T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PAMUKÖREN – KUYUCAK (AYDIN) JEOTERMAL SAHASININ JEOLOJİK VE JEOKİMYASAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Berk UZUN

DANIŞMAN
Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jeoloji Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma 01.07.2019 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Jeoloji Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Esra SUNGUR
İstanbul Üniversitesi
Fen Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Murat YILMAZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında, gerek arazi çalışmalarım sırasında gerek de laboratuar ve tez yazım aşamalarında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı danışman hocam Prof.Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ'e,

Tüm bu süreçte beni motive eden, yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen TURCAS Kuyucak Jeotermal AŞ. şirketindeki değerli arkadaşlarıma ve yöneticilerime,

Tüm hayatım boyunca her zaman yanımda olan aileme,

Son olarak da her koşulda destek veren eşim Fulya'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2019 Berk UZUN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **viii**
TABLO LİSTESİ ..... **x**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xii**
SUMMARY ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **2**
2.1. ÇALIŞMANIN AMACI 2
2.2. ÇALIŞMA ALANI 2
2.2.1. Coğrafik Konumu ve Ulaşım 2
2.2.2. Morfoloji 3
2.2.3. Tarım ve Hayvancılık 4
2.2.4. İklim ve Bitki Örtüsü 4
2.2.5. Yerleşim 4
2.3. ÖNCEKİ İNCELEMELER 5
2.4. GENEL JEOLOJİ 6
2.4.1. Batı Anadolu'nun Aktif Tektonizması 6
2.4.1.1. Ege Bölgesinde Genişlemeli Tektonik Modeller *7*
2.4.2. Büyük Menderes Grabeni'nin Jeolojik Özellikleri 10
2.4.3. Temel Kayaç Birimleri 11
2.4.4. Havza Çökel Birimleri 12
2.4.5. Metamorfizma ve Volkanizma 15
2.5 JEOTERMAL ENERJİ 16
2.5.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı ve Oluşumu 16
2.5.2. Jeotermal Sistem Elemanları 18
2.5.3. Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu 20
2.5.4. Jeotermal Enerjinin Türkiye'de Durumu 21
3. MALZEME VE YÖNTEM **24**

3.1.ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ....24
3.1.1. Arazi Çalışmaları....24
3.1.2. Laboratuvar Çalışmaları....24
4. BULGULAR....26
4.1. PAMUKÖREN JEOTERMAL SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER....26
4.2. STRATİGRAFİ....28
4.2.1. Menderes Masifi Metamorfikleri....29
4.2.2. Kestel Formasyonu....31
4.3. YAPISAL JEOLOJİ....34
4.3.1. Çalışma Alanında Gözlenen Faylar....36
4.4. ÇALIŞMA ALANININ JEOTERMAL SİSTEMİ....38
4.4.1. Isı Kaynağı....38
4.4.2. Beslenme....38
4.4.3. Rezervuar Kayaç....39
4.4.4. Örtü Kayaç....40
4.4.4.1. Geçirimli Birimler....40
4.4.4.2. Yarı Geçirimli Birimler....40
4.4.4.3. Geçirimsiz Birimler....41
4.1.1. Üretim, Re-enjeksiyon Kuyuları Hakkında Genel Bilgi....41
4.1.1.2. Kuyularda Gerçekleştirilen Operasyonlar ve Kuyu Testleri....45
4.1.2. Kuyu Jeolojisi....47
4.2. SU KİMYASI....51
4.2.1 Jeotermal Suların Fiziko-Kimyasal Özellikleri....52
4.2.2. Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları....53
4.2.3. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar....54
4.3. JEOTERMAL SULARIN FASİYES TİPLERİ VE SINIFLAMASI....55
4.3.1. Piper Diyagramı....55
4.3.2. Schoeller Diyagramı....56
4.3.3. Jeotermometre Uygulamaları....57
4.3. İZOTOP JEOKİMYASI....60
4.3.1. Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi....61
4.3.2. Trityum (^{3}H) İlişkisi....63
5. TARTIŞMA VE SONUÇ....64
KAYNAKLAR....67

ÖZGEÇMİŞ 71

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası 3

Şekil 2.2: Türkiye'nin ana neotektonik hatları (Bozkurt, 2001) 6

Şekil 2.3: Tipik bir metamorfik çekirdek kompleksi ve ilişkili yapılar (Fossen, 2010) 9

Şekil 2.4: Batı Anadolu'da D-B grabenleri oluşum şeması (Seyitoğlu ve Işık, 2009'dan alınmıştır). 10

Şekil 2.5: Batı Anadoluda Menderes çekirdek kompleksi ve ana tektonik elemanların konumları (Seyitoğlu vd., 2004'den alınmıştır). 12

Şekil 2.6: Aydın civarı genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Batum ve diğ, (2012)'nden alınmıştır.). 14

Şekil 2.7: Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem (Grant vd., 1982'den uyarlanmıştır.) 16

Şekil 2.8: İzlanda Strokkur Gayzeri 18

Şekil 2.9: Jeotermal sistemi oluşturan genel istif. 19

Şekil 2.10: Dünyadaki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar (GEO, 2015c). 20

Şekil 2.11: Türkiye'de genç tektonik hatlar ve sıcak su kaynaklarının dağılımı (MTA,2012). 23

Şekil 3.1: NCG Ölçümü. 25

Şekil 4.1: Pamukören Jeotermal Sahasına G-K Bakış (Kayrandere Vadisi). 27

Şekil 4.2: Pamukören Jeotermal Sahasına K-G Bakış (Kayrandere Vadisi). 27

Şekil 4.3: Şistler arasında gözlenen kuvars damarı. 29

Şekil 4.4: Gözlü Gnays. 30

Şekil 4.5: Şist serisinin arazi görünümü (ölçeksiz). 31

Şekil 4.6: Kestel Formasyonu. 32

Şekil 4.7: Çalışma Alanı ve Çevresinin Stratigrafik Kesiti. 33

Şekil 4.8: Pamukören Jeotermal Sahası ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Ali Koçyiğit, 2015). 35

Şekil 4.9: Pamukören Jeotermal Sahası K – G Enine Kesiti (Ali Koçyiğit, 2015).....36

Şekil 4.10: Kurtuluş Fayı (D-B Bakış).....38

Şekil 4.11: Rezervuar Seviyeyi Oluşturan Mermerler (Karacasu Grabeni Mermer Ocağı). 40

Şekil 4.12: Pamukören Jeotermal Sahası Jeotermal Sistemi (Ali Koçyiğit, 2015).....41

Şekil 4.13: Çalışma alanında üretim ve reenjeksiyon bölgelerini gösterir harita. 45

Şekil 4.14: Reenjeksiyon Testi.....46

Şekil 4.15: Asitleme Operasyonu ve Kuyunun Serbest Akışı. 47

Şekil 4.16: Alüvyon. 48

Şekil 4.17: Allokton Gnays.....48

Şekil 4.18: Klorit Şist.....49

Şekil 4.19: Kuvars Şist.....49

Şekil 4.20: Mika Şist.....49

Şekil 4.21: Kalk Şist.....50

Şekil 4.22: Alacalı Mermer.....51

Şekil 4.23: Mermer. 51

Şekil 4.24: Dolomitik Mermer – Meta Dolomit. 51

Şekil 4.25: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Piper Diagramı. 56

Şekil 4.26: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Scholler Diagramı. 57

Şekil 4.27: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Giggenbach diyagramı. 59

Şekil 4.28: Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi.....62

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Pamukören Jeotermal Sahasında Açılmış Kuyular. 42

Tablo 2: Çalışma Alanındaki Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları. 54

Tablo 3: Çalışma Alanındaki Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları. 55

Tablo 4: Giggenbach diyagramında kuyulara ait simgeler. 58

Tablo 5: Jeotermometre Hesaplamaları. 60

Tablo 6: İzotop Analizleri. 61

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Kısaltmalar	Açıklama
BMG	: Büyük Menderes Grabeni
Eİ	: Elektriksel İletkenlik (µS/cm)
JES	: Jeotermal Elektrik Santrali
mek/l	: Miliekivalen/litre
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
pH	: Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
TU	: Trityum Birimi

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PAMUKÖREN – KUYUCAK (AYDIN) JEOTERMAL SAHASININ JEOLOJİK VE JEOKİMYASAL OLARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

Berk UZUN

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ

Batı Anadolu K-G yönünde genişleyen, sismik yönden aktif bir bölgedir (Dewey and Şengör 1979, Şengör 1987). Bu genişleme etkisinde Batı Anadolu'da normal faylarla sınırlandırılmış D-B uzanımlı grabenler oluşmuştur. Son yıllarda jeotermal kaynak aramacılığının hızla gelişim gösterdiği Büyük Menderes Grabeni bu çöküntü alanlarından en önemlilerinden biridir. Büyük Menderes Grabeni'nin orta-doğusunda konumlanan Pamukören (Aydın) Jeotermal Sahası'nın temel kayaç birimlerini Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Temelde yer alan metamorfikler bölgenin aktif tektonizması nedeniyle oluşan faylanmalarla ikincil gözeneklilik kazanmış, genel olarak mermer, kalk şist ve dolomitik mermerlerin fay ve kırık zonlarında jeotermal rezervuarlar gelişmiştir. Çeşitli şistler ve Pliyosen – Pliyokuvaterner çökeller ise jeotermal sistemin örtü kayaç özelliği göstermektedir. Çalışma alanında açılan kuyuların kuyu logları ve yapılan saha jeoloji çalışması verilerine göre sahanın jeolojik istifi yüzeyde allokton gnays birimi örten 25 – 50 metre kalınlıkta güncel alüvyon birimi, alüvyon biriminin altında paleozoyik yaşlı kuzeyden güneye doğru yaklaşık 3 kilometrelik bir mesafede 200 metre kalınlıktan 500 metre kalınlığa çıkan allokton gnays birimi yer almaktadır. Jeotermal rezervuarın örtü kayaları özelliğindeki şistler stratigrafik istifte alloktan gnaysın altında olup kuyularda 800 – 1200 metre kalınlıkta kesilmektedir. Kalın şist serisi, oluşturulan kuyu logları incelendiğinde çoğunlukla muskovit şist, kuvars şist, klorit şist, kuvars-klorit şist, kalk şist, kuvarsit mermer olarak değişik kalınlıklarda litolojilerden meydana geldiği görülmektedir. Bu şistler çalışma alanında faylanmalarla da birlikte birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidir.

Sondajlar sırasında jeotermal rezervuarı işaret eden kısmi ve tam kaçakların tümü şist serisi içerisinde kalk şist - mermer ardalanmalarında gerçekleştirmektedir.

Çalışma alanının da içerisinde yer aldığı Büyük Menderes Grabeni'ni oluşturan D-B yönlü normal faylar Erken – Orta miyosen yaşlı olup, daha genç dönemlerde graben açılmaya devam etmiş ve basamak fayları gelişmiştir. Bölgedeki K-G yönlü doğrultu atımlı faylar miyosen öncesi sıkışma döneminde gelişip grabenin açılmaya başlamasıyla tekrar aktiflik kazanmışlardır ve jeotermal sistemin gelişmesinde önemli rol oynamışlardır. İyi boylanmamış, polijenetik ve zayıf tutturulmuş, iri taneli konglomeralardan oluşan Kestel Formasyonu Menderes Masifi'nin yükselmesiyle yükselmiş ve D-B normal fayların önünde devrilmiştir. Bu özelliğiyle D-B fayların belirlenmesinde yardımcı olmaktadır.

Yapılan su kimyası çalışmalarında jeotermometre yöntemiyle rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. Katyon jeotermometrelerinde (Na-K-Ca) 201 – 210 °C rezervuar sıcaklığı ölçülmüştür. Bu sıcaklıkların akış testlerinde ölçülen kuyu içi ve akışkan sıcaklıklarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Piper ve Scholler diyagramlarının yorumlanması ile kuyularından alınan tüm akışkanlarda hakim katyon Na iken, hakim anyon HCO_3 ise olup bu sular $NaHCO_3$ su tipindedir. Duraylı oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve döteryum ($\delta^{2}H$) izotop analizleri incelendiğinde jeotermal sistemin meteorik sulardan beslendiğini görülmektedir. Sıcak suların trityum ölçümlerine bakıldığında, TU değerleri sıfıra yakın olup, Eİ değerlerinin yüksek olması bu suların derin dolaşımlı sular sınıfında olduğu göstermektedir. Kuyuların göreceli olarak uzun süreli (yer altı dolaşım süresi 50 yıldan fazla) geçiş zamanına sahip yeraltısuları yaşlı sular sınıfındadır.

Temmuz 2019, 86 sayfa.

Anahtar kelimeler: Aydın, Jeoloji, Jeotermal, Jeokimya, Kuyu

SUMMARY

M.Sc. THESIS

GEOLOGICAL AND GEOCHEMICAL EVALUATION OF THE GEOTHERMAL FIELD OF THE PAMUKÖREN – KUYUCAK (AYDIN)

Berk UZUN

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Geological Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Hakan HOŞGÖRMEZ

Western Anatolia is a seismically active region expanding in the N-S direction (Dewey and Şengör 1979, Şengör 1987). Under the effect of extensional tectonics E-W trending grabens were formed in Western Anatolia. Büyük Menderes Graben is one of the most important of these grabens which geothermal resource exploration has developed rapidly in recent years. The metamorphic rocks of the Menderes Massif are the basement rock units of Pamukören (Aydın) Geothermal Field where located in the middle-east of Büyük Menderes Graben. The basement metamorphic rocks have gained secondary porosity by faulting due to active tectonism of the region, and in general, geothermal reservoirs have developed in fault and fracture zones of marble, calc schist and dolomitic marbles. Various schists and Pliocene - Pliocene Quaternary deposits exhibit cover rocks characteristics of geothermal system. According to the well logs of the wells drilled in the study area and field geology work reports on the surface 25-50 meters thickness of alluvium covers the allochthonous gneiss. Thickness of Allochthonous gneiss unit is increased from 200 meters to 500 meters at a distance of 3 kilometers from north to south. The schists, which cover the geothermal reservoir, are under the allochthonous gneiss in the stratigraphic sequence and are cut in the wells about 800 - 1200 meters thickness. Schist series are composed of different thicknesses of muscovite schist, quartz schist, chlorite schist, quartz-chlorite schist, calc schist and quartzite lithologies. These schists

are transverse to each other laterally and vertically with faulting in the study area. During the drillings all of the partial and total mud losses, pointing to the geothermal reservoir, occur in calc schist - marble intercalations.

E-W trending normal faults of the Büyük Menderes Graben are Early - Middle Miocene aged. Under the extensional tectonic regime graben continued to extent in younger periods and step faults developed. Under the compressional tectonic ragime formed, pre-miocene aged N-S tranding strike-slip faults are re-activated by the extension of the graben and played an important role in the development of geothermal system. Kestel Formation is consist of unsorted, polygenetic weakly lithified boulder-block coarse grained conglomerates. These conglomerates have been uplifted, dissected and back-tilted in the footwall block of the northern margin-boundin faults.

Reservoir temperatures were calculated by geothermometer method in water chemistry studies. Cation geothermometers (Na-K-Ca) gives reservoir temperatures between 201 - 210 ° C which shows comformity with the temperatures were measures during short term flow tests. With the interpretation of the Piper and Schoeller diagrams, the dominant cation is Na while the dominant anion is HCO3, and water typeis NaHCO3. Stable oxygen-18 (δ18O) and deuterium (δ2H) isotope analyzes show that the geothermal system is fed from meteoric waters. When the tritium measurements of hot waters are considered, TU values are close to zero and high EI values indicate that these waters are in deep circulating water class. High electrical conductivity, chloride and Tritium values of the geothermal waters of the area, indicate an origin of long and deep circulating (more than 50 years) meteoric origin waters.

June 2019, 86 pages.

Keywords: Aydın, Geology, Geothermal, Geochemstry, Well

1. GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerin enerji ihtiyacı büyüme hızlarına da bağlı olarak hızla artmaktadır. Ülkeler bir yandan alışılmış enerji kaynaklarından daha ekonomik yararlanma yollarını ararken, öte yandan yenilenebilir enerji kaynaklarından çok kapsamlı bir biçimde faydalanma yollarını araştırmaktadırlar. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan jeotermal enerjiyi alternatif bir kaynak olarak daha önemli bir hale getirmektedir. Jeotermal enerji, düşük CO_2 emisyonuna sahiptirve bu yüzden hava kirliliğine sebep olmaz. Ayrıca yenilenebilir olması sebebiyle de önemli bir alternatif enerji kaynağıdır.

Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahiptir. Dünyada 7. Sırada yer almaktadır. Ülkemizde 35-40 °C'den fazla sıcaklıkta 170 jeotermal saha belirlenmiştir ve neredeyse tamamı Batı Anadolu Bölgesinde yer almaktadır. Ayrıca bu sahalar yüksek entalpiye sahiptir.

Batı Anadolu'daki jeotermal alanlar çoğunlukla yüksek sıcaklığa sahip olup, gerilme rejimine bağlı olarak çöküntü alanlarında yer alırlar. D-B ve KB-GD gidişli grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan aktif faylar bölgede jeotermal sistemlerin gelişmesini sağlamışlardır.

Tez kapsamında çalışılacak Pamukören-Kuyucak (Aydın) Jeotermal Sahası, Ege Horst - Graben Sisteminde Büyük Menderes Grabeni'nin (B.M.G.) kuzeyini sınırlayan ana sıyrılma fayının kuzeyinde yer almaktadır. Jeotermal sahada gerçekleştirilmiş saha jeoloji çalışmaları, literatür verileri, açılmış olan jeotermal üretim ve re-enjeksiyon kuyulardan elde edilen veriler değerlendirilerek bölgenin jeolojik ve jeokimyasal incelemesinin yapılmıştır.

2. GENEL KISIMLAR

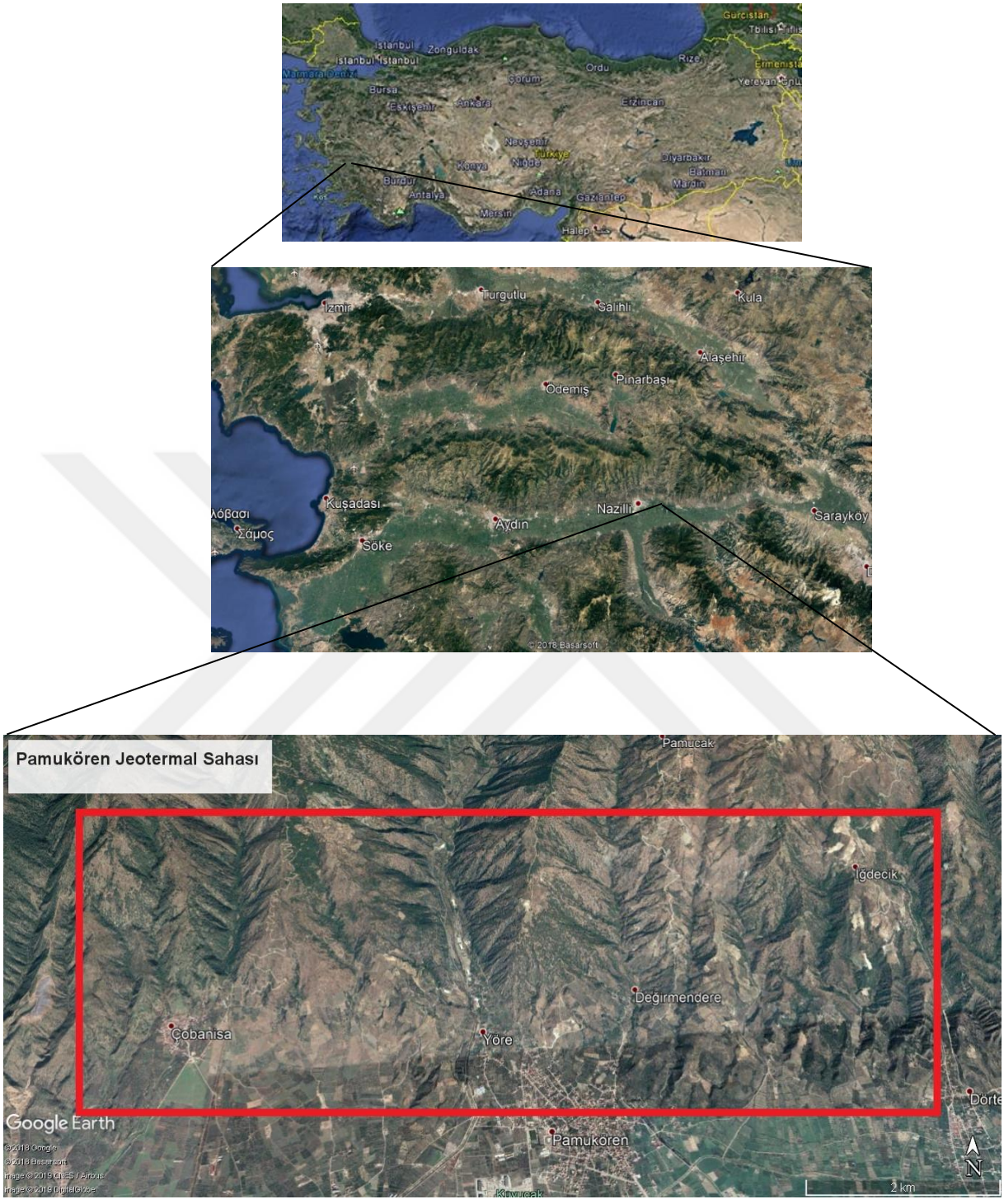
2.1. ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalısma İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı Jeoloji Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu tez çalışması kapsamında Pamukören Jeotermal Sahası'nda yapılan saha jeolojisi çalışmaları, literatür verileri, jeotermal enerji üretmek amacıyla açılan derin kuyularından toplanan sondaj verileri ve kuyu logları bir araya getirilmiştir. Saha jeolojisi çalışmaları, kuyulardan elden edilen veriler biraraya getirilerek bölgenin jeolojik yapısını ortaya koymak, kuyulardan alınan su ve gaz numunelerinin jeokimyasal analizleri ile jeotermal akışkanın su tipinin, jeotermal rezervuar sıcaklığının, kayaç-su ilişkisinin ve jeotermal akışkanın yaşının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2.2. ÇALIŞMA ALANI

2.2.1. Coğrafik Konumu ve Ulaşım

Çalışma alanı Aydın ili, Kuyucak ilçesi sınırları içinde, Pamukören beldesi bağlı Yöre köyü'nün kuzeyinde yeralmaktadır. Ulaşım ağı gelişmiş olup, tüm yerleşim alanlarına ulaşım asfalt yolla sağlanır. İzmir'i Aydın ve Denizli illerine bağlayan E-87 karayolu inceleme alanının güneyinden geçer. Aydın il merkezine 66 km, Denizli il merkezine 60 km mesafededir. Özel bir şirket tarafından işletilen jeotermal işletme ruhsat alanının batısında Nazilli, doğusunda Buharkent ilçeleri, kuzeyinde Kayran köyü, güneyinde ise Pamukören beldesi yer almakta olup daha da güneyden demiryolu, D-320 karayolu ve Menderes Nehri geçmektedir. Çalışma alanında yükseklik deniz seviyesinden 250 – 400 metre arasındadır. Ulaşım genel olarak Aydın-Denizli karayolu kullanılarak yapılmaktadır. Pamukören ilçe merkezinden geçen İzmir - Denizli demiryolu kullanılarak da çalışma alanına ulaşılabilir. İzmir Adnan Menderes Uluslararası Havaalanı çalışma alanına yaklaşık 180 km, Denizli Havaalanı ise 130 km'dir.



Şekil 2.1: Çalışma alanının yer bulduru haritası

2.2.2. Morfoloji

Pamukören beldesi, Yöre ve Kayran köyleri arasında kalan çalışma alanı, içinden Kayran deresinin aktığı bir vadi içinde yeralmaktadır. Vadinin doğu ve batısında yükseklikler 600 – 800 metre arasında değişmektedir. Kuzeye gidildikçe 1200-1300 m' yi bulan yükseklikte

topografya izlenir. Çalışma alanının güneyinde ise Büyük Menderes Nehrinin'de içinden aktığı Büyük Menderes Havzası bulunmaktadır ve havzanın rakımı 80 – 100 metre arasında değişmektedir.

2.2.3. Tarım ve Hayvancılık

Tarım konusunda büyük bir potansiyele sahip olan Aydın ilinde yaklaşık 370bin hektar tarım arazisi bulunmaktadır. En büyük payı %59 baharat bitkileri, meyveler ve içecek kaplar ve geriye kalan alanlar orman, çayır ve mera, göl ve bataklık ile tarım dışı arazilerden oluşur.

İlin yüzölçümünün yarısını zeytin ve meyvelikler oluşturur. Türkiye'de zeytin, incir, kestane üretiminde birinci sıradadır. Ayrıca enginar ve pamuk üretiminde de ikinci sırada yer alır. Türkiye orman ürünlerinin % 3,8'ini Aydın sağlamaktadır. Ova ve vadi tabanlarında pamuk, tütün, üzüm, ayçiçeği tarımı yapılmaktadır. Yamaçlarda birikinti konileri ve tepeliklerde zeytin, incir ve narenciye tarımı daha yaygın olarak yapılır. Turunçgil bahçeleri geniş bir şekilde yer almaktadır (https://aydin.tarimorman.gov.tr).

Hayvancılık, bitki örtüsü ve iklimi sebebiyle gelişmiştir. Meralar gittikçe azalmaktadır ve koyun, kıl keçisi ve sığır beslenir. Arıcılık son yılarda gelişmektedir ve tavukçuluk bazı bölgelerde önemli konumdadır.

2.2.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Aydın İli, coğrafi konumundan ve dağların denize dik olmasından dolayı Akdeniz ılıman iklimi bölgenin iç kısmına kadar etkisini göstermektedir. Büyük Menderes vadisi, diğer Ege ovaları gibi D-B yönünde gelişmiş olup Ege Denizi'ne doğru uzanmaktadır. Bu nedenle denizin ılıman etkisi ve yağış getiren rüzgârlar Ege Bölgesi'nin iç kısımlarına kadar girebilmektedir. Bölgede yağışın tamamına yakını yağmur şeklinde gözlemlenmektedir. Aydın ilinde iklim büyük farklılıklar göstermemekle birlikte kıyıdan uzaklaştıkça karasal iklim etkileri artmaktadır.

2.2.5. Yerleşim

Çalışma alanında en büyük yerleşim yerleri, Kuyucak ilçe merkezi, Pamukören, Horsunlu, Çobanisa beldeleri ile Yöre ve Kayran köyleridir.

2.3. ÖNCEKİ İNCELEMELER

Karamanderesi (1972), Aydın-Nazilli-Çubukdağ bölgesi arasında jeolojik harita yapmış,daha sonra alanın jeotermal potansiyelini araştırmıştır. Çalışmaları sonucunda Salavatlı ve Sultanhisar sahalarının jeotermal potansiyelinin büyük olduğunu belirtmiştir.

Giese (1997), Menderes Masifi jeotermal alanlarında yaptığı incelemede, sıcak suların dinamik denge koşulları ve gelişimini, çevresel jeolojik koşullarını ve jeotermal sahalarda kabuklaşmaya neden olan etkenleri araştırmış tüm alanların enerji ve materyal dengesini saptamıştır. Bu çalışmanın sonucunda, bölgesel ölçekte jeotermal bir model ortaya koymuştur.

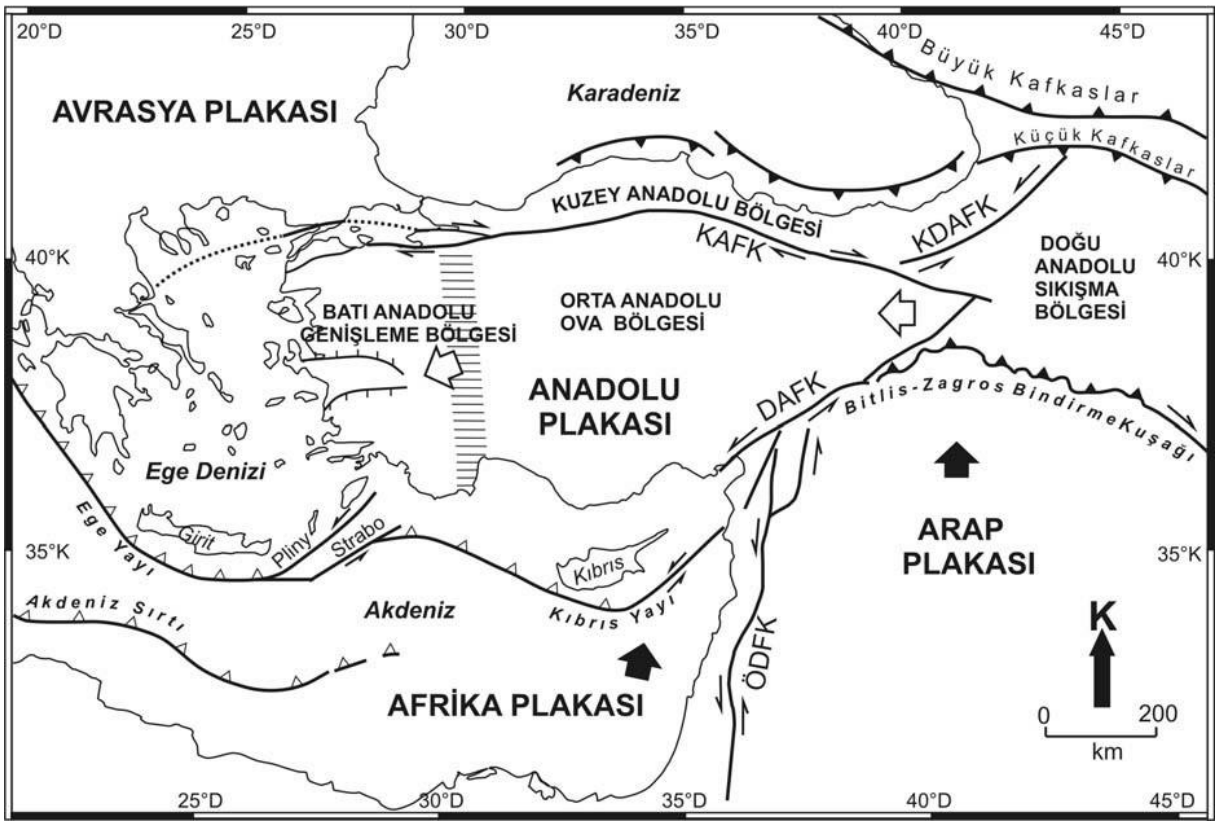
Mutlu ve Güleç (1998), Büyük Menderes Grabeni'nde jeotermal suların, bölgedeki etkin grabenleşmeye bağlı olarak geliştiğini ifade etmiş ve tektonizmanın etkinliğine dikkat çekmişlerdir. Bu incelemede, jeotermal suların rezervuar kayaçlarının Menderes Masifi'ne ait Mesozoyik öncesi mermer, gnays, kuvarsitlerden oluşan metamorfik kayaçlar, Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ve Neojen yaşlı volkanosedimanter kayaçlar olduğu belirtilir. Germencik (Aydın)'teki Cl^- zenginleşmesinin, fosil sularla bağlantılı olabileceğini söyleyen araştırmacılar ayrıca Kızıldere bölgesinde bulunan HCO_3^-'ın jeotermal rezervuardaki karbonatlı kayaçlar ile olan su-kayaç ilişkisi nedeniyle olabileceğini belirtmişlerdir. Kızıldere sahasındaki sularda izlenen Ca^{+2} yerine Na^+ etkinliğini, jeotermal sistemin CO_2 varlığı ile karakterize edildiğini, Na^+'un silisik-klastik kayaçların alterasyonu ile oluştuğunu ifade etmişlerdir. Bu çalışma kapsamında Batı Anadolu'da yüzeyleyen jeotermal suların, genç neotektonizmaya bağlı olduğunu, dolayısıyla litostatik basınç kaçmasına bağlı olarak manto malzemesinin yükselerek suları etkilediğini belirtmişler ve fay hatları boyunca gelişen suların derin döngüsünün önemli bir etmen olduğunu ortaya koymuşlardır.

Koçyiğit (2010) [4], çalışma alanı ve yakın çevresinin jeolojisi ve tektonoğini çalışmış, bölgenin stratigrafisini ve yapısal unsurlarını ortaya koymuştur. Büyük Menderes horst-graben sistemine uyumlu olarak çalışma sahasının güney kısmında menderes masifi temel kayalarının dolgu çökelleriyle uyumsuz olarak örtüldüğünü, çalışma alanında ise geniş bir alanda metamorfik kayaların gözlendiğini belirtmiştir.

Batum ve diğ. (2012), Aydın-Kuyucak-Pamukören (J-451 no.lu saha) ve Aydın-Sultanhisar (J-551 no.lu saha) sahalarında jeolojik revizyon, tetkik ve değerlendirme çalışmaları ile her iki sahada olmak üzere toplam 15 profilde 60 km uzunluğunda ve nokta aralığı 50 m olacak şekilde

CSAMT ölçüsü ve toplam 20 noktada düşey elektrik sondaj (DES) ölçüsü alınmak suretiyle jeofizik etüt çalışmaları gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma sonucunda Aydın-Kuyucak-Pamukören ruhsat sahası içinde, jeotermal açıdan önemli sayılabilecek anomaliler tespit edilmiştir.

Batum ve Üçer, inceleme alanı ve yakın çevresinde yapmış oldukları jeofizik CSAMT çalışmalarıyla, havza ortasındaki gömülü tektonik yapıyı ve jeotermal aktiviteye bağlı düşük rezistiviteli zonları belirlemişlerdir.



Şekil 2.2: Türkiye'nin ana neotektonik hatları (Bozkurt, 2001)

2.4. GENEL JEOLOJİ

2.4.1. Batı Anadolu'nun Aktif Tektonizması

Batı Anadolu, sismik olarak aktif ve Kuzey – Güney yönlü şiddetli gerilmeye sahip bir bölgedir (Dewey and Şengör 1979, Şengör 1987). Batı Anadolu, gerilme rejimi etkisinde şekillenmiştir ve Doğu – Batı yönünde uzanan grabenler ile sınırlanan normal faylar ile kırılmıştır. Büyük

Menderes Grabeni, yaklaşık 150 km uzunluğu ve 10 – 20 km genişliğiyle en önemli grabenlerden biridir (Paton 1992).

Batı Anadolu'da D-B doğrultulu ana yapılardan biri olan Büyük Menderes grabeni, doğuda Denizli havzasından batıda Ege Denizi'ne kadar uzanmaktadır. Yaklaşık uzunluğu 150 km olan Büyük Menderes grabeni yarım graben niteliğindedir ve ana fay grabenin kuzey kenarı boyunca uzanmaktadır, grabenin güneyini sınırlayan faylar ise ana fay antitetik faylardır. Büyük Menderes grabenindeki tektonik aktivitenin önemli bir kısmının grabenin kuzeyinde gerçekleştiği daha önce yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Şengör 1982, Paton 1992, Seyitoğlu ve Scott 1992, Cohen *ve diğ* 1995, Hakyemez *ve diğ* 1999, Bozkurt 2000). Grabenin kuzeyini sınırlayan bölümde iki ayrı fay takımı bulunmaktadır. Bunlardan en genci ve aktif olanı grabenin içinde depolanan güncel alüvyon ile Neojen birimleri arasında, daha kuzeydeki ve aktifliğini yitirmiş olan ise grabenin tabanını oluşturan Menderes metamorfikleri ile Neojen birimleri arasında bulunmaktadır.

Bölgede yapılan GPS çalışmalarına göre üzerinde yıllık 30-40 mm lik hareket gözlenen Batı Anadolu bölgesinde, bu hareketin yaşı ve kaynağı hakkında farklı görüşler bulunmaktadır.

2.4.1.1. Ege Bölgesinde Genişlemeli Tektonik Modeller

Tektonik kaçma modeli:

Orta – Geç Miyosende Bitlis – Zagroz sütur zonu boyunca Arap plakası ile Avrasya plakası çarpışmış ve bölgede gelişen Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu fayları boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. Anadolu'nun batıya kaçışı neticesinde Batı Anadolu'da deformasyonlar gerçekleşmiş ve bölge K – G yönünde gerilmeye başlamıştır (Dewey ve Şengör 1979, Şengör *ve diğ*. 1985; Görür *ve diğ*. 1995).

Yay ardı açılma modeli:

Helen yayının dalma batma zamanı, yay ardı genişleme için çok önemli bir noktadadır. Hendek, G – GB' ya doğru ilerleyerek yay ardı bölgesinde genişlemektedir. Le Pichon ve Angelier (1979; 1981), dalma batmanın yaşını 13 My (Orta Miyosen) olarak vermiştir. McKenzie (1978) ve Jackson ve McKenzie (1988) ise 5 My (Pliyosen) yaşını vermişlerdir. Meulenkamp vd. (1988) ve Spankman vd. (1988), elde ettikleri veriler ile dalma batmanın başlangıcının 26 My önce başlaması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bununla bağlantılı yay ardı açılmasının

oluşabilmesinin, dalan levhanın belirli bir uzunluğa ulaşmasına bağlı olduğunu ve bunun da Ege'de başlaması gerektiğini söylemişlerdir. Thomson vd. (1988), Erken Oligosen'den itibaren roll back (dönerek geri çekilme) mekanizmasının başladığını belirtmiştir.

Orojenik çökme modeli:

Dewey (1979), Geç Miyosen'deki gerilmeli tektoniği açıklamak için bu modeli önermiştir. Seyitoğlu and Scott (1991, 1992) ve Seyitoğlu (1996) ise Ege'deki Doğu – Batı uzanımlı grabenlerden ve diğer havzalardan edindikleri yaş verileri sonucu genişlemenin Erken Miyosen'de başladığını öne sürmüşlerdir. Bu palinolojik ve izotopik yaş verileri ile Le Pichon ve Angelier (1979)'in belirttiği yaş verileri birbirleri ile uyumludur. Sonuçta, Paleosen döneminde meydana gelen çarpışma sebebiyle Anadolu Levhası, İzmir-Ankara-Erzincan-Neotetis Kuşağı boyunca kısalarak kalınlaşmıştır ve Geç Oligosen-Erken Miyosen döneminde daha da kalınlaşan kabuk yayılmaya başlayarak genişlemeli tektonizmayı başlatmıştır.

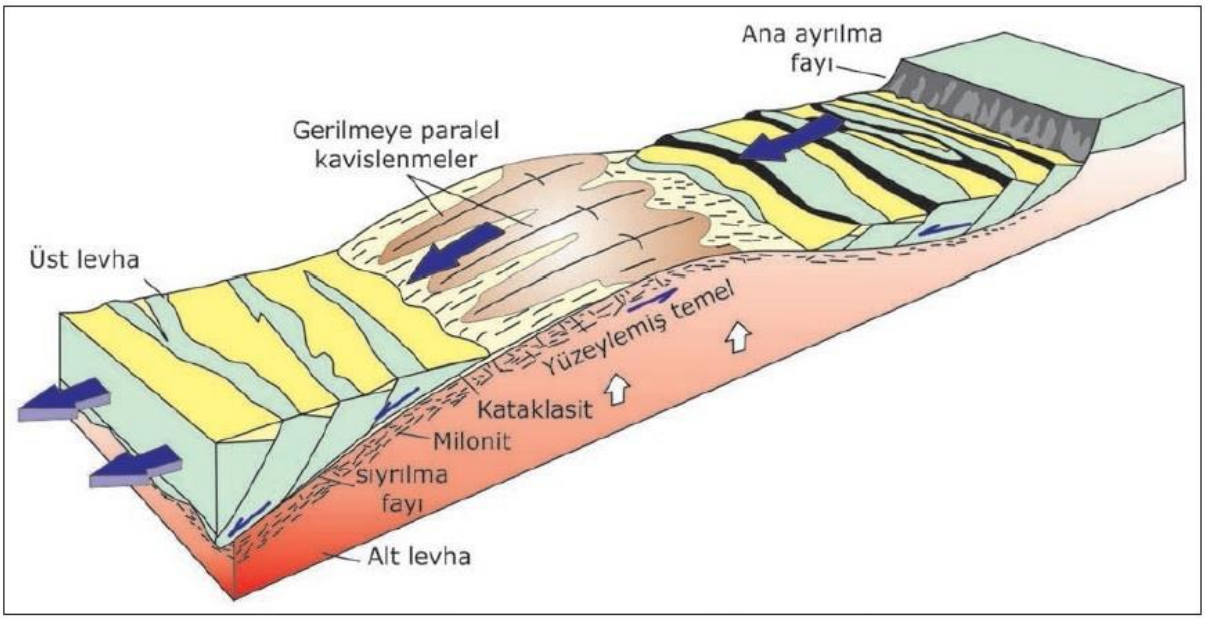
İki aşamalı graben modeli:

İki Aşamalı graben modelinde ise, Batı Anadolu'nun iki dönemde gelişmiş olduğu öne sürülmüştür. Buna göre, önce orojenik çökme gerçekleşmiştir sonra ise Anadolu'nun batıya kaçması sonucu oluşan Kuzey – Güney yönlü gerilmelerin etkin olduğu öne sürülmektedir (Koçyiğit *ve diğ* 1999).

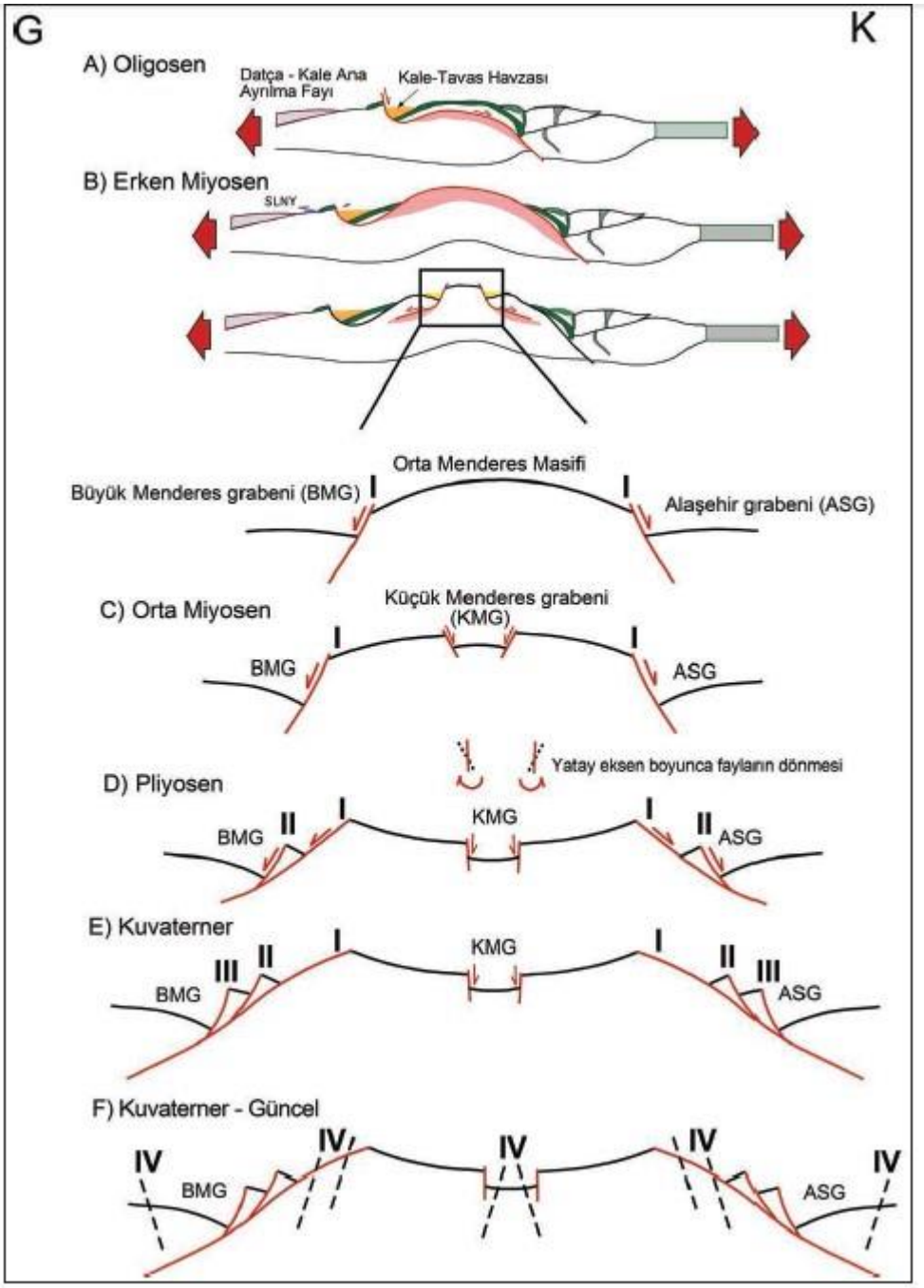
Çekirdek Kompleksi Modeli:

Amerika Birleşik Devletinin batısında metamorfik çekirdek kompleksi kavramı ortaya konulmuştur. Bu kavram, düşük açıya sahip detachment faylarının ve 20km derinde bulunan kayaların yüzeye ve sünümlü ortamdan kırılgan ortama geçişlerini açıklamaktadır (Şekil 3.19). Bozkurt ve Park (1994) ile Verge (1993), Menderes Masifi'nin bir çekirdek kompleksi olduğunu belirtmişlerdir. Ancak kapsamlı modelin sunulması 2003 yılına kadar sürmüştür. Kuzey yönlü eğime sahip Simav Sıyrılma Fayı (Işık ve diğ. 1997; Işık ve Tekeli 2001) ile Güney yönlü eğime sahip Likya Sıyrılma Fayı Oligosen döneminde simetrik çekirdek kompleksi olarak tanımlanmıştır Ayrıca Orta Menderes Masifi de K – G yönlü detachment Fayları ile simetrik olarak yüzeylenmektedir (Ring ve diğ., 2003). Seyitoğlu vd. (2004), ise Oligosen döneminde Menderes Masifi'nin asimetrik kompleks olduğunu belirtmiştir. Datça - Kale Fayı, kuzey yönlü eğime sahip ana ayrılma fayıdır. Oligosen yaşlı Kale Havzası bu düşen blokta oluşmuştur. Erken Miyosen döneminde bu fay bükülerek yükselmiş ve Menderes Masifi

yüzeylenmiştir ve Simav Sıyrılma Fayı bu sistemin kuzeydeki bölümü olmuştur. Masif dom şeklini alarak Erken Miyosen'de, Miyosen'de kuzey yönlü eğime sahip Alaşehir Fayı ile güneye eğimli Büyük Menderes Fayı etkisi ile parçalanmıştır. Bu fayların dönerek düşük hale gelmeleri sınucu, Pliyosen döneminde simetrik çekirdek kompleksi olarak orta Menderes Masifi yüzeylenmektedir (Seyitoğlu vd., 2004).



Şekil 2.3: Tipik bir metamorfik çekirdek kompleksi ve ilişkili yapılar (Fossen, 2010)



Şekil 2.4: Batı Anadolu'da D-B grabenleri oluşum şeması (Seyitoğlu ve Işık, 2009'dan alınmıştır).

2.4.2. Büyük Menderes Grabeni'nin Jeolojik Özellikleri

Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarı Büyük Menderes Sıyrılma Fayı olarak adlandırılan düşük açılı normal faylar tarafından sınırlandırılmıştır. Büyük Menderes Sıyrılma Fayı'nın taban bloğu genç granitoyidlerden ve masifin metamorfik kayalarından oluşur. Tavan bloğunda ise çeşitli boyutlardaki düşük dereceli metamorfik kayalar ve Büyük Menderes Grabeni'nin

sedimanter birlikleri bulunur. Büyük Menderes Grabeni'ndeki sedimanter kayalar horst-graben gelişimi sırasında Neojen-Kuvaterner kabuksal deformasyonuyla şekillenir. Bütün birimler çökelmenin yanı sıra tabandaki metamorfik kayaçlarla tektonik kontağa sahiptir (Gürer vd., 2009). Büyük Menderes Grabeni dolgusu çoğunlukla klastiklerden oluşur ve bu dolgu Kuvaterner-Erken Miyosen olarak tarihlendirilmiştir (Seyitoğlu ve Scott, 1992; Şen ve Seyitoğlu, 2009). Alaşehir ve Büyük Menderes grabenlerine dair yapılan sedimantolojik çalışmalar, bu iki grabendeki sedimanların yaşlarının ve tektonik belirteçlerinin eşlenik olduğunu belirtmektedir (Cohen vd., 1995). Doğu-batı doğrultulu Alaşehir ve Büyük Menderes grabenlerinin en düşük kesitinin Erken Miyosen yaşlı olduğu manyetostatigrafik çalışmalarla kanıtlanmıştır (Şen ve Seyitoğlu, 2009).

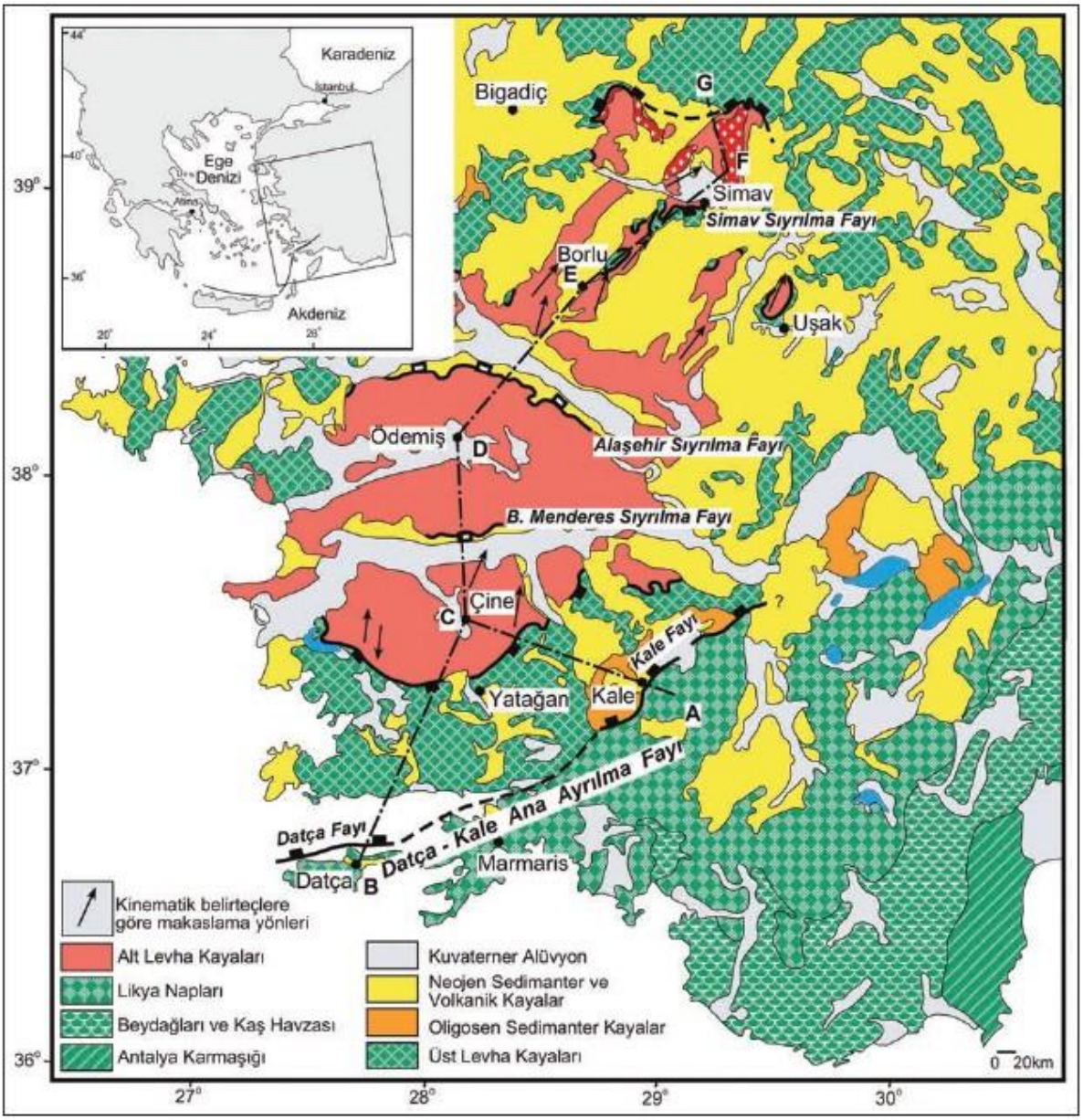
Büyük Menderes'in güneyinde kuzey-güney doğrultulu Çine, Bozdoğan, Karacasu ve Denizli grabenleri bulunur (Ocakoğlu vd., 2014). Güney Menderes Masifi'nin temel birimleri yüksek dereceli metamorfiklerden oluşurken graben tabanları genellikle Neojen ve Kuvaterner sedimanter birliklerinden oluşur. Masif güneyde Likya Napları ile sınırlanır. Oligosende kuzey dalımlı Datça-Kale Ana Ayrılma Fayı yüzeyi, Gökova ve Kale havzalarını kontrol eder. Kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu Kale havzasında yapılan araştırmalar havzanın gelişimine Üst Oligosen birlikleriyle birlikte başladığını ortaya koymuştur (Hakyemez, 1989; Akgün ve Sözbilir, 2001; Gürer ve Yılmaz, 2002).

2.4.3. Temel Kayaç Birimleri

Çalışma alanının da içinde bulunduğu Menderes Grabeni'nin paleotektonik dönem temel kayaç birimlerini Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaçlar oluşturmaktadır. Ege bölgesinde yaklaşık 300000 km2'lik geniş bir alan kapsayan masifin uzun ekseni KD-GB doğrultulu olup KB kenarı İzmir-Ankara Zonu'nun (Brinkmann, 1966) ofiyolitik kaya topluluğu ile, G kenarı ise Likya Napları ile sınırlandırılmaktadır. Batıda Kiklad Masifi ile sınırlanırken, doğuda Neojen örtü tarafından üzerlenmektedir (Dora vd., 1992). Yaklaşık D-B uzanımlı B.M.G., K.M.G., Gediz ve Simav grabenleri Masifi dört asmasife bölmektedir (Dora, 1975).

Pan-Afrikan yaşlı temel ve üzerine gelen Paleozoyik - Erken Tersiyer yaşa sahip örtülerden oluşan (Şengör et al., 1984) Menderes Masifinin temeli, yüksek metamorfizmaya uğramış olan migmatitten yapılı gnays ve şistler, granitik gnays, gözlü gnays ve bantlı gnayslardan oluşmaktadır (Dora vd., 1992; Şengör et al., 1984). Masifin çekirdeğinde Prekambriyen yaşlı

gnayslar vardır ve üste doğru mika-şistler (Paleozoyik), metakuvarsit, siyah fillit ve koyu renge sahip rekristalize kireçtaşları (Permo-Karbonifer) bulunmaktadır (Okay, 2001).



Şekil 2.5: Batı Anadoluda Menderes çekirdek kompleksi ve ana tektonik elemanların konumları (Seyitoğlu vd., 2004'den alınmıştır).

2.4.4. Havza Çökel Birimleri

Büyük Menderes Grabeni'nde Neojen yaşlı çökel kayalar olarak Miyosen (My), Pliyosen, Pliyo Kuvaterner ve Kuvaterner yaşlı çökeller yaygındır. Ayrıca, Pliyosen yaşlı asit volkanitler bir kaç mostrada izlenmektedir.

Miyosen Çökelleri:

Miyosen birimleri, Söke'nin batısında mostra vermektedir. Bu birim kırmızı- kahverengi çakıltaşı, kumtaşı, kırmızı miltaşı, kiltaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Kömürlü seviyeler Aydın ile Söke civarında görülmektedir. Paleozoyik yaşlı Menderes metamorfitlerinin üzerine Miyosen yaşlı karasal - gölsel çökeller açısal uyumsuzlukla gelmektedir. Bu birimlerin arasında lakün (stratigrafik boşluk) bulunmaktadır (Şimşek ve Gülgör, 1988). Miyosen çökelleri yerel olarak çökelmiştir ve kalınlığı 0-750 m. Arasındadır. Bu birim grabenin orta kısımlarına doğru kalındır, kuzeye doğru (Kızılcagedik Horstuna) gittikçe incelerek yok olmaktadır.

Pliyosen çökelleri:

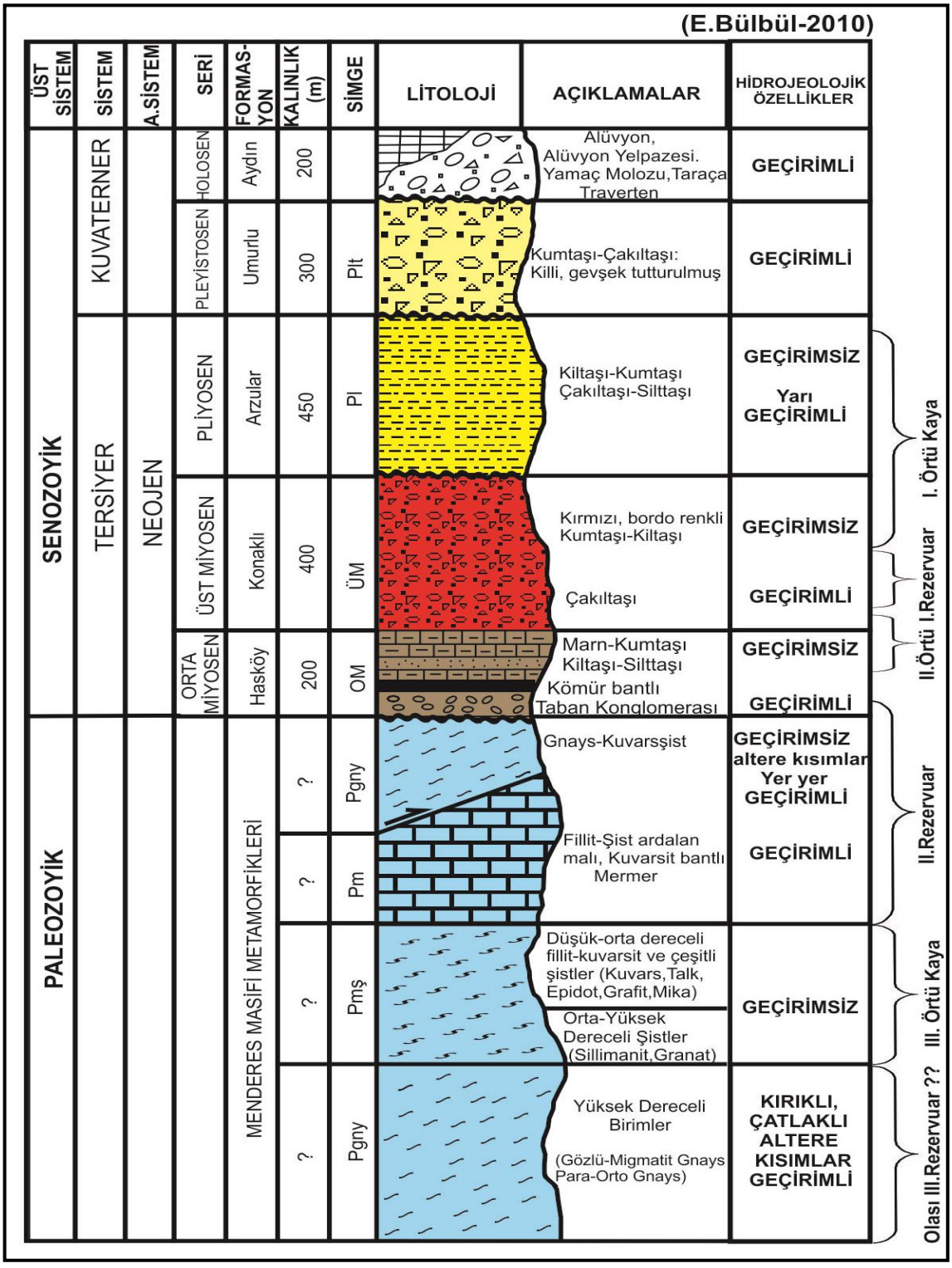
Pliyosen çökelleri açık boz renkli çakıltaşı, kumtaşı ve kiltaşı ardalanmasından meydana gelmektedir. Grabende yaygın olarak rastlanan bu birim kuzeyde Menderes metamorfitleri üzerine açısal uyumsuzluk ile gelir. Yaygın mostraları, Arzular Grabeni ve Bozköy Horstunda bulunur.

Pliyokuvaterner:

Pliyokuvaterner birimleri; sarımsı, kötü boylanmalı, kaba, iri bloklu ve çakıllı, gevşek tutturulmuş çakıltaşı, kumtaşı ardalanmalarından oluşur. Bu birimde yer yer kil ve miltaşı seviyeleri ve mercekleri bulunur. Birimin litolojisi tipik selinti ürünüdür ve grabenler içinde yaygın olarak bulunur. Ayrıca yanal ve düşey yönde geçişlidir ve kalınlığı değişken olmakla birlikte 500m.den fazladır.

Kuvaterner Çökeller:

Kuvaterner Çökelleri; alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpazesi ve traverten olarak gözlenmektedir. Büyük Menderes grabeninin ortasına doğru kalınlığı artarak 150 – 200 metreyi bulur. Ayrıca yaygın olarak, tutturulmamış veya çok az tutturulmuş çakıl, kum, mil ve kilden meydana gelen alüvyon dolgusu bulunmaktadır. Büyük Menderes grabeninin kuzeyinde bulunan aktif faylarda ve Kızılcagedik ve Bozköy horstlarının güneyindeki derelerin vadiyle birleştiği yerlerde alüvyon yelpazelerine rastlanılmaktadır.



Şekil 2.6: Aydın civarı genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Batum ve diğ, (2012)'nden alınmıştır.).

2.4.5. Metamorfizma ve Volkanizma

Menderes Masifinin temel birimleri, birden fazla evrede metamorfizma geçiren gözlü ve bantlı granitik gnayslarla, migmatit ve metavolkanitlerden oluşmuştur. Bu birimler ilk metamorfizmayı Kambriyen – Ordovisiyen döneminde (500My.) geçirmiştir (Dora vd., 1992).

Şengör et al., 1984; Yılmaz, 1997 ve Yılmaz et al., 2000, yaptıkları çalışmalarında masifi etkilemiş olan metamorfizmanın yaşını 35 – 45 my olarak belirtmişlerdir. Bölgede egemen olan sıkışma rejimi Üst Kretase'de başlamıştır. Bunun sonucunda İzmir - Ankara Sütur Zonu'na ait okyanusal ofiyolit napları güneye doğru Menderes Masifi istifinin üstünden geçmiştir. Bu olay da "Ana Metamorfizma" ya sebep olarak Menderes Masifinin asıl görüntüsünü kazandırmıştır.

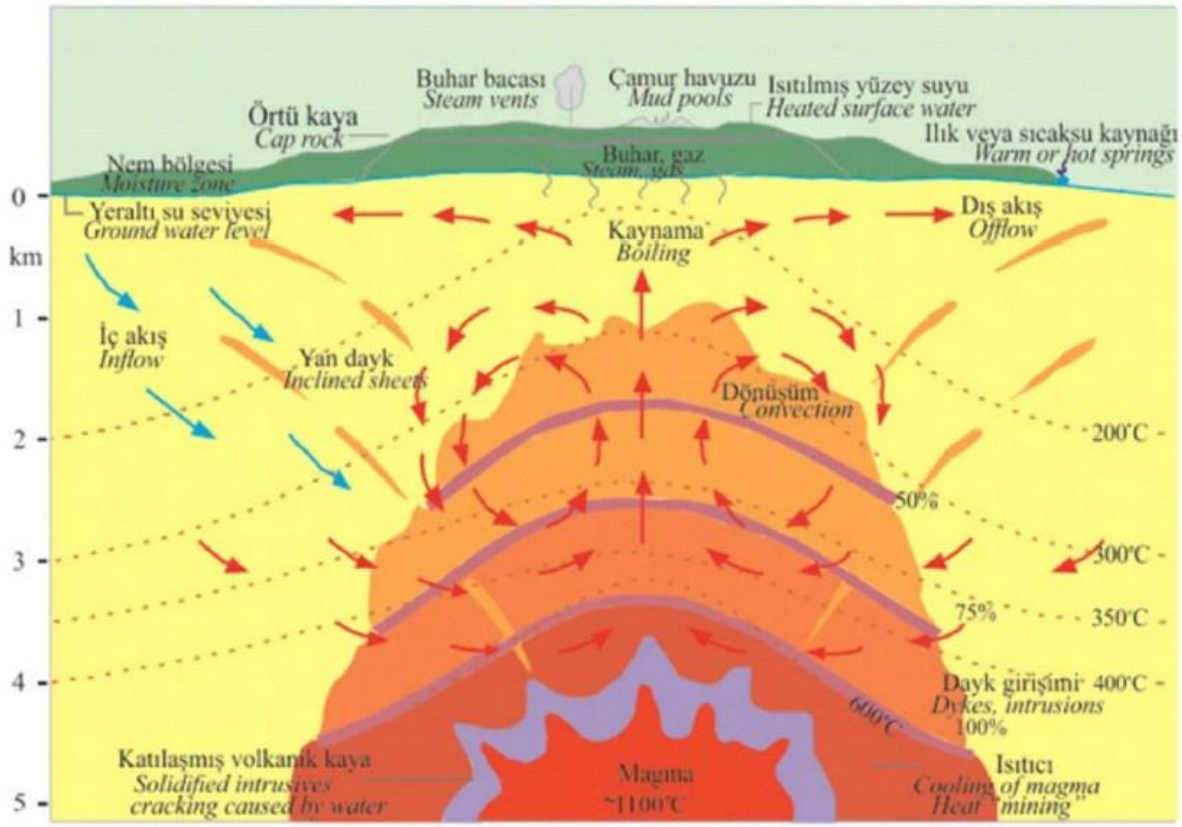
Paleosen – Geç Eosen aralığında etkin olan "Ana metamorfizma" Barrovian tipi mineral topluluklarının oluşumuna neden olmuş, 420-650 °C sıcaklık ve 5-6.5 Kb basınç koşullarında seyretmiştir (Dora vd., 1992). Oligosen – Orta Miyosen boyunca süren sıkışma rejimiyle kalınlaşan sialik kabukta yerel erimeler sonucunda granitik - tonalitik post metamorfik plütonlar ezik zonlar boyunca siller ve apofizler şeklinde metamorfik temelin içine sokulmuşlardır.

Olivinli gabro stokları, Orta Miyosen'de başlayan gerilmeli rejim neticesinde meydana gelen ve graben yönünü belirleyen ve uzantısına çapraz, büyük ve düşey fay sistemleri boyunca yükselmektedir (Dora vd., 1992). Bu kayaçlar üst manto kökenlidir. Ayrıca Batı Anadolu'da görülen bazik volkanitlerin (Üst Miyosen-Alt Pliyosen) derinlik kayası eşleniği olduğu düşünülmektedir. Söke'nin batısında bulunan Samsundağı ile Durmuşdağı yükselimi arasındaki bölgede bu bazik volkanizmaya rastlanılabilir. Söke civarında yüzlekler gösteren iki çeşit volkanizma vardır. Söke'nin kuzeyinde bulunan Balatçık ve Şirince köyleri arasında görülen lavlar dasitik türdedir. Rb/Sr yöntemi ile yapılan radyometrik yaş tayini sonucunda 12.0 ± 1 my yaşı saptanmıştır (Ercan vd.,1996). Ayrıca, K/Ar yöntemi ile yapılan radyometrik yaş tayinleri, Davutlar – Güzelçamlı bölgesinde 13.4±0.3 ve 14.1±0.5 my yaşlarını elde edilmiştir. Bazaltik lavlar, dağınık ve ufak şekilde yüzeylenerek Söke civarında görülür. Ercan vd., (1985, 1986) ise yaptıkları çalışmalarında 6.99±0.22 my yaşlarını saptmışlardır. Tüm bu çalışmalar sonucu Söke volkanitlerinin, 14 - 7 my. yaş aralığında ve farklı evrelerde oluştuğu ortaya konmuştur (Ercan vd., 1996).

2.5 JEOTERMAL ENERJİ

2.5.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı ve Oluşumu

Jeotermal enerji; yerkabuğunun altında oluşan ve çevresindeki normal sulara nazaran daha çok gaz ve ergimiş madde içeren, yeraltında birikmiş ısı sebebiyle oluşan ve ortalama yüzey sıcaklığından fazla sıcaklığa sahip (>20 °C) su, gaz ve buhardır. Ayrıca bu tanıma, yerin altındaki sıcak ve kuru kayalara enjekte edilen soğuk su, gaz ve diğer akışkanlar sayesinde elde edilen sıcak su, buhar ve gazlar da dahil olmaktadır (Çalışkan, 2007).



Şekil 2.7: Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem (Grant vd., 1982'den uyarlanmıştır.)

Jeotermal sistemlerin ana öğeleri 4'e ayrılır;

- Isı kaynağı,

- Rezervuar kaya,

- Örtü kaya,

- Isıyı taşıyan akışkan.

Isı kaynağı: 600 dereceden fazla ve 5-10km.ye ulaşabilen magmatik intrüzyonlardan oluşabileceği gibi, derinliğe bağlı olarak yükselen düşük sıcaklıklı sistemlerde de oluşabilir (jeotermik gradyan ortalama 2,5-3°C/100 m).

Rezervuar kaya: Isıyı içeren sıvının devirdaim yapabileceği geçirgen ve çatlaklara sahip kayalardır. Genelde rezervuar kayanın üstünde geçirimsiz tabakalar bulunur.

Isıyı taşıyan akışkan: Genelde meteorik sudan oluşur. Rezervuarın sıcaklık – basınç koşullarına göre sıvı ya da buhar halindedir ve kimyasal madde ile çeşitli gazlar (H_2S, CO_2) içerir.

Mekanizma, sıvının ısıyı iletmesi prensibine bağlıdır. Isınma sebebiyle konveksiyonel akım meydana gelir ve sıvının termal olarak genleşmesine sebep olur. Isınan sıvı düşük yoğunluğa sahip olduğu için yükselmeye eğilimlidir. Mekanizmaya kenardan gelen daha yüksek yoğunluğa sahip soğuk su, sıcak su ile yer değiştirir. Üst kısımlarda sıcaklık artmaya ve alt kısımlarda da azalmaya eğilimlidir. Bu şekildeki sistemlerin modellenmesi zordur ve çok geniş bir çalışma gerektirir. Sistemler; değişken fiziksel, kimyasal ve jeolojik karakterlerin ilişkisine bağlıdır.

Yer kabuğunun doğal ısısı genel olarak jeotermal enerji diye adlandırılabilir. Bu enerjinin kaynağı yer kabuğunun kendi iç yapısı ve fiziksel olaylar ile ilgilidir. Hidrotermal sistemler, jeobasınçlı (geopressured) sistemler ve sıcak kuru kaya (hot dry rock) sistemleri olarak 3 şekilde sınıflandırılır. Akışkan ihtiva eden sistemlere hidrotermal sistemler adı verilir ve 2'ye ayrılırlar: buhar ağırlıklı ve sıvı ağırlıklı sistemler. Buhar ağırlıklı sistemlerde basıncı buhar fazı kontrol eder. Sıvı ağırlıklı sistemlerde ise bunu gerçekleştiren sıvı fazdır. Hidrostatik basıncın oldukça üstünde akışkan bulunduran kayalardan oluşan sistemlere Jeobasınçlı sistemler adı verilir ve genelde geçirimsiz örtü kayayla kaplı zonlardan oluşur. Akışkan, geçirimsiz olan örtü kaya sebebiyle sıkışarak gradyan etkisi ile yüzeye doğru ulaşır. Sıcak kuru kaya sistemlerinde taşıyıcı olan su bulunmaz (Grantvd., 1982).

Jeotermal enerji; sürdürülebilir, yenilenebilir, ekonomik ve çevre dostudur. Kaynağı meydana getiren meteorik sular, geri besleme sebebiyle yeraltındaki potansiyelini koruyarak yenilenebilir ve üretimin üzerinde tüketim olmadığı sürece bu kaynaklar tükenmezlerdir.

Jeotermal sistemler, sıcaklıkları bakımından üç grupta incelenir:

- Düşük entalpili bölgeler: 20 – 70 °C sıcaklığa sahip bölgeler
- Orta entalpili bölgeler: 70 – 150 °C sıcaklığa sahip bölgeler
- Yüksek entalpili bölgeler: 150 °C'den yüksek sıcaklığa sahip bölgeler

Jeotermal sistemler fiziksel yapı olarak ise üç grupta incelenir:

- Sıvı etkin sistemler: Bu sistemde rezervuardaki akışkan sıvı haldedir.
- İki fazlı akışkan etkin sistemler: Bu sistemde rezervuarda su ve su baharı beraber bulunur.
- Buhar etkin sistemler: Bu sistemde rezervuarda kızgın buhar bulunmaktadır.

2.5.2. Jeotermal Sistem Elemanları

Isı Taşıyan Akışkan

Ana akifer ve temel kayaçlar meteorik sularla beslenirler. Daha sonra, henüz soğumamış bir intrüzyonun yaydığı ısı ile ısınıp çatlaklardaki sıvıyı da ısıtırlar. Yoğunluk farkı sebebiyle bu ısınan akışkan yukarıya doğru hareket etme eğilimi gösterir ve bu hareket sürecinde rezervuar kaya içinde depolanır ya da yüzeye ulaşıp buhar veya sıcak su çıkışı olarak kaynağı meydana getirir (Grant vd., 1982).



Şekil 2.8: İzlanda Strokkur Gayzeri

Rezervuar Kayacı

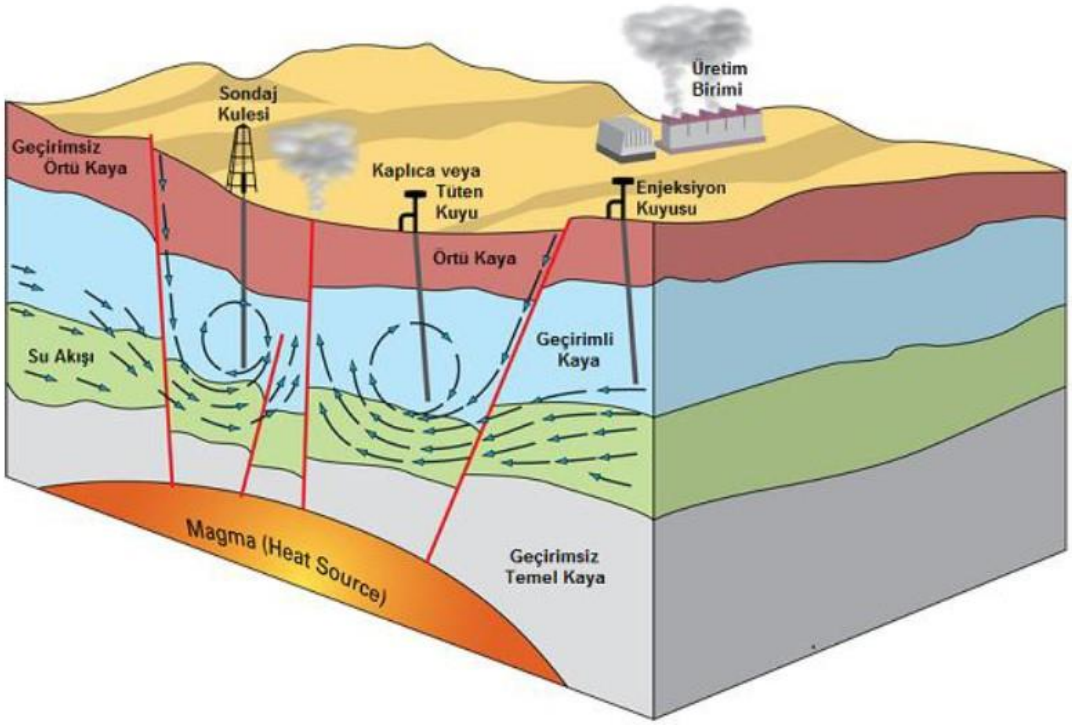
Levha hareketleri yer kabuğunun kıvrımlanmasına ve kırılmasına sebep olur ve bu da kayalar içinde kırık ve çatlakları meydana getirerek yukarıya hareket eden ısınmış akışkan için depo ortamı yaratır. Rezervuar kaya, ikincil geçirgenliğe sahip ve ekonomik olarak sığ bölgelerde bulunan birimlere denmektedir (Grant vd., 1982).

Isı Kaynağı

600 ila 900 derece sıcaklıkta ve 7 – 15 km derinlikte bulunan magmatik sokulumdur. Yer kabuğundaki ısının temeli mantodur. Kabuktaki tektonizma sonucu magmatik intrüzyonlar ve volkanizma oluşur ve burada ortaya çıkan ısı etrafını ısıtmaktadır. Akışkan veya ışınım ile bu ısı taşınır (Armstead, 1978).

Örtü Kayacı

Örtü kaya, rezervuarda biriken akışkanın ısısını ve enerjisini yitirmeden depolanması için gerekli ve geçirimsiz birimdir.

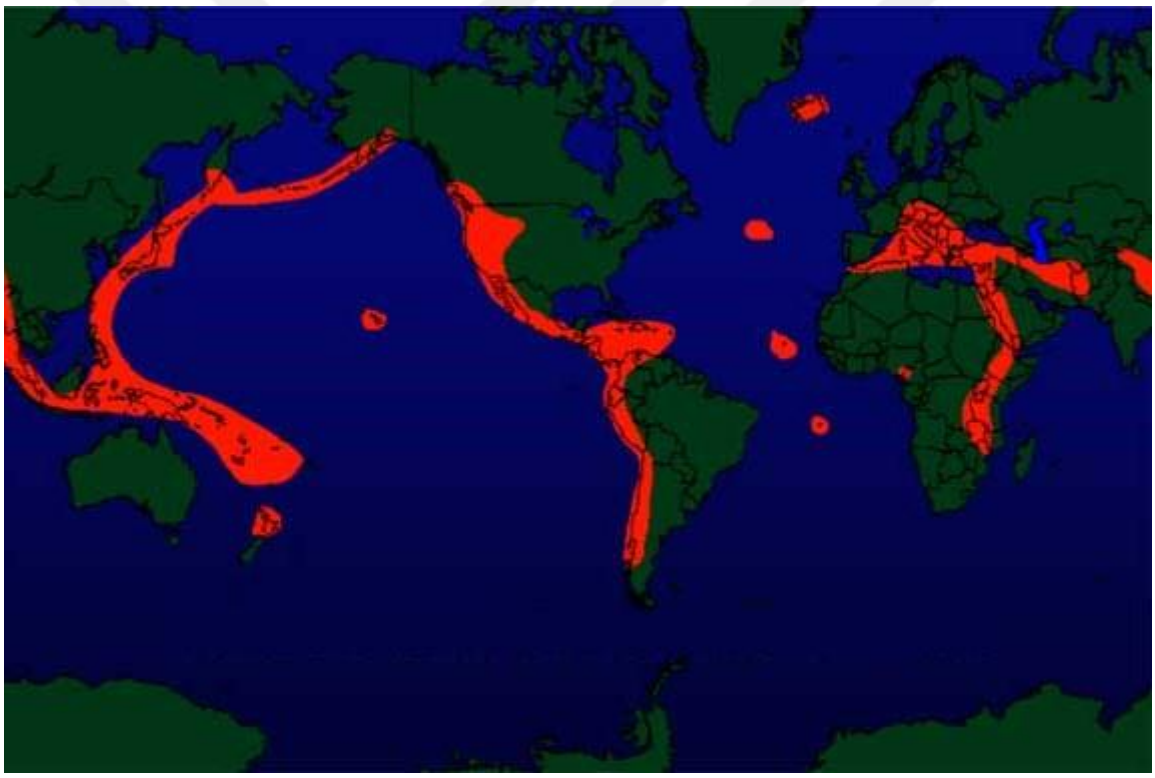


Şekil 2.9: Jeotermal sistemi oluşturan genel istif.

2.5.3. Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu

M.Ö. onbinli yıllarda bazı sebeplerle jeotermal enerjinin kullanıldığını belgeleyen kanıtlar vardır. Fakat elektrik üretmek için jeotermal enerjiyi kullanmak 1900lerde başlamıştır (İncili, 2006).

Jeotermal alanların oluşumu yerkabuğunun tektonik evrimine bağlı olarak gelişen bir olaydır. Özellikle dalma-batma zonları, çarpışma zonları ve rift vadileri dünyada jeotermal etkinliğin yoğun görüldüğü yerlerdir. Bu alanlar sismotektonik açıdan da etkili ve depremselliğin yoğun olduğu alanlardır. Dünyada jeotermal enerjinin dağılım gösterdiği kuşaklar bulunmaktadır (İncili, 2006).



Şekil 2.10: Dünyadaki yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklar (GEO, 2015c).

And Volkanik Kuşağı; fazla sayıda aktif volkanizmanın bulunması sebebiyle yüksek sıcaklıklı jeotermal sistemlerin olduğu kuşaktır. Güney Amerika'nın batı kıyısında bulunan bu kuşakta Venezuella, Kolombiya, Ekvator, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin bulunmaktadır.

Alp Himalaya Kuşağı'nın uzunluğu 3000 km.dir ve 150 km. genişliğe sahip oldukça büyük bir jeotermal kuşaktır. Hindistan plakası ile Avrasya plakasının çarpışmasından dolayı oluşmuştur.

Alp-Himalaya kuşağında yer alan ülkeler; İtalya, Yunanistan, Macaristan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet ve Çin'dir.

Doğu Afrika Rift Sistemi; tektonik ve volkanik açıdan aktif halde olan bu sistem üzerinde Zambiya, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etopya gibi ülkeler bulunur.

Karayip Adaları; bu bölge aktif volkanları barındırması sebebiyle önemli jeotermal alanlara sahiptir.

Guatemala, El Salvador, Nikaragua, Kosta Rika ve Panama Orta Amerika Volkanik Kuşağını oluşturur. Ayrıca bunlardan hariç oldukça zengin kaynağa sahip Japonya, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, İrlanda Meksika gibi ülkeler bulunmaktadır (Kalıncı, 2006).

2.5.4. Jeotermal Enerjinin Türkiye'de Durumu

Türkiye, Alp–Himalaya orojenik kuşağı üzerindedir. Bu sebeple orojenik, magmatik ve volkanik aktivitelerin yoğun olması sebebiyle ile büyük bir jeotermal potansiyele sahiptir. Jeotermal potansiyel açısından ülkemiz, dünyanın en zengin yedinci ülkesidir. Ülkemizde aktif faylara ve volkanizmaya bağlı olarak başta Ege Bölgesi olmak üzere, Kuzeybatı, Orta Anadolu, Doğu ve Guneydoğu Anadolu bölgelerinde birçok jeotermal kaynak bulunmaktadır (Şamilgil, 1997).

Türkiye'de ilk jeotermal araştırmalar, 1960'lar da Maden Teknik Arama (MTA) tarafından başlatılmıştır. Türkiye'de 40 °C nin üzerinde jeotermal akışkan içeren 184 adet jeotermal saha ortaya çıkarılmıştır. Türkiye'deki jeotermal alanların % 94'ü düşük ve orta sıcaklıklı sahalardır. Ülkemizde Batı Anadolu'daki jeotermal sistemler genelde yüksek sıcaklığa sahip olup, açılma tektoniğine bağlı olarak grabenlerde yer alırlar. D-B ve KB-GD doğrultulu genç grabenlerde yer alan jeotermal sistemlerin en önemlileri Menderes ve Gediz grabeni içinde gelişmiştir. Bu grabenleri oluşturan diri faylar hem jeotermal yönden, hem de depremsellik yönünden aktiftirler (Yurttaş, 2008). Ülkemizdeki yüksek sıcaklığa sahip jeotermal alanlardan bazıları şunlardır;

• Denizli - Kızıldere (242 °C)

• Aydın - Germencik (232 °C)

• Manisa - Alaşehir- Kurudere Sahası (184 °C)

• Manisa - Salihli-Göbekli (182 °C)

• Çanakkale - Tuzla (174 °C)

• Aydın - Salavatlı (171 °C)

• Kütahya - Simav (162 °C)

• İzmir - Seferihisar (153 °C)

• Manisa - Salihli-Caferbey (150 °C)

Son yıllarda dünyada Jeotermal Elektrik Santrallerinin (JES) kapasitesini en hızlı arttıran ülke olan Türkiye'de 2019 yılı itibariyle JES kurulu kapasitesi 1.347 MWe ulaşmıştır ve 2020 yılı itibariyle kapasitenin 2000 Mwe çıkabileceği tahmin edilmektedir.



Şekil 2.11: Türkiye'de genç tektonik hatlar ve sıcak su kaynaklarının dağılımı (MTA,2012).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1.ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

Bu yüksek lisans tezi hazırlarken; çalışma sahasında jeotermal elektrik santrali kurulması amacıyla açılmış olan üretim ve reenjeksiyon kuyularının kuyu verileri, kuyularda yapılmış olan kuyu testlerinden elde edilen veriler, kuyu testlerinde alınan su ve gaz numunelerinin yaptırılmış olan kimyasal analizlerinden ve kuyulardan alınan kuyu loglarından yararlanılmıştır. Bu veriler ile literatür verileri birlikte değerlendirilerek yüksek lisans tezi oluşturulmuştur.

3.1.1. Arazi Çalışmaları

Saha çalışmalarında bölgenin daha önce Ali Koçyiğit ve MTA tarafından hazırlanmış olan jeoloji çalışmaları ve haritalarından yararlanılmıştır. Haritalanmış olan formasyonlar ve yapısal unsurlar arazi çalışması yapılarak yerinde görülmüş, gözlemler yapılmış ve yorumlara gidilmiştir.

Sahada gerçekleştirilen üretim ve reenjeksiyon kuyularının sondajlarında kuyu jeoloğu olarak görev alınmıştır. Sondajlar sırasında sistematik olarak, belirli metre aralıklarında kuyulardan kesinti numuneleri alınarak binoküler mikroskop altında incelenmiş, litoloji tanımlamaları yapılmış, sondaj parametreleri kayıt altına alınıp kuyu logları oluşturulmuştur.

Sondajları tamamlanan herbir kuyunun akış testleri gerçekleştirilmiş raporları hazırlanmıştır. Akış testlerinde kimyasal analizler yaptırılması amacıyla su ve gaz numuneleri alınmış NCG (non condensable gas) ölçümleri yapılmıştır. Kuyulardan PT (Pressure – Temperature) ve PTS (Pressure –Temperature – Spinner) logları alınmına eşlik edilmiştir.

3.1.2. Laboratuvar Çalışmaları

Kuyulardan akış testlerinde alınan su numunelerinin majör anyon – katyon analizleri Hacattepe Üniversitesi Su Kimyası Laboratuvarında yaptırılmıştır. Trityum analizleri DSİ Genel Müdürlüğü İzatop Analizi Laboratuvarında ve Hacattepe Üniversitesi Çevresel Trityum Laboratuvarında yaptırılmıştır. Oksijen-18 ($\delta 18O$) ve döteryum ($\delta 2H$) analizleri DSİ Genel Müdürlüğü İzatop Analizi Laboratuvarında ve Hacattepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır.

Gaz analizleri Türkiye Petrolleri Araştırma Merkezi Üretim Teknolojisi Müdürlüğü Laboratuvarlarında ve ODTÜ Petrol Araştırma Merkezi'nde yaptırılmıştır.



Şekil 3.1: NCG Ölçümü.

Ofis çalışmalarında, kimyasal analiz sonuçları Aquachem ve Microsoft Office paket programları kullanılarak çalışma alanına ait jeokimyasal özellikler araştırılmıştır. CorelDraw X5 programları raporun yazımında, şekil ve grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır.

4. BULGULAR

4.1. PAMUKÖREN JEOTERMAL SAHASI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Pamukören jeotermal sahası içerisinde yer alan çalışma alanının içerisinde özel bir firmaya ait 18MWe kapasiteli bir jeotermal elektrik üretim tesisi yer almaktadır. Firma tarafından çalışma alanı içerisinde kuyular açılmadan önce saha jeolojisi ve jeofizik (DES, gravite – manyetik, MT) çalışmaları yaptırılıp jeotermal sistemin yapısı ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmalar sonrasında araştırma amaçlı 2013 yılı Ocak ayında ilk karotlu G2 kuyusu sondajı yapılmış ve sondaj 1444 metre derinlikte sonlandırılmıştır. Kuyuda yüzeyde 20 metre kalınlıkta kuvaterner alüvyon kesildikten sonra allokton gnays birimine girilmiş ve yaklaşık 400 metreye kadar gnays içerisinde sondaj yapılmıştır. 400 metreden başlayarak yaklaşık 1100 metreye kadar şist serisi sondajı yapılmıştır. Kalın şist serisinin geçilmesi ardından şistler içerisinde kalkşist, mermer gibi jeotermal sistemler için rezervuar kaya olabilecek seviyeler kesilmeye başlanmış ve 1250 metreye kadar kalkşist, kuvarsit, klorit şist ardalanması kesilmiştir. 1250 metrede çok iyi rezervuar kaya olabilecek mermerlere girilmiş ve kuyunun son derinliğine kadar yaklaşık 200 metre mermer sondajı yapılmıştır. Kuyuda gerçekleştirilen akış testleri sonrasında elektrik üretimine yeterli jeotermal kaynağın varlığı görülmüş ve sondaj çalışmalarına hız verilmiştir.



Şekil 4.1: Pamukören Jeotermal Sahasına G-K Bakış (Kayrandere Vadisi).



Şekil 4.2: Pamukören Jeotermal Sahasına K-G Bakış (Kayrandere Vadisi).

2013 yılında açılan ilk kuyudan 2019 yılına kadar sahada toplamda 7 adet üretim kuyusu ve 3 adet reenjeksiyon kuyusu açılmıştır. Sahada gözlem kuyusu olarak kullanılan 1168 metre derinlikte ‘G1’ ve 1444 metre derinlikte ‘G2’ kuyusu bulunmaktadır. Tez kapsamında kuyuların gerçek isimleri verilmeyecek üretim kuyuları ‘P’ simgesi ile reenjeksiyon kuyuları ‘R’ simgesi ile gözlem kuyuları ise ‘G’ simgesi ile belirtilecektir.

4.2. STRATİGRAFİ

Pamukören jeotermal sahası D - B uzanımlı normal faylar ve bu fayları kesen K - G doğrultulu oblik bileşeni de olan doğrultu atımlı faylar ile karakterize olur. Pamukören jeotermal sahası stratigrafik istifi allokton gnays, mikaşist, kuvars şist, kalkşist, klorit şist, kuvarsit ve mermer birimlerinden oluşur. Allokton gnays birimi sürüklenim ile şist serisi üzerine yerleşmiştir. Grabenleri dolduran Tersiyer sedimenter kayaçlar çalışma alanının güneyinde neotektonik aktiviteler sonucunda gelişmiş olup metamorfik temel üzerinde depolanmışlardır. Mineral parajenezine dayanarak Menderes Masifi metamorfik kayaçları orta - yüksek sıcaklık ve basınçta oluşan rejyonal metamorfizma ile simgelenir. Allokton gözlü gnayslar ve örtü şistler içinde mineral parajenezi olarak klorit – biyotit – muskovit - granat bulunur.

Bölgenin devam eden aktif tektonizması neticesinde gelişen deformasyonlara bağlı olarak metamorfik birimlerin kırık, çatlaklarında kuvars, kalsit damarları oluşmuştur. Sahada açılmış kuyularda gerçekleştirilen enjeksiyon ve üretim testleri bölgenin oldukça yüksek gözenekli ve geçirimli yapıya sahip olduğunu gösterir.



Şekil 4.3: Şistler arasında gözlenen kuvars damarı.

4.2.1. Menderes Masifi Metamorfikleri

Çalışma alanının Büyük Menderes Grabeni'nin kuzeyinde horst üzerinde, grabenin kuzeyinde bulunan ana sıyrılma fayının kuzeyinde yer almaktadır. Menderes metamorfiklerinin en yaşlı kayaları olarak kabul edilen ve metamorfik çekirdeğini oluşturan gnayslar çalışma alanının stratirafik kesitinde en üstte yer almaktadır ve çok büyük bölümünde yüzeylenmektedir. Kayrandere vadisi içerisinde ise yaklaşık kalınlığı 25 - 30 metre olan güncel alüvyon birimi tarafından örtülmektedir. Çalışma alanında açılan tüm kuyularda paleozoyik yaşlı gnaysların bindirme ile şist serisinin üzerinde yer aldığı görülmüştür (Bozköy Sürüklenimi). Gnayslar arazide sert, kırılgan, eklemli olarak gözlenirler. Gnayslar Miyosen öncesi meydana gelen sıkışmayla şist ve mermerler üzerine bindirmiş ve "Allokton Gnays" olarak adlandırılmıştır (Şimşek vd., 1980). Paleozoyik yaşlı gnays birimi bindirme zonu boyunca sürüklendiği için çok fazla tektonizmaya uğramış ve altere olmuşlardır. Çalışma alanında açılmış olan kuyularda kuzeyden güneye doğru allokton gnays birimini kalınlığı artmaktadır ve yaklaşık 3 kilometrelik bir mesafede birimin kalınlığı 200 metreden 500 metreye çıkmaktadır.



Şekil 4.4: Gözlü Gnays.

Çalışma alanında jeotermal rezervuarın örtü kayaları özelliğindeki şistler stratigrafik istifte alloktan gnaysın altında olup Pamukören Jeotermal Sahası'nda açılmış olan kuyularda 800 – 1200 metre kalınlıkta kesilmektedir. Kalın şist serisi içerisinde açılan kuyularda çoğunlukla muskovit şist, kuvars şist, klorit şist, kuvars-klorit şist, kalk şist, kuvarsit mermer olarak değişik kalınlıklarda litolojiler kesilmiştir. Bu şistler çalışma alanında faylanmalarla da birlikte birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidir. Çalışma alanındaki metamorfik kayaçlar ilksel bileşimlerine, geçirdikleri metamorfizmanın koşullarına göre farklı litolojiler oluşturmuşlardır.



Şekil 4.5: Şist serisinin arazi görünümü (ölçeksiz).

Sahanın stratigrafik kesitinde kalın şist serilerinin altında ve içerisinde jeotermal sistemin rezervuar kayası olan mermerler ve kalkşistler yer almaktadır. Mermerler yer yer erime boşluklu olup, tektonik etkilerle çatlaklı kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Karbonat kökenli bu birimler kazanmış oldukları ikincil geçirgenlik ve gözeneklilikleriyle Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kanadındaki tüm jeotermal sahalarda ana rezervuar olma özelliğindedir. Sahada açılmış kuyularda kuzeyden güneye gidildikçe şist serisinin kalınlığı azalmakta jeotermal sistemler için rezervuar özellikleri mermer ve kalkşistlerden oluşan birimin kalınlığı artıp kalınlık 1000 metreye ulaşmaktadır. Mermer ve kalkşistlerden oluşan birim derinlere doğru dolomit, dolomitik mermerlere dönüşmektedir. Dolomitler ve dolomitik mermerler, mermer ve kalkşistlere daha düşük porozite ve permabileteye sahip olmalarından dolayı bu seviyeler daha düşük rezervuar kaya özelliğine sahiptirler. Sahada gerçekleştirilen jeotermal üretimin çoğunlukla mermer ve kalkşist seviyelerden daha düşük oranda dolomitik mermerlerden yapılmaktadır.

4.2.2. Kestel Formasyonu

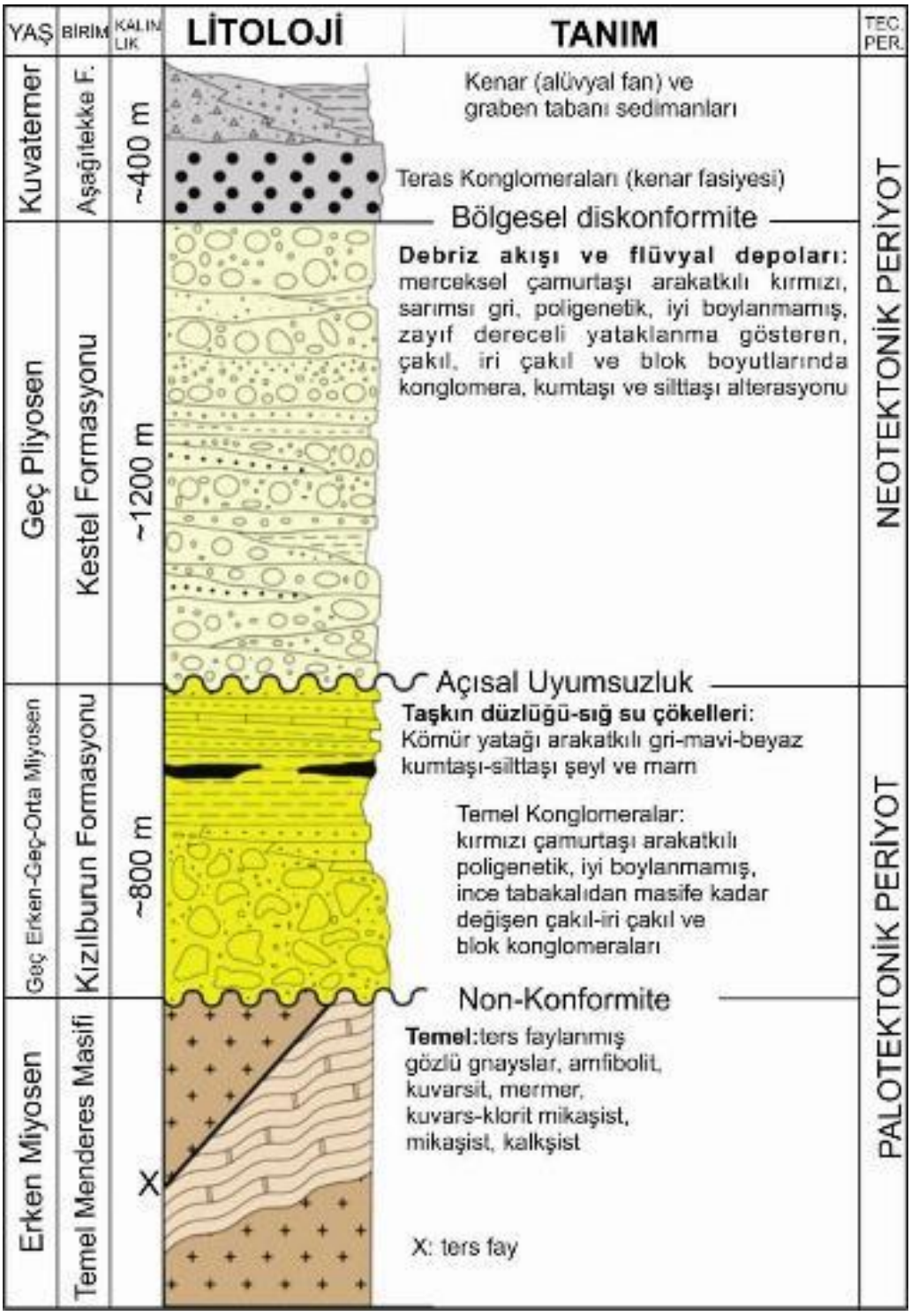
Kestel formasyonu iyi boylanmamış, polijenetik ve zayıf tutturulmuş, iri taneli konglomeralardan oluşmaktadır. Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey sınırını şekillendiren, 2-

6 km arası genişlikte değişen ve belirli bir çizgisellik sunan formasyon yükselip, parçalanıp, devrilmişlerdir.

Kestel formasyonunun en belirgin olduğu alanlar, çalışma alanını D - B yönde kesen Çobanisa fayı, Kurtuluş Fayı ve bu faylara paralel gelişmiş normal fayların güney bölgeleridir. Kestel formasyonu arazide zayıf çimentolanmalı, kum boyu matriksli, yarı köşeli, köşeli çakıl ve blok boyutlarında görülmüştür. Bu nedenle homojen bir dağılım sunmamaktadırlar. Büyük Menderes Grabenini şekillendiren bu normal fayların çevresinde yükselip devrilen Kestel formasyonunun özellikle fay zonlarının önünde yığılmış şekilde bulunması bu durumu desteklemektedir. Bu nedenle Kestel formasyonu ve Ana kaya arasındaki geçişler, fay sınırlarının belirlenmesi ve desteklenmesinde belirleyici unsur olmuştur.



Şekil 4.6: Kestel Formasyonu.



Şekil 4.7: Çalışma Alanı ve Çevresinin Stratigrafik Kesiti.

4.3. YAPISAL JEOLOJİ

Çalışma sahası, Batı Anadolu'da Büyük Menderes Nehri'nin içerisinde aktığı, doğuda Denizli'den başlayıp batıya doğru Ortaklar'a kadar D - B yönlü uzanan geniş bir çöküntü alanı olan Büyük Menderes Grabeni'nin doğu, orta-doğu bölümünde, grabeni sınırlayan ana sıyrılma fayının kuzeyinde, horst bloğu üzerinde yer alır.

Paleotektonik dönemde gerçekleşen sıkışma nedeniyle kabuk, Batı Anadolu bölgesinde kısalarak kalınlaşmıştır. Sonrasında kabuğun taban bölgesinde kısmi ergime başlamıştır. Bu tektonik rejim sebebiyle bindirmeler oluşmuş ve bunun sonunda gnayslar, mermer ile şistleri üzerlemiştir (Şimşek ve diğer., 1980). Çalışma sahasında açılan kuyularda da benzer biçimde, gnaysların şist ve mermerlerin üzerine bindirmesi şeklinde görülmüştür. Ardından neotektonik dönemde gerilme rejiminde Menderes Grabeni'ni oluşturan D - B uzanımlı tektonik hatlar gelişmiştir (Yıldırım, 1983).

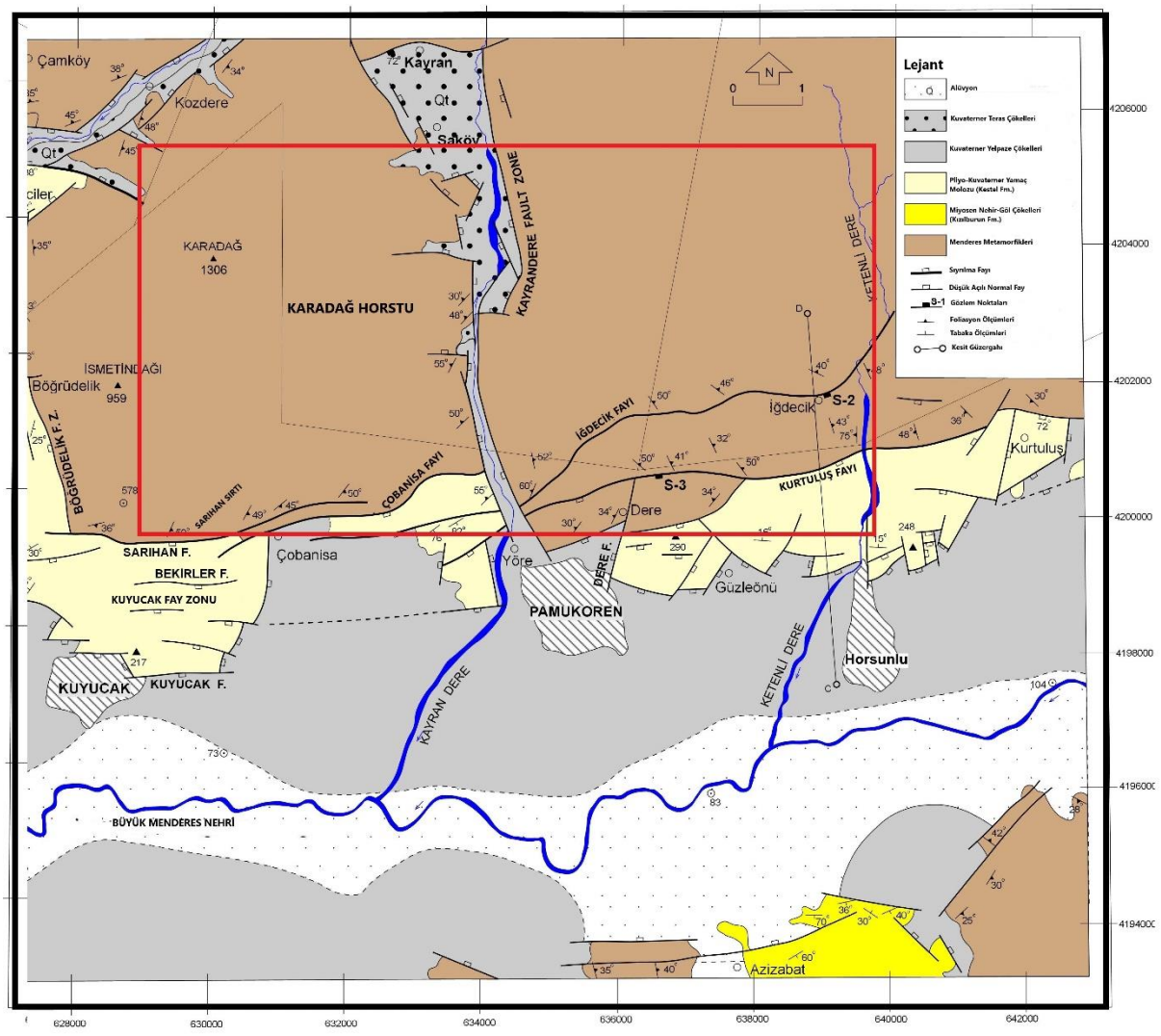
Büyük Menderes Grabeni orta – erken miyosende açılmaya başlamış ve grabeni oluşturan D – B doğrultulu ana sıyrılma bu dönemde gelişmiştir. Sonraki dönemlerde graben açılmaya devam etmiş ve Bozdağ'ın da yükselmesiyle ana sıyrılma fayına paralel D – B doğrultulu basamak fayları gelişmiştir. Çalışma alanında D - B uzanımlı fayların dışında olarak K – G, KD - GD doğrultulu ve D – B faylarını yaklaşık dik kesen faylar bulunmaktadır. Paleotektonik dönemde, sıkışma rejiminde gelişen bu faylar, Batı Anadolu'da orta – geç miyosende gerilme rejiminde tekrar aktiflik kazanmışlardır. Yaklaşık K - G doğrultulu faylar genelde doğrultu atımlı olup Menderes Grabeni'ne akan dere yatakları boyunca görülmekte ve bu faylara B.M.G'inde sıkça rastlanılmaktadır. Çalışma alanının güneyinde, B.M.G'ne en yakın olan, holosen yaşlı genç alüvyonla örtülü fay bölgedeki en genç ve en aktif faydır.

B.M.G'nin kuzey kenarında faylar kontrolünde gelişen alüvyal yelpazelerin grabenin güney kenarındaki yelpazelere göre çok daha fazla gelişmiş olmaları grbanenin kuzey kenarının daha aktif olduğunun gösterdesidirHakyemez vd. (1999).

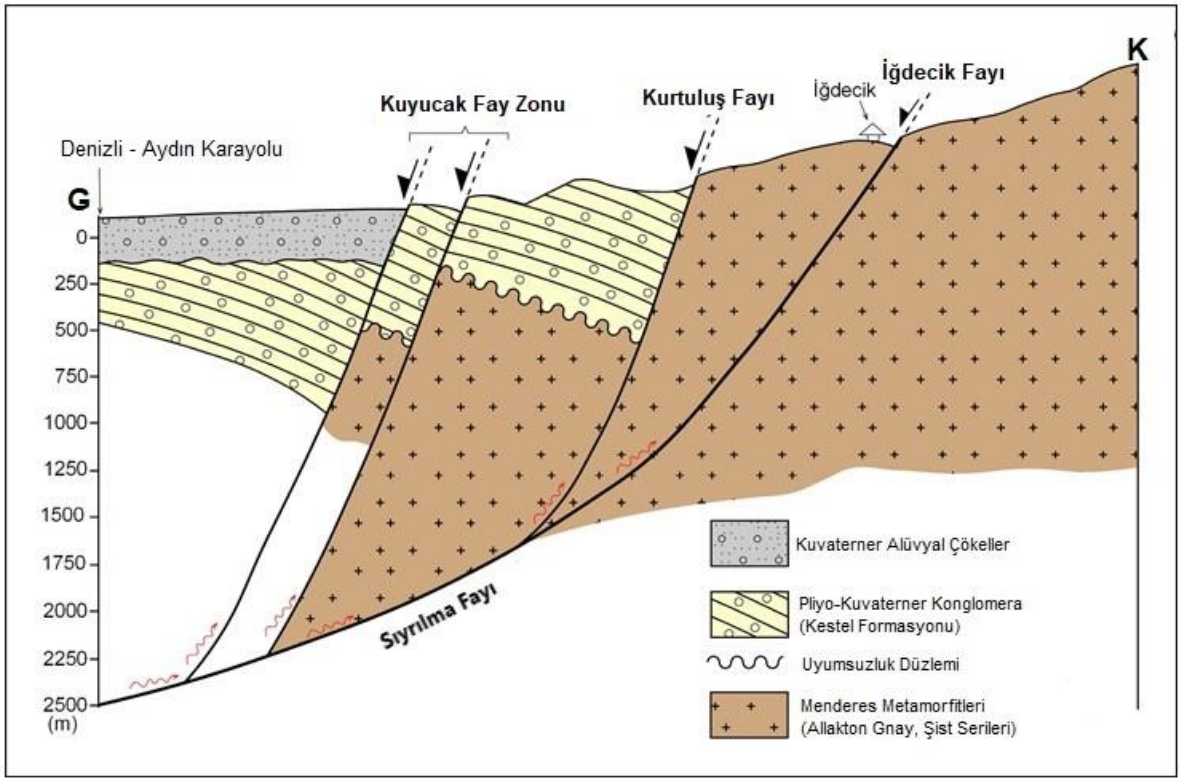
Büyük Menderes grabeninin kırıklı bir bölgede oluşu, çevrede bol kuvars filonlarının bulunması, grabenin çeşitli yerlerinde ve çalışma sahasına yakın çevrelerde sıcak su kaynaklarının bulunması bölgede bir ısıtıcının varlığını gösterir.

Yakın çevrede genç volkanizma ürünü kayaçların (yüzey veya derinlik) gözlenememesi, bölgede düşünülen ısıtıcının magma olması düşüncesini güçlendirir (Demirel ve Beker, 2005).

Arıgün ve diğ. (2009) Büyük Menderes grabenindeki tüm jeotermal sahalarda olduğu gibi D-B uzanımlı normal fayları kesen K-G, KB-GD, KD-GB doğrultulu oblik veya normal fayların, bu alanda da jeotermal sistem açısından önemli rol oynadığını ifade etmişlerdir.



Şekil 4.8: Pamukören Jeotermal Sahası ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Ali Koçyiğit, 2015).



Şekil 4.9: Pamukören Jeotermal Sahası K – G Enine Kesiti (Ali Koçyiğit, 2015).

4.3.1. Çalışma Alanında Gözlenen Faylar

Kayrandere Fay Zonu:

K-G uzantılı oblik bileşeni de olan doğrultu atımlı Kayrandere Fay zonu yaklaşık 0.2-2.0 km genişliğinde ve 7.5 km uzunluğunda olup ruhsat sahanının hemen güneyindeki Pamukören kasabası ile yine sahanın kuzeyindeki Kayran köyü arasında gelişmiştir. Bu faylar metamorfik kayaçları keserek yaklaşık 100 m kadar yükseltmişlerdir (A. Koçyiğit). Vadinin batı kesiminde Kuzey- Güney uzanımlı normal fay ile ilgili olarak fay çiziği, fay aynası gibi yapılar gözlenmemiştir ancak bu fayın varlığı topografik olarak rahatça gözlenebilmektedir. Nitekim özellikle alterasyon noktalarının yer aldığı lokasyonlarda, morfolojik olarak fayın varlığından söz edilebilir.

Sarıhan ve Çobanisa Fayları:

Birbirine paralel olarak gelişmiş Sarıhan ve Çobanisa fayları çalışma alanının batısında yer alır. DKD yönünde uzanan ve güneye eğimli olan fayların aralarında yaklaşık 125 metre mesafe

vardır ve uzanımları yaklaşık 5 kilometre olup Çobanisa Fayı çalışma alanının ortasında yer alan K – G uzanımlı Kayrandere Fayı ile kesişmektedir. Bu iki fay basamak fayları olarak gelişmiş ve menderes metamorfiklerinin içinde konumlanmaktadır. Başlangıçta düşük-açılı listrik özellikte gelişen bu yapılar Pliyo-Kuvaterner döneminde yüksek-açılı normal fay karakteri kazanmışlardır (Koçyiğit, 2010). Bu fayların hareketi sonucunda meydana gelen fay breşleri sahada gözlenebilmiştir ve Kestel Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgedeki önemli nokta paralel normal faylar sonrasında sırayla ana kaya ve Kestel formasyonunun görülmüş olmasıdır. Bu durum kısa zaman aralıklı fakat farklı zamanlarda oluşmuş fayların sırasıyla kırılması ile açıklanabilir.

İğdecik ve Kurtuluş Fayları:

Çalışma alanının orta kesiminde yer alan Kayrandere Vadisi'nin doğusunda yer alan DKD doğrultusu İğdecik ve Kurtuluş fayları yapısal olarak Sarıhan ve Çobanisafaylarıyla benzerlik gösterir.

İğdecik fayı, ruhsat sahasının GD ucunda 30 m genişliğinde ve 9 km uzunluğunda DKD yönlü, güneye 53° düşük açılı normal bir faydır (Koçyiğit, 2010).

Kurtuluş fayı ise ruhsat sahasının güneyinde 50 m genişliğinde ve 10 km uzunluğunda DKD yönlü, oblik atımlı normal bir faydır. Doğuda Kurtuluş kasabasından başlayan fay batıya doğru KKD yönünde sıçrama yaparak kısa segmentlere ayrılır ve daha batıdaki Kuyucak kuzeyinde son bulur. Menderes metamorfikleri içerisinde konumlanan Kurtuluş fayının geçtiği düşünülen alanlarda da fay breşi olarak tanımlanan Kestel Formasyonu saha çalışmalarında gözlenmiştir ve fayın varlığının kanıtı olarak yorumlanmıştır.



Şekil 4.10: Kurtuluş Fayı (D-B Bakış).

4.4. ÇALIŞMA ALANININ JEOTERMAL SİSTEMİ

4.4.1. Isı Kaynağı

İnceleme alanında K-G yönlü gerilme tektoniğinin etkisiyle D-B yönlü basamak faylar gelişmiş ve Menderes Masifi bloğunun da sürekli olarak yükselmesi sonucunda graben yapısı gelişmiştir. Grabenin ortasında gelişen kabuk incelmesi ve tektonik faaliyetlerin yarattığı zayıflığın da etkisiyle yüzeye yaklaşan magma, bölgenin jeotermal yönden oldukça önemli bir alan haline gelmesini sağlamıştır. Bu incelme ve sokulumlar sahanın ısı kaynağını oluşturmaktadır. Grabenin tamamında görülen ve D-B uzanımlı normal fayları kesen, yaklaşık K-G doğrultulu oblik veya normal faylar da ısının Menderes Grabeni'ne dik olarak konumlanan K-G yönlü vadilere taşınmasını sağlamaktadır.

4.4.2. Beslenme

Kuyucak-Pamukören jeotermal sahasının kuzeyindeki dağlardan (Bozdağ) yer altına süzülen meteorik suların, derinlere, rezervuar seviyelerine ulaştığını ve ısınan suların graben yapısını oluşturan D-B uzanımlı basamak faylar boyunca rezervuara kadar gelmektedir (Bülbül vd.,2008 ve Yolal, 2010).

Fakat çalışma alanında açılmış derin kuyulardan gerçekleştiren tracer testleri neticesinde Pamukören Jeotermal sahasında beslenmenin büyük oranda güneyden olduğu ve son yıllarda

yapılan çalışmalara göre de bölgede doğu - batı yönünde jeotermal akışkanların hareket ettiği ve doğudan batıya doğru beslenimin de söz konusu olduğu belirtilmektedir.

4.4.3. Rezervuar Kayaç

Graben yapısını oluşturan ve allokton gnays birimlerini mermerlerin üzerine taşıyan tektonik hareketlerin etkisiyle birimler, yüksek porozite ve permeabiliteye sahip olmuşlardır. Bu hareketlerden özellikle etkilenen gnayslar ve mermerler, sahip oldukları ikincil (kırık sistemlerine bağlı) poroziteleri ile bölgenin rezervuar kayalarını oluştururlar. Çalışma sahasanın güneyinde, graben dolgusunu oluşturulan Neojen yaşlı birimlerin çakıllı, kumlu seviyelerinde tali jeotermal rezervuarlara rastlanmaktadır. Kuyucak-Pamukören jeotermal sahasında aktif tektonik koşullar neticesinde kayaçlar yüksek geçirimlilik ve gözeneklilik kazanmışlardır. Tektonizma etkisi altında, kırıklı ve çatlaklı yapılarıyla yüksek porozite, permabiliteye sahip olan mermerler, kalk şistler ve dolomitik mermerler jeotermal sahalar için iyi bir rezervuar kaya özelliği göstermektedir.

Ruhsat sahasında açılan kuyularda kırıklı, çatlaklı yapılarıyla mermerler ve kalkşistler rezervuar kaya olarak tanımlanmıştır. Sondajlar sırasında karşılaşılan kısmi ve tam kaçakların tamamı mermerler ve kalkşistlerde gerçekleşmiştir. Çalışma sahasında açılan kuyularda kesilen istif Menderes Grabeni'nin güney kesiminde izlenebilmektedir. Yine bu bölgede, Karacasu ilçesine bağlı Tepecik Köyü'nde işletilen mermer ocaklarında rezervuar seviyeyi oluşturan mermerler gözlenebilmektedir.



Şekil 4.11: Rezervuar Seviyeyi Oluşturan Mermerler (Karacasu Grabeni Mermer Ocağı).

4.4.4. Örtü Kayaç

4.4.4.1. Geçirimli Birimler

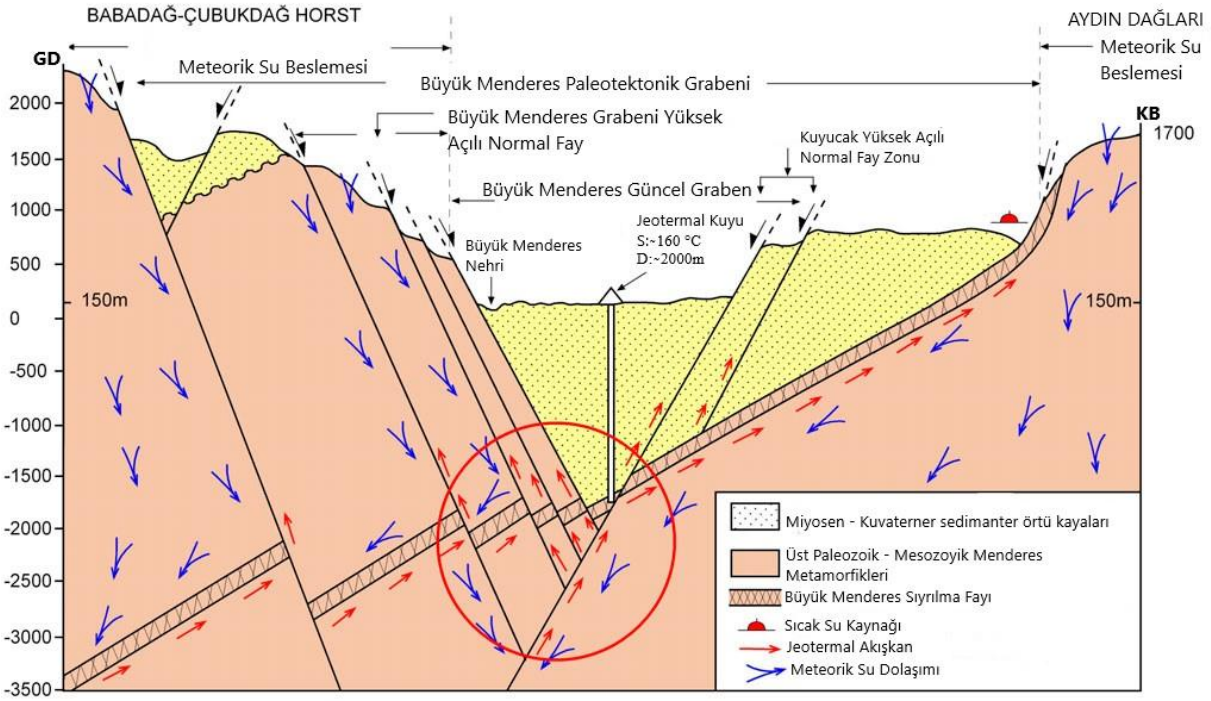
Çalışma alanında güney kesiminde sınırlı alanda gözlenen Kuvaterner yaşlı gevşek, tutturulmamış çakıltaşları, taraça, yamaç molozu ve K-G uzanan Kayrandere Vadisi boyunca geniş yer kaplayan alüvyon birimi sahada geçirimli birimleri oluştururlar. Alüvyon akiferlerinden sığ kuyular ile tarımsal sulama suyu olarak yararlanılmaktadır.

4.4.4.2. Yarı Geçirimli Birimler

Çalışma alanında geniş alanda yüzeylenen gnayslar Miyosen öncesi meydana gelen sıkışmayla şist ve mermerler üzerine bindirmiş ve "Allokton Gnays" olarak adlandırılmıştır (Şimşek vd., 1980). Bunlar bindirme zonu boyunca sürüklendikleri için çok fazla tektonizmaya uğramış ve altere olmuşlardır. Gnaysların bu altere kısımları yarı geçirimlidir.

4.4.4.3. Geçirimsiz Birimler

Sahadaki karbonatlı birimleri örten çeşitli şistler (mikaşist, kuvarsşist, kloritşist) örtü kaya niteliğindedir. Çalışma alanının güneyinde ve güney doğu bölümünde çok dar bir alanda görülen basen dolgu çökellerinin killi seviyeleri de jeotermal sistemin örtü kayaları niteliğindedir.



Şekil 4.12: Pamukören Jeotermal Sahası Jeotermal Sistemi (Ali Koçyiğit, 2015).

4.1.1. Üretim, Re-enjeksiyon Kuyuları Hakkında Genel Bilgi

Pamukören Jeotermal Sahasında Kayrandere Vadisi içerisinde güneyden kuzeye gidildikçe topografya yükselmekte ve jeotermal gradyan düşmektedir. Bu nedenle üretim kuyuları çalışma alanının güneyinde, reenenjeksiyon kuyuları ise sahanın kuzeyinde açılmıştır. Üretim kuyuları birbirleri ile girişim yapmamaları adına yaklaşık 400 - 500 metre aralıklarla açılmışlardır. Reenjeksiyon kuyuları ise vadi içerisinde rezervuarda soğumaya sebebiyet vermemek için en yakın üretim kuyusundan yaklaşık 800 - 1000 metre kuzeyde açılmıştır. Çalışma alanı içerisinde 7 adet üretim kuyusu, 3 adet reenjeksiyon kuyusu ve 2 adet gözlem kuyu mevcuttur.

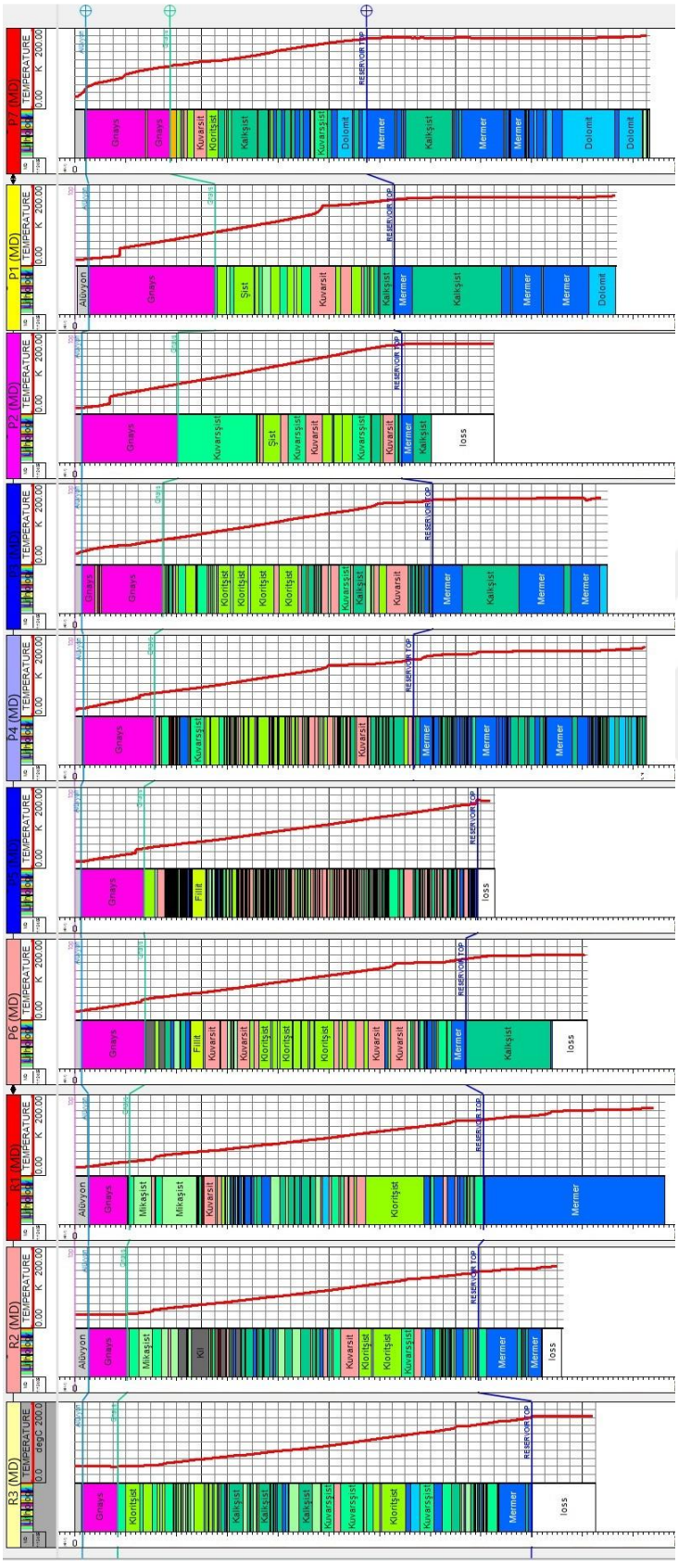
Tablo 1: Pamukören Jeotermal Sahasında Açılmış Kuyular.

Kuyu Adı	Kuyu Türü	Derinlik(m)	Dikey Derinlik(m)	Kuyu Kotu (m)	Max. Sıcaklık(°C)	Açılma Yılı
P1	Üretim	2133	2103	285	172	2015
P2	Üretim	1651	1620	254	174	2014
P3	Üretim	2098	2044	271	168	2015
P4	Üretim	2252,5	2191	284	172	2016
P5	Üretim	1654	1572	304	172	2015
P6	Üretim	2019	2012	304	164	2017
P7	Üretim	2266	2191	256	179	2018
R1	Reenjeksiyon	2324	2281	361	166	2015
R2	Reenjeksiyon	1922	1918	361	151	2016
R3	Reenjeksiyon	2050	2019	385	163	2018
G1	Gözlem	1168		330	144	2012
G2	Gözlem	1444		248	173	2013

Üretim kuyuları kuyuları çalışma alanının kuzeyine göre nispeten daha yüksek jeotermal gradyana sahip olan sahanın güney kesiminde açılmışlardır. Üretim kuyularının birbirleriyle etkileşimini önlemek amacıyla kuyuların birbirlerinden 400 – 500 metre mesefade açılmasına önem verilmiştir. Kuyuların yer altında birbirlerine yaklaşmasını önlemek amacıyla sondajlar sırasında yönlü kuyu açma ekipmanları kullanılmış, kuyu geometrileri kontrol edilerek sondajlar gerçekleştirilmiştir. Tüm üretim kuyularında sondajlar menderes metamortikleri içerisinde iyi rezervuar kaya olma özelliğine sahip mermerler, kalkşistler ve dolomitik

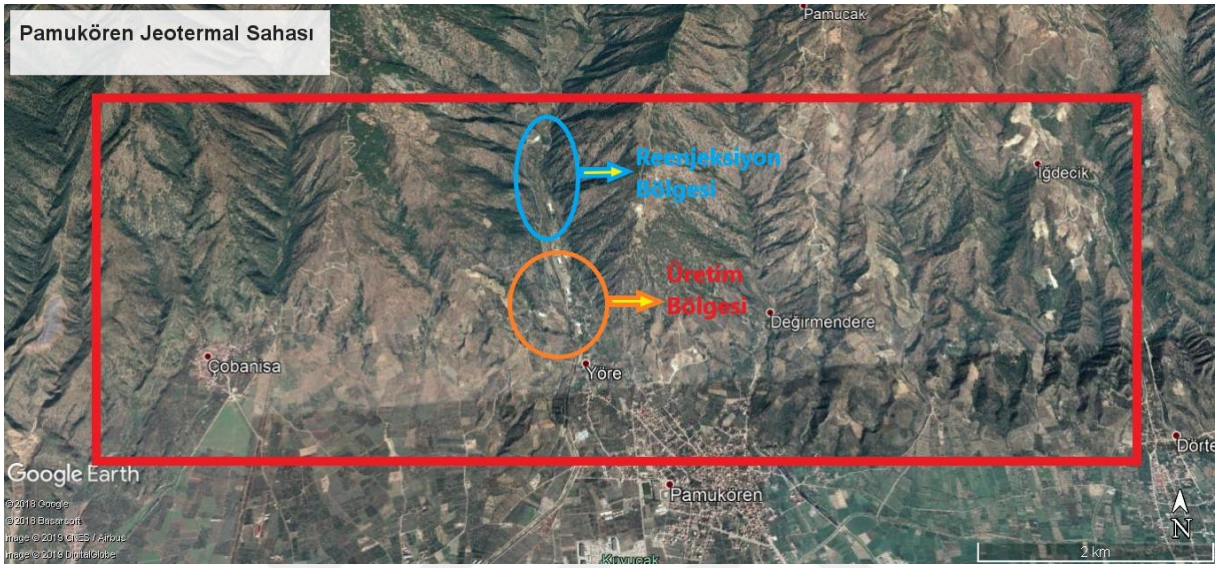
mermerler kesildikten sonra tamamlanıştır. Üretim bu seviyelerde gerçekleşen kısmi ve tam kaçaklardan yapılmaktadır.

Reenjeksiyon kuyuları sahanın daha soğuk olarak tabir edebileceğimiz çalışma sahasının kuzey kesiminde açılmış ve üretim kuyularında soğumaya neden olmamaları için üretim kuyularından 800 - 1000 metre uzaklıkta açılmışlardır. Üretim kuyularında olduğu gibi reenjeksiyon kuyularında da kuyu geometrilerini kontrol etmek amacıyla sondajlar sırasında yönlü sondaj ekipmanları kullanılmıştır. Reenjeksiyon kuyularında da karbonatlı seviyelerin yüksek permabilitelerinden yararlanmak ve daha kolay, karşı basınç görmeden reenjeksiyon yapabilmek amacıyla kuyular mermer, kalkşist, dolomitik mermer seviyeleri kesilip bitirilmiştir. Kuyularda reenjeksiyon karbonatlı birimlerin mevcut çatlaklarına, boşluklarına yapılmaktadır. Çalışma alanında üretilen jeotermal akışkanın tamamı reenjekte edilmektedir.



Şekil 4.13: Çalışma Sahasında Açılmış Kuyulara Ait Kuyu Korelasyonu).

Çalışma sahasında mevcut bulunan 2 adet gözlem kuyusunun bir tanesi sahanın güney ucunda diğeri ise sahanın orta kısımına denk düşecek bir alanda bulunmaktadır. Bu iki kuyudan devamlı olarak yeraltı su seviyesinin ve sıcaklığının takibi yapılmaktadır.



Şekil 4.13: Çalışma alanında üretim ve reenjeksiyon bölgelerini gösterir harita.

4.1.1.2. Kuyularda Gerçekleştirilen Operasyonlar ve Kuyu Testleri

Çalışma alanında açılmış olan tüm kuyularda, sondaj operasyonu sırasında ve sondaj bitiminde, rezervuar hakkında olabildiğince fazla ve sağlıklı bilgi almak amacıyla bir dizi test operasyonu gerçekleştirilmiştir. Jeotermal bir kuyudan ilk veriler sondaj sırasında kesintilerin incelenmesinden, sondaj çamurunun kuyuya giriş ve çıkış sıcaklıkların ölçülmesinden ve sondaj sırasında gerçekleşen çamur kaçaklarından alınmaktadır. Sondajlar tamamlandıktan sonra da kuyulardan çeşitli loglar alınıp, kuyularda çeşitli testler gerçekleştirilmektedir. Çalışma sahasındaki kuyulardan da çeşitli loglar alınmış, asitleme operasyonları gerçekleştirilmiş, akış testleri ve enjeksiyon testleri yapılmıştır.

Öncelikle her kuyudan sondajların tamamlanmasının ardından kuyu içi sıcaklıkların ve kuyu içinde rezervuar seviyelerin anlaşılması amacıyla PT (Pressure – Temperature) ve PTS (Pressure – Temperature – Spinner) logları alınmıştır. PT log alımındaki amaç kuyunun üretime açılmadan önce basınç – sıcaklık profili hakkında bilgi edinmektir. PTS logunun amacı ise spinner olarak adlandırılan ekipmanın, kuyu akış halinde iken kuyuya indirilerek akışın yüksek

olduğu zonların anlaşılmasını sağlamaktır. PT ve PTS loglar kuyularda bir veya farklı zamanlarda olmak üzere birkaç kez alınmıştır.

Rezervuar hakkında ilk verilerin PT ve PTS loglarla alınmasının ardından gerekli görülen kuyularda asit operasyonları gerçekleştirilmiştir. Asit operasyonundaki amaç üretim kuyularında rezervuar seviyeleri temizleyip daha da genişletmek ve böylece kuyuya jeotermal akışkanın daha kolay girmesini sağlayıp kuyunun üretim değerlerini arttırmak, reenjeksiyon kuyularında ise kuyunun enjektivite kapasitesini arttırmaktır. Bu sebeple kuyularda alınan PT ve PTS loglarda belirlenen rezervuar seviyelerine genellikle belirli derişimlerde HCL (hidroklorik asit) olmak üzere çeşitli asit türevleri basılmaktadır.



Şekil 4.14: Reenjeksiyon Testi.

Asit operasyonun tamamlanmasının ardından kuyularda kısa dönem akış testleri gerçekleştirilir. Kısa dönem akış testlerinde kuyular faklı vana açıklıklarında akıtılıp sıcaklık debi, basınç değerleri ölçülmektedir. Testler sırasında kuyulardan su ve gaz örnekleri alınıp NCG ölçümleri yapılmaktadır. Testler elde edilen veriler kullanılarak kuyunun üretim değerleri hesaplanmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılan jeokimyasal veriler de akış testleri sırasında kuyudan alınmış olan su ve gaz örneklerinden yapılmış kimyasal analizler neticesinde elde edilmiştir.



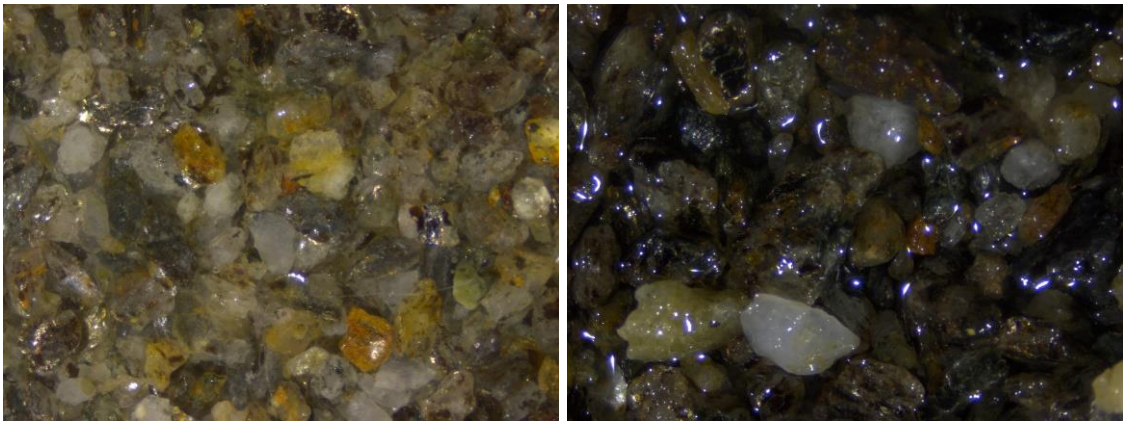
Şekil 4.15: Asitleme Operasyonu ve Kuyunun Serbest Akışı.

4.1.2. Kuyu Jeolojisi

Pamukören Jeotermal Sahasında bugüne kadar açılan kuyuların tamamında, sondaj sırasında kuyu jeologları tarafından detaylı kuyu logları hazırlanmıştır. Formasyon kesintileri belirli metraj aralıklarında toplanmış, binoküler mikroskop altında incelenip litolojik tanımlamaları yapılmıştır.

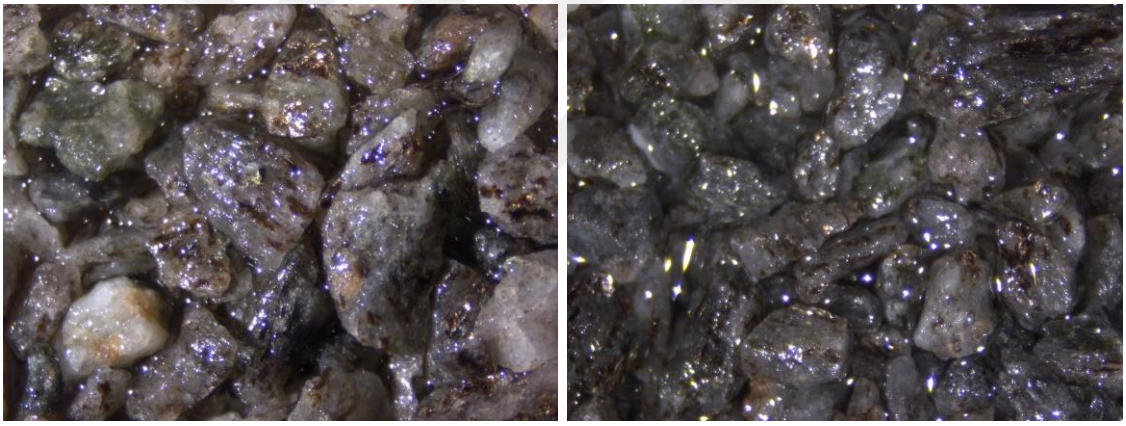
Çeşitli sondaj parametreleri, çamur giriş – çıkış sıcaklıkları, çamur tanklarındaki çamur seviyeleri, sondaj çamurunun EC ve Ph değerleri devamlı olarak kayıt altına alınmış ve oluşturulan kuyu loglarına işlenmiştir.

Açılan tüm kuyularda ilk olarak yaklaşık 25-30 metre kalınlığında kuvaterner yaşlı alüvyon birimi kesilmektedir. Başlıca metamorfik ve sedimanter kökenli çakıl, kum ve kil boyu malzeme içeren çökeller sıkışma döneminde menderes metamorfikleri üzerine bindirme ile yerleşen allokton gnaysı örtmektedir.



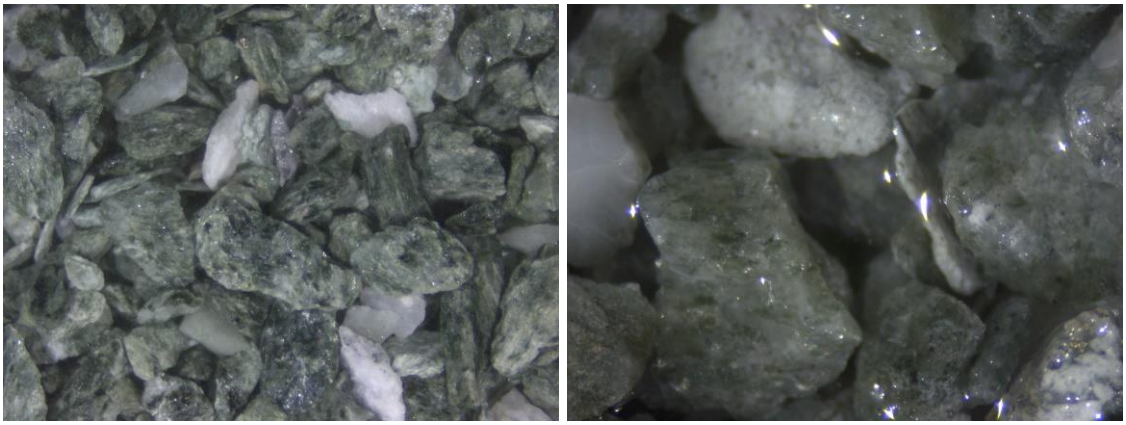
Şekil 4.16: Alüvyon.

Allkoton gnays birimi kuyularda 200 – 500 metre kalınlıkta kesmektedir. Kırıklı, çatlaklı bir yapıya sahip olan gnayslarda sık sık yoğun pirit cevherleşmeleri görülmektedir. Gnayslar bindirme zonu boyunca sürüklendikleri için çok fazla tektonizmaya uğramış ve altere olmuşlardır.

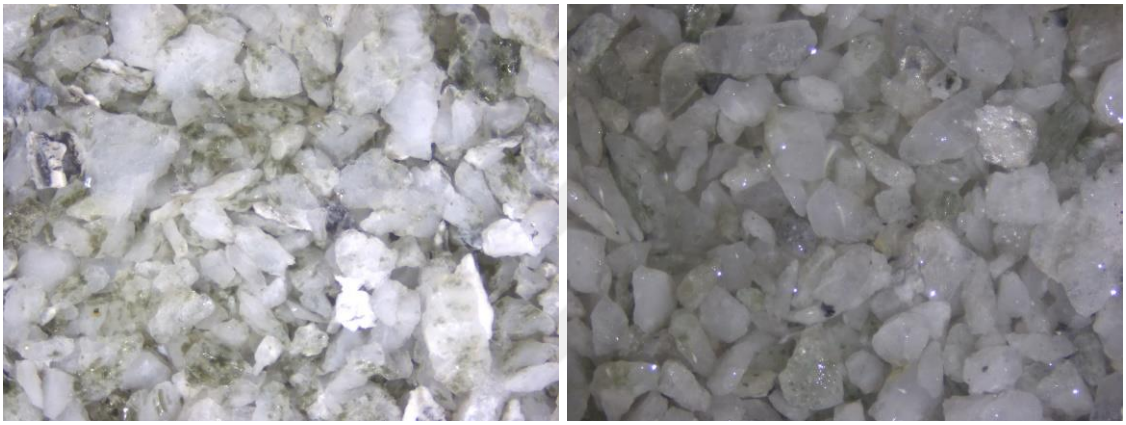


Şekil 4.17: Allokton Gnays.

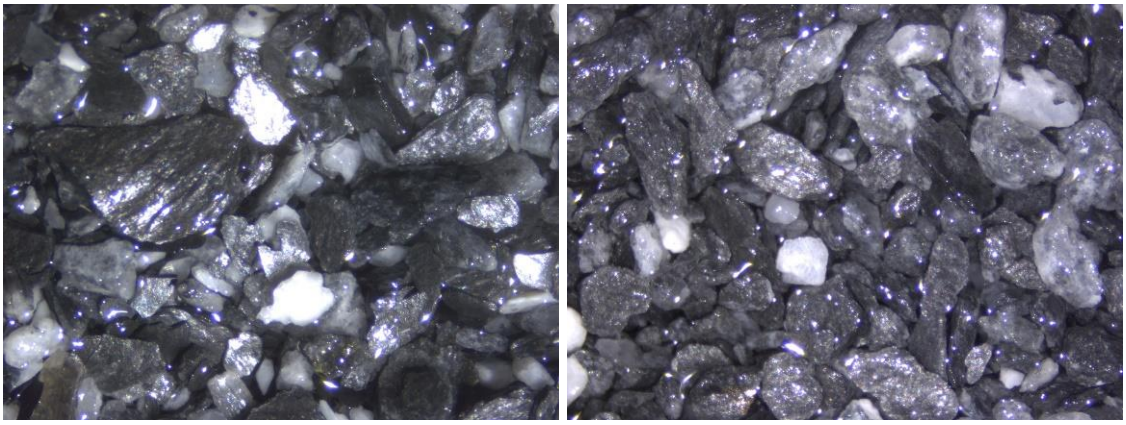
Allokton gnays biriminin ardından 800 – 1200 metre kalınlıkta kalın şist serisi kesilmektedir. Ara ara mermer bantları da içeren muskovit şist, kuvars şist, klorit şist, kuvars-klorit şist, kalk şist, kuvarsit birimlerinden oluşan şist serisinin ardından Pamukören Jeotermal Sahası için rezervuar birim olan karbonatlı litolojiler gözlenmektedir.



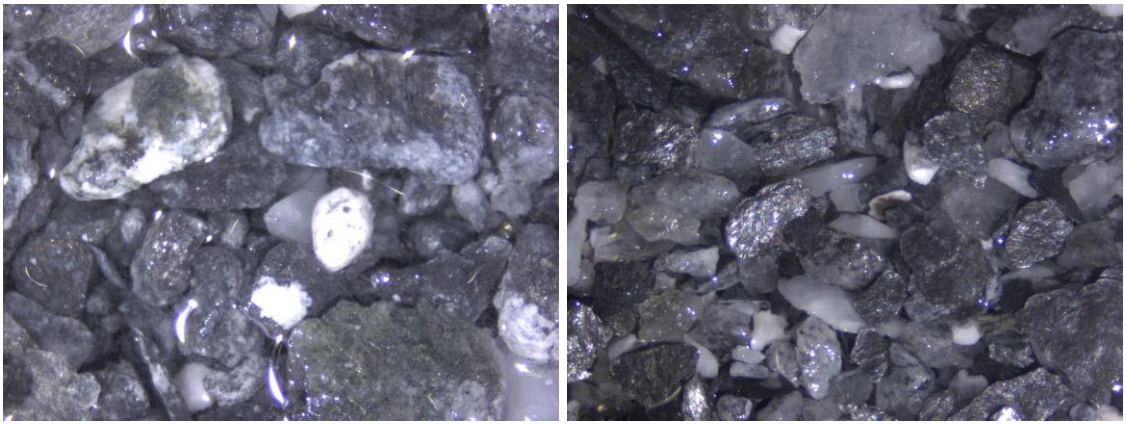
Şekil 4.18: Klorit Şist.



Şekil 4.19: Kuvars Şist.



Şekil 4.20: Mika Şist.

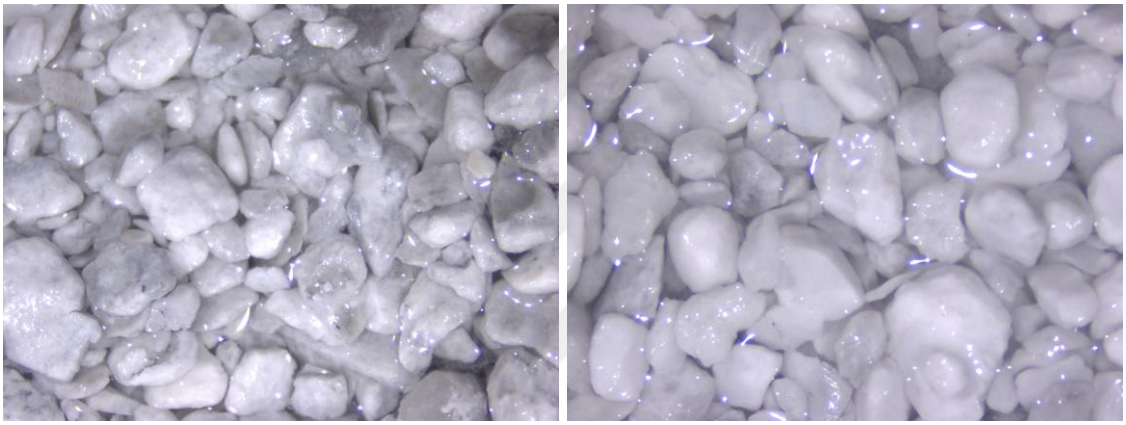


Şekil 4.21: Kalk Şist.

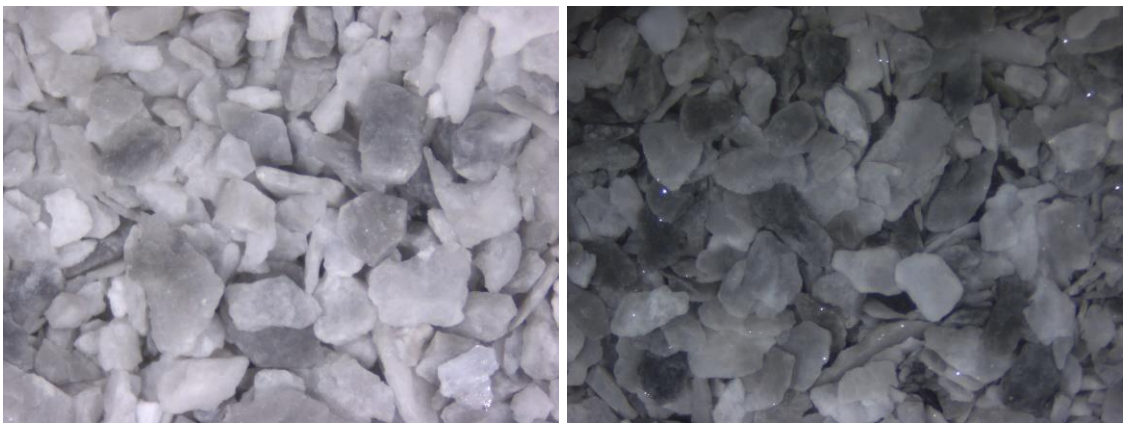
Mermer - kalkşist ardalanmasından oluşan rezervuar seviye sahanın kuzeyine göre daha sığ derinliklerde gözlenmektedir ve daha kalın, 1000 metre ve üzeri kalınlıkta kesilmektedir. Kuyularda gözlenen kaçakların tamamı bu birimler içerisinde gerçekleşmektedir. Derine doğru mermerler dereceli olarak dolomitik mermerlere ve meta-dolomitlere dönüşmektedir. Dolomitli seviyelerin permabiliteleri mermerlere ve kalkşistlere oranla daha düşük olup bu seviyelerde kaçaklara nadiren rastlanmaktadır. Çalışma sahasında yapılan sondajlar dolomitik mermerlerin gözlenmeye başlanmasıyla sonlandırılmaktadır.



Şekil 4.22: Alacalı Mermer.



Şekil 4.23: Mermer.



Şekil 4.24: Dolomitik Mermer – Meta Dolomit.

4.2. SU KİMYASI

Yeryüzüne düşen yağışlardan süzülen yeraltısuları, beslenme alanından boşalım alanına kadar jeokimyasal süreçlerin etkisinde kalarak farklı fiziksel ve kimyasal özellikler kazanmaktadır.

Yeraltı suları, temas ettiği mineral ve kayaçları çözmektedir. Mineraller denge konsantrasyonuna ulaşıncaya dek çözünme işlemi devam eder. Suyun bileşimi, akiferin kimyasına ve mineraoljisine göre değişmektedir. Ayrıca akış koşullarına, hıza ve akigerin içinde bulunma zamanına da bağlıdır (Freeze ve Cherry, 1979; Appelo ve Pastma, 1993; Andreo ve Carrasco, 1999). Yeraltı suyunun değişken kimyasal özellikleri sebebiyle farklı amaçlar için de kullanılabilmektedir. Potansiyeline ek olarak, kullanım amacına göre biyolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiği de oldukça önemlidir.

Çalışma sahasında açılmış olan kuyularda rezervuar kayaçları ve bu kayaçların hakim litolojileri kuyu jeologları tarafından tanımlanmıştır. Benzer litolojik özelliklere sahip kayaçların oluşturduğu rezervuarlarda bulunan akışkanların da benzer kimyasal bileşime sahip olmaları beklenen bir durumdur. Ancak, rezervuarlardaki sıcaklık koşullarının farklı olması, benzer kimyasal bileşimlere sahip olan bu akışkanların toplam iyonik derişimlerinin farklılaşmasına neden olmaktadır.

4.2.1 Jeotermal Suların Fiziko-Kimyasal Özellikleri

Örnekleme çalışmalarında pH, elektriksel iletkenlik (Eİ) ve sıcaklık (T) gibi fiziksel parametre ölçümleri kısa dönem akış testlerinde yapılmıştır. pH ve elektriksel iletkenlik (Eİ) parametreleri yaptırılan majör anyon – katyon analizlerinde ikinci defa yaptırılmıştır. Pamukören Jeotermal sahasında akış testlerinde sahanın nispeten daha yüksek kuyu tabanı sıcaklıklarına sahip güney kesiminde bulunan kuyularda 149 – 157 °C akışkan sıcaklığı, reenjeksiyon kuyularının bulunduğu nispeten soğuk bölgede akış testleri sırasında 125 – 142 °C akışkan sıcaklığı ölçülmüştür.

Suyun elektrik akımını iletme özelliği olan Eİ, sudaki toplam çözünmüş iyon miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Sıcaklıkla beraber artan mineral çözünürlüğü iyon derişimlerinde artış olarak yansımakta, dolayısıyla sıcak ve mineralli suların elektriksel iletkenliği de artmaktadır. Çalışma alanındaki kuyuların Eİ değerleri 4500 – 5000 µS/cm aralığında değişmektedir.

pH sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup, sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Sıcak suların pH değerleri sıcaklığa bağlı olarak farklılaşmakta, CO_2 jeotermal sulardan ayrılması akışkanın alkali özellik kazandırmaktadır. Akışkanın pH değeri tuzluluk ile de değişmektedir. Çalışma alanındaki sıcak noktalarının pH değerleri laboratuarlarda

yaptırılmış olan analizlerde 5.9 ile 8.3 aralığında ölçülse de akış testlerinde kuyu başında ölçülen pH değerleri 7.03 ile 8.05 arasındadır.

4.2.2. Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları

Doğal suların toplam iyon içeriğinin %90'ından daha fazlasını oluşturan Na^{+}, K^{+}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Cl^{-}, HCO_3^{-} ve SO_4^{-2} iyonlarıdır. Çalışma alanında bulunan sıcak suların majör iyon analiz sonuçları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Analizleri yapılan bu iyonların açıklamaları ve dağılımları aşağıdaki şekildedir.

Kalsiyum (Ca^{++}): Aragonit, kalsit, jips, dolomit, florit ve anhidrit gibi silis içermeyen minerallerin çözünmesi ile kalsiyum yer altı suyuna karışabilir. Ayrıca albit, anortit, piroksen ve amfibol gibi silikatlı minerallerin içindeki kalsiyumun çözünmesi sonucu da oluşabilir (Erguvanlı ve diğ., 1973). Çalışma alanında kalsiyum değeri 60 – 140 mg/L'dir.

Magnezyum (Mg^{++}): Olivin, biyotit ve hornblend gibi magmatik mineraller, dolomit, evaporit ve serpantinleşme sebebiyle oluşan $MgCO_2$'ın çözünmesi ile yer altı suyuna karışır. Çalışma alanında magnezyum değeri 4 – 12 mg/L'dir.

Sodyum (Na^{+}) ve Potasyum (K^{+}): Plajiyoklas, halit vb. gibi minerallerin ayrışması ve kil minerallerinin baz değişimi sebebiyle yer altı suyuna karışmaktadır. Çalışma alanında sodyum değeri 1000 – 1100 mg/L'dir, potasyum değeri 100 – 120 mg/L'dir.

Klorür (Cl^{-}): Cl- yer altı suyuna deniz suyundan, evaporitlerden, yağmur ve kar suyu ile atmosferden karışır. Çalışma alanında klorür değeri 200 – 600 mg/L'dir.

Bikarbonat (HCO_3^{-}): HCO_3^{-} 'ın çoğu atmosferden, topraktaki CO_2 'den ve karbonatlı kayaçların çözünmesi ile yer altı suyuna karışabilir. Çalışma alanında bikarbonat değeri 1700 – 2800 mg/L'dir.

Sülfat (SO_4): Jips ve anhidritlerin çözünmesi ile yer altı suyuna karışmaktadır. Çalışma alanında sülfat değeri 140 – 180 mg/L'dir.

Silisyum (Si): Yer altı suyundaki silisin büyük bir kısmı, silikat minerallerinin çözünmesi ile suya karışmaktadır. Çalışma alanında silisyum değeri 100 – 200 mg/L'dir.

4.2.3. İnceleme Alanındaki Sıcak Sularda Çözünmüş İkincil İyonlar

Yapılan iz element analizleri ile yer altı sularının B, Br, F ve Li miktarı belirlenmiştir. Çalışma alanında bulunan iz element değerleri aşağıda belirtilmiştir. Majör iyonlar gibi ikincil iyonlar da yer altı suyunun evrimi, kökeni ve kullanılabilirliği konusunda bilgi verirler.

Lityum (Li^{+}): Yeraltı sularında, magmatik ve metamorfik kayaçlarda bulunan Li nedeniyle yer alırlar. Çalışma alanında silisyum değeri 4,5 – 5,5 mg/L'dir.

Bor (B^{+3}): Borun, sıcaklığın yükselmesi ile çözünürlüğü arttığından, hidrotermal ortamlarda hızlı, tuz göllerinde ise yavaş hareket etmektedir. Çalışma alanında bor değeri 40 – 50 mg/L'dir.

Brom (Br^{-}): Br^{-}, jeotermal sularda genel olarak düşük oranlarda bulunur. Suya deniz suyu karıştığı zaman Brom oranı arttığı için sulara deniz suyu karışımını tespit etmek için kullanılır. Çalışma alanında brom değeri 0,7 – 1,1 mg/L'dir.

Florür (F): Kalsiyum çökelimi fazla değil ise F derişimi düşük olur. Çalışma alanında florür değeri 9 – 20 mg/L'dir.

Tablo 2: Çalışma Alanındaki Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları.

Örnek Adı	SiO_2	B	Na	K	Ca	Mg	CO_3	HCO_3	Cl
P1	114,26	40,72	1132,11	122,3	65,82	4,18	0	2836,5	210,27
P2	118,98	40,46	1116,1	121,9	62,21	4,36	0	2745	206,96
P3	191,65	41,1	1014,2	109,91	73,06	5,33	0	2330,2	254,54
P4	187,45	41,85	1037,58	107,99	84,45	5,73	0	2379	344,82
P5	159,67	30,96	1034,21	105,35	75,49	2,26	0	2592,5	176,17
P6	182,59	43,64	1173,69	120,52	101,18	6,78	0	2546,59	339,57
P7	198,85	41,41	1041,62	111,59	110,93	10,51	0	2562	264,04
G1	47,41	133,02	998,19	120,8	97,21	8,46	0	2497,95	224,42
R1	194,82	37,94	1052,96	112,89	95,05	11,82	0	2745	309,87
R2	185,92	42,22	969,1	106,31	128,32	9,39	0	2332,35	467,79
R3	177,67	49,13	1016,84	118,66	146,13	11,74	141,51	1726,42	602,9

Tablo 3: Çalışma Alanındaki Jeotermal Suların Majör Anyon ve Katyonları.

Örnek Adı	SO_4	NO_2	NO_3	PO_4	NH4	F	Br	Li
P1	140,75	≤0,01	≤0,01	≤0,01	14,1	11,54	1,1	5,52
P2	139,02	≤0,01	≤0,01	≤0,01	18,45	12,51	1,19	5,59
P3	146,58	≤0,01	≤0,01	≤0,01	13,04	10,44	0,74	4,85
P4	126,83	≤0,01	0,61	≤0,01	12,49	8,11	≤0,01	5
P5	155,25	≤0,01	≤0,01	≤0,01	14,13	11,83	0,4	4,87
P6	178,98	≤0,01	≤0,01	≤0,01	≤0,01	13,25	≤0,01	5,35
P7	145,21	≤0,01	0,38	≤0,01	14,03	11,96	0,95	4,78
G1	174,61	3,84	2,98	<0,01	50,7	11,65	1,07	5,32
R1	130,11	≤0,01	0,7	≤0,01	22,23	9,7	0,61	4,91
R2	138,64	0,03	0,22	≤0,01	5,23	7,72	1,12	4,76
R3	155,24	≤0,01	0,61	≤0,01	13,45	19,81	1,1	4,62

4.3. JEOTERMAL SULARIN FASİYES TİPLERİ VE SINIFLAMASI

Çalışma alanındaki sıcak suların suların hidrokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla inceleme alanındaki açılmış olan kuyulardan akış testleri sırasında su örnekleri alınmıştır. Alınan sıcak su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarından sıcak suların doygunluk değerleri, sınıflaması, fasiyes tipleri saptanmıştır.

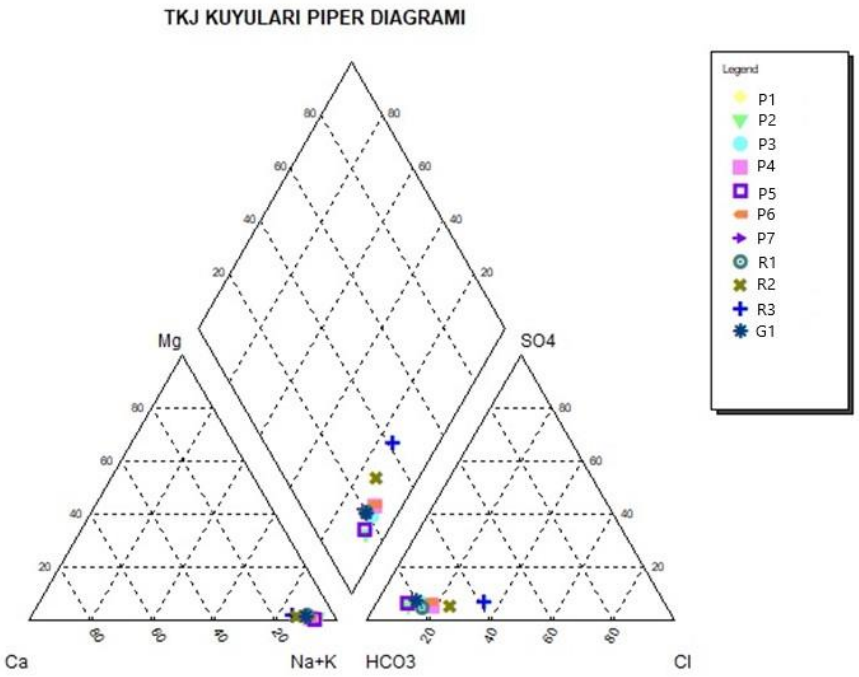
Piper ve Scholler diyagramları iyonların tamamının tek bir diyagramda görüntülenebilmesi bakımından ve suların kökenlerinin karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide sıkça kullanılan diyagramlardır. Çalışma alanında ki jeotermal suların kökensel ilişkileri Piper ve Schoeller diyagramları kullanılarak incelenmiştir. Sıcak suların hakim anyon ve katyon içerikleri kullanılarak piper diyagramları oluşturulmuş ve suların fasiyes ile etkilendikleri fiziksel ve kimyasal süreçler yorumlanmış, su tipi belirlenmiştir. Schoeller diyagramlı kullanılarak suların derin kuyulardan örneklenen sıcak suların kökensel ilişkileri incelenmiştir.

4.3.1. Piper Diyagramı

Sıcak suların kimyasal analizlerinden elde edilen majör anyon – katyon değerleri % mek/L cinsinden gösterilen iki farklı üçgenden ve tüm iyonların beraber içerisine taşınarak gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar ile suların fasiyes tipleri, eşkenar dörtgen ile suların hangi tip su sınıfında oldukları belirlenir ve suların birbirleriyle karşılaştırılması yapılır. Suların içerdikleri majör anyon ve katyonların %50'den fazla olanlarına göre hidrojeokimyasal fasiyes tipi belirlenir. İyonların içerisinde miktar olarak

%50'yi geçen iyon bulunmuyor ise bu sular karışık su tipinde olarak değerlendirilir. İnceleme alanındaki sulara ait Piper diyagramı verilmiştir.

Kuyulara ait majör anyon katyon değerleri Piper ve Schoeller diyagramı üzerinden değerlendirildiğinde, üretim ve reenjeksiyon kuyularından alınan tüm akışkanların Na-HCO_3 tipinde olduğu tespit edilmiştir. Yüksek rezervuar sıcaklığında karbonat minerallerinin çökelmesi sonucunda termal sulardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonu derişimleri azalmakta, buna karşılık Na^{+} ve K^{+} iyon derişimleri artmaktadır. Bu süreç etkisiyle derin jeotermal akiferlerdeki sular Na-HCO_3 tipi hidrokimyasal fasiyes grubunda yer almaktadırlar. Termal sular bu özelliğini mika, felsidpatça zengin Menderes Masifi temeli ile temas sonucunda kazanmaktadır. (Su Tipi: Katyon: Na+K>Ca>Mg Anyon: HCO_3>Cl>SO_4)

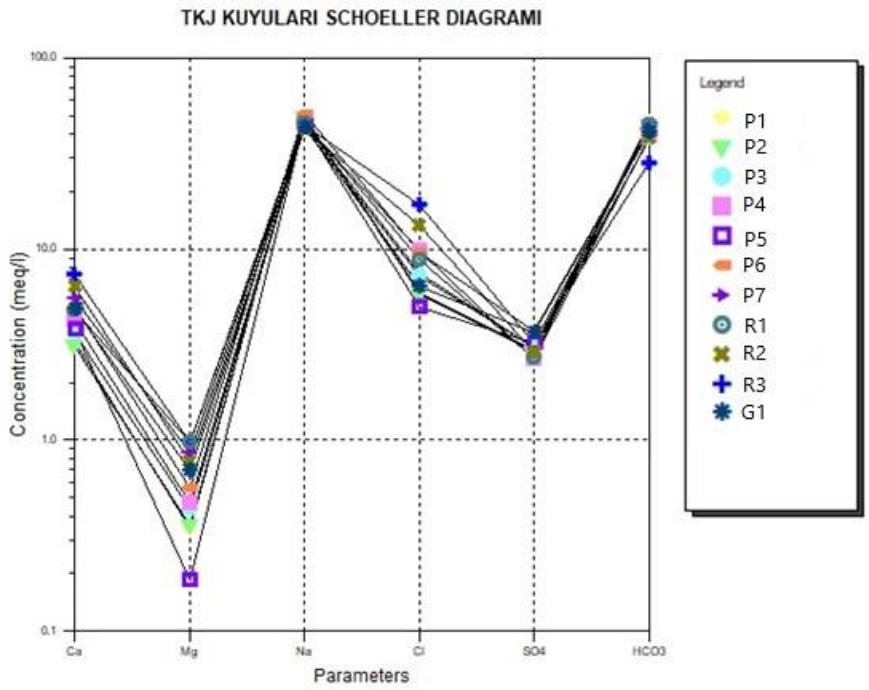


Şekil 4.25: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Piper Diagramı.

4.3.2. Schoeller Diyagramı

Bu diyagramda X ekseni iyonları Y ekseni ise logaritmik ölçekli olup meq/L cinsinden iyon konsantrasyonunu gösterir. İyonların mek/L cinsinden degerleri, düşey eksende işaretlenip elde edilen noktalar birleştirilir. Birleştirilen noktalar ile oluşturulan grafikler su örneğini temsil etmektedir. Schoeller diyagramında benzer kökenli, aynı akifere ve beslenme alanına sahip sular benzer dağılım gösterirler. Schoeller diyagramının bir diğer kullanım alanı ise suların yer

altında dolaşımı sırasında temas ettiği litolojilerin belirlenmesidir. Suların kimyası temas ettikleri kayaçların kimyasıyla birebir ilişkilidir.



Şekil 4.26: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Scholler Diagramı.

Schoeller diyagramından da görüleceği üzere; sahadaki sıcak sularda hakim katyon Na iken, hakim anyon HCO_3 olup bu sular $NaHCO_3$ fasiyesindeki sulardır.

Suların katyon ve anyon dizilimleri aşağıda verilmiştir.

Katyonlar: r(Na+K) > rCa > rMg **Anyonlar:** r(HCO_3+CO_3) > rCl > rSO_4

4.3.3. Jeotermometre Uygulamaları

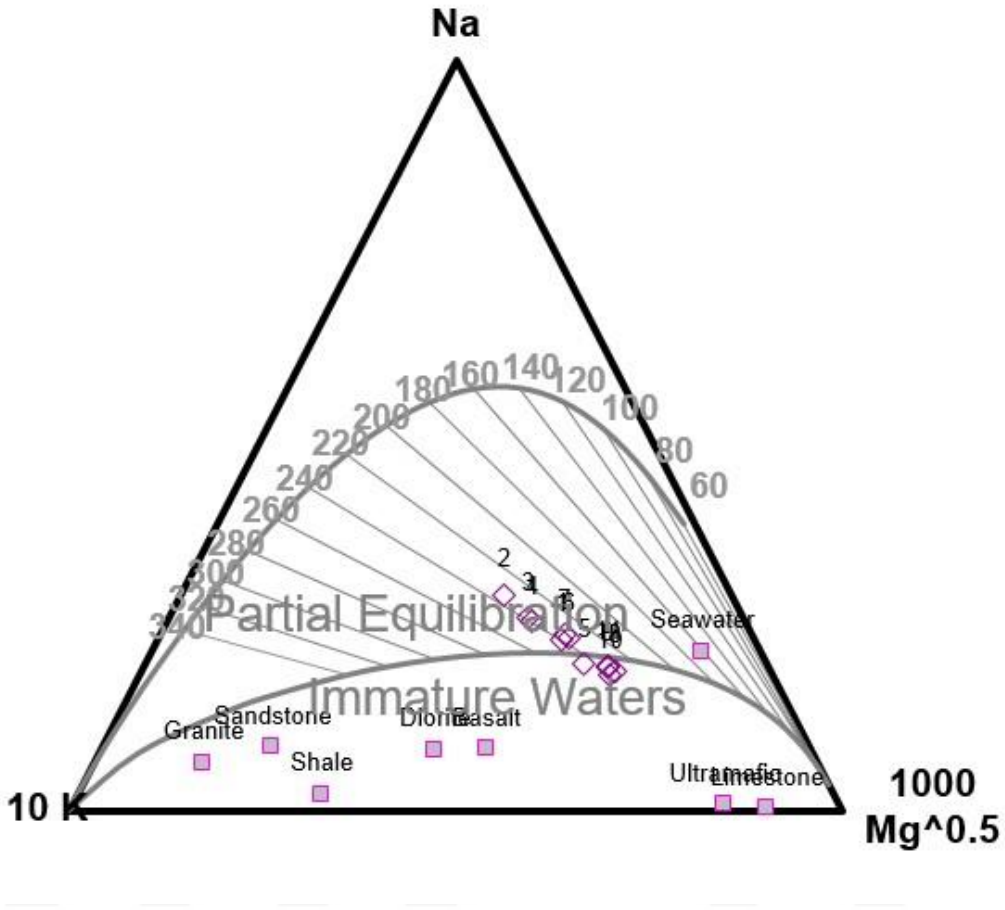
Yüzeye doğru hareket ederken diğer kayaçlar ile teması ve yeraltı suları ile karışması sebebiyle soğuyan jeotermal sular, akiferin içindekinden düşük sıcaklığa sahip olurlar. Jeotermometre yöntemi; akifer içinde bulunan sıvının sıcaklığını belirlemek için ortaya çıkmıştır. Kaynağın veya kuyunun başında yapılan izotopik ve kimyasal analizler sonucu sıcaklık tahmin edilebilir. Jeotermometreler 2'ye ayrılır; kimyasal ve izotopik termometreler. Kimyasal jeotermometreler; alınan örneklerin silis içeriği ile katyon derişimine ve gazların buhardaki oranı ile ilişkilidir. izotopik jeotermometreler; mineral, gaz ve su arasındaki izotopik değişimlere bağlıdır. Bu iki

yöntem arasında en pratik yöntem kimyasal jeotermometre yöntemidir (Andresdottir ve Arnorsson 1995).

Jeotermometre yönteminin temeli; sudaki gaz, iyon ve izotopların kaç derecedeki suyun içerisindeki çözünürlüğe ya da iyon değişimine sahip olması gerektiğine dayanır. Kullanılan eşitlikler 2'ye ayrılır; İlki, mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan silis jeotermometreleridir. Bir diğeri olan katyon jeotermometreleri ise; iyonların takas reaksiyonlarına dayanır.

Tablo 4: Giggenbach diyagramında kuyulara ait simgeler.

P3	1
P5	2
P1	3
P2	4
G2	5
P4	6
P6	7
R1	8
R2	9
R3	10
P7	11



Şekil 4.27: Çalışma alanındaki sıcak sulara ait Giggenbach diyagramı.

Giggenbach diyagramında görüldüğü üzere P7, R1, R2, R3 ve G2 kuyuları doygun olmayan sular sınıfında kalmaktadır. Bu nedenle jeotermometre eşitliğinin kullanılması uygun olmayacaktır.

Yüksek sıcaklıklı kaynaklarda silis jeotermometrelerinin güvenilir sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu nedenle numunelerin silisyum dioksit sonuçları da kaynak sıcaklığının hesaplanması için kullanılmıştır ancak silisyum, ani sıcaklık değişimlerinde ve soğumada çökeldiği için kuyulardan alınan numunelerin soğuyarak silisyum içeriklerinin azaldığı düşünülmektedir. Bu çökelimin önüne geçilebilmesi için SiO_2 ölçümüne gönderilecek örneklerin örnek sıcaklığına yakın saf su ile seyreltilmesi gereklidir. Silis jeotermometre ve Katyon jeotermometre uygulamalarını kullanılarak Pamukören Jeotermal Sahasında hesaplanmış olan rezervuar sıcaklıkları aynı tabloda aşağıda verilmiştir.

Tablo 5: Jeotermometre Hesaplamaları.

Kuyu Adı	Kuvars Jeotermometresi Ölçülen Rezervuar Sıcaklığı (°C)	Katyon Jeotermometresi Ölçülen Rezervuar Sıcaklığı (°C)	Kuyu İçi Ölçülen Max. Sıcaklık (°C)
P1	145	210	172
P2	147	211	174
P3	178	207	168
P4	176	204	172
P5	213	203	172
P6	174	203	164
P7	180	203	179
R1	179	204	166
R2	176	201	151
R3	173	205	163
G2	100	211	173

Jeotermometre uygulamaları ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları incelendiğinde katyon jeotermometrelerinde ölçülen 201 – 210 °C rezervuar sıcaklığının kuyu içi ölçülen maksimum sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğuda daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Kuvars jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıklarının PT ve PTS loglarda ölçülen kuyu içi maksimum sıcaklıkların çok altında olmasının sebebi analizi yapılan numunelerde soğumadan dolayı silisin çökeldiği bu nedenle analizlerin doğru sonuç vermediği söylenebilir.

4.3. İZOTOP JEOKİMYASI

Jeotermal akışkanların hidrokimyasal özellikleri yanında çevresel izotop içeriklerinin de incelenmesi ile jeotermal sistemlerin bir çok hidrojeolojik özelliğinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. Araştırmacılar jeotermal çalışmalarda izotopların fiziksel ve kimyasal süreçlere verdikleri tepkilerden sıklıkla yararlanırlar. Jeotermal akışkanın kökeninin, beslenme alanının, rezervuardaki sıcaklığının belirlenmesinde duraylı oksijen-18 ve döteryum izotopları, jeotermal akışkanın yaşının belirlenmesinde ise radyoaktif trityum (^{3}H) izotopu kullanılmaktadır.

Pamukören Jeotermal Sahası'ndaki P3,P4,P5,P7,R1,R2,R3 izotop örneklemesi kuyularda gerçekleştirilen kısa dönem akış testlerinde gerçekleştirilmiştir. Trityum analizleri DSİ Genel

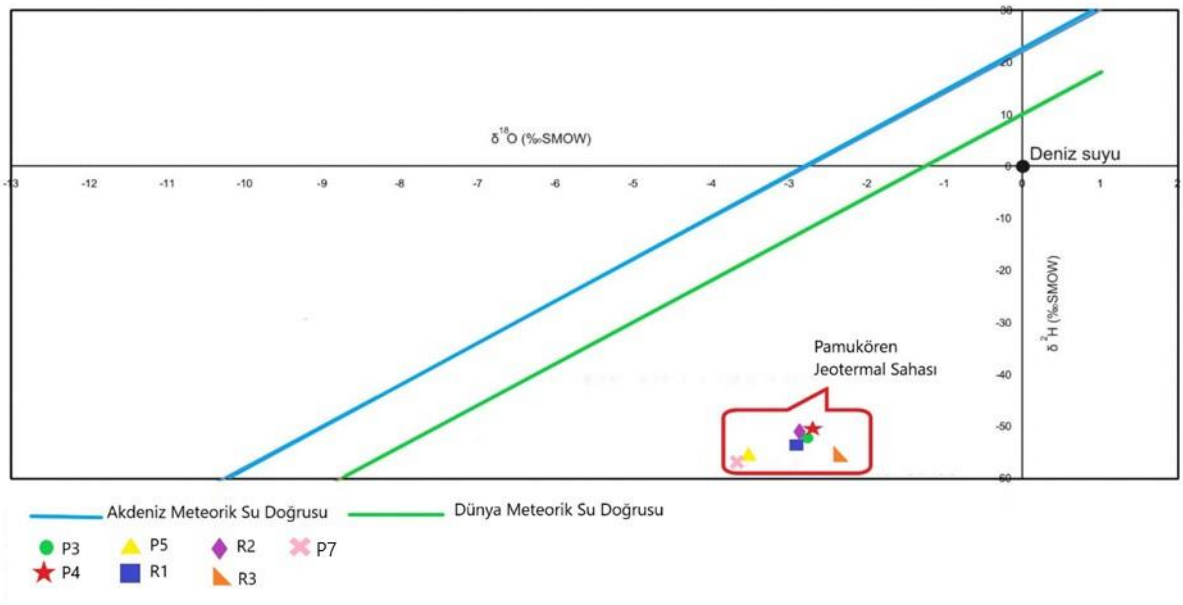
Müdürlüğü İzatop Analizi Laboratuvarında ve Hacattepe Üniversitesi Çevresel Trityum Laboratuvarında yaptırılmıştır. Oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve döteryum ($\delta^{2}H$) analizleri DSİ Genel Müdürlüğü İzatop Analizi Laboratuvarında ve Hacattepe Üniversitesi Uluslararası Karst Su Kaynakları Uygulama ve Araştırma Merkezinde yaptırılmıştır.

Tablo 6: İzotop Analizleri.

KUYU ADI	d2H Ölçülen	dO18 Ölçülen	Trityum Ölçülen Değer
P3	-52,04	-2,88	
P4	-51,09	-2,81	0,30
P5	-52,83	-3,51	
P7	-54,26	-3,97	0,47
R1	-51,5	-2,95	
R2	-50,87	-2,8	
R3	-53,81	-2,42	0,50

4.3.1. Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi

Sıcaklığa ve basınca bağlı olarak buharlaşma ve yoğunlaşma süreçleri meteorik suların duraylı hidrojen ve oksijen izotop oranlarını doğrusal olarak etkiler. Doğada farklı alanların kendine özgü meteorik su doğruları vardır. Yeraltı sularının kökenleri meteorik su doğruları kullanılarak belirlenir.



Şekil 4.28: Oksijen-18 ve döteryum ilişkisi.

Çalışma alanındaki kuyulardan kısa dönem akış testleri sırasında örneklenen ve izotop analizleri yaptırılan sıcak sular oluşturulan grafikte δ D=8 δ ^{18}O+22 (Doğu Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; Payne ve Dinçer,1965) ile δD=8 δ ^{18}O+10 (Dünya Meteorik Su Doğrusu) meteorik yağış doğruları çevresinde yer almaktadır. Dolayısıyla çalışma alanındaki jeotermal rezervuarın meteorik kökenli sulardan beslendiğini söyleyebiliriz.

Rezervuardaki sıcaklığın artmasına paralel olarak kimyasal olarak su – kayaç ilişkisi artmakta ve sularda duraylı ^{18}O izotopu zenginleşmektedir. ^{18}O izotopu bakımından zengin kayaçlar ile jeotermal akışkan arasındaki etkileşim sonucunda, jeotermal akışkanın izotopik bileşiminin pozitif ^{18}O değerlerine doğru yönelmektedir. Kayaçların kimyasal yapılarında ^{2}H izotop bulunmaz, dolayısıyla su - kayaç ilişkisi sonucunda suların ^{2}H izotop içeriklerinde bir değişiklik beklenmez.

Jeotermal akiferlerde su-kayaç etkileşimi sonucunda meydana gelen ^{18}O zenginleşmesi, su ve kayacın δ^{18}O değerine, ayrışma şiddetine ve su/kayaç oranına bağlıdır.

Pamukören Jeotermal Sahası'ndaki kuyular birlikte değerlendirildiğinde δ^{18}O zenginleşmesinin artan sıcaklıkla arttığı gözlenmektedir. Buna göre artan sıcaklıkla birlikte su – kayaç etkileşiminin de arttığı söylenebilir.

4.3.2. Trityum (^3H) İlişkisi

Trityum, hidrojenin yarılanma ömrü kısa (12.43 yıl) olan radyoaktif bir izotopudur. Hem doğal olarak stratosferde kozmik radyasyonla hem de yapay olarak üretilen ^3H, hidrolojik sisteme yağış ile girer. Güncel yağışların trityum içerikleri 10 TU civarındadır. Suyun molekül yapısında yer alan hidrojenin radyoaktif bir izotopu olduğu için yeraltısuyu geçiş süresinin belirlenmesinde doğrudan kullanılmaktadır. Bununla birlikte, trityum izotopu genelde derin dolaşımlı yeraltısular olarak kabul edilen jeotermal sularda güncel beslenimin saptanmasında da kullanılmaktadır.

Çevresel izotoplardan ^3H, yeraltısuyu araştırmalarındaki önemi radyoaktif bozunmanın dışındaki etkilerden hemen hemen hiç etkilenmemesidir. Derişim birimi Trityum Birimi (TU) olup, 1 TU 10^{18} H atomuna karşılık gelen 1 adet ^3H atomunu ifade etmektedir.

Jeotermal suların ^3H değerleri, jeotermal rezervuarları besleyen suların ^3H değerlerine, bu suların jeotermal rezervuarı hangi oranda beslediğine, yeraltında kaldığı zamana ve katettileri mesafeye göre değişmektedir.

Trityum izotopu radyoaktif bir izotoptur ve jeotermal suların yeraltında kalış süreleriyle doğru orantılı olarak bozunmaya uğrarlar. Bu özelliğinden dolayı yeraltısularının yaşlarının belirlenmesinde ^3H izotopundan yararlanılır.

Pamukören Jeotermal Sahasında kuyuların kısa dönem akış testlerinde örneklenen ve analizi yaptırılan 3 adet numunenin tritrum değerleri; P4: 0,3 TU, P7: 0,47 TU, R3:0,5 TU olarak ölçülmüştür. Örneklenen suların çok düşük TU değerlerine ve yüksek Eİ değerlerine sahip olmaları bu suların uzun süreli, derin dolaşımlı yeraltısuları olduğunun göstergesidir. Kuyuların göreceli olarak uzun süreli (yer altı dolaşım süresi 50 yıldan fazla) geçiş zamanına sahip yeraltısuları yaşlı sular sınıfındadır.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Pamukören jeotermal sahasının jeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılmış olan jeoloji, jeokimyasal ve izotop kimyası çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Çalışma alanının Büyük Menderes Grabeni'nin kuzeyinde horst üzerinde, grabenin kuzeyinde bulunan ana sıyrılma fayının kuzeyinde yer almaktadır. Menderes metamorfiklerinin en yaşlı kayaları olarak kabul edilen ve metamorfik kompleksin çekirdeğini oluşturan gnayslar Batı Anadolu'da paleotektonik dönem boyunca etkili olan sıkışma tektoniğine bağlı olarak sürüklenimler ile (Bozköy Sürüklenimi) kendisinden daha genç olan şist serisi üzerine bindirme ile gelmişlerdir. Allokton gnays olarak adlandırılan bu birim arazide çok geniş alanlarda, sert, kırılgan, eklemli olarak gözlenirler.

Jeotermal rezervuarın örtü kayaları özelliğindeki şistler stratigrafik istifte alloktan gnaysın altında olup Pamukören Jeotermal Sahası'nda açılmış olan kuyularda 800 – 1200 metre kalınlıkta kesilmektedir. Kalın şist serisi içerisinde açılan kuyularda çoğunlukla muskovit şist, kuvars şist, klorit şist, kuvars-klorit şist, kalk şist, kuvarsit mermer olarak değişik kalınlıklarda litolojiler kesilmiştir. Bu şistler çalışma alanında faylanmalarla da birlikte birbirleriyle yanal ve düşey yönde geçişlidir.

Şist serilerinin altında ve içerisinde jeotermal sistemin rezervuar kayası olan mermerler ve kalkşistler ve dolomitik mermerler yer almaktadır. Mermerler yer yer erime boşluklu olup, tektonik etkilerle çatlaklı kırıklı bir yapı kazanmışlardır. Karbonat kökenli bu birimler kazanmış oldukları ikincil geçirgenlik ve gözeneklilikleriyle rezervuar olma özelliğindedir. Sahada açılmış kuyularda kuzeyden güneye gidildikçe şist serisinin kalınlığı azalmakta jeotermal sistemler için rezervuar özellikleri mermer ve kalkşistlerden oluşan birimin kalınlığı artıp kalınlık 1000 metreye ulaşmaktadır. Mermer – kalkşistlerden oluşan birim derinlere doğru dolomit, dolomitik mermerlere dönüşmektedir. Dolomitler ve dolomitik mermerler, mermer ve kalkşistlere göre daha düşük porozite ve permabileteye sahip olmalarından dolayı bu seviyeler daha kötü rezervuar kaya olma özelliğine sahiptirler. Sahada gerçekleştirilen jeotermal üretimin çoğunlukla mermer ve kalkşist seviyelerden daha düşük oranda dolomitik mermerlerden yapılmaktadır.

Büyük Menderes Grabenini şekillendiren normal fayların çevresinde yükselip devrilen Kestel formasyonu iyi boylanmamış, polijenetik ve zayıf tutturulmuş, iri taneli konglomeralardan oluşmaktadır. Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey sınırını şekillendiren, 2-6 km arası genişlikte değişen ve belirli bir çizgisellik sunan formasyon yükselip, parçalanıp, devrilmişlerdir. Özellikle fay zonlarının önünde yığılmış şekilde gözlenen Kestel formasyonu, fay sınırlarının belirlenmesi ve desteklenmesinde belirleyici unsur olmuştur.

Menderes Grabeni'nin tamamında paleotektonik dönemde, sıkışma rejiminde K-G yönlü oluşan normal doğrultu atımlı faylar ve miyosen sonrası genişleme rejiminde gelişen D-B gidişli normal faylar çalışma alanında da gözlenmektedir.

Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında doğu-batı yönlü biribirine paralel basamak faylar gelişmiştir.

Çalışma alanında K-G doğrultulu, yaklaşık 0.2-2.0 km genişliğinde ve 7.5 km uzunluğunda, oblik bileşeni de olan doğrultu atımlı Kayrandere fayı bölgede kırık, çatlak sistemlerin gelişmesini sağlayıp jeotermal sistemin oluşmasında büyük önem taşımaktadır.

Miyosen ve sonrasın dönemlerde gelişen graben D-B doğrultulu ana sıyrılma fayları ve daha genç basamak fayları çalışma alanının batısında Sarıhan ve Çobanisa Fayları, doğusunda İğdecik Fayı ve Kurtuluş Fayları olarak çalışılmıştır. Bu faylar Menderes Masifi temel kayalarının kuzey-güney yönlü gerilmenin etkisiyle sürekli olarak yükselmesi sonucu Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında doğu-batı yönlü biribirine paralel olarak gelişmişlerdir. Fayların hareketi sonucunda meydana gelen fay breşleri sahada gözlenebilmiştir ve Kestel Formasyonu olarak adlandırılmaktadır. Bu bölgedeki önemli nokta paralel normal faylar sonrasında sırayla ana kaya ve Kestel formasyonunun görülmüş olmasıdır. Bu durum kısa zaman aralıklı fakat farklı zamanlarda oluşmuş fayların sırasıyla kırılması olarak açıklanmıştır.

Menderes metamorfiklerine ait mermer, kalk şist, dolomitik mermerler erime boşluklarıyla ve tekntonik aktiviteler sonucu kazanmış oldukları ikincil gözeneklilik, geçirimlilik ile sahada rezervuar kaya olma özelliğini kazanmışlardır. Sahada jeotermal üretimin tamamı bu karbonatlı seviyelerden yapılmaktadır. Geçirimsiz, düşük geçirimli kalın şist serisi jeotermal sistemin örtü kaya özelliğindedir.

B.M.G'nin ortasında gelişen kabuk incelmesi ve tektonik faaliyetlerin yarattığı zayıflığın da etkisiyle yüzeye yaklaşan magma, bölgenin jeotermal yönden oldukça önemli bir alan haline gelmesini sağlamıştır. Bu incelme ve sokulumlar sahanın ısı kaynağını oluşturmaktadır. Grabenin tamamında görülen ve D-B uzanımlı normal fayları kesen, yaklaşık K-G doğrultulu oblik veya normal faylar da ısının Menderes Grabeni'ne dik olarak konumlanan K-G yönlü vadilere taşınmasını sağlamaktadır.

Kuyulara ait majör anyon katyon değerleri Piper ve Schoeller diyagramı üzerinden değerlendirildiğinde, üretim ve reenjeksiyon kuyularından alınan tüm akışkanların Na-HCO3 tipinde olduğu tespit edilmiştir. Yüksek rezervuar sıcaklığında karbonat minerallerinin çökelmesi sonucunda termal sulardaki Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonu derişimleri azalmakta, buna karşılık Na^{+} ve K^{+} iyon derişimleri artmaktadır. Bu süreç etkisiyle derin jeotermal akiferlerdeki sular Na-HCO3 tipi hidrokimyasal fasiyes grubunda yer almaktadırlar.

Silis ve Katyon jeotermometre uygulamaları kullanılarak Pamukören Jeotermal Sahasında rezervuar sıcaklığı hesaplanmış, kuyu içi ölçülen maksimum sıcaklıklar göz önünde bulundurulduğuda katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Katyon jeotermometrelerine göre rezervuar sıcaklığı 201 – 210 °C'dir.

Duraylı oksijen-18 ($\delta^{18}O$) ve döteryum ($\delta^{2}H$) izotopları kullanılarak yapılan analizlere göre Pamukören Jeotermal Sahasında jeotermal sistmem meteorik kökenli sulardan beslenmektir. Sıcak su kuyularının TU değerleri sıfıra yakın olup Eİ değerlerinin yüksek olması bu suların derin dolaşımlı sular sınıfında olduğu göstermektedir. Kuyuların göreceli olarak uzun süreli (yer altı dolaşım süresi 50 yıldan fazla) geçiş zamanına sahip yeraltısuları yaşlı sular sınıfındadır.

KAYNAKLAR

Andresdottir, A. And Arnorsson, S. 1995. Studies of the chemical evolution of natural waters in the Hrepper-Land geothermal field, Iceland: an aid to geothermometry interpretation. *Proceedings of the World Geothermal Congress, 18-31 May, International Geothermal Association (IGA), Vol.2,* Florence, Italy. pp. 1001-1006.

Bozkurt, E. 2000. Timing of extension on the Buyuk Menderes Graben, western Turkey, and its tectonic implications. Bozkurt, E., Winchester, J.A. & Piper, J.D.A. (eds) Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area. *Geological Society of London. Special Publication,* 173, 385-403.

Bozkurt, E. 2001. Neotectonics of Turkey-asynthesis. *Geodinamica Acta,* 14, 3-30.

Bozkurt, E. and Park, R.G. 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorfic core complex in Western Anatolia, *Turkey. J.Geol.Soc.,London,* 151, 213-216.

Bülbül, E., Yolal, A. ve Ceran, F. 2008. Aydın-Salavatlı ASR-3 reenjeksiyon sondajı kuyu bitirme raporu. *MTA Genel Müdürlüğü Ankara* (yayımlanmamış).

Cohen, H.A., Dart, C.J., Akyuz, H.S., Barka, A.A. 1995. Syn-rift sedimentation and structural development of Gediz and Buyuk Menderes graben, Western Turkey. *Journal of the geological society London,* 152, 629-638.

Freeze, R.A. and Cherry, *J.A. 1979 Groundwater, Practice-Hall,* 604 p.

Fossen, H. 2010. Structural Geology. *Cambridge University Press*. 463p.

Fournier, R.O., 1991, Water geothermometers applied to geothermal energy. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development, *UNITAR/UNDP, Rome,* pp. 37-69.

Gemici, U. and Tarcan, G. 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts, *Environmental Geology*, 12, 125-132.

Giggenbach, W.F. 1988. Geothermal solute equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta,* pp. 55, 2749-2765.

Hakyemez, Y.H., Erkal, T. and GöktaĢ, F. 1999, Late quaternary evolution of the Gediz and Büyük Menderes Grabens, western Anatolia, Turkey. *Quaternary Science Reviews,* 18, 549-554.

Işık, V., Tekeli, O., and Cemen, L. 1997. Mylonitic fabric development alaong a detachment surface in northern Menderes Massif; Western Anatolia, Turkey: *Geological Society of America Annual Meeting Abstracts with Programs,* V.29, no.6, p. A-220.

Işık, V. and Tekeli, O. 2001. Late orogenic crustal extension in the northern Menderes Massif (western Turkey): evidence for metamorphic core complex formation. *International Journal of Earth Sciences 89,* 757-765.

Jackson, J.A., McKenzie, D. 1988. The relationship between plate motions and seismic moment tensors tensors and rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal,* 93, 45-73.

JF Dewey, Şengör, A.M.C. 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin.*

Karamanderesi, İ. H. (1997). Geology of and hydrothermal alteration processes of the Salavatlı-Aydın geothermal field. *Doktora Tezi, Dokuz Eylul Universitesi.*

Karamanderesi, İ.H. and Helvacı, C. 2003. Geology and hydrotermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, western Anatolia, Turkey. *Turkish J.Earth Sci.,* 12, 175-198.

Karamanderesi, İ.H. 1972. Aydın-Nazilli-Çubukdağ arası jeotermal alan olanakları hakkındaki jeolojik rapor, *MTA Genel Müd. Derleme rapor No:5224, Ankara (yayımlanmamış).*

Koçyiğit, A. Active Tectonics and Geothermal Potential of Pamukören (Nazilli) Area," 2010.

Koçyiğit, A. An overwiev on the main stratigraphic and structural features of a geothermal area: the case of Nazilli-Buharkent section of the Büyük Menderes Graben,SW Turkey. *Geodinamica Acta,* 27:2-3, 85-109.

Koçyiğit, A., Yusufoğlu, H., Bozkurt, E. 1999. Evidencefrom the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. *Journal of the Geological Society London,* 156, 605-616.

Le Pichon, X. and Angelier, J. 1979. The Aegean arc and trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonpphysics,* 60, 1-42.

McKenzie, D.P. 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysic J.R. astr.Soc.,* 55, 217-254.

McKenzie, D.P. 1978. Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysic J.R. astr.Soc.,* 55, 217-254.

Meulenkamp, J.E., Wortel, M.J.R., van Wamel, W.A., Spakman, W., Hoogerduyn Strating, E. 1988. On the Hellenic subduction zone and the geodynamic evolution of Crete since the late middle Miocene. *Tectonophysics,* 146, 203-215.

Mutlu, H. and Güleç, N. 1998. Hydrogeochemical outline of thermal water and geothermometry applications in Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Res.,* 85, 495-515.

Paton, S. 1992. The Relationship Between Extension and Volcanism in Western Turkey, the Aegean Sea and Central Greece, Ph.D. *Thesis, University of Cambridge, Cambrigde*, 300p.

Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R. and Gressi, K. 2003. Tectonic denutaion of a Late Cretaceous. Tertiary collisionabelt: regionally synmtric cooling patterns and their relation extensional faults in the Anatolide belt of extensional faults in the Anatolide belt of Western Turkey. *Geol. Mag.* 140, 421-441.

Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine,* 128, 155-166.

Seyitoğlu, G., Scott, B.C. 1996b. The cause of N-S extensional tectonics in western Turkey: Tectonic escape vs. Back-arc spreading vs. Orogenic collapse. *Journal of Geodynamics,* 22, 145 - 153.

Seyitoğlu, G., Işık, V. and Çimen, İ. 2004. Complete tertiary exhumation history of the Menderes Massif, Western Turkey: an alternative working hypothesis, *10.1111/j.* 1365-3121.

Seyitoğlu, G., Işık, V. 2009. Meaning of the Kuçuk Menderes Graben in the tectonic framework of the central Menderes metamorphic core complex. *Geologica Acta,* 7, 323-331.

Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1991. Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey. *Geological Magazine.*128-2:156-166.

Seyitoğlu, G. and Scott, B. 1992. The age of the Büyük Menderes Graben(west Turkey) and its tectonic implications. *Geol. Mag.* 129, 239-242.

Seyitoğlu, G., Işık, V. and Çimen, İ. 2004. Complete tertiary exhumation history of the Menderes Massif, Western Turkey: an alternative working hypothesis, *10.1111/j.* 1365-3121.

Sözbilir, H. 2001. Nazilli ve dolayının (Büyük Menderes Grabeni) genç tektoniği. *Büyük Menderes Depremleri Jeofizik Toplantısı,* 54-61.

Şamil, Ş., Seyitoğlu, G. 2009. Magnetostratigraphy of early - middle Miocene deposits from E-W trending Alaşehir and Buyuk Menderes grabens in western Turkey, and its tectonic implications. İç: Geodynamics of Collision and Collapse at the Africa – Arabia- Eurasia subduction zone. (Ed: D.J.J. van Hinsbergen, M.A. Edwards, R. Govers), *The Geological Society London, Special Publications* 311,321–342.

Şengör, A.M.C. 1979. Post collisional tectonics of Turkish-Iranian plateau and a comprasion with Tibet. *Tectonophysics,* 55, 361-376.

Şengör, A.M.C. 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. *TJK Batı Anadolu'nun genç tektoniği ve volkanizması, Panel Kitabı.*

Şengör, A.M.C. 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. *Geological Society, London, Special Publications.*

Şengör, A.M.C., Satır, M., and Akkök, R. 1984. Timing of the tectonic events in the Menderes Massif, Western Turkey: Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics, 3,* 693-707.

Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. Strike-slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation. *Society of Economic Palaeontologists and Mineralogists Special Publications.*

Şimşek, S., Uygur, N., Özbayrak, İ:H., Coşkun, B., Dikmenoğlu, T. ve Aras, A., 1980, Aydın (Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanakları, *Tubitak 10. Bilim kongresi,* 251-264, Kuşadası.

Thomson, S.N., Stockhert, B., Brix, M.R. 1998. Thermochronology of the high-pressure metamorphic rocks on Crete, Greece: implications for the speed of tectonic processes. *Geology,* 26, 259–262.

Verge, N.J. 1993. The exhumation of the Menderes Massif metamorfic core complex of western Anatolia. *Terra Abstracts* 5, 249.

Yolal, A. 2010. Aydın-Pamukören AP-2 jeotermal sondajı kuyu bitirme raporu. *MTA Genel Müdürlüğü Ankara (yayımlanmamış).*

Yurttaş, O. (2008). Ilıcabaşı (Aydın) jeotermal alanının hidrojeolojisi. Yuksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylul Universitesi.*

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Berk Uzun
Doğum Yeri	İstanbul
Doğum Tarihi	18.10.1985
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	0555 711 81 08
E-Posta Adresi	berkuzun38@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Jeoloji Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2010

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Jeoloji Mühendisliği Programı

Makale ve Bildiriler
2017, Hole Collapse Experience During Cleaning Flow in Wildcat Well in Denizli Field, Turkey, Pince, A., Guldag, A., Bitlis, M. H., Ozer, A.C., Zeray, K., Kasimoglu, O.M., Uzun, B., Yargici, T. Geothermal Resources Council Transactions.