

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

**ÖMERBEYLİ KÖYÜ (GERMENCİK, AYDIN) YÖRESİ JEOTERMAL SU ARAMA
VE ÜRETİM KUYUSUNDA HİDROTERMAL ALTERASYON MODELLEMESİ**

Onur Melih KASIMOĞLU

**Danışman
Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2016**

© 2016 [Onur Melih KASIMOĞLU]

TEZ ONAYI

Onur Melih KASIMOĞLU tarafından hazırlanan **Ömerbeyli Köyü (Germencik, Aydın) Yöresi Jeotermal Su Arama ve Üretim Kuyusunda Hidrotermal Alterasyon Modellemesi** adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Fuzuli YAĞMURLU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

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.

Onur Melih KASIMOĞLU



İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Sistemler	4
1.2. Jeotermal Sistem Elemanları.....	6
1.2.1. Isı taşıyan akışkan	6
1.2.2. Rezervuar kayacı.....	6
1.2.3. Isı kaynağı	7
1.2.4. Örtü kayacı.....	7
1.3. Hidrotermal Alterasyon.....	8
1.3.1.Hidrotermal alterasyon mineralojisi.....	10
1.3.2. Hidrotermal alterasyon türleri	10
1.3.2.1.Doğrudan çökelim.....	10
1.3.2.2. Yer değiştirme	12
1.3.2.3. Yıkama ve çözme.....	13
1.3.2.4. Fırlatma (Ejekta)	13
1.3.3. Ana kayaçta hidrotermal alterasyon tarafından üretilen değişimler	15
1.3.3.1. Kimyasal değişiklikler	15
1.3.3.2. Yoğunluk.....	15
1.3.3.3. Porozite ve permeabilite.....	16
1.3.3.4. Manyetik özellik.....	16
1.3.3.5. Rezistivite.....	16
1.3.3.6. Mineralojik değişimler	17
1.4. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu	17
1.5. Çalışmanın Amacı.....	24

2. KAYNAK BİLGİSİ	25
3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ	30
3.1. Stratigrafi.....	30
3.1.1. Paleozoyik	30
3.1.1.1. Gnays	31
3.1.1.2. Şistler	31
3.1.1.3. Mermer	32
3.1.2. Senozoyik.....	34
3.1.2.1. Miyosen çökelleri.....	34
3.1.2.2. Pliyosen çökelleri.....	34
3.1.2.3. Pliyokuvaterner	35
3.1.3. Volkanik kayaçlar	35
3.1.4. Kuvaterner.....	35
3.1.4.1. Alüvyon yelpazeleri	36
3.1.4.2. Yamaç molozu	36
4. MATERYAL VE METOD	37
4.1. Metod	37
4.1.1. Jeolojik çalışma.....	38
4.1.2. Örnekleme ve in situ analizleri	43
4.1.3. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizler.....	44
5. ARAŞTIRMA BULGULARI	47
5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri.....	47
5.1.1. Ömerbeyli jeotermal sahası.....	47
5.1.1.1. Rezervuar kayacı	47
5.1.1.1.1. Birinci rezervuar kayacı	47
5.1.1.1.2. İkinci rezervuar kayacı	48
5.1.1.2. Örtü kayaçları.....	53
5.1.1.2.1. Birinci örtü kayacı	55
5.1.1.2.2. İkinci örtü kayacı	55
5.1.1.3. Beslenme	56
5.1.2. Çamur-Bozköy jeotermal alanı	57
5.2. Hidrotermal Alterasyon.....	61
5.3. Hidrojeokimya.....	63

5.3.1. Hidrojeokimyasal analizler	63
5.3.2. Doygunluk indeksi	70
5.4. Jeotermometre Uygulamaları	73
5.4.1. Kimyasal jeotermometre uygulamaları	73
5.4.1.1. Silis jeotermometre	73
5.4.1.2. Katyon jeotermometre.....	74
5.4.2. Birleşik jeotermometre uygulamaları.....	76
5.4.3. Çalışma alanındaki termometrelerin jeokimyasal değerlendirmesi	78
5.5. İzotop Jeokimyasal Özellikleri.....	80
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	84
6.1. Ömerbeyli Jeotermal Alanında Jeotermal Sistem ve Tektonik Arasındaki İlişki.....	84
6.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal, Hidrotermal Alterasyon ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri	85
6.3. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Kavramsal Modellemesi.....	87
KAYNAKLAR	90
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ	110

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÖMERBEYLİ KÖYÜ (GERMENCİK/AYDIN) YÖRESİ JEOTERMAL SU ARAMA VE ÜRETİM KUYUSUNDA HİDROTERMAL ALTERASYON MODELLEMESİ

Onur Melih KASIMOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Nevzat Özgür

Çalışılan alan Batı Anadolu’da Aydın ilinin 12 km batısında yer alan Germencik ilçesinin yaklaşık 3 km kuzeydoğusunda bulunan Ömerbeyli Köyü civarında ve Büyük Menderes Grabeni içinde yer almaktadır. Alanda Kızılcagedik yükselimi ve Arzular Grabeni bulunmaktadır. Çalışma alanında stratigrafik olarak tabanda Paleozoyik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri, onları üzerleyek allakton Gnays, Neojen yaşlı Vişneli formasyonu, Arzular formasyonu ve Hüseyinciler formasyonu bulunmaktadır. İstifin en üst bölümünde ise Kuvaterner yaşlı Aydın taraçaları ve Alüvyon birimleri vardır. Çalışma alanında Vişneli Formasyonu tabanındaki çakıltaşları birinci rezervuar özelliği taşıırken Menderes Masifi Metamorfikleri üyesi mermer-kalkışist-kuvarsit aralanması ikinci ve en önemli rezervuardır. Miyosen çökellerinde kıltaşı ve miltası birinci örtü kaya, Menderes Masifi Metamorfikleri içine yer alan şistler ise ikinci örtü kayadır.

Çalışma alanında, sondaj esnasında kırıntı örnekleri alınmıştır. Bu kırıntı örnekleri XRD analizleri yapılarak su-kayaç etkileşiminin yoğun olduğu zonlarda diki, kaolinit, montmorillonit mineralleri ile temsil edilen arjillitleşmenin egemen olduğu ortaya konmuştur. Ayrıca çalışma sahasından alınan iki adet su örneğinde yakın çevrede yapılan hidrojeokimya çalışmalarına paralel bir sonuç çıkarak Na-Cl-HCO₃ olduğu belirlenmiştir. SAR değerleri hesaplanmış OMK 1 örneği için ‘‘Kullanılamaz Özellikte Sulama Suları’’, OMK 2 örneği için ‘‘Kullanılabilir Özellikte Sulama Suları’’ sınıfına girmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinden OMK-1 (Bozköy-1 Kuyusu) ‘‘Ham Sular’’ ile ‘‘Kısmi Dengelenmiş Sular’’ sınırına, OMK-2 ise ‘‘Kısmi Dengelenmiş Sular’’ sınıfına düşmektedir. Termal suların $\delta^2\text{H}$ değerleri -40.6 ve -40.8, $\delta^{18}\text{O}$ değerleri ise -1.84 ve -3.06 olduğunu göstermektedir. >1 ve >4 TU olan suların güncel ve eski suların karışımı olduğunu belirtmiştir.

Anahtar Kelimeler: Germencik, jeotermal sular, hidrojeokimya, izotop jeokimyası, hidrotermal alterasyon.

2016, 110 sayfa

ABSTRACT

Master's Thesis

HYDROTHERMAL ALTERATION MODELLING FOR GEOTHERMAL EXPLORATION AND PRODUCTION WELLS IN OMERBEYLI VILLAGE (GERMENCİK/AYDIN) REGION

Onur Melih KASIMOĞLU

**University of Süleyman Demirel
Institute of Science and Technology
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Nevzat Özgür

Study area of the project is located in Ömerbeyli Village, which is 3 km NW of Germencik province which is 12 km West of Aydın city center, the study area is also located in Büyük Menderes graben. The region comprises Kızılcagedik high and Arzular graben. Stratigraphically, Paleozoic aged Menderes Massif Metamorphics are found at the basement which are overlain by allochthonous gneiss. Neogene aged Vişneli Formation, Arzular Formation and Hüseyinciler Formation overlies the allochthonous gneiss. Quaternary aged Aydın terraces and alluvial members form the top most unit in stratigraphic section. While, basal conglomerates of Vişneli formation defines the first reservoir section, second and the most important production zone is defined as the alternation of marble-calcshist-quartzite zone in Menderes Massif Metamorphics. Two cap rocks are defined in the region. Miocene aged claystones and siltstones delineate the first, and schists in Menderes Massif Metamorphics are described as the second cap rock lithologies.

Cutting samples are collected during drilling operations in the region. As a result of XRD analysis, in zones where water-rock interaction is intense, it was found that argillisation is prevalent as supported by the presence of dickite, kaolinite and montmorillonite minerals. Moreover, two fluid samples taken from the region reveal that the composition of the fluid is Na-Cl-HCO₃, which is also compatible with the results of hydrogeochemical studies conducted in close vicinity. Calculated SAR values for OMK-1 sample corresponds to “unusable irrigation water”, whereas OMK-2 sample is classified as “usable irrigation water”. In addition, OMK-1 (Bozköy-1 Well) fluid sample is labeled as “Immature to partially equilibrated water”, and OMK-2 is defined as “Partially equilibrated water”. $\delta^2\text{H}$ values of thermal waters are calculated as -40.6 and -40.8. $\delta^{18}\text{O}$ of thermal waters are calculated as -1.84 and -3.06. Fluids with >1 and >4 values are described as a mixture of younger and older fluids.

Keywords: Germencik, geothermal waters, hydrogeochemistry, isotope geochemistry, hydrothermal alteration

2016, 110 pages

TEŞEKKÜR

Sunulan bu Yüksek Lisans Tez Çalışması Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 3706-YL2-13 No`lu araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Nevzat ÖZGÜR’e teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımnda ve arazi çalışmalarında yardımcı olan değerli meslek büyüğüm Dr. İsmail Hakkı KARAMANDERESİ’ne teşekkürleri bir borç bilirim. Tez yazımında yardımlarını esirgemeyen sevgili meslektaşım Emre Cankut KONDAKÇI’ya teşekkür ederim.

Bu tezimde ruhsat sahalarında çalışmama ve kuyu kısıntı örneklerini almama izin veren başta Abdullah GÜLGÖR olmak üzere tüm GÜRMAT ELEKTRİK ÜRETİM A. Ş. yöneticilerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Onur Melih KASIMOĞLU
ISPARTA, 2016

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışma alanının yerbulduru haritası	1
Şekil 1.2. Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem.....	5
Şekil 1.3. Jeotermal sistemi oluşturan genel istif.....	8
Şekil 1.4. Hidrotermal alterasyon sonucu kimyasal değişim	9
Şekil 1.5. Çeşitli alterasyon bileşiklerinin karışık ifadesi	14
Şekil 1.6. Menderes Masifi'nin sadeleştirilmiş kaya stratigrafi birimleri.....	18
Şekil 1.7. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlüşematik enine kesit.....	19
Şekil 1.8. Batı Anadolu genişleme bölgesinde yer alan, neotektonik dönemde gelişmiş D-B doğrultulu ve daha yaşlı KB-GD doğrultulu çöküntü ovaları.....	20
Şekil 1.9. Avrasya referans noktasına göre 189 noktada 1988-1997 yılları arasında ölçülmüş GPS hızları	21
Şekil 1.10. Menderes Masifi jeoloji haritası	23
Şekil. 3.1. Menderes Masifi'nin sadeleştirilmiş kaya stratigrafi birimleri.....	33
Şekil 4.1. Kırıntı alınan metrajların gerçekleşmiş olan log üzerinde gösterimi.....	40
Şekil 5.1. Ömerbeyli-Germencik jeotermal sahasının jeoloji haritası	50
Şekil 5.2. Ömerbeyli-Germencik jeotermal alanında derin arama kuyularından geçen jeolojik kesit.....	51
Şekil 5.3. Germencik bölgesi hidrojeoloji birimleri	54
Şekil 5.4. Çamur ve Bozköy alanlarının jeoloji haritası	59
Şekil 5.5. Çamur-Bozköy alanının genelleştirilmiş jeoloji kesiti.....	60
Şekil 5.6. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi	66
Şekil 5.7. Çalışma alanında jeotermal suların Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı	67
Şekil 5.8. Çalışma alanında jeotermal suların HCO ₃ , Cl, SO ₄ üçgen diyagramı	67
Şekil 5.9. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su kayac denge sıcaklıkları	77
Şekil 5.10. Ömerbeyli ve yakın çevresi sularının $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ diyagramında gösterilmesi	82
Şekil 6.1. Ömerbeyli jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik modeli	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Bazı sistemlerde birincil minerallerin yer değiştirme sırası	13
Çizelge 1.2. Tipik alterasyon yer değiştirme ürünleri.....	14
Çizelge 4.1. İn situ cihazları özellikleri	45
Çizelge 4.2. Hidrokimyasal cihazlar ve özellikleri	46
Çizelge 5.1. Ömerbeyli-Germencik jeotermal sahasında açılan sondaj kuyularına ait özet bilgiler.....	52
Çizelge 5.2. Çamur-Bozköy jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynaklarının debi ve sıcaklık değerleri.....	61
Çizelge 5.3. Çalışma bölgesi ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları.....	65
Çizelge 5.4. İnceleme alanındaki örneklerin su tipleri.....	68
Çizelge 5.5. Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması.....	69
Çizelge 5.6. Su örneklerinin SAR değerlerine göre sınıflaması	69
Çizelge 5.7. Çalışma alanında ve yakın çevresindeki rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri	72
Çizelge 5.8. Silis (SiO ₂) jeotermometreleri ve bağıntıları	74
Çizelge 5.9. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları	76
Çizelge 5.10. Çalışma alanındaki termal suların çözünen jeotermometresine göre Sonuçları.....	79
Çizelge 5.11. Analiz izotop sonuçları	81

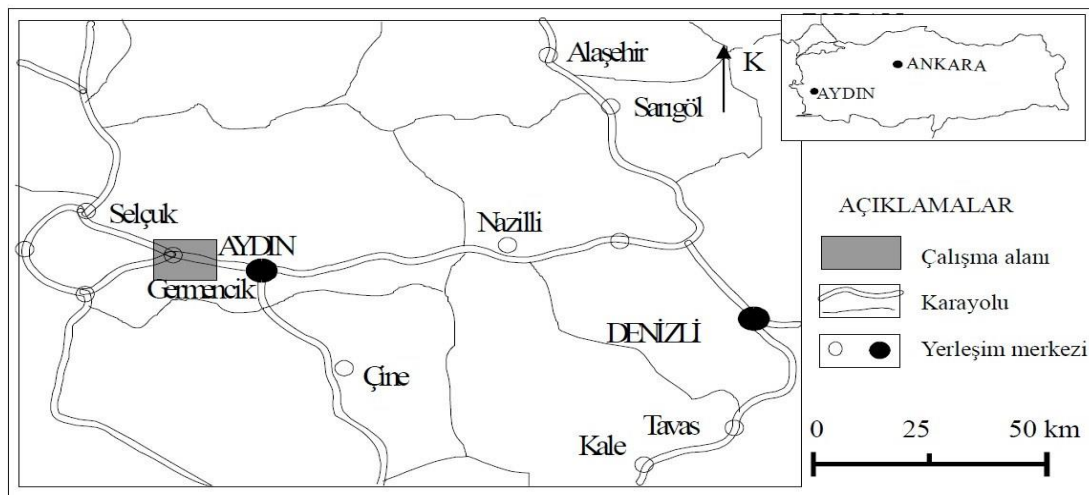
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Sayfa

Foto 4.1. Sondaj kulesinden görünüm.....	41
Foto 4.2. Binoküler mikroskop.....	42
Foto 4.3. Kuyudan gelen kırıntıları saklama kutuları.....	43
Foto 4.4 Su örneği in situ analizi.....	44

1. GİRİŞ

Enerji kavramı ve enerji kaynaklarının sürdürülebilirliği geçmişten bugüne dünyanın en önemli konularından ve sorunlarından biri olmuştur. Enerji kaynaklarının hızla tükenmesi, petrol, kömür, nükleer enerji gibi kendini yenileme durumu olmayan kaynakların bilinçsizce kullanılması, bu kaynakların çevreye ve atmosfere verdiği kirlilik gibi etkenler insanları yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmaya yönlendirmiştir (Külekçi, 2009). Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden olan jeotermal enerji ise günümüzde elektrik üretimi, tıp, turizm, ziraat, endüstri gibi sayısız alanda kullanılabilen bir kaynaktır. Jeotermal enerji kaynaklarının nice faydası bulunmakla birlikte, bunların başlıcaları daha önce belirtildiği gibi yenilenebilir olması yani doğru kullanımla tükenmesi zor bir enerji çeşidi olması, tespit ve üretiminin kolay olması, maliyetinin düşük olması, yatırımın çok kısa bir zamanda geri dönüş sağlaması, ayrıca diğer kaynaklara göre çevreye verilen zararın çok az olmasıdır. Dünya üzerinde jeotermal enerji değeri anlaşılan bir enerji çeşidi olmakla beraber kullanımı ülkelere göre değişmektedir. Ülkemiz ise çok önemli bir jeotermal kuşak üzerinde olmasına ve 1300'ün üzerinde kaynak barındırmasına karşın jeotermal enerjiden yeterince faydalanamamaktadır. Türkiye'de jeotermal kullanımı; kaplıca turizmi, seracılık gibi temel kullanımlarla sınırlı bir şekilde yürütülmekle beraber son yıllarda konut ısıtılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır.



Şekil 1.1.Çalışma alanının yer bulduru haritası

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

Jeotermal enerji sürdürülebilirliği nedeniyle yenilenebilir enerjidir ve yerküre içinde bulunan termal sıcaklıkla doğrudan ilişkilidir. Aynı zamanda, termal enerji maddenin sıcaklığını belirleyen enerjidir. Yerkürenin jeotermal enerjisi gezegenimiz olan yerkürenin orijinal formasyonundan (20%) ve minerallerin radyoaktif bozunmasından kaynaklanmaktadır (80%) (Turcotte ve Schubert, 2002). Günümüzde bu kavram yerküre ısısının belirli kısımları için kullanılmaktadır. Bunun için; genellikle çeşitli sondaj yöntemleri ile yerküre ısısına ulaşılır ve elde edilen enerjiden çeşitli amaçlar için yararlanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar dünyamızın her tarafında bulunur, ancak işletilebilir jeotermal sistemler genel olarak normal ya da anormal derecede yüksek jeotermal gradyan bölgelerinde bulunur. Yerküre gezegenimizin çekirdeği ile yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı olan jeotermal gradyan, yüzeye çekirdekten yüzeye doğru ısı şeklinde termal enerjinin sürekli kondüksiyonu şeklinde olmaktadır. Jeotermal sıfat olarak, sıcak anlamına gelen Yunancadan kökleri yerküre anlamında “γη” (ge) ve sıcak anlamına “θερμος” (termos) gelen kavramlardan oluşmaktadır.

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

Jeotermal sular, paleolitik çağlardan beri termal banyo ve ayrıca antik Roma döneminden beri de konut ısıtmasında kullanılmaktadır. Buna karşın zamanımızda akıllı bir şekilde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Dünya çapında,

jeotermal enerji yaklaşık 10,715 megavat (MW) gücünde 24 ülkede faaliyettedir. Ek olarak, 28 gigavat doğrudan jeotermal ısıtma kapasitesi olan bir sistem bölgesel ısıtma, mekan ısıtması, kaplıcalar, endüstriyel prosesler, arıtma ve tarımsal uygulamalar için kurulmaktadır (Fridleifsson vd, 2008). Jeotermal kuyular yerin derin kısımlarında sıkışıp kalan sera gazlarının serbest bırakılır, ancak bu emisyonların miktarı fosil yakıtlardan daha düşüktür. Sonuç olarak, jeotermal enerji yaygın fosil yakıtların yerine konuşturılmış ise küresel ısınmanın azaltılmasına yönelik yardımcı potansiyele sahiptir.

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

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

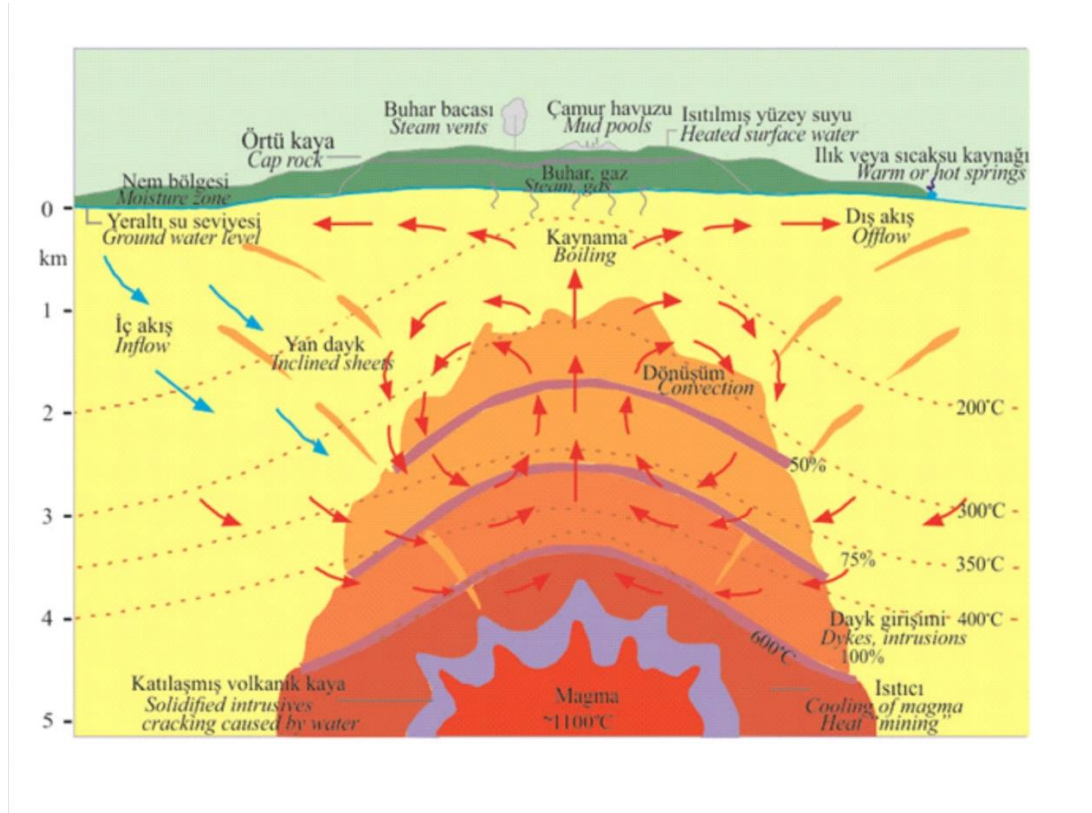
Rezervuar kayaçtaki sıcak akışkanların sıcaklıklarının korunması içinde geçirimsiz örtü kayaçlarına ihtiyaç vardır. Jeotermal alanlarda bu tür örtü kayaçlarını genellikle evaporitler ve killi litolojilerden çamurtaşları oluşturmaktadır. Bunlar geçirimsiz olup, bu özellikleriyle hem petrol ve hem de jeotermal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

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

1.1. Jeotermal Sistemler

Jeotermal sistem üç ana unsurdan oluşmaktadır: Isı kaynağı, rezervuar ve ısıyı taşıyan akışkan Isı kaynağı yüksek sıcaklıklı ($>600^{\circ}\text{C}$) ve yüzeye yakın kısımlara ulaşabilen (5-10 km) magmatik sokulumlar olabileceği gibi, düşük sıcaklıklı sistemlerde de derinlikle birlikte artan normal sıcaklık (jeotermik gradyan ortalama $2,5\text{-}3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) olabilir. Rezervuar ise ısıyı taşıyan sıvının devir-daim edebileceği çatlaklı (permeable) kayaçlardır. Rezervuarların üzerinde genellikle geçirimsiz tabakalar bulunmaktadır. Jeotermal akışkan ise çoğu durumda meteorik sudur ve rezervuarda sıcaklık ve basınca bağlı olarak buhar veya sıvı haldedir. Bu su genellikle bazı kimyasal maddeler ve gazlar (CO_2 , H_2S gibi) içerir. Jeotermal sistemin mekanizması sıvının ısıyı iletimi üzerinedir. Konveksiyon akım (ısı iletimi) ısınma nedeniyle oluşur ve sonuçta sistemdeki sıvının termal genişlemesine neden olur. Düşük yoğunluklu ısınmış sıvı, sistemde yükselme eğilimindedir ve sistemin kenarlarından gelen yüksek yoğunluklu soğuk su ile yer değiştirir. Doğal olarak konvensiyonel akım sisteminde, alt kısımlarda sıcaklık azalma eğiliminde iken üst kısımlarda sıcaklık artma eğilimindedir (Şekil 1.2). Gerçek jeotermal sistemler için yapılacak iyi bir modelleme oldukça zordur. Yapılacak modellemede yüksek sıcaklığa bağlı olarak çok disiplinli ve geniş bir çalışmaya gereksinim vardır. Jeotermal sistem çok değişken jeolojik, fiziksel ve kimyasal karakteristiğin

kombinasyonuna bağılı olarak oluşur. Jeotermal sistem unsurları içerisinde sadece ısıtıcı kaynak doğaldır.



Şekil 1.2. Basitleştirilmiş bir jeotermal sistem (Grant vd., 1982’den uyarlanmıştır.)

Jeotermal sistemler, oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu sistemlerde, hidrojeolojik sistemlerden farklı olarak faz değişimleri ve ısı taşınımı da söz konusudur (Akan, 2002). Dolayısıyla, böyle karmaşık bir sistemde beslenme-boşalım ilişkisine bağılı olarak meydana gelebilecek değişimleri öngörmek oldukça zordur. Bu aşamada, modelleme yaklaşımı sistemin geleceğine ilişkin bir öngörü yapabilmek açısından büyük bir önem kazanmaktadır. Son yıllarda matematiksel modeller yardımıyla jeotermal alanların modellenmesi yoğun olarak çalışılan bir konudur. Bu modeller, jeotermal alanların kavramsal modellerinin geliştirilmesi ve doğruluğunun kanıtlanması için kullanılmaktadır. Jeotermal sistemlerin modellenmesinde esas amaç, rezervuar potansiyelinin belirlenmesi ve reenjeksiyonun sistem üzerindeki etkilerinin ortaya konması gibi önemli problemlerin çözümüdür.

Jeotermal enerji, genel anlamıyla yerkürenin sahip olduğu doğal ısı olarak tanımlanabilir. Bu ısının kaynağı yerkürenin iç yapısı, ve burada, gelişen fiziksel süreçlerle ilişkilidir. Jeotermal sistemler başlıca, üç ana başlık altında sınıflandırılabilirler Bunlar hidrotermal sistemler, jeobasınçlı (geopressured) sistemler ve sıcak kuru kaya (hot dry rock) sistemleridir. Hidrotermal sistemler, bünyesinde akışkan bulunduran jeotermal sistemlerdir. Bu sistemlerde kendi içerisinde buhar ağırlıklı ve sıvı ağırlıklı sistemler olmak üzere ikiye ayrılırlar. Buhar ağırlıklı sistemlerde, sıvı ile buhar birlikte bulunmalarına rağmen, rezervuar boyunca süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden faz buhar fazıdır. Sıvı ağırlıklı sistemlerde ise, rezervuarda süreklilik gösteren ve basıncı kontrol eden faz sıvı fazıdır. Jeobasınçlı sistemler hidrostatik basıncın çok üzerinde akışkan içeren kayalardan oluşan sistemlerdir, Bu sistemler genellikle geçirimsizliği yüksek olan bir örtü kaya ile kaplı olan zonlardan oluşmaktadırlar. Geçirimsiz örtü kaya etkisiyle sistemde sıkışan akışkan, basınç gradyanının etkisi ile yükselerek yüzeye ulaşmaktadır.. Sıcak kuru kaya sistemleri ise, ısı taşıyıcı ortam olan suyu içermeyen sistemlerdir (Grant vd., 1982).

1.2. Jeotermal Sistem Elemanları

1.2.1. Isı taşıyan akışkan

Meteorik sularla beslenen ana akifer ve temel kayalar, derinlerde bulunan henüz soğumasını tamamlamamış bir sokulundan yayılan ısı nedeniyle ısınır ve çatlaklarında dolaşan akışkanları da ısıtır. Isınan bu akışkan yoğunluk farkı nedeniyle yukarı çıkma eğilimindedir. Bu şekilde konveksiyon yoluyla derinlerdeki ısıyı yukarıya doğru taşımaktadır. Yukarıya doğru hareketi sırasında akifer özellikli rezervuar kayaç içerisinde depolanır veya yüzeye ulaşarak sıcak su veya buhar çıkışları şeklinde kaynağı oluştururlar (Grant vd., 1982).

1.2.2. Rezervuar kayacı

Milyonlarca yıldır süregelen levha hareketleri, yerkürenin dış bölümünü oluşturan kabukta kıvrımlanmalara ve kırılmalara neden olmaktadır. Bu kıvrımlanma ve

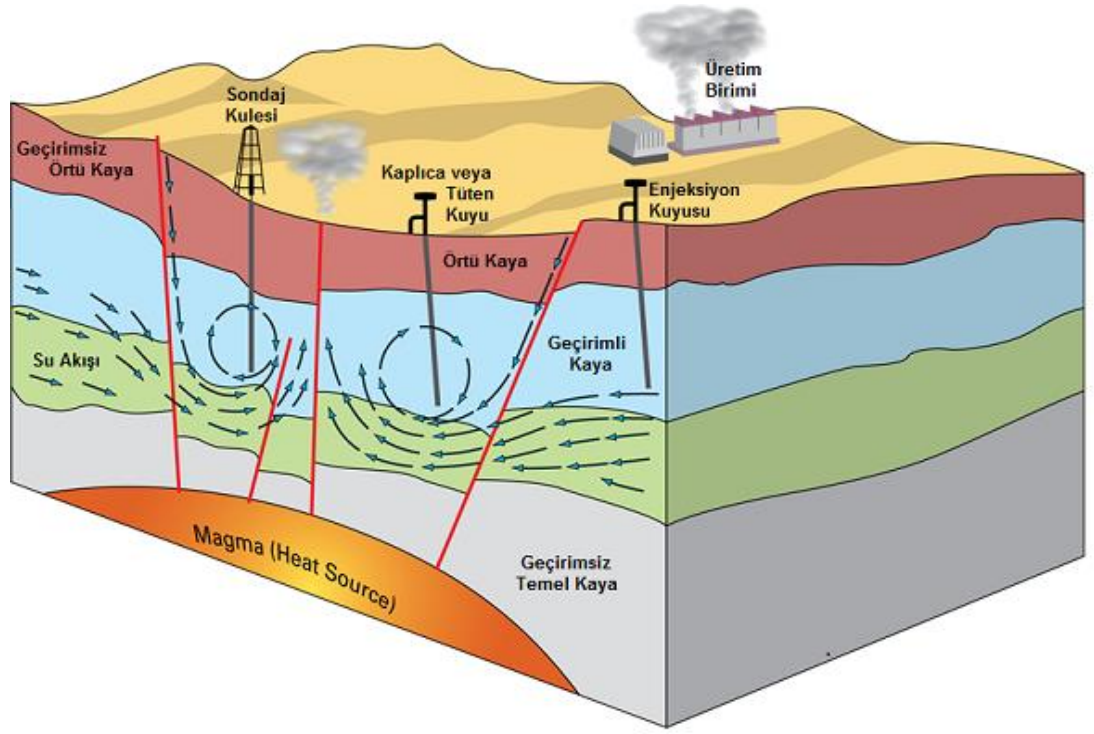
kırılmalar, litolojik birimler içerisinde kırık ve çatlakları oluşturarak yukarılara doğru taşınan ısınmış akışkanın depolanabileceği ortam yaratır. Ekonomik anlamda sığ derinlikte yer alan ve ikincil geçirgenlik kazanan litolojik birimler rezervuar kaya olarak adlandırılmaktadır. Jeotermal sistemin kaynak olarak işletilebilir hacimsel bütünlüğüdür (Grant vd., 1982).

1.2.3. Isı kaynağı

Isı kaynağı, yerkabuğu içine sokulmuş genelde 7-15 km arası derinlikte yer alan magmatik bir intrüzyon olup, 600-900°C sıcaklığa sahiptir. Yerküre içindeki ısının temel kaynağı mantodur. Katı haldeki kabukta oluşan tektonik hatlar boyunca magmatik sokulumlar ve volkanik faaliyetler gelişmektedir. Bunun sonucunda mantodan kaynaklanan ısı, kabuk içerisinde sığ derinliklere ulaşmakta ve etrafındaki kayaçları da ısıtarak, bölgede bir ısı birikimi yaratmaktadır. Bu ısı ise ısınım yoluyla veya akışkan ile taşınmaktadır (Armstead, 1978).

1.2.4. Örtü kayacı

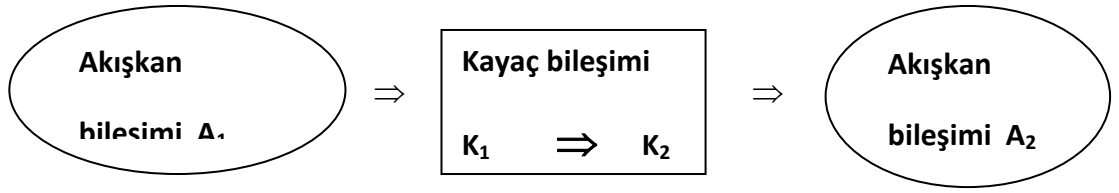
Rezervuar zonda depolanan akışkanın ve ısının, enerjisini kaybetmeden korunmalı olarak kalabilmesi için bu birimler üzerinde ısı ve akışkan kaybını önleyecek geçirimsiz birimler olmalıdır. Bu birimlere örtü kaya denmektedir.



Şekil 1.3. Jeotermal sistemi oluşturan genel istif (<http://www.eie.gov.tr>’ den alınmıştır.)

1.3. Hidrotermal Alterasyon

Yerkabuğunun sığ derinliklerinde, meteorik sulardan süzülen ve ısıtılmış kayaçların çatlak ve gözenekleri arasında dolaşan, derinlere indikçe ısınan akışkanın, değişik ortamlardaki kayaçlarda bulunan kayaç yapıcı minerallerle olan element alışverişi ve doğrudan bileşik çökeltmesi sonucu ve yeryüzünde ise, bu akışkanların yüzeye çıkması sonucu değişen ortama akışkanın uyum sağlayabilmesi için geçirdiği özellikle kimyasal değişim sonucu oluşur.



Şekil 1.4. Hidrotermal alterasyon sonucu kimyasal değişim (Aydal, 2000). Burada A_1 bileşimindeki akışkan belirli K_1 bileşimine sahip olan kayaç içinden geçtikten sonra, kayaç K_2 , akışkan ise A_2 bileşimine dönüşmektedir.

Jeotermal sistemlerde akışkan ve kayaç arasındaki etkileşim, ikincil mineral takımı oluşturur ve bunların çokluğu ortamın etkili fiziksel ve kimyasal koşullarına bağlıdır. Genelde jeotermal sistemlerde kazanılan deneyimlerle bu ilişki, sondaj karotlarındaki ve kırıntılardaki minerallerin tayini ile rezervuar koşullarını anlatmak için kullanılır. Bazı durumlarda ortaya konan koşullarla, gerçekte ölçülen koşulların karşılaştırılması sonucu rezervuarda değişim olduğunu açığa çıkarır. Birçok hidrotermal mineral aktif jeotermal sistemlerde görülür. Var olan prensiplerin dikkatli bir şekilde uygulanması ile geçmişte yok olmuş sahaların paleohidrolojik görünüşlerini yorumlamada bu tür jeotermal deneyimler anahtar oluşturur.

Bir hidrotermal alterasyonun oluşabilmesi için, aynı ortamdaki fiziksel ve kimyasal koşulların değişmesi gerekir. Jeotermal sistemlerde hidrotermal alterasyonu oluşturan değişik koşullar ise tahmin edilebileceği gibi sıcak/soğuk ortama sıcak veya soğuk ve kazanılmış bir kimyasal konsantrasyona sahip akışkanın gelmesidir.

Burada hidrotermal alterasyonun ve/veya reaksiyonun boyutu, alterasyonun olduğu alandaki etkili (1) sıcaklığa, (2) alterasyon prosesinin süresine ve (3) ortam farkına (ki orada etkin jeotermal koşullar ile ortamın jeotermal koşullardan önceki altere olmamış, taze kayaç ortamı arasındaki farkı yansıtır) bağlıdır.

Diğer bir deyişle, oluşan hidrotermal alterasyonun türü ve yoğunluğu jeotermal rezervuarın veya rezervuar kayaçların bulunduğu yeni ortamı yansıtır. Böylece volkanik kayaçların kolayca altere olacağı, volkanik ve jeotermal ortam arasındaki büyük farklılıktan dolayı kolayca anlaşılır. Fakat düşük dereceli metamorfik kayaç (grovak) yalnızca zayıf bir şekilde, nötre yakın pH ve alkali klor(idli)ürlü su ile

sözgelimi 200°C de reaksiyona girer. Gerçekte kalın bir litolojik gruptan oluşan rezervuar kayaç istifi jeotermal akışkanın bileşimini birçok yönüyle kontrol eder.

1.3.1.Hidrotermal alterasyon mineralojisi

Aktif jeotermal sistemlerde çok geniş bir aralıkta yer alan hidrotermal mineraller göze çarpmaktadır. Bunlardan bazıları buddington gibi nadirdir, bazıları ise örneğin aegrine ve lepidot muhtemelen jeotermal ortamlarda bulunmazlar. Buna karşılık çeşitli kil mineralleri, adularia, kuvars, kalsit, pirit ve epidot gibi benzeri mineraller ise yaygın olarak bulunurlar (Şekil 1.5).

En çok bilinen hidrotermal alterasyon mineralleri, (1) karbonatlar (kalsit, aragonit, siderit), (2) sülfatlar (anhidrit, alunit, natroalunit, barit), (3) sülfidler (pirit, pirohitit, markasit, sfalerit, galenit, kalkopirit), (4) oksitler (hematit, magnetit, leukoksen, diaspor), (5) fosfat (apatit), (7) halit (florit), (8) silikatlar (titanit, garnet, epidot, tremolit, aktinolit, illit, biotit, pirofillit, klorit, kaolen grup, montmorillonit, prehnit, adularia, albit, kuvars, kristobalit, mordenit, loumentit, wairakite).

1.3.2. Hidrotermal alterasyon türleri

Hidrotermal alterasyon oluşum ortamının yanı sıra, oluşma şekli olarakta bir sınıflamaya tabi tutulabilir

Doğrudan çökelim, yer değiştirme, yıkama ve çözme, fırlatma alterasyon şekli olarak kabul edilmektedir.

1.3.2.1.Doğrudan çökelim

Bu alterasyonun çok bilinen türüdür ve jeotermal sahalarda bulunan birçok hidrotermal mineraller çözeltiden doğrudan çökelerler. Bu çökeliimin olabilmesi için elbetteki rezervuar kayacın geçiş yolları yani mineral çökeltecek akışkanın hareket edeceği çatlaklar içermesi gerekir. Bunlar çatlaklar, faylar, hidrolik çatlaklar, uyumsuzluklar, damarlar boşluklar ve kılcal çatlaklar olabilir.

Kuvars, kalsit ve anhidrit damarlarda ve boşluklarda kolayca çökelir fakat buna karşılık klorit, illit, adularia, pirit, pirohitit, hematit, wairakite, florit, loumontit, mordenit, prehnit ve epidot gibi mineraller damar ve boşluklar dışında akışkandan doğrudan çökelebilecekleri diğer birçok yerde de gözlenmişlerdir. Kalsit, aragonit ve silikanın yaygın çökelimlerinin yanında sondaj tijlerinde (borularında) ve boşalım kanallarında da kolayca çökeldikleri bilinmektedir. Demir içeren minerallerde kabuklaşma yapabilirler (Arnorsson vd., 1983).

Doğrudan çökelmeye örnek verecek olursak; çatlak ve boşluklarda kalsit ve silis dolgular olarak görülen çok yaygın olarak bir doğrudan çökeltme şekli, yeryüzünde travertenler ve silika sinter olarak görülürler. Bilindiği gibi traverten CaCO_3 bileşiminde olup, akışkandaki çözünmüş halde bulunan CO_2 'in, akışkanın yüzeye çıkması ile basıncın düşmesi sonucu akışkandan ayrılması ile aşağıdaki eşitliğe göre çökelir.



Silika sinter ise, belirli sıcaklığa göre akışkan içinde çözünürlüğü dengeye ulaşmış çözünmüş haldeki toplam silis bileşiklerinin, yeryüzüne çıkan akışkanın yüzeyde soğumanın etkisi ile, akışkanın silis bileşiklerince aşırı doymun hale gelmesi sonucu akışkandan ayrılarak yeryüzünde çökmesidir.

$$t \text{ } ^\circ\text{C} = A / (B - \log \text{SiO}_2) - 273.15$$

Eşitliğinden akışkanın silise doymunluk durumu tahmin edilebilir. Bu kimyasal jeotermometre eşitliğinde A, B sabitleri akışkanın amorf silis, kristobalit, kalsedon ve kuvars ile denge haline göre değişik değerler alır.

1.3.2.2. Yer değiştirme

Birçok kayaç bazı birincil mineraller içerirler. Bunlar jeotermal ortamlarda duraysız olup, yeni koşullar altında, duraylı veya en azından yarı duraylı olabilecek yeni minerallerle yer değiştirme eğilimindedirler.

Yer değiştirme oranı çok değişkendir ve permeabiliteye bağlıdır, örneğin Planty Körfezindeki aktif bir volkan olan White Island andezit külü boşaltmış ve adada depolandığı yıl içerisinde, volkanik gaz faaliyetleri boyunca tamamıyla altere olmuştur ($I_a=1.00$). Buna karşılık Broadlands deki Ohaaki sahasında oluşan kaynaklı ignimbritin geçirimsiz kısmı belki 300,000 yıldır yaklaşık 250 °C sıcaklıkta bile 0.1 yoğunluktan daha fazla altere olmadan kalmıştır.

Yer değiştirmenin tamamlanmadığı (alterasyon yoğunluğu 1.00 den az) yerde akışkan/mineral dengesi başarılmamıştır, bu durumu reaksiyon sonuçları karotlarda korunmuş veya dondurulmuş olarak görebilmek mümkündür. Rezervuar kayacı volkanik olan yerlerde birincil ve ikincil (hidrotermal) mineraller arasındaki farkı ayırt edebilmek oldukça zordur fakat bu, rezervuar kayacı sedimanter veya düşük dereceli metamorfik kayaç olan yerlerde daha da zordur (Çizelge1.1). Bunun nedeni bu kayaçların içerdiği birçok birincil mineraller (ör.; kuvars, feldispat, kalsit, prehnit, illit, epidot vb.), alkali kloridli akışkanların bulunduğu jeotermal ortamlarda da duraylıdır. Gerçekte mineraller akışkanın tuzluluğundan çok bileşimini kontrol ederler (Browne, 1984)(Çizelge1.2).

Çizelge 1.1. Bazı sistemlerde birincil minerallerin yer değiştirme sırası (Browne, 1984)

Birincil Mineraller	NZ Sahaları	Ngawha	Olkaria	Filipinler & Endonezya	İzlanda
Volkanik Cam	1	Yok	1	1	1
Manyetit, titanomanyetit, İlmenit	2	1	5	2	Yok
Piroksen, amfibol, olivin	3	Yok	2	3	2-3
Biyotit	4-5	2	Yok	Nadir	Yok
Ca Plajjoklast	4-5	Albit var	3	4	4
Mikroklin, sanidin, ortoklas	Yok	3	4	Yok	Yok
Kuvars	Etkilenmedi	Etkilenmedi	Etkilenmedi	Yok	Yok

1.3.2.3. Yıkama ve çözme

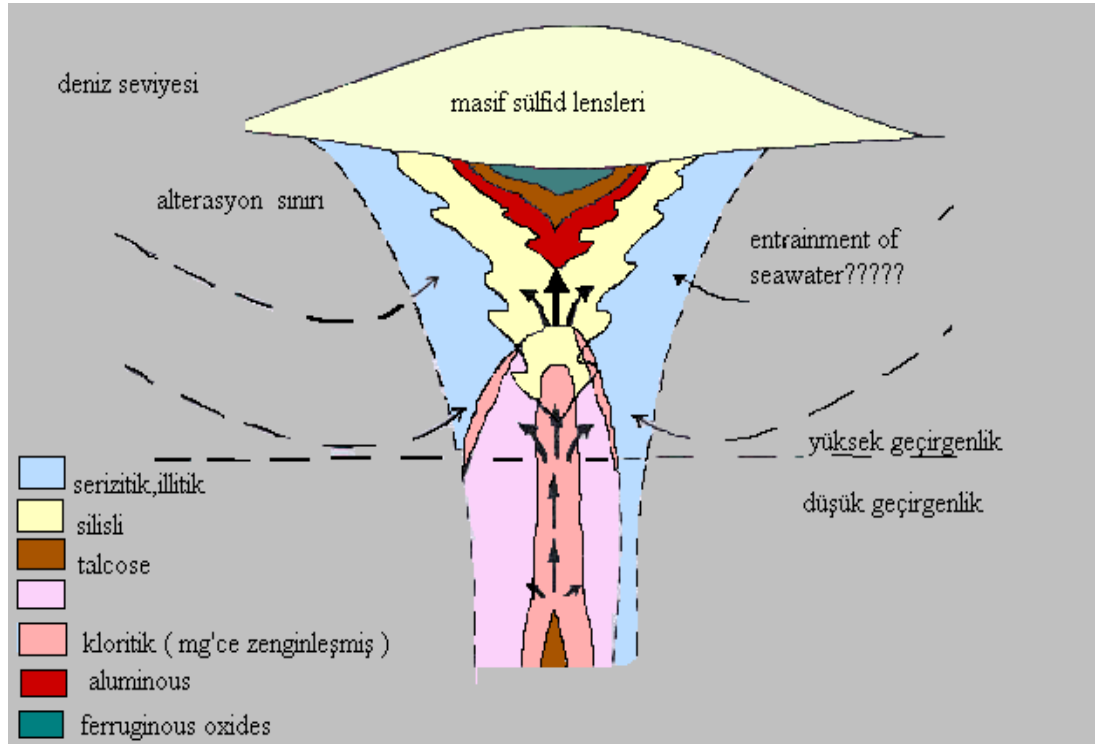
Bu işlem genelde jeotermal sistemlerin kenar kısımlarında ve dışında yer alır ve bu nedenle genellikle alınan kırıntı ve karotlarda rastlanmazlar. Örneğin, buharın yoğunlaştığı, H_2S 'in oksitlenmesi ile asidifiye olduğu ortamlarda kayalara saldırarak birincil mineralleri çözer fakat boşluklar başka minerallerle doldurulmazlar.

1.3.2.4. Fırlatma (Ejekta)

Kuvars, wairakeit vb. diğer mineraller, sondajla bu minerallerin bulunduğu çatlaklara girince fırlatılırlar. Ara sıra melek kanadı, euhedral kalsit ki kayaca bağintısı sağlam değildir, fırlatılırlar. Belkide bu kristaller kaynama zonundaki türbülansın dolayısı oluşurlar .

Çizelge 1.2. Tipik alterasyon yer değıştirme ürünleri (Browne, 1984)

Orijinal mineral	Dönüşüm	Yerdeğışim ürünü
Volkanik cam	→	Zeolitler (ör. mordenit, lomontit), kristobalit, kuvars, kalsit, killer (rö montmorillonit)
Magnetit/ilmenit/titano-magnetit	→	Pirit, lokoksen, titanit, pirohitit, hematit
Piroksen/amfibol/olivin/biotit	→	Klorit, illit, kuvars, pirit, kalsit, anhidrit
Kalsik plajiolklas	→	Kalsit, albit, adularia, wairakit, kuvars, anhidrit, klorit, illit, kaolin, montmorillonit, epidot
Anortoklas/sanidin/ortoklas	→	Adularia



Şekil 1.5. Çeşitli alterasyon bileşiklerinin karışık ifadesi (Lydon, 1988)

1.3.3. Ana kayada hidrotermal alterasyon tarafından üretilen değişimler

Hidrotermal Alterasyon ana kayacın özelliklerinde değişikliklere neden olur bunlar fiziksel ve kimyasal olmak üzere ikiye ayrılır.

1.3.3.1. Kimyasal değişiklikler

Yer değiştirme, çözünüp yıkanma filtrelene ve akışkandan çökelme, boyutları ve doğası büyük değişiklikler gösteren kimyasal değişikliklere neden olur. Fakat bu kayacın mineralojisinin bir fonksiyonu olduğu çok açıktır.

Bazı yerlerde hidrotermal alterasyon, en azından yersel ölçekte, eşkimyasal olarak gelişir, fakat genellikle element içerikleri gerçekte kayaca ilave edilir veya ayrılırlar. Tablo volkanik rezervuar kayacın pH'ı nötre yakın alkali klaridli su ile reaksiyonu sırasında geleneksel olarak anılan esas içeriklerin tipik davranışını açıklar. Benzer tablo iz elementler içinde yapılabilir

1.3.3.2. Yoğunluk

Eriyikten doğrudan hidrotermal minerallerin rezervuar kayaca depolanması kayacın toplam yoğunluğunu artırır, ancak sadece çözerek yıkama filtreleme, yoğunluğu azaltır. Yzeeye yakın, çok poroziteli (%50) pomza breşinin silisifikasyonu bu kayacın yoğunluğunu örneğin, 1.3 ten 2.65 ($\times 10^3 \text{ kg/m}^3$) kadar artırır. Yoğunluktaki bu artışı porozitesi yüksek kayada daha büyüktür. Buna karşılık orijinal porozitesi %5 ten daha düşük kayalarda zorlukla fark edilebilir.

Düşük poroziteli kayalarda, hidrotermal alterasyonun, minerallerin yer değiştirmesi ile olduğu yerlerde, rezervuar kayaların toplam yoğunluk değişimini tahmin etmek daha zordur. Çünkü yeni kayacın yoğunluğu yerinden ornatılan ve yerini alan minerallerin miktarına ve göreceli yoğunluklarına bağlı olacaktır. Örneğin, birincil andezinin ($2.65 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) wairakitle ($2.26 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) eş hacimsel yer değiştirmesi, yoğunlukta $0.39 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ lk bir azalmaya neden olur, fakat eğer yer alan mineral epidotsa, ($3.40 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$) $0.753 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ yoğunluk artışı olacaktır. Böylece

hidrotermal alterasyon işlemleri sırasında her zaman rezervuar kayaçların yoğunluğunun artması gerekli değildir ve bu gerçekten yola çıkarsak, gravite yönteminin, jeotermal rezervuarlarda tipik olarak görülen kütle homojensizliklerinin tespitinde neden başarılı olmadığını açıklayabilir.

1.3.3.3. Porozite ve permeabilite

Çözülüp yıkama dışında olan diğer hidrotermal alterasyonların etkisi, gözenek boşluğuna azaltır. Bunun rezervuar üzerine etkisi, küçük düzenli, sürekli oluşumuna karşılık, sistemin düşey yönde daha şiddetli olaylarla değişiminden dolayı daha karışıktır. Elbetteki duraylı jeotermal sahalarda, mineral çökelişi, çözünmeden daha etkili olduğu için permeabilitesi kaçınılmaz olarak düşecektir. Porozitede sürekli azalma ve buna ilave olarak alterasyon derecesi arttıkça, yoğunlukta artış Broadlands sahasında görülmüştür.

1.3.3.4. Manyetik özellik

Taze volkanik kayaçlar az miktarda manyetit ve/veya titanomayetit içerirler ve bunlar kayaca önemli ölçüde magnetizasyon verirler. Hepsinde olmasa bile birkaç jeotermal daha da her aşama genellikle hematit, pirit, lökoksit veya titanit gibi daha az manyetik minerallere kolayca değişir. Buda rezervuar kayacın da manyetize olmasına neden olur. Bu bazılarını, volkanik sahada jeotermal rezervuar sınırlarını manyetik yöntemle belirlemeye yönlendirir. Hâlbuki bu tür yöntemlerin saha uygulamaları daha karışıktır. Çünkü burada manyetit oldukça duraylıdır. (Olkaria), veya burada ya yer değiştirme veya doğrudan eriyikten çökelererek manyetit özelliğinin deki pirohitit oluşur (Ohaaki, Ngawha, Wairakei). Bu genellikle permeabilite ve PH_2S in düşük olduğu veya organik malzemenin var olduğu (örneğin bazı sedimanter kayaçlar) yerlerde olur.

1.3.3.5. Rezistivite

Jeotermal rezervuarlardaki kayaçlar, sadece içerdekileri sıcak suyun elektrolitik konsantrasyonundan değil fakat aynı zamanda, kayacın matriksinde bulunan iletken

kil ve zeolit minerallerininde göreceli olarak miktarından önemli ölçüde etkilenir. Bu nedenle bu tür minerallerin oluşumunu ve varlığını göz önünde bulundurmak önemlidir. Yaygın olarak bilinen kil mineralleri kaolinler (kaolinit, hallosit, metahallosit, dikit) Ca–montmorillonit (smektit), illit (K–Mika), klorit ve bu son üçünün ara katmanlı olarak değişik kombinasyonundan oluşur. Çünkü killeri sulu minerallerdir ve oluşumları sıcaklığa bağımlıdır. Gözlemler ve deneyimler, akışkan bileşimi, özellikle akışkanın pH ının bu kil minerallerinin oluşumu üzerinde önemli etkisi olduğunu göstermiştir.

1.3.3.6. Mineralojik değişimler

Yerdeğiştirme, çözülüp yıkanma ve çökelme, boyutu ve doğası çok değişmekle birlikte, kimyasal değişimlere de neden olur, fakat bunun kayacın mineralojisinin fonksiyonu olduğu açıktır; bazı yer değiştirmeler, en azından lokal ölçekte, eşkimyasal olarak gelişir, fakat birçok çalışma bazı içeriliklerin alterasyon sırasında gerçekte ilave edildiğini veya ayrıldığını göstermiştir.

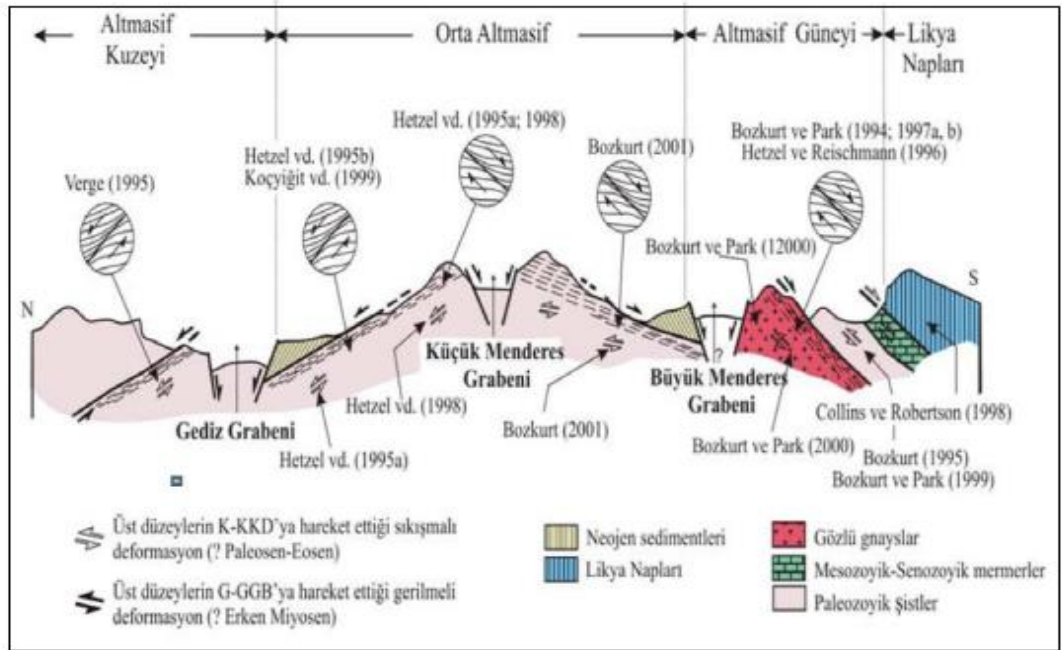
1.4. Çalışma Alanının Jeotektonik Konumu

Jeotermal enerji ile ilgisi nedeniyle, yapısal incelemede bölgenin genç tektoniği önem kazanmaktadır. Bölgede Miyosen öncesi, Menderes Masifinde sıkışma tektoniği etkin olmuş ve sürüklenimler gelişmiştir. Günümüzde, Bozköy doğusunda görülen Bozköy Sürüklenimi ile gelen allohton gnayslar, şist ve mermerler üzerinde yer almışlardır. Daha sonra, Neojen çökelleriyle örtülen allohton gnayslar temele inen sondajlarda kesilmiştir (Şekil 1.6). Türkiye'nin neoteknik evrimi incelendiğinde Anadolu Plakasının Miyosenden başlayarak batıya hareketi, Doğu Akdeniz litosferinin Anadolu Plakası altına dalması Menderes Masifi altında bir anateksis zonunun oluşmasını; masifte asit intrüzyonlar gelişmesini ve masifin yükselmesini sağlamıştır (Şengör and Yılmaz, 1981). Bu etkiler altında Ege graben sistemi gelişmiştir. Bu sistem içinde yer alan Büyük Menderes grabeninin esas gelişimi Pliosen sonu ve Kuvaternerde olmuştur. Grabenleşmeyle birlikte yer yer kabuk incilmesi, magma yaklaşımı ve özellikle dislokasyonlar boyunca veya kesişme bölgelerinde jeotermal alanların oluşmasına elverişli kuşaklar gelişmiştir.

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

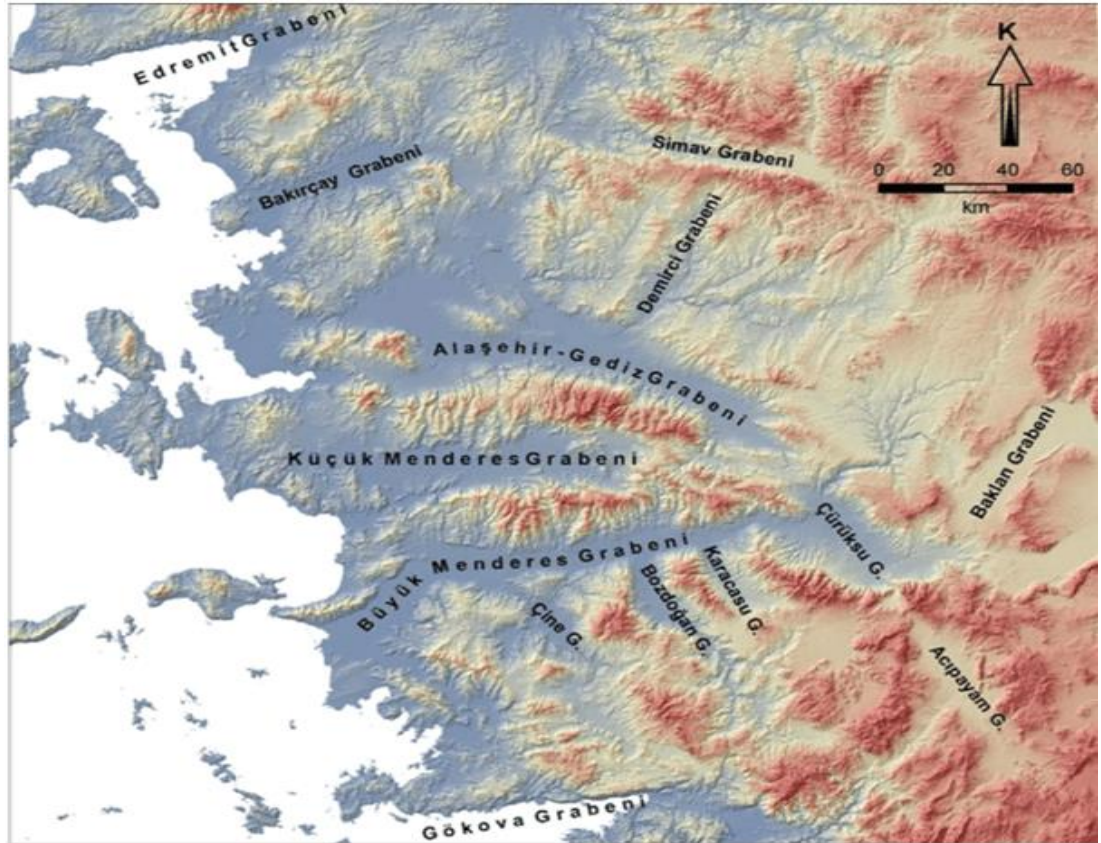
Şekil 1.6. Menderes Masifi'nin sadeleştirilmiş kaya stratigrafi birimleri (Şimşek ve Gülgör, 1988; Candan vd., 1992).

Büyük Menderes Grabeni D-B doğrultulu olup Denizli doğusundan Ege Denizine ve deniz altında da devam eden, yaklaşık 200 km uzunluğunda bölgesel bir grabendir. Grabenin genişliği Söke'de 30 km Germencik'te 20 km Aydın'da 10 km Salavatlı'da 20 km Buharkent'te (Çubukdağı) 5 km kadardır. Asimetrik bir graben görünümünde olan Grabenin kuzey kanadındaki basamak faylar daha büyük atımlıdır. Büyük Menderes Grabeninde kenar faylarının hemen hepsi eğimleri derine doğru azalan listrik (kürek şekilli) normal faylardır. Bu faylar geometrileri gereği yüzeyde ölçülebilen atımlardan çıkarılabilecek yatay genişleme değerlerinin çok üstünde genişleme (açılma) gösterirler. Elde edilen gerek jeoloji gerek jeofizik verilerle, Büyük Menderes Grabeninin de yer aldığı Ege Grabenler bölgesinin oluşumundan bu yana yükselme ve kuzey-güney genişleme olduğu görülmektedir. Büyük Menderes Grabeni Germencik kuzeyinde Kızılcagedik Horstu ile ikiye bölünmektedir. Kuzeydeki tali grabene Arzular Grabeni adı verilmiştir. Bölgede güneyden kuzeye sırasıyla Koçarlı Horstu, Büyük Menderes Grabeni, Kızılcagedik Horstu, Arzular Grabeni ve Bozköy Horstu yer almaktadır. Batıda ise Gümüşdağ (Samsundağ) Horstu bulunmaktadır (Şekil 1.7).



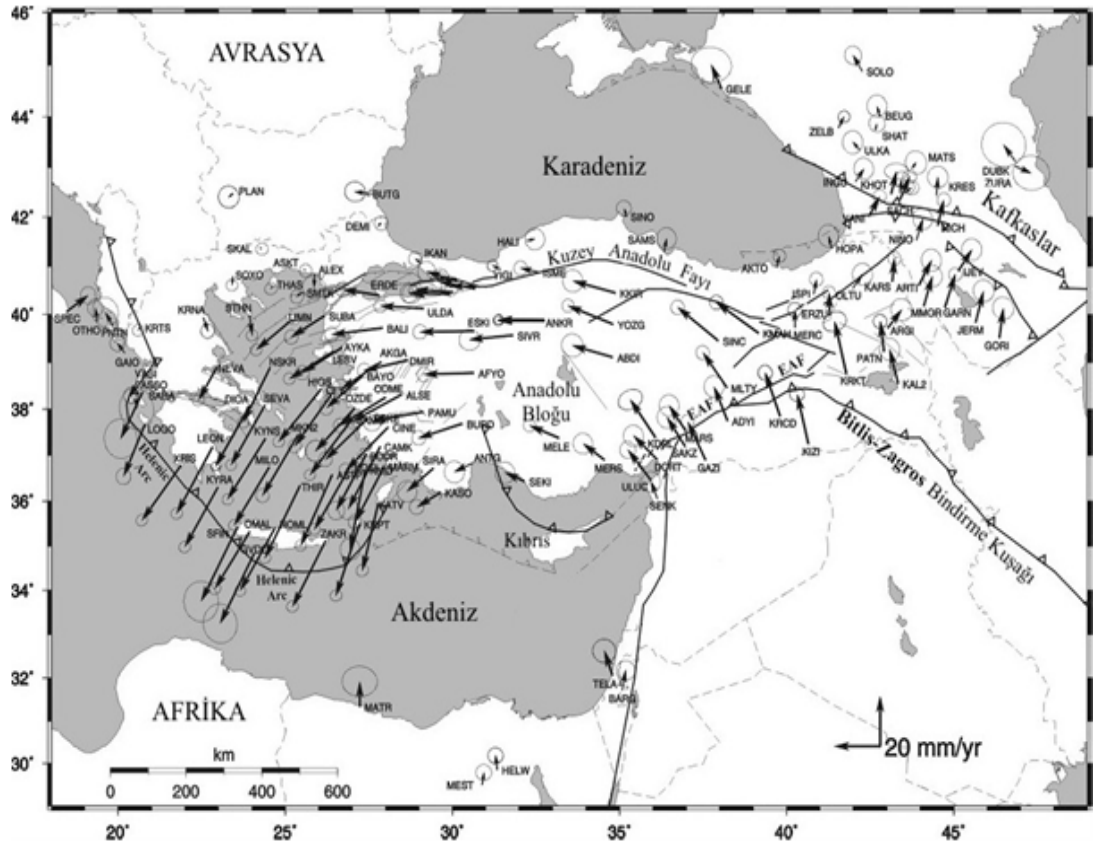
Şekil 1.7. Alpin sıkışması ve izleyen gerilme deformasyonları ile ilişkili K-G yönlü şematik enine kesit (Bozkurt, 2001)

“Tektonik Kaçma Modeli” olarak adlandırılan bu jeodinamik modelde ana enerji kaynağını Arap plakasının kuzeye hareketi sağlamaktadır. Bitlis-Zagros Bindirme Kuşağı boyunca Arap ve Anadolu plakalarının yaklaşık Orta Miyosen’de çarpışmaları sonucunda Doğu Anadolu’da bir sıkışma rejimi hüküm sürmeye başlamıştır (McKenzie, 1972). Doğu Anadolu’da sıkışma sonucunda kabuk kalınlaşmaya başlamış, kıtasal kabuğun alt kesimleri eriyerek yaygın Doğu Anadolu volkanizmasını oluşturmuştur. Bu kalınlaşmanın kıtasal kabuğun karşılayamayacağı seviyeye ulaşmasının ardından Pliyosen’den başlayarak Anadolu plakası batı yönüne hareket etmeye başlamıştır (Şaroğlu ve Yılmaz, 1986). Anadolu’nun batıya hareketi sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu ve sol yanal atımlı Doğu Anadolu fayları boyunca gerçekleşmiştir. Batıya doğru hareket eden Akdenizdeki Helenik dalma-batma zonunun etkisi ile gerilmeye uğramış ve böylece Batı Anadolu’da horst-graben yapıları oluşmuştur (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Batı Anadolu genişleme bölgesinde yer alan, neotektonik dönemde gelişmiş D-B doğrultulu ve daha yaşlı KB-GD doğrultulu çöküntü ovaları (Karakuş, 2010)

Batı Anadolu'dan Yunanistan'a kadar olan bölge günümüzde de bu kaçma rejimi ile denetlenmektedir. Reilinger et al., (1997) Anadolu levhası, doğu ve orta kesimlerde batı yönünde yaklaşık 18-22 mm/y hareket etmekte olduğunu bildirmektedir. Hareket batıda saatin ters yönünde bir rotasyonel harekete dönüşerek (Şekil 1.9), Ege hendeğine doğru yüksek bir hızla (40 mm/y) ilerlemektedir (Mueller et al., 1997; Yılmaz, 2000). İlerleme hafif kıta kabuğunun, ağır okyanusal kabuk üzerine kayması ile sonuçlanmakta, başka bir deyişle Doğu Akdeniz tabanı, Ege levhası altına doğru hızla dalıp batmaktadır.

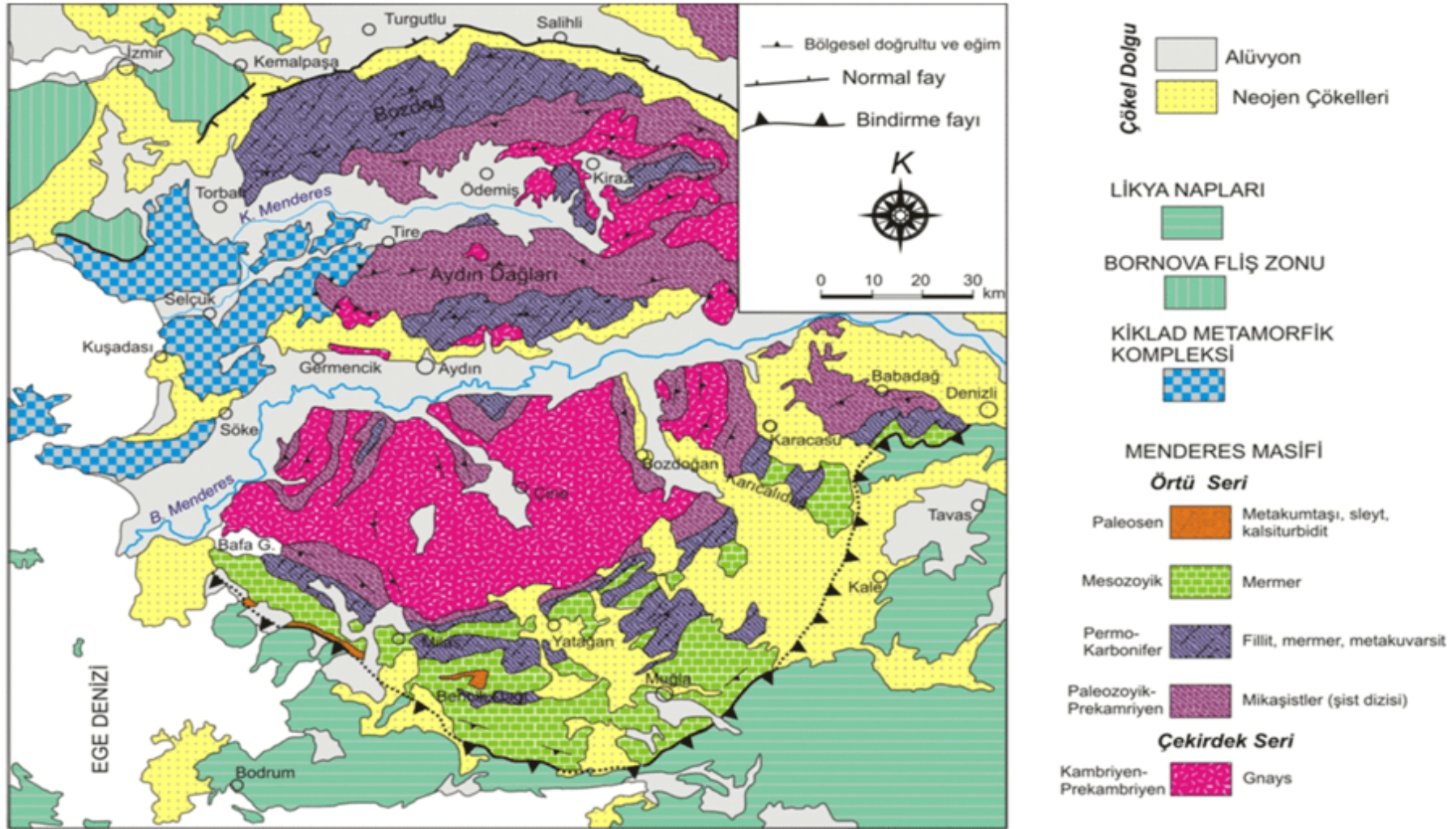


Şekil 1.9. Avrasya referans noktasına göre 189 noktada 1988-1997 yılları arasında ölçülmüş GPS hızları (McClusky et al., 2000).

Bölgede çeşitli doğrultulu faylar bulunmaktadır. Bunlar D-B, KD-GB ve K-G olarak belirlenmiştir. Hakim doğrultular Söke yöresinde KD-GB, Germencik bölümünde ise D-B'dır. K-G doğrultulular ise daha küçük atımlı ve sahanın tamamında sıkça görülmektedir. Jeoloji haritasında da görüleceği gibi KD-GB ve D-B doğrultuları Söke kuzeyinde ve Germencik dolayında kesişmektedir (Şekil 1.10). Bölgedeki büyük atımlı ve hakim doğrultulu kırıkların kesim alanında genç volkanik etkinlik ve

yüksek sıcaklıklı kaynaklar (92°C) ve doğal buhar çıkışı (101°C) belirlenmiştir. (Dora vd., 1995).

Tapponnier (1977) tarafından ortaya konulan görüşe göre, Ege bölgesi D-B daralması sonucu K-G yönde açılmaya başlamıştır. Dewey and Şengör (1979), McKenzie (1972)'nin Anadolu'nun batıya görelî hareketi modeliyle Tapponnier (1977)'nin Ege'nin D-B daralmanın ürünü olması modelini, Anadolu'nun batıya gidişinin Yunan makaslama zonu tarafından frenlenmesi görüşü içerisinde birleştirerek yeni bir model türetmişlerdir. Bu görüşe göre, Anadolu bloğunun batıya hareketinin Yunan makaslama zonu boyunca frenlenmesi bölgede genel bir D-B sıkışmaya neden olmuş ve bu D-B sıkışma burada K-G açılma ile karşılanmaya başlamıştır.



Şekil 1.10. Menderes Masifi jeoloji haritası (Karakuş, 2010)

1.5. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı Germencik (Aydın) ve yakın çevresinin jeotermal alanlarının mineralojik, petrografik ve jeokimyasal çalışma yöntemleriyle jeotermal akışkan-kayaç etkileşimini tanımlamak, jeotermal suların hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal yöntemlerle oluşumunu ve gelişimini incelemek ve jeotermal akışkan-kayaç etkileşimi çerçevesinde jeotermal sistemin oluşumunu bir model içinde koymaktır.

2. KAYNAK BİLGİSİ

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

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

Şimşek vd. (1980), Germencik-Ömerbeyli jeotermal sahasını detaylı çalışmışlardır. Bu alanda Menderes metamorfiklerinin genel stratigrafik istifi ile sahanın jeotermal potansiyelini ortaya koymuşlardır. **Şimşek (1984)**, Silika karışım modeli ile Germencik sahasında rezervuar sıcaklığını 220-240°C aralığında hesaplamış, sondaj çalışmaları sonucunda bölgede Neojen çakıldaşlarının birinci rezervuarı (~200°C), Menderes metamorfiklerine ait albit, gnays ve kuvarsit-kalkşist, mermer birimlerinin ikinci rezervuarı (232°C) oluşturduklarını, kıltaşı, kumtaşı ve çakıldaşı ardalanmasından oluşan Neojen yaşlı birimin ise örtü kayacı oluşturduğunu bildirmiştir. **Şimşek (2003)**, Kızıldere, Germencik ve Aydın jeotermal alanlarında yüksek sıcaklık ile $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri arasında gözlenen pozitif korelasyonun, bu bölgelerdeki derin dolaşımı ve su-kayaç ilişkisini işaret ettiğini belirtmektedir. Araştırmacı Pamukkale, Karahayıt, Gölemezli, Yenice alanlarının ve Söke bölgesinin düşük sıcaklıklara sahip olmasını ve küçük izotop değişimlerini sığ dolaşımli sulara ve yüzeysel soğuk sularla karışıma bağlamıştır.

Gülay (1982), Gravite ölçümleri ile Germencik bölgesindeki Kızılcagedik horstunda mostra veren metamorfiklerin kuzeyde ve güneyde Neojen örtü altında devam ettiğini saptamıştır.

Filiz (1984), Ege Bölgesi'nde yüzeylenen önemli jeotermal alanları (Çeşme-Seferihisar, Dikili-Bergama, Denizli, Sındırgı-Hisaralan, Bayındır-Dereköy, Aydın-Germencik) $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$, $\delta^3\text{H}$, $\delta^{13}\text{C}$ izotopları ile incelemiş, Aydın-Germencik yöresi

$\delta^{18}\text{O}$ zenginleşmesinin yüksek olduğu alan olduğunu belirterek Kızıldere jeotermal sahasından daha önemli olduğunu vurgulamıştır. **Filiz vd. (1999)**, Çalışmalarında şu sonuçlara varmışlardır; İnceleme alanındaki sıcak sular jeotermal alanların çoğunda olduğu gibi meteorik suların derinlere süzülerek, ısınması ve genç faylara bağlı olarak yüzeylemesi şeklinde açıklanabilen devirli sistemdedir. Alandaki yapılan izotop analiz sonuçları kısaca yüksek entalpili, meteorik kökenli (çok az miktarda magmatik bileşen içerebilen) ve yaşlı sulardan (trityum içermediğinden en az 50 yıllık) oluşan jeotermal sistemlerin varlığını göstermektedir.

Jeotermal sistemlerdeki tüm sıcak sular sodyumlu, klorürlü ve bikarbonatlı su tipini yansıtırlar. Bölgedeki olası yeraltı suyu hareketi boyunca karışık su tipindeki soğuk sular jeotermal sistemlerde ısınır, su-kayaç arasında gelişen çeşitli tepkimeler ile ilksel yapılarını yitirerek, $\text{Na-HCO}_3\text{-Cl}$ karakterli su tipine dönüşürler. Jeotermal suların sınıflamasında seyreltik, klorürlü ve bikarbonatlı sular sınıfındadırlar. İnceleme alanındaki sıcak suların mineral doygunluk indekslerine göre kaynaklarda karbonatlı ve silisli minerallerin, derin kuyularda ise yalnızca karbonatlı minerallerin kabuklaşması beklenmelidir. Sülfatlı minerallerin kabuklaşması ise alandaki hiçbir su çeşidinde beklenmemelidir.

Karamenderesi ve Helvacı (1994) ve Karamenderesi (1997), Jeotermal alanlarda bulunan kayalarda REE ve diğer elementleri ölçmüşlerdir. Çalışmaya göre Salavatlı jeotermal alanında (800-1600 ppm) Ömerbeyli jeotermal alanına (50-230 ppm) göre daha yüksek B oranına sahiptir. Bor içeriklerindeki farklılıklar B/Cl oranında farklılıklar yaratır. B kısmen (azalan sıraya göre) kuvars damarlarında turmalin 15 gnayslarda, illit-klorit-feldspat zonlarında ve kuvars-klorit şist zonlarında artış gösterir. Bunun yanında bor mermer ve gabrolardan gelir. B (ve Li) litolojiye bağlı olarak farklılıklar gösterir. Ömerbeyli jeotermal alanında mermerlerden gelen B (~50 ppm 1400 m) albit-amfibolit şist zonundan gelen bora göre (~200 ppm ~1400 m) daha düşüktür. Çalışmada B/Cl oranlarının farklılığına göre jeotermal sularda bulunun borun tamamen manto kaynaklı olmadığı belirtilir. **Karamenderesi ve Helvacı (2001)**, Büyük Menderes vadisinde bulunan yüzey sularının jeotermal sistemler veya Kızıldere sahasının etkileri ile kirletildiğinin yanlış bir görüş olduğunu savunmuşlardır. İncelemede Aşağı Büyük Menderes vadisinde, aşırı yeraltısuyu tüketimi ve su kullanımının kontrolsüz olmasına bağlı olarak; Büyük

Menderes nehir yatağında ve su tablasında alçalmanın olumsuz etkilerini ve kirli yüzey sularının yeraltına karıştığı ortaya konmuştur. Bu kirliliğin, Büyük Menderes vadisindeki jeotermal tesislerin üst boşalım bölgelerindeki dengeyi bozduğu, jeotermal sistemleri kirletmeye başladığı şeklinde ifade edilmiştir. **Karamanderesi ve Helvacı (2003)**, Menderes masifindeki tektonik gelişim ve evreleri ile hidrotermal alterasyonların ilişkili olduğunu ifade eder. Salavatlı jeotermal alanında gözlenen kuvars, albit, klorit, kalsit aragonit, dolomit, kaolinit, illit, montmorillonit, speküler hematit, jips, dikit, vermikülit, pirit, siderit ve hidrobiyotit hidrotermal alterasyon mineralleridir. Bu minerallerin varlığı aktif jeotermal akışkan dolaşımının halen aktif olduğunu göstermektedir.

Giese (1997), Menderes Masifi jeotermal alanlarında yaptığı incelemede, sıcak suların dinamik denge koşulları ve gelişimini, çevresel jeolojik koşullarını ve jeotermal sahalarda kabuklaşmaya neden olan etkenlerini araştırmış, tüm alanların enerji ve materyal dengesini saptamıştır. Bu çalışma ile bölgesel ölçekte jeotermal bir model ortaya konmuştur. Çalışma kapsamında çeşitli bilgisayar programları kullanılarak, rezervuar akışkanın karakteristik özellikleri belirlenmiş ve re enjeksiyon için gerekli koşullar belirtilmiştir.

Özgür ve Pekdeğer (1998), Kıtasal rift zonlarındaki tektonizmanın etkinliğine bağlı olarak meteorik suların güncel sub-vulkanik aktiviteyle ısındığını belirtmiştir. Yüksek sıcaklık ve su-kayaç ilişkisine bağlı olarak masifteki kristalli kayaçlarla reaksiyona girdiğini, magmatik CO₂ ve H₂S 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 oynadığı ortaya koyulmuştur. **Özgür, (1998)**, Menderes Masifinde aktif ve pasif jeotermal sistemlerde yaptığı çalışmada jeotermal sistemleri tektonik ve volkanizma yönünden detaylı incelemiştir. Bu çalışmada jeotermal sulardaki yüksek bor kökeninin su-kayaç etkileşimi yolu ile masifte yüzeylenen kayaçlar olacağını, diğer yandan CO₂, H₂S ve NH₃ gaz çıkışlarının magmatik bir kaynağı işaret edebileceğini belirlemiştir. **Özgür vd., (1998)**, Kızıldere, Salavatlı ve Germencik jeotermal alanlarında meteorik suların ısınmasını iki ayrı nedene bağlar, Menderes Masifi kıtasal rift zonlarında kalkalen bazik ve ortaç volkanik kayaçları içeren intrüzif kayaçların Orta Miyosenden başlayarak Kuvaternere kadar aktif

volkanizmanın geliştiği birçok çalışma ile ortaya konduğu dolayısıyla mantodan gelen bazik volkanik kayalar karakterize eden yüksek orandaki manto kaynaklı helyum elementinin Kızıldere ve çevresindeki jeotermal akışkanlar ile etkileşimde olduğunu belirtir. Bu nedenle Büyük Menderes kıtasal rift zonunun derinliklerinde bir magma odasının varlığının kabul edilebilir olduğunu ifade eder.

Şahin (2002), Aydın-Germencik sahasında jeotermal enerji amaçlı ve yaklaşık 120 km² lik bir alanda, jeofizik-öz direnç çalışması yapmıştır. Bu çalışmada, yer altında iki etkin jeotermal enerji üretim zonu belirlemiştir. Bunlardan birincisi kuzeydeki nispeten sığ ve orta enerjili Arzular grabenidir. İkincisi ise güneydeki Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarında ve Kızılcagedik yükseliminin güney kenarında yer almaktadır. Bu büyük zonun oldukça derin ve yüksek enerjili bir jeotermal alan olduğunu saptamıştır. Jeofizik araştırmalar sonucunda, Büyük Menderes Grabeni'ni oluşturan fayların toplam atımlarının yaklaşık 3000 m civarında olduğunu bildirmiştir.

Güner ve Yıldırım (2005), Ömerbeyli-Germencik jeotermal alanı ve çevresindeki termal suların $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotop analizleri bu suların meteorik kökenli olduğunu göstermiştir. Termal suların $\delta^2\text{H}$ analizleri, çalışma alanı çevresindeki en yüksek topoğrafik kotlara ait $\delta^2\text{H}$ analizleri ile hemen hemen aynı hatta biraz daha hafif değerler almaktadır. Bu ise beslenmenin günümüzdeki iklim koşullarından daha soğuk iklim koşulları altında meydana geldiğini göstermektedir. Termal suların $\delta^{18}\text{O}$ izotop değerleri yüksek sıcaklıktaki su-kayaç ilişkisi yüzünden zenginleşmiştir. Suların $\delta^{13}\text{C}$ izotop değerleride oldukça zenginleşmiştir. Bu zenginleşme tatlısu-tuzlusu karışımına itibaren dahada artmıştır.

İnceleme alanının temelinde yer alan Menderes Masifi'ne ait gnays, kuvars-şist, gibi çatlaklı kayalar ile karstik mermerler jeotermal sistemlerin yüzeyden itibaren ikinci haznesini, Neojen yaşlı çakıltaşları ise birinci haznesini oluştururlar. Neojen yaşlı kırıntılı tortulların killi düzeyleri ise örtü kaya özelliğindedir. Graben tektoniğine bağlı yoğun tektonik etkinlik ve yüzeye yaklaşmış olan magma, sistemlerin ısı kaynağını oluşturur.

Ömerbeyli-Germencik jeotermal alanı ve çevresindeki termal sular hidrokimyasal verilere göre tatlısu-tuzlu karışımından meydana gelmiştir. Şu andaki karışım miktarı ortalama olarak %8 dolayındadır. Phreeqc jeokimyasal modelleme programı kullanılarak tatlısu-tuzlusu karışım suyu oluşturulmuştur. Varsayımsal olarak oluşturulan karışım suyu ile ÖB kodlu termal suların iyonlarındaki belirgin farklılık CO₂(gaz) getiriminden dolayı HCO₃ iyonunda, alkali minerallerin çözünmesinden dolayı Na ve K iyonunda artış meydana gelmiştir. Jips, kalsit, illit gibi alterasyon minerallerinin oluşması sonucunda ise Ca, Mg ve SO₄ iyonlarında azalma gerçekleşmiştir.

Karakuş (2010), Büyük Menderes Grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi çalışmasını yapmış, Çalışma alanı genelinde termal çıkışlar çoğunlukla Na-HCO₃ tipi sular sınıfına girmektedir. Batıya doğru, Ömerbeyli sahasından itibaren güncel/paleo deniz suyunun etkisi ile hidrokimyasal fasiyes Na-Cl türüne dönüşmektedir. Termal suların sülfat derişimleri bölgesel olarak sistematik olarak değişmektedir. Kızıldere ve Tekkehamam'daki derin kuyu sularının sülfat derişimleri 750-1700 ppm civarında iken, batıya doğru giderek azalmakta sırası ile Salavatlı sahasında (AS-1, AS-2) 150-173 ppm, Serçeköy (ASK-1) ve Yılmazköy (Y1) 86-87 ppm, Ömerbeyli ve Çamur-Bozköy sahalarında ise 10-20 ppm'e kadar düşmektedir. Ege denizine yakın bölgelerdeki Mağara, Tuzburgaz gibi noktalarda deniz suyunun katkısıyla bu iyon derişiminde tekrar artış gözlemiştir. Bölgenin meteorik su doğrusunun denklemi ılık su kaynaklarının duraylı izotopik içeriklerine göre $\delta D = 8 \times \delta^{18}O + 16$ olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklıklı rezervuara sahip sahalarındaki suların H/D oranlarının, bu sahaların yakın civarında bulunan ılıksu kaynaklarının H/D oranlarına benzerlik göstermeleri nedeniyle bölgedeki jeotermal akiferlerin meteorik kökenli yağışlardan beslendiğini saptanmıştır. Yüksek sıcaklığa sahip sular, su-kayaç etkileşimi sonucundaki ¹⁸O izotopu bakımından zenginleşme sürecine uğramışlardır.

Kuvarsa dayalı jeotermometre eşitlikleri Ömerbeyli sahası için kuyu tabanlarında ölçülmüş sıcaklıklara oldukça yakın değerlerde, 238-245°C arasında rezervuar sıcaklıkları türetmişlerdir. Kalsedon formuna dayalı jeotermometreler ile Yılmazköy ve Serçeköy sahaları için sırası ile 166-173°C ve 154-160°C lik sıcaklıklar hesaplamıştır.

3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

3.1. Stratigrafi

Ömerbeyli Jeotermal alanı Germencik ilçesi kuzeydoğusunda 1/25.000 ölçekli Aydın M 19 a1,a2,a3,a4 paftalarında yer almaktadır. Bu paftalar ve dolayında jeolojik çalışmalar MTA tarafından yapılmıştır (Şimşek vd., 1979; Şimşek, 1981, 1984, Şimşek ve Gülgör, 1988, MTA, 2005). Bu çalışma kapsamında hazırlanan jeoloji haritasında önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adlamaları dikkate alınarak benzer yaş ve kayaç türleri birleştirilerek kullanılmıştır. Bölgede Paleozoyik yaşlı Menderes Masifine ait metamorfik kayalar, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaternere ait çökel kayalar ve Pliyosen yaşlı volkanik kayalar bulunmaktadır Menderes Masifinin metamorfikleri çeşitli kesitlerde tabandan tavana doğru; gnayslar, mermer, kuvarsit ve çeşitli şistlerden oluşmuştur. Miyosen yaşlı birimler kırmızı çakıltası, kumtaşı, kila taşı ardalılarından oluşmuş ve alt seviyelerde kömür içermektedir. Pliyosen birimleri olarak; Alt Pliyosene ait çakıltası, kumtaşı ardalı (aralanması) ve Pliyo-kuvaterner yaşlı iri çakıllı bloklu çakıltası ve kumtaşları haritalanmıştır. Pliyosende gelişen volkanik etkinlik sonunda dasitler oluşmuştur. Kuvaternerde alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpazeleri ve traverten gelişmiştir (Şekil 3.1).

3.1.1. Paleozoyik

Germencik yöresinde görülen en eski birimler Paleozoyik yaşlı Menderes Masifine ait metamorfiklerdir. Çeşitli gnays, kuvarsit, kalkışist, klorit, biyotit, muskovit şist ve mermerlerden oluşan bu metamorfikler, almandin-amfibolit ve yeşil şist fasiyeslerinde metamorfizma geçirmişlerdir. Çalışma alanındaki metamorfikler ilksel kayanın kimyasına, türüne ortam ve fasiyesine, geçirdikleri metamorfizmanın niteliğine göre değişik kayalardan oluşmuşlardır. Birbirleriyle yanal ve dikey geçişlidir (Şimşek vd., 1979). Sahada görülen genel istif alttan itibaren çeşitli gnayslar, çeşitli şistler, kuvarsit, mermer, şist ardalı (aralanması) şeklindedir.

3.1.1.1.Gnays

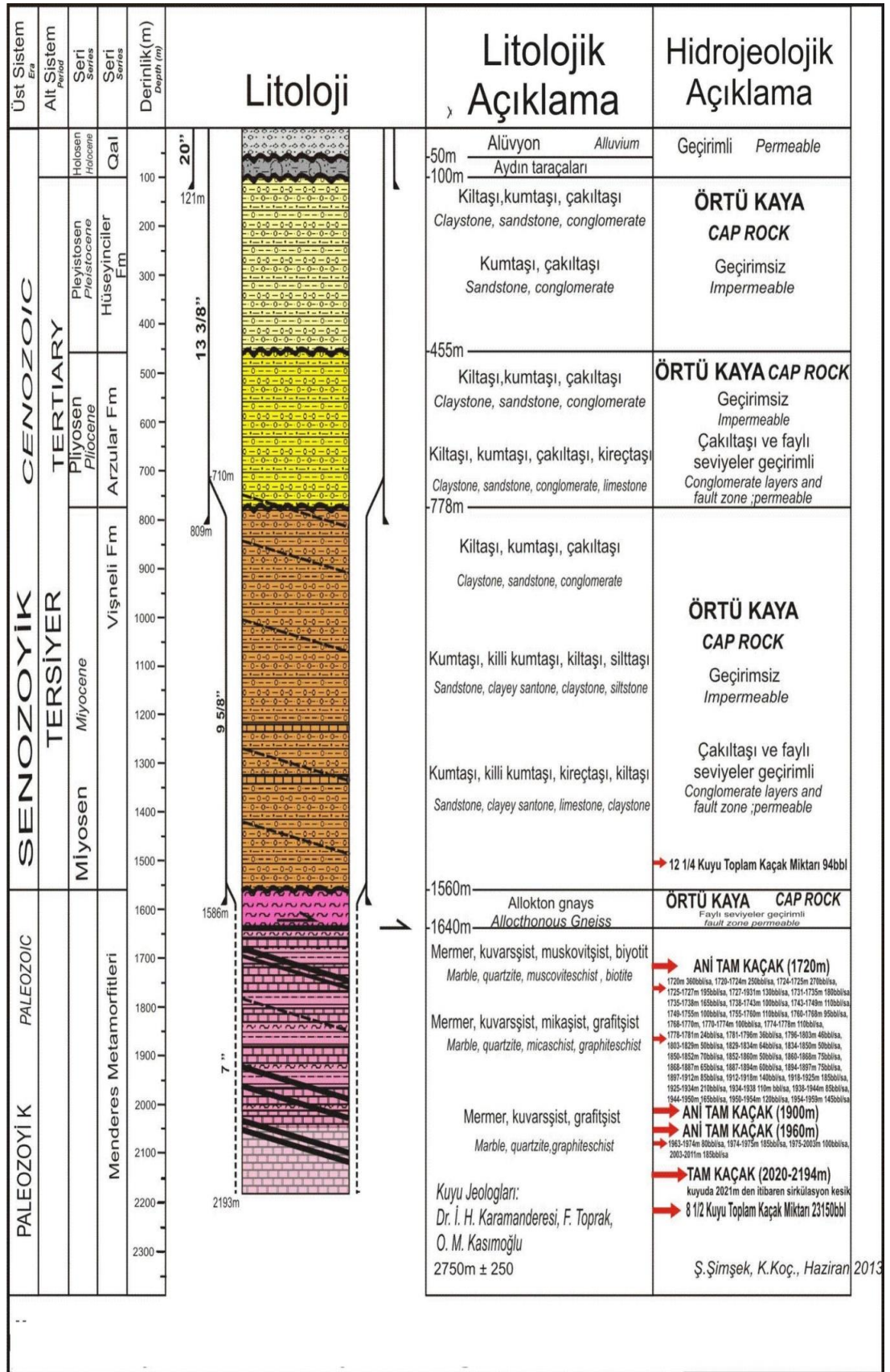
Menderes masifinin temelini oluşturan gnayslar inceleme alanının güney bölümünde Koçarlı Horst'unda, kuzeyde Kızılcagedik ve Bozköy Horst'unda da görülmektedir. Büyük bölümü paragnays olan bu birim, ilksel kayacın bileşim ve metamorfizma derecesine göre çeşitlilik göstermektedir. Buna göre; gnays, benekli gnays, albit gnays gibi adlar almaktadır. Bazı gnayslar iri feldspat porfiroblastları ile kolayca tanınırlar, bunlara gözlü gnays adı verilmiştir. Taze yüzeyde sert, keskin kırıklı ve eklemlidirler. Stratigrafik dizilimde, sahada temeli oluşturan gnays dışında Miyosen öncesi gelişen sürüklenim nedeniyle gelen gnaysların, temeldeki gnays kütlesiyle aynı metamorfizma özelliği gösterdiği saptanmıştır (Şimşek vd., 1983). Şist ve mermerler üzerinde sürüklenimle gelen bu gnayslara "Allokton gnays" deyiimi kullanılmıştır Bozköy'de görülen kesit tipiktir. Bu kesit Arzular ve Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey bölümünde de görülmektedir. Ömerbeyli'de yapılan sondajlarda da Neojen örtü altında ilk kesilen birim olmuştur. Kalınlığı kuzeyde 414m'yi bulmakta güneye doğru 52 m'ye düşmekte ve daha güneyde muhtemelen kaybolmaktadır (Şimşek, 2008).

3.1.1.2. Şistler

Temeli oluşturan gnaysların üzerine gnays, kuvarsit, mikaşist geçişinden sonra çeşitli şistler gelmektedir. Çeşitli şistlerden oluşan bu birimde yanal ve dikey geçişler görülmektedir. Koçarlı Horstu ve Bozköy horstunda yaygın mostra verirler. Yapılan petrografik analizlere göre mikaşistler olarak tanımlanan seviyeler başlıca granat, albit, biyotit, klorit, kalk şist ve fillitlerden oluşmuştur. Üst seviyelerde fillit ve kalk şist yaygındır. Çeşitli seviyelerde ve kalınlıklarda mermer zonları kapsamaktadır. Şistlerin kalınlığı 2000 m'den fazladır. Mermerlerin üst seviyelerinde görülen koyu kahverengi, siyah kuvarsit, grafitşist, kalkşist ve mermer ardalanmasından oluşan birim tipiktir. Sahada ikinci rezervuarın üst zonları bu birim içinde gelişmiştir. Açılan kuyularda yapılan testler sonucu bu zonlardan yeterli verim alınmadığı görülmüştür (Şimşek, 2008). Söke KB sında mikaşistler arasında, bazik ve ultrabazik kökenli kayaların metamorfizması ile oluşan yeşil şistler yer alır. Koyu yeşil, siyahımsı yer yer açık yeşil çatlaklı ve eklemlidirler.

3.1.1.3. Mermer

Germencik jeotermal alanında II. rezervuarı oluşturan en önemli litolojik birim olarak belirlenen mermerler, Bozköy Horstunda, Gümüşdağı ve Samsundağında çok geniş mostra vermektedir. Sahada özellikle, Söke dolayında mermerlerin kalınlıkları 50-500 m arasındadır. Şistler içinde yer alan mermerler tek bir kalın seviye olarak görülebildikleri gibi genellikle şistlerle ardalanmalı olarak ve birkaç seviye halinde de rastlanmaktadır. Açılan kuyularda 100-1000 m. arasında mermer ve mermer ardalanmalı şist seviyeleri katedilmiştir. Kalın mermer seviyeleri genellikle ak, iri kristalli, sert, bol eklemlidir. Şistlerle ardalanmalı seviyeler ise ak, gri, iri ve ince kristalli, mika pullu, kırılğan, bol eklemlili, ince-orta belirgin katmanlıdır (Şimşek, 2008).



Şekil 3.1. Menderes Masifi'nin sadeleştirilmiş kaya stratigrafi birimleri (Şimşek vd., 2013)

3.1.2. Senozoyik

Çalışma alanında Neojen yaşlı çökel kayalar olarak Miyosen, Pliyosen, Pliyo Kuvaterner ve Kuvaterner yaşlı çökeller yaygındır (Şimşek vd., 1979). Ayrıca, Pliyosen yaşlı asit volkanitler bir kaç mostrada izlenmektedir.

3.1.2.1. Miyosen çökelleri

Çalışma alanında, Söke batısında mostra veren Miyosen birimleri başlıca kırmızı ve kahverengi çakıltası, kumtaşı, kırmızı miltaşı, kıltaşı aralanmasından oluşmuştur. Söke ve Aydın dolayında kömürlü seviyeler vardır. ÖB-1 kuyusunda da 897-903 m arasında ince kömürlü (linyit) zonları kesilmiştir (Karamandere vd., 1982). Menderes Metamorfikleri (Paleozoyik) ile bu birimler üzerine açılı uyumsuzlukla gelen ilk birim olan karasal-gölsel çökeller (Miyosen) arasında büyük bir stratigrafik boşluk (lakün) vardır. Sahada yaygın mostraları görülmemesine rağmen açılan kuyularda 117-735 m gibi kalınlıklarda kesilmiştir Çakıltaşlarının kalın olduğu faylı zonlarda tali rezervuarlar oluşabilmektedir. ÖB-1 ve ÖB-4 no'lu kuyularda bu zonlardan üretim yapılmıştır. Havzada Miyosen çökellerinin çökeli yerele olduğundan kalınlığı 0-750 m arasında değişmektedir. Grabenin ortasına doğru kalın olan bu birim grabenin kuzey kenarına (Kızılcagedik Horstuna) doğru incelmekte ve daha kuzeyde yok olmaktadır. Kuzeyde Bozköy Horstunda ise Miyosen birimleri görülmemektedir.

3.1.2.2. Pliyosen çökelleri

Grabeni bölümünde yaygın olarak rastlanan bu birim açık boz renkli çakıltası, kumtaşı ve kıltaşı aralanmasından oluşmuştur. Özellikle, sahanın kuzey kesiminde Menderes Metamorfikleri üzerine doğrudan açılmalı uyumsuzlukla gelmektedir (Şimşek, 1981). Arzular Grabeninde ve Bozköy Horstunda yaygın mostraları gözlenmektedir. Açılan bütün kuyularda kesilen bu birimin kalınlığı 27-236 m arasında değişmektedir.

3.1.2.3. Pliyokuvaterner

Sarımsı, kötü boylanmalı, kaba, iri bloklu ve çakıllı, gevşek tutturulmuş çakıltası, kumtaşı ar dalanmasından oluşan birimde, yer yer kil ve miltaş se viyeleri ve mercekleri görölmektedir. Litolojiler tipik selinti ürünü olup, yanal ve düşey yönde geçişlidir (Şimşek, 1981). Grabenler içinde yaygındır. Kalınlığı değişken ve graben ortasında 500 m'den fazladır. Kuyularda 38-322 m arasında kesilmiştir.

3.1.3. Volkanik kayaçlar

Germencik doğusunda, Söke ve Batısında yer alan ve yer yer Pliyosen çökellerini kesen Pliyosen ve Pliyokuvaterner yaşlı genç volkanitler belirlenmiştir. Volkanitler Söke ve batısında bazalt ve andezitten, Germencik batısında Ortaklar yakınında ise, dasit ve andezitten oluşmaktadırlar. Söke batısındaki volkanik çıkışlar KD-GB doğrultulu lav domu zinciri şeklinde görölmektedir. Ortaklar kuzeyinde Çataltepe ve Kaynaktaş mevkiinde görülen dasit çıkışı 3 km² lik bir alanı kaplamaktadır. Taze kaya sarımsı, sert, keskin köşeli kırıklı ve eklem takımları belirgindir. Uzanımı Ömerbeyli fayı doğrultusunda olup BKB-DGD dir. Asit volkanit olarak görülen ve jeolojik haritaya işaretlenen bu volkanik çıkışların jeotermal enerji açısından ilk değerlendirmeler yapılırken sahanın olumlu olacağının bir delili olarak görölmüştür. Aynı zamanda yöredeki yüksek ısı gradyanının açıklanmasına yardımcı olmuştur (Şimşek, 1981). Ayrıca, ÖB-6 sondajında 760-770 m'lerde olivin bazalt dayk kesilmiştir (Çiçekli vd., 1986).

3.1.4. Kuvaterner

İnceleme alanında Kuvaternerde, alüvyon, yamaç molozu, alüvyon yelpazesi ve traverten görölmektedir. Büyük Menderes vadisinin kenarından ortasına kadar kalınlaşarak 150-200 m'yi bulan ve başlıca tutturulmamış veya çok az tutturulmuş çakıl, kum, mil ve kilden oluşan alüvyon dolgusu çok yaygındır (Şimşek, 2008). Genişlik Germencik'te 13 km Söke'de ise 20 km kadardır. Açılan sondajlarda 12-54 m kalınlığında kesilmiş olup, genellikle geçirimli ve yeraltısuyu içermektedir.

3.1.4.1. Alüvyon yelpazeleri

Aktif kenar fayları ile belirgin Kızılcagedik ve Bozköy Horstlarının güney bölümünde horstları yaran derelerin vadiye ulaştıkları bölümlerde görülmektedir (MTA, 2005). Başlıcaları; Ömerbeyli, Akçeşme, Balatçık alüvyon yelpazeleridir.

3.1.4.2. Yamaç molozu

Horstların ana faylarının düşük blok yamaçlarında çok yaygındır. Ömerbeyli ve Alangüllü dolayında geniş alanlar kaplar. Bozköy ve Gümüş kaplıca kaynağından çıkan sular, başlıca CaCO_3 tan oluşan ak ve sarımsı traverten çökeltisi oluşturmuştur (Şimşek, 2008). Sıcak su kaynakları dışında görülmemektedir. Bozköy’de traverten içinde yer yer kükürt çökelişi de mevcuttur.

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Metod

Arazi çalışmalarında iki türlü örnek alımı gerçekleştirilmiştir. Birincisi çalışma alanında açılan arama ve işletme sondaj kuyusundan alınan kırıntı örnekleridir. Bu kırıntı örneklerinin ortaya çıkışı zamanı hesap edilir. Bunların hangi derinlikten alınan gerçek kırıntı olduğu tespit edilir. Kırıntı elekten geçirildikten sonra soğuk su ile kuyu çamurundan arındırılacak şekilde önce kabaca yıkanır. Daha sonra detaylı yıkanarak kuyu başında Binoküler mikroskop altında kuyu başı tanımı yapılır. Deftere kaydı yapılır. Elekten alınmış olan ilk yıkanmış kırıntı örneği yarıya bölünür. Yarıısı ön yıkama sonucu ayrı ambalajlanır. Geri kalan kırıntı örneği tam olarak iyice yıkanır. Kuyuda kil var ise bile kili yıkanarak giderilir. Daha sonra kalan kırıntı örneğinin kuyu başında Binoküler mikroskop altında ön tanımlaması yapılır. Kuyu jeolojisi defterine iyice not edilir. Kırıntı örneğinin alındığı sırada kuyudan gelen çamur sıcaklığı, kuyuya verilen çamur giriş sıcaklığı tespit edilir. Kırıntı örneğinin alındığı gerçek derinlik deftere yazılır. Daha sonra kuyuda geçilen formasyon veya kaya birimleri seviyelere ayrılır. Her zondan alınan kırıntı örneklerinin ince kesitlerinde Polarizan mikroskopta mineralojik ve petrografik tanımları yapılır. En son kuyudan gelen az yıkanmış numunelerin ihtiyaç duyulan seviyelerinde XRD, XRF veya çok önemli olan kırıntı örneklerinden elektron mikroskopta analiz edilerek kuyu jeolojisi, havza modeli, jeotermal sistemin geçmişi ve geleceği hakkında modelleme çalışmaları yapılır. Üretim ve geri besleme planlamaları buna göre organize edilir.

İkincisi çalışma alanından alınan jeotermal su örnekleridir. Çalışma alanı ve yakın çevresinden çok sayıda sıcak su örnekleri alınmıştır ve bunlara ait in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. En son olarak Ağustos 2014 tarihinde Bozköy 1 kuyusu ve Bozköy Çamur Kaplıcaları sondaj kuyusundan anyon, katyon, duraylı izotoplar ($\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$) ve trityum (^3H) analizleri için 2 (iki) adet su örneği alınmış ve aynı anda bunlara ait in-situ ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Burada alınan anyon örneği pH değeri 2 ile 3 arasında olacak şekilde derişik HNO_3 ile korumaya alınmıştır. Bu su örneklerinde anyon ve katyon analizleri akredite olmuş Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Laboratuvarlarında ve trityum ile

birlikte duraylı izotop analizleri akredite olmuş Isotech Laboratories, Inc. (Illionis, ABD) Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu bölümde, araştırmanın tüm aşamalarını içeren jeoloji, jeotermal suların hidrojeokimyası izotop jeokimyası, su örnekleri alımı ve sondaj kırıntıları, laboratuvar analizleri ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi ve yorumu yöntemleri tartışılmaktadır.

4.1.1. Jeolojik çalışma

Çalışma alanında bulunan GÜRMAT şirketine ait açılmakta olan arama, üretim kuyusundan belli seviyelerden kırıntı örnekleri alınarak saklanmış ve bu kırıntılar MTA Genel Müdürlüğüne gönderilerek, MTA laboratuvarlarında ICP-OES ile katyon ve iyon kromatografisi yöntemiyle anyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler araştırma bulguları bölümünde paylaşılmıştır.

GÜRMAT'a ait Efeler JES projesi kapsamında 2013 Haziran ayında açılan üretim, arama kuyusu yaklaşık olarak 2200 metre derine kadar sürmüştür. Bu kuyuda başlıca örtü kaya ve rezervuar kayası olmak üzere iki ana başlıkta toplamak mümkündür. Sondaj esnasında önemli olan seviyeler bizzat takip edilmiş ve de bu seviyelere ait sondaj kırıntıları şirket bilgisi dahilinde örnekler alınarak saklanmıştır.

Hidrotermal alterasyonun jeotermal sahalarda ne kadar önemli olduğunu daha önce detaylı bir şekilde ve örneklerle bahsedilmişti. Kuyu başında kuyu takibi esnasında beş metrede bir olmak kaydıyla, önemli görülen seviyelerde iki metrede bir hatta metrede bir numune alınarak sarı saklama kutularında saklanmaktadır. Binoküler mikroskopta incelenen örneklerde (Foto 4.2) alterasyon ürünleri gözlenmekte (pirit, kalkopirit, kaolen, kloritleşme vb,) ve bu ürünlerin gözlendiği metrelerden çeşitli örnekler alınarak XRD analizleri yapılmıştır.

Alınan numunelere ait örnek fotoğraflar, saklama kutuları ve ilgili logda hangi intervallere denk geldikleri aşağıda belirtilmiştir (Şekil 4.1.). Sondaj esnasında kuyu jeolojisi açısından kullanılan ekipmanlarda aşağıda gösterilmiştir.

Sondaj alışmaları esnasında alınan kırıntı numuneleri incelenerek geçilen formasyonların tayini ve hangi metrajın olduğu tayin edilir ve saklama kutularına konur (Foto 4.3). Mikroskop altında incelenen numuneler ışığında beklenir kesit revize edilerek kazılmakta olan kuyuya ait stratigrafik sütün kesit hazırlanır (şekil 3.1).

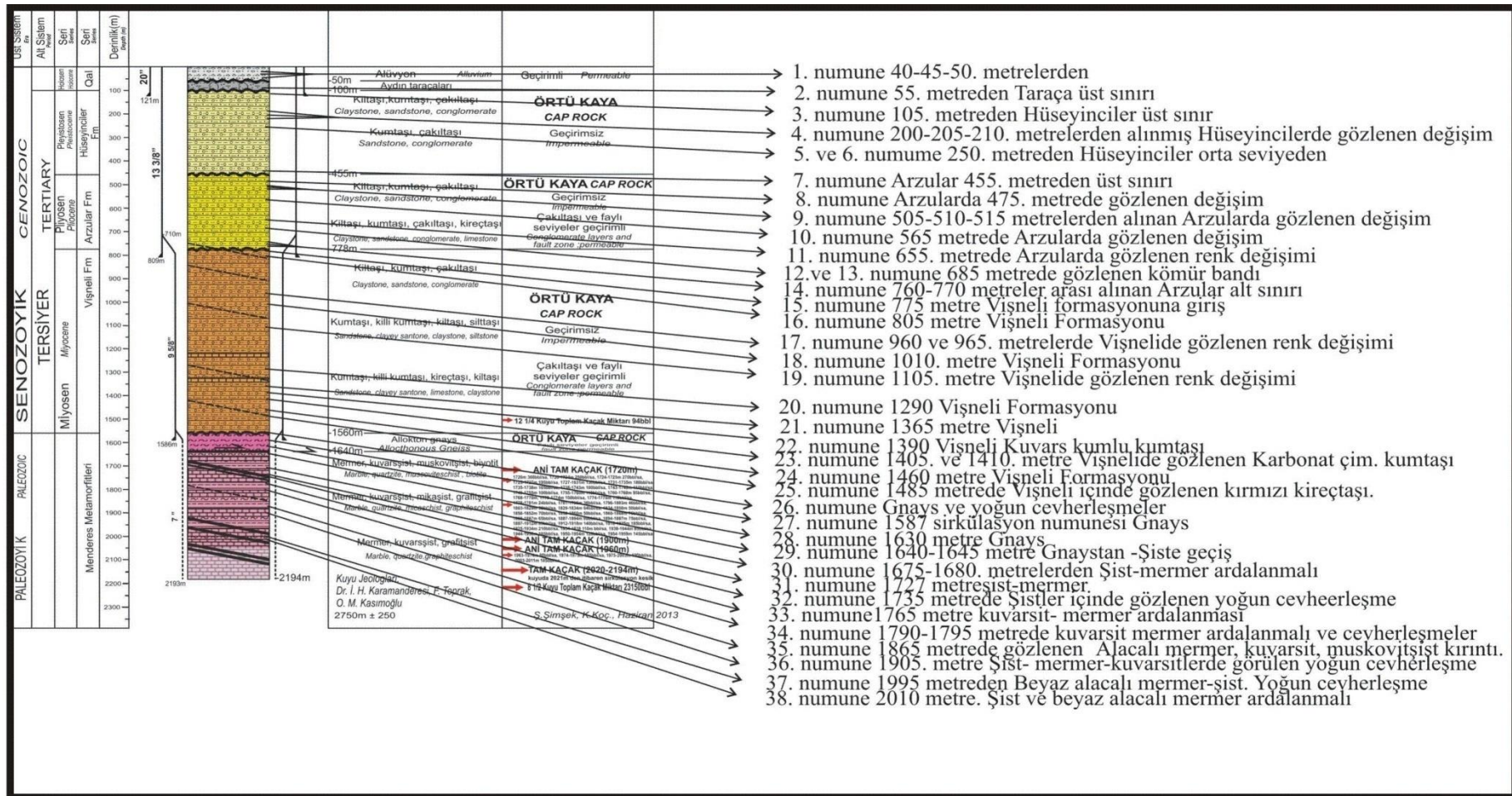




Foto 4.1. Sondaj kulesinden bir görünüm



Foto 4.2. Binoküler mikroskop



Foto 4.3. Kuyudan gelen kırıntıları saklama kutuları

4.1.2. Örnekleme 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 ağızları kapatılırken kapaklarına da su doldurularak kapatılmıştır. Katyon analizi için su örneğinde bazı maddelerin çökeliş 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 laboratuvarında 4°C 'de bekletilmiştir.



Foto 4.4. Su örneği in situ analizi (Ömerbeyli-Bozkoy yolu)

Yapılan saha çalışmalarında anyon ve katyon analizleri için toplam 2 adet su örneği toplanmıştır. Bu örneklerde in-situ analizleri 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 yapılmıştır (Foto 4.4).

4.1.3. Jeokimyasal ve hidrojeokimyasal analizler

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

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

Çizelge 4.1. İn situ cihazları özellikleri

In-situ Parametreleri	Ölçüm Birimleri	Cihaz adı ve marka
Sıcaklık	°C	Thermometer- Testo-95-1
Ph		pH meter-WTW 330İ
Redoks Potansiyeli (Eh)	Mv	pH meter-WTW 95
Elektriksel İletkenlik (EC)	µs/cm	Elektrical conductivity measure-WTW cond 330i and 340i
Çözülmüş Oksijen (O ₂)	Mg/l	Oximeter-WTW Oxi 340
Alkalinite	mmol/l	Alkalinity Test kit-Merek Aquamerck 11109

IC (İyon Kromatografi) kendi şarja dayalı iyon ve polar moleküllerin ayrılmasını sağlayan bir süreçtir. Enjekte edilecek çözelti, genellikle bir örnek olarak adlandırılır ve ayrı ayrı bileşenlerin analizleri olarak adlandırılır. Örnek 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.

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

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.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Kayaçların Hidrojeolojik Özellikleri

Sahada jeotermal model oluşumu ile ilgili olarak rezervuar, örtü kaya, beslenme ve ısı kaynağı ile ilgili yapılan değerlendirmeler ve hazırlanan jeotermal model aşağıda verilmiştir (Başkan, 1970, Keskin, 1972, Yüksel 1971, Şimşek vd., 1979; Şimşek, 1981, 1984, Şimşek ve Gülgör, 1988, MTA, 2005).

5.1.1. Ömerbeyli jeotermal sahası

5.1.1.1. Rezervuar kayacı

Ömerbeyli–Germencik jeotermal sahası 1982 yılında keşfedilmiş olup 1982-1986 yılları arasında arama ve üretim amacıyla 9 adet sondaj kuyusu açılmıştır. 2007 yılından itibaren ticari amaçlı elektrik üretim santralının inşasının başlaması ile bu tarihten sonra sahada yeni kuyular kazılmaya başlanmıştır. Bölgede Kızılcadegik yükselimini sınırlayan Ömerbeyli ve Hamitler fayları gibi normal faylar ile birlikte Kocabahçe fayı gibi basamaklı gömülü fay sistemi gelişmiştir (Şekil 5.1, 5.2). Arama sondajları sonucunda bölgede 2 ayrı rezervuar zonu belirlenmiştir (Şekil 5.3), (Şimşek ve Gülgör, 1988).

5.1.1.1.1. Birinci rezervuar kayacı

Miyosen birimleri içinde tabana yakın seviyelerdeki sert çakıltası seviyelerinde oluşmaktadır. Bu rezervuar ÖB-1 kuyusunda 970-1002 m. (203°C), ÖB-4 kuyusunda ise 215-285 m (217 °C) arasında kesilmiştir. Diğer kuyulardan ÖB-2 de I. rezervuara rastlanmış ancak, hedef II. rezervuar olduğundan bu seviyeler boru arkasına alınmıştır. Bunun nedeni, Germencik sahasında I. rezervuarın elektrik üretimi açısından verim ve sıcaklık yönüyle, II. rezervuara oranla yaygın ve işletilebilir nitelikte görülmemesidir (Şimşek vd., 1979). Ancak, bu birim sahanın güney

bölümündeki bazı lokasyonlarda örtü altında yüksek sıcaklıklı ve verimli rezervuar niteliği taşıyabilir.

5.1.1.1.2. İkinci rezervuar kayacı

Sahada yaygın ve ekonomik olarak elektrik üretimine uygun nitelikte görülen II. rezervuarda 216-232°C sıcaklıklar ölçülmüştür. I. rezervuara oranla daha fazla ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik gelişmiş olup, bu rezervuardan üretim yapan kuyularda verim daha yüksektir (ortalama 300 ton/saat). Başlıca mermer, kalkşist ve kuvarsit araldanmasından (yer yer allokton gnaystan) oluşan bu rezervuar ÖB-2, ÖB-3, ÖB-5, ÖB-6, ÖB-7, ÖB-8 ve ÖB-9 no'lu kuyularda katedilmiştir (Şimşek, 1984). Bu kuyularda kesilen rezervuar kalınlığı 171-1400 m arasında değişmektedir

Mermer dışında önemli fay zonları kesilen gnayslar da rezervuar özelliği taşıyabilmektedir. ÖB-5 kuyusunda 465 m, 495 m, 565 m ler arasında kesilen gnays zonlarında önemli çamur kaçakları tespit edilmiştir.

Sahada 2007 yılında elektrik üretim amaçlı 47.4 MWe kapasiteli santralin inşasına başlanmış, bu santrale akışkan sağlayacak yeni üretim kuyuları ve reenjeksiyon kuyuları kazılmış ve Mart 2009 itibariyle santralde elektrik üretimine geçilmiştir. Mevcut kuyulara ait özet bilgiler aşağıda sunulmuştur (Çizelge 5.1), (Şimşek ve Gülgör, 1988, Şimşek, 2008);

ÖB-1 Kuyusu: Sahada kazılan ilk arama kuyusudur. I. rezervuarda 1002 m de Miyosen çakıldaşlarında bitirilen kuyuda alınan en yüksek sıcaklık değeri 203°C olarak ölçülmüştür.

ÖB-2 Kuyusu: Sahada kazılan ikinci arama kuyusudur. Kuyu II. rezervuarda 975.5 m de kuyunun blow- out yapması nedeniyle bitirilmiştir. Kuyuda ölçülen en yüksek sıcaklık 232°C dir.

ÖB-3 Kuyusu: Kuyu, 1196.7 m de II. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyuda ölçülen en yüksek sıcaklık 232 °C dir.

ÖB-4 Kuyusu: Sahanın kuzey bölümünün jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla kazılan kuyu 284 m de I. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyu çok altere ve zayıf bir zondan üretim yapmaktadır. Üretim zonu üzerinde iyi bir örtü tabakası bulunmaması nedeniyle başlangıçta 217°C olarak ölçülen kuyu dibi sıcaklığı 196°C'ye düşmüştür.

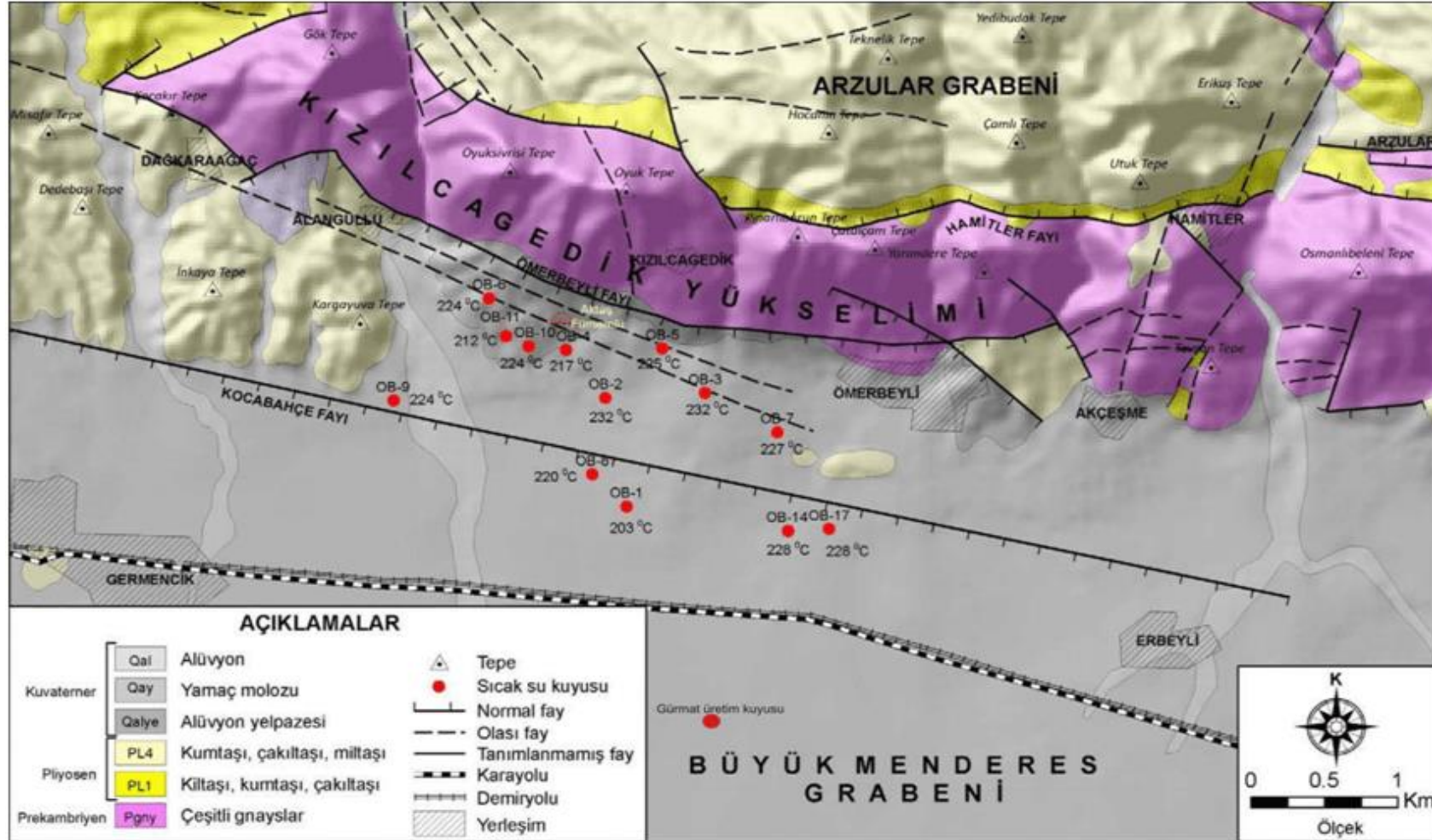
ÖB-5 Kuyusu: Sahanın kuzey sınırını bulmak amacıyla kazılan kuyu 1302 m de ikinci rezervuarda bitirilmiştir. Üretim borusu ise 930 m dedir. Kısa süreli üretim testlerinde hesaplanan en yüksek sıcaklık ise 225°C dir.

ÖB-6 Kuyusu: Sahanın kuzeybatı kısmının jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla kazılmıştır. Kuyu 1100 m de mermer-şistler içerisinde bitirilmiştir. Kuyuda ölçülen en yüksek sıcaklık 224°C dir.

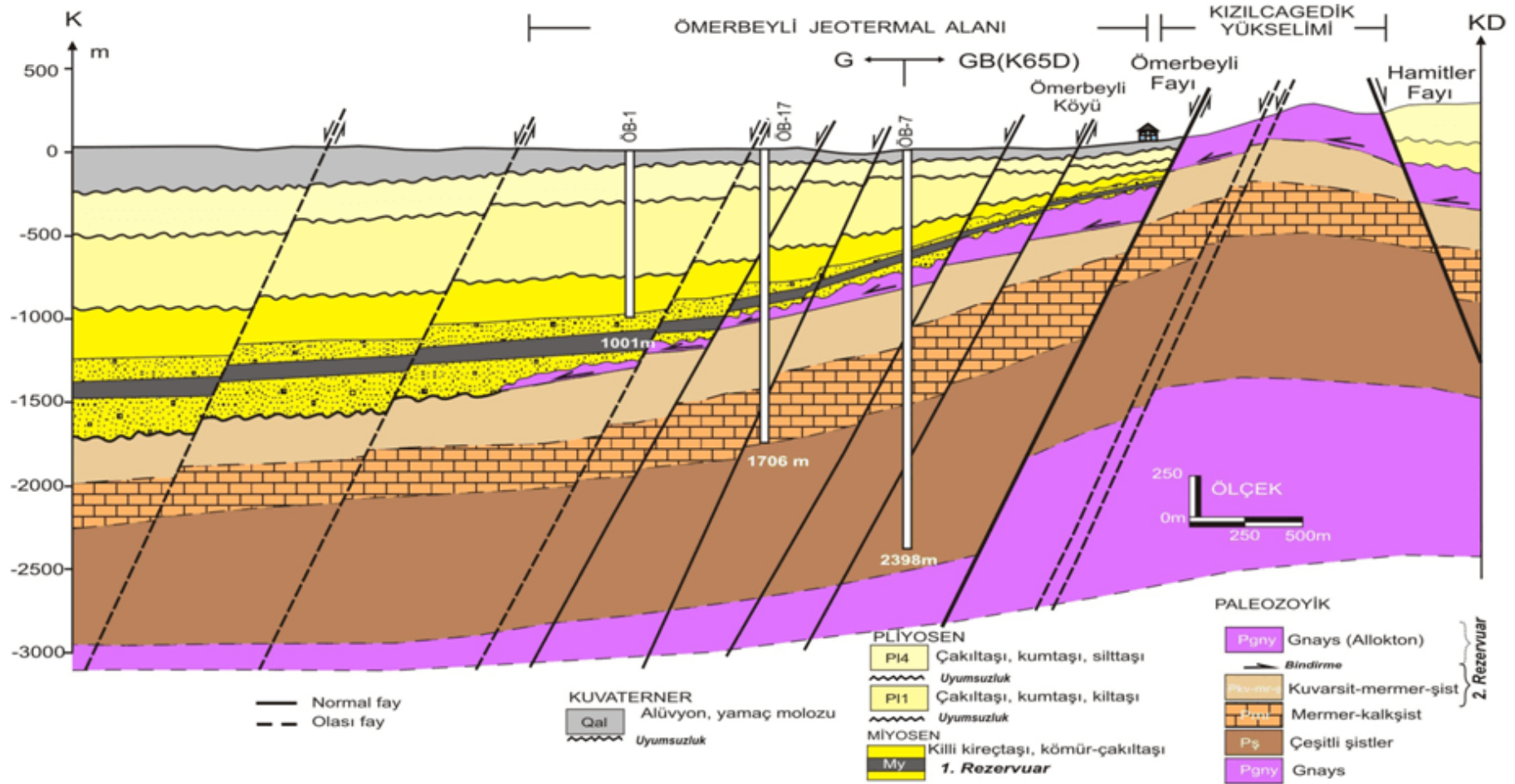
ÖB-7 Kuyusu: Sahanın doğu bölümünde II. rezervuar altında bulunduğu tahmin edilen gnaysların jeotermal akışkan kapasitesini araştırmak amacıyla kazılan kuyu 2398 m de hedeflenen gnayslara girilmeden II. rezervuar içerisinde bitirilmiştir. Ancak, kuyuda hedef derin rezervuarların araştırılması olduğundan kuyuda üretim muhafaza borusu 1389 m ye inilmiştir. Bu nedenle, özellikle 1000-1389 m arasında kalın mermerleri de kapsayan verimli rezervuar zonları kapalı boru arkasında kalmıştır. Sahada II. rezervuarın en kalın kesildiği bu kuyuda ölçülen en yüksek sıcaklık 227°C olmuştur.

ÖB-8 Kuyusu: Kuyu 2000 m derinlikte ve II. rezervuarda bitirilmiştir. Sahanın güneybatısının jeotermal enerji potansiyelini araştırmak amacıyla kazılan kuyuda yapılan ölçümlerde okunan en yüksek sıcaklık 220°C dir.

ÖB-9 Kuyusu: Sahanın Batı bölümünün jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla kazılan kuyu, 1465 m de II. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyuda ölçülen en yüksek sıcaklık 224°C dir.



Şekil 5.1. Ömerbeyli – Germencik jeotermal sahasının jeoloji haritası (Şimşek ve Gülgör, 1988)



Şekil 5.2. Ömerbeyli – Germencik jeotermal alanında derin arama kuyularından geçen jeolojik kesit (Şimşek, 2008)

Çizelge 5.1. Ömerbeyli – Germencik jeotermal sahasında açılan sondaj kuyularına ait özet bilgiler (Şimşek, 2008) *I. Rezervuar,**II.Rezervuar

KUYU NO	TARİH	SON DERİNLİK (m)	ÜRETİM YAPILAN REZERVUARA GİRİŞ(m)	KESİLEN REZERVUAR KALINLIĞI(m)	REZERVUAR LİTOLOJİSİ	MAKSİMUM REZERVUAR SICAKLIĞI(°C)
ÖB-1	1982	1001	968*	33**	Çakıltası	203
ÖB-2	1982	975,5	680**	294**	Gnays, kuvarşist, mikaşist,kalkşist, mermer	232
ÖB-3	1983	1195,75	700**	496**	Klorit, muskovit- kuvarşist,mermer, grafitşist,fillit	232
ÖB-4	1984	285	235*	45*	Çakıltası	217
ÖB-5	1984	1302	930**	330**	Mermer, mikaşist, kuvarsit,kalkşist	225
ÖB-6	1984	1100	900**	200**	Mermer, fillit, grafitşist	224
ÖB-7	1985	2398	1000**	1400**	Gnays, mermer, kuvarsit	227
ÖB-8	1986	2000	1300**	700**	Mermer, kuvarşist, mikaşist,kloritşist	220
ÖB-9	1986	1464,7	900**	564**	Mermer, fillit,kalkşist	224
ÖB-10	2007	1523	759	764	Mermer, kuvarşist,mikaşist, grafitşist	224
ÖB-11	2007	965	662	303	Mermer, kalkşist, kuvarşist	212
ÖB-14	2007	1205	978	228**	Gnays, biyotit-muskovit, kuvarşist,kalkşist	228
ÖB-17	2008	1706	1020	683**	Biyotit, muskovit, kalkşist,mermer	228

ÖB-10 Kuyusu: Sahada 2007 yılı içinde açılan 1523 m derinliğindeki kuyuda 225°C rezervuar sıcaklığı ölçülmüş olup test çalışmaları sürdürülmektedir.

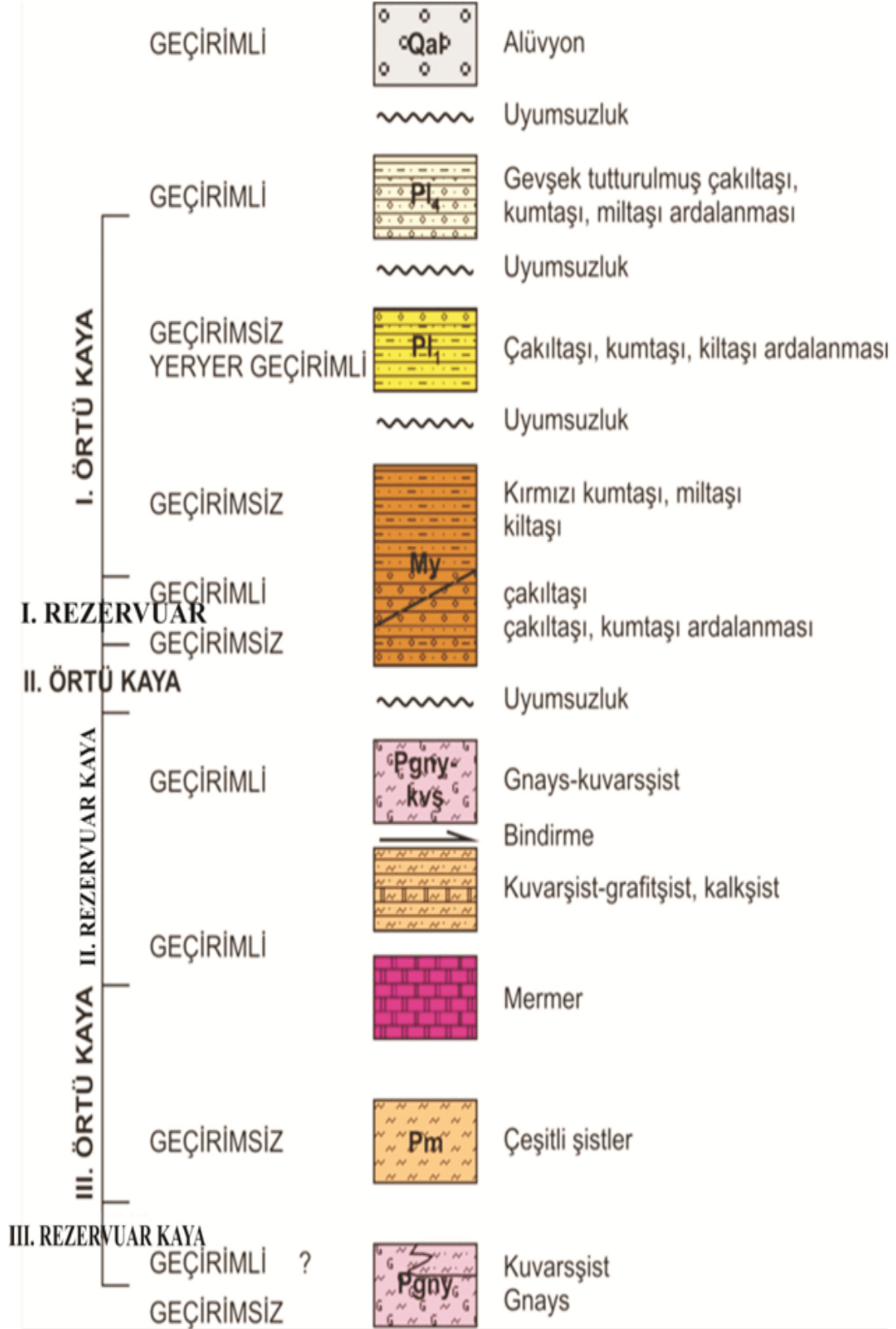
ÖB-11 Kuyusu: Sahanın batı bölümünün jeotermal potansiyelini araştırmak ve üretim miktarını artırmak amacıyla ÖB-6 ve ÖB-10 arasında kazılan üretim kuyusu, 965 m de II. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyuda yapılan ilk testlerde rezervuar sıcaklığı 212°C olarak ölçülmüştür.

ÖB-14 Kuyusu: Sahanın güney bölümünün jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla kazılan üretim kuyusu, 1205.6 m de II. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyuda taban sıcaklığı 228°C ve sahada en önemli üretim zonu olan mermerler kesilmesi nedeniyle üretim açısından verimli bir kuyu özelliği taşır.

ÖB-17 Kuyusu: Sahanın güney-güneydoğu bölümünün jeotermal potansiyelini araştırmak amacıyla kazılan ve verimli birimlerin kesildiği ÖB-14 kuyusunun yaklaşık 300 m doğusunda açılmış olup, 1706 m de II. rezervuarda bitirilmiştir. Kuyuda 1020 m kalınlığında örtü birimler ve 685 m kalınlığında da rezervuar birimler kesilmiştir. Kuyuda, kısmi kaçakların ve özellikle 1608-1630 m aralığında tam kaçak olması bu kuyuda üretim için önemli fay zonlarının kesildiğini ve kuyunun üretim için verimli özelliği taşıdığını göstermektedir. Kuyu yapılan İlk test sonuçlarına göre, ÖB-17 Kuyusunda rezervuar sıcaklığı 228°C ve üretim debisi 580 ton/saat olarak ölçülmüştür.

5.1.1.2. Örtü kayaçları

İnceleme alanında açılan kuyularda rezervuarları birbirinden ayıran ve geçirimsiz özelliği bulunan 2 örtü kaya topluluğu belirlenmiştir (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Germencik bölgesi hidrojeoloji birimleri. (Şimşek, 1984)

5.1.1.2.1. Birinci örtü kayacı

Germencik yöresinde karasal-gölsel çökel kayalar olarak yaygın bir şekilde izlenen Pliyosen-Pliyokuvaterner ve Miyosen birimlerinin kumtaşı-miltaşı-kiltaşı ardalanması sunan litolojileri, geçirimsiz özellik göstermektedir. Kiltaşları ve miltaşları poroziteleri yüksek olmasına karşın permeabiliteleri yok denecek kadar azdır. Ayrıca, grabenleşme sırasında diğer sert ve kırılğan litolojilerde ikincil geçirimsizlik gelişirken bu birimler akışkan ve ısı geçirmeyen özelliklerini korumuşlardır (fay zonlarındaki çakıltaşı seviyeleri hariç). Kalınlıkları Ömerbeyli fayından güneye doğru 100-1400 m arasında değişmekte ve güneye doğru daha da artmaktadır (Şimşek vd., 1984).

5.1.1.2.2. İkinci örtü kayacı

Miyosen tabanı, allohton gnays ve temele ait olan şist seviyeleri II. örtü kayayı oluşturmaktadır. Kalınlığı 300-500 m arasında değişmektedir. Birinci rezervuar ihmal edilerek I. ve II. örtü kaya birlikte değerlendirildiğinde hesaplanan kalınlıklar en kuzeydeki kuyudan en güneye doğru 730-1279 m arasında değişmektedir.

Kuyu loglarından, Senozoyik birimleri (Neojen+Kuvaterner), Allohton Gnays her iki birimin toplamı değerlendirilmiş ve Ömerbeyli sahası için izokor haritaları çıkarılmıştır (Şimşek, 1988). Buna göre; Kızılcagedik Horstunun Güney sınırını oluşturan Ömerbeyli fayından başlayarak Neojen birimlerinin kalınlığı 100 m den güneydeki kuyulardan ÖB-8 dolayında 1127 m'ye ulaşmaktadır. Allohton gnays ise en kalın kesildiği kuzeydeki kuyudan (414 m) güneye doğru gittikçe kalınlığı azalmakta ve muhtemelen ÖB-8 kuyusunun 250 m güneyinde bitmektedir. Buradan güneye doğru ise Neojen çökelleri doğrudan şistler üzerine gelmektedir.

Her iki örtü seviyesi birden değerlendirildiğinde ise yine kuzeyde ÖB-5 kuyusunda 730 m olan toplam örtü kalınlığı (geçirimsiz şistler hariç) güneyde ÖB-8'de 1279 m ye, karayolunda ise 1500 m ye ulaşmaktadır. Açılacak kuyulardan elde edilecek sıcaklık değeri ve akışkan kalitesine göre ekonomik bir değerlendirme yapılacak

olursa, karayolundan daha güneyde rezervuarlara derinde rastlanması beklendiğinden üretim kuyusu açılması ekonomik olup olmayacağı araştırılmalıdır (derinlik-üretim-sıcaklık yönüyle).

5.1.1.3. Beslenme

Jeotermal alanın beslenme hinterlandı çok geniştir. Beslenme alanı içinde bulunan Bozdağ, Kızılcagedik ve Koçarlı horstu ile Büyük Menderes Grabeni'nin coğrafik, jeomorfolojik, tektonik ve hidrojeolojik koşulları incelenmiştir.

Büyük Menderes vadisi su bölüm çizgisi bölgesel ve çok geniştir Germencik jeotermal sahası için bir beslenme alanı belirlemek için sahanın yakın dolay değerlendirmesi gerekmektedir. Ancak, sadece bu saha ile sınırlı kalmamak gerekir. Çünkü başlıca D-B uzanımlı graben fayları birbiri ile bağlantılı K-G doğrultulu faylarla kesişmekte olup çok uzak alanlardan da bu faylar yoluyla beslenme sağlanabileceği açıktır (Şimşek vd., 1979).

Jeotermal rezervuarların beslenmesinin ana kaynağı, havzaya düşen meteorik sular havzaya gelen yerüstü ve yeraltı sularının toplamıdır. Yapılan sıcak su ve buhar analizlerine göre suyun kimyasal bileşiminde CO₂, S₂, B, NH₄ ve Na bulunması çok az (< %1) juvenil su katkısını belirtmektedir.

İnceleme alanındaki rezervuarların beslenmesi horstlarda ve grabenlerdeki litolojilerin geçirimsizliği ile yakından ilgilidir. Horstlarda genellikle metamorfik kayalar mostra verirler. Bunlar içinde başlıca mermer, geçirimsizlik sunar. Gnays az geçirimsizdir. Graben içinde ise Neojen çökelleri killi seviyeler hariç geçirimsizdir. Kuvaternerde gelişen ve tutturulmamış çakıl ve kumun hakim olduğu alüvyon, yamaç molozu ve alüvyon yelpazeleri çok geçirimsiz birimler oluştururlar. Doruk yükseltileri 406-1647 m arasında değişmektedir.

Derin jeotermal rezervuarların derinlikleri ise (II. rezervuar) deniz seviyesine göre 700 m'den başlamaktadır. Ömerbeyli jeotermal sahası bölgedeki en düşük topoğrafik

yükseklikler de yer almaktadır (50-100m), (Şimşek, 1984). Bu durumda rezervuarların yüksek hidrostatik basınç altında olacağı açıktır. Üretim kuyularındaki yüksek kuyu başı basınçlarının bir nedeni de budur. Jeotermal rezervuardaki birikmiş akışkanı bulmak için aşağıdaki değerler kullanılmıştır. Alanda 200°C nin üzerindeki bölümler için rezervuar kalınlığı son değerlendirmelere göre ortalama 1000 m alınmalıdır (I. ve II. rezervuar birlikte).

5.1.2. Çamur-Bozköy jeotermal alanı

Kızılcagedik yükseliminin kuzeyindeki Arzular Grabeni içerisinde yer alan Çamur ve Bozköy jeotermal sahaları, grabeni kuzeyden sınırlayan D-B yönlü normal fay ile Ilıca deresini takip eden K-G yönlü fay boyunca yüzeye çıkarlar (Şekil 5.4, 5.5). Grabenin bu bölümünde yüzlek veren metamorfitleerde fay düzlemi boyunca termal etkinliğin sonucunda gerçekleşmiş yoğun alterasyon izleriyle beraber eski kaynak çıkışlarına ait traverten çökeller gözlenmektedir.

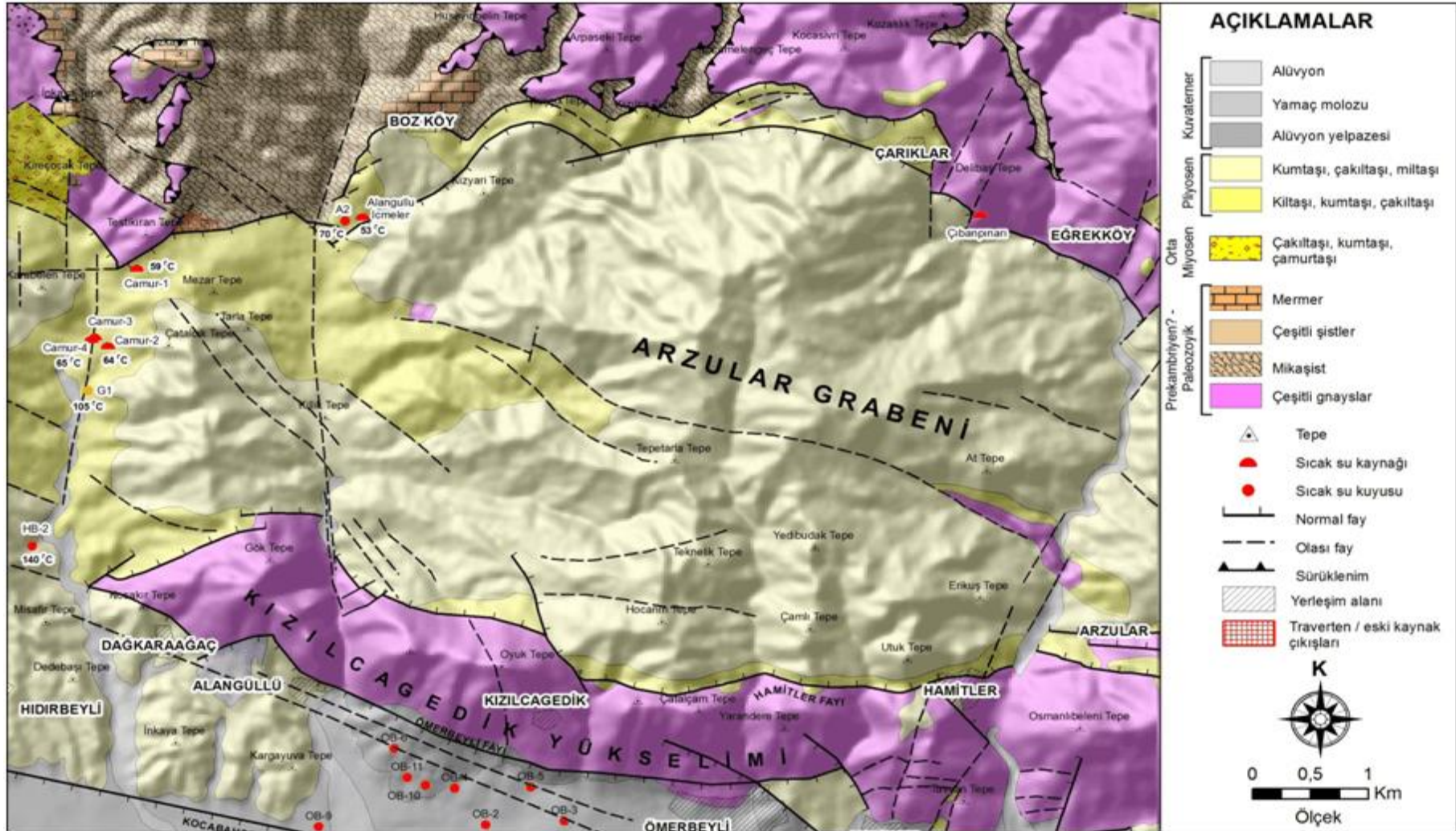
Bozköy kaynağı 53°C sıcaklığa sahiptir. Kaynak yakınında bulunan termal tesise su sağlamak amacıyla 1988 yılında 148.90 m ve 1999 yılında 488 m derinliğinde olmak üzere iki adet sıcak su sondajı yapılmıştır. Bu sondaj kuyuları ve bölgede yer alan kaynaklara ait sıcaklık ve debi değerleri Çizelge 5.2’de verilmiştir. A-2 kuyusunda 17. m den sonra metamorfik şistlere girilmiş, ancak 387 m den sonra mermerlerin kesilmesinin ardından akışkan çıkışı meydana gelmiştir. 488 m de taban sıcaklığı 102.8°C olarak ölçülmüştür (Karahana vd., 2000).

Çamur kaynakları Germencik ilçesinin 9 km kuzeyinde Çamur ılıca deresi vadisinde, Arzular grabeninin kuzey kenarını sınırlayan fay boyunca yüzeye çıkarlar. Bu alanda 55-65°C sıcaklıklara sahip düşük debili (>0.5 l/s) dört ayrı kaynak bulunmaktadır. Kaynakların bulunduğu alanın yaklaşık 500 m güneyinde 1970 yılında gradyan sondajı yapılmıştır. Ancak teknik sorunlar nedeniyle 400 m olarak öngörülen derinliğe inilemeyerek sondaj 167 m de sonlandırılmıştır. Kuyuda ilk 90 m Pliyosen çökellerinden hemen sonra mikaşistlere girilmiş, yer yer ince mermerler kesilmiştir. 167 m de kontrolsüz akışa (blow-out) geçen kuyuda maksimum termometre ile

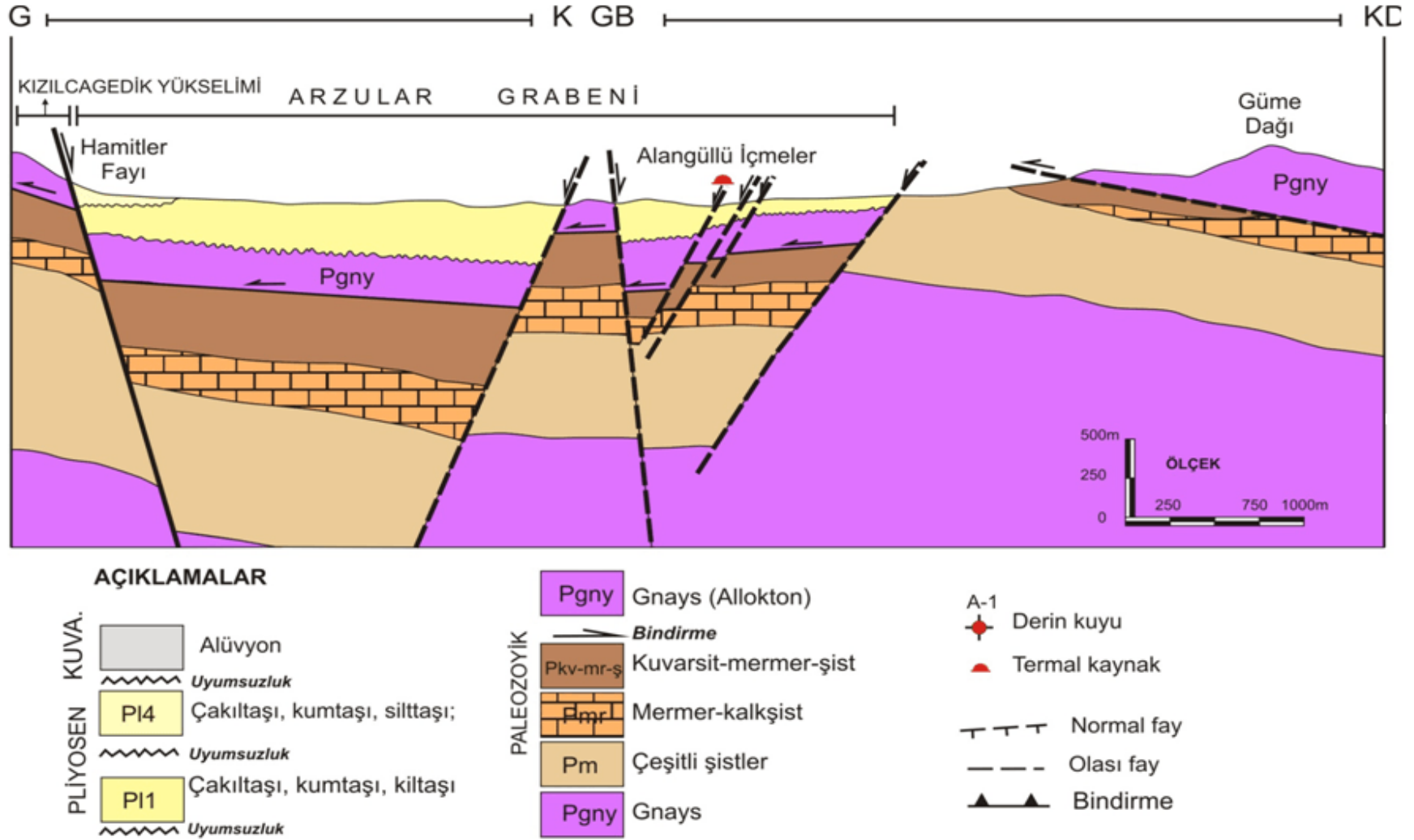
yapılan ölçümlerde 97 m de 105°C lik akışkan sıcaklığı saptanmıştır (Keskin, 1972). Kuyu teçhiz edilemediğinden yıkılmış ve terk edilmiştir (Çizelge 5.2).

Çamur kaynaklarının güneyinde 2007 yılında MTA tarafından iki adet yeni sondaj açılmıştır. 882 m ve 596 m derinliklerindeki bu sondajlarda sırası ile 102.5°C ve 142°C sıcaklıkta akışkan elde edilmiştir. Her iki kuyu da, Neojen çökelleri altında allokton gnayslar ve mermerlerde son bulmuştur.

Sahadaki bu termal oluşumlar dışında Çarıklar köyü güneyinde temele ait gnayslar ve Pliyokuvaterner çökeller arasındaki fay düzleminden boşalan Çıbanpınarı kaynağı bulunmaktadır. Günümüzde kaynak yeri kapatılıp çeşme olarak kullanılan suyun sıcaklığı 27°C olup debisi oldukça düşüktür (<0.1 l/s).



Şekil 5.4.Çamur ve Bozköy jeotermal alanlarının jeoloji haritası (Şimşek vd., 1979; MTA, 2005)



Şekil 5.5.Çamur-Bozköy jeotermal alanının genelleştirilmiş jeolojik kesiti (Şimşek, 1984)

Çizelge 5.2. Çamur – Bozköy jeotermal alanında yer alan sıcak su kaynakları ve sondaj kuyularının debi ve sıcaklık değerleri (Karakuş, 2010)

Kaynak	Sıcaklık(°C)	Debi
Bozköy kaynağı	53	0.3
Çamur-1	59.3	?
Çamur-2	64.2	?
Çamur-3	55.3	?
Çamur-4	65.4	?
Çobanpınarı	27	?

Saha	Kuyu	Tarih	Derinlik (m)	Sıcaklık (°C)	Rezervuar Litolojisi
Bozköy (Alangüllü kaplıcaları)	A-1	1989	149	58	Paleozoyik mermer, kalkışist
	A-2	1999	488	102,8	Paleozoyik mermer, kalkışist
Çamur	G-1	1970	?	105	Paleozoyik mikaşist
Hıdırbeyli	HB-1	2007	882	120.5	Alloktan gnays, mermer
Hıdırbeyli	HB-2	2007	596,3	142	Alloktan gnays, mermer

5.2. Hidrotermal Alterasyon

Jeotermal enerji sondajlarında ve maden sondajlarında kuyu jeolojisinde en önemli konu hidrotermal alterasyondur. Yerkabuğunun görelî sığ kesimlerindeki kayaların, içlerinde dolaşan ısı yüklü akışkanlarla (hidrotermal) etkilenmesi sonucu oluşan kimyasal ve mineralojik faz değışimleri "hidrotermal alterasyon" olarak adlandırılır. Feldspatlarda kaolinleşme, piroksenlerin, amfibol ve biyotitlerin klotritleşmesi sığ ve yüzeye çok yakın yerlerde hematitin ve limonitin piritleşmesi veya tersi olaylar hidrotermal alterasyon örnekleridir. Hidrotermal akışkanın kattığı yada çektiğı gereçlerle kayaçlarda oluşan değışimler bu kapsamda değeriendirilebilir.

Browne'nin (1978, 1984) çalışmalarındaki dünyada belli başlı jeotermal sistemlerdeki alterasyon mineralojisi etraflica incelenmiş ve alterasyon mineralojisinin (a) jeotermal sistemin ısisına, (b) jeotermal akışkanın basıncına, (c) rezervuar kayacı tipine, (d) rezervuar kayacı permeabilitesine, (e) jeotermal akışkanın kimyasına ve (f) alterasyon zonunda oluşan minerallerin duraylılığına bağılı olarak değışim gösterdiği ortaya konmuştur.

Hidrotermal alterasyon sonucu olaylar şu şartların etkisinde oluşur: (1) sıcaklık, (2) porozite, (3) kayaç türü, (4) akışkan bileşimi (Eh, Ph, buhar basıncı vd.), (5) toplam basınç ve (6) su akışı ve reaksiyon için gerekli zaman (Gevrek vd.,1985).

Bu faktörlerin altında oluşan mineral bozunma olayları ve reaksiyonları Helgeson (1987) de etraflıca gösterilmiş ve izah edilmiştir. Hidrotermal alterasyon aktif ve fosil sistemler olmak üzere iki tipe ayrılır. Fosil hidrotermal alterasyon zonları, genellikle yüzeylemiş veya gömülü hidrotermal maden yataklarının aranması, bulunmasında maden jeologlarınca çok iyi çalışılmıştır (Rose ve Burt, 1979). Aktif hidrotermal alterasyon sahaları ise genellikle aktif ve yüksek ısılı jeotermal sistemlerde etüt edilmiştir (Browne, 1978; Browne, 1984). Önemli hidrotermal alterasyon mineralleri aşağıdaki gibidir:

Karbonatlar; kalsit, aragonit, siderit,

Sülfatlar; anhidrit, alunit, natronalunit, barit.

Sülfidler; pirit, pirrotin, markasit, sphalerit, galen, kalkopirit.

Oksitler; hematit, magnetit, leukoksen, diaspor.

Fosfat; apatit.

Halit; fluorit,

Silikatlar- Ortho – ve çember silikatlar; sfen, garnet, epidot.

Zincir- silikatlar; tremolit, aktinolit.

Yaprak silikatlar; illit, biyotit, profillit, klorit, kaolinit grup, montmorillonit, prehnit.

Çerçeve silikatlar (Silicates – framework); adularya, albit, kuvars, kristobalit, mordenit, laumontit, wairakit.

İnceleme alanında hidrotermal alterasyon makroskobik olarak orada bulunan kayaçlarda oldukça belirgin olan renk değişimi ile ortaya çıkmaktadır. Genel olarak Büyük Menderes kıtasal rift zonunda bulunan jeotermal alanlarda kayaç-su etkileşimi sonucu olarak oldukça önemsiz olan kloritleşme yanında serizitleşme, arjillitleşme ve silisleşme $\pm$ hematitleşme alterasyon zonu görülmektedir. Çalışma alanında şimdiye değin XRD yöntemi ile incelenen kayaç kırıntılarında arjillitleşme, silisleşme ve karbonatlaşma ortaya çıkarılmıştır Jeotermal su-kayaç etkileşiminin yoğun olduğu zonlarda dikit, kaolinit, montmorillonit mineralleri ile temsil edilen arjillitleşmenin

egemen olduğu şimdiye kadar yapılan XRD araştırmalarından ortaya çıkmaktadır (Ek. 1-10).

5.3. Hidrojeokimya

Çalışma alanının hidrojeokimyasal özelliklerini anlamak için, alanda bulunan farklı kuyulardan toplam alanı temsil eden iki adet 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.

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^- 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 5.3)'de sunulmaktadır.

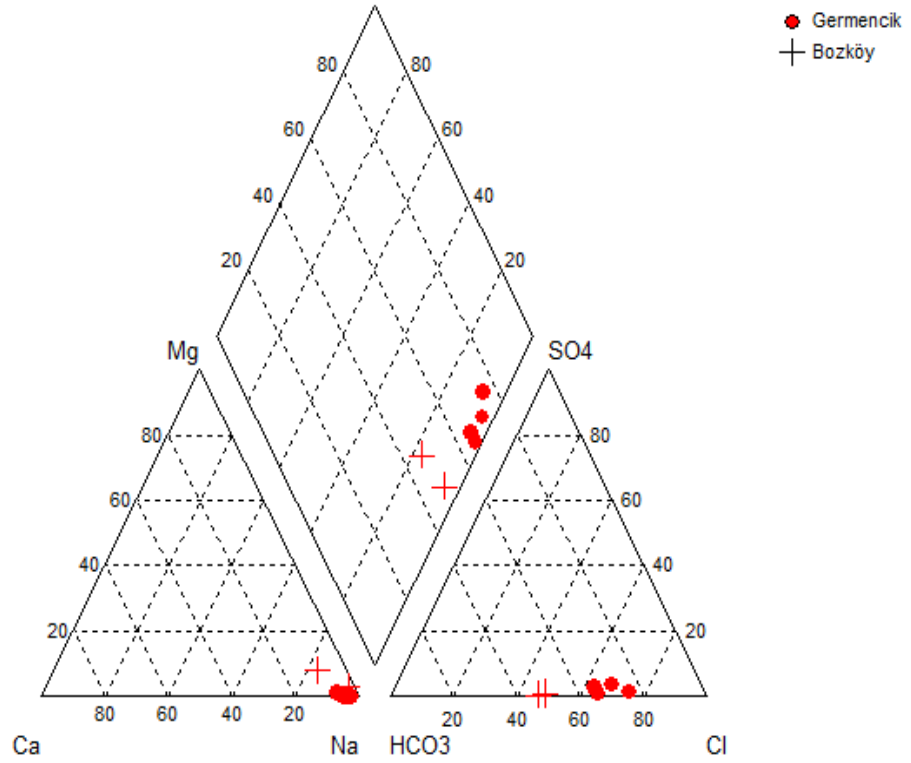
5.3.1. Hidrojeokimyasal analizler

Ömerbeyli ve yakın çevresinden alınan su örneklerinin hidrojeokimyasal analiz sonuçları (Çizelge 5.3) AQUACHEM v.3.7 (Calmbach, 1999) kullanılarak değerlendirildi. Aynı şekilde Ömerbeyli ve yakın çevresi jeotermal suların tanımlamak için grafiksel olarak gösterebilmek için Piper, Schoeller ve üçgen diyagramları hazırlanmıştır. Piper diyagramına hem Ömerbeyli hemde Bozköy jeotermal suları $Na-(Cl)-HCO_3$ 'lü sular sınıfındadır (Şekil 5.6). İnceleme alanında bulunan sıcak sularda yaklaşık 100 mg/l değerine ulaşan B^{3+} değerleri söz konusudur (Özgür, 1998) ve bu değerler çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişi ile ilişkin olabilir.

Ömerbeyli ve Bozköy jeotermal suları $\text{Na}+\text{K} > \text{Ca} > \text{Mg}$ baskın katyonlar (Şekil 5.7) ve Ömerbeyli jeotermal sahası için baskın $\text{Cl} > \text{HCO}_3 > \text{SO}_4$ anyonlar, Bozköy jeotermal sahası için $\text{HCO}_3 > \text{Cl} > \text{SO}_4$ olarak sınıflandırılabilir (Şekil 5.8). Çalışma alanından alınan örneklerin $\text{Na}+\text{K}$, Ca , Mg ve HCO_3 , Cl , SO_4 üçgen diyagramları verilmiştir.

Çizelge 5.3. Çalışma bölgesi ve yakın çevresi termal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları.

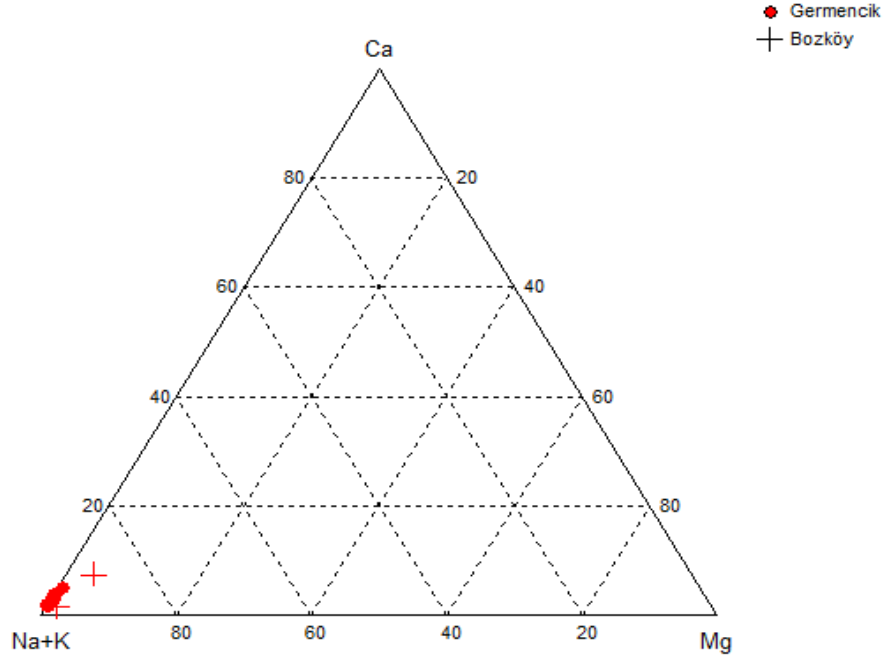
Örnek No	Lokasyon	T (°C)	pH	Eh (mV)	EC (µS/cm)	O ₂ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)	Al ³⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Li ⁺ (mg/l)	Mg ⁺² (mg/l)	SiO ₂ (mg/l)	CO ₃ ⁻² (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	F ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	B ³⁺ (mg/l)	TDS (mg/l)	
OMK 1	Bozköy 1 Kuyusu	66.7	8.6	7.4	5630	2.9	1432	84.1	1.1	24.5	5.4	23.3	105	30	2207	1229	4.3	0.5	26.8	51.8	2908.4	Bu Çalışma
OMK 2	Bozköy Çamur Kaplıcası	62.2	8.64	73.7	6200	3	1187	98.3	>0.2	109	5.0	59.8	83.2	144	1897	973	2.6	0.7	10.3	39.1	2750	
ÖB 1	Ömerbeyli	30	7.21		6500		1440	60		50		1	450	0	1140.21	1595.3			125.9	31.06	4034.6	Şimşek 2003
ÖB 2	Ömerbeyli	47.5	6.71		9000		1445	135		30		1	450	0	1419.53	1559.8			33.3	31.32	3994.6	
ÖB 8	Ömerbeyli	48.5	7.08		8800		1410	122.5		62.5		1.5		0	1396.72	1488.9			96.02	29	3384.5	
ÖB 9	Ömerbeyli	88.6	8.2		14200		1440	140		85		10		336.5	860.83	1542.1			43.62	27.83	3465.4	



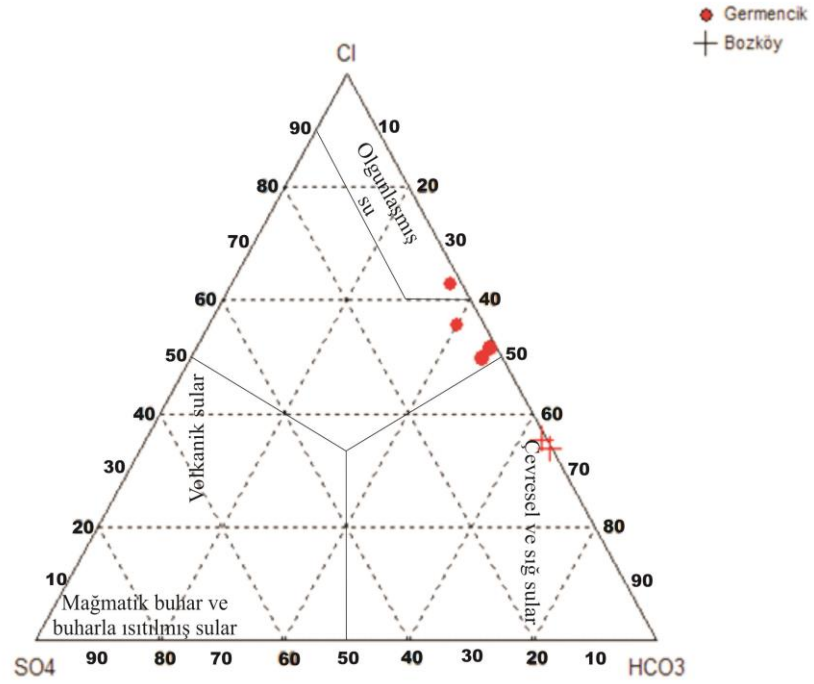
Şekil 5.6. Çalışma alanında bulunan jeotermal suların Piper diyagramında gösterilmesi.

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 5.6). 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 5.7. Çalışma alanından jeotermal suların Na+K, Ca, Mg üçgen diyagramı.



Şekil 5.8. Çalışma alanında jeotermal suların HCO₃, Cl, SO₄ üçgen diyagramı.

Çalışma alanı ve yakın çevresi jeotermal suları için hazırlanan Ca-Na+K-Mg üçgen diyagramı (Şekil 5.7.) şekilde tüm örneklerin Na+K katyonlarına yönelmesi Na+K katyonlarının baskın katyon olduğunu göstermektedir. Sıcak suların yeraltında dolaşımı esnasında Na ve K içeren kayalarla daha fazla etkileşime girdiği çok barizdir.

Çizelge 5.4. İnceleme alanındaki örneklerin su tipleri

Örnek No	Lokasyon	Su Tipi
O.M.K-1	Bozköy-1 Kuyusu	Na-Cl-HCO ₃
O.M.K-2	Bozköy Çamur Kaplıcası	Na-Cl-HCO ₃
ÖB-1	Germencik	Na-Cl-HCO ₃
ÖB-2	Germencik	Na-Cl-HCO ₃
ÖB-8	Germencik	Na-Cl-HCO ₃
ÖB-9	Germencik	Na-Cl-HCO ₃

Alınan örneklerdeki ve daha önceki çalışmalardaki alınan örneklerdeki suların kullanılabilmesi ve içilebilmesi açısından özellikleri SAR oranları yardımıyla hesaplanmış ve kullanılabilirliği belirlenmiştir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.5. Suların sodyum adsorpsiyon oranı'na (SAR) göre sınıflaması

SINIF	SAR
ÇOK İYİ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	<10
İYİ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	10-18
KULLANILABİLİR ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	18-26
KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI	>26

Çizelge 5.6. Su örneklerinin SAR değerlerine göre sınıflaması

Örnek No:	Lokasyon	SAR	SAR Sulama Suyu Değerlendirmesi
OMK-1	Bozköy-1 Kuyusu	50	KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI
OMK-2	Bozköy Çamur Kaplıcası	22.69	KULLANILABİLİR ÖZELLİKTE SULAMA SULARI
ÖB-1	Germencik	55.22	KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI
ÖB-2	Germencik	70.90	KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI
ÖB-8	Germencik	48.23	KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI
ÖB-9	Germencik	39.35	KULLANILAMAZ ÖZELLİKTE SULAMA SULARI

İnceleme alanında alınan su örneklerinde; Bozköy-1 Kuyusu (OMK-1) örneğinin “kullanılamaz özellikte sulama suları” sınıfında, Bozköy Çamur Kaplıcası (OMK-2)

örneğin ‘‘kullanılabilir özellikte sulama suları’’ sınıfında olduğu hesaplamalarla belirlenmiştir (Çizelge 5.6).

5.3.2. Doygunluk indeksi

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

Genellikle çökel ürünü olarak gözlenen kalsit, dolomit ve jips minerallerinin farklı sıcaklık değerlerinde mineral doygunluk indekslerinin hesaplanması ve 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.

Bu çalışmada Aquachem programı doygunluk indeksini hesaplamak için kullanılmıştır. Mineral doygunluk indekslerinin hesaplamasında basınç 1 atm olarak alınmış ve pH sabit tutulmuştur. Bulunan bu değerler Excel programı aktararak mineral sıcaklık denge diyagramı oluşturulmuştur (Çizelge 5.7.).

Çalışma bölgesi ve yakın çevresindeki suların doygunluk indekslerine göre incelendiğinde; Bozköy jeotermal alanından alınan OMK-1 örneğinde doygunluğa ulaşabilen mineraller; aragonit, kalsit ve dolomittir. Diğer mineraller doygunluğa ulaşamamıştır. OMK-2 örneğinde ise aragonit, kalsedon, kalsit, dolomit mineralleri doygunluk derecesine ulaşabildiği görülmektedir. Ömerbeyli jeotermal alanında ise şöyledir; ÖB-1 kuyusu su örneğinde aragonit, kalsit, kalsedon, kuvars ve $\text{SiO}_2(\text{a})$ mineralleri doygunluk derecesine ulaşmış diğer mineraller ulaşamamıştır. Ömerbeyli

jeotermal sahasının ikinci numunesi olan ÖB-2 de ise yalnızca kalsedon ve kuvars mineralleri doygunluğa ulaşmış ve Çizelge 5.7’de de görülebileceği üzere birçok mineral doygunluk derecesine ulaşamamıştır. Ömerbeyli jeotermal sahasının üçüncü su örneği olan ÖB-8 numunesinde sadece aragonit ve kalsit doygunluk derecesine ulaşmış jips, dolomit, kuvars, sepiyolit ve diğer mineraller doygunluk derecesine ulaşamamıştır. Ömerbeyli sahasının son su örneği olan ÖB-9 da ise ÖB-8’e benzer şekilde aragonit, kalsit ve dolomit mineralleri doygunluk seviyesine ulaşabilmiştir (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.7. Çalışma alanında ve yakın çevresindeki örneklerde rastlanabilecek bazı minerallerin doygunluk indeksleri

Mineraller	OMK-1	OMK-2	ÖB-1	ÖB-2	ÖB-8	ÖB-9
Al(OH)₃	-2.59	-----	-----	-----	-----	-----
Alunite	-13.29	-----	-----	-----	-----	-----
Anhydrite	-3.28	-3.07	-2.28	-2.97	-2.20	-2.00
Aragonite	1.47	2.11	0.13	-0.25	0.41	1.69
Calcite	1.59	2.23	0.27	-0.12	0.54	1.79
Dolomite	3.84	4.87	-0.75	-1.19	-0.02	3.06
Fluorite	-1.28	-1.02	-----	-----	-----	-----
Gibbsite	-0.24	-----	-----	-----	-----	-----
Gypsum	-3.36	-3.12	-2.08	-2.88	-2.12	-2.32
Chalcedony	-----	-----	1.38	1.19	-----	-----
Chrysolite	-----	-----	-6.96	-7.89	-----	-----
Quartz	-----	-----	1.79	1.56	-----	-----
Sepiolite	-----	-----	-2.74	-4.29	-----	-----
Sepiolite (d)	-----	-----	-5.77	-7.71	-----	-----
SiO₂ (a)	-----	-----	0.56	-----	-----	-----
Talc	-----	-----	-0.44	-----	-----	-----

5.4. Jeotermometre Uygulamaları

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

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

5.4.1. Kimyasal jeotermometre uygulamaları

Çalışma alanında seçilmiş olan sıcak su örneklerinin, akifer sıcaklıklarını hesaplamada kullanılan bir diğer yöntem ise kimyasal jeotermometre uygulamalarıdır. Kimyasal jeotermometre eşitlikleri kullandıkları kimyasal reaksiyon açısından başlıca iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan biri; mineralin sıcaklığa bağlı çözünürlüğünü temel alan jeotermometre yani Silis jeotermometreleri, diğeri ise 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).

5.4.1.1. Silis jeotermometre

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki çözünürlüğüne bağlı jeotermometrelerdir (Çizelge 5.8.). Silisin çözünürlüğü sıcaklık ve basınç ile değişim gösterir. Silis minerali su içerisinde; kuvars, kalsedon, kristobalit, opal ve amorf gibi çeşitli formlarda bulunur. Bu formlar su içerisinde birbirinden farklı kinetik özellik gösterir. Bu farklılıktan yararlanarak hazne kaya sıcaklığını tahmin etmede kullanılan silis jeotermometreleri her silis formu için farklı hesaplamalar içerir.

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

Kuvars çözünürlüğüne bağlı jeotermometreler, akifer (hazne) sıcaklığının saptanmasında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu jeotermometreler 150-225°C sıcaklıklar arasında iyi sonuç vermektedirler. Daha yüksek sıcaklıklarda akiferden, yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi gözlenir. Bu nedenle sıcaklığı 225°C'nin üzerindeki hazne kayalardan gelen sulara gerçek sıcaklığı yansıtmaz. Silis jeotermometreleri, kimyasal tepkimeyi etkileyen akifer sıcaklığına veya sıcak suyun yükselirken soğumasına dayanılarak hazırlanmıştır. Silisyumun sıcaklıkla çözünürlüğü artmaktadır. Silisin bu özelliğinden yola çıkılarak çeşitli sıcaklıklar için jeotermometre bağıntıları hazırlanmıştır (Tarcan, 2002).

Çizelge 5.8. Silis (SiO₂) jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

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

5.4.1.2. Katyon jeotermometre

Bir çözeltideki iyonların başka iyonlarla yer değiştirmesinden yola çıkarak oluşturulmuş jeotermometrelerdir (Çizelge 5.9). 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 değişim reaksiyonlarını esas almaktadır. Oluşum birlikteliği gösteren alkali feldispatlar arasındaki Na ve K değişimi katyon jeotermometrelerinin esas alındığı temel için verilebilecek en güzel örnektir.

Na/K jeotermometreleri suda fazla miktarda Ca iyonu bulunuyorsa, hazne kaya sıcaklığı hesaplamalarında yüksek değerler verir. Na/K jeotermometrelerinin uygulanacağı sıcak suların pH değeri nötre yakın veya hafif alkali, karbonat çökelmelerinin oluşmaması, $\log (\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}})$ değerinin 0.5'den az olması koşulları aranmalıdır. Na/K jeotermometreleri, nötr ve alkali, alkali klorürlü, 180-350°C sıcaklıktaki hazne kayadan gelen sulara iyi sonuçlar vermektedir (Özen, 2002).

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

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

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

Çizelge 5.9. Na/K jeotermometreleri ve bağıntıları (Tüm derişimler mg/l)

No	Na/K Jeotermometreleri	Jeotermometre Bağıntıları	Değınilen Belgeler
1	Na/K	$t = 933 / (0.933 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
2	Na/K	$t = 1319 / (1.699 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
3	Na/K	$t = 777 / (0.70 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Amorsson vd., 1983
4	Na/K	$t = 856 / (0.857 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Truesdell, 1976
5	Na/K	$t = 1217 / (1.483 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979b
6	Na/K	$t = 1178 / (1.470 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Nieva ve Nieva, 1987
7	Na/K	$t = 1390 / (1.750 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1988
8	Na/K (mmol)	$t = 908 / (0.692 + \log \text{Na/K}) - 273.15$	Fournier, 1979a
9	K/Mg	$t = 4410 / (13.95 - \log \text{K}^2/\text{Mg}) - 273.15$	Giggenbach vd., 1983
10	Li/Mg	$t = 2200 / (5.470 - \log (\text{Li}/\text{Mg}^{0.5})) - 273.15$	Kharaka ve Mariner, 1989
11	Na/Li	$t = 1590 / (0.779 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Kharaka vd., 1982
12	Na/Li (mmol) Cl<0.3	$t = 1000 / (0.389 + \log (\text{Na}/\text{Li})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
13	Na/Li (mmol) Cl>0.3	$t = 1195 / (0.130 + \log (\text{Na}/\text{Li}^{0.5})) - 273.15$	Fouillac ve Michard, 1981
14	Na/Ca	$t = 1096.7 / 3.08 - \log (\text{Na}/\text{Ca}^{0.5})) - 273.15$	Tonani, 1980
15	K/Ca	$t = 1930 / 3.861 - \log (\text{K}/\text{Ca}^{0.5})) - 273.15$	Tonani, 1980

5.4.2. Birleşık jeotermometre uygulamaları

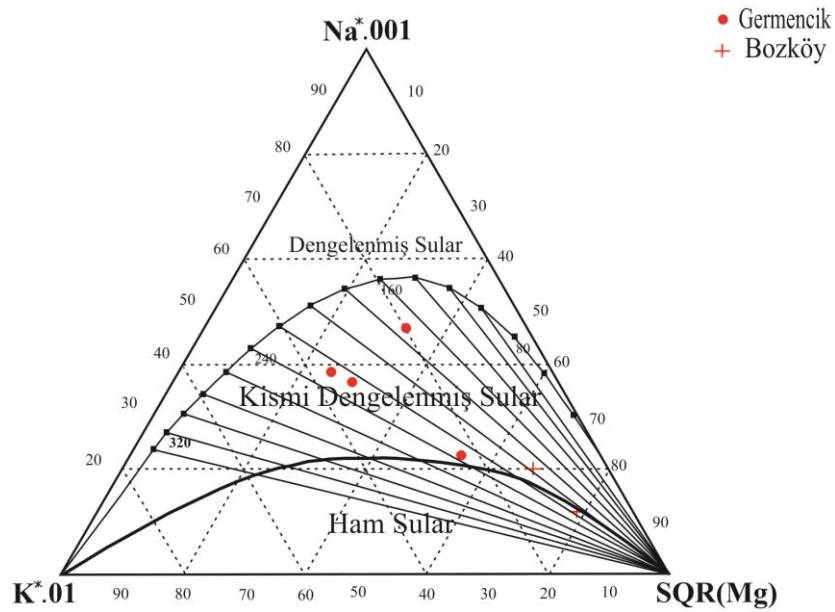
Giggenbach (1988) hazırladığı diyagramla suları içerdikleri Na, K ve Mg iyonlarının mg/l değerlerine dayalı olarak sınıflamıştır. Bu sınıflamaya göre; I. bölgeye düşen sular; su kayaç ilişkisi açısından kısmen dengede, II. bölgeye düşen sular ise su-kayaç ilişkisi bakımından kimyasal dengelenmenin sağlanmamış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

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

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

Na-K-Mg^{1/2} üçgen diyagramı solute termometre uygulamaları ile rezervuar sıcaklığı uygun jeotermal sular arasında açık ayırım yapmak için bir yöntem olarak Giggenbach (1988) tarafından önerilmiştir. Germencik jeotermal alanından alınan su örneklerinin tamamı ‘‘Kısmi Dengelenmiş Sular’’ sınıfına düşmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinden OMK-1 (Bozköy-1 Kuyusu) ‘‘Ham Sular’’ ile ‘‘Kısmi Dengelenmiş Sular’’ sınırına, OMK-2 ise ‘‘Kısmi Dengelenmiş Sular’’ sınıfına düşmektedir (şekil 5.9).



şekil 5.9. İnceleme alanındaki suların Na-K-Mg diyagramındaki görünümü ve su-kayaç dengesi sıcaklıkları (Giggenbach, 1988)

5.4.3. Çalışma alanındaki termometrelerin jeokimyasal değerdendirmesi

Çalışma alanındaki rezervuar sıcaklığını anlamak için çalışma alanı jeotermal sularının hidrojeokimyasal analiz sonuçları değerdendirilmiştir. Jeokimyasal termometrelerin sonuçları Çizelge 5.10.'da verilmiştir. Silis jeotermometreleri ile yapılan analiz sonuçlarına göre Ömerbeyli jeotermal sahasında (ÖB-1,2,8,9) 112 ila 243°C arası sıcaklıklar hesaplanmıştır. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitliklerinin 180°C den daha yüksek rezervuar sıcaklıkları türettiği sahalarda, kuvarsa dayalı jeotermometrelerin kullanımı uygun görölmektedir. Bu nedenle, kalsedon jeotermometre eşitliklerinin 180°C den daha yüksek sıcaklıklar türediği Ömerbeyli sahası için kuvars jeotermometreleri tercih edilmelidir.

Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Ömerbeyli jeotermal alanında (ÖB-1,2,8,9) 100 ila 235°C arası sıcaklıklar hesaplanmıştır. Bozköy jeotermal alanından alınan OMK-1 ve OMK-2 su numunelerinde sıcaklıklar 129 ila 220°C arası sıcaklıklar hesaplanmıştır.

Çizelge 5.10. Çalışma alanındaki termal suların çözünen jeotermometresine göre sonuçları

Örnek No:	Örnekleme Sıcaklığı °C	Mg/Li Kharaka 1989	Na/Li Kharaka 1989	Na/Li Cl<10000 Fouillac 1981	Na/Li Cl<10000 Fouillac 1981	Amorphous Silica	Cristobalite Alpha	Cristobalite Beta	Chalcedony	Quartz	Quartz Steam Loss	
OMK-1	66.7	138	223	117	116							Bu Çalışma
OMK-2	62.2	118	231	124	122							
ÖB-1	30					112	197	147	233	243	218	Şimşek 2003
ÖB-2	47.5					112	197	147	233	243	218	
ÖB-8	48.5											
ÖB-9	88.6											

Örnek No:	Örnekleme Sıcaklığı °C	K/Mg Giggenbach 1983	Na/K Fournier 1973	Na/K Truesdell 1976	Na/K Fournier&Potter	Na/K Fournier 1979	Na-K-Ca Fournier 1979	Na-K-Ca-Mg Fournier 1979	
OMK-1	66.7	30	129	137	191	175	189	40	Bu Çalışma
OMK-2	62.2	37	163	168	220	201	191	36	
ÖB-1	30	6	100	109	165	152	164		Şimşek 2003
ÖB-2	47.5	0	176	181	231	211	214	212	
ÖB-8	48.5	4	168	173	225	205	202	199	
ÖB-9	88.6	18	181	185	235	215	206	151	

5.5. İzotop Jeokimyasal Özellikleri

İzotop, bir atomun aynı sayıda protona, buna karşın farklı sayıda nötrona sahip olan türevleridir. Atomun ağırlığı proton ve nötronların toplam sayısına bağlı olduğundan, aynı atomun izotopları farklı atomik ağırlıklara (atomic mass unit; amu: atomik kütle birimi) sahiptirler. Söz konusu atomik ağırlık farklılığı aynı atomun farklı izotoplarının fiziksel ve kimyasal süreçlerde farklı davranmasına neden olur. Bu durumun bir sonucu olarak; örneğin su molekülünü oluşturan hidrojen ve oksijen atomlarının farklı izotoplarının birbirine olan oranları değişmektedir. Anılan izotop oranlarındaki değişimin incelenmesi sonucunda her hangi bir suyun etkilendiği fiziksel ve kimyasal süreçler belirlenebileceği gibi farklı sular arasındaki olası karışımlar hakkında da yorumlamalar yapılabilir. İzotoplar; sıcaklık ve su kayaç etkileşimine hassasiyetlerinden dolayı jeotermal araştırmalarda etkin bir akifer izleme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Oksijen ($\delta^{18}\text{O}$), Döteryum ($\delta^2\text{H}$) ve Tritiyum izotopları termal suların kökeni, yaşı, beslenme alanı, yüksekliği ve yer altında kalış sürelerini tahmin etmede kullanılır.

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 5.11)'de verilmiştir. Bu verilere göre yeraltı suyunun dolaşım sistemi ve hidrojeolojik özellikleri aydınlatılmaya çalışılmıştır.

Duraylı izotop analiz sonuçları Çizelge 5.11'de verilmiştir. Çizelgede de görüleceği üzere çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ değeri OMK1'de -1.84, OMK 2'de -3.06 dır. $\delta^2\text{H}$ değeri ise OMK 1 örneği için -40.06, OMK 2 için -40.08 dir. ^3H değerleri ise her iki örnek için <1 sonucunu vermiştir. Diğer çalışmalarda ise $\delta^{18}\text{O}$ değeri -1.3 ile -5.94, $\delta^2\text{H}$ değeri -33 ile -47.6 arasında değişmektedir. ^3H değeri bir örnek hariç diğer tüm örneklerde >1 olarak karşımıza çıkmaktadır.

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan tritiyum radyoaktif bir izotop olup; yarılanma ömrü 12.43 yıldır. Tritiyum izotopu çekirdekten elektron (P ışını) salınması ile yarılanır. Elektronların enerjisi düşük olup; doğal düzeydeki tritiyum

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 suyuındaki eşdeğeri 10 TU 'dir. Atmosferdeki trityumun bir bölümü antropojenik kaynaklı olup; özellikle 1950'li yıllarda başlayan ve 1963 yılında uluslararası antlaşmalar ile yasaklanan atmosfere açık yerüstü termonükleer bomba denemeleri sonucunda oluşmuştur. Bu yolla trityum üretimi 1963 yılında 1000 TU düzeyine ulaşmış olup; 1963 yılından günümüze değin doğal yarılanma yoluyla azalmıştır. Günümüz atmosferik neminde trityum derişimi doğal fon (natural background) değerine (10 TU) yaklaşmıştır. Radyoaktif olan trityum sürekli bozunmaya uğraması nedeniyle belirli bir bölgede yer altı suyunu besleyen yağışın trityum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yaşının belirlenmesi ve/veya farklı yer altı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulması mümkün olmaktadır (Tezcan, 1992).

Çizelge 5.11. Analiz izotop sonuçları

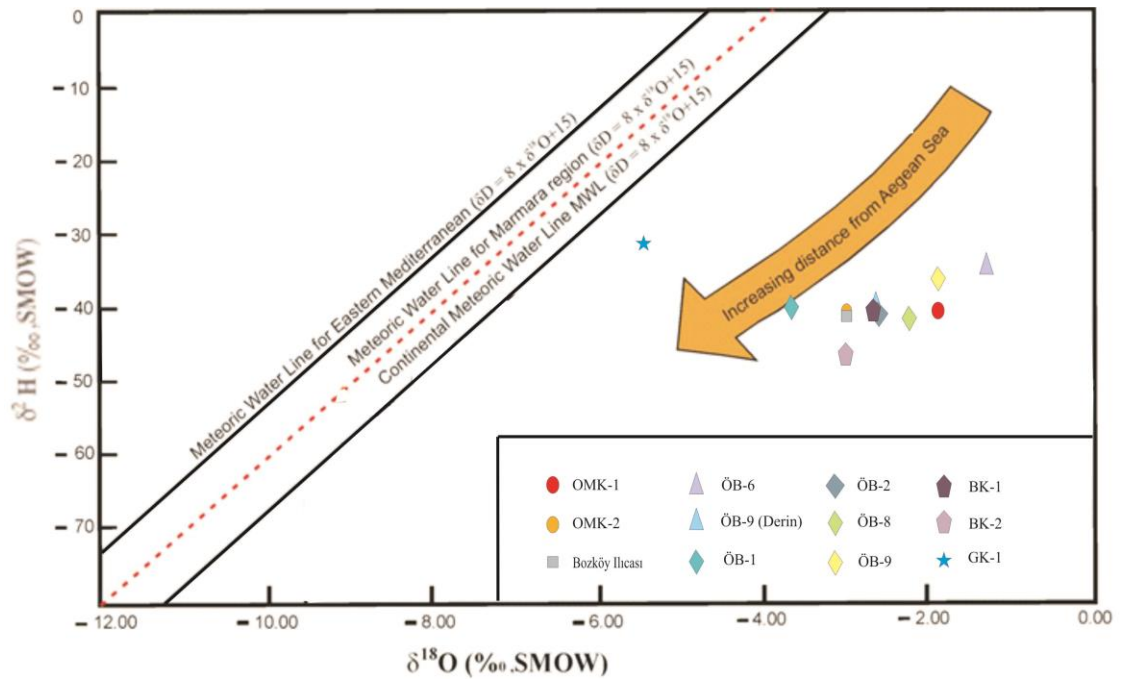
Örnek no	Oksijen-18 $\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Döteryum $\delta^2\text{H}$ (‰)	Trityum ^3H (TU)	Trityum hata (TU)	
OMK-1	-1,84	-40.6	>1		Çalışma Alanı
OMK-2	-3.06	-40.8	>1		
Bozköy İlçası	-3.03	-39	>1		Filiz,1982
Bozköy İlçası 2	-5.94		>4		Union Oil,1983
ÖB-6	-1.3	-33	>1		Correia vd,1990
ÖB-9 (Derin)	-2.6	-41.4			
OB-1	-3.53	-40.2	0.69	0.33	Güner ve Yıldırım, 2005
OB-2	-2.64	-41.2	0.23	0.33	
OB-8	-2.27	-41.9	0.5	0.33	
OB-9	-1.74	-37.9	0.64	0.33	
BK-1	-2.78	-40.45	0.89	0.34	
BK-2	-3.18	-47.6	0.7	0.34	
GK-1	-5.43	-32.4	5.44	0.41	

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

Global Meteorik Su Doğrusu; (GMWL); $\delta D = 8 \cdot \delta^{18}O + 10 \text{ ‰ (SMOW)}$

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

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



Şekil 5.10. Ömerbeyli ve yakın çevresi jeotermal sularının $\delta^{18}O$ ve δ^2H diyagramında gösterilmesi.

Ömerbeyli ve yakın çevresinden alınan 2 (iki) adet jeotermal su örneğinde ^{18}O , 2H ve 3H analizleri gerçekleştirildi. Duraylı izotoplar olan $\delta^{18}O$ ve δ^2H diyagramı Şekil 5.10'da görülmektedir. Burada genel olarak yağmur suları ve karışım gösteren yeraltısuları ve termal suları sistemi meteorik su çizgisi boyunca yer almaktadır. Buna karşın yüksek sıcaklıkta bulunan derin kökenli termal sular bu meteorik su çizgisinden önemli ölçüde sapma göstermekte ve bu durumda yüksek sıcaklık koşulları altında kayaç-su etkileşim koşullarına işaret etmektedir. $\delta^{18}O$ izotopundaki önemli farklılık ve sağa olan kayma sıcak suların soğuk yeraltı suları ile karışımına işaret etmektedir ve bu belirleme δ^2H , $\delta^{18}O$, $\delta^{13}C$, 3H , ve ^{14}C değerleri ile

belgelenmiştir (Özgür, 1998). Burada ölçülen trityum değerleri yüksek sıcaklık jeotermal sistemleri olan Kızıldere, Salavatlı ve Germencik sistemlerinde deteksiyon limitlerinin altında bulunmakta ve diğer mineralize olmuş yeraltısuyu ve yeraltısuyu-termal su sistemlerinde atmosferik ve antropojenik değerler olarak bulunmaktadır (Şekil 5.10).

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

6.1. Ömerbeyli Jeotermal Alanında Jeotermal Sistem ve Tektonik Arasındaki İlişki

Jeotermal enerji ile ilgisi nedeniyle, yapısal incelemede bölgenin genç tektoniği önem kazanmaktadır. Bölgede Miyosen öncesi, Menderes Masifinde sıkışma tektoniği etkin olmuş ve sürüklenimler gelişmiştir. Günümüzde, Bozköy doğusunda görülen Bozköy Sürüklenimi ile gelen allokton gnayslar, şist ve mermerler üzerinde yer almışlardır. Daha sonra, Neojen çökelleriyle örtülen allokton gnayslar temele inen sondajlarda kesilmiştir.

Türkiye'nin neoteknik evrimi incelendiğinde Anadolu Plakasının Miyosenden başlayarak batıya hareketi, Doğu Akdeniz litosferinin Anadolu Plakası altına dalması Menderes Masifi altında bir anateksis zonunun oluşmasını; masifte asit intrüzyonlar gelişmesini ve masifin yükselmesini sağlamıştır (Şengör and Yılmaz, 1981). Bu etkiler altında Ege graben sistemi gelişmiştir. Bu sistem içinde yer alan Büyük Menderes grabeninin esas gelişimi Pliyosen sonu ve Kuvaternerde olmuştur. Grabenleşmeyle birlikte yer yer kabuk incelmeleri, magma yaklaşımı ve özellikle dislokasyonlar boyunca veya kesişme bölgelerinde jeotermal alanların oluşmasına elverişli kuşaklar gelişmiştir.

Büyük Menderes Grabeni D-B doğrultulu olup Denizli doğusundan Ege Denizine ve deniz altında da devam eden, yaklaşık 200 km uzunluğunda bölgesel bir grabendir. Grabenin genişliği Söke'de 30 km. Germencik'te 20 km Aydın'da 10 km Salavatlı'da 20 km Buharkent'te (Çubukdağı) 5 km kadardır. Asimetrik bir graben görünümünde olan Grabenin kuzey kanadındaki basamak faylar daha büyük atımlıdır (McKenzie 1978; Şengör 1982; Şimşek ve Gülgör, 1988).

Büyük Menderes Grabeni'nin kuzeyinde gözlenen sürüklenim ve bindirmeler K-G yönlü sıkışmanın egemen olduğu paleotektonik dönemin izlerini taşır. Salavatlı ve Germencik jeotermal sahalarında yapılan sondaj çalışmalarında, tipik olarak Bozköy (Germencik ilçesi kuzeyi) civarında klipler şeklinde gözlenen allokton gnaysların altında kalın şist ve mermer birimleri kesilmiştir. "Bozköy Sürüklenimi" olarak

adlandırılan, Menderes Masifi çekirdek serileri oluşturan yüksek dereceli metamorfitlerin Germencik ilçesi çevresinde kendilerinden daha genç şist serilerini tektonik olarak üstledikleri ve Bozdağ-Salihli yörelerine kadar uzanım katettikleri bildirilmiştir (Şimşek et al., 1983; Candan vd., 1992). Bölgedeki kliplerin sürekli güncel topografyadaki en yüksek tepe noktalarında bulunmaları ve dokanakların çoğu yerde eş yükselti eğrilerine hemen hemen koşut uzanmaları bindirmelerin örtü fayı niteliğinde olduğunu göstermektedir (Candan vd., 1992) .

Büyük Menderes Grabeninde kenar faylarının hemen hepsi eğimleri derine doğru azalan listrik (kürek şekilli) normal faylardır. Bu faylar geometrileri gereği yüzeyde ölçülebilen atımlardan çıkarılabilecek yatay genişleme değerlerinin çok üstünde genişleme (açılma) gösterirler. Elde edilen gerek jeoloji gerek jeofizik verilerle, Büyük Menderes Grabeninin de yer aldığı Ege Grabenler bölgesinin oluşumundan bu yana yükselme ve kuzey-güney genişleme olduğu görülmektedir. Büyük Menderes Grabeni Germencik kuzeyinde Kızılcagedik Horstu ile ikiye bölünmektedir. Kuzeydeki tali grabene Arzular Grabeni adı verilmiştir. Bölgede güneyden kuzeye sırasıyla Koçarlı Horstu, Büyük Menderes Grabeni, Kızılcagedik Horstu, Arzular Grabeni ve Bozköy Horstu yer almaktadır. Batıda ise Gümüşdağ (Samsundağ) Horstu bulunmaktadır (Şimşek ve Gülgör, 1988).

Bölgede çeşitli doğrultulu faylar bulunmaktadır. Bunlar D-B, KD-GB ve K-G olarak belirlenmiştir. Hakim doğrultular Söke yöresinde KD-GB, Germencik bölümünde ise D-B'dır. K-G doğrultulular ise daha küçük atımlı ve sahanın tamamında sıkça görülmektedir. Jeoloji haritasında da görüleceği gibi KD-GB ve D-B doğrultuları Söke kuzeyinde ve Germencik dolayında kesişmektedir. Bölgedeki büyük atımlı ve hakim doğrultulu kırıkların kesim alanında genç volkanik etkinlik ve yüksek sıcaklıklı kaynaklar (92°C) ve doğal buhar çıkışı (101°C) belirlenmiştir (Şimşek ve Gülgör, 1988).

6.2. Çalışma Alanının Hidrojeolojik, Hidrojeokimyasal, Hidrotermal Alterasyon ve İzotop Jeokimyasal Özellikleri

Çalışma alanında yoğun genç tektonik etkiler sonunda gelişen eklem takımları, çatlaklar ve faylar nedeniyle ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik kazanan kayalar

jeotermal rezervuarı oluşturmaktadır. Birinci rezervuar istifte Neojen çökelin son üyesi olan Vişneli formasyonu tabanında bulunan taban çakıltaşlarıdır. İkinci ve en ekonomik rezervuar ise Menderes Masifi Metamorfikleri içinde bulunan, kuvarsit, mermer ve kalkışist üyeleridir. Bunlara ilavaten üçüncü derin rezervuar olarak kırık ve çatlakları ile Prekambriyen-Paleozoyik yaşlı gnayslar (yer yer) çalışma alanında önemli rol oynamaktadır.

İnceleme alanında hidrotermal alterasyon makroskobik olarak orada bulunan kayalarda oldukça belirgin olan renk değişimi ile ortaya çıkmaktadır. Genel olarak Büyük Menderes kıtasal rift zonunda bulunan jeotermal alanlarda kayaç-su etkileşimi sonucu olarak oldukça önemsiz olan kloritleşme yanında serizitleşme, arjillitleşme ve silisleşme $\pm$ hematitleşme alterasyon zonu görülmektedir. Çalışma alanında şimdiye değin XRD yöntemi ile incelenen kayaç kırıntılarında arjillitleşme, silisleşme ve karbonatlaşma ortaya çıkarılmıştır Jeotermal su-kayaç etkileşiminin yoğun olduğu zonlarda dikit, kaolinit, montmorillonit gibi yüksek sıcaklık alterasyon mineralleri ile temsil edilen arjillitleşmenin egemen olduğu şimdiye kadar yapılan XRD araştırmalarından ortaya çıkmaktadır.

Ömerbeyli ve Bozköy jeotermal suları $Na+K > Ca > Mg$ baskın katyonlar ve Ömerbeyli jeotermal sahası için baskın $Cl > HCO_3 > SO_4$ anyonlar, Bozköy jeotermal sahası için $HCO_3 > Cl > SO_4$ olarak sınıflandırılabilir. İnceleme alanı ve yakın çevresinin su tipi $Na-Cl-HCO_3$ olarak analiz sonuçlarıyla ortaya konmuştur. Na/K jeotermometrelerinden elde edilen akifer sıcaklıkları suların karışım oranlarına, su-mineral denge durumuna göre Ömerbeyli jeotermal alanında (ÖB-1,2,8,9) 100 ila 235°C arası sıcaklıklar hesaplanmıştır. Bozköy jeotermal alanından alınan OMK-1 ve OMK-2 su numunelerinde sıcaklıklar 129 ila 220°C arası sıcaklıklar hesaplanmıştır. Ayrıca hesaplanan SAR değerlerine göre sular OMK-2 örneği dışındaki diğer örnekler kullanılamaz özellikte sulama suları sınıfına girmektedir. Germencik jeotermal alanından alınan su örneklerinin tamamı “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir. Çalışma alanından alınan su örneklerinden OMK-1 (Bozköy-1 Kuyusu) “Ham Sular” ile “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınırına, OMK-2 ise “Kısmi Dengelenmiş Sular” sınıfına düşmektedir. İnceleme alanında bulunan sıcak sularda yaklaşık 100 mg/l değerine ulaşan B^{3+} değerleri söz konusudur (Özgür,1998) ve bu

değerler çalışma alanı Ege Denizi'ne yakın olduğundan doğrudan jeotermal sulara deniz suyu girişimi ile ilişkin olabilir.

Amerika'da yapılan analizler sonucu çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ değeri OMK 1'de -1.84, OMK 2'de -3.06 dır. $\delta^2\text{H}$ değeri ise OMK 1 örneği için -40.06, OMK 2 için -40.08 dir. ^3H değerleri ise her iki örnek için <1 sonucunu Amerika'da yapılan analizler vermiştir. Diğer çalışmalarda ise $\delta^{18}\text{O}$ değeri -1.3 ile -5.94, $\delta^2\text{H}$ değeri -33 ile -47.6 arasında değişmektedir. ^3H değeri bir örnek hariç diğer tüm örneklerde >1 olarak karşımıza çıkmaktadır ve yapılan analizler sonucunda suların meteorik kökenli sular olduğunu bize sunmuştur.

6.3. Çalışma Alanının Hidrojeolojik Kavramsal Modellemesi

Ömerbeyli ve yakın çevresi yaklaşık olarak 45 km² olan bir alandan oluşmaktadır ve jeolojik olarak alanda Paleozoyik yaşlı metamorfik kayalar Pliyosen yaşlı sedimanter kayalar bulunmaktadır. Kayalar içinde jeotermal rezervuarlarının oluşumu için az geçirimli örtü kayalarının yanı sıra birincil ve ikincil permeabilite oldukça önemli rol oynamaktadır. Çalışma sahasında ilk permeabil zon Miyosen tabanındaki Vişneli çakıltıtaşlarıdır. İkincil permeabil zon ise Paleozik yaşlı Menderes Masifi Metamorfikleri üyesi mermer, kuvarsit, kalkışit aralanmasıdır. Ayrıca çalışma sahasında iki tür örtü niteliği taşıyan birim vardır. Jeotermal sistem aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmaya çalışılmıştır (Şekil 6.1).

Birinci rezervuar özelliği taşıyan Miyosen birimleri içinde tabana yakın seviyelerdeki sert çakıltı taşı seviyelerinde oluşmaktadır. Bu rezervuar ÖB-1 kuyusunda 970-1002 m (203°C), ÖB-4 kuyusunda ise 215-285 m (217°C) arasında kesilmiştir. Diğer kuyulardan ÖB-2 de I. rezervuara rastlanmış ancak, hedef II. rezervuar olduğundan bu seviyeler boru arkasına alınmıştır. Bunun nedeni, Germencik sahasında I. rezervuarın elektrik üretimi açısından verim ve sıcaklık yönüyle, II. rezervuara oranla yaygın ve işletilebilir nitelikte görülmemesidir. Ancak, bu birim sahanın güney bölümündeki bazı lokasyonlarda örtü altında yüksek sıcaklıklı ve verimli rezervuar niteliği taşıyabilir (Şimşek ve Gülgör, 1988).

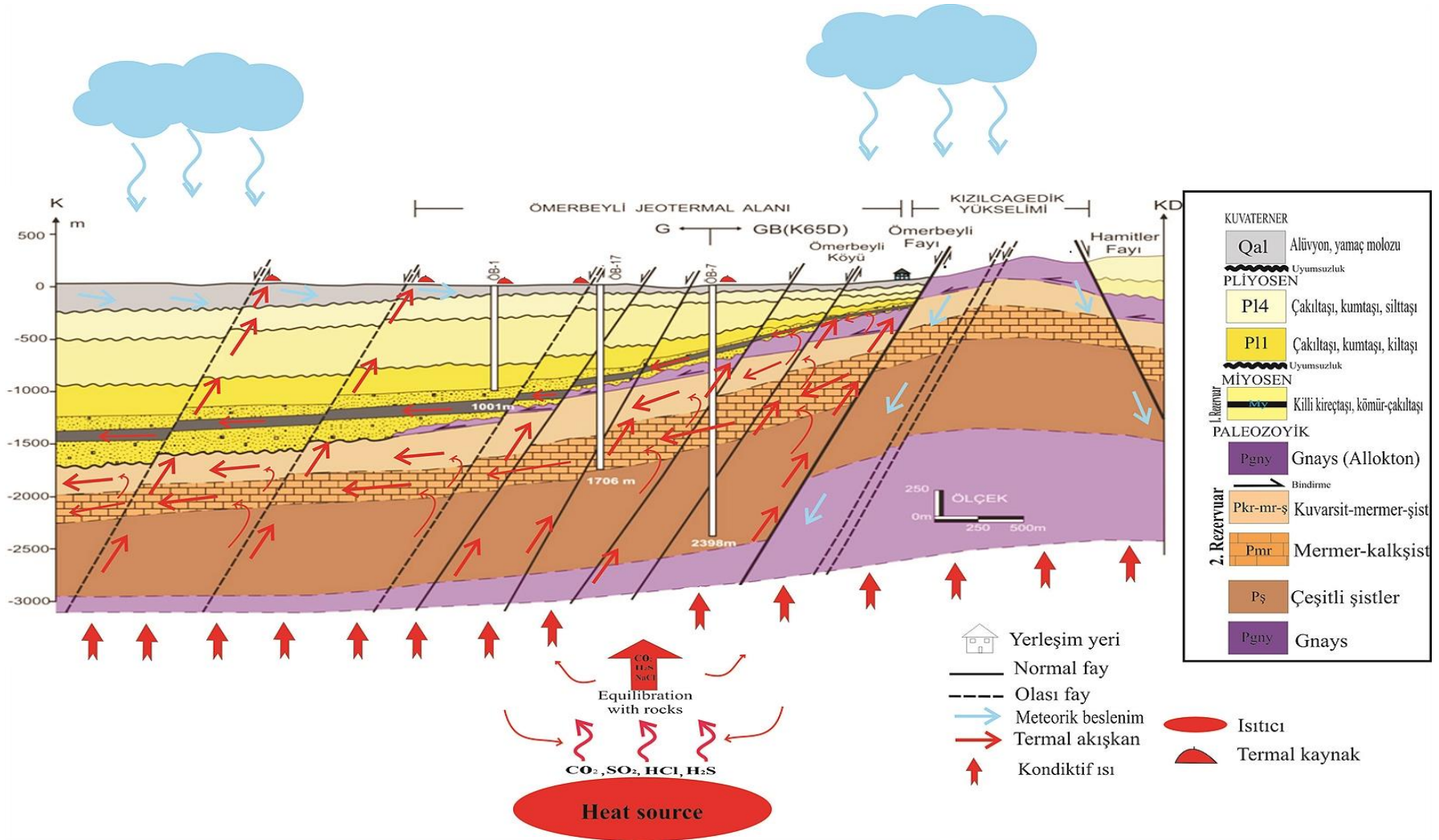
İkinci rezervuar özelliği taşıyan birim Paleozoyik yaşlı mermer-kuvarsit-kalkşist (yer yer Allokton gnays) ardalanmasıdır. Sahada yaygın ve ekonomik olarak elektrik üretimine uygun nitelikte görülen ikinci rezervuarda 216-232°C sıcaklıklar ölçülmüştür. Birinci rezervuara oranla daha fazla ikincil gözeneklilik ve geçirimsizlik gelişmiş olup, bu rezervuardan üretim yapan kuyularda verim daha yüksektir (ortalama 300 ton/saat). ÖB-2, ÖB-3, ÖB-5, ÖB-6, ÖB-7, ÖB-8 ve ÖB-9 no'lu kuyularda kesilen rezervuar kalınlığı 171-1400 m arasında değişmektedir (Şimşek ve Gülgör, 1988).

Birinci örtü kaya özellikli, Germencik yöresinde karasal-gölsel çökel kayalar olarak yaygın bir şekilde izlenen Pliyosen-Pliyokuvaterner ve Miyosen birimlerinin kumtaşı-miltaşı-kiltaşı ardalanması sunan litolojileri, geçirimsiz özellik göstermektedir. Kilttaşları ve miltaşları poroziteleri yüksek olmasına karşın permeabiliteleri yok denecek kadar azdır. Ayrıca, grabenleşme sırasında diğer sert ve kırılğan litolojilerde ikincil geçirimsizlik gelişirken bu birimler akışkan ve ısı geçirmeyen özelliklerini korumuşlardır (fay zonlarındaki çakıltaşı seviyeleri hariç). Kalınlıkları Ömerbeyli fayından güneye doğru 100-1400 m arasında değişmekte ve güneye doğru daha da artmaktadır.

İkinci örtü kaya özellikli Miyosen tabanı, allokton gnays ve temele ait olan şist seviyeleri II. örtü kayayı oluşturmaktadır. Kalınlığı 300-500 m arasında değişmektedir (Şimşek ve Gülgör, 1988).

Çalışma alanındaki jeotermal akışkanlar meteorik kökenlidir. Beslenme şekli ise; başlıca D-B uzanımlı graben fayları birbiri ile bağlantılı K-G doğrultulu faylarla kesişmekte olup çok uzak alanlardan da bu faylar yoluyla beslenme sağlanabileceği düşünülmektedir (Şimşek vd., 1988).

Çalışma sahasında daha önce yapılmış olan ^{14}C izotop çalışmalarıyla jeotermal suların (kuyu ve kaynaklar) yeraltı dolaşım yaşının 40,000 yıldan daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır (Güner ve Yıldırım 2005).



Şekil 6.1.Ömerbeyli jeotermal sisteminin basitleştirilmiş hidrojeolojik oluşum modeli (Şimşek 2008 enine kesitinden düzenlenmiştir.)

KAYNAKLAR

- Akan, B., 2002. Jeotermal Sistemlerde Modelleme Yaklaşımı; Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi, Ankara.
- Armstead, H.C.H., 1978. Geothermal Energy Development. Progress in Energy and Combustion Science (2)4: 181-238.
- Arnórsson, S., 1995. Scaling problems and treatment of separated water before injection. In: WGC-95, book of course on injection technology, International Geothermal Association, Florence, 65-77.
- Arnórsson, S., Gunnlaugsson, E., ve Svavarsson, H., 1983. The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochemica et Cosmochimica Acta*. Pergamon Press. The United States of America, 567-577.
- Başkan, E., 1970. Germencik (Aydın) Çamur Ilıca ve Bozköy Kaplıcası Hidrojeoloji Etüdü, MTA Raporu, Ankara.
- Bello, A.O., 2013. "Simav ve yakın çevresi jeotermal sularının hidrojeolojik, hidrojeokimyasal ve izotop jeokimyasal özellikleri." Yüksek lisans çalışması. 24 -45s. Isparta.
- Bozkurt, E., 1995. Deformation during main Menderes metamorphism (MMM) and its tectonic significance: evidence from southern Menderes Massif, western Turkey. *Terra* 7, S.176.
- Bozkurt, E., 2001. Late Alpine evolution of the central Menderes Massif, Western Turkey. *Internati. J. Earth Sci.* 89, S.728-744.
- Bozkurt, E., ve Park, R.G., 1994. Southern Menderes Massif: an incipient metamorphic core complex in western Anatolia, Turkey. *J. Geol. Soc. Lond.* 151, S. 213-216.
- Bozkurt, E., ve Park, R.G., 1997a. Evolution of mid-Tertiary extensional shear zone in the southern Menderes Massif, western Turkey. *Soc. Geo. Fr. Bull.* 168, S.3-14.
- Bozkurt, E., ve Park, R.G., 1997b. Microstructures of deformed grains in the augen gneisses of southern Menderes Massif and their tectonic significance. *Geol. Rundsch.* 86, S.103-119.
- Bozkurt, E., ve Park, R.G., 1999. The structure of the Paleozoic schists in the southern Menderes Massif, western Turkey: a new approach to the origin of the main Menderes metamorphism and its relation to the Lycian Nappes. *Geodinamica acta (Paris)* 12, S.25-42

- Browne, P.R.L., 1978. Hydrothermal alteration in active geothermal fields. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 6, 229-250.
- Browne, P.R.L., 1984. Lecture on geothermal geology and petrology. UNU Geothermal Training Programme, Iceland. Report 1984-2.
- Candan, O., Dora, O.Ö., Kun, N., Akal, C., Koralay, E., 1992. Aydın Dağları (Menderes Masifi) güney kesimindeki allohton metamorfik birimler, Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 4, 93-110.
- 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.
- Correia, H., Escobar C., Gauthier, C., 1990. Germencik geothermal field feasibility report, part two, October, Ankara.
- Çiçekli, K., Karamandere, İ.H., ve Güner, A., 1986. Aydın-Germencik-Ömerbeyli Jeotermal Sahası Ömerbeyli 6 derin jeotermal sondaj bitirme raporu. M.T.A., Ankara.
- D'Amore, F., ve Arnórsson, S., 2000. Geothermometry. S. Arnórsson, (Ed.). *Isotopic and chemical techniques in geothermal exploration, development and use* (152-199). International Atomic Energy Agency, Vienna, 351.
- Dewey, J.F., Şengör, A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions. Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *GSA Bulletin*, 90-1, 84-92. [Dergi].
- Doğan, A., 2000. Ders Notları.
- Doğdu, N., 2004. Maden Tetkik Arama Müdürlüğü Denizli Bölgesi Jeotermal Enerji Raporu, Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri 2005.
- Dora, O.Ö., Candan, O., Dürr, H., Oberhansli, R., 1995. New evidence on the geotectonic evolution of the Menderes Massif. In: *Proceedings of the International Earth Sci. Col. On the Aegean Region* (Pişkin Ö., Ergün, M., Savaşçın M.Y, Tarcan, G. –eds), 53-72s, İzmir.
- DSİ.II, Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu. s. 309-321. İzmir.
- Ekingen, A., 1978. Jeotermik Enerji Aramaları Germencik-Söke Gravite Etüdü M.T.A. Raporu.
- Eres, K. ve Alpar B., 1984. Aydın Germencik Sahası jeotermal enerji aramaları sismik etüd raporu M.T.A. Rapor No: 7574

- Filiz, Ş., 1982. Ege Bölgesindeki önemli jeotermal alanların O^{-18} , H^{-2} , H^{-3} , C^{-13} izotoplarıyla incelenmesi. Doçentlik Tezi, E.Ü.Y.B.F., 1-95, İzmir (Yayınlanmamış).
- Filiz, Ş., 1984. Investigation of the Important Geothermal Areas by Using, C, H, O Isotopes, Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, Florence, 25-26.
- Filiz, Ş., Tercan, G., ve Gemici, Ü., 1999. Germencik (Aydın) Jeotermal Alanlarının Hidrotermal Açidan İncelenmesi. DEÜ Fen ve Müh Dergisi 1, S: 41-64.
- Foulliac, C., Michard, G., 198.: Sodium/Lithium ratio in water applied to the geothermometry of geothermal waters. Geothermics, v. 10, p.55-70.
- Fournier, R.O., 1977. "Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems", Geothermics, 5, 41-50.
- Fournier, R.O., 1979. "A revised equation for the Na/K geothermometer" Geothermal Resources Council Transactions, 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1990. The interpretation of Na-K-Mg relations in geothermal waters. Geoth. Res. Council. Trans., 14, 1421-1425.
- Gat, J.R., ve Carmi, I., 1970. Evolution of the isotopic composition of atmospheric waters in the Mediterranean Sea area. Journal of Geophysical Research 75, S. 3039-3048.
- Gevrek, A.İ., 1985. Aydın - Denizli Jeotermal Alanlarında Civa, Arsenik ve Kurşun Elementlerinin Jeotermal Kaynak Araştırmalarına Uygulanması, MTA, Rapor No: 7948, Ankara, 8s.
- Gevrek, A.İ., 1987. Petrology of Aydın-Germencik, Ömerbeyli Geothermal field. Geothermal Institute of Auckland, Auckland-New Zealand.
- Giese, L., 1997. Geotechnische und umweltgeologische Aspekte bei der Förderung und Reinjektion von Thermalfluiden zur Nutzung geothermischer Energie am Beispiel des Geothermalfeldes Kizildere und des Umfeldes, W.-Anatolien/Türkei: Unpubl. Ph.D. thesis, Freie Universität Berlin, 201p.
- Giggenbach, W.F., 1988. Geothermal solute equilibria - Derivation of Na-K-Mg-Ca Geoindicators. Geochim. Cosmochim. Acta 52, S. 2749-2765.
- Grant, M.A., Donaldson, I.G., Bixley, P.F., 1982. Geothermal reservoir engineering. Academic Press.
- Gülay, O., 1982. Jeotermal Enerji Aramaları, Aydın – Germencik Gravite Etüdü, MTA Rapor No: 7258, Ankara.

- Güner, İ., Yıldırım, N., 2005b. Kızıldere ve Tekkehamam (Sarayköy-Denizli) jeotermal sahalarındaki suların hidrokimyasal modellemesi ve dolaşım sürelerinin ^{14}C izotopu kullanılarak belirlenmesi, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 26-30 Eylül, İzmir, s. 297 -308.
- Güner, İ.N., Yıldırım, N., 2005a. Jeotermal akışkanlarda paleodeniz suyunun varlığına bir örnek: Ömerbeyli-Germencik (Aydın) jeotermal sahası, II. Ulusal Hidrolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu, 26-30 Eylül, İzmir, s. 309-321.
- Helgeson, H.C., 1969. Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressure. Am. Jour. Sci., 267, 729-804.
- Hetzl, R., Passchier, C.W., Ring, U., ve Dora, O.Ö., 1995a. Bivergent extension in orogenic belts: the Menderes Massif (southwestern Turkey). Geology 23, S. 455-458.
- Hetzl, R., Ring, U., Akal, C., ve Troesch, M., 1995b. Miocene NNE directional extensional unroofing in the Menderes Massif, southwestern Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 152, S. 639-654.
- Hetzl, R., Romer, R.L., Candan, O., ve Passchier, C.W., 1998. Geology of the Bozdağ area, central Menderes Massif, SW Turkey: Pan-African basement and Alpine deformation. Geol. Runfsch. 87, S. 394-406.
- Hetzl, R., ve Reischmann, T., 1996. Intrusion age of Pan-African augen gneisses in the southern Menderes Massif and the age of cooling after after Alpine ductile extensional deformation. Geol. Mag. 133, S. 565-572.
- Karahan, Ç., Kara, İ., Özkan, R., Ceyhan, S., 2000. Aydın-Alangüllü-Bozköy Sıcaksu Sondajı (A-2) Kuyu Bitirme Raporu, MTA, Ankara, 21s.
- Karakuş, H., 2010. Büyük Menderes grabenindeki jeotermal sistemlerin jeokimyasal ve izotop teknikleri ile incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 213 S.
- Karamanderesi, 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 [unpublished].
- Karamanderesi, İ.H., Coşkun, S.B., Eşder, T., Yilmazer, S., 1982. Germencik – Ömerbeyli -1 Kuyu Bitirme Raporu, MTA Rapor No: 7746A, Ankara.
- Karamanderesi, İ.H., Helvacı, C., 1994. Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, Western Anatolia, Turkey. IAVCEI, 1994 Ankara, Abstract, Theme-9 Experimental Petrology.

- Karamanderesi, İ.H., Helvacı, C., 2001. Büyük Menderes vadisindeki jeotermal kaynakların yeraltısularına etkisi. Yeraltı Suları ve Çevre Sempozyumu Bildiri Özleri, 339-350.
- Karamanderesi, İ.H., Helvacı, C., 2003. Geology and hydrothermal alteration of the Aydın-Salavatlı geothermal field, Western Anatolia, Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences, 12, 175-198.
- Keskin, B., 1972. Kuşadası – Germencik-Aydın Arası Büyük Menderes Grabeninin Jeotermal Değerlendirilmesi Hakkında Detay Rapor, MTA, 44s, Ankara.
- Kharaka, Y.K., Mariner, R.H., 1989. Chemical geothermometers and their application to formation waters from sedimentary basins. Thermal History of Sedimentary Basins; Methods and Case Histories, Näser, N. D. and McCulloh T. H., (eds.), Springer Verlag, New York, pp. 99-117.
- Koçyiğit, A., Yusufoglu, H., ve Bozkurt, E., 1999. Evidence from the Gediz graben for episodic two-stage extension in western Turkey. J. Geol. Soc. Lond. 156, S. 605-616.
- Külekçi, Ö.C., 2009. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasında Jeotermal Enerjinin Yeri ve Türkiye Açısından Önemi: Place of Geothermal Energy in The Content of Renewable Energy Sources and It' s Importance for Turkey.
- Lydon, J.W., 1988. Ore deposit models: Volcanogenic massive sulphide deposits. Part 2: Genetic models: Geoscience Canada, 15, 43-65.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, N., Veis, G., 2000. Global positioning system constraints on the plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, 105, 5695-5719.
- McKenzie, D., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, Geophysical Journal Royal Astronomical Society, 30, 109-185.
- McKenzie, D., 1978. Active tectonics of the Alpine - Himalayan belt: The Aegean sea and surrounding regions, Geophysical Journal of Royal Astronomical Society, 55, 217-254.
- McKenzie, D.P., 1978. Active tectonics at the Alpine-Himalayan belt; The Aegean Sea and surrounding regions. Geophysical Journal of Royal Astronomical Society, 55, 217-254.
- MTA, 2004. Türkiye Curie Isısı Derinlik Haritası Raporu, MTA Rapor No: 10638, Ankara

- MTA, 2005. Türkiye Jeotermal Kaynakları Envanteri, MTA Envanter Serisi-201, Ankara, 849s.
- MTA, 2006a. 1/2000000 Ölçekli Türkiye Rejyonal Gravite Bouger Anomali Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MTA, 2006b. Türkiye Isı Haritası (Manyetik Verilerden) Raporu, MTA Rapor No: 10840, Ankara.
- Mueller, S., Kahle, HG., Barka, A., 1997. Plate tectonic situation in the Anatolian-Aegean region, ActiveTectonics of Northwestern Anatolia–The MARMARA Poly Project; A Multidisciplinary Approach by Space Geodesy, Geology, Hydrogeology, Geothermics and Seismology, eds: Schindler, C. and Pfister, M., Vdf. Hochschulverl, an der ETH Zurich, pp.13-28.
- Mutlu, H., 1999. Kimyasal Modellemedeki Temel Prensipler. JENARUM. Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yaz Okulu Ders Notları, İzmir. 38-54s.
- Nicholson, K., 1993. Geothermal Fluids, Chemistry and Exploration Techniques. Springer-Verlag, Berlin, 263 p.
- Nieva, D., Nieva, R., 1987. Development in geothermal energy in Mexico, Part 12-A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources, Heat Recovery Systems and CHP, 7, 243-258.
- Okandan, E., 1986. Aydın-Germencik ve Denizli-Sarayköy Jeotermal sahaları enerji üretim potansiyeli. Türkiye 4. Enerji Kongresi s.435-445. Ankara.
- Özen, T., 2002. Jeotermal Sahalarda Jeolojik Ve Jeofizik Arama İlke Ve Stratejiler. Jeotermal Enerji Semineri 2007.
- Özgür, N., 1998. “Aktive und fossile Geothermalsysteme in den kontinentalen Riftzonen des Menderes Massives, Westanatolien, Türkei: Habilitations Schrift, Freie Universität Berlin, 171 S.
- Özgür, N., 2001. Origin of the high boron contents in the thermal waters of the rift zones of the Menderes Massif, Western Anatolia, Turkey. Int. Geol. Rev., 43, 910-920.
- Özgür, N., Karamandereci, İ.H., 2015. “An update of the geothermal potential in the continental rift zone of the Büyük Menderes” , Western Anatolia, Turkey. Stanford University Symposium.
- Özgür, N., Pekdeğer, A., 1995. Active geothermal systems in the rift zones of the Menderes Massif, western Anatolia, Turkey: in: Kharaka, Y. K. and Chudakov, O. V. (eds.): Proc. Internat. 8th Symp. on Water-Rock Interaction, Vladivostok/Russia, p.529-532.

- Özgür, N., Pekdeger, A., Wolf, M., Stichler, W., Seiler, K.P. and Satır, M., 1998. Hydrogeochemical and isotope geochemical features of the thermal waters of Kizildere, Salavatli, and Germencik in the rift zone of the Büyük Menderes, western Anatolia, Turkey: Preliminary studies, Int. 9th Symp. on Water – rock Interaction, 30 March - 3 April, Taupo, New Zealand, Eds: G.B. Arehart and J.R. Hulston, Balkema, Rotterdam, pp. 645- 648.
- Özgür, N., Vogel, M., Pekdeger, A., 1998. A new type of hydrothermal alteration of the Kizildere geothermal field in the rift zone of the Büyük Menderes, western Anatolia, Turkey: in: Arehart, G.B. and Hulston, J.R. (-eds): Proc. Internat. 9th Symp. On Water-Rock Interaction, Taupo, New Zealand, 30 March – 3 April, p.645-648.
- Reilinger, R.E., McClusky, S.C., Oral, M.B., King, R.W., Toksoz, M.N., Barka, A. A., Kinik, I., Lenk, O., Sanli, I., 1997. Global positioning system measurements of present-day crustal movements in the arabia-africa-eurasia 9983-9999.
- Rose, A.W., Hawkes, H.E., and Webb, J.S., 1979. Geochemistry.
- Şahin, H., 2002. Aydın - Germencik Sahası Jeotermal Enerji Aramaları Jeofizik Özdirenç Etüdü Raporu, MTA Rapor No: 10556, Ankara, 97s.
- Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., 1986. Doğu Anadolu'da neotektonik dönemdeki jeolojik evrim ve havza modelleri, MTA Dergisi, 107, 73-95.
- Şener, C., 1984. Aydın-Ömerbeyli, İncirliova sahası Jeotermal enerji aramaları sismik etüdü raporu : MTA Rapor No: 7541.
- Şengör, A.M.C., 1982. Egenin neotektoniğini yöneten etkenler: In: Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması (Erol, O., Öygür, V. eds.), Türkiye Jeol. Bült., 59-71 s.
- Şengör, A.M.C., Yılmaz, Y., 1981. Tethyan evolution of Turkey; plate tectonic approach, Tectonophysics, 75, 181-241.
- Şimşek, Ş., 1981. Aydın-Germencik Alanının jeolojisi ve jeotermal enerji alanları yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları EİEİ yayını, Ankara
- Şimşek, Ş., 1984. Aydın-Germencik-Ömerbeyli Geothermal field of Turkey, Seminar on Utilization of Geothermal Energy for Electric Power Production and Space Heating, 16 May, Florence-Italy, EP/SEM.9/R.37.
- Şimşek, Ş., 2003. Hydrogeological and isotopic survey of geothermal fields in the Büyük Menderes Graben, Turkey, Geothermics, 32, 669-678.
- Şimşek, Ş., 2008. Aydın-Germencik-Ömerbeyli Jeotermal Alanının Açılan Üretim Kuyularına İlişkin Rapor, Gürmat, Ankara.

- Şimşek, Ş., 2013. Gürmat Üretim Kuyusu Bitirme Raporu.
- Şimşek, Ş., Doğdu, M.S., Akan, B., ve Yıldırım, N., 2000. Chemical and Isotopic Survey of Geothermal Reservoirs in Western Anatolia, Turkey, Proceeding of World Geothermal Congress, p.1765-1770, Japan.
- Şimşek, Ş., Gülgör, A., 1988. Aydın – Germencik – Ömerbeyli Jeotermal Alanının Ön Fizibilite Raporu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 36s.
- Şimşek, Ş., Karamenderesi, İ.H., Eşder T., Yilmazer S., ve Güngör A., 1983. The importance of the extention of Bozköy overthrust (Germencik) through B.Menderes graben in respect of geothermal energy possibilities. Scientific and technical meeting of geothermal energy possibilities Scientific and Technical Meeting of Geothermal Energy Association, Ankara, pp. 166-167.
- Şimşek, Ş., Karamenderesi, İ.H., Yilmazer, S., Eşder, T., Erişen, B., Keskin, B., Öngür, T., Yüksel, V., Suludere, Y., Kastelli, M., Özbayrak, H., Uğurlu, A., Şimşek, Z., Sarıöz, K., Uysallı, H., Uygur, N., Coşkun, B., 1979. Aydın – Denizli Jeotermal Alanları, MTA Arşiv No: 3707, Ankara.
- Şimşek, Ş., Uygur, N., Özbayrak, İ.H., Coşkun, B., Dikmeoğlu, T., Aras, A., 1980. Aydın (Germencik-Söke) alanının jeotermal enerji olanakları. Türkiye IV.Bil. Kong., 251-264.
- Şimşek, Ş., Uygur, N., Özbayrak, İ.H., Dikmenoğlu, T., Coşkun, S.B., ve Aras, A., 1980. Germencik-Söke (Aydın) Alanının jeotermal enerji olanakları, TÜBİTAK VI.Temel Bilimler Kongresi Yerbilimleri Sektörünü S.251-264.
- Şimşek, Ş., Yıldırım, N., Gülgör, A., 2005. Developmental and environmental effects of the Kızıldere geothermal power project, Turkey, Geothermics 34, 239-256.
- Tapponnier, P., 1977. Evolution tectonique du système Alpin en Méditerranée: poinçonnement et écrasement rigide-plastique, Bull. Soc. Géol. France, 19, 437-460.
- Tarcan, G., 2002. Jeotermal su kimyası, jeotermalde yerbilimsel uygulamalar, yaz okulu ders kitabı JENERUM. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir Yayın No: 306, 198- 245.
- Tezcan, L., 1992. Karst Akifer sistemlerinin trityum izotopu yardımıyla Matematiksel Modellemesi, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Beytepe, Ankara, 121 s.
- Tonani, F., 1980. Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration, Adv. Eur. Geoth. Res. Second Sym., Strasbourg, pp. 428-443.
- Truesdell, A.H., 1976. Summary of section III. Geochemical techniques in exploration, Proc. of Second United Nations Symposium on the Development

and Use of Geothermal Resources, 20-29 May, San Francisco, California, pp: 53-79.

Truesdell, A.H., Hulston, J.R., 1980. Isotopic evidence of environments of geothermal systems. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry, Vol.1, The Terrestrial Environment. Fritz, P. and Fontes J. Ch. (eds.), Elsevier, Amsterdam, pp. 179-226.

Turcotte, D.L., Schubert, G., 2002. "4", Geodynamics (2nd edition), Cambridge, England, UK; Cambridge University Press, pp 136-137.

Union, O.I.L., 1983. Union Geothermal Division, Union Oil Company of California, 2099 Range Ave. P.O.Box : 6854, Santa Roza, California.

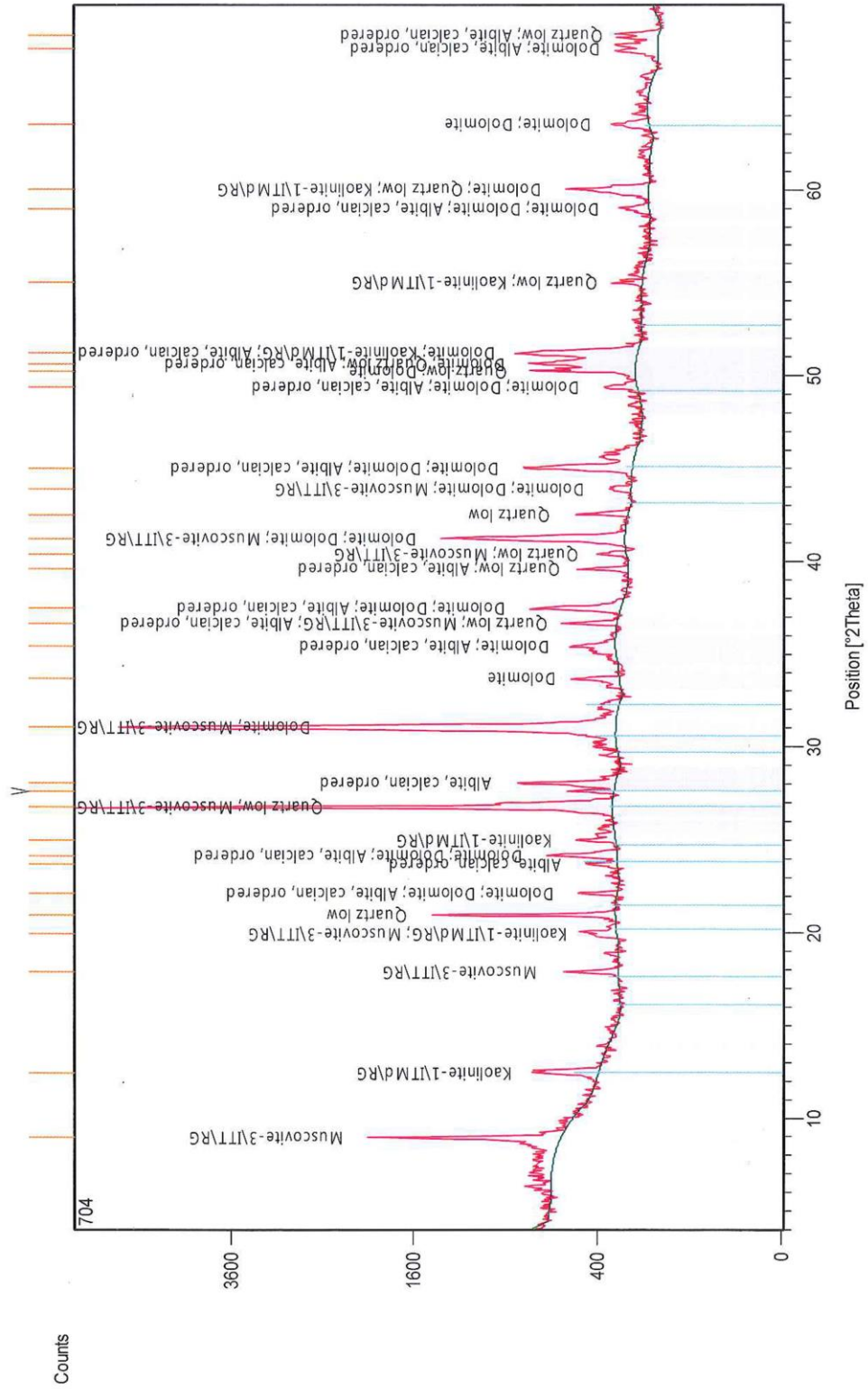
Verge, N.J., 1995. Oligo-Miocene extensional exhumation of the Menderes Massif, western Anatolia. Terra 7, S. 117.

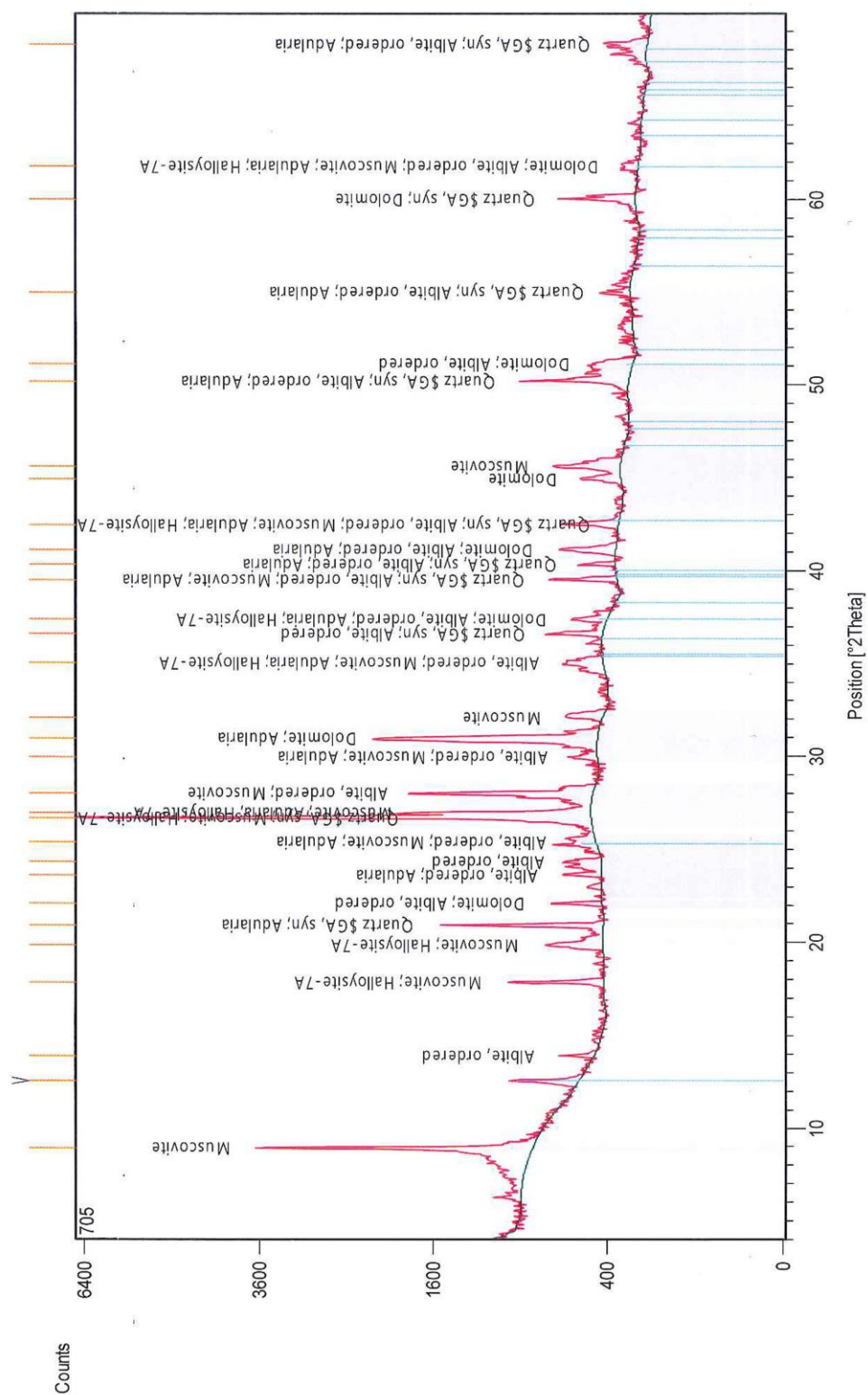
www.eie.gov.tr

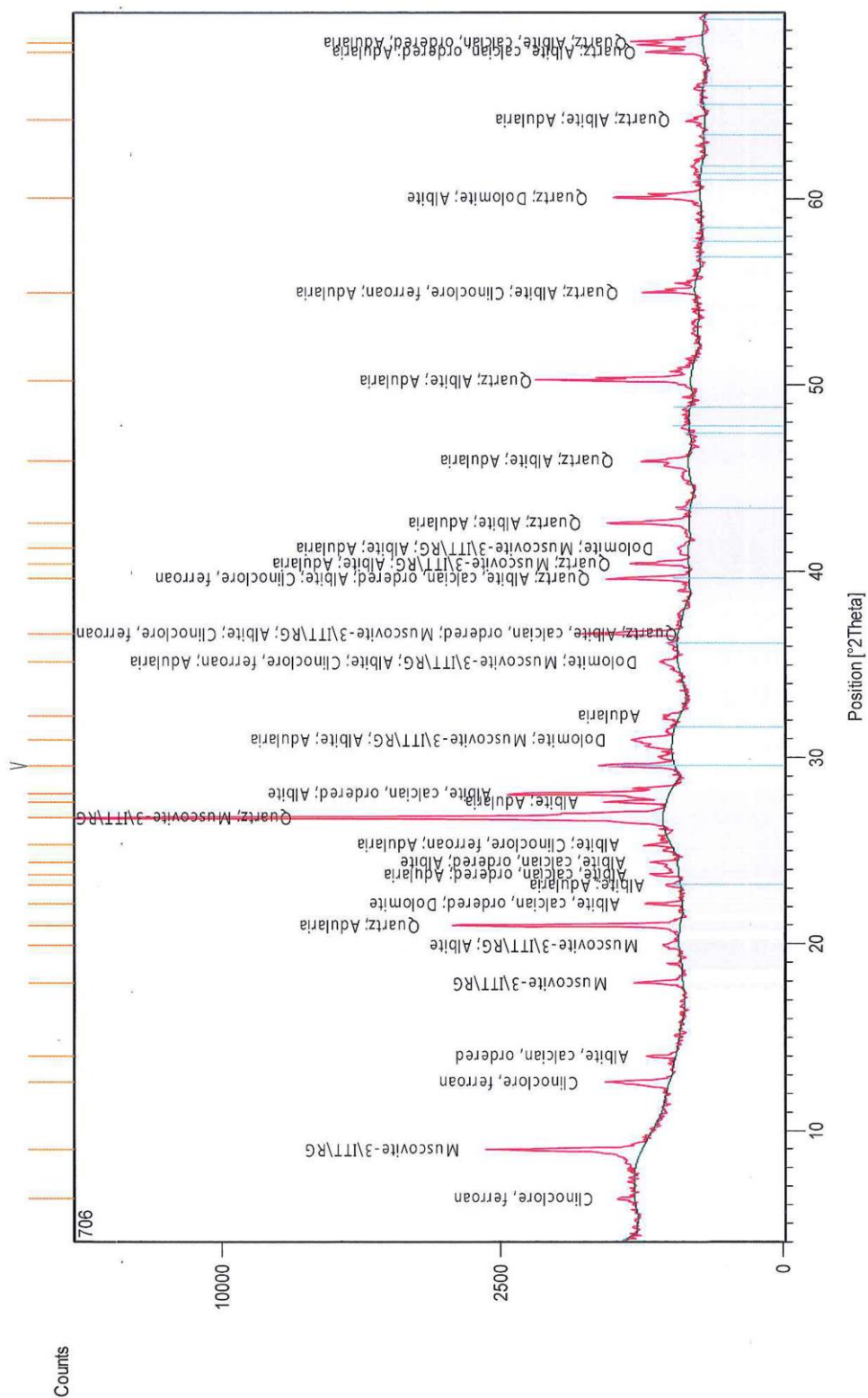
Yaman, D., 2005. "Menderes masifi kıtasal rift zonlarında yer alan jeotermal sulardaki yüksek bor değerlerinin kökeni": Süleyman Demirel Üniversitesi; Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166 S.

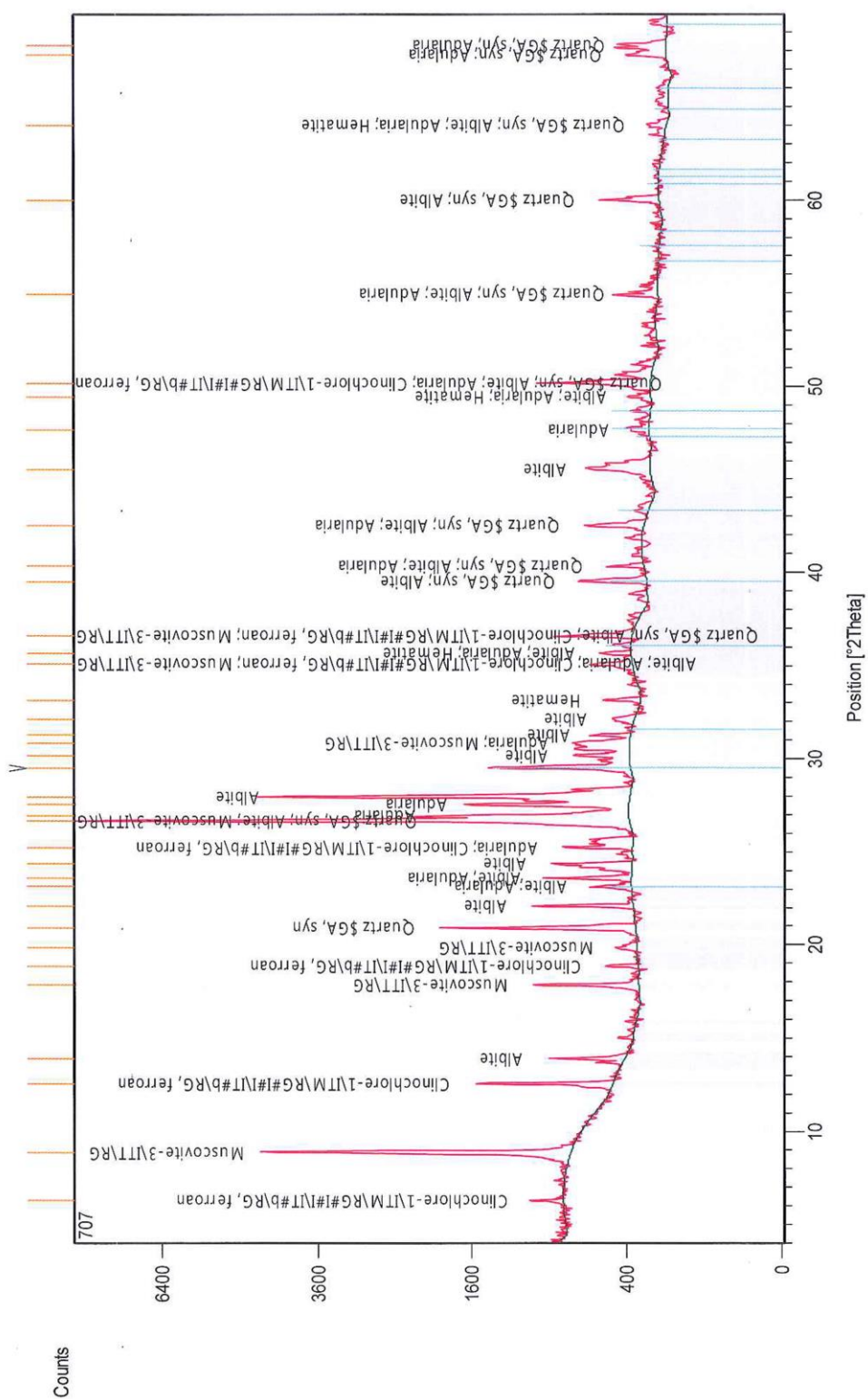
Yıldırım, N., 1988. Germencik-Omerbeyli Jeotermal Alanında Açılan Kuyularda Üretilen Akışkanın Kimyasal Analizlerinin Değerlendirilmesi, ön rapor.

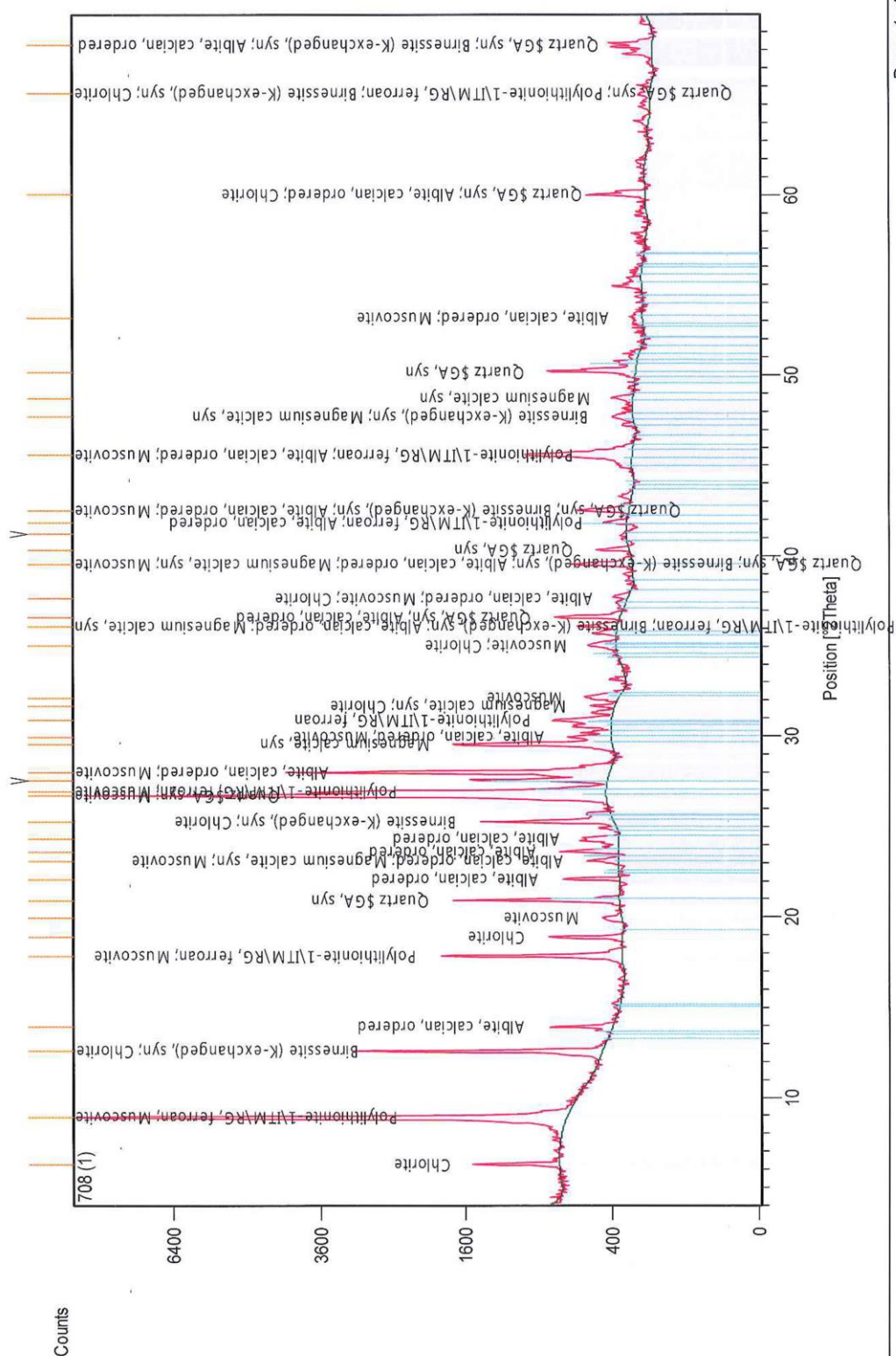
EKLER

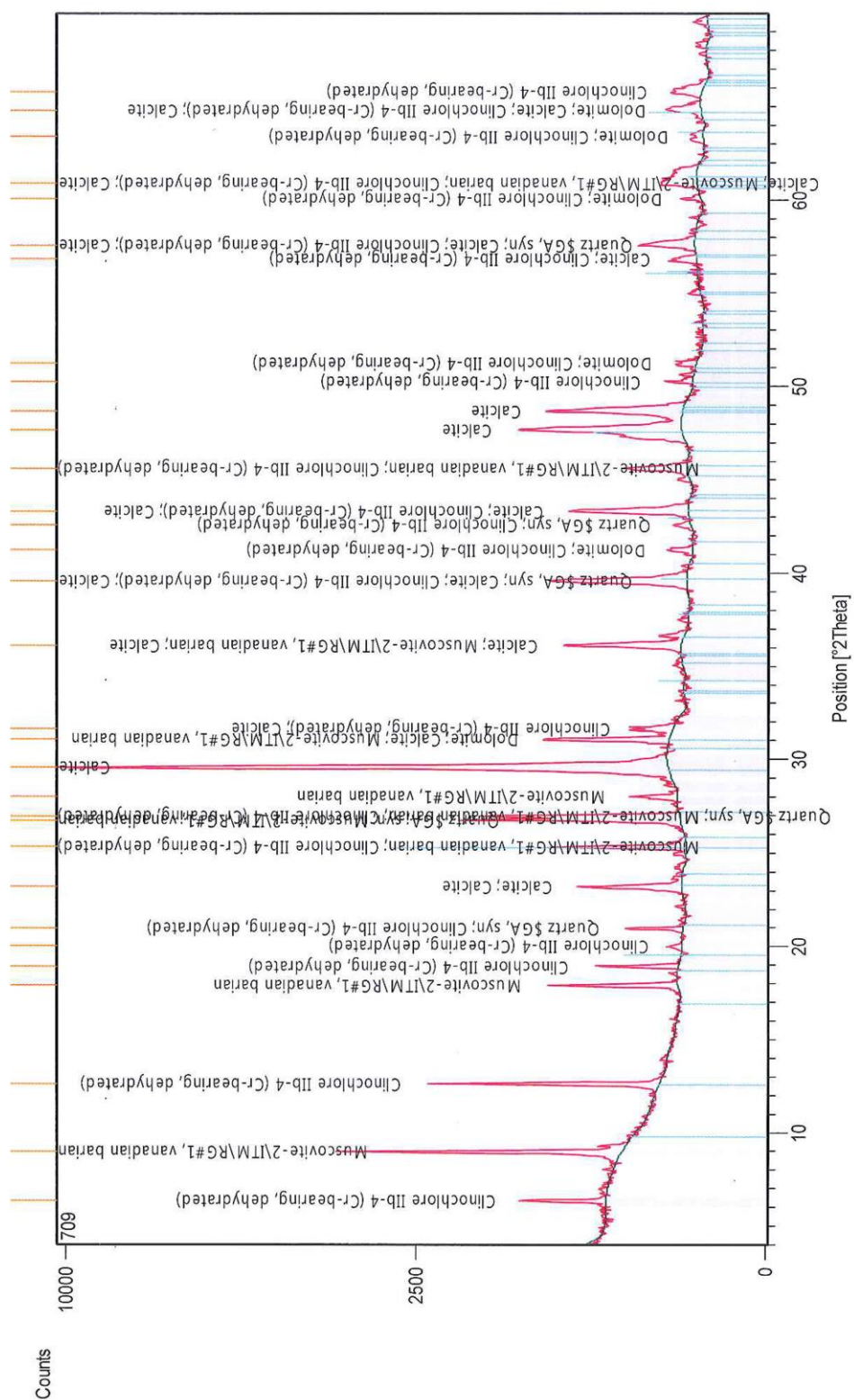


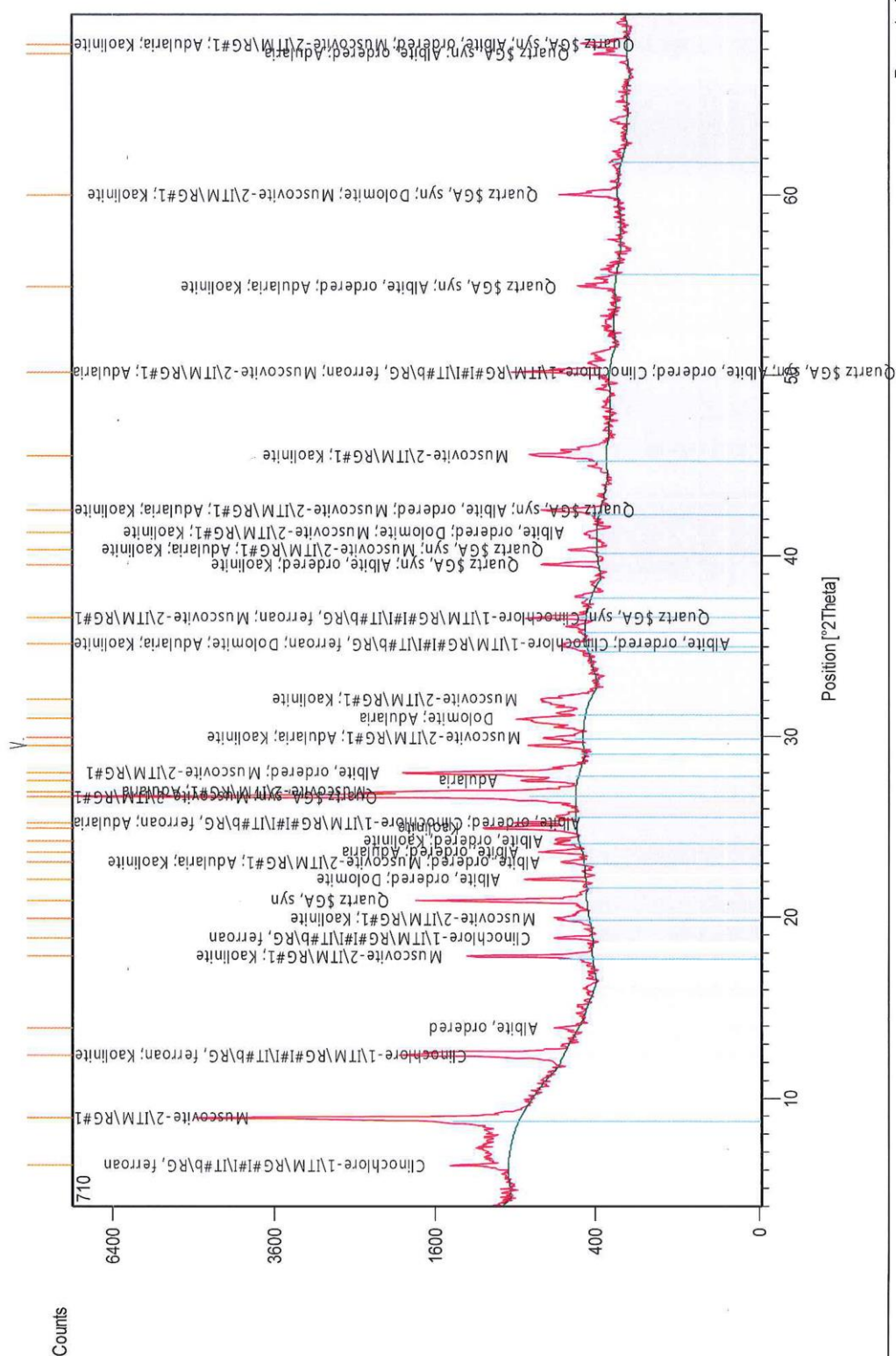


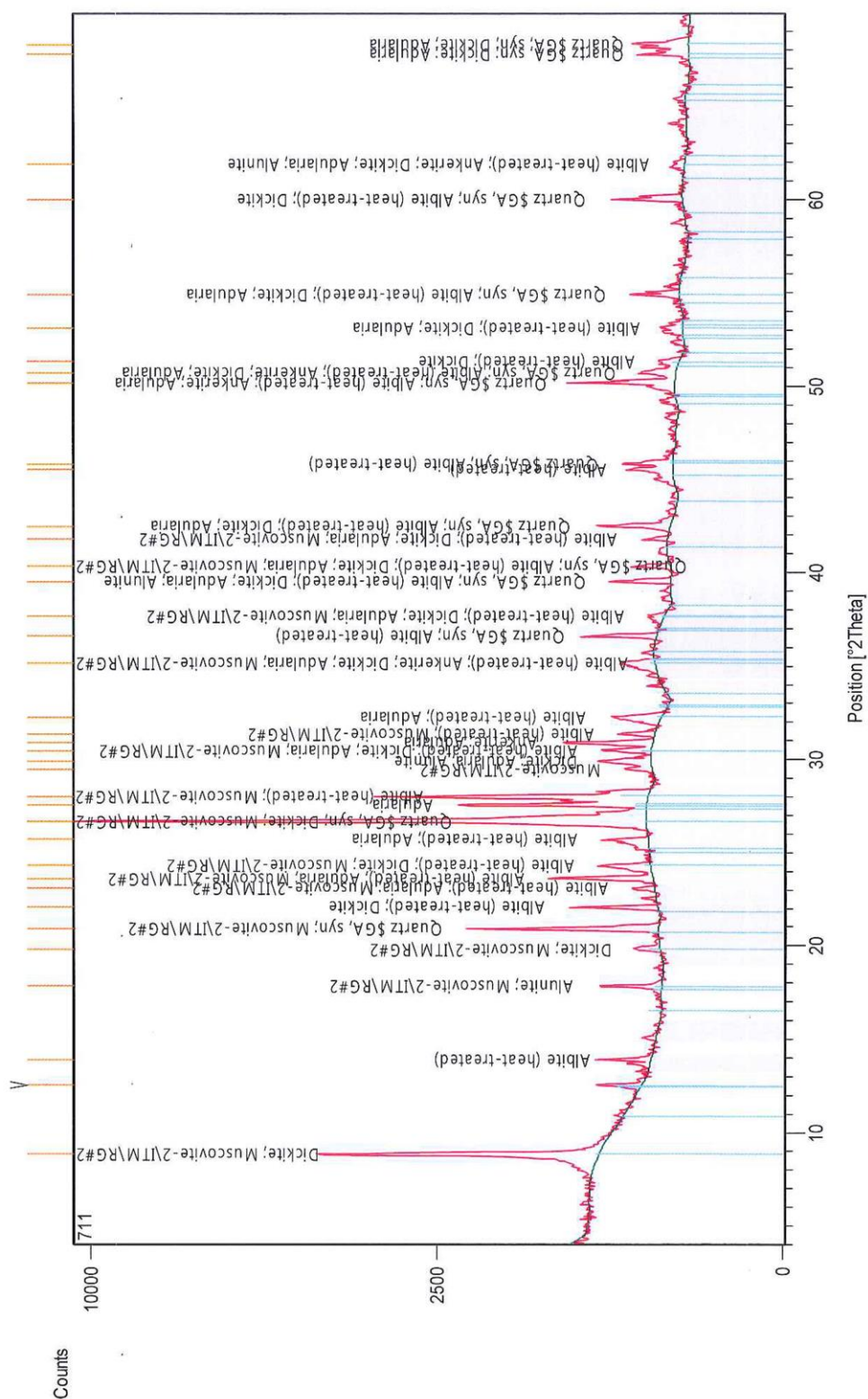


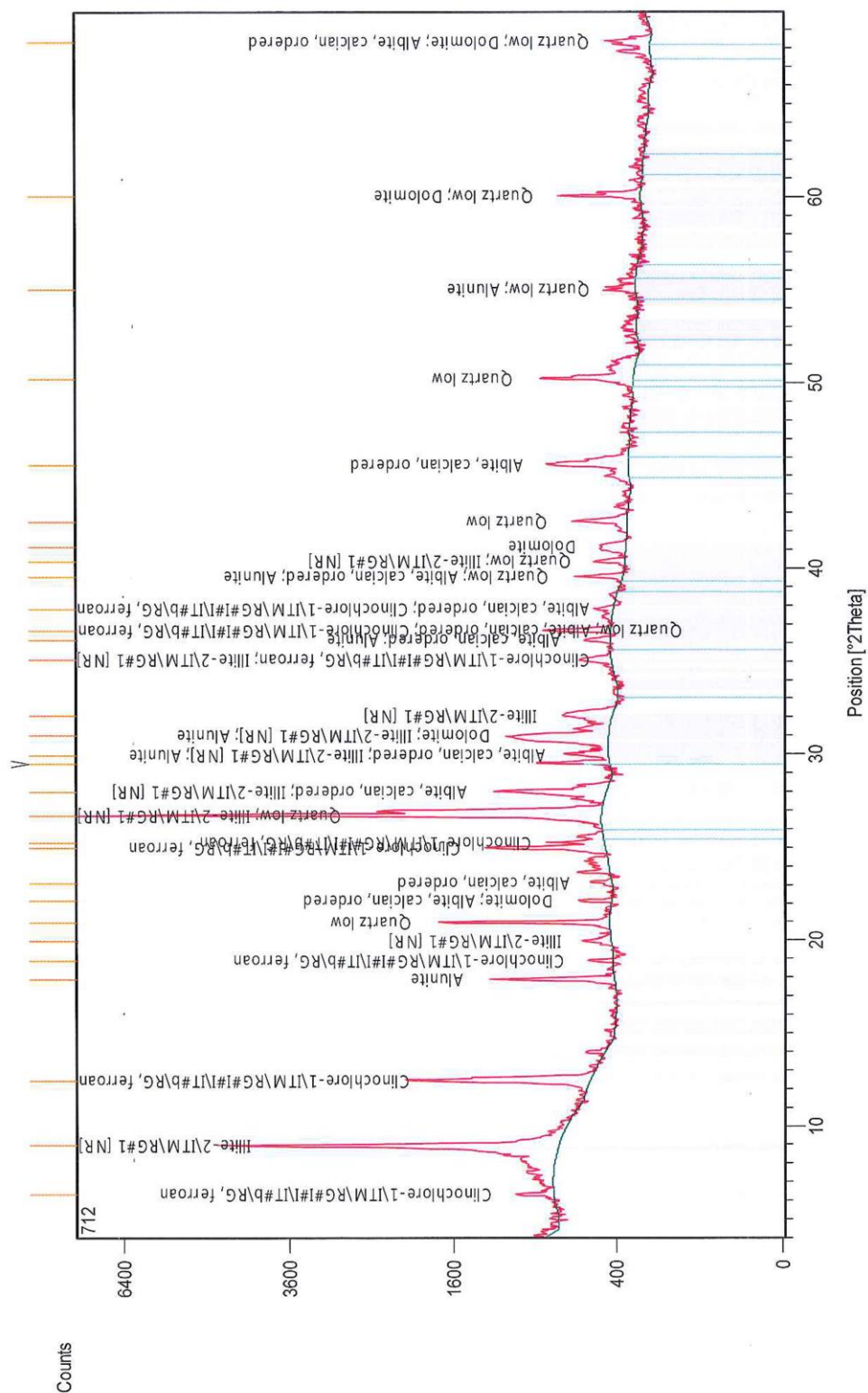


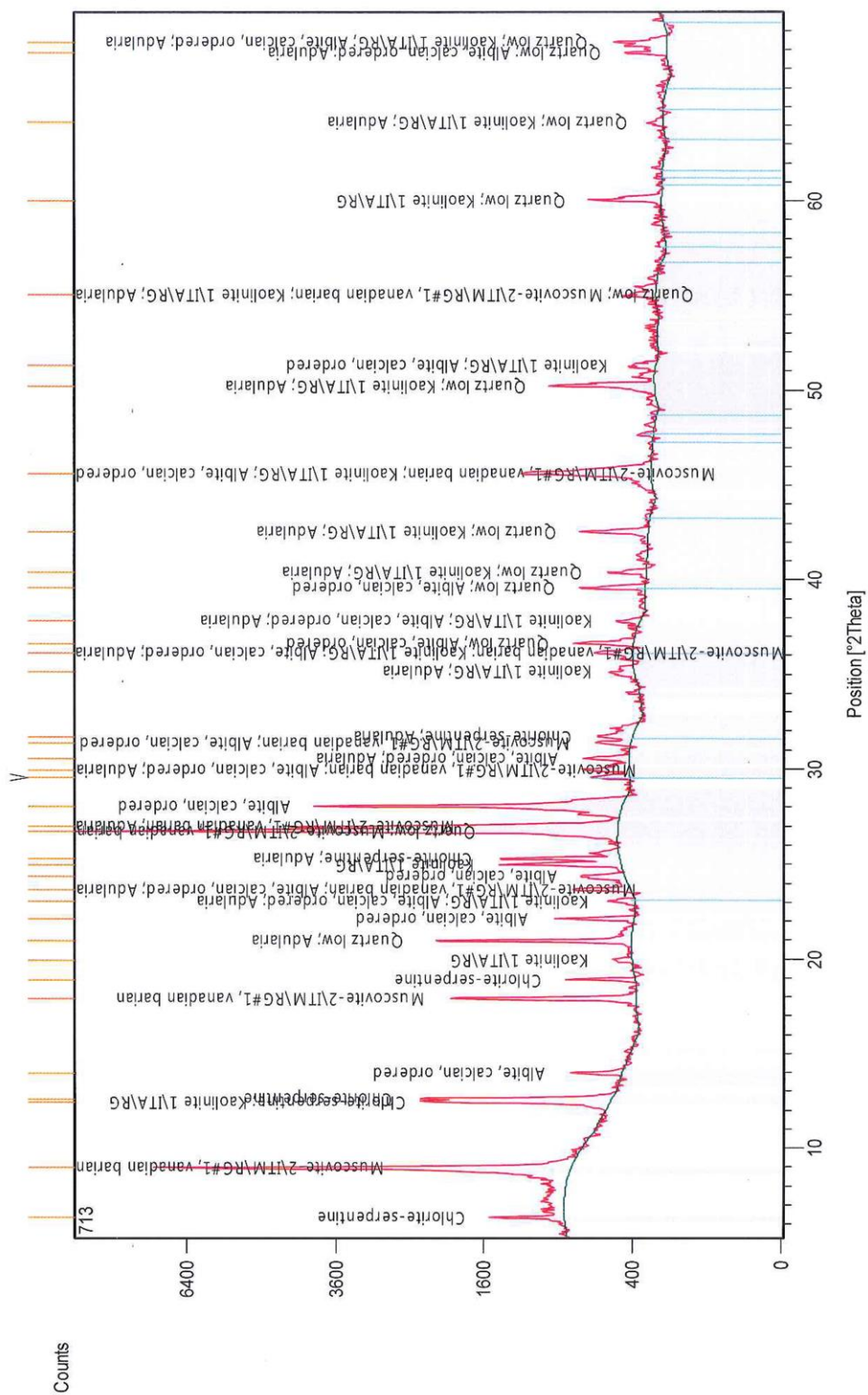












ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Onur Melih KASIMOĞLU

Doğum Yeri ve Yılı : Ezincan, 1989

Medeni Hali :Bekar

Yabancı Dili :İngilizce

E-posta :onur.kasimoglu@turbasbm.com.tr

Eğitim Durumu

Lise : Aydın Cumhuriyet Y.D.A. Lisesi, 2007

Lisans : SDÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği, 2012

Yayınlar

Kasımoğlu, O. M., Karamandere, İ. H., Özgür, N., Çalışkan A.T., 2015. Ömerbeyli köyü (Germencik, Aydın) yöresi jeotermal su arama ve üretim kuyusunda hidrotermal alterasyon modellemesi: 68th Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara.

Mesleki Deneyim

GÜRİŞ/JEM Kuyu Jeoloğu,01.2013-07.2015

Turbas BM Kuyucak Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş., 07.2015-