıldığında; Kızıldere jeotermal sahasında elde edilen veriler değerlendirildiğinde; 225 °C kuyudibi sıcaklığı ile 450 ton/sa üretim alınabildiği, Germencik/Ömerbeyli jeotermal sahasında 230 °C kuyudibi sıcaklığı ile 600 ton/sa üretim alınabildiği, Kuyucak jeotermal sahasında 210 °C kuyudibi sıcaklığı ile 300 ton/sa kadar üretim alınabildiği gözlenmektedir. Gümüşköy jeotermal sahasında ise 150 °C kuyudibi sıcaklığı ve 180 ton/sa kadar üretim alınabildiği görülmüştür. Bazı kuyularda CO<sub>2</sub> çözümlenmesinden kaynaklı kabarcık

oluşumu ile buna bağlı basınç dalgalanması ve kabarcıkların yüzeye çıkma eğilimine bağlı olarak da kesikli-dalgalı akış gözlenmektedir.

En yüksek jeotermal gradyana sahip Kızıldere ve Ömerbeyli jeotermal sahalarında, gelişmiş birçok fay sistemleri ve magmatik intrüzyonun etkisi ile devam eden kayaç ergimelerinin akışkan sıcaklığını daha da artırdığı düşünülmektedir. Denizliden itibaren Batı'ya doğru jeotermal gradyanın arttığı, özellikle Doğu'dan Batı'ya Kızıldere, Kuyucak ve Ömerbeyli sahalarında ölçülen kuyu dibi sıcaklıklarına göre, jeotermal gradyanın bölgedeki en yüksek değerlere ulaştığı belirlenmiştir. Bu bölgelerde magmatik sokuluma yaklaşılması veya daha fazla kabuk incilmesi olarak değerlendirilmiştir. Sonrasında, Doğu'dan Batı'ya doğru, Germencik'ten Gümüşköy'e doğru jeotermal gradyanın düştüğü gözlenmiştir.

Büyük Menderes Grabeni kuzey fayı jeotermal akışkanı tektonik olarak kontrol eden unsur olarak görülmüştür. Kuzey fayını kesmeyen sondajlar incelendiğinde ise jeotermal gradyanın düşük olduğu ve üretimin kısıtlı ya da olmadığı anlaşılmıştır.



## 6. KAYNAKLAR

Aksoy, N., “Batı Anadolu'nun jeotermal potansiyeli”, Ankara: Jeotermal Enerji Derneği Yayınları, (2021).

Alçıçek, H., “Stratigraphic correlation of the Neogene basins in southwestern Anatolia: regional palaeogeographical, palaeoclimatic and tectonic implications”, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291(3-4), 297-318, (2010).

Axelsson, G., “Jeotermal rezervuar yönetimi ve kuyu testleri”, *Yenilenebilir Enerji Araştırmaları*, 13(2), 134-150, (2022).

Baba, A. and Sözbilir, H., “Source of arsenic based on geological and hydrogeochemical properties of geothermal systems in Western Turkey”, *Chemical Geology*, 334, 364-377, (2012).

Bobok, E., Toth, A. N., Szucs, P. and Fejes, Z., “Methodology for determining geothermal potential, Proceedings Thirty-Ninth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, California, (2014).

Bozkurt, E., “Neotectonics of Türkiye-a synthesis”, *Geodinamica Acta* 14, 3-30, (2021).

Cataldi, R., “Geothermal energy development in Europe to year 2020: prospects or hopes?”, *Technica Poszukiwan Geologicznych*, 4-5, 48-59, (1999).

Ciftci, G., Pamukcu, O., Coruh, C., Copur, S. and Sozbilir, H. “Shallow and deep structure of a supradetachment basin based on geological, conventional deep seismic reflection sections and gravity data in the Buyuk Menderes graben”, *Western Anatolia. Surv. Geophys.* 32, 271–290, (2011).

Dickson, M. H. and Fanelli, M., “What Is Geothermal Energy?”, *International Geothermal Association, Bochum*, (2004).

EPDK (T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu), “2022 yılı Elektrik Piyasası Sektör Raporları”, (2022).

EPIAŞ (Enerji Piyasaları İşletme A.Ş.), “2021 Yılı Elektrik Üretimi Ağustos Verileri”, (2021).

Erkan, B., “Jeotermal santraller için kısa ve uzun süreli kuyu testleri”, Jeotermal Enerji Semineri, 33-57, (2014).

ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), “Yenilenebilir enerji kaynakları, [online]”, (20 Eylül 2023), <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-jeotermal> (2023a).

ETKB (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı), “Jeotermal enerji, [online]”, (24 Eylül 2023), <https://enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/jeotermal>, (2023b).

EÜGEE (Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü), “Yenilenebilir enerji kaynakları, [online]”, (28 Aralık 2023), <https://eusolar.ege.edu.tr/tr-3482/yenilenebilir-enerji-kaynaklari.html>, (2023).

Faulds, J., Coolbaugh, M., Bouchot, V., Moeck, I. and Oguz, K., “Characterizing structural controls of geothermal reservoirs in the Great Basin, USA, and Western Turkey: developing successful exploration strategies in extended terranes”, Proceedings of the World Geothermal Congress, Bali, Indonesia, (2010).

Filiz, Ş., “Ege Bölgesi’ndeki önemli jeotermal alanların  $^{18}\text{O}$ ,  $2\text{H}$ ,  $3\text{H}$ ,  $^{13}\text{C}$  izotoplarıyla incelenmesi”, Assoc. Prof. Thesis, E.Ü.Y.B.F., İzmir, (1982).

Grant, M. A., “Jeotermal kuyu testlerinin temelleri ve uygulamaları”, Jeotermal Enerji Dergisi, 29(4), 301-318, (2021).

Guidi, M., Marini, L. and Principe, C., “Hydrogeochemistry of Kizildere geothermal system and nearby region”, Geothermal Resources Council Transactions, 14, 901-908, (1990).

Gupta, H. K. and Roy, S., “Geothermal Energy-An Alternative Resource for the 21<sup>st</sup> Century”, Elsevier, eBook ISBN: 9780080465647, (2006).

Gürer, Ö. F., Bozcu, M., Yılmaz, K. and Yılmaz, Y., “Neogene basin development around Söke-Kuşadası (western Anatolia) and its bearing on tectonic development of the Aegean region”, Geodinamica acta, 14(1-3), 57-69, (2001).

Haklıdır, M. and Tut Haklıdır, F. S., “Hydrogen production from geothermal sources in Turkey” Proceedings World Geothermal Congress Bali, Indonesia, (2010).

Kahraman, S. “Türkiye’de jeotermal enerji ve elektrik üretimi”, MTA Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni, 33, 29-34, (2022).

Kazancı, N., Dündar, S., Alçıçek, M. C. and Gürbüz, A., “Quaternary deposits of the Büyük Menderes Graben in western Anatolia, Turkey: Implications for river capture and the longest Holocene estuary in the Aegean Sea”, *Marine Geology*, 264(3-4), 165-176, (2009).

MAPEG (Maden ve Petrol Arama Genel Müdürlüğü), “Türkiye Jeotermal Kaynaklar Strateji Raporu”, (2022).

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), “Jeotermal Enerji Araştırmaları [online]”, (24 Eylül 2023),  
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/arastirmalar/jeotermal-enerji-arastirmalari>, (2023a).

MTA (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü), “Jeotermaal haritalar, [online]”, (24 Eylül 2023),  
<https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/jeotermal-harita/images/3.jpg>, (2023b)

Nicholson, K., “Geothermal Fluids”, *Chemistry and Exploration Techniques*, Elsevier, 263 pages, (2023).

Ongur, T., “Geologic and thermal evolution of Turkey's wealthy geothermal region, MMM”, *Proceedings of the World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia*, 25-29, (2010).

Onur, M., “Jeotermal rezervuarlarında kuyu basınç testleri ve analizi”, *Jeotermal Enerji Semineri*, 167-205, (2014).

Özüdoğru, S. “Jeotermal kuyu tamamlama testleri ve saha uygulamaları”, *Jeotermal Enerji Semineri*, 79-97, (2005).

Ozgur, N., “Resources, geochemical features and environmental implications of the geothermal waters in the continental rift zone of the Büyük Menderes, Western Anatolia, Turkey”. In: Bundschuh, J., Tomazewska, B. (Eds.), *Geothermal Water Management, Series: Sustainable Water Developments, Resources, Management, Treatment, Efficiency and Reuse*, vol. 6 CRC Press/Balkema, Taylor and Francis Group, London, UK, (2016).

Pamukcu, Y. Z., Temizel, C. and Çetin, C., “Review of latest geothermal applications in Türkiye: a glimpse into the future of renewable energy” *Proceedings 49<sup>th</sup> Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California*, (2024).

Richter, A., "ThinkGeoEnergy's top 10 geothermal countries 2021 – installed power generation capacity (MWe)", (23 December 2022), <https://www.thinkgeoenergy.com/thinkgeoenergys-top-10-geothermal-countries-2021-installed-power-generation-capacity-mwe/>, (2021).

Selenka, "Ülkemizdeki Yenilenebilir Kaynaklı Santrallerin Enerji Faktörü / Ağustos 2021, (27 Ağustos 2023), <https://selenkaenerji.com/blog/ulkemizdeki-yenilenebilir-kaynakli-santrallerin-kapasite-faktoru-agustos-2021-17.html>.

Serpen, U., "Türkiye'de jeotermal enerji üretimi ve potansiyeli" Enerji Araştırmaları Dergisi, 12(1), 55-70, (2022).

Serpen, U. and DiPippo, R., "Turkey - A geothermal success story: A retrospective and prospective assessment", *Geothermics*, 101, 102370,(2022).

Serpen, U., "Jeotermal Enerji Teknolojisinde Yeni Gelişmeler", *Jeotermal Enerji Semineri*", 511-519, (2003).

Seyitoglu, G., Anderson, D., Nowell, G. and Scott, B., "The evolution from Miocene potassic to Quaternary sodic magmatism in western Turkey: implications for enrichment processes in the lithospheric mantle", *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 76 (1-2), 127-147, (1997).

Simsek, S., "Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes graben", Turkey. *Geothermics*, 32(4-6), 669-678, (2003).

Şimşek, Ş., "Geothermal model of Denizli, Sarayköy Buldan area", *Geothermics* 14(2-3), 393 – 417, (1985).

Smith- Johnsen, S.,Schlegel, N. J., Fleurian, B. and Nisancioglu, K. H., "Sensitivity of the Northeast Greenland ice stream to geothermal heat,, *JGR Earth Surface*, 125, e2019JF005252.

Soltani, M., Moradi, K. F., Dehghani-Sanij, A. R., Nokhosteen, A., Ahmadi-Joughi, A., Gharali, K., Mahbaz, S. B. and Dusseault, M. B., "A comprehensive review of geothermal energy evolution and development", *Int. J. Green Energy*, 16 (13), 971- 1009, (2019).

Sümer, Ö., İnci, U. and Sözbilir, H., "Tectonic evolution of the Söke Basin: Extension-dominated transtensional basin formation in western part of the Büyük Menderes Graben, Western Anatolia, Turkey", *J. Geodyn.*, 65, 148-175, (2013).

TGE (Think GeoEnergy), “Geothermal Power Capacity in Türkiye Reaches 1691.4 MW.” (20 Temmuz 2023), <https://www.thinkgeoenergy.com/geothermal-power-capacity-in-turkiye-reaches-1691-4-mw/>.

Tureyen, O. I., Gulgor, A., Bayram, E. and Satman, A., “Recent expansions of power plants in Guris concession in the Germencik geothermal field, Turkey”, Proceedings of the Forty-First Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, Stanford, CA, (2016).

Uzel, B., Langereis, C. G., Kaymakci, N., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç. and Özkaptan, M., “Paleomagnetic evidence for an inverse rotation history of Western Anatolia during the exhumation of Menderes core complex”, Earth and Planetary Science Letters, 414, 108-125, (2015).

Yamanlar, S., Korkmaz, E.D. and Serpen, U. “Assessment of geothermal power potential in Buyuk Menderes Basin, Turkey”, Geothermics, 88, 101912, (2020).