

**YERKÖY (YOZGAT) SICAK ve MİNERALLİ SULARININ
HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ**

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF
THERMAL AND MINERAL WATERS OF
YERKÖY(YOZGAT)**

ELİF YILMAZ

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2007

YERKÖY (YOZGAT) SICAK ve MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELEMESİ

Elif Yılmaz

ÖZ

Bu çalışmada Yerköy (Yozgat) ve civarında yeralan sıcak ve mineralli suların kökenlerinin ve soğuk su kaynakları ile olan ilişkilerinin aydınlatılması ve bağlı bulundukları jeotermal sistemin açıklanması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışma alanında jeoloji, hidrojeoloji ve hidrojeokimya çalışmaları yapılmıştır.

Çalışma alanı, Yozgat ilinin 34 km batısında bulunan Yerköy ilçesi sınırları içinde yer almaktadır. Çalışma alanında temel kayalar riyolit ve riyodasitlerden oluşan Kötüdağ volkanitleri ile altere granit ve granodiyoritlerden oluşan Yozgat granitoidleridir. Çalışma alanının güney ve doğusunda yüzeylenen Kötüdağ volkanitleri bölgenin güneydoğusunda Yozgat granitoidleri ile dokanaklıdır. Kötüdağ volkanitleri üzerine uyumsuz olarak gelen Eosen yaşlı çökel birimler (Te) çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu marn, marn ardalanmasından oluşmaktadır. Bu çökel birimlerin üzerine Oligosen yaşlı Deliceirmak Formasyonu (Td) gelmektedir. Evaporitli, gevşek tutturulmuş karasal çakıltası, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşan ve çalışma alanı kuzeyinde mostra veren bu formasyon çalışma alanı ve dolayında geniş bir yayılıma sahiptir. Bu birimlerin üzerine uyumsuz olarak Kuvaterner yaşlı alüvyon birimler gelmektedir. Yerköy jeotermal alanında KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylar önemli yapısal oluşumdur. Sıcak sular bu fayların birbirlerini kestiği yerlerde yüzeylenmektedir.

Sahada temel kaya olan birimler genellikle geçirimsiz özelliktedir. Ancak, genç tektonik etkinliklerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan riyolitler ile altere granodiyoritlerin faylı ve kırıklı zonları yerel olarak geçirimli olup akifer özelliğindedir. Çalışma alanında, Eosen ve Oligosen yaşlı birimlerin kiltası, marn içeren zonları örtü kayaç niteliğindedir. Çökel birimler içindeki taban çakıltaları ve kireçtaşları akifer oluşturmaktadır. Delice Irmağı yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyonlar ise önemli soğuk su akiferleridir.

Alandaki sıcak ve mineralli suların sıcaklık değerleri 40.3 ve 56.2 °C arasında, özgül elektriksel iletkenlik değerleri ise 6470 ve 17320 (µS/cm) arasında yüksek değerler göstermektedir. İyon içeriklerine göre sıcak ve mineralli sular Na-Cl, soğuk sular ise

Na-HCO₃ ve Na-SO₄ tipi sular sınıfına girmektedir. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı kökensel olarak Yerköy bölgesindeki sıcak sulardan farklı özellikler taşımaktadır.

Mineral doygunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının sülfatlı mineraller ile halit ve silise doygun olmadıkları ancak bu suların kuvars, kalsedon mineralleri ile kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doygun oldukları belirlenmiştir.

Yerköy jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı, silis jeotermometresi ile 55-85 °C aralığında hesaplanmıştır. Bölgedeki sıcak ve mineralli sular için oluşturulan mineral denge diyagramında kalsedon, kuvars, albit, mikroklin minerallerinin 60-100°C arasında denge doğrusunu kesmeleri akifer kayacın volkanik/magmatik kökenli olduğunu doğrulamaktadır. Açılan kuyularda da akiferin riyolit ve dasitten oluşan Kötüdağ volkanitleri olduğu belirlenmiştir.

Bölgedeki sıcak suların yerel meteorik su doğrusu üzerinde yer almaları bu suların meteorik kökenli olduğuna işaret etmektedir.

Bölgedeki sıcak suların, düşük trityum (³H) değerine sahip olmaları, bu suların geçiş süresi 55 yıldan fazla olan derin dolaşımli sular olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sıcak ve mineralli sular, hidrojeokimya, jeotermal, çevresel izotop, Yerköy, Yozgat

Danışman: Prof.Dr. Şakir Şimşek, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERAL WATERS OF YERKÖY (YOZGAT)

Elif Yılmaz

Abstract

The aim of this study is to clarify the origin of thermal and mineral waters, connected with geothermal system and the relationship between cold and thermal waters in Yerköy (Yozgat) and its vicinity.

The study area is located 34 km SW of the province of Yozgat and 5 km to Ankara-Yozgat highway. The basement rocks in the field are granites and rhyolites. Granite known as Yozgat granodiorite and rhyolites are a member of Kötüdağ volcanics (Ky) that consist of rhyolites, rhyodacites. Kötüdağ volcanics is outcrop south and east of study area and contact with Yozgat granodiorite in the southeast of the area. Eocene sediments (Te) consisting of alternation of conglomerate, sandstone, marl with sand and marl overlie unconformably overlie the Kötüdağ volcanics. The Oligocene unit (Deliceirmak Formation, Td) that covers conformably Eocene sediments consists of evaporitic and terrestrial sediments (alternation of conglomerate, sandstone) and crops out north of the area which covers wide portions. Quaternary alluvium covers unconformity with these units.

Yerköy geothermal area is controlled by mainly NW-SE and NE-SW striking normal faults. Thermal waters emerge on the intersections of the faults.

Basement rocks are impermeable but, rhyolites and altered granodiorites that have secondary porosity with tectonic movements are permeable. These rocks are the aquifer for hot water. Eocene, Oligocene sediments which are alternation of limestone, marl, limestone with clay and sandstone, are cap rocks. Also, mainly limestone in sedimentary rocks in fault zone and alluvium in the Delice River bed (conglomerate, sand and clay) are important aquifer for cold water.

Temperature of thermal waters in the field changes between 40.3 and 56.2 °C and electrical conductivity show high values between 6470 and 17320 ($\mu\text{S}/\text{cm}$). According to ionic content, the hydrochemical facies of the thermal waters are Na-Cl, and of cold waters Na-HCO₃ and Na-SO₄.

Temperature of reservoir was calculated as 55-85 °C by silica geothermometry. The mineral-equilibrium diagram shows an equilibrium line for quartz, albite, microcline

chalcedony at 70-100°C. This indicates that the aquifer unit is of volcanic/magmatic origin.

The thermal waters show isotopic compositions compatible with the YMWL (Yozgat Meteoric Water Line) confirming the meteoric origin of the water circulation in the geothermal system.

The tritium content of thermal waters are about zero and indicate that the residence time is more than 55 years.

Keywords: Hot and mineral waters, hydrogeochemical, geothermal, environmental isotope, Yerköy, Yozgat.

Advisor: Prof.Dr. Şakir ŞİMŞEK, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Hydrogeological Engineering Section.

TEŞEKKÜR

Yazar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde destek ve katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişi ve kuruluşlara içtenlikle teşekkür eder.

Tez danışmanı Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK (HÜ), çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile katkıda bulunmuş ve tezin hazırlanmasında yol gösterici olmuştur.

Yerköy Kaymakamı Sayın Aydın ERGÜN ve Yerköy Belediye Başkanı Sayın Ali Rıza ARSLAN yapılan çalışmaya destek sağlamışlardır.

Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Kemal KOÇ (HÜ), Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Özen TÜRKER (HÜ) ve Jeoloji Yük. Mühendisi Ziyet Nur Şimşek arazi çalışmalarının gerçekleşmesinde yardımcı olmuşlardır.

Kimya Mühendisi Fusun MUTLU (HÜ), Kimyager Esin ÖNCEL (HÜ) ve Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ) su kimyası ve trityum analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Hüseyin KARAKUŞ (HÜ) bilgi ve önerileriyle önemli katkılarda bulunmuştur.

Harita Kadastro Teknikeri Bülent TOPUZ (HÜ), Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Otgonbayar NAMKHAİ tezin çeşitli aşamalarında katkıda bulunmuşlardır.

Bu çalışmanın her aşamasında değerli ailem ve Bora YILDIZ destekleriyle yardımcı olmuşlardır.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Çalışma Yöntemleri ve Değerlendirmesi.....	1
1.3. Çalışma Alanının Yeri.....	2
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü	3
1.5. Önceki Çalışmalar.....	5
2. HİDROLOJİ.....	7
2.1. Yağış.....	7
2.2. Alansal Ortalama Yağış.....	7
2.3. Buharlaşma.....	10
2.4. Akım.....	11
2.5. Bütçe Hesaplaması	11
2. JEOLojİ.....	12
3.1. Stratigrafi.....	12
3.1.1. Mesozoyik.....	12
3.1.1.1. Üst Kretase.....	12
3.1.2. Senozoyik.....	17
3.1.2.1. Eosen.....	18
3.1.2.2. Oligosen	18
3.1.2.3. Pliyosen.....	20
3.1.2.4. Kuvaterner.....	20
3.2. Yapısal Jeoloji.....	21

3.3. Jeolojik Evrim.....	22
4. HİDROJEOLJİ.....	23
4.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	23
4.1.1. Geçirimsiz Birimler	23
4.1.2. Geçirimli Birimler.....	24
4.2. Yüzey ve Yeraltıları	27
4.3. Kaynaklar.....	27
4.3.1. Soğuk su kaynakları.....	27
4.3.2. Soğuk su sondaj kuyuları.....	27
4.3.3. Sıcak su kaynak ve kuyuları.....	28
4.3.4. Jeofizik Çalışmaları.....	29
5. HİDROJEOKİMYA	31
5.1. Suların Fiziksel Özellikleri.....	31
5.1.1. Sıcaklık (T).....	33
5.1.2. Elektriksel iletkenlik (EC).....	33
5.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH).....	34
5.2. Suların Kimyasal Özellikleri.....	38
5.2.1. Majör İyonlar.....	38
5.2.2. Kirliliğe Yönelik Analizler (Besin Tuzları).....	41
5.2.3. Ağır Metal Analizleri	43
5.3. İnceleme Alanındaki Suların Kökeni.....	47
5.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri.....	47
5.3.2. Schoeller Diyagramı.....	49
5.3.3. Piper Diyagramı.....	51
5.4. Sulama Suyu Sınıflandırması.....	53
5.4.1. Wilcox Diyagramı.....	53
5.4.2. ABD Tuzluluk laboratuvarı Diyagramı.....	55
5.5. Soğuk Su Karışım Süreçleri.....	58
5.5.1. Entalpi-Silis Karışım Modeli.....	60
5.6. Jeotermometre Uygulamaları.....	62
5.6.1. Silis jeotermometreleri.....	62
5.6.2. Katyon jeotermometreleri.....	64
5.6.3. Mineral denge yaklaşımı.....	68

5.7. Çevresel İzotop Hidrojeolojisi.....	74
5.7.1. Tritiyum (^3H).....	74
5.7.2. Oksijen-18 (^{18}O) - Döteryum (^2H).....	77
5.7.3. ^{18}O ve ^2H ilişkisi.....	80
5.7.4. ^{18}O -Cl ilişkisi.....	82
6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL.....	83
6.1. Jeotermal akışkanın kökeni	83
6.2. Hazne kaya ve yayılımı.....	83
6.3. Isı Kaynağı.....	84
6.4. Örtü Kayaç.....	84
7. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	85
8. YARARLANILAN KAYNAKLAR.....	89

EKLER

EK -1. Yerköy jeotermal alanının kavramsal hidrotermal modeli

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

meq/l	Miliekiveler/litre
mg/l	Miligram/litre
ppm	Milyonda bir
Eİ	Elektriksel İletkenlik
$\mu\text{S/cm}$	MikroSiemens/santimetre
pH	Hidrojen iyonu aktivitesi negatif logaritması
T	Sıcaklık (°C)
R ²	Determinasyon Katsayısı
My	Milyon yıl
SI	Doygunluk İndisi
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
WMO	World Meteorological Organization
WHO	World Health Organization
YĞİ	Yağış Gözlem İstasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.....	3
Şekil.2.1. Yerköy havzası ve çevresinde yeralan yağış gözlem istasyonlarının konumları.....	8
Şekil 2.2. Yerköy havzasında yeralan YGI'larına ait yağış yükseklik ilişkisi.....	9
Şekil 2.3. Yerköy havzası için oluşturulan Thiessen poligonları.....	9
Şekil 2.4. Yerköy havzası için oluşturulan eşyağış eğrileri.....	10
Şekil 3.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.....	13
Şekil 3.2. Yerköy Havzası jeoloji haritası (1/500000).....	14
Şekil 3.3. Çalışma alanının jeoloji haritası (1/25000).....	15
Şekil 3.4. Çalışma alanının jeoloji kesitleri.....	16
Şekil 4.1 Çalışma alanının litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafi kesiti.....	24
Şekil 4.2. Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini ve örnekleme noktalarını gösteren harita (1/25000).....	25
Şekil 4.3. Çalışma alanında açılmış olan sıcak su sondaj lokasyonları ve kuyu logları.....	30
Şekil 5.1. Çalışma alanında yeralan a) Ekim 2005, b) Temmuz 2006 ve c) Mart 2007 dönemi sularının Schoeller diyagramları.....	50
Şekil 5.2a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Ekim 2005 dönemi Piper diyagramı.....	52
Şekil 5.2b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz 2006 dönemi Piper diyagramı.....	52
Şekil 5.2c. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Mart 2007 dönemi Piper diyagramı.....	53
Şekil 5.3. Çalışma alanındaki suların Wilcox diyagramı.....	54
Şekil 5.4. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.....	57
Şekil 5.5. Çalışma alanındaki su kaynaklarının a) B-Cl ve b) Li-Cl ilişkisi.....	59
Şekil 5.6. Sıcak su kaynaklarının dönemsel değişimlerini gösteren Klorür -Eİ diyagramı.....	60

Şekil 5.7. Çalışma alanındaki su kaynakları için oluşturulan Entalpi -SiO ₂ diyagramı	61
Şekil 5.8. Sıcak sular için oluşturulmuş Giggenbach diyagramı	67
Şekil 5.9a. Koyunbaşoğlu (Y-2) örneği mineral denge diyagramı.....	69
Şekil 5.9b. Çiçekdağ-Bulamaçlı (Y-4) örneği mineral denge diyagramı.....	69
Şekil 5.9c. Yerköy YK-2 kuyusu (Y-11) mineral denge diyagramı.....	70
Şekil 5.9d. Yerköy YK-3 kuyusu (Y-12) mineral denge diyagramı.....	70
Şekil 5.10a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Ekim 2005).....	72
Şekil 5.10b. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Temmuz 2006).....	72
Şekil 5.10c. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Mart 2007).).....	73
Şekil 5.11. Çalışma alanındaki suların Cl-Trityum (TU) grafiği.	77
Şekil 5.12. Şematik $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$ grafiği.....	79
Şekil 5.13. Çalışma alanındaki suların $\delta^2\text{H}-^{18}\text{O}$ grafiği	81
Şekil 5.14. Çalışma alanındaki suların $^{18}\text{O}-\text{Cl}$ grafiği.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Çalışma alanına ait ortalama sıcaklık verileri (DMI)	4
Çizelge 2.1. Yağış gözlem istasyonlarına ait genel bilgiler.....	7
Çizelge 2.2. Havza içindeki AGİ'na ait bilgiler	11
Çizelge 5.1a. Çalışma alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Ekim 2005).....	35
Çizelge 5.1b. Çalışma alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (22 Temmuz 2006).....	36
Çizelge 5.1c. Çalışma alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Mart 2006).....	37
Çizelge 5.2. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin ağır metal analizleri.....	44
Çizelge 5.3. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralaması.....	48
Çizelge 5.4. Silis jeotermometre eşitlikleri.....	63
Çizelge 5.5. Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.....	64
Çizelge 5.6. Katyon jeotermometre eşitlikleri	65
Çizelge 5.7. Çalışma alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları(°C).....	66
Çizelge 4.8. Çalışma alanında yeralan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri.....	71
Çizelge 5.9. Çalışma alanındaki örneklerin trityum içerikleri.....	76
Çizelge 5.10. Çalışma alanındaki örneklerin duraylı izotop içerikleri.....	80

FOTOGRAFLAR DİZİNİ

Sayfa No

Foto 1.1. Çalışma alanının genel görünümü.....	2
Foto 2.1. Yerköy kanalyolu üzerinde Kötüdağ volkanitleri ve üzerine uyumsuz olarak gelen Eosen yaşlı taban çakıltası ve kumtaşlarının görünümü	19
Foto 2.2. Yerköy bölgesindeki Eosen yaşlı birimler ve beyaz görünümlü jipsli seviyeler içeren Deliceirmak formasyonunun görünümü.....	19
Foto 2.3. Çalışma alanındaki eski alüvyon taraçalarının görünümü	21
Foto 4.1. (a) Çalışma alanı güneyi Delice Irmağı vadisinde Kötüdağ volkanitleri riylit ve riylodasit mostraları (b) bol kırıklı-çatlaklı ve eklemli riylit mostraları.....	26
Foto 5.1. Kimyasal analiz için a) Söğütlü pınar çeşmesi ve b) Delice Irmağından su örneklerinin alınması.....	32

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, Yerköy bölgesinde yer alan sıcak ve mineralli suların hidrojeokimyasal değerlendirilmesi yapılarak termal suların kökenleri ve bağlı bulundukları jeotermal sistemin kavramsal modelinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla öncelikle bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine ilişkin önceki çalışmalar incelenmiş olup saha çalışmalarıyla bu çalışmalar birlikte değerlendirilerek bölgenin litolojik ve hidrojeolojik özellikleri belirtilmiştir. Suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi için bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynak ve kuyularından su numuneleri alınmış ve analizleri yaptırılmıştır.

1.2. Çalışma Yöntemleri ve Değerlendirmesi

Yerköy jeotermal alanının jeolojik, hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenmesi amacıyla öncelikli olarak büro çalışması kapsamında bölgede daha önce yapılmış çalışmalar incelenmiştir.

Bölgenin drenaj alanı belirlenmiş ve hidrolojik bütçe hesaplanmıştır. Drenaj alanının 1/500000 ölçekli jeoloji haritası, önceki çalışmalar değerlendirilerek oluşturulmuştur. Ayrıca örnekleme noktalarının olduğu bölgenin 1/25000 ölçekli jeoloji harita ve kesitleri çizilmiş ve hidrolojik veriler ile birlikte değerlendirilerek bölgenin hidrojeoloji haritası hazırlanmıştır.

Yapılan saha çalışmalarında bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynak ve kuyularından Ekim 2005, Temmuz 2006 ve Mart 2007 olmak üzere üç dönem örnek alınmıştır. Alınan örneklerin pH, elektriksel iletkenlik (EI) ve sıcaklık (T) fiziksel parametreleri kaynak yerinde ölçülmüş, laboratuvar da ise kimyasal analizleri ve çevresel izotop analizleri gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçları, sıcak ve soğuk su kaynaklarının birbirleri ile olan kökensel ilişkilerinin belirlenmesi amacıyla grafik gösterimler ve jeokimyasal model programları kullanılarak yorumlanmıştır.

Silis ve katyon jeotermometre eşitlikleri uygulanarak jeotermal alanın rezervuar sıcaklığı tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Çevresel izotop analizleri değerlendirilerek suların beslenme alanları ve yeraltı dolaşım sistemleri açıklanmaya çalışılmıştır.

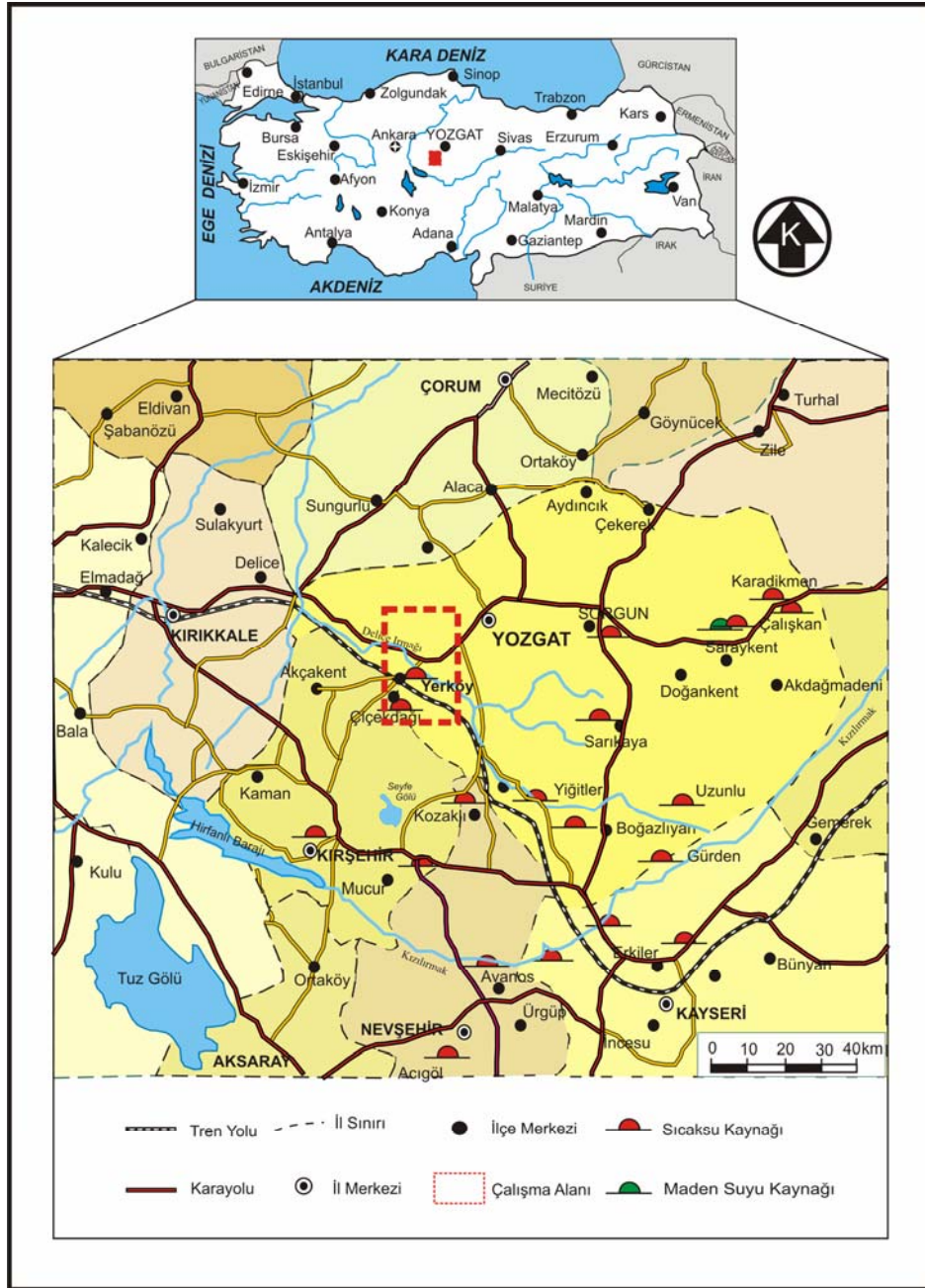
1.3. Çalışma Alanının Yeri

Çalışma alanı, Yozgat ilinin 34 km batısında yeralan Yerköy ilçesi sınırları içinde, 39°30' - 39°45' K enlemleri ile 34°15'-34°45' boylamları arasında yer almaktadır. İnceleme alanının doğusunda Şefaatli, güneybatısında Kırşehir-Çiçekdağı, batısında Kırıkkale, kuzeyinde ise Çorum-Sungurlu yer almaktadır.

Bölgede sıcaksuyun ilk çıkış yeri eski Güven hamamı kaynağı olarak bilinmektedir. Daha sonra bölgede bu hamamın debisinin artırılması amacıyla DSİ ve MTA tarafından sıcaksu sondajları yapılmıştır.



Foto 1.1. Çalışma alanının genel görünümü



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

Karasal iklimin egemen olduğu çalışma alanında yaz ayları sıcak ve kurak, kış ayları soğuk ve sert geçmektedir. Yıllık yağışın büyük bir bölümü ilkbahar ve sonbaharda düşmektedir. Çalışma alanının deniz seviyesinden yüksekliği görece az olduğu için yaz sıcaklığı merkez ilçe ve çevresine göre daha yüksektir.

Bozkırların yaygın olduğu ilçede orman örtüsü yok denecek kadar azdır (%4.81). Tepeler çıplaktır ve Delice Irmak boylarında söğüt, kavak ve meyve

ağaçları bulunmaktadır. Arazinin büyük bir kısmını Delice Irmağın taşıdığı alüvyonlarla üzerini örttüğü Yerköy Ovası kaplamakta olup ova, doğu ve güneyden Çiçekdağı ve Orta Dağı ile diğer kenarlarda da aşınmış tepeler kuşatmıştır. En önemli akarsuyu Karanlıkdere vadisinden sonra ilçe sınırlarına giren Delice Irmaktır. Suları yazın azalıp, bahar aylarında kabaran Delice Irmak, ilçedeki küçük dere ve çayları da toplayarak, Sekili sınırında Ankara-Yozgat karayolunu keser ve ilçe topraklarından çıkarak il sınırlarını terk edererek Kızılırmak'la birleşir.

İnceleme alanında ortalama sıcaklık 11.7 °C olup Yerköy Meteoroloji İstasyonunun 1986-1994 yılları arasındaki sıcaklık verileri değerlendirilerek hesaplanmıştır. Bu yıllara ait ortalama aylık sıcaklık değerleri Çizelge 1.1' de gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Çalışma alanına ait ortalama sıcaklık verileri (DMI)

YILLAR	AYLAR												YILLIK ORTALAMA (°C)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1986	3,2	5,2	7,4	13,6	13,6	20,1	24,8	24,9	20,2	12,2	4,4	1,6	12,6
1987	2,9	4,9	1,2	10,4	16,0	19,3	22,8	21,7	18,1	11,9	5,5	3,0	11,5
1988	2,0	3,2	6,4	12,4	16,2	19,3	23,0	22,8	18,1	11,7	4,3	3,8	11,9
1989	-5,3	-2,0	9,2	16,9	17,0	21,3	23,8	24,8	19,3	12,0	7,3	0,8	12,1
1990	-3,4	2,3	7,3	11,2	14,5	20,5	23,6	21,9	18,2	13,4	9,5	3,5	11,9
1991	-0,6	-0,3	8,1	12,0	15,2	20,8	24,7	24,1	18,1	14,5	6,7	-0,3	11,9
1992	-1,8	-2,8	4,7	11,8	15,6	19,2	21,4	23,4	16,9	15,9	6,2	-0,8	10,8
1993	-5,3	0,3	6,7	11,3	15,1	19,7	22,3	22,8	18,7	13,9		4,6	10,9
ORTALAMA SICAKLIK													11,7

1.5. Önceki Çalışmalar

Çalışma alanı ve çevresinde jeolojik harita alımı, hidrojeolojik etüd çalışması ve kömür aramalarına yönelik yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Ketin, 1955; Yozgat ve dolayındaki çalışmasında 5000 km² lik bir alanın 1/100000 ölçekli jeolojik etüdünü yaparak, temel ve Eosen birimlerini ayırt etmiştir.

Ağralı, 1967; kömür arama amacıyla yaptığı çalışmada, jeolojik birimleri ayırmış ve kömür sondajlarını yorumlamıştır.

Büyükönel, 1977; tez çalışmasında bölgedeki magmatik (derinlik ve volkanik) kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal incelemesini yapmış ve birimleri ayırt etmiştir.

Canik, 1981; Kırşehir, Çiçekdağı-Mahmutlu sıcak su kaynaklarının hidrojeoloji çalışmasını yapmıştır. Sahada Orta Eosen, Pliyosen yaşlı kayaçlarla Kuvaterner yaşlı traverten ve alüvyonu ayırt etmiştir. Kaplıca suyunu kimyasal bileşimine göre sodyumlu-klorürlü ve bikarbonatlı-radyoaktif ve karbondioksitli sıcaksu olarak sınıflamıştır. Kaynak ve çevresi için koruma alanı belirlemiştir.

Gündüz, 1993; Güven (Yerköy) kaplıcası bölgesinde hidrojeolojik etüt yapmış ve 120 noktada toprak gazı (Rn, Tn, CO₂) ölçümleri değerlendirerek anomaliler sonucunda bölgede KB-GD uzanımlı bir fayın olduğunu ve sıcaksu bulunduran seviyelerin fazla derinde olmadığını belirtmiştir.

Gündüz ve Özten, 1994; Güven (Yerköy) kaplıcası ve dolayında 250 metre derinliğinde bir sıcaksu sondajı yapılmış, bu kuyudan 47°C 'de ve 10 l/s artezyen halinde sıcaksu elde edilmiştir. Sondaj sonucu kuyudan su numunesi alınarak kimyasal incelemesi ve bölgedeki diğer sularla karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmada koruma alanı sınırları da belirtilmiştir.

Kara, 1997; 1/100000 ölçekli çalışmasında bölgedeki temel birimlerle Eosen, Oligosen, Miyosen, Pliyosen ve Kuvaterner yaşlı birimleri ayırt etmiş ve haritalamıştır.

Kahraman vd., 2001; Orta Anadolu (Kırşehir -Çiçekdağı, Yozgat-Yerköy) jeotermal etüt raporunda, Mahmutlu, Bulamaçlı ve Güven Hamamı dolayının jeolojik ve jeotermal incelemeleri yapılmıştır. Çalışma alanında 410 km²'lik bir alanın 1/25000 ölçekli jeoloji haritası yapılmış ve çalışma alanından 13 adet (8 adet sıcak su, 5 adet soğuk su) su numunesi alınarak kimyasal analizleri yapılmış ve değerlendirilmiştir.

Çelik, 2002; Bölge genelinde yüzey ve yeraltıları kirliliği konusunda hidrojeokimyasal çalışmalar yapmıştır. Hidrokimya analizleri sonucunda derin akiferlerden beslenen termal suların Na-Cl, sığ alüvyon akiferlerinin Na-SO₄ ve Na-HCO₃ fasiyesinde olduğunu belirtmiştir. Alüvyon akiferler ile Delice Irmağı arasındaki ilişkiyi incelemiş ve alüvyon akiferler ile Delice Irmağı arasında etkin yeraltısuyu dolaşımı ve akiferde seyrelme gözlendiğini belirtmiştir.

Canik, 2004; Yerköy Güven kaplıcası (Uyuz hamamı) dolayının jeoloji-hidrojeoloji ve jeofizik incelemesini yapmıştır.

Şimşek vd., 2006; Yerköy bölgesinde yaptıkları sıcak su arama etüd çalışmaları sonucunda bölgede iki adet sıcak su arama/üretim kuyusu (YK-2 ve YK-3) açılmıştır. Bu kuyulardan YK-2 kuyusu Mart 2006'da 500 m derinlikte açılmış olup bu kuyudan kompresörle 45 l/s debi ve 54.5 °C sıcaklıkta su elde edilmiştir. Temmuz 2006 yılında 750 m derinlikte açılan YK-3 kuyusunda ise kompresör testi ile debi 55 l/s, sıcaklık ise 56,5 °C olarak ölçülmüştür.

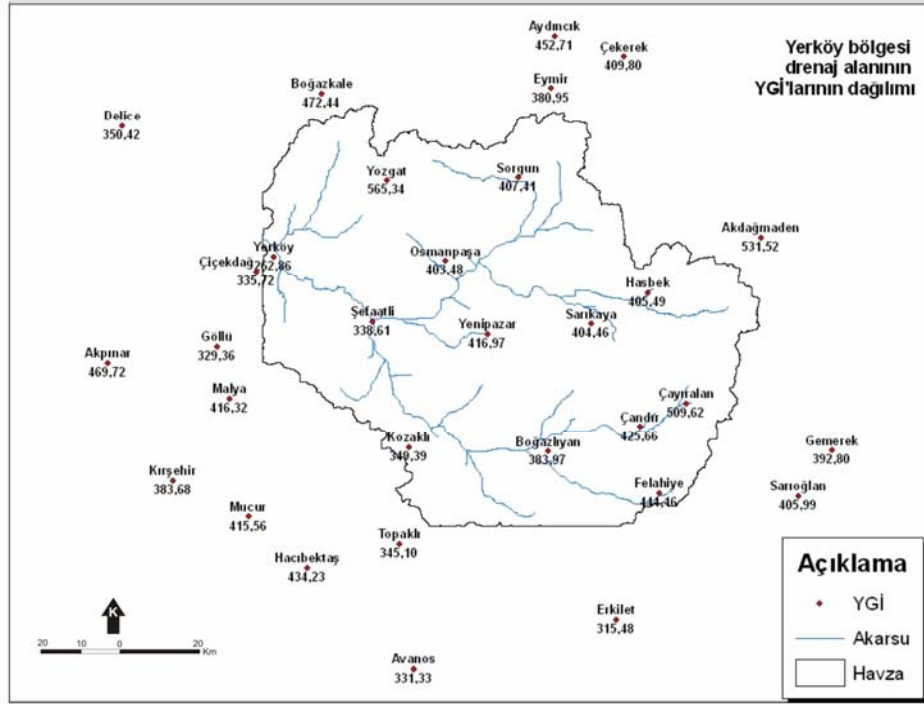
2. HİDROLOJİ

2.1. Yağış

Yerköy havzası yaklaşık 9160 km² lik bir alanı kapsamakta ve Delice Irmağı'na drene olmaktadır (Şekil 2.1). Havza ve çevresinde yeralan yağış gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak yağış-yükseklik ilişkisi incelenmiş ve bölgeye ait alansal ortalama yağış hesaplanmıştır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Yağış gözlem istasyonlarına ait genel bilgiler

İstasyon Adı	Gözlem Süresi	Ortalama Yağış(mm)	Yükselti (m)	Lokasyon	
				X	Y
Yozgat	1950-2003	565,34	1298	621602,0587	4386171,0852
Eymir	1971-1985	380,95	1250	611854,6296	4367521,8738
Sorgun	1957-1992	407,41	1110	614914,0532	4354615,5731
Akdağmadeni	1956-1987	531,52	1300	619675,1886	4325085,2819
Sarıkaya	1963-1987	404,46	1100	634315,1022	4312370,3167
Hasbek	1966-1981	405,49	1100	711263,0143	4299245,1970
Çayıralan	1956-1987	509,62	1340	756611,0176	4330214,6612
Çandır	1969-1984	425,66	1225	764887,1666	4341602,7278
Boğazlıyan	1957-1988	383,97	1067	713151,3012	4440001,8043
Felahiye	1959-1987	444,16	1300	695953,9295	4445091,9481
Kozaklı	1964-1987	349,39	1140	600811,4912	4334070,5108
Şefaati	1960-1988	338,61	900	660837,8150	4286959,9619
Yenipazar	1970-1983	416,97	1050	584647,7161	4363477,4319
Yerköy	1964-1993	262,86	775	637967,8334	4430858,8349
Osmanpaşa	1964-1998	403,48	1020	588270,1730	4422718,8755
Çiçekdağ	1958-1988	335,72	900	657313,8936	4318346,3765
Göllü	1970-1982	329,36	1275	654062,1917	4408959,2230
Malya	1957-1978	416,32	1137	687753,7574	4431925,4860
Mucur	1958-1987	415,56	1000	686874,3689	4409689,8794
Hacıbektaş	1960-1987	434,23	1200	747332,5618	4394735,8752
Erkilet	1979-1987	315,48	1054	704977,0223	4380919,2969
Sarıoğlan	1964-1987	405,99	1150	719103,1439	4380919,2969
Gemerek	1957-1988	392,80	1171	728512,2659	4353417,1791
Çekerek	1950-1986	409,80	925	717167,6982	4347538,6805
Aydıncık	1966-1987	452,71	840	694291,9139	4341383,0041
Kırşehir	1950-1988	383,68	1007	721954,3262	4331010,3058
Avanos	1954-1987	331,33	950	659710,6575	4342451,2939
Akpınar	1967-1987	469,72	1150	650467,7910	4373726,3957
Boğazkale	1964-1987	472,44	1000	679216,1433	4370636,7018
Delice	1963-1987	350,42	750	625833,6475	4389939,6305
Topaklı	1969-1982	345,10	1175	668774,7706	4388910,1434

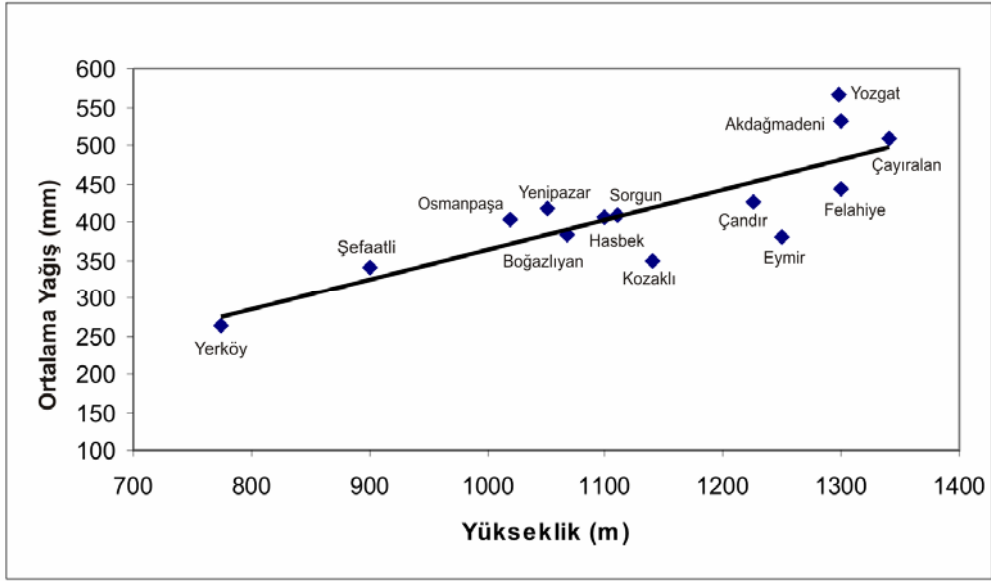


Şekil 2.1. Yerköy havzası ve çevresinde yer alan yağış gözlem istasyonlarının konumları.

Çalışma alanında havza içindeki YGİ' larına ait yükseklik ve ortalama yıllık yağışlardan yararlanılarak yağış-yükseklik ilişkisi incelenmiştir (Şekil 1.3). Bu istasyonlara ait yağış ve yükseklik arasında yapılan regresyon analizi sonucunda elde edilen korelasyon denklemi ;

$$\text{Yağış} = 0.396 \times \text{Yükseklik} - 33.122, \quad r = 0.83$$

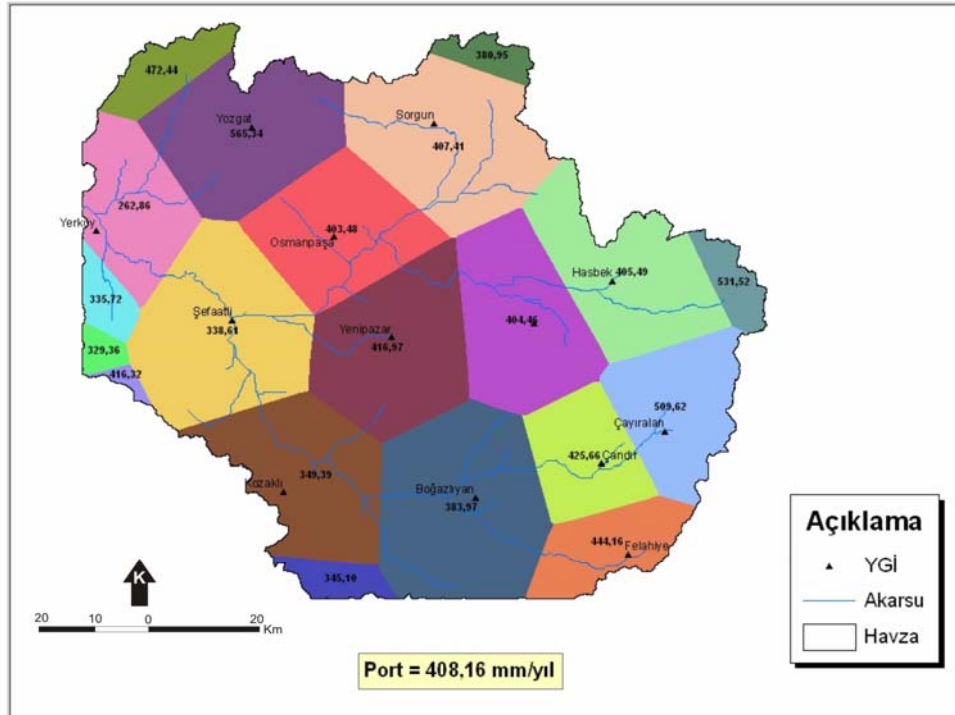
şeklinde olup yağış ve yükseklik arasında doğrusal bir ilişki saptanmıştır.



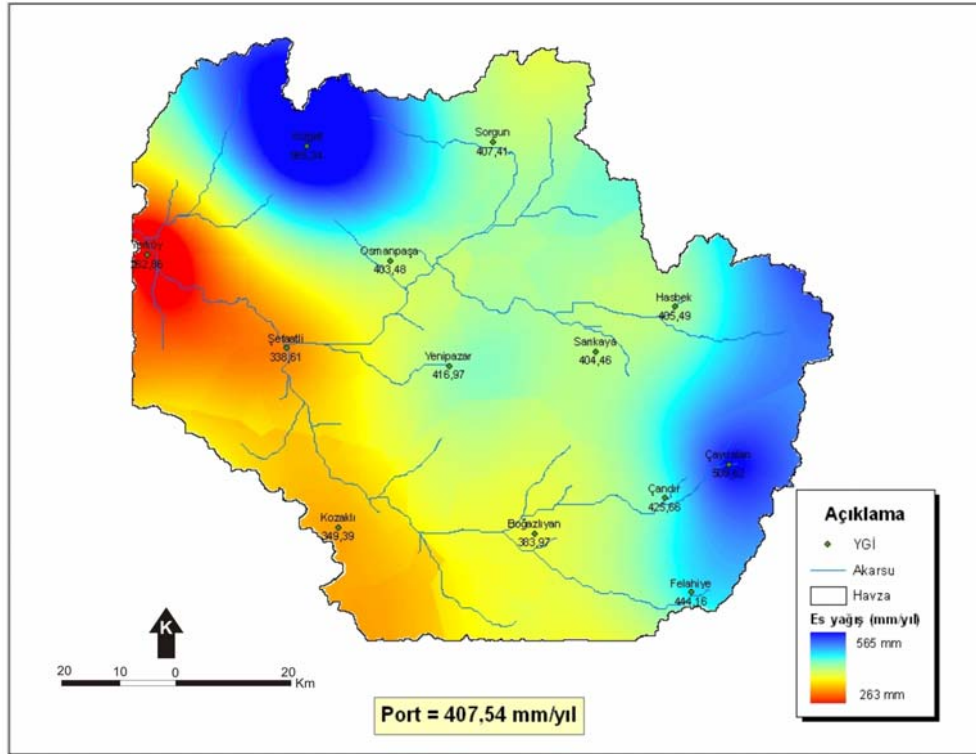
Şekil 2.2. Yerköy havzasında yer alan YGİ'lerine ait yağış yükseklik ilişkisi.

2.2. Alansal Ortalama Yağış

Alansal ortalama yağışın belirlenmesi amacıyla iki ayrı yöntem uygulanmıştır. Bu yöntemlere göre, Thiessen poligon yöntemiyle 408.16 mm ve eş yağış eğrileri yöntemiyle 407.54 mm olarak hesaplanmıştır (Şekil 1.4,1.5).



Şekil 2.3. Yerköy havzası için oluşturulan Thiessen poligonları.



Şekil 2.4. Yerköy havzası için oluşturulan eşyağış eğrileri.

2.3. Buharlaşma

Havzaya ait potansiyel buharlaşma miktarının belirlenmesinde Turc formülü kullanılmıştır.

$$ETP = \frac{P}{\sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

ETP : Yıllık buharlaşma-terleme (mm)

P : Yıllık ortalama yağış (mm)

$$L = 300 + 25T + 0.05T^3$$

T : Yıllık ortalama sıcaklık (°C)

Ortalama yıllık sıcaklık 9.6 °C olup havza içindeki istasyonların sıcaklık değerlerinin ortalaması alınmıştır. Yıllık ortalama yağış olarak Thiessen poligon yöntemiyle hesaplanan **408.16 mm** kullanılmıştır. Bu formül ile havzaya ait buharlaşma **337 mm** olarak hesaplanmıştır.

2.4. Akım

Havzaya ait akım değerin belirlenmesi amacıyla Şefaatli ilçesinde yeralan EİEİ-1517 nolu Karanlık Dere akım gözlem istasyonunun (AGİ) 1980 yılına kadar ölçülmüş verilerinden yararlanılmıştır (Çizelge 2.2).

Çizelge 2.2. Havza içindeki AGİ'na ait bilgiler

AGİ	Drenaj Alanı (km ²)	Ortalama Yükselti (m)	Gözlem Süresi	Ortalama Akım (m ³ /s)	Akış Katsayısı (l/s/km ²)
1517-Karanlık Dere	8592,4	895	1952-1980	10.747	1.251

Bu istasyonun verileri havzanın tamamını kapsamadığından havzanın toplam akımı akış katsayısı dikkate alınarak **11.458 m³/yıl** olarak belirlenmiştir.

2.5. Bütçe Hesaplaması

Yerköy havzasına ait hidrolojik bütçe, yağış, buharlaşma ve akım parametreleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu parametrelerin birbirleriyle ilişkileri aşağıdaki şekildedir:

$$\text{Yağış} = \text{Buharlaşma} + \text{Akım} \pm \text{Depolamadaki değişim}$$

Beslenimin tek kaynağı olana yağışın ortalama miktarı 408.16 mm olarak belirlenmiştir. Havza alanı 9160 km² olan Yerköy havzası için yağış, **3733x10⁶ m³/yıl** su hacmine eşittir. Boşalım parametreleri ise buharlaşma-terleme kayıpları ve akış şeklindedir. Buharlaşma-terleme kayıpları Turc yöntemiyle 337 mm olarak hesaplanmıştır. Havza için bu kayıp **3091 x10⁶ m³/yıl** su hacmine eşittir. Yüzeysel akış ile akım miktarı 11.458 m³/s olup havza için **361x10⁶ m³/yıl** su hacmine karşılık gelmektedir. Bu hesaplamalar sonunda toplam süzülme miktarı **30.7 mm/yıl** olarak hesaplanmıştır. Yıllık ortalama beslenim ile boşalım arasında yaklaşık % 7.5' lik bir fark bulunmaktadır.

3. JEOLojİ

Bölgedeki sıcak ve mineralli suların geçirdiği hidrojeokimyasal süreçlerin belirlenmesi amacıyla 1/25000 ölçekli Kırşehir I 32 c2 ve c3 ve Yozgat İ33 d1 ve d4 paftaları içinde yer alan Yerköy ve yakın dolayının jeolojisi incelenmiştir. Ayrıca beslenme alanının belirlenmesi için oluşturulan Yerköy havzası içinde 1/500000 ölçekli jeoloji haritası oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Bu çalışma kapsamında Ketin (1955), Ağralı (1967), Büyükönal (1977), Kara (1997), Alpaslan ve Temel (2000) tarafından yapılmış olan jeolojik çalışmalar temel alınmıştır. Hazırlanan jeoloji haritasında önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adlamaları dikkate alınarak benzer yaş ve kayaç türleri birleştirilerek kullanılmıştır. Bölge için oluşturulan jeoloji haritası ve jeolojik kesitler Şekil.3.2, Şekil.3.3 ve Şekil.3.4 te verilmiştir.

3.1. Stratigrafi

Çalışma sahasının güneyinde yüzeylenen granit ve gabroidler (Yozgat granitoyidi) ile Kötüdağ volkanitleri en yaşlı birim olup bunların üzerine uyumsuz olarak Senozoyik yaşlı çökel birimler gelmektedir. Sahada yüzeylenen Kuvaterner yaşlı taraça ve alüvyonlar en genç birimi oluşturmaktadır (Şekil 3.1).

3.1.1. Mesozoyik

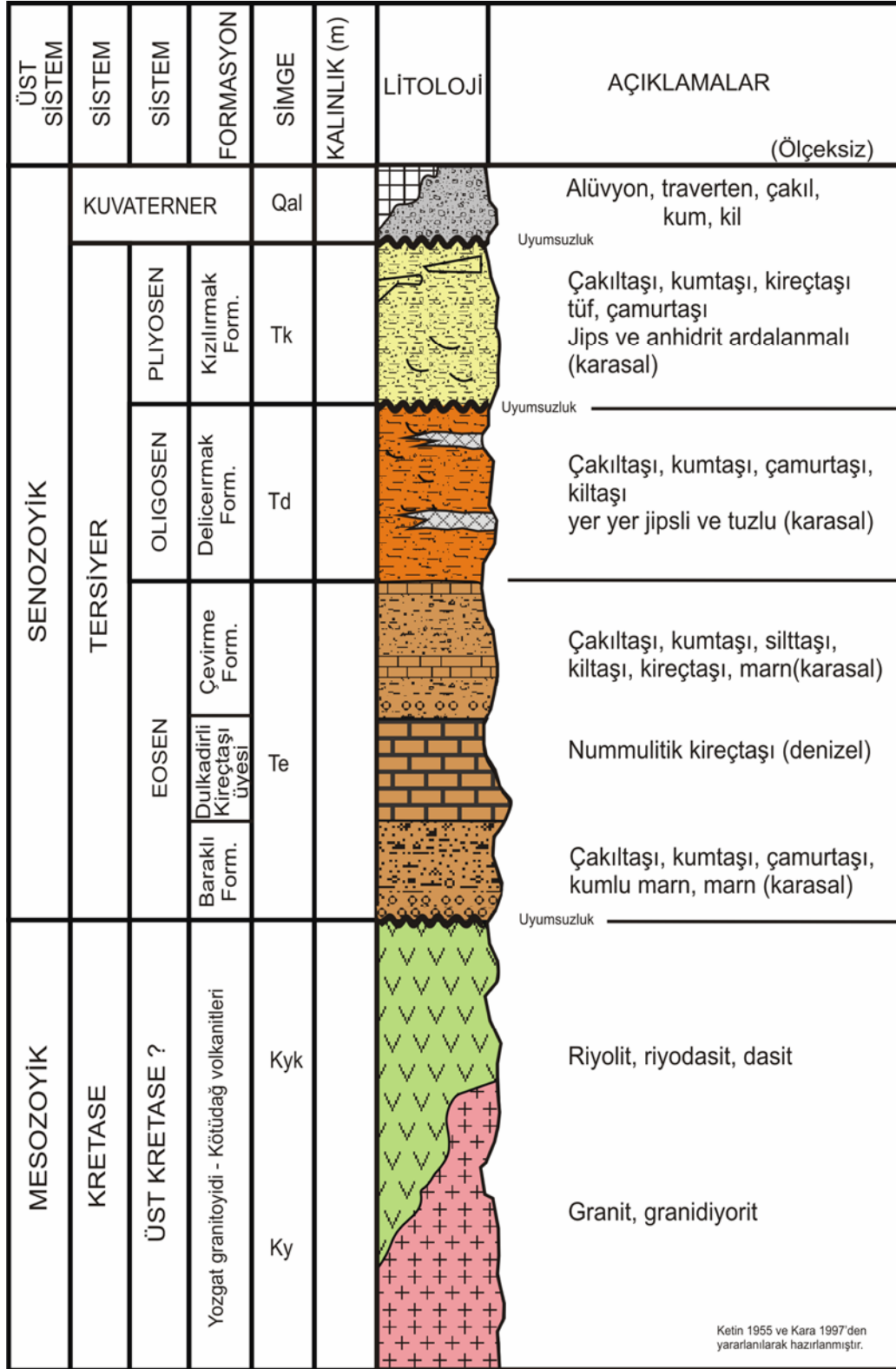
3.1.1.1.Üst Kratese

Yozgat granitoyidi (Ky)

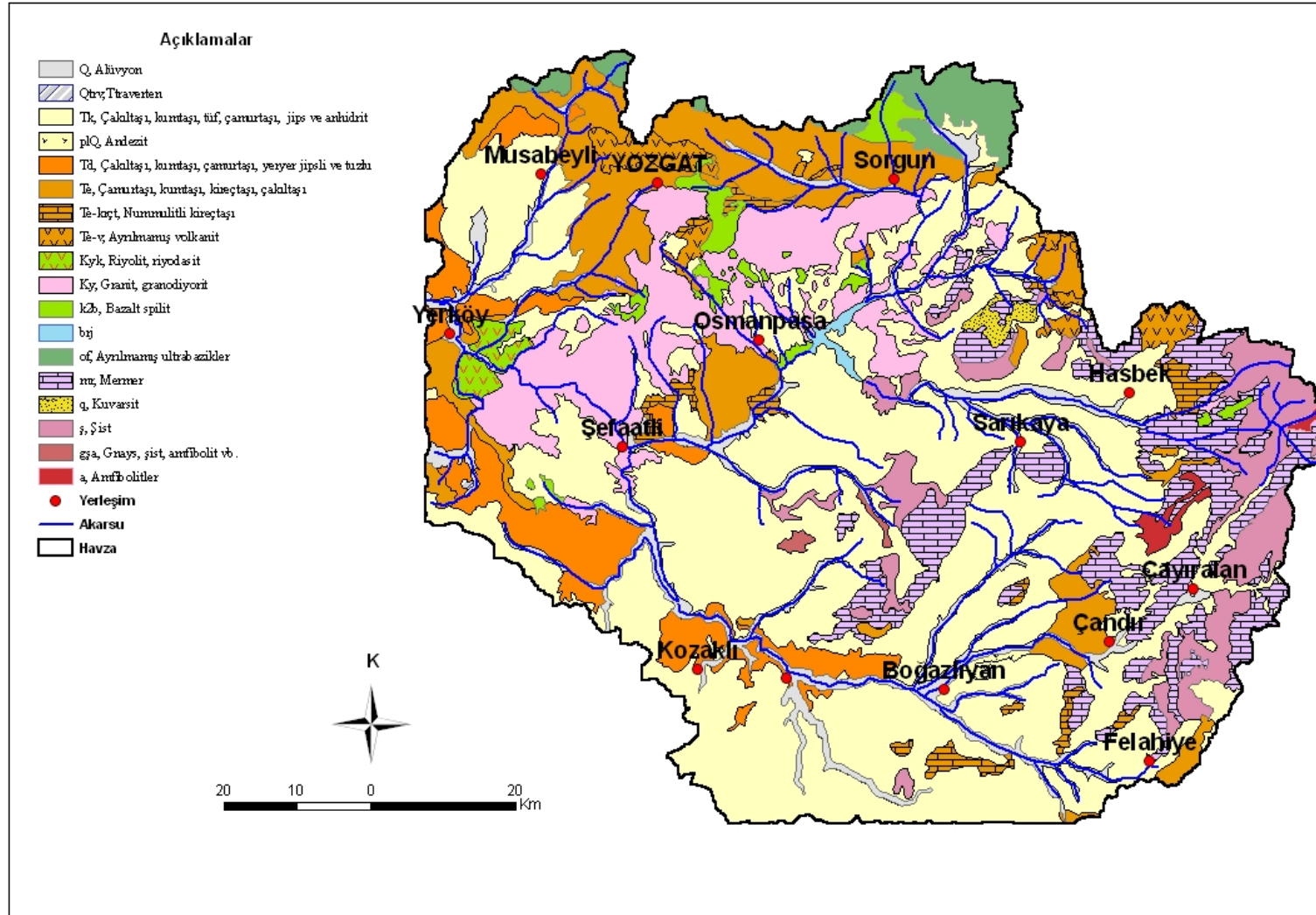
Yozgat granitoyidi, Orta Anadolu'da geniş bir yayılıma sahip "Orta Anadolu intrüsyonları"ndan olup granit, granitporfir, riolit, granodiyorit, granodiyorit porfir, ve riyodasit gibi asit bileşimli derinlik ve yarı derinlik kayaçlarından oluşmaktadır. Batolit, plüton, stok, damar vb. şekillerde yüzeylenen bu kayaçlardan oluşan kalkalkalen bileşimli Yozgat granitoyidi, Orta Anadolu Ofiyolitlerinin Kırşehir metamorfizmasını üzerlemesi ile gelişen kabuk kalınlaşması sonucu kısmi ergime ile oluşmuştur (Kara, 1997).

Çalışma alanının temelini oluşturan birim Yerköy'ün güney doğusunda yüzeylenmektedir. Granitler açık gri-gri; granodiyoritler gri-yeşilimsi gri; riolitler sarımsı pembe; riyodasitler ise açık yeşil-mor renklindedir. Bölgede granitoyit bileşiminde olan plütonitler genellikle granofirik, porfirik az bir kısmı ise taneli

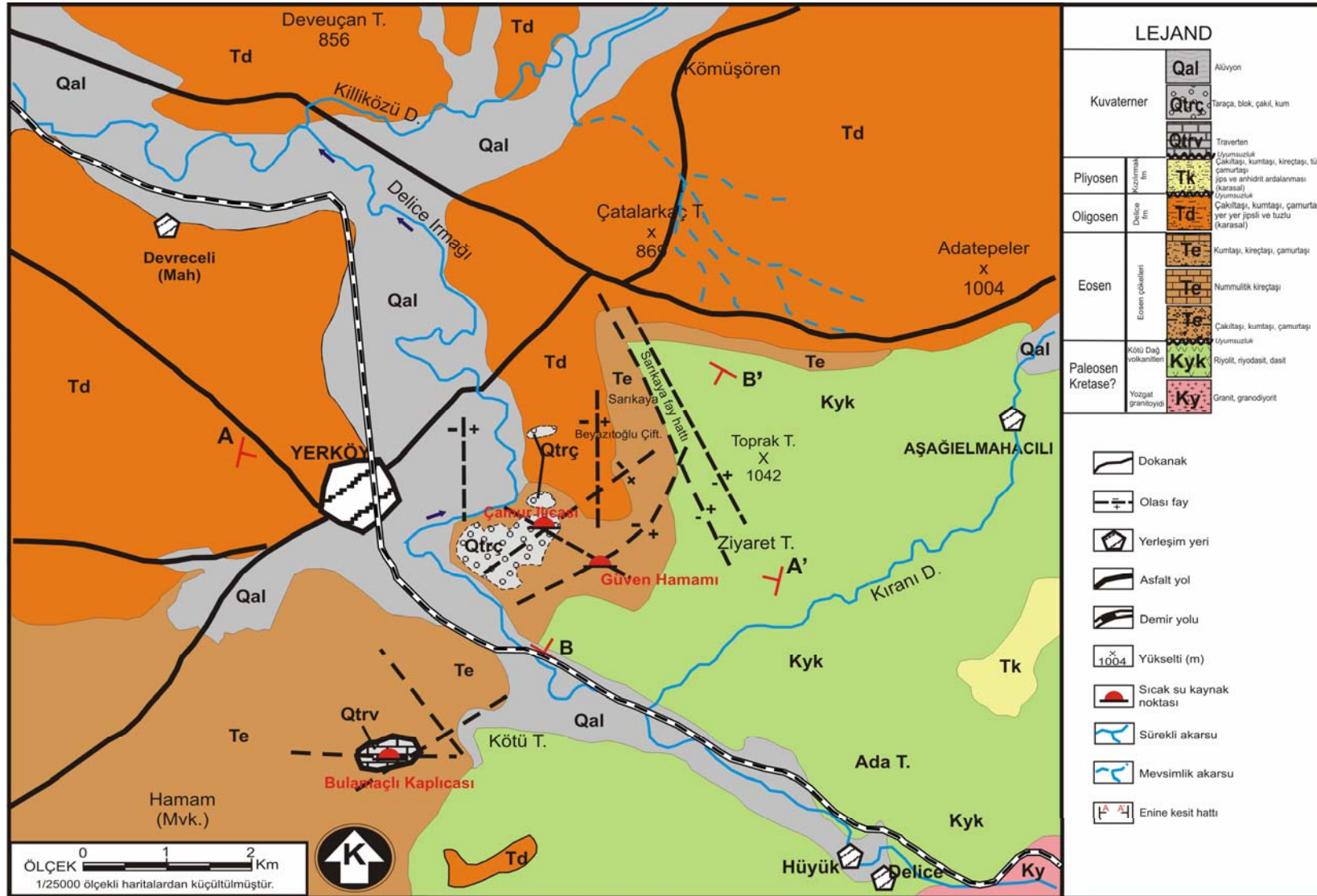
yapıdadır (Büyükönel,1977). Granitoidlerin üst yüzeyleri ayrışmaya uğramıştır. Taze yüzeylerinde yer yer kırıklı ve çatlaklı zonlar görülmektedir. Fay zonlarında kırık ve



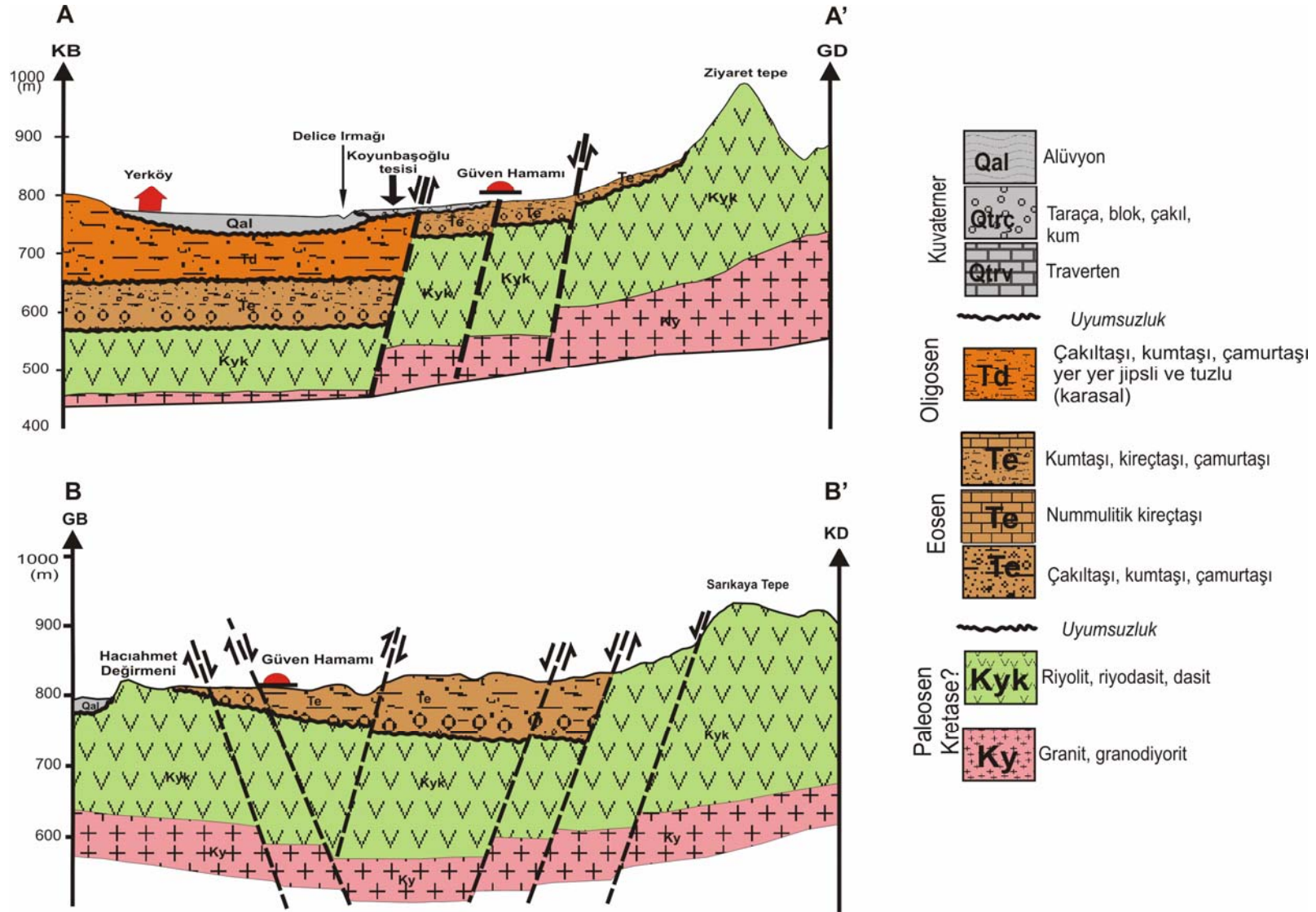
Şekil 3.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti.



Şekil 3.2. Yerköy Havzası jeoloji haritası (1/500000)



Şekil 3.3. Çalışma alanının jeoloji haritası (1/25000)



çatlak oranı artmaktadır. Granitoidlerde derinlere doğru çatlaklı ve kırıklı yapı azalmakta ve birim masif bir görünüm kazanmaktadır.

İntrüziflerin Eosen'den daha yaşlı olduğu ve Üst Kretase'den başlayıp Eosen başlarına kadar devam ettiği anlaşılmaktadır. Çalışma alanı güneydoğu köşesinde, Kötüdağ volkanitleri ile dokanaklıdır (Ketin, 1955, Büyükönal, 1977). Kırşehir-Kaman yöresinde eşdeğer birimlerde yapılan radyometrik yaş tayinleri, 54 My-Eosen (Ayan, 1963), 71 My-Üst Kretase (Ataman, 1972) şeklindedir.

Kötüdağ volkanitleri (Kyk)

Yozgat granitoidinin kenar, üst ve dış zonlarına magma henüz katılaşmadan yerleşen porfirik-volkanit özellikli kayalar Kötüdağ yarı derinlik kayaları olarak adlandırılmıştır (Kara, 1997). Kötüdağ volkanitlerinin Güven hamamının güney ve doğusunda Ziyaret tepe, Toprak tepe, Sarıkaya, Söğütlü ve Çökük mevki dolayında geniş mostraları vardır (Foto 2.1).

Birim başlıca boz, yeşilimsi renklerde riyolit, riyodasit, granit porfir, granodiyorit porfir vb. kayalardan oluşmaktadır. Riyolit ve riyodasitlerde yer yer kırıklı ve çatlaklı yapı gelişmiş ve Güven Hamamı bölgesinde derinlerde sıcak su rezervuar oluşturma özelliği taşımaktadır. Birim, Eosen birimleri altında uyumsuz olarak veya bazı bölümlerde Eosen birimleri ile faylı dokanaklı olarak bulunmaktadır.

3.1.2. Senozoyik

Tersiyer

Tersiyer sedimanları temel birimler üzerine uyumsuz olarak gelmekte ve transgresyonla başlayıp regresyonla sona eren bir istif oluşturmaktadır. Alt Eosen'de karasal, Orta Eosen'de denizel ortam hakimken Orta Eosen sonunda bölgenin denizel özelliği tamamen kaybolmuş ve üst Oligosen (veya Miyosen) sonuna kadar geçen süre içinde yalnızca akarsu çökelleri ile gölsel evaporit, kireçtaşı ve kırıntılı seriler birikmiştir.

3.1.2.1. Eosen

Eosen çökelleri (Te)

Eosen yaşlı çökel birimler, Yerköy ve yakın dolayında temeli oluşturan Kötüdağ volkanitleri üzerine transgresif olarak (uyumsuz) gelmektedir (Foto 2.1). Uyumsuzluk doğuya doğru Kuşçu Sırtı ve Ziyaret Tepe kuzeyinde devam etmektedir. Bu çökeller, taban çakıltası ile başlamakta, daha sonra çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu marn, marn ardanması şeklinde devam etmektedirler. Taban çakıltasının üzerinde yer yer kömür (linyit) seviyeleri de bulunmaktadır (Ketin, 1955, Ağralı, 1967, Kara, 1997). Denizel-lagünel fasiyesteki bu kaya topluluğunun yaşı, kumtaşı ve kireçtaşlarındaki Nummulit türlerine göre Lütisiyen'dir (Kara, 1997). Eosen çökelleri Yerköy güneyinde üç birim olarak ayrılmıştır (Kara, 1997). Bu birimler;

a- Baraklı formasyonu: Magmatik-metamorfik kayalardan türeme köşeli-az köşeli, yuvarlak taneli gevşek tutturulmuş karasal çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı, kumlu marn ve marn ardanmasından oluşan birim, alüvyon yelpazesi özelliğindedir.

b- Dulkadirli kireçtaşı üyesi: Birim tamamen beyaz renkli, killi ve Nummulites fosilli kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kireçtaşlarının dış yüzeyi gri olup sert, kırıklı ve çatlaklıdır. Çatlaklar kalsit dolguludur.

c-Çevirme formasyonu: Çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası, kireçtaşı, marn, aglomera ve bazalttan oluşur. Ortamın giderek karasallaşmasıyla regresif özellikli Deliceirmak formasyonuna geçiş gösterir.

3.1.2.2. Oligosen

Deliceirmak formasyonu (Td)

Yerköy batısı, kuzeyi ve doğusunda mostra veren bu birim çalışma alanı dolayında geniş bir yayılıma sahiptir. Regresif özellikteki kırmızı, alacalı renkli, çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı ve kiltaslarından oluşan formasyon yer yer jips ve tuz oluşuklarını da içermektedir (Foto 2.2). Birimin alt dokanağı Çevirme formasyonu ile uyumluluk göstermektedir. Bu birim üzerine uyumsuz olarak Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu çökelleri gelmektedir (Ketin, 1955). Çevirme formasyonu ile uyumlu olması ve



Foto 2.1. Yerköy kanalyolu üzerinde Kötüdağ volkanitleri (Kyk) ve üzerine uyumsuz olarak gelen Eosen yaşlı taban çakıltası ve kumtaşlarının (Te) görünümü



Foto 2.2. Yerköy bölgesindeki Eosen yaşlı birimler ve beyaz görünümlü jipsli seviyeler içeren Deliceırmak formasyonunun (Td) görünümü

Kızılırmak formasyonu tarafından uyumsuzlukla örtülmesi nedeniyle birimin yaşı, Üst Eosen-Oligosen-Miyosen? olarak belirtilmiştir (Kara, 1997). Deliceırmak formasyonu Mezgit grubu ve İncik formasyonu ile eşdeğerdir.

İnceleme alanında Eosen yaşlı çökellerin tümü birlikte değerlendirilerek **Eosen çökelleri (Te)** olarak gösterilmiştir. Birim üst seviyelerde Deliceırmak formasyonu ile uyumludur.

3.1.2.3. Pliyosen

Kızılırmak formasyonu (Tk)

Çalışma alanının doğusunda küçük mostralar şeklinde görülmektedir (Ek-1). Birim Kötüdağ volkanitlerini uyumsuz olarak görülmektedir. Kırmızı kahverengi, kahverengi ve gri renkli, gevşek, çakıllı, kumlu, yer yer tuf, kireçtaşı ve kumtaşı mercekleri içeren çamurtaşlarından oluşmuş bu formasyona Birgili vd. (1975) tarafından Kızılırmak formasyonu adı verilmiştir. Birim, genelde yatay tabakalı olarak görülmektedir. Sığ göl, akarsu ve yamaç molozu fasiyeslerinde gelişen birimin yaşı, fosil türlerine göre incelendiğinde Üst Miyosen-Pliyosen olarak belirtilmiştir.

3.1.2.4. Kuvaterner

Traverten (Qtrv)

Travertenler, sıcak suların kalsit ve aragonit minerallerine (CaCO_3) doymun olmaları nedeniyle yüzeye çıkışta CO_2 'in ayrılması ve CaCO_3 çökmesi ile oluşmuşlardır. Bulamaçlı kaplıcası çevresinde bulunan travertenler dar bir alanda boz renkli ve ince tabakalı olarak görülürler. Traverten birimlerin kalınlığı 10 m ye kadar artmaktadır.

Eski Alüvyon (Qtrç)

Çalışma alanında eski alüvyon taraçaları (sekileri) bulunmaktadır (Foto 2.3). Gevşek tutturulmuş çakıl, kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Eski alüvyon sekileri Yerköy güneydoğusunda, Güven hamamı batısında Delice Irmağı vadi yamaçlarında ve Kötü Tepenin kuzeyinde gözlenmektedir. Bu alüvyonların kalınlığı Yerköy civarında 25-30 m' ye kadar ulaşabileceği düşünülmektedir.



Foto 2.3. Çalışma alanındaki eski alüvyon taraçalarının görünümü

Alüvyon (Qal)

Delice Irmağı ve Killiközü dere boyunca gelişen çakıl, kil ve kumların oluşturduğu alüvyonlar yaklaşık 15-50 m kalınlığındadır. Alüvyonlar Yerköy dolayında 2 km genişliğe ulaşmaktadır.

3.2. Yapısal Jeoloji

Çalışma alanı Anatolid kuşağında yer almaktadır. Alp Orojenezi etkileri gözlenen bölgede kayaçların kırılmasına sebep olan Laramiyen safhası etkindir. Bu hareket ayrıca, Helvetik orojenik fazı ile deformasyona uğramış ve bununla bölge sıkışarak kıvrımlanmış ve faylanmış. Bu orojeneze bağlı olarak Oligosen ile Üst Miyosen-Pliyosen birimleri arasında diskordansın varlığı da tespit edilmiştir (Kahraman vd., 2001).

Neojen ve Kuvaterner'de hakim olan gerilme tektoniğine bağlı olarak bölgede normal atımlı faylar gelişmiştir. Faylar, D-B, BKB-DGD, KB-GD ve K-G doğrultulu ve düşük atımlıdır. Özellikle D-B, KB-GD doğrultulu faylar basamaklı faylar şeklinde gelişmiştir. Tabakalanmalar ise genellikle doğu-batı doğrultulu ve düşük eğimlidirler.

Yerköy batısında kuzeybatı güneydoğu uzanımlı birbirine paralel iki fay hattı bulunmaktadır (EK-1). Sarıkaya fayları olarak adlandırılan bu fay hattı, doğuda Toprak Tepenin batısından, kuzeyde ise Sarıkaya Tepenin doğusundan geçmektedir. Bu iki fay hattı batısında kalan çöküntü havzasına Yerköy grabeni adı verilmiştir. Toprak tepenin olduğu alan bir horst görünümündedir. İnceleme alanındaki bu KB-GD hatları ile Güven hamamı bölgesindeki KD-GB doğrultulu faylar ile bölge dilimlenmiş bir görünüm kazanmaktadır. Jeotermal alanda sıcak suların çıkışını sağlayan en genç fayların KB-GD doğrultulu ve eğim atımlı faylar olduğu düşünülmektedir.

3.3. Jeolojik Evrim

Çalışma alanında, Paleozoyik sonunda temel yükselmesi ile Mesozoyik sonlarına kadar bölge aşınmıştır. Mesozoyik sonunda bölge sık bir deniz basmasına uğramış ve bu ortamda çamurtaşı, kireçtaşı, kumtaşı ve silttaşından oluşan formasyon gelişmiştir. Bu formasyon ortamın gittikçe sıklaşması ile regresif ortamda, bol nummulitli killi kireçtaşı, kırmızı renkli kumtaşı ve çakıltasına geçiş göstermektedir. Bölgede kuzey-güney yönlü sıkışma etkisi altında çökme alanı gittikçe daralmış, havza kenarları kıvrılmış ve kırılmıştır.

Orta Miyosen' de Arap ve Avrasya levhalarının çarpışması ile başlayan kuzey-güney yönlü bir sıkışma ve bunun sonucunda Anadolu levhasının batıya doğru kaçması ve bu levhanın Ege'de bir dirençle karşılaşması sonucu Anadolu da bir doğu-batı doğrultulu sıkışmayı da meydana getirmiştir. Bu dönemde Orta Anadolu kapalı bir havza konumunu kazanmıştır.

Üst Miyosen-Pliyosen döneminde, bölge karasal bir ortama dönüştüğünden yeni bir aşınma başlamış, bu aşınma bölgede geniş ölçekte bir göl oluşumuna kadar sürmüştür. Oluşan bu göl Pliyosen sonunda kurumuş ve güncel akarsu ve alüvyonlar oluşmuştur (Kahraman vd., 2001)

4. HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanında temel kaya olan Kretase yaşlı andezit, dasit, tuf, aglomera gibi volkanik kayalar genellikle geçirimsiz birimlerden oluşmaktadır (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Ancak, tektonik hareketlerle ikincil gözeneklilik kazanmış olan riolitler ile altere granodiyoritlerin fay ve kırık zonları yerel olarak geçirimli olup akifer özelliğindedir. Çalışma alanında, Eosen, Oligosen ve Pliyosen yaşlı kilitaşı, marn, killi kireçtaşı ve kumtaşı aralanmasından oluşan çökeller örtü kayaç niteliğindedir. Çökel birimler içindeki fay zonları ve kireçtaşları akifer oluşturmaktadır. Delice Irmağı yatağında yer alan alüvyonlar ise soğuk su için önemli bir akiferdir.

Yerköy bölgesinde yeraltısuyunun kaynaklardan olan boşalımı azdır. Sahada daha önce soğuk sulara yönelik hidrojeoloji çalışmaları yerel ölçekte olup İller Bankası ve Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından köylere su sağlanması amacıyla yapılmıştır. Ayrıca Çelik tarafından alüvyon suları ve Delice Irmağı arasında kirlilik ilişkisine yönelik hidrojeoloji çalışması yapılmıştır.

Yerköy havzasına düşen alansal ortalama yağış 408.16 mm/yıl ve havza içindeki ortalama sıcaklık 9.6 °C olarak hesaplanmıştır.

4.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

Yerköy bölgesi genelinde bulunan litolojik birimler su taşıma özelliğine göre geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Birimlerin geçirimlilik özellikleri arazide yapılan gözlemler ve su boşalimleri olup olmasına göre değerlendirilmiştir.

4.1.1. Geçirimsiz birimler

Bölgede kilitaşı, marn, killi kireçtaşı ve kumtaşı aralanmasından oluşan Eosen, Oligosen ve Pliyosen yaşlı çökeller örtü kayaç niteliğindedir. Ayrıca temelde yeralan Kretase yaşlı andezit, dasit, tuf, aglomera gibi volkanik birimlerin kırık ve çatlak içermeyen bölümleri de geçirimsiz özelliktedir. Ancak kırıklı-çatlaklı riolitler, altere granodiyoritler ve tabanda yeralan çakilitaşları, kireçtaşları, kumtaşları ile fay ve kırık zonları yerel olarak geçirimlidirler.

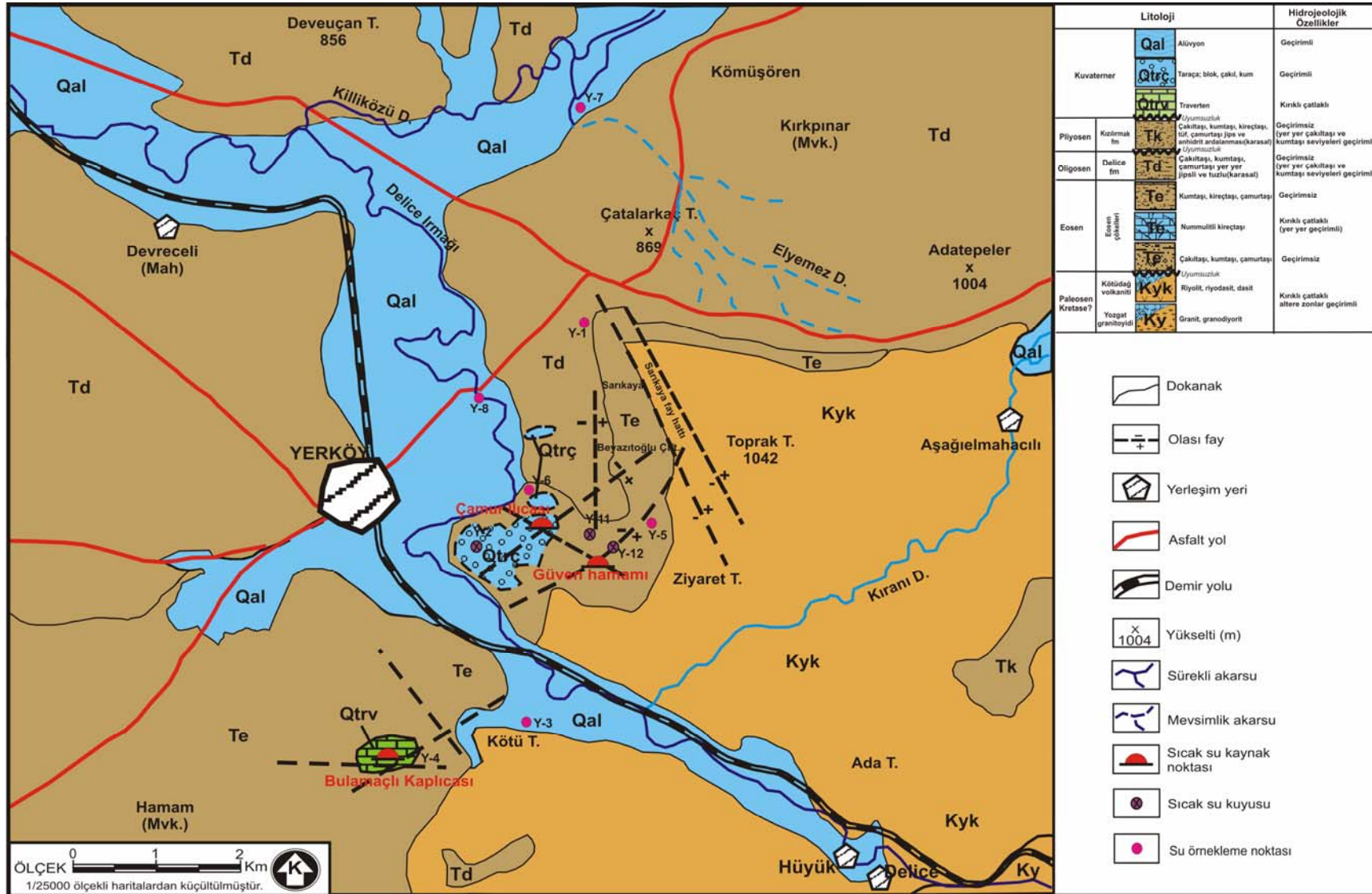
4.1.2. Geçirimli birimler

Çalışma alanında temeli oluşturan Kretase yaşlı Kötüdağ volkanit üyesi olan dasit, riyolit ile Yozgat granitoyitleri içinde yer alan granit, granodiyorit birimlerinin 30-50 m kalınlığındaki üst seviyeleri ve bu birimlerdeki fay ve kırık zonları hidrojeolojik açıdan geçirimlidir (Foto 3.1a,b). Ancak bu birimlerin daha derin kesimlerinde kırık aralıkları azalmakta ve daha geçirimsiz bir yapı sunmaktadır. Bölgedeki Eosen kireçtaşları ile Delice Irmağı yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan ve kalınlığı 60 m' ye kadar ulaşan alüvyonlar ise soğuksu için önemli akiferlerdir.

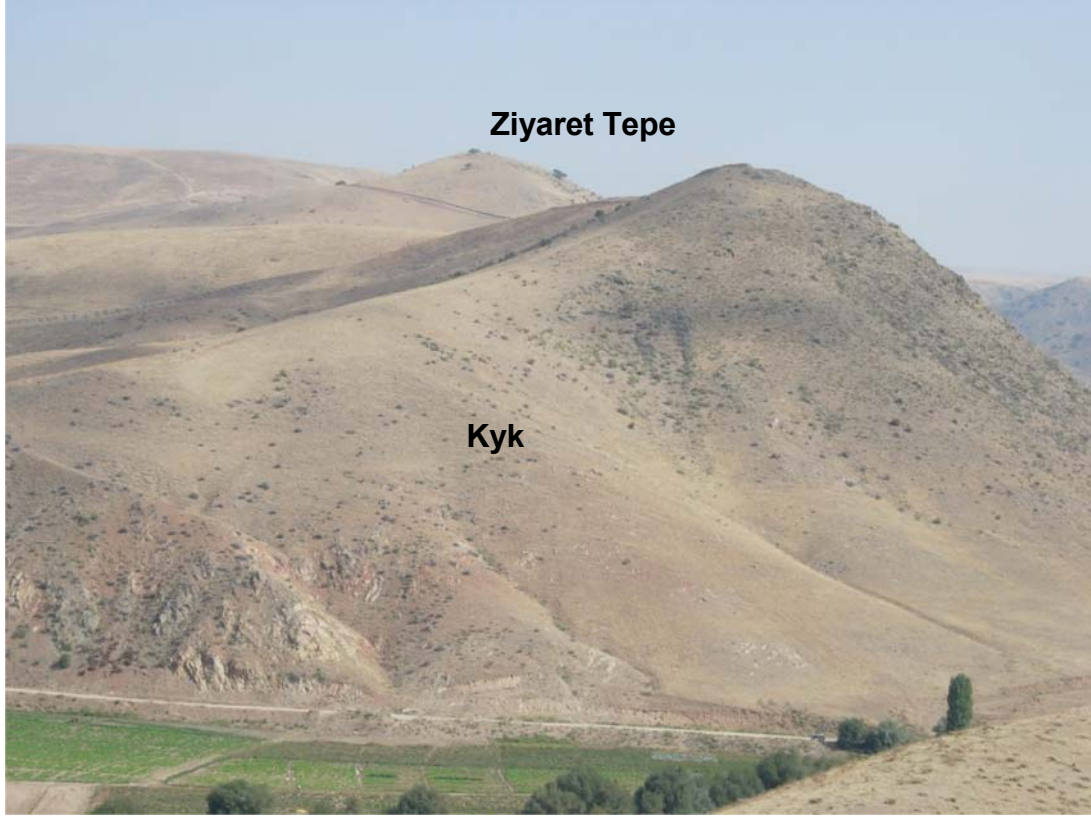
ÜST SİSTEM	SİSTEM	SİSTEM	FORMASYON	SİMGESİ	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER (Ölçeksiz)
SENOZOYİK	KUVATERNER			Qal	0-50		Alüvyon; Traverten, çakıl, kum, kil	Geçirimli
	TERSİYER	PLİYÖSEN	Kızılırmak	Tk	100		Çakıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı tuf, çamurtaşı Jips ve anhidrit ardalanmalı (karasal)	Geçirimsiz (yer yer çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleri geçirimli)
				Td	100-150		Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı yer yer jipsli ve tuzlu (karasal)	Geçirimsiz (yer yer çakıltaşı ve kumtaşı seviyeleri geçirimli)
		EOSEN	Eosen-Lütesiyen çökelleri	Te	100-200		Kumtaşı, kireçtaşı çamurtaşı	Geçirimsiz
							Nummulitik kireçtaşı	Kırıklı, çatlaklı yer yer geçirimli
							Çakıltaşı, kumtaşı, çamurtaşı	Geçirimsiz
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE ?-PALEOSEN	Yozgat granitoyidi	Kyk	500-600		Riyolit, riyodasit, dasit Granit, granodiyorit	Kırıklı çatlaklı ve altere zonlar geçirimli

Ketin 1955 ve Kara 1997'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Şekil 4.1. Çalışma alanının litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafi kesiti.



Şekil 4.2. Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini ve örnekleme noktalarını gösteren harita (1/25000)



(a)



(b)

Foto 4.1. (a) Güven hamamı güneyi Delice Irmağı vadisinde Kötüdağ volkanitleri (Kyk) riolit ve riyodasit mostraları (b) bol kırıklı-çatlaklı ve eklemli riolit mostraları.

4.2. Yüzey ve Yeraltıları

Delice Irmağı bölgenin en önemli akarsuyudur. Suları yazın azalır, baharda artan ırmak, ilçedeki küçük dere ve çayları da toplayarak, Sekili sınırında Ankara-Yozgat karayolunu kesmekte ve alanın kuzeyinde ilçe topraklarından çıkarak daha ileride Kızılırmak ile birleşmektedir.

Delice Irmağı vadisi bölgede esas boşalım düzeyini denetlemektedir. Vadinin kuzey ve güneyindeki yüksek dağlar veya doruklar beslenme alanıdır. Doğu bölümünün vadi yönünde eğimli oluşu, yeraltısuyunun hareketine daha elverişli bir etkidir. Güneyde ise eğim kuzeye olmakla beraber beslenme alanı daha dar ve kısadır. Yüksek kesimlerdeki kaynakların çoğu bağlantılı kırık ve çatlaklardan boşalmaktadır.

4.3. Kaynaklar

Çalışma alanında soğuksu kaynak ve kuyuları ile sıcak su çıkışlarına ilişkin veriler incelenmiştir.

4.3.1. Soğuk su kaynakları

Çalışma alanında düşük debili kaynaklar yer almaktadır. Bu kaynakların çoğu geçirimsiz kayaların arasında yer aldığı ve beslenme alanları sınırlı olduğu için debisi 0.5-1 l/s dolayında olan sızıntılardır. Bazı kaynaklar ise sadece yağışlı mevsimlerde akış göstermekte yazları ise kurumaktadır. Eosen çökelleri (kireçtaşı zonları hariç) geçirimsiz litolojilerdir. Bu nedenle geçirimsiz birimlerin bulunduğu alanlarda yüzey sellenmesi çok gelişmiştir.

Çalışma alanında, soğuk su kaynaklarına örnek olarak Söğütlü Pınar çeşmesi ve Erol Erbaş Çeşmesi verilebilir.

4.3.2. Soğuk su sondaj kuyuları

Yerköy ilçe merkezi ve dolayında içme ve kullanma suyunun karşılanması amacıyla Delice Irmağı ve Killiközü Deresi alüvyonlarında kuyular açılmıştır.

Ayrıca, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından Yerköy dolayındaki köylerin su ihtiyacını karşılamak amacıyla genellikle alüvyon ve Eosen kireçtaşlarında açılmış kuyular bulunmaktadır.

Yerköy içme suları için Killiközü deresi alüvyonlarında Yamuklar (Akpınar) köyü yakınında açılan 18-25 metre derinliğindeki 5 kuyudan pompa ile yaklaşık 80 l/s debide su alınmaktadır. Ayrıca, Kötüdağ kuzeyi Delice Irmağı alüvyonlarında açılan 4 kuyudan sırasıyla debileri 10, 15, 20, 25 l/s olmak üzere toplam 70 l/s içme suyu sağlanmaktadır.

4.3.3. Sıcak su kaynak ve kuyuları

Çalışma alanında, Güven hamamı ve Çamur hamamı Mevkiinde sıcak suyun ilk çıkış yeri olarak kabul edilen ancak bugün mevcut olmayan iki adet sıcak su kaynağı bulunduğu bildirilmektedir (Şekil 3.2). Kaynaklardan biri Güven hamamı Aslanağzı kaynağı olarak bilinmektedir. Bu kaynağın debisi 0.5 l/s ve sıcaklığı 41 °C ölçülmüştür (Şimşek, 1993). Diğer kaynak ise kaplıcaya yaklaşık 650 m uzaklıktaki Çamur Ilıcasıdır. Bu kaynağın debisi ölçülememiş, sıcaklığı ise 45 °C olarak belirtilmiştir (Gündüz, 1993).

Bölgede ilk olarak 1992 yılında DSİ tarafından açılan 59 ve 85 m derinlikteki iki adet sığ kuyudan (DSİ-1 ve DSİ-2) başlangıçta toplam 8 l/s debide, 45°C' de sıcaksu üretimi sağlanmıştır (Şekil 3.2). Daha sonra MTA tarafından Güven Kaplıcası suyunun sıcaklık ve debisini artırmak amacıyla 1993 yılında 250 m derinlikte sıcaksu sondajı (YK-1) açılmıştır (Şekil 3.2). Kuyuda yapılan kompresör testi sırasında, DSİ kuyusundan gelen su debisinin azaldığı ve yaklaşık 1.5 saat sonra tamamıyla kuruduğu belirtilmiştir. Bu sırada Aslanağzı kaynağının da debisinin azaldığı gözlenmiştir. Sondaj sonucu 10 l/s debi ve 47 °C sıcaklıkta artezyen halinde su elde edilmiştir (Gündüz ve Özten, 1994).

Eski Güven Hamamının bulunduğu alandan 500 m kadar batıda Koyunbaşıoğlu Tesisleri için derinlikleri 220-240 m arasında değişen 4 adet kuyu (K-1, K-2, K-3 ve K-4) bulunmaktadır (Şekil 3.2) (Canik, 2004). Ekim 2005 tarihinde yapılan ölçümlerde, erkek hamamı havuzuna gelen sıcaksuların debisi 2.5 l/s, sıcaklığı 40.3 °C ve bayanlar hamamındaki havuza gelen suların debisi 1 l/s, sıcaklığı 40.3 °C olarak ölçülmüştür. Tesisin açık havuzuna akan suyun sıcaklığı 32.7 °C ve debisi 4 l/s dir. Tesisteki toplam debi 7.5 l/s ve su sıcaklıkları 32.7-40.3 °C arasında ölçülmüştür.

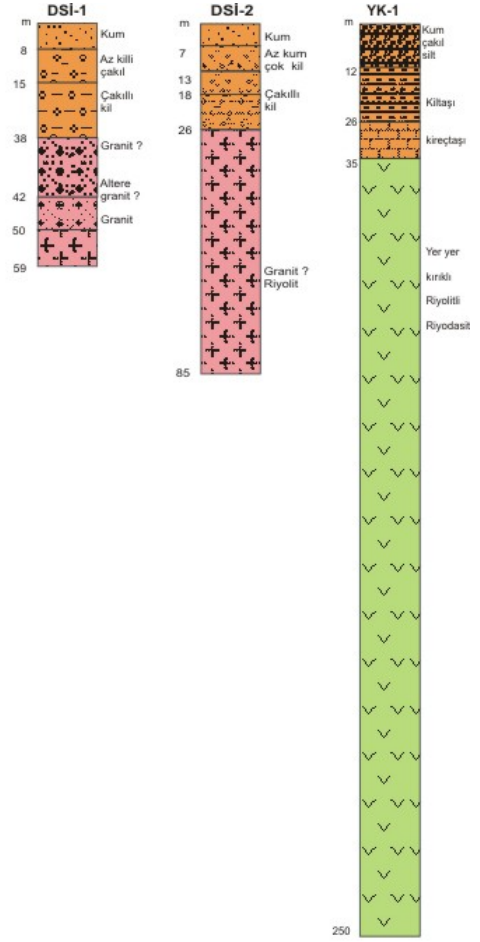
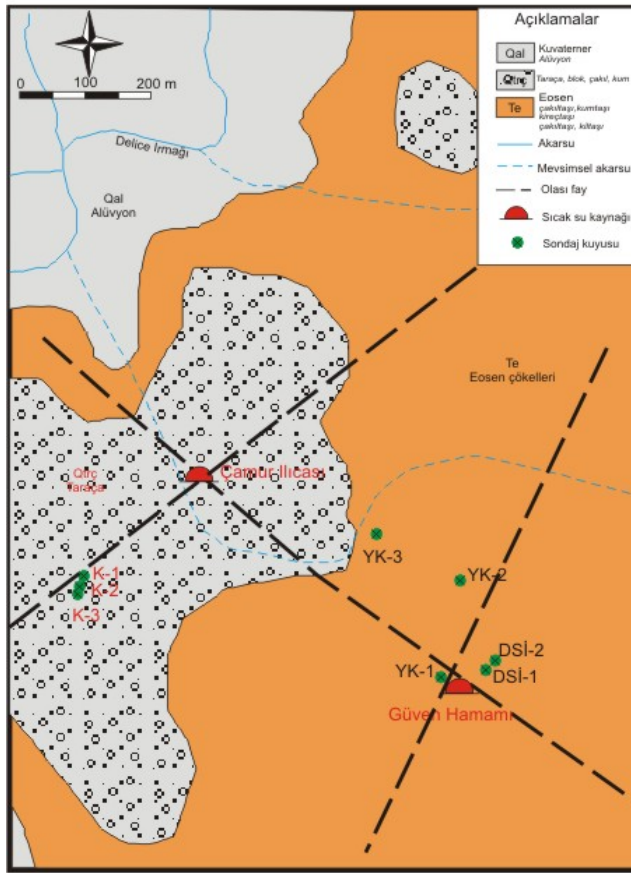
2006 yılında Yozgat Valiliği tarafından derinlikleri 500 ve 750 m olan iki adet sıcaksu arama üretim kuyusu (YK-2 ve YK-3) açtırılmış ve bu kuyuların debileri sırasıyla 45 ile 55 l/s ve sıcaklıkları 54.5 ile 56.5 °C olarak ölçülmüştür (Şimşek vd., 2006).

4.3.4. Jeofizik Çalışmaları

Yerköy jeotermal alanında sıcak su elde edilmesi amacıyla jeofizik rezistivite çalışmaları yapılmıştır (HU-ORME, 2005). Bu çalışma kapsamında bölgede birinci rezervuarı oluşturan Eosen kireçtaşları ve daha altında yer alan ikinci rezervuar olan kırıklı çatlaklı riyolit seviyelerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla sahada 28 lokasyonda düşey elektrik sondajı (DES) ve selfpotansiyel (SP) profil ölçüleri yapılmıştır. Ölçü derinliği olarak $AB/2=500-1000$ m uygulanmıştır.

Bu çalışmalar jeoloji ve hidrojeoloji çalışmalarıyla birleştirilmiş ve önceden açılmış DSİ-1-2 ve MTA YK-1 kuyusu verileri de değerlendirilerek YK-2 ve YK-3 kuyu lokasyonları tespit edilmiştir. Jeofizik rezistivite çalışmaları ile bölgedeki örtü kayalar ve örtü kaya kalınlığı ile derinlerden sıcaksuyu yüzeye taşıyan fay hatları belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre, sıcak ve killi birimlerden oluşan Eosen ve Oligosen birimleri genellikle $1-10 \Omega m$ arasında düşük rezistivite değerleri vermiştir. Ayrıca, yüksek rezistivite göstermesi beklenen ancak sıcak ve tuzlu sular içeren riyolit birimlerinde genellikle $60-150 \Omega m$ gibi düşük değerler ölçülmüştür.

Sahada Yozgat Valiliği adına yapılan araştırmalar halen devam etmekte olduğundan bu çalışmada özellikle jeofizik ve sondaj verileri ile kuyu logları kullanılmamıştır.



Gündüz ve Özten 1993 ten değiştirilerek alınmıştır

Şekil 4.3. Çalışma alanında açılmış olan sıcak su sondaj lokasyonları ve kuyu logları.

5. HİDROJEOKİMYA

Yerköy jeotermal alanında bulunan sıcak ve mineralli suların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenip jeotermal sistem içinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulması amacıyla bölgedeki sıcak ve mineralli sulardan dönemsel örnekleme çalışmaları yapılmıştır. Jeotermal sistemin beslenme alanında yer alması muhtemel soğuk su kaynak ve kuyuları ile Delice Irmağından da örnekler alınmış ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Örnekleme çalışmaları Ekim 2005, Temmuz 2006 ve Mart 2007 olmak üzere üç dönemde yapılmıştır (Foto 4.1). Su örneklerinin pH, elektriksel iletkenlik (EC) ve sıcaklık (T) fiziksel parametreleri kaynak ve kuyu başında ölçülmüş, laboratuvar da ise majör iyon, kirlilik ve ağır metal analizleri ile çevresel izotop analizleri yapılmıştır.

Bu örnekler; Shell Mevkii soğuk su kaynağı (Y-1), Yerköy Koyunbaşoğlu tesisi sıcak su kuyusu (Y-2), Yerköy Kötüdağ Mevkii içme suyu kuyusu (Y-3), Yerköy Söğütlü Çeşme (Y-5), Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi (Y-6), Yamuklar Akpınar Köyü içme suyu kuyusu (Y-7), Yerköy Delice Irmağı (Y-8) olmak üzere toplam 7 adettir. İnceleme alanında yer alan sıcak suların, Kırşehir-Çiçekdağ'da bulunan Bulamaçlı sıcak ve mineralli su kaynağıyla kökensel bir ilişkisinin olup olmadığı ve bu suların kimyasal özelliklerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla Bulamaçlı kaynağından da (Y-4) sıcak su örneği alınmıştır. Bölgedeki içme suyu kuyularından Kötüdağ Mevkii içme suyu kuyusu 30 m derinlikte olup pompa seviyesi 16 m' dendir. Akpınar Köyündeki içme suyu kuyularının derinlikleri 18-25 m arasında değişmektedir. Önceki yıllarda MTA tarafından Yerköy Güven Kaplıcası (Y-9, Gündüz ve Özten, MTA 1993) ve Yerköy Çamur Ilıcası (Y-10, Gündüz ve Özten, MTA 1993) sıcak suları karşılaştırma için çizelgeye konulmuş ve bölgede 2006 yılında Yozgat Valiliği tarafından açtırılan YK-2 ve YK-3 sıcak su kuyularından su örnekleri (Y-11 ve Y-12) alınmıştır. Ayrıca bölgeden yağmur suyu örneği (DK-4) alınarak diğer analiz sonuçlarıyla birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 4.1a, 4.1b ve 4.1c).

5.1. Suların Fiziksel Özellikleri

Yerköy ve yakın çevresinde bulunan sıcak ve soğuk suların sıcaklık (T), elektriksel iletkenlik (EC) ve pH parametreleri kaynak başında ölçülmüştür. Yapılan fiziksel ölçüm sonuçları Çizelge 4.1a ve 4.1b ve 4.1c' de verilmiştir.



(a)



(b)

Foto 5.1. Kimyasal analiz için a) Söğütlü pınar çeşmesi ve b) Delice Irmağından su örneklerinin alınması.

5.1.1. Sıcaklık (T)

Sıcaklık ölçümleri; alkalinite ve mineral doygunluk hesaplamalarında kullanılmaktadır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların ölçülen sıcaklık değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 40.3-41.2 °C, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 54.5-56.2 °C,, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 44.0-43.8 °C' dir. Soğuk su kaynaklarından Shell Mevkii (Y-1) 16.0-26.6 °C, Kötüdağ Mevkii içme suyu kuyusu (Y-3) 15.0-15.7 °C, Söğütlü çeşme (Y-5) 18.7-19.9 °C, Erol Erbaş çeşmesi (Y-6) 19.0-26.4 °C, Akpınar köyü içme suyu kuyusu (Y-7) 13.0-13.0 °C, Delice Irmağı (Y-8) 18.0-22.0 °C ve yağmur suyu (DK-4) 10.9 °C olarak ölçülmüştür.

5.1.2. Elektriksel iletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları, mikromho/cm veya mikroSiemens/cm ($\mu\text{S/cm}$) olarak ve 25 °C'deki değeri hesaplanarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenlikleri, sudaki iyon varlığına, toplam derişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri de artmaktadır. Sudaki iyon derişimi ile artış gösteren elektiksel iletkenlik değeri, bu nedenle, sudaki toplam iyon derişiminin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Bölgede yer alan suların elektriksel iletkenlik değerleri 620-19440 $\mu\text{S/cm}$ arasında değişmektedir. Suların yüksek Eİ değerleri, çalışma alanında yer alan tuzlu akiferlerle etkileşiminden kaynaklanmaktadır. Suların içerdikleri iyonların toplam derişimi ve dolayısıyla elektriksel iletkenlikleri, suların yeryüzüne çıkıncaya kadar izledikleri yola, temasta oldukları kayaçların cinsine ve çözünürlüklerine, iklime, bölgedeki yağış koşullarına bağlıdır. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından içme suyu standartlarında elektriksel iletkenlik için herhangi bir değer aralığı verilmemektedir.

İnceleme alanında bulunan sıcak ve mineralli suların ölçülen özgül elektriksel iletkenlik değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 17320-19440 $\mu\text{S/cm}$, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 16660-13610 $\mu\text{S/cm}$, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 6470-7160 $\mu\text{S/cm}$ ' dir. Soğuk su kaynaklarından Shell Mevkii (Y-1) 5970-6970 $\mu\text{S/cm}$, Kötüdağ Mevkii içme suyu kuyusu (Y-3) 1350-2360 $\mu\text{S/cm}$, Söğütlü çeşme (Y-5) 620-678 $\mu\text{S/cm}$, Erol Erbaş çeşmesi (Y-6) 780-850 $\mu\text{S/cm}$, Akpınar köyü içme suyu kuyusu

(Y-7) 1630-1470 $\mu\text{S/cm}$, Delice Irmağı (Y-8) 780-1130 $\mu\text{S/cm}$ ve yağmur suyu (DK-4) 120 $\mu\text{S/cm}$ olarak ölçülmüştür.

5.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir ölçüsü olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yeraltısularının pH değeri 6.0-8.5 arasında değişmektedir. Sudaki karbonat, hidroksit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asit özelliğini arttırmaktadır.

Sudaki serbest karbondioksit, fiziksel çözünme sonucunda suda çözünmekte ve hidrotasyon sonucunda karbonik aside dönüşmektedir. Bunun sonucunda su, çözücü-aşındırıcı bir özellik kazanmaktadır. Gerek aşındırıcı gerekse kabuk bağlayıcı özellik pH değerine bağlıdır.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların pH değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 8.22-7.79, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 8.51-8.24, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 7.44-6.93 olarak ölçülmüştür. Soğuk su kaynaklarından Shell Mevkii (Y-1) 8.27-7.94, Kötüdağ Mevkii içme suyu kuyusu (Y-3) 8.21-7.28, Söğütlü çeşme (Y-5) 8.27-7.52, Erol Erbaş çeşmesi (Y-6) 8.14-7.53, Akpınar köyü içme suyu kuyusu (Y-7) 8.05-7.48, Delice Irmağı (Y-8) 8.87-7.87 ve yağmur suyu (DK-4) 8.18 olarak ölçülmüştür. Yağmur suyu örneğinin pH değerinin yüksek çıkma sebebinin ölçümün örnekleme sırasında yapılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 5.1a. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Ekim 2005).

Örnek No	Örnek Adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Konsantrasyon (ppm)												
					Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	B	SiO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄
Y-1A	Shell Mevkii	16	8.27	5970	973.20	19.65	438.47	10.83	130.13	1813.83	597.89	2.17	12.91	*	*	*	*
Y-2A	Yerköy Koyunbaşıoğlu	40.3	8.22	17320	2783.53	71.42	1015.06	1.29	52.87	5813.96	322.43	2.95	23.62	*	*	*	*
Y-3A	Yerköy Kötüdağ Mevkii	15	8.21	1350	141.88	4.05	117.41	41.00	398.52	105.21	222.04	1.02	21.91	*	14.50	*	*
Y-4A	Çiçekdağ Bulamaçlı	44	7.44	6470	1286.68	115.85	256.37	11.22	910.91	1757.08	367.46	1.36	73.09	*	*	*	*
Y-5A	Yerköy Söğütlü Çeşme	18.7	8.27	620	71.49	1.05	55.95	12.91	300.93	15.44	37.16	0.00	17.28	*	31.29	*	*
Y-6A	Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi	19	8.14	780	108.65	1.56	59.57	17.74	410.72	18.74	50.38	0.34	17.28	*	16.19	*	*
Y-7A	Akpınar Köyü	13	8.06	1630	198.12	3.33	96.50	66.15	439.19	75.16	415.93	0.00	21.76	*	8.13	*	*
Y-8A	Yerköy Delice Irmağı	18	8.87	780	79.22	5.14	61.93	27.61	284.66	56.93	98.64	0.38	7.83	*	4.10	*	*
Y-9	Yerköy Güven Kaplıcası (MTA 1993)	47	7.4	11760	2100.00	60.00	821.00	61.00	55.00	4418.00	428.00	6.60	30.00	*	8.50	*	*
Y-10	Yerköy Çamur İlcası (MTA 1993)	45	7.12	17100	2900.00	70.00	1222.00	12.20	43.00	6700.00	359.00	7.40	22.00	*	11.30	*	*

* Belirlenme limitlerinin altında

Çizelge 5.1b. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Temmuz 2006).

Örnek No	Örnek Adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Konsantrasyon (ppm)												
					Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	B	SiO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄
Y-1B	Shell Mevkii	26.6	7.94	6970	1095.55	17.50	460.20	10.85	101.91	2048.56	792.59	3.52	16.35	*	*	*	*
Y-2B	Yerköy Koyunbaşıoğlu	41.2	7.79	19440	3745.38	102.47	1673.75	2.50	38.21	9380.05	270.58	9.18	22.80	*	*	*	*
Y-3B	Yerköy Kötüdağ Mevkii	15.7	7.28	2360	282.29	6.51	174.85	56.32	279.75	293.31	684.79	0.97	19.94	*	18.10	1.55	*
Y-4B	Çiçekdağ Bulamaçlı	43.8	6.93	7160	1357.48	91.68	220.92	10.27	817.44	2062.34	365.85	3.92	80.36	*	*	*	*
Y-5B	Yerköy Söğütlü Çeşme	19.9	7.52	678	70.87	1.03	60.80	14.44	254.76	21.272	46.76	0.22	15.26	*	39.73	0.81	*
Y-6B	Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi	26.4	7.53	860	101.29	1.29	68.09	19.70	410.72	18.74	66.35	0.32	13.83	*	23.60	1.25	*
Y-7B	Akpınar Köyü	13	7.48	1470	187.75	2.93	76.29	56.77	353.49	69.59	402.64	0.35	19.33	*	11.41	0.74	*
Y-8B	Yerköy Delice Irmağı	22.0	7.87	1130	116.76	7.01	81.29	33.02	222.92	136.71	163.70	0.41	12.15	*	4.40	*	*
Y-11**	Yerköy YK-2 Sıcaksu Kuyusu	54.5	8.51	16660	2905.91	77.90	1334.15	3.30	11.51	6812.34	316.37	6.98	19.89	*	8.01	*	*
Y-12***	Yerköy YK-3 Sıcaksu Kuyusu	56.2	8.24	13610	2242.99	63.85	929.85	3.85	60.51	5332.08	407.71	5.58	26.83	*	*	*	*
DK-4	Yağmur Suyu	10.9	8.18	120	0.29	0.32	5.96	0.14	16.00	0.49	3.16	0.00	0.00	*	0.79	0.46	*

* Belirlenme limitlerinin altında

* *Örnekleme tarihi: Mart 2006, ***Örnekleme tarihi: Temmuz 2006

Çizelge 5.1c. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Mart 2007).

Örnek No	Ornek Adı	T (°C)	pH	EC (µS/cm)	Konsantrasyon (ppm)												
					Na	K	Ca	Mg	HCO ₃	Cl	SO ₄	B	SiO ₂	NO ₂	NO ₃	NH ₄	PO ₄
Y-1C	Shell Mevkii	13.5	7.97	6574	919.38	16.69	419.07	10.21	119.49	1814.78	617.36	-	-	*	4.31	*	*
Y-2C	Yerköy Koyunbaşoğlu	40.6	7.56	19420	2721.17	82.76	1407.23	2.27	50.31	7162.13	191.20	-	-	*	*	*	*
Y-3C	Yerköy Kötüdağ Mevkii	14.6	7.21	1280	95.23	3.55	115.58	36.96	421.34	103.27	176.20	-	-	*	12.47	*	*
Y-4C	Çiçekdağ Bulamaçlı	44.0	6.41	6990	1225.61	85.01	256.77	10.98	962.17	1760.98	264.86	-	-	*	*	*	*
Y-5C	Yerköy Söğütlü Çeşme	14.5	7.45	647	62.99	0.92	56.29	12.79	314.43	18.07	33.47	-	-	*	31.26	*	*
Y-8C	Yerköy Delice Irmağı	11.6	8.12	1884	206.46	7.58	132.05	44.94	383.61	264.38	272.96	-	-	*	10.57	*	*

* Belirlenme limitlerinin altında

5.2. Suların Kimyasal Özellikleri

5.2.1. Majör İyonlar

Majör iyonlar, doğal sularda iyon içeriğinin %90' dan fazlasını oluşturan Na^+ , K^+ , Ca^+ , Mg^+ , HCO_3^- , Cl^- ve SO_4^- iyonlarıdır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların majör iyon analiz sonuçları Çizelge 4.1a-b-c'de verilmiştir. Analizleri yapılan bu iyonların açıklamaları ve dağılımları aşağıdaki şekildedir.

Sodyum (Na^+)

Sodyum, doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Bütün sodyum bileşikler suda kolayca çözünürler. Yeraltısularının doğal sodyum içeriği 6-130 ppm arasında değişmektedir. Suya tuzlu bir tad verdiğinden içmesularında 200 mg/l 'dan fazla sodyum istenmez. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler ve evaporitler sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir. Koyunbaşoğlu (Y-2) örneklerinde sodyum miktarı, 2721-3745 ppm, YK-2 ve YK-3 sıcak su kuyularında (Y-11, Y-12) 2243-2905 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı (Y-4) örneklerinde 1225-1357 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 62-109 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3 ve Y-7) 141-282 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 79-207 ppm, Shell mevki (Y-1) örneklerinde 919-1095 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 0.29 ppm değer vermektedir. Çalışma alanında, magmatik ve volkanik kayalar ile kıltaşı, ve evaporitli sedimanter birimlerin yaygın oluşu nedeniyle sodyum, sıcak su kaynaklarında hakim katyondur.

Potasyum (K^+)

Potasyum, alkali metaller grubundan bir metal olup, genellikle doğal suların hepsinde bulunur. Potasyum içeren başlıca mineraller feldispat, mika, feldispatoyid ve kil mineralleridir. Doğal sularda potasyum içeriği genelde 20 ppm'i aşmamaktadır. Ancak sıcak ve mineralli su kaynaklarında bu değer 100 ppm ye ulaşabilmektedir. Koyunbaşoğlu (Y-2) örneklerinde potasyum miktarı, 71-102 ppm, YK-2 ve YK-3 sıcak su kuyularında (Y-11, Y-12) 64-78 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 85-115 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0.9-2 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar

köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3 ve Y-7) 2-7 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 5-8 ppm, Shell mevki (Y-1) örneklerinde 16-20 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 0.32 ppm değer vermektedir.

Kalsiyum (Ca^{+2})

Kalsiyum, birçok magmatik kayaç minerallerinin, özellikle piroksen, amfibol ve feldispatların asıl bileşenidir. Tortul kayaçlarda kalsiyum genellikle kalsit, dolomit, aragonit, jips, anhidrit minerallerinde bulunur. Kalsiyum doğal sularda en bol bulunan katyonlardan biridir. Doğal sulardaki derişimi, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile yakından ilgilidir. Karbonatlı kayaçların bulunduğu bir bölgedeki sularda kalsiyum miktarı 100 ppm e kadar çıkabilir. Kalsiyum suların sertliğini oluşturan ana iyonlardandır.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu kalsiyum değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 1015-1674 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 929-1335 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 220-257 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 55-68 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 76-175 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 61-133 ppm, Shell mevki (Y-1) örneklerinde 419-461 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 5.96 ppm değer vermektedir. Yüksek kalsiyum derişimi bölgedeki karbonatlı ve jipsli formasyonlardan kaynaklanmaktadır.

Magnezyum (Mg^{+2})

Magnezyum, olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli mikaların önemli bileşenlerindendir. Ayrıca karbonat (dolomit) ve oksit (magnezit) halinde de bulunur. Magnezyum tuzları oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler. Doğal sularda 100 ppm e kadar değişen derişimlerde bulunan magnezyum, suların sertliğini oluşturan diğer bir iyonudur. Kalsiyum ve magnezyumun zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu magnezyumun değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 1-3 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 3-42 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 10-12 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş

çeşmesi (Y-5, Y-6) 12-20 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 36-67 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 27-45 ppm, Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 10-11 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 0.14 ppm değer vermektedir.

Alkalinite (HCO_3^- ve CO_3^{2-})

Suların alkalinitesi, içerdiği çözünmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötralleştirme kapasitesidir. Hemen hemen bütün doğal sularda, alkalinite karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-) ve hidroksit (OH^-) iyonlarından dolayı ortaya çıkmaktadır. Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doygün olmayan bölgede üretilen gazlardır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucu da karbondioksit oluşabilmektedir. Sudaki karbonat ve bikarbonat iyonlarının birbirine oranı, suyun pH ve CO_2 değerlerine bağlı olarak değişir. pH'ı 8.2 den düşük olan sularda bikarbonat iyonu hakimdir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu HCO_3^- değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 38-53 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 11-51 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 817-963 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 254-411 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 279-440 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 222-384 ppm, Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 101-131 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 16 ppm değer vermektedir.

Klorür (Cl^-)

Klorürün doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Klorür, esas olarak sedimanter kayaçlarda, özellikle evaporitlerde bulunur. Ayrıca, sodalit, biyotit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeylerde klorür iyonu bulunur. Kirlenmemiş doğal sularda klorür içeriği genellikle 10-20 ppm arasındadır. Bu değer yağışın klorür içeriği ile yakından ilişkilidir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu klorür değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 5813-9380 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12)

4836-6813 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 1757-2063 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 15-28 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 75-294 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 222-285 ppm, Shell mevki (Y-1) örneklerinde 1813-2049 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 0.49 ppm değer vermektedir. Yüksek klorür derişimi bölgedeki evaporitli (tuzlu ve jipsli) formasyonlardan kaynaklanmaktadır

Sülfat (SO_4^{-2})

Kükürt elementi, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda (başlıca, jips ve anhidrit) yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozunduklar zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçmektedir. TSE içme suyu standartlarında sülfat için önerilen miktar 400 ppm' dir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu sülfat değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 191-323 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 316-386 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 264-368 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 33-67 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 176-685 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 98-273 ppm, Shell mevki (Y-1) örneklerinde 597-793 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 3.16 ppm değer vermektedir. Yüksek sülfat derişimi bölgedeki evaporitli (tuzlu ve jipsli) formasyonlardan kaynaklanmaktadır.

5.2.2. Kirliliğe Yönelik Analizler (Besin Tuzları)

İnceleme alanında yer alan sıcak ve soğuk sularda kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH_4 , NO_2^- , NO_3^- ve PO_4^- analizleri yapılmıştır (Çizelge 4.1).

Amonyak (NH_3)

Amonyak formu, sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşigidir. Çözünmüş amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4) iyonlarından oluşmaktadır. Doğal sulardaki amonyak derişimleri genellikle 0.1 ppm'den daha düşüktür. Yeraltısularındaki

amonyak derişimi toprak tanelerinin ve kil minerallerinin adsorplanması nedeniyle daha düşüktür.

Amonyak içeren sularda bakteri üremesi nedeniyle dağıtım şebekelerinde bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır (McNeely et al., 1979). TSE standartlarına göre içme sularında amonyak bulunmamalıdır (TSE, 2005). Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli sular ile Shell mevki örneklerinin kimyasal analizleri sonucunda amonyum varlığına rastlanılmamıştır. Soğuk sularda ise Ekim 2005 döneminde amonyak varlığı olmamasına karşın Temmuz 2006 örneklerinden Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0,81 ve 1.25 ppm, Kötüdağ mevki ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 1.55 ve 0.74 ppm, Delice Irmağı örneğinde (Y-8) 0.88 ppm ve yağmur suyu örneğinde 0.46 ppm değer vermektedir.

Nitrit (NO_2^-)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşimidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrifikasyon) veya nitrat ve azot oksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir (McNeely et al., 1979). Nitrit insanlar ve hayvanlar için nitrattan daha fazla zehirleyicidir. Türkiye’de uygulanan standartlara göre, içme sularının nitrit içermemesi istenmektedir (TSE, 2005). Yapılan ölçümlerde çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk sularda nitrit varlığına rastlanılmamıştır.

Nitrat (NO_3^-)

Nitrat iyonu, sularda bulunan bağlı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Çoğu yüzey suları bir miktar nitrat iyonu içerir. Bununla birlikte, nitratın en önemli kaynaklarından biri insan ve hayvan atıkları olduğundan 5 ppm den fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olabilir (McNeely et al., 1979). Öte yandan, magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrata yerel olarak kaynaklık ederler.

Yüzey ve yeraltısularındaki nitrat çoğunlukla organik veya insan kaynaklıdır. Bozunan bitkisel ve hayvansal atıklar, endüstriyel atıksular, tarımda kullanılan gübreler, sulamadan dönen sular, atmosferik azotun yağışlarla yıkanması, yüzey ve yeraltısularındaki nitratı sağlayan başlıca kaynaklardır (Hem, 1985). Nitratın insan

sağlığı üzerine olan etkileri gözönünde tutularak Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve Türk Standartları Enstitüsü (TSE), içme sularında nitrat iyonunun 45 ppm'den daha az olması gerektiğini önermişlerdir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu YK-2 kuyusu örneği hariç nitrat varlığına rastlanmamıştır. YK-2 Kuyu örneğinde nitrat değeri (Y-11) 8.01 ppm olarak ölçülmüştür. Bu örnekteki nitrat varlığının kuyuda sondaj sırasında kullanılan sular ve çamur karışımıyla ilgili olduğu düşünülmektedir. Soğuk su örneklerindeki nitrat değerleri; Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 16-40 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 8-19 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 4-11 ppm arasında ve yağmur suyu örneğinde 0.79 ppm değer vermektedir. Shell mevkii (Y-1) örneklerinde de nitrat varlığına rastlanmamıştır.

Fosfat (PO_4^-)

Fosfor magmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde de oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'nin çok altındadır (Hem, 1985). Yüzey ve yeraltısularındaki fosfat, kayalardan ve topraktan, bozunan bitkisel ve hayvansal atıklardan, kullanılan gübrelerden kaynaklanabilir. Ortamda yeterli miktarda azot bulunduğunda 0.1 ppm üzerindeki fosfor derişimleri çamur oluşumuna ve alg çoğalmasına neden olarak suyun içme, endüstriyel ve banyo amacıyla kullanımını etkilemektedir (McNeely et al., 1979). TSE standartlarında fosfat için bir sınır verilmemiştir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk sularda fosfat varlığına rastlanılmamıştır.

5.2.3. Ağır Metal Analizleri

Doğal sularda bulunan bileşenlerin %90'nını oluşturan majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadırlar. Demir dışında diğer ağır metaller sularda genellikle 1 ppm'den daha düşük derişimlerde bulunur (Freeze and Cherry, 1979). Doğal sulara, evsel ve endüstriyel atıksular ve madencilik faaliyetleri atıkları aracılığı ile bazen önemli miktarlarda ağır metal katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısı da, sulardaki ağır metal içeriğinin kaynaklarından birini oluşturmaktadır. Çalışma alanında yer alan

sularda ağır metal olarak demir (Fe), mangan (Mn), bakır (Cu), krom (Cr), kurşun (Pb), nikel (Ni), kadmiyum (Cd) çinko (Zn) ve analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.2).

Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir alglerin yapısında bulunan bir element olarak bilinmektedir. Demir eksikliğinde organizmaların fotosentez hızı düşmektedir. Mangan ise, alglerin azot maddesi değişmesindeki rolü açısından önemli bir maddedir. Mangan alg büyümesini ve fotosentezi hızlandırmaktadır.

Magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta yaygın olarak bulunan bir element olan demir miktarının bazı termal kaynaklarda 10-100 ppm arasında değiştiği bildirilmektedir (McNeely et al., 1979). Türkiye'deki içme suyu standartlarında demir için önerilen üst sınır 0.3 ppm, izin verilebilen maksimum miktar ise 1 ppm' dir.

Çizelge 5.2. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su örneklerinin ağır metal analizleri.

Örnek No	Örnek Adı	Fe	Mn	Cu	Cr	Pb	Ni	Cd	Zn
Y-1A	Shell Mevkii	0.07	0.01	0.02	*	0.03	*	*	0.01
Y-2A	Yerköy Koyunbaşoğlu	0.13	0.21	0.03	*	0.21	*	*	0.04
Y-3A	Yerköy Kötüdağ Mevkii	0.03	0.01	*	*	*	*	*	*
Y-4A	Çiçekdağ Bulamaçlı	0.10	0.96	0.01	*	*	*	*	*
Y-5A	Yerköy Söğütlü Çeşme	0.02	*	*	*	*	*	*	0.01
Y-6A	Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi	0.01	0.01	*	*	0.05	*	*	*
Y-7A	Akpınar Köyü	0.04	0.01	*	*	0.03	*	*	0.01
Y-8A	Yerköy Delice Irmağı	0.14	0.02	0.01	*	*	*	*	0.01
Y-1B	Shell Mevkii	0.38	0.02	0.02	*	*	*	*	0.01
Y-2B	Yerköy Koyunbaşoğlu	0.24	0.20	0.02	*	*	0.01	*	0.01
Y-3B	Yerköy Kötüdağ Mevkii	0.20	*	0.01	*	*	*	*	*
Y-4B	Çiçekdağ Bulamaçlı	0.19	*	0.01	*	*	*	*	0.02
Y-5B	Yerköy Söğütlü Çeşme	0.04	*	*	*	*	*	*	*
Y-6B	Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi	0.06	*	*	*	*	*	*	*
Y-7B	Akpınar Köyü	0.26	*	0.01	*	*	*	*	0.01
Y-8B	Yerköy Delice Irmağı	0.38	0.02	0.01	*	*	*	*	0.02
Y-11	Yerköy YK-2 Sıcaksu Kuyusu	0.78	0.13	0.06	0.03	0.39	0.04	*	0.07
Y-12	Yerköy YK-3 Sıcaksu Kuyusu	0.41	0.20	0.02	*	*	0.01	*	0.02

* belirlenme limitlerinin altında

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu demir değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 0.13-0.24 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 0.78-0.41 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 0.10-0.19 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0.01-0.06 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 0.03-0.26 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 0.14-0.38 ppm ve Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 0.07-0.38 ppm arasında değerler vermektedir.

Mangan değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 0.20-0.21 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 0.13-0.20 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 0-0.96 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0-0.01 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 0-0.01 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 0.02 ppm ve Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 0.01-0.02 ppm arasında değerler vermektedir.

Bakır (Cu)

Bakır, yerkabuğundaki kayalarla doğal bakır veya bakır içeren sülfür ve karbonat mineralleri halinde bulunur. Bununla birlikte, bakır minerallerinin çözünürlükleri çok düşük olduğundan, sulardaki bakırın çok az bir kısmı doğal kökenlidir (Hem, 1985). Çeşitli sanayi atıklarından gelebilen bakır için TSE içme suyu standartlarında 1.0 ppm üst sınırını önermiştir. İzin verilebilir maksimum ise TSE'ye göre 1.5 ppm'dir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli suların kimyasal analizleri sonucu bakır değerleri; Koyunbaşıoğlu (Y-2) 0.02-0.03 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 0.02-0.06 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 0.01 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 0-0.1 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 0.01 ppm ve Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 0.02 ppm arasında değerler vermektedir.

Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan krom, kayalardan, endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm'nin altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağılı olarak bu derişim 0.2 ppm'ye kadar artabilmektedir. Türkiye'de içme suyu standartlarında krom içeriğı için önerilen üst sınır 0.05 ppm olarak verilmektedir. Çalışma alanında bulunan sulardan YK-2 kuyusu (0.03 ppm) hariç krom varlığına rastlanılmıştır.

Kurşun (Pb)

Birçok kayaç oluşturan mineralin asıl yapısında yeralan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta ve kayalardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sulardaki kurşun nadir olarak yüksek değerlere ulaşır. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için TSE, içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0.05 ppm derişimini önermiştir.

Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal analizleri sonucunda Ekim 2005 örneklerinden Shell Mevkii (Y-1) 0.03 ppm, Koyunbaşoğlu (Y-2) 0.21 ppm, Erol Erbaş Çeşmesi (Y-6) 0.05 ppm, Akpınar Köyü (Y-7) 0.03 ppm ve YK-2 kuyusu (Y-11) 0.39 ppm kurşun değerleri ölçülmüştür. Kötüdağ Mevkii (Y-3), Söğütlü Çeşme (Y-5), Delice Irmağı (Y-8) ve Çiçekdağ-Bulamaçlı (Y-4) örneklerinde ise kurşun varlığına rastlanmamıştır.

Nikel (Ni)

Nikel magmatik kayalarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve soğuk suların kimyasal analizleri sonucunda Koyunbaşoğlu (Y-2) Temmuz 2005 örneğı ile YK-2 ve YK-3 kuyularından alınan örnekler dışında nikel varlığına rastlanılmamıştır. Koyunbaşoğlu (Y-2) 0.01 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 0.04 ve 0.01 ppm olarak ölçülmüştür.

Kadmiyum (Cd) ve Çinko (Zn)

Kadmiyum yerkabuğunda eser miktarda bulunan ve özellikleri çinkoya benzeyen bir elementtir. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm daha azdır. Bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'ye kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir

(McNeely et al., 1979). Çalışma alanında yer alan sıcak ve soğuk sulara kadmiyum varlığına rastlanılmamıştır.

Doğal sulara bulunan çinko genellikle, suyun temasta olduğu kayalardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübreden ve atmosferden kaynaklanabilir. Çalışma alanında bulunan sıcak suların kimyasal analizleri sonucu çinko değerleri; Koyunbaşoğlu (Y-2) 0.01-0.04 ppm, YK-2 ve YK-3 kuyularında (Y-11, Y-12) 0.07-0.02 ppm, Çiçekdağ Bulamaçlı kaplıcası (Y-4) örneklerinde 0-0.02 ppm arasında değişmektedir. Soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) 0-0.01 ppm, Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyularından alınan örneklerde (Y-3, Y-7) 0-0.01 ppm, Delice Irmağı örneklerinde (Y-8) 0.01-0.02 ppm ve Shell mevkii (Y-1) örneklerinde 0.01 ppm değer vermektedir.

5.3. İnceleme Alanındaki Suların Kökeni

İnceleme alanından derlenen soğuk sular ile sıcak ve mineralli sular için yapılan kimyasal analiz sonuçları ile bölgedeki su kaynaklarının kimyasal özellikleri ve litoloji ile olan ilişkileri incelenmiştir. Bu amaçla, yapılan kimyasal analiz sonuçlarından hazırlanan Schoeller ve Piper diyagramları ile soğuk su kaynaklarının birbirleriyle ve sıcak sularla olan benzerlik ve farklılıkları belirlenmiştir.

5.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre hakim iyon sıralaması ve bu sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri Çizelge 5.3 de gösterilmiştir.

İyon karakteristiklerine göre çalışma alanındaki sıcak suların hepsinde (Y-2, Y-4, Y-9, Y-10, Y-11, Y-12) hakim katyon Na+K ve hakim anyon Cl olup Na-Cl tipi sular sınıfındadır. Bu durum bölgedeki sıcak suların evaporitli formasyonlarla temasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca Y-1 nolu soğuk su kaynağı da sıcak sularla aynı iyonik içeriğe sahiptir.

Çizelge 5.3. İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk suların iyon sıralaması

Örnek No	Kaynak	Katyon Sıralaması	Anyon Sıralaması	Su Tipi
Y-1	Shell Mevkii	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl
Y-2	Koyunbaşoğlu	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl
Y-3	Kötüdağ Mevkii	Na+K>Ca>Mg Ca> Na+K>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl SO ₄ >Cl>HCO ₃	Na-HCO ₃ Na-SO ₄ Ca-HCO ₃
Y-4	Çiçekdağ Bulamaçlı	Na+K>Ca>Mg	Cl>HCO ₃ >SO ₄	Na-Cl
Y-5	Söğütlü Çeşme	Na+K>Ca>Mg Ca> Na+K>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na- HCO ₃ Ca-HCO ₃
Y-6	Erol Erbaş Çeşmesi	Na+K>Ca>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na- HCO ₃
Y-7	Akpınar Köyü	Na+K>Mg>Ca	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Na-SO ₄
Y-8	Delice Irmağı	Na+K>Ca>Mg	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na- HCO ₃
Y-9	Güven Kaplıcası (MTA 1993)	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl
Y-10	Çamur Ilıcısı (MTA 1993)	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl
Y-11	YK-2 Sıcaksu Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl
Y-12	YK-3 Sıcaksu Kuyusu	Na+K>Ca>Mg	Cl>SO ₄ >HCO ₃	Na-Cl

Y-3 kuyu suyu örneklerinde hakim katyon Ekim 2005 ve Temmuz 2006 dönemlerinde Na+K iken Mart 2007 döneminde Ca' dur. Ayrıca, bu kuyunun Ekim 2005 ve Mart 2007 örneklerinde hakim anyon HCO₃ iken Temmuz 2006 döneminde hakim anyon SO₄ iyonudur. Bu sular Na-HCO₃, Na-SO₄ ve Ca-HCO₃ olmak üzere üç farklı su tipini yansıtmaktadır.

Y-5 nolu kaynak suyu örneklerinde de hakim katyon Ekim 2005 ve Temmuz 2006 dönemlerinde Na+K iken Mart 2007 döneminde Ca' dur. Anyon sıralamasına göre ise hakim anyon her üç dönemde de HCO₃ iyonu olup bu sular Na-HCO₃ ve Ca-HCO₃ tipi sular olarak sınıflandırılmıştır.

Sığ dolaşımli yeraltısuyunu temsil eden Y-3 ve Y-5 nolu örneklerin su tiplerinin dönemsel değişimi, kurak dönemde yağış suyundan gelen katkının azalmasıyla Na+K ve SO₄ iyonlarınca zenginleşmelerinden kaynaklanmaktadır.

Y-6 soğuk suları ile Delice ırmak (Y-8) su örneklerinde hakim katyon Na+K ve hakim anyon HCO₃ olup Na-HCO₃ tipi sulardır.

Y-7 nolu soğuksu örneğinde ise hakim katyon Na+K ve hakim anyon SO₄ olup Na-SO₄ tipi sular sınıfındadır.

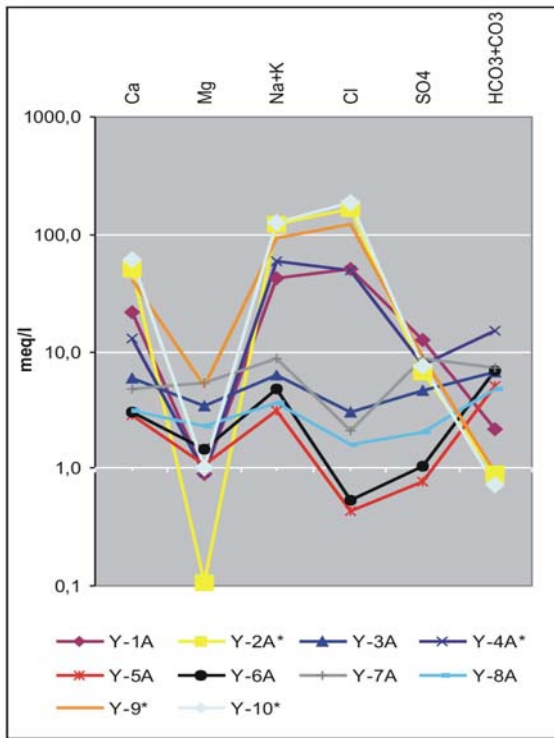
5.3.2. Schoeller Diyagramı

Bölgedeki sıcak su kaynaklarının birbirleriyle ve soğuk su kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi amacıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 5.1).

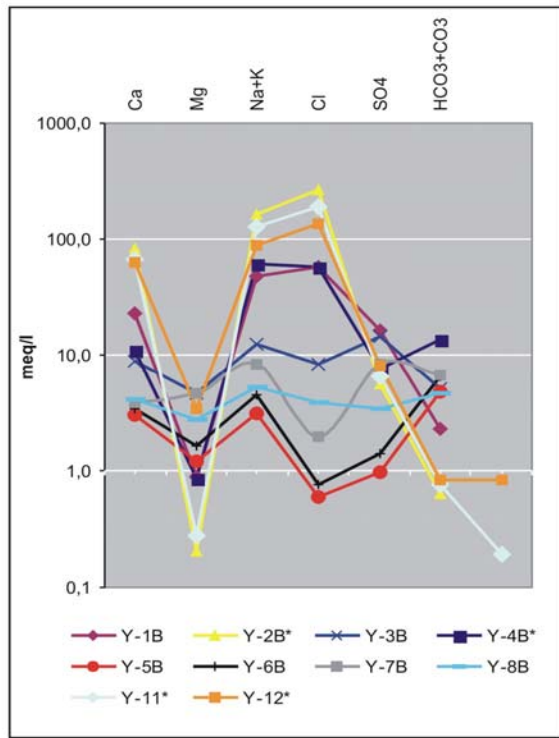
Schoeller diyagramında sular 2 ayrı grup oluşturmaktadır. Sıcak ve mineralli su kaynakları (Y-2, Y-9, Y-10, Y-11 ve Y-12) ve Shell mevki soğuk su kaynağı (Y-1) diğer sulardan belirgin şekilde ayrılmaktadır (Şekil 5.1). Bu sular Na-Cl içeriği yüksek tuzlu sular olarak sınıflandırılmıştır. Diyagrama göre çizgilerin birbirine paralel olması bu suların benzer kökenli beslenime ve hazneye sahip olduklarını göstermektedir.

Çalışma alanındaki soğuk su kaynak ve kuyuları da birbirine benzer bir paralellik içermekle birlikte sığ dolaşım sistemine sahip olan Y-5 ve Y-6 soğuk su kaynaklarının, Y-3 ve Y-7 soğuk su kuyuları ile Delice Irmağı sularına (Y-8) oranla daha az iyon derişimine sahip olduğu görülmektedir.

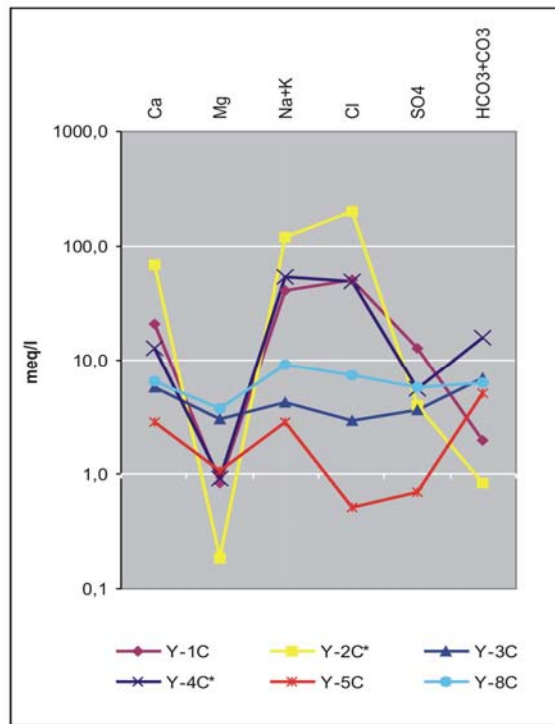
Bulamaçlı sıcak ve mineralli su kaynağı (Y-4) ise diğer sıcak su kaynaklarına oranla daha az Na-Cl içeriğine sahiptir. Daha düşük iyonik derişime sahip olması bu kaynağın diğer sıcak sulara oranla su-kayaç etkileşiminin daha az olabileceğini göstermektedir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.1. Çalışma alanında yeralan a) Ekim 2005, b) Temmuz 2006 ve c) Mart 2007 dönemi sularının Schoeller diyagramı.

5.3.3. Piper Diyagramı

Piper diyagramı anyon ve katyonların % meq/l cinsinden gösterildiği iki ayrı üçgen ve tüm iyonların ortaklaşa gösterildiği bir eşkenar dörtgenden oluşmaktadır. Üçgen diyagramlar suların hidrokimyasal fasiyes tiplerinin görülmesinde, dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada, Piper diyagramı kullanılarak, çalışma alanındaki sıcak ve soğuk suların sınıflandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması, ayrıca litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçlerinin ve dönemsel farklılıklarının açıklanması amaçlanmıştır (Şekil 5.2a-b-c).

Piper diyagramlarına göre bölgedeki sular 4 ayrı grup oluşturmaktadır:

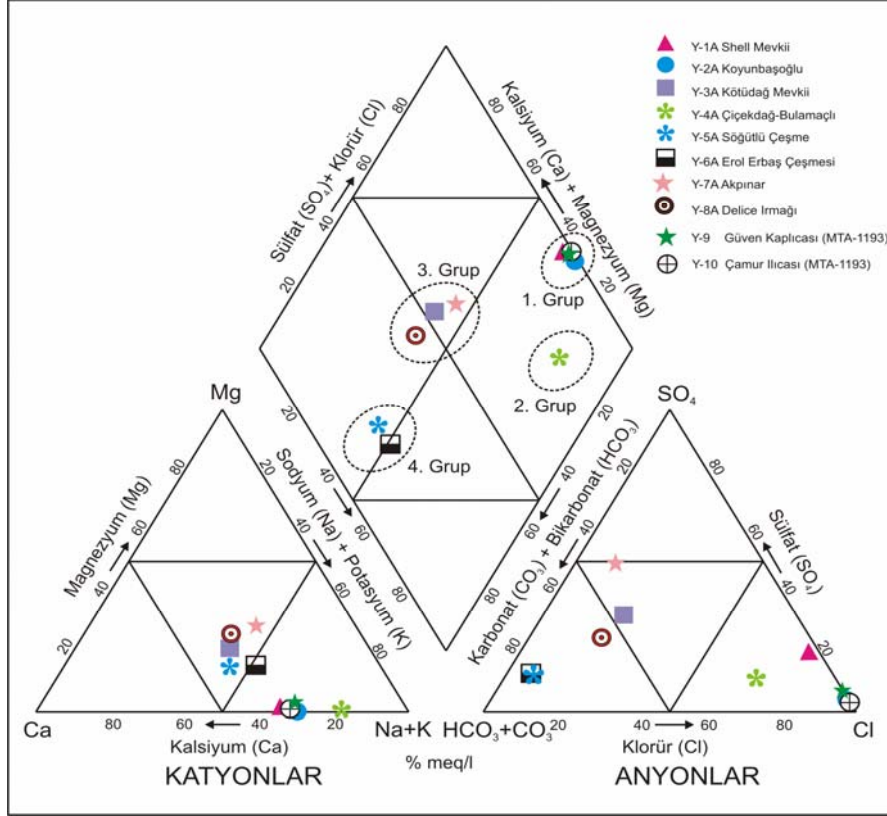
1. grup; çalışma alanındaki sıcak ve mineralli sular (Y-2, Y-9, Y-10, Y-11, Y-12) ile Yerköy Shell mevkiinde bulunan Y-1 kaynak suyunu kapsamaktadır. Bu sular her üç dönemde de ileri derecede tuzlanmış sular sınıfında yer almaktadırlar.

2. grup; Çiçekdağı'nda bulunan Bulamaçlı sıcak ve mineralli su kaynağı (Y-4) da tuzlu sular sınıfında yer almakta fakat diğer sıcak ve mineralli su kaynaklarından farklı bir grup oluşturmaktadır. Bu kaynağın diğer sıcak ve mineralli sulara göre soğuk sularla daha fazla seyrelmiş olduğu anlaşılmaktadır.

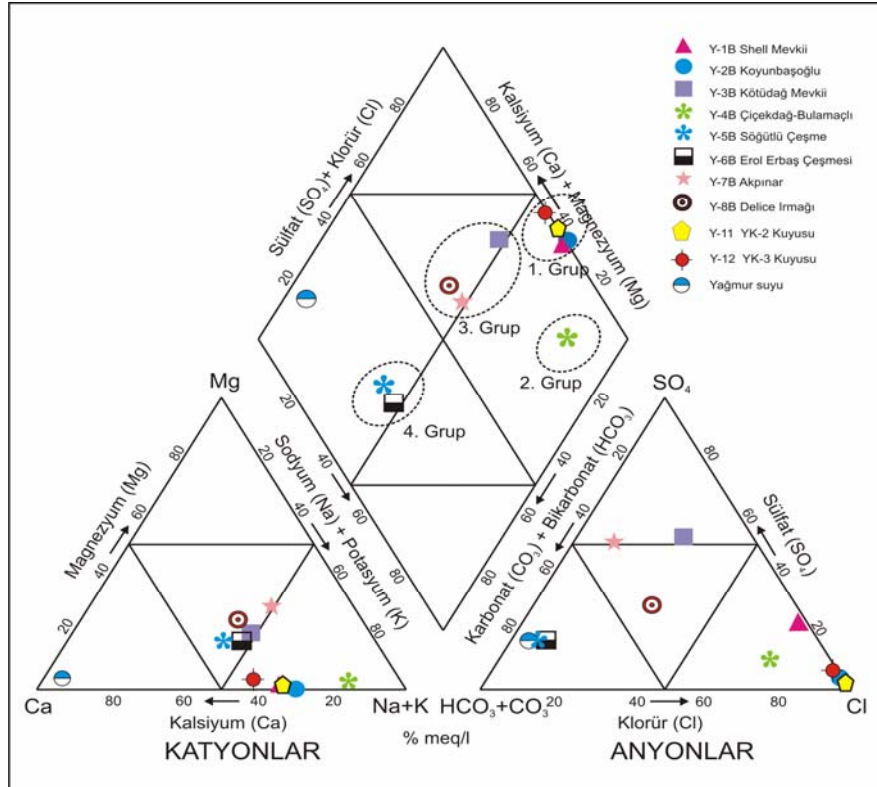
Soğuk sular; kaynak ve kuyu suları olmak üzere iki ayrı grup (3. ve 4.) oluşturmaktadır.

3. grup; Kötüdağ mevkii ve Akpınar köyündeki içme suyu kuyuları örnekleri (Y-3, Y-7) ile Delice Irmağından alınan örnekleri (Y-8) kapsamaktadır. Piper diyagramına göre, Kötüdağ mevkii ve Delice Irmağı örneklerinin, Temmuz 2006 döneminde yağış suyundan kaynaklanan iyonik katkı oranının azalması ile Ekim 2005 ve Mart 2007 dönemlerine göre SO_4 iyonunca zenginleştikleri görülmektedir. Ayrıca Mart 2007 döneminde yağışlarla birlikte Ca iyonunca bir zenginleşme söz konusudur.

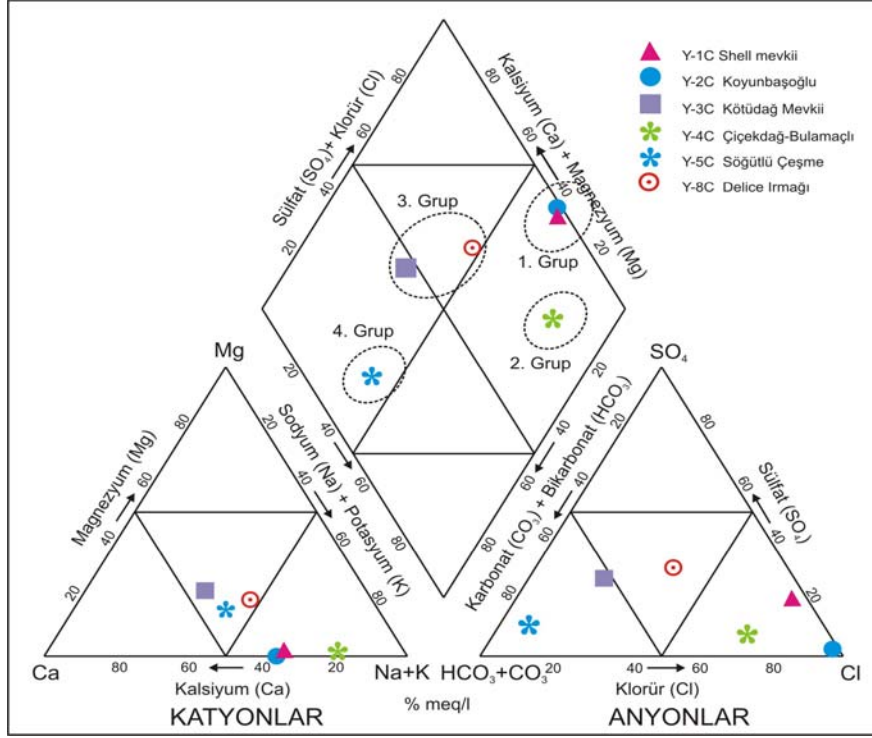
4. grup; soğuk su kaynaklarından Söğütlü çeşme ve Erol Erbaş çeşmesi (Y-5, Y-6) örneklerini kapsamaktadır. Bu sular genel olarak Na-Ca- HCO_3 tipi sular sınıfına girmektedirler. Diyagramlar incelendiğinde, bu sularda dönemsel olarak bir değişim görülmemektedir.



Şekil 5.2a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Ekim 2005 dönemi Piper diyagramı.



Şekil 5.2b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz 2006 dönemi Piper diyagramı



Şekil 5.2c. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Mart 2007 dönemi Piper diyagramı.

Kuyu suları (3.Grup) kaynak sularına (4.Grup) göre daha derin dolaşım (su-kayaç etkileşim süresi fazla) sistemine sahip olduklarından daha fazla iyon içeriğine sahiptirler.

Bölgeden alınan yağmur suyu örneği ise Ca-HCO₃ 'lı sular sınıfında olup alandaki diğer soğuk ve sıcak sulardan ayrı bir grup oluşturmaktadır (Şekil 5.2b).

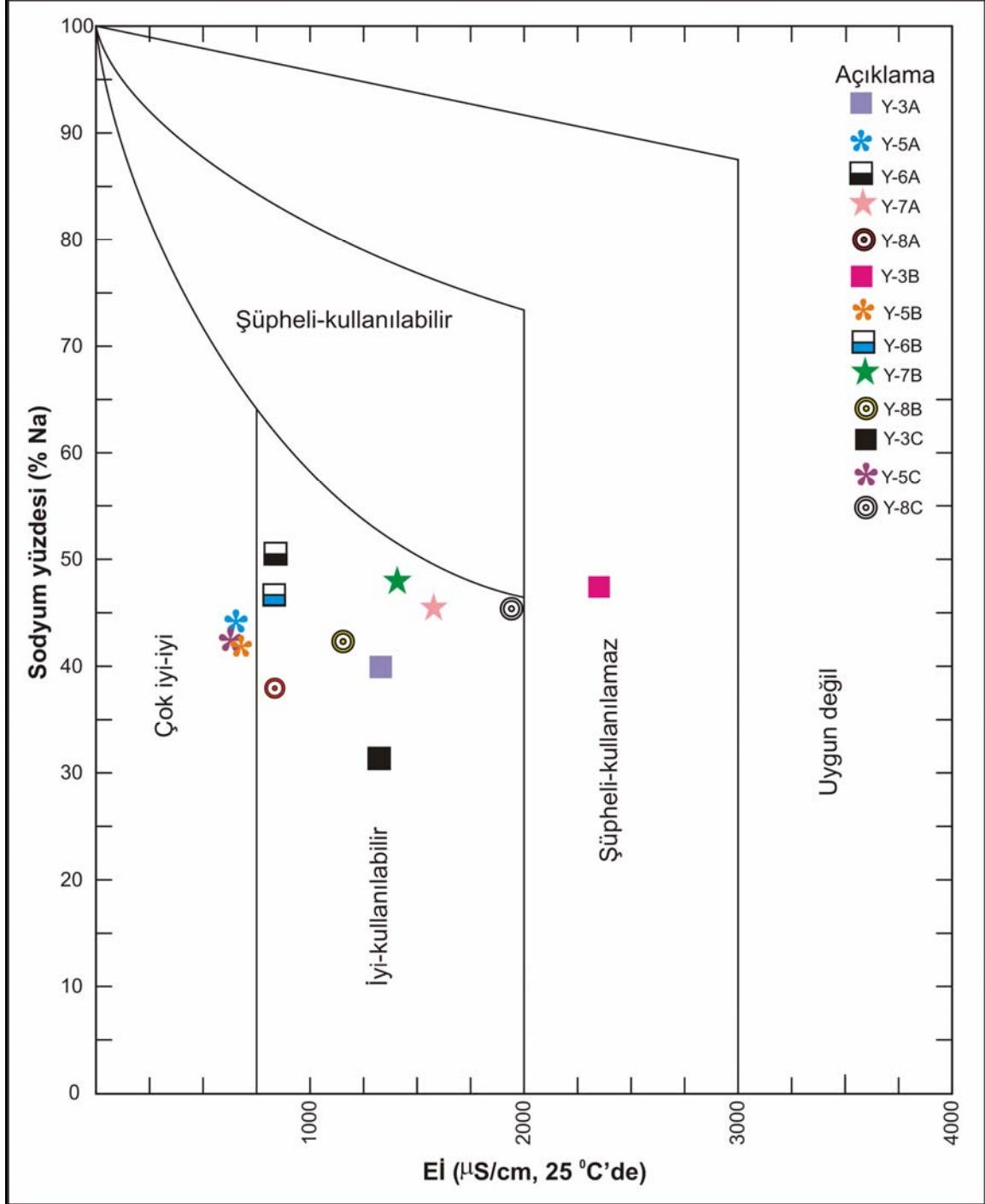
5.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması

Yerköy Güven hamamı ve dolayındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının tarımda sulama suyu olarak kullanımı ABD Tuzluluk Laboratuvarı sistemi ve Wilcox grafik sistemine göre değerlendirilmiştir.

5.4.1. Wilcox Diyagramı

Wilcox diyagramında, Sodyum yüzdesi (%Na) ve Elektriksel iletkenlik (Eİ) mikroSiemens/cm (μ S/cm) değerleri suların sulama suyu olarak kullanımı için Çok İyi - İyi Kullanılabilir, Şüpheli Kullanılabilir, Şüpheli Kullanılamaz ve Uygun Değil gibi bölümleri kapsamaktadır. Yerköy bölgesinde yer alan yüksek derecede tuzluluk gösteren sıcak ve mineralli su kaynakları ile Y-1 kaynağı haricindeki soğuk su

kaynaklarının diyagram üzerinde kümelenmeleri değerlendirildiğinde; Soğuk su kaynakları (Y-3, Y-5, Y-6, Y-7 ve Y-8) az tuzluluk (Eİ: 6200-1630 $\mu\text{S/cm}$) ve düşük sodyum yüzdesine sahip oldukları, dolayısıyla Çok İyi – İyi Kullanılabilir bölgede yer aldıkları belirlenmiştir (Şekil 5.3). Kötüdağ mevki kuyu suyu Temmuz 2006 dönemi örneği (Y-3B) ise Şüpheli-Kullanılamaz sular sınıfında yer almaktadır.



Şekil 5.3. Çalışma alanındaki suların Wilcox diyagramı.

5.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde sodyum (Alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve Eİ (Elektriksel iletkenlik) değerleri işaretlenmiştir (Şekil 5.4). ABD Laboratuvarı diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamı şu şekildedir:

C1: Az tuzlu suları göstermektedir. Eİ değeri 0-250 $\mu\text{S/cm}$ arasındadır. Çoğu topraklarda her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir.

C2: Orta derecede tuzlu suları göstermektedir. Eİ değeri 250–750 $\mu\text{S/cm}$ arasındadır. Orta derecede bir yıkama varsa, tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

C3: Yüksek tuzlu, Eİ değeri 750- 2250 $\mu\text{S/cm}$ arasında suları göstermektedir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitki seçilerek ve tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir.

C4: Çok yüksek tuzlu, Eİ değeri 2250 – 5000 $\mu\text{S/cm}$ arasında suları ifade etmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek geçirgenlik, çok iyi drenaj, tam yıkamayı sağlayacak kadar bol sulama ve tuzluluğa çok dayanıklı bitki seçimi gibi özel hallerde kullanılabilir.

S1: Az sodyumlu suyu göstermektedir. Bu sınıftaki bir su, sodyum tehlikesi yaratmaksızın kullanılabilir.

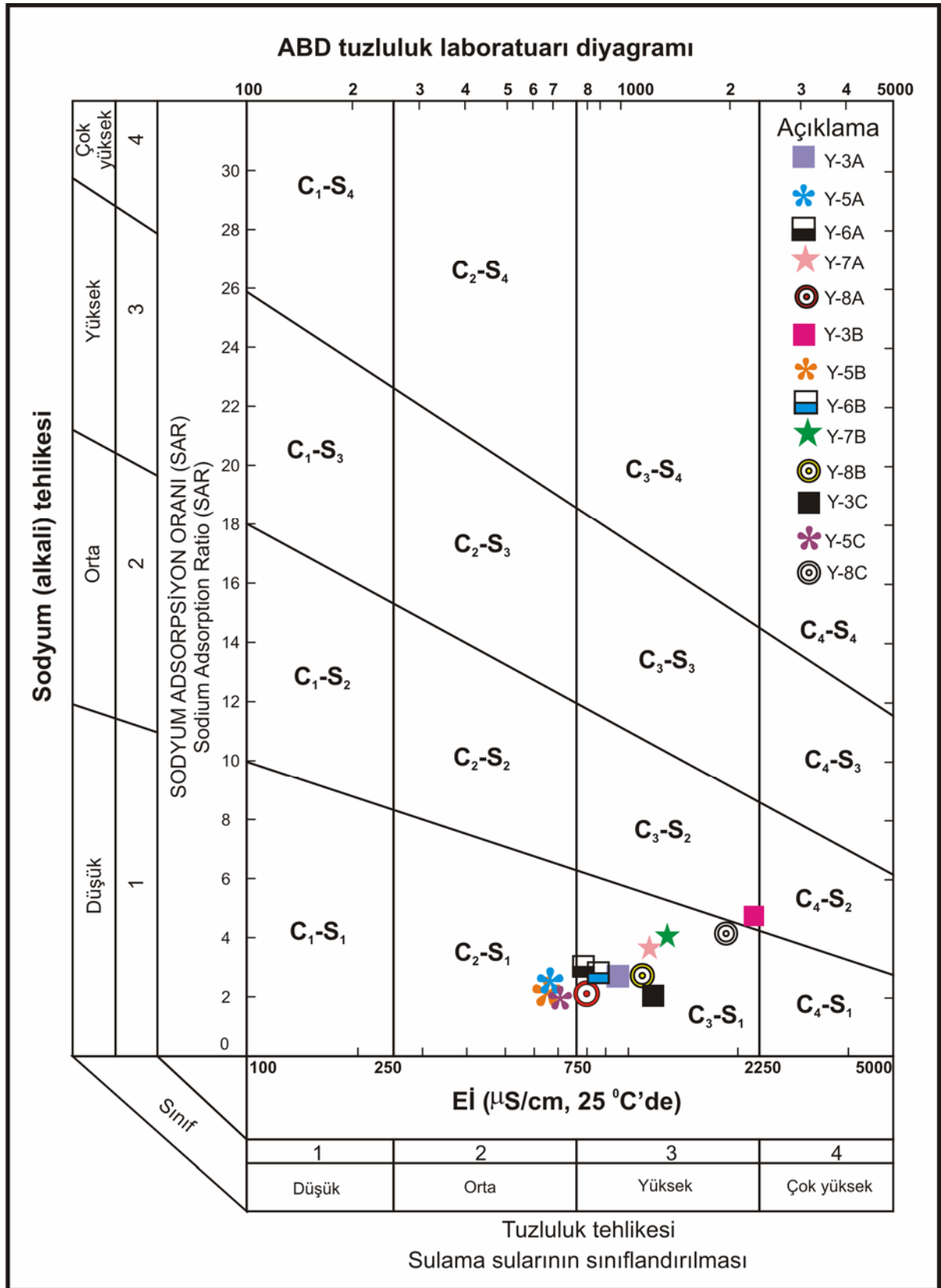
S2: Orta sodyumlu suyu temsil eder. Fazlaca derişebilir sodyum var demektir. İnce yapılı topraklarda, özellikle jips yönünden fakir topraklarda, önemli bir sodyum tehlikesi gösterebilir.

S3: Yüksek sodyumlu suları gösterir. Birçok toprakta sodyum tehlikesi yaratır, sodikleşmeye yolaçar. Bol jipsli topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katmak üzere kullanılırsa sodyum tehlikesi önlenir.

S4: Çok yüksek sodyumlu suları ifade eder. Sulama amaçlarına uygun değildir. Ancak tuzluluğun orta ve düşük olması, jipsle birlikte kullanılarak suda kimyasal değişiklikler yapılması gibi çok özel bazı hallerde kullanılabilir.

Çalışma alanındaki soğuk suların, ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı üzerindeki dağılımlarının değerlendirilmesine göre: Y-5 nolu soğuk su kaynağı nispeten düşük Eİ değeri ile C2-S1, yüksek Eİ değerleri nedeniyle Y-6, Y-7 ve Y-8 nolu soğuk su kaynakları C3-S1 sınıfında yer almaktadırlar. Y-3 nolu kuyu suyunun Ekim dönemi örneği (Y-3A) C3-S1 sınıfında yer alırken Temmuz dönemi örneği (Y-3B) C3-S2 sınıfına dahil olmaktadır.

Bölgede yeralan sıcak ve mineralli sular ile Shell mevkiinden alınan soğuksu örneği çok yüksek tuzluluk içerdiğinden, gerek ABD Tuzluluk gerekse Wilcox diyagramları üzerinde yer almamaktadır. Dolayısıyla, sıcak suların doğrudan tarımda kullanılması uygun olmayacaktır. Sıcak suların konut veya sera ısıtmacılığında kullanılması halinde atık suların yeraltına reenjeksiyonu zorunlu olmalıdır.



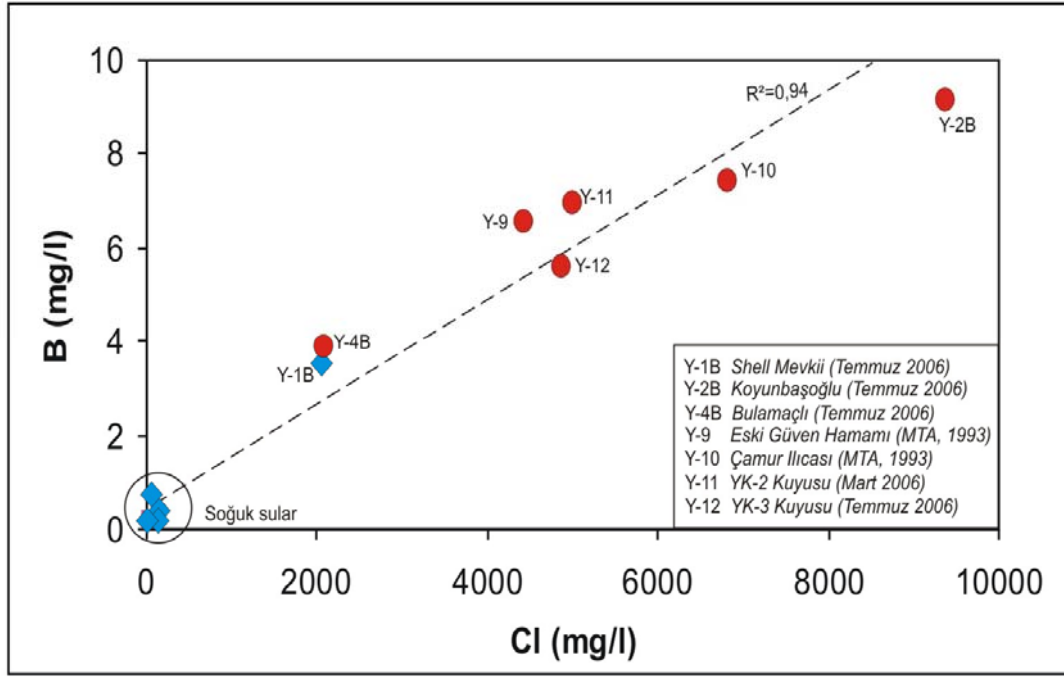
Şekil 5.4. Çalışma alanındaki suların ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.

5.5. Soğuk Su Karışım Süreçleri

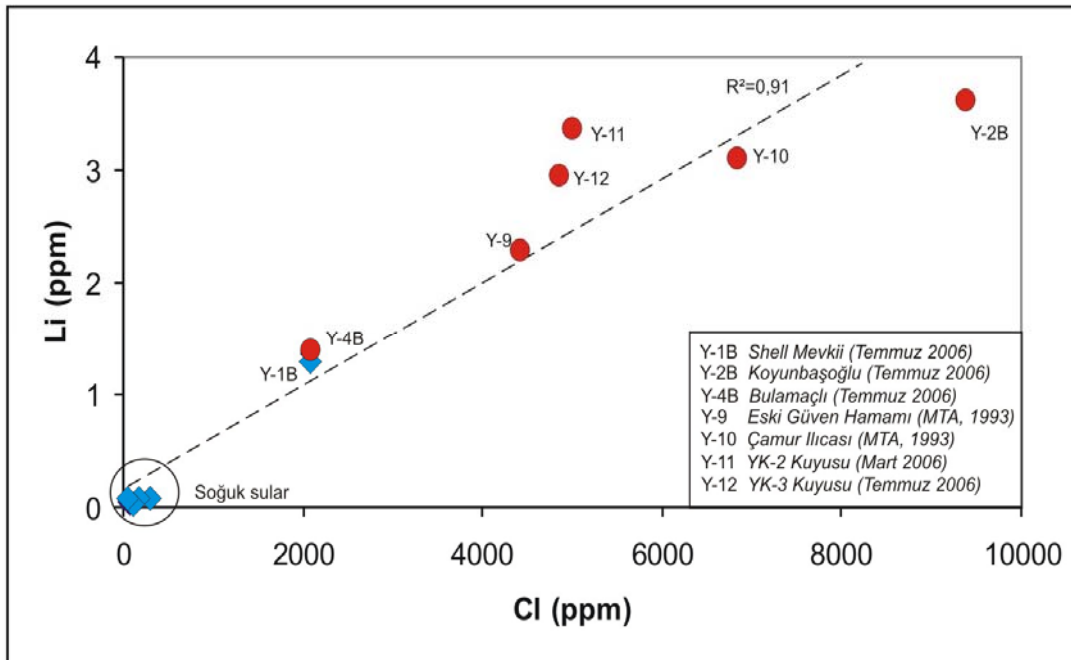
Jeotermal akışkan yüzeye çıkarken kondüktif soğuma ve soğuk su karışımı nedeniyle soğumaktadır. Bu akışkan, daha düşük iyonik bileşime sahip soğuk yeraltı suyuyla karıştığında seyrelir ve kimyasal yapısında değişiklikler olur.

Bu süreç, yeraltısularında korunumlu olarak kabul edilen Cl, B ve Li elementleri ile incelenmiştir. Cl-B derişimleri ile hazırlanan Şekil 5.5a incelendiğinde bölgedeki sıcak ve mineralli suların (YK-2 ve YK-3 kuyusu, eski Güven kaplıcası ve Çamur ılıcası ve Bulamaçlı kaynağı) Koyunbaşoğlu örneği ve soğuk sular arasında olabilecek bir karışım doğrusu üzerinde yer aldığı görülmektedir. Bu karışım eğilimi Li-Cl grafiğinde de gözlenmektedir (Şekil 5.5b).

Klorür-Eİ grafiği ayrıca çalışma alanındaki sıcaksuların dönemsel olarak değişimlerinin yorumlanması için de incelenmiştir (Şekil 5.6). Grafiğe göre, Koyunbaşoğlu kaynağının Temmuz döneminde (Y-2B) yağış suyunun azalmasıyla iyonik içeriğinde göreceli olarak bir artış gözlenmektedir. Aynı durum Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı için de geçerlidir. Sıcak suların dönemsel değişimleri bu suların bölgedeki sığ akifer sularıyla etkileşiminden kaynaklandığını göstermektedir.

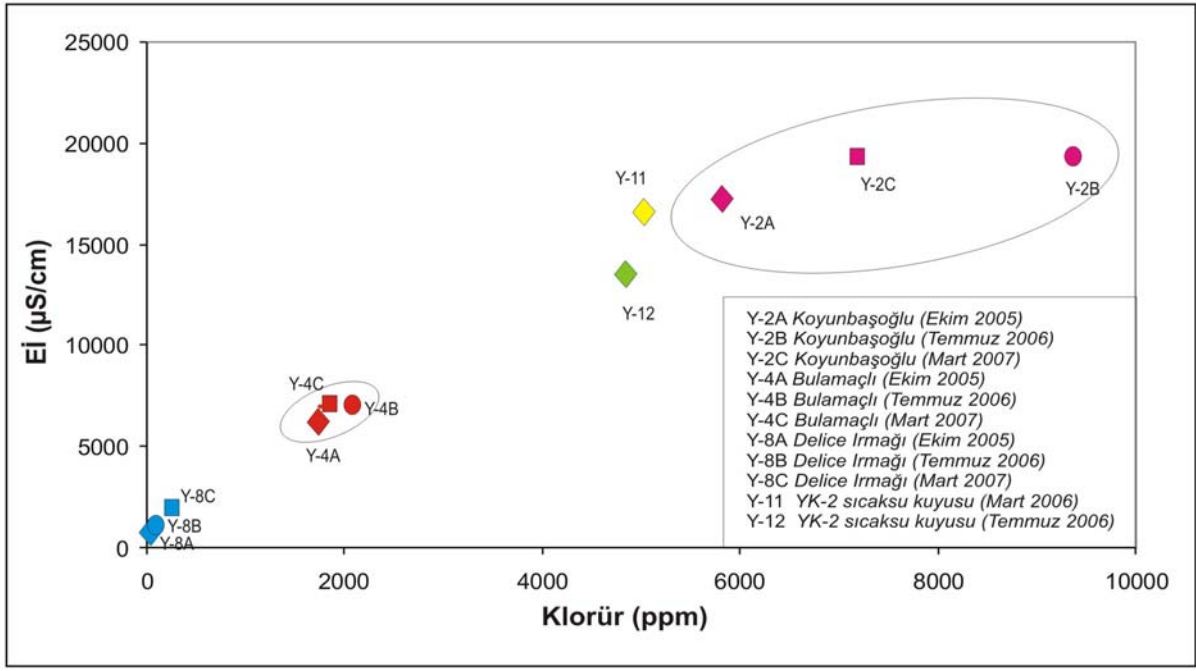


(a)



(b)

Şekil 5.5. Çalışma alanındaki su kaynaklarının a) Cl-B ve b) Cl-Li ilişkisi (Temmuz 2006 dönemi)



Şekil 5.6. Sıcak su kaynaklarının dönemsel değişimlerini gösteren Klorür -EI diyagramı

5.5.1. Entalpi-Silis Karışım Modeli

Çalışma alanındaki sıcak ve mieralli suların soğuk su karışmamış ilksel sıcaklık değerlerinin tahmini için entalpi-silis karışım modeli uygulanmıştır (Şekil 5.7). Bu model üç temel varsayıma dayanır; i) karışım sonrasında sıcaklık kaybı yoktur, ii) kuvarsin çözünürlüğü haznedeki akışkanın silis içeriğini kontrol eder, iii) akışkan hazneden ayrıldıktan ve soğuk su ile karışımı gerçekleştikten sonra silis çökeli mi veya çözünümü yoktur. Burada yeralan üçüncü varsayımın gerçekleşmemesinden dolayı hatalar olabilmektedir. Nitekim bu çalışmada da (silis jeotermometreleri bölümünde belirtileceği gibi) düşük silis değerleri akışkan yüzeye çıkarken ve/veya örneklemeden sonra silis çökeli mi olduğuna işaret etmektedir.

Diyagramda soğuk su uç örneği olarak Delice Irmağının SiO_2 ve entalpi değerleri (A noktası) alınmıştır (Şekil 5.7). Yerköy bölgesindeki sıcaksuların SiO_2 ve entalpi değerleri birbirine yakın olduğundan bu suları temsil eden ortalama değer olarak B noktası ve ayrıca Çiçekdağ Bulamaçlı sıcaksu kaynağı SiO_2 -entalpi değerleri için de D noktası alınmıştır. Sıcak ve soğuk suları ifade eden karışım suyu (AB ve AD) doğrularının diyagramdaki kuvars çözünürlük eğrisini kestiği noktalar (C ve E) işaretlenmiş ve bu noktaların x ekseninde kestiği entalpi değerleri ile bu entalpi

değerleri için verilen sıcaklık değerleri belirlenmiştir. Diyagrama göre Yerköy sıcaklıkları için entalpi değeri 410 J/g olup 98 °C ilksel sıcaklık değeri vermektedir. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı ise 580 J/g entalpi değeriyle 138 °C ilksel sıcaklık değeri vermiştir. Silis-entalpi diyagramı ayrıca sıcak ve soğuk su karışım oranlarının belirlenmesinde kullanılmıştır. Diyagrama göre;

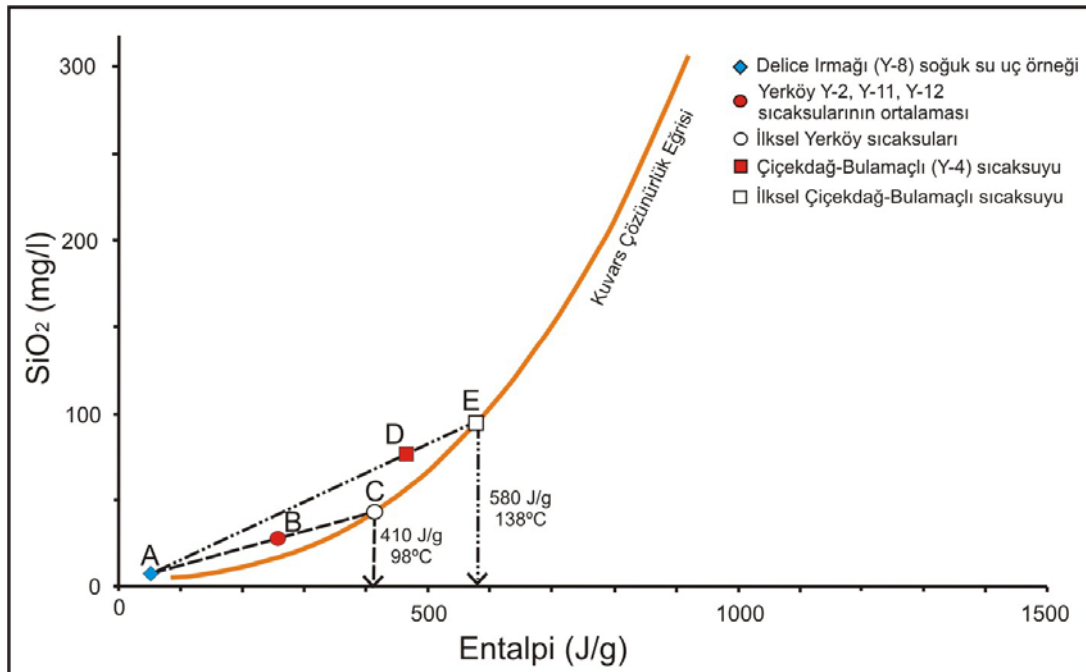
Yerköy sıcak ve mineralli suları için karışım oranları;

Sıcaksu, $100 \cdot AB/AC = \%57$; soğuk su, $\%43$

Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı karışım oranları,

Sıcaksu, $100 \cdot AD/AE = \%79$; soğuk su, $\%21$ olarak hesaplanmıştır.

Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağının diğer sıcaklıklara oranla daha yüksek silis derişimi içermesi bu kaynağın daha yüksek entalpi ve sıcaklık değerleri vermesine neden olmuştur. Yüksek silis içeriğinin ise bu sistemde karışımından önce veya sonra silis çökeliminin diğer sıcak sulara oranla daha az olması veya olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum, Bulamaçlı kaynağının, entalpi-silis karışım modeli ile hesaplanan soğuk su karışım oranının (Klorür-Eİ diyagramıyla hesaplanan orana göre) oldukça az hesaplanmasına neden olmuştur.



Şekil 5.7. İnceleme alanındaki su kaynakları için oluşturulan Entalpi-SiO₂ diyagramı

5.6. Jeotermometre Uygulamaları

Yüzeye erişen termal suların sıcaklıkları, akifer içindeki sıcaklıklarından daha düşüktür. Termal suyun yüzeye çıkarken temas ettiği kayaçlarla ısı alışverişi yapması ve soğuk yeraltı suları ile karışımı gibi süreçler suların sıcaklıklarının azalmasında başlıca etkenlerdir. Termal suyun akifer içindeki sıcaklığının tahmin edilmesi amacıyla kaynak ve kuyulardan alınan örneklerin kimya ve izotop analizlerinden yararlanılarak kimyasal ve izotopik jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Kimyasal jeotermometreler alınan örneklerin silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranlarına, izotop jeotermometreleri ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişime dayalıdır.

Bu çalışmada sadece silis ve katyon kimyasal jeotermometre hesaplamaları kullanılarak rezervuar sıcaklıkları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Kimyasal jeotermometreler, rezervuar koşulları altındaki mineral ve su arasındaki sıcaklığa bağlı kimyasal denge üzerine geliştirilmiştir. Bu jeotermometrelerin kullanımı suyun yüzeye çıkışı boyunca kimyasal bileşiminin korunduğu varsayımına dayanır.

5.6.1. Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığa bağlı çözünürlüğüne dayalıdır. Kuvars, kristobalit, kalsedon ve amorf silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 5.4). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin her biri farklı sıcaklık aralıkları için geçerlidir. Kuvars çözünürlüğü, sıcaklığı 120-180°C'den daha yüksek olan jeotermal rezervuarlarda çözünmüş silisi kontrol eder (Fournier, 1991). Daha yüksek sıcaklıklarda akifer kayaçtan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelimi gözlenmektedir. Sıcaklığı 180°C'den az olan jeotermal sistemlerde ise kuvarstan çok kalsedon ile bir denge söz konusudur. Bu nedenle sıcaklığı 180°C'den düşük olan jeotermal sistemlere kalsedon jeotermometresi, 180°C'den daha yüksek jeotermal sistemlerde ise kuvars jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmektedir (D'Amore and Arnórsson, 2000).

Çalışma alanından alınan sıcak su örnekleri için silis jeotermometre eşitlikleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 5.5.' de sunulmuştur.

İnceleme alanından alınan örneklerin kimyasal analizleri sonucu elde edilen silis derişimleri düşük değerler vermekte olup dönemsel olarak önemli bir farklılık göstermemektedir (Çizelge 5.5).

Çizelge 5.4. Silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO₂ derişimidir).

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Sıcaklık Aralığı	Referans
1	Kuvars	$t^{\circ}\text{C} = -42.2 + 0.28832S - 3.6686 \times 10^{-4} S^2 + 3.1665 \times 10^{-7} S^3 + 77.034 \log S$	25-900	Fournier and Potter (1982)
2	Kuvars (buhar kaybı yok)	$T^{\circ}\text{C} = (1309 / (5.19 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier (1977)
3	Kuvars (100°C'de Maks.buhar kaybı)	$T^{\circ}\text{C} = (1522 / (5.75 - \log S)) - 273.15$	25-250	Fournier (1977)
4	Kuvars	$t^{\circ}\text{C} = -55.3 + 0.36559S - 5.3954 \times 10^{-4} S^2 + 5.5132 \times 10^{-7} S^3 + 74.360 \log S$	0-350	D'Amore and Arnórsson (2000)
5	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$T^{\circ}\text{C} = (1032 / (4.69 - \log S)) - 273.15$	0-250	Fournier (1977)
6	Kalsedon (buhar kaybı yok)	$t^{\circ}\text{C} = (1112 / (4.91 - \log S)) - 273.15$	25-180	Arnórsson et al. (1983)

Düşük silis derişimleri sıcak suyun yüzeye çıkarken soğuması sonucu meydana gelen silis çökelimiyle açıklanabileceği gibi örnekleme aşamasında yapılan hatalardan da kaynaklanabilir. Bu çalışma kapsamında alınan sıcak su örnekleri seyreltilmemiş olup bu durumun örnekleme sonrasında silis polimerleşmesi ve çökelimine neden olduğu düşünülmektedir. Çiçekdağ Bulamaçlı kaynağının Yerköy Güven hamamı bölgesindeki sıcak sulara oranla yüksek silis derişimine sahip olması bu kaynağın başka bir sıcak su sistemini temsil etmesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 5.5. Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.

Örnek No	Örnek Adı	SiO ₂ (ppm)	Jeotermometre Eşitliği (°C)					
			1	2	3	4	5	6
Y-2A	Koyunbaşıoğlu Ekim 2005	23.62	70	70	75	55	*	*
Y-2B	Koyunbaşıoğlu Temmuz 2006	22.80	70	70	73	54	*	*
Y-4A	Çiçekdağ-Bulamaçlı Ekim 2005	73.09	121	120	118	107	92	92
Y-4B	Çiçekdağ-Bulamaçlı Temmuz 2006	80.36	126	125	123	113	97	97
Y-9	Eski Güven Kaplıcası MTA 1993	30.00	80	79	83	65	*	*
Y-10	Eski Çamur Ilıcası MTA 1993	22.00	67	67	72	52	*	*
Y-11	Yerköy YK-2 Sıcaksu Kuyusu Mart 2006	19.89	63	63	69	58	*	*
Y-12	Yerköy YK-3 Sıcaksu Kuyusu Temmuz 2006	26.28	75	74	78	60	*	*

*kaynağın ölçülen değerinden düşük veya eşit değer

Kuvarsa dayalı 1,2,3 ve 4 no'lu jeotermometreler ile Bulamaçlı kaynağı için 107-126 °C aralığında ve Yerköy jeotermal alanı için 60-83 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları elde edilmiştir. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitlikleri (5 ve 6 no'lu eşitlikler) ile Yerköy jeotermal alanı için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları kaynağın ölçülen değerlerinden daha düşük değerler vermektedir. Bulamaçlı kaynağı için ise 92-97 °C sıcaklık aralığı hesaplanmıştır. 2006 yılında Yerköy'de açılan YK-3 nolu kuyuda 650 m de 72 °C ölçülmüş olması kalsedon jeotermometre eşitliği ile hesaplanan değerlerin ölçülmüş değerlere göre daha düşük olduğunu göstermektedir.

5.6.2. Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine dayalı jeotermometrelerdir. İyon değişimi sıcaklığa bağlı olan tepkime denge sabitinin (K) bir fonksiyonudur. İyon değişimine uğramış katyon derişimleri oranı, denge sabitinin sıcaklığı bağlı değişimine bağlıdır.

Soğuk su karışımı, sıcak suyun yükselimi sırasındaki su-kayaç etkileşimi gibi akışkanın kimyasal bileşimi üzerinde etkin olan süreçler nedeni ile katyon jeotermometreleri özellikle sıcak su kaynakları için farklı rezervuar sıcaklıkları vermektedirler. Bu nedenle, sondaj kuyularından üretilen akışkanlar dışında bu eşitliklerin rezervuar sıcaklığı tahmininde uygulanması uygun görülmemektedir. Katyon jeotermometreleri için türetilen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 5.6' da verilmiştir. Bu eşitlikler ile Yerköy jeotermal alanı için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 5.7' de sunulmuştur.

Katyon jeotermometrelerinden Na-K jeotermometrelerinin, genelde uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Na-K iyon değişim tepkimesine dayalı jeotermometre eşitlikleri (Çizelge 5.6, 1-8 nolu eşitlikler) ile Yerköy bölgesindeki sular 77-149 °C rezervuar sıcaklığı türetmişlerdir. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı için bu değerler 149-224 °C arasında hesaplanmıştır (Çizelge 5.7).

Çizelge 5.6. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Referans
1	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (856 / (0.857 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Truesdell (1976)
2	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (833 / (0.780 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Tonani (1980)
3	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (933 / (0.993 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Arnórsson et al. (1983)
4	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (1319 / (1.699 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Arnórsson et al. (1983)
5	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (1217 / (1.483 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Fournier (1979)
6	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (1178 / (1.470 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Nieva and Nieva (1987)
7	Na – K	$T^{\circ}\text{C} = (1390 / (1.750 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	Giggenbach (1988)
8	Na - K ^a	$t^{\circ}\text{C} = 733.6 - 770.551Y + 378.189Y^2 - 95.753Y^3 + 9.544Y^4$	D'Amore and Arnórsson (2000)
9	Na - K - Ca ^d	$t^{\circ}\text{C} = (1647 / (\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta[\log(\sqrt{\text{Ca}}/\text{Na}) + 2.06] + 2.47)) - 273.15$	Fournier and Truesdell (1973)
10	K-Mg	$T^{\circ}\text{C} = (4410 / (14 - \log(\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15$	Giggenbach (1988)

^aY= log ([Na]/[K]) ; ^blog(K²/Mg)>1.25 ; ^clog(K²/Mg)<1.25;

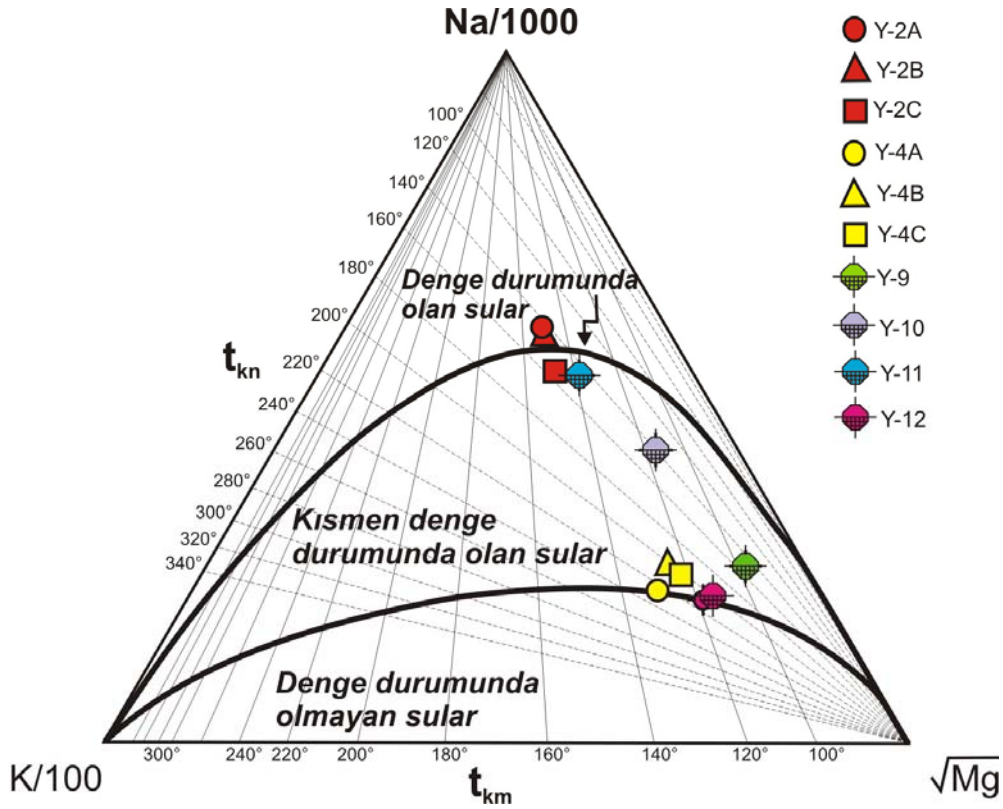
^dt°C>100 °C ise β=1/3, t°C<100 °C ise β=4/3, t°C<100 °C ve [log (√Ca/Mg)+2.06] <0 ise β=1/3

Çizelge 5.7. Çalışma alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (°C).

Örnek Adı	Jeotermometre Eşitliği (°C)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9 ($\beta=4/3$)	10
Y-2A	77	78	88	128	123	112	143	111	117	151
Y-2B	81	82	92	131	126	115	146	114	122	152
Y-2C	87	90	99	137	133	121	152	120	114	146
Y-4A	177	183	185	207	208	195	224	192	169	131
Y-4B	149	154	158	187	185	173	203	170	163	125
Y-4C	151	156	160	188	188	175	205	172	153	121
Y-9	83	85	95	134	129	118	149	117	112	87
Y-10	73	74	84	125	119	108	140	108	112	114
Y-11	79	81	91	130	125	114	145	113	114	138
Y-12	83	85	94	133	129	117	149	117	112	129

Na-K-Mg jeotermometre eşitlikleri (Çizelge 5.6, 10 nolu eşitlik) jeotermal suların akifer sıcaklıklarının yanı sıra suların temasta olduğu mineraller ile denge durumlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır (Şekil 5.8). Bu amaçla Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg jeotermometresi ile hem sıcaqsuların hazne sıcaklığı hemde katyon jeotermometrelerinin rezervuar sıcaklığının hesabı için jeotermal suya uygulanıp/uygulanamayacağı veya güvenilir sonuçlar verip vermeyeceği kontrol edilebilmektedir. Giggenbach (1988)'e göre “olgun olmayan-denge durumunda olmayan” seyreltilmiş sularda K-Na arasındaki denge sıcaklığının kullanılarak değerlendirme yapılmasının uygun olmadığını, “olgun sular-denge durumunda olan sular” hattında ve üzerinde yeralan jeotermal sulara uygulanan katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuç vereceğini belirtmiştir.

Na-Mg-K üçgeninde Yerköy jeotermal alanı içerisindeki sıcak sularından Y-2 “denge durumunda olan sular”, Çiçekdağ Bulamaçlı (Y-4), Yerköy eski Güven Hamamı (Y-9), Yerköy eski Çamur Ilıcısı (Y-10), YK-2 Kuyusu (Y-11) ve YK-3 Kuyusu (Y-12) “kısmen denge durumunda olan sular” bölümünde yer almaktadır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8. Sıcak sular için oluşturulmuş Giggenbach (1988) diyagramı

K-Mg jeotermometresi (Çizelge 5.6, 10 nolu eşitlik) ile Yerköy için 87-152 °C, Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı için 125-169 °C aralığında sıcaklık değerleri hesaplanmıştır.

Bölgede yer alan kayaçların mineral bakımından zengin olması nedeniyle jeotermometre uygulamaları sonucunda elde edilen rezervuar sıcaklık değerlerinin gerçek değerinden daha yüksek değerler vermektedir. Çizelge 5.7’ de görüldüğü gibi özellikle Na-K jeotermometre eşitlikleri yüksek rezervuar sıcaklıkları türetmişlerdir. Na-K ve K-Mg iyon değişim tepkimelerinin yüksek sıcaklık değerleri türetmesi bölgedeki kaynakların kondüktif soğuma ile birlikte sıg yeraltısularından etkilendiğini göstermektedir.

5.6.3. Mineral denge yaklaşımı

Jeotermal sistemin rezervuar sıcaklıklarının tayin edilmesinde kullandığımız jeotermometreler, rezervuar koşulları altındaki mineral ve su arasındaki sıcaklığa bağlı kimyasal denge üzerine geliştirilmiş olup bu jeotermometrelerin kullanımı suyun yüzeye çıkışı boyunca kimyasal bileşiminin korunduğu varsayımına dayanmaktadır. Ancak bu varsayım her zaman geçerli değildir. Minerallerin ve sulu türlerin termodinamik özellikleri sıcaklık ve basınçla değişirler. Ancak alterasyon minerallerinin denge sabitlerinin değişiminde basıncın etkisi oldukça sınırlıdır. Bu nedenlerle, her bir su için sıcaklığın bir fonksiyonu olan hidrotermal mineraller (kuvars, kalsedon, alkali feldspatlar, kalsit, anhidrit, florit ve/veya zeolit gibi) ile denge durumları arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi amacıyla sıcaklık-mineral denge diyagramı geliştirilmiştir (Reed and Spycher, 1984).

Mineral denge diyagramları, suyun kimyasal analizi sonucunda belirlenen mineraller ile bu minerallerin çeşitli sıcaklıklardaki ayrı ayrı doygunluk indekslerinin hesaplanması ile oluşturulmuştur.

Su-mineral denge durumu kısaca doygunluk indisi (Saturation Index: SI) her mineral için özellikle sıcaklık ve kısmen de basınçla değişir. Termodinamik yöntemlerle hesaplanan mineral doygunluk indisi sonuçları aşağıdaki gibi yorumlanmaktadır.

SI = 0 ise su ile ilgili mineral dengededir

SI > 0 ise su ilgili mineralle aşırı doygunudur (mineral çöktürücü özelliktedir)

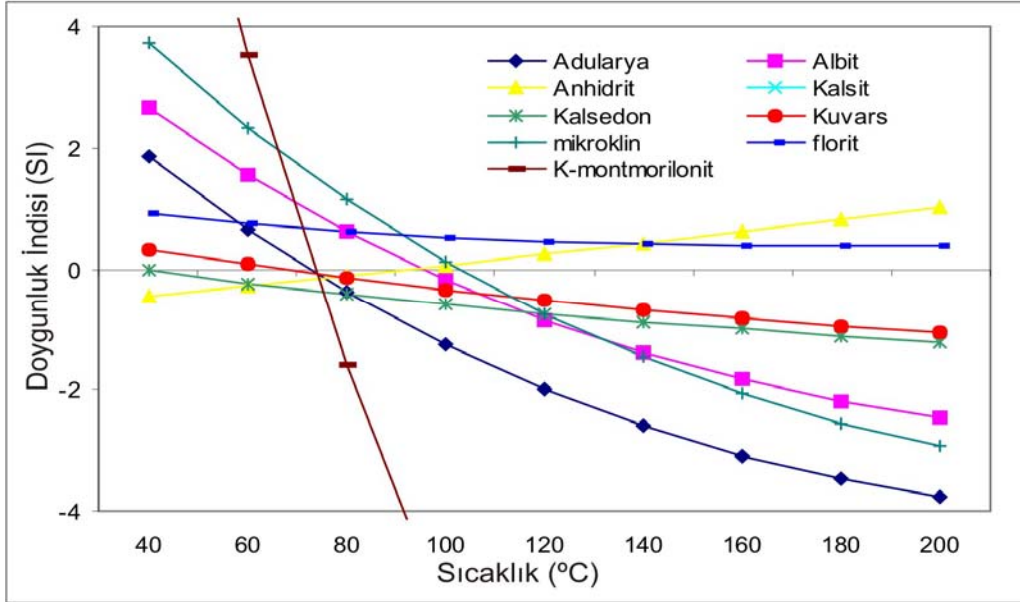
SI < 0 ise su ilgili mineralle doygun değildir (mineral çözücü özelliktedir).

Mineral denge diyagramları, bir grup mineral doğrusu, denge doğrusunu (SI=0) belli bir sıcaklık değeri civarında kesiyorsa bu doğruların kesişim yerine karşılık gelen sıcaklık değerinin en iyi akifer sıcaklığını verdiği şeklinde yorumlanır.

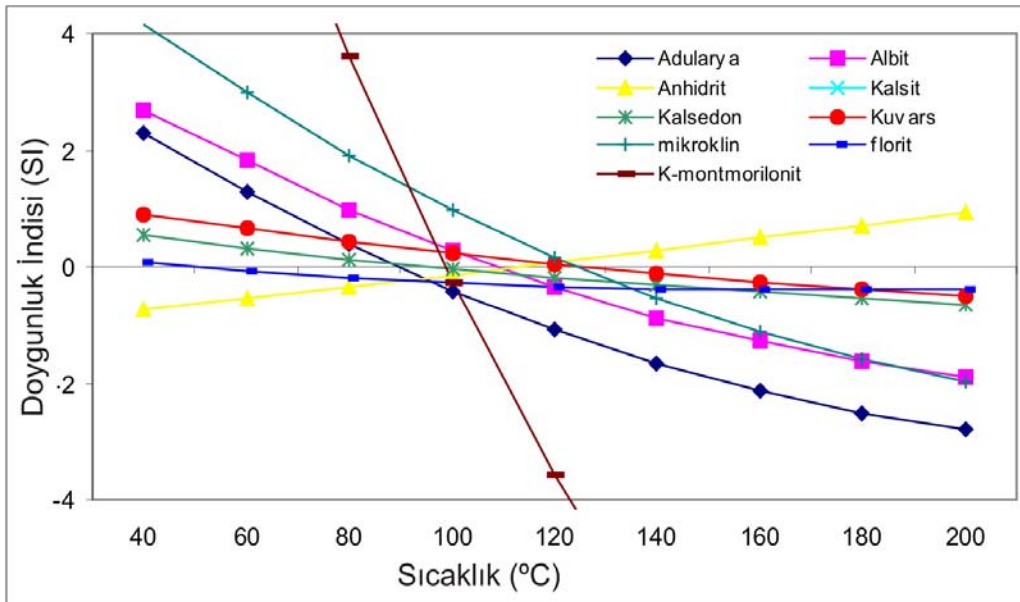
Mineral denge hesaplamaları Watch (Bjarnason, 1994) bilgisayar programı kullanılarak hesaplanmıştır. Bölgedeki sıcak sulardan Bulamaçlı kaynağı ile Koyunbaşıoğlu, YK-2 ve YK-3 kuyuları için oluşturulmuş olup diyagramlarda, çalışma alanında çökel ürünü olarak en çok rastlanabilecek mineraller kullanılmıştır (Şekil 5.9a-b-c-d).

Diyagramlara göre, Koyunbaşıoğlu örneği için yaklaşık denge durumu 80-100 °C, Bulamaçlı kaynağı için 100-140 °C, YK-2 kuyusu için 60-80 °C ve YK-3 kuyusu için 60-

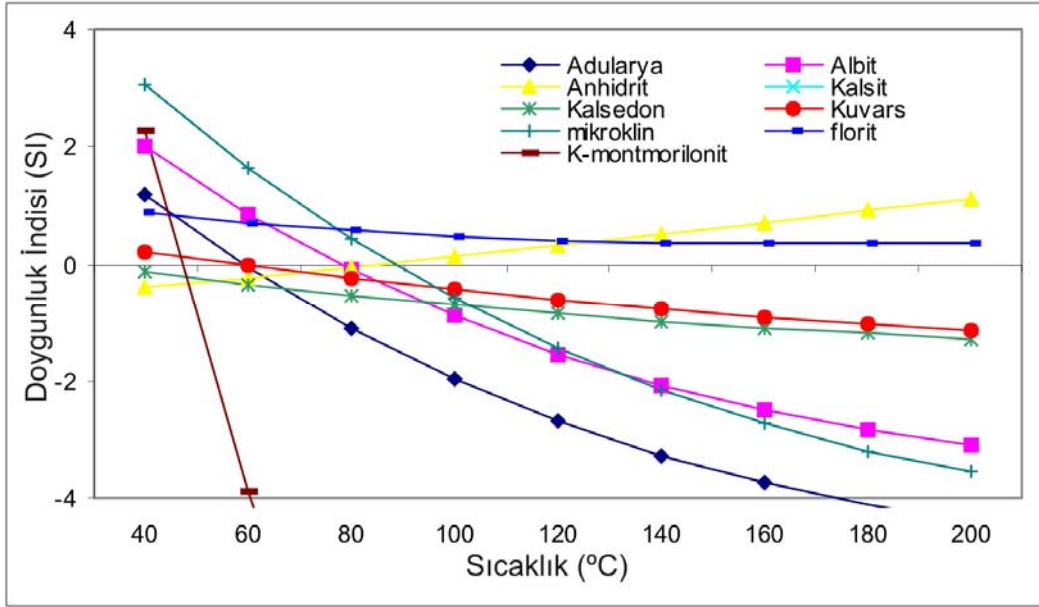
100 °C olarak belirlenmiştir. Kalsit doygunluğu dört diyagramda da pozitif tarafta kaldığından gösterilememiştir. Ancak mineral dengesine dayalı bu sonuçların sağlıklı yorumlanması için soğuk su karışımının olmaması gerekmektedir. Bölgedeki sıcak ve mineralli su kaynaklarında ise yüzeye çıkarken soğuk sularla bir karışım söz konusu olduğundan bu sonuçlar bir yaklaşım olması açısından değerlendirilmiştir.



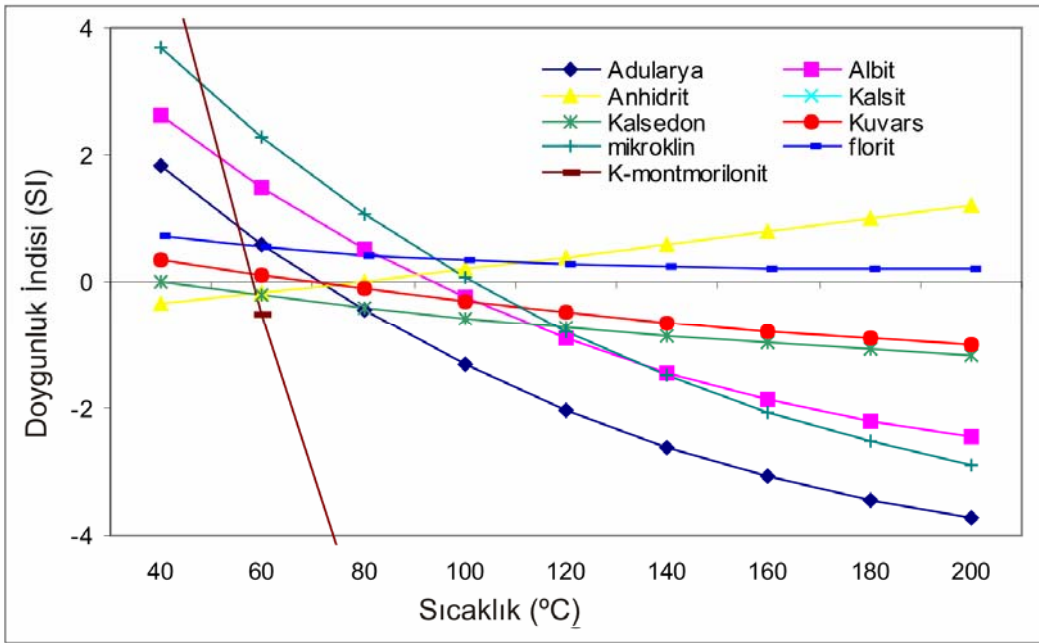
Şekil 5.9a. Koyunbaşıoğlu (Y-2) örneği mineral denge diyagramı (Temmuz 2006)



Şekil 5.9b. Çiçekdağ-Bulamaçlı(Y-4) örneği mineral denge diyagramı (Temmuz 2006)



Şekil 5.9c. Yerköy YK-2 kuyusu (Y-11) mineral denge diyagramı (Mart 2006)



Şekil 5.9d. Yerköy YK-3 kuyusu (Y-12) mineral denge diyagramı (Temmuz 2006)

Diyagramlar incelendiğinde Yerköy bölgesindeki sıcaksuların kuvars ve kalsedon formundaki silis minerallerine doymun oldukları görülmektedir. Bu veriler, bölgede açılmış olan kuyu litolojileri de dikkate alındığında akifer litolojisinin magmatik ve/veya volkanik kökenli kayaçların olması gerektiğini desteklemektedir. Bu suların denge diyagramlarında görüleceği gibi kuvars mineralleri ile albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve K-feldspat gibi magmatik kayaçları oluşturan başlıca minerallere doymun olmaları akifer kayacın olasılıkla granit ve/veya riyalit olabileceğini yansıtmaktadır. Çiçekdağ-Bulamaçlı

kaynağı kalsedon ve kuvars mineralleri ve albit ve mikroklin gibi feldspatlarla denge durumundadır.

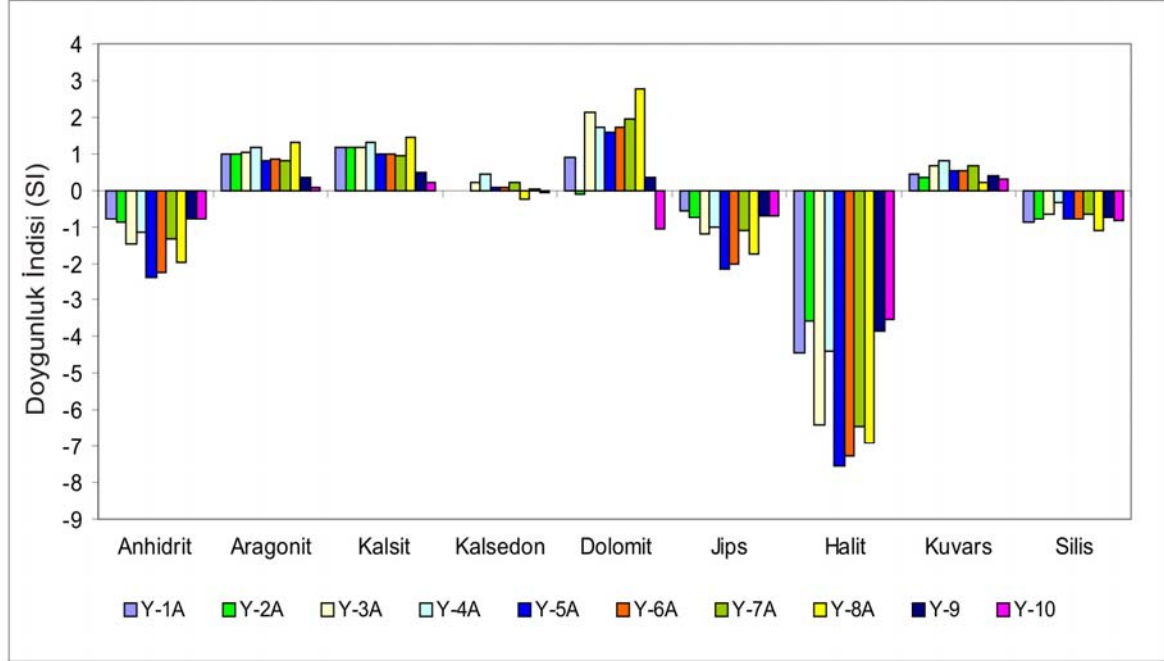
Ayrıca çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, dolomit, jips, halit, kuvars ve silis minerallerine göre doygunluk durumu incelenmiş ve PHREEQC (Version 2) programı kullanılarak hesaplanan doygunluk indisi (SI) değerleri Çizelge 5.8’de sunulmuştur. Suların mineral doygunluk durumlarının hesaplanması yeraltısularında oluşan kimyasal tepkimeler, hidrokimyasal ortam ile bu suların üretim ve iletimi aşamasında oluşabilecek kabuklaşma ve korozyon problemlerinin önceden tahmin edilebilmesi için açısından önem taşımaktadır.

Çizelge 5.8. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri

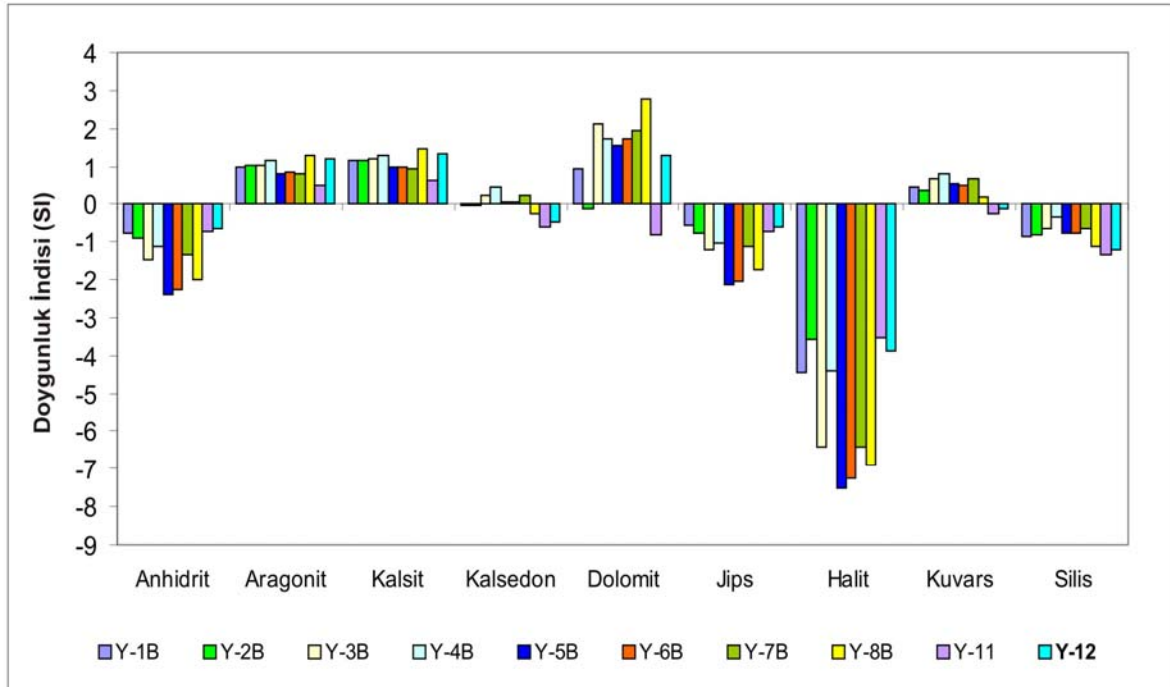
Örnek No	Anhidrit CaSO ₄	Aragonit CaCO ₃	Kalsit CaCO ₃	Kalsedon SiO ₂	Dolomit CaMg(CO ₃) ₂	Jips CaSO ₄ ·2H ₂ O	Halit NaCl	Kuvars SiO ₂	Silis SiO ₂
Y-1A	-0,79	1	1,15	-0,01	0,92	-0,55	-4,43	0,45	-0,88
Y-2A	-0,9	1,01	1,15	-0,02	-0,1	-0,76	-3,59	0,37	-0,81
Y-3A	-1,47	1,03	1,18	0,23	2,13	-1,22	-6,42	0,69	-0,65
Y-4A	-1,14	1,17	1,3	0,44	1,74	-1,03	-4,39	0,81	-0,34
Y-5A	-2,38	0,82	0,97	0,08	1,57	-2,14	-7,53	0,53	-0,79
Y-6A	-2,27	0,83	0,98	0,08	1,71	-2,03	-7,27	0,52	-0,79
Y-7A	-1,35	0,8	0,95	0,23	1,95	-1,1	-6,43	0,69	-0,65
Y-8A	-1,99	1,29	1,44	-0,26	2,77	-1,74	-6,92	0,2	-1,13
Y-9	-0,77	0,35	0,48	0,03	0,35	-0,68	-3,84	0,4	-0,74
Y-10	-0,79	0,07	0,2	-0,07	-1,08	-0,69	-3,53	0,3	-0,85
Y-1B	-0,79	1	1,15	-0,01	0,92	-0,55	-4,43	0,45	-0,88
Y-2B	-0,9	1,01	1,15	-0,02	-0,1	-0,76	-3,59	0,37	-0,81
Y-3B	-1,47	1,03	1,18	0,23	2,13	-1,22	-6,42	0,69	-0,65
Y-4B	-1,14	1,17	1,3	0,44	1,74	-1,03	-4,39	0,81	-0,34
Y-5B	-2,38	0,82	0,97	0,08	1,57	-2,14	-7,53	0,53	-0,79
Y-6B	-2,27	0,83	0,98	0,08	1,71	-2,03	-7,27	0,52	-0,79
Y-7B	-1,35	0,8	0,95	0,23	1,95	-1,1	-6,43	0,69	-0,65
Y-8B	-1,99	1,29	1,44	-0,26	2,77	-1,74	-6,92	0,2	-1,13
Y-11	-0,74	0,51	0,64	-0,6	-0,8	-0,71	-3,55	-0,26	-1,35
Y-12	-0,62	1,2	1,33	-0,47	1,28	-0,61	-3,86	-0,13	-1,21
Y-1C	-0,79	0,69	0,78	-	0,15	-0,54	-4,44	-	-
Y-2C	-1,05	0,56	0,69	-	-0,89	-0,92	-3,52	-	-
Y-3C	-1,55	0,09	0,24	-	0,19	-1,3	-6,59	-	-
Y-4C	-1,26	0,19	0,32	-	-0,22	-1,15	-4,41	-	-
Y-5C	-2,41	-0,02	0,14	-	-0,17	-2,16	-7,5	-	-
Y-8C	-1,37	0,9	1,06	-	1,81	-1,12	-5,86	-	-

Bölgedeki suların doygunluk indisleri hesaplanırken yüzeyde ölçülen pH ve sıcaklık değerleri dikkate alınmış olup bu sonuçlar Şekil 5.10a-b-c’de grafiksel olarak gösterilmiştir. Diyagramlara göre, bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının jips,

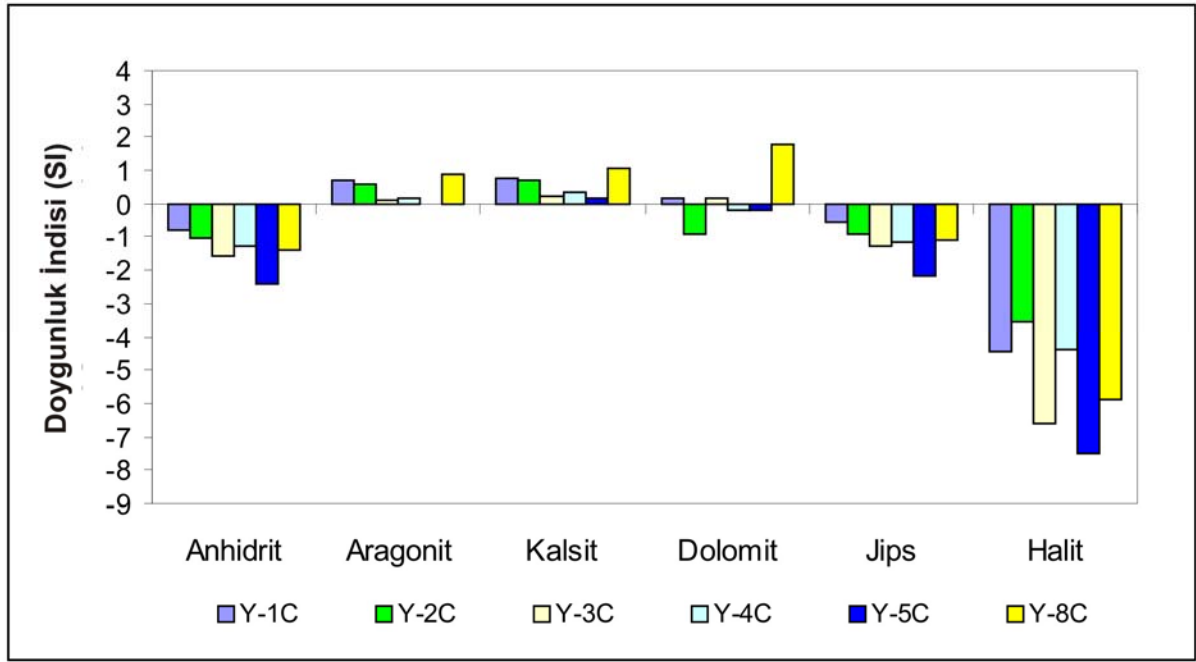
anhidrit gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doymun olmadıkları ancak bu suların kuvars, kalsedon gibi silis mineralleri ile kalsit, aragonit ve dolomit gibi karbonatlı minerallere doymun oldukları belirlenmiştir. Kalsit ve dolomite doymun olması, bu suların kabuklaşmaya neden olabileceğini göstermektedir. Ancak bölgede böyle bir durum gözlenmemektedir.



Şekil 5.10a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doymunluk diyagramı (Ekim 2005)



Şekil 5.10b. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doymunluk diyagramı (Temmuz 2006).



Şekil 5.10c. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Mart 2007).

5.7. Çevresel İzotop Hidrojeolojisi

İzotoplar, atom çekirdeklerinden nötron eksilmesi veya nötron eklenmesi ile oluşurlar. Çekirdeğinde aynı sayıda proton ve farklı sayıda nötron bulunan atomlara o elementin izotopu denir.

Jeotermal akışkanların bulunduğu ortamın hidrojeolojik yapısının belirlenmesi amacıyla yararlanılan doğal izotoplar, özellikle "Duraylı izotoplar" olarak bilinen $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ ve hidrojenin radyoaktif izotopu ^3H 'dır. Duraylı $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ izotopları genel olarak jeotermal akışkanın kökeninin, beslenme alanını ve akifer içerisindeki sıcaklığını belirlemede kullanılırken ^3H radyoaktif izotopu ise jeotermal akışkanının yaşının belirlenmesinde önemli katkılar sağlamaktadır. Bu izotoplar akiferlerde gelişen hidrojeokimyasal süreçlerden etkilenmezler. Buna karşın suyun etkilendiği fiziksel/kimyasal süreçler hakkında değerli ipuçları vermektedirler. Suyun doğal bileşenleri olmaları nedeniyle iyi birer izleyicidirler.

5.7.1. Tritiyum (^3H)

Kararsız çekirdeğin kararlı duruma geçinceye kadar uğradığı nükleer değişime (bozunma) radyoaktivite denir. Bir radyoaktif izotop kararlı bir çekirdeğe dönüşürken bazı nükleer ışınlar yayarak radyoaktif parçalanmaya uğrar. Herhangi bir radyoizotopun parçalanma oranı o izotopun yarı ömrüne bağlıdır. Bir radyoizotopun yarı ömrü ($T_{1/2}$) belirli bir andaki atomlarının sayısının yarıya düşmesi için geçen zamandır ve her radyoizotop için farklıdır. Bu çalışmada kullanılan ^3H için yarılanma ömrü 12.3 yıldır (Unterweger and Lucas 2000).

Çevresel izotoplardan ^3H yeraltısuyu araştırmalarında büyük yararı, radyoaktif bozunmanın dışındaki etkilerden hemen hemen hiç etkilenmemesidir. Tritiyum derişimi sıvı parıldama veya gaz sayaçları ile belirlenmektedir. Derişim birimi Tritiyum Birimi (TU, Tritium Unit) olup 1 TU 10^{18} H atomuna karşılık 1 adet ^3H atomunu ifade eder.

Tritiyumun meteorik sülardaki miktarı aşağıdaki faktörlere bağlıdır;

- Stratosferdeki nitrojenin nötron bombardımanı sonucunda oluşan tritiyum miktarı,
- Tritiyumun beta ışıması yaparak yarılanması,
- Mevsimsel olarak stratosferden troposfere geçen (enjekte olan) tritiyum miktarı,

- Termonükleer bomba denemelerinden türemiş trityumun miktarı,
- Yerel olarak bilimsel çalışmalarda kullanılmak üzere nükleer reaktör veya diğer kaynaklarda yapay yollardan üretilmiş trityumun miktarı,

Atmosferdeki trityum miktarı 1952 deki termonükleer bomba denemelerinden önce 5-10 TU iken atmosfere yapay yolla salınan trityumla birlikte bu değerler kuzey yarım kürede 1000 TU dan daha fazla değerlere yükselmiştir.

Kuzey yarımkürede uzun dönemli ölçümlere bağlı olarak bahar ve yaz aylarındaki trityum derişimi, kış aylarına oranla daha fazladır. Karaların üzerinde yaz aylarında trityum miktarının artmasının nedeni kış ve bahar yağışlarının bir kısmının tekrar buharlaşmasıdır. Denizlerin üzerindeki trityum miktarı ise yıl boyunca düşüktür. Bunun nedeni molekül takası (molekul exchange) olayı sonucu trityumların deniz suyu tarafından alınmasıdır (Clark and Fritz, 1997).

Yeraltısuyunun ^3H derişimi, akiferi besleyen suların ^3H değerine bunların toplam beslenimdeki katkı oranlarına ve beslenim suyunun yeraltında kalış süresine bağlı olarak değişmektedir. Aynı zamanda farklı kökenli suların karışımı da yeraltısuyunun trityum miktarını değiştirebilir.

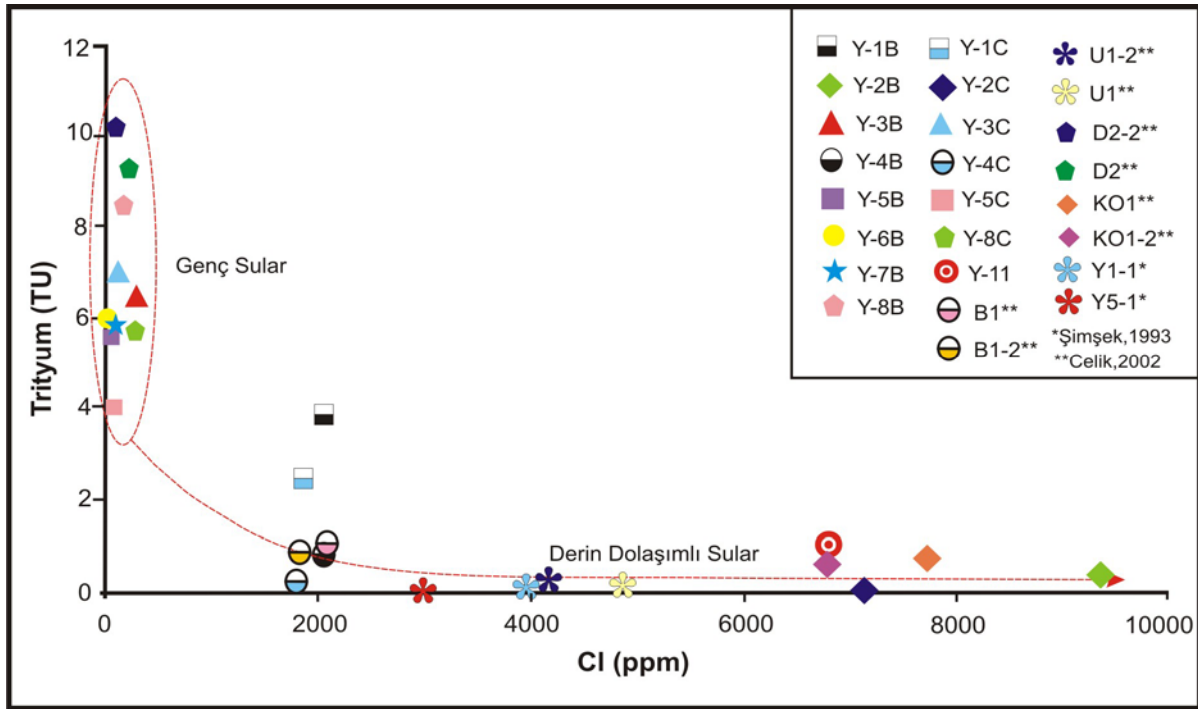
İnceleme alanındaki suların trityum değerleri Çizelge 5.9'da sunulmuştur. Trityum değerleri, bu çalışma kapsamında alınan Temmuz 2006 ve Mart 2007 dönemi örnekleri ile geçmiş dönemlerde ölçülmüş olan değerleri de (Şimşek, 1993 ve Celik, 2002) kapsamaktadır.

Şekil 5.11'de gösterilen $^3\text{H-Cl}$ grafiğinde, çalışma alanında yer alan en genç suyun Delice Irmak, en yaşlı suyun ise Koyunbaşıoğlu örneği olduğu görülmektedir. Bu grafik, suların sığ dolaşımdan derin dolaşıma doğru geçişini göstermektedir. Soğuk suların (Y-3, Y-5, Y-6, Y-7) trityum değerleri ortalama 5.53 ve Delice Irmak suyu (Y-8) ise 8.42'dir (Çizelge 5.9). Bu sular genç sular sınıfında yer almaktadır. Bölgedeki sıcak suların trityum değerleri sıfıra yakın olup derin dolaşımlı sular sınıfında yer almaktadır. Bu durum jeotermal akiferin göreceli olarak uzun süreli (konaklama süresi 55 yıldan fazla olan) geçiş zamanına sahip yeraltısuları ile beslendiğini göstermektedir.

Çizelge 5.9. İnceleme alanındaki örneklerin trityum içerikleri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	³ H (TU)	Toplam Analiz Hatası (+/- 1 sigma)	CI (ppm)
Y-1B	Shell Mevkii	Temmuz 2006	3.81	0.24	2048.56
Y-2B	Yerköy Koyunbaşoğlu	Temmuz 2006	0.39	0.19	9380.05
Y-3B	Yerköy Kötüdağ Mevkii	Temmuz 2006	6.48	0.30	293.31
Y-4B	Çiçekdağ Bulamaçlı	Temmuz 2006	0.81	0.20	2062.34
Y-5B	Yerköy Söğütlü Çeşme	Temmuz 2006	5.54	0.28	21.272
Y-6B	Yerköy Erol Erbaş Çeşmesi	Temmuz 2006	5.99	0.28	18.74
Y-7B	Yerköy Akpınar Köyü	Temmuz 2006	5.81	0.28	69.59
Y-8B	Yerköy Delice Irmağı	Temmuz 2006	8.42	0.34	136.71
Y-1C	Shell Mevkii	Mart 2007	2.49	0.29	1814.78
Y-2C	Yerköy Koyunbaşoğlu	Mart 2007	-0.01	0.26	7162.13
Y-3C	Yerköy Kötüdağ Mevkii	Mart 2007	7.04	0.37	103.27
Y-4C	Çiçekdağ Bulamaçlı	Mart 2007	0.14	0.24	1760.98
Y-5C	Yerköy Söğütlü Çeşme	Mart 2007	4.04	0.32	18.07
Y-8C	Yerköy Delice Irmağı	Mart 2007	5.71	0.36	264.38
Y-11	Yerköy YK-2 Sıcaksu Kuyusu	Mart 2006	0.99	0.23	6812.34
Y1-1*	Yerköy Güven Kaplıcası	Nisan 1992	0.00	0.2	2918.00
Y5-1*	Yerköy Güven Kaplıcası	Mart 1993	0.00	0.2	3921.00
Y5-1K*	Yerköy Kar	Mart 1993	12.30	0.5	-
KO1**	Koyunbaşoğlu kuyusu	Kasım1998	0.65	0.95	7749.00
U1**	Güven Kaplıcası	Kasım1998	0.00	0.95	4876.00
B1**	Bulamaçlı kaynağı	Kasım1998	1.00	0.95	2080.00
D2**	Delice Irmağı	Kasım1998	9.30	1.00	177.00
KO1-2**	Koyunbaşoğlu kuyusu	Mayıs 1999	0.65	0.90	6780.00
U1-2**	Güven Kaplıcası	Mayıs 1999	0.10	0.85	4220.00
B1-2**	Bulamaçlı kaynağı	Mayıs 1999	0.70	0.90	1840.00
D2-2**	Delice Irmağı	Mayıs 1999	10.20	1.00	96.00

* Şimşek, 1993;** Celik, 2002



Şekil 5.11. İnceleme alanındaki suların Cl-Trityum (TU) grafiği.

5.7.2. Oksijen-18 (^{18}O) - Döteryum (^2H)

Yeraltısuyu çalışmalarında kullanılan diğer iki önemli çevresel izotop ise $\delta^{18}\text{O}$ ve $\delta^2\text{H}$ 'dur. Hidrolojik çevrim içindeki miktarlarının ortamın fiziksel ve kimyasal koşullarına bağlı olarak değişmesinden dolayı bu izotoplar suyun geldiği ortam hakkında önemli bilgiler vermektedir.

Herhangi bir su örneğinin kararlı izotop içeriği, mutlak değer olarak değil, ağır olan izotopun hafif olan izotopa oranının, belirlenmiş bir standarttan farkı olarak ifade edilmektedir. Bu amaçla kullanılan standart, Ortalama-Standart-Okyanus-Suyu (SMOW)'nun kararlı izotop içeriğini temsil etmek üzere hazırlanmış olan "SMOW" dur. Bu standarttan fark olarak ölçülen kararlı izotop içeriği "binde (‰)" olarak ifade edilir ve delta (δ) değeri olarak gösterilir. Buna göre bir örneğin ^{18}O ve ^2H içeriği

$$\delta^{18}\text{O} = 1000 \times ((^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{örnek}} - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}}) / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_{\text{SMOW}} \quad (5.1)$$

$$\delta \text{D} = 1000 \times ((\text{D}/\text{H})_{\text{örnek}} - (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}}) / (\text{D}/\text{H})_{\text{SMOW}} \quad (5.2)$$

olarak ifade edilir. Hidrolojik çevrim içinde suyun anılan iki kararlı izotopun içeriği gerek yerel olarak ve gerekse zaman içinde değişimler gösterir. Bunun başlıca nedeni $\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ ve H_2^{18}O gibi ağır su moleküllerinin, H_2^{16}O hafif su molekülünden daha düşük

buhar basıncına dolayısıyla yüksek kaynama noktasına sahip olmasıdır. Örneğin, $H_2^{18}O$ molekülü, $H_2^{16}O$ molekülünden %11 daha ağır ve buharlaşma basıncı %5 daha azdır. Buharlaşma basıncının az olması nedeniyle kaynama noktası $0.14\text{ }^{\circ}C$ daha fazla olduğundan su ile dengede olan buhar fazı $H^2H^{16}O$ ve $H_2^{18}O$ açısından daha fakirdir. Atmosferik nem denizlerden itibaren oluştuğu için suyun ağır molekülleri açısından denize göre fakir ve dolayısıyla yağışın $\delta^{18}O$ ve δ^2H içeriği de denizden daha az olacaktır. Yoğunlaşma sürecinde $\delta^{18}O$ ve δ^2H içeriğinde meydana gelen değişimler genellikle yoğunlaşmanın oluştuğu sıcaklığa bağlıdır. Bunun doğal sonucu olarak, yağışlar içindeki $\delta^{18}O$ ve δ^2H içerikleri gerek yerel ve gerekse mevsimler boyunca değişim gösterir. Atmosferdeki nem kıyıdan iç kesimlere, karaya doğru ilerledikçe yağış ile birlikte suyun ağır bileşenleri ($H^2H^{16}O$ ve $H_2^{18}O$) açısından gittikçe fakirleşecektir. Diğer bir deyişle yağışın $\delta^{18}O$ ve δ^2H içeriği deniz kenarından kara içlerinde ve yükseklik arttıkça azalmaktadır. Aynı şekilde yaz yağışlarında buharlaşma etkisinden ötürü adı geçen izotoplar açısından zengin (pozitif değer), kış yağışları ise fakir (negatif değer) olacaktır (Clark and Fritz, 1997). Hidrojen ve oksijen izotoplarının oranları ile jeolojik çevrimdeki üç tür su ayırt edilebilmektedir;

- Kayaçların oluşumu sırasında içinde hapsedilen deniz suyu (connate water); bu durumda yeraltısuyunun beklenenden daha az negatif δ^2H ve $\delta^{18}O$ değerleri göstermesi söz konusudur,
- Yağış sularından itibaren oluşan yeraltısuyu; doğada yaygın olarak rastlanan bu durumda beslenme bölgesindeki yağış rejimine ve bölgedeki sıcaklığa bağlı olarak (buharlaşma etkisi), negatif δ^2H ve $\delta^{18}O$ değerleri gözlenir,
- Yüksek sıcaklıklarda silikatlı kayaçlarda izotopik eşdeğerliğe sahip magmatik ve metamorfik su; bu durumda izotopik açıdan özellikle δ^2H açısından zenginleşme söz konusu olabileceğinden muhtemelen pozitif δ^2H ve $\delta^{18}O$ değerleri gözlenir (Gill, 1996).

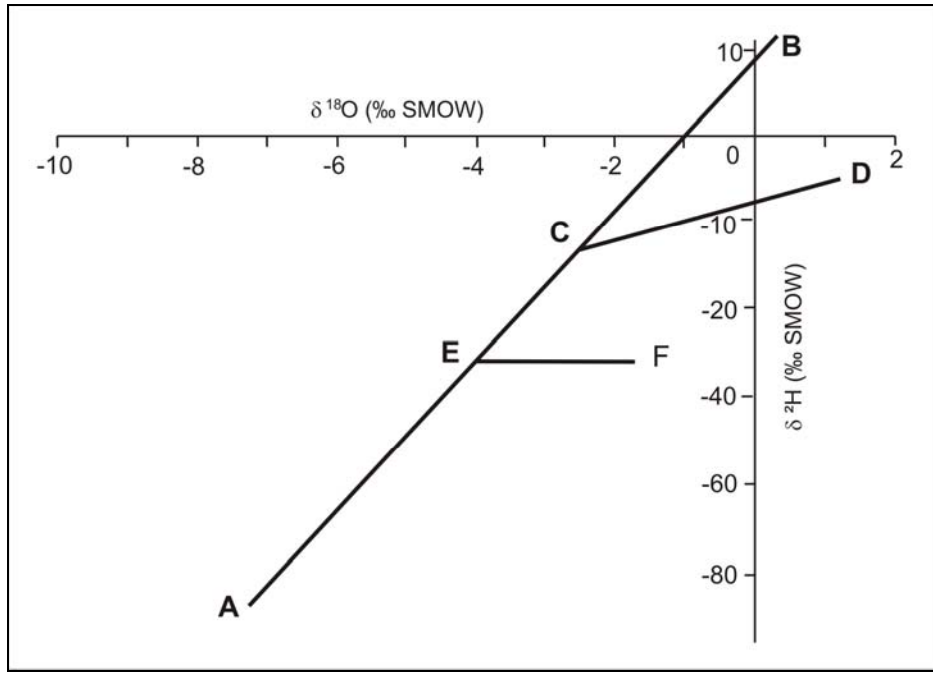
Yağışlara ait $\delta^{18}O$ ve δ^2H grafiği ilk defa Friedman (1953) tarafından çizilmiş ve Craig (1961) tatlı suların $\delta^{18}O$ ve δ^2H içeriği ile ilgili olarak aşağıdaki eşitliği önermiştir;

$$\delta D (\text{‰}) = a \times \delta^{18}O (\text{‰}) + d \quad (5.3)$$

burada D; 2H derişimi (TU), a; eğim ve d; döteryum fazlası

Bir bölgedeki yağışlara ait duraylı izotop değerleri ile yeraltısuyuna ait izotop değerleri, eğer suların kökeni aynı ise aynı doğru üzerinde ve aynı küme içinde toplanırlar. Bu doğru küresel meteorik su doğrusu olarak adlandırılmaktadır (Global Meteoric Water Line, GMWL, Şekil 5.12).

Şekil 5.12'deki AB doğrusu küresel meteorik doğruyu göstermektedir. Ortalama deniz suyu bu grafikte her iki eksenin de "0" olduğu noktada bulunmaktadır. Ancak genellikle buharlaşmanın etkisi nedeniyle pozitif δD ve $\delta^{18}O$ değerler gösterir.



Şekil 5.12. Şematik δ^2H - $\delta^{18}O$ grafiği.

Bu doğrunun δ^2H eksenini kestiği nokta "Döteryum Fazlası" olarak tanımlanır ve yağışa kaynak oluşturan deniz suyunun buharlaşma miktarının bir göstergesidir. Buharlaşmanın fazla olduğu bölgelerde δ^2H fazlası pozitif değerlere ulaşır. Önemli bir buharlaşmanın olmadığı yüzey ve yeraltıları AB doğrusu üzerinde bulunur. İlkbahar ve yaz yağışları ile topoğrafik olarak alt yüksekliklerdeki yağışları temsil eden sular bu doğrunun B noktasına yakın, sonbahar ve kış yağışları ile topoğrafik olarak üst kotlardaki yağışlar doğrunun A noktasına yakın bulunurlar.

İzotopik yer değiştirme işleminin gerçekleştiği sularda, buharlaşma etkisinde kalan sularda ve deniz suyu ile temas halindeki sularda suyun δ^2H değeri, diğer meteorik kökenli sularla aynı değer aralığında yer alırken; $\delta^{18}O$ değeri kireçtaşı ile temas

sonucunda daha pozitif bir değere ulaşacağından, meteorik doğrudan sağa doğru sapma oluşmaktadır. Öte yandan buharlaşma etkisi altında olan sular eğimi 4° ile 6° arasında değişen CD doğrusu üzerinde yer alır. Bu doğru üzerinde buharlaşma miktarı arttıkça su noktaları C noktasından D noktasına doğru hareket eder. Meteorik doğru ile olan kesişme noktası C ise yüzey sularının buharlaşmadan önceki İzotopik kompozisyonunu gösterir. EF doğrusu $\delta^{18}\text{O}$ derişiminin artmasına karşılık $\delta^2\text{H}$ değerinin sabit olduğu jeotermal sıcak suların yer aldığı doğrudur. Aynı şekilde termal suyun sıcaklığına bağlı olarak E noktasından F noktasına doğru bir yönelme görülür. Daha sıcak sular bu doğrunun sağında yer alırlar.

5.7.3. Oksijen-18 ve Döteryum İlişkisi

Meteorik suyun hidrojen ve oksijen izotopları arasında buharlaşma ve yoğunlaşma gibi atmosferik süreçler ile kontrol edilen bir doğrusal ilişkisi vardır. Her bölgenin kendini karakterize eden bir meteorik su doğrusu vardır. Bu meteorik su doğruları yeraltısularının kökeninin belirlenmesinde doğal izleyici olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

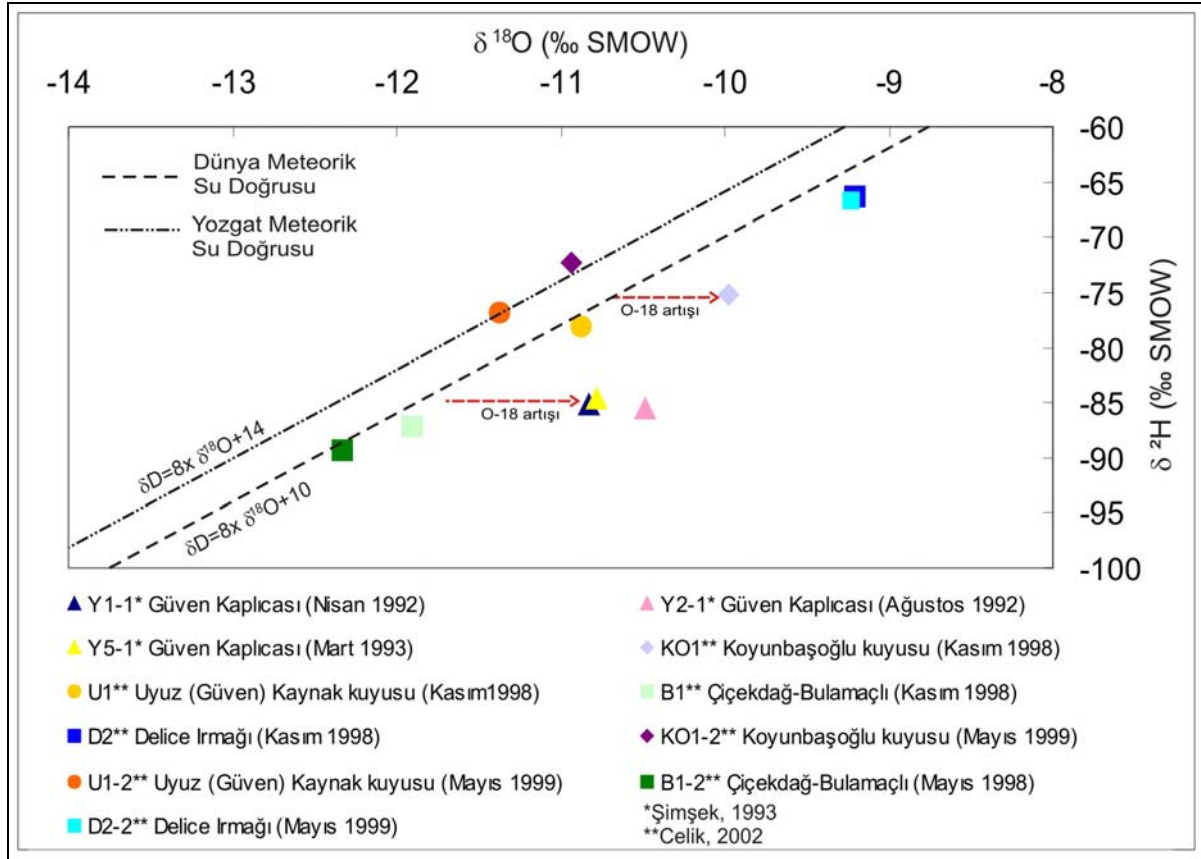
Bu çalışma kapsamında çalışma alanındaki suların oksijen-18 ve döteryum analizleri yaptırılmamış olduğundan bölgede önceki çalışmalarda ölçülmüş olan değerler kullanılarak $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiği oluşturulmuştur (Çizelge 5.10, Şekil 5.13). Şekil 4.14'de verilen çalışma alanına ait $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ grafiğinden, su noktalarının değeri;

Çizelge 5.10. İnceleme alanındaki örneklerin duraylı izotop içerikleri

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	$\delta^{18}\text{O}$ (‰ SMOW)	$\delta^2\text{H}$ (‰ SMOW)
Y1-1*	Yerköy Güven Kaplıcası	Nisan 1992	-10.83	-85.2
Y2-1*	Yerköy Güven Kaplıcası	Ağustos1992	-10.48	-85.5
Y5-1*	Yerköy sıcak su	Mart 1993	-10.78	-84.6
KO1**	Koyunbaşoğlu kuyusu	Kasım1998	-9.98	-75.22
U1**	Uyuz Kaynak kuyusu	Kasım1998	-10.87	-78.09
B1**	Bulamaçlı kaynağı	Kasım1998	-11.91	-87.17
D2**	Delice Irmağı	Kasım1998	-9.21	-66.38
KO1-2**	Koyunbaşoğlu kuyusu	Mayıs 1999	-10.93	-72.38
U1-2**	Uyuz Kaynak kuyusu	Mayıs 1999	-11.37	-76.77
B1-2**	Bulamaçlı kaynağı	Mayıs 1999	-12.33	-89.24
D2-2**	Delice Irmağı	Mayıs 1999	-9.23	-66.64

* S Şimşek 1993, **M Çelik 2002

$\delta D = 8 \delta^{18}O + 14$ (Yozgat Meteorik Su Doğrusu; Şimşek, 1993) ile $\delta D = 8 \delta^{18}O + 10$ (Dünya Meteorik Su Doğrusu; Craig, 1961) olan meteorik yağış doğruları çevresinde yer aldıkları görülmektedir.



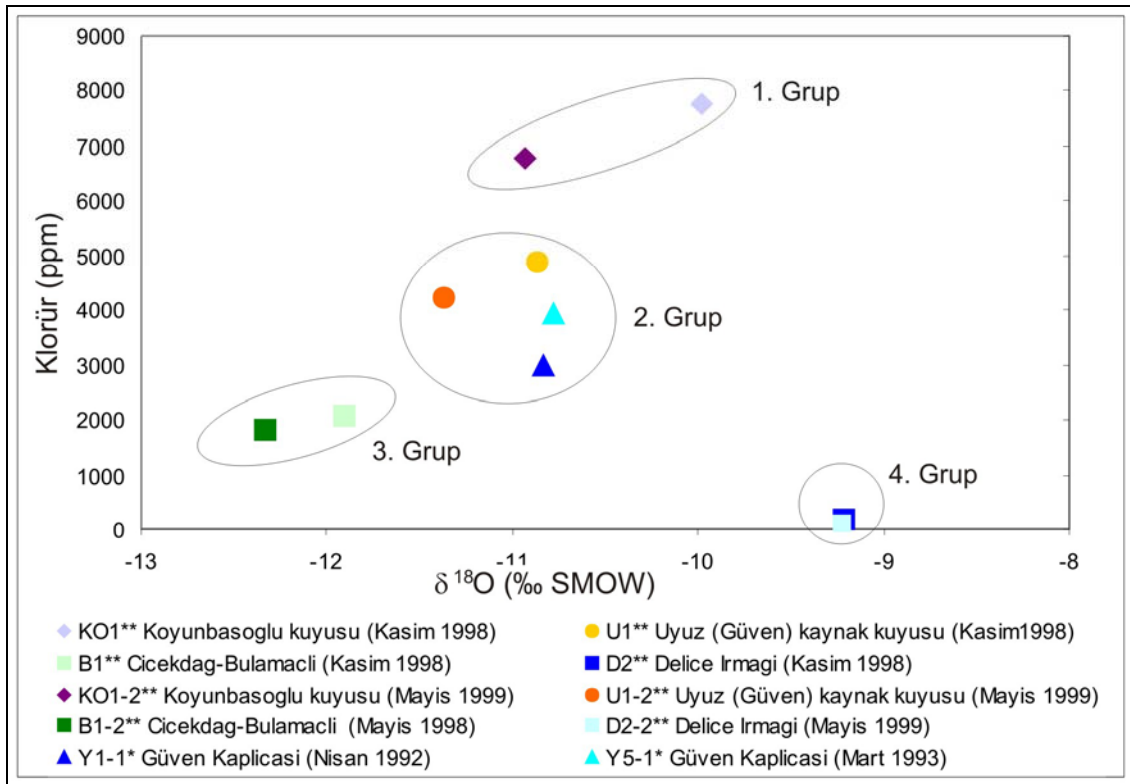
Şekil 5.13. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}O$ - δ^2H grafiği

Oksijen 18 – Döteryum ilişkisi incelendiğinde Y1-1, Y2-1, Y5-1 nolu Güven kaplıcası örneklerinin diğer sıcak sulara oranla daha sıcak ve derin dolaşım suları olduğu gözlenmektedir. Bu örneklerin daha sonraki yıllarda yapılan ölçümlerinde KO1-2 ve U1-2 örneklerinin yağışlı dönemlerde meteorik su doğrularının üzerinde yer aldığı yani derin dolaşım sularının yükselirken kısmen soğuk yeraltı suyuyla seyredildiği görülmektedir. Kurak dönemde ise yatay yönde jeotermal sapma (shift) yaparak meteorik su doğrularından uzaklaştığı gözlenmektedir. B1 ve B1-2 nolu Bulamaçlı kaynağı örnekleri de jeotermal sapma yaparak yerel meteorik su doğrusunun sağında yer almaktadır. Delice Irmağı örneklerinin ise dönemsel olarak değişime uğramamakla birlikte yerel meteorik su doğrusundan buharlaşma nedeniyle sapma yaptıkları gözlenmektedir.

5.7.4. ^{18}O -Cl ilişkisi

Termal suların daha soğuk sularla karışımı süresince çözünmüş tuz içeriği ile $\delta^{18}\text{O}$ ve döteryum izotop kompozisyonlarında değişimler görülür. Oksijenin izotop derişimi ile tuzluluk arasındaki bu ilişki ile Şekil 5.14'teki $\delta^{18}\text{O}$ -Cl grafiği çizilerek bölgedeki sıcaksuların seyrelme süreçleri incelenmiştir.

Çalışma alanında bulunan sıcak su örnekleri ile Delice Irmağı örneğinin $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerine karşılık çizilen Cl (ppm) grafiğinde termal suların klorür içeriği arttıkça $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde arttığı ayrıca Delice Irmak örneğinde dönemsel olarak bir farklılık olmadığı gözlenmektedir (Şekil 5.14). Ortak yeraltısuyu dolaşım sistemine sahip olan yeraltısuyu boşalımlarının $\delta^{18}\text{O}$ -Cl grafiği üzerinde birbirine yakın konumlarda bulunması beklenir. Şekil 4.15 deki grafikte bu suların 4 ayrı grup oluşturduğu gözlenmektedir. 1.grupta derin dolaşimli Koyunbaşoğlu örnekleri 2. grupta Güven kaplıcası örnekleri, 3. grupta Bulamaçlı Kaynağı ve 4. grupta Delice Irmak örnekleri yer almaktadır. Bölgedeki sıcak suların yağışlı dönemlerde karışan soğuk yeraltısuyuyla $\delta^{18}\text{O}$ ve Cl içeriğinin değiştiği ve bu sular arasında 1.gruptan 3.gruba doğru seyrelmede bir artış olduğu gözlenmektedir. (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. İnceleme alanındaki suların $\delta^{18}\text{O}$ -Cl grafiği.

6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL

Hidrotermal sistemler; ısı kaynağı, akifer, örtü kaya, beslenme alanı ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını sağlayan kırık ve çatlak yapılarından meydana gelmektedir. İnceleme alanında yapılan hidrojeokimya çalışmaları ile Yerköy hidrotermal sisteminin yapısı tanımlanmaya çalışılmış ve kavramsal hidrotermal modeli oluşturulmuştur (Ek 4).

6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni

Jeotermal suların kökeni juvenil (magmatik ve volkanik) veya meteorik kökenlidir. Yeryüzündeki termal suların büyük bir bölümü meteorik kökenli olup bir yerüstü beslenme alanının varlığını gerektirmektedir. Yerköy jeotermal alanındaki sıcak sular yerel meteorik su doğrusunun üzerinde yer aldığından bu suların meteorik kökenli olduğu belirlenmiştir. Bölgedeki sıcak suların düşük trityum içerikleri bu suların jeotermal alandaki derin dolaşımını ifade etmektedir. Bölgedeki sıcak sular, başlıca Ziyaret tepe ve Sarıkaya tepe bölgesinde volkanitlere düşen ve bölgesel yağış ile Irmak sularının kırık ve çatlaklardan derinlere süzülmesi ve jeotermal gradyan ile ısınarak faylar boyunca yüzeye çıkması sonucu oluşmuşlardır.

6.2. Hazne Kaya ve Yayılımı

Yerköy hidrotermal sistem, bölgedeki akifer özelliğindeki geçirimli formasyonlar ile faylı ve kırıklı yapılardan meteorik kökenli sular yoluyla beslenmektedir. Yeraltına süzülerek jeotermal gradyan ile ısı kazanan bu suların, derine ulaşan faylar boyunca yükselerek granit ve granodiyoritlerin çatlakları ile altere olan bölümlerinde ve riyolitlerin kırık ve çatlaklı bölümlerinde birikmesi olasıdır. Ayrıca, derinlerden yükselen termal suların daha üstte yer alan Eosen yaşlı taban çakıldaşında ve kireçtaşlarında yerel soğuk yeraltı sularıyla seyreltilerek birikmekte olduğu ancak, yüzeye ulaşamadığı düşünülmektedir. Çalışma alanında, Eosen, Oligosen ve Pliyosen yaşlı kilitaşı, marn, killi kireçtaşı ve kumtaşı ardalanmasından oluşan çökeller ile riyolit, tuf aglomera gibi volkanik birimlerin kırık ve çatlak içermeyen bölümleri geçirimsiz olup örtü kayac niteliğindedir.

Bölgede sıcak ve mineralli suların yüksek tuzluluk içermesi, bu suların Eosen, Oligosen ve Miyosen yaşlı tuzlu ve jipsli formasyonlardan süzülerek, yeraltında uzun

sürekli dolaşım ve yükselim sırasında temas yoluyla tuz kazanmalarından kaynaklanmaktadır. Bölgeden derlenen sıcak ve soğuksu numunelerinin izotopik açıdan değerlendirilmesiyle su-kayaç etkileşmesinden oluşan ^{18}O zenginleşmesi görülmektedir. Yine bölgedeki siccaksuların, yüksek Cl ve düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yeraltı dolaşımli meteorik kökenli sular olduğunu göstermektedir.

6.3. Isı Kaynağı

Jeotermal alanlarda ısınn en önemli kaynağı jeotermal gradyandır. Bu gradyanı volkanik etkinlik, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya yoğun genç tektonik etkinlik arttırmaktadır. Türkiye’ de güncel volkanik etkinliğin varolmaması nedeniyle ısınn kaynağının; Orta Anadolu, Doğu Anadolu ve Kula gibi genç volkanik alanlarda, soğumasını henüz tamamlayamamış magma; Batı Anadolu’da özellikle Büyük Menderes Grabeni’nde genişleme tektoniğı ile kıtasal kabuğun incelmesi; Kuzey Anadolu’da ise aktif tektonizma olduğu kabul edilmektedir. Türkiye’de farklı bölgelerdeki jeotermal alanlar için kimyasal jeotermometreler ile ortalama rezervuar sıcaklıkları; Batı Anadolu’da 251 °C, Orta Anadolu’da 125-136 °C olarak hesaplanmıştır (Mutlu ve Güleç, 1998).

Orta Anadolu’da yeralan Yerköy jeotermal alanında genç volkanik etkinlik olmamakla birlikte en genç magmatik etkinlikler Alt-Orta Eosende gelişmiştir. Fakat bölgede tektoniğin gelişimi ve fay hatlarının uzun ve fayların normal atımlı olması ve kapalı hidrotermal sistemlerin gelişmesi yer gradyanının diğer bölgelere göre daha yüksek olabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada Yerköy jeotermal alanı için 60-100 °C rezervuar sıcaklığı hesaplanmıştır. Açılan 750 m lik kuyuda da kuyudibi sıcaklığı 72 °C olarak ölçülmüştür.

6.4. Örtü Kayaç

Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük termal iletkenliğe ve düşük geçirimliliğe sahip bir örtü kayacın olması gerekmektedir. Çalışma alanında, Eosen yaşlı çökel birimlerin killi, siltli seviyeleri ile çamurtaş seviyeleri örtü kayaç niteliğindedir. Bölgedeki Kötüdağ volkanitleri kırıklı, çatlaklı bir özelliğe sahip olması nedeniyle iyi bir örtü kayaç özelliğinde değildir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanında Ekim 2005, Temmuz 2006 ve Mart 2007 dönemlerinde yapılan arazi çalışmaları ve büro çalışmalarının değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuç ve öneriler çıkarılmıştır.

Çalışma alanının 1/25000, ölçekli jeoloji haritası önceki çalışmalardan da yararlanılarak oluşturulmuş, jeolojik kesitler ve stratigrafik istif ortaya çıkarılmıştır. Bu harita temel alınarak arazi gözlem ve değerlendirmeleri ile bölgenin hidrojeoloji haritası oluşturulmuştur.

Bölgedeki faylar, kırık ve çatlaklar belirlenmiştir. Buna göre, sahada başlıca KB-GD, KD-GB doğrultularında basamaklı ve normal fay sistemine bağlı yapılarının geliştiği ortaya çıkarılmıştır.

İnceleme alanındaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelendiğinde Eosen yaşlı kireçtaşlarının ve temeli oluşturan riyolit, riyodasit granitoyitleri kesen faylı, kırıklı, çatlaklı yapıların yoğun olduğu zonların ve sıcak su akiferini (jeotermal rezervuar) oluşturabilecek özellik taşıdıkları anlaşılmıştır. Yörede örtü kayalar ise; kıltaşı, çamurtaşı ve kumlu kil aralanmasından oluşan Eosen çökelleri ve Kretase yaşlı riyolit, dasit, tuf ve aglomera gibi volkanik ürünlerin kırık ve çatlaksız bölümleridir.

Yerköy havzasına düşen ortalama yağış 408.16 mm/yıl ve ortalama sıcaklık 9.6 °C olarak hesaplanmıştır. Havzada buharlaşma-terleme ve akımdan kaynaklanan kayıplar ise 376.85 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Bu durumda yağışın % 7.5'i yeraltına süzölmektedir. Çalışma alanında yüzeyden beslenim alanları olarak belirlenen riyolitler ve granit-granodiyoritlerin havza içinde kapladıkları alan 910 km² 'dir. Bu alandan yeraltısuyuna olan beslenimin 30.88 mm/yıl olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanında yeralan sıcak ve mineralli sular ile yüzey ve yeraltısuları, Schoeller ve Üçgen diyagramları ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılarak kimyasal bileşim (tuzluluk) ve kalite yönleriyle incelenmişlerdir. Yerköy jeotermal alanındaki sıcak sular iyonik içeriklerine göre Na-Cl, soğuk sular ise Na-HCO₃ ve Na-SO₄ tipi sulardır. Schoeller diyagramına göre alandaki sıcak sular Na-Cl içeriği yüksek tuzlu sular olup kimyasal bileşimlerindeki paralellik bu suların aynı kökenli ve benzer akiferlerden beslenen sular olduğunu göstermektedir. Piper diyagramına göre sıcak sular, ileri derecede tuzlu sular olup bölgedeki soğuk

sulardan ayrı bir grup oluşturmaktadır. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı ise Yerköy bölgesindeki sıcak ve mineralli sulara oranla daha fazla seyrelmiş bir karışım suyu özelliğindedir.

Bölgede yeralan sıcak ve mineralli sular ile soğuksu örneklerinin sulama amaçlı kullanılıp kullanılmayacağı ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramları çizilerek belirlenmiştir. Buna göre Shell Mevkii soğuk su örneği ile sıcak ve mineralli sular çok yüksek tuzluluk içerdiğinden diyagramda gösterilememiştir. Dolayısıyla bu suların tarımda kullanılması uygun olmayacaktır.

Bölgedeki sıcak ve mineralli suların karışım süreçleri yeraltısularında korunumlu olarak kabul edilen Cl, B ve Li elementleri ile incelenmiş ve çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların Koyunbaşıoğlu sıcaksuları ve soğuk su kaynakları arasındaki bir karışım doğrusu üzerinde yer aldıkları belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki sıcaksuların soğuk su karışmamış ilksel sıcaklık değerlerinin hesaplanması için silis-entalpi karışım modeli uygulanmıştır. Yerköy sıcaksuları için entalpi değeri 410 J/g olup 98 °C ilksel sıcaklık değeri vermektedir. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağı ise 580 J/g entalpi değeriyle 138 °C ilksel sıcaklık değeri vermiştir. Çiçekdağ-Bulamaçlı kaynağının diğer sıcaksulara oranla daha yüksek silica derişimi içermesi bu kaynağın daha yüksek entalpi ve sıcaklık değerleri vermesine neden olmuştur.

Yerköy jeotermal alanında yeraltı sıcaklıklarının tahmini amacıyla sıcak ve mineralli sulara uygulanan katyon jeotermometrelerinden elde edilen rezervuar sıcaklıkları, bölgede su taşıyan ve ileten litolojik birimlerin ileri derecede tuzlu olması nedeniyle yüksek değerler vermektedir. Silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. Kuvarsa dayalı jeotermometreler ile Bulamaçlı kaynağı için 107-126 °C aralığında ve Yerköy jeotermal alanı için 60-83 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları elde edilmiştir. 2006 yılında Yerköy'de açılan YK-3 nolu kuyuda 650 m de 72 °C ölçülmüş olması kuvarsa dayalı jeotermometrelerin gerçeğe daha yakın değerler verdiğini göstermektedir. Ayrıca mineral ve su arasındaki sıcaklığa bağlı kimyasal denge üzerine geliştirilmiş olan mineral denge yaklaşımı uygulanarak akifer sıcaklıkları; Koyunbaşıoğlu örneği için 80-100 °C, Bulamaçlı kaynağı için 100-140 °C, YK-2 kuyusu için 60-80 °C ve YK-3 kuyusu için 60-100 °C olarak

hesaplanmıştır. Kimyasal dengeye ve jeotermometrelere bağı olarak hesaplanan sıcaklıklar birlikte değerlendirildiğinde Yerköy jeotermal alanı için rezervuar sıcaklıklarının 60-100 °C arasında olduğu düşünülmektedir.

Çalışma alanındaki sıcak ve mineralli suların denge diyagramlarında kuvars mineralleri ile albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) ve K-feldspat gibi magmatik kayalar oluşturan başlıca minerallere doymun oldukları görülmüştür. Bu durum akifer kayacın olasılıkla granit ve/veya riolit olabileceğini yansıtmaktadır.

Mineral doymunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının jips, anhidrit ile halit ve silise doymun olmadıkları ancak kuvars, kalsedon, kalsit, aragonit ve dolomit minerallerine doymun oldukları belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre, sıcak suların kabuklaşma yapıcı özellikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, bu sular yüksek tuzluluk nedeniyle de korozyon yapıcı özellik taşımaktadır. Bu nedenle sondaj muhafaza ve taşıma boruları seçimi için bu özellik gözönüne alınmalıdır.

Sahadan derlenen sıcak ve soğuksu numunelerinin izotopik açıdan değerlendirilmesiyle su-kayaç etkileşmesinden oluşan ^{18}O zenginleşmesi görülmektedir. Yine bölgedeki sıcaksuların, yüksek Cl ve düşük ^3H değerine sahip olması, derin ve uzun süreli (55 yıldan fazla) yeraltı dolaşimli meteorik kökenli sular olduğunu belirtmektedir. Bölgedeki sıcak suların yağışlı dönemlerde karışan soğuk yeraltısuyuyla ^{18}O ve Cl içeriği değişmekte olup bu sıcak suların, daha soğuk yeraltısularıyla seyreltiği gözlenmektedir.

Yerköy jeotermal alanı ve civarındaki sıcak ve mineralli sular günümüze kadar kaplıca amaçlı kullanılmıştır. Bölgede son dönemlerde yapılan jeotermal çalışmaları sonucunda açılan derin sondajlarla sahada sıcaklığı yüksek sulara ulaşılmıştır. Bu durum bölgedeki sıcak suların ısıtma amaçlı kullanımına olanak sağlamaktadır. Sahada termal su potansiyelinin ve optimum üretim miktarının belirlenmesi amacıyla mevcut ve yeni açılacak kuyularda ayrıntılı kuyu testlerinin yapılması gerekmektedir.

Bölgedeki sıcaksuların uzun dönemli fiziksel ve kimyasal değişimlerinin belirlenmesi amacıyla (olası beslenme alanlarındaki su noktalarında) izotop ölçümlerine periyodik olarak devam edilmelidir. Ayrıca, bölgedeki derin dolaşimli suların beslenme yaşının belirlenmesi amacıyla karbon izotop analizleri yapılmalıdır.

Bölgedeki sıcak su akiferinin yayılımının ve komşu rezervuarlarla ilişkisinin belirlenmesi amacıyla ayrıntılı jeofizik çalışmaları yapılmalıdır.

Bölgedeki sıcak ve mineralli sular yüksek tuzluluk içerdiğinden, bu suların konut veya sera ısıtmacılığında kullanılması halinde atık suların kesinlikle yeraltına reenjeksiyonunun yapılması gerekmektedir.

Bölgede şifa özellikleri nedeniyle kaplıca suyu olarak kullanılması planlanan sıcak ve mineralli suların balneolojik analizleri ve değerlendirmelerinin yaptırılması gerekmektedir. Ayrıca, bölgedeki sıcak suların kaplıca amaçlı kullanımında koruma alanları ile ilgili hükümlere uyulması yanında bu suların kirlenmeden ve daha güvenli, kesintisiz, sürdürülebilir bir şekilde sağlanabilmesi için kaptajının sondaj yoluyla yapılması gerekmektedir.

8. KAYNAKLAR

- Ağralı, B., 1967, Yozgat ili Buzacıoğlu-Çalatlı bölgesindeki linyit zuhurlarının incelenmesi ve bölgenin 1/25000 ölçekli jeolojik lövesi hakkında Rapor. MTA Rapor No: 3914. Ankara.
- Alpaslan, M. and Temel A. 2000, Petrografic and geochemical evidence for magma mixing and crustal contamination in the post-collisional calc-alkaline Yozgat volcanics, Central Anatolia, Turkey. *International Geology Review* Vol.42, 850-863.
- Arnnórsson, S., Gunnlaugsson, E., Svavarsson, H., 1983, The chemistry of geothermal waters in Iceland. III. chemical geothermometry in geothermal investigations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, p567-577.
- Ataman, G., 1972, Ankara'nın güneydoğusundaki granitik/granodiyorit kütlelerden Cefalıkdağı radyometrik yaşı hakkında ön çalışma, H.Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 2(1).
- Ayan, M., 1963, Contribution a L' étude petrographique et de la region situee an Nord-Est de Kaman. M.T.A. Enst.Yayınları 115 s.332
- Birgili, Ş., Yoldaş, R. ve Ünalın, G., 1975, Çankırı-Çorum havzasının jeolojisi ve petrol olanakları, MTA Rap.No.5621, Ankara (yayımlanmamış).
- Bjarnason, J.O., 1994, The speciation program WATCH, version 2.1. Orkustofnun, Reykjavik.
- Büyükönel, G., 1977, Yozgat ve yakın çevresi mağmasal kayaçlarının petrografisi ve petrokimyası, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Mineroloji Kürsüsü, Ankara.
- Canik, B., 2004, Yerköy Güven Kaplıcası (Uyuz Hamamı) dolayının jeoloji-hidrojeoloji ve jeofizik incelemesi raporu, Yerköy Belediyesi.
- Celik, M., 2002, Water quality assessment and the investigation of the relationship between the river Delice and the aquifer systems in the vicinity of Yerköy (Yozgat, Turkey), *Environmental Geology*, DOI 10.1007/s00254-002-0579-y.
- Clark, I. D. and Fritz, P., 1997, *Environmental isotopes in hydrogeology*, Lewis Publishers, New York, p.328.

- Craig, H., Standarts for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters, *Science*, 133, 1833-1834.
- D'Amore F., and Arnorsson, S., 2000, Geothermometry isotopic and chemical techiques in geothermal exploration, development and use. Arnorsson, S. (ed.), IAEA, Vienna. p.152-199.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, *Groundwater*, Prentice-Hall, 604p.
- Fournier, R.O., 1977, Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics*. 5, p.41-50.
- Fournier, R.O., 1979, A revised equation for the Na-K geothermometer, *Geothermal Res. Council Trans.* 3, 221-224.
- Fournier, R.O., 1991, Water geothermometers applied to geothermal energy. Application of geochemistry in geothermal reservoir development, D'Amore, F. (coord.), UNITAR/UNDP, Rome. pp. 37-69.
- Fournier, R.O. and Truesdell, A.H., 1973, An emprical Na-K-Ca geothermometer for natural waters, *Geochimica et Cosm. Acta* 37,1255-1275.
- Fournier, R.O. and Potter, R.W. II, 1979, Magnesium correction to the Na-K-Ca chemical geothermometer, *Geochimica et Cosm. Acta* 43,1543-1550.
- Fournier, R.O., Potter, R.W. II, 1982, A revised and expanded silica (quartz) geothermometer, *Geothermal Research Council Bull.* 11, 3-9.
- Giggenbach, W. F., 1981, Geothermal mineral equilibria, *Geochimica et Cosmochimica Acta*45, 393-410.
- Giggenbach, W.F., 1988, Geothermal solute equilibria, Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 55, 2749-2765.
- Gündüz, M., 1993 ; Yozgat-Yerköy Güven Kaplıcası hidrojeoloji etüdü, MTA, Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Gündüz, M., Özten, A., 1994 ;Yozgat Yerköy Güven kaplıcası sıcak su sondajı YK-1 kuyu bitirme ve koruma alanları raporu, MTA, Enerji Hammadde Etüd ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Hem, J.D., 1985, Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water, *USGS Water Supply Paper 2254*, US Gov. Print Office, 263 p.

- H.Ü., ORME, 2005, Yozgat Yerköy ve yakın çevresinin jeotermal potansiyelinin araştırılması ve etüdü projesi, Yerköy Kaymakamlığı, Yozgat.
- Kahraman S.,Yücel B., Dağıstan H. ve Yıldırım. N. 2001, Orta Anadolu (Kırşehir – Çiçekdağı Yozgat –Yerköy) jeotermal enerji etüt raporu MTA Derleme raporu
- Kara, H. ve Dönmez, M., 1990, 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi Kırşehir-G17, paftası MTA yayını,Ankara.
- Kara, H., 1997, 1/100.000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi No. 54, Yozgat -G19 paftası, MTA yayını. Ankara.
- Ketin, İ., 1955, Yozgat bölgesinin jeolojisi ve Orta Anadolu masifinin tektonik durumu, Türkiye Jeol. Kur. Bült., Cilt VI, Sayı 1,1-40.
- McNeely, R. N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., 1979, Water quality source book-A guide to water quality parameters.
- MTA, 2004, Türkiye 1/500.000 ölçekli jeoloji haritası, Yozgat paftası, MTA.
- Mutlu, H., Güleç, N., 1998, Hydrogeochemical outline of thermal waters and geothermometry applications in Anatolia (Turkey), J. Volcanol. Geotherm. Res. 85, 495-515.
- Nieva, D. and Nieva, R., 1987, Development in geothermal energy in Mexico, part 12- A cationic composition geothermometer for prospecting of geothermal resources, Heat recovery systems and CHP. 7, 243-258.
- Norman, T., 1972, Ankara Yahşihan bölgesinde Üst Kretase-Alt Tersiyer istifinin stratigrafisi, Türkiye Jeol. Kur. Bült, XV, 2, 180-276.
- Parkhurst, D.L. and Appelo C.A.J., 1999, User's guide to PHREEOC (Version 2) - a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p.
- Reed, M., Spycher, N., 1984, Calculation of pH and mineral equilibria in hydrothermal waters with application to geothermometry and studies of boiling and dilution, Geochimica Cosm. Acta. 48, 1479-1492.
- Seymen, İ., 1982, Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi: Doçentlik tezi, İ.T.Ü. Maden Fak. İstanbul, yayınlanmamış.

- Şenay, Y., 1971, Doğru akım satih rezistivite metodları, Türkiye Jeofizikçiler Birliği, Yayın No: 1
- Simsek, S., 1993, Isotope survey of geothermal systems of central Anatolia, Hacettepe University international research and application center for karst water resources, HU-IAEA Research Contract 6716/RB Final Report, Ankara.
- Şimşek, Ş., 1993, Jeotermal hidrojeoloji, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları, No.22, 78 s., Beytepe-Ankara.
- Şimşek, Ş., 1995, Sıcak ve mineralli sular, Hacettepe Üniversitesi, Ders Notları, No.18, 83 s. Beytepe-Ankara.
- Şimşek, Ş. Yılmaz, E. ve Koç, K., 2006 Yerköy YK-2 ve YK-3 Sıcaksu kuyu bitirme raporu. Hacettepe Üniversitesi- Yerköy Kaymakamlığı.Yozgat
- Tahir, Y., 1987, Yerköy ve yöresi uranyum aramaları, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara
- TSE, 1986, Türk Standartları Enstitüsü, İçme Suları Standardı No:266, Ankara.
- TSE, TS 266, 2005. Türk Standartları Enstitüsü, İçme suları standartları No:226, Ankara.
- Tonani, F., 1980, Some remarks on the application of geochemical techniques in geothermal exploration. Adv. Eur. Geoth. Res. Second Symp., Strasbourg, pp. 428-443.
- Truesdell, A. H., 1976, Summary of section III geochemical techniques in exploration. Proc. of Second United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources, 1975, San Francisco, U.S. Gov. Print. Office, pp. 53-79.
- Unterweger, M.P., Lucas, L.L., 2000, Calibration of the national institute of standards and technology tritiated-water standards, Applied Radiation and isotopes USA
- WHO, 1993. Drinking water standards, in Engineering Geology and Environmental.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Elif YILMAZ

Doğum Yeri : İstanbul

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Bekar

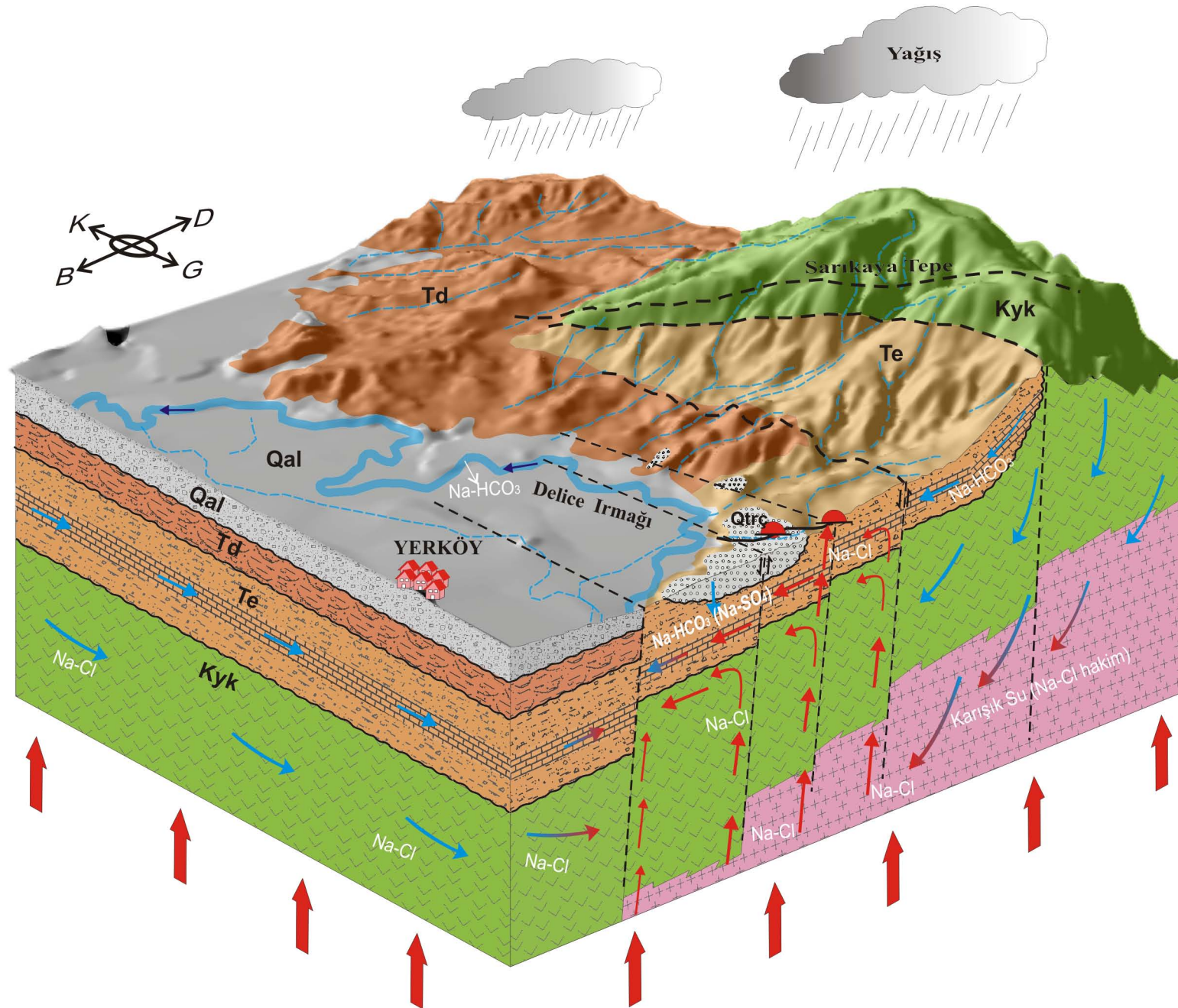
Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1994-1997 Cibali Lisesi (İstanbul)

Lisans 1999-2000 HÜ Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği

Yabancı Dil: İngilizce

YERKÖY JEOTERMAL ALANININ KAVRAMSAL HİDROTERMAL MODELİ



AÇIKLAMA

Kuvaterner	Qal	Alüvyon Geçirimli
	Qtrç	Taraça Geçirimli
Oligosen	Td	Deliceirmak Formasyonu Kumtaşı ve çakıltası seviyeleri yer yer geçirimli
	Te	Kumtaşı, kireçtaşı, çamurtaşı Geçirimsiz
	Te	Nummilitik kireçtaşı Geçirimli
Eosen	Te	Çakıltası, kumtaşı, çamurtaşı Geçirimsiz
	Kyk	Kötüdağ Volkanitleri Kırık ve altere zonlar geçirimli
Paleosen Kretase ?	Ky	Yozgat Granitoyiti Kırık ve altere zonlar geçirimli
		Soğuk yeraltısuyu akım yönü
		Jeotermal gradyan ile ısı kazanmış yeraltısuyu akım yönü
		Sıcak yeraltısuyu akım yönü
		Fay
		Sıcak ve mineralli su kaynağı
		Yerleşim yeri
		Isı

Ölçeksizdir