

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

**URGANLI (TURGUTLU, MANİSA) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL
SULARININ HİDROJEOLOJİK MODELLEMESİ**

Seher BÜYÜKŞAHİN

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

ISPARTA – 2016

© 2016 [Seher BÜYÜKŞAHİN]

TEZ ONAYI

Seher BÜYÜKŞAHİN tarafından hazırlanan “**Urganlı (Turgutlu, Manisa) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik modellemesi**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi **Doç. Dr. Erdal KOŞUN**
Akdeniz Üniversitesi

Enstitü Müdürü **Doç. 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.

Seher BÜYÜKŞAHİN

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal sistemler	4
1.2. Çalışma alanının jeotektonik konumu	9
1.3. Çalışmanın amacı	18
2. KAYNAK BİLGİSİ	19
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	25
3.1. Stratigrafi.....	25
3.1.1. Paleozoyik	25
3.1.2. Mesozoyik	25
3.1.3. Senozoyik	26
3.1.3.1. Pliyosen.....	26
3.1.3.2. Kuvaterner	26
4. MATERYAL VE METOD	31
4.1. Metod	31
4.1.1. Jeolojik çalışma	31
4.1.2. Örnek alımı ve in-situ analizleri	32
4.1.3. Hidrojeokimyasal analizler	32
4.1.4. Jeokimyasal termometreler	33
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	34
5.1. Kayaçların hidrojeolojisi	34
5.2. Hidrojeokimya.....	36
5.2.1. Hidrojeokimyasal analiz	37
5.2.2. Doygunluk indeksi.....	43

5.3. Jeokimyasal termometre uygulamaları.....	44
5.3.1. Kimyasal termometre uygulamaları	44
5.3.1.1. Silis jeotermometreleri.....	45
5.3.1.2. Katyon jeotermometreleri	46
5.3.2. Birleşik jeotermometre uygulamaları	47
5.3.3. Çalışma alanındaki jeotermometrelerin değerlendirilmesi.....	49
5.4. İzotop jeokimyasal özellikler	52
6. TARTIŞMA	55
6.1. Tektonik, ısıtıcı kaya ve jeotermal sular arasındaki ilişki	55
6.2. Çalışma alanının hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop Jeokimyası arasındaki özellikler	57
6.3. Urganlı jeotermal suların kavramsal modellenmesi.....	58
7. SONUÇ	60
8. KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	73

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

URGANLI (TURGUTLU, MANİSA) VE YAKIN ÇEVRESİ JEOTERMAL SULARININ HİDROJEOLJİK MODELLEMESİ

Seher BÜYÜKŞAHİN

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışmanı: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

Bu çalışma Urganlı (Turgutlu, Manisa) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik modellemesi kapsamında hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerini inceleyen tez çalışmasıdır. Çalışma alanı Batı Anadolu Bölgesinde Gediz kıtasal rift zonunda bulunur. Deniz seviyesinden 105 metre yükseklikte, 38°34'25.14" K enlem 27°50'52.37" D boylamlarındadır. Mikaşistler, Menderes Masifine ait yöredeki temeli oluşturlar ve hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler. Burada sıcak sular için rezervuar olan Paleozoyik yaşlı ve yer altı suları için akifer kayacı özelliği taşıyan mermerler bulunmaktadır. Pliyosen yaşlı tortul kayaçlar sıcak su rezervuarlarının oluşumunda geçirimsiz örtü kayaç olarak önemli rol oynarlar. Yörede bulunan aktif tektonik ve Miyosen ve daha genç yaşlı bazik volkanik kayaçların varlığı burada yüksek ısı akısı ve jeotermal gradyanın varlığına işaret etmektedir.

Çalışma alanında üç farklı sıcak su lokasyonundan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak sular genel olarak Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ve baskın HCO₃>Cl>SO₄ anyonlar olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına göre suların HCO₃ bakımından zengin olmaları rezervuar kayaçlarının genellikle karbonatlı (mermer ve kireçtaşı) birimlerden oluşması ve derin kökenli CO₂ gazının suda çözünmesi ile yakından ilişkilidir. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Tüm jeokimyasal termometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların rezervuar sıcaklığı 104 °C ölçülmüştür. Termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -54,8 ile -56,0 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -7,72 ile -7,64 arasında değişim göstermektedir. 0,7-1,2 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.

Anahtar Kelimeler: Menderes Masifi, Gediz graben zonu, Turgutlu, Urganlı, jeotermal sular, hidrojeoloji, hidrojeokimya, izotop jeokimyası, jeokimyasal modelleme.

2016, 71 sayfa.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

HYDROGEOLOGICAL MODELING OF THE GEOTHERMAL WATERS IN URGANLI (TURGUTLU, MANİSA) AND ENVIRONS

Seher BÜYÜKŞAHİN

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

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR

In this M.Sc. thesis, hydrogeological, hydrogeochemical, and isotope geochemical features of geothermal waters in Urganlı (Turgutlu, Manisa) and environs were studied. The investigated area is located in the Western Anatolia Region, Gediz Graben zones, which is above 105 meters of sea level and lies on latitude 38°34'25.14" K and longitude 27°50'52.37" D. The mica schists of the Menderes Massif form the basement rocks in the area and are impermeable hydrogeologically. The Paleozoic marbles form reservoir for thermal waters and aquifer for groundwaters. The rocks in Pliocene to recent age play an important role as impermeable cap rocks for the formation of thermal waters. The active tectonics and basic volcanic rocks in Miocene to Pliocene age points to the high heat flow and geothermal values.

The samples of thermal waters were collected from three different locations. In these samples, cations and anions were analysed. Generally, the geothermal waters in the investigation area are classified as Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ type exchange waters. The geothermal waters of Urganlı and environs are identified to be Na+K>Ca>Mg dominant cations and HCO₃>Cl>SO₄ dominant anions. According to the diagram of Cl-SO₄-HCO₃, the thermal waters might be heated by a magmatic source due to high contents of sulfates in thermal waters. Geochemical thermometer analyses were applied to the collected samples in the region. According to the diagram of Na-K-Mg, a certainly part of the thermal waters can be considered as equilibrated thermal waters during some waters are of raw waters. According to the results of geochemical thermometers, the reservoir temperature of thermal waters are of 104°C. The $\delta^2\text{H}$ values of thermal waters are between -54,8 to -56,0, while $\delta^{18}\text{O}$ values range from -7,72 to -7,64. The tritium contents of thermal waters are between 0,7 to 1,2 TU. These results show that there is mixing between contemporary and old waters.

Keywords: Menderes Massif, Gediz graben zone, Turgutlu, Urganlı, geothermal waters, hydrogeology, hydrogeochemistry, isotope geochemistry, geothermal modelling

2016, 71 pages.

TEŞEKKÜR

Sunulan bu yüksek lisans tez çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 4730-YL1-16 numaralı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın hazırlık aşamasından sonuçlanmasına kadar her aşamasında samimi ve her türlü destekleyici tutumu, bilgi ve tecrübesiyle bana yardımcı olan çok değerli tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR' e en içten ve samimi dileklerimle canı gönülden teşekkür ederim.

Tüm yaşamım boyunca her zaman her anımda bana güvenip desteklerini esirgemeyen bana inanan ve arkamda duran maddi ve manevi her desteği veren aileme ve özellikle babam Veyis BÜYÜKŞAHİN'e ve annem Gülden BÜYÜKŞAHİN' e sonsuz ve hiç bitmeyecek bir minnettarlıkla teşekkürü borç bilirim. Ayrıca her zaman yanımda olup bana destek olan arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.	3
Şekil 1.2. Menderes Masifinin jeolojik haritası ve örnek noktaları	4
Şekil 1.3. Jeotermal sistemin oluşum modeli.	8
Şekil 1.4. Jeotermal sistemdeki rezervuar, üretim ve reenjeksiyon.	9
Şekil 1.5. (x) Çalışma alanının yeri ve Türkiye'nin tektonik hatlarını gösteren harita.....	10
Şekil 1.6. Batı Anadolu'nun tektonik haritası.....	12
Şekil 1.7. Menderes Masifi genelleştirilmiş sütun kesiti.	14
Şekil 1.8. Menderes Masifinin oluşumu	15
Şekil 1.9. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit	17
Şekil 3.1. Gediz garbeni genelleştirilmiş jeoloji haritası	27
Şekil 3.2. İnceleme alanın jeoloji haritası	28
Şekil 3.3. Çalışma alanı A-A ^I jeoloji enine kesiti	29
Şekil 3.4. Çalışma alanının B-B ^I jeoloji enine kesiti	29
Şekil 3.5. İnceleme alanının tektono-stratigrafik sütun kesiti	30
Şekil 5.1. Çalışma alanındaki kayaç birimlerinin hidrojeolojik özellikleri.	36
Şekil 5.2. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.	42
Şekil 5.3. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı.	42
Şekil 5.4. Na-K-Mg ^{1/2} üçgen diyagramda çalışma alanından termal suların dağılımı.	49
Şekil 5.5. Çalışma alanı ve yakın çevresi jeotermal sularında δD ve $\delta^{18}O$ izotopu ilişkisi.....	54
Şekil 6.1. Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Arazi çalışmalarında kullanılan in-situ cihazları ve özellikleri.	33
Çizelge 4.2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri	33
Çizelge 5.1. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının in situ parametreleri ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları.....	38
Çizelge 5.2. Çalışma alanında ki örneklerin su tipleri.	43
Çizelge 5.3. Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l).....	46
Çizelge 5.4. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l).	47
Çizelge 5.5. Çalışma alanındaki suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları.....	50
Çizelge 5.6. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının duraylı izotop analiz sonuçları.....	52

1. GİRİŞ

Dünyanın devamlı artan enerji ihtiyacını karşılamak için bilim adamları yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını her alanda arttırmak adına birçok çalışmalar yapmışlardır ve güneşten faydalanmak için güneş pilleri, rüzgârdan faydalanmak için rüzgar değirmenleri kullanımı gibi projeler geliştirmişlerdir.

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 daha önce belirtildiği gibi yenilenebilir olmasıdır. 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 (Külekçi, 2009).

Türkiye zengin jeotermal kaynaklara sahip olup, potansiyel olarak dünyanın 7. ülkesi konumundadır. Ülkemizde jeotermal enerji araştırma çalışmaları 1962 yılından beri MTA Genel Müdürlüğü tarafından yürütülmekte ve bugüne kadar sıcaklıkları 35-40 °C'nin üzerinde olan 170 jeotermal sahanın var olduğu bilinmektedir. Bu sahaların büyük bir bölümü Batı Anadolu'da bulunup yüksek sıcaklıklara sahiptir. Türkiye'nin muhtemel jeotermal ısı potansiyeli 31500 MW_t olarak tahmin edilmektedir. 2000 yılı sonu itibariyle MTA tarafından yapılan 304 jeotermal sondaja göre muhtemel potansiyelin 2046 MW_t'ı ısıtmaya yönelik görünür potansiyel olarak kesinleştirilmiştir. Türkiye'deki doğal sıcak su çıkışlarının 600 MW_t olan potansiyeli de bu rakama dahil edildiğinde toplam görünür jeotermal potansiyel 2646 MW_t

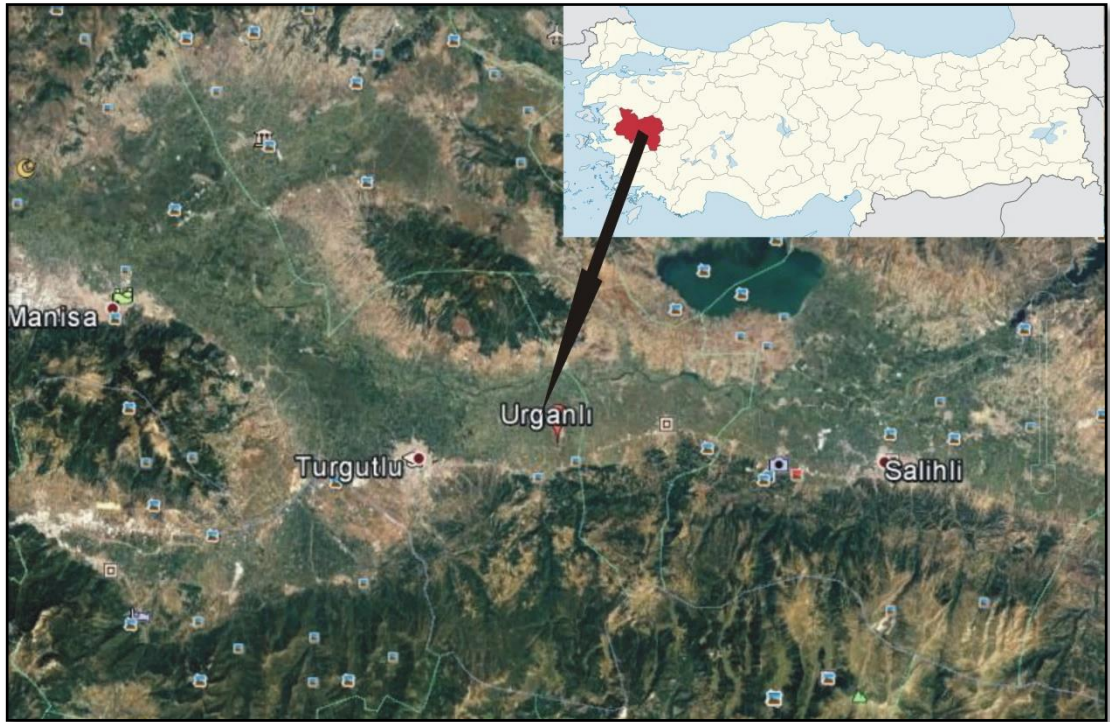
ulaşmaktadır.

Jeotermal enerji sıcaklığına bağlı olarak başta elektrik üretimi olmak üzere konut ısıtması, sera ısıtması, termal turizm-tedavi ve endüstride birçok alanda kullanılmaktadır. Türkiye'nin elektrik üretimine yönelik kurulu güç kapasitesi 20,4 MWe olup, tek başına Kızıldere jeotermal santrali tarafından karşılanmaktadır. Elektrik dışı jeotermal kullanım kapasitesi, 493 MWt konut ısıtması ve 327 MWt kaplıca kullanımı olmak üzere toplam 820 MWt 'dır. 2000 yılı sonunda dünyada elektrik dışı kullanım kapasitesi 17174 MWt, elektrik üretim kapasitesi 7974 MWe olmuştur. Ülkemiz yüksek jeotermal potansiyele sahip olmasına rağmen jeotermal enerjiye yeterince önem verilmemekte ve kullanılmamaktadır. Muhtemel potansiyelimizin sadece %3'ü değerlendirilmektedir. Bu nedenle jeotermal enerji kullanımının teşvik edilmesi ve jeotermal yasanın biran önce çıkarılması gerekmektedir. Giderek artan enerji ihtiyacımızın bir bölümünün öz kaynağımız olan jeotermal enerji ile karşılanması ülke ekonomisine önemli katkı sağlayacaktır.

Jeotermal akışkanların kökeni uzun zaman tartışma konusu olmuştur. Jeotermal akışkanları oluşturan sular birçok sayıda kökene sahip olsa da, jeotermal akışkanların ağırlıklı olarak meteorik kökenli olduğuna dair herhangi şüphe bulunmamaktadır. Sıvı akışkanlar meteorik yüzey suları olabilir ve bunlar kırıklar veya geçirgen zonlar boyunca birkaç kilometre derinliğe doğru nüfuz edebilirler. Ya da derinde sedimanter kayaçlar içinde hapsolmuş sular da bulunabilir. Aynı zamanda metamorfizma ile gelişmiş metamorfik sular ve magma ile ilişkin juvenil sular jeotermal sular için olası bir kaynak oluşturabilmektedir. Craig (1963), termal suların döteryum miktarının her zaman, yeraltında birbirine çok yakın olduğunu ortaya koymuştur. Bu izotopik ölçümü baz alarak, o hidrotermal boşalma alanlarında suların önemli miktarlarının yerel meteorik kökenli olabileceğini ileri sürmüştür. Öte yandan, Ellis ve Mahon (1967) jeotermal akışkanlar içinde tüm çözünen iyonların meteorik sular ile onların içinde bulundukları kayaçların arasındaki reaksiyonlardan türediğini kanıtlamıştır. Giggenbach (1987) magmatik etkilerin jeotermal oluşumlarda tahmin edildiğinden daha fazla etkili olduğunu belgeledi. Bu görüşü desteklemek için Bonham (1986), Hedenquist (1987) ve White ve Hedenquist (1990) maden yatağı oluşumu ile magmatik bağ arasında artan ikna edici deliller ortaya koymuşlardır. Bu yüzden su-

kayaç etkileşimi sulara bulunan erimiş iyonların ana kaynağı olarak adlandırılabilir. Bunlar aynı şekilde formasyon suyunun, deniz suyunun veya magmatik tuzlu su ile karıştırılarak katkısı olabilir (Nicholson, 1993; Yıldırım, 2016).

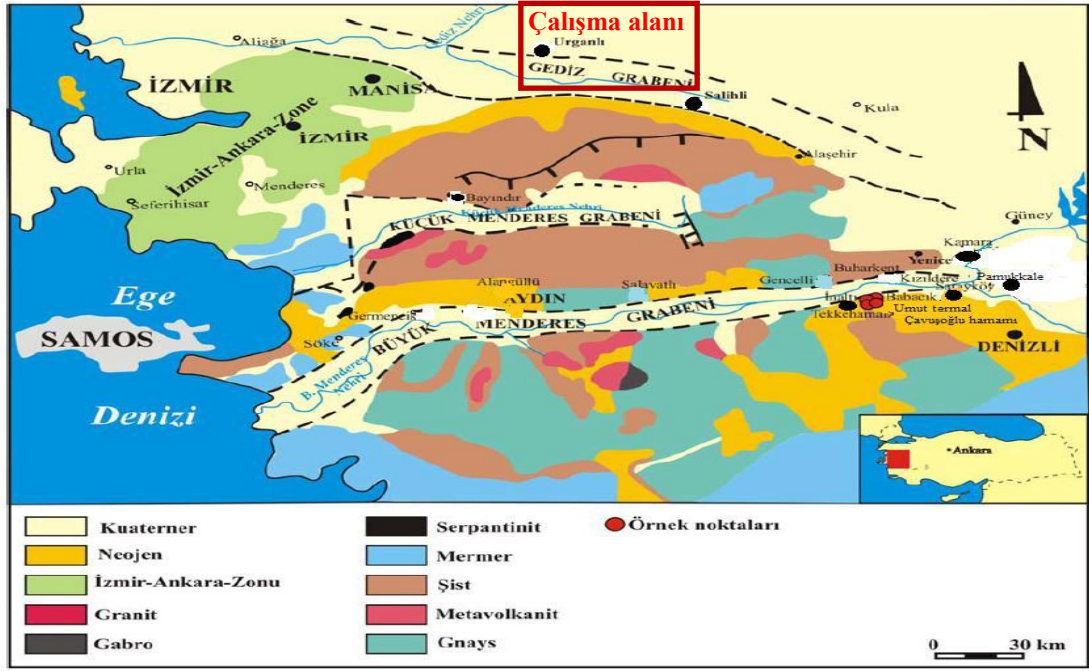
Çalışma alanı Manisa ili Turgutlu ilçesi sınırlarında bulunan Urganlı jeotermal alanında bulunmaktadır. (Şekil 1.1) de yer bulduru haritası verilmiştir. 1940'lı yıllardan bu yana inceleme alanında aralıklı olarak incelemeler devam ettirilmiştir. M.T.A tarafından 2001 yılında yapılan jeofizik etüt ve ilk sondaj çalışmasından sonra, 2005 yılından itibaren de özel sektör tarafından bölgede ısıtma amaçlı sondaj çalışmalarına devam edilmektedir.



Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Bu çalışma kapsamında Urganlı (Turgutlu, Manisa) ve yakın çevresinin hidrojeolojisi, hidrojeokimyası ve izotop jeokimyası incelenmiştir. Böylelikle Mikaşistler, Menderes Masifine ait yöredeki temeli oluştururlar ve hidrojeolojik açıdan geçirimsizdirler. Burada sıcak sular için rezervuar olan Paleozoyik yaşlı ve yer altı suları için akifer kayacı özelliği taşıyan mermerler bulunmaktadır. Pliyosen yaşlı tortul kayalar sıcak su rezervuarlarının oluşumunda geçirimsiz örtü kayaç

olarak önemli rol oynarlar. Yörede bulunan aktif tektonik ve Miyosen ve daha genç yaşlı bazik volkanik kayaçların varlığı burada yüksek ısı akısı ve jeotermal gradyanın varlığına işaret etmektedir. Bu çalışma çerçevesinde Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının oluşumu hidrojeolojik olarak modellenmiştir (Vural, 2009) (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Menderes Masifinin jeolojik haritası ve örnek noktaları (Şengör, 1982 ve Dora vd., 1995; Özgür, 1998).

1.1. Jeotermal sistemler

Ülkelerin kalkınma ve büyüme hızına bağlı olarak enerji ihtiyaçları da sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde enerji tüketimi gelişmişlik düzeyi ile eş tutulmaktadır. Dünyadaki enerji tüketiminin yaklaşık %90'nı fosil yakıtlar olarak adlandırılan kömür, petrol ve doğal gazdan karşılanmaktadır. Fosil enerji kaynaklarının yakın gelecekte tükenecek olması ve yakıldığında havaya verdiği yüksek orandaki karbondioksit nedeniyle kirlilik yaratması, alternatif enerji kaynaklarının devreye girmesini zorunlu hale getirmektedir. Bu nedenle son yıllarda fosil yakıtların yerine geçebilecek alternatif enerji kaynaklarının araştırılması ve yararlanılması konusunda çalışmalar hızlanmıştır. Jeotermal enerji hem düşük karbondioksit emisyon oranı ile hava kirliliği yaratmaması ve hem de yenilenebilir olması nedeniyle önemli bir

alternatif enerji kaynağıdır (Arslan vd., 2001).

Güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandığında jeotermal enerji kesintisiz olmasından dolayı avantajlı bir konuma sahiptir. Jeotermal enerji; yerkabuğunun, çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları bölgesel atmosferik sıcaklıkların üzerinde olan, normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, tuzlar, gazlar içeren sıcak su ve buhar olarak tanımlanabilir. Bazı alanlarda bulunan sıcak kuru kayalar da akışkan içermemesine rağmen jeotermal enerji kaynağı olarak kabul edilirler. Jeotermal akışkanı oluşturan sular genelde meteorik kökenli olduğu için atmosferik koşullar devam ettiği sürece jeotermal kaynaklar yenilenmektedir (Arslan vd., 2001).

Enerji ihtiyacının yaklaşık %75'i ithal edilen ve enerji bağımlılığını arttıran yakıtlardan karşılanmaktadır. Ülkenin enerji tüketimi 106 milyon ton petrol eşdeğeri ve elektrik üretimi kurulu kapasitesi ise yaklaşık 42000 MWe'dir. Enerji bağımlılığını rüzgar, güneş, jeotermal gibi yenilenebilir kaynakların devreye sokulmasıyla, bir nevi enerji çeşitlendirilmesi yapılarak azaltması gerekmektedir. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olduğu öteden beri dile getirilmekle birlikte bu kaynaklarından üretebilecek enerjinin değerlendirilmesi net olarak yapılmamıştır. Ülkenin yerli enerji potansiyelinin artmasına az da olsa bir olanak sağlayacak jeotermal kaynaklarını enerji arzı portföyüne eklemesi gerekmektedir. Jeotermal arama faaliyetleri Türkiye'de 1960'larda başlamıştır. İlk olarak 1968 yılında yüksek entalpili bir jeotermal saha olan Kızıldere Sahası keşfedilmiştir. Orta sıcaklıklı sahalar olarak nitelendirilen Balçova ve Seferihisar Sahaları 1960 ve 70'lerde bulunup, çalışılmıştır. İkinci yüksek entalpili saha, Germencik ve diğer orta entalpili sahalar olarak kabul edilen Salavatlı ve Simav sahaları ise 1980'lerde keşfedilmişlerdir. Türkiye'de 45 yıldan uzun bir süredir jeotermal faaliyetler devam etmekte olmasına rağmen, düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar detaylıca araştırılıp, değerlendirilmemiştir (Başel vd., 2009).

Jeotermal sistemler dinamik, açık ve değişken sistemlerdir. Bileşenleri, ısı, akışkan, basınç ve kimyasal bileşenlerdir. Bu nedenle, yerkabuğunun üst kesimlerinde ısı akısının yüksek, yeraltısuyunun derinlere süzülüp ısındıktan sonra yeniden

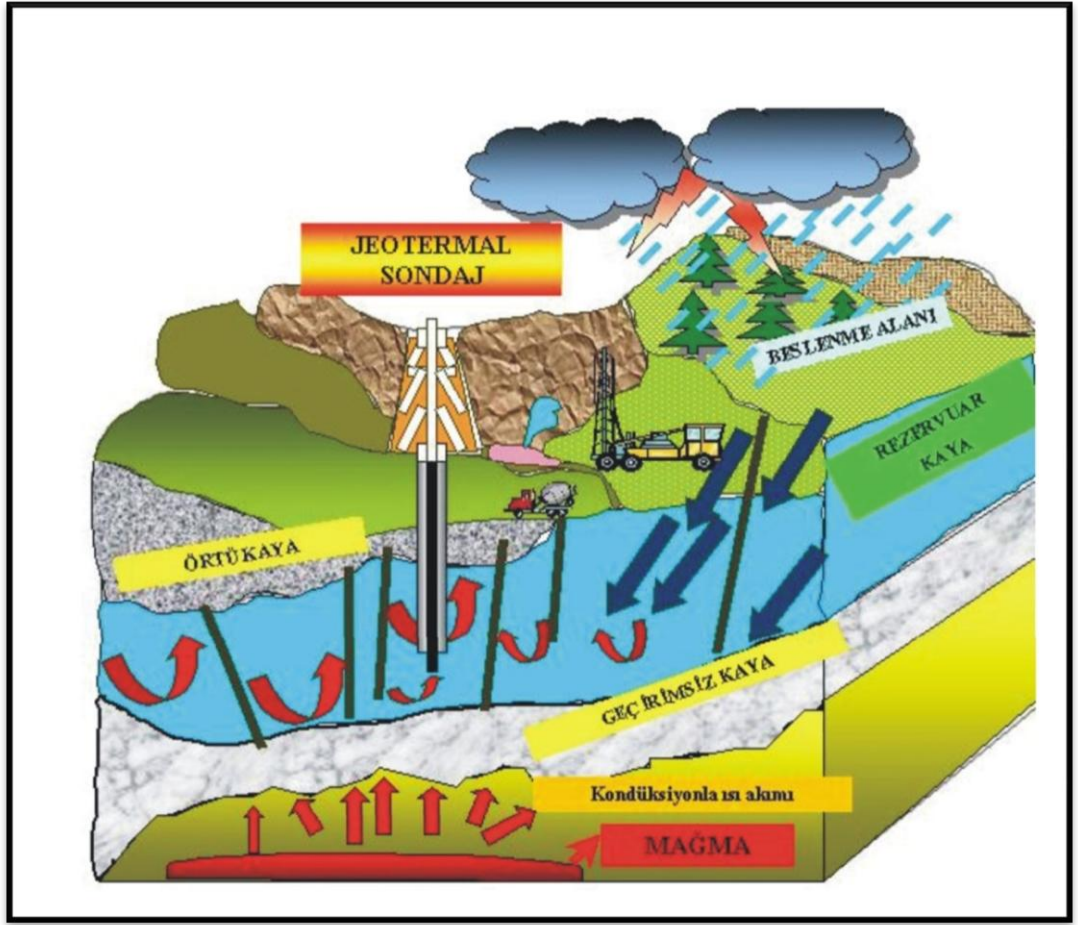
yükselebileceği geçirimli zonların bulunduğu ve jeotermal akışkanların konveksiyon hücreleri oluşturacak şekilde dolaşp ısı biriktirebileceği kapanların oluşabildiği kesimlerinde gelişmektedir. Ülkemizin jeoloji çatısı içinde buna elverişli farklı kuşaklar bulunmaktadır (Öngür, 2005).

Batı Anadolu'nun Ege kıyılarındaki yaygın faylanma, ısı akısının görel olarak yüksek olduğu bu bölgede, çoğu denizden beslenen bazı sahaların gelişmesine yataklık yapmıştır. Menderes Masifi, özgün jeoloji geçmişi ile ülkemizin en yüksek ısı akısına sahip yöresini oluşturmaktadır. Üstelik bu Masif, yakın zamanda DB uzanımlı grabenleri oluşturan derin yapısal süreksizliklerle kesilmiştir. Bu bölgede, bir yandan metamorfite etkilemiş olan sıyrılma fayları ve bir yandan da üst Miyosen'de oluşmuş, bugünlere vererek uzanan bir başka fay sistemi ile yaygın ve etkili bir kırılma ve kaya ortamlarının geçirimsizlik kazanması olanaklı olmuştur. Bütün bunlar, bu bölgede çok sayıda ve yüksekçe ısı yüklü jeotermal sistemin gelişmesini sağlamıştır. Orta Anadolu'nun batısı Menderes Masifi bölgesine benzer biçimde graben yapıları içinde ya da kenarında oluşmuş jeotermal alanlara sahiptir. Orta Anadolu'nun doğusu ve Doğu Anadolu'da yaygın olarak bulunan genç volkanik ortamlarda tipik jeotermal alanların bulunmayışı dikkati çekmektedir. Buralarda, bölgesel bir yüksek ısı akısı bulunmadığı ve jeotermal kaynakların ancak sığ volkanik merkezlere yakın yerlerde aranabileceği anlaşılmaktadır. Kuzey ve Doğu Anadolu Fay Zonları çok sayıda, ancak düşük sıcaklıklı sahalarla özgündür. Bu kuşaklarda da kabukta olağandışı bir ısı akısı bulunmadığı anlaşılmaktadır (Öngür, 2005).

Jeotermal alanların incelenmesinde yer bilimcilerin önemli sorumlulukları vardır. Temel jeoloji çalışmalarının yanında hidrojeoloji, petroloji ve petrografi, jeokimya ve hidrotermal alterasyon incelemeleri de bu görevler içinde öncelikli ve önemli olanlardır. Jeofizik çalışmalar ise son yıllarda çeşitlenen ve gelişen farklı jeofizik ölçü ve veri işleme teknik ve yöntemleri ile jeotermal kaynak arama geliştirme işletmelerinin her aşamasında çok başarılı sonuçlar verebilmektedir. Üç boyutlu sismik modelleme, mikrodeprem izleme ve değerlendirme, mikrogravite, manyeto tellürik, vb teknikler jeotermal çalışmalarının vazgeçilmez araçları olmuştur (Öngür, 2005).

Ülkemizde bu güne değin bilinçsiz olarak kendiliğinden gelişen bir strateji uygulanmıştır: Her sıcak su kaynağının çevresinde bir kaç gez jeoloji haritalaması yapılmış, buralarda jeofizik öz direnç ölçümleri yapılmış, su kimyası verilerinden olası rezervuar sıcaklığı hesaplanmış, başarılı ya da başarısız bir iki sondaj yapılmış ve saha on yıllarca terkedilmiş, bir yatırım yapılmamıştır. Ya da yeterli arama çalışmaları yapılmadan ısıtma projeleri hazırlanıp uygulanmış ve aşırı çekimle sahalar zarar verilmiştir. Şimdi, jeotermal kaynaklara olan ilgi de, tehlikeler de artmıştır. Bu nedenle, doğru ve verimli bir stratejinin tasarlanıp ilgili bütün taraflara benimsetilmesinin zamanıdır. Bu stratejinin ilk adımı, öncelik ve kullanım alanlarına verilecek ağırlıkların seçilmesi olmalıdır. Menderes Masifi, elektrik üretimini hedef alan projeler için ayrılmalı ve sahalar çağdaş teknik ve yöntemlerle aranıp geliştirilmeli ve kaynak güvenliğini, sürdürülebilirliğini gözeterek işletilmelidir. Orta ve Doğu Anadolu'daki en genç volkanları besleyen magma odaları da kızgın kuru kaya hedef alınarak yine çağdaş teknik ve yöntemlerle aranıp geliştirilmelidir. Ülkenin öteki jeotermal alanları, Orta ve Doğu Anadolu'daki yerleşimlere yönelik olanları kamu eli ile özendirilerek doğrudan kullanım projelerine açılmalıdır. Bu çalışmalar, kurulacak yeni ve her dalda uzmanlarla güçlendirilmiş yeni bir kurumu, bir Jeotermal Kaynakları Enstitüsü tarafından yönlendirilmeli, desteklenmeli ve denetlenmelidir (Öngür, 2005).

Bir jeotermal sistemin oluşabilmesi için gerekli olan parametreler; yer kabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısıyı taşıyan akışkan (beslenme), akışkanı bünyesinde barındıran rezervuar kayaç ve ısının kaybını önleyen örtü kayaçtır. Dünyanın merkezinde sıcaklığı 4200 °C'yi bulan magma adı verilen eriyik kütle bulunmaktadır. Tektonizmanın yarattığı kırık ve zayıflık zonlarından kabuk içerisinde sığ derinliklere ve/veya yeryüzüne kadar ulaşan magma faaliyetleri jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturur. Yeryüzünden kırık ve çatlaklar boyunca süzülen meteorik sular derinlerde ısındıktan sonra gözenekli ve geçirimli olan rezervuar kayaç içinde birikir. Bu suların bir kısmı fay hatları boyunca yükselerek yeryüzüne ulaşırlar ve jeotermal kaynakları oluştururlar. Üzeri geçirimsiz bir örtü kaya ile kuşatılan ve çoğu zaman yeryüzüne ulaşamayan rezervuar kaya içerisindeki jeotermal akışkan sondaj çalışmalarıyla yüzeye çıkarılır (Arslan vd., 2001) (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Jeotermal sistemin oluşum modeli (Arslan vd., 2001).

Jeotermal enerji sıcaklıklarına göre (1) düşük sıcaklıklı sular 20-70 °C (2) orta sıcaklıklı sular 70-150 °C ve (3) yüksek sıcaklıklı > 150 °C bu şekilde sınıflandırılabilir (Koçak, 2002).

Yağmur, kar, deniz ve magmatik suların yeraltındaki gözenekli ve çatlaklı kayalar kütlelerini besleyerek oluşturdukları jeotermal rezervuarlar, yeraltı ve reenjeksiyon koşulları devam ettiği müddetçe yenilenebilir ve sürdürülebilir özelliklerini korurlar. Kısa süreli atmosferik koşullardan etkilenmezler. Ancak, jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın çevreye atılmaması ve rezervuarı beslemesi bakımından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yeraltına gönderilmesi (reenjeksiyon) zorunludur. Reenjeksiyon birçok ülkede yasalarla zorunlu hale getirilmiştir (Şekil 1.4).

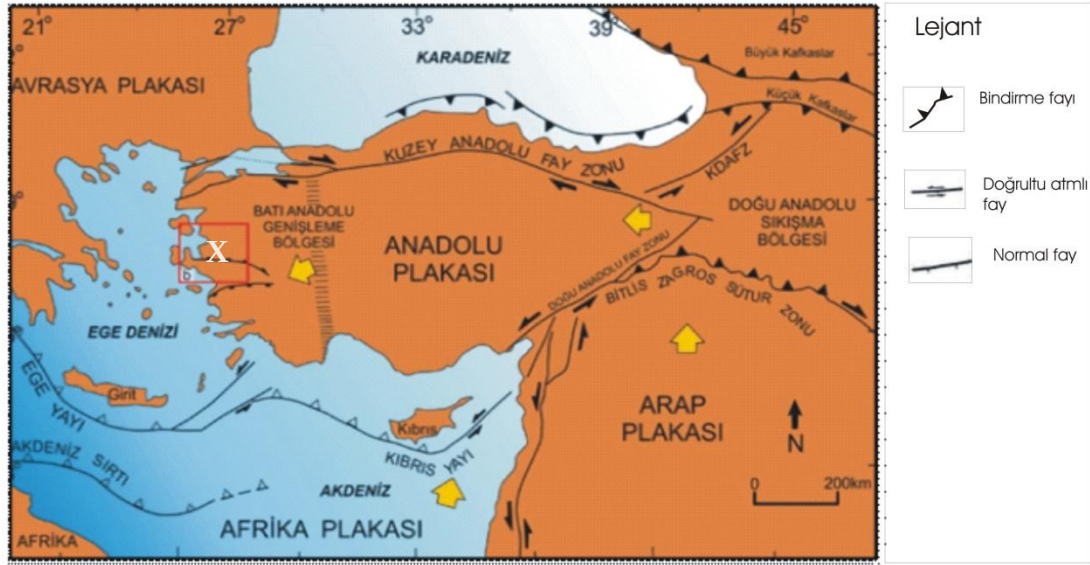


Şekil 1.4. Jeotermal sistemdeki rezervuar, üretim ve reenjeksiyon.

1.2. Çalışma alanının jeotektonik konumu

Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde Doğu Akdeniz Bölgesinde yer alır ve sık sık yıkıcı depremlere maruz kalmaktadır. Türkiye'de yedi ana tektonik bölge bulunmaktadır. Bunlar; Kuzey Anadolu Fayı (KAF), Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF), Doğu Anadolu Sıkışma zonu (DASZ), Ege Graben Sistemi, Kıbrıs-Helenik Yayı, Orta Anadolu Bölgesi ve Karadeniz Bölgesidir (Şengör vd., 1984). Türkiye tektoniği büyük ölçüde Arap plakası, Avrasya ve Afrika plakalarının hareketlerinden etkilenir. Batı Anadolu'da, neotektonik açıdan K-KD eğimli havzalar bulunur ve bunlar D-B uzanımlı grabenler olarak bulunur. Anadolu'nun içinde yer aldığı Alp-Himalaya dağ oluşum kuşağı, Afrika-Arabistan-Hindistan levhalarının kuzeye doğru hareket etmeleri ve Avrasya Levhası ile çarpışmaları sonucunda oluşmuştur. Doğu Akdeniz bölümünde ise Anadolu-Ege Bloğu saatin tersine rotasyonel bir hareketle Girit merkezli Helenik yayına doğru kaçmakta ve kuzey sınırını, Kuzey Anadolu Fayı belirlemektedir. Güney sınırını ise, Kıbrıs ve Helenik yayları ve Doğu Anadolu

Fayı oluşturmaktadır. Kıbrıs ve Helenik yayları boyunca Afrika Kıtası'nın kuzey kenarındaki okyanusal litosfer, Anadolu ve Ege'nin altına dalmaktadır (Yıldırım, 2016) (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. (x) Çalışma alanının yeri ve Türkiye'nin tektonik hatlarını gösteren harita (Bozkurt, 2001; Özkaymak, 2013).

Güncel GPS verileri ile yapılan araştırmalarda farklı sonuçlar bulunmaktadır. Güncel araştırmalar, Anadolu-Ege Bloğunun saatin tersine rotasyonal hareketinin iki ana sebebi olduğunu göstermektedir. İlki, Doğu Anadolu'da Arabistan ve Avrasya Levhalarının çarpışması ve bu sıkışma bölgesinden üçgen seklinde kıtasal Anadolu bloğunun batıya kaçması, diğeri ise Helenik Yayı batan okyanus kabuğunun ağırlığı sebebiyle arkın geriye güneye doğru geri çekilmesi sonucunda Batı Anadolu ve Ege Denizi'nde meydana gelen yaklaşık KD-GB doğrultulu gerilmedir (Oğuz, 2009). Bu yapıların gelişimi ile ilgili ayrıntılı jeolojik araştırmaların (Emre, 1996; Koçyiğit, 1984; Seyitoğlu ve Scott, 1991, 1996) yanı sıra birçok tektonik ve sismo-tektonik modeller ileri sürülmektedir (Şengör, 1987; Doglioni vd., 2003; Koçyiğit vd., 1999; McKenzie, 1978a; Purvis ve Robertson, 2004). Koçyiğit (1984), Batı Anadolu'daki bu yapıların KB-GD, KD-GB, K-G ve D-B yönelimli 4 ayrı genişleme yönünde es yaşlı blok faylanma seklinde geliştiğini ileri sürmüştür. Şengör (1987), cross-graben modelinde KD eğilimli erken Miyosen havzaların K-G Paleosen sıkışması ve kısalması altında Paleotektonik Tibet tipi cross-graben olarak gelişmeye

başladığını ve sonra bunların Neotektonik Ege tipi Cross-Grabenler ile Tortoniyende yer değiştirdiğini belirtmektedir. Bu durumda, havza sınırlarındaki fayların Menderes Masifinin açığa çıkması ile oluşan ana fayları (düşük açılı normal faylar) asla kesmediğini öne sürmektedir. Buna karşılık Armijo ve Papanastassiou (1992), hareketlerin daha çok sınır koşulları tarafından sağlandığını ve deformasyonun belli sınırlar veya faylar boyunca meydana geldiği görüşünü ortaya koymuşlardır. GPS verileri her iki görüşün bazı alanlarda geçerli olduğunu göstermektedir. Doglioni vd. (2003) göre, Ege ve çevresinin tümü ile farklı hızlarda KD' ya doğru hareket ettiğini göstermektedir. Araştırmacılara göre, genelde doğu yönünde ilerleyen tüm yitim zonları gibi, KD'ye hareket eden Helenik Yitim zonu da, konveksiyon akımları ile aynı yönde hareket ettiğinden düşük açılı bir dalımı yansıtır. Bu düşük açılı yitim zonu, sırtında taşıdığı tüm parçaları aynı yöne (KD) doğru itmekte ve Avrasya'nın kıta parçaları da (Ege, Anadolu) bu itici güce karşı direnç gösterip ters yönde (GB) geri kaymaktadırlar (Şekil 1.6). Yitimin itici gücünü daha çok hisseden Yunanistan, GB'ye doğru Türkiye'den daha hızlı hareket etmekte ve Ege Denizi'nin açılması gerçekleşmektedir. Araştırmacılara göre, Ege'deki açılma Arap Plakasından bağımsız bir harekettir. Tüm bu verilerin ışığında, mutlak hareket KD yönünde olmakta ve genişleme de buna dik yönde olmaktadır (Doglioni vd., 2003). Bütün bu farklı görüşlerden anlaşılacağı üzere, bu bölgedeki deformasyonla ilgili kinematik özellikler ve dinamik olaylar son derece karışıktır. Her ileri sürülen fikrin bazı durumlarda doğruları olmasına rağmen tartışma ve araştırmalar devam etmektedir. Batı Anadolu'da, K-G gerilmenin yaşı da uzun zamandır tartışılan konulardan birisidir. Seyitoğlu ve Scott (1991), gerilmenin yaşının Oligosen sonu Miyosen başı olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşılık Şengör (1987) ve Yılmaz (1997), bu dönemde sıkışmanın hala devam ettiğini ve ancak bu dönemde oluşan basenlerin gerilme ile değil sıkışma rejimi içerisinde meydana geldiğini savunmuşlardır. Esas gerilme rejiminin Orta Miyosenden itibaren düşük hızda oluştuğunu ve bu hızın Pliyosende arttığını kabul etmişlerdir (Yıldırım, 2016) (Şekil 1.6).

Batı Anadolu ve Ege Denizi'ndeki yaklaşık K-G gerilmesinin hızı konusunda da farklı görüşler vardır. Jackson ve McKenzie (1984) ve Taymaz vd. (1991), bu hızın 6 cm/yıl olabileceğini ileri sürmüşlerdir ve Ege Denizi'nin son birkaç milyon yılda

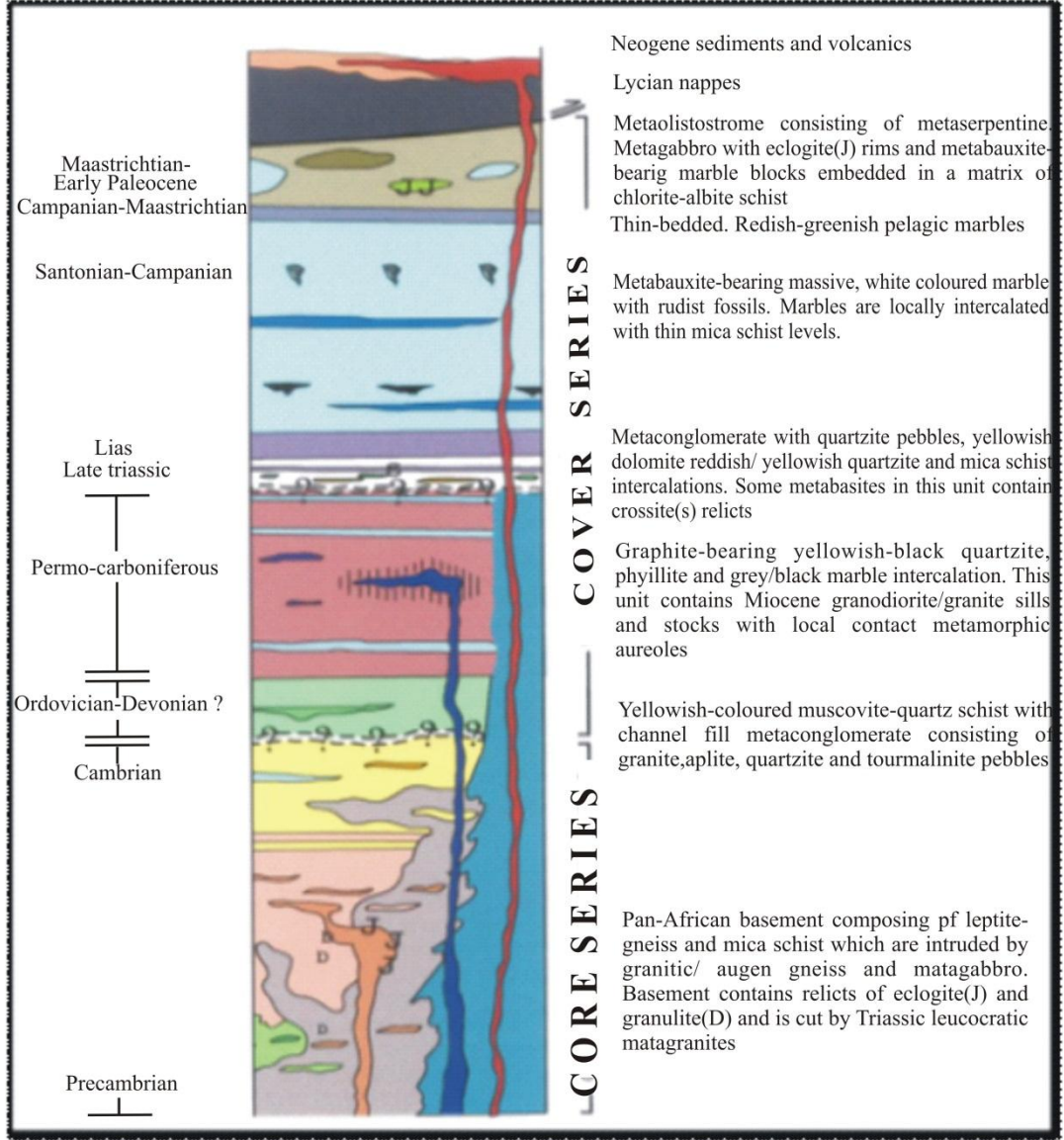
Büyük Menderes kıtasal rift zonları gelişmiştir. Menderes Masifi genel olarak Batı Anadolu'nun otokton kristalin temel yapısını oluşturur. Menderes Masifinin oluşumu (Şekil 1.8) de verilmiştir. Masif Alp-Himalaya orojenezinin geniş bir parçasını meydana getirir (300x200 km; Bozkurt ve Oberhänsli, 2001). Masif tektonik olarak; (1) KB'da Bornova Filiş Zonu'nu içine alan İzmir-Ankara Neotetis Sütur Zonu (Şengör ve Yılmaz, 1981), (2) KD'da Afyon Zonu ve (3) G'de Likya Napları (Graciansky, 1972; Collins ve Robertson, 1997, 1998, 1999) tarafından üstlenir (Yıldırım, 2016) (Şekil 1.7 ve 1.8).

Sarnıç horstundan itibaren Urganlı jeotermal alanında tektonik aktivitelere bağlı olarak güneye ve kuzeye doğru eğim atımlı normal faylar gelişmiştir. Cambazlı fayı Urganlı jeotermal alanındaki en önemli tektonik hat ve sıcak su getirimini sağlamaktadır. Bu fay eğim atımlı normal bir faydır. İnceleme alanını yaklaşık D-B yönde kat eder. D-B uzanımlı olan bu tektonik hat, Urganlı jeotermal alanına batıdan girer ve yeni Cambazlı köyünün hemen kuzeyinden geçerek doğuya doğru şist-traverten dokanağını oluşturur(Vural, 2009).

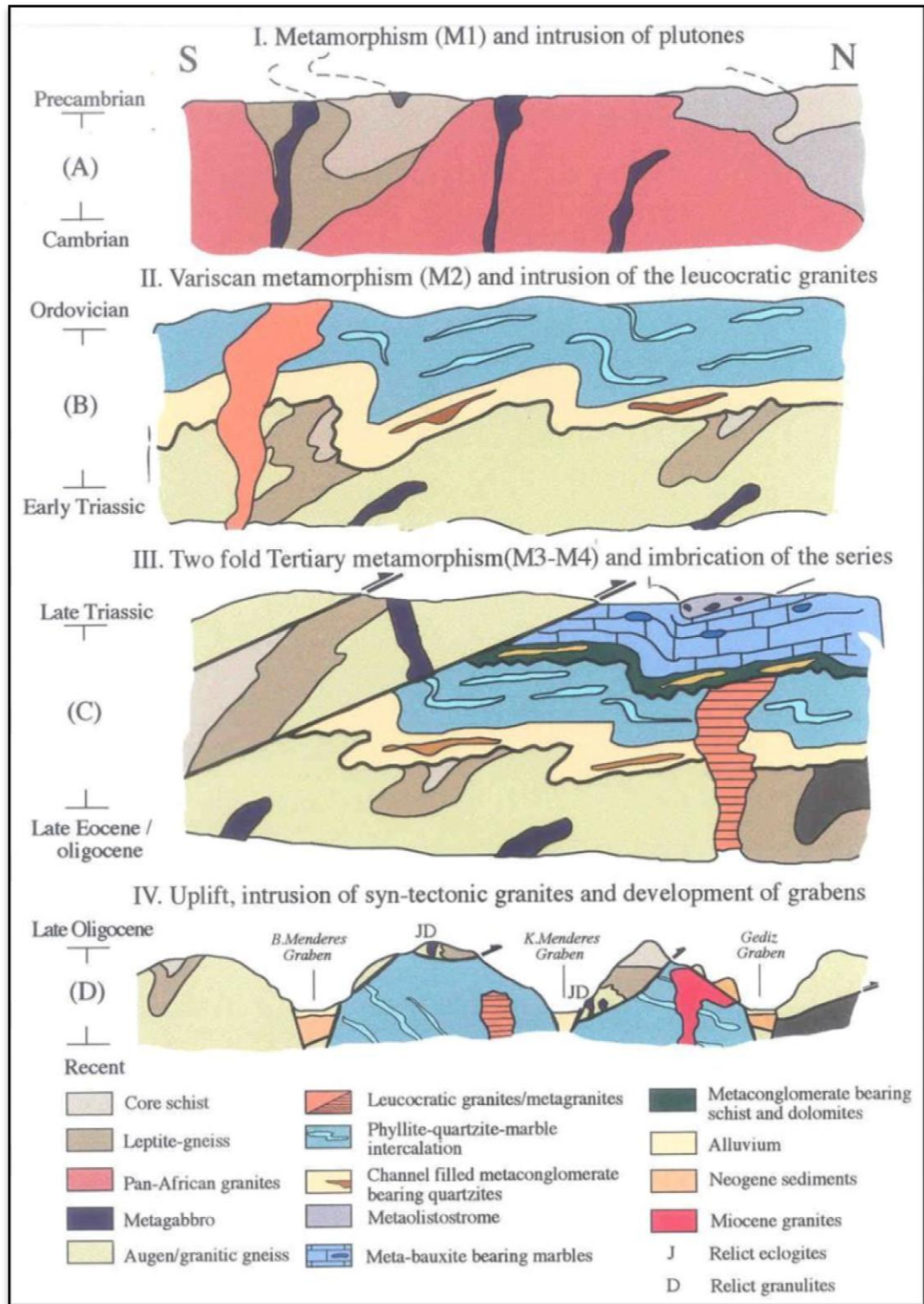
Cambazlı fayının yükselen kuzey bloğu, Paleozoyik yaşlı şist ve mermerlerin yüzeylenmesini sağlamıştır. Burada, D-B uzanımlı bir horst oluşturan bu temel kayaçların yükselimine Cambazlı fayı etken olmuştur. Aynı yükselimi kuzeyden yine yaklaşık D-B veya B-KB/D-GD uzanımlı bir tektonik hat sınırlamaktadır. Bu kuzey fayı da eğim atımlı normal bir fay olup “Çamlı fayı” olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanına doğu yönünden Aktepe güneyinden girer, Sarnıç tepe, Kule tepe ve Çamlı tepenin hemen kuzeyinden batıya doğru devam ederek temel kayalar ile Neojen yaşlı birimlerin dokanağını oluşturur. Cambazlı fayı ile kuzeyindeki Çamlı fayının oluşturduğu genişliği 750-1000 m arasında değişen ve D-B uzanımı yaklaşık 5 km olan bu yükselim “Sarnıç horstu” olarak isimlendirilmiştir(Yılmazer 2005; Yılmazer ve Vural 2008; Vural 2009).

İnceleme alanındaki diğer bir tektonik hat ise daha güneyden geçen yaklaşık D-B uzanımlı, eğim atımlı normal bir fay olan Urganlı fayıdır. Burada güney blok düşmüş kuzey blok yükselmiştir. Cambazlı fayından itibaren güneye doğru bir basamaklanma söz konusudur (Şekil 1.9).

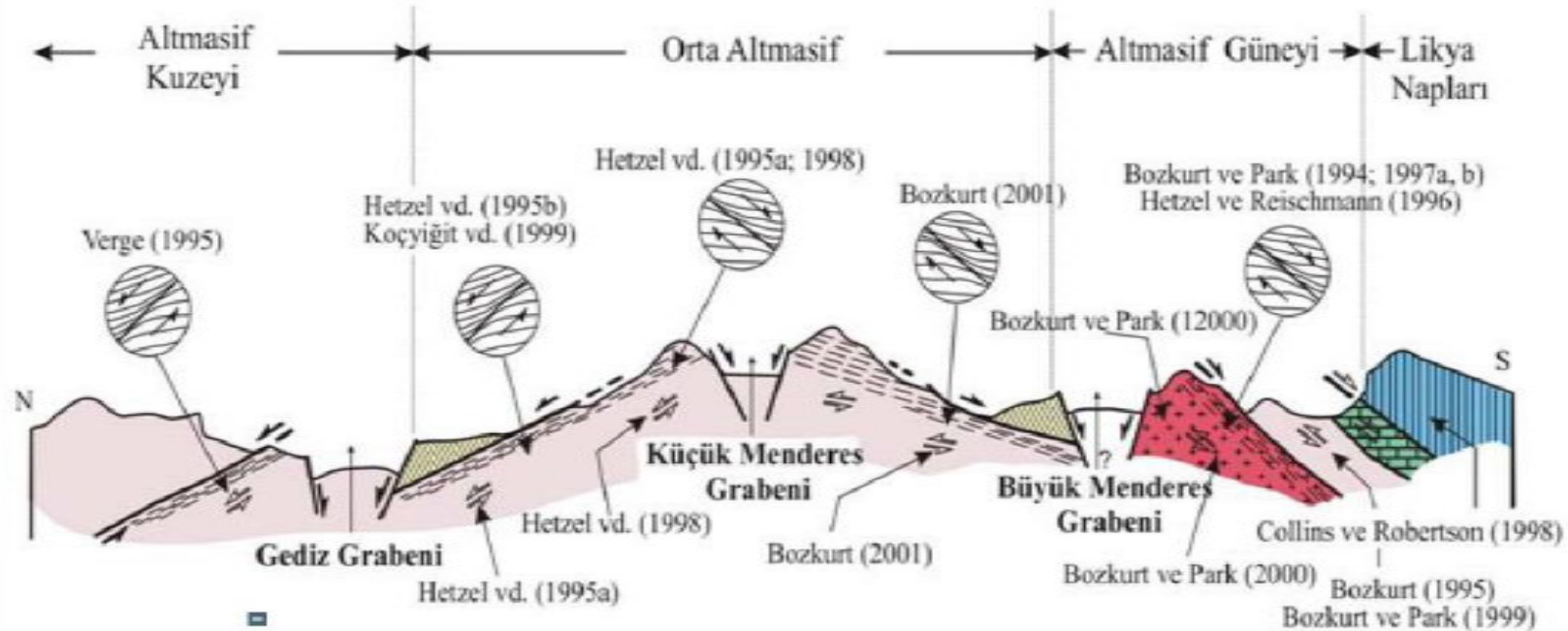
İnceleme alanının kuzeybatısındaki Akköy fayı da çevredeki önemli tektonik hatlardan biridir (Vural 2009).



Şekil 1.7. Menderes Masifi genelleştirilmiş sütun kesiti (Dora vd., 1995).



Şekil 1.8. Menderes Masifinin oluşumu (Dora vd., 1995).



↗ Üst düzeylerin K-KKD'ya hareket ettiği sıkışmalı deformasyon (? Paleosen-Eosen)

↖ Üst düzeylerin G-GGB'ya hareket ettiği gerilmeli deformasyon (? Eosen-Miyosen)

Neojen sedimentleri

Likya Napları

Gözlü gnayslar

Mesozoyik-Senozoyik mermerler

Paleozoyik şistler

Şekil 1.9. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit (Verge, 1995; Hetzel vd., 1995; 1996, 1998, Koçyiğit vd., 1999; Bozkurt, 2001, 1995; Bozkurt ve Park, 1994; 1997, 1999, 2000; Collins ve Roertson, 1998).

1.3. Çalışmanın amacı

Yüksek lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada (1) Urganlı (Turgutlu, Manisa) ve yakın çevresi jeotermal alanlarının jeoloji haritasının güncellenmesi, (2) mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, (3) jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve (4) jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu modellemektir.

2. KAYNAK BİLGİSİ

Çağlar (1947), M.T.A bünyesinde yaptığı çalışma kapsamında Urganlı kaplıcaları ve çevresindeki sıcak su kaynaklarından yaptığı örneklemeler sonucunda suların sıcaklığının ortalama 45-76 °C arasında değiştiğini, 25-250 mg/l arasında değişen serbest karbondioksit içerdiğini ortaya koymuş ve radyoaktivite ölçümleri yapmıştır. Sıcak su kaynaklarında radyoaktivite değerlerinin 0.61-5.1 eman arasında olduğunu saptamıştır.

Ürgün (1966), Urganlı kaplıcaları ve civarında detay jeoloji ve hidrojeoloji çalışmaları yapmıştır. Alanda yaygın olarak görülen travertenleri 1/1000 ölçeğinde haritalamış ve bütün sıcak su kaynaklarını bu harita üzerine işleyerek suların fiziksel özelliklerini de belirtmiştir. Ayrıca, 1968 yılında kaplıca ve çevresindeki kaynaklarda örneklemeler yaparak kimyasal yorumlamalar da yapmıştır.

Karamenderesi (1972, 1997), Karamenderesi ve Helvacı (1994) M.T.A bünyesinde Urganlı kaplıcaları civarının detay jeolojisi ve jeotermal olanakları hakkında çalışmalar yapmıştır. Jeotermal alanlarda bulunan kayalarda REE ve diğer elementleri ölçmüşlerdir ve genel olarak alanda incelemelerde bulunmuşlardır. Çalışmaya göre Salavatlı jeotermal alanında (800-1600 ppm) Ömerbeyli jeotermal alanına (50-230 ppm) göre daha yüksek B oranına sahiptir. B kısmen (azalan sıraya göre) kuvars damarlarında turmalin gnayslarda, illit-klorit-feldspat zonlarında ve kuvars-klorit şist zonlarında artış gösterir. Caferbeyli jeotermal alanında ilk kuyu 1990'da açılmıştır ve 1198 m'de maksimum sıcaklık 155 °C olarak ölçülmüştür. Yaklaşık 2 L/s olarak elde edilen düşük debi nedeniyle açılan kuyudan üretim yapmak ekonomik olarak mümkün olmamıştır.

Evirgen (1979), Araştırmacı Turgutlu çevresinde yaptığı çalışmada, Gediz Grabeninin güney kenarı boyunca yer yer 10 km genişlikte bir zon boyunca kataklastik kayaların varlığını ilk kez belirlemiştir.

Filiz (1982), Doçentlik tezi kapsamında yaptığı bu çalışmada, Ege bölgesindeki önemli jeotermal alanların oksijen-18 (¹⁸O), döteryum (²H), trityum (³H), karbon-13

(¹³C) izotop içeriklerini inceleyerek Urganlı jeotermal alanı için, suların meteorik kökenli olduğu ve rezervuar sıcaklığı açısından elektrik üretimine uygun olmadığı sonucuna varmıştır.

Yılmazer (1988) ve Yılmazer vd. (2008), Hidrojeolojik olarak, mermer, kuvars şist, kalkşistlerin iyi hazne özelliği gösterdiği, öteki Paleozoyik yaşlı kayaların daha az poröz ve emperbeabl olduğunu ifade etmiştir. Yöre sularını kimyasal olarak incelemiş, beslenmelerinin aynı birimde olmasına rağmen bazı kaynaklarda köken farkı olduğunu belirtmiştir. Yöre sularına kimyasal jeotermometreler uygulamış ve sıcaklığı 200 °C' yi aşan rezervuar sıcaklıklarını saptamıştır. Ayrıca sıcak su analizlerinde yüksek bor değerleri saptamış, bu nedenle atık sıcak sular tarımda kullanılmaması gerektiğini ve yörede gelişmekte olan kaplıca turizminin öneminin korunması gerektiğini ifade etmiştir.

Tarcan ve Filiz (1994), Tarcan vd. (2000) ve Tarcan (2002), Çalışma alanında saptanan sıcak-soğuk 48 su noktasından bir yıl boyunca her ay periyodik örnekleme yapılmış ve aylara göre fizikokimyasal özelliklerinin değişimleri, incelenmiştir. Ayrıca yıllık kimyasal analiz ortalamasının dikkate alınarak hazırlanan hidrokimyasal fasiyes haritaları ve yeraltısularının jeokimyasal haritaları ile suların sınıflamasına ve kullanılma özelliklerine de değinilmiştir.

Yaptıkları çalışmada Salihli jeotermal sistemlerinin fiziksel olarak dört ana gruba bölündüğünden bahsetmişlerdir. Bunlar; Sazdere, Kurşunlu, Caferbeyli ve Sart-Çamur jeotermal alanlarıdır. Temelde bulunan rezervuar kayaçlarının ise karstik mermerler ve kırık-çatlaklara sahip Menderes Masifine bağlı Mesozoyik yaşlı birimler olduğunu belirtmişlerdir. Sahip oldukları geçirimsizlikle Neojen yaşlı Göbekli ve Acidere formasyonları örtü kayaçları oluşturur. Isı kaynaklarının ise yüzeye yakın magmatik sokulumlara bağlı olabileceği üzerine durmuşlardır. Batı Anadoludaki diğer jeotermal sistemler gibi çalışma alanındaki meteorik kökenli dolaşım suları tektonik aktivite ile yakından ilişkilidir. Çalışma alanındaki jeotermal suların çoğunluğunun sodyum bikarbonat tipli olduğunu belirtmişlerdir. Soğuk sularda ise Ca^{+2} , Mg^{+2} , ve HCO_3^- baskındır. Jeotermal enerji araştırmalarında kullanılan bazı hidrojeokimyasal tekniklerin tanıtımını ve uygulanabilirliğini

kapsamaktadır.

Özgür ve Pekdeğer (1995) ve Özgür (1998), $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$ ve ^3H izotop verilerine bağlı olarak yürüttükleri çalışmada, Kızıldere sahasında yüzeyleyen sıcak suların meteorik kökenli olduğunu, bölgenin yoğun olarak su-kayaç ilişkisinden etkilendiğini ifade etmişlerdir. Özgür (1998), kıtasal rift zonlarındaki tektonizmanın etkinliğine bağlı olarak meteorik suların güncel sub-volkanik aktiviteyle ısındığını belirtmiştir. Araştırmacılar, yüksek sıcaklık ve su-kayaç ilişkisine bağlı olarak masifteki kristalli kayaçlarla reaksiyona girdiğini, magmatik CO_2 ve H_2S gaz boşalımı ile reaksiyonun hızlandığını belirtirler. Çalışmada hidrolik basınç etkisiyle geçirimli sedimanter kayaçlar boyunca yükselerek, su-kayaç ilişkisinin sıcak suların kimyasal ve izotop karakteri üzerinde baskın rol oynadığını ortaya koyulmuştur.

Ceylan (1998), Araştırmacı Urganlı termal kaynaklarının farklı debiye sahip olduğunu ve toplam debinin 30 lt/sn olduğunu saptamıştır. Termallerin daha çok kaplıca tesisinde kullanıldığını belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı kaynak sularının yüzeye çıktığı ve daha sonra topografik eğimi takiben akışa geçtiği yerlerde buharlaşma, çökeltme sonucu travertenler oluştuğunu belirtmiştir.

Sarıkaya (2004), Bu çalışmayla derinlerden itibaren yüzeye doğru dizilim gösteren kayaçlar, başlangıçta sünümlü ve sonrasında da kırılma ile ilerleyen bir deformasyon sonucu, Gediz ayrılma zonunu oluşturmuştur. Bu zon, bölgede Miyosen' den beri süregelen kıtasal açılmaya neden olan deformasyonun türü ve büyüklüğü hakkında önemli ipuçlarına sahip olunmuştur.

Yaman (2005), Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında bulunan sıcak sular bikarbonat tipli sular olduğunu ve akışkan içinde CO_2 gazı bulunduğunu belirtir. CO_2 gazı ve sıcaklık bor taşıyan minerallerin çözünürlüğünü arttırdığını ifade etmiştir. Menderes Masifinde bulunan jeotermal sulardaki borun tümü ile magmadan kaynaklandığını vurgular. Tüm jeotermal alanların hidrojeokimyasal, izotop jeokimyasal ve bor değerlerinin oldukça farklı sonuçlar sunduğunu ortaya koymuştur.

Bulut ve Filiz (2005), Bayındır jeotermal sistemi Batı Anadolu'da Menderes Masifi içinde Küçük Menderes grabeninin kuzey kenarında yer alır. Sistem aktif graben fayları ile kontrol edilir. Saha düşük entalpili olup suların yüzeye çıkış sıcaklığı 42-46 °C dir. Kimyasal jeotermometre uygulamalarına göre rezervuar sıcaklığı 55- 118 °C arasındadır. Kimyasal ve izotopik veriler termal suların meteorik kökenli, sık dolaşım ve soğuk yer altı suları ile karıştığını işaret etmektedir.

Özen ve Tarcan (2005), Güneybatı Anadolu'da Miyosen-Kuvaterner çökellerindeki faylar değerlendirilerek, bu zaman aralığındaki tektonik basınç ve çekim yönleri saptanmaya çalışılmıştır.

Vural (2009), Araştırmacı çalışmasında Urganlı jeotermal alanı, Manisa ili Turgutlu ilçesine bağlı Urganlı beldesinin yaklaşık 5 km kuzeyinde yer almakta olduğunu ifade etmiştir. Arıca alanda açılan kuyuların derinlikleri 280-605 m arasında, debileri ise 15-40 l/s'dir. Urganlı bölgesi sıcak ve mineralli sularının sıcaklıkları; kaynaklarda 50-75°C olup, sondajlarda ise 62-83°C arasındadır. Mevcut sıcak su kuyularından Urganlı jeotermal alanının görünür ısı potansiyeli 24.96 MWt olarak hesaplanmıştır. Suların pH değerleri ise, nötre yakın değerler göstermektedir. İnceleme alanında bulunan kaynak ve sondajlardan alınan su örneklerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre; sıcak ve mineralli sular sodyum bikarbonatlı su tipinde olup bor içerikleri oldukça fazla olduğunu vurgulamıştır.

Mutlu (2012), Araştırmacı bu çalışmasında, Dünyada enerji kaynaklarına olan ihtiyaç her geçen gün artarak devam etmektedir. Fosil enerji kaynaklarının dünyada ciddi çevre sorunlarına yol açması, rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olması, kaynak ülkelere bağımlılığın çeşitli siyasi ve ekonomik sorunlara yol açması ve fiyat istikrarsızlıkları gibi nedenlerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Özellikle gelişmiş ülkelerde yenilenebilir enerji kaynakları olan hidrolik, rüzgar, jeotermal, güneş, biyokütle, dalga, hidrojen vb. enerji kaynaklarından basta elektrik üretimi olmak üzere çeşitli yollarla yararlanılmaktadır. Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye'nin de artan nüfus ve büyüyen ekonomisine paralel olarak enerji kaynakları tüketimi yükselerek devam etmektedir. Mevcut enerji yapısı % 72 oranında dışa bağımlı olan Türkiye, bu oranı azaltabilmek için bir yandan sınırları

içinde fosil enerji kaynakları hammaddesi arama çalışmaları yürütürken, diğer yandan da yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyelinin belirlenmesi ve kullanımı konusunda çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmada Türkiye'nin mevcut enerji potansiyeli ortaya konmuş ve bu enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi içindeki payları ve gelişimi verilmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynakları potansiyelin önümüzdeki yıllarda yeterli olup olmayacağı tartışmalarına cevap aranmıştır.

Hakyemez vd. (2013), Bu çalışmada Gediz havzasının erken ve geç Kuvaterner sırasında sinsedimanter tektonizmayla değişen karakteristikleri çökel fasiyesleri ve ortamsal özellikleri tanıtılmakta, nehrin denizle buluşma serüveninin Kuvaterner sonlarında, olasılıkla Holosen ortalarında gerçekleştiği vurgulanmakta ve havzanın Kuvaterner boyunca geçirdiği jeolojik-jeomorfolojik evrim yorumlanmaktadır.

Eski (2014), Bu çalışmalar sonucu, Gölarmara Havzası içerisinde örtülü bir horst yapısının olduğu ve bu yapının Miyosen dönemi tek havza modelinin sınırını oluşturduğu düşünülmektedir.

Poyraz vd.(2015), Bu çalışmada, iki farklı uzaysal jeodezik teknoloji olan SAR (Yapay Açıklı Radar) interferometrisi ve GPS (Küresel Konumlandırma Sistemi) birlikte kullanılarak, yersel uzun dönem deformasyonların belirlenmesine yönelik çalışmaların yapılması hedeflenmiştir.

Korkmaz Başel, Serpen, Satman (2009), Bu çalışmada 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 yürütmekte olduğu ifade edilmiştir. Türkiye'nin yer altı jeotermal sıcaklık dağılımını belirlemek amacıyla ek bir çalışma sürdürülmüştür. Mevcut ilksel bilgiler ışığında, 500 m derinlik için hesaplanmış sıcaklık dağılımı haritası sunulmaktadır. Son olarak da, Türkiye genelinde ölçülmüş sıcaklık gradyanı verilerine dayanan ısı içeriği sonuçları sunulmuştur.

Yıldırım (2016), Bu çalışma Kurşunlu (Salihli, Manisa) ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerini inceleyen tez çalışmasıdır. Çalışma alanında dokuz farklı sıcak su lokasyonundan su örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerde katyon ve anyon analizleri yapılmıştır. İnceleme alanındaki sıcak sular genel olarak Na-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Kurşunlu ve yakın çevresi jeotermal suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ve baskın HCO₃>Cl>SO₄ anyonlar olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanındaki jeotermal sular Cl-SO₄-HCO₃ üçgen diyagramına göre magma kaynağı tarafından ısıtılan sular sınıfına girmektedir. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Tüm jeokimyasal termometre sonuçları ve mevcut kuyuların rezervuar sıcaklıkları birlikte değerlendirildiğinde jeotermal suların rezervuar sıcaklığı 148 °C ölçülmüştür. Termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -45,9 ile -56,0 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -8,88 ile -5,16 arasında değişim göstermektedir. 0,8-4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

3.1. Stratigrafi

Urganlı jeotermal alanı ve yakın çevresinde stratigrafik olarak alttan üste doğru Paleozoyik, Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimler bulunmaktadır (Şekil 3.5). Bu birimler alt başlıklar halinde detaylı olarak açıklanmıştır. (Şekil 3.1) de Gediz grabeninin genelleştirilmiş jeolojik haritası verilmiştir. (Şekil 3.2) de ise İnceleme alanı jeolojik haritası vermiştir. (Şekil 3.3 -3.4) ise çalışma alana ait enine kesiti vermektedir.

3.1.1. Paleozoyik

Temeli oluşturan Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalardır. Bunlar, kalkşist, mikaşist, kuvarssist, kuvars muskovitsist, kuvars muskovit biyoşist gibi şistlerden oluşan kayalardır. Bu bakımdan Menderes Masifi örtü şistleri (Pzk) olarak nitelendirilirler. İnceleme alanının da Sarnıç tepenin doğu kesiminde, şistler arasında bej, kahverengimsi renkte mermer düzeylerine de rastlanmaktadır. Çalışma alanının kuzeyinde ve doğusunda, metamorfitlerin üzerine Paleozoyik yaşlı mermerler gelmektedir. Mermerler, ara ara dolomitik olup alt seviyelerinde koyu gri, üste doğru ise daha açık gri renklerinde ve orta-iri kristallidir (Akdeniz vd., 1986, Karamandere 1972 ve Yılmaz vd., 2008, Vural, 2009).

3.1.2. Mesozoyik

Paleozoyik yaşlı temel kayaların üzerinde uyumsuzlukla Mesozoyik yaşlı kireçtaşları, dolomitik kireçtaşları ve allokon ofiyolitik kayalar gelmektedir (Pzm). Çalışma alanının KBda bulunurlar. Kireçtaşları alt seviyelerine doğru dolomitiktir. Dolomitler ikincil kalsit dolgular içerir ve tabakalnaması pek belirgin değildir. Ayrıca dolomitler, üste doğru kireçtaşlarına geçiş göstermektedir. Ofiyolitik melanj veya ofiyolitik karmaşa ismi verilen birim sedimanter ve çeşitli volkaniklerden oluşmuştur. Ayrıca melanjda sedimanter kayaların üzerinde serpantin ve peridotit birimleri bloklar halinde bulunmaktadır. Melanj Çaldağ ve dolaylarında görülmektedir (Akdeniz vd., 1986, Karamandere 1972 ve Yılmaz vd., 2008).

3.1.3. Senozoyik

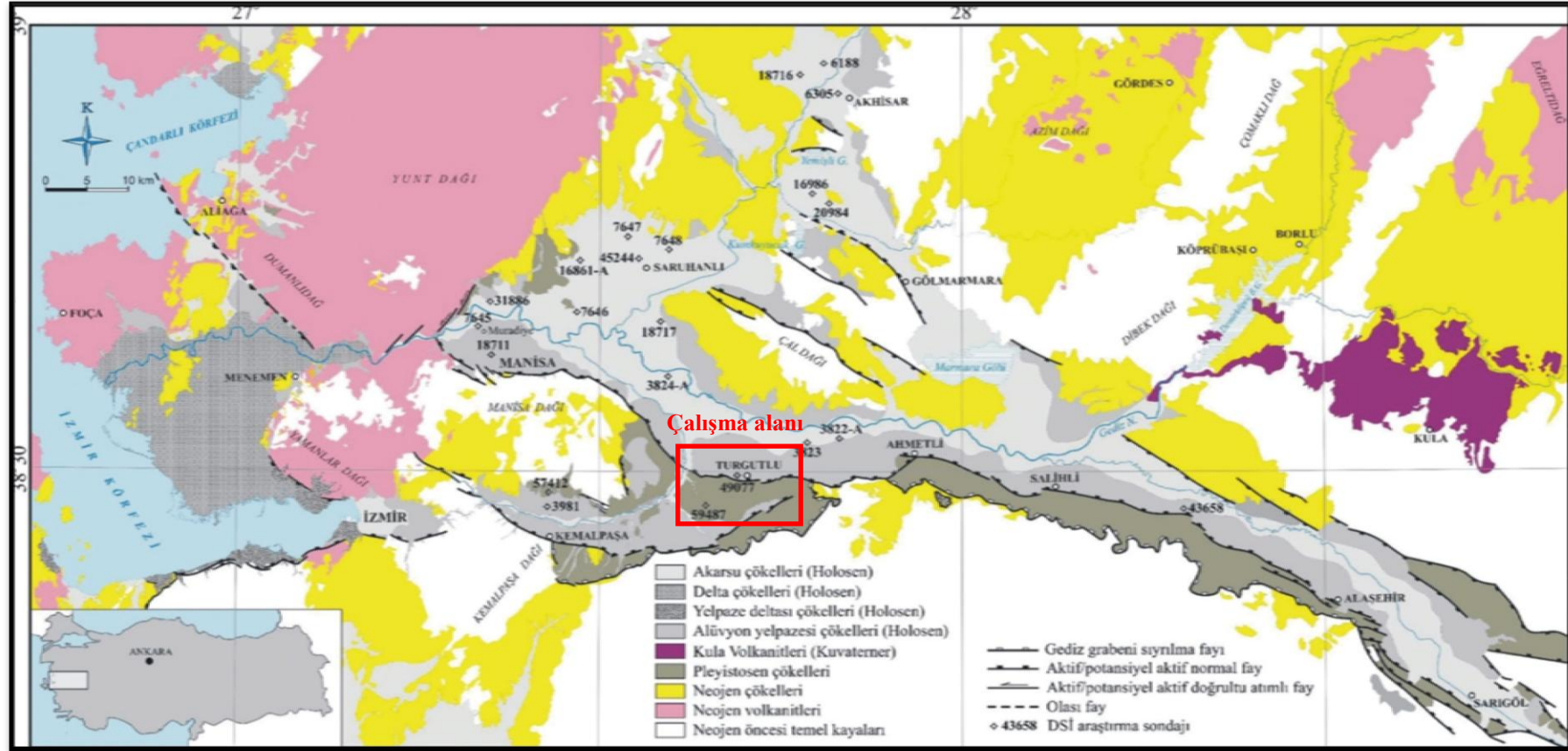
Paleozoyik ve Mesozoyik yaşı birimlerin üzerine aşsal uyumsuzlukla Senozoyik yaşı kayalar gelmektedir. Senozoyik yaşı bu birim Pliyosen yaşı çökeller ile Kuvaterner yaşı traverten, yamaç molozu ve alüvyonlardan oluşmaktadır.

3.1.3.1. Pliyosen

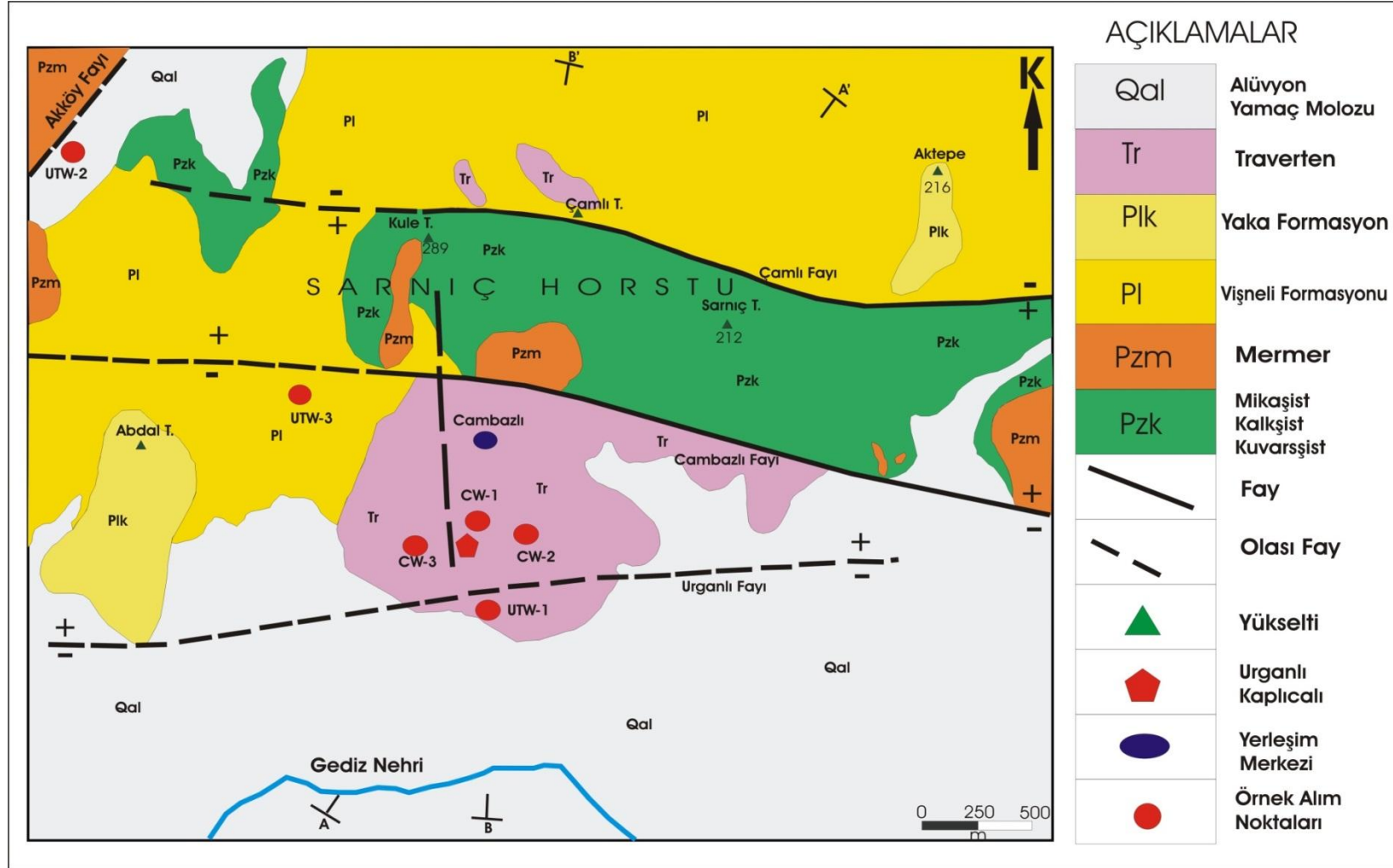
Çakıltası, kumtası, silttası, kiltası Pliyosen tabanında bulunmaktadır. Bu kayaların üzerine killi kireçtası ve kiltası (Pl) uyumlu olarak gelmektedir. Detritik çökeller olarak çakıltası, kumtası, silttası, kiltası (Plk) gibi birimler çalışma alanında yaygın görülmektedir. Orta-iyi derecede yuvarlaklaşmış çakıllar genellikle karbonat veya kil çimentoyla gevşek tutturulmuştur. Genellikle gri, yeşilimsi gri renklerinde bulunan kumtaşları yer yer ince tabakalanmalı kiltası ve silttaşlarıyla ardalanmalıdır. İnceleme alanının KD'sundaki Aktepe ile batıdaki Abdal tepe ve güneyinde Pliyosen'in üst düzeylerine ait killi kireçtaşları yayılım gösterir. Bu birim kirli beyaz, sarımsı ve krem renklerde olup, yatay ve yataya yakın eğimlidir. Alt Pliyosen yaşı birimler Vişneli formasyonu, üst Pliyosen yaşı birimler ise Yaka formasyonu olarak isimlendirilmiştir (Akdeniz vd., 1986).

3.1.3.2. Kuvaterner

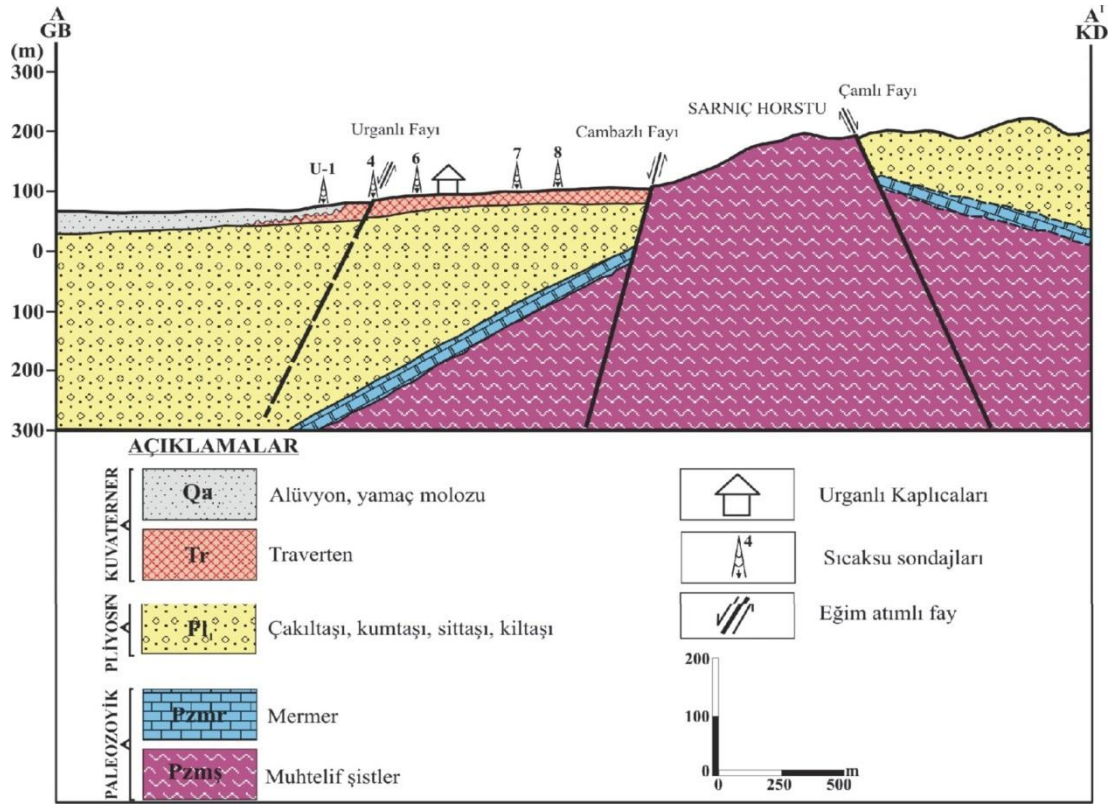
Çalışma alanındaki en genç oluşuklar Kuvaterner yaşı traverten (Tr) ve alüvyonlardır (Qal). Sıcak suların bıraktığı çökeltilerin oluşturduğu travertenlerin büyük bölümü yatay konumlu olarak konum ve yayılımları yönünden oldukça dikkat çekicidir. Bu travertenler, düşük sertlikte, kirli beyaz, sarımsı kirli beyaz ve gri renklidir. Yatay olarak yayılım gösteren eski travertenleri dikine kesen çatlaklardan yüzeylenen suların oluşturduğu genç travertenler ise, daha dik bir morfoloji oluşturmuştur. Bu genç travertenler, inceleme alanında duvarımsı görünümündedir. Yeni traverten oluşumları bazı sıcak su çıkışları çevresinde halen devam etmektedir. İnceleme alanının KB da Kuvaterner yaşı genç oluşuklardan yamaç molozları, mostra vermektedir. İnceleme alanının güneyinde gediz ovasında geniş yayılım gösteren, gediz havzasındaki birimlere ait elemanlardan oluşan alüvyon örtü bulunmaktadır (Yılmaz vd., 2008).



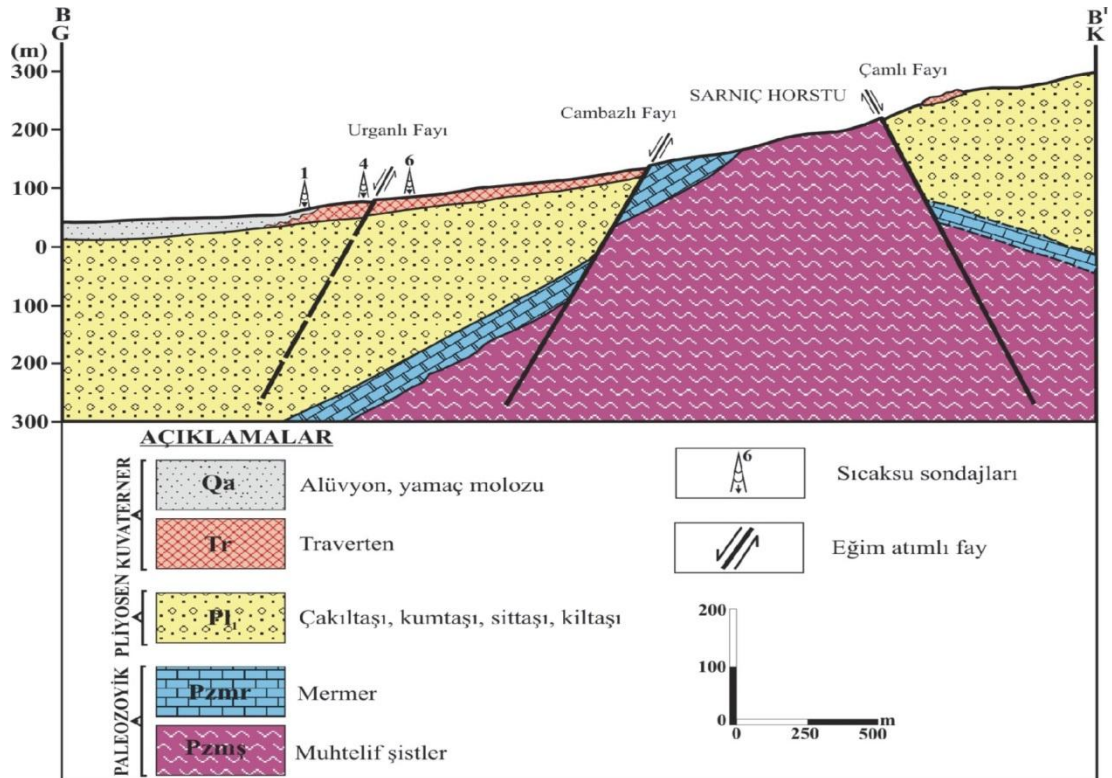
Şekil 3.1. Gediz garbeni genelleştirilmiş jeoloji haritası (Hakyemez vd., 2013).



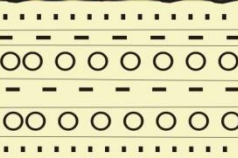
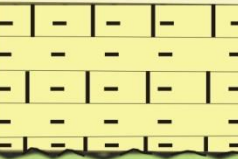
Şekil 3.2. İnceleme alanın jeoloji haritası (Yılmazer vd., 2008).



Şekil 3.3. Çalışma alanı A-A^I jeoloji enine kesiti (Vural, 2009)



Şekil 3.4. Çalışma alanının B-B^I jeoloji enine kesiti (Vural, 2009).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAYA	Kalınlık (m)	LİTOLOJİ
SENOZOYİK	Kuvat.	Holosen	Alüvyon	25-175	 Kum, Kil, Silt, Çakıl
			Traverten		 Traverten
	TERSİYER	NEOJEN	Tortul Kayalar	300-600	 Yaka Formasyonu Çakıltaşı, kumtaşı, kilttaşı, silttaşı
					 Vişneli Formasyonu Killi kireçtaşı, kilttaşı
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST	Ofiyolitik Kayalar	500-600	 Serpantin, Çört, Ultrabazikler, Şeyl Kireçtaşı, Kumtaşı
		ALT			 Dolomitize Kireçtaşı, Dolomit
	JURA	Üst	Dolomitik Mermerler	700-1000	 Rekristalize Kireçtaşı
		Alt Orta			 Mermer
PALEOZOYİK			Mermer-Şist Ardalanması	300-500	 Kalkşist-Mikaşist-Fillit ardalanmaları
			Şist	?	 Mikaşist, Kalkşist, Kuvarsşist, Biyotitşist, Muskovitşist.

ÖLÇEKSİZ

Şekil 3.5. İnceleme alanının tektono-stratigrafik sütun kesiti (Yılmaz vd., 2008).

4. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, kullanılan malzemeler, saha çalışmalarında kullanılan yöntemler, laboratuvar analizleri ve veriler yorumlanarak tartışılmıştır. Arazi çalışmaları arazide ölçülen in-situ parametrelerini ve oradan alınan sıcak su örneklerini içermektedir (Şekil 4.1). Çalışma alanında jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özelliklerinin anlaşılmasını kolaylaştırmak için Urganlı (Turgutlu, Manisa) jeotermal alanında ayrıntılı bir biçimde kuyu başı ölçümleri ve in-situ analizleri yapılmıştır. Bu hedefe ulaşmada yapılan çalışmada su örnekleri alınmış ve bu örnekler gerekli standartlar ve uygun analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Su örnekleri çalışma alanının farklı lokasyonlarından temsili olacak şekilde toplanmıştır. Daha sonra bunlar fiziksel parametreleri, anyon ve katyonların belirlenmesi için analiz edilmiştir.

4.1. Metod

Araştırmanın, bu bölümünde tüm aşamaları içeren jeoloji, jeotermal suların hidrojeokimyası, izotop jeokimyası, su örnekleri alımı, laboratuvar analizleri ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yöntemleri tartışılmaktadır. Yapılan saha çalışmalarında anyon ve katyon analizleri için üç numune alım noktasından su örneği alınmıştır. Bu alınan örneklerde in-situ analizlerinin yanı sıra hidrojeokimyasal analizler de gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik (EC), toplam çözünmüş oksijen (O_2), redoks potansiyeli (Eh), karbonat tayini için alkalinite ve toplam sertlik gibi analizler arazide gerçekleştirilmiştir. İn-situ cihazları ve ölçülen birimler (Çizelge 4.1 ve 4.2)'de verilmiştir.

4.1.1. Jeolojik çalışma

Çalışma alanının stratigrafi ve yapısal jeoloji özelliklerinin belirlenmesi için farklı jeolojik haritalar hazırlanmış bulunmaktadır. Önceki çalışmalar ayrıntılı olarak incelenmiş ve var olan veriler arazide yapılan gözlemlerle desteklenmiştir, jeolojik enine kesitler hazırlanarak genelleştirilmiş stratigrafik kesitler kontrol edilmiş ve buradan giderek jeolojik haritanın tamamlanması gerçekleştirilmiştir.

4.1.2. Örnek alımı ve in-situ analizleri

Arazide alınan su örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri gibi başka parametrelerde göz önünde bulundurulmalıdır. Bu parametrelerle ilgili olarak tüm laboratuvar standartları göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Örneğin, su örneklerini hidrojeokimyasal analiz etmek için 100 ml olan polipropilen şişelerde katyon ve anyon olarak ayrı ayrı örnekler alınmıştır. Örneklerin şişelere alınması ve muhafaza edilmesi sırasında dikkatli davranılmış ve şişelerin hava almaması için ağzıları kapatılırken kapaklarına da su doldurularak kapatılmıştır. Katyon analizi için su örneğinde bazı maddelerin çökelip reaksiyon göstermesini önlemek için derişik HNO_3 konularak pH değeri 2.0 ile 3.0 arasına getirildikten sonra kapağı kapatılmıştır. Su örnekleri daha sonraki analizler için laboratuvarda 4 °C’de bekletilmiştir.

4.1.3. Hidrojeokimyasal analizler

Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü bünyesinde çalışma kapsamında, su örneklerinin in-situ analizleri ve hidrojeokimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Hidrojeokimyasal analizler için kullanılan cihazlar ve hidrojeokimyasal parametreler (Çizelge 4.2)’de verilmiştir.

ICP-OES (Bağı Eşleşmiş Plazma-Optik Emisyon Spektroskopisi) hareketli atomları ve belirli bir elemanın karakteristik dalga boyunda elektromanyetik radyasyon yayan iyonları üretmek için indüktif plazma birleştiğinde kullanılan emisyon spektroskopisi türüdür. Bu emisyon yoğunluğu örnek içinde elementlerin konsantrasyonunun göstergesidir.

IC (İyon Kromatografı) kendi şarja dayalı iyon ve polar moleküllerin ayrılmasını sağlayan bir süreçtir. Enjekte edilecek çözelti, genellikle bir örnek olarak adlandırılır ve ayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek hacmi bir örnek döngü içine, elle veya otomatik örnekleyiciyle de tanıtıldı. Mobil faz olarak bilinen tamponlu, sulu bir çözelti hareketsiz faz malzeme döngü içeren bir kolon üzerine örnek taşır. Hedef analit sabit faz üzerinde muhafaza edilir, ancak ikinci durağan faz, analit iyonlarının yerini aynı yüklü türlerin konsantrasyonunun arttırılması ile ayrıştırılır. İlgilenilen analit daha sonra, tipik iletkenliği veya UV/VIS ışık absorbe ile, bazı yöntemlerle tespit edilmelidir.

ICP-MS burada kütle spektrometresi ile yüksek sıcaklık ICP kaynağından oluşmaktadır. ICP kaynağı burada örnek içinde element atomlarını iyonlara dönüştürür. Bu iyonlar burada ayrılır ve sonar kütle spektrometresi tarafından belirlenir.

Çizelge 4.1. Arazi çalışmalarında kullanılan in-situ cihazları ve özellikleri.

İn-situ Parametreleri	Ölçüm Birimleri	Cihaz Adı ve Marka
Sıcaklık	°C	Thermometer-Testo-95-1
pH		pH meter-WTW 330i
Redoks Potansiyeli (Eh)	mV	pH meter-WTW pH 95
Elektriksel iletkenlik (EC)	µS/cm	Electrical conductivity measure-WTW cond 330i and 340i
Çözünmüş Oksijen (O ₂)	mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinity Test kit- Merck Aquamerck 11109

Çizelge 4.2. Hidrojeokimyasal cihazlar ve özellikleri.

Analiz Parametreleri	Cihaz ismi	Analiz cinsi
Na ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Pb ²⁺ , Zn ²⁺ , Cu ²⁺ , Al ³⁺ , Si ⁴⁺ , As, Cr	Perkin Elmer ICP-OES 2100 DV	Optik Emissiyon spektrometresi
F ⁻ , Cl ⁻ , Br ⁻ , SO ₄ ²⁻ , NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻ , PO ₄ ²⁻	Dionex ICS-3000	İyon Kromatografisi
HCO ₃ ⁻ , CO ₃ ²⁻	Merck-Aquamerck test kitleri	Titrasyon Yöntemi

4.1.4. Jeokimyasal termometreler

Jeotermal sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi için önemli bir vasıta olan jeokimyasal termometreler, aynı zamanda jeotermal rezervuarların üretimi esnasında etkilenmesinin izlenmesi bakımından önemlidir. Jeotermal geliştirme ve izlemelerin son aşamasında jeokimyasal termometreler kuyularda üretim seviyelerinin yerlerine riayet ederek kuyu deşarjının bileşimini yorumlayabilmek için kullanılır. Jeotermometreler, arama aşaması esnasında sondaj çalışmalarında beklenen çıkış sıcaklığı gibi yeraltı sıcaklığını tahmin etmek için de kullanılır. Burada sıcak suların ve fumarollerin kimyasal ve izotop jeokimyasal bileşimi kullanılır. Jeokimyasal termometreler ayrıca kuyu çevresinde deşarj oluşturan soğuk sular tarafından geliştirilen kaynama ve/veya basınç olayları sonucu oluşan azalma zonlarında oluşan kimyasal reaksiyonları açıklamak için faydalıdır.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların hidrojeolojisi

Bu bölümde kayaçların porozite, permeabilite ve su tutma özelliklerine yer verilmiştir. İnceleme alanının temelinde bulunan paleozoyik yaşlı metamorfikler temel kayacı oluşturmaktadır. Bu kayaçlar İnceleme alanının temelinde bulunan paleozoyik yaşlı metamorfikler temel kayacı oluşturmaktadır. Bu kayaçlar sarnıç horstu boyunca görülen kalkışist, mikaşist, kuvarşist dir (Pzk) (Şekil 5.1). Sarnıç horstu boyunca görülen bu muhtelif şistler ve mermerlerin Neojen yaşlı birimlerle olan dokanağı faylıdır. Beslenme alanının yüksek kesimlerinde mostra veren mikaşistlerde, tektonizmanın etkisiyle meydana gelen sekonder kırık ve çatlaklar su tutma açısından önemlidir ve rezervuar kaya özelliğinde olduğu söylenebilir. Aynı şekilde, Mikaşistler içersinde yer yer gözlenen kalkışist geçişleri de iyi bir rezervuar kaya özelliği gösterebilmektedir. Yine mikaşistler içersinde gözlenen kuvarşistler ise, gevrek yapısı nedeniyle kırık ve çatlaklar içermektedir. Sekonder porozite ve permabilite özelliği ile kuvarşistler de yeraltı suyu içerebilir. İnceleme alanında şistler içersinde mostra veren, çatlaklı ve karstik özelliğinden dolayı porozite ve permabilitesi oldukça iyi olan mermerler ise, bölgede en önemli rezervuar kayacı teşkil etmektedir (Vural, 2009).

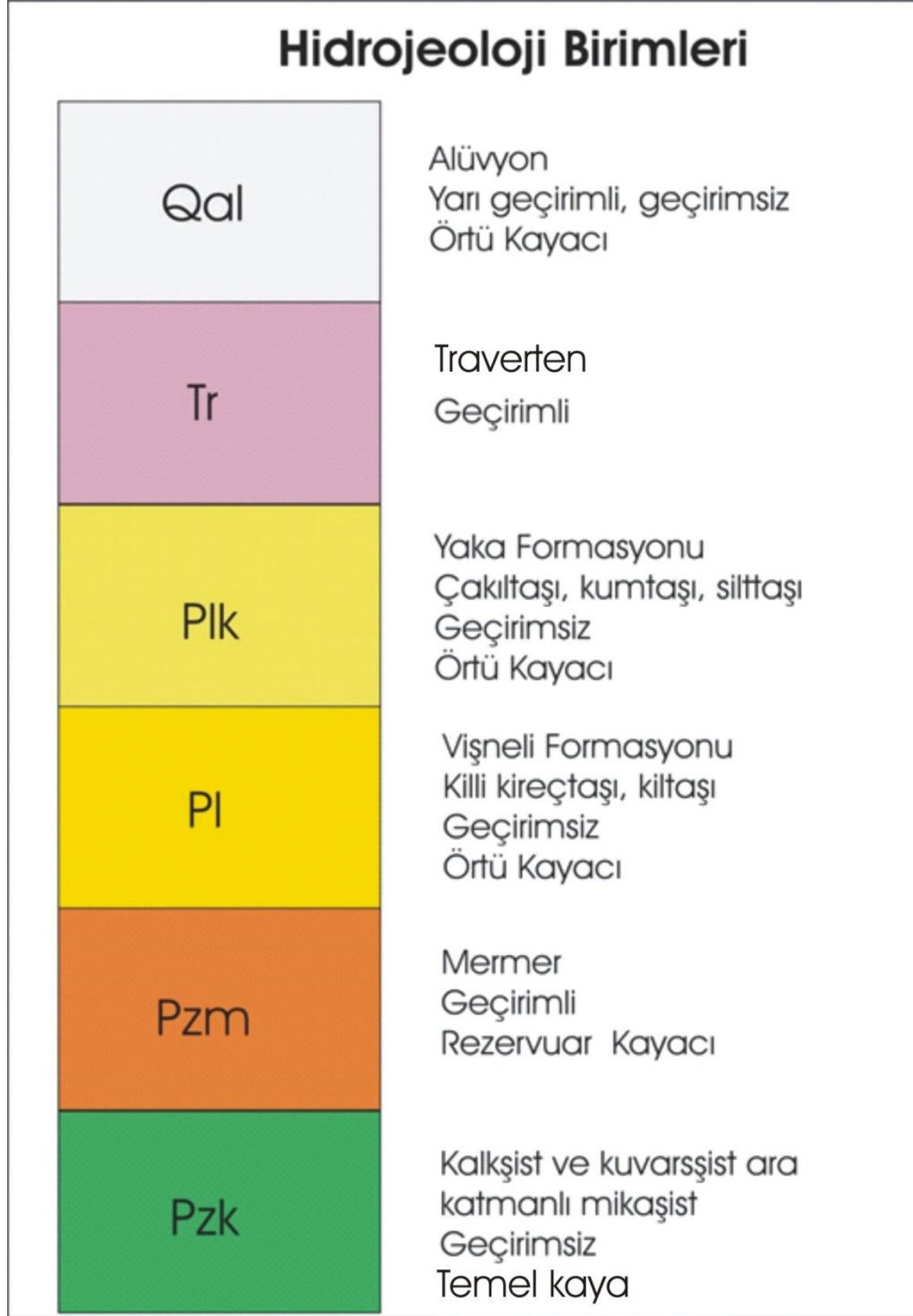
Kuzeyden güneye doğru gittikçe kalınlaşan Neojen yaşlı birimler inceleme alanı ve çevresinde oldukça yaygındır. Bu birimlerden çakıtaşları ile kumtaşları yeraltısuyu içermekte ve yapılan sondajlardan sıcak ve soğuk sular alınabilmektedir. Killi, marnlı birimler geçirimsiz olup, örtü kaya özelliği göstermektedir. Doğal akışa sahip sıcak su kaynaklarının oluşturduğu Kuvaterner yaşlı travertenler ise, çalışma alanında yaygın olarak görülmekte ve bazı noktalarda traverten oluşumları halen devam etmektedir. Yine Kuvaterner yaşlı oluşumlardan alüvyon örtü, inceleme alanında kalınlığı az olmakla birlikte inceleme alanı güneyine doğru kalınlığı artmakta ve Gediz ovasında geniş yayılım göstermektedir. Bölgede alüvyon birimlerindeki çakıllar su depolama açısından önemlidir (Vural, 2009) (Şekil 5.1).

Rezervuar kayaçları

1. Bu rezervuar kayacının üzerine en önemli rezervuar kayacı olan paleozoyik yaşlı mermer gelmektedir (Pzm). Mermerler çatlaklı olması, porozite ve permabilite özelliklerinin iyi olmasından dolayı bölgenin en önemli rezervuar kayacıdır (Şekil 5.1).

Örtü kayaçları

1. Rezervuar kayacı olarak bulunan mermerin (Pzm) üzerine uyumsuzlukla örtü kayacı olarak senozoyik yaşlı Vişneli formasyonu gelmektedir. Vişneli formasyonu killi kireçtaşı, kıltaşı gibi birimlerden oluşmaktadır. Geçirimsiz olan bu formasyondaki birimler kirli beyaz, sarımsı ve krem renklerde görülmektedir (Şekil 5.1).
2. Vişneli formasyonun hemen üzerine üst pliyosen yaşlı Yaka formasyonu örtü kayacı olarak gelmektedir. Geçirimsiz olarak bulunmaktadır. İnceleme alanında yaygın olarak görülen bu geçirimsiz formasyon çakıltaşı, silttaşı, kıltaşı ve kumtaşı birimlerinden oluşmaktadır (Şekil 5.1).
3. Bu iki formasyonun üzerine hala oluşumu devam eden traverten ve alüvyonal birimler gelmektedir. Geniş yayılım gösteren alüvyon kuvaterner yaşlı ve örtü kayacıdır.



Şekil 5.1. Çalışma alanındaki kayaç birimlerinin hidrojeolojik özellikleri.

5.2. Hidrojeokimya

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kuyulardan toplam alanı temsil eden 3 su örneği alınmıştır. Su örneklerinin

toplanmasından önce, yörede her lokasyonda in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümler için kullanılan in-situ cihazları (Çizelge 4.1), Jeoser Yerbilimleri Servisi Ltd. Şti., Isparta tarafından sağlanmıştır. Ölçülen in-situ parametreleri sıcaklık, pH, redoks potansiyeli (Eh), çözülmüş oksijen (O_2), elektriksel iletkenlik (EC) ve alkalinite olmaktadır.

Özet olarak, sıcaklık 21,1 ile 70 °C arasında, pH 7.32 ile 7,62 arasında ve elektriksel iletkenlik aralıkları arasında 2.43 ile 0.69 $\mu S/cm$ arasında değişmektedir. Detaylı sonuçları Çizelge 5.1 'de verilmiştir.

Aşağıdaki katyonlar ve elementler, Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Pb^{2+} , SiO_2 , Zn^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} ve As^{3+} , ICP-OES ve ICP-MS analiz yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Buna karşın aşağıdaki anyonlar F^- , Br^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NO_2^- ve PO_4^{3-} iyon kromatografisi (IC) yöntemi ile analiz edilmiştir. HCO_3^- ve CO_3^{2-} değerleri arazide gerçekleştirilen alkalinite ölçümlerinde hesaplanmıştır. Hidrojeokimyasal analizlerin değerlendirilmesinde, Aquachem v.3.7 (Calmbach, 1999) kullanılmıştır. Hidrojeokimyasal analizleri, (Çizelge 5.1)'de sunulmaktadır.

5.2.1. Hidrojeokimyasal analiz

Urganlı ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları AQUACHEM v.3.7 (Calmbach, 1999) kullanılarak değerlendirildi. Aynı şekilde Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suların tanımlamak için grafiksel olarak gösterebilmek için Piper ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramına göre (Şekil 5.2), Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suları Ca-Mg- HCO_3 -Na- HCO_3 'lü sular sınıfındadır (Çizelge 5.2).

Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suları $Na+K > Ca > Mg$ baskın katyonlar ve baskın $HCO_3 > Cl > SO_4$ anyonlar olarak sınıflandırılabilir. Çalışma alanından alınan örneklerin Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı verilmiştir (Şekil 5.3).

Çizelge 5.1. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının in situ parametreleri ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları.

Sıra No	Örnek No	Koordinat		Sıcaklık t (C°)	pH	Eh (mV)	Ec (µS/cm)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	
		x	y										
1	DB1	3550597336D	04256501K	66,4	7,84	-71	2460	435	53,9	16,5	75,1	<0,2	Yıldırım, 2016
2	DB2	3550597336D	04256608K	68,18	7,55	-131	2530	526	63,7	9,30	51,0	<0,2	
3	DB3	3550597352D	04256320K	71,7	7,02	-319	2580	486	56,6	13,0	60,5	<0,2	
4	DB4	3550597441D	04256649K	33,8	6,8	-128	2170	341	37,6	17,9	105	<0,2	
5	DB5	3550597419D	04256722K	33,0	6,57	-255	2110	345	37,1	18,7	105	<0,2	
6	DB6	3550597226D	04256654K	33,4	6,7	-135	2710	528	64,6	6,6	38,4	<0,2	
7	UTW1	3550573118D	04269253K	70	7,32	-194	2430	476	46,0	22,2	77,4	<0,2	Çalışma Alanı
8	UTW2	3550570146D	04270887K	21,1	7,32	212	782	13,7	1,46	38,7	98,3	<0,2	
9	UTW3	3550570348D	04270495K	26,7	7,67	237	695	12,6	1,26	32,3	90,8	<0,2	
10	KW1	Kurşunlu (TW)		94,0	7,28	-191	1995	415,1	50,50	14,14	10,10	bdl	Özgür, 1998
11	KW2	Kurşunlu (TW)		97,0	7,86	-166	2210	409,1	50,50	16,16	75,75	0,005	
12	KW3	Kurşunlu (TW)		67,9	6,86	-95	2670	542,4	66,66	8,70	62,62	0,044	
13	KW4	Urganlı (TW)		34,7	6,85	312	2430	529,2	50,50	21,21	43,43	bdl	
14	KW5	Kurşunlu (TW)		12,4	8,26	444	810	16,2	4,04	37,37	102,01	bdl	
15	KW6	Kurşunlu (TW)		74,0	7,10	-83	1956	371,7	46,46	18,69	91,91	0,100	
16	KW7	Kurşunlu (TW)		96,0	7,03	-199	2120	453,5	60,60	13,03	43,43	0,045	
17	KW8	Kurşunlu (TW)		40,0	6,33	363	1920	106,1	12,93	42,42	298,96	bdl	
18	KW9	Kurşunlu (TW)		36,0	6,40	215	1890	14,5	3,87	55,55	380,77	bdl	
19	KW10	Kurşunlu (GW)		10,0	5,60	-86	500	19,6	13,86	75,75	224,22	0,300	
20	KW11	Kurşunlu (GW)		10,4	7,49	551	930	19,5	1,73	18,18	91,94	0,002	
21	CW1	Urganlı (TW)		79,0	6,95	-318	2260	484,8	47,47	18,18	25,25	bdl	
22	CW2	Urganlı (TW)		74,0	7,00	-326	2240	487,8	47,47	16,26	37,37	bdl	
23	CW3	Urganlı (TW)		64,0	6,42	-234	2340	496,9	48,48	19,19	48,48	0,800	
24	CW4	Çamurlu (TW)		51,0	6,21	-266	1720	188,9	24,24	23,23	177,76	0,040	
25	CW5	Çamurlu (GW)		13,0	8,05	386	150	2,8	0,57	5,35	20,20	0,014	
26	CW6	Çamurlu (GW)		11,0	7,88	370	540	14,9	0,91	16,16	75,75	bdl	
27	CW7	Çamurlu (FW)		7,0	8,01	317	170	3,2	0,54	2,42	28,28	0,080	

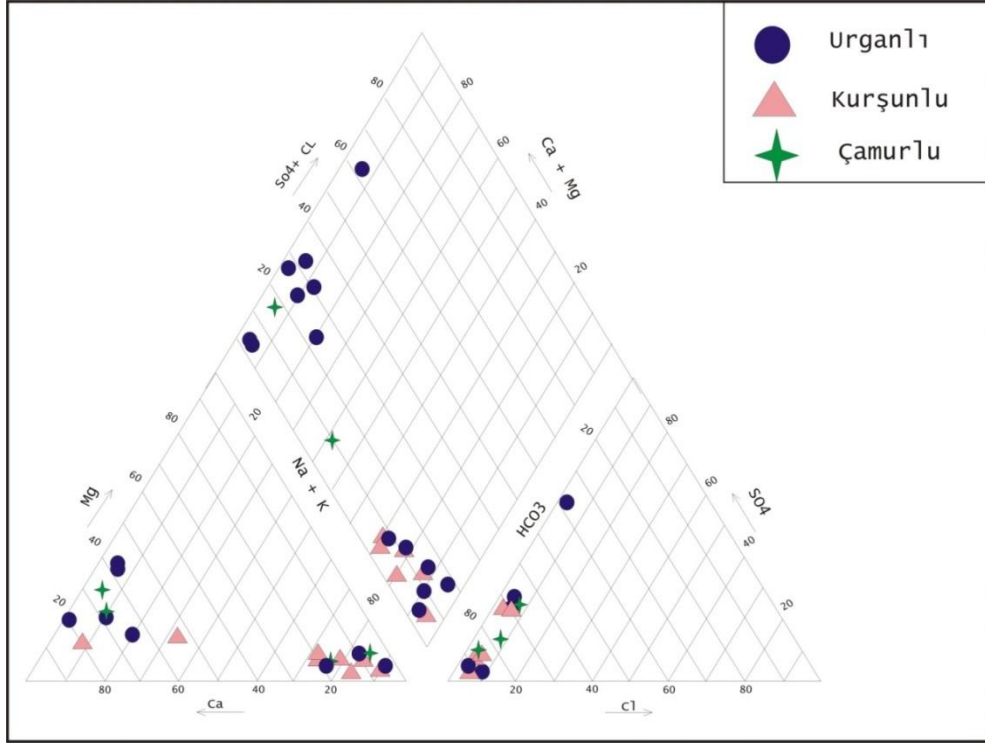
Çizelge 5.1. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının in situ parametreleri ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları (devamı).

Sıra No	Örnek No	F(mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl(mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	H ₂ CO ₃ (mg/l)	NH ₄ ⁺ (mg/l)	Mn ²⁺ (mg/l)	Fe ²⁺ (mg/l)	TDS (mg/l)	r (mg/l)	
1	DB1	2,2	71,5	74,8	0,3	1586							Yıldırım, 2016
2	DB2	2,8	40,8	87,4	1	1586							
3	DB3	2,6	47,8	84,8	1,3	1586							
4	DB4	1,7	54,7	57,9	0,4	1586							
5	DB5	1,7	77,5	59,2	1,2	1342							
6	DB6	2,8	1,9	93,4	0,6	1983							
7	UTW1	5,1	2,83	71,7	0,4	1708							Çalışma Alanı
8	UTW2	0,1	10,8	21,9	6,7	586							
9	UTW3	<0,1	11,6	16,7	14,5	670							
10	KW1	2,52	80	72,2	0,30	1159,3	40,3	20,00	bdll	bdll	1949	0,42	Özgür, 1998
11	KW2	2,46	61	80,9	0,10	1355,8	34,1	15,00	bdll	bdll	2201	0,53	
12	KW3	2,63	74	82,9	0,10	1626,1	207,8	17,00	0,34	0,25	2839	0,11	
13	KW4	4,86	25	72,7	5,40	1562,0	167,5	bdll	bdll	bdll	2534	0,05	
14	KW5	0,20	246	15,4	0,80	207,5	3,1	bdll	bdll	bdll	654	0,05	
15	KW6	1,97	102	62,7	0,10	1122,7	105,4	10,00	bdll	0,35	2031	0,05	
16	KW7	2,38	67	76,7	0,10	1336,2	86,8	20,00	00,6	1,2	2276	0,05	
17	KW8	0,61	254	28,1	0,10	1061,7	911,7	0,50	0,26	0,6	2756	0,05	
18	KW9	0,30	290	17,1	0,10	1086,1	564,4		0,52	4,5	2436	0,05	
19	KW10	0,31	480	22,3	7,90				0,13	2,5	857	0,05	
20	KW11	0,19	96	11,6	0,40	323,4	3,1		0,02	bdll	586	0,05	
21	CW1	4,86	17	67,7	0,10	1452,2	105,4	0,40	bdll	bdll	2269	0,05	
22	CW2	4,84	15	69,0	0,10	1458,3	195,4	0,40	bdll	bdll	2378	0,05	
23	CW3	4,94	19	69,7	0,10	1342,3	437,3	15,00	0,02	bdll	2548	0,05	
24	CW4	1,18	38	36,2	0,10	1110,5	837,3	50,00	0,29	bdll	2551	0,05	
25	CW5	0,08	18	3,0	4,80	61,0	3,1	bdll	0,01	bdll	135	0,05	
26	CW6	0,18	45	18,6	0,10	256,3	3,1	bdll	bdll	bdll	455	0,05	
27	CW7	0,30	12	3,9	2,30	109,8	3,1		bdll	0,1	183	0,05	

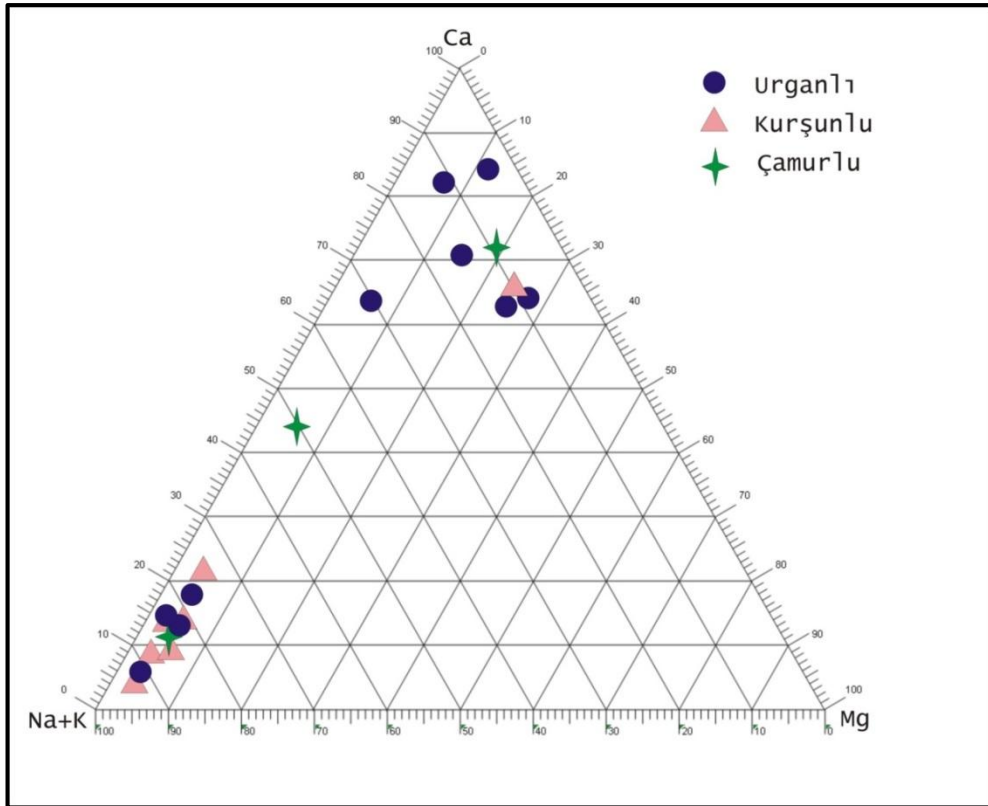
Çizelge 5.1. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının in situ parametreleri ve hidrojeokimyasal analiz sonuçları (devamı).

Sıra No	Örnek No	Si(IV) (mg/l)	Sr ²⁺ (mg/l)	As(III) (mg/l)	Sb(III) (mg/l)	O ₂ (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	I (mg/l)	U ⁺ (mg/l)	B ⁺ (mg/l)	
1	DB1						200		3,2	43,9	Yıldırım, 2016
2	DB2					1,0	253		4,0	53,9	
3	DB3					0,8	227		3,4	50,0	
4	DB4					5,1	155		2,3	33,6	
5	DB5					3,6	157		2,3	33,2	
6	DB6					4,0	242		3,9	56,0	
7	UTW1					0,3	55,9		1,1	11,3	Çalışma Alanı
8	UTW2					5,6	18,6		<0,1	0,2	
9	UTW3					5,2	15,8		<0,1	0,2	
10	KW1	57,70	0,19	0,24	0,008	2,00		0,42	3,84	20,10	Özgür, 1998
11	KW2	56,10	0,49	0,175	0,006	2,40		0,53	3,84	36,40	
12	KW3	67,70	0,57	0,026	0,004	3,60		0,11	5,15	69,70	
13	KW4	29,60	1,04	0,006	0,001	3,20		0,05	1,42	16,00	
14	KW5	11,20	,068	0,112	0,02	9,60		0,05	0,03	bdl	
15	KW6	79,10	0,52	0,32	0,012	2,90		0,05	3,43	10,20	
16	KW7	58,60	0,42	0,145	0,004	2,30		0,05	4,24	48,90	
17	KW8	24,00	0,9	0,165	0,012	2,60		0,05	0,78	9,70	
18	KW9	11,40	0,8	0,64	0,016	4,20		0,05	0,03	1,00	
19	KW10	6,14	0,95	0,004	0,001	2,50		0,05	0,02	0,06	
20	KW11	8,86	0,6	0,001	bdl	7,70		0,05	0,01	0,02	
21	CW1	29,47	1,04	0,003	0,002	3,00		0,05	1,35	10,20	
22	CW2	30,16	1,05	0,003	0,002	1,80		0,05	1,36	11,40	
23	CW3	29,00	1,22	0,005	0,005	1,50		0,05	1,37	12,20	
24	CW4	43,70	0,82	0,005	0,001	2,00		0,05	1,64	14,40	
25	CW5	5,05	0,09	0,004	0,009	11,10		0,05	0,01	0,01	
26	CW6	11,9,	0,35	bdl	0,001	11,30		0,05	0,01	0,03	
27	CW7	4,60	0,14	0,001	0,001	12,00		0,05	0,01	bdl	

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. Piper üçgen diyagramına göre inceleme alanındaki sıcak suların büyük bir kısmının sodyum, sülfat ve bikarbonatlı su tipini yansıttıkları görülmektedir. Diğer sıcak sular ise sodyum, kalsiyum, sülfat ve bikarbonatlı sulardır. Piper sınıflamasında yöredeki sodyum sülfatlı sular karbonat olmayan alkalinitesi %50'den fazla olan alana düşmektedir (Şekil 5.2). Diğerleri ise iyonların hiç birisi %50'yi geçmeyen karışık sular sınıfına girerler. 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.



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



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

Çizelge 5.2. Çalışma alanında ki örneklerin su tipleri.

Örnek No	Koordinatlar		Su Tipi
UTW1	35S0573118D	04269253K	Na-HCO ₃
UTW2	35S0570146D	04270887K	Ca-Mg-HCO ₃
UTW3	35S0570348D	04270495K	Ca-Mg-HCO ₃
DB1	35S0597336D	04256501K	Na-HCO ₃
DB2	35S0597336D	04256608K	Na-HCO ₃
DB3	35S0597352D	04256320K	Na-HCO ₃
DB4	35S0597441D	04256649K	Na-Ca-HCO ₃
DB5	35S0597419D	04256722K	Na-Ca-HCO ₃
DB6	35S0597226D	04256654K	Na-HCO ₃
KW1	Kurşunlu (TW)		Na-HCO ₃
KW2	Kurşunlu (TW)		Na-HCO ₃
KW3	Kurşunlu (TW)		Na-HCO ₃
KW4	Urganlı (TW)		Na-HCO ₃
KW5	Kurşunlu (TW)		Ca-Mg-SO ₄ -HCO ₃
KW6	Kurşunlu (TW)		Na-HCO ₃
KW7	Kurşunlu (TW)		Na-HCO ₃
KW8	Kurşunlu (TW)		Ca-HCO ₃ -SO ₄
KW9	Kurşunlu (TW)		Ca-HCO ₃ -SO ₄
KW10	Kurşunlu (GW)		Ca-Mg-SO ₄
KW11	Kurşunlu (GW)		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
CW1	Urganlı (TW)		Na-HCO ₃
CW2	Urganlı (TW)		Na-HCO ₃
CW3	Urganlı (TW)		Na-HCO ₃
CW4	Çamurlu (TW)		Ca-Na-HCO ₃
CW5	Çamurlu (GW)		Ca-Mg-HCO ₃ -SO ₄
CW6	Çamurlu (GW)		Ca-Mg-HCO ₃
CW7	Çamurlu (FW)		Ca-HCO ₃

5.2.2. Doygunluk indeksi

Farklı kullanım alanlarıyla insanlığa hizmet eden termal suların bir yerden bir yere taşınması sırasında kabuklaşma ya da korozyon gibi çok önemli sorunlar yaşanabilmektedir. Bu sorunların yaşanmasında suyun mineral doygunluğu, çökme ve çözülme özellikleri büyük ölçüde etkindir.

Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve 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. Doygunluk indeksleri, jeotermal sistemde kayaç ile su arasında meydana gelen kimyasal dengelenmeyi değerlendirmede yararlıdır. Bu, hidrotermal alterasyona uğrayan kayaçları oluşturan

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

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.

Her jeotermometre kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıtır, bu nedenle bazı jeotermometreler yapılan hesaplamalarda afaki değerler vermiştir. Bu duruma yüzeyde ölçülen sıcaklık değerinden daha düşük akifer sıcaklığı veren K-Mg jeotermometresi bir örnektir. Amorf silis, (Fournier, 1977), Amorf silis (Arnorsson, 1995), Alfa ve Beta Kristobali (Fournier 1977) ve Magonit (Gislason ve Astorsson, 1996) gibi silis jeotermometreleri de benzer olumsuz sonuçları verdiğiinden tablolarda gösterilmemiştir. Grafik ve tablo sonuçları dikkatli bir şekilde irdelenmiş ve yorumlamanın daha gerçekçi sonuçlara ulaşması hedeflenmiştir. Çalışma alanına ait rezervuar kayacın sıcaklığının belirlenmesinde Na-K, Na-K-Ca, Na-K-Ca-Mg, jeotermometrelerinden yararlanılmıştır.

5.3.1. Kimyasal termometre 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 çözülmüş 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) (Yıldırım, 2016).

5.3.1.1. Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir (Çizelge 5.3). 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 rezervuar 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) (Yıldırım, 2016).

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 rezervuarlardan gelen sularda gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

Çizelge 5.3. Silis (SiO₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l).

No	Silis SiO ₂ Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değnilen 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.sog.)	$t = 1112 / (4.91 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	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 kavbı)	$t = 1021 / (4.69 - \log \text{SiO}_2) - 273.15$	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 jeotermomerteleri

Bir çözeltideki iyonların başka iyonlarla yer değıştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir (Çizelge 5.4). Na/K jeotermometresi, Na-K-Ca jeotermometresi ve Magnezyum düzeltmeli Na-K-Ca jeotermometresi katyon jeotermometrelerine birer örnektir. Her jeotermometre bağıntısı kendi içerisinde bulunduğu hidrojeokimyasal durumu yansıttığından, aynı element kullanılmasına karşın formüller doğmuştur. Mutlu (1999)'a göre; katyon jeotermometreleri, belirli çözünmüş elementlerin oranlarını sabitleyen sıcaklık bağımlı değışik 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, rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca/Na}})$ değerin 0,5' den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350 °C sıcaklıktaki rezervuardan gelen sularda iyi sonuçlar vermektedir (Özen, 2002).

Na-K-Ca jeotermometrelerinde Ca/Na (mol/l) oranının birden büyük olduğu durumlarda Na/K jeotermometre bağıntıları, rezervuar sıcaklığı hesaplamalarında çok yüksek değerler vermektedir (Özen, 2002). Jeotermometrenin bu olumsuz yönünü gidermek için Fournier ve Truesdell (1973) tarafından aşağıdaki bağıntı

geliştirilmiştir.

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log (\text{Na} / \text{K}) + \beta \log (\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2.24} - 273.15$$

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1647}{\log (\text{Na} / \text{K}) + \beta \log (\sqrt{\text{Ca}} / \text{Na}) + 2.24} - 273.15$$

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

Çizelge 5.4. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l).

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

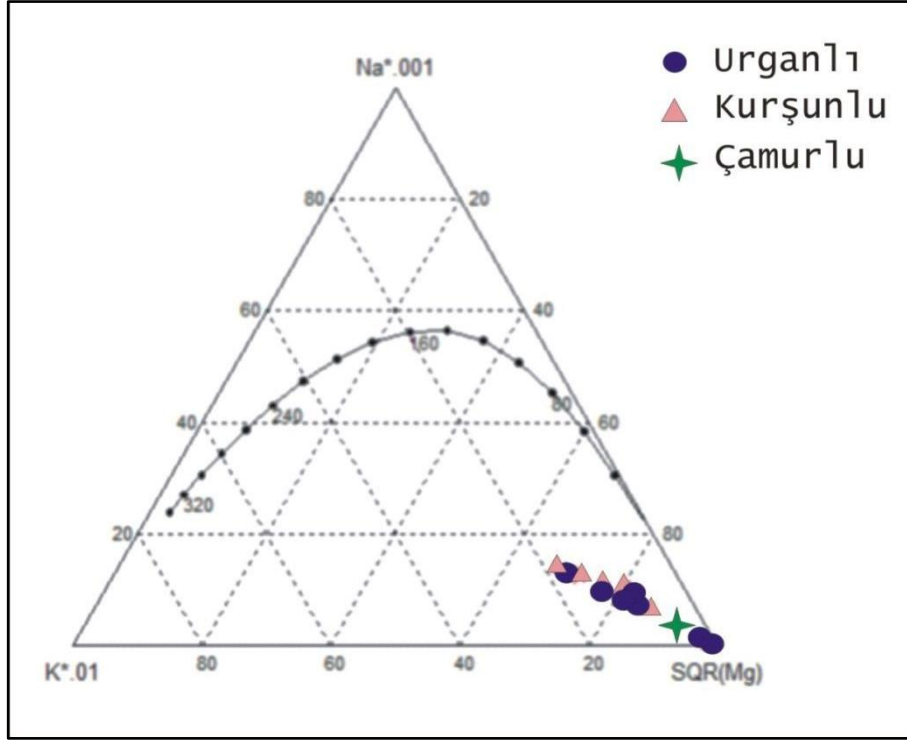
5.3.2. Birleşik jeotermometre uygulamaları

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

Giggenbach (1988)'ın hazırladığı bu diyagramı Fournier (1990) yılında revize etmiş ve diyagram şimdiki halini almıştır. Buna göre diyagram üç bölgeden oluşmaktadır. I. Bölgede; Su kayaç ilişkisi bakımından dengede sular, II. Bölgede; Kısmen dengelenmiş sular, III. Bölgede; Ham sular bulunmaktadır. 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, 1988).

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 (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Na-K-Mg1/2 üçgen diyagramda çalışma alanından termal suların dağılımı (Giggenbach, 1988).

5.3.3. Çalışma alanındaki jeotermometrelerin değerlendirilmesi

Çeşitli jeokimyasal termometreler kullanılarak Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının rezervuar sıcaklıkları hesaplanmıştır. Jeokimyasal termometrelerin sonuçları Çizelge 5.5’ de verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre UTW1’de -14 ile 107, UTW2’de -52 ile 67, UTW3’de -56 ile 61 °C arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Çalışma alanındaki suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları.

Örnek No	Örnekleme Sıcaklığı °C	K/Mg Giggenbach1983	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 corrected Fournier 1979
CW1	79	33	181	186	236	215	197	38
KW4	34,7	34	179	183	233	213	192	47
KW5	12,4	65	323	313	344	310	173	37
KW6	74	33	212	213	260	237	194	87
KW7	96	28	220	221	267	242	209	85
KW8	40	54	208	210	257	235	159	90
KW9	36	70	337	325	353	319	163	88
UTW1	70	35	180	184	234	214	185	65
UTW2	21,1	78	191	195	244	222	130	36
UTW3	26,7	77	184	188	238	217	127	41

Örnek No	Amorphous Silica	Cristobalite Alpha	Cristobalite Beta	Chalcedony	Quartz	Quartz steam loss
KW7	-114	-64	-100	-53	-21	-8
UTW1	-14	57	10	78	107	107
UTW2	-52	12	-32	29	61	67
UTW3	-56	6	-37	22	55	61

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 herhangi bir suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler belirlenebileceği gibi farklı sular arasındaki olası karışımlar hakkında da yorumlamalar yapılabilir. İzotoplar; sıcaklık ve su kayaç etkileşimine hassasiyetlerinden dolayı jeotermal araştırmalarda etkin bir akifer izleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum izotopları termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı, yüksekliği ve yer altında kalış sürelerini tahmin etmede kullanılır.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklara ait sıcak su örnekleri duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum içerikleri bakımından incelenmiş, analiz sonuçları (Çizelge 5.6)'da verilmiştir. Bu verilere göre yeraltı suyunun dolaşım sistemi ve hidrojeolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Çizelge 5.6. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal sularının duraylı izotop analiz sonuçları

Örnek No	$\delta^{18}\text{O}[\text{‰}]\text{SMOW}\pm 0,15$	$\delta^2\text{H}[\text{‰}]\text{SMOW}\pm 0,10$	$^3\text{H}(\text{TU})\pm 2\sigma$	Özgür, (1998)
CW1	-7,72	-55,7	<1,1	
CW2	-7,64	-54,8	<0,7	
CW3	-7,70	-56,0	<1,2	
CW4	-6,72	-45,9	$8,4 \pm 1,8$	
CW5	-8,88	-53,4	-	
KW1	-5,76	-48,9	$4,4 \pm 1,3$	
KW2	-5,16	-49,9	$4,0 \pm 0,7$	
KW4	-7,36	-53,6	$1,1 \pm 0,7$	
KW6	-5,66	-50,5	$4,2 \pm 0,7$	
KW7	-5,39	-50,2	$3,3 \pm 0,7$	
KW8	-7,41	-47,2	$7,6 \pm 0,7$	
KW9	-7,60	-46,8	$9,4 \pm 0,7$	
KW14	-8,63	-51,7	$10,6 \pm 0,8$	

Duraylı izotop analiz sonuçları ve örnekleme sırasında ölçülen fiziksel ve kimyasal parametrelere ilişkin bilgiler (Çizelge 5.6)'da verilmiştir. Çizelge de görüldüğü üzere termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -45,9 ile -56,0 arasında değişirken, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -8,88 ile -5,16 arasında değişim göstermektedir.

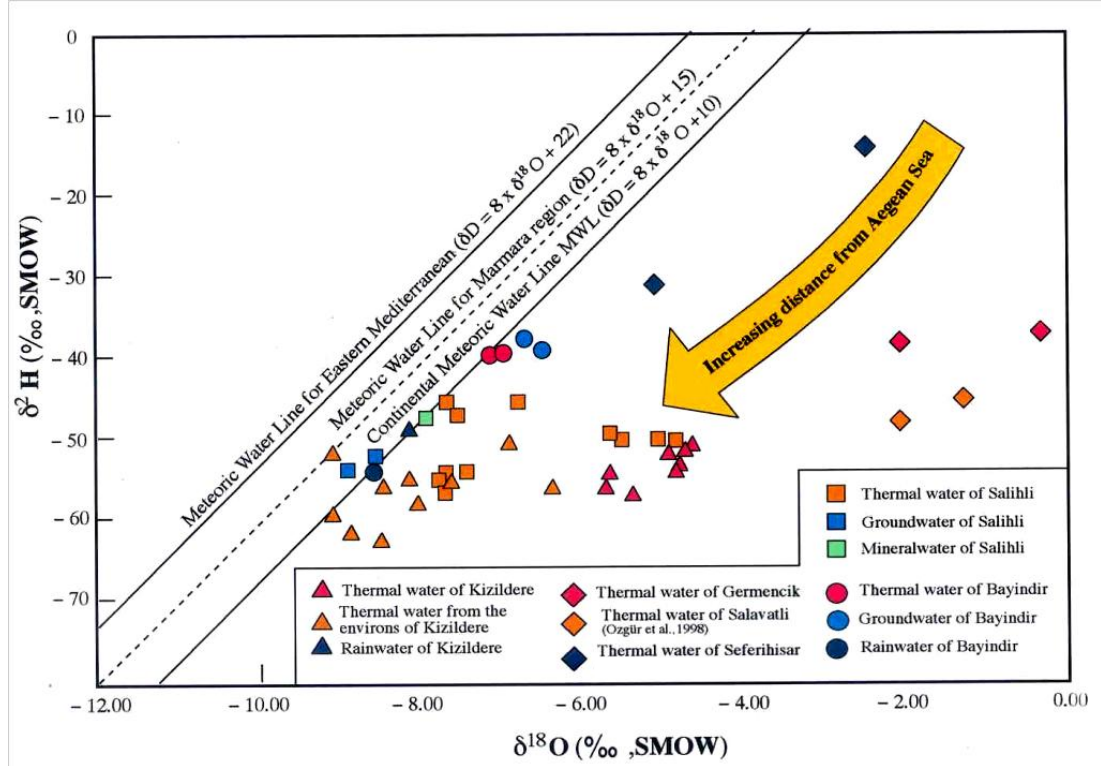
Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan trityum radyoaktif bir izotop olup; yarılanma ömrü 12,43 yıldır. Trityum izotopu çekirdekten elektron (P ışını) salınması ile yarılanır. Elektronların enerjisi düşük olup; doğal düzeydeki trityum derişimi insanlar için sağlık riski oluşturmaz. Duraylı izotoplardakinden farklı olarak trityum izotop miktarı bir derişim birimi olan TU (tritium unit: trityum birimi) ile ifade edilir, 1 TU, 1018 hidrojen atomundan birisinin H olduğunu ifade etmektedir. Atmosferik nemdeki trityumun doğal ve antropojenik olmak üzere başlıca iki kaynağı vardır. Doğal trityum izotopu atmosferin üst tabakasında (stratosfer) kozmik 90 kökenli nötronların 5 N izotopuna çarparak onu 5 C ve 8 H 'a ayırıştırması ile oluşmaktadır. Doğal yoldan atmosfere yayılan trityumun yağış suyundaki eşdeğeri 1 O 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). 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); $\delta\text{D}=8*\delta^{18}\text{O}+10\text{ ‰}$ (SMOW)

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

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

İnceleme alanı içerisinde yer alan izotop analizi yapılmış sular grafik ile incelenmiştir (Özgür 1998), (Şekil 5.5). Buna göre inceleme alanının yakınında bulunan Urganlı, Kurşunlu ve Çamurlu jeotermal alanlarındaki sular meteorik kökenlidir.



Şekil 5.5. Çalışma alanı ve yakın çevresi jeotermal sularında δD ve $\delta^{18}O$ izotopu ilişkisi (Özgür, 1998).

Alanda su kayaç etkileşiminin Urganlı ve çevresi jeotermal alanlarındaki termal sulardan uzun sürmesine ve farklı özellikte olmasına bağlı olarak $\delta^{18}O$ bakımından zenginleştiği ve bir doğru üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. Clark ve Fritz (1997), kıtasal bölgelerde trityum izotopu içeriği 0,8-4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.

6. TARTIŞMA

6.1. Tektonik, ısıtıcı kaya ve jeotermal sular arasındaki ilişki

Ülkemizde birçok düşük ve orta sıcaklıkta jeotermal kaynak bulunmakta ve bunların çoğu oldukça önemli kırık sistemleri bağlı oluşmaktadır (Serpen ve Mıhçıkan, 1999; Palabıyık ve Serpen, 2008). Aynı şekilde, Batı Anadolu Bölgesinde bulunan jeotermal sistemlerde benzerdir. Ülkemiz, Alp-Himalaya Dağ Kuşağı içinde yer almaktadır. Batı Anadolu Bölgesinde sınırları belirlenmiş gerilme tektoniği hüküm sürmekte ve burada litosferik gerilim daha çok Alp-Himalaya zonu levhalarının kıtasal çarpışması ile ilişkili olmaktadır. Batı Anadolu Bölgesi, D-B doğrultulu dağlarla ve kalın tortullarla dolu vadiler ile karakterize edilir. Bölge Geç Miyosen başlangıcına kadar, K-G yönünde kısalma yaşamıştır. Tortoniyen başında, bölgede gerilme tektoniği hasıl olmuş, burada kısmi ergimiş kabuk gerilmekte sonrasında ise ince ve kırılğan kabuk şekil almıştır (Alptekin vd., 1990; Gemici ve Tarcan, 2002). Türkiye'nin batısında birkaç D-B yönlü uzanım gösteren grabenler vardır (Yıldırım, 2016).

Türkiye'nin önemli jeotermal alanlarının çoğu bu grabenlerin kenarlarında bulunmaktadır. Gediz Grabeni güney kenarı faylı, kuzey kenarı ise açısız uyumsuz olan bir yarım grabendir. Gediz Grabeninin üzerindeki tortul istifin kalınlığı güney kenarında 2000 m'ye ulaştığı halde, kuzey kenarında yaklaşık 400 m'dir. İnceleme alanının üzerinde bulunduğu Gediz Grabeni ortalama yüksekliği 65 m. olan ve batıdan doğuya gidildikçe az bir meyil ile yükselen ova görünümündedir. Güney kesimde ortalama 1500 m'yi bulan Bozdağlar bulunmaktadır. Menderes Masifi genel olarak Batı Anadolu'nun otokton kristalin temel yapısını oluşturur. Masif Alp-Himalaya orojenezinin geniş bir parçasını meydana getirir (300x200 km; Bozkurt ve Oberhänsli, 2001). Masif tektonik olarak; (1) KB'da Bornova Filiş Zonu'nu içine alan İzmir-Ankara Neotetis Sütur Zonu (Şengör ve Yılmaz, 1981), (2) KD'da Afyon Zonu ve (3) G'de Likya Napları (Graciansky, 1972; Collins ve Robertson, 1997, 1998, 1999) tarafından üstlenir. Dünyanın önemli aktif kıtasal açılma tektoniğine sahip bölgelerinden birisi olan Batı Anadolu'da yaklaşık K-G yönlü gerilme rejimine

bağlı olarak D–B uzanımlı birçok graben gelişmiştir. Gediz Grabeni Batı Anadolu’da bulunan bu graben sisteminin önemli bir yapısal unsurunu oluşturmaktadır.

İnceleme alanının temel kayaları Paleozoyik yaşlı muhtelif şist ve mermerler oluşturmaktadır. Paleozoyik yaşlı birimlerin üzerine açısız uyumsuzlukla Senozoyik yaşlı birimler gelmektedir.

Bölgedeki en önemli tektonik hat yaklaşık D-B uzanımlı olan Cambazlı fayıdır. Cambazlı fayından itibaren güneye doğru Neojen yaşlı birimlerin kalınlığı artmakta olup güneye doğru bir basamaklanma mevcuttur (Vural, 2009).

Sarnıç horstundan itibaren Urganlı jeotermal alanında tektonik aktivitelere bağlı olarak güneye ve kuzeye doğru eğim atımlı normal faylar gelişmiştir. Cambazlı fayı Urganlı jeotermal alanındaki en önemli tektonik hat ve sıcak su getirimini sağlamaktadır. Bu fay eğim atımlı normal bir faydır. İnceleme alanını yaklaşık D-B yönde kat eder. D-B uzanımlı olan bu tektonik hat, Urganlı jeotermal alanına batıdan girer ve yeni Cambazlı köyünün hemen kuzeyinden geçerek doğuya doğru şist-traverten dokanağını oluşturur (Vural, 2009).

Cambazlı fayının yükselen kuzey bloğu, Paleozoyik yaşlı şist ve mermerlerin yüzeylenmesini sağlamıştır. Burada, D-B uzanımlı bir horst oluşturan bu temel kayaçların yükselimine Cambazlı fayı etken olmuştur. Aynı yükselimi kuzeyden yine yaklaşık D-B veya B-KB/D-GD uzanımlı bir tektonik hat sınırlamaktadır. Bu kuzey fayı da eğim atımlı normal bir fay olup “Çamlı fayı” olarak adlandırılmıştır. İnceleme alanına doğu yönünden Aktepe güneyinden girer, Sarnıç tepe, Kule tepe ve Çamlı tepenin hemen kuzeyinden batıya doğru devam ederek temel kayalar ile Neojen yaşlı birimlerin dokanağını oluşturur. Cambazlı fayı ile kuzeyindeki Çamlı fayının oluşturduğu genişliği 750-1000 m arasında değişen ve D-B uzanımı yaklaşık 5 km olan bu yükselim “Sarnıç horstu” olarak isimlendirilmiştir (Yılmaz 2005, Yılmaz ve Vural 2008, Vural 2009)

6.2. Çalışma alanının hidrojeoloji, hidrojeokimya ve izotop Jeokimyası arasındaki özellikler

İnceleme alanında Sarnıç horstu boyunca görülen muhtelif şistler ve mermerlerin Neojen yaşlı birimlerle olan dokanağı faylıdır. Beslenme alanının yüksek kesimlerinde mostra veren mikaşistlerde, tektonizmanın etkisiyle meydana gelen sekonder kırık ve çatlaklar su tutma açısından önemlidir ve rezervuar kaya özelliğinde olduğu söylenebilir. Aynı şekilde, Mikaşistler içersinde yer yer gözlenen kalkışist geçişleri de iyi bir rezervuar kaya özelliği gösterebilmektedir. Yine mikaşistler içersinde gözlenen kuvarşşistler ise, gevrek yapısı nedeniyle kırık ve çatlaklar içermektedir. Sekonder porozite ve permabilite özelliği ile kuvarşşistler de yeraltı suyu içerebilir. İnceleme alanında şistler içersinde mostra veren, çatlaklı ve karstik özelliğinden dolayı porozite ve permabilitesi oldukça iyi olan mermerler ise, bölgede en önemli rezervuar kayacı teşkil etmektedir (Vural, 2009).

Kuzeyden güneye doğru gittikçe kalınlaşan Neojen yaşlı birimler inceleme alanı ve çevresinde oldukça yaygındır. Bu birimlerden çakıtaşları ile kumtaşları yeraltısuyu içermekte ve yapılan sondajlardan sıcak ve soğuk sular alınabilmektedir. Killi, marnlı birimler geçirimsiz olup, örtü kaya özelliği göstermektedir. Doğal akışa sahip sıcak su kaynaklarının oluşturduğu Kuvaterner yaşlı travertenler ise, çalışma alanında yaygın olarak görülmekte ve bazı noktalarda traverten oluşumları halen devam etmektedir. Yine Kuvaterner yaşlı oluşumlardan alüvyon örtü, inceleme alanında kalınlığı az olmakla birlikte inceleme alanı güneyine doğru kalınlığı artmakta ve Gediz ovasında geniş yayılım göstermektedir. Bölgede alüvyon birimlerindeki çakıllar su depolama açısından önemlidir (Vural, 2009).

Urganlı ve çevresinde Paleozoyik kayaçların geniş yayılımları dikkat çekmektedir. Paleozoyik kayaları gnays, kuvarsitşist, mikaşist ve mermerlerden ibarettir. Jeotermal sular 21,1 ile 96 °C arasında değişen yüzey sıcaklıklarına sahiptir. İnceleme alanındaki sıcak sular genel olarak Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ve baskın HCO₃>Cl>SO₄ anyonlar olarak sınıflandırılabilir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre UTW1’de -14 ile 107,

UTW2’de -52 ile 67, UTW3’de -56 ile 61° C arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır. Urganlı bölgesinde örnekleme yapılan sularının kimyasal özellikleri Çizelge 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5’de verilmiştir.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklara ait sıcak su örnekleri duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Trityum içerikleri bakımından incelenmiş, grafiğe aktarılmıştır. Buna göre Kurşunlu ve yakın çevresi jeotermal alanlarındaki sular meteorik kökenlidir. Alanda su kayalık etkileşiminin Kurşunlu ve çevresi jeotermal alanlarındaki termal sulardan uzun sürmesine ve farklı özellikte olmasına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleştiği ve bir doğru üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. Clark ve Fritz (1997), kıtasal bölgelerde trityum izotopu içeriği 0,8-4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.

6.3. Urganlı jeotermal suların kavramsal modellemesi

Jeotermal enerjinin tanımı ve oluşumu hakkında açıklamalar jeotermal enerji başlığı altında verilmiştir. Bu bölümde ise, Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli anlatılmıştır. Genel olarak, yeryüzüne düşen yağış suları, beslenme alanı içersinde yüzeydeki kırıklı, çatlaklı ve geçirimli birimlerden yer kabuğuna doğru süzölmeye başlar. Tektonizmanın da etkisiyle meydana gelen kırıklardan derinlere doğru süzölerek magma intrüzyonları tarafından ısıtılan kayalara yaklaşır ve o bölgelerde ısınmaya başlar. Daha sonra sıcak akışkan rezervuar içersinde depolanır. Rezervuar kaya içersinde depolanan akışkanın bir kısmı kırıklar yolu ile yeryüzüne ulaşarak doğal sıcak su kaynaklarını oluşturur Urganlı jeotermal alanı için hazırlanan sıcak suların oluşum modeli Şekil 6.1’de verilmiştir. Turgutlu ve Alaşehir ilçeleri boyunca yaklaşık D-B yönde uzanan Gediz Grabeninin kuzey kanadında yer alan Urganlı jeotermal alanı, genç tektonik aktiviteden oldukça etkilenmiştir. Böylece, Menderes Masifi temel kayaları olarak adlandırılan muhtelif şist ve mermerler yoğun kırık ve çatlaklı bir yapı kazanmıştır. Yoğun kırık ve çatlaklı bir yapı kazanan bu kayalar, geçirimli bir ortam sağlayan Rezervuar kayacını teşkil etmektedir. Urganlı jeotermal alanının kuzeyinde bulunan yükseltiler ile güneyinde bulunan Bozdağ yükselimi beslenme açısından oldukça önemlidir. Bu alanlara düşen yağış suları ile doğudan Gediz nehri boyunca olan yüzey ve yeraltı akışları Urganlı

jeotermal alanını beslemektedir (Vural, 2009).

Beslenme bölgelerinden süzülerek yeraltına geçen sular, ısıtıcı kayaya doğru ilerlerken ısı akısının etkisiyle ısınarak Cambazlı fayının kontrolünde olduğu gibi diğer etkili faylar boyunca rezervuarlara kadar yükselir. Suların bu dolaşımı sırasında kimyasal özellikleri de değişikliklere uğramaktadır. Urganlı jeotermal alanında sığ derinliklerde ısınarak, meydana gelen zayıflık zonlarından yüzeyleyen birçok doğal sıcaksu kaynağı vardır. Ayrıca Neojen yaşlı birimlerden de sondajlar yardımıyla sıcaksu alınabilmektedir. Bu durum, Neojen yaşlı tortullar içerisinde de sığ bir rezervuarın varlığını ve beslenme koşullarının ne kadar iyi olduğunu göstermektedir (Vural, 2009).

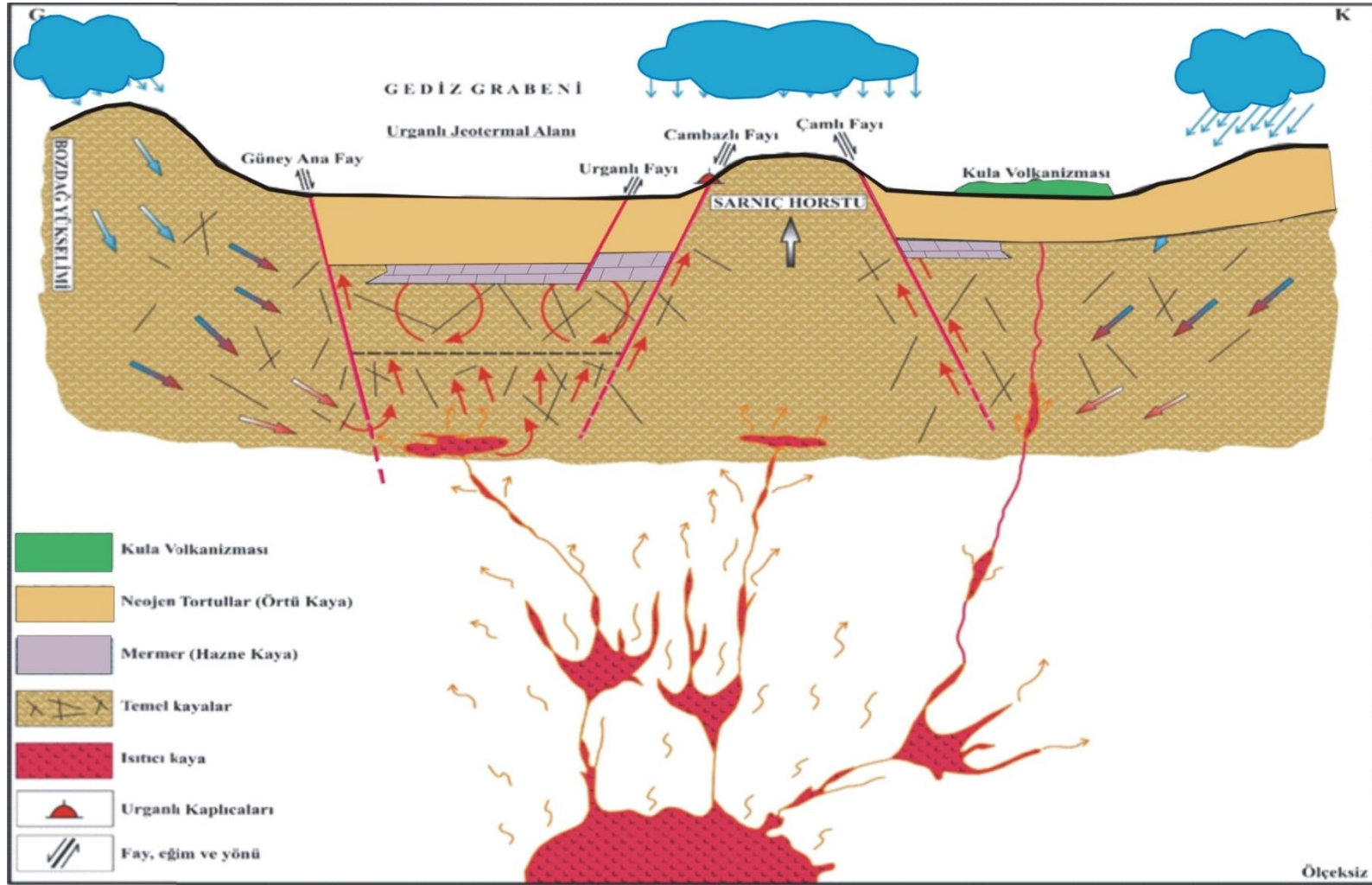
7. SONUÇ

Urganlı jeotermal alanında sıcak su getirimini sağlayan en önemli tektonik hat Cambazlı fayıdır. Rezervuar, yoğun kırık ve çatlağa sahip muhtelif şist ve mermerlerdir. Neojen yaşlı tortulların killi düzeyleri ise örtü kaya niteliğindedir. Jeotermal akışkanı besleyen suların akışı hidrolik eğime uygun olarak kuzeyden, güneyden ve doğudan olmaktadır (Vural, 2009) (Şekil 6.1).

Urganlı ve çevresinde Paleozoyik kayaların geniş yayılımları dikkat çekmektedir. Paleozoyik kayaları gnays, kuvarsitşist, mikaşist ve mermerlerden ibarettir. Jeotermal sular 21,1 ile 96 °C arasında değişen yüzey sıcaklıklarına sahiptir.

İnceleme alanındaki sıcak sular genel olarak Na-HCO₃, Ca-Mg-HCO₃ tipi sular olarak adlandırılabilir. Urganlı ve yakın çevresi jeotermal suları Na+K>Ca>Mg baskın katyonlar ve baskın HCO₃>Cl>SO₄ anyonlar olarak sınıflandırılabilir. Çalışma alanındaki sularda yapılan Na-K-Mg diyagramı sıcak suların belli bir kısmının kısmi dengelenmiş sular sınıfına girdiği bir kısmının ise ham sular sınıfına girdikleri saptanmıştır. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre UTW1’de -14 ile 107, UTW2’de -52 ile 67, UTW3’de -56 ile 61° C arasında sıcaklıklar hesaplanmıştır.

İnceleme alanı ve çevresinde yer alan kaynaklara ait sıcak su örnekleri duraylı Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Trityum içerikleri bakımından incelenmiş, grafiğe aktarılmıştır. Buna göre Urganlı ve yakın çevresi jeotermal alanlarındaki sular meteorik kökenlidir. Alanda su kayaç etkileşiminin Kurşunlu ve çevresi jeotermal alanlarındaki termal sulardan uzun sürmesine ve farklı özellikte olmasına bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ bakımından zenginleştiği ve bir doğru üzerinde yer aldığı belirlenmiştir. Clark ve Fritz (1997), kıtasal bölgelerde trityum izotopu içeriği 0,8-4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.



Şekil 7.1. Urganlı jeotermal alanındaki sıcak suların oluşum modeli (Vural, 2009 modifiye edilmiştir).

8. KAYNAKLAR

- Akdeniz, N., Konak, N., Öztürk, Z., Çakır, M., H., 1986, İzmir-Manisa dolaylarının jeolojisi, M.T.A, Ege Bölge Müdürlüğü Raporları, Demirbaş No: Je179, 10-30, 80-86 S.
- Akkuş İ., Alan H., 2016, Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları, Prospeksiyonlar, Sorunlar Ve Öneriler Raporu, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, 89 S., Ankara.
- Alptekin, Ö., Ilkisik, M., Ezen, Ü. ve Üçer, S.B., 1990, Heat flow, seismicity and the crustal structure of western Anatolia: in: Savascin, M.Y. und Eronat, A.H. (eds.): Proc. Internat. Earth Sc. Congr. on Aegean Regions, İzmir/Turkey, v. II, S. 1-12.
- Anonim., 2012, Manisa İl Çevre Durum Raporu, T.C. Manisa Valiliği Çevre Ve Şehircilik İl Müdürlüğü, 742 S.
- Anonim., 2012, Uluslararası Katılımlı 5. Jeokimya Sempozyumu, Pamukkale Üniversitesi, 292 S., Denizli.
- Arnórsson, S., 1995. Scaling problems and treatment of separated water before injection. In:WGC-95, book of course on injection technology, International Geothermal Association, Florence, P. 65-77.
- 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, P. 567-577.
- Armijo, R. , Lyon-Caen, H. ve Papanastassiou, D. 1992, East-West extension and holocene normal-fault scarps in the hellenic arc. *Geology* 20, S. 491-494.
- Arslan S., Darıcı M., Karahan Ç., 2001, Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, S.21-28.
- Başel, D.E., Serpen Ü., Satman A., 2009, Türkiye Jeotermal Kaynak Potansiyeli, Jeotermal Enerji Semineri, S.15-26.
- Bonham, H.R., 1986, Models for Volcanic-hosted epithermal precious metal deposits: A review. Proc, 5th International Volcanology Cong., Auckland, N2, S. 13-17.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1994, Menderes Masifi güneyindeki Tersiyer yaşlı gerilmeli makaslama zonu. 47th Geological Congress of Turkey, 21-25 February, 125 S., Ankara.

- Bozkurt, E., Winchester, J.A., Park, R.G. 1995, Geochemistry and tectonic significance of augen gneisses from the southern Menderes Massif (west Turkey). *Geol. Magazine*, Cambridge Univ. Pres, S.132, 287-301.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1997. Microstructures of deformed grains in the augen gneisses of Southern Menderes Massif and their tectonic significance. *Geol. Rundsch*, 89, S.103-119.
- Bozkurt, E., Park, R.G., 1999, The structure of the Palaeozoic schists in the southern Menderes Massif, Western Turkey; a new approach to the origin of the main Menderes metamorphism and its relation to the Lycian Nappes Geodinamics *Acta* 12, S.25-42.
- Bozkurt, E., Satır, M., 2000, The southern Menderes Massif (western Turkey): geochronology and exhumation history. *Geol. J.*, 35, S.285-296.
- Bozkurt, E. ve Oberhänsli, R., 2001, Menderes Massif (western Turkey): Structural, metamorphic and magmatic evolution. *International Journal of Earth Sciences*, Special Issue 89, S. 679-882.
- Bozkurt, E., 2001, Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. *International Journal of Earth Sciences*, 89, S.728-744.
- Bozkurt, E., Sözbilir, H., 2004, Tectonic evolution of the Gediz Graben; field evidence for on episodic, two-stage extension in western Turkey. *Geol. Magazine*. Cambridge Univ. Pres, 141, S.63-79.
- Bulut, M., Filiz Ş., 2005, Bayındır Jeotermal Sahasının Hidrolojisi, Hidrojeokimyası Ve İzotopik Özellikleri (İzmir, Batı Anadolu, Türkiye), *MTA Dergisi*-131, S.63-78.
- Calmbach, L., 1999, AquaChem Computer code-Version 3.7, Aqueous geochemical analyses, plotting and modelling. Waterloo Hydrogeologic, Waterloo, Ontario, Canada, 184 S.
- Ceylan A.M., 1994, Urganlı Termal Kaynakları(Ahmetli, Manisa), *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 33, S.537-549, İstanbul.
- Clark, I.D. ve Fritz, P., 1997, *Environmental Isotopes in Hydrogeology*, Lewis Publishers, 327 S.
- Collins, A.S. ve Robertson, A.H.F., 1997, The Lycian Melange, southwest Turkey: an emplaced accretionary complex. *Geology* 25, S. 255-258.
- Collins, A.S. ve Robertson, A.H.F., 1998, Processes of Late Cretaceous to Late Miocene episodic thrust-sheet translation in the Lycian Taurides, SW Turkey. *J. Geol. Soc. Lond.* 155, S. 759-772.

- Collins, A.S. ve Robertson, A.H.F., 1999, Evolution of the Lycian allochthon, western Turkey, as a north-facing Late Palaeozoic-Mesozoic rift and passive continental margin. *Geol. J.* 34, S.107-138.
- Craig, H., 1963, "The isotopic geochemistry of water and carbon in geothermal areas " In: Tongiorgi, E. (ed), *Nuclear Geology in Geothermal Areas*, spoleto, 1963. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio di Geologia Nucleare, P.17-53.
- Çağlar, K.Ö., 1948, Türkiye Maden Suları ve Kaplıcaları, M.T.A yayını, Seri: B, No: 11, Fasikül 2, Ankara.
- D'Amore, F. ve Arnórsson, S., 2000, Geothermometry: in: Arnórsson, S. (Ed.). *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use* (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351 S.
- Doğdu, N., 2004, Maden Tetkik ve Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005 74 S.
- Dogliani, Innocenti, Manetti, Agostini, Savaşın, 2003, Güney batı Anadolu'daki grabenlerin oluşumu, MTA Enst. Derg. 92, S. 7-17.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H. ve Oberhänsli, R., 1995, New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. In: *Proceedings of the International Earth Sci. Col. on the Aegean Region* (Pişkin Ö., Ergün, M., Savaşın M.Y, Tarcan, G. -eds), S. 53-72, İzmir.
- Dumont, J.F., Uysal Ş., Şakir Şimşek Ş., Karamandere H., 1979, Formation of the grabens in southwestern Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 92, S. 7-18.
- Egemen, U., Karakılçık H., 2012, Manisa'nın Salihli İlçesinin Jeotermal Kaynak Potansiyelinin Jeolojik Ve Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, c.28-1, S.13-21.
- Ellis, A. J., ve Mahon W. A. J., 1967, "Natural hydrothermal systems and experimental hot water/rock interactions (Part II)." *Geochim. Cosmochim. Acta* 31, S. 519-538.
- Emre, Ö., Özalp S., Doğan A., Özaksoy V., Yıldırım C., Göktaş F., 2005, İzmir Yakın Çevresinin Diri Fayları Ve Deprem Potansiyelleri, Jeoloji Etütleri Dairesi, Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğü, MTA Rapor No, 10754, 86 S.
- Emre, T., 1996, Gediz Grabeninin tektonik evrimi, Türkiye Jeoloji Bülteni, C.39, S.2, S. 1-18.
- Eski, S., 2014, Gölarmara Havzasının (Gediz Grabeni Kuzey Kolu) Aktif Tektoniği, Manisa, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji

Mühendisliği Anabilim Dalı, Uygulamalı Jeoloji Programı, Yüksek Lisans Tezi, 158 S., İzmir.

- Evirgen, M., 1979, Metamorphism in the northern sector of the Menderes Massif (Ödemiş-Bayındır-Turgutlu) and some of the rare paragenesis. Bull. Geol. Soc. Turkey, 22.S.
- Filiz, Ş., 1982, "Ege bölgesindeki önemli jeotermal alanların ^{18}O , ^2H , ^3H , ^{13}C izotoplarıyla incelenmesi", Doçentlik Tezi, Ege Üniversitesi Yerbilimleri Fakültesi, S. 33-87, İzmir.
- Fouillac, C., Michard, G., 1981, Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, S. 55-70.
- Fournier, R.O., 1973. Silica in thermal waters: laboratory and field investigations. In: Proceedings of International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry, J.W. Clark Co. (Publisher), Vol. 1, Tokyo, S.122-139.
- Fournier, R.O. ve Truesdell, A., 1973, An empirical Na-K-Ca geothermometer for natural waters. Geochimica et Cosmochimica Acta, S. 1255-1275.
- Fournier, R. O., ve Truesdell A.H. 1977, An empirical Na K Ca geothermometer for natural waters. Geochim. Cosmochim. Acta 37.5, 1255-1275 in: Fournier, R.O. (ed.). Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. Geothermics 5, S. 41-50.
- Fournier, R.O., 1977. "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems", Geothermics, 5, 41-50.
- Fournier, R.O. ve Potter, R.W., 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer. Geochim. Cosmochim. Acta. 43, S. 1543-1550.
- Fournier, R.O., 1979, A revised equation for the Na/K geothermometer. Geothermal Resources Council Transactions 3, S. 221-224.
- Fournier, R.O., 1990, The interpretation of Na-K-Mg relation in geothermal waters. Geoth. Res. Council. Trans. 14, S. 1421-1425.
- Fridleifsson, I. B., 2008 vd., The possible role and contribution of geothermal energy to the mitigation of climate change. IPCC scoping meeting on renewable energy sources, proceedings, Luebeck, Germany. Vol. 20-25. S. 59-80.
- Gat, J. R., ve I. Carmi 1970, Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. Journal of Geophysical Research 75, S. 3039-3048.
- Gemici, Ü., Tarcan G., 2002, "Distribution of boron in thermal waters of western Anatolia, Turkey and examples of their environmental impacts", Springer-Verlag, Environmental Geology, 43, S.87-98.

- Giggenbach, W. F. 1987, Redox processes governing the chemistry of fumarolic gas discharges from White Island, New Zealand. *Applied Geochemistry* 2.2, S.143-161.
- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, S. 2749-2765.
- Giggenbach, W.F., 1991, Chemical techniques in geothermal exploration. *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development* (Coordinator D'Amore, F). United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) / United Nations Development Programme (UNDP) Centre on Small Energy Resources, Rome, S. 119–144.
- Gislason, A. ve Assthorsson, O.S. , 1996, Food of capelin in the subarctic waters of north of Iceland. *International Council for the Exploration of the Sea, C.M. /L32*, 15 S.
- Göktaş, F., 2012. Kemalpaşa-Torbalı (İzmir) havzası ile yakın çevresindeki Neojen-Kuvaterner tortullaşması ve magmatizmasının jeolojik etüdü. *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11575* (yayımlanmamış).
- Graciansky, P.C., 1972, Reserches géologiques dans le Taurus Lycien occidental. Ph.D Thesis, University de Paris-Sud, Orsay.
- Hakyemez, Y.H., Göktaş F., Erkal T., 2013, Gediz Grabeninin Kuvaterner Jeolojisi ve Evrimi, MTA Maden Etüt ve Arama Dairesi , MTA Ege Bölge Müdürlüğü, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Türkiye Jeoloji Bülteni Cilt 56 Sayı 2, 26 S.
- Hedenquist, J.W., 1987, Mineralisation associated with volcanic-related hydrothermal systemsin the Circum-Pacific Basin. *Trans, 4th Circum-Pacific energy and mineral resources conference, Singapore*, S.513-524.
- Helvacı C., Gündoğan İ., Oyman T.,Sözbilir H., Parlak O., 2013, Çaldağ (Turgutlu-Manisa) Lateritik Ni-Co Yatağının Jeolojisi, Mineralojisi ve Jeokimyasal Özellikleri, Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri- 34, S.101-132.
- Henley, R.W., Truesdell, A.H, Barton, P.B. ve Whitney, J.A., 1984, Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems: *Econ. Geol. Rev.* 1, 267 S.
- Hetzel, R., Passchier, C.W., Ring, U., ve Dora, O.Ö., 1995, Bivergent extension in orogenic belts: The Menderes masif (southwestern Turkey), *Geology*, v.23, S. 455-458.
- Hetzel, R., Ring, U., Akal, C., Troesch, M., 1995. Miocene NNE directed extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. *J. Geol. Soc. London*, 152, S. 639-654.

- Hetzel, R., Reischmann, T., 1996. Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after Alpine ductile extensional deformation. *Geol. Mag.*, 133, S.565-572.
- Hetzel, R., Römer, R.L., Candan, O., Passchier, C.W., 1998. Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, Sw Turkey; Pan-African basement and Alpine deformation. *Gell Rundsch*, 87, S.394-406.
- Jackson, J. ve McKenzie, D. 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 77, S. 185-264.
- Karadağlar M., MTA Genel Müdürlüğü 2012 Yılı Jeotermal Enerji Aramaları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, S.11-19, Ankara.
- Karamandere, İ. H. ve Helvacı, C. 1994, Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, Western Anatolia, Turkey. IAVCEI, Ankara, Abstract, Theme-9 Experimental Petrology.
- Karamandere, İ. H., 1997, Geology of and Hydrothermal Alteration Processes of the Salavatlı-Aydın Geothermal Field. PhD Thesis, Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Turkey, 240 S.
- Karamandere, İ. H., Yilmazer, S., Yıldırım, T., Yakabağı, A., Çiçekli, K., Gevrek, A., Demir, A. ve Yıldırım, N., 1995, Manisa-Turgutlu-Salihli-Alaşehir arası Gediz vadisi jeotermal enerji aramaları etüd ve sondaj (SC-1 derin sondaj) verileri sonuç raporu: MTA Der. Rap. No. 10460, 180 S. (Yayınlanmamış, Ankara).
- Karamandere, İ.H., 1972, Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve jeotermal olanakları hakkında rapor, M.T.A, Derleme Rapor No: 5462 (yayınlanmamış), 53 S., Ankara.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989, Chemical Geothermometers and their Application to formation waters from sedimentary basins. In. N. D. Nars, T.H., Mc Culloh (Eds.). *Thermal History of sedimentary Basins; Methods and Case Histories*, Springer Verlag, S. 99-117.
- Koçak, A., 2002, "Jeotermal Sistemler ve Hidrolojik Modelleme", Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar Yaz Okulu Ders Kitabı, Editörler: Savaşçın, M.Y., Güleç, N., Şişek, Ş., Parlaktuna, M., D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, S.109-118, İzmir.
- Koçyiğit, A., 1984, Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim, *Türkiye Jeol. Kur. Bült.* 27, S. 1-16.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., ve Bozkurt, E., 1999, Evidence from the Gediz Graben for episodic two-stage extension in western Turkey, *Journal. of Geological Society London*, 156, S. 605–616.

- Külekçi, C.Ö., 2009, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, S.83-91, Dışkapı, Ankara.
- McKenzie, D., 1978, Active tectonics of the Alpine - Himalayan belt: The Aegean Sea and surrounding regions, *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society* 55, S. 217-254.
- Mutlu, H., 1999, Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. JENARUM. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları, İzmir S. 38-54.
- Nicholson K., 1993, *Geothermal Fluids, Chemistry and exploration techniques*. Springer, 268 S.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, Par 12_A cationic composition geothermometer for prospection of geothermal resources, Heat recovery systems and CHP 7, S. 243-258.
- Oğuz K., 2009, Kurşunlu (Salihli) Jeotermal Alanındaki Üretim ve Geribasım Kuyularının Mineral Dengeleri ve Kabuklaşma Eğilimleri, DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 65 S.
- Öngür, T., 2005, Jeotermal Enerji seminer Kitabı, TMMOB Makine Müh. Odası, 7. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, Oda Yayın No: E/2005/393-2 ISBN 975-95-968-0, Jeotermal Sahalarda Jeolojik ve Jeofizik Arama ilke ve Stratejileri S. 21-40.
- Özen T., Tarcan G., 2005, Dikili- Kaynarca (İzmir) Jeotermal Sistemlerinin Hidrojeolojik Ve Jeokimyasal Değerlendirmesi, DEU Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, DEU Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi -2, S.87-100, İzmir.
- Özen, T., 2002, Dikili sıcak ve soğuk su kaynaklarının hidrojeolojik incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, 59 S.
- Özgür, N., 1998, “Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes Massives, Westanatolien, Türkei: Habilitationsschrift, Freie Universität Berlin, 171 S.
- Özgür, N., Pekdeğer, A., 1995, Active geothermal systems in the rift zones of the Menderes Massif. Western Anatolia. Turkey: in; Kharaka, Y.K and Chudoev, O.V. (eds.); Proc. Internat. 8th Symp. On Water-Rock Interaction. Vlodivostok/Russia, 10, S.529-532.
- Özkaymak Ç., 2012, Manisa Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Depremselliği, Batı Anadolu, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Uygulamalı Jeoloji Anabilim Dalı, İzmir.

- Özkaymak Ç., Sözbilir H., 2012, "Tectonic geomorphology of the Spiladağ High Ranges, western Anatolia", *Geomorphology*, V. 173-174, p. 128-140
- Öztürk M., 2014, Jeotermal Isıtmalı Seracılıkta İşletmelerinin Projelendirilmesi, Manisa İli Örneği, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 81 S., Ankara.
- Palabiyik, Y., ve Serpen U., 2008, "Geochemical assessment of Simav geothermal field, Turkey." *Revista mexicana de ciencias geológicas* 25, S. 408-425.
- Poyraz F., Tatar O., Hastaoğlu Ö.K., Tiryakioğlu İ., Gürsoy Ö., Koçbulut F., Türk T., Demirel M., Duman H., Ahmet Faruk Ciger F.A., Gül D., 2015, Gediz Grabeninin Doğu Kesimindeki Güncel Tektonik Hareketlerin GPS Ve Ps-InSAR Yöntemleri Kullanılarak Belirlenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi-1*, S.17-28.
- Purvis, M. ve Robertson, A.H.F. 2004, A pulsed extension model for the Neogene–Recent E–W-trending Alasehir Graben and the NE–SW-trending Selendi and Gördes Basins, western Turkey. *Tectonophysics* 391, S.171–201.
- Sarıkaya M.A., 2004, Gediz ayrılma zonu, Fay kayacı stratigrafisi ve tektonik önemi, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, *Yerbilimleri-30*, S.63-79, Ankara.
- Sayan M., Dilaver T.A., Eyüpoğlu Ö.S., Arıcı C., 2005, II. Ulusal Hidrolojide İzotopteknikleri Sempozyumu, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, 408 S., İzmir.
- Serpen, U. ve Mihçakan, M., 1999, "Heat Flow and Related Geothermal Potential of Turkey," *Geothermal Resources Council Transactions* 23, S. 17-20.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., 1991, Late Cenozoic crustal extension and basin formation in west Turkey: *Geological Magazine* 128, S. 155-166.
- Seyitoğlu, G. ve Scott, B.C., 1996, The age of the Alaşehir graben (west Turkey) and its tectonic implications: *Geological Journal* 31, S. 1-11.
- Şener Ç., Erdoğan R.A., Özgüler E.M., 1986, Türkiye deki Jeotermal Alanların Araştırılmasında Jeofizik Çalışmalar, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeofizik Etütleri Dairesi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Ege Bölge Müdürlüğü, S.152-168.
- Şengör, A.M.C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: *Tectonophysics* 75, S. 181-241.
- Şengör, A.M.C., 1982, Egenin neotektoniğini yöneten etkenler: In: *Bati Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması* (Erol, O., Öygür, V. –eds.), Türkiye Jeol. Bülteni, 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, S. 693-707.
- Şengör, A.M.C., 1987, Cross - faults and differential stretching of hanging walls in regions of low - angle normal faulting: examples from western Turkey, in Coward, M.P., Dewey, J.F., and Hancock, P., eds., *Continental extensional tectonics: Geological Society, London, Special Publication*, 28, S. 575 - 589.
- Tarcan G., Filiz Ş., 1994, Turgutlu- Urganlı (Manisa) Kaplıcaları Çevresinin Hidrojeolojik İncelenmesi, DJB.II Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 47. Türkiye Jeoloji Kurultayı, S.114-120.
- Tarcan, G. ve Filiz, Ş., 1998, Turgutlu (Manisa) kaplıcaları sıcak ve mineralli sularındaki sodyum bikarbonat zenginleşmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İzmir.
- Tarcan, G., Filiz S., ve Gemici U., 2000, "Geology and geochemistry of the Salihli geothermal fields, Turkey." *Books of Proceedings* S. 1829-1834.
- Tarcan G., 2002, Jeotermal Su Kimyası, Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Jeotermalde Yerbilimsel Uygulamalar, 19 S., İzmir.
- Tarcan G., Gemici Ü., Aksoy N., 2005, Hydrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben geothermal areas, western Anatolia, Turkey, *Environ Geol*, c.47, S.523-534.
- Taşlıgil N., 1995, Manisa'nın Termal Turizm Potansiyeli, *Türk Coğrafya Dergisi*, Sayı 30, S.299-317, İstanbul.
- Taymaz, T., Jackson, J., McKenzie, D., 1991, Active Tectonics of the north and central Aegean Sea. *Geophys. J. Inst.*, 106, S. 433-490.
- Tezcan, L., 1992, Karst Akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 S.
- Tonanni, F., 1980, Some remarks of the application of geochemical techniques in geothermal exploration *Procoedings, Advances in European geothermal research second symposium, Strocbourg*, P.428-443.
- Totani, Y., Saito, Y., Kageyama, M. ve Tanaka, H. 1980, The hydration of blast furnace slag cement. In *Proceedings of the 7th International Congress on the Chemistry of Cement Vol. 2*, S. 95-98.
- Truesdell, A. H., ve Fournier R. O., 1975, Calculation of deep temperatures in geothermal systems from the chemistry of boiling spring waters of mixed origin. *Proc. Second UN Symposium on Geothermal Resources, San Francisco*, S. 837-844.

- Truesdell, A. H., 1976, Summary of Section III Geochemical Techniques in Exploration. In Proceedings, Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, San Francisco, CA, U. S. Government Printing Office, 1, S. 13-39, Washington, D. C.
- Türker E., Yıldız A., 2008, Termal Ve Maden Suları Konferansı, DSİ 18. Bölge Müdürlüğü, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Yayın no 68, 442 S., <http://www.aku.edu.tr> Afyonkarahisar.
- Ürgün, S., 1966, "Urganlı kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) civarının detay jeolojisi ve termal suların hidrojeolojik etüdü", M.T.A, Derleme Rapor No: 4679, (yayımlanmamış).
- White, N. C. ve Hedenquist, J. W., 1990, Epithermal environments and styles of mineralization: variations and their causes, and guidelines for exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 36, S. 445-474.
- Vengosha, A., Helvacı C., Karamanderesi İ.H., 2002, Geochemical constraints for the origin of thermal waters from western Turkey, Department of Geological and Environmental Sciences, *Applied Geochemistry* 17, S.163–183, Israel, İzmir.
- Verge, N.J., 1995, The exhumation of the Menderes Massif metamorphic complex of Western Anatolia. *Terra abstracts*, EUG8, Strosbourg, France, 9-13.4.1995, 249 p.
- Vural S., 2009, Urganlı (Turgutlu-Manisa) Jeotermal Alanının Jeolojisi Ve Hidrojeokimyasal Özellikleri, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 158 S., Kocaeli.
- Yaman, D., 2005, Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökeni: Süleyman Demirel Üniversitesi; Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166 S.
- Yıldırım, B., 2016, Kurşunlu (Salihli, Manisa) Ve Yakın Çevresi Jeotermal Sularının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal Ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 82 S., Isparta.
- Yılmaz, Y., 1997, Geology of Western Anatolia. In "Active tectonics of NW Anatolia-The Marmara poly-project, eds Schindler and Pfister. VDF, ETH Zurich, S. 31-54.
- Yılmaz, M., 2012, Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2), S.33-54, Ankara.
- Yılmazer, S., 1981, Ege Bölgesindeki Bazı Sıcak Su Kaynaklarının Hidrokimyasal ve Hidrojeolojik İncelemeleri. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir 118 S.

- Yılmaz S., 1988, Kurşunlu-Sart sıcak su kaynaklarının (Salihli) hidrojeoloji ve jeokimyasal özellikleri Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, Antalya 4, S. 242-266.
- Yılmaz S., Pasvanoğlu, S., Yakabağı, A. ve Vural, S., 2002, Urganlı jeotermal alanının (Turgutlu-Manisa) jeolojisi ve sondaj verileri ışığında yeniden değerlendirilmesi, Simay Yerbilimleri.com, S. 1-10.
- Yılmaz S., Yakabağ, A., 2005, Urganlı-Turgutlu (Manisa) sıcak su araştırma raporu, Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti., Şirket Rapor No: 224, (yayınlanmamış), İzmir, 46 S.
- Yılmaz S., Vural S., 2008, “Urganlı jeotermal alanında yapılan test çalışmaları”, Gayzer Yerbilimleri Ltd. Şti., Şirket Rapor No: 263, 18 S., (yayınlanmamış), İzmir.
- Yılmaz S., 2009, Kentimizde Jeotermal Enerjinin Anlamı Ve Değerlendirilmesi, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu, S.155-161.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Seher BÜYÜKŞAHİN

Doğum Yeri ve Yılı : Gemerek, Sivas, 1993

Medeni Hali : Bekar

Lise : 2007-2011 Yelkenoğlu Lisesi, Kayseri

Lisans : 2011-2015 Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta Jeoloji Mühendisliği

