

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜVENDİK-MALGAÇEMİR (AYDIN) ARASINDA BULUNAN
JEOTERMAL SULARIN HİDROJEOLÖJİK, HİDROJEOKİMYASAL VE
İZOTOP JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ**

Seda Zehra TEKKANAT

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLÖJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2018**

©2018 [Seda Zehra TEKKANAT]

TEZ ONAYI

Seda Zehra TEKKANAT tarafından hazırlanan "Güvendik-Malgaçemir (Aydın) Arasında Bulunan Jeotermal Suların Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Züheyr KAMACI
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali Gökgöz
Pamukkale Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Prof. Dr. Yasin TUNCER

TAAHHÜTNAME

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

Seda Zehra TEKKANAT



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Jeotermal Akışkanlar	5
1.2. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu	6
1.3. Çalışmanın Konusu ve Amacı	15
2. KAYNAK BİLGİSİ.....	16
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ.....	19
4. MATERYAL VE METOD	24
4.1. Metod	24
4.1.1. Jeolojik Çalışma.....	24
4.1.2. Örneklem ve In-Situ Analizleri	24
4.1.3. Hidrojeokimyasal Analizler	26
4.1.4. Jeotermometreler	27
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	28
5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri	28
5.1.1. Hidrojeokimya.....	29
5.1.2. Hidrojeokimyasal Analizler	30
5.1.3. Doygunluk İndeksi.....	35
5.1.4. Jeokimyasal Jeotermometre Uygulamaları	39
5.1.5. Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları	40
5.1.5.1. Silis Jeotermometreleri.....	40
5.1.5.2. Katyon Jeotermometreleri.....	41
5.1.6. Birleşik Jeotermometre Uygulamaları	43
5.1.7. Çalışma alanındaki termometrelerin jeokimyasal değerlendirilmesi	44
5.2. İzotop Jeokimyasal Özellikleri	47
5.3. Malgaçemir ve Güvendik Arasının Hidrojeolojik Modellemesi.....	50
6. TARTIŞMA.....	53
KAYNAKLAR	57
ÖZGEÇMİŞ.....	64

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜVENDİK-MALGAÇEMİR (AYDIN) ARASINDA BULUNAN JEOTERAMAL SULARIN HİDROJEOLÖJİK, HİDROJEOKİMYASAL VE İZOTOP JEOKİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Seda Zehra TEKKANAT

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Güvendik-Malgaçemir arasında bulunan çalışma alanı Sultanhisar ilçe sınırları içinde Büyük Menderes kıtasal rift zonunun orta kısmında bulunur. Burada jeolojik istif Paleozoyik yaşlı Menderes masifi metamorfik kayalar ile Orta Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı tortul kayalardan oluşmaktadır. Çalışma alanında temel kayalar gnayslardır ve bunlar tedrici olarak mikasistlere geçerler ve bazende mermerleri örterler. Bu yüzden onlar üzerinde örtü kayacı görevi üstlenirler. Mermerler sahada oldukça yaygın olup ince kalsit damarlı, erime boşluklu, yer yer dolomitik ve bazen muskovit ve serizit arakatlıdır. Metamorfizma dolayısıyla karst boşlukları dışında gözeneklilik tamamen ortadan kalkmıştır. Buna karşın yoğun tektonik olaylar nedeniyle kayalardaki geçirimsizlik artmış ve böylece kayacın rezervuar kayaç özelliği artmıştır.

Çalışma alanında temeli oluşturan metamorfik kayalar Orta Miyosen yaşlı alttan üste doğru çakıltası, kumtaşı, miltaşı ve kıltaşı olarak ardalanarak tortullar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Sonuncular da yine uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı tortullar tarafından örtülmektedir. Bu tortullar kıltaşı, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanması şeklindedir. Kuvaternerde Pliyosen çökelleri üzerine uyumsuz olarak az tutturulmuş çakıltası, kumtaşı, çakıl, blok, kil, kum ve mil karışımından oluşan alüvyon, yamaç molozu ve travertenler gelmektedir.

Hidrojeolojik olarak çalışma alanında Salavatlı, Güvendik ve Malgaçemir olmak üzere 3 (üç) sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Bunlar D-B doğrultulu Büyük Menderes rift zonu faylarının denetiminde beslenen ve K-G doğrultulu faylarla sınırlanan alanda bulunmaktadır. Araştırma alanında Salavatlı ve yakın çevresinde açılan araştırma, üretim ve geri basma kuyuları dışında Malgaçemir-Güvendik arasında 850 m. derinliğe kadar ulaşan 2 (iki) adet sondaj kuyusu açılmıştır.

Bunlardan biri 140 C° sıcaklığa ve 40 l/s debiye sahip bulunmaktadır. Bu yüzden çalışılan alanın jeolojisi güncellenmiş, özellikle sıcak sular ile etkileşimi olan rezervuar kayalarının petrografik tanımı yapılmış, bu rezervuar kayalarının kayaç-sıcak su etkileşiminden hasıl olan hidrotermal alterasyon mineralojisi yoğun kayaç mikroskop çalışmaları ile ortaya çıkarılmıştır. Açılan kuyudan alınan su örneklerinde

hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikler araştırmış ve açılan kuyu baz alınarak burada bulunan jeotermal sular hidrojeolojik olarak modellenmiştir.

İnceleme alanında bulunan sıcak sularda yaklaşık 53 mg/l değerine ulaşan B^{+3} değerleri söz konusudur ve bu değerler çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişi ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars (buhar kaybı yok), kuvars (100 °C'de buhar kaybı var) ve kuvars en uygun jeokimyasal jeotermometre olmakta ve 133°C ile 138 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Menderes Masifi, Büyük Menderes rift zonu, Malgaçemir, jeotermal sular, hidrojeolojik modelleme

2018, 64 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL, HYDROGEOCHEMICAL AND ISOTOPE GEOCHEMICAL FEATURES OF THE THERMAL WATERS BETWEEN GÜVENDİK AND MALGAÇEMİR (AYDIN)

Seda Zehra TEKKANAT

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

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

This The study are between Güvendik and Malgaçemir is located within the boundaries of Town Sultanhisar in the middle part of continental rift zone of the Büyük Menderes. The geological sequence in the investigated area consists of Paleozoic metamorphic rocks of the Menderes Massif and Middle Mioecene, Pliocene and Quaternary sediments. The basement rocks in the area are the gneisses forming mica schists gradually and cover the marbles off an on. Therefore the gneisses can be considered as cap rocks. The marbles in the field are widespread and show calcite veins, karst holes, dolomitic composition and intercalations with muscovite and sericite.

Due metamorphism, the porosity in these rocks has been disappered with exceptions of karst holes. In comparison, the permeability of the rocks increased due to intensively tectonics so that the reservoir features of the rocks increase. Stratigraphically, the metamorphic rocks as basemenr rocks in the investigated area are overlain by an intercalation of conglomerates, sandstones siltstones and claystones dicordantly. The last sequence is overlain by Pliocene sediments intercalated with claystones, cleyey limestones and sandstones discordantly. In Querternary, alluvium composed of conglomerates, sandstones, gravels, sand, block and clay and travertines overlie the Pliocene sediments discordantly.

Hydrogeologically, there are 3 (three) hot spings in the area, namely Salavatlı, Güvendik and Malgaçemir. These hot springs are fed and developed under the control of the E-W oriented faults and, it has been limited by the N-S oriented faults. With exceptions of the exploraiton, production and reinjection wells in salavatlı and environs, there are 2 (two) wells with depth up to 850 m.

The one of these well has a reservoir temperature up to 140 C° and a flow rate up to 40 l/s. Therefore, geological mapping of the working area has been updated, the reservoir rocks having an interaction with thermal waters ere determined petrogaphically, hydrothermal alteration in connection with water-rock interactions was revealed by rock microscopial investigations, hydrogeochemical and isotope geochemical features of the thermal waters from the locations in the investigated area were clarified comprehensively and thermal waters in the study area were modelled.

Hot water samples collected from Güvendik- Malgaçemir region assessed and identified that the B^{+3} values at samples around 53 mg/l. This value may pertain to sea water interference to the sample area, due to the close proximity to the Eagean Sea. On the other hand, quartz (no steam leakage and steam leakage at 100 C) is not the ideal geothermal parameter for identificaton of Malgaçemir- Güvendik reservoir water temperature. Different reservoir temperatures been measured between 133 C and - 138C.

Keywords: Bean, Menderes Massf, the rift zone of the Büyük Menderes, Malgaçemir, thermal waters in the study area were modelling.

2018, 64 pages

TEŞEKKÜR

Sunulan bu yüksek lisans tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4491-YL1-15 Nolu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan saygıdeğer danışmanım Prof Dr. Nevzat Özgür'e göstermiş olduğu destek ve özveriden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Güvendik- Malgaçemir (Aydın) çevresinde yapılan arazi çalışmamda su örnek alımlarında yardımlarını esergemeyen Sultanhisar Belediyesi çalışanları ve Malgaçemir köyü muhtarına yardımlarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim. Alınan su örneklerinde in-situ ölçümlerinin gerçekleştirilmesine kaynak sağlayan Jeoser Yerbilimleri Servisi Ltd. Şti., teşekkür ederim.

Varlığı ve desteğiyle hayatımın her anında olduğu gibi tez dönemim boyunca da yanımda olan hayat arkadaşım Selçuk Çiftlik'e teşekkür ederim.

Seda Zehra TEKKANAT

ISPARTA, 2018

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Dünya üzerindeki Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Kaynakları	1
Şekil 1.2. Malgaçemir - Güvendik arası dahil Büyük Menderes kıtasal rift zonunda jeotermal alanlar ve jeolojisi.....	4
Şekil 1.3. İdeal bir jeotermal sistemin şematik gösterimi.....	5
Şekil 1.4. Batı Anadolu'da bulunan grabenlerin Erken Miyosen'den günümüze kadar gelişim evrelerini gösteren şematik blok diyagram.....	8
Şekil 1.5. Menderes Masifinin stratigrafik sütun kesiti	11
Şekil 1.6. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit.....	14
Şekil 3.1. Malgaçemir ve Güvendik arasının jeoloji haritası	20
Şekil 3.2. Malgaçemir-Güvendik arasının stratigrafik kesiti	22
Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri	25
Şekil 5.1. Hidrojeoloji Birimleri.....	29
Şekil 5.2. Çalışma Alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.....	33
Şekil 5.3. Malgaçemir-Güvendik arasında bulunan jeotermal suların Cl-SO ₄ - HCO ₃ üçgen diyagramında gösterilmesi	34
Şekil 5.4. Çalışma alanında jeotermal suların Na+K-Ca-Mg üçgen diyagramı	35
Şekil 5.5. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları	44
Şekil 5.6. Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi	49
Şekil 5.7. Malgaçemir-Güvendik Jeotermal Sisteminin Basitleştirilmiş Hidrojeolojik Oluşum Modeli (Karamandere ve Helvacı, 2003'e göre modifiye edilmiştir)	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

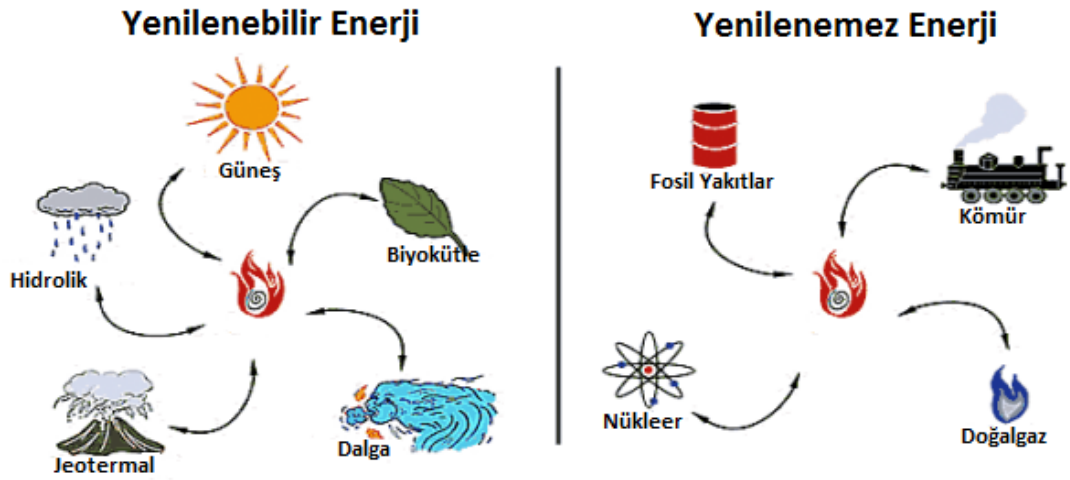
	Sayfa
Çizelge 4.1. In-Situ Cihazları ve Özellikleri	26
Çizelge 5.1. İnceleme Alanındaki Örneklerin Su Tipleri	30
Çizelge 5.2. Güvendik- Malgaçemir arası alanın jeotermal Sularının in-situ ölçümleri ve hidrojeokimyasal analizleri.....	31
Çizelge 5.3. Çalışma Alanındaki Örneklerde Rastlanabilecek Bazı Minerallerin Doygunluk İndeksleri	39
Çizelge 5.4. Silis (SiO ₂) Jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l).....	41
Çizelge 5.5. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)	43
Çizelge 5.6. Çalışma Alanındaki Termal Suların Çözünen jeotermometresine göre sonuçları	46

KISALTMALAR

D	Doğu
B	Batı
K	Kuzey
G	Güney
C°	Santigrad derece
l/s	Debi – akış hızı
mg/l	Çözünme miktarı
δ	Döteryum
bdl	Tespit sınırın altında değer

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından birisi enerji kavramı ve enerji kaynakları olmuştur. Enerji kaynağı; Bir maddenin iş yapabilme yeteneği için tanımlanan enerjinin elde edildiği kaynaklara denir. Enerji kaynakları herhangi bir yöntemle enerji üretilmesini sağlayan kaynaklardır. Bu kaynakların varlığı kadar sürdürülebilir olması da ayrı bir önem arz etmektedir. Dünyadaki enerji kaynakları oluşumlarına bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Dünya üzerindeki Yenilenebilir ve Yenilenemez Enerji Kaynakları (Uyar, 2017)

Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, petrol, kömür, nükleer enerji gibi kendini yenileme durumu olmayan kaynakların bilinçsizce kullanılması, bu kaynakların çevreye ve atmosfere verdiği kirlilik gibi etkenler insanları yenilebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir (Külekçi, 2009).

Yenilebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan jeotermal enerji ise yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş olan ısınnın oluşturduğu sıcaklığı sürekli olarak 20 ° C'den fazla ve çevresindeki normal yeraltı ve yer üstü sulara oranla daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen, elektrik üretiminde, ısıtmada ve soğutmada, çeşitli sanayi tesislerinde enerji

hammaddesi olarak kullanılan, kimyasal madde üretimine elverişli olabilen ayrıca, sağlık ve turizm amacıyla da yararlanılabilen, basınç altındaki sıcak su ve buhar (akışkan) ile sürekli yüzeye taşınan ısı enerjisi olarak tanımlanır. Jeotermal enerjinin en büyük faydalarının başında; yenilebilir olması yani doğru kullanımla tükenmesi zor bir enerji çeşidi olması, tespit ve üretiminin kolay olması, maliyetinin düşük olması, yatırımın çok kısa bir zamanda geri dönüş sağlaması, ayrıca diğer kaynaklara göre çevreye verilen zararın çok az olması gelmektedir.

Jeotermal enerji yerküre içinde bulunan termal sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda, termal enerji maddenin sıcaklığını belirleyen enerjidir. Yerkürenin jeotermal enerjisi gezegenimiz olan yerkürenin orijinal formasyonundan ve minerallerin radyoaktif bozunmasından kaynaklanmaktadır (Turcotte ve Schubert, 2002). Günümüzde bu kavram yerküre ısısının belirli kısımları için kullanılmaktadır. Bu ısının kullanımı çeşitli sondaj yöntemleriyle ısıya ulaşılarak belirli amaçlar için kullanılır. Jeotermal kaynaklar dünyanın birçok noktasında bulunur. Ancak, işletilebilir seviyede bulunanlar jeotermal gradyanı normal veya anormal derecede yüksek gradyanlara sahiptirler.

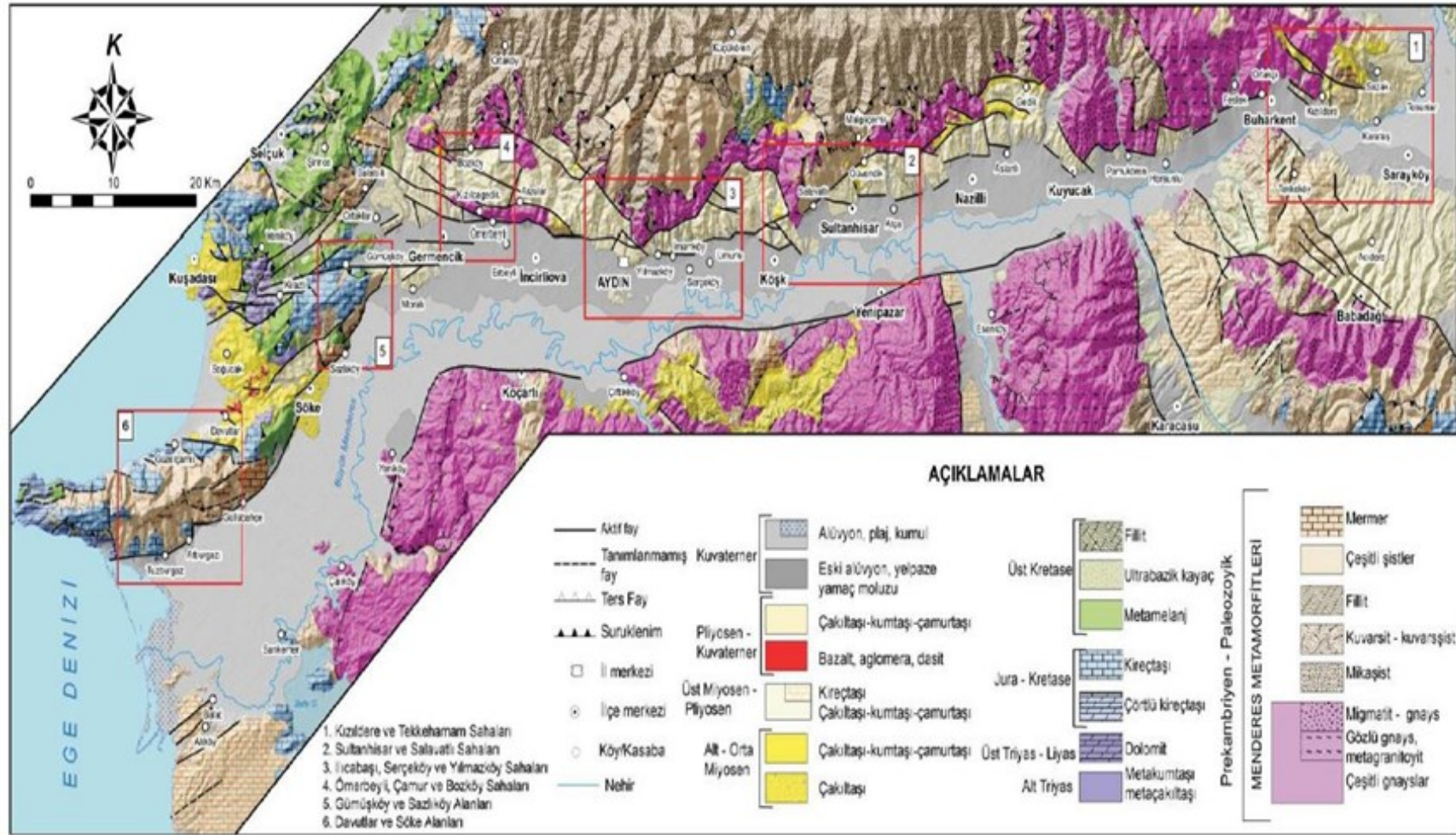
Jeotermal alanlar birçok alanda belirli jeolojik formasyonlara bağlı olarak bulunmakta ve bunlar artan bir şekilde enerji kaynakları olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal sistemlerin farklı tiplerinin her biri belirli özelliklere sahiptir ve bunlar aynı zamanda bu özelliklerini kimyasal bileşimlerinde ve çeşitli potansiyel uygulamalarında belirli bir şekilde ortaya koymaktadır. Ancak, hepsi birkaç kilometre derinlikte, ortak bir ısı kaynağı olan ve konveksiyon içine yerkabuğunun üst bölümlerinde bulunan, mevcut su birikimleridir (Nicholson, 1993).

Jeotermal alanlar oldukça geniş aralıkta olan çeşitli jeolojik ortamlar ve kayaç türlerinde ortaya çıkarlar ve benzer türdeki kayaç ortamları farklı tipte jeotermal sistemler meydana getirebilir. Örneğin Kızıldere, ülkemizde benzer

kayaçların içinde yüksek ısıda su üretirken, esas olarak kuru buhar üreten Larderello, İtalya'da ortaya çıkmıştır (Bello, 2013).

Alanlarında ortak noktalar olmasına rağmen her jeotermal sahanın kendine has özellikleri vardır.

Jeotermal enerjinin kullanımı ülkelere göre değişim göstermektedir. Türkiye ise çok önemli bir jeotermal kuşak üzerinde olmasına ve 1300'ün üzerinde kaynak barındırmasına karşın jeotermal enerjiden yeterince faydalanamamaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Malgaçemir - Güvendik arası dahil Büyük Menderes kıtasal rift zonunda jeotermal alanlar ve jeolojisi (Karakuş, 2010)

Yağmur sularının ve yeraltı sularının yer kabuğunda yer alan çatlaklardan sızarak magma tabakasına kadar ulaşması ile jeotermal kaynaklar oluşmaktadır. Magma tabakasına ulaşan yağmur suları burada kaynayarak buharlaşır. Meydana gelen buhar yüksek basıncın etkisiyle yeryüzüne doğru hareketlenmeye başlar.

Yeryüzüne çıkan sıcak sularda jeotermal enerji kaynaklarını oluşturmaktadır. Eğer kabuğunda doğal su dolaşımı sağlayacak yeterli kırık yoksa ve ısı birikimi tespit edilirse, oluşturulacak yapay kırıklardan dolaştırılan akışkanlardan enerji elde edilebilir.

Yeryüzüne çıkan jeotermal sulardan İtalya, Amerika, Japonya, Filipinler ve Meksika boraksit, amonyum bikarbonat, ağır su (döteryum oksit), amonyum sülfat, potasyum klorür gibi kimyasal maddeler elde etmektedir. Jeotermal suların kullanım alanları çeşitlilik göstermektedir (Rinehart, 1980).

Elektrik enerjisi üretimi, balık ve kereste kurutma, tuz elde edilmesi, şeker sanayi, damıtma prosesleri, sera, ahır, kümes ısıtılması, mantar yetiştirme, toprak ısıtma, yüzme havuzları, turizm ve sağlık amaçlı banyolarda kullanılmaktadır.

Jeotermal suların kimyasal özelliklerinden dolayı korozyif maddelerin, kalıntı bırakan veya yoğunlaşmayan bileşenlerin doğrudan sisteme gönderilmesi çeşitli problemlere neden olmaktadır.

Bu nedenle kullanılan suların kimyasal özelliklerine uygun inhibitörlerin seçimi ve uygun ekipman, sistem dizaynı ile jeotermal suların kabuklaşma ve korozyon sorunu çözülerek verimli olarak kullanmak mümkündür.

1.2. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu

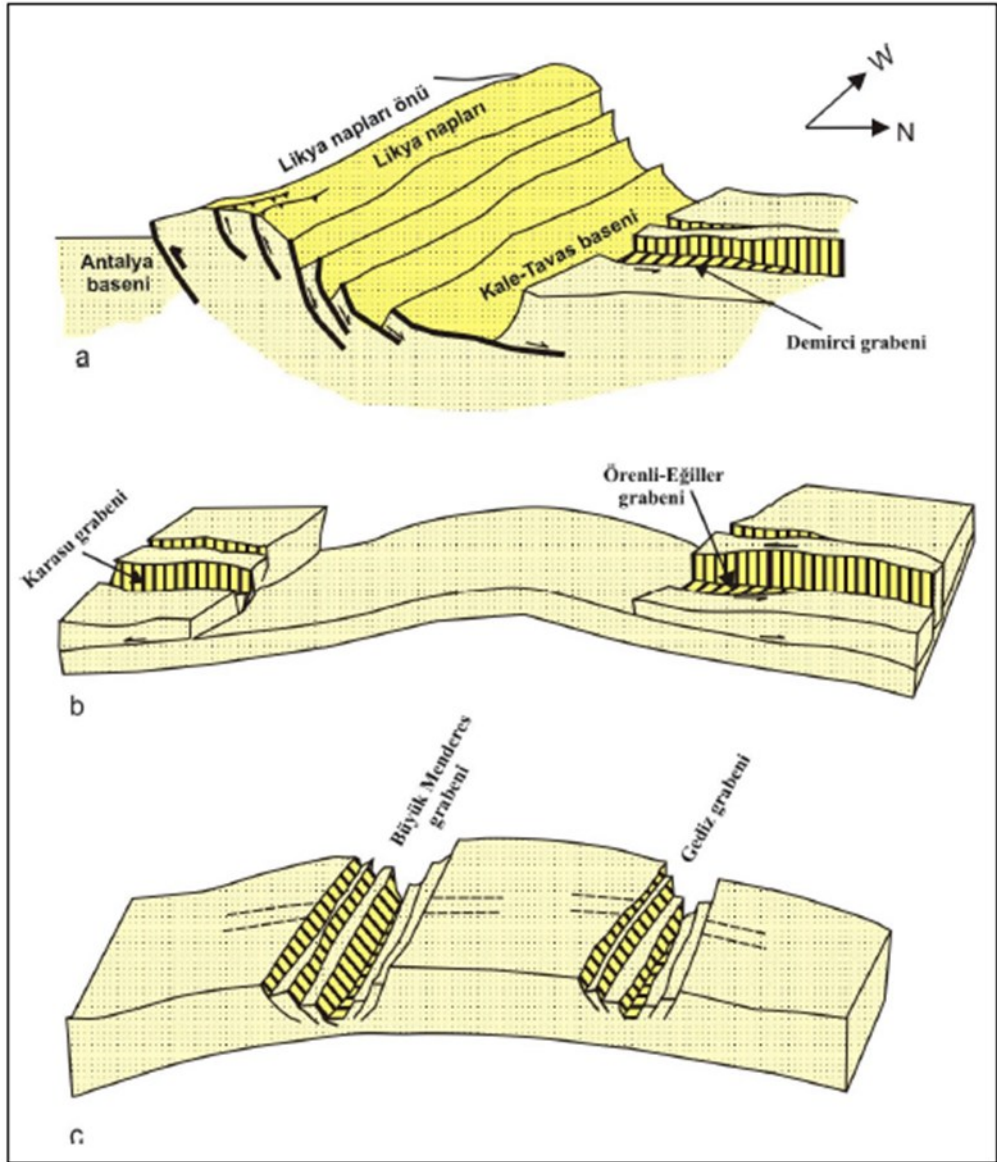
Bölgesel olarak Türkiye'nin depremselliği Türkiye ve yakın çevresindeki levha hareketinin bir sonucudur. Türkiye ve yakın çevresindeki levhalar kuzeyde Avrasya, güneyde ise Arap ve Afrika levhalarıdır. Türkiye anakara kütlesi tıpkı

bir mozaik gibi çok bloğa bölünmüştür. Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF), Doğu Anadolu Sıkışma Zonu (DASZ), Ege graben sistemi, Kıbrıs-Helenik yayı, Orta Anadolu Bölgesi olmak üzere Türkiye’de yedi ana tektonik bölge bulunmaktadır (Şengör vd., 1985).

Batı Anadolu bölgesinde yaklaşık olarak K-G yönlü genişleme tektoniğine bağlı D ve BKB-DGD doğrultulu Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz gibi çöküntü havzaları gelişmiştir (Ketin, 1968; McKenzie 1972, Dewey ve Şengör 1979, Şengör vd.,1984).

Türkiye, Alp-Himalaya dağ kuşağı içersinde yer almaktadır. Batı Anadolu’da litosferik gerilimin Alp-Himalaya zonu kıtasal çapışması ile ilişkin olduğu bölgede lokalize edilmiş gerilme tektoniği hüküm sürmektedir. Batı Anadolu Bölgesi, D-B gidişli sıradağları ve derin sedimanlar ile dolu vadileri ile karakterize edilir. Bölge genç Miyosen başına kadar, kuzey-güney yönünde basınca maruz kalmıştır.

Tortoniyen başında, bölgede bir gerilme tektoniği oluşmuş ve kısmi ergimeye uğrayan kabuk gerilmeye bağlı olarak ince ve kırılğan kabuk oluşmuştur (Yılmaz, 1989; Alptekin vd, 1990; Gemici ve Tarcan, 2002). Bu şekilde ülkemizde Batı Anadolu Bölgesinde DB uzanımlı grabenler bulunmaktadır (Şekil 1.4).



Şekil 1.4. Batı Anadolu’da bulunan grabenlerin Erken Miyosen’den günümüze kadar gelişim evrelerini gösteren şematik blok diyagram (Yılmaz, 2000)

Türkiye’nin önemli jeotermal alanlarının çoğu bu grabenlerin kenarlarında bulunmaktadır. Büyük Menderes grabeni bunlardan biri ve D-B uznaımlı olup Denizli’nin doğusundan başlayarak Ege Denizi içinde devam ederek yaklaşık 200 km’ye ulaşır. Büyük Menderes grabeni, Söke’de 35 km, Nazilli’de 35 km, Denizli’de 40 km, Salavatlı’da 10 km ve Buharkent’te 5 km genişlik sunar.

Çalışma alanı Batı Anadolu Bölgesinde Menderes masifi içinde Büyük Menderes kıtasal rift zonunun kuzey kanadında bulunan Güvendik ve Malgaçemir köyleri arasında bulunmaktadır. Yöre jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik

kayaçlar ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Karamanderesi ve Helvacı, 2003).

Paleozoyik kayaçlardan mermerler kırık-çatlak sistemleri ve karst boşlukları ile iyi bir rezervuar kayacı özelliği taşımaktadır. Burada mika şistler geçirimsiz taban kayaçlarını oluşturmaktadır. Miyosen-pliyosen yaşlı sedimanter kayaçlar çalışılan alanda geçirimsiz örtü kayaçları olarak adlandırılabilir. Hidrojeolojik olarak çalışma alanında Malgaçemir ve Güvendik jeotermal kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların yüzey sıcaklıkları 30 °C sıcaklığa kadar ulaşmaktadır. Burada yapılan sondaj çalışmalarında 140 °C olan rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir.

Batı Anadolu'da çok büyük bir alan kaplayan "Menderes Masifi", KD-GB uzanımlı, yumurta biçimli bir görünüm sunar. Yaklaşık D-B uzanımlı Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz ve Simav grabenleri masifi 4 asmasife bölerler (Dora,1995). Masifin KB kenarı İzmir-Ankara zonu'nun (Brinkmann, 1966) ofiyolitik kaya topluluğuyla, G kenarı ise Toros kuşağı ile sınırlanır. Batı uzantısı Ege Denizi'ndeki Kiklad adalarında gözlenirken, doğuda parçalanarak kalın neojen örtünün altında kaybolur.

1960'lı yıllarda Menderes Masifi'nin Varistik ya da daha yaşlı dönemlerde metamorfizmaya uğradığı varsayılıyordu (Schuiling, 1958,1962). Zamanla Masifin Ana Metamorfizmasının Alpin yaşı hakkında daha kesin veriler kazanılmıştır.(Brinkmann 1966, Şengör vd., 1984; Dora 1992; Dora vd., 2001). Yine 1960-1970 li yıllarda metamorfik kayaların ilksel malzemesinin çoğunlukla sedimanter kökenli olduğu görüşü egemendi, ancak son yıllarda, Masif içinde çok kalın metavolkanit (leptit) istifi ve büyük metagranit ve metagranadiyorit kütleleriyle, pek çok yörede postmetamorfik asidik ve bazik sokulumlar ortaya çıkarılmıştır.

Menderes Masifi'nin çekirdeğini oluşturan gözlü gnays, granitik gnays ve migmatitten yapıli gnays birimi oluşturur. Hiçbir yerde gnaysın tabanını görmek olası değildir. Görünür kalınlığı 2-3 km'yi bulmaktadır.

Gnays birimini uyumlu olarak metavolkanitler (dar anlamda leptitler) üstler. Son yıllarda gnays birimi le metavolkanit birimi arasında yer alan, 5-300 m kalınlığında bir “mavi gözlü gnays” düzeni bulunmuştur.

Bu düzey içinde bol miktarda gnayslaşmamış leptit kalıntılarının gözlenmesi, bunların ilkel kayaçlarının leptitler gibi volkanik kökenli olduğunu göstermektedir. Gri açık pembe renkli olan metavolkanitler, kötü yapraklanmış, boynuztaşı benzeri kayalardan yapıldır ve kısmen porfirik doku sunarlar. Bu nedenle kayaların ilksel volkanik kriterleri hala tanınabilmektedir. Andezitten riyolite kadar değişen bir kimyasal bileşim sunarlar. Öte yandan, metavolkanitler içinde çok sık rastlanan bazik dayklar zengin anortit ve piroksen kapsarlar ve bu dinlenmiş yapılar sunarlar.

Radyometrik yaş saptamalarına göre, gnays birimi ve metavolkanitler için Prekambriyen-Kambriyen arası bir yaş kabul edilmektedir. Metavolkanit birimini, ilk bakışta uyumlu izlenimini veren bir dokanak ile şistler üstler. Şiddetli metamorfizma ve yapraklanma nedeniyle bu dokanağın uyumlu gözüktüğü, bölgedeki önemli rejim değişikliği ve bilinen ilk metamorfizma nedeniyle metavolkanitlerle şistler arasında bir uyumsuzluğun varlığı düşünülmektedir (Şekil 1.5).

			LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	ÖRTÜ KAYAÇLAR	Kuvaterner		Plaj ,kumul Traverten Alüvyon Eski alüvyon, alüvyon yelpazesi ~ Uyumsuzluk ~ Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı
		Pliyosen		Kireçtaşı
PALEOZOYİK	MENDERES METAMORFİTLERİ	Miyosen		Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı Kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı Çakıltası ~ Uyumsuzluk ~ Gözlü gnays Bindirme Çeşitli şistler Mermer
		Allokon Topluluk		
		Örtü Seri		Klorit fillit Mikaşist Mermer - kalkşist Disten-staurolit-granat fillit
				Kuarsit Mikaşist/granat - mikaşist
				Migmatit, gnays
				Gözlü gnays, metagranitoyit Gözlü gnays
		Çekirdek Seri		
PREKAMBRIYEN	MENDERES METAMORFİTLERİ			

Şekil 1.5. Menderes Masifinin stratigrafik sütun kesiti (Şimşek ve Gülgör, 1988; Candan vd.,1992)

Ancak bugüne kadar yapılan çalışmalarda Menderes Masifinde uyumsuzluk varsayımını kanıtlayacak kesin veriler henüz elde edilmemiştir. Masifin Güney

sınırında Gökçay Dere/Kavaklıdere dolayında gnayslarla şistler arasında tanımlanan 5-20 m kalınlığındaki metakonglomeralar yukarıdaki varsayımları desteklemektedir (Konak vd., 1987). Özellikle Ödemiş ve Gördes asmasiflerinde şistlerin kalınlığı 4 km'ye erişir. Tabanda daha çok dişten-staurolit-granat şistler egemenken, tavanda granat-mikaşistler bollaşır. Şistler içinde sürekli metakuvarsit, kuvars şist ve kuvars muskovit şist arakatmanlarına rastlanır. Disten staurolit-granat şistlerde iri granat porfiroblasttan kapsayan, koyu renkli amfibolit mercekleri yaygındır. Buna karşın bu tavan şistlerinde fillit ve kalkşist düzeyleri artar. Çine Asmasifi'nde ender de olsa bulunan fosillere dayanarak, şistlerin üst düzeylerinin sedimentasyon yaşının Üst Devon-Üst Permien aralığına düştüğü söylenebilmektedir.

Batı Anadolu K-G yönünde genişleyen sismik yönden aktif bir kabuğa sahiptir (Dewey ve Şengör 1979; Şengör,1987). Bu genişleme kuvvetleri etkisinde şekil değiştiren Batı Anadolu üst kabuğu yaklaşık D-B uzanımlı grabenlerin sınırladığı normal faylarda kırılmıştır. Bu çöküntülerin en önemlilerinde biri Büyük Menderes Grabeni'dir.

Büyük Menderes grabeni'nin alansal büyüklüğü nedeniyle bölgedeki jeotermal akiferleri besleyen akım sistemleri bazı kabuller çerçevesinde izlenmiştir. Buna göre Büyük Menderes grabeninin yaklaşık 200 km'lik D-B doğrultulu uzanımlı morfolojik yapısı dikkate alınarak olası akım sistemleri iki ayrı gruba indirgenmiştir.

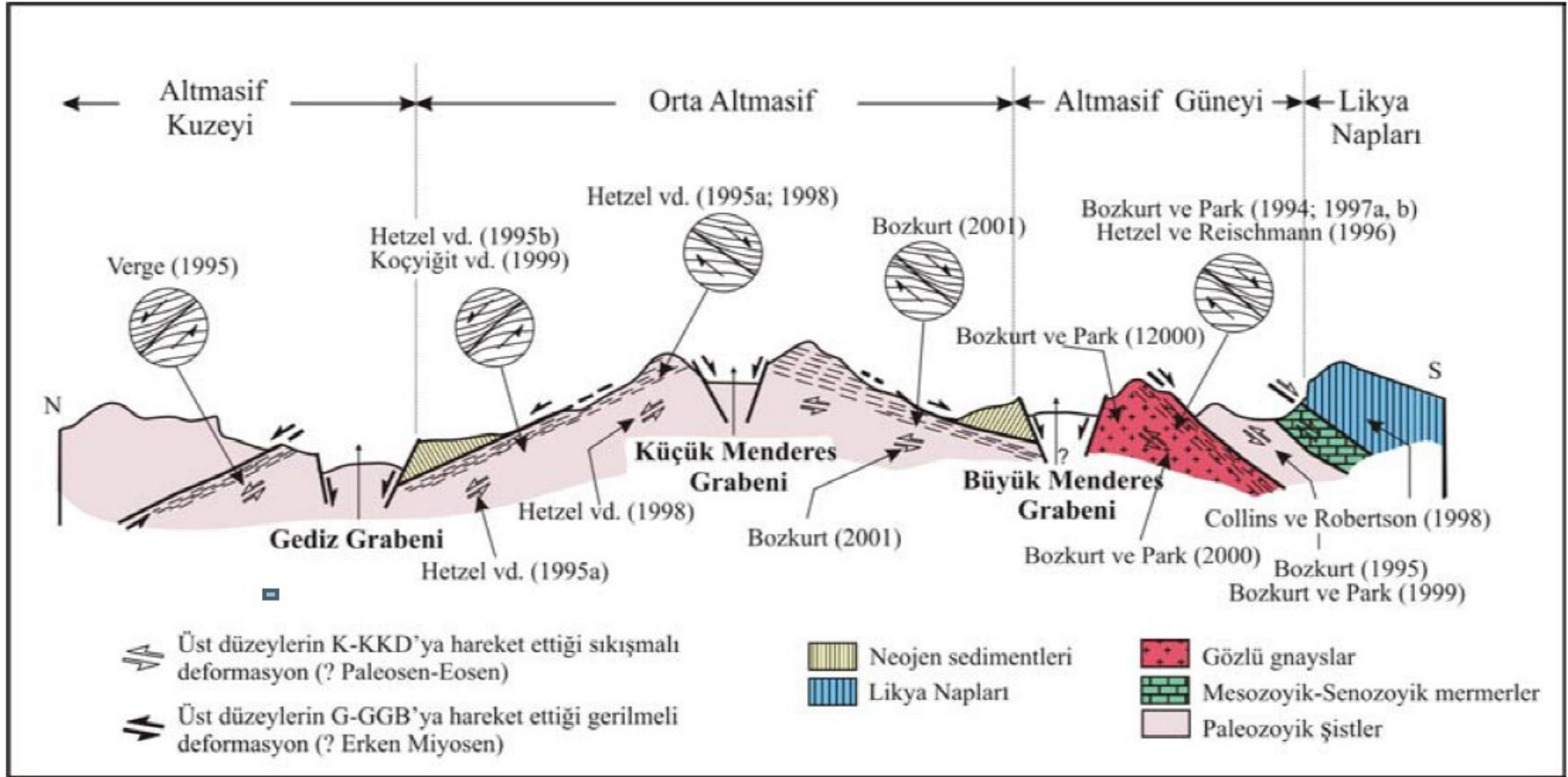
Birincisi graben doğrultusuna paralel uzanan kuzeydeki ve güneydeki yükselim (horst) alanlarından çöküntü alanlarına doğru yeraltısuyu akım sistemidir. Bu çalışmada bu akım sistemi K-G doğrultulu akım olarak adlandırılmıştır. İkincisi ise, grabenin doğu kısmı ile batı sınırını oluşturan Ege denizi arasında ana graben fayları denetiminde gerçekleşmesi olası derin dolaşımly yeraltı suyu akım sistemidir. Bu akım sistemi de D-B doğrultulu akım sistemi olarak adlandırılmıştır.

Asimetrik bir graben görünümünde olan grabenin kuzey kanadındaki basamak faylar daha büyük atılımlıdır. Büyük Menderes Grabeninde kenar faylarının

hemen hepsi eğimleri derine doğru azalan listrik (kürek şekilli) normal faylardır. Bu faylar geometrileri gereği yüzeyde ölçülebilen atımlardan çıkarılabilecek yatay genişleme değerlerinin çok üstünde genişleme (açılma) gösterirler.

Elde edilen gerek jeoloji gerek jeofizik verilerle, Büyük Menderes Grabeninin de yer aldığı Ege Grabenler bölgesinin oluşumundan bu yana yükselme ve kuzey-güney yönlü genişleme olduğu görülmektedir.

Büyük Menderes Grabeni Germencik kuzeyinde Kızılcagedik Horstu, Arzular Grabeni ve Bozköy Horstu yer almaktadır. Batıda ise Gümüşdağ (Samsundağ) Horstu bulunmaktadır (Şekil 1. 6).



Şekil 1.6. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit (Bozkurt, 2001)

“Tektonik Kaçma Modeli” olarak adlandırılan bu jeodinamik modelde ana enerji kaynağını Arap plakasının kuzeye hareketi sağlamaktadır. Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı boyunca Arap ve Anadolu plakalarının yaklaşık Orta Miyosen’de çarpışmaları sonucunda kabuk kalınlaşmaya başlamış, kıtasal kabuğun alt kısımları eriyerek yaygın Doğu Anadolu volkanizmasını oluşturmuştur. Bu kalınlaşmanın kıtasal kabuğun karşılayamayacağı seviyeye ulaşmasının ardından Pliyosen’den başlayarak Anadolu plakası Batı yönüne hareket etmeye başlamıştır. (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Anadolu’nun batıya hareketi sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu ve sol yanal atımlı Doğu Anadolu fayları boyunca gerçekleşmiştir. Batıya doğru hareket eden Akdenizde Helenik dalmabatma zonunun etkisi ile gerilemeye uğramış ve böylece Batı Anadolu’da horst-graben yapıları oluşmuştur. Batı Anadolu’dan Yunanistan’a kadar olan bölge günümüzde de bu kaçma rejimi ile denetlenmektedir (Reilinger vd.,1997).

Anadolu levhası, doğu ve orta kesimlerde batı yönünde yaklaşık 18-22 mm/y hareket etmekte olduğunu bildirmektedir. Hareket batıda saatin tersi yönünde bir rotasyonel harekete dönüşerek Ege hendeğine doğru yüksek bir hızla (40mm/y) ilerlemektedir (Mueller vd.,1997; Yılmaz, 2000). İlerleme hafif kıta kabuğunun, ağır okyanusal kabu üzerine kayması ile sonuçlanmakta, başka bir deyişle Doğu Akdeniz tabanı, ege levhası altına doğru hızla dalıp batmaktadır. Bölgede çeşitli doğrultulu faylar bulunmaktadır. Bunlar D-B, KD-GB ve K-G olarak belirlenmiştir. Hakim doğrultular Söke yöresinde KD-GB, Germencik bölümünde ise D-B’dır. K-G doğrultulular ise daha küçük atımlı ve sahanın tamamında sıkça görülmektedir.

1.3. Çalışmanın Konusu ve Amacı

Bu çalışmanın amacı, Güvendik-Malgaçemir (Aydın) arasında bulunan jeotermal alanın jeoloji haritasının güncellenmesi, minerolojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu modellemektir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Çalışma alanı ve çevresinde daha önce birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan çalışma alanı ve yakın çevresini ilgilendiren çalışmalar şu şekilde sıralanabilmektedir.

Başkan (1970), Germencik ve Bozköy kaplıcalarının hidrojeolojik etüdünü yapmıştır. Bu bölgedeki sıcak suların rezervuar kayacının belli olmadığını, derinlerden faylar boyunca yükselen suların, kısmen doğrudan doğruya, kısmen de mermerler ve rekristalize kireçtaşları içerisinde depolandıktan sonra fay zonlarında yalancı kaynak olarak yüzeye çıktıklarını ifade etmiştir.

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

Şimşek vd. (1981), Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasını detaylı çalışmış olup, bu alanda Menderes metamorfiklerinin genel stratigrafik istifi ile sahanın jeotermal potansiyelini ortaya koymuşlardır. Şimşek (1984), Silika karışım modeli ile Germencik sahasında rezervuar sıcaklığın 220-240 °C aralığında hesaplamış , sondaj çalışmaları sonucunda bölgede Neojen çakıltaşlarının birinci rezervuarı (~200°C), Menderes metamorfiklerine ait albit, gnays ve kuvarsit-kalkşist, mermer birimlerinin ikinci rezervuarı (232°C) oluşturduklarını, kıltaşı kumtaşı ve çakıltaşı ardalanmasından oluşan Neojen yaşlı birimin ise örtü kayacı oluşturduğunu bildirmiştir. Kaya stratigrafik birimleri olarak, Paleozoyik Menderes metamorfikleri ve Senozoyik karasal gölge çökelleri bulunur. Bölgede graben ve horstları oluşturan fayların genellikle birbirlerine paralel normal atımlıdır. Menderes masifindeki grabenlerin oluşumunu açıklayıcı bir model geliştirilmiş, jeotermal olanaklar bu model üzerinde yorumlanmıştır. Pliyo-kuvaternerde, bölgesel tektonik etkilerle grabenleşme başladığını günümüzde de devam ettiğini belirtmiş olup, kaydedilen ve bilinen depremlerde bunu doğrulamaktadır. Pliyosen, Sazak, formasyonu içindeki kireçtaşları birinci, Menderes metamorfiklerinden İğdecik formasyonunun mermer kuvarsit-kalkşist ardalanması ikinci hazne kayayı oluşturmaktadır. Pliyosen birimlerinden,

Kızılburun, Kolonkaya ve yerel olarak Sazak formasyonu örtü kayadır. Geniş beslenme olanağı vardır, özellikle yüksek geçirimli fay zonları, jeotermal hazne kayaların beslenmesini sağlamaktadır. Bölgede gnays-kuvarsit birimi üçüncü haznekaya olabilecek niteliktedir. Bölgede Kızıldere, Tekkehamam, Buldan ve Yenice alanlarının önemli jeotermal enerji potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Kızıldere jeotermal sahasında rezervuardaki jeotermal akışkanların ana graben fayları boyunca yükseldikleri ve rezervuar içinde graben ortasına doğru hareket ettikleri belirlenmiştir. Bu modele dayanarak üretim ve reenjeksiyon alanları önerilmiştir. Jeotermal alanlardan, elde edilecek jeotermal akışkanın, başta elektrik üretiminde olmak üzere sera ve kent ısıtmacılığında, dokuma endüstrisinde, turizm ve sağlık tesislerinde CO₂ (kurubuz) ve diğer kimyasal maddelerin üretiminde kullanılması olanaklıdır. Jeotermal alanlarda entegre tesislerin kurulması halinde, jeotermal enerji yurdumuz için en ekonomik enerji kaynağı olacaktır.

Şimşek (2003), Türkiye'nin aktif tektonik kuşakta yer alması, genç graben ve volkanik etkinliğin bulunması, jeotermal enerji potansiyelinin büyük olabileceğini göstermektedir. Bu konuya dahil ilk önemli araştırma Denizli-Kızıldere ve Tekkehamam jeotermal alanlarında başlamıştır. Bu alanlarda, ilk jeolojik, jeofizik ve jeokimyasal çalışmalardan sonra 17 derin sondaj gerçekleştirilmiştir. Kızıldere, Germencik ve Aydın jeotermal alanlarında yüksek sıcaklık ile $\delta^{18}O$ izotop değerleri arasında gözlenen pozitif korelasyonun, bu bölgelerdeki derin dolaşımı ve su-kayaç ilişkisini işaret ettiğini belirtmektedir.

Karamenderesi ve Helvacı (2003), Aydın-Salavatlı jeotermal sahası Büyük Menderes vadisi orta bölümünde yer alır ve normal faylı bir yapı ile temsil edilir. Aydın-Salavatlı jeotermal sahası stratigrafik kesiti Menderes Masifi metamorfik kayaları ve bunun üzerine Miyosen'den günümüze kadar devam eden döndemde çökelmiş sedimanter kaya topluluklarından oluşmaktadır. Jeolojik veriler Menderes Masifi'ndeki tektonik gelişim ve evreleri ile hidrotermal alterasyonların ilişkili olduğunu göstermiştir. Aydın-Salavatlı jeotermal sahasındaki hidrotermal alterasyon beş farklı evreye ayrılmıştır.

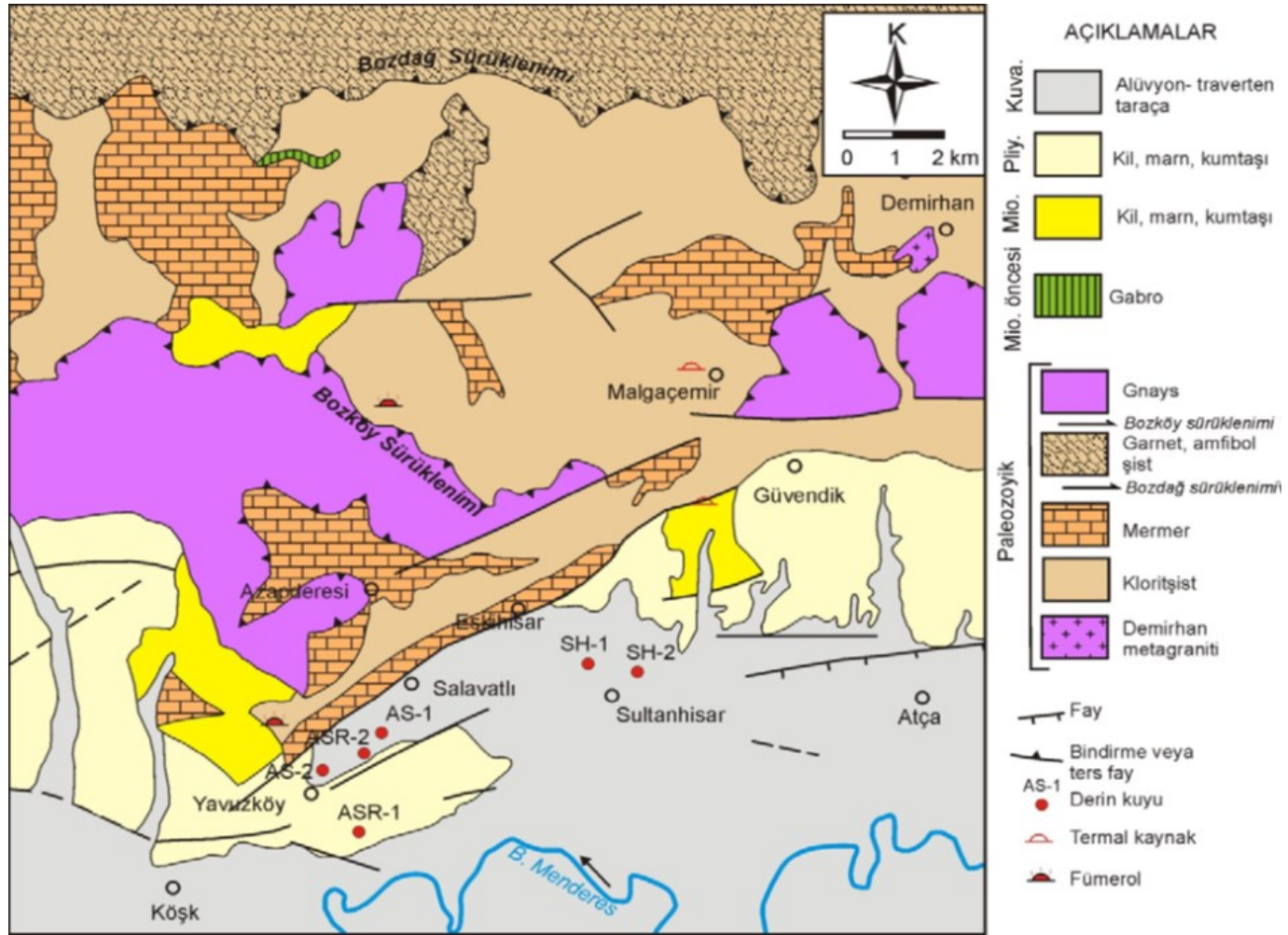
Bu evreler genleşme tektoniği fayları ile belirlenmiş olup Orta Miyosen'den itibaren günümüze kadar devam etmiştir. İlk evre hidrotermal alterasyon civa ve antimuan mineralleşmesi ve bunlarla ilişkili asidik intrüzyonların yerleşmesidir. Bu evre fosil jeotermal sistemlerde gözlenen mineral parajenezleri, rutil mineralizasyonları ve kuvars çatlak dolguları ile karakterize edilmektedir. Gabro ve onlara eşlik eden dayklar ikinci evreyi oluşturur. Bu evrede gnaysların hidrotermal alterasyona uğradığı belirlenmiştir. Üçüncü evrede ise granit intrüzyonları yerleşmiştir. Bu intrüzyonların yan kayalarında spekülurit, talk, kalsit, kuvars ve aragonit mineralleri ile üst boşalım bölgelerinde traverten oluşumları görülür. Dördüncü evre albit-klorit mineralizasyonu il kuzey-güney uzanımlı fay hatlarında belirlenmiştir. Son evre ise yüksek sıcaklık jeotermal akışkanın dolaştığı fay zonlarında belirlenmiştir. Bu fay zonlarındaki hareket 100 metreden fazladır ve graben oluşumunu belirleyen son hareketlerdir. Üst Miyosen tortulları içinde dolaşan jeotermal akışkanlar bu fay zonlarında hidrotermal alterasyona sebep olmuşlardır. Aktif hidrotermal alterasyon mineralojisi kaolinit, illit, montmorillonit, dikit, vermikülit, kalsit, pirit, dolomit ve hidrobiyotit minerallerinden oluşmaktadır. Bu minerallerin varlığı aktif jeotermal akışkan dolaşımının halen sürdüğünü göstermektedir. Aydın-Salavatlı jeotermal sahasının suları, Menderes Masifi kayalarının su-kaya etkileşimi ile gelişen hidrotermal alterasyona bağlı olarak yüksek CO₂ ve B içerikli Na-HCO₃ tipindedir. Jeofizik çalışmaları Salavatlı jeotermal sahasının tektonik yapısını ve konumunu belirlemek için kullanılmıştır.

Karakuş (2010), Büyük Menderes Grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi çalışmasını yapmış, çalışma alanı genelinde termal çıkışlar çoğunlukla Na-HCO₃ tipi sular sınıfına girmektedir. Kasımoğlu (2016), Batıya doğru Ömerbeyli sahasından itibaren güncel/paleo deniz suyunun etkisi ile hidrokimyasal fasiyes Na-Cl türüne dönüşmektedir. Termal suların sülfat derişimleri bölgesel olarak sistematik olarak değişmektedir.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Çalışma alanı, Büyük Menderes grabeninin kuzey kısmında, Aydın il sınırları içerisinde Sultanhisar ilçesinde, Güvendik ve Malgaçemir köyleri arasında yer almaktadır (Şekil1.2). Güvendik ve Malgaçemir köyü bağlı bulunduğu Sultanhisar ilçesine 4-6 km uzaklıkta bulunmakta olup 37° 56' 54" Kuzey ve 28° 10' 33" Doğu gps koordinatlarında bulunmaktadır.

Batı Anadolu Bölgesinde Menderes masifi içinde Büyük Menderes kıtasal rift zonunun kuzey kanadında bulunan Güvendik ve Malgaçemir köyleri arasında bulunan inceleme alanı jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter kayalardan oluşmaktadır (Karamandereci ve Helvacı, 2003; Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Malgaçemir ve Güvendik arasının jeoloji haritası (Karamanderesi ve Helvacı, 2003; Karakuş 2010)

Paleozoyik kayaçlardan mermerler kırık-çatlak sistemleri ve karst boşlukları ile iyi bir rezervuar kayacı özelliği taşımaktadır. Burada mika şistler geçirimsiz taban kayaçlarını oluşturmaktadır. Miyosen-pliyosen yaşlı sedimanter kayaçlar çalışılan alanda geçirimsiz örtü kayaçları olarak adlandırılabilir. Hidrojeolojik olarak çalışma alanında Malgaçemir ve Güvendik jeotermal kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların yüzey sıcaklıkları 30 °C sıcaklığa kadar ulaşmaktadır. Burada yapılan sondaj çalışmalarında 140 °C olan rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir (Şekil 3.2).

			LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	ÖRTÜ KAYAÇLAR	Kuvaterner		Plaj ,kumul Traverten Alüvyon
		Pliyosen		Eski alüvyon, alüvyon yelpazesi ~ Uyumsuzluk ~ Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı
		Miyosen	Söke volkanitleri	Kireçtaşı Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı Kumtaşı, kıltaşı, çamurtaşı
PALEOZOYİK	MENDERES METAMORFİTLERİ	Allokon Topluluk		Çakıltası ~ Uyumsuzluk ~ Gözlü gnays Bindirme Çeşitli şistler Mermer
				Klorit fillit Mikaşist Mermer - kalkşist Disten-staurolit-granat fillit Kuvarsit Mikaşist/granat - mikaşist
PREKAMBRIYEN	MENDERES METAMORFİTLERİ	Çekirdek Seri		Migmatit, gnays Gözlü gnays, metagranitoyit Gözlü gnays

Şekil 3.2. Malgaçemir-Güvendik arasındaki stratigrafik kesiti (Şimşek ve Gülgör, 1988; Candan vd.,1992)

Büyük Menderes Grabeni'nin temelini oluşturan Paleozoyik yaşlı kristalen temelin en altında feldispat, kuvars ve mikadan oluşan gnayslar yer alır.

Ganyslar tedrici olarak mikaşistlere geçerler ve yer yer mermer seviyelerinin üzerinde bulunurlar. Mermerlerin üzerinde geçirimsiz oldukları için iyi bir örtü oluştururlar. Mermerler sahada oldukça yaygındırlar. İnce kalsit damarlı, erime boşluklu yer yer dolomitik, bazen muskovit ve serizit ara katkılıdır.

Metamorfizma ile gözeneklilik, erime boşlukları hariç, tamamen ortadan kalkmıştır. Buna karşılık tektonizma sonucu geçirimlilik artmış ve rezervuar kaya özelliği kazanmıştır.

4. MATERYAL VE METOD

Çalışmalarımızı yürüttüğümüz bölgenin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için Malgaçemir-Güvendik (Aydın) jeotermal alanında ayrıntılı bir çalışma yapılmıştır. Amacımıza ulaşmak için yapılan çalışmaların bir kısmında su örnekleri alınmış ve bu örnekler gerekli standartlar ve uygun analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Bu bölümde kullanılan malzemeler, saha çalışmalarında kullanılan yöntemler, laboratuvar analizleri ve veriler yorumlanarak tartışılmıştır. Arazi çalışmaları, arazide ölçülen in-situ parametreleri ve oradan alınacak sıcak su örneklerini içermektedir. Su örnekleri çalışma alanının farklı lokasyonlarından temsili olacak şekilde alınmış olup daha sonra alınan bu örnekler fiziksel parametreleri, anyon ve katyonların belirlenmesi için analiz edilmiştir.

4.1. Metod

Bu bölümde tüm aşamaları içeren jeoloji, jeotermal suların hidrojeokimyası, izotop jeokimyası, su örnekleri alımı, laboratuvar analizleri ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yöntemlerinden bahsedilmektedir.

4.1.1. Jeolojik Çalışma

İnceleme alanı olan Malgaçemir-Güvendik arası ve çevresinin jeolojisi, hidrojeolojisi, hidrojeokimyası, izotop jeokimyası ve yörenin jeotermal potansiyeline yönelik çalışmalar ilk olarak MTA (Maden Tetkik ve Arama genel Müdürlüğü, Ankara tarafından) başlatılmıştır. Önceki çalışmalar, çalışma alanıyla ilgili yapılan araştırmalar incelenmiş ve var olan veriler arazide yapılan gözlemlerle desteklenmiştir.

4.1.2. Örneklemeye ve In-Situ Analizleri

Araziden alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi başka parametreler de incelenmelidir. Bu parametrelerle ilgili olarak tüm laboratuvar standartları göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Örneğin, su örneklerini hidrojeokimyasal analiz etmek için 100 ml olan polipropilen şişelerde katyon ve

anyon olarak ayrı ayrı örnekler alınmıştır. Örneklerin şişelere alınması ve muhafaza edilmesi sırasında dikkatli davranılmış ve şişelerin hava almaması için ağızları kapatılırken kapaklarına da su doldurularak kapatılmıştır. Arazi çalışmaları kapsamında çalışma alanı ve yakın çevresinden Malgaçemir sıcak su kaynağı ve Güvendik araştırma, üretim ve reinjeksiyon sondajı olmak üzere 3(üç) farklı lokasyonda sıcak su örnekleri alınmıştır ve bunlara ait in-situ ölçümleri (koordinatlar, su sıcaklığı, pH, Eh, çözülmüş oksijen miktarı, elektriksel iletkenlik, pH değerine bağlı olarak HCO_3^- ve CO_3^{3-} miktarını belirlemek için alkalilik değerleri ve Rn değerleri) gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri

Burada alınan katyon örneği pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde derişik HNO_3 ile korunmaya alınmıştır. Bu sıcak su örneklerinde anyon ve katyon analizleri ülkemizde akredite olmuş Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında duraylı izotoplar ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) ve trityum (^3H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmıştır.

4.1.3. Hidrojeokimyasal Analizler

Çalışma kapsamında, su örneklerinin in-situ analizleri ve hidrojeokimyasal analizler Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler için kullanılan cihazlar ve hidrojeokimyasal parametreler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

ICP-OES (Bağlı Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi) hareketli atomları ve belirli bir elemanın karakteristik dalga boyunda elektromanyetik radyasyon yayan iyonları üretmek için indüktif plazma birleştğinde kullanılan emisyon spektroskopisi türüdür. Bu emisyon yoğunluğu örnek içinde elementlerin konsantrasyon göstergesidir. Mekanizmaları ile ilgili ayrıntılar birçok metin ve Stefansson vd. (1981) gibi makalelerde tarif edilmiştir.

Çizelge 4.1. In-Situ Cihazları ve Özellikleri

In-situ Parametreleri	Ölçüm birimleri	Cihaz adı ve marka
Sıcaklık	$^{\circ}\text{C}$	Thermometer-Testo-95-1
pH		pH meter-WTW 330i
Redoks Potansiyeli (Eh)	mV	pH meter-WTW pH 95
Elektriksel İletkenlik (EC)	$\mu\text{S/cm}$	Electrical conductivity measure-WTW cond 330i and 340i
Çözünmüş Oksijen (O_2)	Mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinity Test kit- Merck Aquamerck 11109

IC (İyon Kromatografi) kendi şarja dayalı iyon ve polar moleküllerin ayrılmasını sağlayan bir süreçtir. Enjekte edilecek çözelti, genellikle bir örnek olarak adlandırılır ve ayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek hacim bir örnek döngü içine, elle veya otomatik örnekleyici ile de tanıtılır. Mobil faz

olarak bilinen tamponlu, sulu bir çözelti hareketsiz faz malzeme döngü içine bir kolon üzerine örnek taşır. Hedef analiz sabit faz üzerinde muhafaza edilir, ancak ikinci durağan faz, analiz iyonlarının yerini aynı yüklü türlerin konsantrasyonunun arttırılması ile ayrıştırılır. İlgilenilen analiz dah sonra, tipik iletkenliği veya UV/VIS ışık absorbe ile, bazı yöntemlerle tespit edilmelidir.

4.1.4. Jeotermometreler

Jeokimyasal termometreler, jeotermal sistemlerin ayrıştırılması ve geliştirilmesi için önemli bir araç olmaktadır. Bu termometreler aynı zamanda jeotermal rezervuarların üretimi esnasında etkilenmesinin izlenmesi bakımından önemlidir. Arama aşaması süresince, jeotermometreler sondaj çalışmalarında beklenen çıkış sıcaklığı gibi yeraltı sıcaklığını tahmin etmek için de kullanılır. Burada sıcak suların ve fumarollerin kimyasal ve izotop jeokimyasal bileşimi kullanılır.

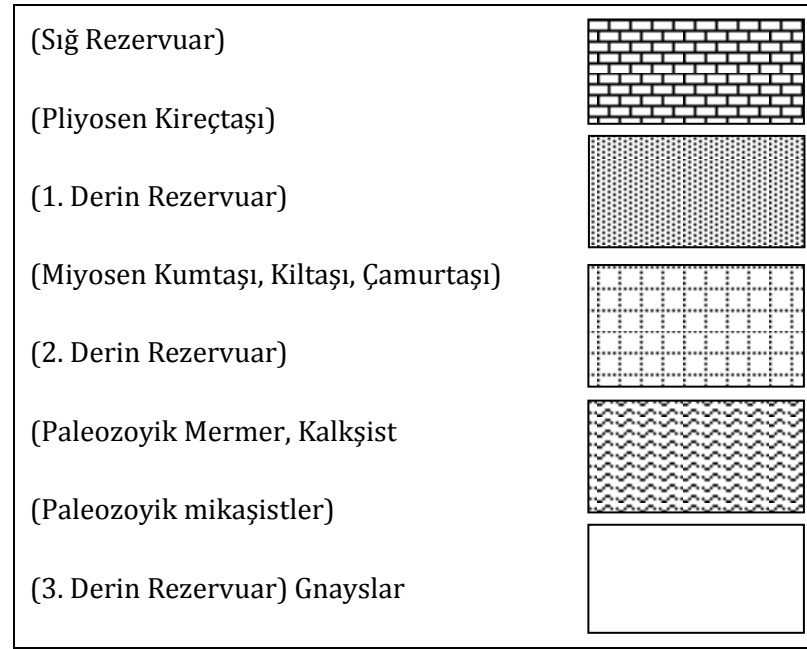
Jeotermal geliştirme ve izlemelerin son aşamasında jeokimyasal termometreler kuyularda üretim seviyelerinin yerlerine riayet ederek kuyu deşarzının bileşimini yorumlayabilmek için kullanılır. Jeokimyasal termometreler ayrıca kuyu çevresinde deşarj oluşturan soğuk sular tarafından geliştirilen kaynama ve/veya basınç olayları sonucu oluşan azalma zonlarında oluşan kimyasal reaksiyonları açıklamak için faydalıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Jeotermal alanlarda jeotermal akışkanın yeraltında birikebileceği gözenekli ve geçirimli kayalar gereklidir. Çalışılan alanda temeli jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metagranitler, klorit şist ve mermer ardalanması, bunların üzerine Bozdağ bindirmesi ile gelen granatlı amfibolşistler ve hepsinin üzerine Bozköy bindirmesi ile gelen gnayslardan oluşmaktadır. Bu metamorfik kayaçlar Miyosen öncesi yaşa sahip gabrolar tarafından kesilirler ve Miyosen Pliyosen yaşlı kil, marn, kumtaşı ardalanmasından oluşan birimler tarafından uyumlu olarak örtülürler. Burada kuvarterner yaşlı alüvyon, traverten ve yamaç molozu en genç birimi oluşturmaktadır. Yörede Germencik doğusunda, Söke batısında yer alan ve yer yer Pliyosen çökellerini kesen muhtemelen Orta Miyosen yaşlı genç volkanik kayaçlar belirlenmiştir. Bu volkanik kayaçlar Söke batısında bazalt ve andezitten, Germencik batısında Ortaklar yakınında ise, dasit ve andezitten oluşmaktadır. Söke batısındaki volkanik çıkışlar KD-GB doğrultulu lav domu zinciri şeklinde görülmektedir. Ortaklar kuzeyinde Çataltepe ve Kaynaktaş mevkiinde görülen dasit çıkışı 3 km²'lik bir alanı kapsamaktadır.

Taze kaya sarımsı, sert, keskin köşeli kırıklı ve eklem takımları belirgindir. Uzanımı Ömerbeyli fayı doğrultusunda olup BKB-DGD şeklindedir. Asit volkanik kayaçlar olarak görülen ve jeolojik haritaya işaretlenen bu volkanik çıkışların jeotermal enerji açısından ilk değerlendirmeler yapılırken sahanın olumlu olacağının bir delili olarak görülmüştür. Aynı zamanda yöredeki yüksek ısı gradyanının açıklanmasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, ÖB-6 sondajında 760-770 metrelerde olivin bazalt daykı kesilmiştir. Bu rezervuar, yoğun graben tektoniği altında oluşan basamaklı fay sistemi ile sert kırılğan litolojilerin ikincil gözeneklilik ve geçirimlilik kazanması sonucu oluşmuştur. Çalışılan alanda bulunan killi şistler jeotermal rezervuar için geçirimsiz taban kayacını oluştururken şistler içindeki mermer ardalanması da rezervuar kayacını oluşturmaktadır. Burada geçirimsiz örtü kayacını da killi şistler oluşturmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Hidrojeoloji Birimleri

5.1.1. Hidrojeokimya

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kaynaklardan toplam alanı temsil eden 3 adet su örneği alınmıştır. Su örneklerinin alınmasından önce, bölgede her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için kullanılan in-situ cihazları (Çizelge 4.1), Jeoser Yerbilimleri Servisi Ltd. Şti., Isparta tarafından sağlanmıştır.

Ölçülen in-situ parametreleri sıcaklık pH, redoks potansiyeli (Eh), çözülmüş oksijen (O_2), elektriksel iletkenlik (EC) ve alkanite olmaktadır. Belirtilen katyonlar ve elementler, Na^+ , Ca^+ , Mg^+ , K^+ , Si^{+4} , B^{+3} , ICP-OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Buna karşın belirtilen anyonlar F^- , SO_4^- , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{-2} iyon kromatografisi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir. Buna karşın belirtilen anyonlar F^- , SO_4^- , Cl^- , NO_3^- , CO_3^{-2} iyon kromatografisi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir. HCO_3^- ve CO_3^{-2} değerleri arazide gerçekleştirilen alkanite ölçümleri yoluyla hesaplanmıştır.

Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem Version. 3.7, (Calmbach, 1999) kullanılmıştır.

5.1.2. Hidrojeokimyasal Analizler

Malgaçemir-Güvendir çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM Version. 3.7 (Calmbach, 1999) kullanılarak değeriendirilmiştir. Aynı şekilde, bu yazılım programı yoluyla çalışma alanı ve yakın çevresinin jeotermal sularını tanımlanmıştır.

AQUACHEM v.3.7; su kalitesi verilerinin analizi, grafik oluşturulması ve rapor hazırlanması için kullanılmıştır.

Güvendir-Malgaçemir arasında bulunan jeotermal sulardan 850 m derinliğe ulaşan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan alınan sıcak su örneğı (ST2) Na-HCO₃ tipi ve Malgaçemir kaynağından alınan su örneğı (ST-1), eskiden Güvendir sıcak su kaynağından alınan su örneğı (ST-3) Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılabilir (izelge 5.1)(izelge 5.2) (izelge 5.3).

Çizelge 5.1. İnceleme Alanındaki Örneklerin Su Tipleri

Örnek No	Lokasyon	Su Tipi
ST-1	Malgaçemir Kaynağı	Ca-Mg-HCO ₃
ST-2	Güvendir Üretim Kuyusu	Na-HCO ₃
ST-3	Güvendir Kaynağı	Ca-Mg-HCO ₃

Çizelge 5.2. Güvendik- Malgaçemir arası alanın jeotermal Sularının in-situ ölçümleri ve hidrojeokimyasal analizleri

Örnek	Lokasyon	T (°C)	pH	Eh (mV)	O ₂ (mg/l)	EC (µS/sm)	HCO ₃	CO ₃
ST - 1	Malgaçemir Kaynağı	31,5	7,34	252,8	4,7	957	567,3	bdl*
ST - 2	Güvendik Üretim Kuyusu	133	8,86	403,00	0,1	5010	3050	276
ST - 3	Güvendik Kaynağı	31,2	7,98			1610	984	

Çizelge 5.2. (Devam)

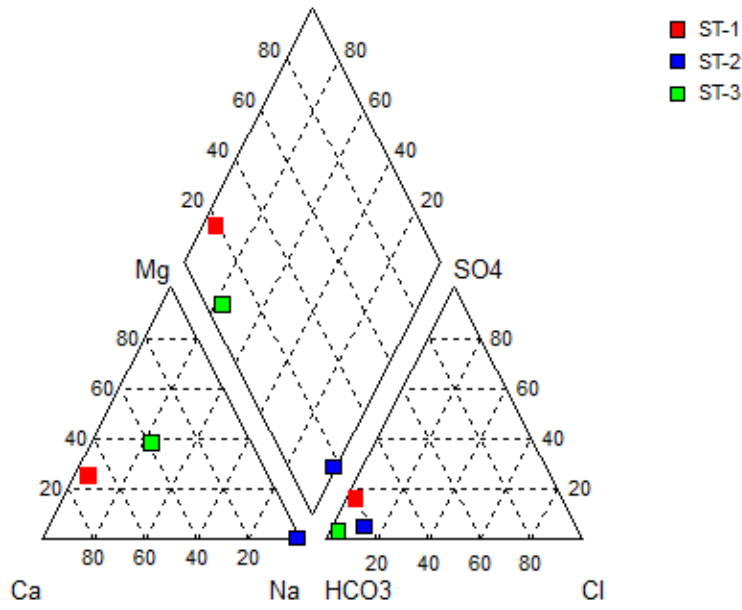
Örnek	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SiO ₂	Al ³⁺	B ³⁺	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	PO ₄ ³⁻	F ⁻
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
ST - 1	12,1	2,81	148	32,4	15,6	0,2	0,1	89,3	0,8	14	0,1	0,2
ST - 2	1312	103	12,6	1,58	198	0,2	53	149	0,1	261	1,3	
ST - 3	93,0	5,07	136,7	81,8	101	0,01	4,75	25,4	0,1	20,3		

*: Below detection limit: Deteksiyon limit altında değer

Piper diyagramı gerek iyonların topluca tek bir diyagram ile görüntülenmesinin kolaylığı açısından, gerekse benzer ve farklı kökenli suların karşılaştırılması kolaylığı açısından hidrojeolojide oldukça sık kullanılan diyagramlardandır.

Majör anyonlar Cl-SO₄-HCO₃ baz alındığında (Giggenbach, 1988), bu üçgen diyagramı jeotermal suları sınıflandırmak için kullanılır. Bu olgunlaşmamış kararsız suları ayırt etmeye yardımcı olur ve karıştırma ilişkileri coğrafi gruplaşmalar bir ilk göstergesidir. Bu çalışma alanında bulunan duyarsız suları ayırt etmeye yarar ve burada bulunan suların karışım ilişkileri ile ilgili belirteçleri verir.

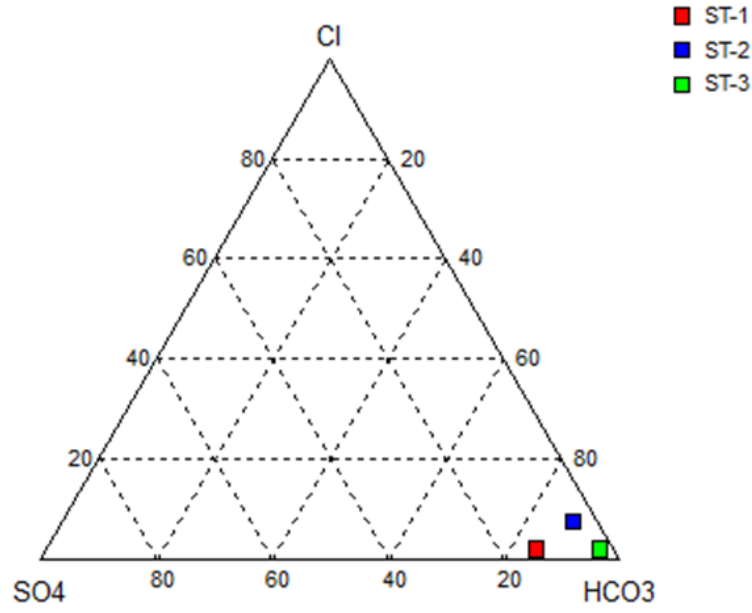
Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal su tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmının Na-HCO₃ su tipini yansıttıkları görülmektedir (Şekil 5.2). Diğer bir kısmı ise daha çok Ca-HCO₃ su tipini yansıtmaktadır.



Şekil 5.2. Çalışma Alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi

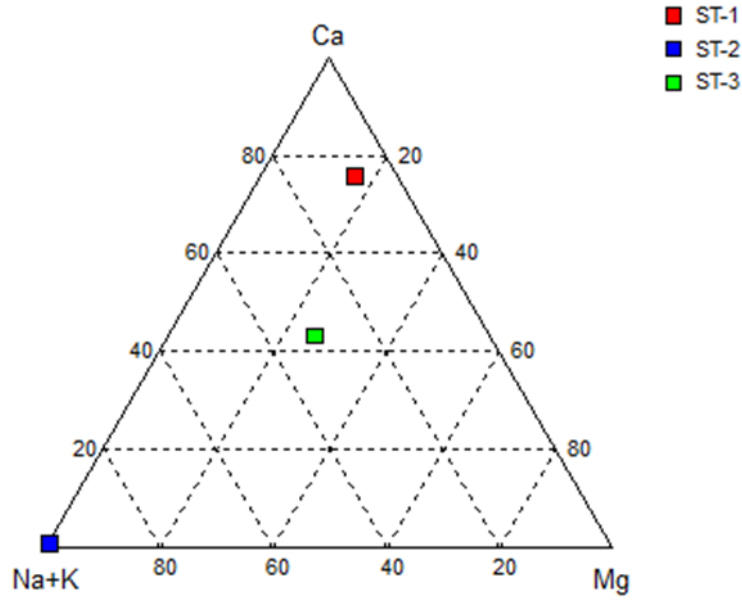
Suları isimlendirmek, birbiri ile karşılaştırmak, iyonlar arası etkileşimleri araştırmak ve kökeni ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla suların hidrojeokimyasal su tipinin belirlenmesine yönelik çeşitli yöntemler önerilmiştir. Hidrojeokimyasal fasiyes kavramı, suların içerdikleri başlıca iyonların oranlarına bağlı olarak sınıflandırılması esasına dayanmaktadır. Suda çözünen başlıca iyonlardan anyonlar ve katyonlar olmak üzere mek/l cinsinden %50'den fazla olan iyonlar hidrokimyasal su tipini belirtmektedir. Eğer iyonların hiçbirisi miktar olarak %50'yi geçmiyorsa karışık su tipini belirtmektedir.

Sıcak ve mineralli suların diğer bir sınıflandırılması da $\text{SO}_4\text{-Cl-HCO}_3$ üçgen diyagramına göre yapılabilmektedir (Giggenbach,1991). Bu sınıflamaya göre ST-2 sıcak su örneği HCO_3 , SO_4 ve Cl yönünden oldukça zengin olup bu sular $\text{Na-(SO}_4\text{)-(Cl)-HCO}_3$ tip sular olarak adlandırılabilir. Buna karşın ST-1 ve ST-3 örneğindeki sıcak sular Ca-HCO_3 tipi sulardır ve Cl ve SO_4 yönünden beklenildiği gibi oldukça fakirdir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Malgaçemir-Güvendik arasında bulunan jeotermal suların Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramında gösterilmesi

Güvendik araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusunda $Na+K>Ca>Mg$ şeklinde katyon sıralaması söz konusu iken bu durum Malgaçemir sıcak su kaynağı ve eski Güvendik kaynağında (Karakuş, 2010) aşağı yukarı $Ca>Mg>Na^{+k}$ şeklindedir. Bu karşıtlık daha çok jeotermal sulara soğuk su yeraltısuyu karışımı ile açıklanabilir. Bunların yanında anyon sıralaması $HCO_3>Cl>SO_4$ (araştırma, üretim ve/veya üretim kuyusunda) veya $HCO_3>SO_4>Cl$ (Malgaçemir-Güvendik sıcak su kaynaklarında) şeklindedir.



Şekil 5.4. Çalışma alanında jeotermal suların Na+K-Ca-Mg üçgen diyagramı

İnceleme alanında bulunan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan elde edilen sıcak sularda 53 mg/l değerine ulaşan B^{3+} değerleri söz konusudur ve bu değer doğuda Kızıldere'den Germencik yöresine doğru artan değerler ile tam uyarlık göstermektedir (Özgür, 2001). Burada çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars (buhar kaybı yok; Fournier, 1977), kuvars (100 °C'de buhar kaybı var; Fournier, 1977) ve kuvars (D'Amore ve Amorsson, 2000) en uygun jeokimyasal termometre olmakta ve 133 ile 138 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir (Şekil 5.4).

5.1.3. Doygunluk İndeksi

Farklı kullanım alanlarıyla insanlığa hizmet eden termal suların bir yerden bir yere taşınması sırasında kabuklaşma yada korozyon gibi çok önemli sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların yaşanmasında suyun mineral doygunluğu, çökme ve çözülme özellikleri büyük ölçüde etkindir. Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve diyagramın çizilmesi, bu

sorunların önlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Bunun için kullanılan mineral sıcaklık diyagramlarında Pozitif doygunluk indeksi çökeltici özelliği, negatif doygunluk indeksi ile çözündürücü özelliği ifade etmektedir. Doygunluk indeksleri, jeotermal sistemde kayaç ile su arasında meydana gelen kimyasal dengelenmeyi değerlendirmede yararlıdır.

Bu, hidrotermal alterasyona uğrayan kayaçları oluşturan minerallerin çözünürlüğü ve bu minerallerin aktiviteleri ile ilgili bilgilerin toplanması ile sonuçlandırılır. Çözeltilerde iyonların, iyon çiftlerinin ve komplekslerin çok sayıda olması nedeniyle, her tip mineral ve bunların aktiviteleri için doygunluk indeksleri geliştirmek yazılım programı kullanımını zorunlu kılmaktadır.

En çok bilinen ve kullanılan “Langelier Saturation Index” hesaplama yöntemidir.

Langelier İndeks Hesaplamasında Kullanılan Formül şu şekildedir;

$$LI = pH - pH_s$$

LI: Langelier İndeks

pH: Suyun ölçülen pH değeri

pH_s: Suyun hesaplanan doygunluk pH'ı

Formülden de anlaşılacağı gibi Langelier indeksi suyun ölçülen pH'ı ile hesaplanan doygunluk pH'ı (pH_s) arasındaki farka dayanır. Oluşan bu farkın yorumlamasını daha sonraki bölümlerde açıklanmıştır. pH_s'in hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı kullanılmaktadır.

$$pH_s = \log K_{sp} - \log K_2p - \log [Alk/50\ 000] - \log [Ca/100\ 000] - \log f_m$$

Yukarda yazılan formülle suyun pH_s değerini hesaplamak için suyun sıcaklık, toplam çözünmüş katı madde miktarının (veya iletkenliğinin), alkalinitesinin,

kalsiyum miktarının, karbonik asidin ikinci ayrışma sabitinin ve kalsiyum karbonat çözünürlük sabitinin bilinmesi gereklidir. Bunlar bilindikten sonra hesaplama aşağıdaki sırayla yapılır.

°C cinsinden ölçülen sıcaklık °K'e çevrilir.

$$\text{Sıcaklık, } T_k = T_C + 273$$

T_k; Kelvin olarak sıcaklık, T_c; Celcius (Santigrat) olarak sıcaklık

İyonik gerilim hesaplanır.

$$\text{İyonik gerilim, } I = T_{\text{ÇK}}/40\,000 \text{ (1000'den küçük } T_{\text{ÇK}} \text{ için geçerlidir.)}$$

$$T_{\text{ÇK}}; \text{ Toplam çözünmüş katı, mol/L}$$

T_{ÇK} bilinmiyorsa deneysel olarak tayin edilir. T_{ÇK} deneysel olarak tayin edilirken, iletkenlik(μS/cm) tayini de yapılarak T_{ÇK} ve iletkenlik arasında bir sabit bulunur. Sonraki uygulamalarda bu sabiti kullanmak daha pratik olacaktır. Çalışma şartlarında böyle bir tayin yapılamıyorsa aşağıdaki formülü kullanabiliriz.

$$T_{\text{ÇK}} = \text{İletkenlik } (\mu\text{S/cm}) * 0.65$$

Dielektrik Sabiti ve "A" sabiti hesaplanır.

$$E = [60954/(T_k+116)]-68.937$$

$$A = 1.82*10^6*(E*T_k)-1.5$$

Monovalent aktiflik katsayısı(f_m) hesaplanır.

$$S = [(A*I^{1/2})/(1+I^{1/2})-0.3*I]$$

$$f_m = 10^{-s}$$

Monovalent aktiflik katsayısı(f_d) hesaplanır.

$$f_d = f_m^4$$

Karbonik asitin 2. ayrışma sabitinin düzeltilmesi yapılır.

$$b = 107.8871 + 0.3252849 \cdot T_k - (5151.79 / T_k) - 38.92561 \cdot \log T_k + (563713.91 / T_k^2)$$

$$K_2 = 10^{-b} \text{ (273 - 373 0K arasında geçerlidir.)}$$

$$K_{2p} = K_2 / f_d$$

Hesaplama 1. adımda bulunan T_k değeri kullanılır.

Kalsiyum karbonatın çözünürlük sabitinin düzeltilmesi yapılır.

$$d = 171.9065 + 0.077993 \cdot T_k - (2839.319 / T_k) - 71.595 \cdot \log T_k$$

$$K_s = 10^{-d} \text{ (273 - 373 0K arasında geçerlidir.)}$$

$$K_{sp} = K_s / f_d^2$$

Kalsiyum tayini yapılarak, kalsiyum karbonat cinsinden hesaplanır.

Alkalinite tayini yapılarak, kalsiyum karbonat cinsinden hesaplanır.

Bulunan değerler formülde yerine konarak, pHs ve Langelier Index hesaplanır.

Bu çalışmada Aquachem programı doygunluk indeksini hesaplamak için kullanılmıştır. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplamasında basınç 1 atm

olarak alınmış ve pH sabit tutulmuştur. Bulunan bu değerler Excel programına aktarılarak mineral doygunluk çizelgesi oluşturulmuştur (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Çalışma Alanındaki Örneklerde Rastlanabilecek Bazı Minerallerin Doygunluk İndeksleri

Mineraller	ST-1	ST-2	ST-3
Anhidrit	-4,39	-6,00	-4,39
Aragonit	-8,38	-9,74	-8,38
Florit	-10,53		-10,53
Kalsit	-8,52	-9,82	-8,52
Kalsedon	-3,48	-2,63	
Dolomit	-17,24	-18,93	-17,23
Jips	-4,59	-5,07	-4,58
SiO ₂ (a)	-2,66	-2,06	
Sepiyolit	18,66	13,67	

5.1.4. Jeokimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Termal sular yer altında farklı sıcaklık ve basınç koşullarının altında bulunur ve bulunduğu kayaç ile etkileşime girer. Bu etkileşim rezervuar kayacın minerolojisine bağlı olarak su kimyasını da değiştirir. Jeotermometreler su kimyasındaki bu değişimden yola çıkarak rezervuar sıcaklığını hesaplamaya yönelik oluşturulmuş denklemlerdir.

Jeotermometre eşitlikleri kullanılış şekillerine göre ikiye ayrılmaktadır. Bunlar; Birleşik (kombine) Jeotermometre uygulamaları ve Kimyasal Jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre uygulamaları da kendi içerisinde Silis Jeotermometreleri ve Katyon Jeotermometreleri olarak ikiye ayrılır.

Her jeotermometre kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıtır, bu neden bazı jeotermometreler yapılan hesaplarda afaki değerler verilmiştir. Bu durumda yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük akifer sıcaklığı veren K-Mg jeotermometresi bir örnektir. Amorf Silis (Fournier 1977), Amorf Silis (Arnorsson, 1995), Alfa ve Beta Kristobali (Fournier 1979) ve Magonit (Gislason vd.,1996) gibi Silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları verdiğiinden tablolarda gösterilememiştir.

Grafik ve tablo sonuçları dikkatli bir şekilde irdelenmiş ve yorumlamanın daha gerçekçi sonuçlara ulaşması hedeflenmiştir. Çalışma alanına ait rezervuar kayacın sıcaklığının belirlenmesinde Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg jeotermometrelerinden yararlanılmıştır.

5.1.5. Kimyasal Jeotermometre Uygulamaları

Çalışma alanında seçilmiş olan sıcak su örneklerinin, akifer sıcaklıklarını hesaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri kullanıldıkları kimyasala reaksiyon açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan biri mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometre yani Silis jeotermometreleri, diğeri ise çözünmüş iyonların sıcaklığa bağlı iyon takas (ion exchange) reaksiyonlarına dayanan jeotermometre yani katyon jeotermometreleridir (Na-K,Na-Ca, Na-K-Ca, K-Mg, Li-Na vb.)(Doğdu, 2004).

5.1.5.1. Silis Jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir. Silisin çözünürlüğü sıcaklık ve basınç ile değişim gösterir. Silis minerali su içerisinde; kuvars, kalsedon, krsitobalit, opal ve amorf gibi çeşitli formlarda bulunur. Bu formlar su içerisinde birbirinden farklı kinetik özellik gösterir. Bu farklılıktan yararlanılarak haznekaya sıcaklığını tahmin etmede kullanılan silis jeotermometreleri her silis formu için farklı hesaplamalar içerir.

Yüksek sıcaklıklarda akifer kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180 °C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180° C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde is kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (D'Amore ve Arnorsson, 2000).

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225° C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden, yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökeltim gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz.

Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Çizelge 5.4).

Çizelge 5.4. Silis (SiO₂) Jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l) (Tarcan, 2002)

No	Silis SiO ₂ Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	SiO ₂ (Amorf silis)	$t = 731 / (4.52 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
2	SiO ₂ (α Kristobalit)	$t = 1000 / (4.78 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
3	SiO ₂ (β Kristobalit)	$t = 781 / (4.51 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
4	SiO ₂ (Kalsedon)	$t = 1032 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
5	SiO ₂ (Kuvars)	$t = 1309 / (5.19 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
6	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1522 / (5.75 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Fournier, 1977
7	SiO ₂ (Kalsedon kond.soğ.)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
8	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1264 / (5.31 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
9	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
10	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1164 / (4.9 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
11	SiO ₂ (Kuvars buhar kaybı)	$t = 1498 / (5.7 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	Amorsson vd., 1983

5.1.5.2. Katyon Jeotermometreleri

Bir çözeltideki iyonların başka iyonlarla yer değıştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir. Na/K jeotermometresi, Na-K-Ca jeotermometresi ve Magnezyum düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi katyon jeotermometrelerine birer örnektir. Her jeotermometre bağıntısı kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıttığından, aynı element kullanılmasına karşın formüller doğmuştur. Mutlu 1999'a göre; katyon

jeotermometreleri, belirli çözünmü elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değişik reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliği gösteren alkali feldispatlar arasındaki Na ve K değişimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı temel için verilebilecek en güzel örnektir (Çizelge 5.5).

Na/K jeotermometreleri suda fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşması, log (V Ca/Na) değerinin 0.5'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350° C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sularda iyi sonuç vermektedir (Özen, 2002). Na-K-Ca jeotermometrelreinde Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir (Özen, 2002). Jeotermometrenin bu olumsuz yönünü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log (\text{Na} / \text{K}) + \beta \log (\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2,24} - 273,15$$

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. B bir katsayıdır. Eğer log (VCa/Na) değeri (-) ise $\beta=1/3$, (+) ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca $\beta=4/3$ hesaplanan hazne kaya sıcaklığı 100°C'den fazla ise $\beta=1/3$ alınarak hazne kaya sıcaklığı tekrar hesaplanabilir.

Çizelge 5.5. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
2	Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
3	Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
4	Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
5	Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979b
6	Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
8	Na/K (mmol)	$t = 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979a
9	K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
10	Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	$t = 1590 / (0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Kharaka vd., 1982
12	Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t = 1000 / (0.389 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) Cl>0.3	$t = 1195 / (0.130 + \log (\text{Na}/\text{Li}^{0.5})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	$t = 1096.7 / 3.08 - \log (\text{Na}/\text{Ca}^{0.5}) - 273.15$	Tonani, 1980
15	K/Ca	$t = 1930 / 3.861 - \log (\text{K}/\text{Ca}^{0.5}) - 273.15$	Tonani, 1980

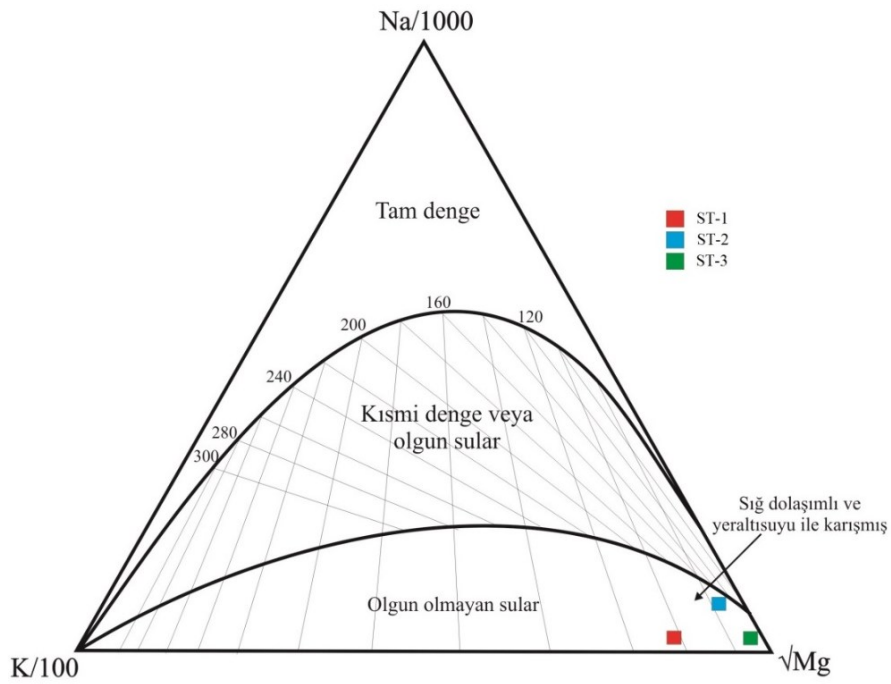
5.1.6. Birleşık Jeotermometre Uygulamaları

Giggenbach (1988) hazırladığı diyagramla suları içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine dayalı olarak sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre; I. Bölgeye düşen sular; su-kayaç ilişkisi açısından kısmen dengede, II.Bölgeye düşen sular ise su-kayaç ilişkisi bakımından kimyasal dengelenmenin sağlanmamış olduğu sulardır.

Giggenbach (1988)'ın hazırladığı bu diyagramı Fournier 1990 yılında revize etmiş ve diyagram şimdiki halini almıştır. Buna göre diyagram üç bölgeden oluşmaktadır. I.bölgede; Su-kayaç ilişkisi bakımından dengede sular, II. Bölgede Kısmen dengelenmiş sular, III. Bölgede; Ham sular bulunmaktadır. Fornier II. ve III.bölgelerin ayırımını , oluşturduğu "Olgunluk Derecesi" (Maturity Index) kavramına dayandırmıştır. Olgunluk indeksi (MI) 2.0'ın altında bulunan sular ham sular sınıfına girerken (III.bölge), olgunluk indeksi değeri 2.0'ın üzerinde bulunan sular ise kısmen veya tamamen olgunlaşmamış, su-kayaç ilişkisi dengede olan sular sınıfına girmektedir. (I ve II. Bölge). Burada bahsedilen olgunlaşma su kayaç arasındaki kimyasal dengeye karşılık gelmektedir. Na-K-Mg jeotermometrelerinin sağlıklı sonuçlar verebilmesi için örneklerin mg/l

değerlerinin diyagramda dengelenmiş sular sınıfına (I.Bölge) düşmesi gerekmektedir.

Na-K-Mg $\frac{1}{2}$ üçgen diyagramı solute termometre uygulamaları ile rezervuar sıcaklığı uygun jeotermal sular arasında açık ayırım yapmak için bir yöntem olarak Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir. Güvendik- Malgaçemir bölgesinden alınan su örneklerinin Ham Sular sınıfına düştüğü gözlenmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç denge sıcaklıkları (Giggenbach,1988)

5.1.7. Çalışma alanındaki termometrelerin jeokimyasal değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki rezervuar sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Güvendik araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusunda $Na+K>Ca>Mg$ şeklinde kation sıralaması söz konusu iken bu durum Malgaçemir sıcak su kaynağı ve eski Güvendik kaynağında (Karakuş, 2010) aşağı yukarı $Ca>Mg>Na+K$ şeklindedir. Bu karşıtlık daha çok jeotermal sulara soğuk yeraltı suyu karışımı ile açıklanabilir. Bunların yanında anyon sıralaması $HCO_3>Cl>SO_4$ (araştırma ve

Üretim kuyusunda) veya $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ (Malgaçemir ve Güvendik sıcak su kaynaklarında) şeklindedir. İnceleme alanında bulunan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan elde edilen sıcak sularda 53 mg/l değerine ulaşan B^{3+} değerleri söz konusudur ve bu değer doğuda Kızıldere'den Germencik yöresine doğru artan değerler ile tam uarlılık göstermektedir. Burada alışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişimi ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars (buhar kaybı yok; fornier, 1977), kuvars (100°C'de buhar kaybı var; Fournier, 1977) ve kuvars (D'Amore ve Amorsson, 2000) en uygun jeokimyasal termometre olmakta ve 133 ile 138°C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6. Çalışma Alanındaki Termal Suların Çözünen jeotermometresine göre sonuçları

Örnek No	Örnekleme Sıcaklığı °C	Na/Li Fouillac 1981	Na/Li Fouillac 1981	Chalcedony Fournier 1977	Quartz Fournier 1977	Quartz Stream Loss Fournier 1977	Na/K Fournier 1973	Na/K Truesdell 1976	Na/K Fournier & Potter 19	Na/K Fournier 1979	Na-K-Ca Tavinier 1979
ST-1	31,5	177	164	-	-	-					
ST-2	133,0	-	-	158	179	168	157	163	215	197	211
ST-3	31,2	-	-	-	-	-	123	131	185	170	127

5.2. İzotop Jeokimyasal Özellikleri

İzotop, bir atomun aynı sayıda protona, buna karşın farklı sayıda nötrona sahip olan türevleridir. Atomun ağırlığı proton ve nötronların toplam sayısına bağlı olduğundan, aynı atomun izotopları farklı atomik ağırlıklara (atomic mass unit; amu: atomik kütle birimi) sahiptirler. Söz konusu atomik ağırlık farklılığı aynı atomun farklı izotoplarının fiziksel ve kimyasal süreçlerde farklı davranmasına neden olur. Bu durumun bir sonucu olarak; örneğin su molekülünü oluşturan hidrojen ve oksijen atomlarının farklı izotoplarının birbirine olan oranları değişmektedir. Anılan izotop oranlarındaki değişimin incelenmesi sonucunda herhangi bir suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler belirlenebileceği gibi farklı sular arasındaki olası karışımlar hakkında da yorumlamalar yapılabilir. İzotoplar; sıcaklık ve su kayaç etkileşimine hassasiyetlerinden dolayı jeotermal araştırmalarda etkin bir akifer izleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Trityum içerikleri bakımından incelenmiş, bu verilere göre yeraltı suyunun dolaşım sistemi ve hidrojeolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan trityum radyoaktif bir izotop olup; yarılanma ömrü 12.43 yıldır. Trityum izotopu çekirdekten elektron (P ışını) salınması ile yarılanır. Elektronların enerjisi düşük olup; doğal düzeydeki trityum derişimi insanlar için sağlık riski oluşturmaz. Duraylı izotoplardakinden farklı olarak trityum izotop miktarı bir derişim birimi olan TU (tritium unit: trityum birimi) ile ifade edilir, 1 TU, 10¹⁸ hidrojen atomundan birisinin H olduğunu ifade etmektedir. Atmosferik nemdeki trityumun doğal ve antropojenik olmak üzere başlıca iki kaynağı vardır. Doğal trityum izotopu atmosferin üst tabakasında (stratosfer) kozmik 90 kökenli nötronların 5 N izotopuna çarparak onu 5 C ve 8 H'a ayrıştırmaları ile oluşmaktadır.

Doğal yoldan atmosfere yayılan trityumun yağış suyundaki eşdeğeri 10 TU'dur. Atmosferdeki trityumun bir bölümü antropojenik kaynaklı olup; özellikle 1950'li yıllarda başlayan ve 1963 yılında uluslararası antlaşmalar ile yasaklanan

atmosfere açık yerüstü termonükleer bomba denemeleri sonucunda oluşmuştur. Bu yolla trityum üretimi 1963 yılında 1000 TU düzeyine ulaşmış olup; 1963 yılından günümüze değin doğal yarılanma yoluyla azalmıştır. Günümüz atmosferik neminde trityum derişimi doğal fon (natural background) değerine (10 TU) yaklaşmıştır. Radyoaktif olan trityum sürekli bozunmaya uğraması nedeniyle belirli bir bölgede yeraltı suyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmesi ve/veya farklı yer altı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulması mümkün olmaktadır (Tezcan, 1992).

Bu çalışmada Global meteorik su doğrusu, Marmara meteorik su doğrusu, Akdeniz meteorik su doğrusu kullanılmıştır. Su doğrularının denklemleri ve referansları aşağıdaki gibidir.

Global Meteorik Su Doğrusu; (GMWL); $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 15$

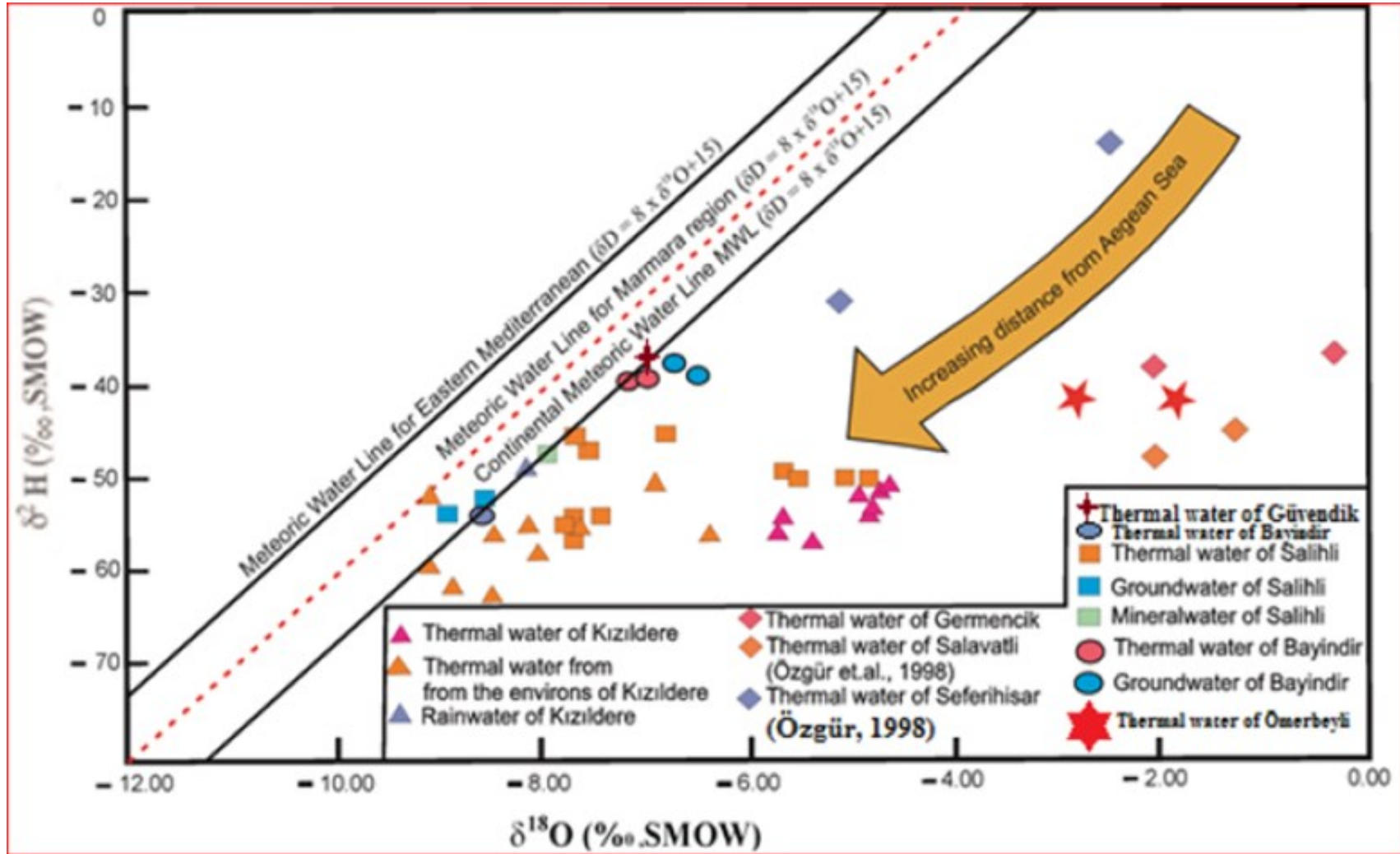
Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 15$

Marmara Meteorik Su Doğrusu; $\delta d = 8 \cdot \delta^{18}O + 15$

İnceleme alanı içerisinde yer alan izotop analizi yapılmış sular grafiğe aktarılmıştır. Malgaçemir ve Güvendik arasında bulunan jeotermal alandan alınan 2 (iki) adet jeotermal su örneğinde duraylı izotoplar ($\delta^{18}O$ ve δ^2H) ve trityum (3H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmış ve akredite olmuş İsoTech Laboratories, Inc (Illionis, ABD) İzotop Laboratuvarlarında analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bununla ilgili olarak $\delta^{18}O$, δ^2H ve 3H analizleri değerleri eski Güvendik sıcak su kaynağı için literatür bilgilerinden (Karakuş, 2010) alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanından alınan numuneler $\delta^{18}O$ ve δ^2H diyagramı üzerinde Meteorik Su Çizgisi üzerinde kaldığı görülmüştür (Şekil 5.6). Bu durum bu belirtilen sularda Meteorik kökenli yer altı suyu karışımının oldukça fazla oranda olduğunu göstermektedir. Bu sonucu belirtilen kaynakta bulunan 2.26 TU olan 3H değeri (Karakuş, 2010) desteklemektedir.



Şekil 5.6. Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi

5.3. Malgaçemir ve Güvendik Arasının Hidrojeolojik Modellemesi

Çalışma alanı Batı Anadolu Bölgesinde bulunan Menderes Masifi, Büyük Menderes kıtasal rift zonunda yer alan Aydın ilinin 29 km doğusunda bulunan Sultanhisar ilçesinin 10 km kuzeyinde yer alır. Bu da bize Sultanhisar ilçe sınırlarının Büyük Menderes kıtasal rift zonunun orta kısmında yer aldığını gösterir. Burada Jeolojik istif Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi metamorfik kayalar ile Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı tortul kayalardan oluşmaktadır.

Çalışma alanında temel kayalar gnayslardır ve bunlar tedrici olarak mikasistlere geçerler ve bazende mermerleri örterler. Bu yüzden onlar üzerinde örtü kayacını oluştururlar.

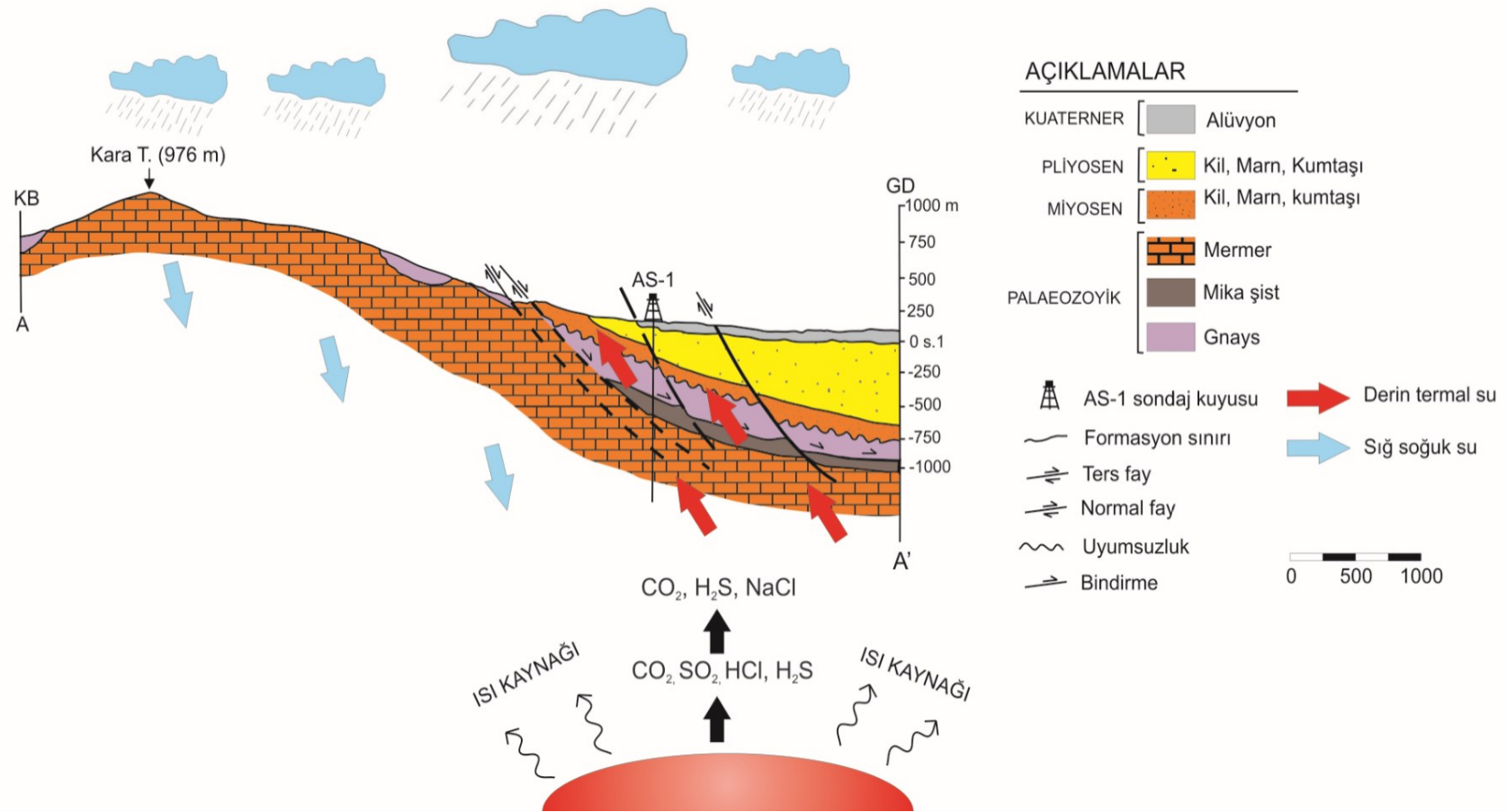
Mermerler sahada oldukça yaygın olup ince kalsit damarlı, erime boşluklu, yer yer dolomitik ve bazen muskovit ve serizit ara katkılıdır. Metamorfizma dolayısıyla karst boşlukları dışında gözeneklilik tamamen ortadan kalkmıştır. Buna karşın yoğun tektonik olaylar sebebiyle kayalardaki geçirimsizlik artmış ve kayacın rezervuar özelliği kayacın özelliği artmıştır.

Çalışma alanında temeli oluşturan metamorfik kayalar Orta Miyosen yaşlı alttan üste doğru çakıltası, kumtaşı, miltaşı ve kiltası olarak ardalanmış tortullar tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir. Bu tortullar kiltası, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanması şeklindedir. Kuvaternerde Pliyosen çökelleri üzerine uyumsuz olarak az tutturulmuş çakıltası, kumtaşı, çakıl, blok, kil, kum ve mil karışımından oluşan alüvyon, yamaç molozu ve travertenler gelmektedir (Şekil 5.7).

İnceleme alanında yeraltı suyu davranışı daha çok morfolojik kriterler ve çeşitli karşılaştırmalarla anlaşılabilir olmaktadır. Burada özellikle Büyük Menderes rift zone ile Küçük Menderes rift zone arasında bulunan horstta yeraltısu akım yönü kuzeyden güneye doğrudur ve böylece sıcak sular beslenme sağlamaktadır. Burada Horst zirvesinden jeotermal beslenme alanına kadar olan

mesafe 4-6 km arasında değişmektedir. Ayrıca jeotermal alanın beslenme alanı Sultanhisar jeotermal alanı dahil yaklaşık 10 ile 100 km² arasındadır.

Genelde Büyük Menderes kıtasal rift zonu yıllık ortalama yağış miktarı 430,15 mm ve yıllık ortalama sıcaklık 17,6°C ile kıtasal iklim özelliği göstermektedir. Burada yağış Aralık ve Mart ayında olmak üzere kış aylarında olur ve buna karşın yılın diğer aylarında yöre kuraktır. Bu uzun zaman devam eden kuraklık yeraltısularında bir eksikliğe neden olur ve bu yüzden yüzey suları çalışılan alanda temel suların beslenmesinde önemli rol oynamamaktadır. Çalışılan alanda Paleozoyik yaşlı şitler içerisinde bulunan mermer ardalanmaları ana rezervuarı oluşturmaktadır. Bunlara ilaveten üçüncü derin rezervuar olarak kırık ve çatlakları ile Prekambriyen –Paleozoyik yaşlı gnayslar çalışma alanında önemli rol oynamaktadır.



Şekil 5.7. Malgaçemir-Güvendik Jeotermal Sisteminin Basitleştirilmiş Hidrojeolojik Oluşum Modeli (Karamandere ve Helvacı, 2003'e göre modifiye edilmiştir)

6. TARTIŞMA

Ülkemizde düşük ve orta sıcaklıkta birden fazla jeotermal kaynak bulunmakta ve bunların bir çoğu oldukça önemli kırık ve çatlaklara bağlı oluşmaktadır. Aynı şekilde, Batı Anadolu Bölgesinde bulunan jeotermal sistemlerde benzerdir. Ülkemiz Alp-Himalaya Dağ Kuşağı içinde yer almaktadır. Batı Anadolu bölgesinde sınırları belirlenmiş gerilme tektoniği hüküm sürmekte ve burada litosferik gerilim daha çok Alp Himalaya zonu levhalarının çarpışması ile ilişkili olmaktadır. Batı Anadolu Bölgesi, D-B doğrultulu dağlarla ve kalın tortullarla dolu vadilerle karakterize edilir. Bölge Geç Miyosen başlanıcına kadar, K-G yönünde kısalma yaşamıştır. Tortoniyen başında, bölgede gerilme tektoniği gerçekleşmiş, burada kısmi ergimiş kabukl gerilmekte sonrasında ise ince ve kırılğan kabuk şekil almıştır. Türkiye'nin batısında birkaç D-B yönlü uzanım gösteren grabenler vardır.

Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarının çoğu bu grabenlerin kenarlarından yer almaktadır. Büyük Menderes grabeni bunlardan biri ve D-B uzanımlı olup Denizli'nin doğusundan başlayarak Ege Denizi içinde devam ederek yaklaşık 200 km'ye ulaşır. Büyük Menderes grabeni; Söke'de 35 km , Nazilli'de 35 km, Denizli'de 40 km, Salavatlı'da 10 km ve Buharkent'te 5 km genişlik sunar (Şimşek, 1988). Kızıldere jeotermal alanı derinliği 500-1000 m arasında değişen sekiz üretim kuyusu ile Türkiye'de ilk elektrik enerjisi üretilen jeotermal santraldir. Menderes bloğu 50 milyon yıl önce Sakarya bloğu ile çarpışmış ve daha sonra yüksek sıcaklık metamorfizması ve granit intrüzyonları meydana gelmiştir, Menderes Masifi'nin ortaya çıkması neojen döneminde birbiri ardına meydana gelen faylar boyunca oluşmuştur. Güncel çalışmalar, Menderes Masifinin iki veya daha fazla oluşum süreci yaşadığını göstermektedir. Menderes Masifi'nin ortaya çıkışının ilk aşaması, Geç Oligosen (25 milyon yıl) ile Orta Miyosen (16 milyon yıl) veya En geç Oligosen veya En son Oligosen- Erken Miyosen arasında olmaktadır, ya da Geç Oligosen (25 Ma) ve Orta Miyosen (16 Ma) veya Son Oligosen arasında meydana gelen Erken Miyosen zamanıdır.

Menderes Masifi metamorfik kayalarının yükselmesini ve böylece ortaya çıkışını graben tektoniği ve trans gerilmeli fay sistemlerinin bir sonucu olarak yorumlanmaktadır. Bu yüzden kuzey Menderes Masifinin gerilme tektoniğine bağlı ortaya çıkışı için Geç Oligosen (30 milyon yıl) önermektedir. Ege bölgesini tetikleyen gerilme tektoniğinin Menderes Masifinin ortaya çıkmasında bölgesel anlamda önemli rol oynadığını belirtmektedir.

Ege Bölgesi graben sistemi gerilme tektoniğinin zamanlaması Bozkurt, Ersoy ve Van Hinbergen tarafından detaylı olarak tartışılmıştır. D-B doğrultulu olan üç graben Simav, Gediz ve büyük Menderes masifini bölmektedir. Batı Anadolu'da graben tipi basenlerin tektonik evrimi epizodik veya darbeleri gerilme kuvvetleri geç Senezoyik zamanında kontrol edilir. Bu havzalarda levha içinde oluşan magma sokulumları bulunmaktadır.

Menderes masifi içindeki litostratigrafik birimler: Candan tarafından; (i) Pan-Afrikan temeldeki çekirdek serisi ve (ii) Paleozoyik-Erken Tersiyer metasedimentlerini içeren örtü serisi olmak üzere iki tektono metamorfik birime ayrılırlar. Prekambriyen –Kambriyen yaşlı olan Pan-Afrikan orojenezi ile ilişkili çok fazlı deformasyon ve metamorfizmaya sahip " çekirdek serisi"; gözlü gnayslar, metagranitler, yüksek dereceli şistler, paraganyslar ve eklojit kalıntıları içeren metagabrolardan oluşur. Masifin çekirdeğinde en fazla egemen olan ve en fazla yayılıma sahip litolojiiyi oluşturan gözlü gnayslar; iyi gelişmiş milonik foliasyon ve K-G yönlü mineral uzaması ile karakterize edilen blastomilonitlerden meydana gelir.

Çalışma alanı, Büyük Menderes grabeninin kuzey kısmında, Aydın il sınırları içerisinde Sultanhisar ilçesinde, Güvendik ve Malgaçemir köyleri arasında yer almaktadır. Güvendik ve Malgaçemir köyü bağlı bulunduğu Sultanhisar ilçesine 4-6 km uzaklıkta bulunmakta olup 37° 56' 54" Kuzey ve 28° 10' 33" Doğu gps koordinatlarında bulunmaktadır.

Batı Anadolu Bölgesinde Menderes masifi içinde Büyük Menderes kıtasal rift zonunun kuzey kanadında bulunan Güvendik ve Malgaçemir köyleri arasında bulunan inceleme alanı jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar ve Miyosen-Pliyosen yaşlı sedimanter kayalardan oluşmaktadır.

Paleozoyik kayalardan mermerler kırık-çatlak sistemleri ve karst boşlukları ile iyi bir rezervuar kayacı özelliği taşımaktadır. Burada mika şistler geçirimsiz taban kayalarını oluşturmaktadır. Miyosen-pliyosen yaşlı sedimanter kayalar çalışılan alanda geçirimsiz örtü kayaları olarak adlandırılabilir. Hidrojeolojik olarak çalışma alanında Malgaçemir ve Güvendik jeotermal kaynakları bulunmaktadır. Bu kaynakların yüzey sıcaklıkları 30 °C sıcaklığa kadar ulaşmaktadır. Burada yapılan sondaj çalışmalarında 140 °C olan rezervuar sıcaklıkları belirlenmiştir.

Güvendik-Malgaçemir arasında bulunan jeotermal sulardan 850 m derinliğe ulaşan araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusundan alınan sıcak su örneği (ST2) Na-HCO₃ tipi ve Malgaçemir kaynağından alınan su örneği (ST-1), eskiden Güvendik sıcak su kaynağından alınan su örneği (ST-3) Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılabilir.

Piper diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmının Na-HCO₃ su tipini yansıttıkları görülmektedir. Diğer bir kısmı ise daha çok Ca-HCO₃ su tipini yansıtmaktadır.

Çalışma alanındaki rezervuar sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Güvendik araştırma, üretim ve/veya reinjeksiyon kuyusunda Na+K>Ca>Mg şeklinde kasyon sıralaması söz konusu iken bu durum Malgaçemir sıcak su kaynağı ve eski Güvendik kaynağında aşağı yukarı Ca>Mg>Na+K şeklindedir. Bu karşıtlık daha çok jeotermal sulara soğuk yeraltı suyu karışımı ile açıklanabilir. Bunların yanında anyon sıralaması HCO₃>Cl>SO₄ (araştırma ve üretim kuyusunda) veya HCO₃>SO₄>Cl (Malgaçemir ve Güvendik sıcak su kaynaklarında) şeklindedir.

İnceleme alanında bulunan sıcak sularda yaklaşık 53 mg/l değerine ulaşan B^{+3} değerleri söz konusudur ve bu değerler çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişi ile ilişkin olabilir. Ayrıca Malgaçemir-Güvendik arası jeotermal sularının rezervuar sıcaklığını belirlemede kuvars, kuvars (100 °C'de buhar kaybı var) ve kuvars en uygun jeokimyasal jeotermometre olmakta ve 133 °C ile 138 °C arasında değişen rezervuar sıcaklıkları vermektedir.

KAYNAKLAR

- Aegean region, ActiveTectonics of Northwestern Anatolia–The MARMARA Poly Project; A Multidisciplinary Approach by Space Geodesy, Geology, Hydrogeology, Geothermics and Seismology, eds: Schindler, C. and Pfister, M., Vdf. Hochschulverl. an der ETH Zurich, 13-28.
- Agostini, S., Tokcaer, M., Yılmaz Savaşçın, M., 2010. Volcanic rocks from Foça-Karaburun and Ayvalık lesves grabens (Western Anatolia) and their petogenic-geodynamic significance. Turkish journal of Earth Sciences 19, 57-184.
- Alptekin, Ö., Ezen, U., Uçer, S.B., 1990. Heat flow, Seismicity and the Crustal Structure of Western Anatolia. International Earth Sciences Congression Aegean Regions, Proceedings Vol-II, İzmir.
- Arnórsson, S., 1995. Scaling problems and treatment of separated water before injection. In:WGC-95, book of course on injection technology, International Geothermal Association, Florence, 65-77.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochem. Cosmochim. Acta. 47, 567-577.
- Başkan, E., 1970. Germencik (Aydın) Çamur İli ve Bozköy Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü, MTA Rapor No:4353, Ankara.
- Bello, A.O., 2013. Simav ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek lisans Tezi, 24-25s.
- Bilgin, A., 1978. Denizli-Babadağ dolayının jeoloji-Petrografi ve jeokimyası, Atatürk Üniversitesi Fen Fakültesi Doktora Tezi, 140 p. Erzurum.
- Bozcu, M., 2010. Geology of Neogene basins of Buldan-Sarıcaova region and their importance in Western Anatolia neotectonics. International Journal of Earth Sciences, 99, 851-861.
- Bozkurt, E., 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. International Journal of Earth Sciences, 89, 728-744.
- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 151,213-216.
- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1997a. Evolution of mid-Tertiary extensional shear zone in the southern Menderes Massif, western Turkey. Soc. Geo. Fr. Bull. 3-14.

- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1997b. Microstructures of deformed grains in the augen gneisses of southern Menderes Massif and their tectonic significance. *Geol. Rundsch.* 86,103-119.
- Bozkurt, E., and Park, R.G., 1999. The structure of the Paleozoic schists in the southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes metamorphism and its relation to the Lycian Nappes. *Geodinamica Acta* 12, 25-42.
- Bozkurt, E., Satır, M., 2000. The southern Menderes Massif (western Turkey): geochronology and exhumation history. *Geol. J.* 35, 285-296.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben; field evidence for an episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geol. Magazine.* 141, 63-79.
- Bozkurt, E., 1995. Deformation during main Menderes metamorphism (MMM) and its tectonic significance: evidence from southern Menderes Massif, western Turkey. *Terra* 7, 176p.
- Brinkmann, R., 1966, Kuzeybatı Anadolu'daki Genç Paleozoik ve Eski Mesozoik, 71s.
- Calmbach, L., 1999. AquaChem Computer Code- Version 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling. Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 p.
- Candan, O., 1995. Menderes Masifinde kalıntı granulit fasiyesi metamorfizması. *International Journal of Earth Sciences* 4, 35-55.
- Candan, O., Dora, O.Ö., 1998. Granulite, eclogite and blueschists relics in the Menderes Massif: an approach to Pan-African and Tertiary metamorphic evolution. *Geol. Bull. Turkey.* 41, 1-35.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Kun, N., Akal, C., Koralay, E., 1992. Aydın Dağları (Menderes Masifi) güney kesimindeki allohton birimler, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4, 93-110.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan M., Partzsch J.H., Dürr, S., 1998. Pan-African high-pressure metamorphism in the Prekambrian basement of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. Abstract 3th Int Turkish Geol Symp, 275p.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Oberhänsli, R., Çetinkaplan, M., Partzsch, J.H., Warkus, F.C., Dürr, S., 2001. Pan-African high-pressure metamorphism in the Prekambrian basement of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey. *Int. J. Earth Sci.* 89, 793-81.

- Cavazza, W., Federica, I., Okay, A.I., Zatin, M., 2009. Apatite fission-track thermochronology of the Western Pontides (NW Turkey). Rapid communication: Geological Magazine, 1-8.
- Collins, A.S., and Robertson, A.H.F., 1998. Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, Southwestern Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 155, 759-722.
- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., 2000. Geothermometry. S. Arnórsson, (Ed.). Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 p.
- Dewey, J.F. ve Şengör, A.M.C. 1979. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuous tectonics in a convergent zone. Geological Society of America Bulletin 90, 84-92.
- Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H., Oberhänsli, R., 1995. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. In: Proceedings of the International Earth Sci. Col. On the Aegean Region (Pişkin Ö., Ergün, M., Savaşçın M.Y, Tarcın, G. –eds), 53-72.
- Dora, O.Ö., Candan, O., O, Kaya., Koralay, E., Dürr, S., 2001, Revision of "Leptitgneiss" in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin. In: Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and magmatic evolution (Bozkurt, E., Oberhänsli, R. –eds), Int. J. Earth Sci. 89, 832-847.
- Dora, O.Ö., Kun, N., Candan, O., 1992. Menderes Masifi'nin metamorfik tarihçesi ve jeotektonik konumu. Türkiye Jeol. Bült., 35, 1-14.
- Ersoy, Y., Helvacı, C., Sözbilir, H., 2010. Tectono-stratigraphic evolution of the NE-SW trending superimposed Selendi basin: implication for late Cenozoic Crustal extension in Western Anatolia. Tectonophysics 488, 210-232.
- Fournier, R.O., Truesdell, A.H., 1973. An Empirical Na-K-Ca Geothermometer for Natural Waters. Geochim. Cosmochim. Acta 37, 1255-1275.
- Fournier, R.O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics 5, 41-50.
- Fournier, R.O., 1979. A revised equation for the Na/K geothermometer. Geothermal Resources Council Transactions 3, 221-224.

- Gemici, U., Tarcan, G., 2002. Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey, and examples of their environmental impacts. *Environmental Geology*, 12, 125-132 s.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991. Chemical techniques in geothermal exploration. *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development* (Coordinator D'Amore, F). United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) / United Nations Development Programme (UNDP) Centre on Small Energy Resources, Rome, 119-144.
- Gislason, A., and Assthorsson, O.S., 1996. Food of Capelin in the Subarctic Waters of North of Iceland. *International Council for the Exploration of the Sea, C.M. /L32*, 15.
- Hetzel, R. Passchier, C.W., Ring, U., and Dora O.Ö., 1995a. Bivergent extension in orogenic belts: the Menderes Massif, Southwestern Turkey. *Geology* 23, 455-458.
- Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., and Troesch, M., 1995b. Miocene NNE directional extensional unroofing in the Menderes Massif Southwestern Turkey. *J. Geol. Soc. Lond.* 152, 639-654.
- Hetzel, R., Romer, R.L., Candan O., and Passchier, C.W., 1998. Geology Of the Bozdağ area, central Menderes Massif, Southwestern Turkey: Pan African basement and Alphine deformation, *Geol. Runfsch.* 87, 394-406.
- Hetzel, R., ve Reischmann, T., 1996. Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of colling after Alphine ductile extensional deformation. *Geol. Mag.* 133, 565-572.
- Karakuş, H., 2010. Büyük Menderes grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi*, 213s.
- Karamanderesi, İ.H., Helvacı, C., 2003. Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, Western Anatolia, Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences* 12, 175-198.
- Kasımoğlu, O.M., 2016. Ömerbeyli Köyü (Germencik, Aydın) Yöresi Jeotermal Su Arama ve üretim Kuyusunda Hidrotermal Alterasyon Modellemesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, kaç sayfa?
- Ketin, İ., 1968. Türkiye'nin Genel Tektonik Durumu İle Başlıca Deprem Bölgeleri Arasındaki İlişkiler. *MTA Dergisi* 71, 129-134.

- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., and Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in Western Turkey. *J. Geol. Soc. Lond.* 156, 605-616.
- McKenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophys. J. R. Astr. Soc.* 30, 109-185.
- Mueller, S., Kahle, HG., Barka, A., 1997. Plate tectonic situation in the Anatolian-
- Mutlu, H., 1999. Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. *JENARUM. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları, İzmir.* 38-54.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques.* Springer, 263 p.
- Oberhänsli, R., Candan, O., Dora O.Ö., Dürre, H., 1997. Eclogites within the Menderes Massif, western Turkey. *Lithos* 41, 135-150 p.
- Oberhänsli, R., Monie, P., Candan, O., Warkus, F.C., Partzsch, J.H., Dora O.Ö., 1998. The age of blueschist metamorphism in the Mesozoic cover series of the Menderes Massif. *Schweiz Mineral Petrograph.* 78, 309-316.
- Özen, T., 2002. Jeotermal Sahalarda Jeolojik Ve Jeofizik Arama İlke Ve Stratejiler, Jeotermal Enerji Semineri 2007.
- Özgür, N., 1998 *Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes-Massives, W-Anatolien/Turkei: Freie Universitaet, Berlin, Habilitationsschrift,* 171s.
- Özgür, N., 2001. Origin of the high boron contents in the thermal waters of the rift zones of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. *Int. Geol. Rev.* 43, 910-920.
- Reilinger, R.E., McClusky S.C., Oral M.B., King R.W., Toksoz M.N., Barka A.A., Kinik I., Lenk O., and Sanli I., 1997. Global Positioning System Measurements of Present-day Crustal Movements in the Arabia-Africa-Eurasia Plate Collision Zone. *Journal of Geophysical Research.* 102, 9983-9999.
- Rinehart, John S., 1980. *Geysers and Geothermal Energy,* 142 p.
- Schüling, R. D., 1958. Menderes masifine ait bir gözlü gnays üzerinde zirkon etüdü. *M.T.A. Dergisi* 51, 38-42.
- Schüling, R.D., 1962. Türkiye'nin güneybatısındaki Menderes migmatit kompleksinin petrolojisi, yaşı ve yapısı hakkında. *M.T.A. Dergisi* 58, 71-85.

- Stefansson, V., Steingrimsen, B. 1981. Geothermal Logging I: An Introduction to Techniques and Interpretation (2nd Edition). Reykjavik, National Energy Authority Report, 117p.
- Şaroğlu F., Yılmaz Y., 1986, Geological Evolution and Basin Models During Neotectonic Episode in Eastern Anatolia, Mineral Research Exploration Institute of Turkey 107, 61-83.
- Şengör, A.M.C. 1987. Cross-faults and Differential Stretching of Hanging Walls in Regions of Low-Angle Normal Faulting: examples from western Turkey. Coward, M.P., Dewey, J.F., Hancock, P.L., Continental Extensional Tectonics. Geological Society, London, Special Publications 28, 575-589.
- Şengör, A.M.C., 1985. Die Alpen und die Kimmeriden: die verdoppelte Geschichte der Tethys. Geol. Rdschau, 74, 181-213.
- Şengör, A.M.C., Satır, M., 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, 693-707p.
- Şimşek, Ş., 1981. Aydın-Germencik Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Alanları Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları EİEİ yayını, Ankara, 29s.
- Şimşek, Ş., 1984. Aydın-Germencik-Ömerbeyli Geothermal field of Turkey, Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating Volume 1, 1-30.
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological an isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey. Geothermics 32, 669-678.
- Şimşek, Ş., Gülgör, A., 1988. Aydın – Germencik – Ömerbeyli Jeotermal Alanının Ön Fizibilite Raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 36 s.
- Tapponnier, P., 1977. Evolution tectonique du système Alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique, Bull. Soc. Géol. France 19, 437-460.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal su kimyası, jeotermalde yerbilimsel uygulamalar, yaz okulu ders kitabı JENERUM. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No: 306, 198- 245.
- Tezcan, L., 1992. Karst Akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121s.
- Turcotte, D.L, Schubert, G., 2002. 4", Geodynamics (2nd edition), Cambridge, England, UK; Cambridge University Press, 136-137p.

Uyar, F., 2017, "Yenilebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu", Enerji Kaynakları Nelerdir? Kaça Ayrılır? konulu sunumu
<https://www.enerjibes.com/enerji-kaynaklari/>

Verge, N.J., 1995. Oligo-Miocene extensional exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia. *Terra* 7, 117 p.

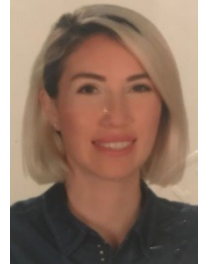
www.maden.org.tr

Yılmaz, Y., 1989. An approach to the origin of young volcanic rocks of western Turkey. In: *Tectonic Evolution of the Tethyan Region* (Şengör, A.M.C.,eds.), 159-189.

Yılmaz, Y., 2000. Ege Bölgesinin Aktif Tektoniği. Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu (BADSEM 2000). Bildiriler, 3-14, 24-27 Mayıs 2000, İzmir, 3-14.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seda Zehra Tekkanat
Doğum Yeri ve Yılı : Muş, 1984
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : sedatekkanat@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Denizli Anadolu Lisesi (1998-2002)
Lisans : SDÜ, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Jeoloji Mühendisliği (2004-2009)

Mesleki Deneyim

Antalya Muratpaşa Belediyesi (2014 – halen)