

**T. C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FENBİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KUŞADASI (AYDIN) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ
HİDROJEOLOJİSİ, HİDROJEOKİMYASI VE İZOTOP JEOKİMYASI**

Serdar KAPUCU

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2017**

©2017 [Serdar KAPUCU]

TEZ ONAYI

Serdar KAPUCU tarafından hazırlanan Kuşadası (Aydın) Ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojisi, Hidrojeokimyası Ve İzotop Jeokimyası 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

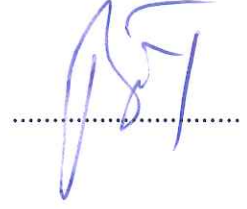
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU

Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. 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.

Serdar KAPUCU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal sistemler	4
1.2. Araştırmanın tanımı ve amacı	9
1.3. Araştırma alanının jeotektonik konumu	9
2. KAYNAK BİLGİSİ	16
3. ARAŞTIRMA ALANININ JEOLJİSİ	19
3.1. Paleozoyik Yaşlı Şistler ve Ayrışmamış Kireçtaşları (P).....	20
3.2. Mesozoyik Yaşlı Dolomitli Kireçtaşı ve Mermerler (M).....	21
3.3. Neojen Yaşlı Çökel Birimler (n)	21
3.4. Kuvaterner Yaşlı Alüvyonlar (Qal)	21
4. MATERYAL VE METOD	23
4.1. Örneklem ve in situ analizler	23
4.2. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizler	25
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	27
5.1. Kayaçların hidrojeolojik özellikleri	27
5.2. Hidrojeokimya	29
5.2.1. Hidrojeokimyasal analizler	29
5.2.2. Doygunluk indeksi	32
5.3. Jeokimyasal termometre uygulamaları	35
5.3.1. Kimyasal jeotermometre uygulamaları	35
5.3.1.1. Silis jeotermometreleri	35
5.3.1.2. Katyon jeotermometreleri	36
5.3.2. Birleşik jeotermometreleri uygulamaları	38
5.3.3. Çalışma alanındaki Jeotermometre sonuçlarının değerlendirilmesi	39
5.4. İzotop jeokimyasal özellikler	41
5.5. Kuşadası Yöresi Jeotermal Suların Hidrojeolojik Modellemesi	44
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	46
6.1. Kuşadası - Davutlar jeotermal alanında olası ısı kaynağı, jeotermal sistem ve tektonik arasındaki ilişki	46
6.2. Çalışma alanının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri	47
7. KAYNAKLAR	49
EKLER	55
EK-A. Araştırma alanının jeolojik haritası	56
8. ÖZGEÇMİŞ	57

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KUŞADASI (AYDIN) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLOJİSİ, HİDROJEOKİMYASI VE İZOTOP JEOKİMYASI

Serdar KAPUCU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Menderes Masifine ait olan mikaşistler yörede temeli oluştururlar ve hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler. Burada Mesozoyik yaşlı mermerler sıcak sular için rezervuar ve yer altı suları için akifer kayacı özelliği taşırlar. Bu kayalar jeolojik olarak killi, karbonatlı ve çakıltası seviyeleri içeren Kuşadası birimi tarafından örtülürler ve yörede örtü kayaları oluştururlar. İnceleme alanı ve civarındaki aktif faylar ve Pliyosen yaşlı bazik volkanik kayaların varlığı burada yüksek ısı akısı ve jeotermal gradyanın varlığına işaret etmektedir. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları sıcaklık değerleri olarak 43,1°C ve 54,1°C, jeotermal suları ile yeraltısuları hidrojeokimyasal olarak Na-Cl-HCO₃ veya Na-Ca-Cl-HCO₃ tipindedir. Çalışma alanında jeotermal sular 1690 mg/l Na ve 2687 mg/l Cl değerlerine ve yeraltısuları 219 mg/l Na ve 397 mg/l Cl değerlerine varan içeriklerle oldukça fazla tuzlanmış bulunmaktadır. Bu jeotermal sular ve yeraltısuları ¹⁸O ve ²H diyagramında yoğun su-kayaç etkileşimi dolayısıyla sağa doğru kayma göstermektedir. Güncel olarak yörede aşırı yeraltısuyu çekimi nedeniyle yeraltısuyu seviyesinde düşüş ve bu nedenle yeraltı sularına deniz suyu girişi tehlikesi belirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Türkiye, Batı Anadolu Bölgesi, Aydın, Kuşadası, Davutlar, yeraltı suları, jeotermal sular, deniz suyu girişi, termal banyolar

2017, 57 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

HYDROGEOLOGY, HYDROGEOCHEMISTRY AND ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF THE THERMAL WATERS IN KUSADASI (AYDIN) AND SURROUNDINGS

Serdar KAPUCU

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

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

The mica schists of the Menderes Massif display the basement rocks in the area and hydrogeologically impermeable. The Mesozoic marbles form reservoir for geothermal waters and aquifer for ground waters. These rocks are covered by the Kuşadası formation consisting of intercalations of claystone, conglomerate and carbonate rocks. This uppermost Kuşadası formation plays an important role as cap rocks. The existence of active faults and basic volcanic rocks of Pliocene age points to the existence of high heat flow and geothermal gradients. Geothermal waters and groundwaters in Kusadasi and environments between 43,1°C and 54,1°C, can be considered as Na-Cl-HCO₃ or Na-Ca-Cl-HCO₃ type waters. In this study geothermal waters and groundwaters are found to be excessively salted with 1690 mg/l Na, 2687 mg/l Cl and 219 mg/l Na and 379 mg/l Cl respectively. These geothermal waters and groundwaters are observed to be shifted towards right on the ¹⁸O and ²H diagrams due to the intense water-rock interaction. Nowadays, there is a danger of intrusion of seawaters into the groundwaters due to the drop of groundwaters table caused by excess usage of groundwater.

Keywords: Turkey, Western Anatolia, Aydın, Kuşadası, Davutlar, groundwaters, intrusion of sea waters, geothermal waters, thermal baths

2017, 57 pages

TEŞEKKÜR

Sunulan bu Yüksek Lisans Tez Çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 3912-YL2-14 No`lu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan danışmanım, Sayın Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR’e bu tezin tamamlanmasında göstermiş olduğu destek, yapıcı eleştiri ve özverisinden dolayı teşekkür ederim. Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Jeoloji Mühendisi Mustafa Örsan Öztürk’e, Jeoloji Yüksek Mühendisi Onur Melih Kasımoğlu’na, Jeoloji Mühendisi Kadir Bağcı’ya ve Aquachem yazılım programında gerçekleştirmiş olduğum diyagram çizimlerinde yardımlarından dolayı Dr. Ziya ÖNCÜ’ye teşekkür ederim.

Natur – Med Termal tesisleri çalışanları ve Dr. Yaşar Yılmaz’a Kuşadası - Davutlar çevresinde bulunan kaynaklarda ölçüm yapılması ve su örnekleri alınmasında verdikleri müsaade için teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Tüm eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Serdar KAPUCU
Isparta, 2017

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem.....	5
Şekil 1.2. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit	11
Şekil 1.3. Çalışma alanının yer bulduru haritası.	13
Şekil 1.4. Menderes masifinin jeolojik haritası ve örnek noktaları.....	14
Şekil 1.5. Çalışma Alanının stratigrafik birimleri.....	15
Şekil 3.1. Çalışma alanın basitleştirilmiş sütun kesiti.....	22
Şekil 4.1. Su örneği alınan eski bir MTA kuyusu	24
Şekil 4.2. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri.....	26
Şekil 5.1. Çalışma alanındaki kayaç birimlerinin hidrojeolojik özellikleri.	28
Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.	31
Şekil 5.3. Çalışma alanından jeotermal suların Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı. ...	31
Şekil 5.4. Çalışma alanında jeotermal suların HCO ₃ , Cl, SO ₄ üçgen diyagramı.	32
Şekil 5.5. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç dengesi sıcaklıkları	39
Şekil 5.6. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi.	43
Şekil 5.7. Kuşadası jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli.....	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. İn situ cihazları özellikleri	24
Çizelge 4.2. Su analizlerinde kullanılan cihazlar ve yöntemler	26
Çizelge 5.1. Çalışma bölgesi ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları	30
Çizelge 5.2. İnceleme alanındaki örneklerin su tipleri	32
Çizelge 5.3. Çalışma alanında ve yakın çevresindeki örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri	34
Çizelge 5.4. Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)...	36
Çizelge 5.5. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)	38
Çizelge 5.6. Çalışma alanındaki termal suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları.....	40
Çizelge 5.7. Analiz izotop sonuçları	42

1. GİRİŞ

Enerji kavramı ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten bugüne dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. 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 yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir (Külekçi, 2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan jeotermal enerji ise günümüzde elektrik üretimi, tıp, turizm, ziraat, endüstri gibi sayısız alanda kullanılabilen bir kaynaktır.

Jeotermal enerji kaynaklarının nice faydası bulunmakla birlikte, bunların başlıcaları, yenilenebilir 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 olmasıdır. Dünya üzerinde jeotermal enerji değeri anlaşılan bir enerji çeşidi olmakla beraber kullanımı ülkelere göre değişmektedir. Ülkemiz ise çok önemli bir jeotermal kuşak üzerinde olmasına ve 1300'ün üzerinde kaynak barındırmasına karşın jeotermal enerjiden yeterince faydalanamamaktadır. Türkiye'de jeotermal kullanımı; kaplıca turizmi, seracılık gibi temel kullanımlarla sınırlı bir şekilde yürütülmekle beraber son yıllarda konut ısıtılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

Fosil yakıtların sürdürülebilirliğinin olmaması nedeniyle, birçok ülkede odaklanmalar ve dikkatler daha çok alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarına çevrilmiş bulunmaktadır. Yenilenebilir enerji sürdürülebilir enerjidir. Çünkü bu enerji kaynakları güncel insan topluluklarının artan enerji gereksinimlerine ve taviz vermeyecek bir şekilde gelecek nesillerin yaşam şartlarını da dikkate alarak şekilde belirli bir tarzda kullanılmalıdır.

Termal enerji maddenin sıcaklığını belirleyen enerjidir. Yerkürenin jeotermal enerjisi yerkürenin orijinal formasyonundan (20%) ve minerallerin radyoaktif bozunmasından kaynaklanmaktadır (80%) (Turcotte ve Schubert, 2002). Günümüzde bu kavram yerküre ısısının belirli kısımları için kullanılmaktadır. Bunun için; genellikle çeşitli sondaj yöntemleri ile yerküre ısısına ulaşılmakta ve elde edilen enerjiden çeşitli amaçlar için yararlanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar dünyamızın her tarafında bulunur, ancak işletilebilir jeotermal sistemler genel olarak normal ya da anormal derecede yüksek jeotermal gradyan bölgelerinde bulunur.

Yerküre çekirdeği ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı olan jeotermal gradyan, çekirdekten yüzeye doğru ısı iletimi şeklinde termal enerjinin sürekli kondüksiyonu şeklinde olmaktadır. Jeotermal sıfat olarak, sıcak anlamına gelen Yunancadan kökleri yerküre anlamında “γη” (ge) ve sıcak anlamına “θερμος” (termos) gelen kavramlardan oluşmaktadır.

Jeotermal alanlar dünyada bir çok alanlarda 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 sular, paleolitik çağlardan beri termal banyo ve ayrıca antik Roma döneminden beri de konut ısıtmasında kullanılmaktadır. Buna karşın zamanımızda akıllı bir şekilde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Dünya çapında, jeotermal enerji yaklaşık 10,715 megavat (MW) gücünde 24 ülkede faaliyettedir. Ek olarak, 28 gigavat doğrudan jeotermal ısıtma kapasitesi olan bir sistem bölgesel ısıtma, mekan ısıtması, kaplıcalar, endüstriyel prosesler, arıtma ve tarımsal uygulamalar için kurulmaktadır (Fridleifsson vd, 2008).

Jeotermal kuyular yerin derin kısımlarında sıkışıp kalan sera gazlarının serbest bırakırlar, ancak bu emisyonların miktarı fosil yakıtlardan daha düşüktür. Sonuç

olarak, jeotermal enerji yaygın fosil yakıtların yerine konuşlandırılmış ise küresel ısınmanın azaltılmasına yönelik yardımcı potansiyele sahiptir.

Jeotermal alanlar oldukça geniş aralıkta olan çeşitli jeolojik ortamlar ve kayaç türlerinde ortaya çıkarlar ve benzer türdeki kayaç ortamları farklı tipte jeotermal sistemler meydana getirebilirler, örneğin Kızıldere, ülkemizde benzer kayaçların içinde yüksek ısıda su üretirken, esas olarak kuru buhar üreten Larderello, İtalya da ortaya çıkmıştır (Bello, 2013). Alanlarında ortak noktaları olmasına rağmen her sahanın birinin kendi özellikleri vardır ve böylece tipik bir jeotermal alanı tanımlamak zordur.

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

Rezervuar kayaçtaki sıcak akışkanların sıcaklıklarının korunması içinde geçirimsiz örtü kayaçlarına ihtiyaç vardır. Jeotermal alanlarda bu tür örtü kayaçlarını genellikle evaporitler ve killi litolojilerden çamurtaşları oluşturmaktadır. Bunlar geçirimsiz olup, bu özellikleriyle hem petrol ve hem de jeotermal kayaçlarda örtü kayacı görevini görmektedir. Örtü kayacı aynı zamanda, jeotermal akışkanların sıcaklıklarının korunmasında yardımcı olarak bunların soğumasını da önlemektedir.

Jeotermal enerji kaynaklarına ülkemizde Ege, İç Anadolu ve Batı Karadeniz bölgelerinde yaygın olmakla beraber diğer bölgelerimizde de rastlanır. Çok çeşitli kullanım alanı olan jeotermal enerji kaynaklarına sondajla açılan kuyulardan ya da yerkabuğu içindeki doğal çatlaklardan ulaşılır. Yeryüzüne çıkarılan enerjiden buhar formunda türbinlerde elektrik üreterek ya da sıcak su halinde ısıtma sistemlerinde ısı transferi yoluyla faydalanırız.

Kuşadası (Davutlar) jeotermal kaynaklar, termal turizme büyük yarar sağlamaktadır. Aydın şehrinin bu nedenle bir termal kent olduğunu göstermektedir. Aydın ve yöresinde yeraltı su kaynakları ve jeotermal sular su kayaç etkileşimi şeklinde, yörenin tektonik yapısı, çevredeki kayaçlar ve onları oluşturan farklı mineraller tarafından denetlenmektedir. Jeotermal enerji açısından, Aydın ve yöresindeki genç volkanik kayaçlar ısıtıcı kayaç, karbonatlı kayaçlardan mermerler ve farklı fasiyesteki kireçtaşları rezervuar kayaç ve kilce zengin Kuvaterner yaşlı genç çökellerde örtü kayaç görevini görmektedir.

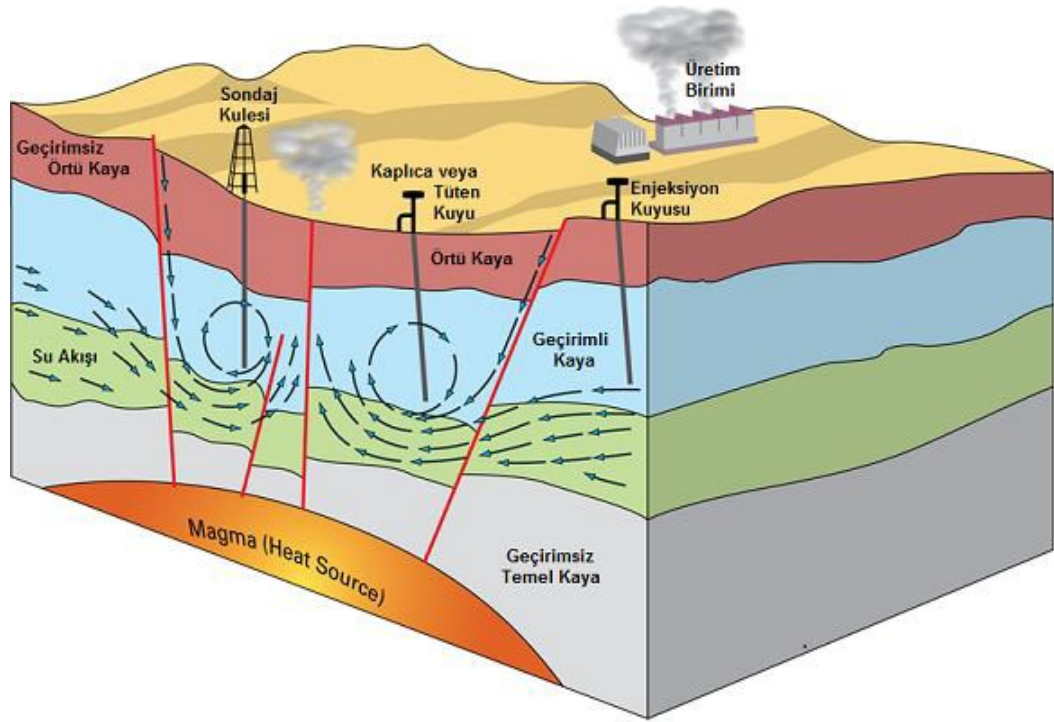
1.1. Jeotermal sistemler

Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan. Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı ($>600\text{ }^{\circ}\text{C}$) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5- 10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan -ortalama $2,5\text{-}3\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) olabilir.

Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayaçlardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO_2 , H_2S gibi) içerir.

Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişlemesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme

eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konvansiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir. Gerçek jeotermal sistemler için yapılacak iyi bir modelleme oldukça zordur. Yapılacak modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş bir çalışmaya gereksinim vardır. Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğın kombinasyonuna bağlı olarak oluşur. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır.



Şekil 1.1. Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem (<http://www.eie.gov.tr>'den alınmıştır.)

Jeotermal sistemler, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sistemlerde, hidrojeolojik sistemlerden farklı olarak faz değişimleri ve ısı taşınımı da söz konusudur (Akan, 2002). Dolayısıyla, böyle karmaşık bir sistemde beslenme-boşalım ilişkisine bağlı olarak meydana gelebilecek değişimleri öngörmek oldukça zordur. Bu aşamada, modelleme yaklaşımı sistemin geleceğine ilişkin bir öngörü yapabilmek açısından büyük bir önem kazanmaktadır. Son yıllarda matematiksel modeller yardımıyla jeotermal alanların modellenmesi yoğun olarak çalışılan bir konudur. Bu modeller, jeotermal alanların kavramsal modellerinin geliştirilmesi ve doğruluğunun

kanıtlanması için kullanılmaktadır. Jeotermal sistemlerin modellenmesinde esas amaç, rezervuar potansiyelinin belirlenmesi ve reenjeksiyonun sistem üzerindeki etkilerinin ortaya konması gibi önemli problemlerin çözümüdür.

Türkiye’de MTA kayıtlarına göre ülke genelinde 277 alanda jeotermal oluşum olduğu bilinmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi, ülkedeki jeotermal kaynakların büyüklüğünü ve buralardan elde edilebilecek güç üretim potansiyellerini belirlemek amacıyla Türkiye’ nin jeotermal kaynaklarının değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yürütmektedir. İlk aşama olarak, MTA tarafından yayınlanan 2 adet jeotermal kaynak envanteri, literatürdeki mevcut sahalara hakkındaki verilerle birlikte çalışılan çeşitli projelerin saha verileri kullanılarak tahmini görünür (tanımlanmış) kapasite hesabı yapılmıştır (Başel, vd., 2011). Görünür kapasite; ölçülmüş debi ve üretilen akışkanın sıcaklık değerine dayalıdır. 20°C referans sıcaklığı için toplam jeotermal görünür kapasite yaklaşık 3700 MWt bulunmuştur. Bu konu hakkındaki ayrıntılı çalışma 2007 yılında yapılmıştır (Satman vd., 2007). Bu çalışma sonrasında, bilinen ve yeni sahalarda yapılan araştırma-geliştirme etkinlikleri sonrasında gözlemlenen / ölçülen ek kapasitelerle birlikte jeotermal görünür kapasitenin 3700 MWt’den daha büyük olduğu tahmin edilmektedir. İkinci aşamada ise elektrik üretimine uygun jeotermal sahalardan elde edilebilecek üretilebilir güç değerleri hacimsel rezerv hesabına göre tahmin edilmiştir. Bu amaçla 11 adet yüksek sıcaklıklı jeotermal sahanın mevcut jeolojik, jeokimyasal, jeofizik ve sondaj verileri değerlendirilerek Monte Carlo simülasyonu kullanılarak üretilebilir güçler hesaplanmıştır. Monte Carlo simülasyonu sonuçlarına göre %90 olasılıkla 11 sahadan üretilebilecek elektrik güç potansiyeli 632 MWe ve üretilebilecek ısı güç potansiyeli ise 15833 MWt olarak hesaplanmıştır. Kullanılan yöntem ve ayrıntılar Serpen vd., (2008)’de sunulmaktadır. Üçüncü aşama olarak, doğrudan kullanıma uygun göreceli orta sıcaklıklı jeotermal sahalardan elde edilebilecek üretilebilir ısı güç potansiyelleri tahmin edilmiştir.

Nüfus, endüstrileşme ve elektrik kullanımının her geçen gün artmasıyla Türkiye’ nin enerji ve elektrik gereksinimi sırasıyla her yıl yaklaşık 4.5% ve 7.5% olarak büyümektedir. Türkiye’ nin enerji tüketimi yaklaşık 106 milyon ton petrol eşdeğeri ve elektrik üretim kurulu kapasitesi ise yaklaşık 42 000 MWe’dir. Bu artışın büyük

bir çoğunluğu ithal edilen ve enerji bağımlılığını arttıran daha fazla fosil yakıtların (özellikle petrol ve doğal gaz) piyasaya girmesinden kaynaklanmaktadır. Yenilenebilir kaynak olarak jeotermal enerji, ülkenin yerli enerji potansiyelinin artmasına az da olsa bir olanak sağlamaktadır.

Jeotermal kaynakların enerji arzını genişleteceği ve bilinen jeotermal kaynakların özelleştirilerek daha fazla katma değer sağlayacağı düşünülmektedir. Türkiye' nin jeotermal kaynakları hidrotermal ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (GJS=EGS "Engineered Geothermal Systems") olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz. Günümüzde ülkedeki tüm jeotermal arama ve geliştirme projeleri hidrotermal üzerine yoğunlaşmıştır. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bir değerlendirme çalışması yürütülmektedir. Bu değerlendirme çalışmasında, mevcut ve ekonomik hidrotermal kaynaklar ile yerkabuğunda belli derinlik aralığında depolanmış ısı enerjisi (ısı içeriği) araştırılmaktadır. Türkiye'deki geleneksel hidrotermal kaynaklar hem elektrik hem de doğrudan kullanım uygulamalarında kullanılmakta olup, her geçen gün bu uygulama sayısı artmaktadır.

GJS ise Jeotermal Enerji Semineri hidrotermal kaynakların ötesinde olan geliştirilmiş/planlanmış jeotermal sistemlerdir. Bu sistemlerden hem günümüz hem de gelecekteki teknolojiler kullanılarak ısı üretilmesi amaçlanmaktadır. GJS'in dünya üzerindeki uygulamaları şimdilik birkaç adet olmakla birlikte, uzun dönemde bu sistemlerden oldukça yüksek potansiyeller elde edileceğine inanılmaktadır.

Türkiye'de ortalama 529 adet termomineral kaynak vardır. Bunlardan 241 adedi maden suları, 247 adedi 60°C ye kadar, 41 adedi de 60°C - 100°C arasında bulunan kaynaklardır. Bu kaynakların yüksek ısıları olanları bilhassa Batı Anadolu'da, doğu-batı doğrultusunda bulunan grabenler içerisinde sıralanmışlardır (Erentöz ve Ternek, 1969). Derindeki kırıklı ve çatlaklı metamorfik formasyonlardan kolaylıkla yukarı intikal eden ısı, Paleozoik, Mesozoik ve Tersiyer yaşlı (mermer, kalker ve dolomitik kalkerler) rezervuar kayalarındaki suları ısıtır. Bazı Tersiyer marnlı killi formasyonları da örtü tabakası vazifesini görür. Bir kısım kaynaklar Orta Anadolu'da ve bilhassa Doğu Anadolu'da halen CO₂, H₂S neşreder. Bunlar solfatar safhalarının

son devirlerini tamamlayan Neojen-Kuaterner ve tarihî zamanların volkanlarının civarlarında krater ve parazit konilerinde kaynaklar halinde bulunur.

Türkiye'deki sıcak kaynakların büyük kısmını asitli, bikarbonatlı, klorürlü, sülfatlı sular teşkil eder. Total mineralizasyondaki bor, NH_4 ve H_2SiO_3 gibi elemanlar muhtemelen çok derinlerden gelmektedir. 1963 yılında İzmir ve batısındaki Agamemnon kaplıcalarında yapılan sondajlarla, 124°C ısı tabii buhar elde edilmiştir. Ayrıca 15 Mayıs 1968'de Denizli-Sarayköy'de Kızıldere civarında takriben 450 m derinlikte, yüksek basınçlı tabii buhar elde edilmiştir.

Türkiye'deki sıcak sular jeotermik enerji yönünden de etüdlere tabi tutulmuş ve Anadolu, tarafımızdan, başlıca altı jeotermik enerji provensine ayrılmıştır: Bunlar sırasıyla 1. Ege provensi → Batı Anadolu Bölgesi, 2. Ankara provensi → Batı Orta Anadolu Bölgesi, 3. Kayseri provensi → Doğu Orta Anadolu Bölgesi, 4. Amanoslar provensi → Güney Orta Anadolu Bölgesi, 5. Erzurum provensi → Kuzey Doğu Anadolu bölgesi ve 6. Diyarbakır provensi → Güney Doğu Anadolu Bölgesi şeklindedir.

Türkiye'de halen işletilen meşhur ve çok şifalı kaplıcalar ve maden suları vardır. Bu tesislerin çoğu fizyoterapi aletleriyle de teçhiz edilmiştir. İçme sularından, Kisarna, Çitli maden suları ve bilhassa Afyonkarahisar maden suları ve sodası çok tanınmıştır. İstanbul'a yakın Bursa, Yalova ve Gönen kaplıcaları da meşhurdur.

Şimdiye kadar yapılan ve bilhassa 1961 yılından beri daha sistematik olarak ele alınan Türkiye termomineral sularının envanterine göre, rejyonel yıllık ortalama ısıda ekseriya düşük dereceli olan ve maden suları klasifikasyonuna giren kaynaklar Türkiye'de takriben 241 adettir. Bunların bir kısmı dünyaca tanınmış ve modern tesisleriyle inşa edilmiş bulunmakta, diğerleri ise lokal harcamalar için sarfedilmektedir.

Türkiye yüzölçümünü $770\,000 \text{ km}^2$ kabul ettiğimize göre, $1450 - 1500 \text{ km}^2$ alana ve takriben 55 000 kişiye de bir termomineral kaynak düşmektedir. Uluslararası şöhrete malik birçok kaynak bunlar arasında bulunmakta olup, bu haliyle Türkiye,

termomineral bakımından dünya memleketleri arasında sayılı bir mevkide bulunmaktadır. Afyon, Kısarna, Uludağ, Bursa, Yalova, Gönen, Sandıklı, Havza, Kızılcahamam, Haymana, Hasankale v.b. kaplıca ve içmeleri gibi. Bu kaynakların birçokları, kırıklı, faylı, şaryajlı ve deprem bölgelerinde konsantre olmuş bulunmaktadır. Jeolojik ve tektonik etüdler ilerledikçe termomineral kaynaklara daha birçokları ilâve edilmektedir. Ayrıca depremlerle bu gibi yerlerde bazı kaynaklar kaybolmakta veya yenileri çıkmaktadır. Bu kaynakların etüdları devam ederken ve bir klasifikasyona tabi tutulurken, diğler taraftan da jeotermik enerji bakımından jeotermal provenslerin ayırımına çalışılmıştır.

1.2. Araştırmanın tanımı ve amacı

Bu çalışmanın amacı Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresinin jeotermal alanlarının 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 etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu bir model içinde ortaya koymaktır.

1.3. Araştırma alanının jeotektonik konumu

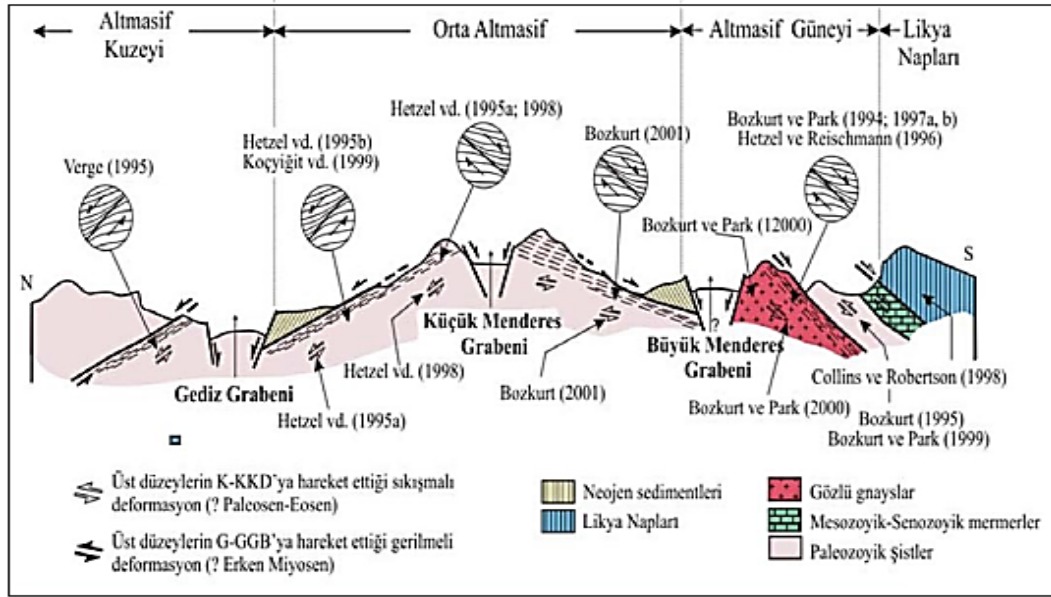
Alp-Himalaya deprem kuşağında yer alan ülkemizde olan depremler, Atlantik Okyanus ortası sırtının iki tarafa doğru yayılmasına bağlı olarak Afrika-Arabistan levhalarının kuzeykuzeydoğuya doğru hareket etmeleriyle ilişkilidir (Kutanis, 2008). Ayrıca, Kızıldeniz'in uzun ekseni boyunca bugün de devam eden deniz tabanı yayılması nedeni ile Arabistan levhası kuzeye doğru itilmekte ve Avrasya levhasının altına doğru dalmaya zorlanmaktadır. Bu zorlanma ile Arabistan levhası ile Avrasya kıtası arasında kalan Doğu Anadolu bölgesinde yoğun sıkışma etkisi oluşmaktadır. Kuzey Anadolu Fayı ve Doğu Anadolu Fayı gibi belli başlı büyük kırıkları harekete geçiren bu sıkışma milyonlarca yıldır devam etmekte günümüzde de yaşadığımız depremlerin ana nedeni oluşturmaktadır.

Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF), Doğu Anadolu Sıkışma Zonu (DASZ), Ege Graben Sistemi, Kıbrıs-Helenik Yayı, Orta Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesi olmak üzere Türkiye'de yedi ana tektonik bölge bulunmaktadır (Şengör vd., 1985). Türkiye tektoniği büyük ölçüde Arap plakası, Avrasya ve Afrika plakalarının hareketlerinden etkilenir.

Batı Anadolu'da, Menderes masifinin nasıl yükseldiği ve yüzeylendiği, iki farklı görüşte literatüre girmiştir; 1. Paleotektonik dönemde (Üst Kretase-Geç Eosen); Menderes masifinin şist, gnays ve mermerden oluşan metamorfik kayaçları; kuzeyde Sakarya Kıtası, güneyde ise Likya napları ile çevrelenmiş bindirme bileşenli, tektonik dokanaklıdır. Bu sınırın gelişimi Eosen'e kadar sürmüş olup bu dönemde Anatolid orojeni, Tetis okyanusunun kapanması sonrasında, Menderes masifi, kıta-kıta çarpışması ile kabuk kalınlaşmasının göstergesi şeklinde şekillenmiştir. 2. Masifin "core complex" olarak sıyrılma fayları boyunca yükseldiğini belirtir.

Büyük menderes havzası batı – doğu yönünde uzanan iki büyük fayla oluşmuş bir grabendir. Bu grabenin iki yanında Davutlar'dan Denizli'ye kadar sıcak su kaynaklarına rastlanmaktadır.

Menderes masifine ait bütün birimler Herseniyen hareketleri ile kıvrılmıştır. Metamorfik birimlerle Neojen seriler arasında büyük bir stratigrafik boşluk bulunmaktadır. Bölgede rastlanan faylar Neojen öncesi ve sonrası olan Alpin hareketlerle oluşmuştur. Neojen formasyonları ve büyük Menderes ile diğer küçük vadi alüvyonlarında mevcut taraçalar, Alpin hareketlerinin günümüzde de devam etmekte olduklarını gösterir.



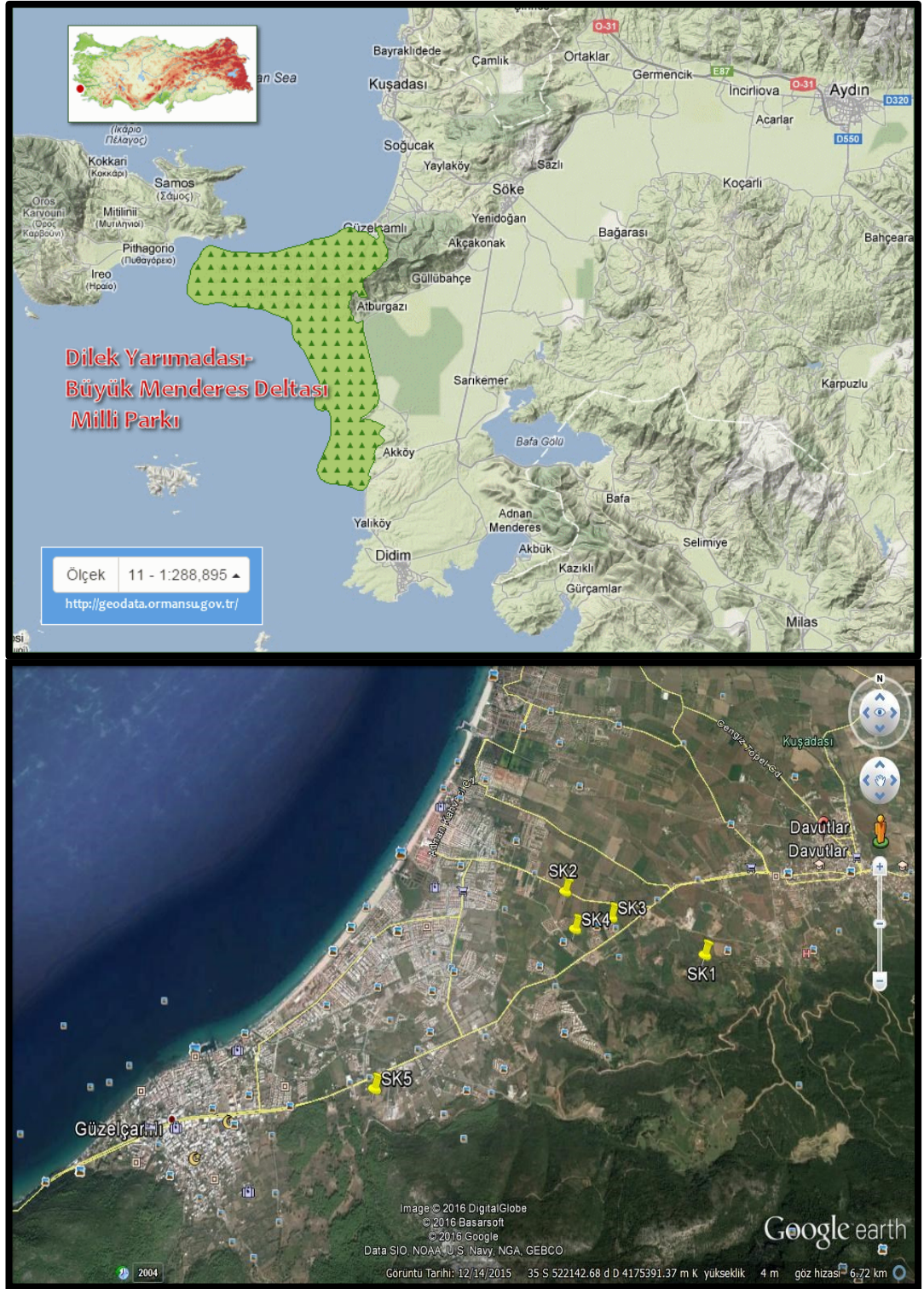
Şekil 1.2. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit (Bozkurt, 2001)

Büyük Menderes grabeni Denizli ile Ege Denizi arasında yer alır. Yaklaşık 200 km uzunluğundadır. Grabenin doğu ucu Pamukkale civarında Gediz grabeni ile kesişmektedir. Batı ucu ise Germencik civarında iki kola ayrılmaktadır. Kuzey kolu Kuşadası'na devam etmekte olup güney kolu GB'ya dönerek Ege Denizi'ne girmektedir. Bu grabenin ana fayı grabenin kuzey kenarı boyunca uzanır ve güneye doğru eğimlidir. Büyük Menderes grabeninde tarihsel dönemde birçok deprem meydana gelmiştir (Guidobani vd., 1994; Ambraseys ve Finkel 1995). 17. Yüzyılda 1645, 1654 ve 1702 (I>VIII) depremleri grabenin Denizli'den Aydın'a kadar uzanan kısmında etkin olmuştur. Menderes bloğu 50 milyon yıl önce Sakarya bloğu ile çarpışmış ve daha sonra yüksek sıcaklık metamorfizması ve granit intrüzyonları meydana gelmiştir (Van Hinsbergen vd., 2010). Menderes Masifi'nin ortaya çıkması Neojen döneminde birbiri ardına meydana gelen faylar boyunca oluşmuştur.

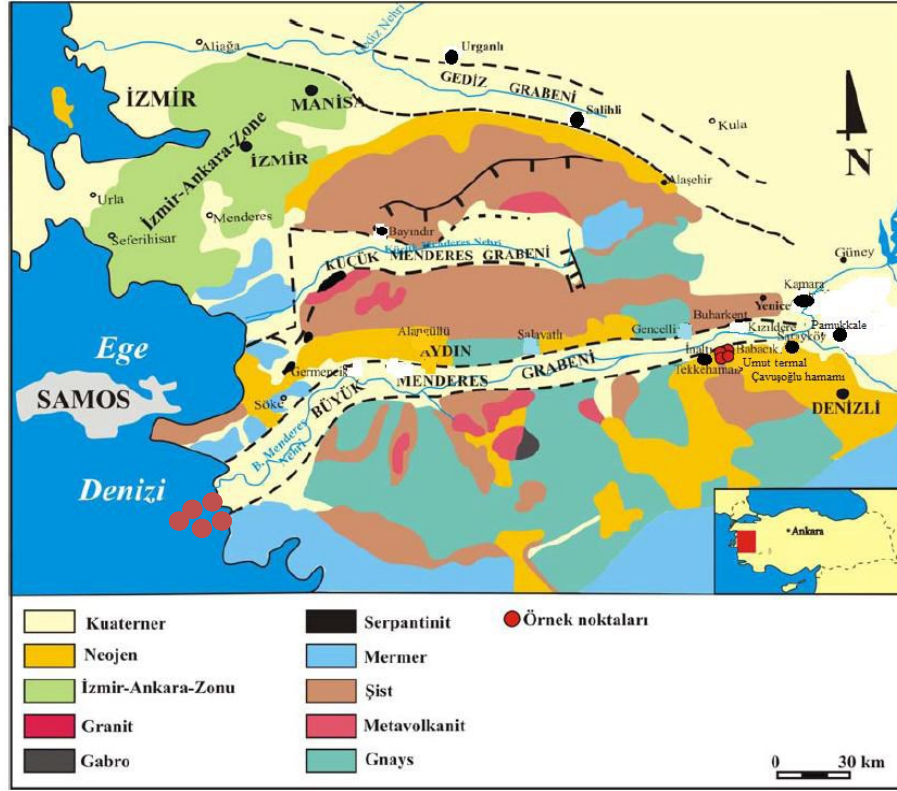
Güncel çalışmalar, Menderes Masifi'nin iki veya daha fazla oluşum süreci yaşadığını göstermektedir (Seyitoğlu vd., 2004). Menderes Masifi'nin ortaya çıkışının ilk aşaması, Geç Oligosen (25 milyon yıl) ile Orta Miyosen (16 milyon yıl) (Seyitoğlu vd., 2004) veya En Genç Oligosen (Purvis ve Robertson, 2004) veya En Son Oligosen-Erken Miyosen (Cavazza vd., 2009) arasında olmaktadır, ya da Geç Oligosen (25 Ma) ve Orta Miyosen (16 Ma) veya Son Oligosen (Seyitoğlu vd., 2004)

arasında meydana gelen Erken Miyosen zamanıdır. (Agostini vd., 2010). Menderes Masifi metamorfik kayaçlarının yükselmesini ve böylece ortaya çıkışını graben gerilme tektoniği ve trans-gerilmeli fay sistemlerinin bir sonucu olarak yorumlamaktadır. Bu yüzden (Bozkurt vd., 2011) kuzey Menderes Masifinin gerilme tektoniğine bağlı ortaya çıkışı için Geç Oligosen (30 milyon yıl) önermektedir (Cavazza vd. 2011) .

Ege bölgesini etkileyen gerilme tektoniğinin Menderes Masifinin ortaya çıkmasında bölgesel anlamda önemli rol oynadığını belirtmektedir. Bazı çalışmalarda (i) Erken-Orta Miyosen gerilme tektoniği ve Ege hendeğinin geriye dönüşü ve (ii) Geç Miyosen-Pliyo-Kuvaterner gerilim tektoniği ve Batı Anadolu'da dalan Ege levhasının başlangıcı olmak üzere iki belirli bağlantının olduğunu ileri sürmektedirler. Ege Bölgesi graben sistemi gerilme tektoniğinin zamanlaması (Bozkurt ve Sözbilir, 2004), Ersoy vd., 2010 ve Van Hinsbergen vd. (2010) 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 (Örneğin, Bozkurt, 2000; Ersoy vd., 2010) veya darbeli gerilme kuvvetleri (Bozcu, 2010, Purvis ve Robertson, 2004) Geç Senozoyik zamanında kontrol edilir. Bu havzalarda levha içinde oluşan magma sokulumları bulunmaktadır. Bölgede rastlanan faylar Neojen öncesi ve sonrası olan Alpin hareketlerle oluşmuştur. Neojen formasyonları ve Büyük Menderes ile diğer küçük vadi alüvyonlarında mevcut taraçalar, alpin hareketlerinin günümüzde de devam etmekte olduklarını gösterir. İnceleme alanında farklı litofasiyes, ortam ve metamorfizma özellikleri sergileyen çeşitli tektono- stratigrafik üniteler, bindirmeli dokanaklarla birbirlerini üzerlemektedir (Şekil 1.3 ve Şekil 1.4). Bu tektonik üniteler, büyük bir olasılıkla Kretase Sonu-Erken Eosen zaman diliminde ilk yapısal biçimlenmesini kazanmışlardır. Erken Miyosen-Kuvaterner sürecinde gelişen gerilmeli tektonik rejim sonucu yerselde olsa naplar, bindirme düzlemleri boyunca yeniden hareket etmişler ve özellikle bu süreçte oluşan genelde düşey, yersel verev atımlı faylarla bugünkü geometrilerini kazanmışlardır.



Şekil 1.3. Çalışma alanının yer bulduru haritası.



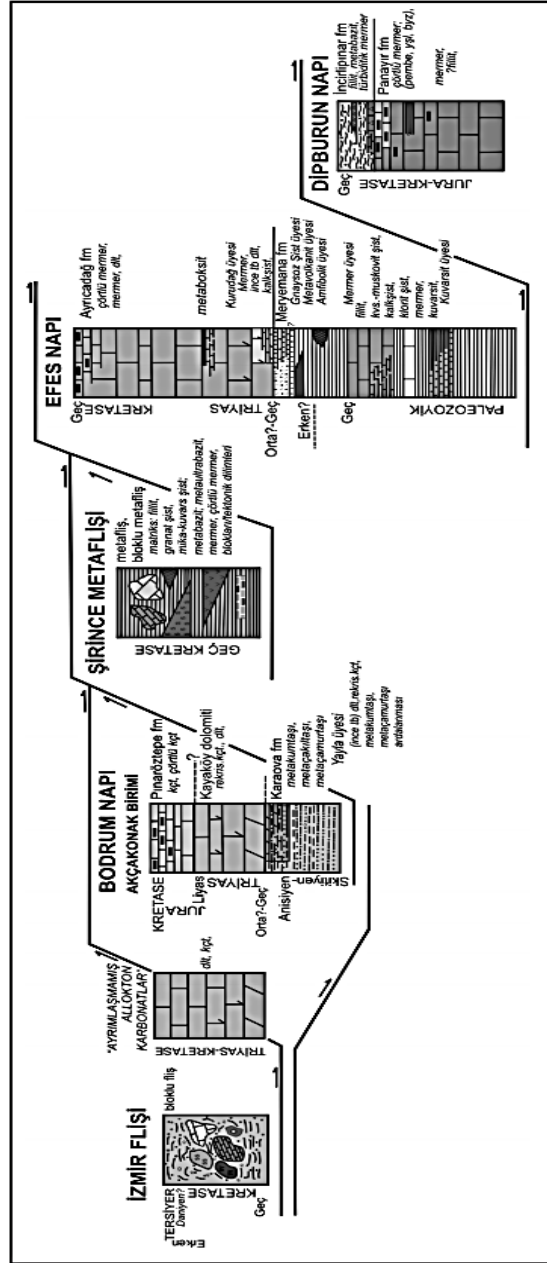
Şekil 1.4. Menderes masifinin jeolojik haritası ve örnek noktaları (Şengör, 1982 ve Dora vd., 1995; Özgür vd., 1998)

Menderes masifi içindeki litostratigrafik birimler: Candan vd., (2001) 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” (Oberhansli vd., 1997; Candan ve Dora 1998; Dora vd., 2001); gözlü gnayslar, metagranitler, yüksek dereceli şistler, paragnayslar ve eklojit kalıntıları içeren metagabrolardan oluşur (Şengör vd., 1984; Satır ve Friedrichsen, 1986; Candan, 1995; 1996; Candan vd., 1998; 2001; Oberhansli vd., 1997).

Paleozoyik-Erken Tersiyer yaşlı örtü kayaçları altta Ordovisiyen (?) - Permo-Karbonifer yaşlı düşük-orta metamorfizma dereceleri fillitler, kuvarsitler ve mermerlerden oluşur (Candan vd., 2001). Erken Triyas yaşlı lökogranit granitlerin bu

kayaçlara sokulum yaptığı bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Şengör vd., 1984; Dannat ve Reischmann, 1998; Koralay vd., 1998). Bu birimlerin üzerine gelen Geç Triyas-Erken Tersiyer yaşlı kayaçlar, metaboksit içeren platform tipi mermerler ve metaolistrosromlardan oluşur (Candan vd., 2001).



Şekil 1.5. Çalışma Alanının stratigrafik birimleri (Çakmakoglu, 2007)

2. KAYNAK BİLGİSİ

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

Aydın ve çevresindeki ilk ayrıntılı jeolojik çalışmalar 19.yy.'da başlamıştır. 1944 yılında da Egeran ve Yener (1944) tarafından bölgede çalışmalar yapılmış ve ilk kez "Menderes Masifi" terimi kullanılmıştır.

İnceleme alanında ve yakın çevresinde ayrıntılı jeolojik çalışmalar yaklaşık 50 yıldan beri süregelmekte olup; Akartuna (1962 ve 1965) Graciansky (1965 ve 1972), Yüksel (1971), Başarır ve Konuk (1981), Şimşek v.d (1982), Ercan v.d (1985), Tarcan v.d (2000), Çakmakoglu (2005 ve 2007), Pasvanoğlu v.d (2005) bunların belli başlılarını oluştururlar. Çalışma alanının özellikle jeotermal enerji potansiyeli ve metalik maden açısından önemli oluşu, jeolojik incelemeleri yoğunlaştırmıştır.

Akartuna (1962 ve 1965), Masifin çekirdeğini oluşturan ilksel kayanın kökeni sorununu belirlemiştir ve çekirdek gnayslarının "ortognays" olduğunu savunmuştur.

Graciansky (1965, 1972), Menderes masifi güneyinde Mesozoyik, zımpara taşı seviyeli dolomitik kireçtaşlarından meydana geldiğini belirtmiştir. Ayrıca Menderes masifinin gnayslarının kökenleri üzerindeki tartışmalar henüz kesin bir kaniya ulaştırılmamıştır.

Yüksel (1971), Görülebilen en eski birimlerin Paleozoik yaşlı kabul ettiğimiz ve Menderes Masifi'ni oluşturan metamorfikler olduğunu ve Alttan üste doğru gnays, granat şist-mikaşist mermer, metamorfik şistler (Mikaşist, kuvarsit şist, serisit şist vb) ve mermer şeklinde istiflenme gösterdiklerini ileri sürmüştür.

Başarır ve Konuk (1981), Menderes Masifinin kuzeybatı kesiminde metamorfik kayaçların dolomit, fliş ve kireçtaşı tabakaları ile örtüldüğünü belirtmiş ve

Metamorfik olmayan bu serilerin kristalin temel üzerine geliş şekli ve zamanı üzerine yorumlar yapmıştır.

Şimşek v.d (1982), Kuşadasının güneyinde yeralan ve Söke Formasyonu olarak tanımlanan birimin Kuşadası ve Sisam civarında da yayılım gösterdiğini ve bu birimin konglomera – kumtaşı – kireçtaşı – silttaşı – kiltası – marn ardalanmalarını içerdiğini savunmuştur.

Ercan v.d (1985), Bölgede etkin olan tektonik deformasyonlar sonucu, gerek yersel, gerekse bölgesel ölçüde çeşitli kıvrımlar meydana geldiğini ve Kuşadası-Söke civarındaki volkanik kayaların Miyosenden itibaren bölgede etkin olan tansiyonal tektonik bir rejimde oluştukları ve graben hatları boyunca yüzlekler verdiklerini belirtmişlerdir.

Tarcan v.d (2000), Davutlar-Kuşadası çevresinde hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelemelerde bulunmuşlardır. Yörede gözlenen şistlerin hidrojeolojik açıdan geçirimsiz temel özelliğinde olduğunu, Mesozoyik yaşlı Menderes Masifi'ne ait mermerlerin ise soğuk sular için karstik akifer özelliği taşıdığını belirlemişlerdir. Bu birimlerin aynı zamanda yöredeki sıcak suların da hazne kayasını oluşturduğunu ve içerdikleri killi düzeyler nedeniyle jeotermal sistemin örtü kayası olan Neojen yaşlı Kuşadası biriminin içindeki çakıllıtaşı ve ince kireçtaşı düzeylerinin ise soğuk sular için akifer özelliği taşıdığını belirtmişlerdir. Ayrıca yörede Aktif tektonik hatların ve Pliyosen yaşlı bazaltik volkanitlerin bulunuşunun, yüksek ısı akısının ve jeotermal gradyanın varlığını gösterdiğini saptamışlardır.

Çakmakoglu (2005 ve 2007), Kuşadası ve çevresindeki birbirleriyle tektonik ilişkili Neojen öncesi kaya birimlerini, alttan üste doğru Dipburun napı, Efes napı, şirince metaflışı, Bodrum napı ve İzmir flışı şeklinde sıralamıştır. Ayrıca Aydın ili Kuşadası ve Söke çevresini kapsayan jeoloji haritasını derleyerek günümüze kazandırmıştır.

Pasvanoğlu v.d (2005), Davutlar kaplıca kaynaklarının fay boyunca yükselen düşük entalpili, sık sirkülasyonla oluşmuş, meteorik kökenli suların yer altına gözeneklilik ve geçirimsizliği gelişmiş olan kuşaklara kadar süzülerek, burada jeotermal gradyanla

ısınarak, tekrar yer yüzüne yükselmeleri ile oluştuklarını belirlemiştir. Ayrıca Davutllar kaplıcasından alınan su örneklerinin klorür konsantrasyonlarının yüksek olduğunu, EC konsantrasyonunun 8400 – 11000 $\mu\text{mho/cm}$ arasında değiştiğini ve meteorik kökenli olan bu sıcak su kaynağına deniz suyunun da karışmış olduğunu saptamışlardır.

Kapucu v.d (2015), Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresinin hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası incelemiştir. Menderes Masifine ait olan mikaşistlerin yörede temeli oluşturduğunu ve hidrojeolojik açıdan geçirimsiz olduklarını, Mesozoyik yaşlı mermerlerin termal sular için rezervuar ve yeraltısuları için akifer kayacı özelliği taşıdıklarını, jeolojik olarak killi, karbonatlı ve çakıltaşı seviyeler içeren Kuşadası birimi tarafından örtüldüklerini ve yörede örtü kayaları olarak önemli rol oynadıklarını belirtmişlerdir.

Kapucu v.d (2017), Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısularının hidrojeokimyasal olarak Na-Cl-HCO₃ veya Na-Ca-Cl-HCO₃ tipi sular olarak adlandırmış ve jeotermal suların 1690 mg/l Na ve 2687 mg/l Cl değerlerine ve yeraltısularının 219 mg/l Na ve 397 mg/l Cl değerlerine varan içeriklerle oldukça fazla tuzlanmış olduğunu belirlemişlerdir.

Güncel olarak Kuşadası bölgesinde yeraltısularının fazla kullanımı nedeniyle yeraltı sularının seviyesinin düşmesi ve bu nedenle yeraltı sularına deniz suyu girişimi tehlikesinin ve bu duruma karşı acil önlemler alınması gerektiğini ileri sürmüşlerdir.

3. ARAŞTIRMA ALANININ JEOLJİSİ

Yörede 1978 yılından beri jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal amaçlı çalışmalar yapılmıştır (DSİ, 1978, 1988; Ercan ve diğ., 1991; Pınar ve Akçığ, 1991; Altıkardeşler, 1992; Filiz ve Tarcan, 1993, 1995; Yılmaz ve diğ., 1994; Tarcan ve diğ. 1999, 2000). Bu çalışmalar kapsamında Kuşadası ve yakın çevresinin 2000 yılında 1;100.000 ölçekli jeoloji haritası tamamlanmıştır. Burada bulunan Mesozoyik yaşlı şistler muskovit-biyotit şist, kuvarşist ve kalkışistlerden oluşmaktadır ve mermerler ile geçişli ve uyumludur (Ek-1). Orta-kalın katmanlı, bol çatlaklı ve karstik boşluklu ve çok kez şist mercekleri de içeren mermerler Üst Triyas-Üst Kretase yaşlıdır (Çağlayan ve diğ., 1980). Miyosen-Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi olarak adlandırılan görsel tortullar metamorfik kayalar uyumsuz olarak örterler. Neojen yaşlı genç volkanik kayalar metamorfik birimleri ve Kuşadası birimini keser. Çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyon Kuşadası ve yakın çevresinde en genç birimdir ve geniş yayılım gösterir.

Burada Menderes Masifi metamorfik kayalar hidrojeolojik olarak geçirimsiz taban kayalarını oluşturmaktadır. Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı mermerler karstik rezervuar kayacı özelliğinde olup jeotermal suları bünyelerinde barındırırlar. Bu mermerler üzerine örtü kayacı olarak geçirimsiz Kuşadası birimleri gelmektedir. Yörede sıcak suların ısınmasında Neojen yaşlı Davutlar volkanikleri önemli rol oynamaktadır.

İnceleme alanında Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar ile Mesozoyik, Pliyosen ve Kuvaterner'e ait kayalar yüzeylenmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde görülen en yaşlı birimler Menderes Masifine ait metamorfik kayalardır. Gnays, kuvarşit, kalkışist, klorit, biyotit, mikaşist, ve mermerlerden oluşan metamorfikler almandin-amfibolit ve yeşil şist fasiyeslerinde metamorfizma geçirmişlerdir (Paleozoyik). Mesozoyik kayalar kalker ve şistli hornsteyn fasiyesleri ile tanımlanmıştır.

Kuşadası ve yakın çevresinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar geçirimsiz temel kayaları oluştururlar. Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar içinde aralanmalı

olarak bulunan mermerler karstik özelliklere sahip olup aynı zamanda jeotermal sular için rezervuar olmaktadır. Bunların üzerini örten Kuşadası birimi içerdiği killi seviyeler nedeniyle jeotermal sular için örtü kayaç özelliği ve içerdiği çakıltası ve kireçtaşları nedeniyle de yeraltısuları için akifer özelliği taşımaktadır. Ayrıca en genç birim olan alüvyon geniş yayılımı ve geçirgenliği nedeniyle akifer olabilecek niteliktedir. Çalışma alanının doğrudan deniz kenarında bulunması nedeniyle ilgili akiferlerin deniz suyu girişimi nedeniyle tuzlanması en önemli hidrojeolojik sorunlardan birisini oluşturmaktadır. Ayrıca mermerlerin kırıklı, çatlaklı ve karstik özelliklerinden dolayı bu yeraltısuyu akiferlerine ve jeotermal rezervuara deniz suyu girişimi daha fazla ve kolay olmaktadır. Bunun yanında çalışma alanında da yeraltısuyu taban seviyesini de deniz seviyesi belirlemektedir. Bu yüzden denize yakın lokasyonlarda mermer akiferlerde açılacak kuyularda deniz seviyesi altına inilmesi sakıncalı olmaktadır. Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi ise değişik hidrojeolojik özelliklere sahip kayaçların ardalanmasından oluşması nedeniyle daha farklı bir görünüm sunmaktadır. İçerdikleri killi düzeyler geçirimsiz engel kaya olduğundan, denizin kıyısında bile açılacak sondajlarda tatlı su akiferinden yararlanma şansı vardır (Tarcan ve diğ., 2000).

İnceleme alanında ve yakın çevresinde yer alan jeolojik formasyonlar yaşlıdan gence doğru şu şekilde sıralanırlar.

3.1. Paleozoyik Yaşlı Şistler ve Ayrışmamış Kireçtaşları (P)

Söke'nin kuzeyindeki silsilelerde, Eski Yaylaköy, Yamaçköy, Kirazlıköy, Gökçealan Köyü çevrelerinde tabanda yer yer yüzlek veren şistlerin üzerinde geniş alanlar kaplayan kireçtaşları bölgenin metamorfik temelinin bir üyesidir. Şistler, kahverengi – yeşil renkli seriler olup, kuvars – serizit – klorit şist, kuvarsit, almandin şist, fillat türünde mineralojik farklılığa bağlı olarak inceden kabaya kadar değişik yapraklanma (şistozite) gösterirler. Şistler genellikle üstündeki dolomitli kireçtaşlarına, 10 – 50 metre kalınlıkta bir geçiş formasyonu olan, kalkışistlere geçerler. Kireçtaşları, bölgede genellikle dolomitli, rekristalize kireçtaşı mineralojisinde, gri – mavimsi renk gösteren, inceden – masife kadar farklı foliasyon

ve bantlaşma kapsayan türler olarak bilinmektedir. Normal serilerde, şistlerin üstündeki kalkışistlere uyumlu olarak gelirler.

3.2. Mesozoyik Yaşlı Dolomitli Kireçtaşı ve Mermerler (M)

Kuşadası'nın yaklaşık olarak 2 km. kadar güney – güneydoğusunda yüzlek veren birimin tabanı, Neojen formasyonları ile örtülü olduğundan görülememektedir. Haritalarda kireçtaşları, fosil bulguları nedeniyle Triyas – Jura'ya ithaf edilmektedirler. Birimin kuzey ve güney sınırları Neojen ile tektonik ilişkili olarak haritalanmıştır.

3.3. Neojen Yaşlı Çökel Birimler (n)

Yaşlı serilere göre daha alçak sırt, düzlük ve tepeciklerden oluşan Neojen yaşlı çökel istif, gölsel ve akarsu havzalarının ürünleridir. İstifin tabanı, taban konglomerasıyla başlar, havzanın derinlerine doğru kırıntılı fasiyesin tane boyları küçülerek killi kireçtaşı çökelimi ile son bulur. Taban çakıltaşı üzerine uyumlu olarak kumtaşı, silttaşı kiltası – marn ve killi kireçtaşları yüzeyler. Bölgede Neojen'in Miyosen yaşlı çökelleri, çok sert dokulu sıkı çimentolaşmış iken, Pliosen çökelleri tabandan en üst serilere doğru, orta sıkılıktan gevşek dokuya geçerler ve ileri derecede bozuşma gösterirler. Birim ince – orta tabakalanma gösterir. Neojen yaşlı formasyonun kalınlığı 300 metre civarındadır. Neojen volkanik aktivitesi, olasılıkla Pliyosen çökelimi ile yaşıt olup volkanizma ürünleri olan andezitik – trakitik aglomera ve külleri (tüf – tüfit) Pliyosen çökelleri ile uyumlu olarak yataklanmıştır. Bölgenin neotektonik süreci, Miyosen'den itibaren devam etmekte olup eski serilerle Neojen'in sınırları, hatta Neojen – alüvyon sınırları KD – GB veya D- B gidişli faylarla tektonik ilişkili olarak gözlenmekte ve haritalanmaktadır. Bu neotektonik rejime bağlı olarak bölgedeki depremler yıllardan beri devam etmektedir.

3.4. Kuvaterner Yaşlı Alüvyonlar (Qal)

Kendinden yaşlı tüm birimleri üstler konumda olan alüvyonlar, akarsular tarafından getirilip çökeltilen çakıl, kum, silt ve kilden oluşma, gevşek, tabakasız seviye ve

mercek şekli gösteren yığılımlardır. Mevzii dere yataklarında görüldüğü gibi en yaygın olan alüvyon birikimi Büyük Menderes Ovasındadır. Ovada kalınlığı 30 – 70 metre arasında olup, tali derelerde 3 – 20 metre kalınlıklar verir.

Zaman	Olaylar	Sütun Kesit	Litoloji
KUVATERNER	Basamaklı Fay Gelişimleri		Yeni Alüvyonlar Dere içi hareketli güncel Malzemeler Traverten Eski Alüvyonlar Nehir Taraçaları orta sert az tutturulmuş çakıl- kum -silt-kilyağışınları
	Diskordans		Kumtaşı, çakıl taşı, gökcel kireçtaşı orta az tutturulmuş pl- 1 den pl-4 e kadar bazen tek veya daha çok
PLİYOSEN	Diskordans		Marn, Kilitaşı (Linyit Düzeyli) Kumtaşı Taban çakıl Taşı Şarabi Renkli Silt dokulu, boykırılmalı, derecelemesi var.
MİYOSEN	Diskordans		Flis Bazı bölgelerde sadece karbonat fasiyesinde . Kumtaşı, silttaşı, marn olagan Göbro sekulumu Granitik yerleşme (Masifin Simar tarafından) Ofiyolitik Yerleşme
OLİGOSEN E OSEN	Diskordans		Dolomitli Kireçtaşları Rekristalize kireçtaşı Mermar
PALEOSEN	Diskordans		Zımpara- Diyasporit düzeyli Şistkamaşığı Yarı pelitik, şist, mikro şistler Bazalt benit Kuarso feldispatik grays Kuarisit Mermar benitleri Filizit Kalk şist
ÜST KRETASE	Diskordans		Grays kamaşığı Yaygın gözlü grays Porfiroplastik grays Bazalt grays Granitik grays Hornfels, leptit Migmatit Abit
TRİYAS JURA	Grovak, Şeyl, Kireçtaşı çökeltimi		
PALEYOZOYİK	Diskordans		
KAMBRİYEN VE PREKAMBRİYEN	Metamorfizma Bir deformasyon evresi Çekirdek kamaşığı çökeltilerin birikimi		

Şekil 3.1. Çalışma alanının basitleştirilmiş sütun kesiti (Alpman, 1963)

4. MATERYAL VE METOD

Çalışmalarımızı yürüttüğümüz bölgenin hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için Kuşadası (Aydın) jeotermal alanında ayrıntılı bir araştırma yapılmıştır.

Amacımıza ulaşmak için yapılan çalışmalarımızın 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, in-situ ölçüm ve su örneklemelerini içermektedir. Su örnekleri, çalışma alanının farklı lokasyonlarından temsili olacak şekilde alınmıştır. Daha sonra bu örnekler fiziksel parametrelerin, anyon ve katyonların belirlenmesi için analiz edilmiştir.

Araştırmanın bu bölümünde tüm aşamaları içeren jeoloji, su örnekleri alımı, jeotermal suların hidrojeokimyası, izotop jeokimyası, analizleri sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumlanması yöntemleri tartışılmaktadır.

4.1. Örneklem ve in situ analizler

Arazide su örnekleri alımında bunların fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi bazı parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin, su örneklerini hidrojeokimyasal analiz etmek için 100 ml olan polipropilen şişelerde katyon ve anyon olarak ayrı ayrı örnekler alınır. Toplanan numunelerin kapağını kapatırken hava kalmaması için ağzına kadar su doldurularak kapatılmalıdır (Şekil 4.1).

Yapılan saha çalışmalarında anyon ve katyon analizleri için toplam 5 adet su örneği toplanmıştır. Bu örneklerde in-situ analizleri yanı sıra hidrojeokimyasal analizler de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş oksijen (O₂), redoks potansiyeli (Eh), alkalinite ve toplam sertlik gibi analizler arazide yapılmıştır.



Şekil 4.1. Su örneği alınan eski bir MTA kuyusu (Davutlar - Güzelçamlı yolu)

Bu çalışma kapsamında, su örneklerinin in-situ analizleri Jeoser Yerbilimleri Servisi Ltd. Şti., Isparta bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler ise Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknoloji Dairesi Başkanlığı Laboratuvarlarında ve duraylı izotoplar (^{18}O ve ^2H) ile ^3H analizleri akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illionis, ABD) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1. İn situ cihazları özellikleri

In-situ Parametreleri	Ölçüm Birimleri	Cihaz adı ve marka
Sıcaklık	°C	Thermometer- Testo-95-1
Ph		pH meter-WTW 330İ
Redoks Potansiyeli (Eh)	Mv	pH meter-WTW 95
Elektriksel İletkenlik (EC)	µs/cm	Elektrical conductivity measure-WTW cond 330i and 340i
Çözülmüş Oksijen (O_2)	Mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinity Test kit-Merek Aquamerck 11109

4.2. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizler.

Kuşadası ve yakın çevresinde 2 (iki) adet jeotermal su ve 3 (üç) adet yeraltısuyu örneği alınmış ve bunlarda anyon, katyon ve trityum değerleri ile birlikte duraylı izotoplar (^{18}O ve ^2H) analiz edilmiştir.

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kaynaklardan toplam alanı temsil eden 5 adet su örneği alınmıştır. Su örneklerinin alınmasından önce, bölgede her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

Ölçümler için kullanılan in-situ cihazları (Çizelge 5.2), Jeoser Yer Bilimleri Servisi Ltd. Şti., Isparta tarafından sağlanmıştır. Ölçülen in-situ parametreleri sıcaklık, pH, redoks potansiyeli (Eh), çözülmüş oksijen (O_2), elektriksel iletkenlik (EC) ve alkalinite 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. HCO_3^- ve CO_3^{-2} değerleri arazide gerçekleştirilen alkalinite ölçümlerinde hesaplanmıştır.

Araştırılan alandan alınan jeotermal su ve yeraltısuyu örnekleri Piper diyagramına düşürüldüklerinde Na-Cl-HCO_3 veya Na-Ca-Cl-HCO_3 tipi sular olarak adlandırılabilir. Burada özellikle jeotermal sularda Na ve Cl yanında önemli miktarda Ca artışı da izlenmektedir. Bu durum doğrudan jeotermal rezervuarın aynı zamanda deniz suyu girişiminden beslendiğine işaret etmektedir. Burada jeotermal sular aşırı şekilde kullanıldığında deniz suyu girişiminin de aynı şekilde yoğun olacağına dair önemli bir işaret sayılmalıdır. Bunun yanında aynı şekilde jeotermal sulardaki değerlere paralel olarak yeraltısularında da deniz suyu girişimine bağlı olarak Na ve Cl yanında Ca artışı bariz bir şekilde izlenmektedir. Bu tuzlanmış olan yeraltısuları ileride özellikle kurak mevsimlerde aşırı derecede kullanıldığında geriye dönülmesi mümkün olmayan aşırı derecede yeraltısuyu tuzlanmasını meydana getirecektir.

Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem v.3.7 (Waterloo Hydr., 1999), spreadsheet (Powell ve Cumming, 2010) kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizler Çizelge 5.1’de sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Çalışma alanında gerçekleştirilen in-situ ölçümleri (Kuşadası - Davutlar)

Kuşadası ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Waterloo Hydr, 1999) ve Liquid analysis spreadsheet (Powell ve Cumming, 2010) kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1). Aynı şekilde, Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal sularını tanımlamak ve grafiksel olarak gösterebilmek için Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramına göre (Şekil 5.1), Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları Na-SO₄-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir (Çizelge 5.5). Hidrojeokimyasal analizler için kullanılan cihazlar ve hidrojeokimyasal parametreler Çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Su analizlerinde kullanılan cihazlar ve yöntemler

Analiz Parametreleri	Cihaz İsmi	Analiz Cinsi
Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, Cu²⁺, Al³⁺, Si⁴⁺, As, Cr	Perkin Elmer ICP-OES	Optik Emisyon Spektrometresi
F⁻, Cl⁻, Br⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻, PO₄²⁻	Dionex ICS-3000	İyon Kromatografisi
HCO₃⁻, CO₃²⁻	Merek-Aquamerek test Kitleri	Titrasyon Yöntemi

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların hidrojeolojik özellikleri

Haritalanan saha içinde şistler hidrojeolojik açıdan geçirimsiz temeli oluşturur. Mermerler karstik akifer özelliğinde olup, aynı zamanda yöredeki sıcak suların da hazne kayasını oluşturur. İçerdiği killi düzeyler nedeniyle jeotermal sistemin örtü kayasını oluşturan Kuşadası biriminin içindeki çakıltası ve ince kireçtaşı düzeyleri soğuk sular için akifer özelliğindedir. Kuşadası biriminin killi düzeyleri ise soğuk su akiferi için geçirimsiz kayaları oluşturur. Büyük olasılıkla ana kırık hatlarının ve Pliyosen yaşlı bazaltik volkanitlerin bulunuşu yüksek ısı akısı ve jeotermal gradyanın varlığını göstermektedir. Bazaltik volkanitler yüzeyde fazla yayılım göstermemektedir. Ancak bol kırıklı, çatlaklı ve ayrılmış olması nedeniyle akifer özelliğindedir. Alüvyon ise gerek beslenme alanının genişliği, gerekse geçirgenliği nedeniyle yeraltı suyu sağlayabilecek iyi bir akiferdir. İnceleme alanının deniz kenarında bulunması nedeniyle akiferlerin deniz suyu girişiyle tuzlanması önemli hidrojeolojik problemlerden birisidir. Mermerler kırıklı ve karstik yapısı nedeniyle yukarıda değinildiği gibi iyi bir akifer olmakla birlikte bu yapısından kaynaklanan deniz suyu girişiminin oldukça fazla görüldüğü birimdir. Yeraltı suyu taban seviyesini de çoğunlukla deniz seviyesi belirlemektedir. Bu nedenle denize yakın yerlerde mermer biriminde açılacak kuyularda deniz seviyesinin altına inilmesi sakıncalıdır. Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi ise değişik hidrojeolojik özelliklere sahip kayaçların ardalanmasından oluşması nedeniyle daha farklı bir görünüm sunmaktadır. İçerdikleri killi düzeyler geçirimsiz engel kaya olduğundan, denizin kıyısında bile açılacak sondajlarda tatlı su akiferinden yararlanma şansı vardır.

İnceleme alanında DSİ ve Toprak Su tarafından açtırılmış bulunan sondaj kuyularında yapılmış olan pompalama deneylerinde Kuşadası biriminin transmissivite değerleri $T = 370-1420 \text{ m}^2/\text{gün}$ arasında bulunmuştur (DSİ, 1978). Alüvyonda açılmış bulunan kuyularda ise bu değer $9800-39500 \text{ m}^2/\text{gün}$ arasında değişmektedir. DSİ (1978) verilerine ve Nisan-1992 saha gözlem ve ölçümlerine dayanılarak yapılan eş yeraltı suyu seviye haritasına göre Davutlar Ovası'ndaki

yeraltı suyu genel akım yönü topoğrafyaya uygun olup, batıya (denize) doğrudur. Hidrolik eğim yaklaşık olarak % 0.4 yani 1/250 olarak hesaplanmıştır. İnceleme alanında Menderes Masifi metamorfikleri yaklaşık 36 km², Kuşadası birimi 21 km² ve alüvyon birimi de 23 km² alan kaplamaktadır. Artan yazlıklar nedeniyle etkin yağışın azalmış olacağı düşünülerek, yağışın % 20'sinin yeraltına süzüldüğü varsayımıyla yapılan bütçe hesaplamasına göre toplam yeraltı suyu beslenimi 6.5 milyon m³/yıl olarak belirlenmiştir (Altıkardeşler, 1992).

Rezervuar kayacı: İnceleme alanında temeli oluşturan ve Menderes masifinin örtü kayaları içinde yer alan bu birim, detritik kökenli metamorfikler ve bunlarla düşey ve yanal geçişli olan, tipik renk ve litolojik özellikleriyle belirginleşen siyah renkli rekristalize kireçtaşı ardalanmalarından meydana gelmiştir, inceleme alanı dışında da yaygın olan bu birimler, daha güneyde Babadağ'dan (Denizli), Göktepe (Muğla), Kavaklıdere (Muğla) ve Şenköy'e (Milas) kadar yüzeylemektedirler. Triyas-Üst Kretase yaşlı mermerler jeotermal sular için rezervuar ve yeraltısuları için akifer kayaçlarını oluşturmaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Çalışma alanındaki kayaç birimlerinin hidrojeolojik özellikleri.

Örtü kayacı: Yaşlı serilere göre daha alçak sırt, düzlük ve tepeciklerden oluşan Neojen yaşlı çökel istif, gölsel ve akarsu havzalarının ürünleridir. İstifin tabanı, taban konglomerasıyla başlar, havzanın derinlerine doğru kırıntılı fasiyesin tane boyları küçülerek killi kireçtaşı çökelimi ile son bulur. Taban çakıltası üzerine uyumlu olarak kumtaşı, silttaşı kiltası – marn ve killi kireçtaşları yüzeyler. Birim ince – orta tabakalanma gösterir. Neojen yaşlı formasyonun kalınlığı 300 metre civarındadır. Neojen volkanik aktivitesi, olasılıkla Pliyosen çökelimi ile yaşıt olup volkanizma ürünleri olan andezitik – trakitik aglomera ve külleri (tüf – tüfit) Pliyosen çökelleri ile uyumlu olarak yataklanmıştır. Miyosen- Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi tüm kayaçları uyumsuz olarak örter jeotermal sular için örtü kayaçlarını meydana getirirler.

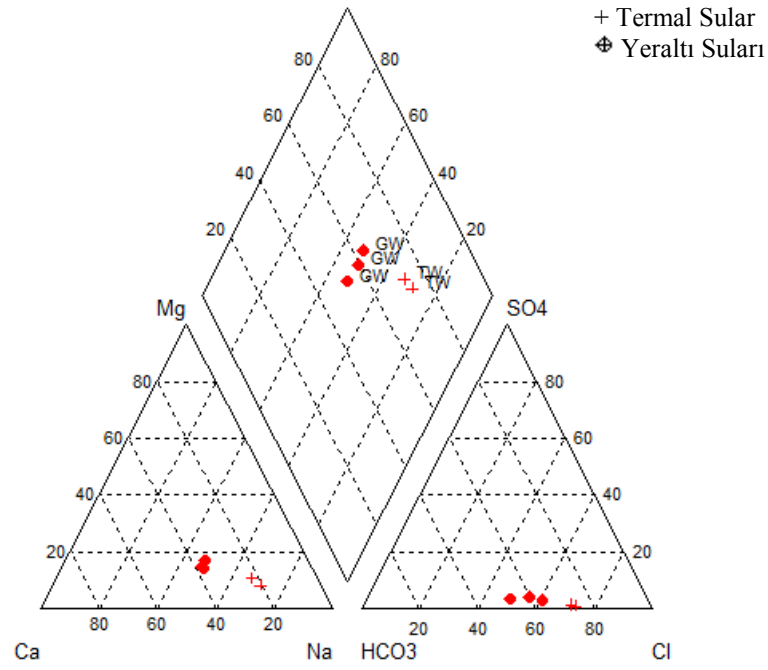
5.2. Hidrojeokimya

5.2.1. Hidrojeokimyasal analizler

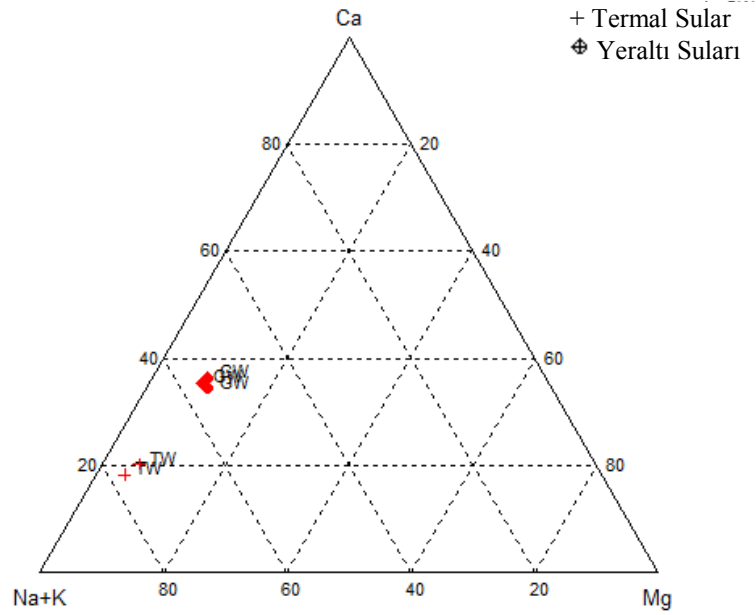
Piper diyagramı anyon ve katyonların (% mek/l cinsinden) ayrı ayrı gösterildiği iki ayrı üçgenden ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal su tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflamasında ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. 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 ayrı ayrı 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.

Çizelge 5.1. Çalışma bölgesi ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları

Örnek No	X	Y	Lokasyon	T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	O ₂ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)
SK-1	355525088	4175517	Kuşadası	43,1	6,63	-219,9	9720	3,1	1690	91,1	0,2	422	105	37,7	0,1	1647	2687	0,8	0,2	48,4	2,3
SK-2	355524093	4175517	Kuşadası	18,8	7,59	179	1213	6,6	128	2,65	0,2	87,3	21,5	10,8	0,1	353,8	214	0,1	14,3	20,1	0,3
SK-3	355524154	4176070	Kuşadası	15,8	7,54	20,6	1520	6,8	154	7,01	0,2	99,6	28,9	11,5	0,1	323,8	315	0,1	5,73	20,5	0,3
SK-4	355524000	4175858	Kuşadası	54,1	6,28	-263,6	7060	4,4	1121	63,1	0,2	324	95,3	34,5	0,1	1220	1869	0,7	0,7	52,5	1,6
SK-5	355521335	4173581	Kuşadası	23,3	6,96	165,1	2010	5,5	219	9,34	0,2	145	34,7	9,65	0,1	500,2	397	0,1	2,18	39	0,3



Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.



Şekil 5.3. Çalışma alanından jeotermal suların Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı.

Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve diyagramının çizilmesi, bu sorunların önlenmesinde etkin rol oynamaktadır. Bunun için kullanılan mineral sıcaklık diyagramlarında Pozitif doygunluk indeksi çöktürücü özelliği, negatif doygunluk indeksi ise çözündürücü özelliği ifade etmektedir. Doymuluk indeksleri, jeotermal sistemde kayalar ile su arasında meydana gelen kimyasal dengelenmeyi değerlendirmede yararlıdır. Bu, hidrotermal alterasyona uğrayan kayaları 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 doymuluk indeksleri geliştirmek yazılım programı kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada Aquachem programı doymuluk indeksini hesaplamak için kullanılmıştır. Mineral doymuluk indekslerinin hesaplamasında basınç 1 atm olarak alınmış ve pH sabit tutulmuştur. Bulunan bu değerler Excel programı aktararak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur (Çizelge 5.3).

Çalışma bölgesi doymuluk indeksleri açısından incelendiğinde; beş ayrı (SK-1, 2, 3, 4, 5) su numunesinde yalnızca aragonit, kalsit ve dolomit doymuluk derecesine ulaşmış olup diğer mineraller doymuluk derecesine ulaşamamıştır.

Çizelge 5.3. Çalışma alanında ve yakın çevresindeki örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri

Mineraller	SK-1	SK-2	SK-3	SK-4	SK-5
Anhidrit	-1,95	-2,53	-2,5	-1,85	-2,14
Aragonit	0,7	0,31	0,22	0,31	0,05
Kalsit	0,83	0,46	0,37	0,43	0,2
CO₂(g)	-0,4	-2,11	-2,12	-0,09	-1,32
Dolomit	1,58	0,58	0,42	0,87	0,11
Florit	-1,21	-2,92	-2,85	-1,47	-2,85
Jips	-1,84	-2,29	-2,25	-1,82	-1,91
H₂(g)	-21,2	-23,2	-23,11	-20,47	-21,93
H₂S(g)	-63,17	-69,29	-68,33	-61,02	-63,47
O₂(g)	-34,87	-38,89	-40,15	-33,1	-39,85
Sülfür	-47,58	-52,06	-51,24	-46,01	-47,45

5.3. Jeokimyasal termometre uygulamaları

Termal sular yer altında farklı sıcaklık ve basınç koşulların altında bulunur ve bulunduğu kayaç ile etkileşime girer. Bu etkileşim rezervuar kayacın mineralojisine 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.

5.3.1. Kimyasal jeotermometre uygulamaları

Çalışma alanında seçilmiş olan sıcak su örneklerinin, akifer sıcaklıklarını hesaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal 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).

5.3.1.1. Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir (Çizelge 5.5.). Silisin çözünürlüğü sıcaklık ve basınç ile değişim gösterir. Silis minerali su içerisinde; kuvars, kalsedon, kristobalit, opal ve amorf gibi çeşitli formlarda bulunur. Bu formlar su içerisinde birbirinden farklı kinetik özellik gösterir. Bu farklılıktan yararlanarak hazne kaya 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 çökelişi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise 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 çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara 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 çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

Çizelge 5.4. Silis (SiO₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Silis SiO ₂ Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değinen 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

5.3.1.2. Katyon jeotermometreleri

Bir çözeltildeki iyonların başka iyonlarla yer değiştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir (Çizelge 5.9). Na/K jeotermometresi, Na-K-Ca jeotermometresi ve Magnezyum düzeltilmeli 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)'ya göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözünmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değışim reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliğı gösteren alkali feldispatlar arasındaki Na ve K değışimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı temel için verilebilecek en güzel örnektir.

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 oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})$ 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 sonuçlar vermektedir (Özen, 2002).

Na-K-Ca jeotermometrelerinde 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 (1976) tarafından aşağıdaki bağıntı geliştirilmiştir.

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

Bağıntıda Na, K, Ca, mol/l olarak alınır. B bir katsayıdır. Eğer $\log (\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})$ değeri (-) ise $\beta=1/3$, (+) ise $\beta=4/3$ olarak bağıntıya konur. Ayrıca $\beta=4/3$ olarak 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., 1988
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

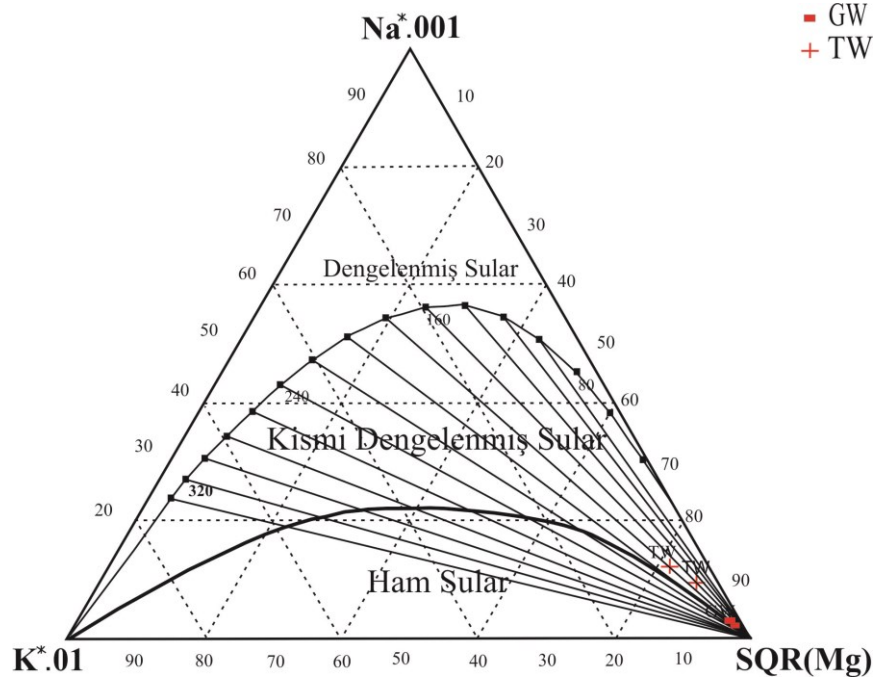
5.3.2. Birleşık jeotermometreleri uygulamaları

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. Fournier II. ve III. Bölgelerin ayrımını, 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 olgunlaşmış, su-kaya 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.

Olgunluk İndeksi (MI) = $[0.315 \log (K^2/Mg)] - [\log (K/Na)]$ (Giggenbach, 1998)

Na-K-Mg^{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. Kuşadası jeotermal alanından alınan su örneklerinin tamamı “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir.



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

5.3.3. Çalışma alanındaki Jeotermometre sonuçlarının değerlendirilmesi

Çalışma alanındaki rezervuar sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Jeokimyasal termometrelerin sonuçları Çizelge 5.7.’de verilmiştir. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Kuşadası jeotermal sahasında SK-1 kuyusu için 37-185 °C arasında SK-4 36 ila 188 °C arasındadır.

Çizelge 5.6. Çalışma alanındaki termal suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları.

Örnek No	Örnekleme Sıcaklığı °C	K/Mg Giggenbach 1983	Mg/Li Kharaka 1989	Na/Li Kharaka 1989	Na/Li Cl<10000 Fouillac 1981	Na/Li Cl<10000 Fouillac 1981	Na/K Fournier 1973	Na/K Truesdell 1976	Na/K Fournier&Potter	Na/K Fournier 1979	Na-K-Ca Fournier 1979	Na-K-Ca- Mg Fournier 1979
SK-1	43.1	43	70	139	37	47	122	130	185	169	162	62
SK-4	54.1	46	60	137	36	46	126	133	188	172	159	52

5.4. İzotop jeokimyasal özellikler

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 her hangi 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 Tritiyum izotopları termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı, yüksekliği ve yer altında kalış sürelerini tahmin etmede kullanılır.

Duraylı izotop analiz sonuçları Çizelge 5.8’de verilmiştir. Çizelgede de görüleceği üzere çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ değeri SK-1’de -5,16, SK 2’de -5,38, SK-4’de -5,43, SK-5’de -5,14 dür. $\delta^2\text{H}$ değeri ise SK 1 örneği için -29,2, SK 2 için -28,5, SK-4 -30,7 ve SK-5 de -28,3 tür. ^3H değerleri ise SK-1,2,4, numuneleri için <10 SK-5 için 10,2 dir.

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan trityum radyoaktif bir izotop olup; yarılanma ömrü 12.43 yıldır. Tritiyum izotopu çekirdekten elektron (P ışını) salınması ile yarılanır. Elektronların enerjisi düşük olup; doğal düzeydeki trityum 81 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, $\delta^{18}\text{O}$ 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 ^5N izotopuna çarparak onu ^5C ve ^8H 'a ayırıştırması ile

oluşmaktadır. Doğal yoldan atmosfere yayılan trityumun yağış suyundaki eşdeğeri 10 TU'dir. 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 yer altı 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).

Çizelge 5.7. Analiz izotop sonuçları

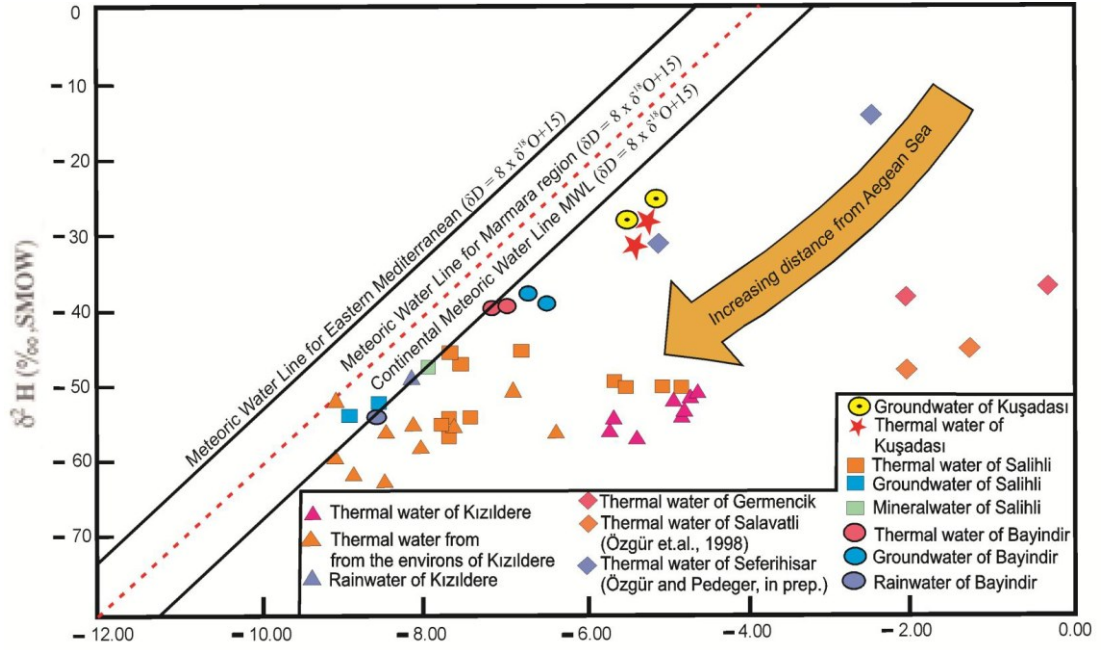
Örnek no	Oksijen-18 $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Döteryum $\delta^2\text{H}$ (‰)	Trityum ^3H (TU)
SK-1	-5.16	-29.2	<10
SK-2	-5.38	-28.5	<10
SK-4	-5.43	-30.7	<10
SK-5	-5.14	-28.3	10,2

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); $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10$ ‰ (SMOW)

Akdeniz Meteorik Su Doğrusu; $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+22$ ‰ (SMOW) (Gat & Carmi, 1970)

Marmara Meteorik Su Doğrusu; $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+18$ (SMOW).



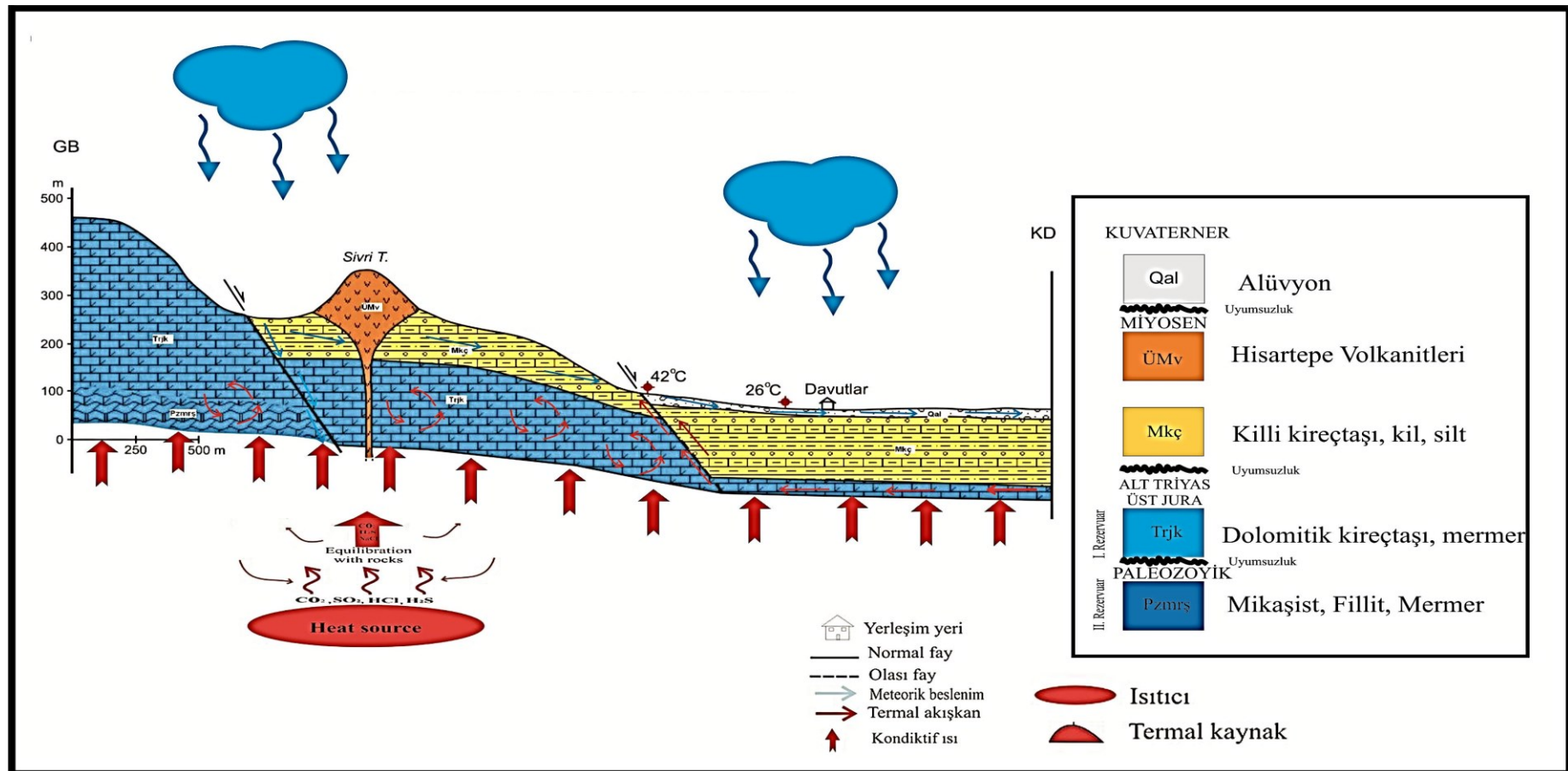
Şekil 5.6. Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi.

Kuşadası ve yakın çevresinden alınan 2 (iki) adet jeotermal su ve 2 (iki) adet yeraltısuyu örneğinde $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H analizleri gerçekleştirildi. Duraylı izotoplar olan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı Şekil 5.7 de görülmektedir. Burada genel olarak yağmur suları ve karışım gösteren yeraltısuları ve termal suları sistemi meteorik su çizgisi boyunca yer almaktadır. Buna karşın yüksek sıcaklıkta bulunan derin kökenli termal sular bu meteorik su çizgisinden önemli ölçüde sapma göstermekte ve bu durumda yüksek sıcaklık koşulları altında kayaç-su etkileşim koşullarına işaret etmektedir. ^{18}O izotopundaki önemli farklılık ve sağa olan kayma sıcak suların soğuk yeraltısuları ile karışımına işaret etmektedir ve bu belirleme ^2H , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^3H , ve ^{14}C değerleri ile belgelenmiştir (Özgür, 1998). Burada ölçülen trityum değerleri (1) yüksek sıcaklık jeotermal sistemleri olan Kızıldere, Salavatlı ve Germencik sistemlerinde deteksiyon limitlerinin altında bulunmakta ve (2) diğer mineralize olmuş yeraltısuyu ve yeraltısuyu-termal su sistemlerinde atmosferik ve antropojenik değerler olarak bulunmaktadır.

5.5. Kuşadası Yöresi Jeotermal Suların Hidrojeolojik Modellemesi

Sahada açılan jeotermal sondaj kuyularına ait kavramsal olarak düzenlenmiş hidrotermal model Şekil 5.8 de sunulmuştur. Litolojik birimler ile fay zonları ve kuyu derinlikleri arasındaki ilişki gösterilmeye çalışılmıştır. Hisartepe volkanitleri jeotermal sahanın ısıtıcısı olarak görülmektedir. Sahada görülen kil, silt, killi kireçtaşı iyi bir örtü kayaç niteliğinde olup mezozoyik yaşlı birimleri uyumsuz olarak üzerlemektedir. Menderes Masifi Metamorfikleri üyesi olan çeşitli şistlerde iyi bir örtü kayacı özelliği göstermektedir. Alt Triyaş-Üst Jura yaşlı dolomitik kireçtaşı, mermer ardalanması birinci rezervuar, Paleozoyik yaşlı Mermerler ise ikinci rezervuar olarak belirlenmiştir. Graben alanında çökelen Neojen yaşlı kayaçların killi siltli kısımları ile Menderes Masifi'nin mikasistleri örtü kayaç özelliği gösterir. Menderes Masifi'nin mermerleri ile kristalize kireçtaşları ve bunların fay zonları jeotermal sistemin rezervuar kayacını oluştururlar.

Kuşadası yöresi jeotermal sahasından alınan örneklerden yapılan jeokimyasal analiz çalışmalarından, izotop çalışmalarından çıkan sonuca göre jeotermal akışkan meteorik kökenlidir ve faylarla ilişkilidir.



Şekil 5.7. Kuşadası jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli (J - 845 nolu Jeotermal Kaynak İşletme Ruhsatına İlişkin 2015-2016 Faaliyet Dönemi İşletme Faaliyet Raporundan uyarlanmıştır)

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

6.1. Kuşadası - Davutlar jeotermal alanında olası ısı kaynağı, jeotermal sistem ve tektonik arasındaki ilişki

Kuşadası ve yakın çevresinde Mesozoyik yaşlı metamorfik kayalar temel kayaları oluşturmaktadır. Bunları uyumlu olarak örten Üst Triyas-Üst Kretase yaşlı mermerler jeotermal sular için rezervuar ve yeraltıları için akifer kayalarını oluşturmaktadır. Miyosen-Pliyosen yaşlı Kuşadası birimi tüm kayaları uyumsuz olarak örter ve hem jeotermal sular ve hem de yeraltıları için örtü kayalarını meydana getirirler. Tüm bunları örten ve Kuvaterner yaşlı olan alüvyonlar geniş yayılım gösterirler ve yeraltıları için akifer oluştururlar.

Graben alanında çökelen Neojen yaşlı kayaların killi siltli kısımları ile Menderes Masifi'nin mikaşistleri örtü kayaç özelliği gösterir. Menderes Masifi'nin mermerleri ile kristalize kireçtaşları ve bunların fay zonları jeotermal sistemin rezervuar kayacını oluştururlar.

Alt Triyas-Üst Jura yaşlı dolomitik kireçtaşı, mermer aralanması birinci rezervuar, Paleozoyik yaşlı Mermerler ise ikinci rezervuar olarak belirlenmiştir.

Kuşadası yöresi jeotermal sahasından alınan örneklerden yapılan jeokimyasal analiz çalışmalarından, izotop çalışmalarından çıkan sonuca göre jeotermal akışkan meteorik kökenlidir ve faylarla ilişkilidir.

Hisartepe volkanitleri jeotermal sahanın ısıtıcısı olarak görülmektedir. Hisartepe volkanitleri asidik özellikte olduğu için geç soğuyan bir ısıtıcıdır.

6.2. Çalışma alanının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri

Jeolojik olarak en genç birim olan alüvyon Kuşadası ve yakın çevresi yeraltısını için akifer olabilecek özelliktedir. Güncel olarak çalışma alanında yeraltısularının fazla kullanımı nedeniyle yeraltı sularının seviyesinin düşmesi ve bu nedenle yeraltı sularına deniz suyu girişimi tehlikesi belirmiş bulunmaktadır. Bu duruma karşı acil önlemler alınması gerekmektedir.

Çalışma alanındaki rezervuar sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Kuşadası jeotermal sahasında SK-1 kuyusu için 37-185 °C arasında SK-4 36 ila 188 °C arasındadır.

Na-K-Mg^{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. Kuşadası jeotermal alanından alınan su örneklerinin tamamı “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir.

Çalışma bölgesi doygunluk indeksleri açısından incelendiğinde; beş ayrı (SK-1,2,3,4,5) su numunesinde yalnızca aragonite, kalsit ve dolomit doygunluk derecesine ulaşmış olup diğer mimerallerin doygunluk derecesine ulaşmadığı Çizelge 5.7’ de görülmektedir.

Çalışma alanı ve yakın çevresi jeotermal suları için hazırlanan Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı (Şekil 5.4.) şekilde tüm örneklerin Na+K katyonlarına yönelmesi Na+K katyonlarının baskın katyon olduğunu göstermektedir. Sıcak suların yeraltında dolaşımı esnasında Na ve K içeren metamorfik kayalarla daha fazla etkileşime girdiği çok barizdir.

Kuşadası ve yakın çevresinden alınan 2 (iki) adet jeotermal su ve 3 (üç) adet yeraltısını örneğinde $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H analizleri gerçekleştirildi. Duraylı izotoplar

olan $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramı Şekil 5.7 de görülmektedir. Burada genel olarak yağmur suları ve karışım gösteren yeraltısuları ve thermal suları sistemi meteorik su çizgisi boyunca yer almaktadır. Buna karşın yüksek sıcaklıkta bulunan derin kökenli termal sular bu meteorik su çizgisinden önemli ölçüde sapma göstermekte ve bu durumda yüksek sıcaklık koşulları altında kayaç-su etkileşim koşullarına işaret etmektedir. ^{18}O izotopundaki önemli farklılık ve sağa olan kayma yoğun su kayaç etkileşimini işaret etmektedir ve bu belirleme ^2H , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, ^3H , ve ^{14}C değerleri ile belgelenmiştir (Özgür, 1998). Burada ölçülen trityum değerleri (1) yüksek sıcaklık jeotermal sistemleri olan Kızıldere, Salavatlı ve Germencik sistemlerinde deteksiyon limitlerinin altında bulunmakta ve (2) diğer mineralize olmuş yeraltısuyu ve yeraltısuyu-termal su sistemlerinde atmosferik ve antropojenik değerler olarak bulunmaktadır.

Kuşadası ve yakın çevresi jeotermal suları ve yeraltısuları hidrojeokimyasal olarak Na-Cl-HCO₃ veya Na-Ca-Cl-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Çalışma alanında jeotermal sular 1690 mg/l Na ve 2687 mg/l Cl değerlerine ve yeraltısuları 219 mg/l Na ve 397 mg/l Cl değerlerine varan içeriklerle oldukça fazla tuzlanmış bulunmaktadır. Bu jeotermal sular ve yeraltısuları $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında yoğun su-kayaç etkileşimi dolayısıyla sağa doğru kayma göstermektedir.

7. KAYNAKLAR

- Agostini, S., Tokcaer, M., Yılmaz Savaşın, 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 s.
- Akan, B., 2002. Jeotermal Sistemlerde Modelleme Yaklaşımı; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
- Akartuna, M., 1962. İzmir-Torbalı-Seferihisar-Urla bölgesinin jeolojisi hakkında: MTA Derg., 59,1-18, Ankara.
- Akartuna, M., 1965. Aydın-Nazilli hattı kuzeyindeki versanların jeolojik etüdü: MTA Derg., 65, 1-10, Ankara.
- Alpman, N., 1963. Batı Anadolu Tabii Sıcak suları İçmeceleri ve Maden Sularının Teknik Envanteri, MTA Rap. NO:3629, Ankara.
- Altıkardeşler, Ş. 1992. Davutlar (Kuşadası-Aydın) ve çevresinin hidrojeolojisi. D.E.Ü. Müh. Fak. Bitirme Projesi, Bornova-İzmir, 98 s.(yayınlanmamış).
- Ambraseys, N.N. ve Finkel, C., 1995. The seismicity of Turkey and adjacent areas. A historical review, 1500-1800, Eren Yayınları, İstanbul.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E. ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. Geochemica et Cosmochimica Acta.. Pergamon Press. The United States of America, 567-577.
- Başarır, E., ve Konuk, Y.T., 1981. Gümüldür yöresinin kristalin temeli ve allohton birimleri: Türkiye Jeol. Kur. Bült., 24/2, 95-100.
- Başel, E. D.K., Serpen, Ü., Satman, A., 2011. “Türkiye’nin Jeotermal Enerji Potansiyeli”, Türkiye 18. Uluslararası Petrol ve Doğalgaz Kongre ve Sergisi, Ankara.
- Bello, A.O., 2013. “Simav ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri.” Yüksek lisans çalışması. 24 -45s. Isparta.
- Bozcu, M., 2010. “ Geology of Neogene basins of Buldan-Sarıcaova region and their importance in Western Anatolia neotectonics “.
- Bozkurt E., Satır, M., Buğdaycıoğlu, Ç., 2011. Surprisingly young Rb/Sr ages from the Simav extensional detachment fault zone, northern Menderes Massif, Turkey. Journal of geodynamics 52, 406-431.
- Bozkurt E., Sözbilir, H., 2004. Tectonic evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two stage extension in Western Turkey. Geological Magazine 141, 63-79.
- Bozkurt, E., 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. Internati. J. Earth Sci. 89, S.728-744.

- Bozkurt, E., Satır, M., 2000. The southern Menderes Massif (western Turkey): geochronology and exhumation history. *Geol. J.*, 35, 285-296 s.
- Candan et al., 2001. *International Journal of Earth Science (Geologische Rundschau)*, 89, 4, 793-811
- Candan, O. ve Dora, O.Ö., 1998. Menderes Masifi'nde granulit, eklojit ve mavi þist kalýntýlarý: PanAfrikan ve Tersiyer metamorfik evrimine bir yaklaþým. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 41/1, 1-35.
- Candan, O., 1995. Menderes Masifin'deki kalıntı granulit fasiyesi metamorfizması. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 4, 35-55.
- Candan, O., 1996. Aydın - Çine Asması'ndeki (Menderes Masifi) gabroların metamorfizması ve diğ er asması larla karşı laştırılması. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 5, 123-139.
- Cavazza, W., Federica, I., Okay, A.I., Zatin, M., 2011. Apatite fission-track thermochronology of the Western Pontides (NW Turkey). *Rapid communication: Geological Magazine*, PP.1-8.
- Cavazza, W., Okay, A.I. & Zattin, M., 2009, Rapid early-middle Miocene exhumation of the Kazdağ metamorphic core complex (Western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, 98, 1935–1947.
- Çağlayan, M.A.; Öztürk, E.M.; Öztürk, Z.; Sav, H; Akat, U. 1980. Menderes Masifi güneyine ait bulgular ve yapısal yorum. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, no: 9, 1-17.
- Çakmak oğlu, A., 2005a. Dilek Yarımadası, Söke ve Selçuk çevresinin Neojen öncesi tektono-stratigrafisi: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 10786.
- Çakmak oğlu, A., 2007. Dilek Yarımadası, Söke ve Selçuk çevresinin neojen öncesi tektonostratigrafisi. *Maden Teknik ve Arama Dergisi*, 135, 1-17.
- 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.
- Dannat, C., Reischmann T., 1998. Single zircon ages of migmatites from the Menderes Massif, SW Turkey. *Programm des Workshop "Das Menderes Massiv (Türkei) und seine Nachbargebiete*, Mainz, 6 s.
- Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H., Oberhansli, 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, Tarcan, G. –eds), 53-72s, İzmir.
- Dora, O.Ö., Candan, O., O, Kaya., Koralay, E., Dürr, S., 2001. Revision of "Leptitegneiss" in the Menderes Massif: a supracrustal metasedimentary origin. In: *Menderes Massif (Western Turkey): structural, metamorphic and*

- magmatic evolution (Bozkurt, E., Oberhansli, R. –eds), Int. J. Earth Sci., 89, 832-847 s.
- DSİ 1978. Kuşadası-Davutlar ve Çevresi ile ilgili hidrojeolojik etüd raporu. DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).
- DSİ 1988. Davutlar ve Çevresi ile ilgili açılmış bulunan sondaj kuyu verileri ve kimyasal analiz dökümanları. DSİ Aydın Bölge Müdürlüğü (yayınlanmamış).
- Egeran.N and Yener H., 1944. Feville İzmir. MTA.
- Ercan, A., Yılmaz, S., Biberoğlu, S. 1991. Kuşadası'nın jeotermal potansiyeli. Kuşadası Belediyesi Yeraltı Kaynakları ve Çevre Sempozyumu Bildiri Metinleri Kitabı. Belediye yayın no:3, Kuşadası, 31-55.
- Ercan, T., Akat, U., Günay, E., ve Savaşçın, Y., 1985c. Söke-Selçuk-Kuşadası çevresinin jeolojisi ve volkanik kayaçların petrokimyasal özellikleri: MTA Derg.
- Erentöz, C., Ternek, Z., 1969. Türkiyede termomineral kaynaklar ve jeotermik enerji etütleri: M.T.A, Ankara, 2 s.
- 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 s.
- Filiz, Ş.; Tarcan, G. 1993. Kuşadası dolaylarında aşırı yeraltı suyu çekiminin hidrojeolojik değerlendirilmesi. Akdeniz Üniversitesi, Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, s. 7, 175- 196.
- Filiz, Ş.; Tarcan, G. 1995. Kuşadası çevresinin hidrojeolojisi. Kıyı Sorunlar ve Çevre Sempozyumu, 10-11 Kasım 1994, Kuşadası-Türkiye, Belediye yayınları no:7, 60-70.
- Foulliac, C., Michard, G., 1981. Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, v. 10, p.55-70.
- 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.
- Fournier, R.O., 1979. "A revised equation for the Na/K geothermometer" Geothermal Resources Council Transactions, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geoth. Res. Council. Trans., 14, 1421-1425.
- Fridleifsson, Ingvar B; Bertani, Ruggero; Huenges, Ernst; Lund, John W; Rignarsson Arni; Rybach Ladislaus., 2008. The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. Huebeck, Germany, pp 59-80, retrieved 2009-04-06.
- Gat, J.R., ve Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. Journal of Geophysical Research 75, S. 3039-3048.

- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, S. 2749-2765.
- Graciansky, P. Ch. de-, 1965. Menderes Masifi güney kıyısı boyunca görülen metamorfizma hakkında açıklamalar: *M.T.A. Dergisi*, 64, 9 - 23.
- Graciansky, P. Ch. de, 1972. Recherches géologiques dans le Taurus Lycien occidental: These Univ. Paris-Sud centre d'orsay, Ser. A, No. 896, 571 s.
- Guidoboni, E., Comastri, A. ve Triana A.G., 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th century, Instituto Nazionale di Geofisica, Rome, 504, ISBN 88- 85213-06-5.
- Hetzel, R., Romer, R.L., Candan, O., ve Passchier, C.W., 1998. Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, SW Turkey: Pan-African basement and Alpine deformation. *Geol. Runfsch.* 87, S. 394-406.
- <http://www.eie.gov.tr>
- Kapucu, S., Özgür N. ve Çalışkan T., 2015. Kuşadası (Aydın) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası. 68. Jeoloji Kurultayı, Bildiri Özleri Kitabı, Ankara, s. 268-269.
- Kapucu, S., Özgür N., Çalışkan T., ve Abubakar, İ.İ., 2017. Hydrogeological, Hydrogeochemical and Isotope Geochemical features of Thermal Waters in Kuşadası, Turkey, *Procedia Earth and Planetary Science*, 17, s. 185-188.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. *Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, Naser, N. D. and McCulloh T. H., (eds.), Springer Verlag, New York, pp. 99-117.
- Koralay, E., Satır, M., Dora, O. Ö., 1998. Geochronologie evidence of Tertiary and Precambrian magmatism in the Menderes Massif, west Turkey. *Third Int. Turkish Geol. Symp*, 285- 286.
- Kutanis, M., 2008. Depremlilik -Sismisite Türkiye'de Sismik Aktivite, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü.
- Külekçi, Ö.C., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi: Place of Geothermal Energy in The Content of Renewable Energy Sources and It' s Importance for Turkey.
- Mutlu, H., 1999. Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. *JENARUM. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları*, İzmir. 38-54s.
- Nicholson, K., 1993. *Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques*. Springer-Verlag, Berlin, 263 p.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Development in geothermal energy in Mexico, Part 12-A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources, *Heat Recovery Systems and CHP*, 7, 243-258.
- Oberhänsli, R., Ölsner, F. ve Dürr, St., 1997. Blueschist relics in the Mesozoic cover series of the Menderes Massif and correlations with Samos Island, Cyclades. *Schweiz Mineral. Petrol. Mitt.*, 77, 95-99.

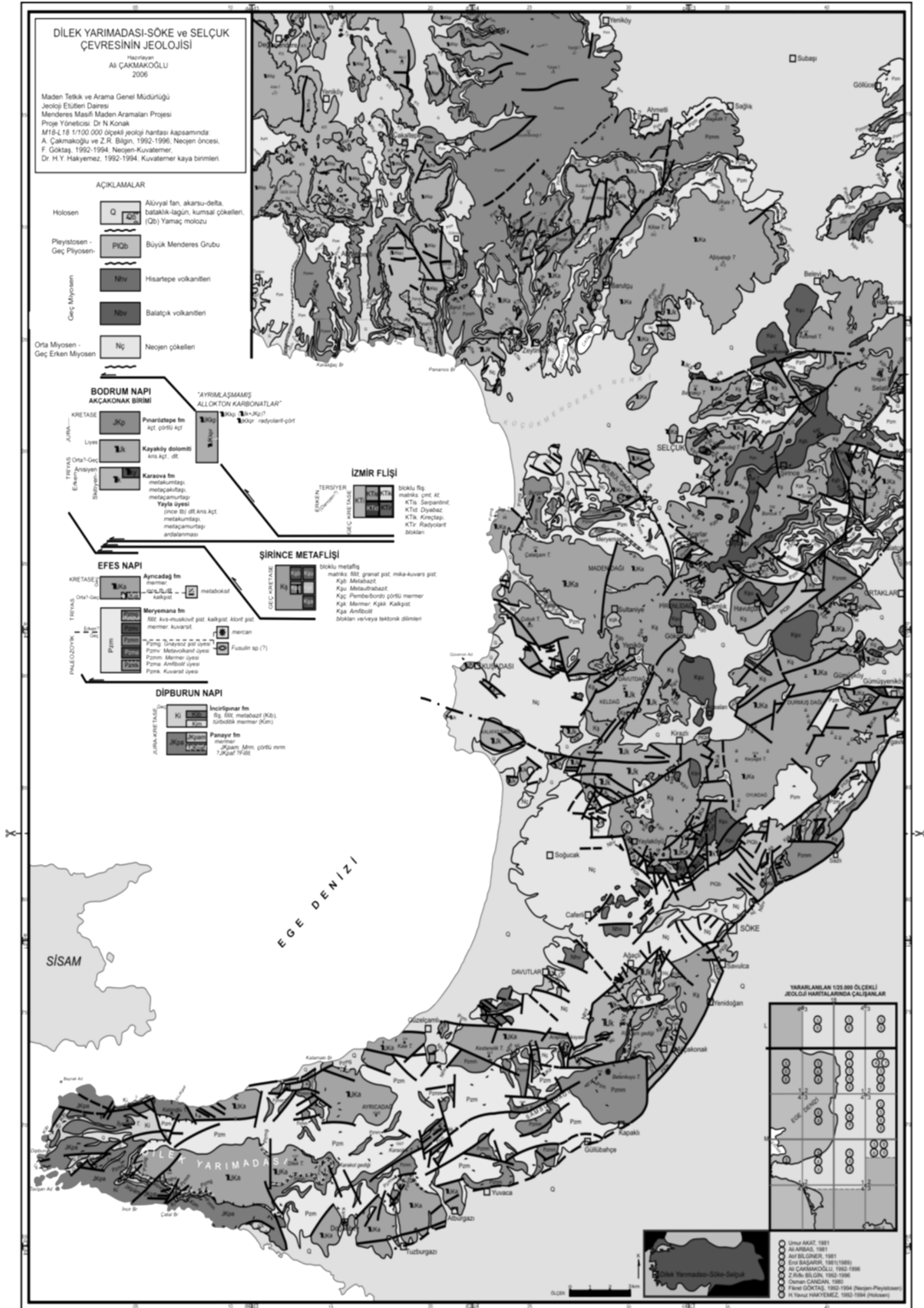
- Özen, T., 2002. Jeotermal Sahalarda Jeolojik Ve Jeofizik Arama İlke Ve Stratejiler. Jeotermal Enerji Semineri.
- Özgür, N., Pekdeğer, A., Wolf, M., Stichler, W., Seiler, K.P. and Satır, M., 1998. Hydrogeochemical and isotope geochemical features of the thermal waters of Kizildere, Salavatlı, and Germencik in the rift zone of the Büyük Menderes, western Anatolia, Turkey: Preliminary studies, Int. 9th Symp. on Water – rock Interaction, 30 March - 3 April, Taupo, New Zealand, Eds: G.B. Arehart and J.R. Hulston, Balkema, Rotterdam, pp. 645- 648.
- Özgür, N., Vogel, M., Pekdeğer, A., 1998. A new type of hydrothermal alteration of the Kızıldere geothermal field in the rift zone of the Büyük Menderes, western Anatolia, Turkey: in: Arehart, G.B. and Hulston, J.R. (-eds): Proc. Internat. 9th Symp. On Water-Rock Interaction, Taupo, New Zealand, 30 March – 3 April, p.645-648.
- Pasvanoğlu, S., Esentürk, Y., Çakır, Ş. 2005. Kuşadası-Davutlar kaplıcasının hidrojeoloji incelemesi ve bölgenin depremselliği ile ilgili verilerinin derlenmesi, Kocaeli.
- Pınar, R.; Akçığ, Z. 1991. Mağriboğlu yöresindeki yeraltı nehrinin ilişki katsayısı yöntemi ile belirlenmesi. Kuşadası Belediyesi Yeraltı Kaynakları ve Çevre Sempozyumu Bildiri Metinleri Kitabı. Belediye yayın no:3, Kuşadası, 89-113.
- Powell, T. and Cumming, W.. 2010. Spreadsheet for geothermal waters and gas geochemistry, Proceedings 35th workshop on geothermal reservoir engineering, Stanford University, California, SGP-TR-188.
- Purvis M, Robertson AHF., 2004. A pulsed extension model for the Neogene-Recent E-W trending Alaşehir graben and the NE-SW trending Selendi and Gördes Basins, Western Turkey, Tectonophysics 391:371-201.
- Satır, M. ve Friedrichsen, H., 1986. The origin and evolution of the Menderes Massif, W-Turkey: A rubidium/ strontium and oxygen isotope study. Geologische Rundschau, 75/3, 703-714.
- Satman, A., Serpen, U., ve Korkmaz Başel, E.D., 2007. “An Update on Geothermal Energy Potential of Turkey,” Proceedings 32th Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, USA, 22-24 Ocak.
- Serpen, U, Korkmaz, Basel, E.D. and Satman, A., (2008) Power Generation Potentials of Major Geothermal Fields in Turkey. 33 rd Workshop on Geothermal Res. Eng., Stanford University, Stanford, California.
- Seyitoğlu, G., Işık, V., Çemen, I., 2004. Complete Tertiary exhumation history of the Menderes Massif, western Turkey; an alternative working hypothesis. Terra Nova 1616: 358-364.
- Şengör, A. M. C., Görür, N. and Şaroğlu, F., 1985. Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation, Soc. Econ. Paleont. Min. Spec. Pub. 37 (in honor of J.C. Crowell), 227- 264.

- Şengör, A.M.C., 1982. Egenin neotektoniğini yöneten etkenler: In: Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması (Erol, O., Öygür, V. eds.), Türkiye Jeol. Bült., 59-71 s.
- Şengör, A.M.C., Satır, M. ve Akkök, R., 1984. Timing of tectonic events in the Menderes Massif, western Turkey. Implications for tectonic evolution and evidence for Pan-African basement in Turkey. *Tectonics* 3(7): 693-707.
- Şimşek, Ş.; Uygur, N.; Özbayrak, İ.H.; Dikmeoğlu, T.; Coşkun, B.S. ve Araş, A., 1982. Aydın (Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanakları: Tübitak 7.Bilim Kong., Yerbilimleri Sektörünü Tebliğler Kitabı, 251-264.
- 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.
- Tarcan, G., Filiz, Ş., ve Gemici, Ü., 2000. Davutlar kaplıcası (Kuşadası-Aydın) çevresinin hidrojeolojisi ve hidrojeokimyası, D.E.Ü. Fen ve Mühendislik Dergisi, cilt 2, sayı 1, sayfa 91-110, İzmir.
- Tarcan, G.; Filiz, Ş.; Gemici, Ü. 1999. Davutlar-Kuşadası (Aydın) Çevresinin hidrojeolojik incelenmesi. Kıyı Sorunlar ve Çevre Sempozyumu, 14-16 Kasım 1997, Bildiri Metinleri Kitabı, Belediye yayınları no:8, Kuşadası-Türkiye (Baskıda).
- Tezcan, L., 1992. Karst Akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Sym., Strasbourg, pp. 428-443.
- Turcotte, D.L., Schubert, G., 2002. "4", *Geodynamics* (2nd edition), Cambridge, England, UK; Cambridge University Press, pp 136-137.
- Van Hinsbergen, D.J.J., Dekkers, M.j., Bozkurt, E., Kopman M., 2010b. Exhumation with a twist: paleomagnetic constraints on the evolution of the Menderes metamorphic core complex, Western Turkey. *Tectonics* 29. DOI: 10.1025/2009T/002596.
- Waterloo Hydrogeologic, 1999. AquaChem 3.7: Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling, 184 S.
- Yılmaz, S.; Şaroğlu, F.; Özgür, R.; Açıkgöz, S.; Ercan, T.; Gevrek, A.İ.; Yıldırım, N.; Aydoğdu, Ö. 1994. Davutlar-Kuşadası arasındaki jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının değerlendirilmesi. Türkiye 6. Enerji Kongresi, 17-22 Ekim 1994, İzmir, Teknik Oturum Tebliğleri c. 1, 156-167.
- Yüksel, V., 1971. Söke-Germencik bölgesinin jeolojisi ve jeotermik enerji olanakları: MTA Rap., 4677 (yayımlanmamış).

EKLER

EK-A. Araştırma alanının jeolojik haritası

EK-A. Araştırma alanının jeolojik haritası (Çakmakoglu., 2007)



Araştırma alanının jeolojik haritası (Çakmakoglu., 2007)

8. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdar KAPUCU
Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1990
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : kapucuserdar@gmail.com



Eğitim Durumu

Lise : Özel Fatih Fen Lisesi, 2008
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği

Mesleki Deneyim

JRG Zemin Yer Bilimleri Mühendislik Hizmetleri – Serbest
Jeoloji ve Jeofizik Mühendisi, (2013 - Halen)