

**Eskişehir Kızılınler Bölgesi Jeotermal
Sisteminin Araştırılması**

Serkan KAHRAMAN
Yüksek Lisans Tezi

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri
Anabilim Dalı

Ağustos 2014

**Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu
Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No: 1202F040**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Serkan Kahraman’ın “Eskişehir Kızılınler Bölgesi Jeotermal Sisteminin Araştırılması” başlıklı Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 04.08.2014 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	<u>Adı Soyadı</u>	İmza
Üye (Tez Danışmanı) :	Yrd. Doç. Dr. Emrah PEKKAN	
Üye :	Prof. Dr. G. Berkan ECEVİTOĞLU	
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Harun AYDIN	

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ESKİŞEHİR KIZILINLER BÖLGESİ JEOTERMAL SİSTEMİNİN ARAŞTIRILMASI

Serkan KAHRAMAN

Anadolu Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Emrah PEKKAN

2014, 64 Sayfa

Eskişehir şehir merkezinin 15 km. kadar güneybatısında bulunan Kızılınler Köyü'nde 38 °C sıcaklığında bir sıcak su kaynağı bulunmaktadır. Kaynak, Pliyosen tüfler ile Kuvaterner alüvyon arasındaki ters fay yüzeyinden çıkmaktadır. Çalışma kapsamında, sıcak su çıkışı dikkate alınarak bölgenin jeotermal potansiyelini belirlemek üzere bir dizi jeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofizik çalışmalar yürütülmüştür.

Yapılan çalışmalar sonucunda, bölge bulunan sıcak suların, kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sıkışma kuvvetlerinin etkisinde gelişen doğrultu atımlı fayların oluşturduğu deformasyon alanlarından yüzeye ulaştıkları anlaşılmıştır. Bölgedeki sıcak sular, Na-HCO₃ tipi, güncel yağışlarla ilgisi olmayan, yüksek kottan beslenen meteorik kökenli sulardır. Bölgedeki ofiyolitler rezervuar kaya, Pliyosen tüfler örtü kaya özelliğindedirler. Uygun deformasyon alanlarında açılan kuyularla 55-60 °C sıcak su üretimi mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Tektonik, Hidrojeokimya, İzotop, Sismik

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF THE GEOTHERMAL SYSTEM OF KIZILINLER ESKİŞEHİR

Serkan KAHRAMAN

Anadolu University

Graduate School of Sciences

Remote Sensing and Geographical Information Systems Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Emrah PEKKAN

2014, 64 pages

A 38 ° C hot water spring exist in the village called Kızılınler where is located 15 km. of southwest of Eskişehir. The water spring flows, Pliocene tuff and Quaternary alluvium's thrust fault zone. In the study, taking into consideration the hot water outlet to determine the geothermal potential of the region a number of geological, hydrogeochemical and geophysical studies have been conducted.

As a result of this study, hot waters of the region, the northwest – southeast strike-slip faults developed under the influence of compressive forces created by it was understood that reaches the surface of the deformation zone. Hot waters in the region, Na-HCO₃ type, unrelated to the current rainfall, high elevation is fed by the waters of meteoric origin. Ophiolites in the region, reservoir rocks, Pliocene tuffs are the cap rocks. Accordance with deformation zones 55-60 °C hot water production from wells drilled possible.

Keywords: Geothermal, Tectonics, Hydrochemistry, Isotope, Seismic

TEŞEKKÜR

Tektonik çalışmaların veri toplama ve model kurma aşamasında, Prof. Dr. Gürol Seyitoğlu (Ankara Üniversitesi) önemli katkılar sağlamıştır.

Jeofizik çalışmalar kapsamında gerçekleştirilen, sismik yansıma hatlarının planlanması ve veri analizlerinin yapılması Prof. Dr. G. Berkan Ecevitoglu (Anadolu Üniversitesi) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Danışmanlarım, Yrd. Doç. Dr. Emrah Pekkan (Anadolu Üniversitesi) ve Hüseyin Karakuş (Dumlupınar Üniversitesi), çalışmanın her aşamasında destek olmuş ve katkı sağlamışlardır.

Yrd. Doç. Dr. Uğur Avdan, Yrd. Doç. Dr. Muammer Tün, Arş. Gör. Resul Çömert, (Anadolu Üniversitesi), proje asistanları, Hasan Burak Özmen ve Sunay Mutlu çalışma kapsamında gerçekleştirilen sismik veri toplama aşamasını gerçekleştirmede yardımcı olmuşlardır.

Proje asistanı Serhan Tuncer (Anadolu Üniversitesi), metin ve şekil düzenlemeleri konusunda yardımcı olmuştur.

Arş. Gör. Zehra Avdan (Anadolu Üniversitesi), su örneklerinin fizikokimyasal parametrelerinin ölçülmesinde gerekli teçhizatı sağlamış ve ölçümlerde yardımcı olmuştur.

Jeolog ve Hidrojeologlar, Hakkı Adnan Ceyhan, Ökem Çelem, Oğuzhan Tuncay Atasayar, Serkan Yalçın, Can Ongun Çerçi, Alkor Kutluay tez süresince moral ve motivasyon desteği vermişlerdir.

Babam Nurettin Kahraman, Annem Nurten Kahraman ve Ablam Sedef Düzgün, hayatımın her döneminde olduğu gibi, tezi hazırladığım dönemde de maddi ve manevi desteklerini esirgememişlerdir.

Yazar, yukarıda adı geçen tüm kişi ve kuruluşlara teşekkür eder.

Serkan KAHRAMAN

Ağustos 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Jeotermal Sistemler ve Kaynaklar	2
1.2. Jeotermal Sistem Tipleri	3
1.2.1. Buhar Egemen Sistemler	4
1.2.2. Sıcak Su Sistemleri.....	4
1.2.3. Yüksek Basınç Altındaki Sistemler.....	5
1.2.4. Sıcak Kuru Kayalar	5
1.2.5. Magma Sistemleri.....	5
1.3. Jeotermal Akışkan Tipleri.....	6
1.3.1. Jüvenil (Hipojenik Sular)	6
1.3.2. Meteorik Kökenli Sular	6
1.3.3. Karışık Sular	7
1.4. Türkiye ve Dünyada Jeotermal Enerji	7
1.5. Çalışma Alanı	8
1.6. Geçmiş Çalışmalar	10
1.7. Materyal ve Metot.....	13
2. BÖLGENİN JEOLJİSİ	16
2.1. Bölgenin Stratigrafik Özellikleri	16
2.1.1. Triyas	19
2.1.2. Paleojen	19
2.1.3. Neojen.....	20
2.1.4. Kuvaterner	21
2.2. Bölgenin Tektonik Özellikleri	21
3. HİDROJEOKİMYA VE ÇEVRESEL İZOTOP ÇALIŞMALARI	28

3.1. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler.....	31
3.2. Rezervuar Sıcaklıkları.....	41
3.3. İzotop Hidrolojisi.....	43
3.3.1. ^{18}O - ^2H İlişkisi	43
3.3.2. ^{18}O - ^2H ve Yükselti İlişkisi.....	45
3.3.3. Tritiyum (^3H) Değerlendirmeleri.....	47
 4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR	50
5. ESKİŞEHİR-KIZILINLER JEOTERMAL SİSTEMİ KAVRAMSAL MODELİ	57
6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	60
KAYNAKÇA	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası	9
2.1 Kızılınler jeotermal alanı stratigrafik istifi (Özbek [15] düzenlenerek alınmıştır.)	17
2.2 Kızılınler jeotermal alanı ve çevresi jeoloji haritası (Özbek [15] düzenlenerek alınmıştır.)	18
2.3 Eosen meşelik konglomerası üzerinde görülen doğrultu atımlı fay izi.....	22
2.4 Topraklık Tepe'nin güneybatısında görülen doğrultu atımlı fay izleri.....	23
2.5 Topraklık Tepe'nin güneydoğusunda görülen ters fay yüzeyleri	24
2.6 Kızılınler jeotermal alanı kuyu yerlerini gösterir harita.....	25
2.7 Kızılınler jeotermal alanına ait sayısal yükseklik modeli üzerinde görülen çizgisellikler ve yapısal veriler	26
3.1 Sayısal yükseklik modeli üzerinde potansiyel beslenme sınırı ve su örnekleme noktaları	28
3.2 Çalışma alanında bulunan termal alanlar ve örneklere ait pie diyagramları....	32
3.3 Çalışma alanından toplanan su örneklerine ait piper diyagramı	33
3.4 Kızılınler sıcak su örneklerine ait schoeller diyagramı.....	34
3.5 Kızılınler sıcak su kaynaklarına ait pie diyagramları.....	34
3.6 Kızılınler ve çevresinden alınan soğuk su örneklerine ait schoeller diyagramı	35
3.7 Kızılınler ve çevresinden alınan soğuk su örneklerine ait schoeller diyagramı	36
3.8 Eskişehir merkez sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait schoeller diyagramı.....	37
3.9 Eskişehir merkez sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait pie diyagramları.....	37
3.10 Porsuk Nehri'nden alınan su örneklerine ait schoeller diyagramı	38
3.11 Porsuk Nehri'nden alınan su örneklerine ait pie diyagramları.....	39
3.12 Yenisoğça ve Kütahya termal sularından alınan örneklere ait schoeller diyagramı	40
3.13 Yenisoğça ve Kütahya termal sularından alınan örneklere ait pie diyagramları.....	40

3.14 Cl-B diyagramı.....	41
3.15 Çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi grafiği	45
3.16 $\delta^2\text{H}$ – yükseklik ilişkisi	46
3.17 $\delta^{18}\text{O}$ – yükseklik ilişkisi.....	47
3.18 ^3H -Cl Grafiği.....	49
4.1 Kızılınler bölgesinde jeotermal akışkan üretimi amaçlı açılan araştırma kuyularına ait loglar (ölçeksizdir).....	51
4.2 Sismik yansıma hatları ve araştırma kuyuları	52
4.3 K1 sismik hattına ait yansıma kesiti	53
4.4 K2 sismik hattına ait yansıma kesiti	54
4.5 K3 Sismik hattına ait yansıma kesiti.....	55
4.6 K4 sismik hattına ait yansıma kesiti	56
5.1 Eskişehir Kızılınler jeotermal alanı 3B kavramsal modeli	58
5.2 Eskişehir Kızılınler jeotermal alanı kavramsal modeli kesit görünümü	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

3.1 Hidrojeokimyasal ve Okisjen-18, döteryum analiz sonuçları (oksijen-18 ve döteryum fazlaları VSMOW ‰, majör iyon, silis ve bor analizler ppm olarak verilmiştir.)	29
3.2 Çalışma kapsamında toplanan su örnekleri ve örneklere ait fizikokimyasal değişkenler.....	30
3.3. Çalışma alanına ait jeotermometre hesaplamaları (°C).....	43
3.4 Beslenme yüksekliği ilişkisi için kullanılan kaynakların beslenme kotları	46
3.5. Çalışma kapsamında değerlendirilen örneklere ait ³ H sayım sonuçları.....	48

1. GİRİŞ

Enerji ihtiyacı, gelişen dünya endüstrisinin ve artan nüfusun da etkisiyle günden güne artmaktadır. Kullanılan kaynakların sınırlı olması ile birlikte çevre kirliliğinin de tehlikeli seviyelere ulaşması, insanoğlunu alternatif enerji kaynakları kullanmaya yöneltmiştir. Bu enerji kaynaklarına, hidro, rüzgâr, güneş, dalga ve jeotermal enerji örnek verilebilir.

Bu çalışma kapsamında, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal kaynak araştırması yapılmış ve Eskişehir Kızılınler Bölgesi'nde bulunan jeotermal alan, fiziksel, kimyasal ve ekonomik değişkenler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Jeotermal kaynaklar, yerin farklı derinliklerinde birikmiş olan ısı enerjisinin oluşturduğu, sıcaklığı sürekli bulunduğu mevsim ortalamasının 5-6 °C üzerinde olan ve çevresindeki sulara oranla daha fazla çözünmüş mineral, tuz ve gaz içerebilen akışkanlar olarak tanımlanır [1]. Günümüzde bu kaynaklardan elektrik üretiminden balneolojik tedaviye kadar pek çok farklı alanda yararlanılmaktadır.

Yer kabuğunun derinliklerinde var olan ısıнын kaynağını, henüz soğumasını tamamlamamış olan magma kütleleri ya da genç bir volkanizma oluşturabilmektedir. Akışkanın ısı enerjisi kaynağına ulaşması, genel olarak iki şekilde olmaktadır. Birincisi, yer kabuğunda bulunan kırık ve çatlaklardan, yerin derinliklerine süzülen meteorik suların, yerin ısısından dolayı sıcaklıklarının artmaları ve yoğunluk ve basınç farkı nedeniyle yükselerek yeryüzüne ulaşmaları şeklindedir. Akışkanın ısı enerjisine ulaşmasının bir diğer yolu ise yer altında meydana gelen yanma reaksiyonları ile ortaya çıkan juvenil suların, yine kırık ve çatlaklar boyunca yeryüzüne ulaşarak jeotermal kaynakları oluşturmalarıdır.

Plaka tektoniği uygulamaları, potansiyel jeotermal alanlar ile ilgili genel, fakat oldukça faydalı ipuçları sunmaktadır. Jeotermal bir alan tespit edildiğinde, bir sonraki adım, uygulanabilir araştırma tekniklerini kullanarak potansiyel jeotermal kaynağın sınırlarını belirlemek ve üretim için doğru kuyu noktalarını tanımlamaktır. Sıcaklık, hacim ve geçirgenlik gibi değişkenlerin üretimden önce tahmin edilmesi, üretim aşamasında kuyudan buhar mı, su ve buhar mı ya da su

mu üretilceğinin kestirilmesinde büyük önem taşımaktadır. Aynı zamanda kuyudan üretilmesi planlanan akışkanın kimyasal kompozisyonunun bilinmesi bu tür çalışmalarda oldukça önemlidir. Bu kadar çeşitli değişkeni belirleyebilmek için de bir dizi farklı araştırma tekniğinin bir arada kullanılması gereklidir. Bu teknikler arasında başlıca olanlar; jeolojik, hidrojeolojik, jeofizik, uzaktan algılama ve araştırma kuyusu açma olarak sayılabilir. Çoğu jeotermal araştırma çalışması, jeolog, jeofizikçi ve rezervuar mühendislerinin bir arada çalıştığı bir takım ile yürütülmektedir [2].

Çalışma kapsamında öncelikle mevcut verilerden itibaren jeolojik ve haritalama teknikleri kullanılarak veriler elde edilmiş ve bu aşamada elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) araçları kullanılarak analiz edilmiştir. Hidrojeokimyasal ve izotop teknikleri kullanılarak litoloji-rezervuar ilişkisi ve jeotermal akışkanın kökenine dair bilgiler edinilmeye çalışılmıştır. Jeofizik çalışmalar kapsamında ise, jeotermal sistemde bulunan bölgesel yapısal unsurları belirlemek amacıyla sismik yansıma uygulamalarından elde edilen sismik yansıma kesitleri kullanılmış ve değerlendirilmiştir. Tüm bu çalışmaların ardından jeotermal sisteme dair edinilen bilgiler ışığında, sistemin kavramsal modeli oluşturulmuştur.

1.1. Jeotermal Sistemler ve Kaynaklar

Jeotermal bir kaynak basitçe, yerin derinliklerindeki ısı enerjisinin ekonomik olarak yeryüzüne çıkarılabildiği, elektrik üretimi ya da tarım gibi endüstriyel alanlarda enerji ihtiyacının karşılandığı bir rezervuar olarak tanımlanmaktadır. Isı enerjisini kayaçların gözeneklerindeki veya kırıklardaki akışkanlarda olduğu gibi ve akışkan barındırmayan kayaçlara, sıcak kuru kaya adı verilmekte ve jeotermal rezervuar olarak tanımlanabilmektedir. [2]. Jeotermal kaynakların potansiyellerinin tahminleri, derinlik, jeotermal akiferin derinliği ve kalınlığı, kayaçların jeohidrolojik özellikleri, akışkanın tuzluluğu ve jeokimyasal özellikleri, sıcaklık, kayaçların gözeneklilik ve geçirimsizlik oranları gibi jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik verilerine dayanmaktadır [2] [3].

Jeotermal kaynak kavramı, jeotermal rezerv kavramından farklılık göstermektedir. Jeotermal rezervler, kaynakların bir kısmının ekonomik olarak değerlendirildiği durumu tanımlamaktadırlar.

Uzun ömürlü izotopların radyoaktif bozunmaları, (potasyum, uranyum, toryum vb.) yerin içerisinde sürekli olarak ısı enerjisi üretirler. Yerkürenin ısı enerjisi içeriği 1.3×10^{31} J. olarak tahmin edilmektedir. Yeryüzünden gerçekleşen ortalama enerji kaybı 80 MWm^{-2} 'dir. Çoğu yerde ısı enerjisi yeryüzünde büyük alanlara yayılarak atmosfere çıkar. Bu da büyük bir enerjinin ekonomik olarak değerlendirilemediğini gösterir. Enerji, litosferin altında konvektif, litosferde ise kondüktif olarak iletilir. Kayaçlar enerjiyi iyi iletmezler. Yerin altında termal gradyan km^{-1} 'de 10°C 'den 60°C 'ye kadar değişebilir [2].

Günümüzde yapılan sondajlarla yüzeyden itibaren ilk birkaç km^{-1} 'de yerkürenin ısı enerjisine erişilebilmektedir. Gelişen teknoloji sayesinde yakını gelecekte bu enerji kaynağının daha da efektif olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

1.2. Jeotermal Sistem Tipleri

Her jeotermal enerji kaynağı aynı sistem öğelerini barındırmaz. Jeotermal kaynaklar, jeolojik ve hidrojeolojik süreçlerin kontrolünde, farklı tiplerde görülebilirler.

Jeotermal bir sistemi tanımlayabilmek için mutlaka olması gereken üç unsur vardır. Bu unsurlar, (1) ısı kaynağı, (2) ısı enerjisini biriktirmek için bir rezervuar ve (3) biriken enerjiyi korumak için geçirimsiz bir birim olarak tanımlanabilirler. Farklı tipte jeotermal sistemlerin oluşmasını sağlayan jeolojik olaylar vardır. Bu olaylar sonucunda oluşan tüm jeotermal sistemlerin de birbirinden farklı olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, sistemlerde görülen ortak özelliklerden yola çıkılarak sistem tipleri beş farklı kategoride değerlendirilebilir. Bunlar, buhar egemen sistemler, sıcak su sistemleri, yüksek basınç altındaki sistemler, sıcak kuru kayalar ve magma sistemleridir [2].

1.2.1. Buhar Egemen Sistemler

Günümüzde kullanılan jeotermal sahaların birçoğu yüksek basınca sahip ve sıcaklığı 100 °C'nin üzerinde olan su bulundurmaktadır. Yüksek sıcaklıktaki su yeryüzüne ulaştığında, basıncı önemli ölçüde azalır ve buhar – su karışımı bir akışkan üretilir. Buhar su oranı sahadan sahaya farklılık gösterebilir. Dünyada bu tür sistemlere, Cerro Prieto (Meksika), Wairakei (Yeni Zelanda), Reykjavik (İzlanda), Salton Sea (A.B.D) ve Otake (Japonya) ve Kızıldere (Türkiye) örnek verilebilir [2]. Yüzeiden birkaç kilometre derinliğe kadar yaklaşabilen, yüksek sıcaklığa sahip (500 - 1000 °C) genç magma sokulumları, ekonomik olarak faydalanılabilecek enerji birikimlerine olanak sağlamaktadırlar.

1.2.2. Sıcak Su Sistemleri

Sıcak su sistemlerinde bulunan sular konveksiyon yoluyla enerjiyi derin kaynaktan sığ rezervuara taşır. Konvektif hücrenin tabanı sıcak kuru kayaların kondüktif ısıtması ile enerji kazanmaktadır. Sıcak su sistemlerinin hidrojeolojik özellikleri, bilinen sığ yeraltısuyu sistemleri ile oldukça benzerlik taşımaktadır. Sıcak su sistemlerinin basınçları, dolaşımdan dolayı kontrol altındadır. Bu özellikleri ile buhar egemen sistemlerden ayrılmaktadır. Bu tür sistemler, 1500 – 3000 m. derinlik ve 60 – 100 °C sıcaklık aralığında bulunmaktadır [2].

Rezervuarın sıcaklığına ve akışkanın kimyasına ve yapısına göre sıcak su sistemleri de beş farklı modelde incelenebilir [4]:

- (i) Orta - yüksek sıcaklığa sahip (50 – 150 °C) ve kimyası sığ yeraltısuları ile benzerlik gösteren sistemler.
- (ii) Meteorik su barındırmayan sistemler. Bu tür sistemler derin sediman çökellerinin bulunduğu alanlarda oluşur.
- (iii) Çok yüksek tuzluluk oranına sahip sistemler.
- (iv) Doğal örtü kaya barındıran sistemler.
- (v) Kendi örtü kayasını oluşturan sistemler.

1.2.3. Yüksek Basınç Altındaki Sistemler

Barındırdığı sıcak suyun çevre birimleriyle ilişkisi tamamen kesilmiş olan sistemlerdir. Bu tür sistemler tipik olarak hızlı sedimantasyon altında bulunmaktadır. Bu durum sonucunda da hidrotermal suyun basıncı yükselmektedir [2] [5].

1.2.4. Sıcak Kuru Kayalar

Jeotermal enerjinin, derinlerde bulunan, geçirimsizliği düşük kayalarda depolandığı, enerjisini transfer edecek ya depolayabilecek akışkanın bulunmadığı sistemlerdir [2].

1.2.5. Magma Sistemleri

Magma, erimiş kayacın, tekrar katılaşmaya kadar bulunduğu sıcak ve viskoziteli akışkan halidir. Gaz ve kristal veya kırıntı gibi katı kayaç parçaları içerebilir. Bununla birlikte magmanın hareketinin gerçekleşmesi için katı materyal kütlelerinin çok büyük olması gerekir. Magma, kimyasal bileşimine ve bulunduğu ortamın basıncına bağlı olarak 600 – 1400 °C sıcaklık değerleri arasında derinlik kayacı oluşturabilir. Bu oluşum sırasında magma, yoğunluk ve basınç farkına bağlı olarak etrafını çevreleyen daha soğuk kayaçların boşluklarından yükselmeye devam eder. Sonuç olarak magma, ya yerin derinliklerinde soğuyarak bir rezervuar oluşturur ya da yüzeye çıkar. Magma tüm yüksek sıcaklığa sahip jeotermal kaynakların nihai enerji kaynağıdır [2].

Büyük plaka sınırları, magma çıkışlarının en sık görüldüğü alanlardır. Hawaii bu modele uyan dünyada en çok bilinen alanlardan biridir. Magmanın sahip olduğu enerjiyi doğrudan kullanabilmek günümüzde halen mümkün değildir. Ancak teknolojik gelişmelerle yakın gelecekte bu güçlü enerji kaynağından ekonomik olarak yararlanılabileceği tahmin edilmektedir.

1.3. Jeotermal Akışkan Tipleri

Jeotermal akışkanlar ile ilgili ilk tanım, suların enerji ve erimiş mineral kazanma özelliklerinin değişimi, yeraltısuyunun farklı derinliklerdeki dolaşımı olarak yapılmıştır [6]. Devam eden çalışmalarda bu tür suların, hem yüzeyden hem de derinlerden gelerek oluşabileceği ileri sürülmüştür [7].

Yapılan çalışmalarda jeotermal su oluşumu üç şekilde açıklanmaktadır. Bunlar, jüvenil (hipojenik) sular, meteorik kökenli sular ve karışık sulardır.

1.3.1. Jüvenil (Hipojenik Sular)

Jüvenil sular, yeryüzüne ilk kez çıkan sulardır. Bu tür sular çoğu zaman sıcak olsa da, her zaman geçerli değildir. Bu tür sular yüzeye çıkarken, etkileşime girdikleri kayaçlarla kimyasal reaksiyona girerek çeşitli iyonlar ve ısı enerjisi kazanmaktadır [1].

Jüvenil suların oluşumu, üç şekilde olabilir: magmatik, volkanik ve kimyasal reaksiyon sonucu oluşan sular. Magmatik orijinli sular, magmanın soğuması sırasında gaz fazına geçen unsurların içinde bulunmaktadır. Soğuma sırasında açığa çıkan su ve hidrojen fümerollerden yeryüzüne ulaşmaktadır. Volkanik sular, yeryüzüne çıkan magma ile birlikte oluşmaktadır. Volkanik faaliyetlerin son safhalarında sıcak su, gaz ve maden suyu çıkışları günümüzde de genç volkanlar etrafında görülmektedir. Kimyasal reaksiyonla oluşan sular ise yer kabuğu içinde suların kayaçlarla oluşturduğu ekzotermik ve endotermik reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır [1].

1.3.2. Meteorik Kökenli Sular

Yeryüzünde bulunan suların, yerçekimi etkisi ile yüzeye ulaşmış kırık, çatlak ve fay gibi yapısal süreksizlikler aracılığı ile derinlere süzülmesi ve ısınan suların konveksiyon ile yüzeye ulaşması şeklinde oluşmaktadır. Isınan suların, yoğunlukları azalırken, basınçları ve ısı enerjileri artar. Bu durumda sular yine

yapısal süreksizlikleri izleyerek tekrar yeryüzüne doğru hareket ederler ve sıcak su kaynakları oluştururlar [1].

1.3.3. Karışık Sular

Derinlerde oluşan juvenil suların yüzeye doğru yaptıkları hareket sırasında, derinlere doğru sızan meteorik sularla karşılaşmaları ile karışık sular oluşmaktadır [1].

1.4. Türkiye ve Dünyada Jeotermal Enerji

Dünyadaki yüksek ısı akısı gösteren jeotermal kuşakların dağılımı, belli jeolojik özellikler gösteren kuşaklar şeklindedirler. Bu alanlarda diğer alanlara göre daha fazla ısı akısı bulunmaktadır [8].

Dünyada jeotermal enerji açısından önemli kuşaklar ve ülkeleri aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır [1] [8]:

- Okyanus ortası ve rift zonları (İzlanda)
- Volkanik ada yayları ve yitim zonları (Japonya, Filipinler, Endonezya, Yeni Zelanda, A.B.D, El Salvador, Nikaragua, Şili)
- Genç orojenik kuşaklar (Alp Kuşağı; Fas, Cezayir, İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Hindistan, Çin)
- Sıcak noktalar (Hawaii)

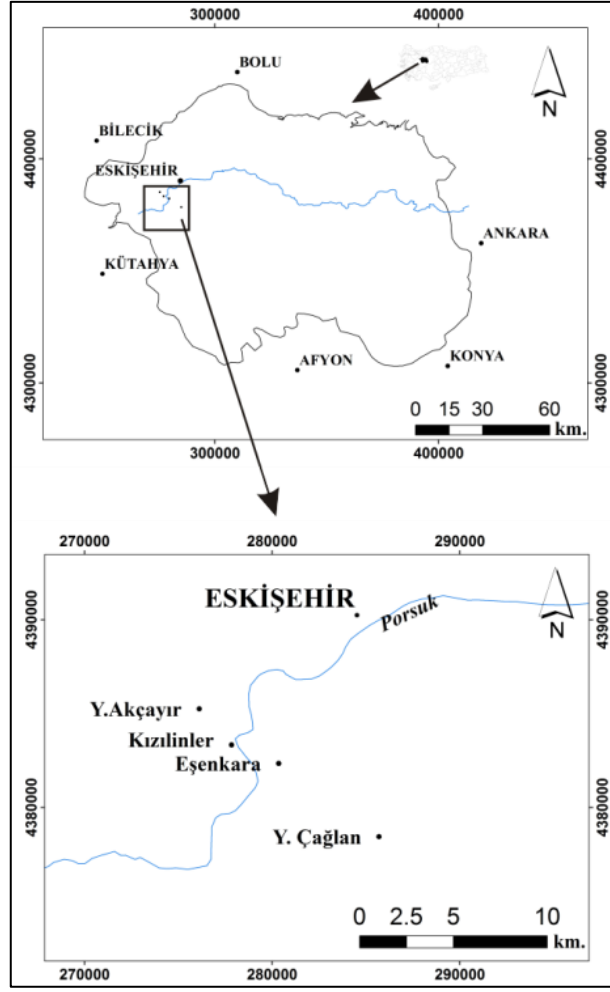
Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde bulunan Türkiye’de genç tektonik etkinliğe bağlı gelişen grabenlerin, yaygın volkanizmanın, fümerollerin, hidrotermal alterasyonun ve sıcaklığı yer yer 100 °C’ye ulaşan sayıları 1000 dolayında sıcak ve mineralli kaynağının varlığı, ülkemizin önemli bir jeotermal potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [1] [8].

Ülkemizde ilk jeotermal çalışmalar 1962 yılında Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından başlatılmıştır. İlk jeotermal kuyu 1963 yılında İzmir – Balçova’da açılmış ve 40 m. derinlikte 124 °C akışkan bulunmuştur. Daha sonra Birleşmiş Milletler Kalkınma Teşkilatı (UNDP) ile yapılan ortak çalışmalar sonucunda 1968 yılında, elektrik üretimine elverişli ilk

jeotermal alan olan Denizli – Kızıldere alanı keşfedilmiştir. 1982 yılında yine elektrik üretimine elverişli Aydın – Germencik (232 °C), Çanakkale – Tuzla (174 °C), sahaları ile ısıtmacılık ve endüstriyel kullanımda önemli olabilecek Aydın – Salavatlı (172 °C), Kütahya – Simav (162 °C) ve İzmir – Seferihisar (158 °C) sahaları keşfedilmiştir. 2001 yılına kadar 400 adet arama ve üretim kuyusu açılmıştır [1] [8].

1.5. Çalışma Alanı

Kızılınler jeotermal alanı, Eskişehir merkezinin 15 km. güneybatısında bulunan Kızılınler Köyü'ndedir (Şekil 1.1). İnceleme alanından geçen Porsuk Nehri, kuzeydoğu yönünde Eskişehir merkezine doğru akışına devam etmektedir.



Şekil 1.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası

Kızılınler Köyü’nde bulunan sıcak su çıkışı 0.38 l/s debili ve 38 °C sıcaklığa sahiptir. Kaynak çıkışı üzerinde, köy tüzel kişiliğine ait bir kaplıca işletmesi bulunmaktadır. Bunun birlikte bölgeye yakın olan, Eskişehir’de 40-45 °C ve İnönü’de 26 °C sıcaklığa sahip termal kaynaklar bulunmaktadır. Kızılınler yakın çevresinde, Porsuk Nehri ile birlikte farklı noktalarda sığ yeraltı suyu kaynakları bulunmaktadır.

1.6. Geçmiş Çalışmalar

Kızılınler Jeotermal Alanı, Eskişehir merkezine yakın olduğundan ve benzer jeolojik ve jeokimyasal süreçler Eskişehir ve çevresi için de geçerli olduğundan, yapılan geçmiş çalışmalar kapsamında Eskişehir ve çevresine ait çalışmalar, Kızılınler ve çevresine ait olanlar ile birlikte dikkate alınmıştır.

Özyazıcı [9], Eskişehir merkez ve çevresinde rezistivite ile termik etütleri yapmıştır. Çalışmada alüvyon kalınlığının belirlenmesi, sıcak ve soğuk su rezervlerinin tespit edilmesi ve fay konumlarının tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Rezistivite etütleri sonucunda sığ yeraltısuyu tablasının 5-10 m. derinlikte olduğu belirlenmiştir. Rezistivite sonuçları sıcak su bölgelerini belirlemek için yeterli olmamıştır. Etüt sonucunda sıcak suyun varlığını gösterecek düşük rezistif alanlar soğuk sularla benzer özelliktedir. Bu alanlar merkez sıcak sular bölgesinde bulunurlar. Şehrin dışında kalan kısımlarda yapılan termik etütlerde sıcak su varlığını gösterecek herhangi bir sonuç elde edilememiştir. Çalışmada, tabakalar arasında büyük rezistivite farkları mevcut olmadığından fay konumlarını tam olarak söylemenin güç olduğu belirtilmektedir. Ancak çevresine göre yüksek sıcaklık gösteren ve sıcak suların yüzeye çıktığı bölgede bir fayın varlığından söz edilmektedir.

Gözler ve ark. [10], Eskişehir ve yakın çevresinde yüzeye çıkan sıcak suları çevreleyen genç kayaçlar olduğunu ve bu kayaçların genellikle konglomera, kumtaşı kilaşı ve killi kireçtaşından ibaret olduğunu belirtmişlerdir. Eskişehir'in güneyinden ve kuzeyinden geçen faylar büyük ihtimalle Kızılınler'den gelen fay tarafından kuzeye doğru atılmışlardır. Bölgedeki tektonik etkinliği kontrol eden en eski faylar, Triyas sonunda hâkim olan ve kuzey-güney doğrultulu sıkışmalarla oluşan doğu-batı doğrultulu faylardır. Üst Kretase ve sonrasında Sakarya Vadisi ve batısında gelişen yine kuzey-güney doğrultulu sıkışmalarda doğrultu atımlı faylar gelişmiştir. Neojende ise, kuzey-güney doğrultulu gerilmelerle İnönü – Eskişehir – Sivrihisar istikametinde gelişen düşey faylar oluşmuştur. Bu fay sistemi üzerinde gelişen antitetik ve sentetik fayların olduğunu öne sürülmüştür.

Ölmez ve Yücel [11], Eskişehir ve çevresinin stratigrafik istifinin en yaşlı birimlerinin Triyas Metamorfik şist – mermer ve Ofiyolitik Karmaşık olduğunu belirlemişlerdir. İki birimin arasında tektonik dokanak söz konusudur. Bu birimler

üzerine açılal diskordansla Eosen konglomera, marn, kıltaşı, kireçtaşı, Miyosen andezit, konglomera, kil - marn, tuf ve kireçtaşı ile Pliyosen kil, tuf ve bazalt serisi geldiğini, istifin en üstünde ise eski – yeni alüvyonun yer aldığını belirtilmektedir. Adı geçen çalışma kapsamında Eskişehir ve yöresinde bulunan sıcak su kaynaklarının genellikle ofiyolitlerin metamorfiklere bindirdiği zonlarda veya ofiyolitlerin kendi içindeki kırık hatlarından çıktıkları belirtilmektedir. Eskişehir içindeki Kızılınler Kaplıcası en genç tektonik olaylara bağılı olarak gelişen ters faylardan yeryüzüne çıkmaktadır. Alpu – Uyuz Hamamı Ilıcası ofiyolit – metamorfik bindirme hattından çıkmaktadır. Kızılınler ile aynı bölgede bulunan Hasırca ve Ilıca – Alpanos kaplıcaları Pliyosen sonrası gelişen genç tektonik hatlardan yüzeye çıkmaktadır. Eskişehir bölgesinde ait sıcak sular kokusuz ve tortusuzdur. Jeotermal akışkanların sıcaklıkları 26 – 44,5 °C arasında değişir. Sıcak sular Alman kaplıcalar birliğı sınıflamasına göre “mineralce fakir sular” sınıfına girmektedir ve meteorik kökenlidir. Kaplıca sularının majör iyon içerikleri $Ca > Mg > Na$ ve $HCO_3 > SO_4 > Cl$ şeklinde sıralanmaktadır.

Yıldırım ve Gürsoy [12], Eskişehir yerleşim yeri ve çevresini kapsayan, jeotermal amaçlı bir gravite etüdü yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda Eskişehir yerleşim alanının kuzeybatıda Yukarı Söğütönü ve Aşağı Söğütönü Köylerinden başlayıp, güneydoğuya doğru Zincirlikuyu üzerinden şehir merkezine varan bir fay sistemi tespit etmişlerdir. Belirlenen fay, şehir merkezinde bulunan hamamların kuzeyinden geçmektedir. Fay sisteminin doğrultusuna paralel olarak kuzeyde gravite yükselmeleri, güneyde ise güneybatıya eğimli gravite alçalmaları yer almaktadır. Dolayısıyla fayın kuzeyi yükselen blok, güneyi ise düşen blok konumundadır. Kızılınler Köyü’nde bulunan ters fayın güneybatı–kuzeydoğu doğrultusunda şehir merkezine doğru devam ettiğı ön görülen kısmı bu çalışma kapsamındaki anomalilerde görölmemiştir. Aynı çalışmanın devamında kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu olarak belirlenen ana fay sisteminin, düşen blok olarak belirlenen güneyi, bir çöküntü alanı olarak tanımlanmıştır. Bu alan içerisinde ana fayın 600 m. kadar güneyinde, termal çıkışların olduğı bir tali fay daha belirlenmiştir. Bu tali fayın hemen güneyi, iki fay arasına göre yüksek olduğundan, iki fay arasında kalan daha alçak alan bir graben yapısı oluşturmaktadır. Sıcak su çıkışları, bu graben yapısı ile ilişkilendirilmiştir.

Ölmez ve ark. [13], tarafından hazırlanan rapora göre, Eskişehir merkez hamamlar bölgesinde, MTA bünyesinde iki adet sıcak su arama sondajı yapılmıştır. Bu kuyulardan ES-1 kodlu birinci kuyu bugün eski otogar olarak bilinen yapı civarında olup 750 m. derinliğe sahiptir. Kuyuda su bulunamamıştır. ES-2 kodlu ikinci kuyu ise vilayet konağı yanındadır. 745 m. derinliğe sahip olan ikinci kuyuda artezyen halinde 36 °C sıcaklıkta ve 3 l/s debiye sahip sıcak su elde edilmiştir. ES-1 kuyusunun yüzeyden itibaren ilk 18 metrelik kısmı yeni alüvyon, 18 ve 90. metreler arasında kil - marn, 90 ve 258. metreler arası konglomera, 258 ve 741. metreler arası kil – kireçtaşı ardalanması ile 741 ve 750. metreler arası serpantindir. ES-2 kuyusunun ise ilk 21 metresi yeni alüvyon, 21 ve 170. metreler arası eski alüvyon, 170 ve 530. metreler arası konglomera ile 530 ve 745. metreler arası kireçtaşı olarak kaydedilmiştir. Kuyuda çamur çıkış sıcaklığı yükselmesi en çok 340 ile 408. metreler arasından görülmüştür. ES-2 kuyusundan elde edilen su Alman Kaplıcaları Birliği sınıflamasına göre mineralce fakir termal sular sınıfına girmektedir. Sondaja ait sıcak su yarı logaritmik Schoeller diyagramına göre civardaki soğuk sularla aynı kökenlidir. Piper diyagramına göre sular belirgin olarak karbonat sertliği göstermektedirler. Dolayısıyla CaCO_3 ve MgCO_3 'lü sulardır.

Yücel [14], MTA Genel Müdürlüğü'nün sıcak su üretmek amacıyla, Eskişehir merkezinde açtığı ES-3 kodlu kuyunun bitirme raporunda, artezyen halinde 45 °C sıcaklıkta ve 6 l/s debili su üretildiği belirtilmiştir. 112 m. derinliğe sahip olan kuyunun, yüzeyden itibaren ilk 40 metresi alüvyon, 40 ve 95. metreler arası Üst Miyosen konglomera – kıltaşı – kireçtaşı, 95 ve 112. metreler arası ise Eosen konglomera – kireçtaşı – kıltaşı olarak kaydedilmiştir. Bu seviyelerden, üst seviyelerde bulunan killerin örtü kaya, daha derinde bulunan konglomera ve kireçtaşlarının ise rezervuar kaya özelliğinde olduğu belirtilmiştir. Bu kuyudan elde edilen suların fiziksel ve kimyasal özellikleri ES-2 kuyusundan elde edilen sularla benzer özellikler göstermektedir. Kuyudan alınan rezistivite logunda, sıcak suyun rezistivite değerini beklediği kadar düşürmediği belirtilmiştir. Kuyu statik dengeye kavuşmadan alınan termik loglarda, rezervuar olabilecek seviyelerin 71,5 m'den daha yukarıda olduğu saptanmıştır. Sondaj sırasında 64 ve 72. Metreler arasında 5 m³ çamur kaçağı olmuştur. 68. metredeki çamur kaçağı sırasında kuyudan 44 °C sıcaklıkta su gelişi görülmüştür.

Özbek [15], Eskişehir - Kızılınler jeotermal alanında jeolojik, hidrojeolojik ve jeofizik etütler yaparak detaylı bir rapor hazırlamıştır. Rapor sonunda derin sondaj konumları önerilmiştir. Rapora göre, Kızılınler Köyü'ndeki 38 °C sıcaklığında, 0.38 l/s debide ve Kızılınler fayından çıkar bir kaynak bulunmaktadır. Bölgede bu potansiyeli kullanabilmek, daha yüksek sıcaklık ve debiyi arttırmak üzere bu çalışma öncesi İl Özel İdaresi Genel Sekreterliği tarafından iki adet kuyu açılmıştır. Kuyuların biri 2005 yılında K-2 kodlu ve 316 m. derinliktedir. Kuyudan 38 °C sıcaklıkta ve 30 l/s. debili su üretilmiştir. K-3 kodlu bir diğer kuyu ise 2006 yılında açılmıştır. K-3 kodlu araştırma kuyusu, 406 m. derinliktedir. Kuyudan 52 °C sıcaklıkta ve 26 l/s debide su üretimi yapılabileceği belirlenmiştir. Bu araştırma kuyularındaki verimden de yola çıkılarak öncelikle bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji haritası tekrar denetlenmiştir. Ardından bölgede sıcak su sondajına elverişli noktaları belirlemek üzere 16 km²'lik bir alanda rezistivite-SP çalışması yapılmıştır. Hidrojeokimyasal çalışmalar kapsamında ise su örnekleri toplanarak su kimyası, silis ve izotop (¹⁸O, ²H) analizleri yapılmıştır. Elde edilen bulgular ışığında bölgede sıcak su sondajına uygun üç nokta belirlenmiştir. Belirlenen üç noktadan biri olan KD-1 kuyusu çalışmanın devamı kapsamında 2007 yılında açılmıştır. Kuyu 662 m. derinlikte olup, kuyudan 40 °C sıcaklıkta ve 1-2 l/s. debili su üretimi yapılabileceği, bir diğer deyişle kuyudan beklenen sıcaklık ve verimde suyun alınamayacağı tespit edilmiştir.

1.7. Materyal ve Metot

Çalışmada, Kızılınler bölgesinde bulunan jeotermal sisteminin hidrojeolojik davranışını açıklayabilmek için bir dizi jeolojik, hidrojeokimyasal ve jeofizik yöntem kullanılmıştır.

Yer bilimi çalışmalarında kullanılan veriler, ancak konum bilgisiyle birlikte anlamlı hale gelmektedir. Bu nedenle farklı veri setlerini ortak bir çatı altında ve konum bilgileri ile değerlendirebilmek için çalışma kapsamında toplanan veriler, coğrafi bilgi sistemi araçları kullanılarak değerlendirilmiştir.

Çalışma alanına ait jeoloji haritası Özbek [15], raporundan alınarak sayısallaştırılmıştır. Ardından hazırlanan jeoloji haritası saha gözlemleri yapılarak denetlenmiştir. Genel olarak jeotermal sistem tanımı yapılacak alanın sınırları da bu sayede belirlenmiştir.

Litoloji ile birlikte bölgenin tektonik özelliklerinin de denetlenebilmesi için arazide fay, kıvrım, çatlak gibi tektonik yapılar da incelenerek harita üzerine işaretlenmiştir. Tektonik yapıyı anlamak için bu verilerle birlikte sayısal yükseklik modeli aracılığı ile morfolojide bulunan çizgisellikler de dikkate alınmıştır. Ancak bu verilerin tektonik sistemi doğru tanımlamak için yeterli olmadığı görülmüştür. Jeotermal bir sistemde fayların kırıdığı düzlemler veya oluşturduğu deformasyon zonları sıcak su çıkışı için esas yapı olduklarından, konumlarının doğru belirlenmesi önemlidir. Sıcak su üretimi için açılan kuyular bu bölgelere açılmakta ve açılan kuyular bu kırıklar aracılığı ile beslenmektedir. Dolayısıyla, morfolojik ve yapısal verilere ek olarak tektonik sistemin doğru tanımlanabilmesi için sismik çalışmaların yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bölgede dört hat üzerinde derin sismik yansıma verileri toplanmıştır. Elde edilen dört kesitten tektonik sistemin tanımlanmasına ait bulgular edinilmiştir. Bu sayede tektonik yapı hassas bir şekilde açıklanmıştır.

Çalışmaların devamında, jeotermal akışkanın; kökeni, dolaşımı, yeraltısuyu ile ilişkisi, beslenme ve boşalım mekanizması ile rezervuar sıcaklığını belirlemek üzere 32 noktada alınan su örnekleri ile hidrojeokimyasal çalışmalar yapılmıştır. Örneklem çalışmalarının sınırlarını belirlemek için hem Eskişehir merkezinde bulunan sıcak su çıkışları, hem de Kızılınler ve çevresinde bulunan sıcak ve soğuk su çıkışları dikkate alınarak bir drenaj sınırı belirlenmiştir. Bu sayede birbirlerine oldukça yakın olan merkez sıcak sular ve Kızılınler sıcak suları arasındaki ilişkinin de ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak jeolojik yapının denetlendiği alandan çok daha geniş bir alanda su örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Örnekleme için 1000, 500, 100 ve 50 ml'lik polipropilen şişeler kullanılmıştır. Tritiyum (^3H) analizi için 1000 ml, majör iyon analizleri için 500 ml. ve oksijen $18(^{18}\text{O})$ ile döteryum(^2H) analizleri için ise 100 ml. su örnekleme, örneklere herhangi bir koruyucu eklenmeksizin yapılmıştır. Silis ve bor analizi için 50 ml. polipropilen örnekleme şişesinde %80 saf su ile %20 kaynak suyu

olacak şekilde seyreltilmiş olarak örnek alınmıştır. Tüm örnek şişelerinin üzerine örnek kodu ile birlikte analiz türü de ayrıca şişenin iki yüzüne birden not alınmıştır. Ayrıca örnekleme sırasında pH, sıcaklık ve elektriksel iletkenlik (EC) değerleri kaynak başında ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Toplanan örneklerden majör iyon, silis, bor ve izotop analizleri gerçekleştirilmiştir. İzotop analizleri, ^{18}O , ^2H ve ^3H izotop analizlerini kapsamaktadır. Toplanan 32 örneğin 4 tanesi yağış örneği olup, sadece izotop analizi yaptırılmıştır. Bu sayede yerel meteorik su doğrusu da elde edilmiştir. Diğer örnekler için sözü geçen tüm analizler yapılmıştır.

Majör iyon, silis, bor ve ^3H analizleri Hacettepe Üniversitesi Su Kimyası ve Çevresel Tritiyum Laboratuvarı'nda yapılmıştır. ^{18}O ve ^2H analizleri için toplanan örnekler Wyoming Üniversitesi Kararlı İzotop Tesisinde (University of Wyoming Stable Isotope Facility)'inde analiz edilmiştir.

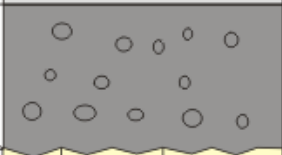
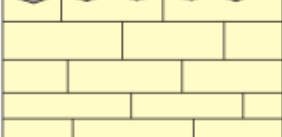
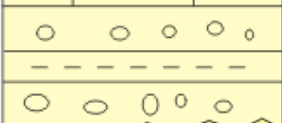
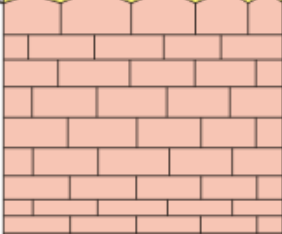
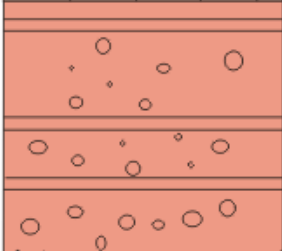
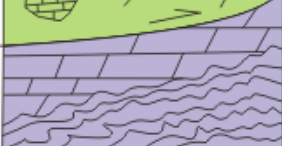
Çalışma alanının stratigrafik ve yapısal özelliklerinin belirlenmesinin ardından, tüm hidrojeokimyasal analiz sonuçlarının da elde edilmesiyle jeotermal sisteme ait kavramsal bir model oluşturulmuştur.

2. BÖLGENİN JEOLJİSİ

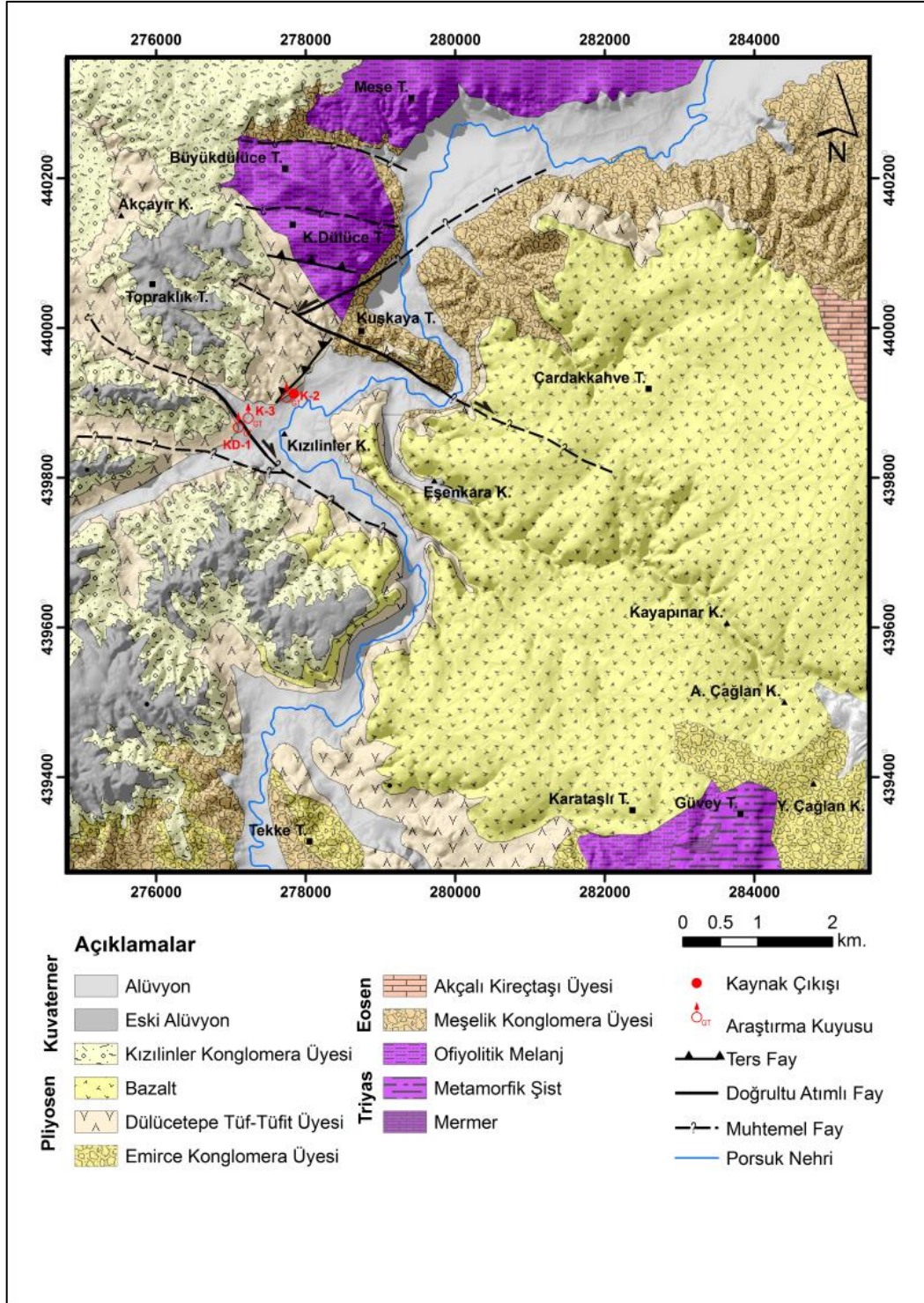
2.1. Bölgenin Stratigrafik Özellikleri

Gözler'e [10] göre çalışma alanında sırasıyla Triyas, Paleojen, Neojen, ve Kuvaterner periyotlarına ait birimler yüzeylemektedir (Şekil 2.1). En yaşlı birimler olan metamorfik şist ve mermerler ile ofiyolitler arasında tektonik dokanak söz konusudur. Bu birimler üzerine Eosen sedimanter birimler olan, konglomera, marn, kilitaşı ve kireçtaşı açısız uyumsuzlukla gelmektedir. Eosen birimleri diskordan olarak konglomera, kil, marn, tuf, kireçtaşı ve Pliyosen volkanikler üzerlemektedir. İstifin en üzerinde ise eski ve yeni alüvyon birimleri bulunmaktadır [10] [15]. Ancak, Saraç'ın [16] hazırladığı MTA raporuna göre 1976'dan sonra yapılan çalışmalarda Pliyosen'in zaman genişliği için kabul gören 10 milyon yıl, yaklaşık 3.5 milyon yıla gerilemiştir. Geri kalan yaklaşık 7 milyon yıllık süreç Geç Miyosen'e indirilmiş sadece Geç Mioyosen'in zamansal genişliği 6 milyon yıla yaklaşmıştır. Bu bağlamda eski yaşlandırmada Pliyosen'e atfedilen birçok birim Geç Miyosen'e indirilmiştir.

Çalışma alanında bulunan geçmiş çalışmalarda, bazaltlar da Pliyosen olarak kaydedilmiştir [15]. Ancak son bilgilere göre bazaltlar geç Miyosen olarak kaydedilmiştir (Şekil 2.1).

Senozoyik	Kuvaterner	Holosen			Genç Alüvyon
		Pleyistosen		 Uyumsuzluk ↗	Yaşlı Alüvyon
	Neojen	Pliyosen	Eskişehir Formasyonu		Akpınar Kireçtaşı Üyesi
					Kızılınlar Konglomera Üyesi
					Dülücepete Tüf Tüfit Üyesi
					Emirce Konglomera Üyesi
					Bazalt
	Paleojen	Geç Miyosen	Karacaşehir Formasyonu		Akçalı Kireçtaşı Üyesi
		Lütesiyen			Meşelik Konglomera Üyesi
	Paleosen - Eosen				Ofiyolitik Melanj
					Metamorfik Şist - Mermer
				Triyas	

Şekil 2.1 Kızılınlar jeotermal alanı stratigrafik istifi (Özbek [15] düzenlenerek alınmıştır.)



Şekil 2.2 Kızılınler jeotermal alanı ve çevresi jeoloji haritası (Özbek [15] düzenlenerek alınmıştır.)

2.1.1. Triyas

Triyas'a ait litolojik birimler metamorfik şistler ve ofiyolitik melanjdır (Şekil 2.1). Metamorfik şist ve mermerler sahanın güneydoğusunda, Yukarı Çağlan Köyü'nün güneybatısında yüzeylenmektedirler (Şekil 2.2). Kalk şist, muskovit, serisit şist, glokofan şist ile üstte gri-bej renkli, kalsit dolgulu, çatlaklı mermerler şeklinde görülmektedirler [15].

Ofiyolitik kayaçlar ise sert, mat görünümlü, yeşil renkli serpantinit, radyolarit, radyolaritli kireçtaşları, çamurtaşları, kireçtaşı blokları, metakil ve kumtaşı blokları, serpantinleşmiş peridodit ve gabrodan oluşmaktadırlar. Ofiyolitik melanja ait radyolarit ve spilitler Kütahya yolu Karacaşehir Köyü'nün kuzeybatısında yüzeylenmektedirler. Yeşil renkli serpantinler ile altere zonlar, diyabazlar, Akbayır Bağları Mevkii ile Orhangazi Mahallesi, Meşe Tepe ve Kocayatak Tepe civarında görülmektedirler (Şekil 2.2). Çalışma alanının güney kesimlerinde, Yukarı Çağlan Köyü'nün güneybatısında bulunan Karataşlı Tepe'nin güneyinde de ofiyolitler yüzeylenmiştir [15] [10]. Gavurkayası ve Kızılınler kaplıcasında limonitleşmiş, karbonatlaşmış, silisifiye, çatlaklı, boşluklu, breşimsi yapıda kumtaşı ve konglomera oluşumları yer alır. Ayrıca ofiyolitik kayaçlara ait birimler, K-3 ve KD-1 sondajlarında kesilmiştir (Şekil 4.1). K-3 sondajında 182. m'den itibaren 224 m. kalınlığında serpantinit, çamurtaşı, spilit ile kumtaşı seviyeleri geçilmiştir (Şekil 4.1). KD-1 sondajında ise 154. m'den itibaren, 140 m. kalınlığında ultrabazikler, kuvars, serpantin, radyolarit, 294. m'den itibaren 186 m. boyunca fillat, serpantin, kiltası, çamurtaşı, kumtaşı, grafit şist, 480. m'den itibaren de 180 m. boyunca kumtaşı, çamurtaşı, kiltası, serpantin seviyeleri geçilmiştir (Şekil 4.1).

2.1.2. Paleojen

Paleojen periyoduna ait birimler bölgede Karacaşehir Formasyonu olarak adlandırılmışlardır. Formasyon, Paleosen-Eosen aralığına ait Meşelik Konglomera Üyesi ile yine Eosen periyoduna ait Lütésiyeen yaşlı Akçalı Kireçtaşı Üyesi'nden oluşmaktadır.

Karacaşehir Formasyonuna ait bu birimler Triyas birimler üzerine açısal uyumsuzlukla gelmektedirler. Meşelik Konglomera Üyesi, Karacaşehir Köyü çevresi Meşelik Tepe’de, Kuşkaya Tepesi ve inceleme alanının güneyinde Tekke Tepe civarında yüzeylenmektedir (Şekil 2.2). Birim şarap renkli, serpantin, radyolarit, andezit, metamorfit mermer çakıllarının kırmızı killi bir çimento ile bağlanmasından meydana gelmiştir. Yer yer kumtaşı, kil ara bantları içerir. Tane boyu 2 cm. ile 1 m. arasında değişmektedir. Yerel olarak kalk-tüf çimentolu aglomeralara geçiş yapmaktadır. Aglomeralar, Kuşkaya Tepesi’nde yüzeylenmektedir. Bu oluşum, çökme esnasında hareketli bir ortamı göstermektedir. Tabaka doğrultuları, genellikle kuzeybatı-güneydoğu olup, güneybatıya eğimlidirler. Bu üyeye yerel litostratigrafik verilere dayanılarak Lütisiyen yaşlı Akçalı Kireçtaşı Üyesi altında görüldüğünden Paleosen – Alt Eosen yaşlı verilmiştir. Görünür kalınlığı 30-150 m. civarındadır [15].

Akçalı Kireçtaşı Üyesi, inceleme alanının dışında, Meşelik Tepe’nin doğusunda yer almaktadır. Çalışma alanına sınır komşusu olması ve yaş tayinin etkin olması nedeniyle açıklanmıştır. Üye, sarı-yeşilimsi renkli, killi-kumlu-marnlı, kiltası ve bol nummulitli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Tabaka kalınlığı 2 cm. ile 5 m. arasında değişmekte olup, kireçtaşlarının kalınlığı 60 m. civarındadır. Bu oluşum sakin bir çökme ortamını göstermektedir. İçerisinde gözlenen, Nummulites cf. Globulus Leymerie, Nummulites sp., Assilina sp., Alveolina sp., Operculina sp. ve Globorotalia sp. fosilleri referans alınarak yaşlı Lütisiyen olarak belirlenmiştir [17].

2.1.3. Neojen

Neojen periyodunda bölgede Pliyosen yaşlı yerel olarak adlandırılmış dört, Miyosen yaşlı bir üye bulunmaktadır. Bu üyeler; Pliyosende Emirce Konglomera Üyesi, Dülüce Tepe Tüf-Tüfit, Kızılınlar Konglomera Üyesi ve Akpınar Kireçtaşları iken Miyosende geniş bir alan kaplayan bazaltlardır.

Emirce Konglomera Üyesi, Yukarı Çağlan Köyü ve Tekke Tepe civarında görülmektedir (Şekil 2.2). Kırmızı-bej renkli olup, karbonat kil çimentoludur. Taneleri kısmen köşelidir ve tane boyları 1 – 15 cm. arasında değişmektedir.

Yerel olarak çapraz tabakalı yapılanma göstermekte olup, kumtaşı ara bantları içermektedir. Kalınlığı 5-55 m. civarında değişmektedir [15].

Dülüce-tepe Tüf-Tüfit Üyesi andezitik orijinlidir. Pembe-bej, gri ve kiremit renklidir. Yatay tabakalanma gösteren tüflerin içinde konglomera kumtaşı mercekleri ile kil ara bantları ve altere zonları görülmektedir. Üye, Aşağı Çağlan Köyü batısında, Kızılınler Köy yolu civarında, Dülüce-tepe ve Karacaşehir Köyü yöresinde, Kızılınler Köyü güneyi Porsuk çayı vadisi boyunca yüzeylenmektedir (Şekil 2.2).

Alanın doğu ve güneydoğusunda oldukça geniş bir alanı bazalt akıntıları örtmüştür. Bazaltlar üzerinde herhangi bir kırık, çatlak, kayma yüzeyi gibi deformasyon izine rastlanmamıştır. Bazaltlar, geç Miyosen dönemine aittir. (Şekil 2.2).

Kızılınler Konglomera Üyesi, çakıltaşı, kumtaşı ve kil ardalanmasından oluşup metamorfit, ofiyolit ve volkanik kökenli taneler içerir. Üye Kızılınler Köyü civarında yüzeyde görülmekte olup kalınlığı 65 m. kadardır [15].

Akpınar Kireçtaşı üyesi, kirli beyaz-bej renklidir. İçerisinde kil, dentritik ara katkılar ile silisifiye zonlar görülür. Karacaşehir doğusunda, Kocakır yöresinde yüzeylenmektedir. İçerdiği kireçtaşları masif yapıda olup, kalınlığı 2-50 m. arasında değişmektedir [15].

2.1.4. Kuvaterner

Bölgede en genç birimleri, Kuvaterner periyoduna ait yaşlı ve genç alüvyonlar oluşturmaktadır. Pleyistosen'e ait Yaşlı alüvyon, çalışma alanının en kuzeyinde bulunan kum-çakıl ocağında gözlenmektedir. Holosen'e ait genç alüvyon ise Porsuk çevresinde ve diğer akarsu vadilerinde çökelen çakıl-kum-kil-siltten oluşmaktadır. Kalınlığı yaklaşık olarak 100 m'dir [15].

2.2. Bölgenin Tektonik Özellikleri

Kızılınler ve çevresinde yer alan en yaşlı litolojileri, Triyas metamorfik şist ve mermerler ile ofiyolitik melanaj oluşturmaktadır. İki birim arasındaki dokanak tektoniktir. Gri-mavi renkli olan mermerler, şistlerle birlikte tektonik hareketlerin etkisinde kalmıştır. Şistler, mermerlere göre tektonizmadan daha çok

etkilenerek yapraklanmış ve disharmonik kıvrımlanma göstermişlerdir. Birimin yaklaşık kalınlığı bilinmemektedir [10] [17].

Kuşkaya Tepe’de, Eosen Meşelik konglomerası üzerinde görülen sağ yönlü doğrultu atımlı fay izleri (K50B/88GB, 160°) ve bu fay izinin görüldüğü konum itibarı ile Porsuk Nehri’nin doğrultusunun güneydoğuya doğru sapmış olması, bölgenin Eosen konglomeradan genç, güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu sıkışma kuvvetlerinin etkisinde kaldığını göstermektedir (Şekil 2.2 – 2.3). Benzer şekilde sağ yönlü doğrultu atımlı fay izleri Topraklık Tepe’nin güneybatı sırtında da Pliyosen tüfler üzerinde görülmekte (K30B/84GB 165°) ve Porsuk Nehri tekrar bu fay doğrultusu boyunca güneydoğuya doğru ötelenmektedir (Şekil 2.4). Küçük Dülüce Tepe’nin güney sırtında bulunan tüfler üzerinde de (K45D/85GD 90°) sağ yönlü doğrultu atımlı fay izi gözlenmiştir.



Şekil 2.3 Eosen meşelik konglomerası üzerinde görülen doğrultu atımlı fay izi



Şekil 2.4 Topraklık Tepe'nin güneybatısında görülen doğrultu atımlı fay izleri

Kaynak çıkış noktasının ve üç araştırma kuyusunun bulunduğu, Kızılınler Köyü'nün Kuzeybatı kesimlerinin ise birbirinin ardı sıra beş vadiyle bölündüğü görülmektedir. Bu vadiler güneybatıdan kuzeydoğuya doğru sırasıyla Han Bayırı Sırtı, Kocakarşı Sırtı, Topraklık Tepe, Küçük ve Büyük Dülüce Tepeler ile Meşe Tepe olarak adlandırılan yükselti ile birbirlerinden ayrılmaktadır. Beş vadiyi ayırarak oluşan bu 6 yükseltinin üçünde yükselen tuf birimleri üzerinde de ters fay izlerine rastlanılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.5 Topraklık Tepe'nin güneydoğusunda görülen ters fay yüzeyleri

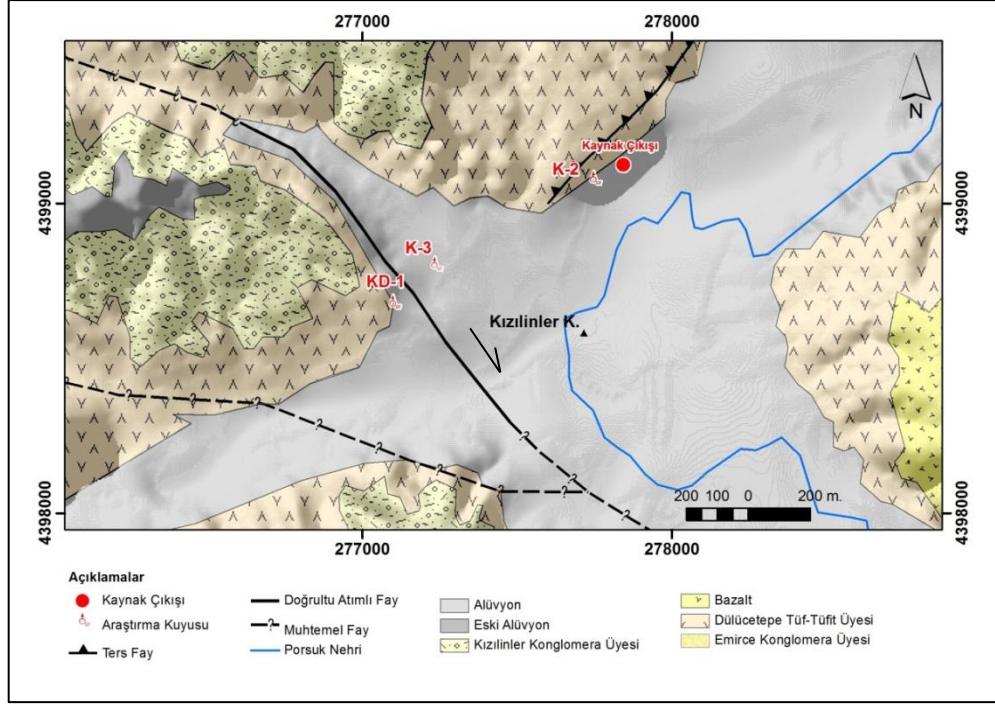
Topraklık Tepe'nin güneybatı yamacında yapılan gözlemlerde (K20D/62KB, K20D/65KB, K10D/65KB, K22D/75KB, K40D/66KB, K45D/67KB) eğimi düşeye yakın ters fay izleri bulunmaktadır (Şekil 2.5). Bu izler, kuzeydoğuya doğru devam eden Küçük Dülüce Tepe'nin güney yamaçlarında bulunan tüflerde yaklaşık doğu-batı doğrultulu yine düşeye yakın eğimle görülmektedir.

Toplanan yapısal verilere göre bölgede Eosen sonrası gelişen sıkışma kuvvetlerinin etkisinde Eosen konglomeralar ve Pliyosen tüfler üzerinde sağ ve sol yönlü doğrultu atımlı faylar ve yine Pliyosen tüfler üzerinde düşeye yakın ters faylar oluşmuştur.

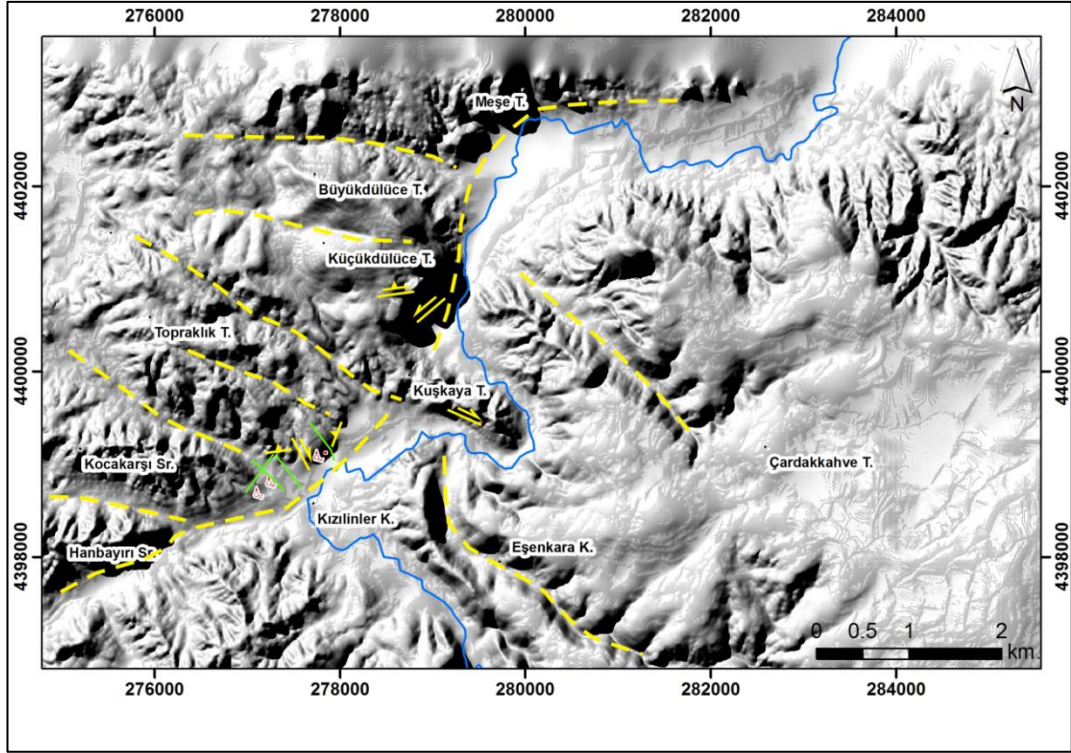
Kuzeybatı-güneydoğu yönünde tektonik etkinliğin oluşturduğu sağ yönlü doğrultu atımlı faylar, Porsuk Nehri'ni ötelemiş ve birbirlerine paralel çizgisellikler olarak görülen vadileri oluşturmuştur. Vadiler ayıran yükseltilerde ise ters faylar oluşmuştur.

Bu durumda doğrultu atımlı faylar sıkışmalı olarak sekmişlerdir. Bu durum morfolojide Porsuk Nehri'ni ötelemiştir. Aynı zamanda Topraklık Tepe'nin güneyinde bulunan K-3 kuyusun verimli, KD-1 kuyusun ise verimsiz olması doğrultu atımlı fayın bu iki kuyunun arasında olduğuna işaret etmektedir

(Şekil 2.6). KD-1 kuyusu bu durumda fay zonunun dışında kaldığından verimsiz olduğu düşünülmüştür. Bu sebeple fay konumunu hassas olarak belirleyebilmek ve sıcak suyun alınabileceği deformasyon zonunu tayin edebilmek için sismik yansıma çalışmaları yapılmıştır. Sismik yansıma çalışmaları bölgeye ait sayısal yükseklik modeli üzerinde yeşil çizgiler ile işaretlenmiştir (Şekil 2.7, Şekil 4.2).



Şekil 2.6 Kızılınler jeotermal alanı kuyu yerlerini gösterir harita



Şekil 2.7 Kızılınler jeotermal alanına ait sayısal yükseklik modeli üzerinde görülen çizgisellikler ve yapısal veriler

Sayısal yükseklik modeli üzerinde belirlenen çizgisellikler ile saha çalışmalarının ardından belirlenmiş fay konumları karşılaştırıldığında, güneydoğuda Aşağı Çağlan Köyü'nden Kuşkaya Tepesi'ne doğru uzanan tek bir vadi vardır ve bu vadinin kuzeybatı ucunda Kuştepe'de sağ yönlü doğrultu atımlı fay izi bulunmaktadır (Şekil 2.3).

Ancak Kuşkaya Tepesi'nin güneydoğusunda bulunan vadide herhangi bir fay izine rastlanılamaması, vadinin neotektonik aktiviteden genç Pliyosen bazaltlar ile örtülü olmasından kaynaklanmaktadır. Kızılınler Köyü'nün kuzeybatısında ise bu uzun tek çizgi, altı çizgi ve altı vadi olarak devam etmektedir. Bu durum, ayrılan fay modeliyle açıklanabilir. Ayrılan faylar, ana fayın gidişinden ayrılarak, ikincil faylar halinde gelişen dallar olarak tanımlanabilir. Atım yönlerine göre, birleşme kamalarında çökmeler ya da yükselmeler görülür [18] [19]. Bu durum çalışma alanında bulunan birleşme kamalarında yükselti olarak görülmektedir.

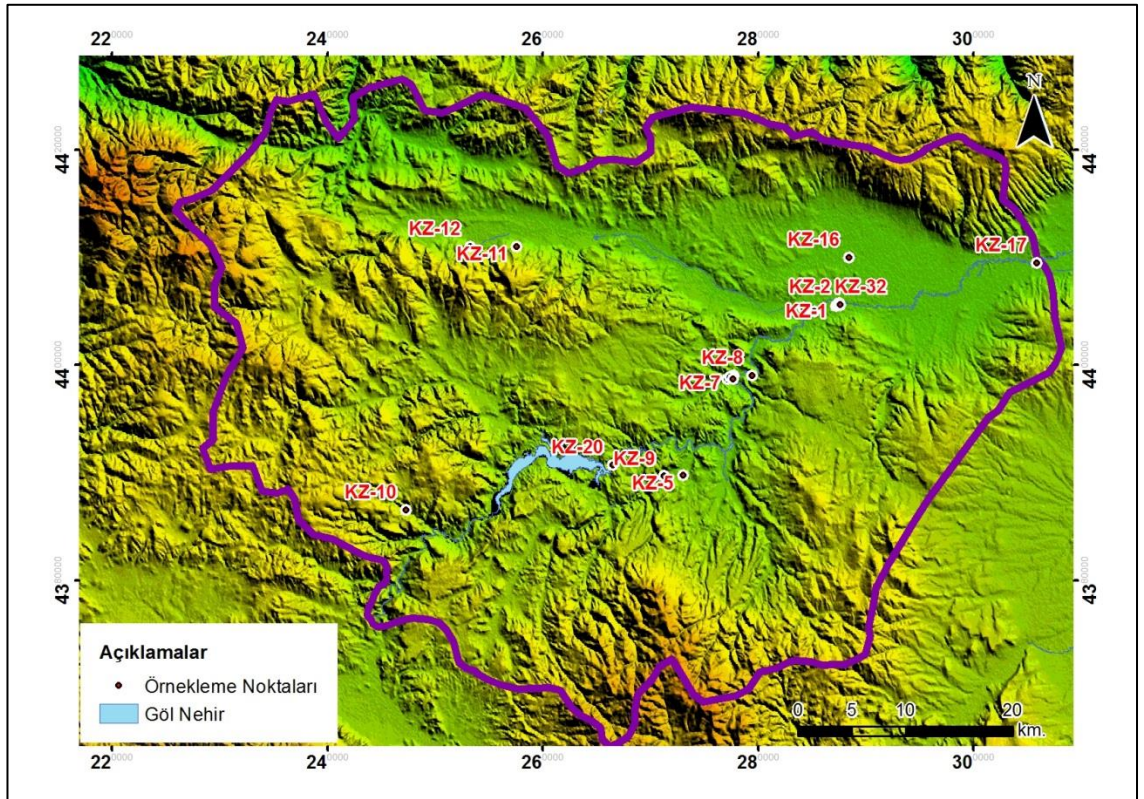
Çalışma alanının morfolojisinde, vadiler boyunca uzanan doğru atımlı faylar ve bu fayların etkisinde olduğu düşünülen, ters fay yüzeyi oluşturarak

yükselmiş tepeler görülmektedir. Bu durumda ana bir doğrultu atımlı fayın kamalanarak ayrıldığı noktadan sonra gelişen ikincil doğrultu atımlı fayların etkisiyle tepelerin oluştuğu düşünülmektedir. Düşünülen tektonik model, sismik yansıma çalışmaları ile desteklenmiştir. Yansıma çalışmalarında elde edilen kesitlerin tektonik model ile ilişkisi, tartışma ve sonuçlar bölümünde ayrıca değerlendirilmiştir.

3. HİDROJEOKİMYA VE ÇEVRESEL İZOTOP ÇALIŞMALARI

Jeotermal bir sistemin hidrojeolojik davranışını tanımlayabilmek için sistemde bulunan akışkanı doğru değerlendirmek önemlidir. Sisteme ait olan akışkanın kökeni, beslenme alanı, kalitesi ve kimyasal özellikleri gibi değişkenler, ekonomik özellikleri ortaya koymak ve doğru kullanımı sağlamak için önemlidir.

Kızılınler jeotermal alanında bulunan sıcak su kaynağı ve önceki çalışmalarda sıcak su amaçlı açılan araştırma kuyuları referans alınarak hidrojeokimyasal ve izotop hidrolojisi değerlendirmeleri için su örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Örnekleme yapılacak kaynaklar belirlenirken çalışma alanı değil, sistemi besleyebilecek potansiyeli olan alanların tamamı dikkate alınmıştır. Eskişehir ve çevresine ait sayısal yükseklik modeli kullanılarak geniş bir potansiyel beslenme havzası belirlenmiş ve su örnekleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 Sayısal yükseklik modeli üzerinde potansiyel beslenme sınırı ve su örnekleme noktaları

Çalışmalar kapsamında toplamda 32 noktada su örnekleme yapılmıştır (Çizelge 3.2). Örnekleme sırasında pH, EC ve sıcaklık değerleri kalibrasyonu

yapılmış çoklu ölçüm cihazı ile kaydedilmiştir. Örneklerden 28 tanesinden majör iyon, ^3H (Çizelge 3.5), ^2H , ^{18}O , SiO_2 ve Bor analizleri yapılırken, dört örnek (KZ-13, KZ-14, KZ-15 ve KZ-16) yağış örneği olup, bu örneklerden sadece ^{18}O ve ^2H analizleri yapılmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 Hidrojeokimyasal ve Oksijen-18, döteryum analiz sonuçları (oksijen-18 ve döteryum fazlaları VSMOW ‰, majör iyon, silis ve bor analizleri ppm olarak verilmiştir.)

	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	F	Cl	NO_3	SO_4	HCO_3	Na	NH_4	K	Mg	Ca	SiO_2	B	% Hata
KZ-1	-72	-10.1	0.28	5.09	1.74	9.84	305.00	13.25	0.05	1.84	29.45	51.63	27.00	0.26	2.56
KZ-2	-72	-10.0	0.20	5.18	2.21	10.86	317.20	14.20	0.05	1.77	31.57	55.96	26.95	0.32	4.10
KZ-3	-64	-8.5	0.70	7.87	35.79	8.76	280.60	20.39	0.05	2.81	21.55	54.16	56.10	0.36	-1.23
KZ-4	-81	-11.2	1.87	12.37	0.15	20.08	634.40	126.70	0.09	6.87	32.14	70.71	42.07	2.39	3.01
KZ-5	-75	-11.2	0.65	4.05	1.73	23.33	372.10	27.60	0.06	2.77	40.46	52.31	27.66	0.19	3.68
KZ-6	-83	-11.5	1.95	13.41	0	18.28	597.80	147.17	0.11	7.69	27.82	51.62	42.27	2.86	4.20
KZ-7	-81	-11.3	1.80	12.27	0	20.65	567.30	126.98	0.09	7.04	31.27	53.73	40.08	2.50	4.22
KZ-8	-66	-9.1	0.44	3.35	10.68	1.29	225.70	8.86	0.03	2.59	18.03	45.70	<0.1	0.34	2.83
KZ-9	-69	-9.7	0.44	10.49	0.76	15.53	512.40	17.28	0.05	5.31	64.34	68.80	55.34	0.28	3.31
KZ-10	-70	-10.3	1.75	5.81	3.05	177.56	347.70	17.87	0.03	4.75	45.38	108.90	57.37	0.28	2.05
KZ-11	-75	-11.0	0.34	3.84	4.39	3.76	280.60	9.12	0.04	1.33	19.90	63.87	23.23	0.47	4.09
KZ-12	-76	-11.2	0.09	2.22	3.63	3.01	292.80	4.16	0.04	0.93	18.60	68.19	19.26	<0.1	1.85
KZ-13	-26	-5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KZ-14	-46	-7.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KZ-15	-34	-5.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KZ-16	-38	-6.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
KZ-17	-62	-8.6	0.35	59.19	25.57	59.13	359.90	65.36	0.04	9.41	44.83	63.38	21.20	0.66	3.86
KZ-18	-61	-8.6	0.38	9.25	2.41	32.10	305.00	15.21	0.03	4.31	38.89	51.91	18.30	0.74	4.81
KZ-19	-60	-8.4	0.12	7.74	2.10	29.71	311.10	13.82	0.01	4.14	40.26	49.35	18.55	0.34	4.15
KZ-20	-55	-7.7	0.11	10.24	0.70	38.90	317.20	15.49	0.06	4.33	42.10	48.57	11.37	0.57	3.21
KZ-21	-71	-10.2	0.24	6.56	2.52	13.17	271.78	14.22	0.06	2.00	28.31	45.82	5.96	<0.1	3.71
KZ-22	-73	-10.1	0.16	10.39	3.80	14.07	277.82	16.64	0.08	2.20	29.82	46.63	6.04	<0.1	3.96
KZ-23	-72	-10.2	0.25	7.73	2.79	11.76	265.74	14.90	0.07	2.18	27.88	45.10	6.16	<0.1	4.37
KZ-24	-71	-10.1	0.23	7.55	3.40	13.39	277.82	14.96	0.05	1.62	29.03	49.80	6.16	<0.1	4.72
KZ-25	-72	-10.0	0.19	7.19	3.31	12.28	283.86	14.78	0.06	1.84	29.35	51.04	6.04	<0.1	4.96
KZ-26	-73	-10.1	0.29	6.54	2.81	12.28	235.54	14.06	0.09	1.56	28.01	32.73	6.10	<0.1	3.50
KZ-27	-74	-10.1	0.23	8.45	3.27	12.88	259.70	15.32	0.07	1.93	30.48	40.17	6.10	<0.1	4.68
KZ-28	-73	-10.1	0.69	9.35	2.62	13.97	271.78	16.20	0.07	3.69	30.01	45.43	6.56	<0.1	4.87
KZ-29	-73	-9.9	0.49	8.61	3.54	15.27	250.47	16.09	0.06	2.03	30.90	37.19	6.50	<0.1	4.65
KZ-30	-71	-10.1	0.39	8.13	3.18	13.89	277.82	15.56	0.08	1.94	30.18	47.08	6.33	<0.1	4.55
KZ-31	-73	-10.1	0.42	8.30	4.09	14.51	277.82	15.41	0.08	3.74	31.09	45.52	6.79	<0.1	4.58
KZ-32	-73	-10.1	0.13	5.49	3.02	11.93	235.54	13.40	0.05	1.52	28.72	34.33	5.52	<0.1	4.73

Toplanan örneklerin belirlenen potansiyel beslenme sınırları içinde temsil edici kaynaklar olmalarına dikkat edilmiştir. Alanın kuzeydoğusunda, şehir merkezinde bulunan sıcak su işletmelerinin tamamından (KZ-21-32) ve MTA tarafından açılan araştırma kuyularından (KZ-1, KZ-2), Porsuk Nehri üzerinde; Porsuk Barajı ile birlikte dört noktadan (KZ-17-20), kuzeybatıda bulunan İnönü kaynaklarından (KZ-11-12), Kütahya kaplıcalarından bulunan işletmelerden (KZ-10), Kızılınler bölgesinde bulunan sıcak su kaynağı (KZ-4) ile araştırma kuyularından (KZ-6-7) ve yine bu kaynağın çevresinde bulunan soğuk su kaynaklarından örneklemeler yapılmıştır (KZ-3, KZ-8, KZ-9) (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2 Çalışma kapsamında toplanan su örnekleri ve örneklere ait fizikokimyasal değişkenler

“”Örnek Kodu	Kaynak	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Kaynak Türü
KZ-1	MTA ES-2	40	6.97	-	Sıcak Kuyu
KZ-2	MTA ES-3	44.6	7.11	384	Sıcak Kuyu
KZ-3	Kızılınler Çeşme	9.3	8.04	362	Soğuk Çeşme
KZ-4	Kızılınler Kaplıcası	38	6.66	774	Kaynak Çıkış Noktası
KZ-5	Yenisofça Kaplıcası	29.2	7.15	523	Kaynak Çıkış Noktası
KZ-6	K-3	49.9	6.43	798	Sıcak Kuyu
KZ-7	K-2	38.3	6.5	787	Sıcak Kuyu
KZ-8	Eşenkara	13.7	7.57	301	Soğuk Çeşme
KZ-9	Hasırca	10	7.7	639	Soğuk Çeşme
KZ-10	Kütahya Ilıca	40	6.99	711	Sıcak Kuyu
KZ-11	İnönü Doğu	26	7.47	338	Kaynak Çıkış Noktası
KZ-12	İnönü Batı	26	7.46	354	Soğuk Kuyu
KZ-13	Yağış (Eskişehir Merkez)			13.42	Yağmur Suyu
KZ-14	Yağış (Eskişehir Merkez)			216	Yağmur Suyu
KZ-15	Yağış (Eskişehir Merkez)			87.6	Yağmur Suyu
KZ-16	Yağış (Eskişehir Merkez)			22.4	Yağmur Suyu
KZ-17	Porsuk-Doğu Ucu	13	7.74	431	Akarsu
KZ-18	Porsuk-Sarısu-Karışım	11	8.19	434	Akarsu
KZ-19	Porsuk-Kızılınler	10	8.25	430	Akarsu
KZ-20	Porsuk Barajı	10.7	8.88	431	Akarsu
KZ-21	Şiraze Hamamı	40	7.21	462	Sıcak Kuyu
KZ-22	Güneş Termal	43	6.98	458	Sıcak Kuyu
KZ-23	Ünsal Termal	44	6.99	442	Artezyen Kuyu
KZ-24	Bahçeli Şengül	44.7	7.24	481	Keson Kuyu
KZ-25	Yeni Alçık Hamamı	44	7.41	474	Keson Kuyu
KZ-26	Has Termal	43.7	7.26	474	Keson Kuyu
KZ-27	Erkekler Hamamı	45.2	7.25	479	Keson Kuyu
KZ-28	Yıldız Hamamı	41.2	7.34	480	Sıcak Kuyu
KZ-29	Demirkazık Hamamı	45.2	7.25	482	Sıcak Kuyu
KZ-30	Özkeçeciler Hamamı	43.5	7.3	474	Sıcak Kuyu
KZ-31	Ferah Hamamı	41.6	7.4	488	Sıcak Kuyu
KZ-32	Keçeciler Hamamı	42	6.89	466	Sıcak Kuyu

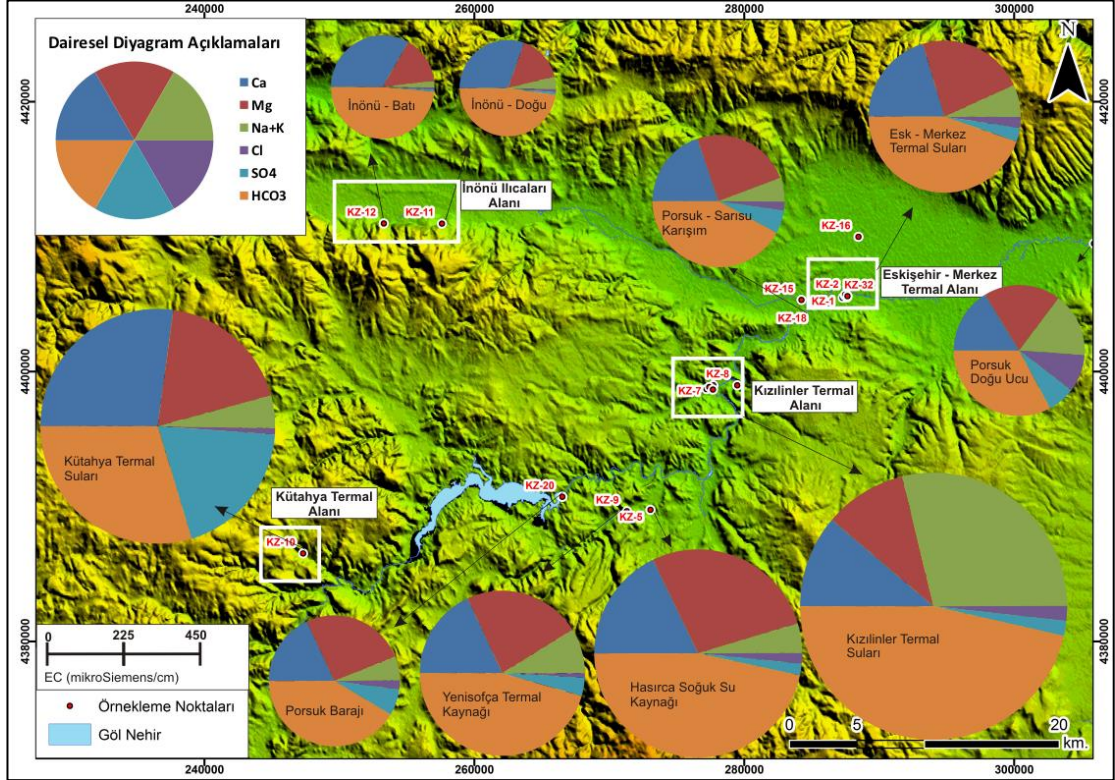
3.1. Hidrojeokimyasal Değerlendirmeler

Örnekleme yapılan potansiyel beslenme alanında 4 farklı termal alan olduğu öngörülmüştür (Şekil 3.2). Bu alanlar, Kızılınler, Eskişehir-Merkez, İnönü Ilıcaları ve Kütahya termal alanları olarak belirlenmiştir. Bu termal alanlara ek olarak Kızılınler'in birkaç km. güneyinde Yenisofoça adlı köyde bulunan bir termal kaynak daha bulunmaktadır.

Çalışma kapsamında incelenen sıcak su kaynaklarının sıcaklıkları, İnönü Ilıcaları ve Yenisofoça Kaynağı hariç, 40-45 °C arasında değişmektedir. İnönü Kaynakları 26 °C, Yeni Sofça Kaplıcası ise 29 °C sıcaklığa sahiptir. Kaynakların tamamı Bogomolow sınıflamasına göre hipertermal sular sınıfına girmektedir. Örneklenen sıcak su kaynaklarının Eskişehir, Kızılınler ve Kütahya'da benzer olmalarına karşın, Eskişehir merkezinde bulunan sıcak su kaynaklarının EC değerleri (384 – 488 $\mu\text{S/cm}$), benzer sıcaklıkta olan Kızılınler ve Kütahya kaynaklarına göre (771 – 798 $\mu\text{S/cm}$) göre daha düşüktür. Kızılınler sıcak su kaynakları iyonik derişim bakımından, diğer sıcak su kaynaklarından daha zengindir. Su-kayaç ilişkisi benzer ve farklı suların majör iyon analizleri ile yapılmıştır. Schoeller, Pie ve Piper diyagramlarında bu ilişkiler değerlendirilmiştir.

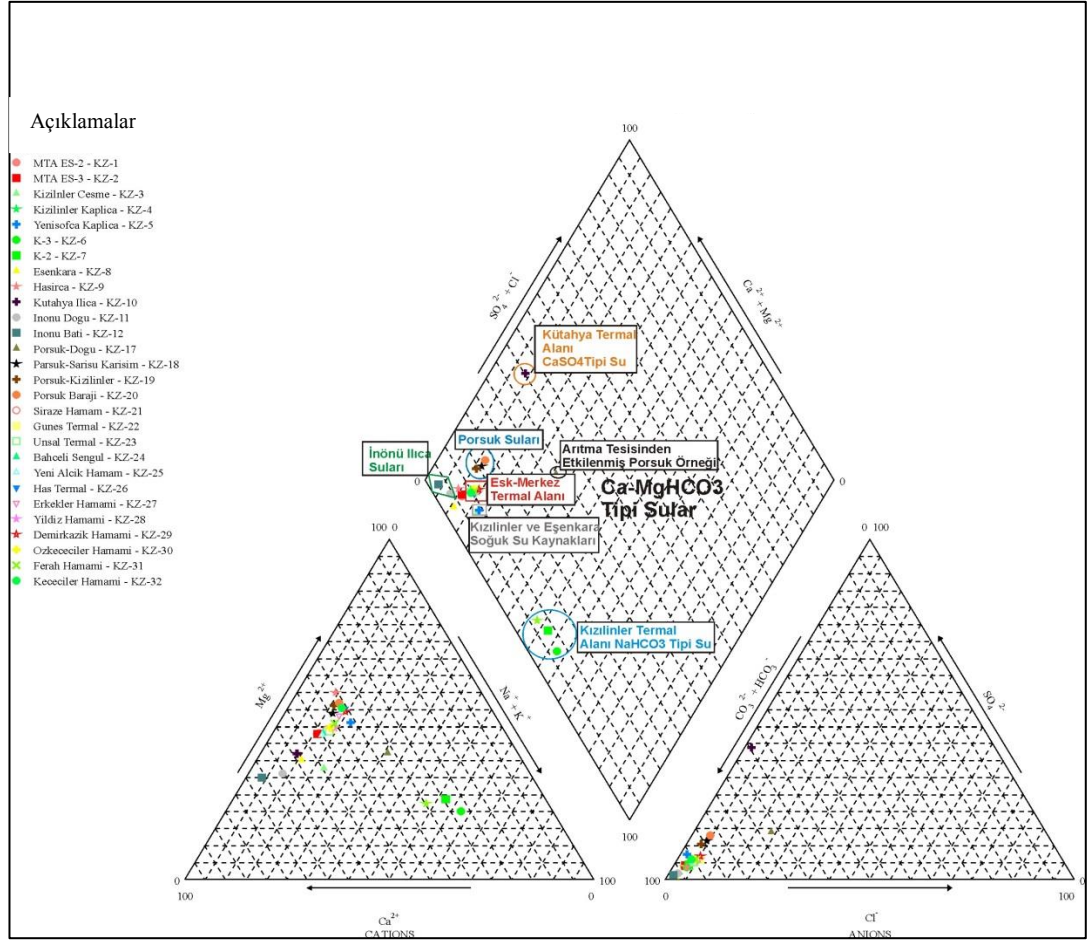
Pie diyagramlarına göre, çalışma alanının güneyinde, doğudan batıya doğru EC değerleri ile kısmen sodyum ve magnezyumun arttığı görülmektedir (Şekil 3.2). Fakat her iki iyon da aynı oranda ve aynı konumda artmadığından bölgedeki suların farklı rezervuar litolojilerine sahip oldukları söylenebilir. Kızılınler termal suları diğer sulardan farklı olarak, Na-HCO₃ tipinde görülürken, güney kesimde incelediğimiz diğer örnekler, (Porsuk Barajı, Yenisofoça ve Hasırca) ise daha çok Ca-Mg-HCO₃ tipinde sulardır. Çalışma alanının batı sınırına yakın bulunan Kütahya termal alanında boşalan sıcak sular ise Ca-HCO₃-SO₄ tipi sular sınıfında olup, çalışma kapsamında örneklenen diğer sulara göre sülfat derişiminin yüksek olduğu tek örnektir. Çalışma alanının kuzey kesiminde yer alan, İnönü, Eskişehir – Merkez ve Porsuk suları Ca-Mg-HCO₃ tipi sular özelliği göstermektedir. Kuzey kesimde, herhangi bir yönde EC değerlerinin, hem sıcak hem de soğuk su kaynaklarında değişmemesi ve benzer olması dikkat çekicidir

(Şekil 3.2). Çünkü sıcak suların EC değerlerinin çözünmüş madde miktarına bağlı olarak, soğuk sulardan daha yüksek olması beklenirdi.



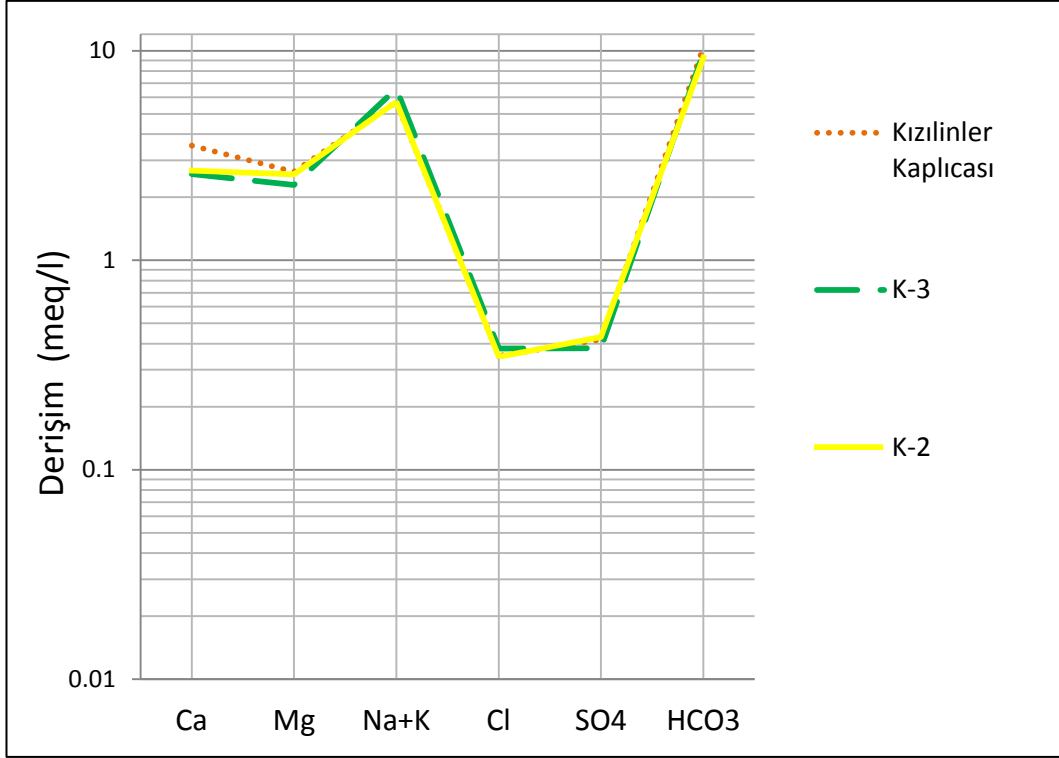
Şekil 3.2 Çalışma alanında bulunan termal alanlar ve örneklere ait pie diyagramları

Piper diyagramına göre Kızılınler ve Kütahya termal alanları haricinde sular, termal ve sığ yeraltı suları ayırt etmeksizin Ca-Mg-HCO_3 tipi sular bölgesinde kalmaktadır (Şekil 3.3). Örneklerdeki magnezyum içeriği batıdan doğuya doğru artarken, bikarbonat içeriği, doğudan batıya doğru gittikçe artmaktadır. Bu durumda, çalışma alanının doğusunda Eskişehir’de açılan ES-2 kuyu logunda kesilmiş dolomitik kayaçlarla olan su etkileşiminin arttığı söylenebilir [13]. Diğer örneklerle göre sodyumca oldukça zengin olan Kızılınler termal sularının ise rezervuar litolojisinin diğer sularla ilgisinin olmadığı anlaşılmaktadır.

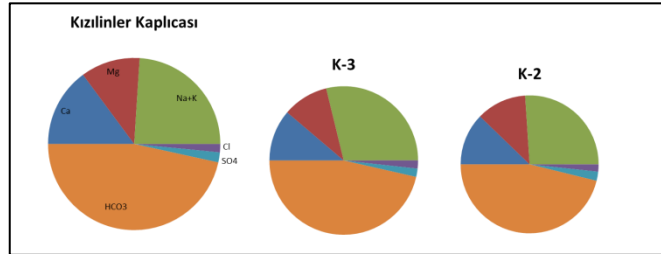


Şekil 3.3 Çalışma alanından toplanan su örneklerine ait piper diyagramı

Schoeller diyagramların benzer sular ayrılarak birlikte değerlendirilmiştir. Kızılınler sıcak su kaynakları meq/l derişimine göre Na-HCO₃ tipi sular sınıfına girmektedir (Şekil 3.4, Şekil 3.5). Sodyum, özellikle killer gibi yüksek anyon - katyon değişimine sahip yüzeylerden emilerek çözünür [20]. Kızılınler termal alanında açılan K-2 ve K-3 kodlu araştırma kuyularında, sıcak su ofiyolitik melanja ait serpantinli, tuf kırıntılı ve splitli seviyelerden alınmıştır [15]. Bu durumda, rezervuar litolojisinin ofiyolitik melanja ait olan seviyeler olduğu söylenebilir. Triyas ofiyolitik melanjin üzerinde bulunan Pliyosen tuf ve bazaltların örtü kaya özelliğinde olduğunu, ancak suların bu kayalarla da iyon alış-verişinde olduğu öngörülmektedir.



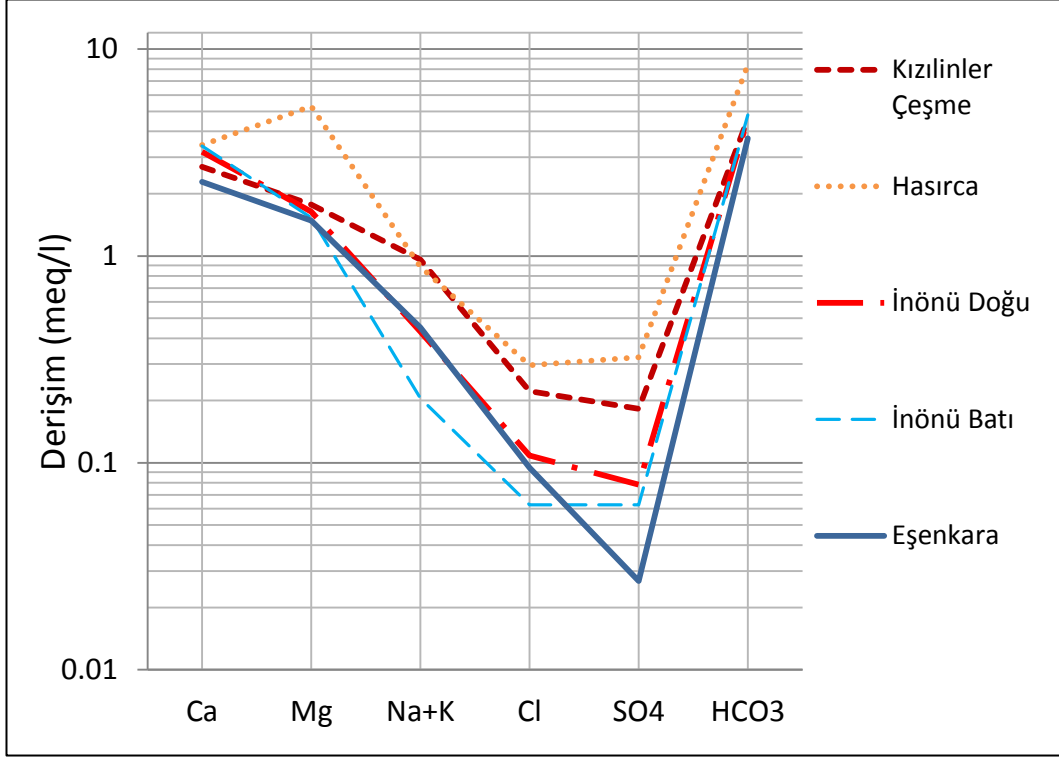
Şekil 3.4 Kızılınler sıcak su örneklerine ait schoeller diyagramı



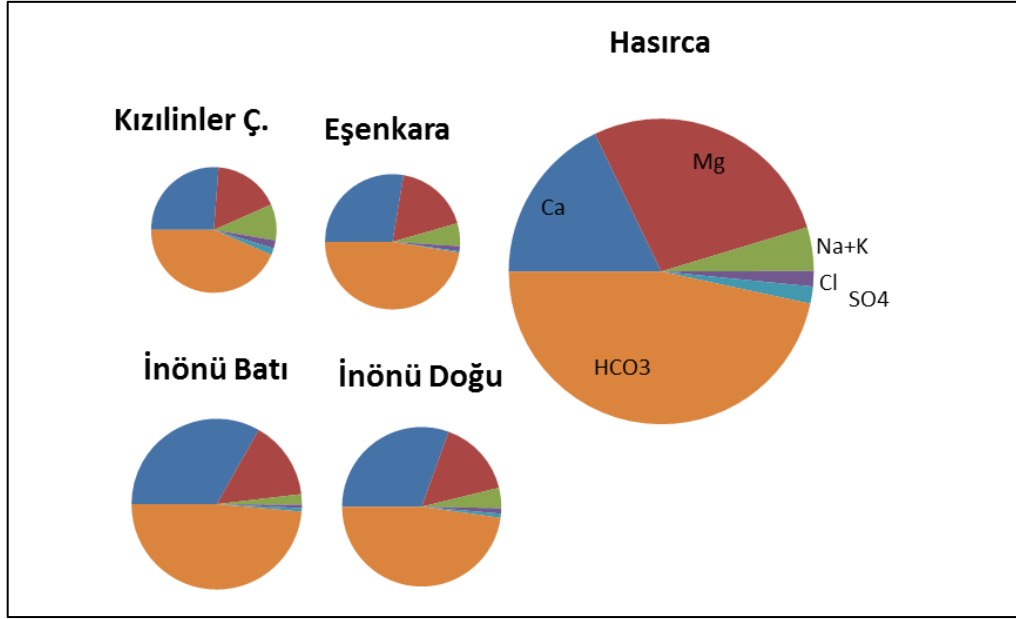
Şekil 3.5 Kızılınler sıcak su kaynaklarına ait pie diyagramları

Çalışma alanındaki sığ yeraltı su kaynakları İnönü termal suları ve Eskişehir – Merkez suları ile benzerlik göstermektedir (Şekil 3.6, Şekil 3.7). Kalsiyum ve bikarbonat zengini suların sığ ve güncel olmaları beklenir. Ancak havzanın farklı bölgelerinde bulunan bu suların kaynaklarında feldispat minerallerinin yoğun olarak bulunması dışında herhangi bir yorum yapılamamaktadır. Suların bir kısmının tüflerden, bir kısmının ise metamorfik kayalardan beslendiği göz önüne alındığında kimyasal benzerliğin kurulmasının litoloji ilişkisi kurmak için yeterli olmadığı düşünülmektedir. Litolojik ilişkiyi kurmak için izotop analizlerinden elde edilecek beslenme kotu ilişkisini kurmak

daha gerçekçi olacaktır. Bu kısım ayrıca tartışma ve sonuçlar kısmında tekrar ele alınmıştır.



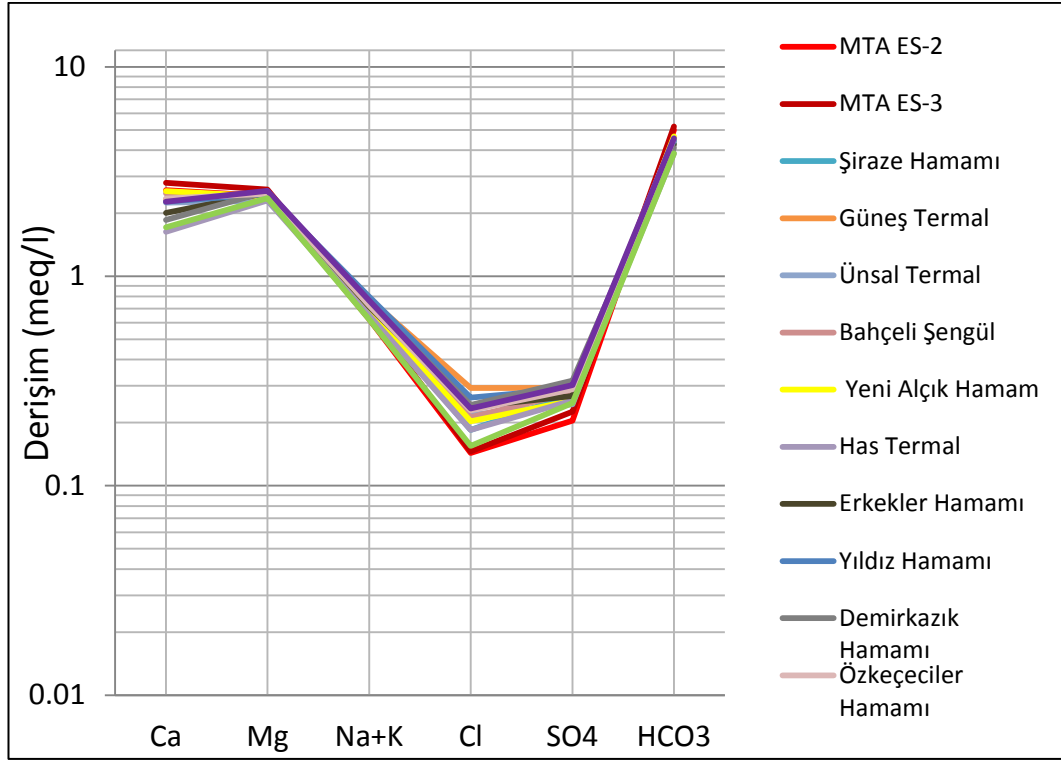
Şekil 3.6 Kızılınler ve çevresinden alınan soğuk su örneklerine ait schoeller diyagramı



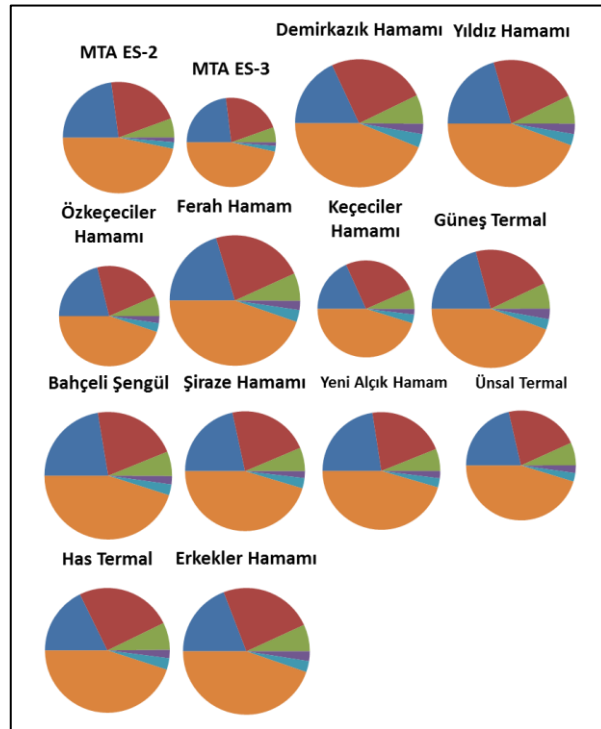
Şekil 3.7 Kızılınler ve çevresinden alınan soğuk su örneklerine ait schoeller diyagramı

Kızılınler'den alınan örnekler arasındaki kökensel ilişkiler Schoeller diyagramı ile incelendiğinde, iki farklı akifer sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Örneklenen Kızılınler sıcak su kaynağı ile soğuk su kaynağı arasında birkaç metre bulunurken, sıcak su kaynağının rezervuar litolojisinin, soğuk su akiferinin litolojisinden farklıdır. Bununla birlikte Eskişehir merkezinde bulunan sıcak su kaynakları ile Kızılınler sıcak su kaynağı da litolojik olarak farklı akifer yapısına sahiptir. Ancak Schoeller ve Pie diyagramlarına bakarak tüm soğuk su kaynaklarının, şehir merkezinde bulunan sıcak su kaynakları ile benzer litolojiye sahip olduğu söylenemez.

Merkez sıcak su kaynakları ile diğer tüm soğuk su kaynakları, İnönü kaynakları ve Yenisoğça Kaynağı ile birlikte Ca-Mg-HCO₃ tipi sular sınıfındadır. Alanda analizi yapılan 14 örnek de hemen hemen aynı karakterdedir (Şekil 3.8, Şekil 3.9). Dolayısıyla bölgede tek bir sıcak su rezervuarı bulunmamaktadır. Bu rezervuar litolojik olarak Kızılınler termal alanından farklı karakterdedir.

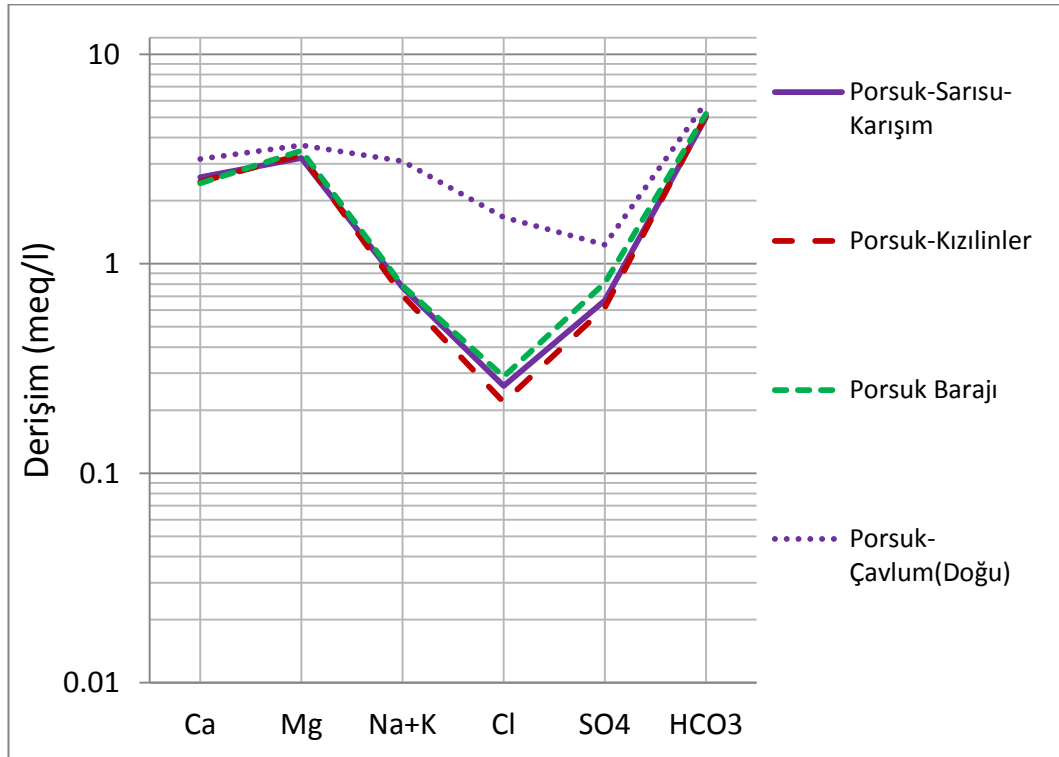


Şekil 3.8 Eskişehir merkez sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait schoeller diyagramı

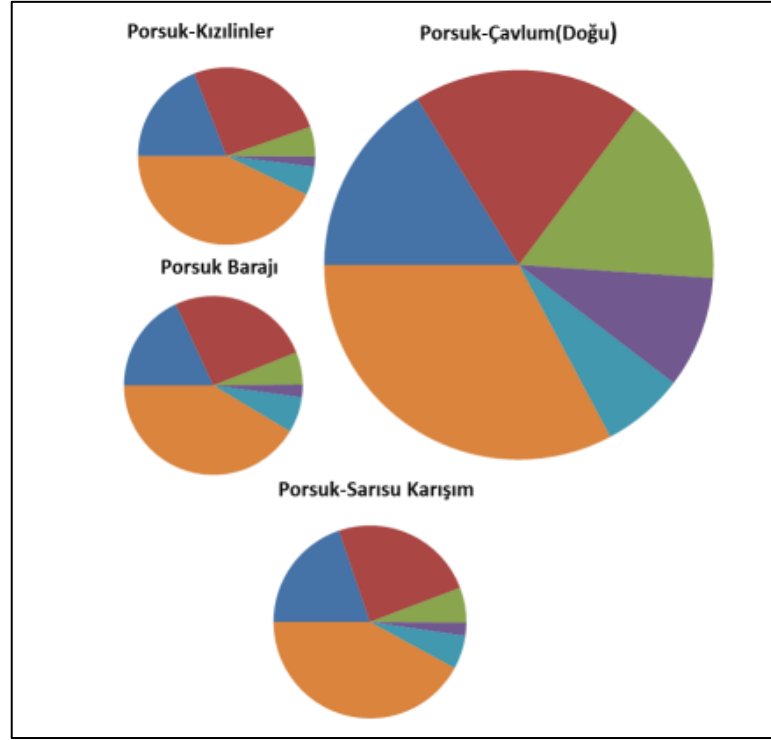


Şekil 3.9 Eskişehir merkez sıcak su kaynaklarından alınan su örneklerine ait pie diyagramları

Potansiyel beslenme alanının yaklaşık güneybatı ucundaki barajdan başlayıp kuzeydoğu sınırına kadar devam eden Porsuk Nehri'nin, bölgedeki sığ yeraltısuları ve termal sular ile ilişkisini irdelemek için dört noktada örnekleme yapılmıştır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Schoeller ve Pie diyagramlarına göre Porsuk Nehri'ne ait yüzey sularının da Ca-Mg-HCO₃ tipinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 3.10, Şekil 3.11). Kızılınler, Porsuk Barajı ve Sarısu-Porsuk karışım noktalarındaki örnekler birbirlerine çok yakın karakterde görülürken, havzanın kuzeydoğu ucunda örneklenen yüzey suyu örneğinde sodyum ve klorür miktarının diğer Porsuk örneklerine göre yükseldiği görülmektedir (Şekil 3.10). Bununla birlikte bu örneğin NO₃ değeri 25 mg/l civarında olup, diğer Porsuk örneklerinde bu değer 0.5 – 2.5 mg/l civarındadır. Bu durum da bölgede bulunan arıtma tesisinden Porsuğa salınan suların nehirdeki nitrata artırması ile açıklanabilir. Ancak yeraltısuları ile ilişki değerlendirilecek olursa, Porsuk Nehri, Eskişehir ovasının tamamını geçtiğinden sığ yeraltısuları ile beslenme ilişkisini sadece majör iyon ilişkisine dayandırmak güçtür. ³H analizlerinde yüzey ile yeraltısuları arasındaki ilişki daha detaylı olarak ele alınmış, tekrar değerlendirilmiştir.

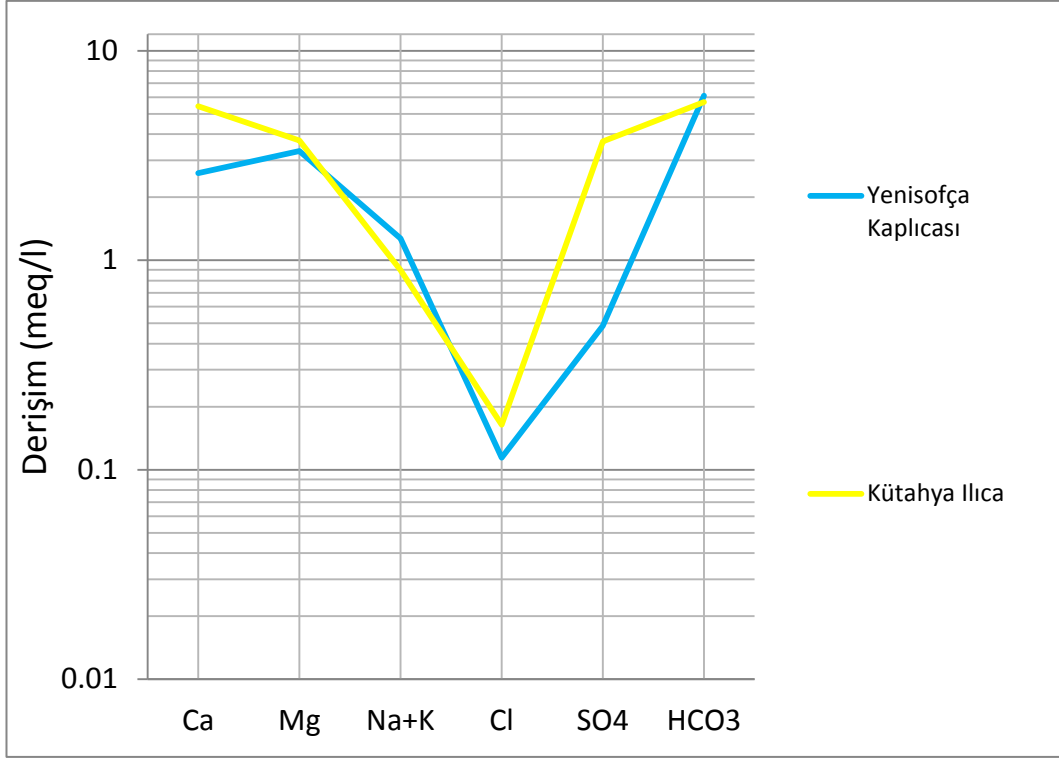


Şekil 3.10 Porsuk Nehri'nden alınan su örneklerine ait schoeller diyagramı

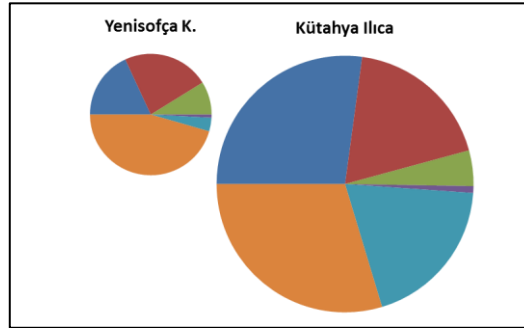


Şekil 3.11 Porsuk Nehri'nden alınan su örneklerine ait pie diyagramları

Merkez sıcak su kaynaklarına ek olarak, Kızılınler termal alanının 10 km. kadar güneyinde bulunan Yenisoğça kaplıcasından ve 60 km. kadar güneybatısında bulunan Kütahya ılıcalarından da sıcak su örneği alınmıştır. Aynı potansiyel beslenme alanı içerisinde bulunan bu kaynaklar, Kızılınler sıcak su rezervuarı ile ortak ya da benzer bir rezervuar litolojisine sahip değildirler. Yenisoğça kaplıcası $Mg-Ca-HCO_3$ tipi, sığ yeraltısuları ile benzer bir karakter gösterirken, Kütahya ılıcalarından alınan örnek $Ca-HCO_3-SO_4$ tipinde, evaporitik bir rezervuar litolojisine sahip su karakteri sergilemektedir (Şekil 3.12, Şekil 3.13). Her iki sıcak su kaynağının da Kızılınler sıcak suları ile bir ilişkisinin olmadığı düşünülmektedir.



Şekil 3.12 Yenisoğça ve Kütahya termal sularından alınan örneklere ait schoeller diyagramı



Şekil 3.13 Yenisoğça ve Kütahya termal sularından alınan örneklere ait pie diyagramları

Klorür iyonları önemli ölçüde yükseltgenme-indirgenme reaksiyonlarına girmezler, klorür derişimi aşırı derecede yüksek olmadıkça çözünebilir karışımlar oluşturmazlar, düşük çözünürlüğü olan tuz oluşturmaz, mineral yüzeyleri tarafından absorbe edilmez ve biyokimyasal olaylarda çok az rol üstlenirler [20]. Kısaca klorür iyonları farklı suların karışımından etkilenmeyen korunumlu iyonlardır. Benzer şekil de bor iyonları da korunumlu kabul edilmektedir. Buna dayanarak, Cl-B diyagramı ile iyonik derişimi diğer örneklere göre daha düşük suların seyrelme süreçleri tahmin edilebilir.

Genel olarak katyon jeotermometreleri, sıcaklığın 200 °C'den düşük olduğu ve kil minerallerinde iyon değişimi olan durumlarda sağlıklı sonuçlar vermezler. Bununla birlikte Giggenbach [22] tarafından geliştirilen Na-K-Mg diyagramında sular, Na, K ve Mg derişimine göre olgun olan, kısmen denge durumunda olan ve olgun olmayan sular olarak üç gruba ayrılmaktadır [1]. Buna göre çalışma kapsamında değerlendirilen sular, denge durumunda olmayan ve rezervuar sıcaklıkları 200 °C'nin altında olan sulardır. Bu nedenle çalışma alanında katyon jeotermometreleri uygulanmamıştır.

Silis jeotermometreleri ise kuvars ve kalsedon jeotermometreleri olarak iki grupta değerlendirilmektedir. 150 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda sudaki kuvars çözünürlüğü kolaylıkla dengeye geldiğinden, silis jeotermometrelerini çoğu termal su için kullanmak mümkündür [1]. Ancak sıcaklığı 180 °C'den düşük olan rezervuarlar için kalsedon jeotermometrelerinin kullanımı daha doğru sonuçlar vermektedir [23] [24].

Çalışma kapsamında üç kuvars, dört de kalsedon jeotermometresi kullanılarak rezervuar sıcaklık tahmini yapılmıştır (Çizelge 3.3). Jeotermometre hesaplamalarına göre kuvars jeotermometreleri, kalsedon jeotermometrelerine göre daha yüksek sonuçlar vermektedir. Kızılınler bölgesinden alınan üç sıcak su örneği için de hesaplama yapılmış, tüm hesaplamalarda hemen hemen benzer sonuçlar alınmıştır. Merkez sıcak sularda ise yine tüm örneklerin aynı rezervuara ait olduğu belirlendiğinden tek bir temsil edici hesaplama yapılmıştır.

Hesaplama sonuçlarına göre Kızılınler termal alanı rezervuar sıcaklığı kalsedon jeotermometrelerine göre 63-70 °C, kuvars jeotermometrelerine göre 92-96 °C arasındadır. Sıcaklığın 180 °C'den düşük olması nedeniyle kalsedon jeotermometrelerinden elde edilen sonuçları dikkate alınmıştır. Kızılınler ile birlikte geriye kalan üç farklı termal bölge için de kalsedon jeotermometrelerinin daha güvenilir sonuçlar verdiği görülmektedir. Buna göre Kızılınler termal alanına ait rezervuar, merkez sıcak sularına göre 10-20 °C daha sıcaktır. Kütahya ılıca örneği tamamen farklı bir bölgede bulunup Eskişehir ve çevresinde bulunan diğer rezervuarlara göre daha 10 °C kadar daha sıcaktır. Yenisoğça kaplıcası ile merkez sıcak suların rezervuar sıcaklıklarının benzer olduğunu söylemek mümkündür.

Çizelge 3.3. Çalışma alanına ait jeotermometre hesaplamaları (°C)

Sıcaklık/Silis/Jeotermometre Ref.	Kızılınlar	K-3	K-2	Kütahya	Eskişehir	Yenisofça
T (°C)						
SiO ₂ (mg/l)						
KUVARS [25]	94	95	92	109	80	77
[26]	94	94	92	108	79	76
[26]	96	96	94	108	83	80
KALSEDON [27]	63	64	61	79	48	45
[27]	68	68	66	82	54	51
[28]	65	65	63	80	51	47
[28]	70	70	68	83	57	54

3.3. İzotop Hidrolojisi

İzotop hidrolojisi çalışma kapsamında, sıcak ve soğuk su kaynaklarının çevresel izotop içerikleri incelenerek jeotermal akiferlerin kökenleri, beslenme alanları ve su-kayaç etkileşimleri belirlenmeye çalışılmıştır. İncelemelerde ¹⁸O, ²H ve ³H analizleri değerlendirilmiştir.

Çevresel izotoplar, hidrojeoloji çalışmalarına önemli katkı sağlamaktadır. Örneğin, suda bulunan duraylı izotoplar meteorik süreçlerden etkilenmekte, böylece belirli bir bölgeyi besleyen bu suların karakteristik izotopik imzalarını oluşturmaktadır. Bu imza yeraltı suyunun kaynağını belirlemek için doğal bir izleyici olarak kullanılmaktadır. Öte yandan radyoizotoplar bozunarak suyun sistemdeki dolaşım süresini, bir başka deyişle yeraltı suyunun yenilenme sürecini belirlemeye yararmaktadır. Çevresel izotoplar, yeraltı suyunun kaynağı ve yaşı dışında çok daha fazla bilgi sağlamaktadırlar. Su içinde bulunan izotoplar ile su kalitesini etkileyen çözeltiler ve katı maddeler, jeokimyasal evrim, beslenme süreçleri, su-kayaç etkileşimi, tuzluluğun kökeni ve kirletici madde süreçleri belirlenebilmektedir [29].

3.3.1. ¹⁸O-²H ilişkisi

Oksijen ve hidrojen duraylı izotopları hidrolojik çalışmalarda genellikle izleyici olarak kullanılmaktadır. Genel olarak duraylı izotoplar, verilen elementin

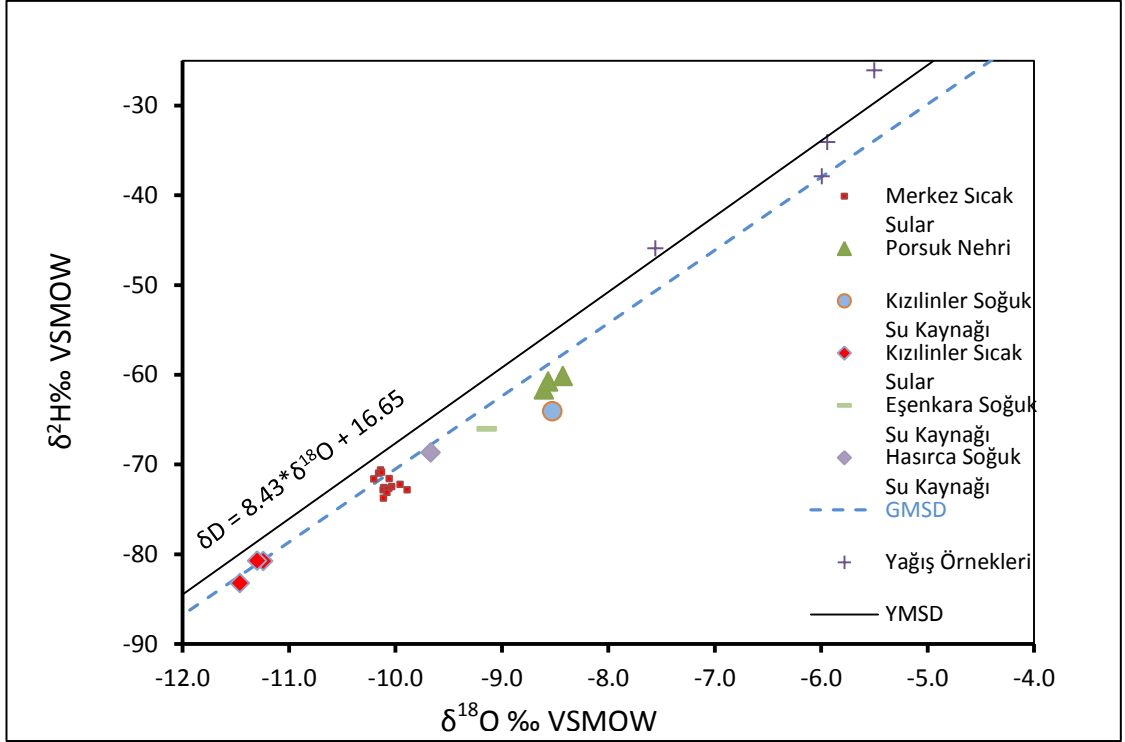
iki en bol bulunan izotopunun oranı olarak ölçülür. Oranlardaki bu değişimler ancak kütle spektrometreleriyle saptanabilir. Kütle spektrometresi, iyonlaştırılmış ölçüm gazının hız süzgecinden geçtikten sonra manyetik alan uygulanması esnasında farklı iyonların farklı dairesel yörüngeler çizerek kolektörlerde toplanması, yükselteç ve diğer elektronik sistemler aracılığıyla ölçülmesi prensibi ile çalışır [30].

Oksijen ve hidrojenin izotopik bileşimleri, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ve $^2\text{H}/^1\text{H}$ oranlarının farklılıkları açısından belirtilmektedir. Deniz suyunun izotopik bileşimi ilk kez referans olarak kullanıldığında SMOW (Standart Mean Ocean Water) olarak adlandırılmıştır. Bu su, Craig [31] tarafından yapılan çalışmada, belirli bir örneğe göre izotopik bileşimi kalibre edilen hipotetik bir referanstı. Daha sonraları belirlenen bu standart distile edilmiş deniz suyu ile IAEA (International Atom Energy Agency) tarafından tekrar elde edilmiştir. Bu kez referans su VSMOW (Vienna Standart Mean Ocean Water) olarak adlandırılmıştır ve halen geçerliliğini sürdürmektedir. VSMOW, SMOW'a göre %5 ^{18}O yönünden daha zengin ve %14 ^2H yönünden daha fakir bir sudur [29].

Jeolojik materyallerdeki duraylı izotop bileşimleri, belirlenen referanstan olan sapmalar şeklinde, δ (delta) simgesi ile ifade edilmektedir. Standartta göre suyu karakterize eden negatif değerler izotopik olarak tükenmeyi, pozitif değerler ise su örneğine göre izotopik zenginleşmeyi göstermektedir [29].

Okyanuslardaki buharlaşma süreci (hafif izotopların buhar fazına geçmesi) ve bunu takiben bulutlarda meydana gelen yoğunlaşma süreci sonunda, meteorik yağışlar ile oluşan yüzey suları deniz suyuna oranla daha düşük ^{18}O ve ^2H değerlerine sahip olmaktadır. Dünya üzerindeki farklı konumlardan alınan çok sayıda yağış örneklerinden gerçekleştirilen izotop analizleri, meteorik suların $\delta\text{D} = 8.13 \times \delta^{18}\text{O} + 10.8$ denklemi ile tanımlanan çizgisel bir ilişkiye sahip olduğunu göstermektedir [32]. Bu denklemin oluşturduğu doğru da Global Meteorik Su Doğrusu (GMSD) olarak tanımlanır.

Buna göre sunulan tez kapsamında toplanan örneklerden elde edilen $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ sonuçları ile grafik oluşturulmuştur (Şekil 3.15). Çalışma kapsamında dört adet yağış örneğinden izotop analizi gerçekleştirilmiş ve çalışma alanı için yerel meteorik su doğrusu (YMSD) hazırlanmıştır.



Şekil 3.15 Çalışma alanında $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ ilişkisi grafiği

Sıcak su kaynaklarına bakıldığında, hem Kızılınler hem de merkez sular, GMSD üzerinde, YMSD'nin ise yakınında kalmaktadır. Soğuk sular da benzer şekilde hem global hem yerel meteorik su doğruları ile aynı trendi göstermektedir. Bölgede örneklenen tüm soğuk ve sıcak su kaynakları meteorik kökenlidir.

Sıcak su kaynaklarının $\delta^{18}\text{O}$ bakımından az da olsa zenginleşmeleri buharlaşma süreçlerinden etkilendiklerini göstermektedir. Buna bağlı olarak Kızılınler'de buharlaşma sürecinin merkeze göre daha az etkilendiği söylenebilir. Karbonatlı akifere sahip sularda $\delta^{18}\text{O}$ sapması, diğer litolojilere oranla daha fazladır [33]. Bu durumda merkez sıcak sularının rezervuarının dolomitik olması, yani Mesozoyik kireçtaşları olması ile ilişkilidir. Buna rağmen her iki bölgede de yüksek bir $\delta^{18}\text{O}$ sapması görülmemesi, çok yüksek bir rezervuar sıcaklığı beklenmemesi gerektiğini gösterir.

3.3.2. ^{18}O - ^2H ve Yükselti İlişkisi

Yağışı meydana getiren atmosferik su buharının ^{18}O - ^2H içeriği coğrafi konum, enlem vb. etkiler altında yükselti ile ters orantılı olarak değişmektedir.

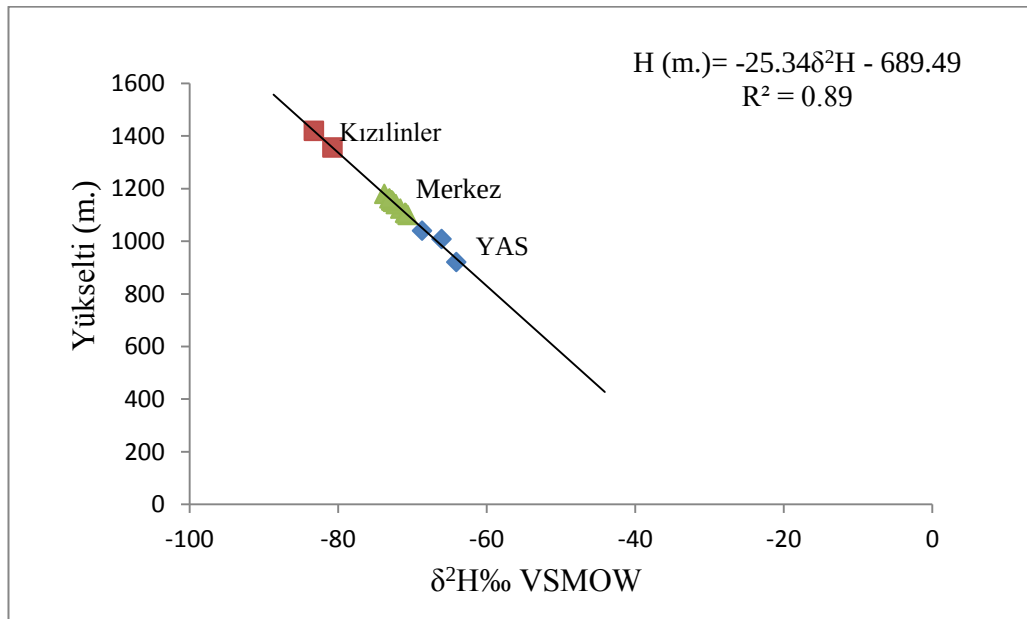
Yükselti etkisi olarak adlandırılan bu etki aslında yükseklikle beraber sıcaklığın da azalmasından kaynaklanmaktadır [24]. Genel olarak her 100 m'lik yükseklik artışına karşılık ^{18}O içeriğindeki azalma % 15 ile %50 arasında değişirken, ^2H için bu değer % 1 ile % 4 arasında değişmektedir [24] [29].

İnceleme alanında ^{18}O ve ^2H 'un yükselti ile değişimi bölgede örneklenen üç sığ yeraltı suyu kaynağı dikkate alınarak belirlenmiştir (Çizelge 3.4). 100 m'lik yükseklik artışına karşılık ^2H içeriği %6.7 azalmıştır. ^{18}O ise yaklaşık % 2.5 azalmıştır. Her iki izotopa göre tahmin edilen ortalama beslenme yükseklikleri birbirine yakındır (Şekil 3.9, Şekil 3.10).

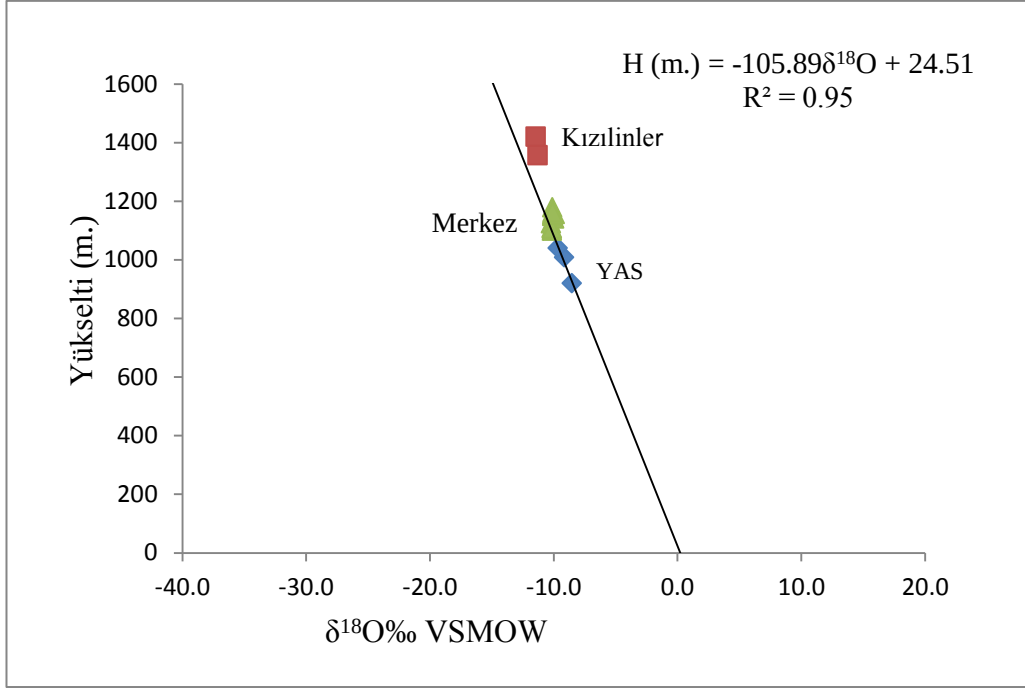
Çizelge 3.4 Beslenme yüksekliği ilişkisi için kullanılan kaynakların beslenme kotları

Örnek Adı	$\delta^2\text{H}$	$\delta^{18}\text{O}$	Beslenme Kotu
Kızılınler Çeşme	-64	-8.5	920
Eşenkara	-66	-9.1	1008
Hasırca	-69	-9.7	1040

Buna göre Kızılınler termal alanı yaklaşık 1400 m. kotlarından, merkez termal kaynakları ise 1100 – 1200 m. kotlarından beslenmektedir.



Şekil 3.16 $\delta^2\text{H}$ – yükseklik ilişkisi



Şekil 3.17 $\delta^{18}\text{O}$ – yükseklik ilişkisi

3.3.3. Trityum (^3H) Değerlendirmeleri

Trityum yarılanma ömrü 12.43 yıl olan radyoaktif bir hidrojen izotopudur. Nükleer bomba testlerinin ardından atmosferdeki trityum miktarı değişmiş ve bu durum son derece dikkat çekici olmuştur. İlk olarak 1952 yılında, hidrojen bombası testinden bir kaç on yıl sonra ^3H miktarında artış gözlenmiştir [29].

Trityum stratosferde doğal olarak da üretilmektedir. Hem doğal olarak üreyen hem de hidrojen bombalarıyla atmosfer salınan ^3H , yağışlarla birlikte hidrolojik döngüye katılmaktadır. Yani trityumun suda varlığı, beslenmenin güncel olduğunu göstermektedir [29].

Çizelge 3.5'te ^3H sayım değerleri görülmektedir. Buna göre değeri sıfır olan tüm sayımların güncel sularla ilişkisi yoktur veya ^3H değeri sıfır çıkan suların 62 yıldan daha yaşlı sular olduğu söylenebilir.

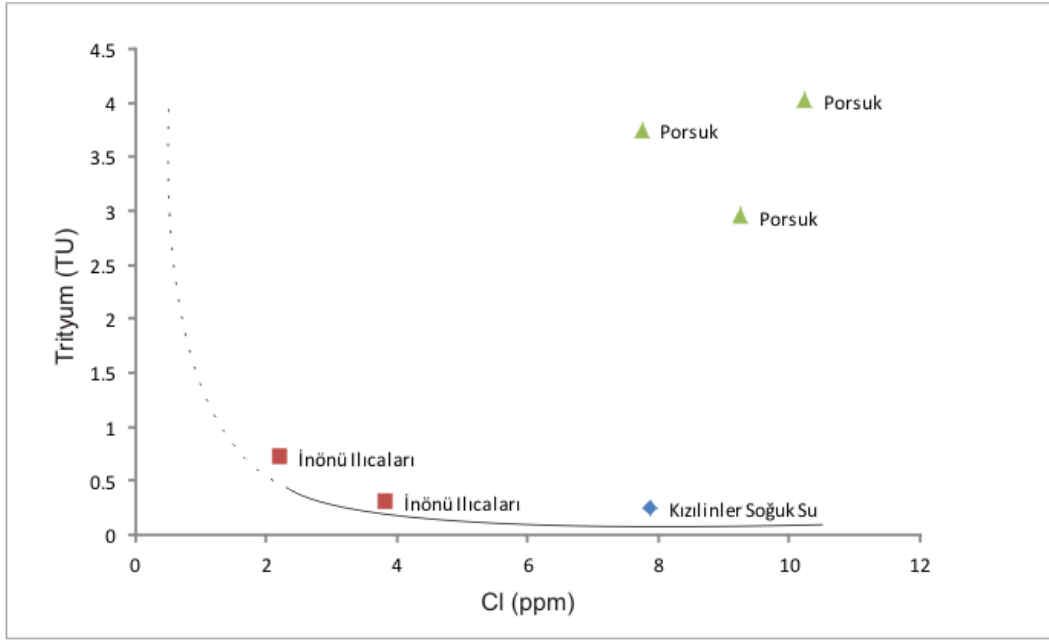
Tablolar incelendiğinde Trityum değeri sıfırdan büyük olan 7 örnek vardır. Bunlar KZ-3 (Kızılınler Soğuk Su Kaynağı), KZ-10 ve 11 (İnönü Termal Suları) ile KZ-17-20 arasında bulunan(Porsuk Nehri) örnekleridir (Çizelge 3.5.). Bu da iki anlama gelebilir; birincisi, Kızılınler ve merkezde bulunan termal suların güncel Porsuk Nehri ile herhangi bir ilişkisi bulunmamaktadır. Termal suların tamamı ölü sulardır. İkincisi ise termal rezervuarlar yüzey akımı ile değil de,

süzülme, yüzey altı akımı suları ile beslendiğinden güncel yağışların rezervuara ulaşması daha uzun sürmektedir. Ancak yüzey su kaynağından (Porsuk) ile doğrudan ve sürekli bir beslenme söz konusu değildir.

Çizelge 3.5. Çalışma kapsamında değerlendirilen örneklere ait ^3H sayım sonuçları

Örnekleme Yeri	^3H	Hata (+/- 1 σ)	Örnekleme Yeri	^3H	Hata
MTA ES-2	0	0.29	Porsuk-Kızılınler	3.75	0.39
MTA ES-3	0	0.33	Porsuk Barajı	4.02	0.39
Kızılınler Çeşme	0.25	0.33	Şiraze Hamamı	0	0.35
Kızılınler Kaplıcası	0	0.30	Güneş Termal	0	0.34
Yenisofça Kaplıcası	0	0.28	Ünsal Termal	0	0.34
K-3	0	0.30	Bahçeli Şengül	0	0.34
K-2	0	0.31	Yeni Alçık Hamam	0	0.33
Eşenkara	0	0.31	Has Termal	0	0.35
Hasırca	0	0.33	Erkekler Hamamı	0	0.33
Kütahya Ilıca	0	0.28	Yıldız Hamamı	0	0.34
İnönü Doğu	0.31	0.32	Demirkazık Hamamı	0	0.35
İnönü Batı	0.73	0.33	Özkeçeciler Hamamı	0	0.32
Porsuk-Çavlum(Doğu)	2.81	0.37	Ferah Hamam	0	0.34
Porsuk-Sarısu-Karışım	2.95	0.37	Keçeciler Hamamı	0	0.34

$^3\text{H-Cl}$ grafiğine göre ise İnönü ve Kızılınler su kaynaklarının, dolaşım derinliklerinin benzer olduğu söylenebilir. Yüzey suları beklendiği gibi ^3H oranı en yüksek sulardır. Düşük ^3H içeriği derin dolaşımın olduğunun belirtisidir.



Şekil 3.18 ^3H -Cl Grafiği

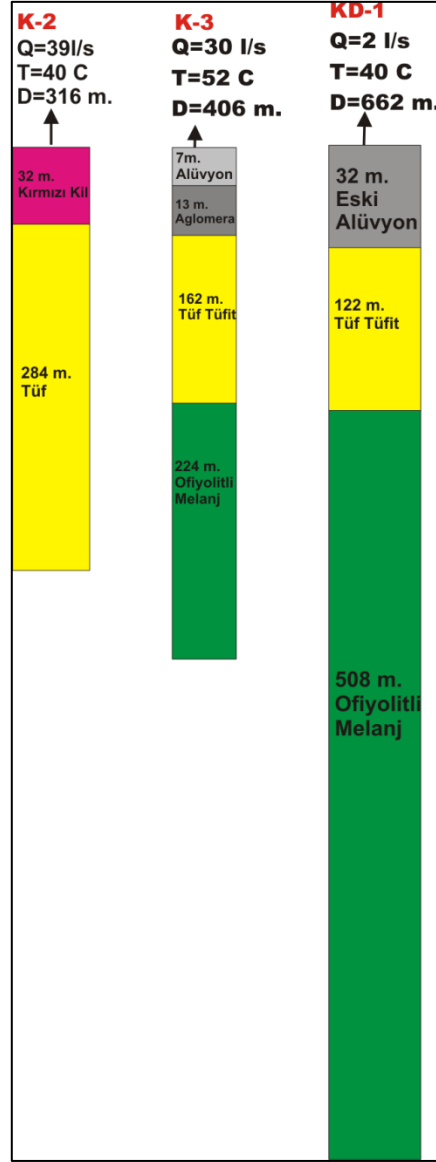
4. JEOFİZİK ÇALIŞMALAR

Jeofizik çalışmalar, yerin derinliklerinde bulunan yapıların, kayaçların farklı özelliklerini belirlemek üzere yapılır. Sondaja göre çok daha kısa sürede ve çok daha geniş bir alanı temsil edecek nitelikte bilgi sağlayabilirler. Majör yapısal özelliklere ek olarak, hem sığda hem de derinde olmak üzere, jeotermal çalışmalarda farklı problemlerin çözülmesini sağlarlar. Bu sorular, ısının kaynağı, yeraltı rezervuarının yayılım alanı, akışkanların yüzeye çıkış yolları ve yüksek iletimli zonlar ve kaynağın jeotermal enerji potansiyeli olarak sıralanabilir [2].

Bu çalışmada, jeofizik çalışmalar kapsamında, sismik yansıma uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada bu yöntemin tercih edilmesinin nedeni, geçmiş çalışmalarda açılan derin bir kuyudan beklenen akışkanın elde edilememesidir.

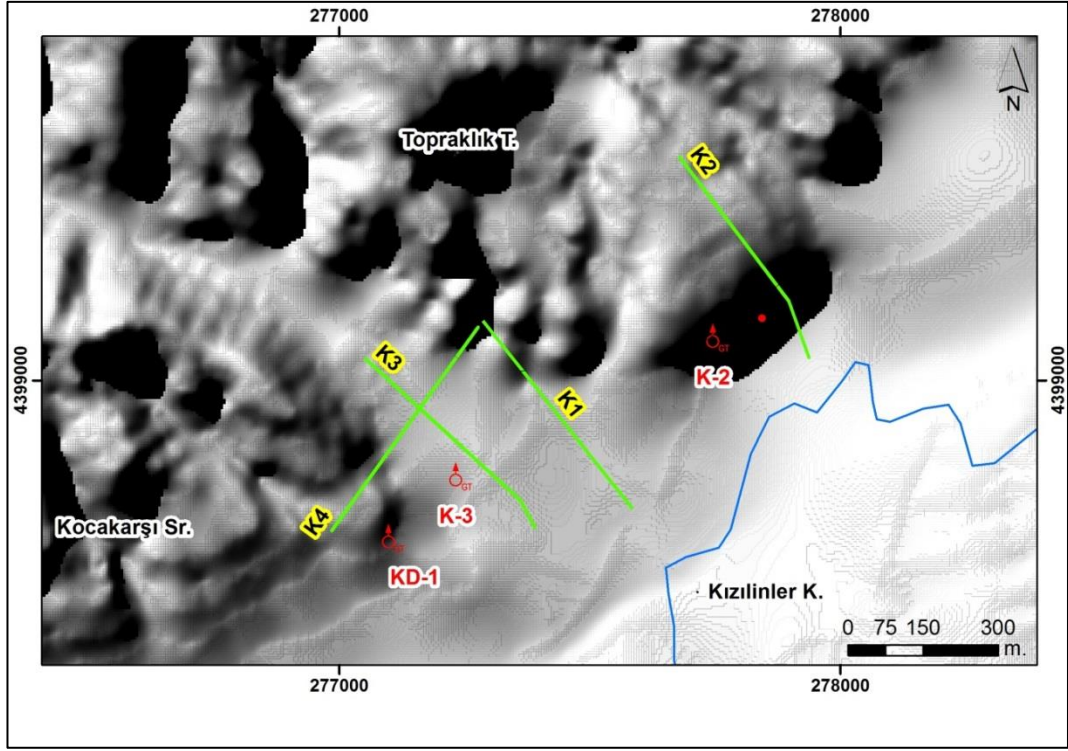
Birbirlerine birkaç on metre mesafede bulunan K-2, K-3 ve KD-1 kuyularından en derin olan KD-1'in en verimsiz olması, jeotermal akışkanı yüzeye ulaştıran majör yapısal süreksizliklerin ıskalanması olarak düşünülmüştür (Şekil 4.1). K-2, K-3 ve KD-1 kuyuları sırasıyla, tahmin edilen deformasyon zonunun kuzeydoğu ucunda, kaynak çıkış noktasına en yakın noktasında başlayıp, güneybatıya doğru ilerleyerek açılmışlardır. İlk olarak 316 m. derinliğinde K-2 kuyusu açılmış ve 40 °C sıcaklıkta, 39 l/s debili su üretilebileceği tespit edilmiştir. Bu kuyunun birkaç on metre kadar güneybatısına 406 m. derinliğinde K-3 kuyusu açılmış ve 52 °C sıcaklıkta, 30 l/s sıcak su üretilebileceği tespit edilmiştir. K-3 kuyusunun ise 20 m. kadar güneybatısına, KD-1 kodlu, 662 m. derinliğinde üçüncü bir kuyu daha açılmıştır. Ancak kuyu tabanı sıcaklığı ve elde edilen akışkan kayda değer olmamıştır [15].

Sonuç olarak karşılaşılan kuru kuyu problemi, akışkanı yüzeye taşıyan kırık, çatlak, fay gibi süreksizliklerin konumlarının, sondaj noktası belirleyebilecek hassasiyette belirlenmesinin gerektiği anlaşılmıştır. Öte yandan, yüzeyde stratigrafik yapının ve tektonik özelliklerin bilindiği bir alanda, tektonik yapıyı, jeotermal sistemle ilişkilendirmek için yeraltındaki yapıların yüzey ile ilişkilendirilmesi de gereklidir. Bu sayede bir sistem tanımı yaparak, sistemi yapısal ve jeokimyasal unsurlarıyla birlikte değerlendirmek mümkün olmuştur.



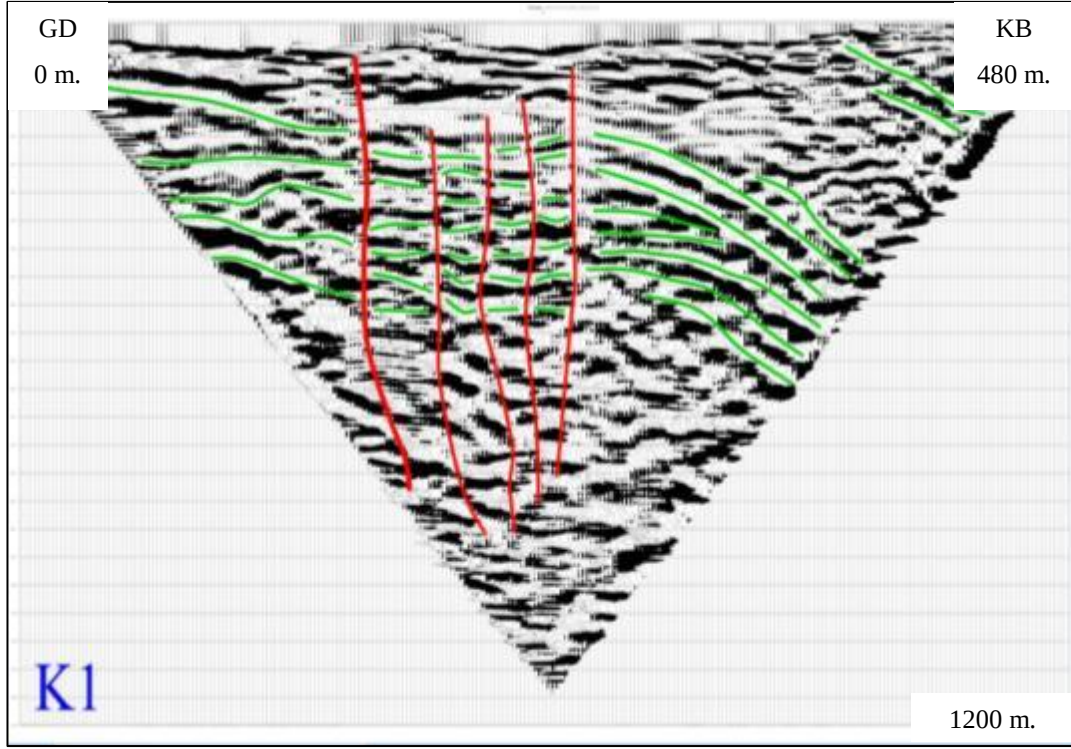
Şekil 4.1 Kızılınler bölgesinde jeotermal akışkan üretimi amaçlı açılan araştırma kuyularına ait loglar (ölçeksizdir)

Kızılınler termal alanında bulunan fay sisteminin konumu, atımı ve jeotermal suya ulaşılacak uygun derinliğin belirlenmesi amacıyla dört adet sismik yansıma hattı planlanmıştır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bu hatlar; K1, K2, K3 ve K4 olarak adlandırılmışlardır.



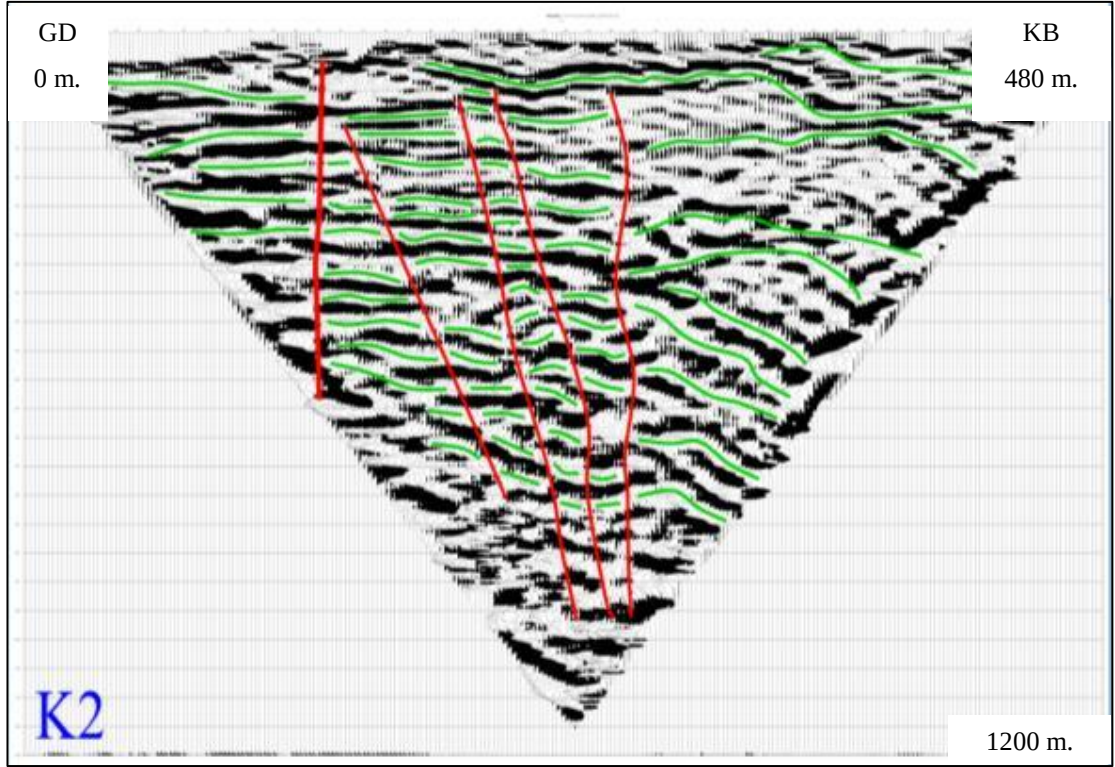
Şekil 4.2 Sismik yansıma hatları ve araştırma kuyuları

Bölgede sismik yansıma yöntemi ile 1200 m'ye kadar olan derinlikte oluşturduğu deformasyonlar görüntülenerek sistemin geometrisine dair bilgiler ortaya çıkartılmıştır. İlk olarak kaynak çıkış noktasının ve K-2 kuyusunun güneybatısında bulunan vadi sınırında K1 hattı uygulanmıştır. K1 sismik yansıma kesitinde, kesitin güneydoğu ucunda ana fay açık bir şekilde görülmektedir. Ana fayın kuzeyinde, ana faya ait ezilme zonu, kendisini sürekliliğini yitirmiş tabakalar halinde göstermektedir. Ezilme zonunda çok sayıda kısa fay segmentleri bulunmaktadır. Ezilme zonundan kuzeybatıya gidildikçe tabakalar sürekli hale gelmekte ve kuzeybatıya doğru eğim kazanmaktadır (K1 sismik yansıma kesitinde yeşil renk ile gösterilen sağa (KB) eğimli tabakalar) (Şekil 4.3). Tabakaların bu eğimi kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu bir sıkışmanın sonucu oluşmuştur. Bu tektonik süreç, kuzeye doğru birkaç kez tekrarlanmaktadır.



Şekil 4.3 K1 sismik hattına ait yansıma kesiti

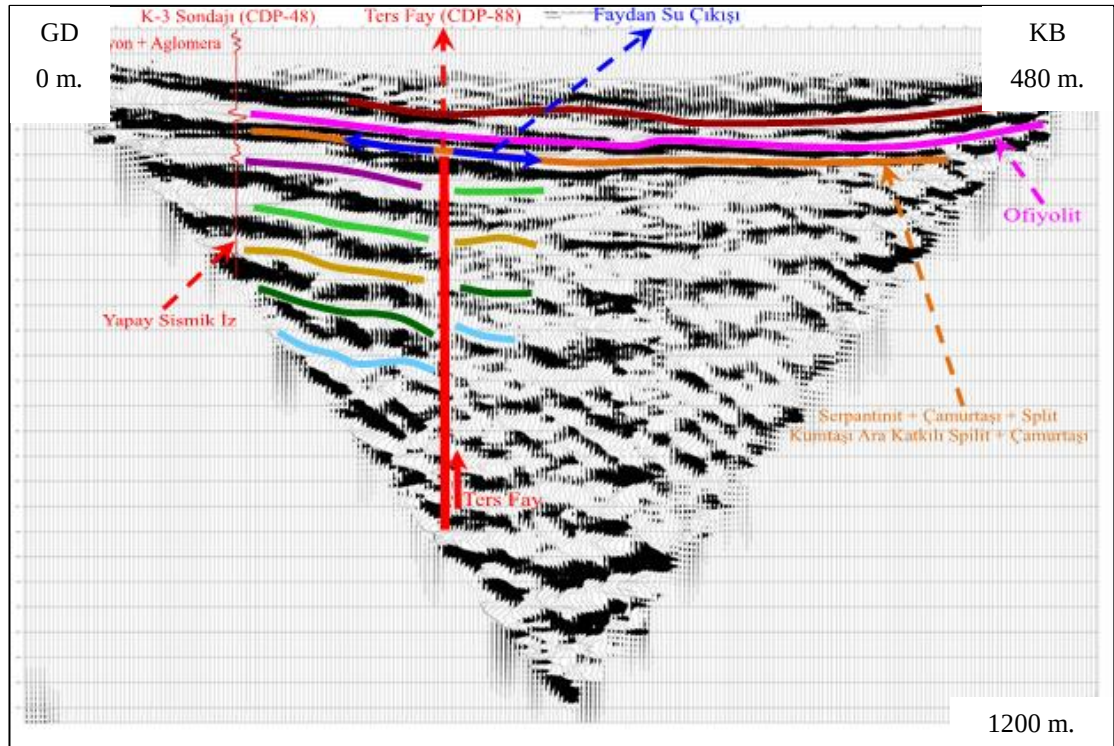
K2 kesiti, K1 kesitinin kuzeydoğusundaki hatta uygulanmıştır (Şekil 4.2). K1 kesitinde olduğu gibi yeşil çizgiler, katmanların sıkıştırma kuvvetleri etkisinde kıvrıldıkları bölgeleri ve kırmızı çizgiler ise oluşan deformasyon bölgelerini temsil etmektedirler (Şekil 4.4). Burada durum K1'den farklıdır. Genel olarak ters faya ait deformasyonlar görülmektedir. Katmanların ve deformasyonların eğimleri genel olarak kuzeybatıya doğrudur.



Şekil 4.4 K2 sismik hattına ait yansıma kesiti

K3 kesiti, K1 kesitinin güneybatısında, K-3 kuyusunun hemen yanında yapılan sismik yansıma çalışmasından çalışmadan elde edilmiştir (Şekil 4.5). K3 kesiti de K1 kesitine ile benzerlik göstermektedir. K3 kesitinde bulunan ana fayda bir atım gözlenmiş ve bu atımın da jeolojik çalışmalar bölümünde bahsedilen doğrultu atımlı bir fay tarafından kontrol edildiği gözlenmiştir.

K-3 kuyu logu ve K3 sismik hattı konum bilgileri kullanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4.5). Böylece K-3 kuyu logu bilgilerinden elde edilen yapay sismik iz yardımıyla, K3 sismik kesitinde görülen sismik seviyelerle, K-3 sondajından elde edilen jeolojik birimler eşleştirilmiştir. Bu eşleştirme daha sonra yapılacak çalışmalara bir kılavuz görevi görecektir. Bölge için yapılacak jeotermal su aramalarında, K3 sismik yansıma kesitinden elde edilen sismik iz kullanılacaktır.

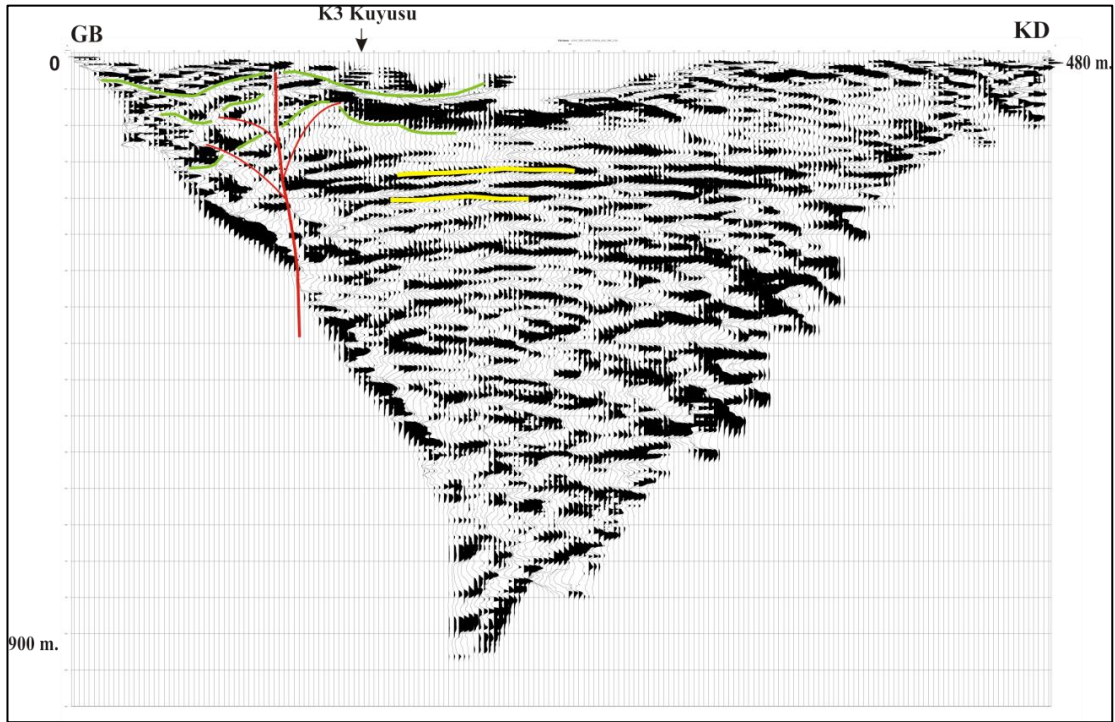


Şekil 4.5 K3 Sismik hattına ait yansımalar kesiti

K3 sismik kesitinde kaynak çıkış noktasında yüzey veren ters fayın devamının gömülü olduğu görülmekte ve kesit üzerinde kalın kırmızı bir çizgiyle belirtilmektedir. Derinlik bilgisi göz önünde bulundurularak Eskişehir-Kızılınler jeotermal alanı Özbek ve ark'dan [15] alınan bilgiyle K-3 kuyusunda kesilen birimler sismik kesit üzerine yerleştirilmiştir. Burada K-3 kuyusunun konumu da ince, kırmızı bir çizgi ile gösterilmektedir.

K3 kesitine göre açılan K-3 kuyusu jeotermal suyun alınabileceği kırıklı-çatlaklı alanın güneydoğusunda kalmaktadır. Kuyunun açıldığı yerde kesilen ofiyolit birimlerinin üzerinde herhangi bir deformasyon izi görülmemektedir. Ancak 80 m. kuzeybatı yönünde kayıldığında son derece yüksek deformasyon gösteren ve ikincil gözeneklilik ile özgül veriminin daha yüksek olması beklenen bir alan başlamaktadır. Açılması planlanan yeni bir kuyunun deformasyonu yüksek alanda açılması daha verimli sonuç alma olasılığını arttıracaktır. Önerilen sondajın konumu ait koordinatlar 39.709659, 30.400567 (WGS84) olarak belirlenmiştir.

K4 kesiti, K1, K2 ve K3 hatlarına yaklaşık dik olacak şekilde, güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu uygulanmıştır (Şekil 4.2). K4 sismik yansıma kesitinde ters fayları kontrol eden, doğrultu atımlı fayın görüntülenmesi amaçlanmıştır (Şekil 5). Yansıma kesitinde doğrultu atımlı fayın oluşturduğu deformasyon alanının K-3 kuyusunun güneybatısında kaldığı ve KD-1 kuyusunun bu deformasyon alanını kesemediği belirlenmiştir. Bu durumda deformasyona ait kırık ve boşluklar K-3 kuyusunu besleyebilirken, KD-1 kuyusunu besleyememektedir. Ayrıca kesitin orta kesimlerinde ince yeşil çizgilerle ifade edilen çökme belirtileri, doğrultu atımlı faylarda tipik olarak görülen fay gölü (sag-pond) yapısı olarak yorumlanabilir.



Şekil 4.6 K4 sismik hattına ait yansıma kesiti

5. ESKİŞEHİR-KIZILINLER JEOTERMAL SİSTEMİ KAVRAMSAL MODELİ

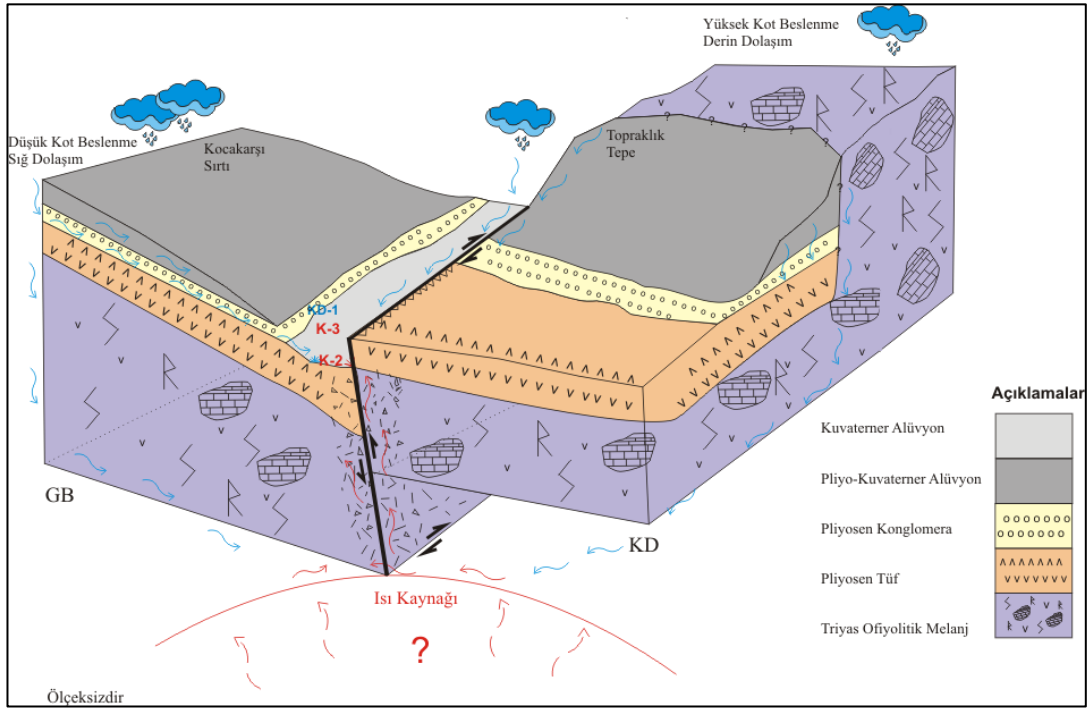
Kızılınler jeotermal alanına ait kavramsal bir model oluşturabilmek için yapılan, stratigrafi, tektonik, hidrojeokimyasal ve izotop çalışmaları bir neden sonuç ilişkisi halinde değerlendirilmiştir. Farklı çalışmalardan elde edilen sonuçların birbirleri olan ilişkileri bir sistem yaklaşımı ile modelde açıklanmıştır.

Modelin temelini oluşturmak için stratigrafi bilgisi kullanılmıştır. Kızılınler ve çevresinden K-3, KD-1 sondajlarında kesilen ofiyolitik melanj birimi sistemin Kızılınler'deki temel kayasıdır. Üzerinde sırasıyla Pliyosen tüfler, Pliyosen konglomera ile Kuvaterner'e ait alüvyon birimleri bulunur.

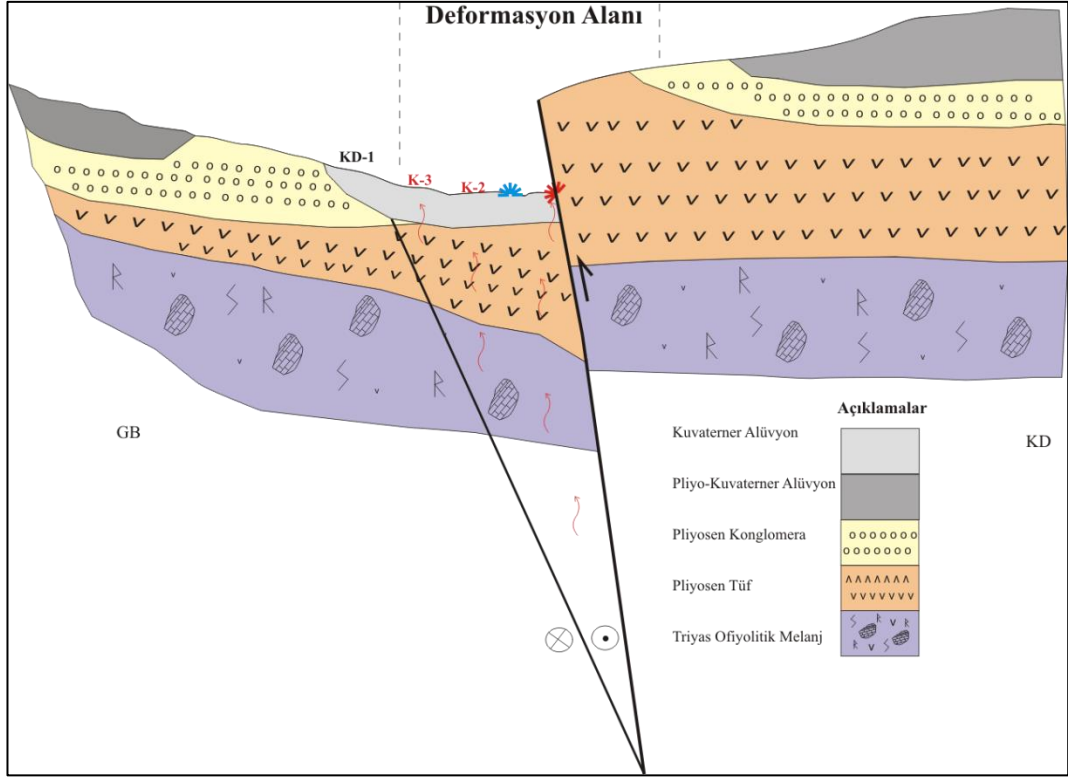
Kızılınler bölgesi Eskişehir-İnönü Fay zonunun güneyinde, Dodurga Fay zonunun ise kuzeydoğusunda kalmaktadır. Özetle, Kızılınler'de oluşan tektonik yapı bu iki fay sisteminin ortasında evrilmiştir. Her iki fay sisteminde de sağ yönlü doğrultu atımlı faylar çalışmıştır. Bu fayların çalışması bölgede kuzeybatı-güneydoğu doğrultulu sıkışma kuvvetlerini oluşturmuştur. Kızılınler'de sıcak su araştırma kuyularının açıldığı vadi de bu sıkışma tektoniğinin oluşturduğu sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay ile kesilmiştir. Sıkışma sırasından doğrultulu atımlı fayların etkisinde, pozitif çiçek yapıları olarak ters faylar oluşmuştur. Kızılınler sıcak su kaynağı da alüvyon ile tuf arasında oluşan bir ters faydan yüzeye çıkmaktadır. Sıcak su rezervuarında yüzeye doğru ilerleyen sıcak su akımını kontrol eden deformasyon zonunun esas nedeni doğrultu atımlı fayların oluşturduğu sıkışma tektoniğidir.

Hidrojeokimyasal analizlerden bölgede bulunan sıcak ve soğuk su karakteristiklerinin farklı olduğu anlaşılmaktadır. İzotop analizlerden de sıcak suların dolaşımlarını 62 yıldan daha uzun sürede tamamladıklarını ve yaklaşık 1400 m. kotlarından beslendikleri sonucu ortaya çıkmıştır. Sıcak sulara göre genç olan soğuk su kaynaklarının bölgeye yakın hâkim tepelerden, alüvyon ve konglomera gibi sedimanter birimlerden beslenerek dolaşıma katıldıkları düşünülmektedir. Sıcak suların beslenme yüksekliği olarak tahmin edilen 1400 m. kotuna beslenme sınırı içerisinde rastlanmadığından, soğuk suların süzülmesi ise rezervuarın beslendiği öngörülebilir.

Sıcak ve soğuk su kaynaklarının doğrudan ilişki kurmasını geçirimsiz olan Pliyosen tüf birimleri engeller. Tüfler sadece deformasyon alanı oluşan bölgelerde ikincil gözeneklilik kazanarak sıcak suyun yüzey ulaşmasının sağlamaktadırlar. Tüflerin suyu iletmemeleri aynı zamanda rezervuar için bir örtü kaya niteliğinde oldukları anlamına da gelir. Ancak fay ve kırıkların olduğu alanlardan soğuk suların süzülerek rezervuarı beslediği söylenebilir.



Şekil 5.1 Eskişehir Kızılınler jeotermal alanı 3B kavramsal modeli



Şekil 5.2 Eskişehir Kızılınler jeotermal alanı kavramsal modeli kesit görünümü

6. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yapılan çalışmalar sonucunda Kızılınler termal alanında bulunan K-2 ve K-3 araştırma kuyularında, debi ve sıcaklık dikkate alındığında üretim yapılabilceği önerilebilir. K-3 kuyusu rezervuara en yakın ve uygun deformasyon alanında açılmış olan kuyudur. K-2 kuyusu daha derin olsaydı sıcaklığın ve debinin artması beklenebilirdi.

Bölgede dikkate alınması gereken esas tektonik evrimi doğrultu atımlı fay sistemi denetlemektedir. Özellikle araştırma kuyularının açıldığı, Kocakarşı Sırtı ile Topraklık Tepe arasında kalan vadide üretim kuyularının açılabilceği ideal bölgedir. KD-1 kuyusu sistemin dışında kalmıştır. KD-1 kuyusun kuzeydoğusu ve K-3 kuyunun kuzeyi kuyu açmak için daha elverişlidir. Bu doğrultuda 39.709659, 30.400567 (WGS84) konumu bir araştırma kuyusu açma noktası olarak önerilmiştir.

Deformasyon alanı tahminleri sismik yansıma kesitleri aracılığı ile yapıldığından, araştırma kuyuları 200 m. civarında planlanmalı, sıcaklık değişimi kuyu açılırken mutlaka takip edilmelidir. Kuyunun geliştirilmesi bu denetlemeye uygun olarak yapılmalıdır. K-3 kuyusunun loguna göre ofiyolitik melanja ait spilit, serpantin seviyeleri bu metrelerden başlamaktadır. Dolayısıyla hem deformasyon alanını hem de ofiyolitik melanj birimlerini önerilen sondaj noktasında kesmek 200 m. derinlikte beklenmektedir.

Hesaplanan rezervuar sıcaklıkları, kalsedon jeotermometrelerine göre 65-70 °C civarındadır. Bölgede şu ana kadar açılan kuyulardan üretilebilen en sıcak su 52 °C'dir. Bu da K-3 kuyusun rezervuara oldukça yakın olduğu görüşünü destekler. Sismik kesitlere göre önerilen sondaj noktasında açılacak bir kuyudan daha yüksek debi ve sıcaklık beklenebilir.

İzotop analizlerine göre çalışma alanındaki sular meteorik kökenlidirler. Termal suların tamamında trityum izotopuna rastlanamamıştır. Bu durum derin dolaşıma işaret edip, su kayaç etkileşim süresini arttırmaktadır. Trityum miktarının termal sularda sıfır olması yüzey sularının uzun sürede süzülerek rezervuara ulaşabilceği görüşünü de ortaya çıkarır. Özellikle Eskişehir'de bulunan termal hem soğuk hem de sıcak sularda mineralce fakir olmaları, EC değerlerinin benzer olması rezervuardaki karbondioksit miktarı ile açıklanabilir.

Termal sudaki düşük karbondioksit bağı olarak suların mineral yönünden zenginleşmesi mümkün olmamaktadır. Yüksek karbonat içeriğinin diğer minerallerin çökmesine neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle Eskişehir’de bulunan termal sular mineralce fakir sulardır.

Hidrojeokimyasal analizlere göre sıcak ve soğuk sular farklı karakteristiğe sahiptirler. Soğuk sular Ca-Mg-HCO_3 tipi, tipik sığ yeraltısu karakteri gösterirken, sıcak sular Na-HCO_3 tipi, tipik derin dolaşımli yeraltı suyu karakteri sergilerler. Bu durum izotop analizleriyle örtüşmüştür. Soğuk su kaynaklarında ^3H izotopuna rastlanması, 62 yıldan genç suların dolaşıma katıldıklarını gösterir. Ancak sıcak su kaynaklarında ^3H izlenememiştir. Bu durum sıcak suların, soğuk sulardan daha uzun süre dolaşımda kaldıkları, daha yüksek kotlardan beslendikleri şeklinde yorumlanmıştır. ^{18}O ve ^2H – yükseklik ilişkileri de sıcak suların 1400 m. kotlarından beslendiğini göstermiştir. Ancak beslenme alanı içerisinde bu kota sahip yükseltilerin olmaması, suların dolaşımda uzun süre kalarak rezervuara ulaştıkları ihtimalini gündeme getirmiştir.

Klorür – Bor diyagramında herhangi bir karışım modeli oluşmasa da özellikle klorür yönünden zengin suların bölgede keşfedilmesi karışım modelini güncelleyerek merkezdeki termal suların, İnönü suları ile zengin klorür içeren sular arasında kaldığını gösterebilir. Bunun için mutlaka çalışma alanı genişletilerek örnekleme sayısı artırılmalıdır.

Sisteme ait ısı kaynağı bilinmemektedir. Faylanma ile ikincil gözenekliliğini kazanmış ofiyolitler rezervuar kaya olarak tanımlanabilir. Tüfler, örtü kaya niteliğindedir. Sistem, meteorik sularla beslenen, tipik bir sıcak su sistemi özelliği göstermektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Şimşek, Ş., Sıcak ve Mineralli Sular Ders Notları, 1995, Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- [2] Gupta, H. ve Roy, S., *Geothermal Energy An Alternative Resource For the 21th Century.*: Elsevier Science, 2007.
- [3] F., Kappelmeyer, O. Rummel, *Geothermal Energy - Future Energy Source?* Müller Karlsruhe: Verlag C.F., 1993.
- [4] White, D.E., "Characteristics of Geothermal Resources," in *Geothermal Energy*, C. Otte P. Kruger, Ed. Stanford, California: Stanford University Press, 1974, pp. 69-94.
- [5] Duffield, W.A. ve Sass, J.H., "Geothermal Energy - Clean Power from the Erath's Heat," *U.S Geological Survey Circular 1249*, 36.
- [6] Daubree, A., *Les Eaux Souterraines, aux Epoque Anciennes et a L'Epoque Actuelle*. Paris: Dunod, 1887.
- [7] F.E, Suess, *Bau und Bild Österreichs*. Wien: Tempsky-Freytag, 1903.
- [8] (2014, Jan.) T.C Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. [Online]. http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/jeotermal/12dunyada_jeotermal.html
- [9] Özyazıcı, M., "Eskişehir Rezistivite ve Termik Etüdü," Maden Tetik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 3230, 1962.
- [10] Gözler, Z, F. Cevher, ve A. Küçükayman, "Eskişehir İli - Ilıca Kaplıcası Sıcak Su Aramalarına Ait Jeolojik Etüd," Maden Tetik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Jeolojik Etüt 7585, 1984.
- [11] Ölmez, E., ve Yücel, B., "Eskişehir ve Yöresinin Jeotermal Enerji Olanakları," Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 7798, 1985.
- [12] Yıldırım, A. ve Gürsoy, T., "Eskişehir İl Merkezi ve Yakın Çevresi Detay Jeotermal Gravite Etüdü," Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Derleme 1985.
- [13] Ölmez, E., Demirel, Z., ve Uzel, F., "Eskişehir ES-1 ve ES-2 Sıcak Su Sondajları Kuyu Bitirme Raporu," Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 8142, 1986.

- [14] Yücel, B, "Eskişehir Sıcak Su Sondajı (ES-3) Kuyu Bitirme Raporu," Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 8157, 1986.
- [15] Özbek T., "Eskişehir - Kızılınler Jeotermal Alanı Jeoloji, Hidrojeoloji, Jeokimya ve Jeofizik Etüdü ile Derin Sondaj Lokasyonlarını Belirleme Raporu," Orme Jeotermal Mühendislik, Ankara, Jeotermal Saha Etüdü 2006.
- [16] Saraç, G., "Türkiye Omurgalı Fosil Yatakları Projesi," Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Proje Raporu 2003.
- [17] Özbek, T., "Eskişehir Yöresi Jeoloji-Hidrojeoloji Etüdü," Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Derleme 6374, 1976.
- [18] Crowell, J.C., Origine of Late Cenozoic Basins in Southern California in. Tectonic and Sedimentation, *Special Publ. Soc. Econ. Paleon. Miner.*(22) , 190-204, 1974.
- [19] Karaman, M.E., *Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları*. Ankara: Akdeniz Üniversitesi Yayın Komisyonu, 2006.
- [20] Hem, J.D., *Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water*, 3rd ed.: U.S Geological Survey, 1989.
- [21] Şimşek, Ş., Doğdu, M.Ş., ve Akan, B., Hidrojeotermometreler Ders Notları, Eylül 1997.
- [22] Giggenbach, W.F., *Collection and Analysis of Geothermal and Volcanic Water and Gas Discharge, In Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*. Rome, 1991.
- [23] Fournier R.O, *Water Geothermometers Applied to Geothermal Energy. Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, F D'amore, Ed. Rome: UNITAR/UNDP, 1991.
- [24] Karakuş, H., Şimşek, Ş., ve İnan, S., "Efteni (Düzce) Sıcak ve Mineralli Su Kaynaklarının Hidrojeokimyasal ve İzotopik İncelenmesi," in *II. Ulusal Hidrojeolojide İzotop Teknikleri Sempozyumu*, İzmir, 2005, pp. 45-58.
- [25] R.O. Fournier ve R.W. Potter, "A Revised and Expanded Silica (Quartz) Geothermometer," in *Geoth. Res. Council Bull.*, 11-10, 1982, pp. 3-12.
- [26] R.O Fournier, "Silica in Thermal Waters: Laboratory and Field Investigations.," in *International Symposium on Hydrogeochemistry and Biochemistry*, Vol. 1, Tokyo, 1973, pp. 122-139.

- [27] R.O Fournier, Chemical Geothermometers and Mixing Models for Geothermal Systems, *Geothermics*, 5, 41-50, 1977.
- [28] S. Arnorsson, E. Gunnlaugsson, ve H. Svavarsson, The Chemistry of Geothermal Waters in Iceland III, Chemical Geothermometry in Geothermal Investigations, *Geochim.*(**47**) , 567-577, 1983.
- [29] Clark, I. ve Fritz, P., *Environmental Isotopes in Hydrogeology*. U.S.A: Lewis Publishers, 1997.
- [30] Çifteler, C. ve Sayın, M., "İzotopların Hidrolojide Kullanılması," in *I. Ulusal Hidrolojide İzotop Tekniklerinin Kullanılması Sempozyumu*, Adana, 2002.
- [31] Craig H., Isotopic Variations in Meteoric Waters, *Science*(**133**) , 1702-1703, 1961.
- [32] Craig H., Standard For Reporting Concentrations of Deuterium and Oxygen-18 in Natural Waters, *Science*(**133**) , 1702-1703, 1961.
- [33] Truesdell, A.H. ve Hulston J.R., "Isotopic Evidence of Environments of Geothermal Systems," in *Handbook of Environmental Isotope Geochemistry*, Fritz, P. and Fontes J.Ch., Eds.: Elsevier, 1980, pp. 179-226.