



SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
BİLGİ MERKEZİ

T.C. SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAHAYIT (DENİZLİ) YÖRESİNİN JEOTERMAL
POTANSİYELİ**

İlke KIYMAZ

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2012**

T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAHAYIT (DENİZLİ) YÖRESİNİN JEOTERMAL
POTANSİYELİ

İlke KIYMAZ

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

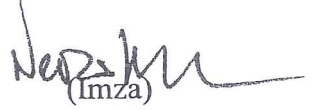
YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İSPARTA – 2012

TF 02139

TEZ ONAYI

İlke KIYMAZ tarafından hazırlanan “Karahayıt (Denizli) Yöresinin Jotermal Potansiyeli” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

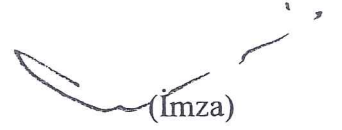


(İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Ali BİLGİN



(İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Anabilim Dalı

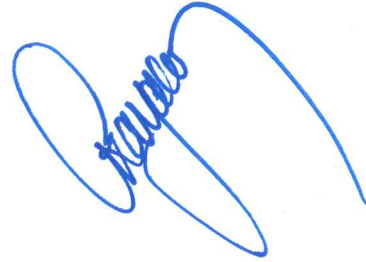
Prof. Dr. Tofig İSMAYİLOV



(İmza)

Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof.Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN
Enstitü Müdürü



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Tanımı ve Amacı	1
1.2. Çalışma Alanının Yeri.....	6
1.2.1. Bölgenin coğrafi konumu ve tanıtımı.....	6
1.2.2. Bölgenin önemli akarsuları.....	6
1.2.3. Çalışma alanının iklimi.....	7
1.2.4. Bölgenin turizm açısından önemi.....	8
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	12
3.1. Materyal.....	12
3.2. Yöntem.....	12
3.3. Arazi Çalışmaları.....	13
3.4. Laboratuvar Çalışmaları.....	14
3.5. Büro Çalışmaları.....	14
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	16
4.1. Genel Jeoloji.....	16
4.2. Paleozoyik Yaşlı Litolojiler	16
4.3. Mesozoyik Yaşlı Kireçtaşlar	19
4.4. Eosen Yaşlı Litolojiler	20
4.5. Pliyosen Yaşlı Formasyonlar	20
4.5.1. Kızılburun formasyonu (PL1).....	21
4.5.2. Sazak formasyonu (PL2).....	21
4.5.3. Kolonkaya formasyonu (PL3).....	21
4.5.4. Tosunlar formasyonu (PL4).....	21

4.6. Kuvaterner Yaşlı Litolojiler	22
4.6.1. Travertenler.....	22
4.7. Yapısal Jeoloji	23
4.8. Jeotermal Kaynaklar	25
4.8.1. Karahayıt kaynak sularının fiziksel özellikleri.....	26
4.9. Jeotermal Suların Sınıflandırılması	27
4.9.1. Piper (üçgen) diyagramı	27
4.9.2. Durov diyagramı	28
4.9.3. Suların H. Scholler diyagramı	29
4.9.4. Denizli Karahayıt sıcak suların anyon-katyon ilişkisi stiff diyagramları.	30
4.10. İzotop Çalışmaları.....	32
4.11. Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramı	34
4.12. Karahayıt Jeotermal Sularının Kullanımı	35
5. SONUÇLAR.....	37
6. KAYNAKLAR.....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	43

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KARAHAYIT (DENİZLİ) YÖRESİNİN JOTERMAL POTANSİYELİ

İlke KIYMAZ

Süleyman Demirel Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmanın asıl amacı, Denizli karahayit jeotermal kaynaklara ilişkin bilgilerin derlenmesi, güncelleştirilmesi ve bölgenin jeotermal enerji açısından potansiyelinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın içeriğinde Denizli iline ve jeotermal alanlara ait özet jeoloji bilgileri verilmiş ve Türkiye Jeotermal Kaynaklar envanterinden yararlanılarak bu alanlara ilişkin jeolojik özellikleri gösteren haritalar kullanılmıştır.

Arazi çalışmalarında jeotermal kaynaklara ait sıcaklık, debi, pH, Eh, kuyu kullanım durumu belirlenmiştir. Aynı zamanda kaynaklar ve kuyuların koordinatları da mümkün olduğu ölçüde GPS ile ölçülerek belirlenmiştir. Bu kaynak ve kuyulara ait kimyasal analiz sonuçları verilmiş ve bu suların özellikleri, birtakım grafik ve diyagramlar kullanılarak belirlenmiştir. Bu araştırma bulguları önceki çalışmalar ile deneştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal (Denizli), hidrojeoloji, hidrojeokimya

2012, 43 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

KARAHAYIT (DENİZLİ) GEOTHERMAL POTENTIAL

İlke KIYMAZ

Süleyman Demirel University

Graduate School of Applied and Natural Sciences

Department of Geological Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

The main aim of this study was carried out under Süleyman Demirel University, compiling information on geothermal resources in the province of Bursa, updated, and the region to evaluate the potential of geothermal energy.

The content of this study, a summary of the geological province of Karahayit, Denizli and the geothermal fields in Turkey are given and Geothermal Resources and the inventory of geological features using maps showing the areas used.

Field studies of geothermal resources temperature, flow, pH, Eh, well defined user status. At the same time, the resources and coordinates of the wells, was determined by measuring the extent possible with GPS. The source and chemical analysis results of the wells are given and some properties of these waters were determined using graphs and diagrams. These research findings correlated with previous studies.

Key Words: Geothermal (Denizli), hydrogeology, hydrogeochemistry

2012, 43 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez dönemimim boyunca bana her türlü konuda yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Ali BİLGİN'e teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Denizli DSİ Baş Mühendisi Jeoloji Mühendisi sayın Mehmet AKGÜN 'e teşekkür ederim.

Yüksek lisansım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her türlü bilimsel çalışmalarımda yardımcı olan Jeoloji Mühendisi Dr. Osman ŞEN'e teşekkür ederim.

3008-YL-11 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

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

İlke KIYMAZ

ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Yer bulduru haritası.....	3
Şekil 1.2.	Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem	5
Şekil 1.3.	Yer bulduru haritası (Google earth).....	6
Şekil 1.4.	Denizli Çürüksu ovası	7
Şekil 1.5.	Pamukkale travertenlerinden bir görünüm	8
Şekil 3.1.	Sıcak su örneklerin yerlerini gösteren lokasyon haritası	13
Şekil 4.1.	Araştırma alanının jeolojik haritası (Akkuş vd., 2005).....	17
Şekil 4.2.	Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti (Alpman. N., 1963).....	18
Şekil 4.3.	İki mikalı kayalarda görülen şistozite	19
Şekil 4.4.	Mermerlerde granoblastik doku.....	19
Şekil 4.5.	Fosilli Tosunlar Formasyonu (Tosunlar ve civarı).....	22
Şekil 4.6.	Sıcak $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ sularından, CO_2 'in buharlaşması CaCO_3 'ün çökmesi sonucu oluşan travertenler.....	23
Şekil 4.7.	Karahayıt Büyük Menderes Grabeni ile Gediz Grabeni'nin kesişme yerinde yer almaktadır (Şimşek, 2003).....	24
Şekil 4.8.	Denizli Karahayıt ve yöresindeki graben sistemi boyunca gelişmiş bulunan eğim atımlı normal faylar ve sismik aktivite.....	25
Şekil 4.9.	Türkiye jeotermal kaynaklar haritası (MTA, 2005).....	26
Şekil 4.10.	Denizli Karahayıt sıcak su kaynaklarına ait Piper diyagramı.....	28
Şekil 4.11.	Denizli-Karahayıt jeotermal sularının Durov diyagramı.....	29
Şekil 4.12.	Denizli-Karahayıt jeotermal sularına ait Schoeller diyagramı.....	30
Şekil 4.13.	Kayaç su etkileşimini gösteren stif diyagramları.....	31
Şekil 4.14.	Denizli Karahayıt jeotermal sularına ait stiff diyagramları.....	31
Şekil 4.15.	Denizli Karahayıt kaplıcalarına ait Stiff diyagramları.....	32
Şekil 4.16.	Denizli Karahayıt, Pamukkale ve Gölemezli sularının izotop değerleri (Özgür, 2011).....	33
Şekil 4.17.	Denizli ve yöresi jeotermal ve doğal suların izotop değerlendirmesi (Güner, vd., 1999).....	33
Şekil 4.18.	Wilcox Diyagramı.....	35
Şekil 5.1.	Denizli Karahayıt hidrotermal alanının GB-KD yönlü enine kesiti...	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Denizli Karahayıt jeotermal suları in-situ analiz sonuçları.....	15
Çizelge 3.2. Denizli Karahayıt jeotermal suları hidrokimyasal analiz sonuçları...	15

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Tanımı ve Amacı

Günümüzde, jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları olarak giderek büyük önem taşımaktadır. Türkiye zengin jeotermal enerji kaynaklarıyla dünyada önde gelen ülkeler arasında yer almaktadır. Dolayısıyla jeotermal enerji kaynaklarından ülkemizin en verimli bir şekilde yararlanması gerekmektedir. Öte yandan, ülkelerin kalkınmışlık derecelerinin ölçüsü kullandıkları enerji kaynaklarıyla ölçülmektedir. Bu nedenle, ucuz, çevre dostu olan jeotermal enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ülkemiz açısından büyük önem taşımaktadır. Jeotermal enerji, kelime anlamı olarak, yeryuvarından kaynaklanan ısı anlamına gelmektedir. Jeotermal kaynak ise, jeolojik yapıya bağlı olarak yer kabuğunun ulaşılabilir derinliklerinden, yeryüzüne su ve buhar ile taşınabilen ısı enerjisini ifade etmektedir. Jeotermal enerji kaynağını da yeraltından ısınarak, yeryüzüne taşıyan sıcak su ve buhar gibi akışkanlar oluşturmaktadır. Doğal maden suyu, yer kabuğunun farklı derinliklerinde, uygun jeolojik şartlarda, doğal olarak oluşan ve yeryüzüne kendiliğinden çıkan, mineral içeriği yüksek, tedavi veya şifa amacı için kullanılan, içilebilir nitelikteki soğuk ve sıcak doğal suları ifade etmektedir.

Ülkemizin Ege Bölgesi'nde yer alan Denizli ve yöresi yüksek sismik aktivitesi, ısıtıcı kayaları, rezervuar kayaçları, örtü kayaçları ve jeotermal kaynaklarıyla tarih öncesi devirlerden beri önem taşımaktadır (Bilgin ve diğ., 2001). Kaplıcalar Denizli Karahayıt sınırları içinde yer almakta ve yörede çok sayıda jeotermal sıcak su kaynağı belirlenmiştir. Kaplıca sularının sıcaklıkları, 26,6 ile 88,0 °C arasında değişmektedir. Söz konusu sıcak su kaynakları beraberinde bir takım katyon ve anyonları bulundurmaları ve radyoaktivite içermeleriyle kaplıca olarak değerlendirilmektedir. Yörede temel kaya olarak metamorfik ve magmatik kayaçlar yer almaktadır. Bu kayaçlar yer yer genç volkanik ve damar kayaçlar tarafından da kesilmektedir. Söz konusu kayaçlar aynı zamanda sıcak akışkanlara ısıtıcı kaya ödevini görmektedir. Muhtemel rezervuar kayaçları da Paleozoik yaşlı mermerler ve ısıtıcı kayaçları da literatürde Denizli Volkanikleri olarak bilinen, Honaz yöresinde

yüzeyleme veren Neojen yaşı volkanitler oluşturmaktadır. Rezervuardaki sıcak akışkanların sıcaklıklarının korunması da örtü kayalarından fliş fasiyesindeki killi litolojiler oluşturmaktadır.

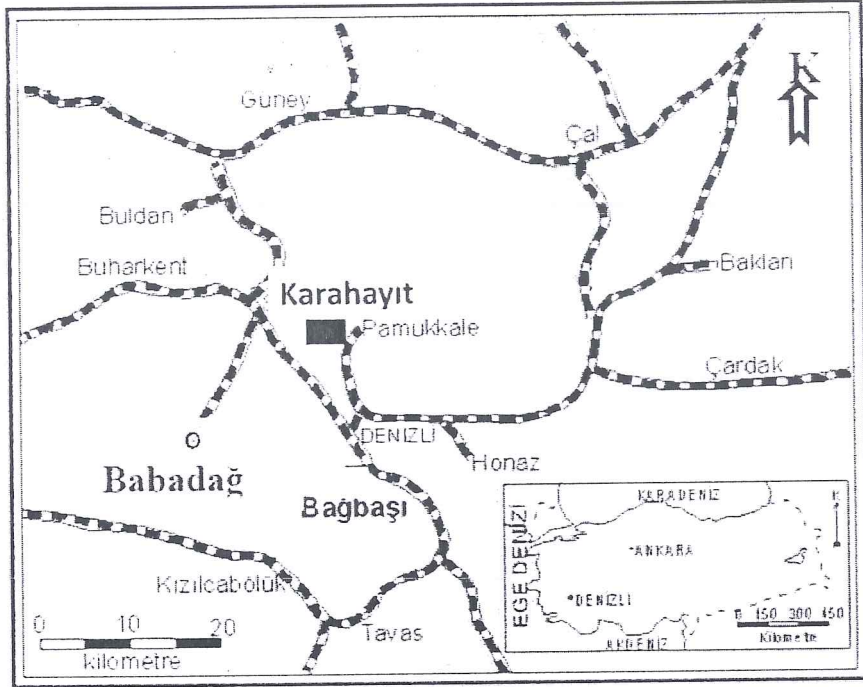
Bu çalışmayla, Denizli Karahayıt'taki yenilenebilir enerji kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin, önemi araştırılacak ve Denizli'de yer alan bu jeotermal kaynakların ne denli önemli olduğu ve nerelerde hangi amaçla kullanılabileceği verilere dayanarak ortaya konacaktır. Ayrıca yörenin genel jeolojisi, kırık sistemleri de tez kapsamında ayrıntılı olarak araştırılacaktır. Yine bu çalışmada, MTA Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiş olan daha önceki sondaj verileri ve Denizli Valiliği tarafından günümüzde sürdürülen sondaj verileri de değerlendirilmeye alınacaktır.

Denizli, jeotermal enerjinin yüzyıllardır kullanıldığı bilinen bir kent özelliğini taşımaktadır. Geleneksel hamam ve kaplıcaları ile meşhur Denizli ili, kullandığı suyun sadece doğal çıkışlarla elde edildiği geleneksel yapısını halen sürdürmektedir. Bilinen çok önemli iki termal bölgesi Karahayıt ve Pamukkale'nin yanı sıra Kızıldere ve yöresi jeotermal alanlarından elektrik üretiminde ve mekan ısıtılmasında olabildiğince yararlanılmaktadır.

Tüm bu bilinenler çerçevesinde planlanan bu çalışmanın asıl amacını Denizli Karahayıt ve yöresi jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirilmesi oluşturmaktadır. Denizli ili jeotermal enerji potansiyelinin değerlendirilmesi kapsamında Karahayıt ve yöresindeki sıcak sulardan, örnekler alınarak, bu suların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek ve elde edilen veriler ışığında yeni bir sentez oluşturarak Karahayıt yöresinin jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Çalışma alanı, Türkiye'de Ege Bölgesinde, Denizli ili kuzeyini kapsamaktadır (Şekil-1.1). Türkiye'nin batısında yer alan Denizli, yeraltı suları ve jeotermal kaynakları ve doğal yapıtaşları açısından oldukça zengin olan bir kentimizdir. Denizli İli yeraltı suları, doğal su kaynakları olarak da, çeşitli adlarla, hem yurt içinde ve hem de yurt

dışında pazarlanarak ülkemiz ekonomisine, küçümsenemeyecek boyutta, önemli katkılar sağlamaktadır.



Şekil 1.1. Yer bulduru haritası

Karahayit ve diğer alanlardaki jeotermal kaynaklarda, termal turizme çok büyük boyutlarda yarar sağlayarak, Denizli şehrinin bir termal kent olduğunu göstermektedir. Öte yandan Buldan ve civarından üretilen, mineralce zengin maden suları da değişik adlarla yurt içi ve yurt dışında maden suyu olarak değerlendirilmektedir.

Denizli ve yöresinde yeraltı su kaynakları, maden suları ve jeotermal sular su kayaç etkileşimi şeklinde, yörenin tektonik yapısı, çevredeki kayaçlar ve onları oluşturan farklı mineraller tarafından denetlenmektedir. Dolayısıyla, Denizli ve yöresinin jeolojik konumu, su kaynaklarını tüm yönleriyle ayrıntılı açıklamak açısından önem taşımaktadır.

Jeotermal enerji açısından, Denizli ve yöresindeki genç volkanik kayaçlar ısıtıcı kayaç, karbonatlı kayaçlardan mermerler ve farklı fasiyesteki kireçtaşları rezervuar

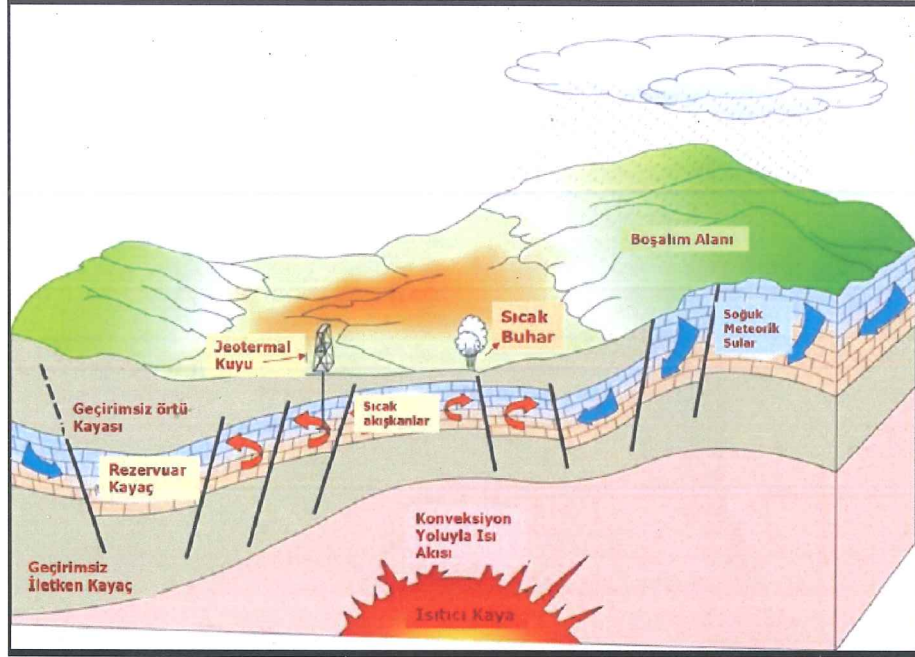
kayaç ve kilce zengin Kuvaterner yaşlı genç çökellerde örtü kayaç ödevini görmektedir.

Denizli ve civarındaki Jeotermal kaynaklar; Pamukkale, Kızıldere, Çardak Beylerbeyi, Karahayıt, Buldan Efe, Gölemezli, Yenice Çizmeli, Bölmekaya, Tekkehamam, Babacık ve Demirtaş olmak üzere sıcak su kaynakları açısından son derece zengindir. Sıcak su kaynakları Menderes Grabeni ve Gediz Grabeni oluşturan kırık hatlar boyunca çıkmaktadır Söz konusu sıcak su kaynaklarından tarih öncesi devirlerden beri ve halen kaplıca olarak yararlanılmaktadır.

Jeotermal sistemlerde sismik aktivite, ısıtıcı kayaç, rezervuar kayaç ve örtü kayasına ihtiyaç vardır (Şekil 1.2).Sismik aktivite denilince yörenin depremselliği hatıra gelmektedir. Depremsellik sonucu kayaçlarda süreksizlikler adı verilen bir takım kırık ve çatlak sistemleri gelişmekte, bu süreksizliklerden yağmur suları kolayca rezervuar kayaca ulaşabilmektedir. Dolayısıyla süreksizlikler jeotermal enerji açısından önem taşımaktadır. Denizli ve yöresinde gerilme tektoniği sonucu Horst ve Grabenler şeklinde normal faylar dikkati çekmektedir. Batı Anadolu'da tektonik sistem, çek ve ayır adı verilen horst ve grabenlerden oluşan fay sistemini ortaya çıkarmıştır. Rezervuar kayaçları, genellikle metamorfik kayaçlardan oluşan karbonatlı kayaçlardan mermerler meydana getirmekte olup, bunların gözenekleri birbirleriyle irtibatlı olduğu için, söz konusu süreksizlik sistemleri boyunca, ısıtıcı kayaca süzülen yağmur sularını ve ısıtıcı kayaç tarafından ısıtılarak konveksiyon akımlarla yukarıya yükselen sıcak akışkanları kolayca bünyeleri içinde tutabilmektedir. Meteorik sular Denizli volkanik kayaçları tarafından ısıtılmakta ve konveksiyon akımlarla yukarıya yükselerek yukarıda sözü edilen karbonatlı kayaçlarda depolanmaktadır.

Rezervuar kayaçtaki sıcak akışkanların sıcaklıklarının korunması içinde geçirimsiz örtü kayaçlarına ihtiyaç vardır. Jeotermal alanlarda bu tür örtü kayaçlarını genellikle evaporitler ve killi litolojilerden çamurtaşları oluşturmaktadır. Bunlar geçirimsiz olup, bu özellikleriyle hem petrol ve hem de jeotermal kayaçlarda örtü kayacı

ödevini görmektedir. Örtü kayacı aynı zamanda, jeotermal akışkanların sıcaklıklarının korunmasında yardımcı olarak bunların soğumasını da önlemektedir

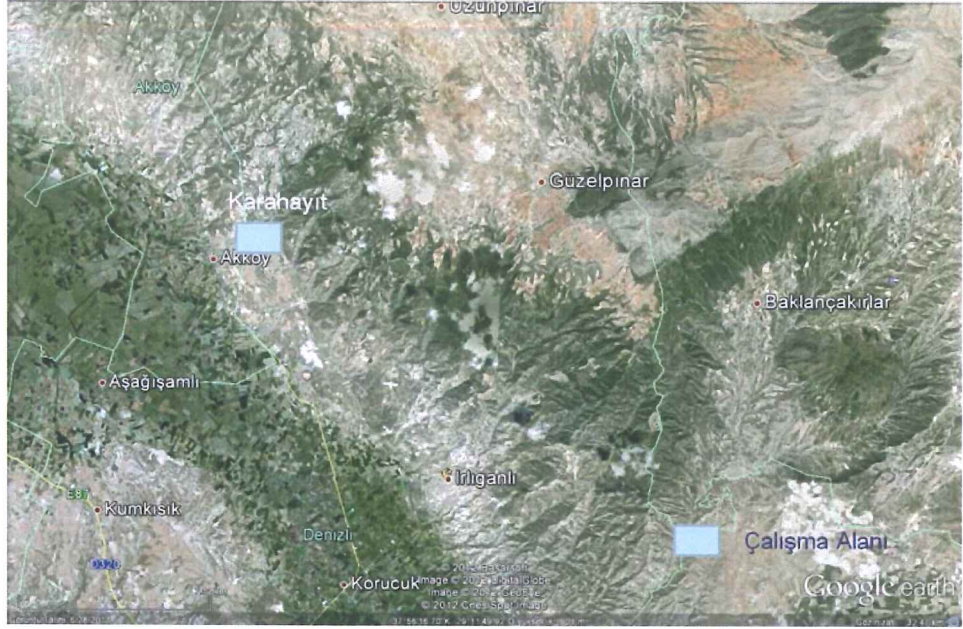


Şekil 1.2. Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem

Günümüzde termal sıcak su kaynakları bakımından tarihi dönemlerden beri oldukça önemli bir potansiyele sahip olan Denizli ve çevresinin termal turizmden yeteri kadar yararlanamadığı görülmektedir. Denizli'nin termal otelleri doluluk açısından istenilen düzeyde değildir. İnsanları termal turizme yönelten faktörlerden bir tanesi de çeşitli sağlık sorunları olarak dikkati çekmektedir. Bu sorun, bazen kaybolan sağlığı geri kazanmak, bazen de mevcut olan sağlıklı konumu korumak amacıyla ortaya çıkmaktadır. Termal turizm, doğal olarak belirli bir sıcaklığa sahip olan, faydalı mineralleri içeren şifalı suların, şifalı çamur ve buharların bulunduğu yörelerde, gerçekleşen yöre ekonomisine canlılık kazandıran bir turizm türüdür.

1.2. Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı Türkiye'de güney batı Anadolu'da Ege Bölgesi'nde Denizli ili kuzeyinde Karahayit Kasabası ve çevresindeki sıcak su kaynaklarını kapsar (Şekil 1.3)



Şekil 1.3. Yer bulduru haritası (Google Earth)

1.2.1. Bölgenin coğrafi konumu ve tanıtımı

Çalışmanın yapıldığı alan olan Denizli, ortalama olarak ovalarda deniz seviyesinden yüksekliği 70 500 m olup çevresi Büyük Çökelez Dağı 1841 m, Honaz dağı 2571m olmak üzere başlıca dikkati çeken önemli yükseltilerdir. Bu yükseltiler arasında Çürüksu ovası bir graben alanıdır.

1.2.2. Bölgenin önemli akarsuları

Menderes ve Çürüksu Denizli'nin iki önemli akarsuyudur. Menderes nehrinin toplam uzunluğu 529 km. olup, Denizli ili içindeki uzunluğu 194 km.dir. Debisi $44.32 \text{ m}^3/\text{sn}$ dir.

Çürüksu, uzunluğu 101km, Denizli ili içindeki uzunluğu 96 km, debisi 9.26 m³/sn'dir. Suyu çok kireçli olduğu için bu ad verilmiştir. Araplar çayı, Subaşı Deresi, Sazlı Dere ve Karakısıık Çayı'nı alarak Hambat kıırı kenarından geçer. Kaklık yönünden tekrar boğaza sokulur. Buralarda bu akarsuya Emir çayı, aşağılarda Çürüksü denir (Şekil 1.4). Yaz aylarında yoğun sulamada kullanılması nedeniyle suları azalır. Kaklık güneyinde Kelkaya dibinde Karaçay'ı, sonra Honaz Çayı'nı alır. Denizli'nin 10 km. kadar Güney doğusunda Gökpınar Suyu'nu alır. Korucak Mevkii'nde suları bir kanalla alınarak Sarayköy'e doğru uzatılmıştır.



Şekil 1.4. Denizli Çürüksu ovası

1.2.3. Çalışma alanının iklimi

Denizli Karahayıt ve yöresi Ege Bölgesi'nin en serin yeridir. Kışlar ılık ve yazlar serin geçer. Yıllık yağış ortalaması 547 milimetredir. Kar yağışı çok azdır. +41.2° ile -11.4° arasında bir sıcaklık değişimi dikkati çeker. Bitki örtüsü açısından Denizli'nin yarısı ormanlarla kaplıdır. Çayır ve meralar % 10, ekili ve dikili araziler ise % 35'dir. Ekime uygun olmayan kısmı sadece % 4 olup, bu bölüm çalılık ve fundalıklarla kaplıdır. Denizli İli'nin bitki örtüsünü çoğunlukla orman ağaçları ile Akdeniz iklimine has makiler meydana getirir. Ormanlarda karaçam, kızılçam, sedir, ardıç,

meşe, kayın, çınar ve dişbudak gibi ağaçlar bulunur. Ormanların başladığı sınırların altında kalan dağ eteklerindeki geniş alanlar çalılık ve fundalıklarla kaplıdır.

1.2.4. Bölgenin turizm açısından önemi

Denizli ili bütün bu coğrafi özelliklerinin yanı sıra termal turizm açısından da önemli bir konuma sahiptir. Denizli İli eski çağlardan beri jeotermal kaynakların çokluğuyla tanınmaktadır. Termal banyo geleneği Roma-Bizans zamanına kadar dayanmaktadır. Bugün Pamukkale olarak bilinen bölgede 'Hyeropolisi' adında bir su kenti kuran Bizanslılar, Justinyus döneminde bu bölgeye görkemli saray ile büyük bir hamam yaptırmışlardır.

Jeolojik olarak çalışma alanına çok yakın olan Pamukkale Travertenleri bir jeoloji cennetidir. Söz konusu travertenler $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ sularından CO_2 'in çökmesi sonucu oluşmakta ve her yıl 100 binlerce ziyaretçi tarafından hayranlıkla gözlenmektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Pamukkale travertenlerinden bir görünüm

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Menderes Masifinin jeolojik gelişimi konusunda yapılan araştırmalar geçen yüz yılın başına kadar dayanmaktadır. Masifle ilgili olarak İlk olarak 1840 yılında Hamilton tarafından başlatılan bu çalışmalar günümüzde de yoğun bir şekilde sürmektedir. Bölgede bugüne kadar yürütülen çalışmalar daha ziyade jeoloji ve tektoniğe dayalı olup, son zamanlarda yapılan araştırmalarda kıtasal rift zonlarında gelişen sıcak su kaynaklarının oluşum koşullarına dair çeşitli yaklaşımlarda bulunulmuştur.

Denizli ve yöresinde, günümüze dek çok sayıda araştırmacı, yörenin jeolojisi petrografisi, bölgedeki sıcak su kaynakları, traverten oluşumları ve bölgenin hidrojeolojisi hakkında pek çok araştırma ve incelemelerde bulunmuştur.

Bölgede Menderes Masifi'nin en yaşlı kayaçları olan ve bölgesel metamorfizma ürünü olarak ortaya çıkan mikaşistlerin jeolojisi, mineraloji petrografi ve jeokimyası üzerinde ayrıntılı çalışmalar yapılmıştır (Bilgin, 1978).

1968 yılında MTA tarafından Denizli-Kızıldere jeotermal sahasının prospeksiyonu yapılmıştır. 1984 yılında Türkiye'de ilk jeotermal enerji üreten santral Kızıldere'de 21 MW kapasiteyle üretime geçmiştir. MTA Genel Müdürlüğü, Kızıldere jeotermal alanı ve çevresinde bulunan sıcak suların kullanımı amacıyla 1964 yılında başlattığı çalışmaları günümüzde halen sürdürmektedir. Söz konusu santral günümüzde özelleştirilerek elektrik üretim kapasitesi yükseltilmiştir.

Özgür ve Pekdeğer (1995), $\delta^{18}O$, δ^2H ve $3H$ izotop verilerine dayanarak yürüttükleri araştırmalarda, Kızıldere sahasında yüzeye çıkan jeotermal suların meteorik kökenli olduğunu, bölgenin yoğun olarak yağış sularının diğer bir anlatımla meteorik suların su-kayaç ilişkisinden etkilendiklerini belirtmişlerdir. Özgür (1998) ve Özgür ve diğ. (1998) yapısal jeoloji açısından kıtasal rift zonlarındaki tektonik etkinliğe bağlı olarak meteorik suların güncel sub-vulkanik aktiviteyle ısındığını belirtmiştir.

Şimşek (1984), Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice jeotermal alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları üzerine araştırmalar yapmıştır.

Mutlu ve Güleç (1998), Menderes Masifi fay zonlarında gelişen jeotermal suların, bölgede etkin grabenleşmeye bağlı olarak geliştiğini ve tektonik etkinliğe dikkati çekerler. Bu araştırmada jeotermal suların rezervuar kayaçlarının Menderes Masifine ait Mesozoyik öncesi mermer, gnays, kuvarsitlerden oluşan metamorfik kayaçlar ile Mesozoyik yaşlı kireçtaşları ve Neojen yaşlı volkano sedimanter kayaçlar olduğunu ifade etmektedir.

Şimşek ve diğ. (2000) Kızıldere jeotermal alanında rezervuar yönetimi ve çevresel sorunların devam ettiğini belirtir. Jeotermal enerji üretimin sürekliliği, jeotermal rezervuarın olması gerektiği biçimde yönetimi ve atık suyun ortamdaki atılması için uygun yöntemlerin gerekliliğini ortaya koyar. Araştırmada borun ortamdaki uzaklaştırılması veya kanal yolu ile denize taşınmasının oldukça pahalı olması nedeniyle geri enjeksiyonun en uygun yöntem olduğunu öne sürmektedir. Jeotermal alandan daha fazla ve optimum enerji elde etmek için derinde ve daha yüksek sıcaklığa sahip üçüncü rezervuardan yararlanılması gerekliliğini ortaya koyar.

Yaman (2005) Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında yüzeyleyen sıcak suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal davranışları incelenmiştir. Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz kıtasal rift zonlarında gelişen jeotermal alanların birbirleriyle ilişkileri ve bu sulara bulunan yüksek değerlerdeki borun oluşum koşulları üzerinde araştırmalar yapmıştır.

Bilgin ve Özkahraman (2008), Isparta ve yöresinde jeotermal alanlarda ortaya çıkan CO₂ gazının jenezi üzerinde çalışma yapmıştır. Bu çalışmada CO₂ ve H₂S gazlarının Denizli Kızıldere'de olduğu gibi birer jeotermometre olabileceğini dünyadan örnekler vererek açıklamışlardır.

Yine, diğer bir çalışmada Güney Doğu Anadolu'nun jeotermal enerji potansiyeli ortaya konulmaktadır. Güney Doğu Anadolu'da Batman ve çevre illerinde çok

sayıda sıcak su kaynakları bulunduğu ifade edilmektedir. Bu sıcak su kaynakları arasında Batman kuzeyinde Taşlıdere Kaplıcası, Şırnak-Batman il sınırında Dicle nehrinin iki yanında Ilısu köyü güneyinde Güçlükönak ve Germiab kaplıcalarına dikkat çekilmektedir. Bunlardan Taşlıdere kaplıcasının sıcaklığı 83 °C olup, ve debisi 16 l/s dir. Güçlükönak kaplıcası ise 63.5 °C olup, debisi 2 l/s dir. Yine bölgede petrol sondajlarında jeotermal enerji için değerlendirilebilecek sıcak su kaynaklarına rastlanıldığına dair TPAO yetkilileri tarafından sözlü bilgiler alınmıştır (Bilgin ve diğ., 2011).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Söz konusu araştırma kapsamında ulusal ve uluslararası düzeyde yapılmış olan araştırmalar toplanıp gözden geçirilerek bunlardan bir genelleşmiş sentez ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada araştırma alanının jeolojik konumu da dikkate alınarak Denizli İli Karahayıt sınırları içerisindeki jeotermal alanlardan elde edilen veriler gözden geçirilerek güncellenmiştir.

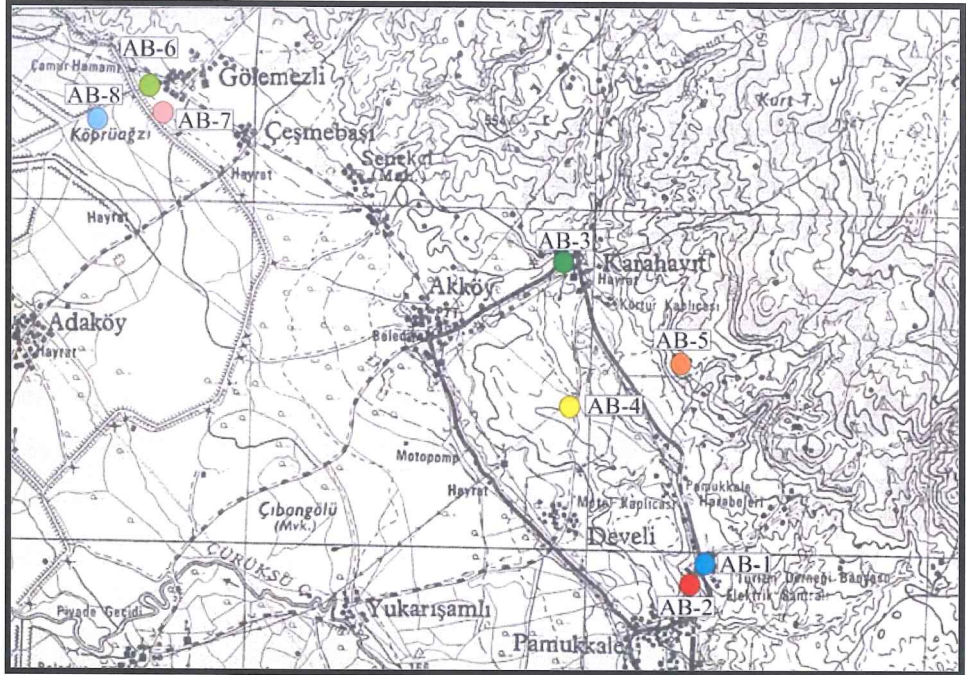
Yörede yapılan araştırmalarda önemli rol oynayan kayaç su etkileşiminin daha iyi bir şekilde tanımlanabilmesi için yöredeki kayaçları oluşturan minerallerin polarizan mikroskop altında incelemesi yapılarak kayaç su etkileşimi jeokimyasal olarak değerlendirildi.

Denizli İli Karahayıt Yöresindeki sıcak su kaynaklarının fiziksel özellikleri ve bazı kimyasal özellikleri yerinde ve laboratuarda belirlendi.

3.2. Yöntem

Yörede yapılan çalışmalarda önemli rol oynayan kayaç su etkileşiminin daha iyi tanımlayabilmek için kayaçların petrografik determinasyonları polarizan araştırma mikroskobu yardımıyla jeokimyasal özelliklerle birleşim halinde değerlendirildi.

Denizli Karahayıt yöresindeki jeotermal sulardan, maden sularından ve doğal kaynak sularından örnekler alınarak, bunların bazı fiziksel özellikleri ve kimyasal özellikleri yerinde ve laboratuvarında belirlendi. Bu kısımda, jeokimyasal çalışmaların temelini oluşturan, arazi ve laboratuvar uygulamaları belirtilmiştir.



Şekil 3.1. Sıcak su örneklerin yerlerini gösteren lokasyon haritası

3.3. Arazi Çalışmaları

Yapılan tüm arazi çalışmaları için;

- Saha ile ilgili önceki çalışmalarda yapılmış örnekleme noktaları,
- Sahanın yeri, ulaşım, konaklama, sahada örnek numunelerin ve çalışmaların güvenliği,
- Sahanın jeolojik ve jeotektonik durumu,
- Ölçüm noktalarında yersel ve analitik hata farklılıklarını önlemek için kullanılan cihaz ve donanımların düzenli olarak ayarlanmaları ve belirlenen ölçüm teknikleri korunarak tüm örnek noktalarında durağanlığın sağlanması
- Su örnekleme için uygun şişe seçimi ve temizliği,
- Su örneklerinin alınması, saklanması ve korunması için gerekli teknik altyapı,
- Laboratuvarda yapılacak su kimyası analizleri için koruma yöntemleri,
- Tüm örneklerin tarih, yer, örnek no ve isim gibi bilgilerinin kaydı için uygun arazi defteri, gibi çalışmalar önceden planlanarak uygulanmıştır.

Örnekleme çalışmalarında örnekleme şişeleri kullanılmış, saf su ile yıkanan şişeler her örnek alımda kaynak su ile tekrar yıkanmıştır. Bu yöntemle örnekleme kaplarında kalabilecek yabancı maddelerin örneğe karışması engellenmiştir. Örnek şişeleri hiç hava almayacak şekilde su ile doldurulmuş ve kısa bir zaman içinde laboratuvar ortamına taşınmıştır.

Denizli ili jeotermal kaynaklarından su örnekleri alınmak üzere Karahayıt, sıcak su kaynaklarından örnekler alınarak yerinde ölçümler yapılmıştır. Kaynak başında yapılan ölçümler sonucu elde edilen fiziksel parametrelerde gereken sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH değerleri arazide doğrudan alınmıştır (Çizelge 3.1).

3.4. Laboratuvar çalışmaları

Örnekleme şişeleri yardımı ile Çekirge Karahayıt sıcak su kaynaklarından alınan örneklerin genel özellikleri ve kimyasal bileşenlerine ait veriler laboratuvar ortamında elde edilmiş ve bu laboratuvar ortamında kimyasal bileşenlerine ait katyon ve anyon değerleri belirlenerek bölgedeki kaynakların içerisinde yer alan kimyasal bileşenler hakkında bilgi edinilmiştir (Çizelge 3.2).

3.5. Büro çalışmaları

Elde edilen laboratuvar sonuçları ile birlikte çalışma alanının rezervuar sıcaklığını belirlemek için Aqua-Chem yazılım programından faydalanılarak bazı modellemeler yapılmış ve diyagramlar çizilmiştir. Bu modelleme ve diyagramlara ait şekiller ve açıklamaları konunun ilerleyen bölümlerinde yer almaktadır. Aynı zamanda jeotermal suların sınıflanmasında kullanılan su tiplerine ait diyagramlar, aynı zamanda bu suların hangi sınıfa girdiği belirlemek için kullanılmış ve bunlara ait değerlendirmeler konunun ilerleyen bölümlerinde açıklanmıştır.

Daha önce MTA'nın yapmış olduğu çalışmalara ait analiz değerleri ile bizim gerek saha çalışmalarında kaynak başında elde ettiğimiz analiz sonuçları ile gerekse laboratuvar ortamında elde ettiğimiz analiz sonuçları değerlendirilerek yorumlar yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Denizli Karahayıt jeotermal suları in-situ analiz sonuçları

Sıra no	Örnek no	Lokasyon	Tarih	Koordinatlar		Yükseklik (m)	T (°C)	pH	Eb (mV)	EC (µS/cm)	TDS (mg/l)
				x	y						
1	AB-1	Pamukkale özel idare kaynak	17.12.2011	35 686902	4199924	366	35,0	6,22	210	2410	1637
2	AB-2	Pamukkale jandarma kaynak	17.12.2011	35 686828	4199980	365	33,0	6,24	220	2420	1694
3	AB-3	Karahayıt kaynak	17.12.2011	35 684760	4204480	343	52,0	6,39	113	2790	1953
4	AB-4	Karahayıt Richmond otel	17.12.2011	35 684677	4202864	347	48,0	6,18	161	2810	1967
5	AB-5	Karahayıt seğirisi (Kutluca köyü)	17.12.2011				23,9	8,01	287	448	224
6	AB-6	Gölemizli sondaj 1	17.12.2011	35 678512	4207594	189	67,0	6,89	194	2420	1694
7	AB-7	Gölemizli sondaj 2	17.12.2011	35 678244	4207482	192	69,0	6,69	144	3470	2420
8	AB-8	Gölemizli hamam	17.12.2011	35 677540	4207107	160	59,0	6,28	253	4460	3122

Çizelge 3.2. Denizli Karahayıt jeotermal sularının hidrokimyasal analiz sonuçları

Sıra no	Örnek no	Li ⁺ (mg/l)	Na (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Sr ²⁺ (mg/l)	Ba ²⁺ (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	Zn ²⁺ (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Si ⁴⁺ (mg/l)	Pb ²⁺ (mg/l)	As ³⁺ (mg/l)	Sb ³⁺ (mg/l)
1	AB-1	0.12	48.85	15.55	69.90	455.05	2.36	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.71	0.02	19.19	<0.01	<0.01	<0.01
2	AB-2	0.13	42.95	3.10	71.25	449.90	2.39	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.46	0.02	19.12	<0.01	<0.01	<0.01
3	AB-3	0.50	131.65	21.80	123.15	528.50	1.97	<0.01	0.05	0.46	<0.01	0.96	0.02	25.94	<0.01	<0.01	<0.01
4	AB-4	0.48	124.30	17.25	95.30	448.75	0.52	<0.01	0.04	0.14	<0.01	1.6	<0.01	21.72	<0.01	<0.01	<0.01
5	AB-5	0.14	86.40	0.65	0.48	3.77	0.02	<0.01	<0.01	0.13	<0.01	0.22	0.29	5.10	<0.01	<0.01	<0.01
6	AB-6	0.40	247.70	52.20	72.00	148.75	2.14	<0.01	<0.01	0.13	<0.01	3.40	<0.01	29.92	<0.01	<0.01	<0.01
7	AB-7	0.33	207.85	42.95	84.25	555.50	2.90	<0.01	0.11	1.61	<0.01	2.99	<0.01	24.31	<0.01	<0.01	<0.01
8	AB-8	2.39	431.60	45.05	109.50	464.15	0.68	<0.01	<0.01	0.05	<0.01	5.74	<0.01	59.03	<0.01	<0.01	<0.01

Sıra no	Örnek no	F (mg/l)	Cl (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	CO ₃ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	PO ₄ ³⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Özgür, 1998		Yaman, 2005		
									δ ¹⁸ O (‰ SMOW)	δ ² H (‰ SMOW)	δ ¹⁸ O (‰ SMOW)	δ ² H (‰ SMOW)	³ H (TU)
1	AB-1	1.35	12.29	1128.5	0.0	0.51	<0.02	624.89	-9.14	-60.1	-9.14	-61.0	3.5
2	AB-2	1.39	12.64	1159.0	0.0	0.58	<0.02	611.95			-9.23	-60.9	2.9
3	AB-3	1.85	27.23	1189.5	0.0	0.01	<0.02	872.37	-8.56	-57.3	-8.74	-58.5	<0.7
4	AB-4	2.21	51.61	1128.5	0.0	0.05	<0.02	879.72					
5	AB-5	0.34	5.57	231.8	0.0	13.53	<0.02	11.12					
6	AB-6	0.99	31.41	1159.0	0.0	<0.01	<0.02	377.78					
7	AB-7	1.20	27.44	2074.0	0.0	<0.01	<0.02	431.94					
8	AB-8	2.45	70.84	1250.5	0.0	<0.01	<0.02	1664.29			-8.32	-60.4	<1.3

4 ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

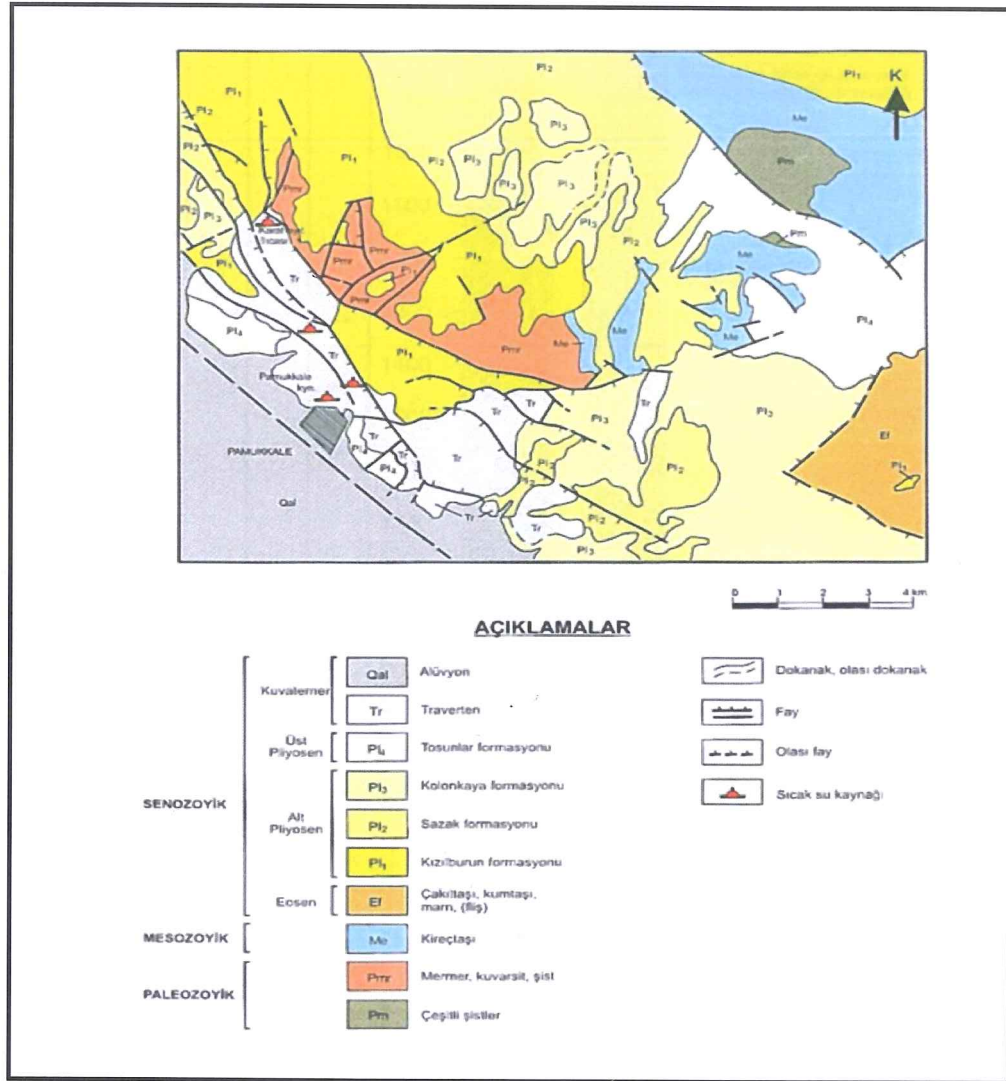
4.1. Genel Jeoloji

Karahayıt ve civarında Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayaçları ile karasal genç çökellerden oluşan sedimenter kayaçlar dikkati çekmektedir (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Menderes Masifi metamorfik kayaçları, stratigrafik istifte temel kayaları oluştururken, sedimenter kayaçlardan genç karasal çökellerde genel anlamda jeotermal sistemde bir bakıma örtü kayası niteliğindedir. Önceki çalışmacılar temel kaya niteliğindeki metamorfik kayaçları Paleozoyik yaşlı olarak değerlendirmişlerdir. Paleozoyik yaşlı kayaçlar arasında en yaşlı kayaçları başkalaşım kayaçlarından mika şistler, gnayslar ve mermerler oluşturmaktadır. Mika şistlerin arasında yer yer kuvarsitler dikkati çekmektedir. Bunlar granoblastik dokulu olup, metamorfizmanın etkisiyle taneler hafifçe elangosyon göstermektedir. En üstteki karasal sedimenter çökelleri de Üst Pliyosen yaşlı olarak yaşlandırmışlardır. Paleozoyik yaşlı başkalaşım kayaçları mika şistler ve kuvarsitlerden oluşmaktadır. Mika şistler foliyasyon ve lineasyon yapıları olup bölgesel metamorfizma ürünüdür. İki

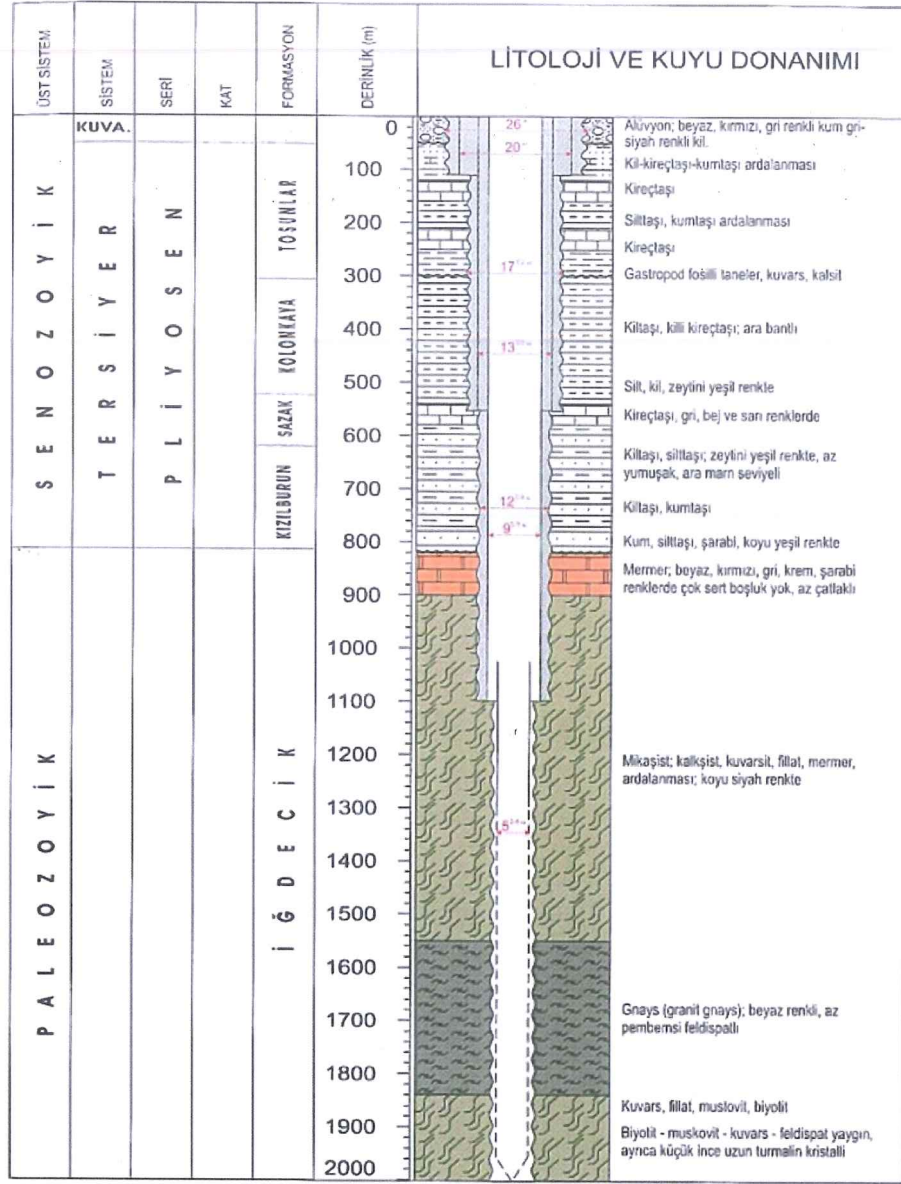
mikalı olup şisti bir doku göstermektedir. Senozoyik yaşlı kayaçları da Pliyosene ait Kızılburun, Sazak, Kolonkaya ve Tosunlar formasyonları meydana getirmektedir.

4.2. Paleozoyik yaşlı litolojiler

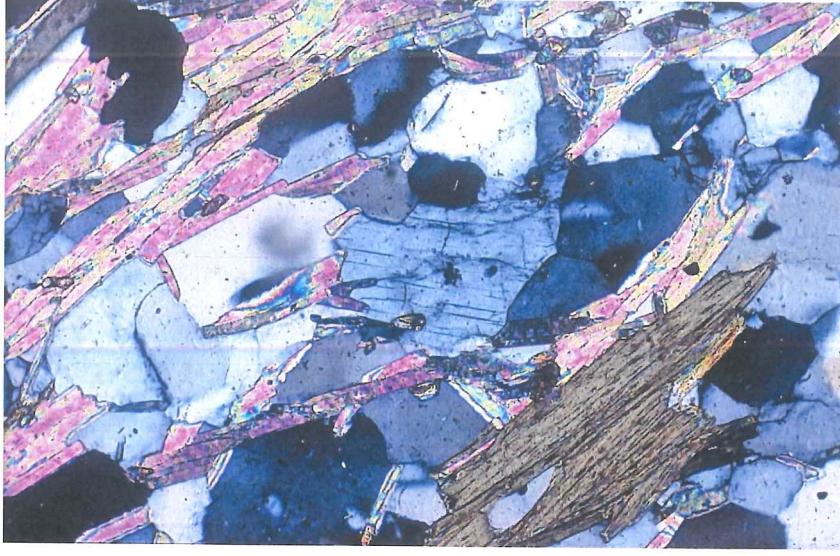
Çalışma alanı kuzeyinde (Şekil 4.1) Paleozoik yaşlı Menderes Masifi metamorfikleri gayet güzel şistozite göstermekte ve yanıl olarak birbirlerine geçiş yapmaktadır. Renkleri gri ile pembe arasında değişmektedir. Bunları açısıl uyumsuzlukla Pliyosen yaşlı genç sedimenter kayaçlar örtmektedir.



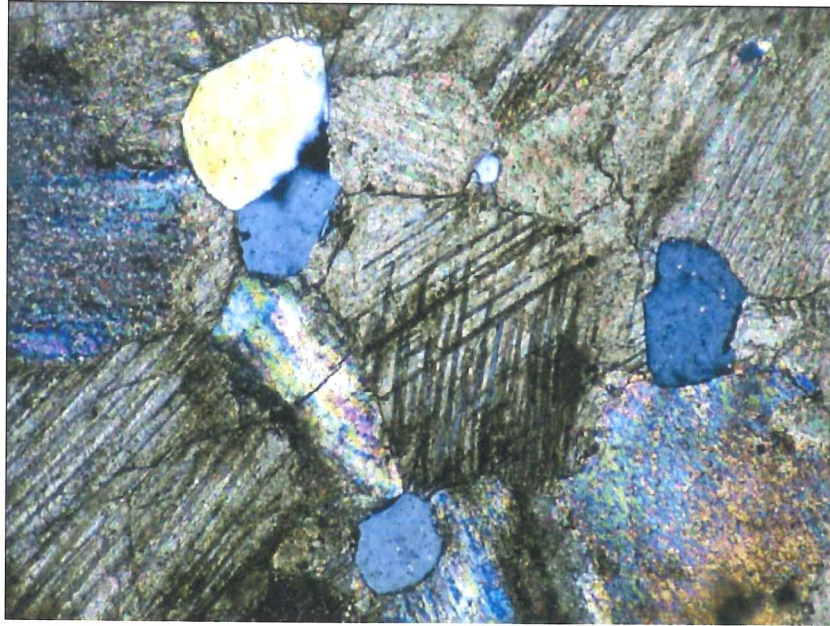
Şekil 4.1. Araştırma alanının jeolojik haritası (Akkuş vd., 2005)



Şekil 4.2. Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti (Alpman. N., 1963)



Şekil 4.3. İki mikalı kayalarda görülen şistozite (İğdecik Formasyonu, Çapraz nikol)



Şekil 4.4. Mermerlerde granoblastik doku (İğdecik Formasyonu, Karahayit kuzeyi)

4.3. Mesozoyik Yaşlı Kireçtaşlar

Denizli'nin doğusunda ve Pamukkale harabeleri kuzeyinde Kayraklı T. Civarında küçük mostralar halinde, Güzelpınar-Kurtluca düzlüğünde, Küçükdere-Yeniköy kuzeyinde ve Acıdere mah. Doğusunda geniş alanlarda gözlenirler. Tümüyle kirli beyaz, açık kahvems, gözenekli, gastropodlu özelliklere sahiptir. Bunlar ultrabazik kayalarla birlikte Küçük Çökelez Dağı, Kora Tepe. ve Malı Dağı yörelerinde görülür. Mesozoyik yaşlı kireçtaşları mikrokristalen kalsit kristallerinden oluşmakta olup, çalışma alanında kuzeyde Çökelez dağı ve yöresinde geniş alanlarda yüzeyleme vermektedir. Yaşı muhtemelen Alt Kratese olup allokton konumludur.

Söz konusu kireçtaşları üzerinde zayıf karbonik asitli yağmur sularının çözücü etkisi sonucu dolinler şeklinde karstik yüzey şekilleri ortaya çıkmıştır. Karstlaşma Akdeniz ikliminin sonucu olarak Batı Toroslarda yaygın bir şekilde dikkati çekmektedir (Bilgin ve diğ., 1997)

4.4. Eosen Yaşlı Litolojiler

Genel olarak akarsu ve göl ortamı oluşuklarından meydana gelen sedimenter kayalar, konglomera, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı ve killi kireçtaşı birimleri ve bu birimlerin yanal ve düşey geçişleri ile temsil olunurlar. Karasal çökelleri yaşlıdan gence doğru dört kısımda incelemek mümkündür. Formasyon adlandırmaları önceki çalışmacılar tarafından yapılmıştır. Bu birimler jeotermal anlamda örtü kaya özelliklerini gösterirken, bazı seviyelerinde de tali rezervuar kaya şeklinde görmek mümkündür.

Pliyosen yaşlı olup birçok yerde Paleozoik serileri örterler. Karasal çökellerin kalınlığı graben kenarlarında ve graben üzerinde birkaç yüz metre iken, graben ortasına doğru bu kalınlık bin metrenin üzerine çıkabilmektedir.

4.5. Pliyosen Yaşı Formasyonlar

Pliyosen yaşı formasyonlar alt Pliyosen ve Üst Pliyosen olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Alt Pliyosen yaşı formasyonları Kızılburun Formasyonu, Szak formasyonu ve Kolonkaya Formasyonu oluşturmaktadır. Üst Pliyosen formasyonu da Tosunlar Formasyonu meydana getirmektedir

4.5.1. Kızılburun formasyonu (PL1)

Taban konglomerası özelliğinde olan bu birim sedimenter kayaların en alt seviyesini oluşturur. Konglomera, kumtaşı ve silttaşı ile temsil olunur. Önceki çalışmacılar tarafından adlandırılan birim kırmızı bir renge sahip olup, Üst Miyosen-Pliyosen yaşı verilmiştir. Bazı yerlerde kömürlü veya jipsli seviyeler içerir. Menderes Masifi metamorfikleri üzerine diskordansla oturan konglomeraların hemen üzerinde yer alan Sazak Formasyonu ile sınırı uyumludur (Şekil 4.2).

4.5.2. Sazak formasyonu (PL2)

En iyi gözlemlendiği yer olan Sazak köyünden isim alan birim, kireçtaşları ile temsil olunur. Alt seviyelerinde kiltası-killi kireçtaşı özelliğinde iken, üst seviyeleri silisifiye kireçtaşı karakterindedir. İçinde ince kumtaşı ve marnlı seviyeler gözlenir. Özellikle silisifiye olan kısımlar jeotermal anlamda tali rezervuar olarak görev yapar. Kızılburun Formasyonu üzerine uyumlu olarak oturan Sazak Formasyonu, kendi üzerine gelen Kolonkaya Formasyonu ile de uyumlu dokanaklar sunar.

4.5.3. Kolonkaya formasyonu (PL3)

Kumtaşı, silttaşı, kiltası ve kireçtaşı tabakalarıyla temsil olunan birim, önceki çalışmacılar tarafından Kolonkaya Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Baskın olan litoloji kiltası ve silttaşıdır. Birimin yaşı Pliyosen'dir. Birim saha genelinde farklı kalınlıklar göstermektedir. Kolonkaya Formasyonu hemen altında yer alan Sazak

Formasyonu ile uyumlu iken, üzerine gelen Tosunlar Formasyonu ile uyumsuz dokanaklar gösterir.

4.5.4. Tosunlar formasyonu (PL4)

Kil, kiltası, silttaşı ve siltli kireçtaşları ile temsil olunurlar. Saha genelinde bu özellikleri koruyan birimin üst seviyelerinde konglomeratik seviyeler gözlenir. Bazı seviyeleri tamamen fosil kavkılarından oluşmuştur. Önceki çalışmacılar tarafından adlandırılan birime Üst Pliyosen yaşı verilmiştir. Birimin kalınlığı saha genelinde değişkendir.

Klastiklerden oluşan Tosunlar Formasyonu, altında yer alan Kolonkaya Formasyonu ve üzerine gelen alüvyonla hafif açısal uyumsuzdur.



Şekil 4.5. Fosilli Tosunlar Formasyonu (Tosunlar ve civarı)

4.6. Kuvaterner Yaşı Litolojiler

Kuvaterner yaşı litolojileri de travertenler ile akarsu ve dere yataklarındaki çökeller ile dağ eteği molozları meydana getirmektedir.

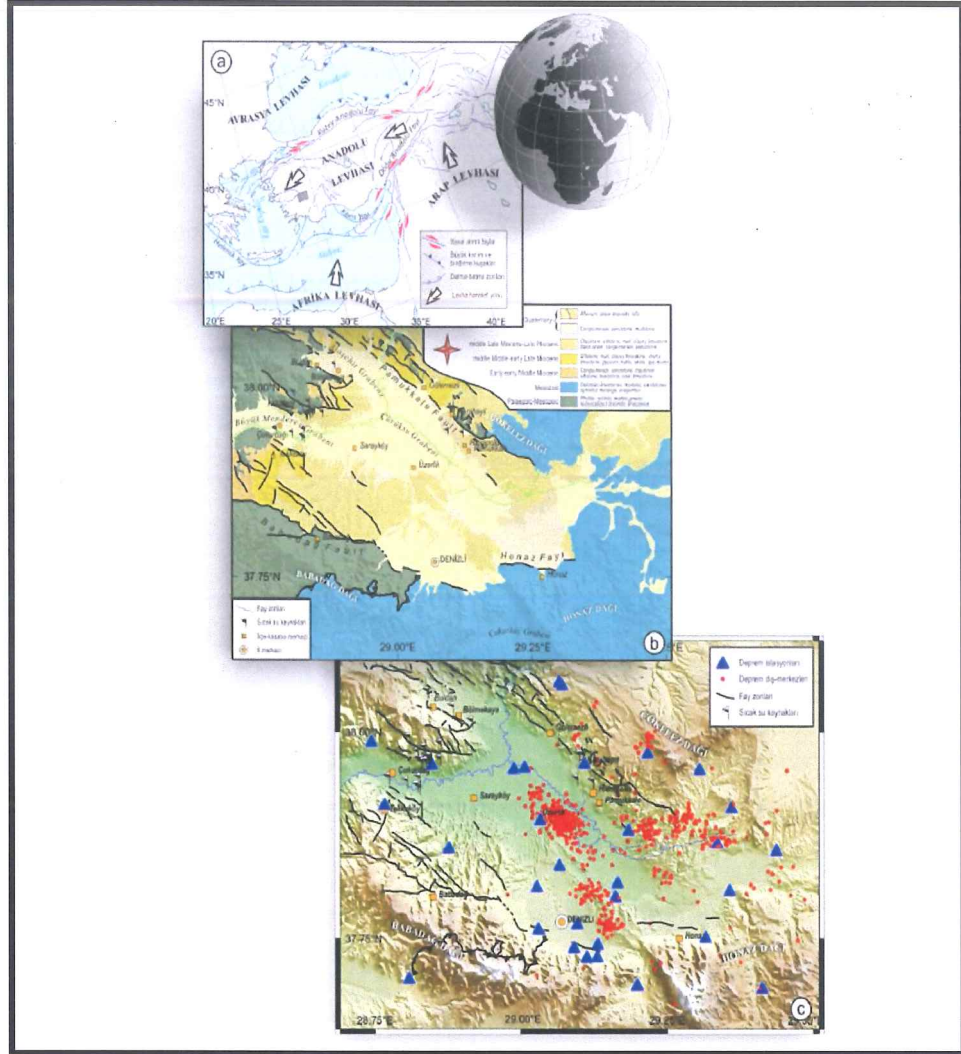
4.6.1. Travertenler

Travertenler Denizli yöresinde geniş bir alanda yüzeyleme vermektedir. Özellikle Kocabaş civarındakiler ekonomik olarak çalıştırılmaktadır (Şekil 4.6, Bilgin ve Şahin, 2002). Bunlar sıcak su kaynaklarının bulunduğu bölümlerde güncel olarak da çökelmektedir (Şekil 4.6). Mikroskopik dokuları mikritik ve sparitik bir özellik sunmaktadır.



Şekil 4.6. Sıcak $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ sulardan, CO_2 'in buharlaşması CaCO_3 'ün çökmesi sonucu oluşan travertenler (Denizli Kocabaş kasabası kuzeyi)

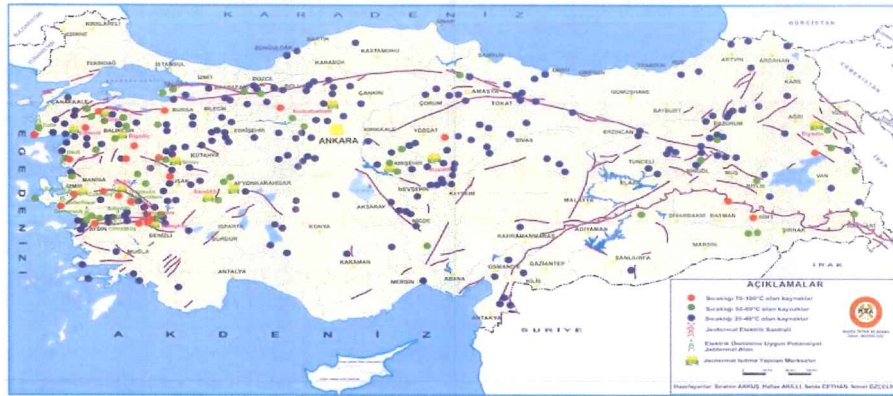
Travertenler Karahayıt ve yöresinde $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ sulardan CO_2 'in ayrılması sonucu CaCO_3 'ün çökmesi yoluyla ortaya çıkmaktadır (Arslan ve diğ., 2011). Karahayıt yöresindeki travertenler Pamukkale travertenlerinden farklı olarak kaplıca suyunun demir içermesinden ötürü kırmızımtırak renklidirler.



Şekil 4.8. Denizli Karahayıt ve yöresindeki graben sistemi boyunca gelişmiş bulunan eğim atımlı normal faylar ve sismik aktivite (Kaypak ve Venedik, 2011)

4.8. Jeotermal Kaynaklar

Türkiye Jeotermal Enerji potansiyeli açısından dünyada altıncı sırada, Avrupa'da ise birinci sırada yer almaktadır (Bilgin ve diğ., 2011). Türkiye'de 1000'in üzerinde jeotermal sıcak su kaynağı bulunmaktadır (Şekil 4.9). Jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynaklarından olup, Denizli ve yöresi jeotermal enerji açısından Türkiye'nin en zengin bir bölgesini oluşturmaktadır.



Şekil 4.9. Türkiye jeotermal kaynaklar haritası (MTA, 2005)

Karahayıt ve çevresindeki sıcak su kaynakları yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu katyon ve anyonları içeren sıcak sular, buhar ve diğer gazlardan meydana gelmektedir. Jeotermal enerji ise jeotermal sıcak su kaynaklarından doğrudan ve dolaylı olarak yararlanmayı içermektedir. Dolayısıyla jeotermal enerji; yenilenebilir, sürdürülebilir, bitmek ve tükenmek bilmeyen, ekonomik, güvenilir ve çevre dostu bir enerji çeşididir.

4.8.1. Karahayıt kaynak sularının fiziksel özellikleri

Arazide örnekleme sırasında kaynak başında suların sıcaklık, pH ve EC değerleri ölçülmüştür. Çalışma alanında sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sıcak su kaynaklarına ait sıcaklık ölçümleri 23.9 °C -69 °C değerleri arasındadır (Çizelge 3.1).

pH hidrojen iyonun aktivitesi cinsinden bir asit veya bazın derecesini ifade etme yoluyla ihtiyaç duyulan kantitatif bilgiyi sağlar. Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu $[H^+]$ ile hidroksil iyonunun $[OH^-]$ derişimlerinin oranına direk bağlıdır. Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise madde asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla ise madde bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer OH^- ve H^+ iyonlarından eşit miktarlarda mevcut ise, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötraldir. İnceleme alanında yapılan periyodik ölçümlerde kaynaklara ait pH değerleri 6.18-8.01 değerleri arasında ölçülmüştür (Çizelge 1). Suyun elektriksel iletkenliği (EC, Kondüktivite), elektriği geçirme özelliği olarak tanımlanır. Birimi $\mu mho/cm$ veya $\mu siemens/cm$ ($\mu S/cm$)'dir. Elektriksel iletkenlik genel olarak sıcaklıkla artar. Farklı sular için aynı şekilde yorum yapabilmek için genellikle 25 °C sabit sıcaklık değeri için hesaplanırlar (Çobanoğlu ve Bozdağ., 2005). İnceleme alanında ölçülen EC değerleri 418 $\mu mhos/cm$ ile 4460 $\mu mhos/cm$ değerleri arasındadır (Çizelge 1).

4.9. Jeotermal Suların Sınıflandırılması

Jeotermal alanlardaki sular içerdikleri baskın anyonlarına göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Güneş, 2006).

1. Klorürlü Sular
2. Sülfatlı Sular
3. Asit Sülfat-Klorürlü Sular
4. Bikarbonatlı Sular
5. Seyrelik Klorürlü-Bikarbonatlı Sular

Denizli Karahayıt yöresindeki jeotermal kaynak suları bilgisayar yazılım yardımı ile Aquachem programı kullanılarak sınıflandırılmıştır.

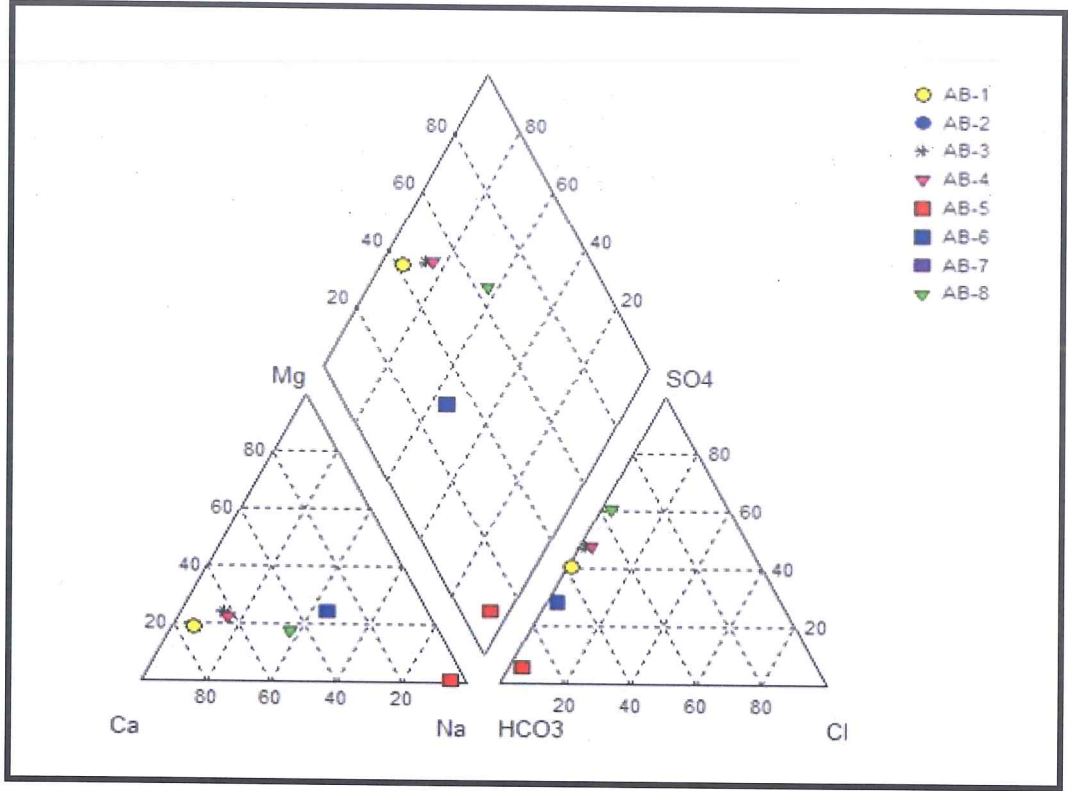
4.9.1. Piper (üçgen) diyagramı

İyonların topluca bir diyagramda görüntüleme kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardan biri de Piper diyagramıdır. Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/1 cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir dikdörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların fasiyes tiplerinin görülmesinde, dikdörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır (Güneş, 2006).

Çalışma alanına ait örneklerin Aquachem programı yardımı ile yapılan Piper diyagramı şekil 4.10'da gösterilmektedir. Bu piper diyagramlarına Denizli ili Karahayıt ve yakınında yer alan sıcak su kaynaklarına ait su tipleri şöyledir:

Yapılan bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre Denizli Karahayıt Jeotermal sıcak su kaynakları; $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipleri içerisinde yer almaktadır.

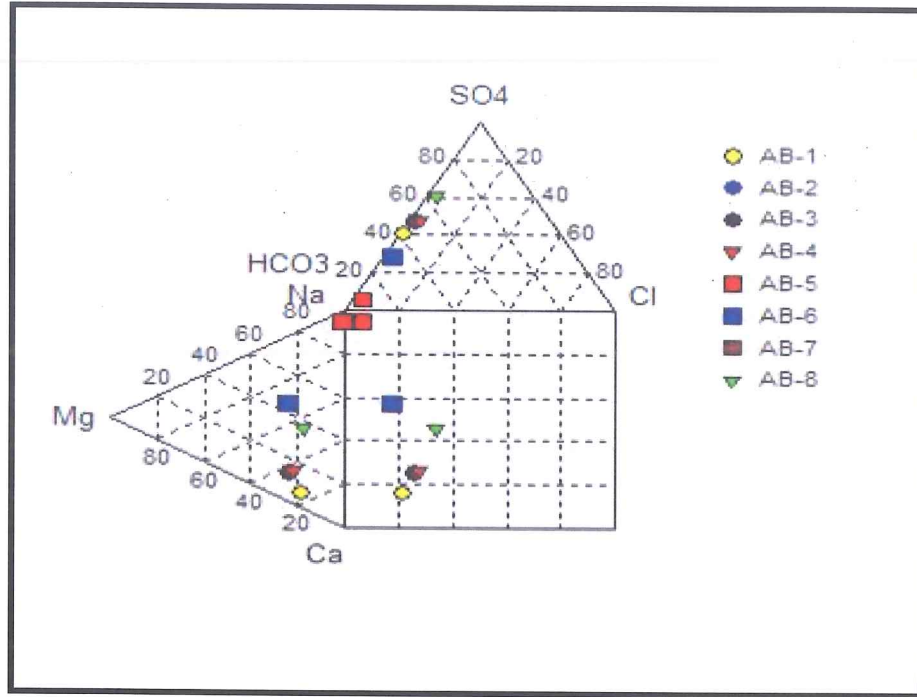
Analiz sonuçlarına göre suların rezervuar kayacının karbonat tür bir kayaç olduğunu yansıtmaktadır. Nitekim Denizli Karahayıt yöresinde metamorfik kayalardan mermerler jeotermal kaynak sularına rezervuar ödevini görmektedir



Şekil 4.10. Denizli Karahayıt sıcak su kaynaklarına ait Piper diyagramı

4.9.2. Durov diyagramı

Durov diyagramlarında, suların ana iyonlarının yanında EC ve pH özellikleri de göz önünde bulundurulmaktadır (Güneş, 2006). Denizli-Karahayıt jeotermal alanına ait örneklerin Durov diyagramına yerleştirilmesiyle, ana anyonun HCO_3^- ve SO_4 , katyonun ise Na^{+1} , Mg^{+2} , Ca^{+2} olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.11).

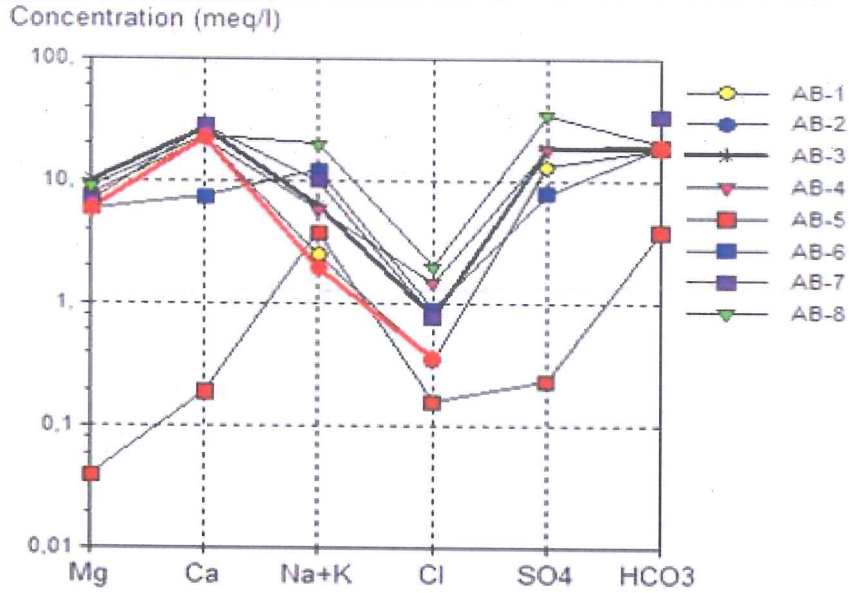


Şekil 4.11. Denizli-Karahayit jeotermal sularının Durov diyagramı

4.9.3. Suların H. Scholler diyagramı

Her bir su örneğinin anyon-kasyon derişimleri kullanılarak sınıflandırmaları yapılabilmektedir. En sık kullanılan sınıflandırma yöntemi Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} iyonlarının mili-eşdeğer derişimlerinin yarı-logaritmik kâğıda çizilmeleriyle elde edilen Schoeller diyagramıdır. Her su örneği için farklı iyonların derişim değerlerini birleştirerek elde edilen profil, su örneklerinin farklılıklarının kolayca görülebilmesini sağlamaktadır.

Şekil 4.12 incelendiğinde Sıcak sulardan bazılarında düşük, bazılarında yüksek olduğunu görmekteyiz. AB-8 termal su bölgesine ait sıcak su kaynağı yüksek $Na+K$, SO_4 derişimiyle ayrılmaktadır. Aynı zamanda AB-7 yüksek Ca , HCO_3 derişimiyle diğerlerinden ayrılmaktadır.

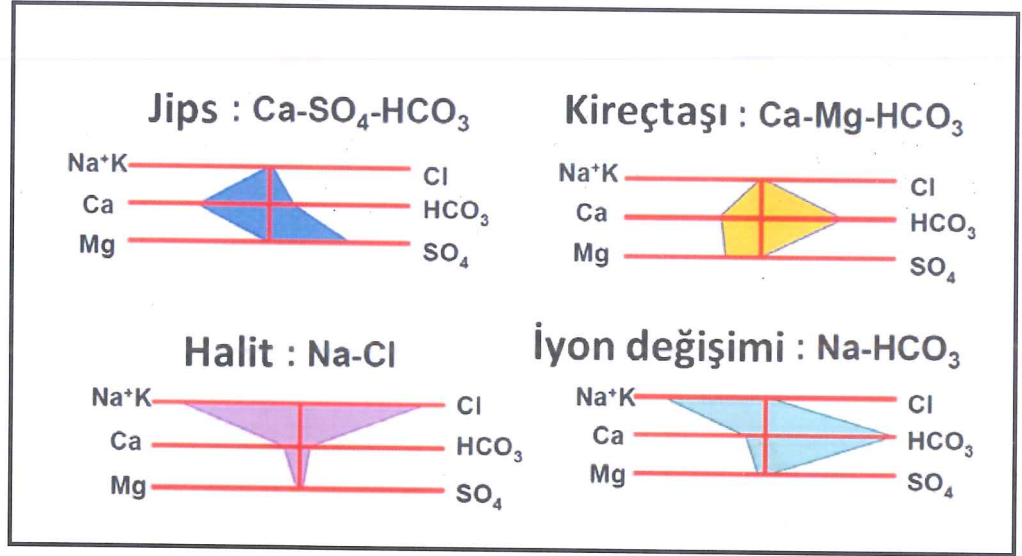


Şekil 4.12. Denizli-Karahayıt jeotermal sularına ait Schoeller diyagramı

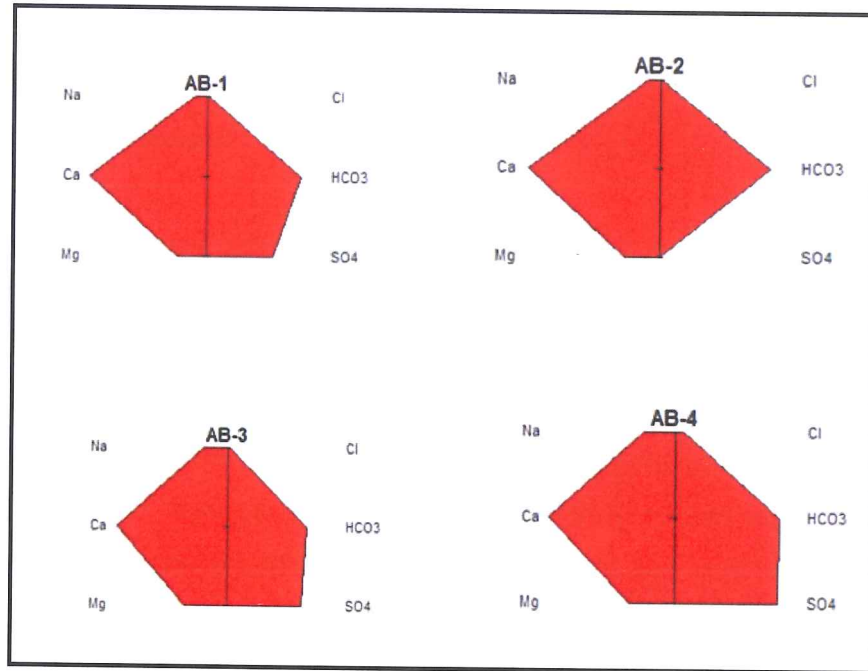
4.9.4. Denizli Karahayıt sıcak suların anyon-katyon ilişkisini gösteren stiff diyagramları

Stiff diyagramları jeotermal sularda kayaç su etkileşimi hakkında bilgi veren veri bankası niteliğindedir. Bize jeotermal suların karbonatlı kayaçlar, volkanik kayaçlar, evaporitler ve diğer tür kayaçlarla etkileşim yapıp yapmadıkları hakkında bilgi verirler (Şekil 4.13). Karbonatlı kayaçlardan gelen jeotermal sularda Ca, Mg gibi katyonlar ve HCO₃ anyonu yer almaktadır. Evaporitlerden gelen sıcak sularda da katyon olarak Ca ve Na, anyon olarak da SO₄ ve Cl yer almaktadır.

Denizli Karahayıt jeotermal sularında AB-1, AB-2, AB-7 sularında katyon olarak Ca, Mg ve anyon olarak da HCO₃ ve çok az miktarda SO₄ dikkati çekmektedir. Buradan hemen bu suların karbonatlı kayaçlarla etkileşimde bulunduğu anlaşılmaktadır. Diğerlerinde ise katyon olarak hem Ca ve hem de Na yer almaktadır. Anyon olarak SO₄ ve HCO₃ bulunmaktadır. Bunların evaporitlerle etkileşim yaptıkları tahmin edilmektedir (Şekil 4.14 ve 4.15).

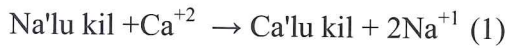


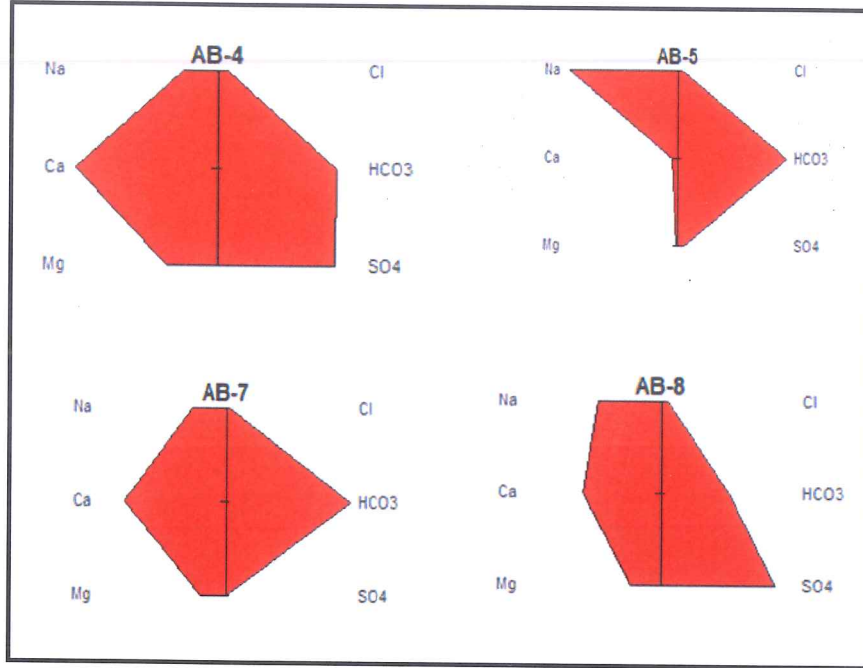
Şekil 4.13 Kayaç su etkileşimini gösteren stif diyagramları



Şekil 4.14. Denizli Karahayıt jeotermal sularına ait stiff diyagramları

Denizli Karahayıt jeotermal sularından, AB-5 no'lu örnekte iyon değişimi dikkati çekmektedir. Na'lu killler Ca^{+2} ile etkileşime geçerek Ca'lu killeri oluşturur. İyon değişim formülü aşağıda verilmiştir (1).

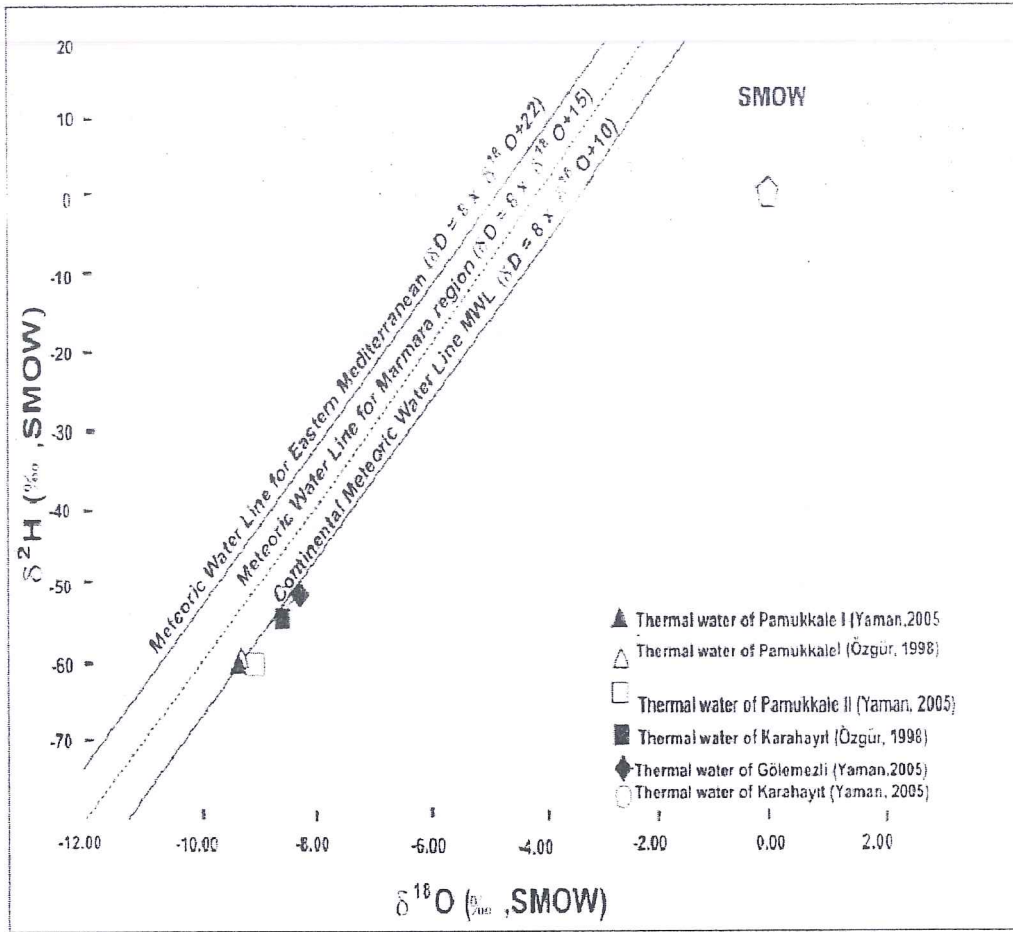




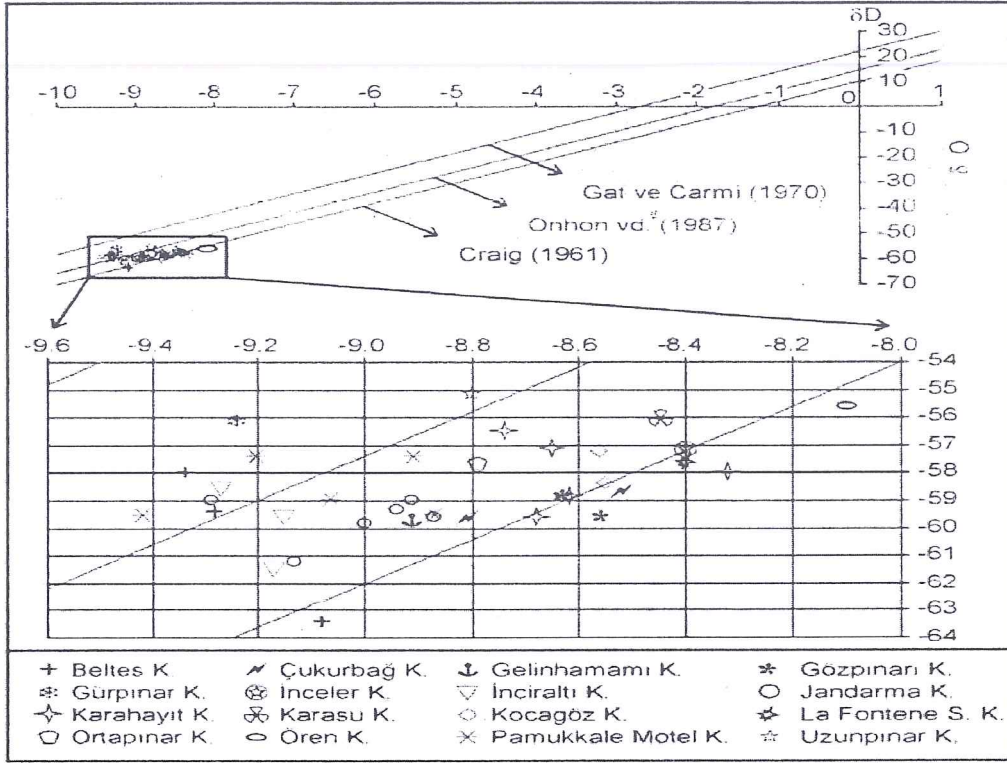
Şekil 4.15. Denizli Karahayit kaplıcalarına ait Stiff diyagramları

4.10. İzotop Çalışmaları

Karahayit ve Yakın Çevresi jeotermal sularında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi inceleme alanında bulunan jeotermal sular $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı üzerine düşürüldüğünde doğrudan karasal meteorik su çizgisi ile çakışmakta ve sağ tarafa $\delta^{18}\text{O}$ değeri az bir şekilde kayma göstermektedir (Özgür, 1998). Bu sağ tarafa kayma kayaç-su etkileşiminde (alterasyon) $\delta^{18}\text{O}$ değerinde artma olduğunu göstermektedir. Bunun yanında 3,3 (TU) değerine kadar olan ^3H değerleri jeotermal suları ile yer altı sularında bir karışımın olduğuna işaret etmektedir (Şekil 4.16 ve 4.17).



Şekil 4.16. Denizli Karahayıt, Pamukkale ve Gölemezli sularının izotop değerleri



Şekil 4.17. Denizli ve yöresi jeotermal ve doğal suların izotop değerlendirmesi
(Güner, ve diğ., 1999)

Denizli ve yöresindeki tüm jeotermal sular çevresel izotop çalışmalarına göre meteorik kökenlidirler (Güner ve Elhatip, 1999).

4.11. Wilcox ve ABD Tuzluluk Diyagramı

Denizli Karahayıt yöresinde yer alan kaynakların sulama suyu olma özellikleri bakımından incelenmesi ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramları yardımıyla yapılmıştır. ABD Tuzluluk diyagramına göre sular 16 grupta, Wilcox diyagramına göre 5 grupta toplanır.

Wilcox diyagramında, yatay eksen EC değeri, düşey eksen üzerinde sodyum yüzdesi değeri işaretlenir. Bu diyagramda sulama suları, çok iyi-iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli kullanılabilir, şüpheli-kullanılamaz, uygun değil şeklinde sınıflandırılabilir.

ABD Tuzluluk Diyagramı'nda yatay eksen de suyun EC değeri, düşey eksen de SAR değeri bulunmaktadır (Şekil 4.18). EC ve sodyum sınıflarının anlamı aşağıda açıklanmaktadır.

C1: Az tuzlu su

C2: Orta derecede tuzlu su

C3: Yüksek tuzlu su

C4: Çok yüksek tuzlu su

S1: Az sodyumlu su

S2: Orta sodyumlu su

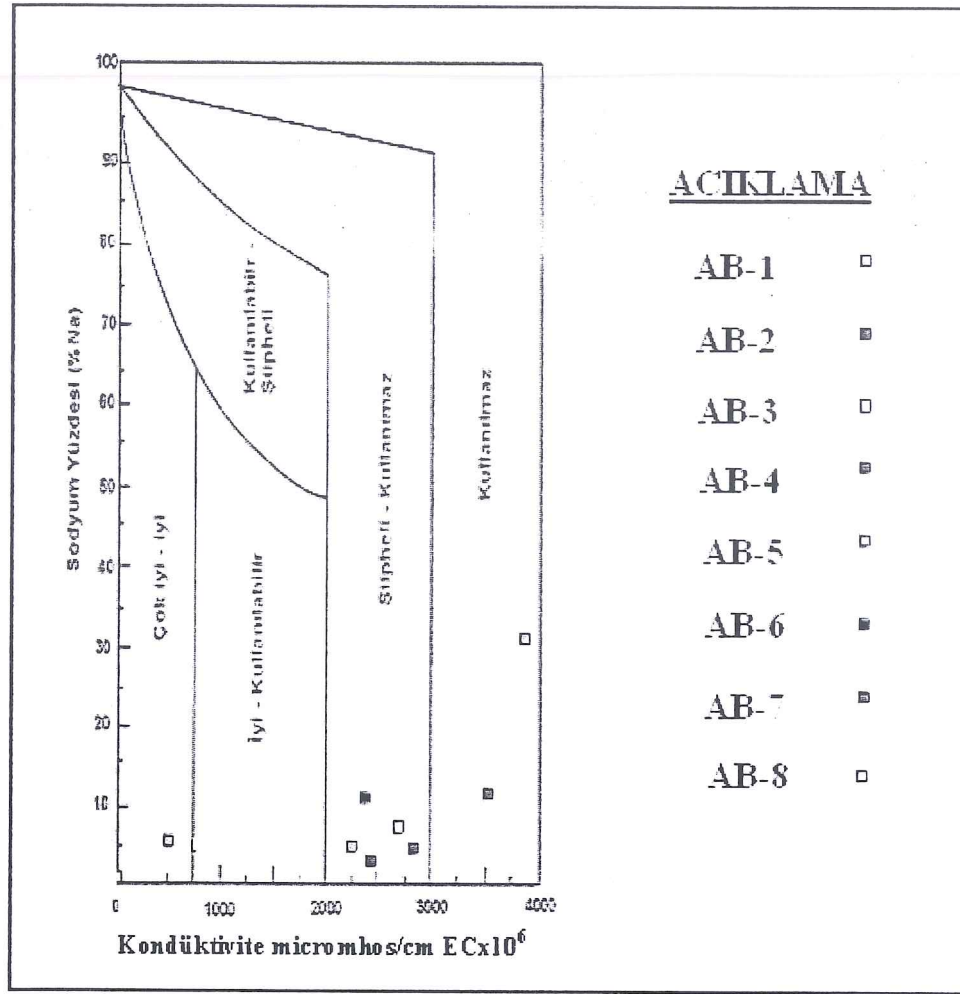
S3: Yüksek sodyumlu su

S4: Çok yüksek sodyumlu su

Yeraltı sularının elektriksel iletkenlik ve sodyum absorpsiyon oranları genel olarak membadan mansaba doğru artmaktadır. Dolayısıyla inceleme alanındaki yeraltı sularının sulamada kullanılabilirliği membadan mansaba doğru azalmaktadır.

Wilcox diyagramında, yatay eksen de EC değeri, düşey eksen üzerinde sodyum yüzdesi değeri işaretlenir. Bu diyagramda sulama suları, çok iyi-iyi, iyi kullanılabilir, şüpheli kullanılabilir, şüpheli-kullanılamaz, uygun değil şeklinde sınıflandırılabilir.

Buna göre, Denizli Karahayıt çalışma alanında yer alan kaynaklar Wilcox diyagramında şüpheli- kullanılamaz ve kullanılamaz sular sınıfında yer almaktadır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Wilcox Diyagramı

4.12.Karahayıt Jeotermal Sularının Kullanımı

Günümüzde jeotermal sulardan jeotermal suyun cinsi ve sıcaklıklarına bağlı olarak farklı amaçlar için yararlanılmaktadır. Karahayıt yöresindeki suların sıcaklıkları 23.9 °C ile 69 °C arasında değişmektedir. Bir jeotermal kaynak suyunun elektrik enerjisi üretiminde kullanılabilmesi için suyun sıcaklığının 140 °C'in üzerinde olması gerekmektedir (Bilgin, 2000). Gölemezli Sondaj 2 kuyusunun su sıcaklığı 69 °C olup, bu sıcak sudan mekan ısıtılmasında yararlanmak mümkündür (Bilgin ve diğ., 2001). Türkiye'de Bursa, Afyon, Denizli önemli jeotermal enerjiye sahip olan kentler olup kaplıca turizmi önemli düzeyde gelişmiştir (Bilgin, 2009; Bilgin ve Sargın, 2005). Bunun dışında diğer kuyulardan balneolojik amaçlı olarak yararlanmak mümkündür. Ayrıca seracılıkta da jeotermal enerjiden olabildiğince

yararlanılmaktadır. Karahayıt jeotermal suları seraların ısıtılmasında da kullanılacak niteliktedir.

Karahayıt kaplıca sularının sulfat miktarı 377-1664 miligram/litre olup, karaciğer, safra yolları, böbrek ve idrar yolları üzerinde olumlu etkiler göstermektedir. Karaciğer fonksiyonları bozulmuş, ürik asit birikimi yapan gutlu hastalarda, çeşitli böbrek taşlarında ve idrar söktürmede bu tür sülfatlı suların çok faydalı olduğu belirtilmektedir (Bilgin ve Şahin,2000).

5. SONUÇLAR

Denizli Karahayıt sıcak su kaynakları bölgede yer alan horst-graben dokanaklarında oluşan fay ve kırık sistemleriyle yakından alakalıdır.

Yüksek lisans çalışması düzeyinde yapılan bu araştırmada, Denizli İli Karahayıt Jeotermal kaynak suları hidro-jeokimyasal açıdan incelenmiş ve suların kalite değerlendirilmesi yapılmıştır.

Alınan numuneler, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Jeotermal Enerji, Yeraltısuyu ve Mineral Kaynakları Araştırma ve Uygulama Merkezi Laboratuvarında çeşitli analizler yapılarak, jeotermal kaynak sularının jeokimyasal değerlendirmesi yapılmış ve bu değerlendirme işlemlerinde Aqua-Chem yazılım programları kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada elde edilen analiz sonuçlarına göre Denizli Karahayıt Jeotermal sıcak su kaynakları; $\text{Ca-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Ca-Mg-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Na-HCO}_3\text{-SO}_4$, $\text{Ca-Na-SO}_4\text{-HCO}_3$ su tipleri içerisinde yer almaktadır.

Denizli Karahayıt yöresindeki yağışların beslenme alanında yörede yüzeyleme veren ve vermeyen kayaçların süreksizlik düzlemleri boyunca, yeraltına süzülen suların içinden geçtikleri kayaçlarla etkileşime geçerek, onlardan bir takım iyonları bünyelerine aldıkları görülmüştür.

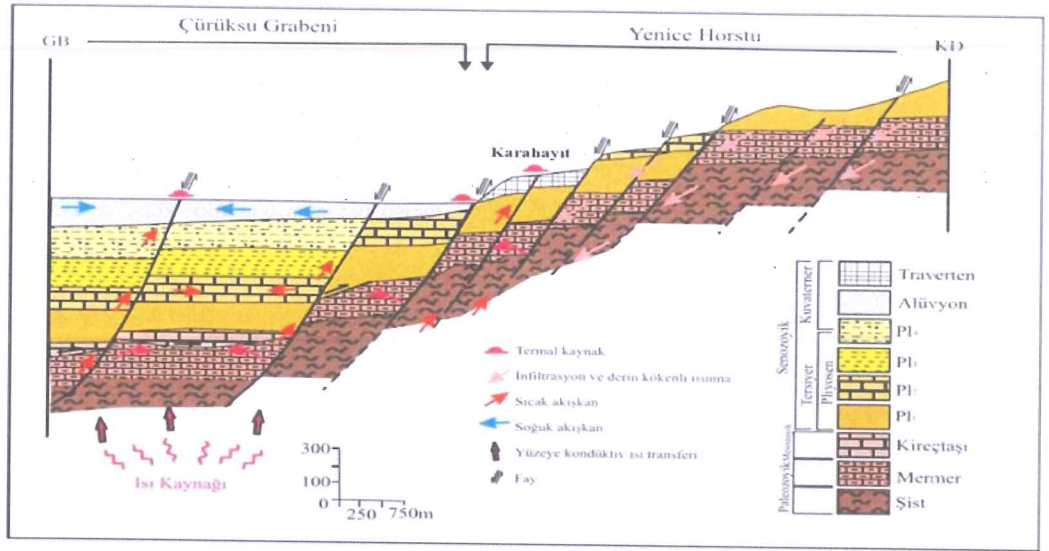
İnceleme alanında yer alan kaynakların fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından benzerlik göstermeleri kökenlerinin aynı olduğuna işaret etmektedir. Scholler diyagramında gösterilen kaynaklara ait grafiklerin birbirine paralel olması da bunu desteklemektedir.

Karahayıt ve yöresi jeotermal sularının kökenlerinin izotop çalışmaları dikkate alındığında meteorik kökenli sular oldukları ortaya çıkmaktadır.

Denizli İli Karahayıt yöresinde bulunan jeotermal kaynakların sıcaklıkları itibarıyla en uygun kullanım alanı sağlık turizmidir. Zaten, tarihi geçmişi ile bu yönüyle tanınan Karahayıt Kasabası cazibesi çok yüksek olan bir sağlık turizm merkezi haline gelmesi, yöre için çok önemli bir gelişme olacaktır.

Yine termal turizmi dışında buradaki sıcak sulardan merkezi ısıtmacılık, seracılık, düşük sıcaklıklarda balıkçılık üretimi olarak da yararlanabiliriz.

Jeotermal sistem açısından Denizli Karahayıt termal suları değerlendirildiğinde; jeotermal suların kökenini meteorik sular oluşturmaktadır. Tabanda yer alan magmatik kayalardan Denizli volkanitleri ise ısıtıcı kayaç ödevini görmektedir. Isınan sular konveksiyon akımlarla yukarıya yükselerek karbonatlı kayalardan mermerler içerisinde depolanmaktadır. Killi Kuvaterner çökeller de Karhayıt yöresi jeotermal sulara örtü kayaç ödevini görmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Denizli Karahayit hidrotermal alanının GB-KD yönlü enine kesiti (Dilsiz ve diğ., 2004'den değiştirilerek)

7. KAYNAKLAR

- Akkuş, İ., Akıllı, H., Ceyhan, S., Dilemre, A., Tekin, Z., 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, MTA Gnl. Md., Ankara.
- Alpman, N., 1963. Batı Anadolu Tabii Sıcak suları İçmeceleri ve Maden Sularının Teknik Envanteri, MTA Rap. No:3629, Ankara.
- Arslan, S. Bilgin, A., Özkahraman, H.T., 2011, Isparta Jeoteremal Sondajında Ortaya Çıkan Karbon dioksitin Olası Kökeni Hakkında Ön Çalışma, Sondaj Sempozyumu ODTÜ, 21-23 Aralık, 2011, Ankara.
- Altunel, E., Hancock, P. L., 1993. Active fissuring and faulting in Quaternary travertines at Pamukkale, western Turkey, Department of Geology, University of Bristol.
- Bilgin, A., 1978, Denizli-Babadağ dolayının jeoloji-Petrografi ve jeokimyası, Atatürk Üniv. Fen Fak. Doktora tezi, 140 p. Erzurum
- Bilgin, A., Taşdelen S., Karagüzel, R., 1997, Karstification around Bucak and Surrounding Area and Problems Arised, Proceedings 5th International Symposium and Field Seminar on Karst Waters and Environmental Impacts/Antalya/Turkey, pp. 519-524, 10-20 September 1995, Turkey, A.A.Belcema/Rotterdam/Brookfield 1997.
- Bilgin, A., 2000, Jeotermal enerji ve kullanım alanları, Sürdürülebilir Enerji Teknolojilerindeki Gelismeler ve Türkiye'deki Durum Sempozyumu, Akd. Univ. Muh. Fak. ve Akdeniz Belediyeler Birliği, 25/02/2000, Antalya
- Bilgin,A., Şahin, U., 2000, Saraytermal kaplıca suyunun kullanılabilirliği raporu, SDU, Isparta Yüksek Öğrenim Vakfı, Ar-Ge İktisadi İşletmesi, Isparta. (Tamamlanmış).
- Bilgin,A., Bolattürk,A., Kurbanoglu,C., 2001, Geothermal Energy in Western Anatolia and Prevention of Scaling, 12th International Conference on thermal Engineering and thermogrametry (Thermo), 121-129, 13-15 June, 2001, Budapest,Hungary.
- Bilgin, A., Şahin, N., 2002, Petrography and engineering property of Denizli (Turkey) Kocabas travertine, 4th International Symposium on Eastern Mediterranean Geology, Isparta, Turkey,21-25 May 2001, Proceedings, 211-222.
- Bilgin, A., 2009. Yalova ve yöresinin jeotermal enerji açısından önemi, 1. Dünden Bugüne Yalova Sempozyumu, 29-31 Mayıs, 2009. Yalova, 110-112.

- Bilgin, A., Sargin, S., 2005. Geothermal resources in Afyon and surrounding area, 14 th International Conference on Thermal Engineering and Thermogrammetry (Thermo, 2005, 22-25 June, 2005), renewable energy section in CD, Budapest, Hungary, 54-55.
- Bilgin, A., Özkahraman, T., 2008, Geothermal energy potential of Isparta (Turkey) and surrounding area, Regional Process of the 5th World Water Forum, Regional Meeting on Water in the Mediterranean Basin, 09-11 October, Near East University, Lefkosa, TRNC, 203-204.
- Bilgin, A., Arslan, S., Tetiker, S., Bilgin, N., Ertürk, D., 2011, Preliminary Studies about Bursa (Turkey Hot Springs, 17 th Thermo International Conference, 6-8 July 2011, Budapest, Hungary, 32-33.
- Bilgin, A., Arslan, S., Ertürk, D., Tetiker, S., Bilgin, N., Kaygalak, S., 2011, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 21-22 Ekim 2011, Kayseri, 48-49.
- Çağlar, K. G., 1948. Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları. MTA Yayınları, Seri: B, No:11, Fasikül 2, Ankara.
- Çobanoğlu, İ., Bozdağ, Ş., 2005. Hidrojeolojik Veri Tabanlı Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Çalışması Örneği, Ç.Ü. Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi, Adana, 85, 104-105.
- Dilsiz, C., Marques J.M., Carreira, P.M.M., 2004. The impact of hydrological changes on travertine deposits related to thermal springs in the Pamukkale area (SW Turkey). Environmental Geology, Springer-Verlag, 45, 808-817.
- Yaman, D., 2005, Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökeni, SDÜ Fen Bilim. Enst. Doktora Tezi, 135 p.
- Durukal, S., Alp, O., 1962. Yenice, Karahayıt arası Gravite Etüdü, MTA Rap. No: 3178, Ankara.
- Erentöz, C., Ternek, Z., 1968. Türkiye Termomineral Kaynaklar ve Jeotermik Enerji Etüdları, MTA Dergisi, 70.
- Güner, İ. N., Elhatip, H., 1999. Pamukkale yöresi (Denizli) termal kaynaklarının hidrokimyasal ve izotopik incelemesi, Niğde Üniv. Müh. Derg.,3/1, 35-47, Niğde.
- Güneş, C., 2006. Gediz Kaplıcaları'nın (Kütahya) Hidrojeolojik ve Hidrojeokimyasal Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 170 s.

- Kaypak, B., Venedik, G., 2011, Denizli Havzası 3 B yapısının jeolojik, tektonik, hidrotermal ve depremsellik ilişkisi, 1. Türkiye Deprem Konferansı, 11-14 Ekim 2011, ODTÜ, Ankara.
- Ketin, İ., 1960. 1/25000 ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama, MTA Dergisi, 54.
- Koçak, A., 1976. Denizli-Pamukkale ve Karahayıt Kaplıcalarının Hidrojeoloji Etüdü MTA Rap. No:5670, Ankara.
- Koçyiğit, A. 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta* 18/3-4, 167-208.
- Mutlu, H., Güleç, N., 1998. Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Res.*, 85, 495-515.
- Özgür, N., Pekdeğer, A., 1995. Active geothermal systems in the rift zones of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey: in: Kharaka, Y. K. and Chudakov, O. V. (eds.): *Proc. Internat. 8th Symp. on Water-Rock Interaction*, Vladivostok/Russia, p. 529-532.
- Özgür, N., 1998, Aktive und fosilse Geothermal Systeme in den Kontinentalen Riftzonen des Menderes- Massives, W- Anatolien, Türkei. *Freie Universität Berlin, Habilitationsschrift*, 178 s
- Şimşek, Ş., 1984. Denizli – Kızılder – Tekkehamam – Tosunlar – Buldan – Yenice alanının jeolojisi ve jeotermal olanakları, MTA Rap. No:7846, Ankara.
- Şimşek, Ş., Günay, G., Elhatip, H., Ekmekçi, M., 2000. Environmental protection of geothermal waters and travertines at Pamukkale, Turkey. *Geothermics*, 29, 557-572.
- Şimşek, Ş., 2003, Present status and future development possibilities of Aydın-Denizli Geothermal Province, *Int. Geother. Conference*, Reykjavik, Sept. 2003.
- Tamgaç, Ö. F., Yıldırım N., Çetiner L., 1995. Denizli – Karahayıt – Pamukkale ve çevresi sıcak su kaynaklarının korunması ve geliştirilmesine Ait yayımlanmamış MTA Rap. No: 94/ 53, Ankara.
- Yaman, D., 2005, Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerinin kökeni, SDÜ, Fen Bilimleri Enst. Doktora Tezi, 166 p. Isparta.