T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AYDIN BÖLGESİ'NDE YENİ İKİ KUYU'DA ISI AKISI HESABI

Gökhan ÜNAL

Danışman
Prof. Dr. Mustafa Nuri DOLMAZ

II. Danışman
Dr.Öğr. Üyesi Hatice Evrim TÜTÜNSATAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOFİZİK ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2022

© 2022 [Gökhan ÜNAL]

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER i
ÖZET iii
ABSTRACT iv
TEŞEKKÜR v
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
ÇİZELGELER DİZİNİ vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ viii
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışma Alanı Genel Jeolojisi 2
1.2. Bölgenin Tektoniği 7
2. KAYNAK ÖZETLERİ 11
2.1. Bölgeye Ait Isı Akısı Çalışmaları 11
3. MATERYAL VE YÖNTEM 16
3.1. Yerin Isı Yapısı 16
3.1.1. Yer için sıcaklığı ve derinlikle değişimi 16
3.1.2. Isı iletimi 18
3.2. Yer Isısının Yer Yüzeyindeki Dağılım Özellikleri 22
3.2.1. Volkanik ve jeotermal bölgelerde ısı akısı 22
3.2.2. Kıtalarda ısı akısı 23
3.2.3. Okyanuslarda ısı akısı 24
3.2.4. Tektonik Olayların Isı Akısına Etkisi 25
3.3. Isı Akısı Hesaplama ve Ölçüm Yöntemleri 25
3.3.1. Isı akısı hesaplama 25
3.3.1.1. Silika jeotermometresi ile ısı akısı hesaplama 25
3.3.1.2. Bullard yöntemi ile ısı akısı hesaplama 26
3.3.1.3. Sıcaklık gradyanı ile ısı akısı hesaplama 28
3.3.1.4. Curie nokta derinliği ile ısı akısı hesaplama 28
3.3.1.5. Modelleme yöntemi ile ısı akısı hesaplama 29
3.4. Kuyularda Sıcaklık ve Diğer Ölçümler 32
3.5. Türkiye ve Çevresi Isı Akısı Çalışmaları 33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI (KUYU TEST UYGULAMALARI) 39
4.1. Kuyular 39
4.2. Sıcaklık ve Basınç (PT) Ölçüleri 40
4.2.1. Statik sıcaklık ve basınç ölçüleri 40
4.2.2. Dinamik sıcaklık ve basınç ölçüleri 42
4.2.3. Pressure build up (basınç yükselim) ölçüleri 45
4.3. Enjeksiyon Ölçüleri 50
4.3.1. Water loss (su kaybı) testi 50
4.3.2. Tek debili enjeksiyon (tde) testi 52
4.4. Coiled Tubing İle Temizlik ve Asit Enjeksiyonu 56
4.4.1. CT kullanarak nitrojen ile temizlik üretimi 56
4.4.2. CT ile asit enjeksiyonu ve nitrojen ile temizlik üretimi 56
4.5. Üretim Testi 58
4.5.1. Savak-Silencer üretim testi 58
4.6. Kuyu Test Önerileri 59
4.7. Kuyulara Ait Isı Akısı Hesapları 60
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR 65

KAYNAKLAR.....70
ÖZGEÇMİŞ.....77

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

AYDIN BÖLGESİ'NDE YENİ İKİ KUYU'DA ISI AKISI HESABI

Gökhan ÜNAL

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Nuri DOLMAZ

II. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hatice Evrim TÜTÜNSATAR

Bu çalışmada Ege Bölgesi'nde Aydın ili sınırları içerisinde İncirliova bölgesinde son zamanlarda yeni açılan iki kuyuda, kuyu içi termal bilgilerine dayanılarak kabuğun üst derinlikleri için ısı akısı hesabı yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında 54 ^{o}C/km ve 40 ^{o}C/km jeotermik gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak ve efektik yöntem kullanılarak hesaplanan ısıl iletkenlik değerleri ve ısı akısı değerleri hesaplanmıştır. Çalışma alanında Efeler 1 kuyusunda elde edilen jeotermik gradyan değerleri 50 – 76°C arasında değişmektedir. Efeler 1 kuyusu için bu tez kapsamında sınıflandırılan dört ayrı tabaka için sırasıyla 50.82 ^{o}C/km, 52.72 ^{o}C/km, 63.04 ^{o}C/km ve 75.94 ^{o}C/km değerleri elde edildi. 2.75 W/m^{o}C ısı iletkenliği ve 54 ^{o}C/km ortalama ısı gradiyenti kullanılarak Efeler 1 kuyusu için efektif yöntem ile ısı akısı 148.5 mW/m^2 olarak hesaplandı. Aynı şekilde daha sonra yeni açılan Efeler 2 kuyusu için 2.75 W/m^{o}C ısı iletkenliği ve 40 ^{o}C/km ortalama ısı gradiyenti kullanılarak ısı akısı 110.0 mW/m^2 olarak hesaplandı. Bu sonuçlar bölgede yapılan diğer çalışmalarla uyumludur ve çalışma alanı olan Aydın bölgesinde yüksek ısı akısı bölgesi olarak nitelendirilmektedir. Bu tez çalışmasında ayrıca Curie Nokta Derinliğinden elde edilen 49.57 ^{o}C/km jeotermik gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektif yöntemle hesaplanan ısıl iletkenlik değeri (2.75 W/m ^{o}C) kullanılarak bölge için 136.3 mW/m^2 ısı akısı değeri hesaplandı. Curie Nokta Derinliği ile hesaplanan ısı akısı bu tez çalışmasında yeni açılan kuyulardan hesaplanan ısı akısı değerleri ile karşılaştırıldığında; Curie Nokta Derinliği ile elde edilen ısı akısının bir miktar düşük olduğu görülmüştür. Bu da kabuğun daha büyük bir bölümü için hesaplan jeotermik gradyandan kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal gradyan, Kuyu ölçümleri, Isı iletkenliği, Isı gradienti, Isı akısı, Aydın ve çevresi.

2022, 77 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE CALCULATION OF HEAT FLOW IN TWO NEW BOREHOLES IN AYDIN REGION

Gökhan ÜNAL

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

Supervisor: Prof. Dr. Mustafa Nuri DOLMAZ

Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hatice Evrim TÜTÜNSATAR

In this study, heat flow calculations were made for the upper depths of the crust based on the thermal information of the boreholes in two newly opened boreholes in the İncirliova region within the borders of Aydın province in the Aegean Region. In the obtained data, the thermal conductivity values and heat flow values were calculated by using the effective method as well as based on the borehole lithology with a geothermic gradient of 54 ºC/km and 40 ºC/km. In the study area, geothermic gradient values obtained in Efeler 1 borehole vary from 50 to 76°C. In the concept of this thesis the values of 50.82 ºC/km, 52.72 ºC/km, 63.04 ºC/km and 75.94 ºC/km were obtained for four separate layers classified for Efeler 1 borehole, respectively. The heat flow for Efeler 1 borehole was calculated as 148.5 mW/m^2 by using the effective method, a thermal conductivity of 2.75 W/mºC and an average heat gradient of 54 ºC/km. Likewise, the heat flow for Efeler 2 borehole, which was digged after Efeler 1 borehole, was calculated as 110.0 mW/m^2 by using 2.75 W/mºC thermal conductivity and 40 ºC/km average heat gradient obtained for Efeler 2 borehole. These results, which are characterized as high heat flow region, are consistent with the other studies in the region and also Aydın provinces. The heat flow value with 136.3 mW/m^2 was calculated for the region by using the 49.57 ºC/km geothermic gradient obtained from the Curie Point Depth and the thermal conductivity value (2.75 W/m ºC) calculated by the effective method based on the borehole lithology. The heat flow calculated from the Curie Point Depth was compared with the heat flow values calculated from the drilled boreholes, thus it was seen that the heat flow obtained with the Curie Point Depth was low. The reason of this low heat flow is the geothermic gradient calculated for a larger portion of the crust.

Keywords: Geotermal gradient, Boreholes measurements, Heat conductivity, Heat gradient, Heat flow, Aydın and its territory.

2022, 77 pages

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüsek lisans eğitimim boyunca yaşadığım her zorlukta yanımda olan, yardımını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile sürekli destek olan Prof. Dr. M. Nuri DOLMAZ, tez çalışmam sırasında bilgi birikimleri ve yardımları ile bana destek olan Dr. Öğr. Üyesi Hatice Evrim TÜTÜNSATAR'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı bir borç bilirim.

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

Gökhan ÜNAL
ISPARTA, 2022

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ege bölgesi jeotermal kaynakları haritası 2
Şekil 1.2. Çalışma bölgesi haritası. Kuyu 1; E1, Efeler kuyu 1'i ve
Kuyu 2: E2, Efeler kuyu 2'i temsil etmektedir. 3
Şekil 1.3. Aydın bölgesi jeoloji haritası 4
Şekil 1.4. Jeolojik devirler 5
Şekil 1.5. Aydın-Muğla havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti 7
Şekil 1.6. Türkiye ve çevresinin neotektonik haritası 8
Şekil 1.7. Batı Anadolu Graben haritası 9
Şekil 1.8. Aydın ve çevresinde tespit edilen faylar 10
Şekil 2.1. Batı Anadolu Isı akısı haritası 14
Şekil 2.2. Batı Anadolu Isı akısı haritası 14
Şekil 2.3. Curie nokta derinliğinden elde edilen ısı akısı haritası 15
Şekil 3.1. Yerin iç yapısı 16
Şekil 3.2. Jeofizik deneysel arziçi ısı dağılımı 17
Şekil 3.3.Isı iletim çeşitleri 18
Şekil 3.4. Okyanus sırtı ortasında ısı akısı değeri 24
Şekil 3.5. Bullard yöntemi 27
Şekil 3.6. Bullard Plot grafiği 27
Şekil 3.7. Aeromanyetik verilerden elde edilen Curie nokta derinliği örneği 29
Şekil 3.8. Üç çeşit modelleme yöntemi 30
Şekil 3.9. Avrupa ısı akısı haritası 34
Şekil 3.10. Karadeniz ve Kafkaslar ısı akısı değerleri 35
Şekil 3.11. Doğu Akdeniz ve Ege'de ısı akısı değerleri 36
Şekil 3.12. Ege denizi ısı akısı değerleri 37
Şekil 3.13. Türkiye ısı akısı haritası 38
Şekil 4.1. Efeler-1 kuyu temizleme ve test çalışması 39
Şekil 4.2. Efeler-1 statik sıcaklık grafiği 41
Şekil 4.3. Efeler-1 statik basınç grafiği 41
Şekil 4.4. Efeler-1 statik sıcaklık ve basınç grafiği 42
Şekil 4.5. Efeler-1 Dinamik sıcaklık grafiği 43
Şekil 4.6. Dinamik basınç grafiği 44
Şekil 4.7. Dinamik sıcaklık ve basınç grafiği 44
Şekil 4.8. Statik - dinamik sıcaklık ve basinç grafiği 45
Şekil 4.9. Build Up semi log grafiği 48
Şekil 4.10. Build Up sırasında basınç ve sıcaklık değişim grafiği 48
Şekil 4.11. Build Up sırasında rezervuar ve WHP basınç değişim zaman grafiği 49
Şekil 4.12. Water Loss ve Water Loss sonrası ısınma grafiği 51
Şekil 4.13. WL dinamik, statik sıcaklık, çamur kaçakları ve ısınma grafikleri 52
Şekil 4.14. TDE ve Fall Off grafiği 54
Şekil 4.15. ÇDE-Faa Off ve sıcaklık değişimi grafiği 55
Şekil 4.16. Injektivite Indeksi grafiği 55
Şekil 4.17. CT ile asit ve nitrojen programı 57
Şekil 4.18. Üretim WHP grafiği 59
Şekil 4.19. Efeler 1 kuyusu ısı gradiyenti hesabı için ısı grafiği 61
Şekil 4.20. Efeler 1 kuyusu için istiflerin efektif ısı grafiği 62
Şekil 4.21. Efeler 2 kuyusu ısı gradiyenti hesabı için ısı grafiği 64

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Yer içinin çeşitli derinliklerini oluşturan kayaçların belirlenen veya varsayılan ısı iletkenlik katsayıları....20
Çizelge 3.2. Bazı kayaç ve minerallerin ısı iletkenlik katsayıları 21
Çizelge 3.3. Batı Anadolu'da kuru ve doygun koşullarda ısıl iletkenliği....22
Çizelge 3.4. Farklı jeolojik yapıların ısı akısı ölçüm değerleri 23
Çizelge 3.5. Okyanuslarda yapılan ısı akısı ölçüm değerleri 24
Çizelge 4.1. Efeler-1 statik sıcaklık ve basınç değerleri....40
Çizelge 4.2. Dinamik sıcaklık ve basınç değerleri 43
Çizelge 4.3. Build Up değerleri-1....46
Çizelge 4.4. Build Up değerleri-2....47
Çizelge 4.5. Build Up sırasında WHP değerleri....49
Çizelge 4.6. Water Loss değerleri....50
Çizelge 4.7. Water Loss sonrası ısınma değerleri 51
Çizelge 4.8. Tek debili enjeksiyon ve Fall Off değerleri-1....53
Çizelge 4.9. Tek debili enjeksiyon ve Fall Off değerleri-2....53
Çizelge 4.10. Savak-Silencer debi değerleri 58
Çizelge 4.11. Efeler-2 statik sıcaklık değerleri 63
Çizelge 5.1. Efeler-1 kuyusuna ait tabakalar ve kuyu içerik bilgileri....65
Çizelge 5.2. Efeler 1 kuyusu istif özellikleri....66
Çizelge 5.3. Batı Anadolu'da önceki çalışmalardan elde edilen ısı akısı değerleri....67
Çizelge 5.4. Batı Anadolu çalışmalarında elde edilen ısı akısı değerleri....67

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Radyoaktif izotopların ısı üretimi
B	Boltzman sabiti
c	Yeraltı suyu ısı kapasitesi
d	Malzeme kalınlığı
dk	dakika
f(t)	Zaman fonksiyonu
G	Gradiyent
Hd	Isı yayınımı
HFU	Cgs biriminde ısı akısı birimi
m	Termal direnç
N	Veri sayısı
q	Isı akısı
q0	Yüzey ısı akısı
Q	Birim zaman transfer edilen ısı miktarı
r	Kuyu yarıçapı
t	Zaman
t_1	İlk zaman
t_2	Son zaman
T	Mutlak sıcaklık
T0	Yüzey sıcaklığı
T1	İlk sıcaklık
T2	Son sıcaklık
T(i)	Kuyuda suyun giriş yaptığı noktadaki sıcaklık
T(z)	Z derinlikteki sıcaklık
$TSiO_2$	Hazne sıcaklığı veya silika sıcaklığı
v	Kuyudaki akışkanın hızı
VD	Yeraltı suyu Darcy hızı
Vp	Sismik p dalga hızı
x	Eğim
yd	Suyun ortalama derinliği
z	Derinlik
z_1	İlk derinlik
z_2	Son derinlik
λ	Isı iletkenlik katsayısı
λ_d	Kuru kayaların ısı iletkenlik katsayısı
λ_s	Doymuş kayaların ısı iletkenlik katsayısı
ρ	Yeraltı uyu ğoğunluğu
Δ	Fark
Δt	Sirkülasyon sonrası geçen zaman
Δzi	Derinlik artımı veya katman kalınlığı
$\partial T/\partial z$	Sıcaklık gradyanı
ϑ_e	Ortalama gözeneklilik

1. GİRİŞ

Günden güne artan insan nüfusu orantılı olarak enerji gereksinimi ortaya çıkarmaktadır. Artan enerji ihtiyacı ve kullandığımız petol, gaz vb. tükenebilir enerji kaynakları olduğundan dolayı insanlar alternatif kaynaklara yönelmektedir.

Günümüzde en çok yenilenebilir enerji kaynakları üzerinde yatırım yapılmaktadır. Yenilenebilir enerji, doğal olaylardan (rüzgâr, güneş, dalga vb.) elde edilen enerji kaynağıdır. Rüzgâr, güneş, hidroelektirik, hidrojen, jeotermal, dalga ve biyokütle enerjisi bu örneklerden bazılarıdır.

Yenilenebilir enerjilerden biri olan Jeotermal; yeraltının çeşitli derinliklerinde bulunan sıcak suyun sondaj yöntemi ile yüzeye çıkarılıp bazı işlemlerden geçirilerek gerekli alanlarda (ısınma, seracılık, elektrik, kaplıca gibi alanlarda) kullanılmasıdır.

Yeraltı ısısının bilinmesi, yerin içyapısının tanınması ve sıcaklık alanının incelenmesi için kullanılan temel yöntem genel ısı akısını ölçmektir. Yerkürenin enerjisi veya yerin ısısı; depremler, volkanlar, jeotermaller, levha hareketleri, radyoaktif maddeler, gravitasyon enerjisinin ısı enerjisine dönüşümü ve basınç değişimi sonucunda sıcaklığın derinlik ile doğru orantılı olarak artması sonucunda oluşur.

Isı akısı verilerinin tespiti ile oluşturulan ısı akısı haritaları ve bölgesel ısı akısı modelleri sadece bölgesel çalışmalar için değil, birçok hidrojeoloji uygulamalarında ve jeotermal araştırmalarında kullanılmaktadır.

Isı akısı hesaplamalarında SI birim sistemine göre mW/m² dir. Burada mW: miliwatt, m: metre dir. Cgs birim sistemine göre ise μcal/cm^2.sec dir. μ : mikro, cal: kalori, cm: santimetre olarak ısı akısını hesaplamamızı sağlamaktadır. İki formül arasında;
1 μcal/cm2.sec = 41.84 mW/m^2 ilişkisi bulunmaktadır.

Ülke genelinde olduğu gibi enerji sektörü, Güney Ege bölgesi'nde (Aydın, Denizli, Muğla) bölgenin kalkınması, bölgedeki sanayi, tarım ve turizm faaliyetleri açısından çok önemlidir. Jeotermal elektrik kapasitesine göre 854,5 MW ile Aydın ilk sırada,

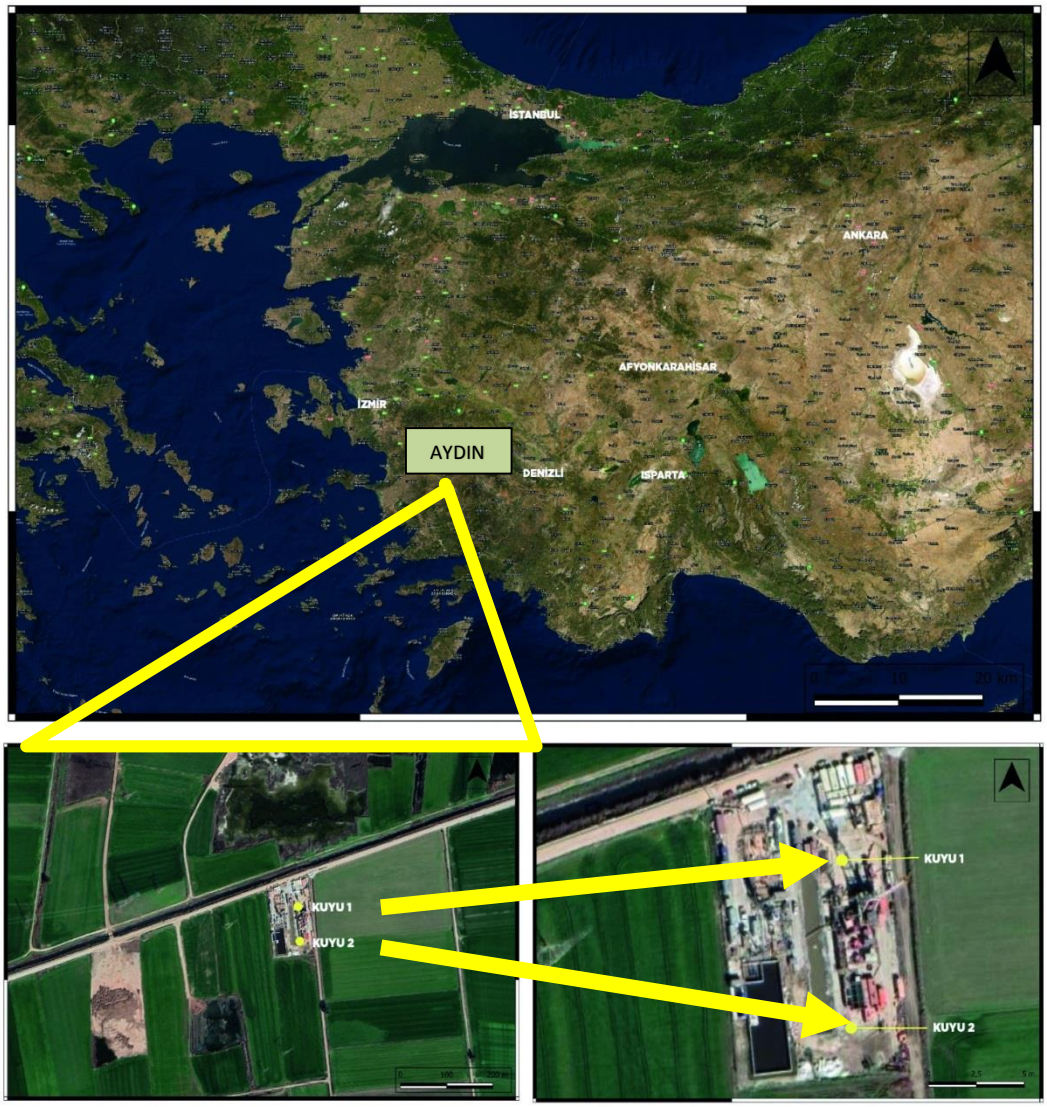
380 MW ile Denizli ikinci sırada takip etmektedir (Şekil 1.1). Türkiye'de mayıs ayı itibariyle 1650 MW geçkin jeotermal kaynaklı elektrik üretiminin yaklaşık 1647 MW'ını Ege bölgesi sağlamaktadır (URL 1).



Şekil 1.1. Ege bölgesi jeotermal kaynakları haritası (Ari-Es Enerji, 2019)

1.1. Çalışma Alanı Genel Jeolojisi

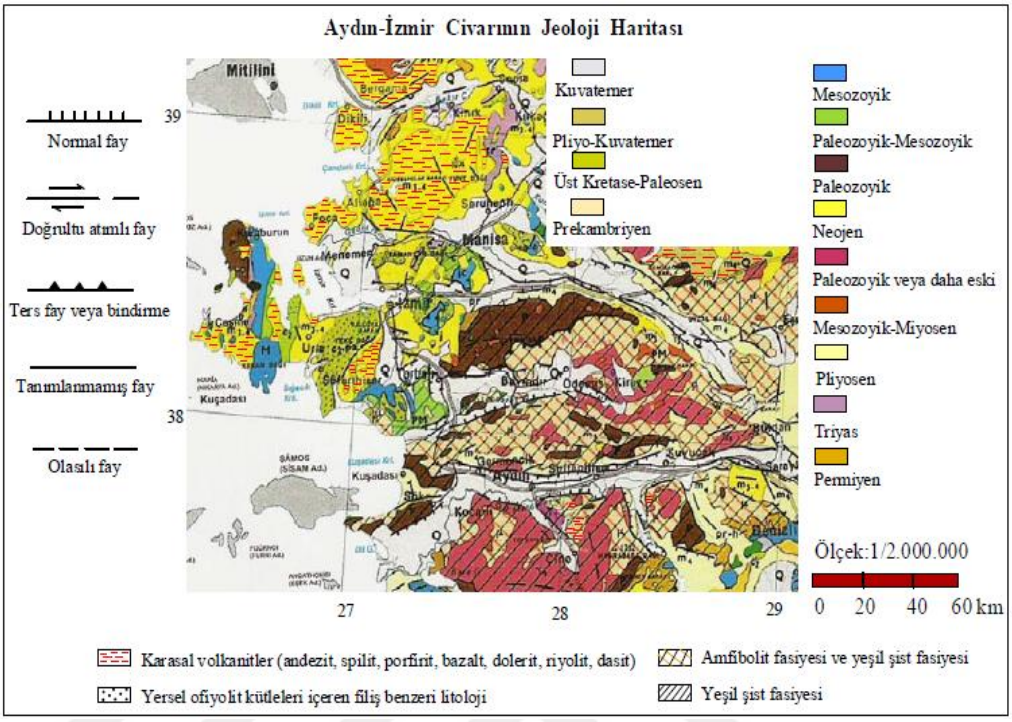
Aydın bölgesi Büyük Menderes Havzası üzerine kurulmuştur ve 8.007 km²'nin %21 alanını ova, %63,4'ünü dağlar ve %15,6'sını da platolar kaplamaktadır. Çalışma alanı Şekil 1.2 ile verilmektedir.



Şekil 1.2. Çalışma bölgesi haritası. Kuyu 1; E1, Efeler kuyu 1'i ve Kuyu 2: E2, Efeler kuyu 2'i temsil etmektedir.

Hamilton ve Strickland (1840), K-G istikametli bir kesit üzerinden gerçekleştirmiştir (Hamilton ve Strickland, 1840). Egeran ve Yener (1944) ilk defa Menderes Masifi ismini kullanarak bölgeyi haritalamıştır. Nebert ve Ronner (1956), Menderes Masifini ve çevresini Albitizasyon olayları çerçevesinde incelemişlerdir. Schuiling (1958; 1962), çekirdeği oluşturan gnaysların kökenini, zirkonları incelemiş ve masifin yapısı, yaşı ve petrolojisi üzerine çalışmalar yapmıştır. Wippern (1964), Graeiansks (1965), Akartuna (1965), Ketin (1966), Brinkmann (1966; 1971), Scotford (1969), bölgenin jeolojisini detaylı çalışmışlardır. Başarır (1970), îzdar (1971), Ayan (1973) ve Dora (1975) çalışma alanı ve çevresinde jeoloji, petrografi

ve metamorfizma üzerine çeşitli araştırmalar yapmışlardır. Şekil 1.3 ile Bingöl (1989) tarafından hazırlanan Aydın Bölgesi jeoloji haritası gösterilmektedir.



Şekil 1.3. Aydın bölgesi jeoloji haritası (Bingöl, 1989)

Batı Anadolu'da genel olarak Aydın ilinde, geniş bir yayılım gösteren Menderes Masifi ve çevresindeki kaya birimleri yüzeylenmektedir (Şenol,2013). Aydın bölgesinin genel jeolojik yapısı Paleozoik, Mesozoik, Tersiyer ve Kuvaterner benzeri formasyonlar oluşturmaktadır (Koday ve Akbaş, 2018).

Paleozoik, Fanerozoik devrin üç dönemin (paleozoik, mezozoik, senozoik) en eski ve en uzun süren zamandır. Paleozoik altı dönemden oluşmaktadır (URL 2).(Şekil 1.4);

1. Kambriyen
2. Ordovisyen
3. Silüryen
4. Devoniyen
5. Karbonifer
6. Permiyen

<table>
<tr><th>DEVİR</th><th>ZAMAN</th><th>DÖNEM</th><th>BÖLÜM</th></tr>
<tr><td rowspan="15">Fnerozoik Devir
(545 myö- günümüz)</td><td rowspan="7">Senezoik
(65.5 myö- günümüz)</td><td rowspan="2">Kuaterner
(1.8 myö-günümüz)</td><td>Holosen
(0.01 myö- günümüz)</td></tr>
<tr><td>Pleyiostosen
(1.8 myö- günümüz)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Neojen
(23.03 myö- 1.8 myö)</td><td>Pliyosen
(5.33 myö- 1.8 myö)</td></tr>
<tr><td>Miyosen
(23.03 myö- 5.33 myö)</td></tr>
<tr><td>Oligosen
(33.9 myö- 23.03 myö)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Paleojen
(65.5 myö- 23.03 myö)</td><td>Eosen
(55 myö- 33.9 myö)</td></tr>
<tr><td>Oalosen
(65.5 myö- 55 myö)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Mesozoik
(251.4 myö- 65.5 myö)</td><td colspan="2">Kretase (145.5 myö- 65.5 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Jura (199.6 myö- 161.2 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Trias (251 myö- 199.6 myö)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">Paleozoik
(542 myö- 215.4 myö)</td><td colspan="2">Permiyen (299 myö- 251 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Karbonifer (359 myö- 299 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Devoniyen (416 myö- 359 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Silüriyen (443 myö- 416 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Ordovisyen (490 myö- 443 myö)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Kambriyen (542 myö- 490 myö)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Kambriyen öncesi (4.5 milyar yıl öncesi- 542 milyon yıl öncesi)</td><td colspan="3">Proterozoik Devir (2.5 milyar yıl önce - 542 milyon yıl önce)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Arkeyan Devir (3.6 milyar yıl önce- 2.5 milyar yıl önce)</td></tr>
</table>

Şekil 1.4. Jeolojik devirler (Cohen vd., 2013)

Bölgenin en eski formasyonunu paleozoik formasyonlar oluşturmaktadır. Paleozoik formasyonlardan sonra mezozoik formasyon özellikleri yörede görülmektedir. Mezozoik zaman tek kıta olan Pangea'nın mezozoik zamanın ilk döneminde (Trias) parçalanmaya başlamasıyla günümüz kıta şeklinin temelinin oluştuğu zamandır. Mezozoik zaman üç dönemden oluşmaktadır (Koday ve Akbaş, 2018);

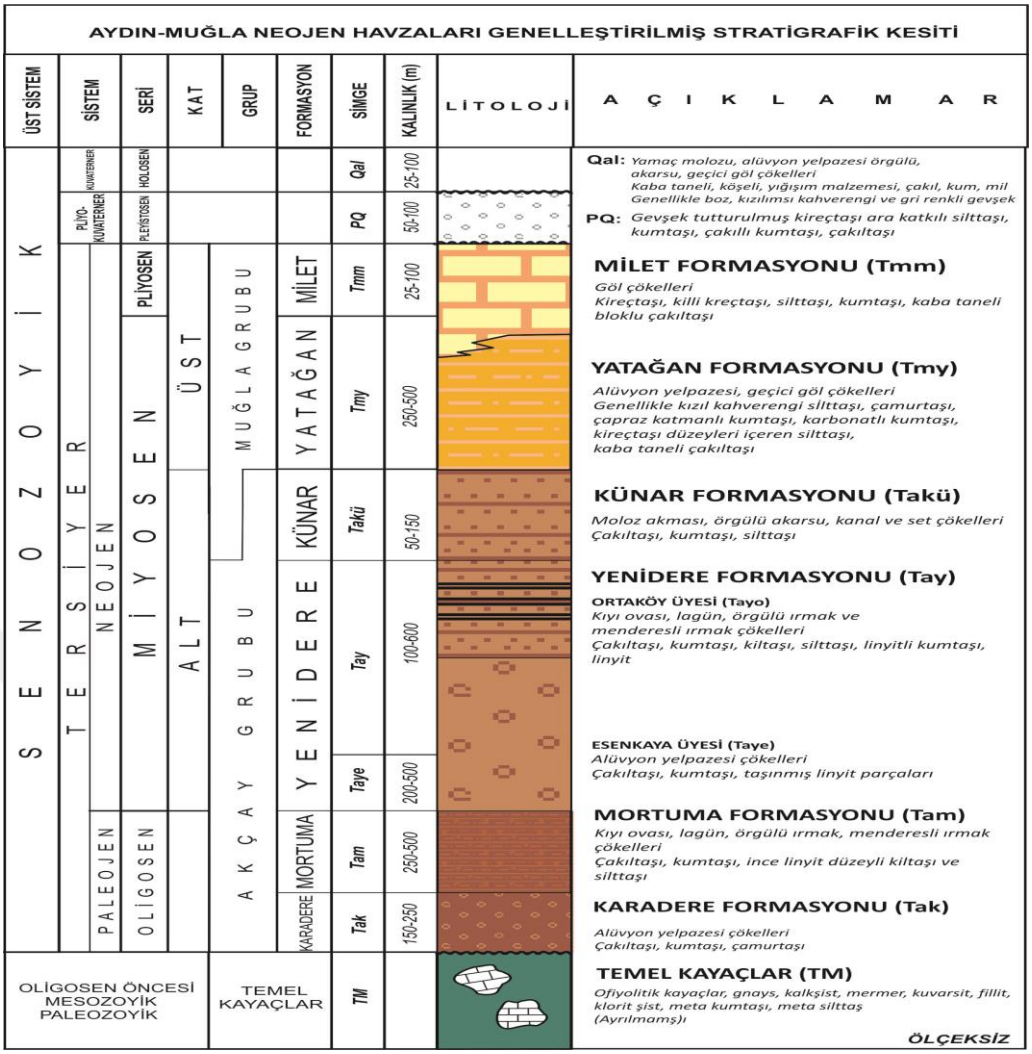
1. Trias
2. Jura
3. Kretase

Bölge genellikle mezozoik komprehansif seri (geniş yayılım gösteren kalın istif) kalkerler şeklindedir. Bu kalkerler sert formda olup yarı kristalize özellikli olarak görülmektedir, bu komprehansif formasyon litolojik özellikleri göz önünde bulundurulduğunda karstik gelişim için uygun bir ortam oluşturmaktadır.

Çalışma yapılan arazide özellikle üçüncü döneme ait büyük aflörmanlara (sıcaklık ile birbirine kaynamış büyük parçalı volkanik tüf) rastlanmıştır. Bu yörede yapılan çalışmalar sonucunda, neojen arazilerin büyük bir alan kapladığına dair veriler elde edilmiştir (Akartuna, 1965).

Aydın bölgesinde Menderes Masifi geniş bir yayılım göstermektedir, bölgenin oluşumu Alpin ve Hersinyen hareketleri sonucunda meydana gelmiştir. Bölgenin oluşumunu sağlayan en eski zaman olan paleozoik denizinde çöken formasyondan kaynaktlı en alt katmanı gnays kayaçları bulunmaktadır. Formasyonun üst kısımlarda ise; mikaşist, kil, killi şist, kuvarsit ve mermer görülmektedir. Özellikle gnays ve mikaşistler çok fazla görülmektedir ve bu ortam Hersinyen veya daha eski hareketlerin sonucu olarak yorumlanmaktadır (Şenol, 2013).

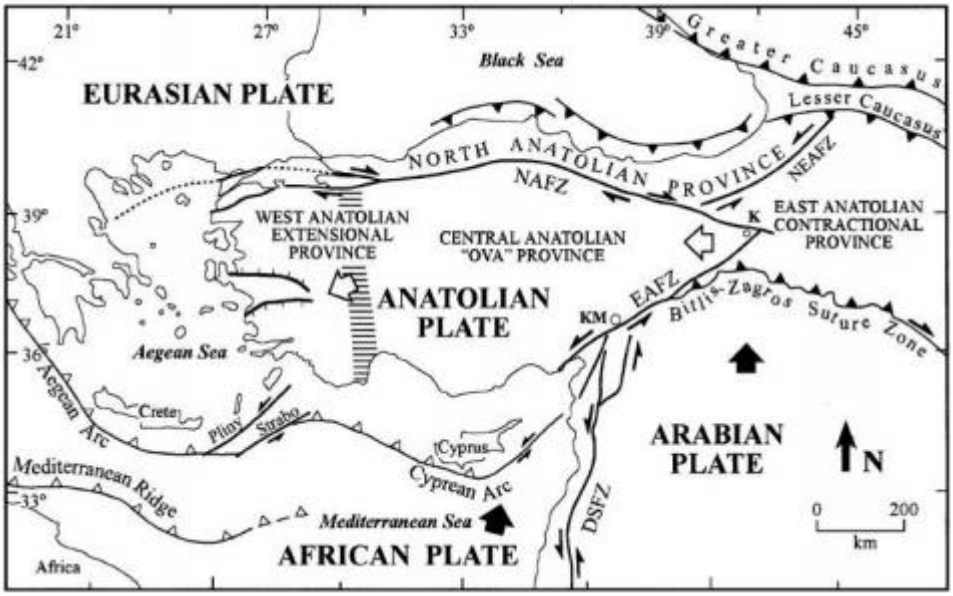
Menderes masifini birbiri ile uyumsuz üç farklı kayacın ve üzerinde neojen örtüsü ve alüvyonlar oluşturmaktadır. Neojen örtü çakıl ve kum, konglomera, kil, marn ve kalker oluşumlarının üst üste gelmesi ile oluşmuştur. Yapılan çalışmalarda komprehansif formasyon ile neojen örtü arasında herhangi bir formasyona rastlanmamıştır. Bu verilere bakıldığında paleozoik zaman ile neojen arasında bir boşluk bulunmaktadır (Şenol, 2013) (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Aydın-Muğla havzasının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Şengüller ve Aydın, 2017)

1.2. Bölgenin Tektoniği

Ege Bölgesi jeolojik ve tektonik açıdan önemli ve araştırılması gereken bir bölgedir. Bölge deprem açısından birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır. Ege Bölgesi tektonik olarak karmaşık bir yapıya sahiptir. Yapılan çalışmalar sonucunda tek bir fay hattından söz etmek mümkün değildir. Birbirinden bağımsız ve odak çözümleri farklı birçok önemli fay hattı bulunmaktadır. Bulunan bu fay hatlarının dışında belirlenemeyen birçok fayın ise, depremler sayesinde varlığı anlaşılmaktadır. Şekil 1.6 ile Türkiye ve çevresine ait neotektonik harita verilmektedir.

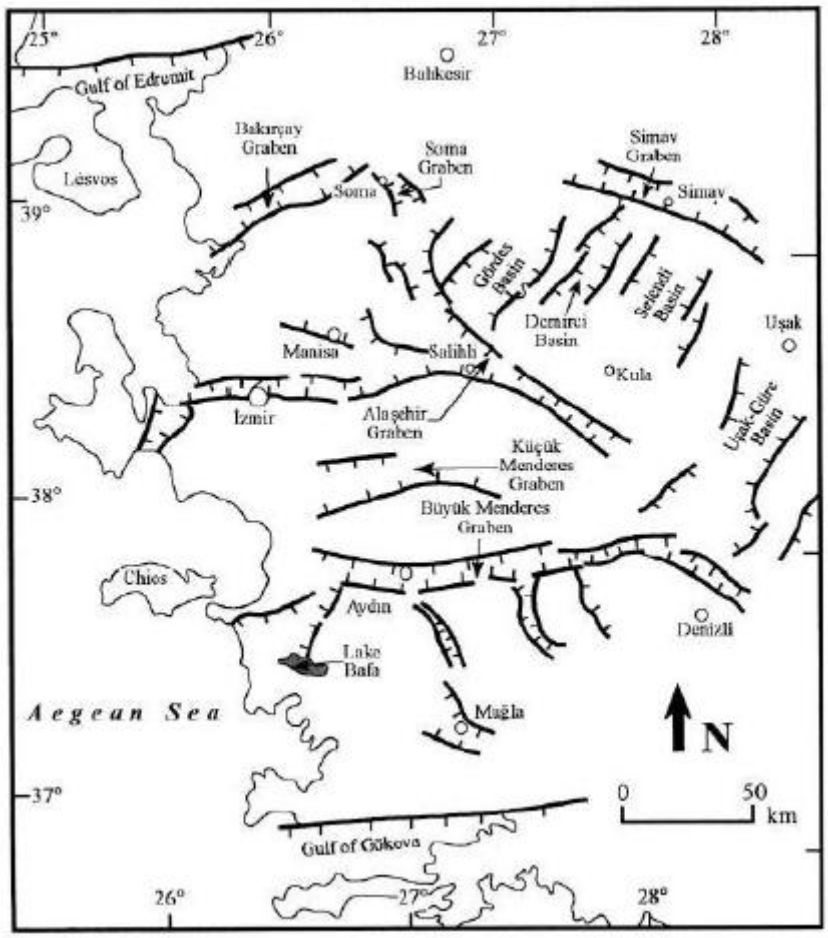


Şekil 1.6. Türkiye ve çevresinin neotektonik haritası (Bozkurt, 2001)

Aydın ilinin yer aldığı Ege bölgesi günümüze kadar birçok depreme maruz kalmıştır ve içinde bulunduğu tektonik olayların sonucunda bölgede birçok jeotermal sahası ortaya çıkmıştır. Ege Bölgesi'nin aktif tektonik hareketleri iki jeolojik olay doğrultusunda şekillenmektedir. Bu iki jeolojik olayların ilki Arabistan levhasının sıkıştırması, diğer olay ise Ege dalma-batma zonunun hareketleri sonucudur. Ege bölgesi tektonizma hareketlerine bakıldığında günümüzde aktif bir bölgedir (Dündar, 2010).

Bölgedeki ilk çalışmalardan biri olan McKenzie (1967) çalışmasında, bölgeyi Ege ve Anadolu plakası olarak iki gruba ayırarak incelemiştir. 1978 yılında Anadolu plakasının hareketlerini elin parmaklarının açılmasına benzer bir şekilde gerilme yaptığını ve Kuzey – Güney açılımının devam ettiğini belirtmiştir. Ömer Alptekin (1973), Anadolu plakasının tek başına hareket ettiğini, Kuzey – Güney açılımının ise üst mantodaki yükselme sonucu meydana geldiğini açıklamıştır. Bingöl (1976), bu çalışmayı destekleyici çalışmalar yapmıştır ve Anadolu plakasının hareketlerinin sonucunda kabukta incelme meydana geldiğini ve grabenlerin oluştuğunu açıklamıştır. 1979 yılında J.F. Dewey ve A.M.C. Şengör tarafından öngörülen çalışmada Ege plakası üç parçaya bölünmüştür (Dewey ve Şengör, 1979). Yapılan çalışmada Anadolu plakasının batıya kaçışını Yunan makaslanmasının engellediği ve burada bir Doğu – Batı yönünde sıkışmaya neden olduğu, bunun sonucunda Kuzey – Güney yönünde açılmaların meydana geldiği belirtilmektedir. 2000'li yıllarda

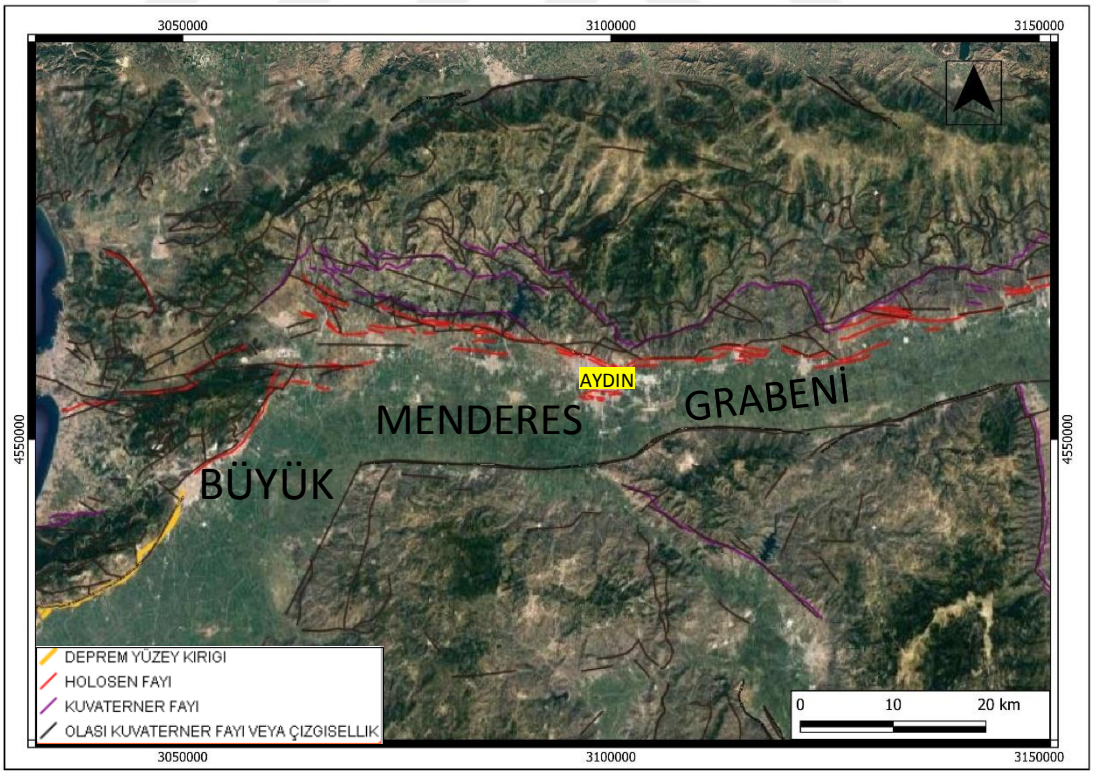
McClusky vd (2000) GPS bilgilerini kullanarak yaptığı araştırmada Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının çarpıştığını ve bunun sonucunda sürekli deformasyonların olduğunu gözlemlemiştir (Dündar, 2010). Şekil 1.7'de Bozkurt (2001) tarafından Batı Anadolu Graben haritası verilmektedir.



Şekil 1.7. Batı Anadolu Graben haritası (Bozkurt, 2001)

Batı Anadolu plakasında Kuzey – Güney gerilmesi sonucunda her yıl 3-6 cm gerilme meydana gelmektedir, bu hareketlerin sonucunda Doğu – Batı yönünde grabenler oluşmuştur (Dündar, 2010). Fay doğrultuları üzerinde devamlı sismik hareketler tespit edilmektedir. Yer bilimciler Ege bölgesindeki deprem hareketliliğinin plaka ve kıtaların deformasyonları sonucunda olduğunu belirtmişlerdir. Fay düzlemleri mostra verdikleri kısımlarda genellikle düz olarak görülmekte, nadiren ovaya doğru hafif konkavlık göstermektedirler. Bölgede ayrıca metamorfit ve sedimentler arasında bulunan faylardan sıcak sular çıkmaktadır (Arpat ve Bingöl, 1969).

Ege bölgesindeki faylarla ilgili sismik aktivite, hem tarihsel (Nazilli depremi: 19 Aralık 1645; Menderes depremi: 20 Eylül 1899; Güzelhisar/Aydın depremi: 22 Şubat 1653), hem de aletsel deprem gözlemleriyle tespit edilmiştir (Ambraseys ve Finkel, 1987, 1995; Altunel, 1999; Ocakoğlu vd., 2013; Kaya, 2015). Çalışma alanına ait fay ve deprem haritası incelendiğinde yoğun sismik aktiviteye sahip olduğu gözlemlenmektedir. Büyük Menderes grabenindeki depremlerin odak derinlikleri 5 ile 13 km derinliklerde dağılmış ve 5 ile 6 km derinliklerde yoğunlaşmıştır (Kaya, 2015). Aydın ve çevresi Ege Graben Sistemi içerisinde yer almaktadır ve genellikle D-B doğrultulu normal faylarla sınırlanan çok sayıda bloktan oluşmaktadır (Demirtaş ve Yılmaz, 1996; Yürekli ve Karaca, 2020). Büyük Menderes grabeninde Miyosen'den itibaren K-G ve D-B doğrultulu iki fay grubu gelişmiştir (Utku ve Sözbilir, 2003). Şekil 1.8 ile MTA Yerbilimleri Harita Görüntüleyici ile oluşturulan Aydın ve çevresinde tespit edilen faylar gösterilmektedir. (koordinat sistemi WGS 84). Fayların yoğun olarak gözlemlendiği çalışma alanında yüksek jeotermal potansiyel söz konusudur.



Şekil 1.8. Aydın ve çevresinde tespit edilen faylar (Emre vd. 2013'den değiştirilmiştir).

2. KAYNAK ÖZETLERİ

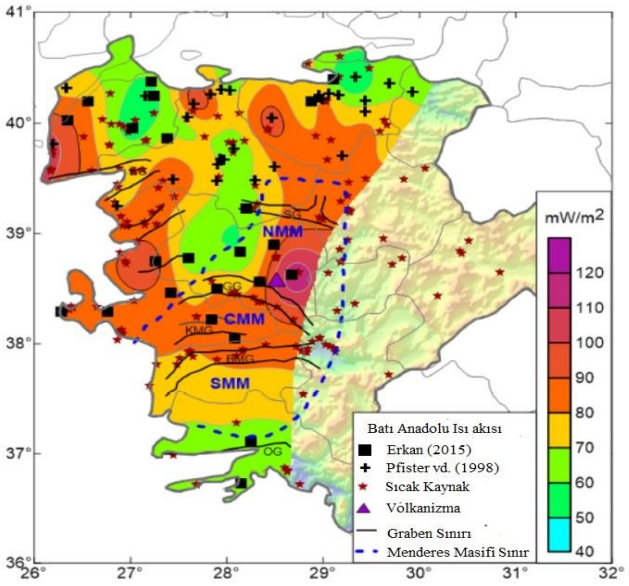
2.1. Bölgeye Ait Isı Akısı Çalışmaları

Çalışma alanının yer aldığı Batı Anadolu bölgesi yoğun levha tektoniği hareketleri ile dikkat çekmektedir (Dilek ve Altunkaynak, 2009). Buna rağmen Batı Anadolu'daki ısı akısı çalışmaları yeterli düzeyde bulunmamaktadır.

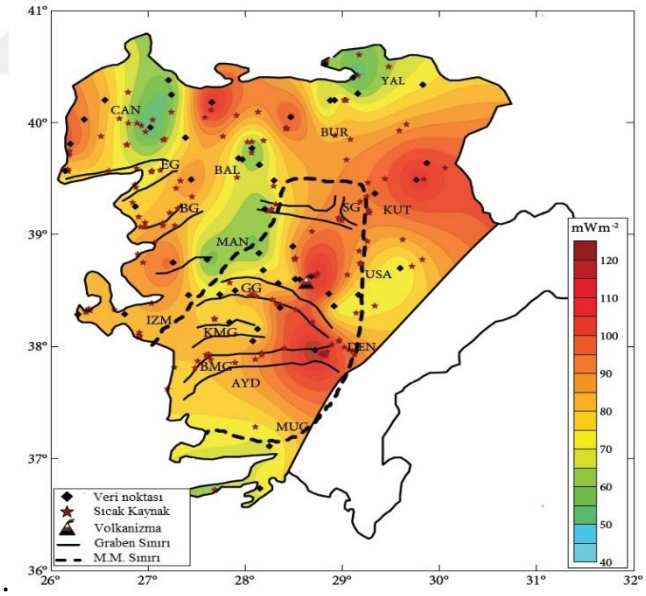
Yer kabuğunun yüzeye yakın kesimlerindeki iletken ısı akısının ortaya konması ile plaka tektonik aktivitesinin yakın tarihini anlamak (Erkan ve Blackwell, 2008, 2009), kabuktaki kırılgan-sünek (brittle-ductile) yapı değişimlerinin geçiş derinliğini belirlemek (Bonner vd., 2003) ve bir bölgenin jeotermal enerji potansiyelini tahmin etmek (Tester vd., 2006; Serpen vd., 2009) açısından önem arz etmektedir (Erkan, 2015). Batı Anadolu bölgesi yüksek entalpili jeotermal sistemleri içerdiğinden jeotermal enerji gelişiminde dikkat çekmektedir (Serpen vd., 2009). Türkiye'de en yüksek sıcaklıktaki (120-240 ^{o}C) jeotermal sistemler Menderes Masifi'nin derin grabenlerinin kenarları boyunca oluşmuştur ve derin faylar boyunca yüzey sularının sirkülasyonu ve Menderes horst-graben sisteminin tabanından gelen yüksek ısı akısı ile ilişkilidir (Erkan, 2015). Blackwell (1978) kıtasal bölgelerde 105 mW/m^2'yi aşan ısı akısı değerlerinin üst kabukta kısmi ergime ve bununla ilgili silisli magmatik/volkanik aktivite anlamına geldiğini öne sürmüştür. Genel olarak Türkiye ve çalışma alanını içine alan Batı Anadolu bölgesinde gerçekleştirilen ısı akısı çalışmaları (İlkışık, 1989, 1991, 1992, 1995, 2008; Tezcan ve Turgay 1991; Hisarlı, 1995; Pfister vd., 1998; Yemen, 1999; Dolmaz vd., 2005; Akın vd., 2014; Erkan, 2015; Erbek ve Dolmaz, 2019; Balkan vd., 2017; Balkan-Pazvantoğlu vd., 2021; Sayın ve Gürer, 2021) yetersiz sayıda kuyu ve termal iletkenlik bilgisi ile gerçekleştirilmiştir. İlkışık (1992; 1995), kaplıcalar üzerinde silika jeotermometresi kullanarak Batı Anadolu'da bölgesel ısı akısı çalışmaları yapmıştır. 187 kaynaktan silika ısı akısı değerleri hesaplayarak ortalama ısı akısını 107±45 mW/m^2 olarak tahmin etmiş ve dünya ortalamasından %50-60 daha yüksek olduğunu belirtmiştir. Menderes Masifi ve dolayısıyla grabenlerin yüksek ısı akısı bölgesi olduğunu ve silika ısı akısının Gediz-Eynal-Simav civarında en yüksek değere (247 mW/m^2) sahip olduğunu (İlkışık, 1992) ve Aydın ve çevresinde ise 45 mW/m^2 ile 170 mW/m^2 arasında olduğunu belirtmiştir (İlkışık, 1995). Ege Denizi'nde

gerçekleştirilen ısı akısı ölçümlerinde tektonik zonlar boyunca üç yüksek ısı akısı zonu tespit edilmiş olup en yüksek ısı akısı Ege volkanik yayının içinde ve arkasındaki bölgelere karşılık gelmektedir (Fytikas, 1980; İlkışık, 1995). 100 mW/m^2'ye varan yüksek silika ısı akısı alanları ile Tersiyer ve daha genç volkanizma alanları arasında yakın bir ilişki vardır. Eosende çarpışma bölgesi ile yakından bağlantılı olan ve sismik olarak aktif bir bölge olan orta Batı Anadolu bölgesinde ise yaklaşık 150 mW/m^2'ye sahip ısı akısı tespit edilmiştir. Isı akısı ve sismisite arasındaki ilişki incelendiğinde sismik aktivitenin yoğun olduğu alanların yüksek ısı akısı alanlarına denk geldiği gözlenmiştir. Menderes Masifi'nde yaklaşık 100 mW/m^2 civarlarında olan ısı akısı söz konusudur, buna karşılık nispeten daha az deprem olduğu kayıtlara geçmiştir. Masifiin kuzeyinde ise 200 mW/m^2' den daha yüksek ısı akısı, İzmir-Ankara çarpışma zonu çevresinde yoğun merkez dağılım alanı ile çakışmaktadır (İlkışık, 1995). İlkışık (2008)'de yayınladığı teknik raporda Ege Bölgesi'nde silika ısı akısı değerini Aydın-Ömerbeyli'de açılan derin kuyu (2000 m) için 284 mW/m^2 olarak tespit etmiştir. Oldukça yüksek olan bu ısı akısı değerinin bir ölçüm hatası mı olduğu yoksa hazne kayaya ulaşımın mı söz konusu olduğunun bilinmediği belirtilmiştir. Yemen (1999)'ın çalışmasında Ege Bölgesi'ndeki sondaj kuyuları kullanılarak sıcaklık gradyanı yöntemi ile yapılan ısı akısı çalışmaları neticesinde Ege bölgesinin genel olarak yüksek ısı akısı anomalilerine sahip olduğu görülmektedir. Tezcan ve Turgay (1991) tarafından ortaya konan Türkiye ısı akısı haritasının bir parçası olarak yer alan Batı Anadolu'da detaylı ısı akısı çalışması Erkan (2015) tarafından, iletken ısı akısının belirlenmesi için ~100 m derinliğe sahip 113 sondaj kuyusundan yüksek çözünürlüklü denge sıcaklıklarının analiz edilmesidir. Veri işlem ile 55 noktada gradient ve ısı akısı hesabı yapılarak ortalama 55-70 mW/m^2 ve yüksek 85-95 mW/m^2 arasında değişen ısı akıları tespit edilmiş ve Batı Anadolu bölgesi için ısı akısı haritası oluşturulmuştur (Şekil 2.1). Elde edilen ısı akısının en yüksek değerleri (> 100 mW/m^2) Kula volkanik merkezine yakındır. Orta dereceli ısı akısı değerleri Hellenik yitim zonunun yay arkası bölümünü oluştururken, Menderes Masifi'nin orta kesiminde yüksek ısı akısı değerleri görülmektedir. Tezcan ve Turgay (1991)'ın derin kuyulardan (~1000 m) alınan kuyu dibi sıcaklık verileri ve sabit bir ısıl iletkenlik ile oluşturulan Türkiye ısı akısı haritasında Batı Anadolu bölgesi genel olarak Erkan (2015)'ten daha yüksek ısı akısı değerlerine sahiptir. Akın vd. (2014) Türkiye geneli ısı akısı ölçümleri ile Türkiye'nin Jeotermal potansiyelini değerlendirmiştir ve yeni jeotermal alanlar keşfetmiştir. Manyetik verilerin Curie

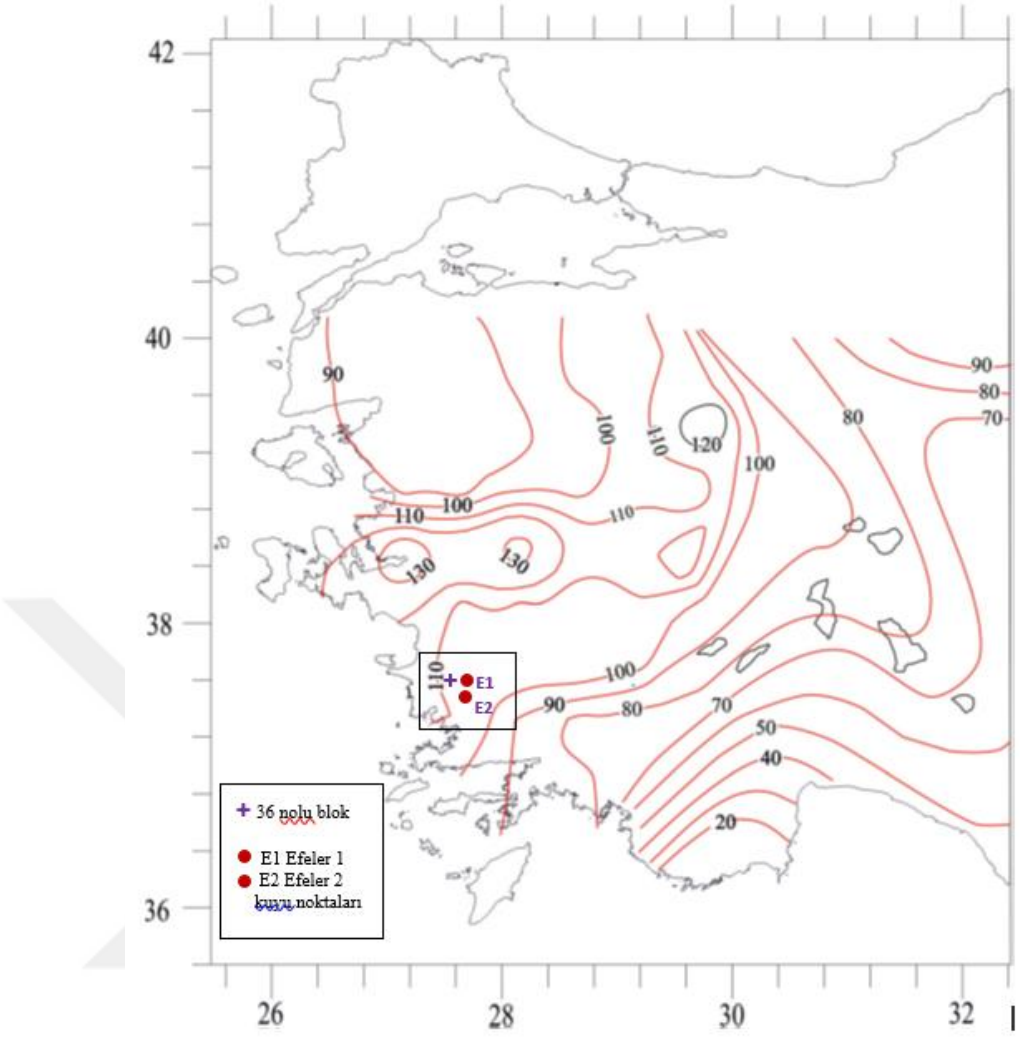
Nokta derinliği ve güç spektrumlarından Türkiye'nin ortalama ısı akısının 74 mW/m^2 olarak hesaplandığı çalışmada 125.7 mW/m^2'den yüksek alanlar jeotermal potansiyeli olan alanlar olarak değerlendirilmiştir. Türkiye jeotermal alanlarının %79'u Batı Anadolu bölgesi sınırları içerisinde bulunduğu ve Türkiye'nin en önemli jeotermal potansiyeli olan bölgenin 200 mW/m^2'yi aşan ısı akısı değerleri ile Aydın ve çevresine karşılık geldiği tespit edilmiştir. Balkan vd. (2017) Batı ve Orta Anadolu bölgelerindeki toplam 240 kaya örneğinin (136 kaya örneği Batı Anadolu bölgesine aittir) ısıl iletkenliğini inceleyerek bu bölgelerdeki ısı akısı ve jeotermal modelleme çalışmalarına katkı sağlayabilecek ve önemli farklar yaratabilecek farklı kaya türleri arasındaki termal iletkenlik değerlerindeki farklılıklarını ortaya koymuşlardır. Buna göre, Batı Anadolu bölgesinde incelenen kaya örnekleri neticesinde kuru ortamların termal iletkenliği 0.7 W/mK ile 3.09 W/mK arasında değişmektedir. Balkan-Pazvantoğlu vd. (2021) tarafından Batı Anadolu bölgesi için 21 adet jeotermal gradyan ve 19 adet ısı akısı hesabı yapıldı ve bunlara ek olarak Erkan (2015) tarafından termal iletkenliğin olmaması sebebi ile eksik bırakılan 12 jeotermal gradient hesabı bu çalışma ile yapılarak ve Pfister vd. (1998) verileri de eklenerek toplam 33 yeni ısı akısı verisi ile ısı akısı haritası genişletilmiştir (Şekil 2.2). Ortaya konulan yeni ısı akısı çalışmasında genel olarak yoğun tektonik aktivite nedeniyle Menderes Masifi'nin grabenleri çevresinde yüksek değerler gözlenmektedir. Maksimum ısı değeri Büyük Menderes ve Gediz grabenlerinin kesiştiği noktada görülmektedir. Sayın ve Gürer (2021) tarafından yapılan yeni bir ısı akısı hesaplama yöntemi ile ısı akısı haritası Dolmaz vd. (2005)'in Curie nokta derinlikleri kullanılarak elde edilmiştir. Kuyulardaki doğrudan sıcaklık gradyanları ile dolaylı Curie sıcaklık gradyanları arasında bir korelasyon kuran yeni bir ampirik hesaplama yöntemi önerilen çalışmada Batı Anadolu'da jeotermal gradyan doğru ölçülemeyen kuyular için jeotermal gradyan değerleri tahmin edilerek Batı Anadolu'nun daha eksiksiz bir jeotermal gradyan haritası ve dolayısıyla daha eksiksiz bir ısı akısı haritası elde edilmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.1. Batı Anadolu Isı akısı haritası (Erkan, 2015'ten türkçeleştirilmiştir).NMM: Kuzey Menderes Masifi, CMM: Orta Menredes Masifi, SMM: GüneyMenderes Masifi, BMG: Büyük Menderes Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, SG: Simav Grabeni, GG: Gediz Grabeni, OG: Gökova Grabeni.



Şekil 2.2. Batı Anadolu Isı akısı haritası (Balkan-Pazvantoğlu vd., 2021'den türkçeleştirilmiştir). GG: Gediz Graben; BMG: Büyük Menderes Graben; KMG: Küçük Menderes Graben; EG: Edremit Graben; BG: Bakırçay Graben; SG: Simav Graben. AYD: Aydın; AFY: Afyon; BAL: Balıkesir; BUR: Bursa; CAN: Çanakkale; DEN: Denizli; IZM: İzmir; KUT:Kütahya; MAN: Manisa; MUG:Muğla; USA:Uşak.



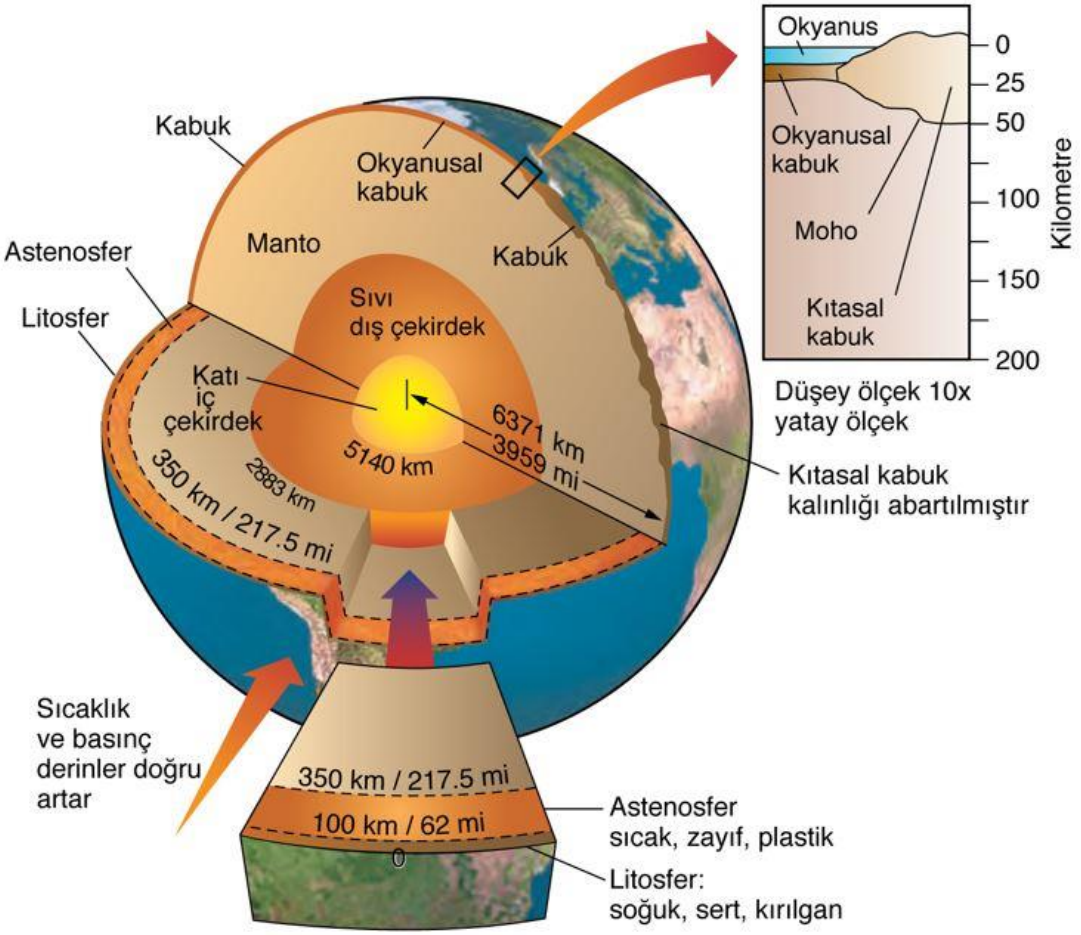
Şekil 2.3. Curie nokta derinliğinden elde edilen ısı akısı haritası (Dolmaz vd., 2005; ve Sayın ve Gürer, 2021).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Yerin Isı Yapısı

3.1.1. Yer için sıcaklığı ve derinlikle değişimi

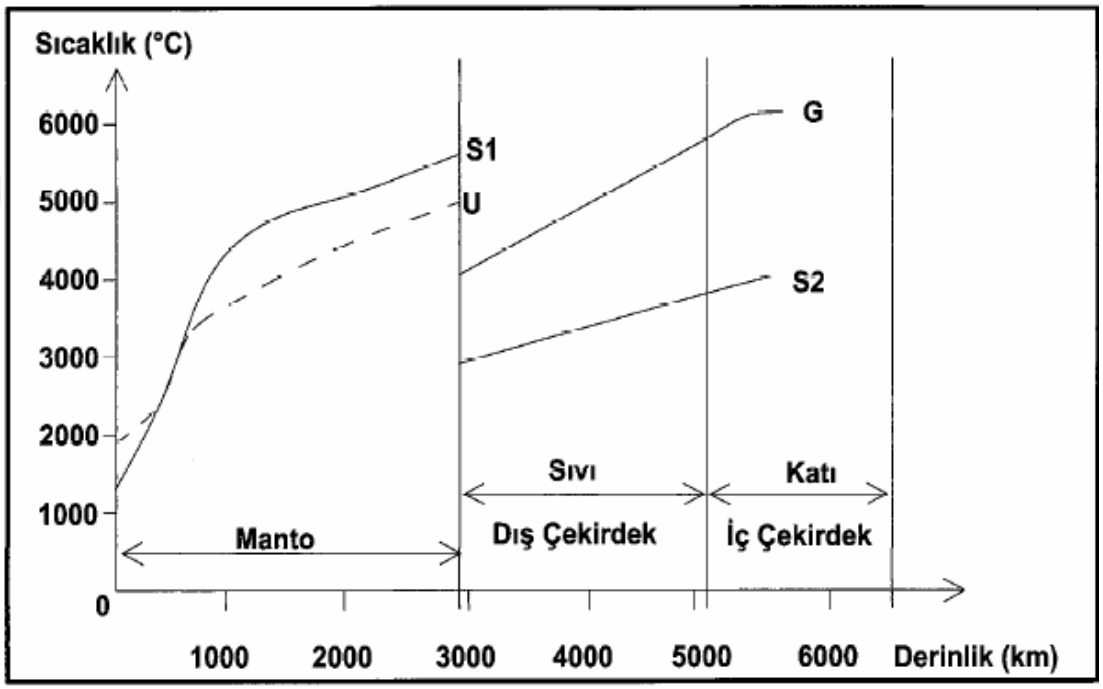
Yerküre kalınlık, yoğunluk ve sıcaklıklıkları farklı üç farklı katmandan oluşmaktadır. Bunlar; çekirdek, manto ve kabuk katman olarak Şekil 3.1 ile gösterildiği gibidir. Dünyamızın oluştuğu zamandan itibaren çeşitli ayrımlaşmalar sonucunda günümüzde ki halini almıştır. Bu şekle gelmesinde yerin iki farklı enerjisi öne çıkmaktadır, bunlar yer çekimi enerjisi ve ısı enerjisidir. Yeraltındaki kütlelerin ergime sıcaklığına ulaşması için ısı enerjisi, ergimeye uğrayan kütlelerin yoğunluğu fazla olanların alta, az olanların üstte kalacak şekilde dizilmesini sağlamaktadır (Anadolu, 2011).



Şekil 3.1. Yerin iç yapısı

Yer iç ısısı: levha hareketleri, deprem, volkanizma, jeotermal, manto konveksiyon akım, arz içi radyoaktif elementlerin yarılanma ömürleri, gravitasyon enerjinin ısı enerjisine dönüşmesi ve basınç ile sıcaklığın derinlikle artmasından kaynaklanır.

Yeryüzünü oluşturan kabuk, manto ve çekirdeği oluşturan maddelerin minerolojik yapısı ile ilgili jeolojik çalışmalar ve katı maddelerin yüksek basınçlarda ergime sıcaklığı ile ilgili çalışmalar (Lindemann 1910, Uffen 1952) ile elde edilen Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Jeofizik deneysel arziçi ısı dağılımı U (Uffen, 1952), S1 ve S2 (Stacey, 1969), G (Gilvarry, 1957).

Yerkabuğunun sıcaklık gradyanı belirlenmesi çok önemlidir, bu yolla sondaj ile ölçülemeyen derinliklerin sıcaklıklarını tahmin edilmesine imkân sağlamaktadır. Yapılan çalışmalarda ölçülen sonuçlara göre ortalama 30°C artan her 1 km derinliğe bağlı genel olarak 10-50 °C lik bir artış tespit edilmiştir. Kıta kabuğu kalınlığı yaklaşık olarak 35-40 km'dir. Yüksek dağ zincirlerinin olduğu yerlerde 60-70 km kadar çıkmaktadır, ortalama bir sıcaklık gradiyeni bu kalınlıklara bağlı olarak hesaplayacak olursak yaklaşık olarak 1800-2100 °C aralığında olabilmektedir. Kabuk içindeki sıcaklık gradyanı ölçümü için yapılan çalışmalar üst radyoaktif element bakımından fazla olan zonu kapsadığından, kabuğun alt kısımlarını kapsamaz. Yer içi sıcaklığın yükselmesinde bu radyoaktif elementlerin etkisi

olduğundan altta bulunan zonun sıcaklık gradyanı daha küçük olmalıdır. Yerkabuğunun daha derin noktalarındaki sıcaklık gradiyanın hesaplanması için bazı düzeltmeler yapılması gerekmektedir, kabuğa mantodan gelen ısı enerjisi ile kayaç içindeki radyoaktif elementlerin ısı enerjisinin ayrılması gerekmektedir. Yerkabuğunun üst katmanında bulunan kayaçların radyoaktif elementlerin ısı değerlerini U (ppm), Th (ppm), K (%ağırlık) değerlerinden;

$$A = 0.1325\ \rho(0.718\ U + 0.193\ TH + 0.262\ K) \quad (3.1)$$

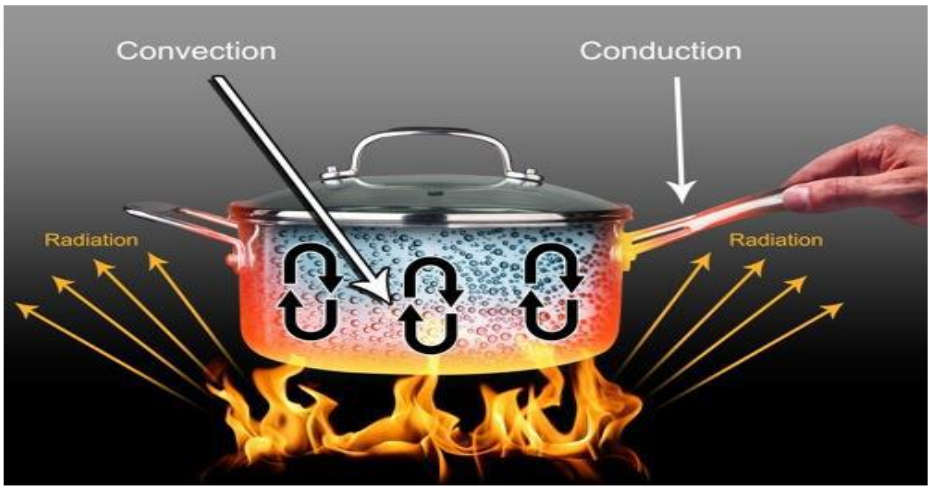
Veya

$$InA = 13.7 - 2.17\ Vp \quad (3.2)$$

Sismik Vp hızından bulunabilinir.

3.1.2. Isı iletimi

Yeriçinin derinliklerindeki yüksek sıcaklıktaki ısı yüzeye doğru iletilerek düşük sıcaklıktaki yerkabuğuna ulaşır. Bu ısı iletimi termal iletim, termal ısıma kaynaklı iletim termal dolaşım (konveksiyon) ile meydana gelebilmektedir. Her maddenin ısı iletme özelliği farklıdır. Dolayısıyla, kayaçların da kendilerine ait ısı iletim özellikleri vardır. Maddelerin ısı iletim katsayısı k, (W/mK veya W/mC) ile tanımlanmaktadır. Isı transferi; kondüksiyon (iletim) , konveksiyon (taşınım) ve radyasyon (ışınım) olmak üzere üç farklı şekilde meydana gelmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3.Isı iletim çeşitleri (Turan, 2017)

1. Kondüksiyon: iletim, en yaygın ısı transferi yöntemidir, fiziksel temas yolu ile meydana gelir. Enerjileri farklı iki moleküllerin birbiri ile çarpışması sonucunda enerjisi daha yüksek olan kinetik alan, enerjisi daha düşük parçacık ile çarpışırlar. Bunun sonucunda enerjisi düşük olan parçacık enerjisini artırır. Isı iletimi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$Q = [\lambda \times A \times (T_{hot} - T_{cold})]/d \quad (3.3)$$

Q = Birim zaman transfer edilen ısı miktarı
λ = Isı transfer iletim katsayısı
A = Isı transfer yüzey alanı
T_{hot} = Sıcak bölge sıcaklığı
T_{cold} = Soğuk bölge sıcaklığı
d= Malzemenin kalınlığı

2. Konveksiyon: Bir madde ısıtıldıktan sonra, ısı kaynağından uzaklaştırılınca bu madde ile birlikte termal enerjide taşınır. Bu transfere konveksiyon (taşınım) denir. Konveksiyon ısı iletimi aşağıdaki denklem ile hesaplanabilinir;

$$Q = h_c \times A \times (T_s - T_f) \quad (3.4)$$

Q = Birim zaman transfer edilen ısı miktarı
A = Isı transfer yüzey alanı
T_s = Yüzey sıcaklığı
T_f = Akışkan sıcaklığı

3. Radyasyon: Bu yöntemde ısı transferi, elektromanyetik dalgaların yayınımı ile oluşur. Bu dalgalar ısıyı yayıldığı maddeden uzağa taşırlar. Tüm maddeler sıcaklıklarına göre termal enerji yaymaktadır, madde ne kadar sıcaksa o kadar çok enerji yayar. Güneşin, güneş sistemi boyunca ısı yayması ısı radyasyonu için bir örnektir. Isı radyasyonu Stefan-Boltzman yasası ile hesaplanmaktadır.

$$P = e \times \sigma \times A \times (T_r^4 - T_c^4) \quad (3.5)$$

P=Toplam güç

e= Yayılabilme katsayısı

σ= Boltzmann sabiti

A= Radyasyon yüzey alanı

T_r= Radyasyon yayan nesne sıcaklığı

T_c=Çevrenin sıcaklığı

Kayaçların ısı iletkenlikleri içerdiği minerallere ve gözenekliliğine bağlıdır, birçok kayacın ısı iletkenliği düşüktür. Kayaçların iletkenlikleri ayrıca sıcaklık ve basınç ile artmaktadır. Çizelge 3.1 ve 3.2'de bazı kayaçların ısı iletkenlik katsayıları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yer içinin çeşitli derinliklerini oluşturan kayaçların belirlenen veya varsayılan ısı iletkenlik katsayıları (Sanver, 1983)

Yer içi özelliği	**λ (W/ m°K)**
Kıta ve okyanus türü kabuk	2,5
Okyanus kabuğu altı Moho süreksizliği	3,4
Kıta kabuğu altı Moho süreksizliği	3,4
400 km derinlik	3,4
Alt manto	7,3
Çekirdek manto sınırı	27
Çekirdek	36

Çizelge 3.2. Bazı kayaç ve minerallerin ısı iletkenlik katsayıları (Clark, 1966)

Kayaç	**λ (W/m°C)**
Granit	0.6 – 2.7
Granodiyorit	0.5 – 3.0
Gnays	0.6 – 3.1
Bazalt	0.3 – 1.8
Divabaz	0.1 – 2.2
Gabro	0.15 – 2.15
Serpantinit	0.5 – 2.3
Dunit	3.7 – 5.2
Kumtaşı	2.5 – 3.2
Şeyl	0.2 – 1.4
Kireçtaşı	0.5 – 2.5
Kaya tuzu	1.0 – 5.7

Kayaçların ısıl iletkenliğini etkileyen faktörler; içerdiği mineral bileşimleri, sıcaklık, basınç, gözeneklilik ve suya doygunluktur. Sediman, Magmatik ve metamorfik kayaçların her biri özelliklerine göre farklı ısı iletkenliğe sahiptir. Kayaç termal iletkenliği, petrol ve gaz arama, termoelastik stres analizi ve jeoloji çalışmalarında önem arz etmektedir. Isı akısı, jeotermal gradyan ve termal iletkenlik çarpılarak hesaplandığından, ısı akısı belirlemelerinde termal iletkenlik bilgisi önemlidir (Jaeger, 1965). Elde edilen kayaç termal iletkenlik değerleri ısı akısı ve termal modelleme çalışmaları için önem arz etmektedir (Balkan vd. 2017). Balkan vd. (2017) Batı Anadolu Bölgesi için 136 kayaç litolojik sınıflandırılmaya tabi tutularak analiz edilmiş ve ısıl iletkenlik değerlerini ortaya koymuştur. 10 farklı kayaç tipi için elde edilen ortalama ısıl iletkenlik Çizelge 3.3 ile verilmektedir. Buna göre kuru kayaçların ısıl iletkenliği ortalama 0.7 W/mK ile 3.09 W /mK arasında değişmektedir. En düşük ısıl iletkenliği kil taşına aittir. Magmatik kayaçlar metamorfik kayaçlardan daha düşük bir ısıl iletkenliğe sahiptir. 2.95±0.4 W/mK ile yüksek bir ısıl iletkenliğe sahip mermerler yüksek dolomit içeriğine sahiptir ve genellikle Menderes Masifi'nde yer almaktadırlar. Mağmatik kayaçlar için ortalama ısı iletkenlik 1.88 W/mK ve metamorfik kayaçlar için 3.28 W/mK olarak hesaplanmıştır. Kumtaşlarının yüksek kuvars içeriğine sahip olmaları ve kristalize kireçtaşlarının dolomit içerikleri yüksek ısıl iletkenliklerine sebep olmaktadır.

Çizelge 3.3. Batı Anadolu'da kuru ve doygun koşullarda ısıl iletkenliği (Balkan vd, 2017)

Litoloji	N	$\lambda_d(Wm^{-1}K^{-1})$	$\vartheta_e(\%)$	$\lambda_s(Wm^{-1}k^1)$	$\lambda_{s\,min} - \lambda_{s\,max}$
Kumtaşı	16	1.57 ± 1.10	25	3.08 ± 2.05	2.5 – 4.8
Kiltaşı	20	0.70 ± 0.26	12	1.02 ± 0.38	0.9 – 1.2
Kristalize kireçtaşı	6	3.08 ± 1.21	4	3.49 ± 1.38	3.3 – 3.7
Kireçtaşı	33	2.62 ± 0.77	4	2.98 ± 0.86	2.8 – 3.1
Mermer	9	2.93 ± 0.40	0.2	2.95 ± 0.40	2.9 – 3.0
Şist	11	2.80 ± 0.82	4	3.19 ± 0.93	3.0 – 3.3
Andezit	19	1.70 ± 0.61	5	1.99 ± 0.68	1.9 – 2.1
Peridotit	3	2.52 ± 0.45	4	2.86 ± 0.51	2.7 – 3.0
Tüf	11	1.11 ± 0.48	5	1.30 ± 0.57	1.2 – 1.4

Burada,

N : Veri sayısı

λ_d : Kuru kayaların standart sapmaları ile ısı iletkenliği

ϑ_e : Ortalama gözeneklilik

λ_s : Doymuş kayaların standart sapmaları ile ısı iletkenliği

Isı akısı birimi cgs biriminde µkal/cm2s ºC'e eşit olan HFU "Heat Flow Unit" olarak verilmektedir. SI birim cinsinden ise mW/m^2 olarak ifade edilmektedir. 1 HFU 41.78 mW/m^2'ye eşittir. Isı gradienti ise incelenen ortam içinde düşey olarak aralarındaki uzaklık sabit olan iki noktadaki sıcaklık ölçülerek saptanır.

3.2. Yer Isısının Yer Yüzeyindeki Dağılım Özellikleri

3.2.1. Volkanik ve jeotermal bölgelerde ısı akısı

Vokanik ve jeotermal bölgelerinde oluşan ısı miktarı, o bölgede ölçülen yeryüzünün ısı akısınada yansımaktadır. Bundan dolayı volkanik bölgelerde ölçülen ısı akısı yerin kendi ısı akısı değeri değildir. Genel olarak volkanik bölgelerde ısı akısı yüksek

değerlerde ölçümler vermektedir. Yer yüzeyindeki ısı değeri; yerin ısı iletkenliği sonucu çıkan ısı ile kütlenin yer değişiminden dolayı çıkan ısı değerinin toplamıdır.

$$Q_t = Q_c + Q_m \quad (3.6)$$

Formülü ile hesaplanabilinir.

Jeotermal bölgelerde, yerin deriklerinden gelen sıcaklık ile normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla erimiş madde bulunan sıcak suların ve buharın bulunduğu alanlardır. Jeotermal alanların bulunduğu bölgelerde toplam ölçülen ısı akısına bu değerler etki etmektedir, jeotermal bölgelerin ölçülen ısı akısı değerleri 3-40 HFU aralığında bulunmaktadır (Elder, 1965).

3.2.2. Kıtalarda ısı akısı

Afrika ve Avrasya arasındaki Akdeniz çarpışma kuşağı yüksek ısı akısı anomalileri ile uyumludur. En yüksek ısı akı değerleri Ege bölgesinin volkanik yay üzerinde görülmektedir. Batı Akdeniz'de ısı akı değerleri yüksek görülürken, doğu Akdeniz'de düşük ısı akı değerleri görülür. Yeryüzünde ısı akısı değerlereri incelendiğinde çeşitli jeolojik yapıların etrafın belirli değerler etrafında toplandığı görülmüştür. Çizelge 3.4 ile farklı jeolojik yapıların ısı akısı ölçüm değerleri verilmektedir (Lee ve Uyeda, 1965). Buna göre, Prekambriyen kalkanlarda düzgün dağılım gösteren ve düşük ısı değeri ölçülmüştür. Masozoyik – Senozoyik bölgelerde yüksek ısı akısı ve büyük standart sapmalar ölçülmüştür.

Çizelge 3.4. Farklı jeolojik yapıların ısı akısı ölçüm değerleri (Lee ve Uyeda, 1965)

Jeolojik Yapı	Ölçü Sayısı	Ortalama Isı Akısı (HFU)
Prekambriyen kalkanlar	26	0.92+0.70
Palezoyik Orojenler	21	1.23+0.40
Mesozoyik-Senozoyik yaşlı alanlar	19	1.92+0.49
Senozoyik yaşlı volkanik alanlar	11	2.16+0.46

Üst kayaçları oluşturan kayaçlar çeşitli miktarlarda radyoaktif maddeler içerdiği bilinmektedir ve bu radyoaktif maddeler bir ısı yaymaktadır. Doğal olarak yerküreden gelen ısıya eklenerek yeryüzünde bu iki ısı akısı değeri etkilenmiş olarak

ölçülmektedir. Bu olay sadece kıtalarda düzeltilmesi gereken, yapılan bilimsel çalışmalarda sonuçları değerlendirirken göz önünde bulundurulması gereken ve düzeltilmesi gereken bir durumdur.

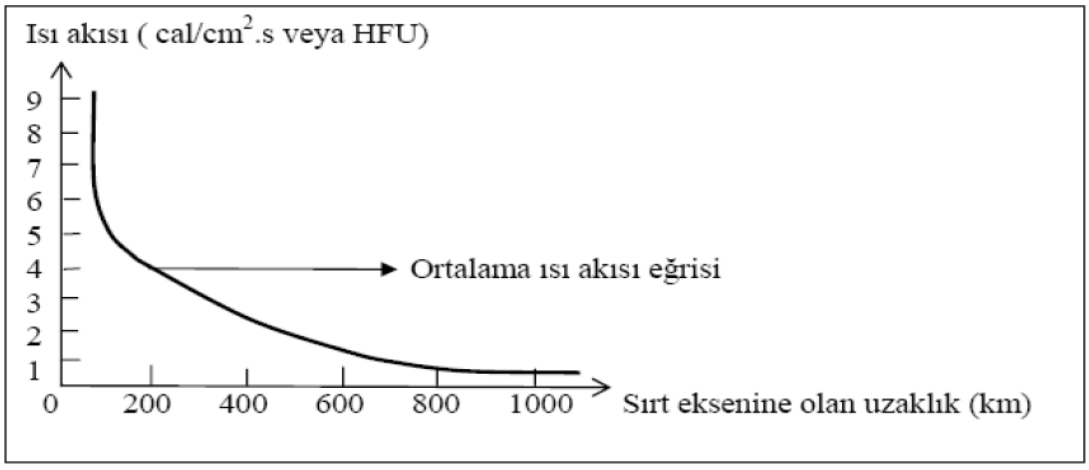
3.2.3. Okyanuslarda ısı akısı

Okyanuslardaki ısı akısı ölçümleri, kabuk malzemeleri farklı olmasına rağmen, kıta ısı akısı ölçümlerinin ortalamasına bakıldığı zaman hemen hemen aynı değerleri vermektedir. Çizelge 3.5 ile Lee ve Uyeda (1965) tarafından yapılan ısı akısı değerleri verilmektedir.

Çizelge 3.5. Okyanuslarda yapılan ısı akısı ölçüm değerleri (Lee ve Uyeda, 1965)

Jeolojik Yapı	**Ölçü Sayısı**	**Ortalama Isı Akısı (Hfu)**
Okyanusal basenler	273	1.28 ± 0.53
Okyanus ortası sırtlar	338	1.82 ± 1.56
Okyanus çukurları	21	0.99 ± 6.61

Kıtalarda olduğu gibi okyanuslarda ve denizlerde ölçülen ısı akısı değerlerinde de düzeltilmesi gereken bir durum vardır. Okyanus ve denizlerde çökelme hızı daha düşüktür, bu etkinin giderilmesi için çökelme hızı ve okyanus baseni gelişim tarihi bilinmelidir. Okyanuslarda dalma – batma bölgelerinde çukur kısımların ısı akısı düşük, arka kısımlarında ise yüksek ısı değerleri ölçülür. Ölçülen en yüksek ısı akısı değeri sırt ekseni üzerinde görülür, sırt eksenine dik olarak uzaklaşıldıkça ısı akısı değeri azalır. Bu ilişki Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Okyanus sırtı ortasında ısı akısı değeri (McKenzie, 1967)

3.2.4. Tektonik Olayların Isı Akısına Etkisi

Kabukta üretilen ısı akısının bir bölümü aktif tektonik hareketlerden kaynaklanır, diğer kısmı ise radyojenik ısı akısıdır. Ölçülen ısı akısı değerleri jeolojik yaşa göre de değişebilir. Prekambriyen kalkanlar gibi yaşlı formasyonlarda düşük iken, Senozoyik gibi genç kıvrımlarda yüksek ısı akısı değerleri ölçülmüştür.

Genç havza oluşan bölgeler ısı akısı açısından çok önemlidir. Dalma – batma zonları, levha çarpışmaları ve graben yapılarında ısı akı değerleri yüksektir. Rift oluşumlarında, genç kıvrımlarda, okyanus ortası sırtlarında ve fay zonlarında ısı akı değerleri yüksektir.

3.3. Isı Akısı Hesaplama ve Ölçüm Yöntemleri

3.3.1. Isı akısı hesaplama

Isı akısı hesaplamalarında farklı yöntemler ve uygulamalar mevcuttur, bu yöntemleri; Silika jeotermometresi ile ısı akısı hesaplama, Bullard yöntemi ile ısı akısı hesaplama, Sıcaklık gradyanı ile ısı akısı hesaplama, Currie nokta derinliği ile ısı akısı hesaplama ve Modelleme yöntemi ile ısı akısı hesaplama olarak beş başlıkta inceleyebiliriz.

3.3.1.1. Silika jeotermometresi ile ısı akısı hesaplama

Yeraltı kaynak sularının içinde çözünmüş Silisyum Dioksit miktarından ısı akısı hesaplama prensibine dayanan yöntemdir. Jeotermallerin hazne kayaçlarının sıcaklıklarının belirlenmesinde uygulanır ve kuvarsın sudaki çözünümünün sıcaklık ile değişimine bakılır (Fournier ve Rowe,1966) . Suda çözünen silikat SiO_2 miktarı ;

$$TSiO_2 = \frac{1315}{5.205 - \log SiO_2} - 263.15 \qquad (3.7)$$

Bağıntısı ile hesaplanabilinir (Trusdell, 1976).

Silika sıcaklığından ısı akısı değeri ile silika jeotermometresi arasındaki ısı akısı ilişkisi;

$$q = (T_{SiO2} - T_H) / m \quad (3.8)$$

T_{SiO2} = Derin hazne kaya sıcaklığı
T_H = Ortalama hava sıcaklığı
m = Termal direnç
formülü ile hesaplanır (Swanberg ve Morgan, 1980).
Elde ettiğimiz bu değer ile ısı iletkenlik sayısını çarptığımızda yeraltı suyunun dolaştığı ortalama derinliği elde ederiz.

$$Yd = m^* \boldsymbol{\lambda} \quad (3.9)$$

yd = Suyun ortalama derinliği
$\boldsymbol{\lambda}$ = Isı iletkenlik katsayısı

Suda erimiş K,Na,Ca iyonların değerleri kullanılarak da derinliklerdeki hazne sıcaklığını bulmamız mümkündür ancak jeotermal sisteme katılan veya ayrılan suların hatalardan etkilenme olasılı daha fazla olduğundan SiO_2 jeotermometresi daha iyi sıcaklık belirleyicisidir. Yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde SiO_2 fazla miktarda bulunduğundan, fazla SiO_2 yüksek sıcaklık anlamına gelir.

3.3.1.2. Bullard yöntemi ile ısı akısı hesaplama

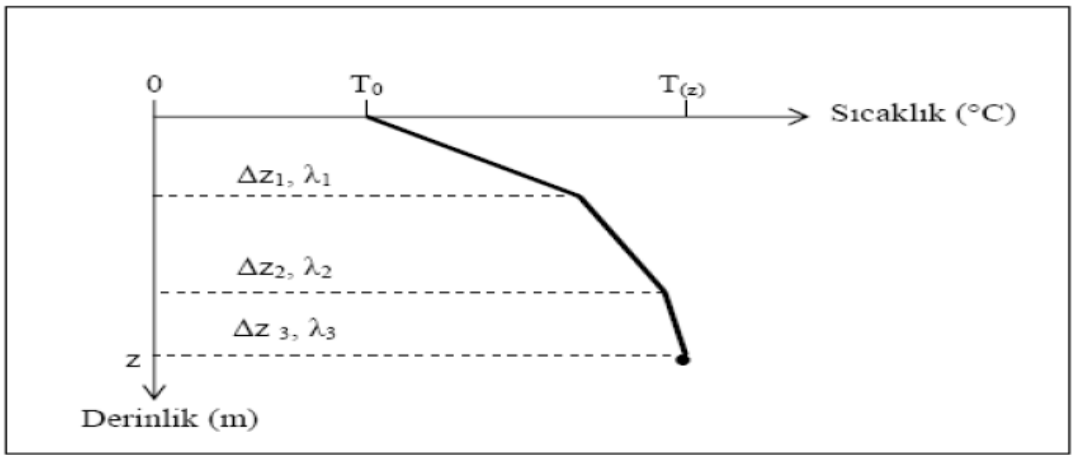
Sediman kayaçların bulunduğu yerlerde açılan sondaj kuyularında ısı akısını hesaplamada, düzgün olmayan sıcaklık gradyanı ve iletkenliğin olduğu çalışmalarda kullanılacak en iyi yöntemdir (Şekil 3.5).

$$T_z = T_0 + q_0 * \sum_{i=0}^{i=max} (\Delta z \ ./ \lambda) \quad (3.10)$$

T(z) : z derinlikteki sıcaklık
T0: z=0 daki yüzey sıcaklığı
Δzi: Derinlik artım (m)

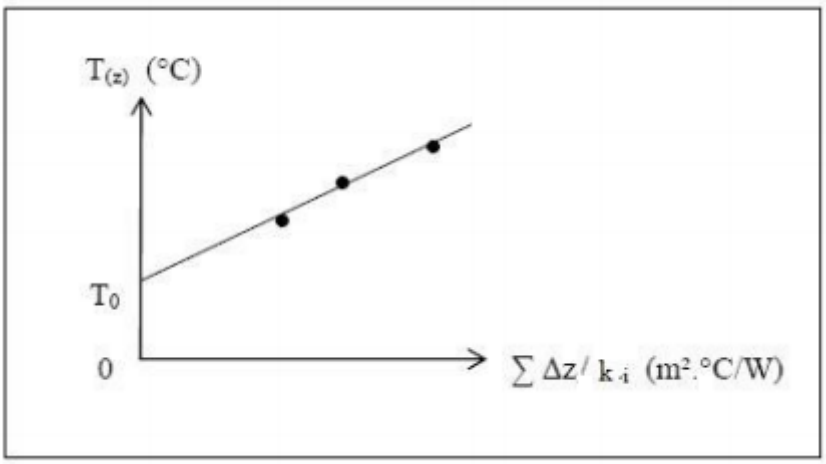
λi : Δz aralığındaki ısı iletim katsayısı

q0: Yüzey ısı akısı



Şekil 3.5. Bullard yöntemi (Bullard, 1939)

Kuyu boyunca sıcaklık logu ve kayaçların iletkenlik katsayıları biliniyorsa, ısıl direncin fonksiyonu Σ Δzi / λi olarak T(z) sıcaklık grafiği Şekil 3.6'daki gibi çizilirse, oluşan doğru eğimi bize kuyunun q ısı akısı değerini verir. (Ryback ve Bodmer, 1983)



Şekil 3.6. Bullard Plot grafiği (Ryback ve Bodmer, 1983)

Doğru denklemi;

y = ax + b ise,

x = q (mW/m^2) ve b = To bize eğimi verecektir.

3.3.1.3. Sıcaklık gradyanı ile ısı akısı hesaplama

Sıcaklık gradyanı; ısının iletimi esnasında sıcaklığın derinlikle değişimine denir. Jeofizik yöntemlerle ısı akısı hesaplaması yaparken sadece düşey yöndeki sıcaklık değişimleri dikkate alınır. Birbirine paralel yüzeyler içinde ısı akısı; ısı iletkenlik katsayısı ve sıcaklık gradyanının çarpımına eşittir.

$$q = \lambda * (dT/ dz) \tag{3.11}$$

q = Isı akısı
λ = Isı iletkenlik katsayısı
dT/dz = Düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi
bağıntısı ile hesaplanır.

Sıcaklık gradyanı hesaplayabilmemiz için en az iki farklı derinlik sıcaklık ve derinliklerini bilmemiz gerekir. Ara derinlikteki kayaç ısı iletimi, ısı iletim katsayısını (λ) verir ve labaratuvarlarda ölçüm yapılır.

$$dT/dz = (T_2 - T_1) / (z_2 - z_1) \tag{3.12}$$

dT/dz = Düşey doğrultudaki sıcaklık değişimi
T = Sıcaklık
z = Derinlik
bağıntısı sıcaklık gradyanı hesaplamasında kullanılır.

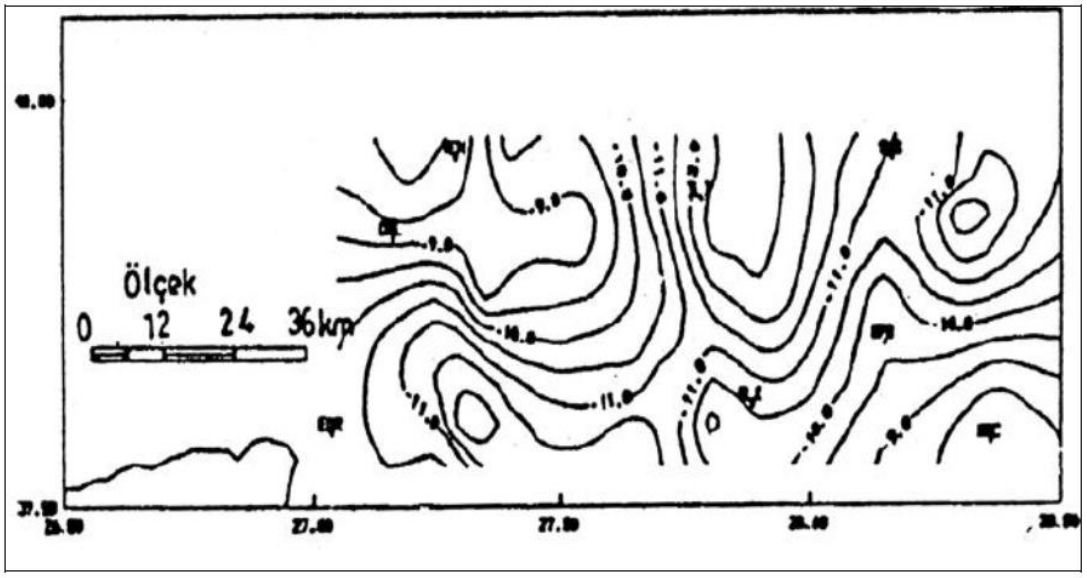
3.3.1.4. Curie nokta derinliği ile ısı akısı hesaplama

Curie sıcaklığı, ferromanyetik özellikteki bir maddenin kalıcı mıknatıslığını bırakıp paramanyetik hale geldiği sıcaklık noktasıdır. Mıknatıslanma özelliklerini kaybettikleri bu noktalara curie nokta derinliği denir. Bu yöntemle ısı akısı hesaplamak istersek, yapmamız gereken ilk şey aeromanyetik veriler ile curie nokta derinliklerini belirlemektir. Bu curie nokta derinlik verileri kullanarak en küçük karelere ayırma yöntemi ile ısı akısını hesaplayabiliriz.

Diğer aşamada curie sıcaklığını 580°C kabul ederek curie nokta derinliğininden ısı gradiyentini hesaplarız. Bulduğumuz ısı gradiyeni değerinden;

$$q = (dT/ dz)\ \lambda \qquad (3.13)$$

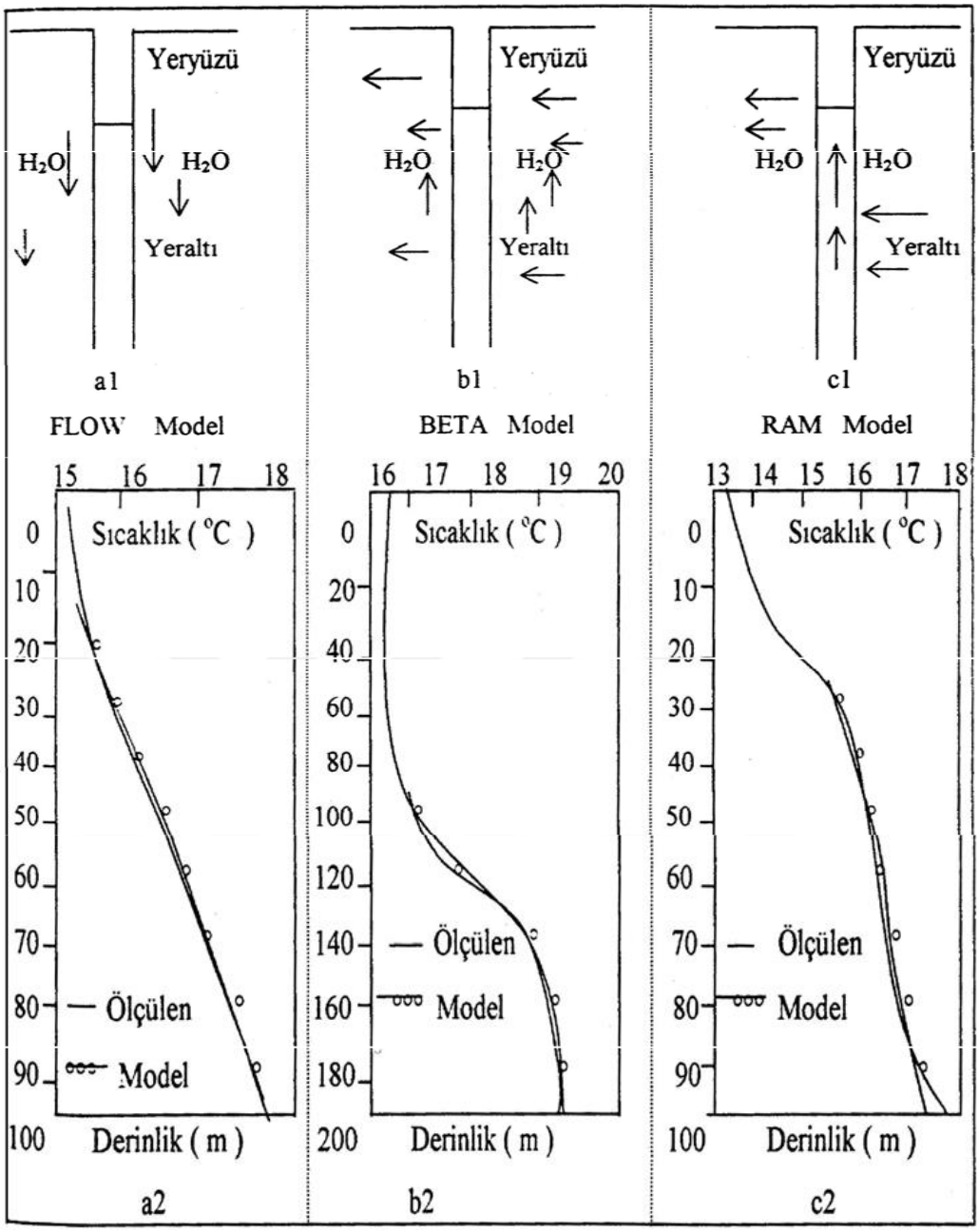
bağıntısını kullanarak ısı akısını hesaplayabiliriz. Şekil 3.7'de Hisarlı (1995) tarafından yapılan Aeromanyetik verilerden elde edilen Curie nokta derinliği örnek haritası verilmektedir.



Şekil 3.7. Aeromanyetik verilerden elde edilen Curie nokta derinliği örneği (Hisarlı, 1995)

3.3.1.5. Modelleme yöntemi ile ısı akısı hesaplama

Türkiye'deki kuyulardan alınmış üç farklı modelleme yöntemi Şekil 3.8. deki örnekte görülmektedir. Bu örnekler kuyu için su hareketlerinin modelleme yöntemi ile daha gerçekçi ısı akısı değerleri elde etmeyi sağlar. Modelleme yönteminde yeraltı sıcaklık kayıtları incelenerek farklı tipteki yeraltı sularınının akış rejimini karakterize etmeyi mümkün kılar.



Şekil 3.8. Üç çeşit modelleme yöntemi (Pfister,1995)

Modelleme yöntemleri;

I. Flow Model
II. Beta Model
III. Ram Model

olarak üç'e ayrılmaktadır.

a-) Flow Modeli ile ısı akısı hesaplama

Düşey yeraltı suyu hareketleri için kullanılmaktadır.

$$\partial^2T/\partial^2z = (c.\rho.VD/\lambda).(\partial T/\partial z) \quad (3.14)$$

c: Yeraltı suyu ısı kapasitesi

ρ: Yeraltı suyu yoğunluğu

λ: Kayaç ısı iletkenlik katsayısı

VD: Yeraltı suyu Darcy hızı

T: Kuyu sıcaklığı

z: Kuyu derinliği

Denkleminden hesaplanmaktadır.

b-) Beta Modeli ile ısı akısı hesaplama

Bazen yeraltı suları belirli tabakalarda ve burdan aşağısındaki derinliklere doğru hareket göstermektedir. Üst tabakalarda yeraltı su hareketlerinin tespit edilemediği, sınırlandırılmış derinliklerde ki düşey su hareketlerinde bu yöntem kullanılmaktadır.

$$\partial^2T(z)/\partial z^2 = (-c.\rho.VD/\lambda(z)).(\partial T(z)/\partial z) \quad (3.15)$$

$$p = (c.\rho.VD.L)/\lambda \quad (3.16)$$

c-) Ram Modeli ile ısı akısı hesaplama

Yeraltında lineer bir sıcaklık gradyanı var ise bu yeraltı su hareketi ile bozulur. Yeraltı suları kuyu içerisindeki gözenekli yapılardan girdiği gibi çıkabilir. Bu gibi durumlarda bir düzeltme yapılması gerekmektedir;

$$T(z) = T(i) + z.\partial T/\partial z \pm [\ e^{-z/A} - 1\ ].A.\partial T/\partial z \quad (3.17)$$

bir haftadan fazla sürelerde;

$$A = v.\rho.c.r^2.f(t)/2\lambda,\ f(t) = -\ln(\ r/2(HD.t)'\ ) - 0.290 \quad (3.18)$$

$\partial T/\partial z$: sıcaklık gradyanı
$\lambda(z)$: kayaç termal iletkenliği
T(i): suyun giriş yaptığı noktadaki sıcaklık
v: kuyudaki akışkanın hızı
r: kuyu yarıçapı
f(t) : zaman fonsiyonu
HD: ısı yayınımı
t: zaman,
denklemleri kullanılır.

Curie nokta derinliklerinden elde edilen ısı akısı değerleri sediman vb. etkenlerden bağımsızdır. Kuyu verilerinden elde edilen ısı akısı değerleri ise sediman yapısı, yaşı ve çökelim kalınlığına bağlı olarak değişebilmektedir.

3.4. Kuyularda Sıcaklık ve Diğer Ölçümler

Kuyuların sıcaklık ve parametrelerini ihtiyaç olan bilgilere göre değişik tipte makinalar kullanarak elde ederiz. Jeotermal arama çalışmalarında kaynakları verimli ve ekonomik kullanmak için ihtiyacımız olan bilgiler kuyu testleri ile elde edilmektedir. Kuyu testlerinde basınç ve sıcaklık ölçüm testleri en önemli aşamasıdır ve bu testler sondaj aşamasında başlayıp üretime kadar devam eder. Bu testler kuyu dinamik ve statik haldeyken yapılabilmektedir. Bu testleri 4 yöntem kullanarak yapabiliriz;

a- Sıcaklık logu: Çatlak zonların tespit edilmesi için kuyularda yapılan sıcaklık kaydı jeotermal çalışmalar için çok önemlidir. Kuyu çalışmasının olduğu zonlardaki geçirgenlik, sıcaklık loğundaki geri dönüş ile belirlenir. Sıcaklık logları kayıtlarında, kuyulardaki soğuk akışkan sirkülasyonundan dolayı

sıcaklık değerlerinde bir miktar hataya neden olur, bu sebeple statik sıcaklık değerlerinin tespit edilmesi için farklı zamanlarda aynı noktada birden fazla ölçüm yapılır. Yapılan ölçümde elde edilen değerler grafik üzerine dökülerek aşağıdaki bağıntı yardımıyla çizilecek doğrusal ilişki ile formasyonun statik sıcaklığı elde edilir.

$$\log (t + \Delta t) / \Delta t \qquad (3.19)$$

t = zaman

Δt = Sirkilasyon sonrası geçen zaman

b- Gamma Ray logu: Doğadaki bazı elemetlerin atomları kendiğilinden parçalanır ve radyoaktif özellikler gösterir. Bu olay yavaş fakat sürekli meydana gelir ve alfa, beta ve gamma ışınları üretir. Bu log yöntemi kayaçlardaki doğal gamma radyasyonunun ölçümünü yapar.

c- SP logu: Genel olarak kuyulardai kuyu içi ve çevresinde bazı olaylar sonucunda oluşan doğal potansiyel değişimlerinin kuyu derinliğinin bir fonksiyonu olarak ölçmek için kullanılan yöntemdir. Sondaj çalışmalayında doğal potansiyel logu ölçümleri; kil birimleri ve gözenekli formasyonların içine giren sondaj çamuru içinde meydana gelen elektro-kimyasal olaylardan ölçülmektedir.

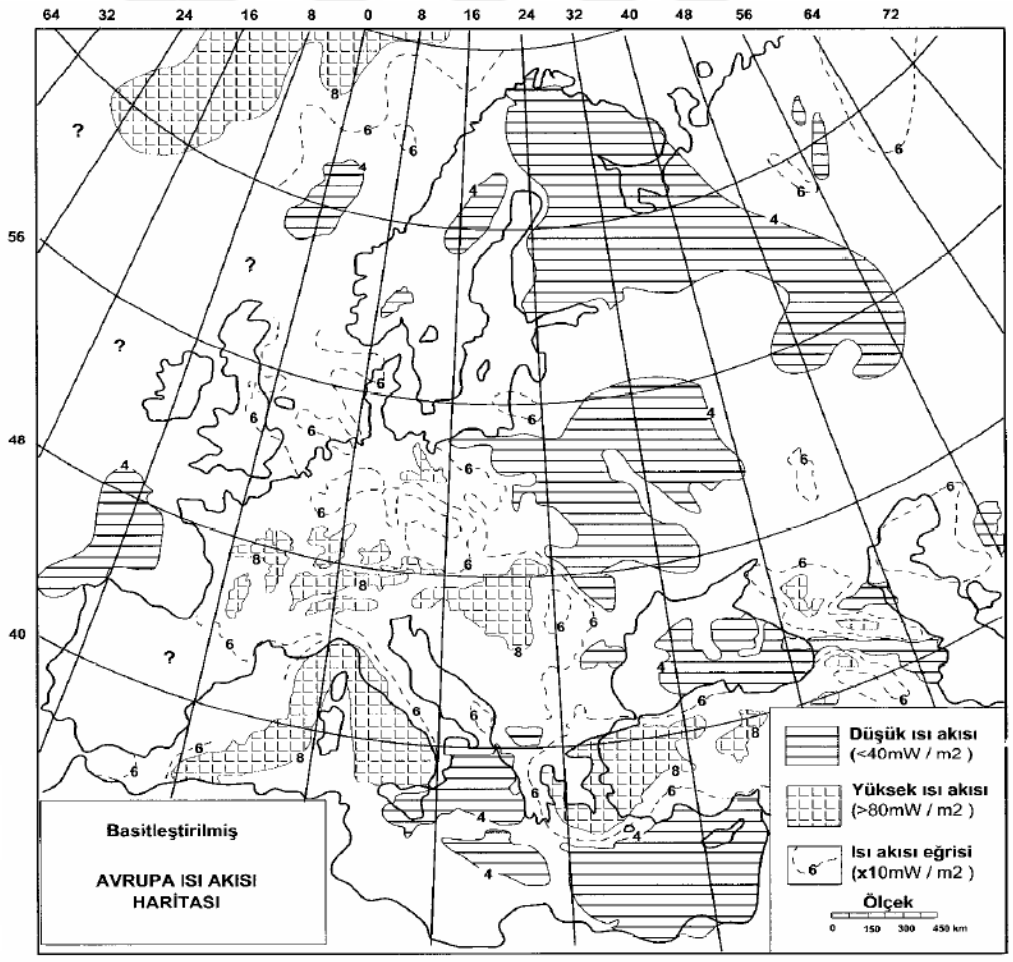
d- Özdirenç logu: Bu çalışmanın temel prensibi, kuyuda geçilen formasyonların görünür özdirenç değişimlerinin ölçülmesidir. Formasyon değiştikçe özdirenç değişeceğinden formasyon sınırlarıda belirlenir. Birimi ohm-m olarak ölçülür.

3.5. Türkiye ve Çevresi Isı Akısı Çalışmaları

Dünyamızı oluşturan maddelerin fiziksel özelliklerinin bir kısmı sıcaklığa bağlı olarak değişir. Yerküreyi tanımak ve yeryüzünü oluşturan kayaların fiziksel özellikleri hakkında bilgi edinmek ve araştırmalar yapmak için (3.11) bağıntısı kullanılmaktadır.

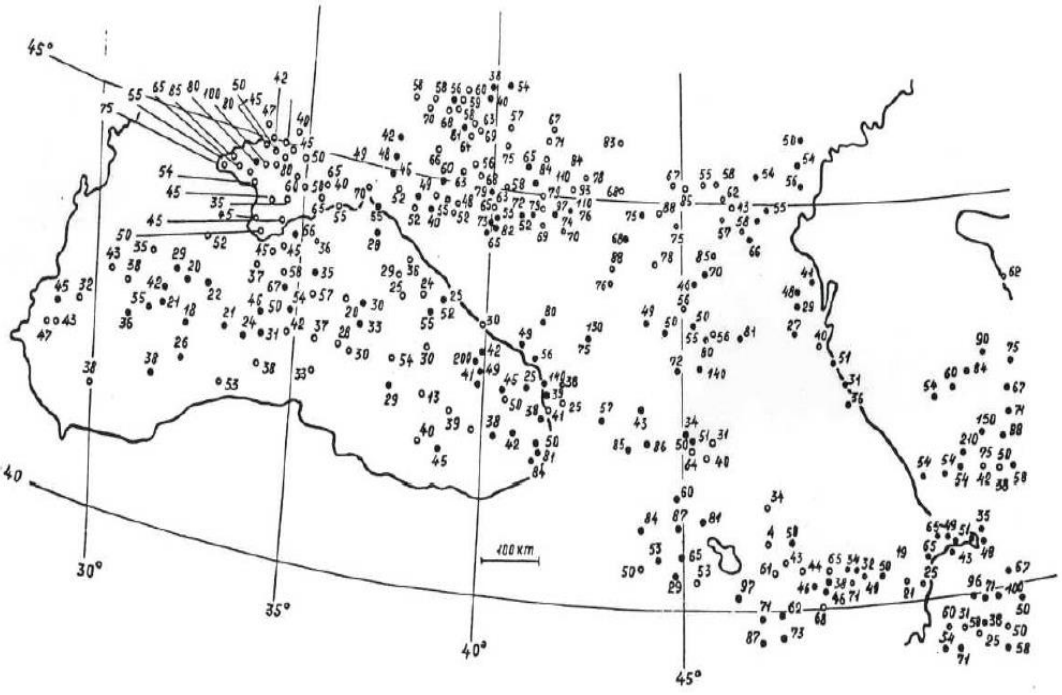
Kaynak özetleri başlığı altında bölgeye ait ısı akısı çalışmaları verilmişti. Bunlara ilave olarak ülkemiz genelinde birçok ısı akısı çalışması yapılmıştır. Akdeniz ve Karadeniz için yapılan çalışma (Erickson, 1970), Ege bölgesi çalışmaları (Jongsma, 1974 ve Fytikas, 1980), Türkiye ısı akısı çalışmaları (Tezcan ve Turgay, 1989; İlkışık, 1992) ayrıca 1995 yılında M.T.A'ya bağlı Jeofizik Etüdleri Dairesi tarafından başlatılıp yürütülen detaylı ısı akısı çalışmaları bulunmaktadır.

Türkiyenin de bir kısmının yer aldığı Avrupa'da kara ve denizlerden yapılan birçok ısı akısı çalışması bulunmaktadır. Bölgede farklı yöntemler kullanılarak yapılan birçok çalışma doğrultusunda elde edilen haritalar incelendiğinde (Şekil 3.9) oldukça doğru yorumlar yapılabilmektedir. Hazar denizi civarında, Kafkaslarda ve Rusya da çok sayıda mevcut iken İran ve Orta Doğu bölgelerinde yayınlanmış çok fazla veri bulunmamaktadır. Türkiye etrafında Akdeniz, Karadeniz ve Ege bölgelerinde birçok ayrıntılı ısı akısı çalışmaları bulunmaktadır.



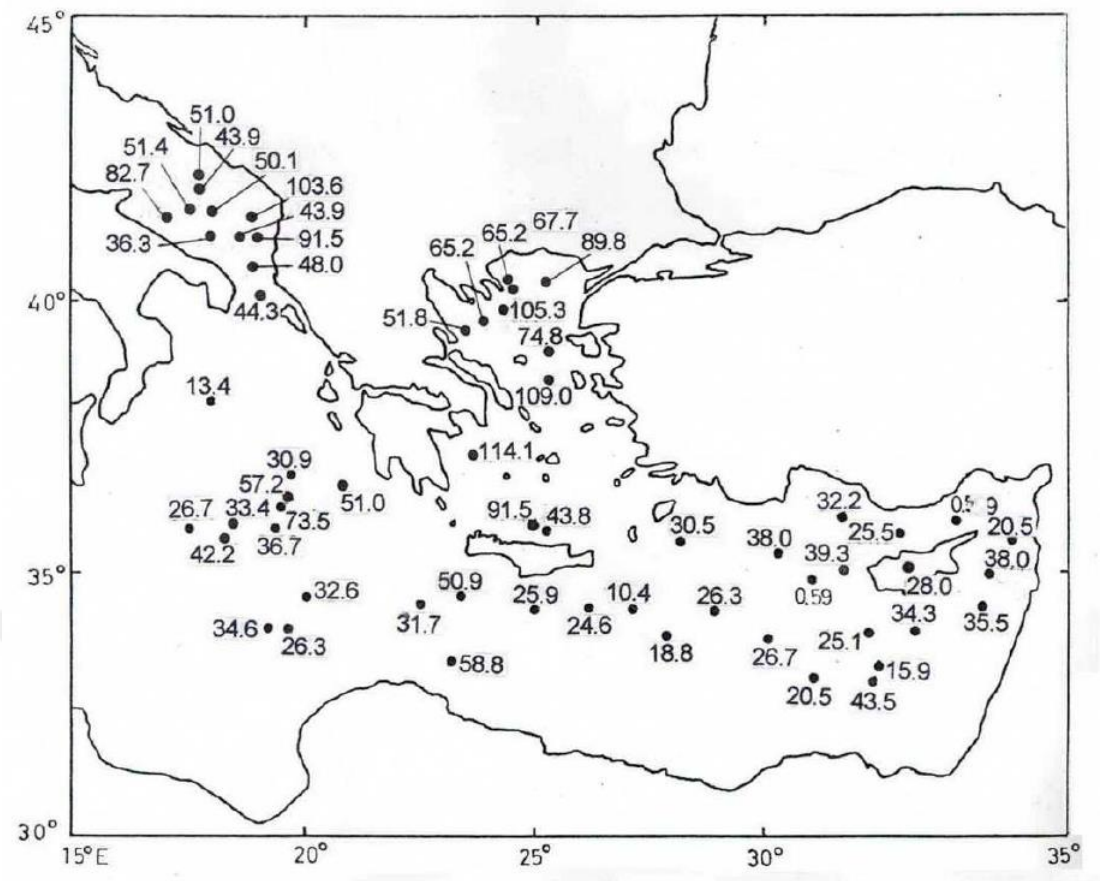
Şekil 3.9. Avrupa ısı akısı haritası (Cermak ve Hurtig, 1978-1979)

Karadeniz bölgesinde, Ericson (1970), Buachidze vd. (1980) ve Gordienko ve Zavgordnyaya (1982), Kutas vd., 1998 ve Starostenko vd. (2014) tarafından ısı akısı çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen ilk verilere bakıldığında bölgenin ısı akı değerlerinin düşük olduğu (35±16 mW/m^2) düşünülmektedir. Bölgenin jeolojisi göz önünde bulundurulup hızlı tortullaşması dikkate alınıp gerekli düzeltmeler yapıldığında ise bu değerin yaklaşık olarak 115 mW/m^2 olduğu, fakat bu düzeltmenin gerçekçiliği bilim insanları tarafından halen tartışılmaktadır (Şekil 3.10).



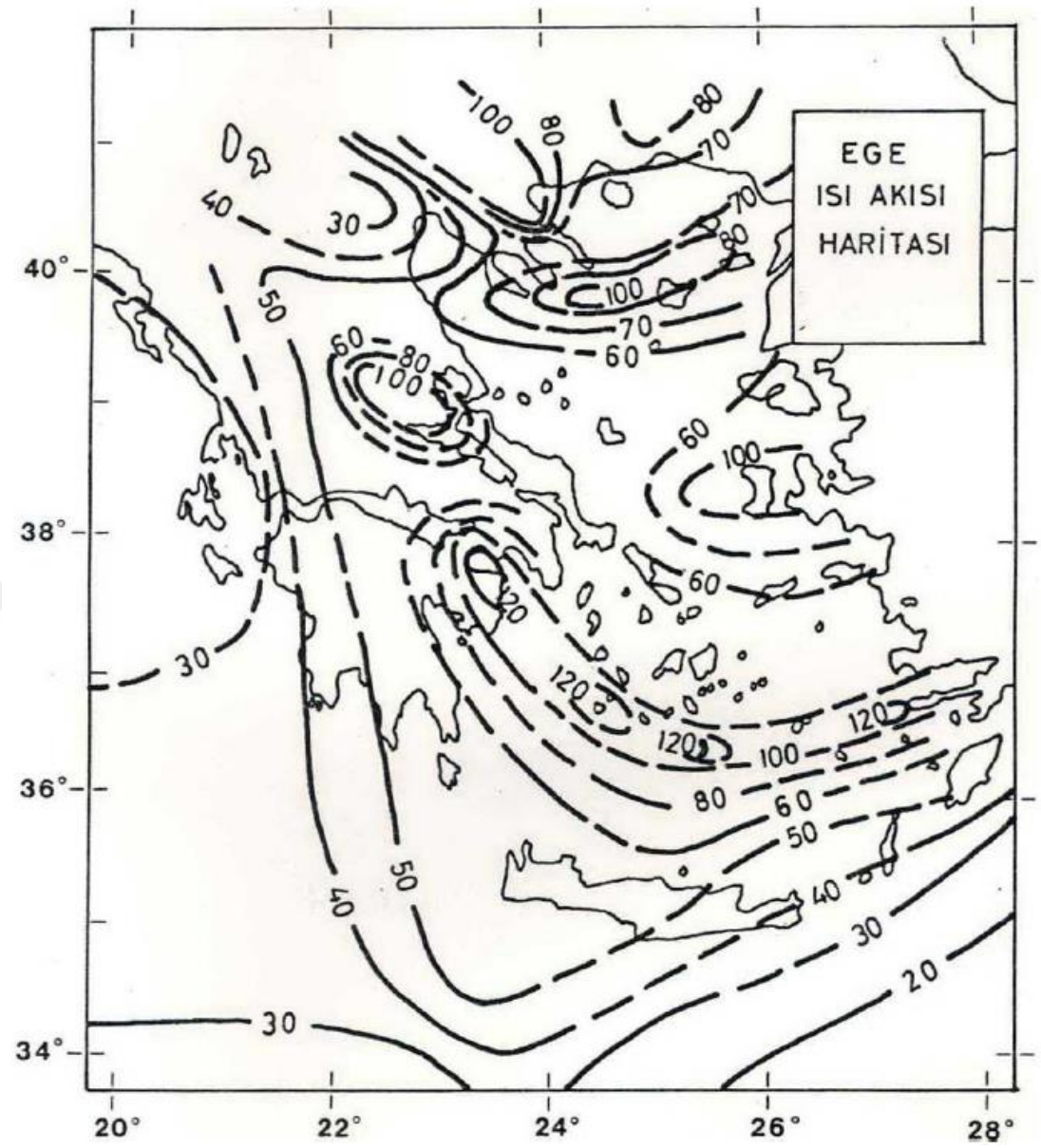
Şekil 3.10. Karadeniz ve Kafkaslar ısı akısı değerleri (Buachidze vd.,1980; Gordienko ve Zavgordnyaya, 1982)

Ericson'un 1970 yılında yapmış olduğu çalışma incelendiğinde, Akdeniz'de yapılan ısı akısı çalışmalarında Doğu ve Batı arasındaki elde edilen verilerde büyük bir fark olduğu (75 mW/m^2 – 150 mW/m^2) tespit etmiştir. İspanya ile Korsika ve Sardunya adaları arasında ölçülen değer ile (75mW/m^2), İtalya tarafında Tiren denizinde yapılan çalışmada bu bölgenin ısı akısının diğer ölçüm noktasının iki katı olduğu (150 mW/m^2) ayrıca dünya standartının da iki katına yakın değere sahip olduğu tespit edilmiştir. Doğu Akdeniz ölçümleri bu bölgeye göre az bir standart sapma ve düşük değere (31±8 mW/m^2) sahiptir. Şekil 3.11'deki ısı akısı değerleri üzerindeki yayın güneyinde (20-30 mW/m^2) düşük değerler ölçülürken, Girit volkanik adalar zincirinde bu değer 120 mW/m^2 gibi yüksek ısı akısı olarak görülmektedir.



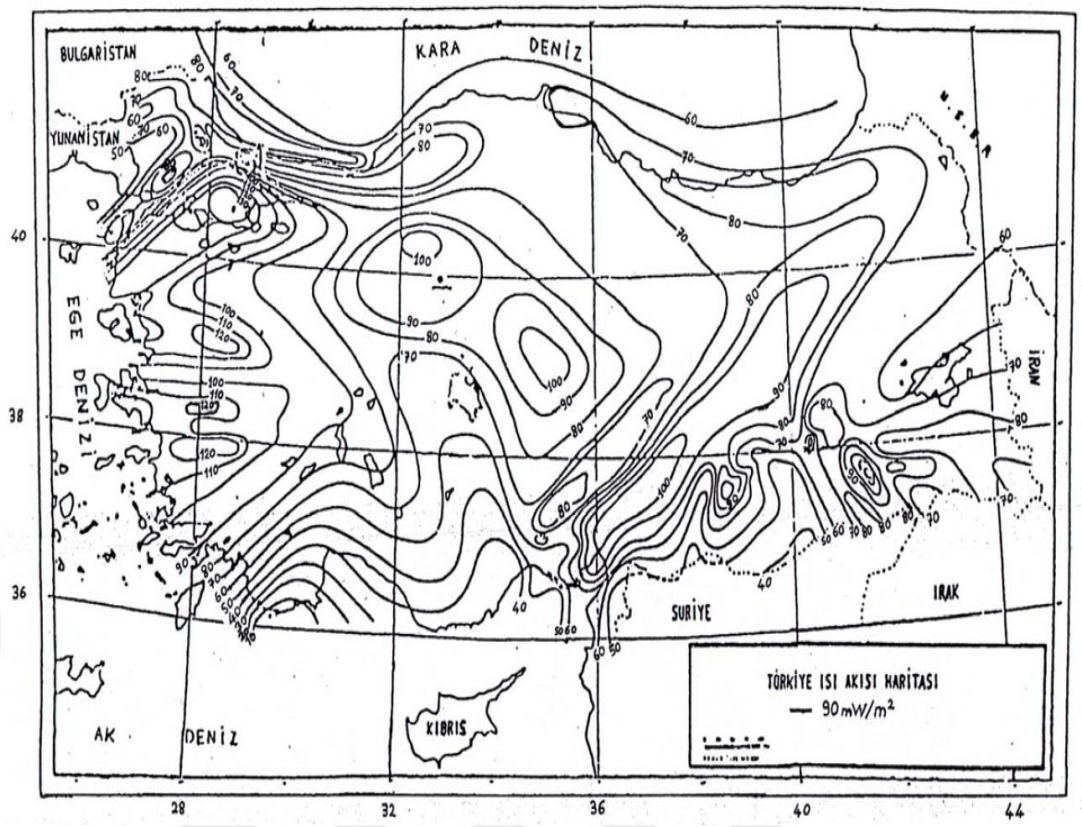
Şekil 3.11. Doğu Akdeniz ve Ege'de ısı akısı değerleri (Ericson, 1970; Jongsma, 1974)

Afrika kıtasının, Avrasya kıtasının altına dalmasının sonucu olarak litosfer ve astenosfer Doğu Akdeniz'de genel olarak düşük ısı akısı değeri, dalma yönünde Girit'in arkasında volkanik adalar zincirine bakıldığında oldukça yüksek değerlere çıkmaktadır. Denizli-Kızıldere jeotermal bölgesi bu kuşağın Batı Anadolu'daki ucundadır. Diğer gözlenen yüksek ısı akısı değeri ise Kuzey Ege bölgesinde Gelibolu ve Biga yarımadası Marmara uzantısındadır. Şekil 3.12'de Ege Denizi'nde Fytikas (1980) tarafından yapılan ısı akısı haritası verilmektedir.



Şekil 3.12. Ege denizi ısı akısı değerleri (Fytikas, 1980)

Türkiye geneli için sabit bir ısı iletim katsayısı (2.1 w/m°C) değeri kullanılarak Türkiye ısı akısı haritası hazırlanmıştır (Şekil.3.13, Tezcan ve Turgay, 1989).



Şekil 3.13. Türkiye ısı akısı haritası (Tezcan ve Turgay, 1989)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI (KUYU TEST UYGULAMALARI)

4.1. Kuyular

Aydın'ın İncirliova bölgesinde Şubat 2021 yılında başlamış olduğumuz sondaj çalışması, Haziran 2021 tarihinde tamamlanmıştır. Çalışma yapılan Efeler-1 kuyusu 3.850 mt' de tamamlanarak liner ile teçhiz edildikten sonra belirlenen program çerçevesinde suya tahvil edildikten sonra test çalışmalarına başlanmıştır. Kuyu öncelikle kompresör ile üretime alınarak temizlik akışı yapılmıştır. Akışkanın berraklaşması üzerine Water Loss, Enjeksiyon ve birkaç gün sonrasında Statik sıcaklık-basınç ve Coiled Tubbing ile nitrojen kullanılarak sıcaklık - basınç (PT) Build Up ve üretim değerleri rezervuar özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Efeler-1 kuyu temizleme ve test çalışması

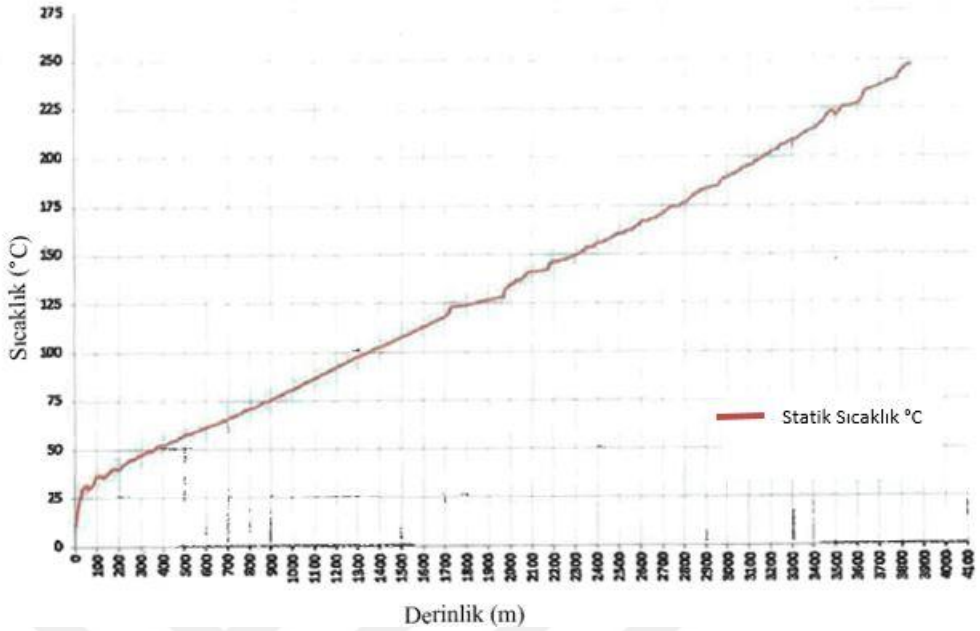
4.2. Sıcaklık ve Basınç (PT) Ölçüleri

4.2.1. Statik sıcaklık ve basınç ölçüleri

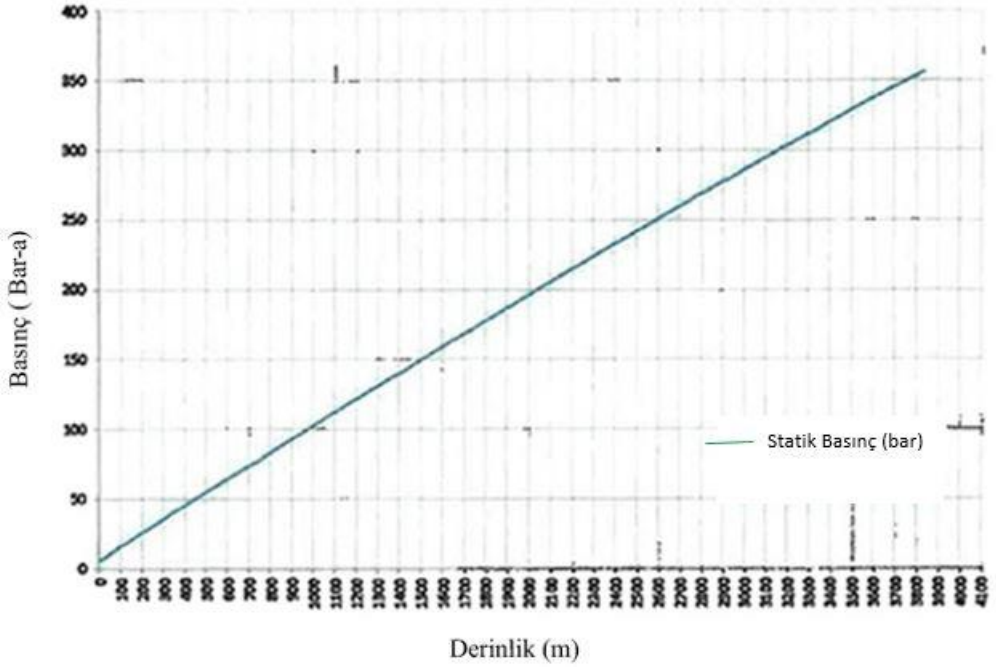
Sinker bar ile kuyu içi kontrolü yapılmış ve ardından Statik PT alınmıştır. İnilebilen maksimum derinlik olan 3.840m'de maksimum sıcaklık 247,07°C, statik basınç ise 5160,55 psi ölçülmüştür. Çizelge 4.1 ile Efeler 1 kuyusuna ait statik sıcaklık ve basınç değerleri verilmektedir. Değerlerin grafikleri Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4 ile verilmektedir.

Çizelge 4.1. Efeler-1 statik sıcaklık ve basınç değerleri

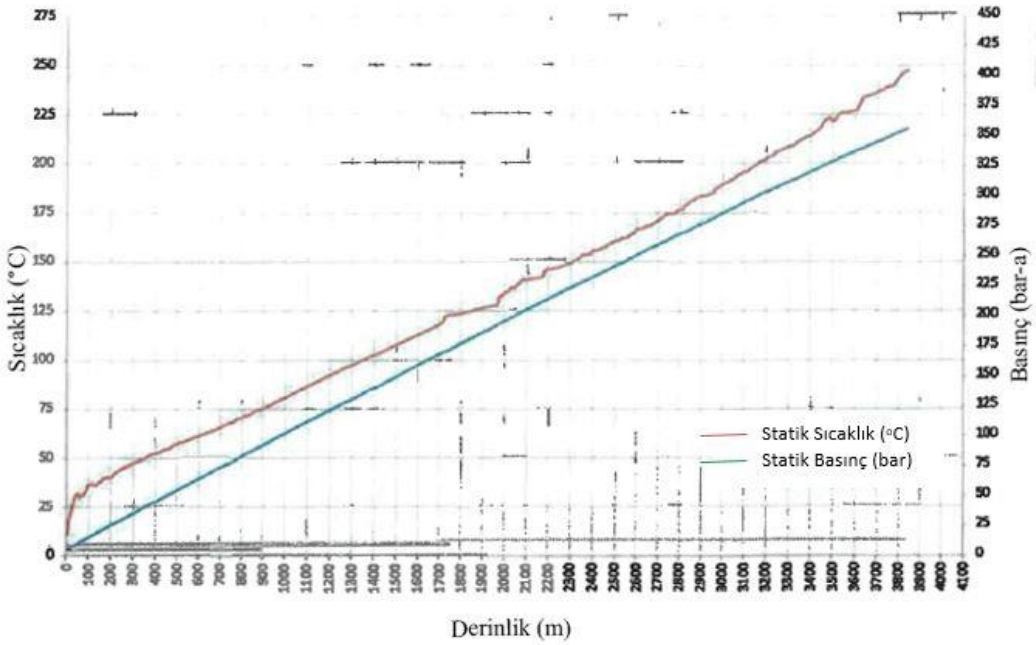
Derinlik	Sıcaklık	Basınç		Derinlik	Sıcaklık	Basınç		Derinlik	Sıcaklık	Basınç	
(m)	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	(m)	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	(m)	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)
0	11,02	92,75	6,4	1200	92,3	1761,54	121,47	2550	162,37	3471,59	246,28
25	25.89	113,6	7,83	1250	95,1	1834,63	126,51	2600	166,6	3635,01	250,66
50	31,98	157,72	10,88	1300	97,57	1898,18	130,89	2650	168,28	3704	255,41
75	31,3	194,98	13,45	1350	100,25	1970,37	135,87	2700	170,83	3764,7	259,6
100	36,64	233,29	16,09	1400	102,7	2032,58	140,16	2750	174,59	3831,83	264,23
150	38,08	304,7	21,01	1450	104,98	2098,87	144,73	2800	176,53	3893,49	268,48
200	40,34	374,64	25,83	1500	107,79	2169,97	149,63	2850	181,06	3958,12	282,94
250	44,73	444,76	30,67	1550	110,31	2242,51	154,63	2900	183,71	4020,46	277,24
300	47,3	510,95	35,23	1600	112,75	2305,84	159	2950	184,97	4078,13	281,21
350	49,6	596,78	41,15	1650	115,53	2379,67	164,09	3000	189,61	4147,14	285,97
400	52,37	652,54	45	1700	118,27	2441,36	168,35	3050	192,57	4210,74	290,36
450	54,59	730,31	50,36	1750	123,16	2504,35	172,69	3100	195,72	4272,71	294,63
500	57,41	793,62	54,73	1800	124	2575,59	177,6	3150	199,14	4339,57	299,24
550	59,37	867,91	59,85	1850	125,21	2644	182,32	3200	202,14	4397,22	303,21
550	59,42	869,84	59,89	1900	126,76	2708,61	186,77	3250	206,12	4459,08	307,48
600	61,35	932,99	64,34	1950	127,78	2775,17	191,36	3300	208,29	4520,94	311,75
650	63,43	1001,889	69,09	2000	134,64	2842,86	196,03	3350	211,77	4580,46	315,85
700	65,84	1071,07	73,86	2050	137,14	2913,23	200,88	3400	214,2	4642,9	320,16
750	68,17	1126,64	77,69	2100	141,19	2978,63	205,39	3450	220,02	4706,26	324,53
800	70,84	1211,69	83,55	2150	141,98	3045,9	210,03	3500	221,26	4765,75	328,63
850	73,34	1280,21	88,28	2200	146,37	3109,95	214,45	3550	225,76	4829,55	333,03
900	75,64	1345,25	92,76	2250	147,36	3182,08	21942	3600	226,92	4891,43	337,29
950	78,34	1418,94	97,84	2300	149,36	3242,89	223,62	3650	234,32	4948,2	341,21
1000	81,03	1484,7	102,38	2350	153,43	3313,79	228,51	3700	236,45	5003,92	345,05
1050	84,01	1559,47	107,53	2400	155,79	3376,21	232,81	3750	239,09	5063,87	249,18
1100	86,57	1623,42	111,94	2450	157,64	3440,19	237,22	3800	243,72	5120,25	353,07
1150	89,58	1697,9	117,08	2500	160,63	3505,42	241,72	3840	247,08	5160,55	355,85



Şekil 4.2. Efeler-1 statik sıcaklık grafiği



Şekil 4.3. Efeler-1 statik basınç grafiği



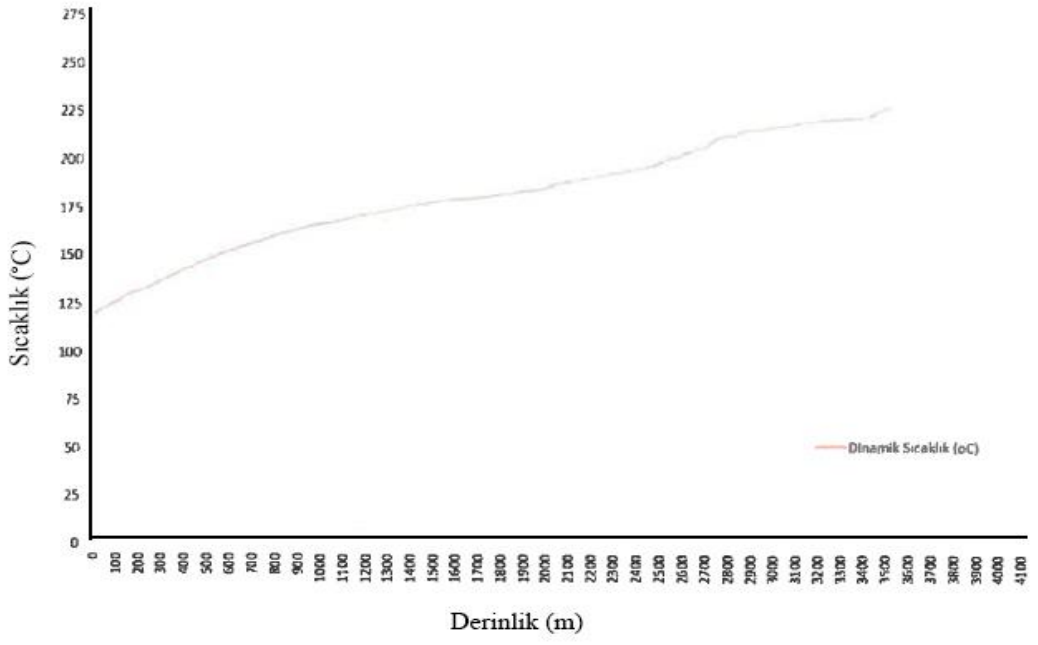
Şekil 4.4. Efeler-1 statik sıcaklık ve basınç grafiği

4.2.2. Dinamik sıcaklık ve basınç ölçüleri

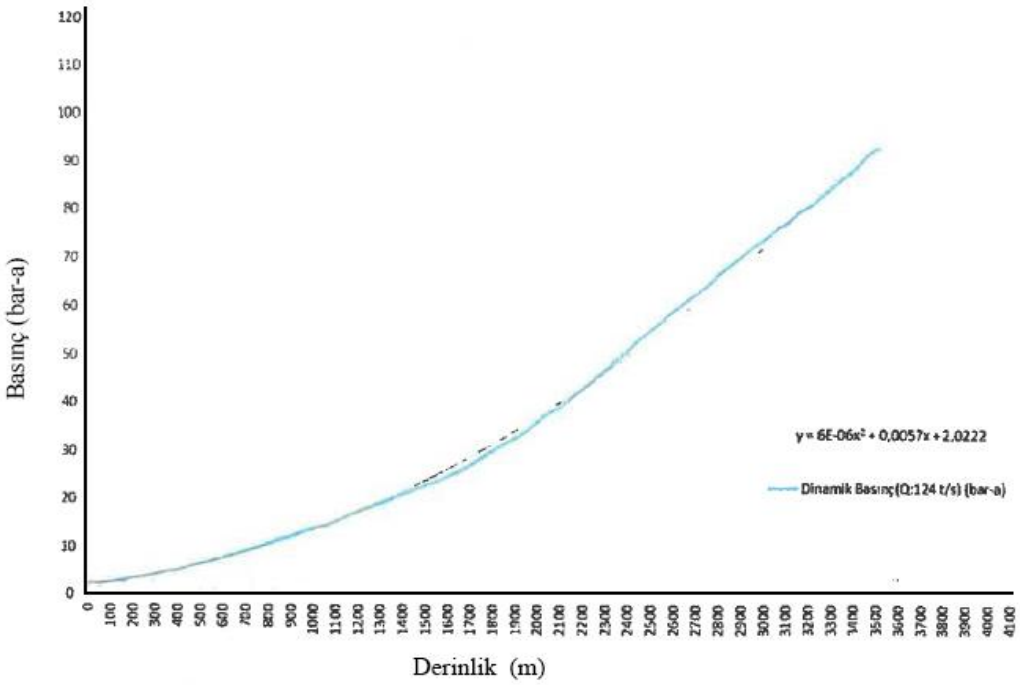
Efeler-1 kuyusu asit ve nitrojen sonrasında yaklaşık 14 saat akışta kalmış ve sonrasında kendiliğinden kesilmiştir. Yatay üretim vanası kapatılarak birkaç gün basınç birikimi için bırakılmış ve sonrasında 46 psi WHP basıncına ulaşınca vana açılmış ve üretim sağlanması üzerine ölçülere başlanmıştır. Üretim sürekli olarak 144-110 t/s debide devam etmiş ve ölçüler de ortalama Q:124 t/s üretim debisinde alınmıştır. Basınçlardan p.i: 0,52 (t/s) bar olarak hesaplanmıştır. Üretim debisinin düşük olmasından dolayı kuyu dibinden itibaren kaynama oluşmakta ve bu da basıncın düşmesine neden olmaktadır. 3500m de statik-dinamik basınç farkı 235,37 bar olarak ölçülmüştür. Bu değer oldukça yüksektir. Bu metreden aşağıya iniş sağlanamamıştır. Bir köprü veya dolgu oluştuğu düşünülmektedir. Testler sonrasında sinker bar inilerek bu seviye tekrar kontrol edilecektir. Çizelge 4.2 ile Efeler 1 kuyusuna ait dinamik sıcaklık ve basınç değerleri verilmektedir. Değerlerin grafikleri Şekil 4.5 - 4.8 ile verilmektedir.

Çizelge 4.2. Dinamik sıcaklık ve basınç değerleri

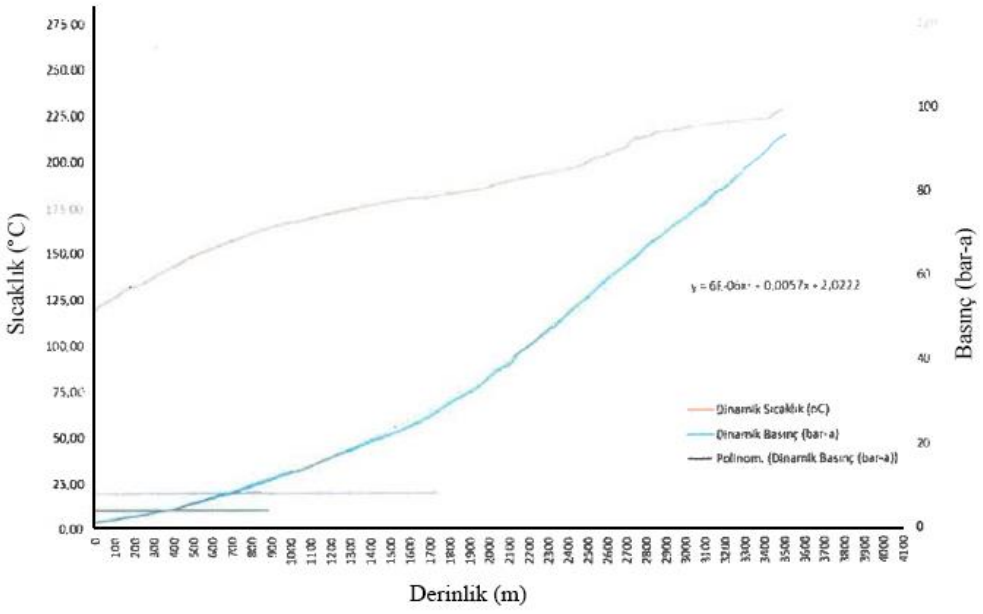
Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç	
dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)
0	218,71	866,3	59,74	2,5	218,93	892,27	61,53	8,4	218,57	1055,92	72,81
0,2	218,71	865,6	59,69	2,6	218,93	894,62	61,69	8,6	218,5	1060,78	73,15
0,4	218,71	864,82	59,63	2,7	218,94	897,24	61,87	8,8	218,44	1065,39	73,46
0,6	218,70	864,25	59,6	2,8	218,96	899,34	62,01	9	218,36	1069,69	73,76
0,8	218,69	866,85	59,77	2,9	218,96	901,79	62,18	9,2	218,29	1074,4	74,09
1	218,70	862,84	59,5	3	218,97	907,04	62,55	9,4	218,16	1071,34	73,88
1,2	218,68	862,82	59,5	3,2	219,02	911,82	62,88	9,6	218,48	1068,69	73,69
1,27	218,68	862,33	59,46	3,4	219,04	918,41	63,31	9,8	218,51	1064,95	73,43
0	218,68	862,26	59,46	3,6	219,06	924,62	63,76	10	218,57	1063,07	73,3
0,2	218,69	862,35	59,46	3,8	219,08	960,35	64,15	10,2	218,59	1062,69	73,28
0,3	218,69	862,01	59,44	4	219,05	936,23	64,56	10,4	218,59	1062,22	73,25
0,4	218,69	861,71	59,42	4,2	219,01	941,86	64,95	10,6	218,57	1063,37	73,33
0,5	218,69	861,52	59,41	4,4	218,97	948,25	65,38	10,8	218,57	1066,07	73,51
0,6	218,69	862,18	59,45	4,6	219	956,01	65,92	11	218,58	1068,96	73,71
0,7	218,70	862,01	59,44	4,8	219,01	961,97	66,33	11,2	218,58	1072,17	73,93
0,8	218,69	862,5	59,47	5	219	966,51	66,65	11,4	218,56	1076,35	74,22
0,9	218,71	863,18	59,52	5,2	219,02	971,85	6701	11,6	218,58	1082,65	74,66
1	218,71	864,34	59,6	5,4	219,04	976,89	67,36	11,8	218,55	1088,56	75,06
1,1	218,71	865,26	59,66	5,6	219,05	982,86	67,77	12	218,52	1097,64	75,69
1,2	218,73	866,4	59,74	5,8	219,07	989,82	68,25	12,5	218,24	111,46	76,78
1,3	218,76	867,71	59,83	6	219,06	995,18	68,62	13	217,95	1128,08	77,79
1,4	218,78	869,26	59,94	6,2	219,05	999,97	68,95	13,5	217,84	1142,12	78,76
1,5	218,8	870,81	60,05	6,4	219,02	1005,58	69,34	14	217,59	1155,9	79,71
1,6	218,82	872,69	60,18	6,6	218,99	1010,96	69,71	14,5	217,47	1169,15	80,62
1,7	218,83	874,75	60,32	6,8	218,95	1016,29	70,08	15	217,21	1169,64	80,65
1,8	218,84	876,71	60,45	7	218,97	1021,7	70,45	15,5	217,7	1159,8	79,97
1,9	218,87	878,7	60,59	7,2	218,9	1025,56	70,72	16	217,86	1160,53	80,03
2	218,88	880,92	60,75	7,4	218,94	1031,54	71,13	16,5	217,85	1167,57	80,51
2,1	218,88	883,06	60,89	7,6	218,82	1036,62	71,48	17	217,9	1176,13	81,1
2,2	218,9	885,51	61,06	7,8	218,73	1041,98	71,85	17,5	217,79	1193,93	82,33
2,3	218,91	887,74	61,21	8	218,69	1046,67	72,17	18	217,44	1216,66	83,9
2,4	218,93	890,08	61,38	8,2	218,63	1051,22	72,49	18,5	217,08	1233,16	85,03



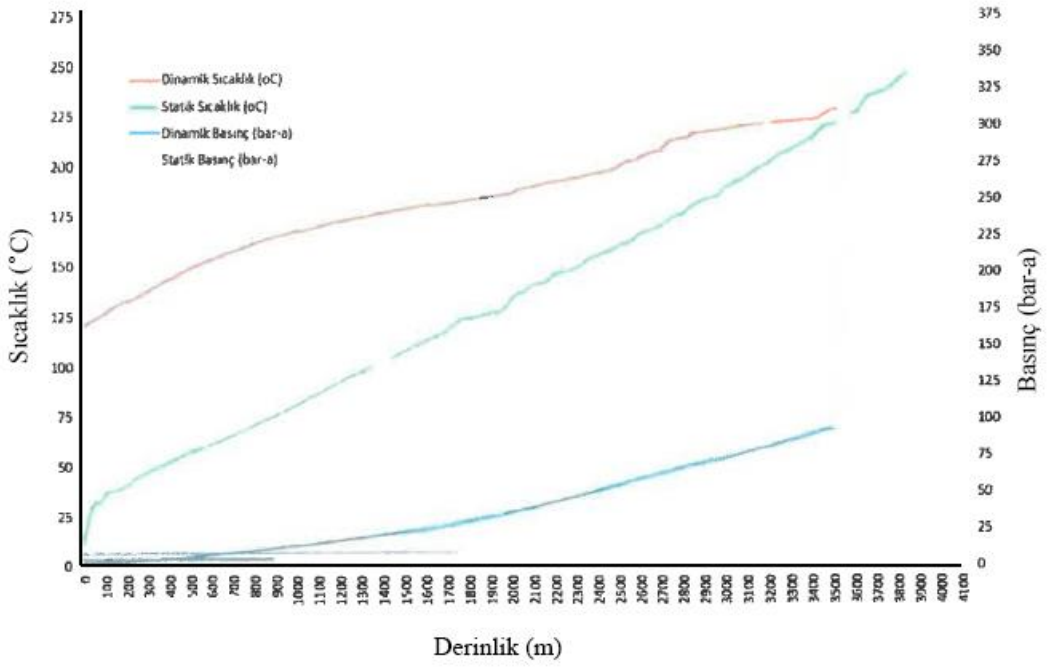
Şekil 4.5. Efeler-1 Dinamik sıcaklık grafiği



Şekil 4.6. Dinamik basınç grafiği



Şekil 4.7. Dinamik sıcaklık ve basınç grafiği



Şekil 4.8. Statik - dinamik sıcaklık ve basinç grafiği

4.2.3. Pressure build up (basınç yükselim) ölçüleri

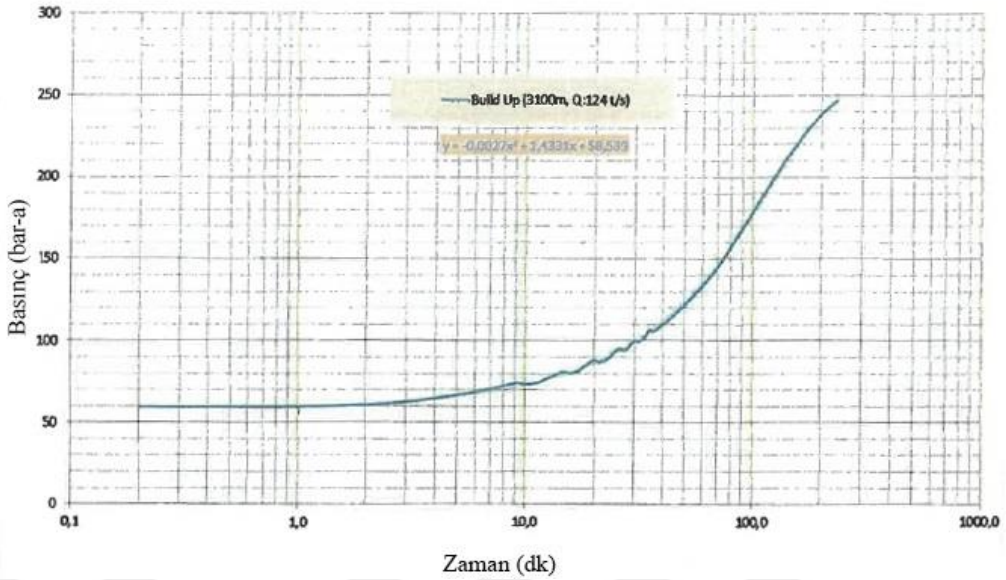
Kuyu maksimum üretimde ortalama124 t/s debide akışta tutulmuş, PT 3.100 m'ye set edilmiş, WHP 32 psi iken Q: 124 t/s debide bir süre daha akış devam etmiş ve yatay vana 78sn de kapatılarak 237 dk build up için beklenmiş ve PT çekilerek test tamamlanmıştır. Build up ölçülerinden p.i:0,66 (t/s) bar olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.3 ve 4.4 ile Efeler 1 kuyusuna ait build Up sıcaklık ve basınç değerleri verilmektedir. Değerlerin grafikleri Şekil 4.9 ve 4.10 ile verilmektedir. Çizelge 4.5. Build Up sırasında WHP değerlerini verirken Şekil 4. 11 bu değerlerin grafiğini göstermektedir.

Çizelge 4.3. Build Up değerleri-1

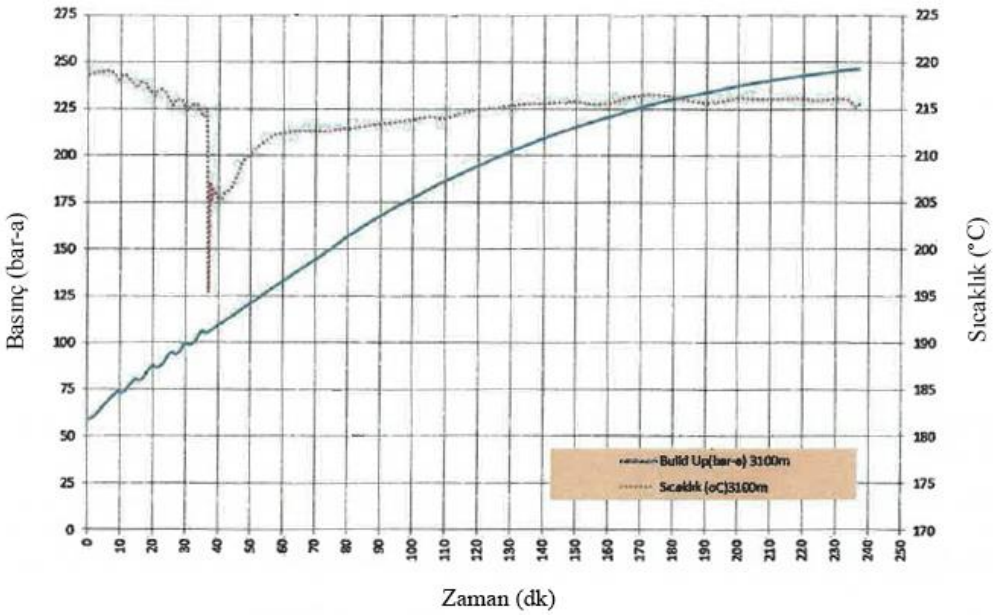
Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç	
dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)
0	218,71	866,3	59,74	2,5	218,93	892,27	61,53	8,4	218,57	1055,92	72,81
0,2	218,71	865,6	59,69	2,6	218,93	894,62	61,69	8,6	218,5	1060,78	73,15
0,4	218,71	864,82	59,63	2,7	218,94	897,24	61,87	8,8	218,44	1065,39	73,46
0,6	218,70	864,25	59,6	2,8	218,96	899,34	62,01	9	218,36	1069,69	73,76
0,8	218,69	866,85	59,77	2,9	218,96	901,79	62,18	9,2	218,29	1074,4	74,09
1	218,70	862,84	59,5	3	218,97	907,04	62,55	9,4	218,16	1071,34	73,88
1,2	218,68	862,82	59,5	3,2	219,02	911,82	62,88	9,6	218,48	1068,69	73,69
1,27	218,68	862,33	59,46	3,4	219,04	918,41	63,31	9,8	218,51	1064,95	73,43
0	218,68	862,26	59,46	3,6	219,06	924,62	63,76	10	218,57	1063,07	73,3
0,2	218,69	862,35	59,46	3,8	219,08	960,35	64,15	10,2	218,59	1062,69	73,28
0,3	218,69	862,01	59,44	4	219,05	936,23	64,56	10,4	218,59	1062,22	73,25
0,4	218,69	861,71	59,42	4,2	219,01	941,86	64,95	10,6	218,57	1063,37	73,33
0,5	218,69	861,52	59,41	4,4	218,97	948,25	65,38	10,8	218,57	1066,07	73,51
0,6	218,69	862,18	59,45	4,6	219	956,01	65,92	11	218,58	1068,96	73,71
0,7	218,70	862,01	59,44	4,8	219,01	961,97	66,33	11,2	218,58	1072,17	73,93
0,8	218,69	862,5	59,47	5	219	966,51	66,65	11,4	218,56	1076,35	74,22
0,9	218,71	863,18	59,52	5,2	219,02	971,85	6701	11,6	218,58	1082,65	74,66
1	218,71	864,34	59,6	5,4	219,04	976,89	67,36	11,8	218,55	1088,56	75,06
1,1	218,71	865,26	59,66	5,6	219,05	982,86	67,77	12	218,52	1097,64	75,69
1,2	218,73	866,4	59,74	5,8	219,07	989,82	68,25	12,5	218,24	111,46	76,78
1,3	218,76	867,71	59,83	6	219,06	995,18	68,62	13	217,95	1128,08	77,79
1,4	218,78	869,26	59,94	6,2	219,05	999,97	68,95	13,5	217,84	1142,12	78,76
1,5	218,8	870,81	60,05	6,4	219,02	1005,58	69,34	14	217,59	1155,9	79,71
1,6	218,82	872,69	60,18	6,6	218,99	1010,96	69,71	14,5	217,47	1169,15	80,62
1,7	218,83	874,75	60,32	6,8	218,95	1016,29	70,08	15	217,21	1169,64	80,65
1,8	218,84	876,71	60,45	7	218,97	1021,7	70,45	15,5	217,7	1159,8	79,97
1,9	218,87	878,7	60,59	7,2	218,9	1025,56	70,72	16	217,86	1160,53	80,03
2	218,88	880,92	60,75	7,4	218,94	1031,54	71,13	16,5	217,85	1167,57	80,51
2,1	218,88	883,06	60,89	7,6	218,82	1036,62	71,48	17	217,9	1176,13	81,1
2,2	218,9	885,51	61,06	7,8	218,73	1041,98	71,85	17,5	217,79	1193,93	82,33
2,3	218,91	887,74	61,21	8	218,69	1046,67	72,17	18	217,44	1216,66	83,9
2,4	218,93	890,08	61,38	8,2	218,63	1051,22	72,49	18,5	217,08	1233,16	85,03

Çizelge 4.4. Build Up değerleri-2

Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç		Zaman	Sıcaklık	Basınç	
dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(°C)	(psi-a)	(Bar-a)
19	216,88	1249,19	86,14	37,5	207,02	1542,18	106,34	90	213.43	2435,43	213,43
19,5	216,74	1264,24	87,18	38	205,33	1549,88	106,87	95	213.61	2508,25	213,61
20	216,52	1278,04	88,13	38,5	206,39	1560,11	107,58	100	213.88	2576,58	213,88
20,5	216,46	1268,01	87,44	39	206,05	1568,3	108,14	105	214.16	2644,28	214,16
21	216,85	1258,21	86,76	39,5	205,87	1576,33	108,7	110	214.04	2709,91	214,04
21,5	216,96	1261,54	86,99	40	205,44	1590,75	109,59	115	214.68	2769,23	214,68
22	217,01	1266,92	87,36	41	205,45	1601,6	110,44	120	215	2825,46	215
22,5	217,04	1275,52	87,95	42	206,07	1617,9	111,56	125	215.14	2883,62	215,14
23	217,04	1284,43	88,57	43	206,24	1636,18	112,82	130	215.38	2937,87	215,38
23,5	216,96	1299,42	89,6	44	206,62	1653,55	114,02	135	215.58	2989,98	215,58
24	216,62	1325,05	91,37	45	207,43	1669,83	115,14	140	215.59	3038,83	215,59
24,5	216,12	1344,3	92,7	46	208,17	1689,78	116,52	145	215.72	3084,79	215,72
25	215,88	1360,27	93,8	47	209,08	1706,76	117,69	150	215.78	3127,61	215,78
25,5	215,71	1375,99	94,88	48	209,61	1723,51	118,85	155	215.51	3166,63	215,51
26	215,38	1380,65	95,2	49	209,92	1741,18	120,06	160	215.66	3206,86	215,66
26,5	215,72	1363,5	94,02	50	210,28	1758,07	121,23	165	216.18	3244,21	216,18
27	216,12	1360,26	93,8	51	210,7	1775,16	122,41	170	216.51	3280,75	216,51
27,5	216,09	1367,12	94,27	52	211	1793,3	123,66	175	216.56	3313,25	216,56
28	216,09	1374,83	94,8	53	211,21	1810,16	124,82	180	216.29	3341,8	216,29
28,5	216,07	1388,66	95,76	54	211,52	1827,22	126	185	215.88	3368,3	215,88
29	215,75	1416,68	97,69	55	211,82	1842,32	127,25	190	215.65	3393,01	215,65
29,5	215,3	1434,16	98,89	56	212	1862,17	128,41	195	215.87	3419,24	215,87
30	214,97	1449,64	99,96	57	212,34	1879,56	129,61	200	216.2	3445,5	216,2
30,5	214,8	1451,08	100,06	58	212,34	1896,28	130,76	205	216.09	3467,72	216,09
31	215,19	1435,99	99,02	59	212,41	1913,58	131,95	210	216.08	3486,98	216,08
31,5	215,3	1437,65	99,13	60	212,47	1931,04	133,16	215	216.12	3506,42	216,12
32	215,42	1444,72	99,62	62	212,58	1964,12	135,44	220	216.11	3524,49	216,11
32,5	215,52	1452,66	100,17	64	212,68	1997,46	137,74	225	215.93	3540,42	215,93
33	215,54	1465,48	101,05	66	212,67	2031,78	140,1	230	216.15	3558,51	216,15
33,5	215,45	1476,33	101,8	68	212,68	2064,37	142,35	231	216.13	3561,84	216,13
34	215,12	1503,25	103,66	70	212,66	2096,91	144,59	232	216.08	3564,82	216,08
34,5	214,72	1526,03	105,23	72	212,66	2129,36	146,83	233	216.02	3567,8	216,02
35	214,3	1542,25	106,35	74	212,64	2165,87	149,35	234	215.94	3570,61	215,94
35,5	214,15	1544,85	106,53	76	212,77	2202,34	151,86	235	215.55	3572,74	215,55
36	214,47	1527,65	105,34	78	212,89	2239,12	154,4	236	215.24	3575,28	215,24
36,5	214,7	1528,19	105,38	80	212,95	2276,71	156,99	237	215.55	3578,62	215,55
37	195,49	1534,8	105,83	85	213,19	2356,89	162,52	237	215.55	3578,74	215,55



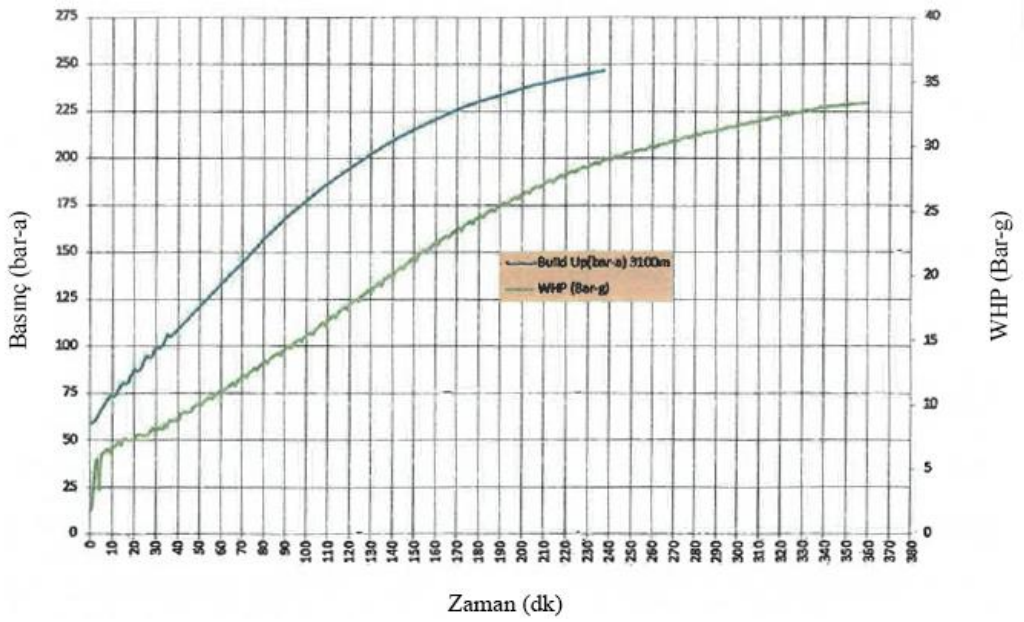
Şekil 4.9. Build Up semi log grafiği



Şekil 4.10. Build Up sırasında basınç ve sıcaklık değişim grafiği

Çizelge 4.5. Build Up sırasında WHP değerleri

Zaman	Basınç		Zaman	Basınç		Zaman	Basınç	
dk	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(psi-a)	(Bar-a)	dk	(psi-a)	(Bar-a)
0	26,09	1,8	18	106,24	7,33	190	369,62	25,49
1	40,58	2,8	20	106,99	7,38	200	382,24	26,36
2	73,89	5,1	30	115,34	7,95	210	393,92	27,16
3	83,4	5,75	40	128,07	8,83	220	404,56	27,9
4	50,16	3,46	50	147,39	10,16	230	413,72	28,53
5	88,73	6,12	60	161,41	11,13	240	420,37	28,99
6	91,94	6,34	70	176,6	12,18	250	427,94	29,51
7	93,64	6,46	80	192,45	13,27	260	436,16	30,08
8	95,62	6,59	90	207,68	14,32	270	442,6	30,52
9	91,87	6,34	100	223,01	15,38	280	448,78	30,95
10	97,42	6,72	110	240,11	16,56	290	454,21	31,32
11	99,06	6,83	120	257,57	17,76	300	459,64	31,69
12	100,51	6,93	130	270,1	18,63	310	464,87	32,06
13	103,44	7,13	140	288,33	19,88	320	470	32,41
14	100,27	6,91	150	311,02	21,45	330	475,03	32,76
15	106,76	7,36	160	327,47	22,58	340	478,52	33
16	107,29	7,4	170	342,62	23,63	350	482,11	33,24
17	106,25	7,33	180	356,54	24,59	359	484,47	33,41



Şekil 4.11. Build Up sırasında rezervuar ve WHP basınç değişim zaman grafiği

4.3. Enjeksiyon Ölçüleri

4.3.1. Water loss (su kaybı) testi

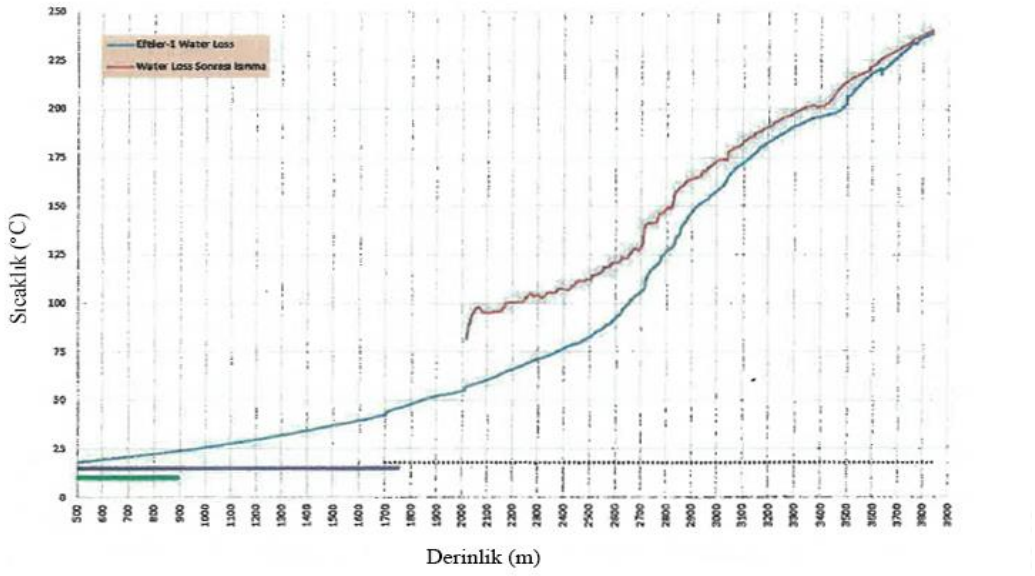
Efeler-1 kuyusunda WHP 860 psi basınçta ve ortalama 10 lt/sn debide su basılarak test yapılmıştır. 3500 m' de WHP basıncının yüksek olmasından dolayı TOOL u riske etmemek için pompa kapatılmış ve tabana kadar ölçü bu şekilde alınmıştır. 3838 m'de 2 saat bekleme yapılmış, 3838-2000 m arasındaki sıcaklıklar ölçülmüş ve tam çıkış yapılarak test tamamlanmıştır. Test süresince 220m^3 temiz su kullanılmıştır. Çizelge 4.6. ve 4.7 Water Loss değerlerini göstermektedir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).

Çizelge 4.6. Water Loss değerleri

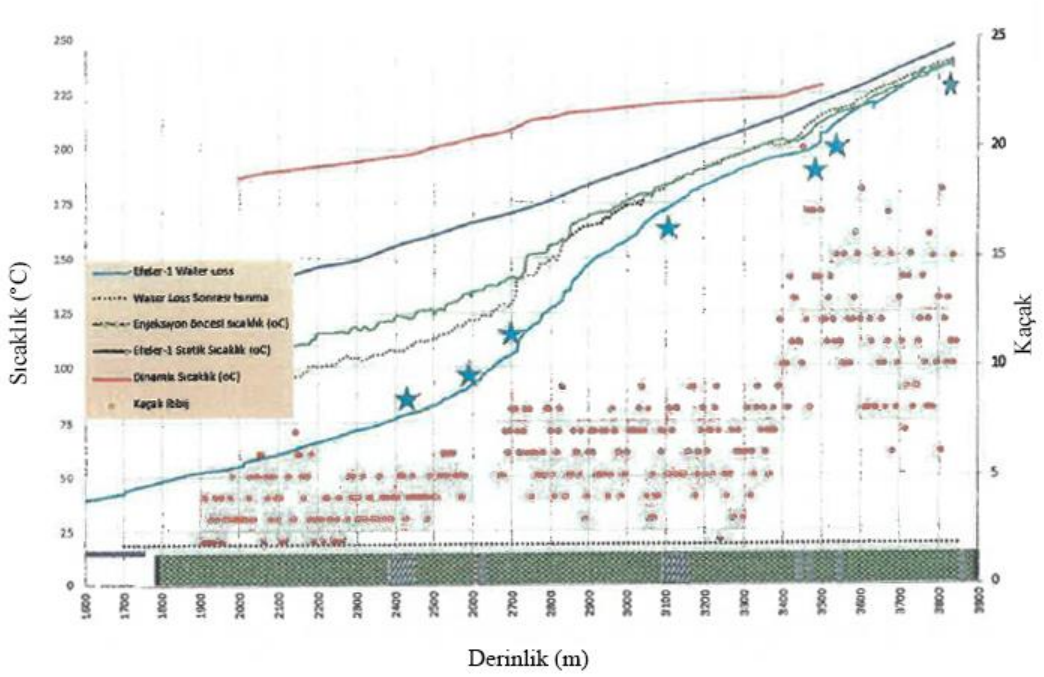
Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
500	18,1	2400	76,95	3050	166,08
600	19,5	2450	79,21	3100	171,82
700	20,94	2500	82,59	3150	177,45
800	22,41	2550	87	3200	182,93
900	24,06	2600	92,53	3250	187
1000	25,77	2650	99,46	3300	191,17
1100	27,71	2700	105,9	3350	194,15
1200	29,75	2710	106,82	3400	196,02
1300	32,14	2720	112,77	3450	197,75
1400	34,49	2750	118,37	3500	202,34
1500	37,12	2780	124,31	3550	212,06
1600	39,74	2790	125,22	3600	218,35
1700	42,53	2795	126,14	3650	220,67
1800	48,05	2800	126,81	3700	226,42
1900	52,22	2825	129,74	3750	232,31
2000	54,94	2850	135,17	3800	236,47
2100	60,63	2900	147,07	3838	238,88
2200	65,94	2950	152,67		
2300	71,46	3000	157,71		

Çizelge 4.7. Water Loss sonrası ısınma değerleri

Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)
2300	104,27	2875	162,63	3350	201,41
2350	105,51	2900	164,27	3375	201,79
2400	107,23	2925	165,04	3400	201,48
2451	111,09	2950	167,41	3425	202,84
2500	111,97	2975	171,04	3450	206,67
2525	114,73	3000	173,4	3475	210,94
2550	116,99	3026	174,18	3500	213,84
2575	118,74	3050	178,53	3526	216,17
2600	121,02	3076	180,39	3550	217,65
2625	123,55	3100	181,65	3600	222,01
2650	124,71	3126	185,34	3626	224,54
2675	128,1	3150	187,63	3650	226,88
2700	128,67	3176	188,57	3676	228,55
2726	141,12	3200	190,77	3700	230,17
2751	141,52	3226	193,4	3725	232,51
2775	146,51	3251	195,13	3751	234,13
2800	148,42	3275	196,23	3776	236,09
2825	151,84	3300	197,88	3800	238,24
2851	159,53	3325	199,99	3837	238,88



Şekil 4.12. Water Loss ve Water Loss sonrası ısınma grafiği



Şekil 4.13. WL dinamik, statik sıcaklık, çamur kaçakları ve ısınma grafikleri

Formasyon, çamur sıcaklıkları ve kaçakları, Water Loss, statik – dinamik sıcaklık verilerini değerlendirdiğimizde üretim yapan rezervuar zonu yaklaşık 200-220°C sıcaklık ve 2450-3500 m arası verilebilir.

Bunun dışında 2700-3200 m arasından da kısmi bir geliş görülebilmektedir. Grafikler incelendiğinde 2430-2700 m arasındaki kayaç sıcaklığından daha sıcak bir akışın olduğu görülmektedir. Buradan da sahada daha sıcak akışkanın üretilebileceği öngörülebilir.

4.3.2. Tek debili enjeksiyon (tde) testi

Basma sırasında WHP basınçlarının 900 psi seviyelerine çıkmasının görülmesi üzerine enjeksiyon testinde bu basınçları geçirmemek için tek debide enjeksiyon yapılması planlanmıştır. PT tool 2750 m'ye set edilmiş ve tek debide (Q = 10,5 lt/sn) 82 dk temiz su basılmış ve 75 dk fall off için beklendikten sonra test tamamlanmıştır. Test süresince ortalama 50m^3 temiz su kuyuya basılmıştır. Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9 ile Tek debili enjeksiyon ve Fall Off değerleri verilmektedir (Şekil 4.14 - Şekil 4.16)

Çizelge 4.8. Tek debili enjeksiyon ve Fall Off değerleri-1

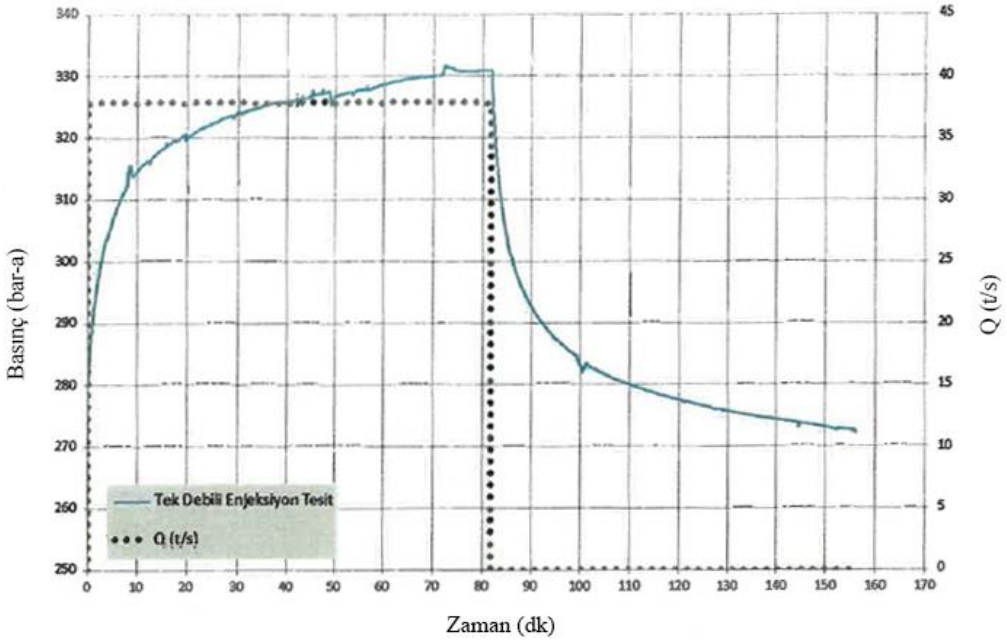
Zaman	Basınç		Sıcaklık	Debi		Zaman	Basınç		Sıcaklık	Debi	
dk	(psi-a)	(Bar-a)	(°C)	(lt/sn)	(t/s)	dk	(psi-a)	(Bar-a)	(°C)	(lt/sn)	(t/s)
0	4067,4	280,5	153,2	0	0	16	4624,1	318,9	150,1	10,5	38
0,03	4073,1	280,9	153,2	10,5	38	17	4631,5	319,4	149,9	10,5	38
0,1	4086,7	281,8	153,2	10,5	38	18	4635,1	319,6	149,7	10,5	38
0,2	4104,4	283	153,2	10,5	38	19	4644,2	320,2	149,4	10,5	38
0,3	4121,7	284,2	153,3	10,5	38	20	4639,2	319,9	149,2	10,5	38
0,4	4137,4	285,3	153,3	10,5	38	21	4648,9	320,6	149	10,5	38
0,5	4152,8	286,4	153,3	10,5	38	22	4657,9	321,2	148,8	10,5	38
0,6	4167,1	287,3	153,3	10,5	38	23	4663,9	321,6	148,6	10,5	38
0,7	4180,6	288,3	153,3	10,5	38	24	4669,9	322	148,5	10,5	38
0,8	4192,9	289,1	153,3	10,5	38	25	4575,1	322,4	148,5	10,5	38
0,9	4205	290	153,3	10,5	38	26	4679,3	322,7	148,1	10,5	38
1	4216,3	290,7	153,3	10,5	38	27	4686	323,1	148	10,5	38
1,5	4265,5	294,1	153,3	10,5	38	28	4689,9	323,4	147,8	10,5	38
2	4305,9	296,9	153,3	10,5	38	29	4690,9	323,5	147,6	10,5	38
2,5	4339,7	299,2	153,3	10,5	38	30	4696,2	323,8	147,5	10,5	38
3	4369,4	301,3	153,3	10,5	38	31	4698,6	324	147,4	10,5	38
3,5	4393,7	303	153,3	10,5	38	32	4705,7	324,5	147,3	10,5	38
4	4406,2	303,8	153,1	10,5	38	33	4706,7	324,6	147,1	10,5	38
4,5	4427	305,3	152,9	10,5	38	34	4710,5	324,8	147	10,5	38
5	4447,8	306,7	152,8	10,5	38	35	4714,9	325,1	146,8	10,5	38
6	4480,4	309	152,7	10,5	38	36	4718,9	325,4	146,8	10,5	38
7	4506,2	310,7	152,1	10,5	38	37	4721,7	325,6	146,6	10,5	38
8	4529	312,3	152	10,5	38	38	4724	325,7	146,6	10,5	38
9	4551,3	313,8	151,7	10,5	38	39	4724,8	325,8	146,5	10,5	38
10	4561,5	314,5	151,4	10,5	38	40	4722,6	325,7	146,4	10,5	38
11	4576	315,5	151,2	10,5	38	41	4727,5	326	146,4	10,5	38
12	4581,2	315,9	151	10,5	38	42	4729,8	326,1	146,3	10,5	38
13	4593,8	316,8	150,9	10,5	38	43	4730,9	326,2	146,1	10,5	38
14	4605,8	317,6	150,6	10,5	38	44	4734,3	326,5	146	10,5	38
15	4614,9	318,2	150,3	10,5	38	45	4735,7	326,6	145,7	10,5	38

Çizelge 4.9. Tek debili enjeksiyon ve Fall Off değerleri-2

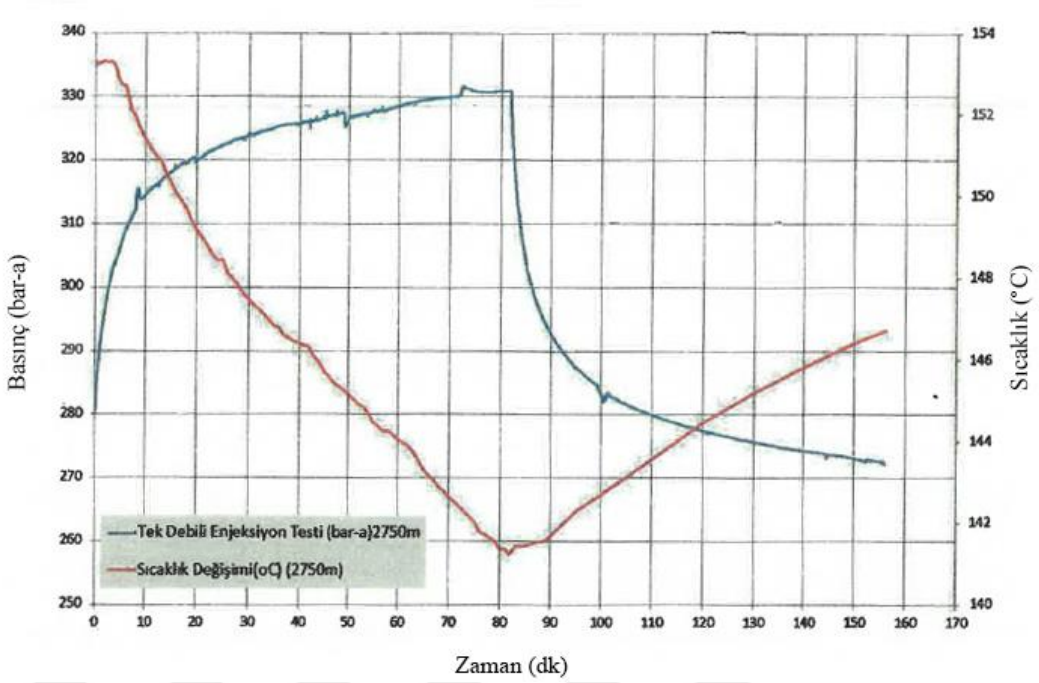
Zaman	Basınç		Sıcaklık	Debi		Zaman	Basınç		Sıcaklık	Debi	
dk	(psi-a)	(Bar-a)	(°C)	(lt/sn)	(t/s)	dk	(psi-a)	(Bar-a)	(°C)	(lt/sn)	(t/s)
46	4742	327	145,6	10,5	38	73	4804,8	331,3	142,3	10,5	38
47	4744,3	327,2	145,5	10,5	38	74	4803,2	331,2	142,2	10,5	38
48	4746,4	327,3	145,4	10,5	38	75	4798,6	330,9	142,1	10,5	38
49	4749,1	327,5	145,3	10,5	38	76	4795,2	330,7	141,8	10,5	38
50	4738,8	326,8	145,2	10,5	38	77	4795,4	330,7	141,8	10,5	38
51	4742,2	327	145	10,5	38	78	4796,1	330,7	141,7	10,5	38
52	4744,9	327,2	144,9	10,5	38	79	4797,1	330,8	141,6	10,5	38
53	4746,4	327,3	144,9	10,5	38	80	4798	330,8	141,4	10,5	38
54	4746,7	327,3	144,7	10,5	38	81	4798,5	330,9	141,4	10,5	38
55	4753,6	327,8	144,5	10,5	38	81,73	4799,4	330,9	141,3	10,5	38
56	4754,1	327,8	144,4	10,5	38	81,77	4799,2	330,9	141,2	0	0
57	4754,9	327,9	144,3	10,5	38	82	4725,5	325,9	141,3	0	0
58	4758,6	328,1	144,3	10,5	38	83	4566,1	314,9	141,5	0	0
59	4762,4	328,4	144,2	10,5	38	84	4471,6	308,3	141,5	0	0
60	4764,5	328,5	144,1	10,5	38	85	4405,9	303,8	141,5	0	0
61	4768,4	328,8,	144	10,5	38	86	4356	300,4	141,5	0	0
62	4771	329	143,9	10,5	38	87	4318,8	297,8	141,5	0	0
63	4773,5	329,2	143,8	10,5	38	88	4289,3	295,8	141,6	0	0
64	4776,1	329,3	143,6	10,5	38	89	4264,7	294,1	141,6	0	0
65	4779,5	329,6	143,4	10,5	38	90	4243,4	292,6	141,7	0	0
66	4779,4	329,6	143,2	10,5	38	95	4167,7	287,4	142,3	0	0
67	4782,4	329,8	143,1	10,5	38	100	4107,2	283,2	142,7	0	0
68	4783	329,8	142,9	10,5	38	110	4060,6	280	143,6	0	0
69	4784,6	329,9	142,8	10,5	38	120	4024,1	277,5	144,5	0	0
70	4785,3	330	142,6	10,5	38	130	3998,5	275,7	145,2	0	0
71	4786,4	330	142,5	10,5	38	140	3979	274,4	145,8	0	0
72	4801,3	331,1	142,4	10,5	38	156,13	3948	272,2	146,8	0	0

75 dk fall off beklemesinin ilk 3 dk'da 23 bar, 5 dk'da 31 bar, 10 dk'da 39 bar, 20 dk'da 48 bar ve geri kalan 55 dk'da 11 bar basınç basınç farkı gözlenmiştir. Toplamda yaklaşık 59 bar basınç düşümü görülmüştür.

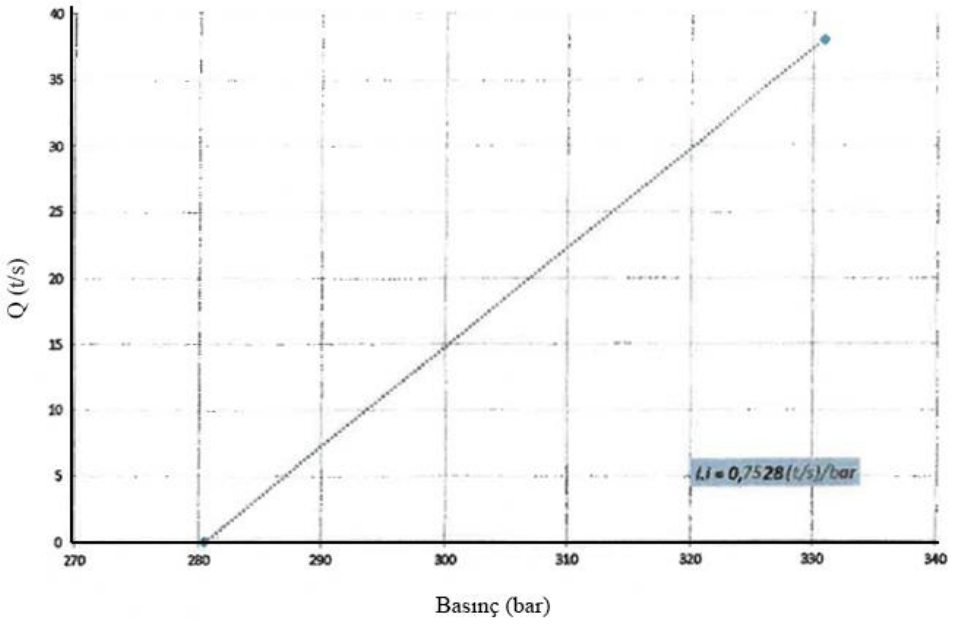
2750m de 153,3°C olan sıcaklık 50m^3 enjeksiyon sonunda 141°C'ye (12,5°c) soğumuş ve enjeksiyon kesilmesi sonrasında fall off zamanı olan 75 dk'da 146,8°C'ye (5,8°C) ısınmıştır. Kuyuya 38 t/s debi WHP:62,9 bar basınçta basılabilmiştir. Kuyunun i,i: 0,75(t/s) bar olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.14. TDE ve Fall Off grafiği



Şekil 4.15. ÇDE-Faa Off ve sıcaklık değişimi grafiği



Şekil 4.16. Injektivite Indeksi grafiği

4.4. Coiled Tubing İle Temizlik ve Asit Enjeksiyonu

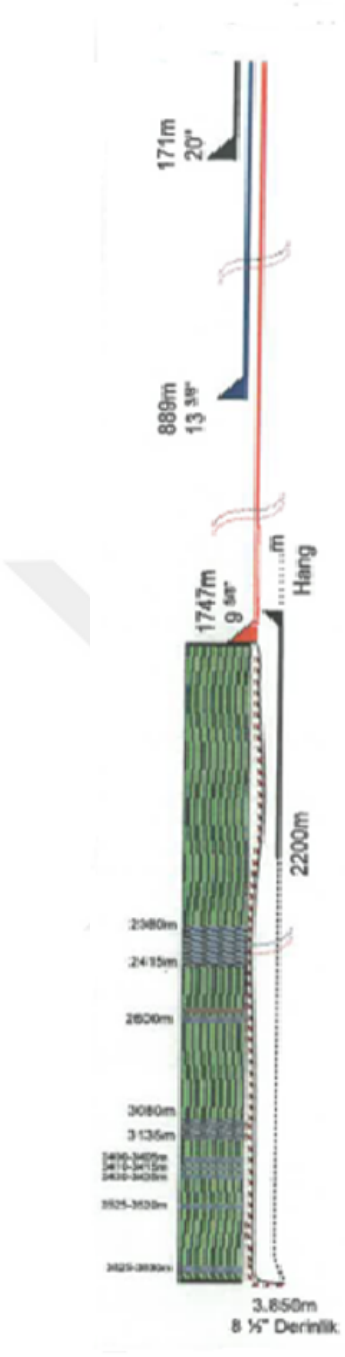
4.4.1. CT kullanarak nitrojen ile temizlik üretimi

CT Efeler-1 kuyu başına set edildikten sonra inişe başlamış ve yaklaşık 1800m den itibaren nitrojen basılarak kuyu tabanına kadar üretim haline iniş yapılmıştır. Kuyu tabanında da bir süre nitrojen basıldıktan sonra yine nitrojen basılarak çıkışa geçilmiştir. Çalışma sırasında üretimde bir kesilme olmayıp sıcaklık 130°C – 138°C sırasında yatay hat üzerinde ölçülmüştür. Nitrojen kesildikten yaklaşık 20 dk sonra kuyudaki geliş de kesilmiştir.

CT ile temizlik akışında toplam 16 ton nitrojen kullanılmıştır. Kuyu içinden çok miktarda kırıntı gelmiş, savak içerisi tamamen dolmuştur. Özellikle kuvars ağırlıklı kırıntılar bariz şekilde görülmüştür.

4.4.2. CT ile asit enjeksiyonu ve nitrojen ile temizlik üretimi

Yapılan PT ölçümleri ve Water Loss testlerinde birden çok seviyenin varlığı nedeniyle uygulama kolaylığı açısından CT ile asitleme tercih edilmiştir. Bu kapsamda bir asit ve nitrojen programı oluşturularak çalışmalara başlanmıştır (Şekil 4.17).



COİLED TUBİNG İLE NİTROJEN VE ASİT OPERASYON PROGRAMI

- Nitrojen kullanılarak temizlik akışı;

Coiled tubing inişi 1800m inilerek set edilecek ve hemen ardından en düşük debide nitrojen pompası ile nitrojen basılarak kuyunun akış yapması beklenecektir. Akış başladıktan 10-15 dk sonra ortalama 10m/dk iniş hızında 2700m ye gelinecek, akış debisinde süreklilik var ise ve bu metrede iken nitrojen debisi savak kontrolü de yapılarak yavaş yavaş arttırılacaktır. Bu seviyede 10 dk beklendikten sonra aynı iniş hızında 3600m ye kadar inilecek, akış debisinde süreklilik var ise ve 10 dk da bu seviyede nitrojen basılacak ve savaktan da değerler sürekli olarak kontrol edilecektir. Kuyu tabanına kadar aynı şekilde iniş devam edecek ve en tabanda da 15-20 dk da max debide nitrojen basıldıktan sonra yine nitrojen basma işlemi devam ederken 2815m ye kadar çekilip set edilecektir. Bu seviyede nitrojen en az debide basılacak ve mümkün ise kapatılacak. Yatay üretim hattı kapatıldıktan sonra CT içerisinden bu seviyeye WHP basıncı 1200 psi geçmeyecek şekilde nitrojen basılacak-durulacak. Bu işlem birkaç kez düzenlendikten sonra bir üst seviyeye çıkılarak aynı işlemler tekrarlanacaktır. @3815m, @3450, @3120, @2600m

- Asit Operasyonu: Operasyonda 72 ton %30-31 HCL %18-19 a seyreltilerek toplamda 715bbl (113m^3) kullanılacaktır.

Yüksek sıcaklıkta (3000-3630m, 3630—3830m) ve düşük sıcaklıklı (2400-2900m) zon olarak 3 aşamada gerçekleştirilmesi planlanmaktadır.

Kuyuyu soğutmak için CT içerisinden 1,5-3 bbl su basarken aynı zamanda spool hattından da 2-4 bbl ile su basılarak 3830m ye kadar inilecektir. Bu seviyede de CT içerisinden 300bbl su basılacak ve toplam basılan miktarı en az 1500bbl e tamamlanacaktır.

Hemen ardından spool hattından 3-4bbl su basarken CT içerisinden de 1,5-3 bbl ile asit basılmaya başlanacaktır. (WHP basıncına göre bu değerlerde anında değişiklik yapabiliriz)

Basılan asit miktarı 55bbl olunca ortalama 7m/dk hızda yukarı doğru çıkmaya başlanacaktır (65bbl). 3515m de durarak 35bbl daha asit basılacaktır. Ardından ortalama 7m/dk hızda yukarı doğru çıkmaya devam edilerek 3480m de durularak 50bbldaha basılacaktır (65bbl). Basınç düşümü gözlenecek olursa asit debisi 3 bbl olacak ve 45bbl daha basıldıktan sonra yine 8m/dk hızda ve 2bbl debide 3100m ye kadar çıkış yapılacak (120bbl) ve geri kalan 170bbl asidin tamamı bu seviyeden basılacak ve 400bbl su ile ötelenecektir. Bu seviyede basınç düşümleri gözlenecek olursa geri kalan 215bbl asit de bu seviyeden basılarak 1800m ye 4 saat bekleme için çıkış yapılacaktır. Zaman sonunda nitrojen ile kuyu tekrar üretime alınacak ve temizlik akışı yapılacaktır. Nitrojen ile tabana kadar temizlik yapıldıktan sonra operasyon tamamlanacaktır.

Bu seviyelerde birinci asitlemede yeterince verim sağlanamayacak olursa en üst ve orta sıcaklıklı bölgede (2400-2900m) geri kalan 315 bbl asit bu seviyede basılarak 400bbl su ile öteleme yapılacak ve CT 1700m ye çekilerek 4 saat beklendikten sonra nitrojen ile temizlik akışı yapılarak operasyon tamamlanacaktır.

Asit karışımı:

1.karışım: 274 bbl %31 HCL+226bbl su + 1300kg NEU 125 krz inh.+ diğerleri (500bbl)

2.karışım: 118 bbl %31 HCL+97bbl su + 450kg NEU 125 krz inh + değerleri (215bbl)

Şekil 4.17. CT ile asit ve nitrojen programı

Kuyuya uzun süre 3-8 bbl arasında su basılarak soğutulmuş ve hazırlanan %18 HCI karışımı program çerçevesinde ve 2 kademede kuyuya su ile ötelenmiştir. Asit sonrası ölme zamanı beklendikten sonra tekrar nitrojen ile kuyu tabanına kadar inilerek temizlik akışı yapılmış ve CT çekilerek çalışma tamamlanmıştır. Asit operasyonu sonrasında kuyuda kendiliğinden artezyen üretim gözlenmiş ve yaklaşık 14 saat kadar sürmüştür.

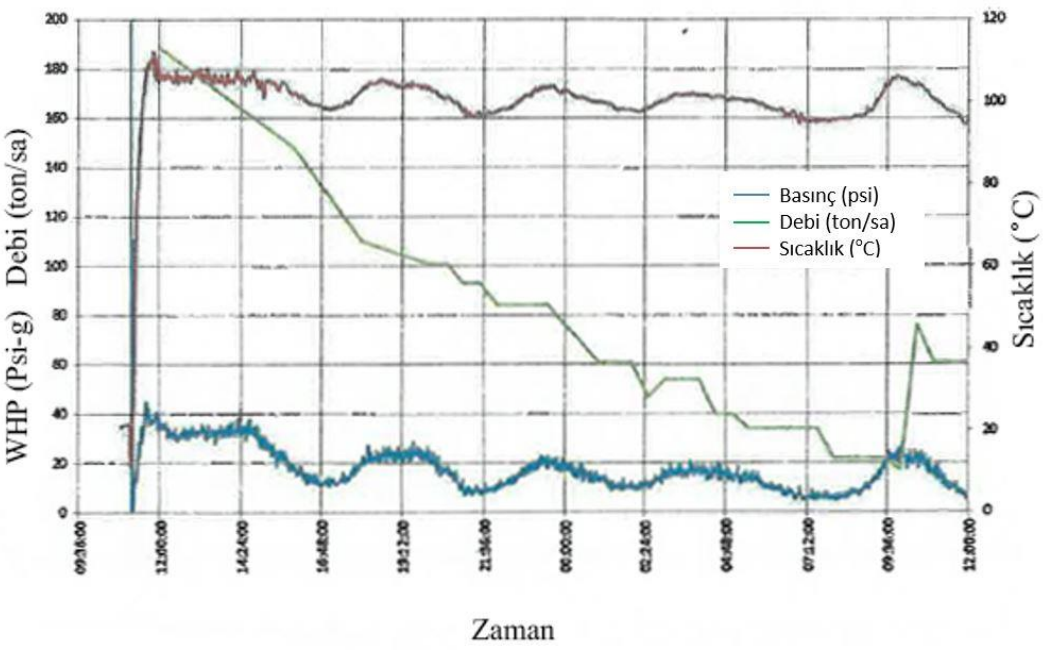
4.5. Üretim Testi

4.5.1. Savak-Silencer üretim testi

Kuyu bitirme testlerinde, üretim hesaplamaları savak-silencer yöntemine göre aşağıdaki tabloda yapılmış yapılmıştır. Kuyu tam açıldığında WHP: 38 psi ve savak maksimum 13cm, 189 t/s ölçülmüş ve yaklaşık 9,5 saat sonra debi 8cm: 93 t/s değerine kadar düşmüştür. 9,5 saatlik zaman süresinde ortalama üretim yaklaşık 125 t/s olarak ifade edilebilir. Çizelge 4.10'da Savak-Silencer debi değerleri verilmektedir (Şekil 4.18).

Çizelge 4.10. Savak-Silencer debi değerleri

Zaman	WHP		Hat Sıcaklığı	WB	Toplam Üretim	Vana Durumu
Saat	Psi-g	Bar	°C	cm	t/s	Tur
12:00	38	2,62	105,7	13	189	Tam Açık
14:00	33	2,28	105,6	12	168	Tam Açık
16:00	16	1,10	101,6	11	148	Tam Açık
18:00	22	1,52	104,85	9	110	Tam Açık
20:00	25	1,72	103,55	8,5	101	Tam Açık
20:30	19	1,31	100,85	8,5	101	Tam Açık
21:00	13	0,90	98,25	8	93	Tam Açık
21:30	9	0,62	96,85	8	93	Tam Açık



Şekil 4.18. Üretim WHP grafiği

4.6. Kuyu Test Önerileri

Kuyuda inilebilen maksimum derinlik 3840 m ve maksimum statik sıcaklık 247,08°C, statik basınç 355,85 bar olarak ölçülmüştür.

Dinamik ölçüler WHP 30 psi iken Q= 124 t/s debide, d alınmıştır. Bu debide vana seviyesinde 120,5°C sıcaklık ve 32 psi basınç ölçülmüştür. 3505 m'de maksimum dinamik sıcaklık 228,42°C ve dinamik basınç 92,87 bar ölçülmüştür. Bu seviyede statik basınç 328 bar ölçülmüştür. Basınçlardan p.i: 0,52 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Bu değer üretim kuyusu için oldukça düşüktür. Bu değerin 4-10 arasına artırılabilmesi durumunda doğal olarak debide de 200-300 t/s değerlerine ulaşılabilir. Bunun için kuyuda yeni geliştirme çalışmalarının planlanarak uygulanması gerekmektedir.

Flashing point noktası (kabuklaşma başlangıcı) 2000 m olarak görülmektedir. Debinin artırılabilmesi durumunda bu seviye 700-800 m'lere kadar yükselebilir.

Build up ölçülerinden p,i: 0,66 (t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Ortalama prodüktivite indeksi 0,59(t/s)/bar olarak hesaplanmıştır.

Ana rezervuar zonu yaklaşık 200-230°C sıcaklık ve 2400-3500m arası verilebilir. Üretimin büyük kısmı bu aralıklarda yapılmaktadır. 3,800 civarındada az bir geliş olabilir.

TDE testlerinden kuyunun i,i 0,75(t/s)/bar olarak hesaplanmıştır. Bu değer re-enjeksiyon açısından düşüktür. Yüksek WHP basıncında re-enjeksiyon enerji kayıpları olmuştur.

İleriki dönemlerde kuyuda planlanacak asitleme çalışmaları ile kuyunun üretim ve enjeksiyon değerlerinde ciddi gelişmeler görülebilir. Yapılacak asit programı ile 2400-3838 m'ler arasının tekrardan asitlenmesi tavsiye edilir.

Kuyu asit sonrasında üretime alındığında yaklaşık 14 saat üretimde kalmış ve kendiliğinden kesilmiştir. Birkaç gün sonra kuyubaşında WHP 45 psi olması üzerine tekrar açılmış ve 22 saat üretim yaptıktan sonra kesilmiştir. Gitgide kuyuda gelişme gözlenmiştir.

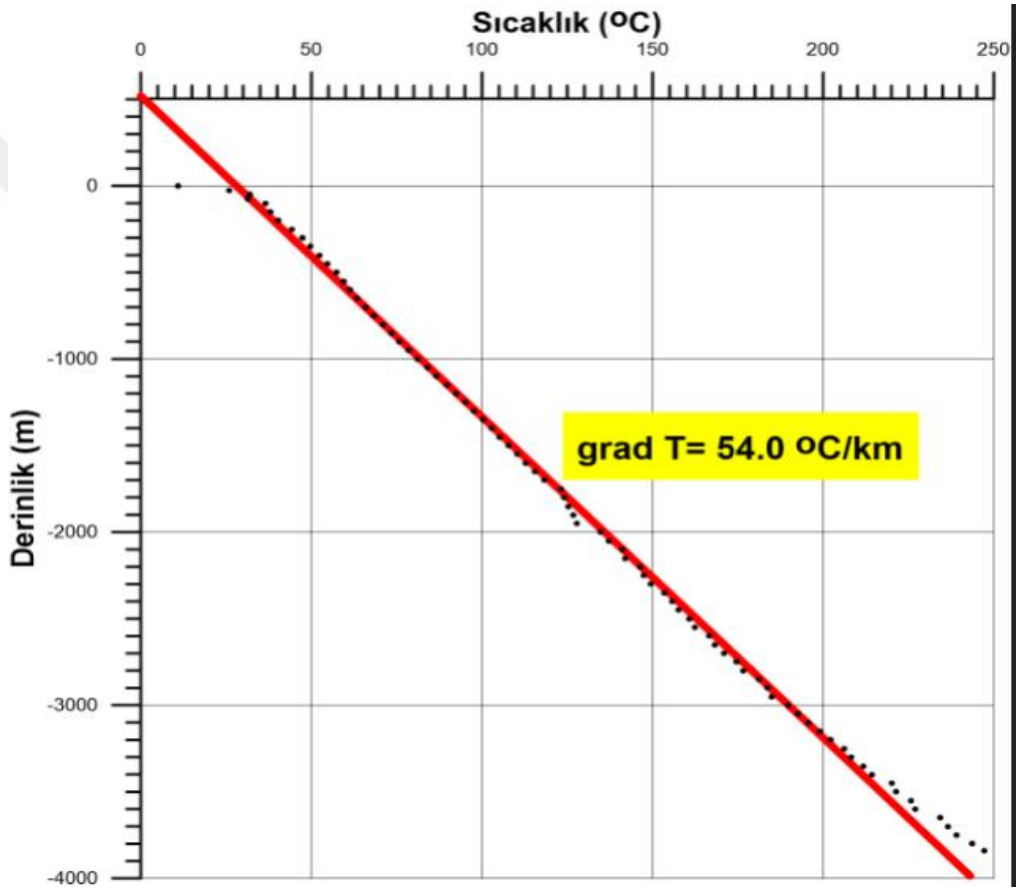
Kuyu içi pompası kullanılarak üretim yaptırılması mevcut durumda önerilmemektedir. Kuyunun prodüktivite indeksi çok düşük olduğundan yeterli beslenmeyi sağlayamayabilir. Ancak kuyu içine 300-350 m'e tubing inilerek en az 5 günlük bir üretim yaptırılarak üretimin sürekliliğin gözlenmesi sonraki aşamaların planlanmasında yararlı olacaktır.

4.7. Kuyulara Ait Isı Akısı Hesapları

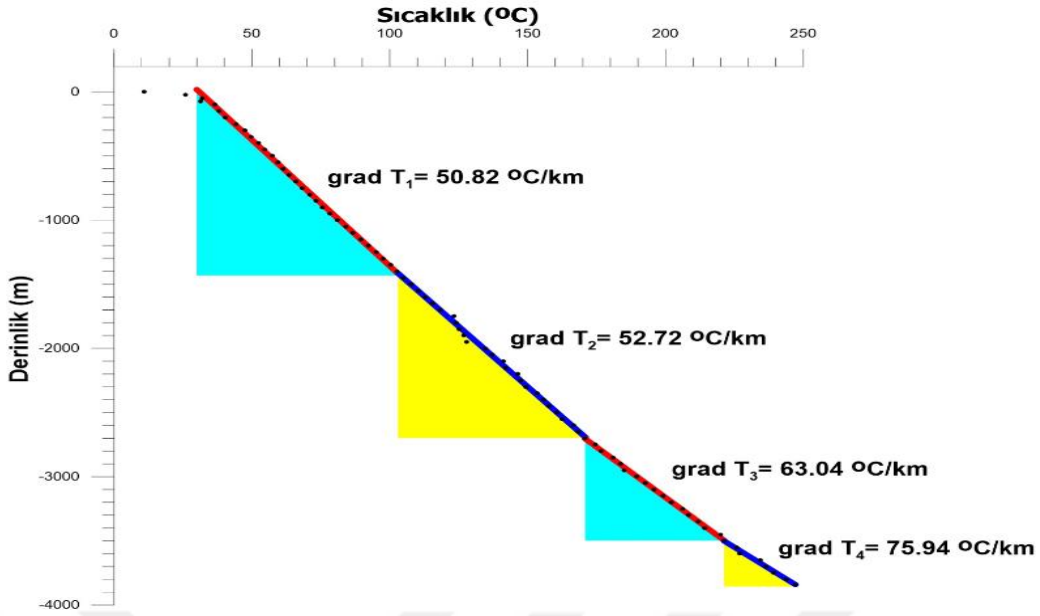
Bu tez çalışmasında açılan iki kuyu için elde edilen 54 ^{o}C/km ve 40 ^{o}C/km jeotermik gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektik yöntem ile hesaplanan ısıl iletkenlik değerleri kullanılarak ısı akısı değerleri hesaplanmıştır.

Efeler 1 kuyusunda elde edilen çalışma alanını jeotermik gradyan değerleri 50 – 76°C arasında değişmektedir. Dünyada kıtaların karasal alanlarında jeotermik gradyan değerleri ortalama 30 – 50 °C aralığında bulunmaktadır. Efeler 1 kuyusunda ölçtüğümüz jeotermik gradyan değerleri kıtaların ortalama değerinden yüksektir.

Efeler 1 kuyusu için efektif ısı akısı değeri hesabı yapabilmek için, öncelikle bu kuyuya ait ortalama ısı gradiyenti 54 ^{o}C/km olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.19). Bu işlem sıcaklık değerlerinin derinliğin fonksiyonu olarak çizilerek bu noktalara En Küçük Kareler (EKK) tekniği ile geçirilen doğrunun eğiminden (dT/dZ) hesaplanarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu kuyu için sınıflandırdığımız dört ayrı tabaka için sırasıyla 50.82 ^{o}C/km, 52.72 ^{o}C/km, 63.04 ^{o}C/km ve 75.94 ^{o}C/km değerleri elde edilmiştir (Şekil 4.20). Bu kuyuda derinlilere indikçe ısı gradiyentinin yükseldiğini söyleyebiliriz.



Şekil 4.19. Efeler 1 kuyusu ısı gradiyenti hesabı için ısı grafiği



Şekil 4.20. Efeler 1 kuyusu için istiflerin efektif ısı grafiği

Efeler 1 kuyusu tabakalara ait elde edilen ısı gradiyentleri ve 3840 m derinliğine kadar tespit edilen bu dört tabakaya ait ısıl iletkenlik katsayıları 3.228, 1.921, 3.745, 4.284 W/mºC kullanılarak efektif ısıl iletkenlik değeri 2.75 W/mºC olarak hesaplanmıştır.

$$\lambda_{ef} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta z_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta z_i}{k_i}} = \frac{1435 + 1265 + 800 + 340}{\frac{1435}{3.228} + \frac{1265}{1.921} + \frac{800}{3.745} + \frac{340}{4.284}} = \frac{3840}{444.55 + 658.51 + 213.62 + 79.36}$$

$$= \frac{3840}{1396.04} = 2.75\ W/m^{\circ}C \qquad (4.1)$$

Buna göre elde edilen 2.75 W/mºC ısı iletkenliği ve 54 ºC/km ortalama ısı gradiyenti kullanılarak Efeler 1 kuyusu için efektif yöntem ile ısı akısı hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır ve 148.5 mW/m^2 ısı akısı gibi yüksek bir ısı akısı değerine ulaşılmıştır.

$$q = \lambda_{ef}\ x\ grad\ T = 2.75\ x\ 54 = 148.5\ mW/m^2 \qquad (4.2)$$

Aynı bölgede daha sonraki zamanda açılan bir diğer kuyu olan Efeler 2 projesinden elde ettiğimiz değerleri kullanarak aynı yöntem ile ısı akısı hesaplaması gerçekleştirilmiştir.

Efeler 2 kuyusu için ısı akısı hesabı yapabilmek için, öncelikle bu kuyuya ait sıcaklıkların (Çizelge 4.11) derinliğin fonksiyonu olarak grafiklenmesinden EKK ile geçirilen doğrunun eğiminden (dT/dZ) ortalama ısı gradiyenti 40 ^{o}C/km olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.21).

Çizelge 4.11. Efeler-2 statik sıcaklık değerleri

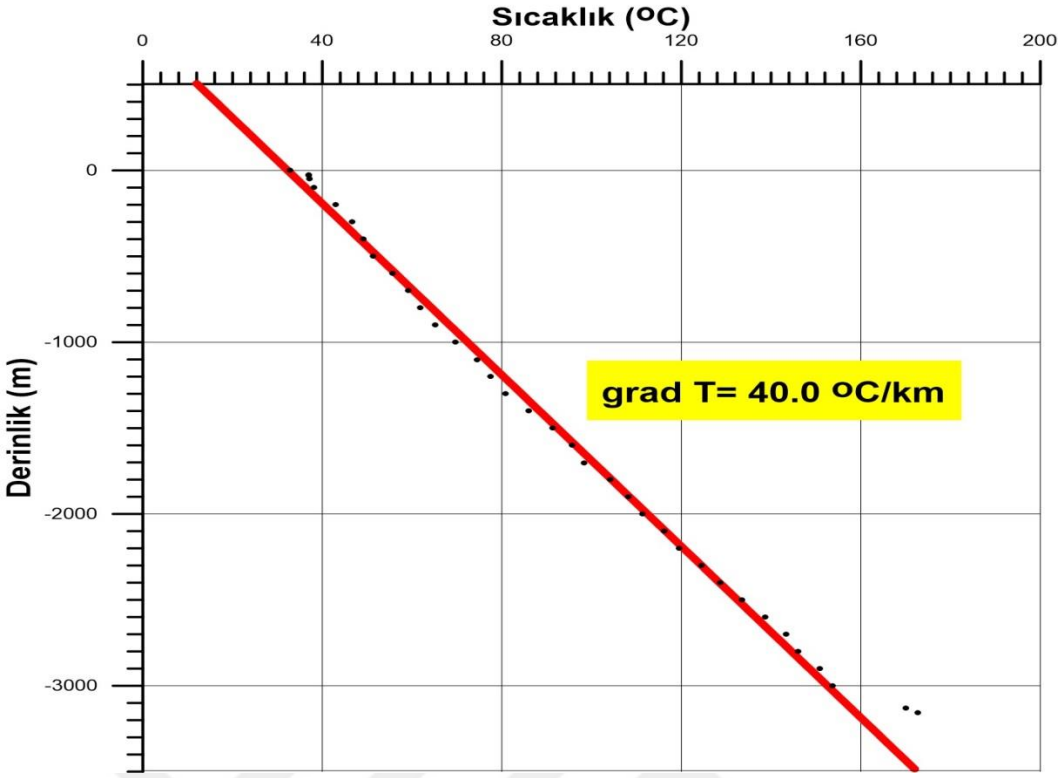
Derinlik	Sıcaklık
m	°C
0	32,86
26	36,92
28	37,04
50	37,20
100	38,11
200	43,05
300	46,65
400	49,20
500	51,24
600	55,71
700	59,06
800	61,80
900	65,11
1000	69,60
1101	74,51
1200	77,40
1300	80,87
1400	85,95

Derinlik	Sıcaklık
m	°C
1500	91,37
1600	95,60
1701	98,36
1800	104,10
1900	108,19
2000	111,40
2100	116,23
2200	119,49
2300	124,46
2400	128,71
2500	133,47
2600	138,72
2700	143,35
2800	146,02
2900	150,85
3000	153,66
3130	170,03
3156	172,64

Buna göre elde edilen 2.75 W/m^{o}C ısı iletkenliği ve 40 ^{o}C/km ortalama ısı gradiyenti kullanılarak Efeler 2 kuyusu için ısı akısı hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır ve 110.0 mW/m^2 ısı akısı değerine ulaşılmıştır.

$$q = \lambda \, x \, grad \, T = 2.75 \, x \, 40 = 110.0 \; mW/m^2 \qquad (4.3)$$

Elde ettiğimiz bu değer, bölgede yaptığımız diğer çalışmadan (Efeler 1) elde edilen ısı akısı ve ayrıca bölgede yapılan diğer çalışmalarla da yakın sonuçlar vermektedir ve yüksek ısı akısı olarak nitelendirilmektedir.



Şekil 4.21. Efeler 2 kuyusu ısı gradiyenti hesabı için ısı grafiği

Bu tez çalışmasında her iki kuyu için efektif yöntem ile hesaplanan ısı akısı değerlerine ilave olarak; Dolmaz vd. (2005) çalışmasında yer alan ve bu kuyuların içerisinde bulunduğu 36 blok numaralı alan için Curie Nokta Derinliğinden elde edilen 49.57 ºC/km jeotermik gradyan ile kuyu litolojisine dayanılarak efektif yöntemle hesaplanan ısıl iletkenlik değeri (2.75 W/m ºC) kullanılarak 136.3 mW/m^2 ısı akısı değeri de hesaplanmıştır.

$$q = \lambda \, x \, grad \, T = 2.75 \, x \, 49.57 = 136.3 \, mW/m^2 \quad (4.4)$$

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Batı Anadolu'da Ege Bölgesi'nde Aydın ili sınırları içerisinde İncirliova bölgesinde son zamanlarda yeni açılan kuyularda (Efeler-1 ve Efeler-2) kuyusuna ait kuyu içi termal bilgilerine dayanılarak ilk defa bu lokasyon için kabuğun üst derinlikleri için ısı akısı hesabı yapılarak literatüre kazandırılmıştır.

Efeler 1 kuyusunda sondaj çalışmaları sırasında alınan numune ve daha öncesinde yapılan jeofizik çalışmalardan elde edilen sonuçlarla tespit edilen tabakalar bölgenin formasyonu ile aynı özellikleri taşımaktadır (Çizelge 5.1). Efeler 1 kuyusunun bulunduğu yerin istifini aslında üç ana bölüme ayırabiliriz (Prof.Dr.Ömer Elitok ile kişisel görüşme). Çizelge 5.2 ile Efeler 1 kuyusu istif özellikleri verilmektedir.

Çizelge 5.1. Efeler-1 kuyusuna ait tabakalar ve kuyu içerik bilgileri

Tabaka sayısı	Derinlik (m)	Tabaka adı	İçerik
1	0-1435	(sedimanter istif)	Kumtaşı-konglomera-kiltaşı
2	1435-2700	(metamorfik)	Kuvars-mika şist
3a	2700-3500	(metamorfik)	Mermer içerikli şist
3b	3500-3700	"	Siyah şist

Çizelge 5.2. Efeler 1 kuyusu istif özellikleri

Derinlik aralığı (m)	Litoloji açıklaması
138-140	Kumtaşı: saydam, yarısaydam, beyaz, gri, yeşilimsi, köşeli-yarıköşeli, sert, iyi boylanmalı, gevşek kuvars ve metamorfik litik taneler
806-809	Konglomera: Yeşilimsi, gri, yumuşak opak ile yarısaydam arası, çok renkli çakıl boyutuna varan kuvars feldspat taneleri, yarıyuvarlak ile yarıköşeli, zayıf boylanmalı, kısmen iri ile çok iri taneli kumtaşı, zayıf karbonat çimentolu ve genel kil matriks, zayıf poroziteli Kiltaşı: plastik, yıkanabilir, açık gri, yumuşak
1482-1485	Kiltaşı: plastik, yıkanabilir, açık gri, yumuşak Kumtaşı: Saydam-yarısaydam, beyaz, gri, yeşilimsi, sarı, sarımsı, köşeli-yarıköşeli, sert, iyi boylanmalı, gevşek kuvars ve metamorfik litik taneler
1629-3563 3574	Kuvarsşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılgan, dağılgan, kuvars ve mika içerikli Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şistoz, muskovit, biyotit Kuvarsşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılgan, dağılgan Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit. Kuvarsşist: Beyaz, saydam, orta sert, yersel kırılgan, dağılgan Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit. Mermer: Beyaz, açık gri, gri, koyu gri, benekli, camsı, sıkı, sert, bloklu, karbonat ağırlıklı Mikaşist: Beyaz, gri, kahvemsi, şiztoz, muskovit, biyotit Mermer: Beyaz, açık gri, gri, koyu gri, benekli, camsı, sıkı, sert, bloklu, karbonat ağırlıklı Siyah şist: Siyah ve koyu gri renkli, metalik parlaklıkta, şiztozi kloritleşme, milonit Siyah şist: Siyah ve koyu gri renkli, metalik parlaklıkta, şiztozi kloritleşme, milonit

Bu tez çalışmasında kuyulardan (Efeler 1 ve Efeler 2) elde ettiğimiz ısı akısı değerlerinin Batı Anadolu'daki diğer elde edilen ölçülerle uyumlu olduğu ve benzer değerler içerdiği gözlenmiştir. Efeler 1 ve Efeler 2 kuyularına yakın olan ve ısı akısı hesaplanan daha önceki çalışma kuyuları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4' te verilmektedir. Bu veriler ışığında ısı akısı değerlerinin uyumlu olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. Batı Anadolu'da önceki çalışmalardan elde edilen ısı akısı değerleri (Hisarlı, 1995)

Alan	**Curie nokta derinliği x 10^3 m**	**Isı Gradiyenti °C/m x 10^3**	**Isı akısı (mW/m²) λ =2 k=3 W/m°C**	**İlkışık (mW/m²)**	**Tezcan (mW/m²)**
Balya	10.5	57.70	115 144	120	120
M.K.Paşa	10.8	53.60	107 134	110	90-100
Balıkesir	12.1	47.85	95 119	66	90-100
Yenice	9.0	64.40	128 161	-	140-160

Çizelge 5.4. Batı Anadolu çalışmalarında elde edilen ısı akısı değerleri (Balkan vd., 2017)

Name	**Meast Depth.**	**Elevation**	**Interval**	**G**	**σG**	**λ**	**σλ**	**Q**	**σQ**
	(m)			**(°C km^{-1})**		**W m^{-1} K^{-1}**		**mW m^{-2}**	
Altınkum	110	1284	0-110	36		1,4	0,2	85	12
Bademli	78	230	25-74	38		1,5	0,3	87	
Çırpı	45	20	0-38	62		1,5	0,3	93	
Kaymakçı	110	147	60-93	33	10	1,5	0,3	60	27
Ortakçı	112	211	87-108	38	10	3,5	0,2	132	41
Pirlibey	25	67	10-25	58		1,5	0,3	117	

Efeler 1 kuyusunda elde ettiğimiz sıcaklık gradiyenti 50 – 76°C aralığında tespit edilmiştir. Aynı bölgede yapılan bir diğer kuyu projesi olan Efeler 2 kuyusunda yeni veriler ile elde ettiğimiz çalışmanın sonuçları ise; kıtaların ısı gradiyenti değeri olan 30- 50°C limitleri dâhilinde 40°C olarak bulunmuştur. Efeler 1 kuyu dibinde 3840

m'de 247,08°C sıcaklık tespit edilmiş iken, Efeler 2 kuyu dibinde 3156 m'de ise 172,64°C sıcaklık tespit edilmiştir (Çizelge 4.11). Aynı derinlik olarak bakıldığında ise Efeler 1 kuyusunda sıcaklık ~199°C olarak olduğu görülmektedir. Bu durum Efeler 1 kuyusundaki gradiyentin daha yüksek olduğu ile açıklanabilir.

Dolmaz vd. (2005) tarafından Batı ve Güneybatı Anadolu için havadan manyetik veriler kullanarak bölgenin Curie Nokta Derinliklerinin tahmini yapılmış ve haritası oluşturulmuştur. Bu tez kapsamında ilk defa literatüre kazandırılacak olan delinmiş kuyuların (Efeler 1 ve Efeler 2) konumları Dolmaz vd. (2005)'teki 36 blok numaralı alan içerisinde yer almaktadır. 90 x 90 km alt blok alanlara sahip havadan manyetik verilerden tahmin elde edilen Curie Nokta derinliklerine dayanılarak hem Curie Nokta Derinliği hem de bölge için ısı akısı haritaları Dolmaz vd. (2005)'te sunulmuştur. Isı akısı hesaplamalarında jeotermik gradyan (Curie sıcaklığı 580 ^{o}C/Curie Nokta Derinliği) ve arazide mostra veren yüzey örneklerinden alınan ölçümlerin ortalaması 2.127 W/m^{o}C ısıl iletkenlik değeri kullanılmıştır. Bu blok için 11.7 km gibi sığ Curie Nokta Derinliği tahmini yapılırken, buna karşılık gelen ısı akısı 105.44 mW/m^2 olarak bulunmuştur.

Curie Nokta Derinliği tahmini ile hesaplanan ısı akısı açılan kuyulardan hesaplanan ısı akısı değerlerine göre bir miktar düşük gözükmektedir. Bu durumun nedeni Dolmaz vd. (2005)'te arazi örneklerinden ölçülen numunelerin ısıl iletkenliği ortalamasının düşük çıkmasıdır. Hâlbuki açılan Efeler 1 kuyusu litolojisine göre efektif olarak 2.75 W/m ^{o}C ısıl iletkenlik değeri hesaplanmıştır. Böylelikle bu tez çalışması ile 3840 m derinliğe sahip Efeler 1 kuyusu ve 3156 m derinliğe sahip Efeler 2 kuyuları ile ısı akısı hesaplanabildiği gibi, onlardan daha derin ve 11700 m (11.7 km) lik bir üst kabuk için dolaylı yoldan hesaplanan jeotermik gradyana dayanılarak yerkabuğunun daha geniş bir skalası için ısı akısı hesaplanmış olmasıdır ve bu değer 136.3 mW/m^2 dir.

Jeotermal suların, rezervuar kayaçtan yüzeye çıkarken temas ettiği kayaçların özellikleri, soğuk yeraltı suları ile karışması, rezervuar kayacın atmosferle ilişkisini kesen geçirimsiz kayaçların çok ince olması gibi nedenlerden dolayı sıcaklıkları düşer. Jeotermal çalışmaların ve derin sondajların maliyeti oldukça yüksektir. Bu sebeple jeotermal çalışma yapılacak sahalarda gerekli ön çalışmalarda, jeofizik

yöntemler ve rezervuar - derinlik hesaplanması önemlidir. Bu bağlamda yapılan bu yüksek lisans tez çalışması ile elde edilen sonuçlar hem akdemik hem de ekonomik değere sahip olarak ilgi çekici olacaktır.

Aydın bölgesinde yapılan diğer çalışmalarda yaklaşık 1600-2000 metre aralığında verimli kuyular, özellikle Germencik ve Buharkent bölgelerinde büyük santraller bulunmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında, Efeler 1 ve Efeler 2 kuyularında tespit edilen üretim derinliği 2400-3500 metre aralığında olması ciddi bir fark yaratmaktadır. Derinliğin bu kadar fazla olması hem maliyet hem de yeraltındaki sıcak suyun yukarı çıkması sırasında sıcaklığın düşmesine sebep olmaktadır.

KAYNAKLAR

Akartuna, M., 1965. Nazilli-Aydın Hattı Kuzeyindeki Versanlarm Jeolojisi Hakkında. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi, 65, 1-11.

Akın, U., Ulugergerli, E.U., Kutlu, S., 2014. The Assesment of Geothermal Potential of Turkey by Means of Heat Flow Estimation. Bulletin of the Mineral Research and Exploration 149(149), 201-210.

Alptekin, Ö., 1973. Focal Mechanism of Earthquake in Western Turkey and their Tectonic Implication. Ph.D. Thesis, New Mexico Institüte of Mining and Technical Soccoro, New Mexico.

Altunel, E., 1999. Geological and Geomorphological Observations in Relation to the 20 September 1899 Menderes Earthquake, Western Turkey. Journal Geology Society. 156, 241–246. http://dx.doi.org/10.1144/gsjgs.156.2.0241.

Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1987. Seismicity of Turkey and Neighboring Regions 1899–1915. Annual Geophysics, 5B, 701–726.

Ambraseys, N.N., Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: a Historical Review, 1500–1800. Eren Publication (ISBN 9757622389), Istanbul, Turkey, s. 240.

Anadolu, İ., 2011. Çandarlı Körfezinde Jeotermal Amaçlı Isı Akısı ve Sıcaklık Ölçümleri. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitütüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.54. İzmir.

Ari-es Enerji, 2019. İzmir ili Seferihisar İlçesi RSC-1 Seferihisar Jeotermal Enerji Santrali 1/1000 Ölçekli Uygulama İmar Planı Açıklama Raporu. ARI-ES ENERJİ, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İzmir.

Arpat, E., Bingöl, E., 1969. Ege Bölgesi Graben Sisteminin Gelişimi Üzerine Düşünceler. MTA Enstitüsü Dergisi, 73, 1-9.

Ayan, M.. 1973. Gördes Migmatitleri: Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi, 81, 132-155.

Balkan E, Erkan K, Şalk M., 2017. Thermal Conductivity of Major Rock Types in Western and Central Anatolia Regions, Turkey. Journal of Geophysics and Engineering 14 (4), 909- 919. doi: 10.1088/1742-2140/aa5831.

Balkan-Pazvantoğlu, E., Erkan, K., Şalk, M., Akkoyunlu, B.O., Tayanç, M., 2021. Surface Heat Flow in Western Anatolia (Turkey) and Implications to the Thermal Structure of the Gediz Graben. Turkish Journal of Earth Sciences, 30, 991-1007. doi:10.3906/yer-2105-28.

Başarır, E., 1970. Bafa Gölü Doğusunda Kalan Menderes Masifi Güney Kanadının Jeolojisi ve Petrografisi. Science Rep. Science Faculty, Ege Üniversitesi, 102, 44s.

Bingöl, E., 1976. Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 86, 14-34.

Bingöl, E., 1989. 1 / 2000000 ölçekli Türkiye jeolojik haritası MTA, Ankara.

Blackwell, D.D., 1978. Heat Flow and Energy Loss in the Western United States, GSA Memoirs, 152, 175–208.

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey-a synthesis Geodinamica acta, 14, 3-30.

Bonner, J.L., Blackwell, D. D., Herrin, E. T., 2003. Thermal Constraints on Earthquake Depths in California, B. Seismol. Soc. Am., 93, 2333–2354.

Brinkmann, R., 1966. Geotektonische Gliederung von Westanatolien. N.îb. Geol. Palaont., 10, 603-618.

Brinkmann, R., 1971. Das Kristalline Grundgebirge von Anatolien. Geol Rundsch., 60, 886-899.

Buachidze, G.J., Buacidze, J.N., Goderdzishvili, N.A., nkheidze, B.S., Shaorshadze, MOP, 1980. Geothermal Conditions and Thermal Water of Georgia. Sabchota Sakartvelo, Tbilisi, 206.

Bullard, E.C., 1939. Heat Flow in South Africa. London.

Cermak, V., Hurtig, E., 1978-1979. The Preliminary Heat Flow Map of Europe and Some of Its Tectonic and Geohysical Implications. Pageoph, 117, 92-103.

Clark, S.P., 1966. Handbook of Physical Constants. GSAM.

Cohen, K.M. Finney, S. Gibbard, P.L., 2013. International Chronostratigraphic Chart, Uluslararası Stratigrafi Komisyonu.

Demirtaş R., Yılmaz R., 1996. Türkiye'nin Sismotektoniği. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara, s.91.

Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and Surrounding regions: Complex Multiplate and Continuum Tectonics in a Convergent Zone. Geology Society of Am. Part I., 90, 84-92.

Dilek, Y., Altunkaynak, S., 2009. Geochemical and Temporal Evolution of Cenozoic Magmatism in Western Turkey: Mantle Response to Collision, Slab Break-off, and Lithospheric Tearing in an Orogenic Belt, Geological Society, London, Special Publications, 311, 213–233.

Dolmaz, M.N., Hisarli, Z.M., Ustaömer T., Orbay, N., 2005. Curie Point Depths Based on Spectrum Analysis of the Aeromagnetic Data, West Anatolian Extensional Province, Turkey, Pure and Applied Geophysics, 162(3), 571-590.

Dora, O.Ö., 1975. Menderes Masifinde Alkali Feldispatlarm Yapısal Durumları ve Bunların Petrojenetik Yorumlarda Kullanılması. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bulteni, 18/2, 111.

Dündar, G., 2010. Ege Bölgesi'nin Sismotektoniği. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitütüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.71. İzmir.

Egeran, N., Yener, H., 1944. Notes Explicatives De La Carte Geoloque De La Turquie, Faille "Izmir" Publish Institute. MTA.

Elder, J.W., 1965. Physical Process in Geotermal Area: in Terrestrial Heat Flow Geop.Monog. Serie. Am. Geop.

Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F., 2013. Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası. Ölçek 1:1.250.000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın Serisi-30, Ankara-Türkiye. ISBN: 978-605-5310-56-1.

Erbek, E., Dolmaz, M.N., 2019. Investigation of The Thermal Structure and Radiogenic Heat Production through Aeromagnetic Data For The Southeastern Aegean Sea and Western Part of Turkey. Geothermics, 81, 113-122.

Erkan, K., Blackwell, D.D., 2008. A Thermal Test of The Post-Subduction Tectonic Evolution Along the California Transform Margin. Geophysics Research Letters, 35, L07309, doi:10.1029/2008GL033479.

Erkan, K., Blackwell, D.D., 2009.Transient Thermal Regimes in the Sierra Nevada and Baja California Outer Arcs Following The Cessation Of Farallon Subduction. Journal of Geophysics Research, 114, B02107, doi:10.1029/2007JB005498.

Erkan, K., 2015. Geothermal Investigations in Western Anatolia Using Equilibrium Temperatures from Shallow Boreholes. Solid Earth, 6(1), 103–113. doi:10.5194/se-6-103-2015.

Ericson, A.J., 1970. The Measurement and Interpretation of Heat Flow in the Mediterranean and Black Sea. Ph.D. Thesis, MIT Massachusetts.

Fournier, R.O., Rowe, J.J., 1966. Estimation of Underground Temperatures from The Silica Content Of Water From Hot Springs and Wet-Steam Wells. American Journal of Science, 264(9), 685-697.

Fytikas, M., 1980. Geothermal Exploitation in Greece. In: Strub, A.S. and Ungemach, P.(Eds.). 2nd Int. Sem. on The Results of E.C. Geothermal Energy Research, Strasbourg. Reidel Publ., Dordreecht, 213 - 237.

Gillvarry, J.J., 1957. Tempature in the Earth's Interior J.Atmospheric. Terres. Physics, 1, 84.

Gordienko, V.V., Zavgordnyaya, O.V., 1982. New Measurements and a map of Heat Flow over the Crimea, Geophysical Journal, 4(3), 56-62.

Graeiansks, P. De, 1965. Menderes Masifi (Türkiye'nin GB'sı) Metamorfik Kayaçlarındaki Grenaların Yapısı Hakkında; Maden Tetkik ve Arama Enstitü, Dergisi, 65, 11-20.

Hamilton, W.J., Strickland, H.E., 1840. On the Geology of the Western part of Asia Minor; Trans. Geology Soe. London, V. VI, Sec. Series, 1-39.

Hisarlı, M., 1995. Determination of Curie Point Depths in Edremit-Susurluk region, Jeofizik, 9(10), 111-117.

İlkışık, O.M., 1989. Kuzeybatı Anadolu'da Isı Akısı Dağılımı. Jeofizik, 3, 83-91.

İlkışık, O.M., 1991. Batı Anadolu'da Isı Akısı Değerlerinin Dağılımı. Mühendislik Jeolojisi Bülteni, 12, 35-39.

İlkışık,O.M., 1992. Silica Heat Flow Estimates and Lithospheric Temperature in Anatolia. Proc. of XI.Con.of World Hydrothermal Org. 13-18.5.1992 İstanbul Pamukkale, 92-106.

İlkışık, O.M., 1995. Regional Heat Flow in Western Anatolia Using Silica Temperature Estimates From Thermal Springs. Tectonophysics, 244, 175-184.

İlkışık, O.M., 2008. Ege Bölgesi'nde Yerkabuğunun Jeotermik Yapısı, Teknik Rapor, İstanbul.

îzdar, K.E., 1971. Introduction to Geology and Metamorphism of the Menderes Massif of Western Turkey, Petrol. Expler. Soc. Libya, 495-500.

Jaeger, J.C., 1965. Application of The Theory of Heat Conduction to Geothermal Measurements Terrestrial Heat Flow (Geophysical Monograph Series 8) ed H.K. Lee (Washington, DC: American Geophysical Union) 24–50.

Jongsma, D., 1974. Heat flow in the Aegean Sea. Geophys.J.R.astr.Society, 37, 337-346.

Kaya, A., 2015. The effects of Extensional Structures on the Heat Transport Mechanism: An Example from the Ortakçı Geothermal Field (Büyük Menderes Graben, SW Turkey). Journal of African Earth Sciences, 108, 74-88.

Ketin, İ., 1966. Anadolu'nun Tektonik Birlikleri. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi, 66, 20-34.

Koday, Z., Akbaş, F., 2018. Aydın İlinin İdari Coğrafya Analizi. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 57, 63-91.

Kutas, R.I., Kobolev, V.P., Tsvyashchenko, V.A., 1998. Heat Flow and Geothermal Model of the Black Sea Depression. Tectonophysics, 291, 91–100.

Lee, W.H.K., Uyeda, S., 1965. Review of Heat Flow Data: Terrestrial Heat Flow. Geop. Monog. Serie. Am. Geop. Union.

Lindemann, F.A., 1910. The Calculation of Molecular Vibration Frequencies. Phys. Zeit., 11, 609.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., Ring, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veis, G., 2000. Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. Journal of Geophysical Research-Solid Earth 105, 5695–5719.

McKenzie, D., 1967. Some Remarks on Heat Flow and Gravity Anomalies. Journal of Geophysical Research, 72, 6261–6273.

Nebert, K., Ronner, F., 1956. Menderes Masifiğinde ve Çevresinde Alpidik Albitizasyon Olayları; Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi, 48, 83-96.

Ocakoğlu, F., Açıkalın, S., Güneş, G., Özkes, Dirik, K., Özsayın, E., 2013. Was the 1899 Menderes Valley Earthquake a Double Earthquake? Historical and Paleosismological Constraints. Journal Asian Earth Science, 67–68, 187–198. http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.02.026.

Pfister, M., 1995. Geothermissche Untersuchungen in der Region Marmara. Turkey.

Pfister, M., Ryback, L., Şimşek, Ş., 1998. Geothermal Reconnaissance of the Marmara Sea Region (NW Turkey): Surface Heat Flow Density in an Area of Active Continental Extension. Tectonophysics 291, (1-4), 77–89. doi: 10.1016/S0040-1951(98)00032-8.

Rybach, L., Bodmer, P., 1983. Processing and Representation of Heat Flow Density Maps. Part II. Construction and contouring of heat flow density maps. Stuttgart.

Sanver, M., 1983. Yerkürenin Isıl Evrimi ve Günümüzde Yericinin Sıcaklığı, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Sayın, N., Gürer A., 2021. An Approach for Heat Flow Determination in the Absence of Geothermal Gradient Measurements: West Anatolia Example. Arabian Journal of Geosciences, 14, 381. doi: 10.1007/s12517-021-06753-9.

Scotford, D.M., 1969. Metasomatic Augen Gneiss in Greenschist Facies, Western Turkey: Geology Society, America Bulltein, 80, 1079-1094.

Schuiling, R.D., 1958. Menderes Masifine Ait Bir Gözlü Gnays Üzerinde Zirkon Etüdü. Maden Tetkik ve Arama Ensttü Dergisi, 51, 38-41.

Schuiling, R.D., 1962. On the Petrology, Age and Structure of the Menderes Migmatites Complex (SW Turkey). Maden Tetkik ve Arama Ensttü Dergisi, 58, 71-84.

Serpen, Ü., Aksoy, N., Öngür, T., Korkmaz, E. D., 2009. Geothermal Energy in Turkey: 2008 update, Geothermics, 38, 227–237.

Stacey, F.D., 1969. Physics of the earth. John Wiley, New York.

Starostenko, V.I., Dolmaz, M.N., Kutas, R.I., Rusakov, O.M., Oksum, E., Hisarli, Z.M., Okyar, M., Kalyoncuoglu, U.Y., Tutunsatar, H.E., Legostaeva, O.V., 2014. Thermal Structure of the Crust in The Black Sea: Comparative Analysis of Magnetic and Heat Flow Data. Marine Geophysics Res., 35, 345-359.

Şenol, M., 2013. Aydın İli 2012 Yılı Çevre Durum Raporu. Aydın Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Aydın. s.205. Erişim tarihi: 17.01.2021; https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editordosya/Aydin_icdr2012.pdf.

Şengüller, İ., Aydın, H., 2017. Akçay Vadisi (Aydın, Muğla, Denizli) ve Civarının Jeolojisi. Doğal Kaynaklar ve Ekonomik Bülteni, 24, 1-6.

Swanberg, C.A., Morgan, P., 1980. The Silica Heat Flow Interpretation Technique: Assumptions and Applications. Journal of Geophysical Research, 85, 7206-7214, doi:10.1029/jb085ib12p07206

Tester, J.W., Anderson, B., Batchelor, A., Blackwell, D., DiPippo, R., Drake, E., Garnish, J., Livesay, B., Moore, M. J., Nichols, K., Petty, S., Toksöz, M. N., Veatch Jr., R. W., Baria, R., Augustine C., Enda, M., Negraru, P., Richards, M., 2006. The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, Massachusetts Institute of Technology, s.358.

Tezcan, A.K., Turgay, I., 1989. Türkiye Isı Akısı Haritası. MTA Gen.Md., Jeofizik Etüdleri Dairesi (Yayınlanmamış döküman), Ankara.

Tezcan, A.K., Turgay, M., I., 1991. Heat flow and Temperature Distribution in Turkey, Edited by: Cermak, V., Haenal, R., Zui, V., Geothermal Atlas of Europe, Herman Haack Verlag, Gotha, Germany, 84–85.

Truesdell, A.H., 1976. Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration. In Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, CA, U. S. Government Printing Office, 1, 13-39, Washington, D. C.

Turan, O., 2017. Isı Transferi, Erişim Tarihi: 15.07.2020; https://www.w3.bilecik.edu.tr/makineveimalat/wp-content/uploads/sites/27-2017/02B%C3%B6l%C3%BCm-_Giri%C5%9F.pdf.

Uffen, R.J., 1952. A Method of Estimating Point Gradient İn The Earth's Mantle Trans. Am. Geophys. Un. 33, 893.

Utku, M., Sözbilir, H., 2003. Aydın-Nazilli Fayının Paleosismolojik Ön Bulguları, Türkiye Kuvaterneri Çalıştayı-IV, Bildiriler Kitapçığı, Makaleler, s. 120-128, 29-30 Mayıs 2003, İstanbul.

URL 1. AA Haber, 2021. Ege'nin Jeotermal Potansiyeli, Erişim Tarihi: 22.09.2021; www.aa.com.tr/tr/ekonomi/egenin-jeotermal-potansiyeli-elektrikten-tarima-birçok-firsat-sunuyor/2297772.

URL 2. Jeolojik Devirler ve Fosil Bilim, Erişim Tarihi: 20.05.2012; https://www.fosiller.com/?p=267

Wippern, J., 1964. Menderes Masifinin Alpidik Dağ Teşekkülü İçin Durumu. Maden Tetkik ve Arama Enstitü Dergisi, 62, 71-79.

Yemen, H., 1999. Ege Bölgesi Isı Akısı Dağılımı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Ensitütüsü, Yüksek Lisans Tezi, s.101. Isparta.

Yürekli, H., Karaca, Ö., 2020. Liquefaction Potential Analysis and Mapping of Alluvium Soil: A Case Study in Nazilli-Aydın (West Turkey). Celal Bayar University Journal of Science, 16 (1), 15-23.