

**KARACAAHMET (POLATLI-ANKARA) SICAK ve MİNERALLİ
SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ**

**HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL
AND MINERAL WATERS OF
KARACAAHMET (POLATLI-ANKARA)**

SAFİGÜL TUBA TÜRKMEN

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2008

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü' ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLOJİ (HİDROJEOLOJİ) MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan



Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

Üye (Danışman)



Prof. Dr. Alparslan ARIKAN

Üye (Eş Danışman)



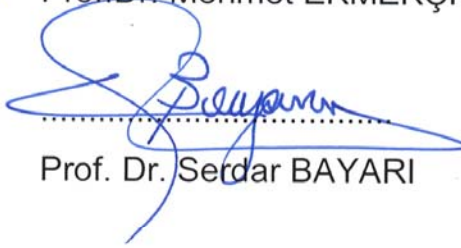
Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK

Üye



Prof. Dr. Mehmet EKMEKÇİ

Üye



Prof. Dr. Serdar BAYARI

ONAY

Bu tez, .../ Eylül/ 2008 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

.../ Eylül /2008

Prof. Dr. Erdem YAZGAN
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜ MÜDÜRÜ

KARACA AHMET (POLATLI-ANKARA) SICAK ve MİNERALLİ SULARININ HİDROJEOKİMYASAL İNCELENMESİ

Safigül Tuba Türkmen

ÖZ

Bu çalışmada Karacaahmet (Polatlı-Ankara) inceleme alanında yer alan sıcak ve mineralli suyun kökeninin ve soğuk su kaynakları ile olan ilişkisinin aydınlatılması ve bağlı bulunduğu jeotermal sistemin açıklanması amaçlanmıştır.

Çalışma alanı, Ankara ilinin 77 km güneybatısında bulunan Polatlı ilçesi sınırları içerisinde bulunmaktadır. Çalışma alanında temel kayaç altere granit ve granodiyoritlerden oluşan Yalnızçam Granodiyoritidir. Yalnızçam granodiyoriti üzerine uyumsuz olarak gelen Eosen yaşlı çökel birimler; kil-marn, tüfit ve ince kireçtaşı arabantlarının ardalanmasından oluşmaktadır. Bu çökel birimlerin üzerine uyumsuz olarak Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu gelmektedir. Jipsli marn-kil, jips, marn, çamurtaşı ve kireçtaşı 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. Karacaahmet jeotermal alanında KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylar önemli yapısal oluşumdur. Sıcak su bu fayların birbirlerini kestiği yerde yüzeylenmektedir.

Sahada temel kaya olan granodiyoritin altere, faylı ve kırıklı çatlaklı zonları yerel olarak geçirimli olup akifer özelliğindedirler. Çalışma alanında, Eosen ve Miyosen yaşlı birimlerin kıltaşı, marn, jips içeren zonları örtü kayaç niteliğindedir. Çökel birimler içerisindeki kireçtaşları hidrojeolojik olarak yerel öneme sahiptirler. Ankara Çayı ve Sakarya Nehri yatağında yer alan çakıl, kum ve kilden oluşan alüvyonlar ise önemli soğuksu akiferleridir.

Alandaki sıcak ve mineralli suyun sıcaklık değeri 38.8 ve 39.9 °C arasında, özgül elektriksel iletkenlik değerleri ise 15025 ve 15340 (µS/cm) arasında yüksek değerler göstermektedir. İyon içeriklerine göre sıcak ve mineralli sular Na-SO₄, soğuk sular ise Ca-HCO₃, Na-HCO₃, Na-SO₄, Ca-SO₄ tipi sular sınıfına girmektedir.

Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı ile Kapullu Hamamı kaynağının ana rezervuar kayacının aynı olması nedeniyle; Kapullu Hamamı kaynağına ait hidrokimyasal verilerde bu tez çalışması kapsamında kullanılmıştır. Kapullu Hamamı kaynağının da Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı gibi Na-SO₄'lı sular sınıfında yeraldığı ve bu sıcak ve mineralli suların kökenlerinin aynı olduğu belirlenmiştir.

Mineral doygunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının sülfatlı minerallere, halite ve silise doygun olmadıkları ancak, bu suların kuvars, kalsit ve dolomit minerallerine doygun oldukları belirlenmiştir.

Karacaahmet jeotermal alanının rezervuar sıcaklığı kalsedon jeotermometresi ile 47-50 °C arasında ve rezervuar derinliği ise 872 m olarak hesaplanmıştır.

³H içeriğinin güncel yağışlara göre daha düşük olması kaynağın göreceli olarak uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltı suları ile beslendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelime; Sıcak ve mineralli sular, hidrojeokimya, jeotermal, çevresel izotop, Karacaahmet, Polatlı

Danışman: Prof. Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Hidrojeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Eş Danışman: Prof. Dr. şakir şİMŞEK, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mhendisliği Blm, Hidrojeoloji Mhendisliği Ana Bilim Dalı

HYDROGEOCHEMICAL INVESTIGATION OF THERMAL AND MINERAL WATERS OF KARACAAHMET (POLATLI-ANKARA)

Safigül Tuba Türkmen

ABSTRACT

This study aims to explain the geothermal system in Karacaahmet and its vicinity by clarifying the origin of both thermal and mineral waters, and by defining the relationship between cold and thermal waters.

The study area is located in Polatlı county, 77 km SW of the province of Ankara. The basement rock in the field is Yalnızçam Granodiorite, which consists of altered granites and granodiorites. Eocene sediments (Em₂), which unconformably overlie Yalnızçam Granodiorite, consist of interbedded clay-marl, tuffite and limestone units. Miocene aged Porsuk Formation sediments unconformably overlie Eocene sediments. The Porsuk Formation, which consists of interbedded gypsum-bearing marl-clay, gypsum, marl, mudstone and limestone, crops out in the north of the area. These units are unconformably covered by Quaternary alluvium. The Karacaahmet Geothermal Area is controlled by predominantly NW-SE and NE-SW striking normal faults. Thermal waters emerge along the intersection of faults.

Altered, fractured, and faulted granodiorites are locally significant aquifers when capped by impermeable Eocene and Miocene clay, marl, and gypsum. Limestone in sedimentary rocks are also important hydrogeologically, while conglomerate, sand and clay beds deposited by the Ankara River and Sakarya River are important aquifers for cold water.

Thermal water temperatures in the Karacaahmet field range from 38.8 to 39.9 °C, while electrical conductivity values range from 15.025 and 15.340 (µS/cm). According to their ionic content, the hydrochemical facies of the thermal waters are Na-SO₄ type, while the facies of cold waters are Ca-HCO₃, Na-HCO₃, Na-SO₄ and Ca-SO₄ type.

In the absence of reliable samples, and inasmuch as the Kapullu Hamam and Karacaahmet geothermal water resources both consist of Na-SO₄ type water from

similar reservoir types, the hydrochemical data for Kapullu Hamam was substituted for actual Karacaahmet sample data, for the purposes of this study.

Mineral saturation calculations have determined that thermal water resources are oversaturated with quartz, calcite and dolomite, but undersaturated with respect to sulfate minerals, halite, or silica.

Chalcedony geothermometry has reliably constrained reservoir temperature between 47-50 °C, while defining the reservoir depth of 872 m.

The lower H³ content of local groundwaters relative to current rainfall indicates that local springs are fed by older aquifer waters.

Key Words: Hot and mineral waters, hydrogeochemistry, geothermal, environmental isotope, Karacaahmet, Polatlı.

Advisor: Prof. Dr. Alparslan ARIKAN, Hacettepe University, Geological Engineering Department, Hydrogeological Engineering Section.

Co-advisor: Prof. Dr. Şakir ŞİMŞEK, Hacettepe University, Geological Engineering Department, Hydrogeological Engineering Section.

TEŞEKKÜR

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

Prof.Dr. Alparslan ARIKAN (Tez Danışmanı) çalışmanın tüm aşamalarında değerli görüşleriyle katkıda bulunmuş ve desteğini hiçbir zaman esirgememiştir.

Prof.Dr. Şakir ŞİMŞEK (Eş Tez Danışmanı) saha, laboratuvar ve değerlendirme çalışmalarında yol gösterici olmuş ve tecrübeleri ile araştırmalara yön vererek katkıda bulunmuştur.

Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Elif YILMAZ (HÜ), Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Kemal KOÇ (HÜ) arazi çalışmalarının gerçekleşmesinde yardımcı olmuşlardır.

Prof.Dr. Serdar BAYARI, Dr. N. Nur ÖZYURT (HÜ), Hidrojeoloji Yüksek Mühendisi Hüseyin KARAKUŞ (HÜ) bilgi ve öneriyle katkıda bulunmuştur.

Kimya Müh. Füsun MUSLU (HÜ) ve Kimyager Esin ÖNCEL (HÜ) su kimyası analizleri ve trityum analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

Serhan TANRISINIBİLİR (TPAO), Mustafa OYMAEL (TPAO) silis ve bor analizlerini gerçekleştirmişlerdir.

TUBİTAK 2006 ve 2007 öğrenim yıllarında verdiği öğrenci başarı bursuyla tez çalışmasına maddi katkı sağlamıştır.

Bu çalışmanın her aşamasındaki manevi desteklerinden dolayı Yıldız KARAKEÇE, Ceyda ÇETİNKAYA, Selda BAYAR, Melike ÖZKAYA, Fatih AYDIN, Burcu TOPÇAM, Ahmet KAMANLI ve canım aileme içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
FOTOGRAFLAR DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2 Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri.....	1
1.3.Çalışma Alanının Yeri.....	1
1.4. İklim ve Bitki Örtüsü.....	3
1.5. Önceki Çalışmalar.....	8
2. JEOLOJİ.....	10
2.1 Stratigrafi.....	10
2.1.1.Mesozoyik.....	10
2.1.1.1. Üst Kretase.....	10
2.1.2. Tersiyer.....	15
2.1.2.1. Alt Eosen.....	15
2.1.2.2. Orta- Üst Miyosen.....	17
2.1.3. Kuvaterner.....	18
2.2. Yapısal Jeoloji.....	19
3. HİDROJEOLOJİ.....	21
3.1.Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri.....	21
3.1.1. Geçirimsiz birimler.....	21
3.1.2. Yarı geçirimli birimler.....	21
3.1.3. Geçirimli birimler.....	21
3.2. Yüzey ve Yeraltı suları.....	24

	<u>Sayfa</u>
3.3. Kaynaklar.....	25
3.3.1. Soğuksu kaynakları.....	25
3.3.2. Soğuksu sondaj kuyuları.....	25
3.3.3. Sıcaksu kaynağı ve kuyusu.....	25
4. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI.....	28
4.1. Suların Fiziksel Özellikleri	31
4.1.1. Sıcaklık (°C).....	31
4.1.2. Elektriksel iletkenlik (Eİ).....	31
4.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH).....	32
4.2. Suların Kimyasal Özellikleri.....	33
4.2.1. Majör iyonlar.....	33
4.2.2. Kirlilik analizleri.....	39
4.2.3. Ağır metal analizleri.....	42
4.3. Su Kaynaklarının Kökeni.....	47
4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri.....	47
4.3.2. Schoeller diyagramı.....	48
4.3.3. Piper diyagramı.....	50
4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması.....	52
4.4.1. Wilcox diyagramı.....	52
4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı.....	55
4.5. Suların Mineral Doygunlukları.....	59
4.6. Jeotermometre Uygulamaları.....	62
4.6.1. Katyon jeotermometreleri.....	62
4.6.2. Silis jeotermometreleri.	66
4.7. Karacaahmet Sıcak ve Mineralli Su Kaynağının Yaklaşık Rezervuar Derinliğinin Tahmini.....	67
5. İZOTOP HİDROJEOLJİSİ.....	69
5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları.....	69
5.2. Trityum (³ H).....	69

	<u>Sayfa</u>
6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL	73
6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı	73
6.2. Isı Kaynağı.....	73
6.3. Hazne Kayaç.....	74
6.4. Örtü Kayaç.....	74
7. SONUÇ ve ÖNERİLER	76
8. KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Bkz	Bakınız
Eİ	Elektriksel İletkenlik
l/s	Litre/saniye
meq/l	Miliekivolan/litre
mg/l	Miligram/litre
μ S/cm	Mikrosiemens/santimetre
ppm	Milyonda bir kısım
pH	Hidrojen İyonu aktivitesi negatif logaritması
T	Sıcaklık ($^{\circ}$ C)
R ²	Determinasyon Katsayısı
SI	Doğunluk İndisi
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
HÜ	Hacettepe Üniversitesi
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
TSE	Türk Standartları Enstitüsü Genel Müdürlüğü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TPAO	Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
WHO	World Health Organization

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	2
Şekil 1.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı.....	4
Şekil 1.3. Polatlı DMİ'ye ait ortalama yağış ve sıcaklık değişimi.....	7
Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafik kesiti (Ölçeksiz).....	11
Şekil 2.2. Çalışma alanının jeoloji haritası (1/25000).....	12
Şekil 2.3. Çalışma alanının jeoloji kesitleri.....	13
Şekil 2.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinin 1/100000'lik jeoloji haritası.....	20
Şekil 3.1. Çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit (Ölçeksiz)	22
Şekil 3.2. Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini gösteren harita (1/25000).....	23
Şekil 3.3. Çalışma alanında açılmış olan sıcak su sondaj kuyusu yeri ve logu.....	27
Şekil 4.1. Çalışma alanında yer alan a) Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004), b) Temmuz-2007 dönemi sularının Schoeller diyagramı	49
Şekil 4.2.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004) dönemi Piper diyagramı....	51
Şekil 4.2.b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz-2007 dönemi Piper diyagramı.....	51
Şekil 4.3.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004) dönemi Wilcox diyagramı.....	53
Şekil 4.3.b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz-2007 dönemi Wilcox diyagramı.....	54

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.4. Çalışma alanında yer alan a) Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004), b) Temmuz-2007 dönemi suların ABD tuzluluk Diyagramı.....	57
Şekil 4.5.a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı (Nisan-2007, KH için Mayıs-2004).....	61
Şekil 4.5.b. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı Temmuz-2007 (K9 için Kasım-2006).....	61
Şekil 4.6. Karacaahmet sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg diyagramındaki konumları	65
Şekil 5.1. İnceleme alanındaki kaynak sularının TU-Eİ grafiği.....	72
Şekil 6.1. Karacaahmet jeotermal alanının kavramsal hidrotermal modeli.....	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm).....	5
Çizelge 1.2. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (⁰ C).....	6
Çizelge 4.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM koordinatları.....	30
Çizelge 4.2.a. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Nisan-2007).....	34
Çizelge 4.2.b. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Temmuz-2007).....	35
Çizelge 4.3. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları.....	40
Çizelge 4.4. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait ağır metal analiz sonuçları	43
Çizelge 4.5. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait hakim iyon sıralaması.....	48
Çizelge 4.6. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri.....	60
Çizelge 4.7. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).....	63
Çizelge 4.8. İnceleme alanındaki sıcak sular için katyon jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları (⁰ C).....	64
Çizelge 4.9. Silis jotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO ₂ derişimidir).....	66
Çizelge 4.10. Sıcak su kaynakları için silis jeotermometreleri ile hesaplanan rezervuar sıcaklıkları.....	67
Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki su örneklerinin Tritiyum analiz sonuçları.....	71

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Foto 2.1. Yalnızçam Granodiyoriti ve Ankara Çayı.....	14
Foto 2.2. Yalnızçam Granodiyoritinin eklemli yapısı.....	14
Foto 2.3. Yalnızçam Granodiyoriti ve Mamuca Formasyonu arasındaki dokanağın görünümü.....	16
Foto 2.4. İnceleme alanındaki Porsuk Formasyonu'ndaki erime boşluklu ve kolay aşınmalı jipsli birimler.....	18
Foto 2.5. İnceleme alanındaki boşluklu travertenin görünümü.....	19
Foto 3.1. Kırıklı, çatlaklı ve eklemli Yalnızçam Granodiyorit mostrası.....	24
Foto 3.2a. Ankara Çayı ve Foto 3.2b. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı.....	26
Foto 4.1. Kimyasal analiz için a) Karacaahmet Kaplıcası sıcaklık ölçümü ve b) İnönü Çiftliği çeşmeden su örneklerinin alınması.....	29

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu tez çalışmasında, Karacaahmet (Polatlı-Ankara) jeotermal alanında bulunan sıcak ve mineralli su kaynağının hidrokimyasal ve izotopik verilerle değerlendirilip; jeotermal sistemdeki akışkanın karakteri, mineral dengesi, kökeni ve bağlı bulunduğu jeotermal sistemin kavramsal modelinin ortaya konulması amaçlanmaktadır.

Bu amaç doğrultusunda, bölgenin jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine ilişkin önceki çalışmalar incelenip saha çalışmalarıyla birlikte değerlendirilerek bölgenin litolojik ve hidrojeolojik özellikleri belirtilmiştir. Mevsimsel farklılıkların su kaynakları üzerinde herhangi bir etkisinin olup olmadığının gözlenmesi amacıyla inceleme alanı ve yakın çevresindeki sıcak ve soğuk su kaynaklarından yağışlı ve kurak dönemde olmak üzere iki periyotta örnekler alınmış ve kimyasal, izotopik analizleri yapılmıştır.

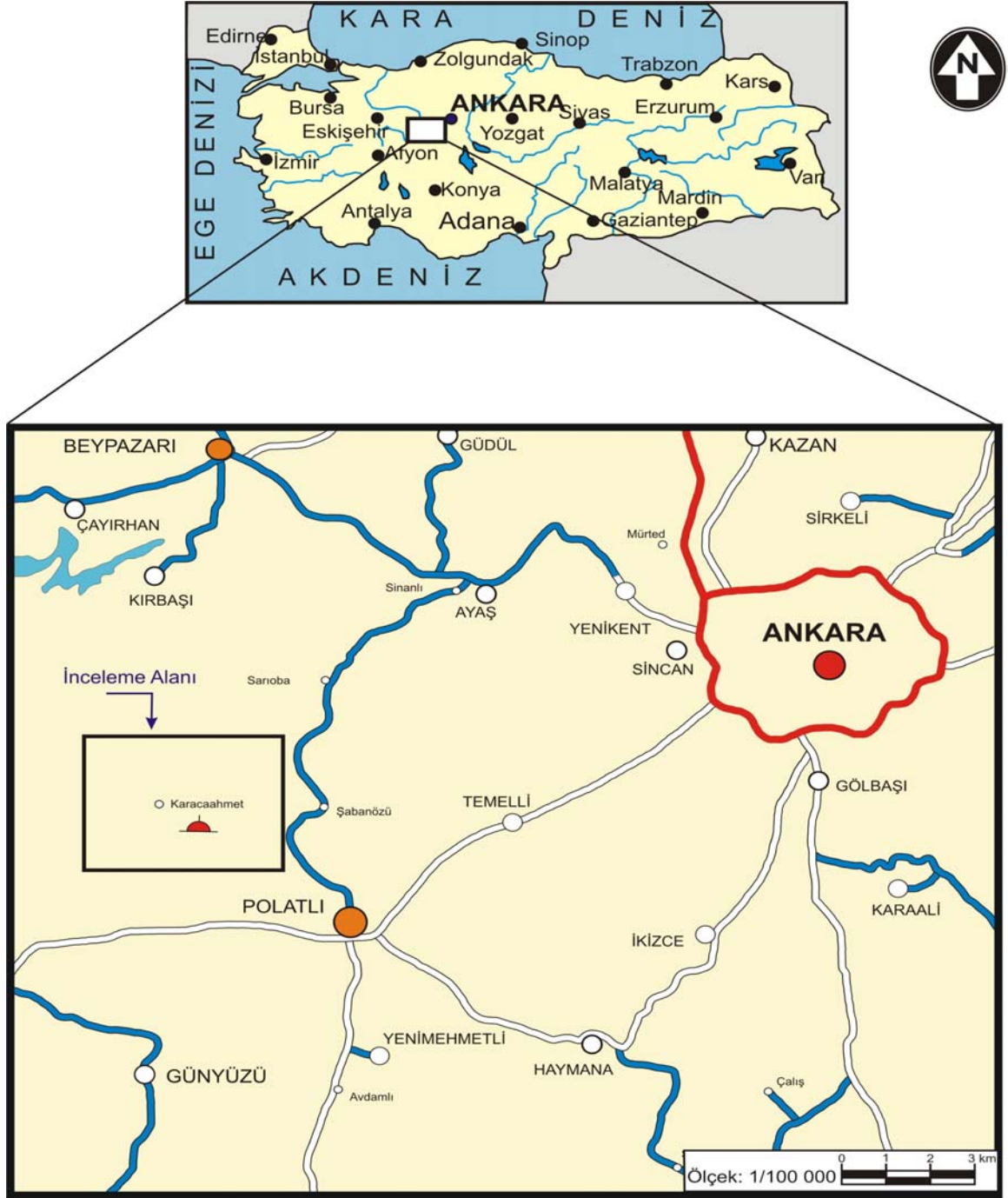
1.2. Çalışma ve Değerlendirme Yöntemleri

Büro çalışması kapsamında bölgeye ait daha önce yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Bu çalışmalar saha gözlemleri ile de birleştirilerek bölgeye ait 1/25000'lik jeolojik ve hidrojeolojik haritalar ve kesitler çizilmiştir. İnceleme alanı ve yakın çevresindeki sıcak ve soğuk su kaynaklarından Nisan ve Temmuz 2007 olmak üzere iki dönem örnek alınmıştır. Bu örneklere ait kimyasal ve izotopik analizler gerçekleştirilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçlarının yorumlanmasında grafiksel gösterimlerden ve Phreeqc model programından yararlanılmıştır. Jeotermal alanın rezervuar sıcaklığı silis ve katyon jeotermometre eşitlikleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sıcak su kaynaklarının kökenleri, kimyasal analiz sonuçları, jeotermometre yöntemleri, doygunluk ve kimyasal tür dağılımı değerlendirmeleri ile açıklanmaya çalışılmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Yeri

İnceleme alanı, 1/25000 ölçekli Ankara İ-27 b3 ve b2 paftalarında, Ankara il merkezinin 77 km GB'sında yer alan Polatlı ilçe merkezi sınırları içerisinde bulunmaktadır (Şekil 1.1).



Açıklamalar

	Şehir Merkezi		Sıcak ve minerali su		Devlet Yolları
	İlçe Merkezi		Otoyollar		Bölünmüş Yollar
	Yerleşim Yerleri				

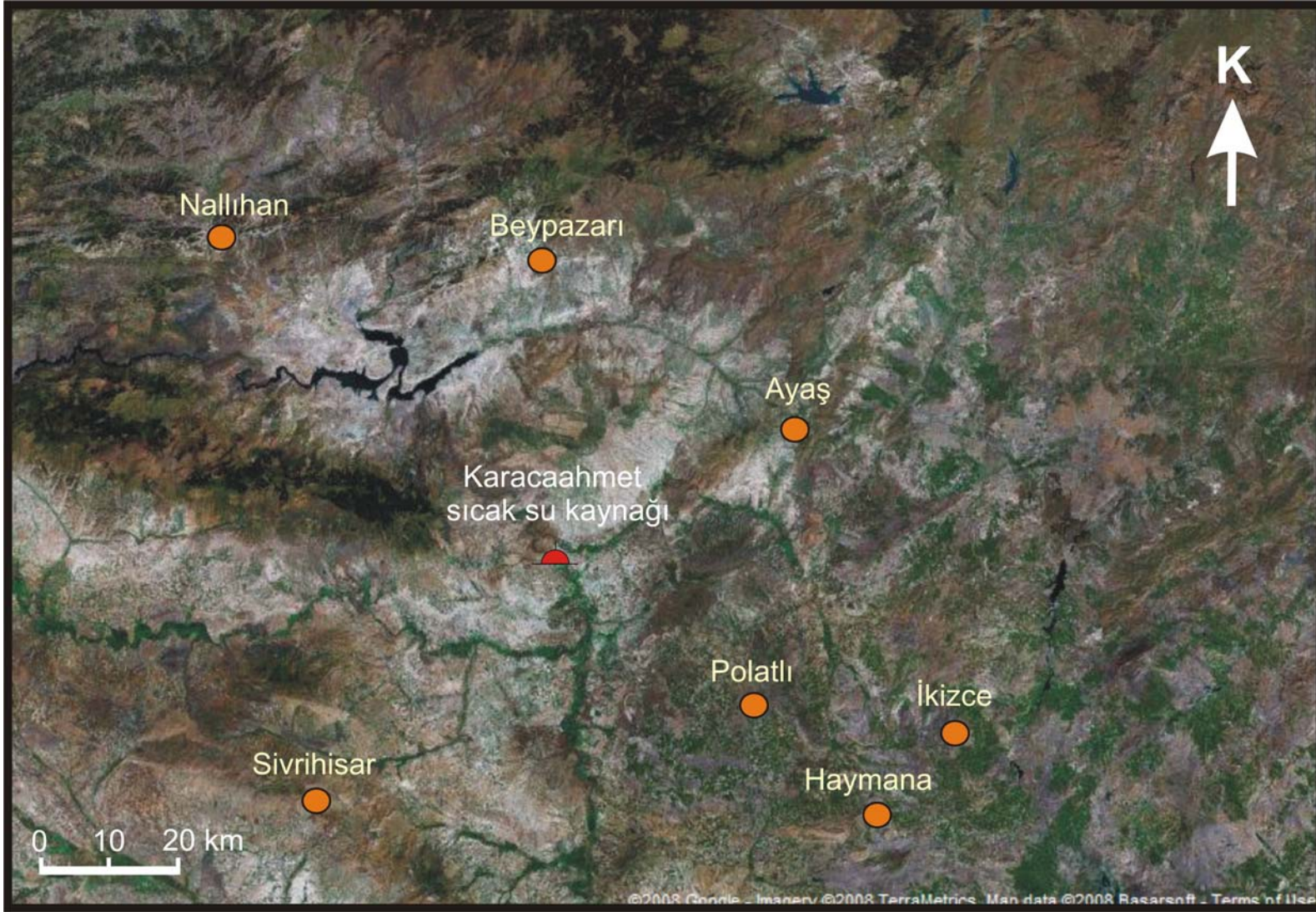
Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritaları

İnceleme alanında yükselti kuzeyden güneye doğru azalmaktadır. İnceleme alanının en önemli akarsularını Ankara Çayı ve Sakarya Nehri oluşturmaktadır. Ayrıca inceleme alanında özellikle geçirimsiz birimler üzerinde gelişen mevsimsel dereler bulunmaktadır. İnceleme alanı sınırları içinde yer alan yerleşim yerleri Mahmutlar, Gençali, Çağlayık Çiftliği ve İğmir Çiftliği'dir.

1.4. İklim ve Bitki Örtüsü

İnceleme alanında İç Anadolu Bölgesi'nde hakim olan karasal iklim; yazlar sıcak ve kurak, kışlar soğuk ve sert hüküm sürmektedir. Yağışların yaklaşık %63'lük kısmı ilkbaharda yağmur şeklinde ve kışın da kar şeklinde düşmektedir. Hakim bitki örtüsü bozkırdır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinde yer alan Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen istasyonlardan yağış ve sıcaklık verileri elde edilmiştir (Şekil 1.2). Çalışma alanı ve yakın çevresinde yer alan 7 adet yağış gözlem istasyonunun 1975-2006 yılları arasındaki aylık ortalama yağış ve sıcaklık ölçümleri incelendiğinde en yüksek yağışın Aralık ayında, en düşük yağışın ise Temmuz ayında; en düşük sıcaklığın Ocak ve en yüksek sıcaklığın ise Temmuz ayında gerçekleştiği gözlenmiştir (Çizelge 1.1-1.2). Buna göre Polatlı DMI'ye düşen ortalama yağış 365.4 mm/yıl, ortalama sıcaklık ise 11.5 °C olarak hesaplanmıştır . Polatlı DMI'ye ait ortalama sıcaklık ve yağış arasındaki ilişki Şekil 1.3'de verilmiştir.



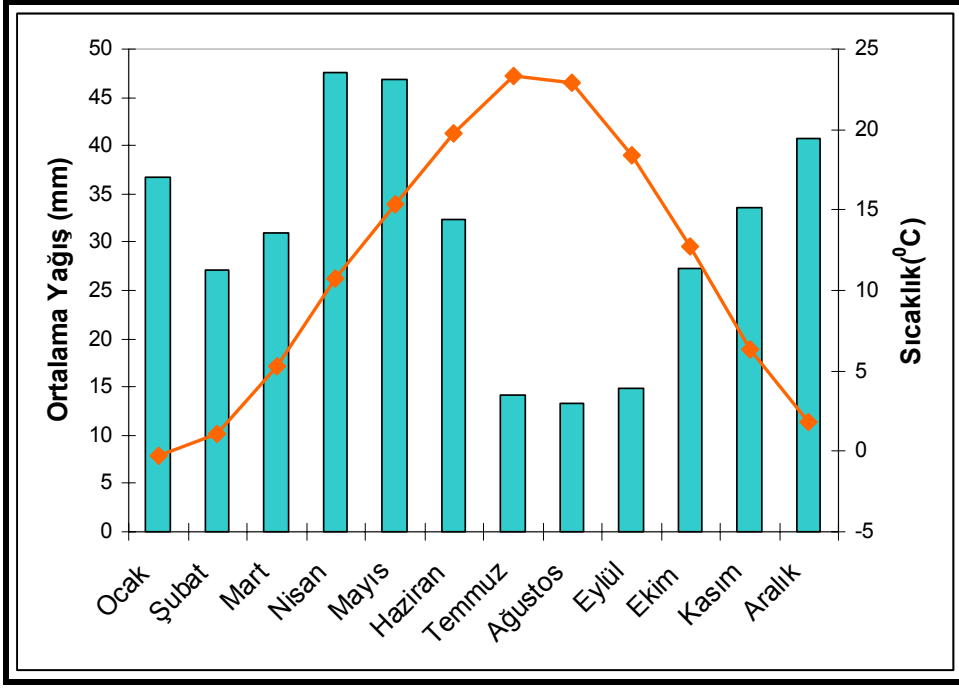
Şekil 1.2. İnceleme alanı ve yakın çevresi yağış gözlem istasyonlarının dağılımı

Çizelge 1.1. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama yağış değerleri (mm)

İstasyon	Gözlem Süresi	Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
AYAS	1975-1990	910	53.8	29.0	34.4	53.5	45.4	35.4	9.8	10.9	19.4	36.6	37.2	57.7	423.1
İKİZCE	1975-2004	925	37.9	30.9	41.2	50.1	48.4	32.1	13.6	13.9	25.4	39.3	37.9	53.3	424.0
HAYMANA	1975-1991	1225	44.6	23.6	31.0	45.5	59.4	26.0	10.5	14.3	19.4	47.8	45.5	50.6	418.2
NALLIHAN	1975-2006	650	39.6	27.4	29.9	32.1	25.2	17.0	14.5	14.8	22.6	27.5	34.3	46.2	331.1
BEYPAZARI	1975-2006	682	48.0	35.0	34.1	47.8	41.6	29.3	15.2	15.2	20.0	31.8	37.4	58.0	413.4
SİVRİHİSAR	1975-2006	1070	38.2	32.6	34.1	50.5	51.0	29.3	18.0	16.4	17.9	32.9	38.8	47.7	407.4
POLATLI	1975-2006	886	36.8	27.1	31.0	47.5	46.9	32.4	14.1	13.2	14.9	27.3	33.5	40.7	365.4

Çizelge 1.2. İnceleme alanı dolayındaki meteoroloji istasyonlarına ait aylık ortalama sıcaklık değerleri (°C)

İstasyon	Gözlem Süresi	Yükselti (m)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
AYAS	1975-1990	910	0.9	2.7	6.2	10.8	13.9	19.2	22.4	22.3	18.1	12.2	6.5	2.2	11.5
İKİZCE	1985-2004	925	-0.5	0.7	4.7	9.7	13.4	17.4	20.6	21.3	17.0	11.8	5.0	0.5	10.1
HAYMANA	1975-1991	1225	0.4	3.3	6.0	10.5	14.5	17.9	20.5	18.8	14.6	8.4	5.6	0.7	10.1
NALLIHAN	1975-2006	650	1.3	2.7	6.7	11.6	16.1	20.4	23.0	23.0	19.1	13.3	7.1	3.0	12.3
BEYPAZARI	1975-2006	682	1.1	2.7	7.1	12.5	17.4	21.6	24.8	24.6	20.0	14.1	7.5	3.0	13.0
SIVRIHISAR	1975-2006	1070	0.0	1.1	5.1	10.3	15	19.3	22.5	22.2	18.2	12.8	6.6	1.9	11.3
POLATLI	1975-2006	886	-0.3	1.1	5.3	10.7	15.4	19.8	23.3	22.9	18.4	12.7	6.3	1.8	11.5



Şekil 1.3. Polatlı DMI'ye ait ortalama yağış ve sıcaklık değişimi

1.5. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanına yönelik daha önceden yapılan çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Öktü, 1987; Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının hidrokimyasal analizini yapmıştır. Kaplıca suyunu kimyasal bileşimine göre “Florür içeren sodyumlu, sülfatlı, klorürlü sıcak sular” sınıfına girdiğini; sulama suyu olarak “uygun değil” sınıfında bulunduğunu; kireçlendirici özelliğe sahip olduğunu; sodyum ve bor içeriğinin fazla olmasından dolayı tarımda kullanılmaması gerektiğini belirtmiştir.

Helvacı vd., 1994; Beypazarı (Ankara) granitinin jeolojisini ve mineralojisini belirleyerek, granitin bir kabuk ergimesi sonucunda oluştuğunu ve olasılıkla Üst Kretase yaşında olduğunu belirtmiştir.

Gözler vd., 1996; Çalışma alanının ve çevresinin 1/25000 ölçekli haritalarını yapmış, jeolojik birimlerin tanımlamalarını ve adlamalarını yapmıştır. Birimlerin birbirleriyle olan dokanak ilişkilerini belirlemiştir.

Sarıarslan vd., 1998; inceleme alanında yer alan birimlerin 1/100000’lik haritalarını yapmış ve birimlerin hidrojeolojik özelliklerini tanımlamıştır. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının sıcaklığını 38 °C ve debisini de 0.3 l/s olarak belirlemiştir.

Zoroğlu vd., 2004, Oymaağaç, Kırbaşı ve Yalnızçam dolayında mostra veren granit, granodiyorit, monzonit ve kuvars monzonit bileşimindeki kayaçların aynı kökene bağlı olduğu ve tek bir intrüzif kütle içinde olmasından topluca bu granite “Beypazarı Granitoid” ismini verildiğini belirtmişlerdir.

Açıkgöz vd., 2008, Sahada açılan sıcak su arama kuyusunun bitirme raporunu hazırlamaktadırlar. Henüz yayınlanmamış bu raporda; sondajın 250 m derinliğe kadar yapıldığı, kuyudan kompresör yardımıyla 16 l/s debi ile 44 °C sıcaklıkta su elde edildiği bilgisi verilmiştir. Ayrıca, kuyudan çıkan termal suya ait örnekleme ve kimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır.

Diker , 2005, Karacaahmet sıcak ve mineral su kaynağıyla aynı rezervuar kayaca sahip olan Kapullu Hamamı Kaynağı'nın karakterini, kimyasal özelliklerini ve kökenini belirlemiştir.

Diker vd., 2006, Kapullu Hamamı ve çevresindeki Granitoidlerin kinematik incelemesini yapmışlardır. Granitoidlerde yaklaşık 1750 süreksizlik ölçümü yapılmıştır. Bu Granitoyidlerde yapılan süreksizlik ölçümlerinde yaklaşık K70⁰D doğrultulu çekme eklemleri , K21⁰B doğrultulu sıkışma eklemleri belirlemişlerdir. Kapullu Hamamını kesen süreksizlik düzleminin normal fay karakterinde olduğunu belirlemişler ve Kapullu Fayı olarak adlandırmışlardır.

2. JEOLojİ

İnceleme alanını ve yakın çevresinin jeolojisinin incelenmesinde 1/25000 ölçekli Ankara İ-27 b3 b2 ve 1/100000 ölçekli Ankara İ/28 paftalarından yararlanılmıştır. Bu çalışma kapsamında Gözler vd. (1996), ve Sarıarslan vd., (1998) tarafından yapılmış olan jeolojik haritalar temel alınmıştır. Hazırlanan jeoloji haritasında önceki çalışmalarda kullanılan formasyon adlamaları dikkate alınarak benzer yaş ve kayaç türleri birleştirilerek kullanılmıştır. Bölge için oluşturulan jeolojik haritalar ve jeolojik kesitler Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3 de verilmiştir.

2.1. Stratigrafi

Çalışma alanının batısında yüzeylenen granit (Yalnızçam granodiyoriti) en yaşlı birim olup, üstüne uyumsuz olarak Mamuca ve Porsuk Formasyonu gelmektedir. Sahada yüzeylenen traverten ve alüvyon genç birimleri oluşturmaktadır.

2.1.1. Mesozoyik

2.1.1.1. Üst Kretase

Yalnızçam Granodiyoriti (Yγ)

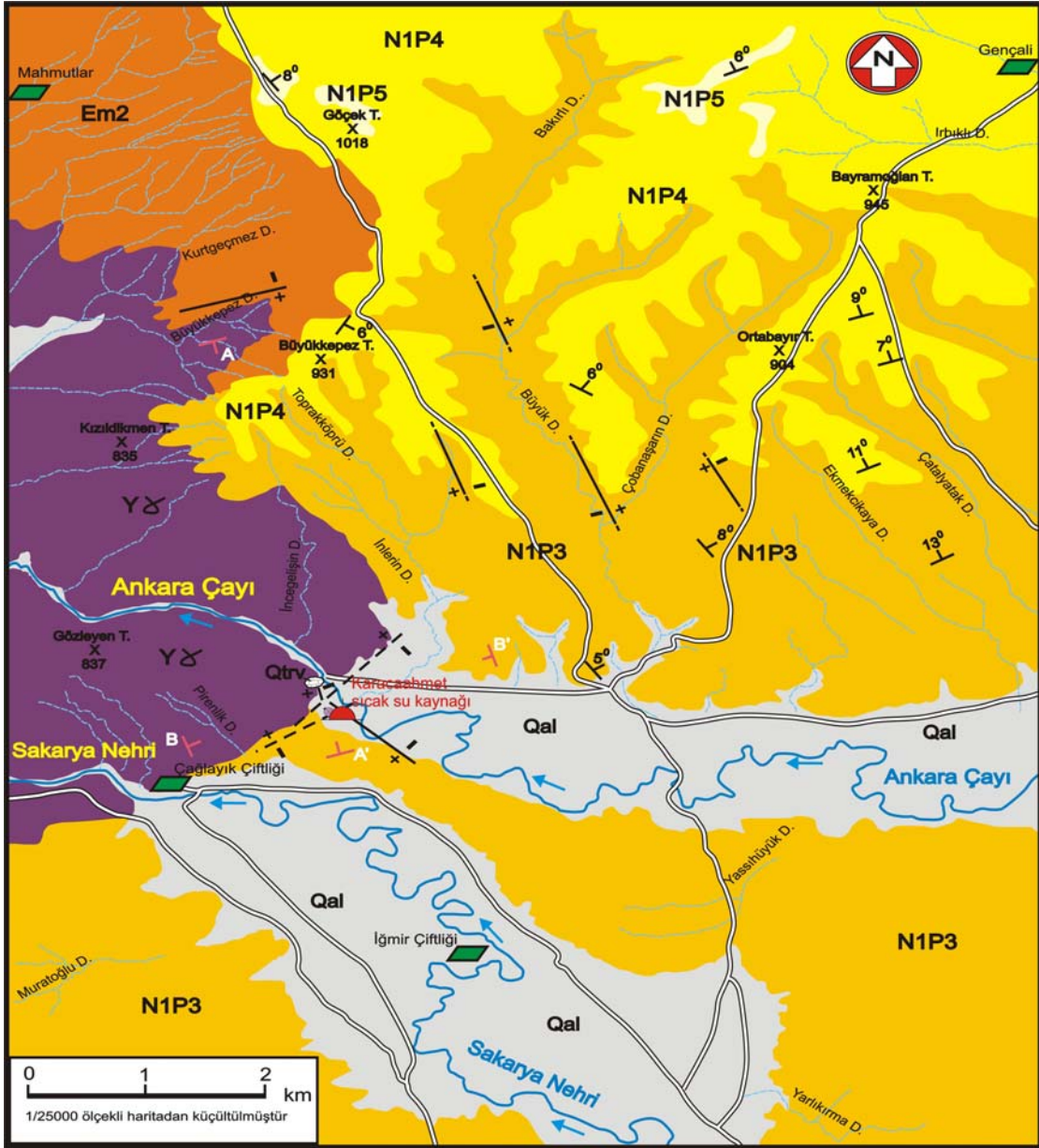
İnceleme alanında Ankara İ-27 b3 paftası içerisinde yer alan Beypazarı granitoyidi olarak da bilinen Yalnızçam granodiyoriti KB-GD doğrultusunda bir yayılım göstermektedir. Okyanus kabuğunun dalma batma nedeniyle dilimlenmesi ve melanjanlanması sonucunda, dalma batma kuşağını üzerleyen blok tarafında kalınlaşan kabuğun içine mağmanın sokulması ile oluşmuştur (Hakyemez vd.,1986). Granit sığ yerleşimli bir batolit kütesidir. Batolit kütesinin granit ve granodiyorit bileşimli türevleri magmatik ayrışmaya bağlı olarak daha önce oluşmuş monzodiyorit ve diyorit anklavlarını sıkça içerir (Helvacı vd.,1994).

Granit yerleşimi sırasında soğumasına paralel olarak eklem takımları ve çatlakları gelişmiştir ve eklem takımlarına bağlı olarak da özellikle soğan kabuğu şeklinde ayrışmalar oluşmuştur (Helvacı,1994). Bu eklem takımları ve ayrışmalar Foto 2.1 ve Foto 2.2'de görülmektedir.

ÜST SİSTEM	SİSTEM/DEVİR	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	KUVATERNER		Alüvyon	0- 40	(Qal)		Alüvyon (Kil, Kum, Çakıl) traverten
							Açısal uyumsuzluk
	TERSİYER	MİYOSEN	Porsuk Formasyonu	50- 400	(N1P5) (N1P4) (N1P3)		Kireçtaşı
							Jipsli marn- kil
EEOSEN	Mamuca Formasyonu	20- 200	(Em2)		Kil- marn tüfit ve ince kireçtaşı arabantlı	Açısal uyumsuzluk	
						Uyumsuzluk	
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Yalnızçam Granodiyoriti	100- 600	(YÇ)		Granit, granidiorit, monzonit, aplit

Gözler vd., 1996 yararlanılarak hazırlanmıştır

Şekil 2.1. Çalışma alanının genelleştirilmiş stratigrafi kesiti (Ölçeksiz).



Gözler vd., 1996'dan alınmıştır.

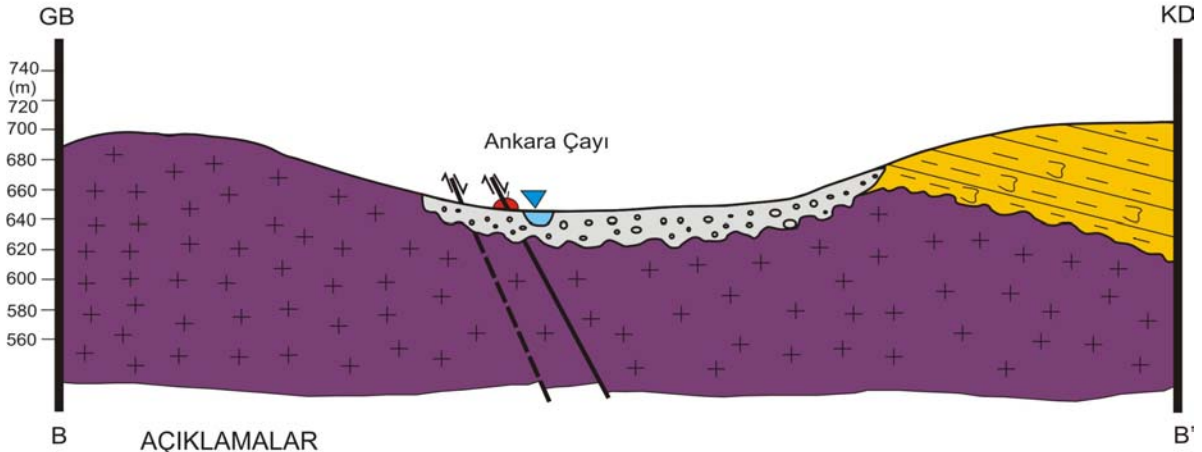
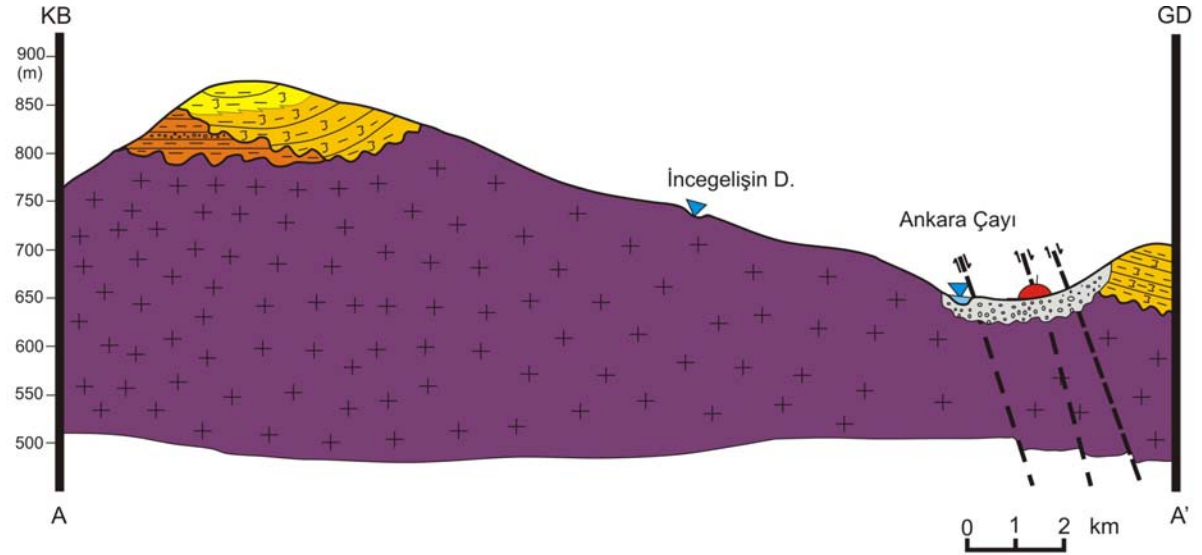
AÇIKLAMA

Kuvaterner	Porsuk Fm.	Qal
		Qtrv
Miyosen	Porsuk Fm.	N1P5
		N1P4
		N1P3
Eosen	Mamuca Fm.	Em2
Üst Kretaase	Yalnızçam Granodiyorit	Y8

- Alüvyon
- Traverten
- Açısal uyumsuzluk
- Kireçtaşı
- Jips, marn ve kırmızı renkli çamurtaşı arakatlı
- Jipsli marn-kil
- Açısal uyumsuzluk
- Kil-marn, tüfit ve ince kireçtaşı arabantlı
- Uyumsuzluk
- Granit, granodiyorit

- Dokanak
- Olası fay
- Fay
- Sıcak su kaynak noktası
- Toprak yol
- Mevsimlik akarsu
- Sürekli akarsu
- Yükselti (m)
- Yerleşim yeri
- Enine kesit hattı
- Sondaj kuyusu

Şekil 2.2. Çalışma alanının jeolojisi haritası



AÇIKLAMALAR

Kuvaterner	Porsuk Fm.	Qal
		Qtrv
Miyosen	Porsuk Fm.	N1P5
		N1P4
		N1P3
Eosen	Mamuca Fm.	En2
Üst Kretase	Yelmezgarn Granadyorit	Y8+

Alüvyon

Traverten

Açısal uyumsuzluk

Kireçtaşı

Jips, marn ve kırmızı renkli çamurtaşı arakatıklı

Jipsli marn-kil

Açısal uyumsuzluk

Kil-marn, tüfit ve ince kireçtaşı arabantlı

Uyumsuzluk

Granit, granodiyorit

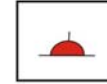
0 1 2 km



Fay



Olası fay



Sıcak su kaynak noktası



Dere

Şekil 2.3. Çalışma alanının jeoloji kesitleri

GB

KD



Foto 2.1. Yalnızçam Granodiyoriti ve Ankara Çayı

B

D



Foto 2.2. Yalnızçam Granodiyoritinin eklemli yapısı

Granitin yerleşimi sırasında soğumasına paralel olarak meydana gelen eklem takımları boyunca kalınlıkları 6-10 m ve uzunlukları 10–350 m arasında değişen KD-GB ve KB-GD gidişli aplit ve pegmatit daykları gelişmiştir. Yalnızçam granodiyoriti inceleme alanının GB'sında, Sakarya Nehrinin alt kısımlarında hidrotermal alterasyona uğramıştır. Granit üzerine yapılan yaş tayinleri farklı sonuçlar vermiştir:

- ❖ Çoğulu vd. (1965) tarafından yapılan yaş tayinlerinde en düşük 33 m.y., en yüksek 151 m.y. yaş elde edilmiştir.
- ❖ Çoğulu ve Krummenacher (1967), tarafından yapılan K/Ar metodu ile 46 m.y. yaş elde edilmiştir.
- ❖ Ataman (1973) tarafından $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ metodu ile feldispatlar üzerine yapılan yaş tayini 72 m.y., biyotitlerde 77.5 m.y., kloritleşme gösteren biyotitlerde 107 m.y. yaş elde edilmiştir.

Helvacı vd. (1994), tarafından yapılan çalışmada granitin Paleozoyik (Permien) yaşlı birimleri keserek yerleştiği, Jura ve Kretase yaşlı birimlerle dokanağının olmadığı, konumuna bağlı olarak granite Paleosen'den yaşlı, Permien'den genç, olasılıkla Üst Kretase yaşı verilmiştir.

2.1.2. Tersiyer

2.1.2.1. Alt Eosen

Mamuca Formasyonu (Em)

Mor, kırmızı, şarabi, gri boz renklerde konglomera ve kumtaşları ile başlayan birim üzerine yeşil renkli killer gelir. Üst seviyelere doğru sarı, sarımsı boz renkte zengin bir bentik foraminifer topluluğuna sahip kil arakatkılı, killi, kumlu kireçtaşlarıyla son bulmaktadır (Gözler vd., 1996).

Bu birim üstten alta doğru doğru; Kireçtaşı Üyesi (Em3), Kil-Marn Üyesi (Em2) ve Konglomera-Kumtaşı Üyesi'nden (Em1) oluşmuştur. İnceleme alanında Kil-Marn Üyesi (Em2) yer almaktadır.

Kil-Marn Üyesi (Em2):

Çoğunlukla yeşil ve sarı renkli olup, yer yer alacalı görünüşte olan seviyelerine rastlanır. Çok ince katmanlanmalı olarak görülen kil ve marnların alt seviyeleri kırmızı ve mora yakın renklerde olup üste doğru kısa mesafelerde yeşile geçer. Sarı renkli kısımlar ise kil ve marnların en üst seviyelerini oluştururlar. Marnlar arasında tüfit ve kumlu kireçtaşı bantları görülmektedir. Kumlu kireçtaşları sarımsı ve boz renktedir (Gözler vd.,1996).

Birim granodiyorit üzerine uyumsuzlukla gelmektedir (Foto 2.3). Üst seviyelerine ise Porsuk Formasyonu açısız uyumsuzlukla gelmektedir (Gözler vd.,1996).

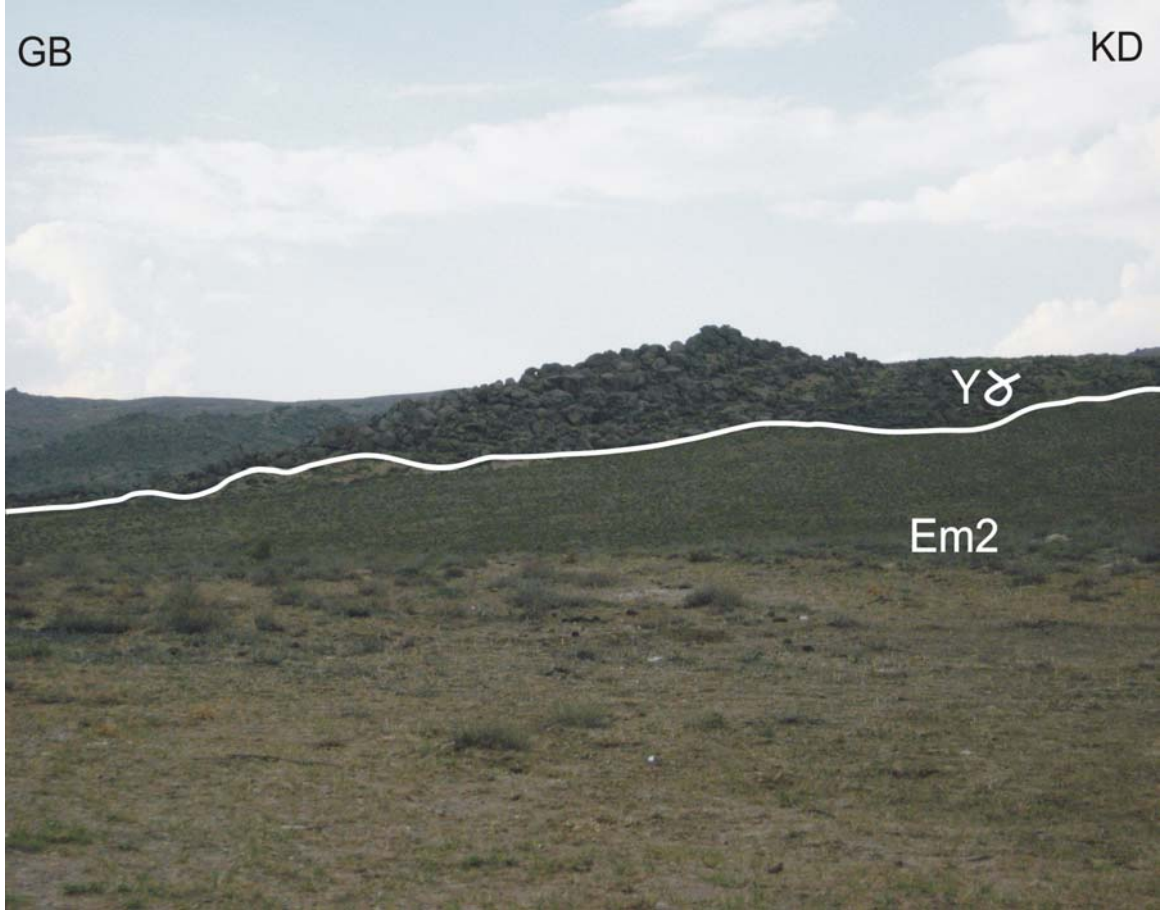


Foto 2.3. Yalnızçam Granodiyoriti ve Mamuca Formasyonu arasındaki dokanağın görünümü

2.1.2.2. Orta- Üst Miyosen

Porsuk Formasyonu (N₁P)

Konglemera, kumtaşı, bazalt akıntıları, tuf, tüfit, marn, kil, jipsli marn ve kil, jips ve kireçtaşlarından oluşan birim yaklaşık D-B doğrultusunda uzanmakta ve Porsuk Çayı boyunca görüldüğünden Porsuk Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Gözler vd.,1996).

Bu birim alttan üste doğru; Konglomera- kumtaşı (N₁P₁), yeşil ve alacalı marnlar ve killeri (N₁P₂), Jipsli marn ve killeri (N₁P₃), Jips-kırmızı renkli jipsli çamurtaşı (N₁P₄), Kireçtaşı (N₁P₅) üyelerinden oluşmaktadır. Sahada bu birimlerden Jipsli marn ve killeri (N₁P₃), Jips- kırmızı renkli jipsli çamurtaşı (N₁P₄), Kireçtaşı (N₁P₅) üyeleri gözlenmiştir.

Jipsli Marn ve Killeri (N₁P₃):

1-3 cm kalınlığında jips seviyeleri içeren yeşil, alacalı, sarı renklerde görülen bu birimi diğer marn ve killere ayıran özelliği jips içermesidir (Gözler vd.,1996).

Jips- Kırmızı Renkli Jipsli Çamurtaşı (N₁P₄):

Arazide gerek renk, gerek morfolojik ve litolojik olarak diğer birimlerden kolaylıkla ayırt edilebilen bu jipsli birim genellikle 10-20 m arasında değişen kalınlıklarda görülür (Foto 2.4). Jipslerin arasında çoğunlukla yeşil renklerde killeri veya ince levhacıklar halinde marnları görmek mümkündür. Bu birim jipsli çamurtaşları olarak jipsli birimlerden ayrılmış ve haritalanmıştır (Gözler vd.,1996).

Kireçtaşı (N₁P₅):

Beyazımsı, gri, sarımsı, bej renklerde, batıda silisifiye olmuş ve yer yer silis arabantlı, doğuda poroziteli killi ve tüflü kireçtaşları şeklinde görülürler. Jipslerin olmadığı yerlerde Neojen havzasının en son üyesini teşkil ederler.

B

D



Foto 2.4. İnceleme alanındaki Porsuk Formasyonu'ndaki erime boşluklu ve kolay aşınmalı jipsli birimler

2.1.3. Kuvaterner

Traverten (Qtrv)

Travertenler, sıcak suların kalsit ve aragonit minerallerine (CaCO_3) doymun olmaları nedeniyle yüzeye çıkışta CO_2 nin ayrılması ve CaCO_3 çökmesi ile oluşmuşlardır. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı çevresinde bulunan travertenler dar bir alanda boz renkli olarak görülmektedir (Foto 2.5).

Alüvyon (Qal)

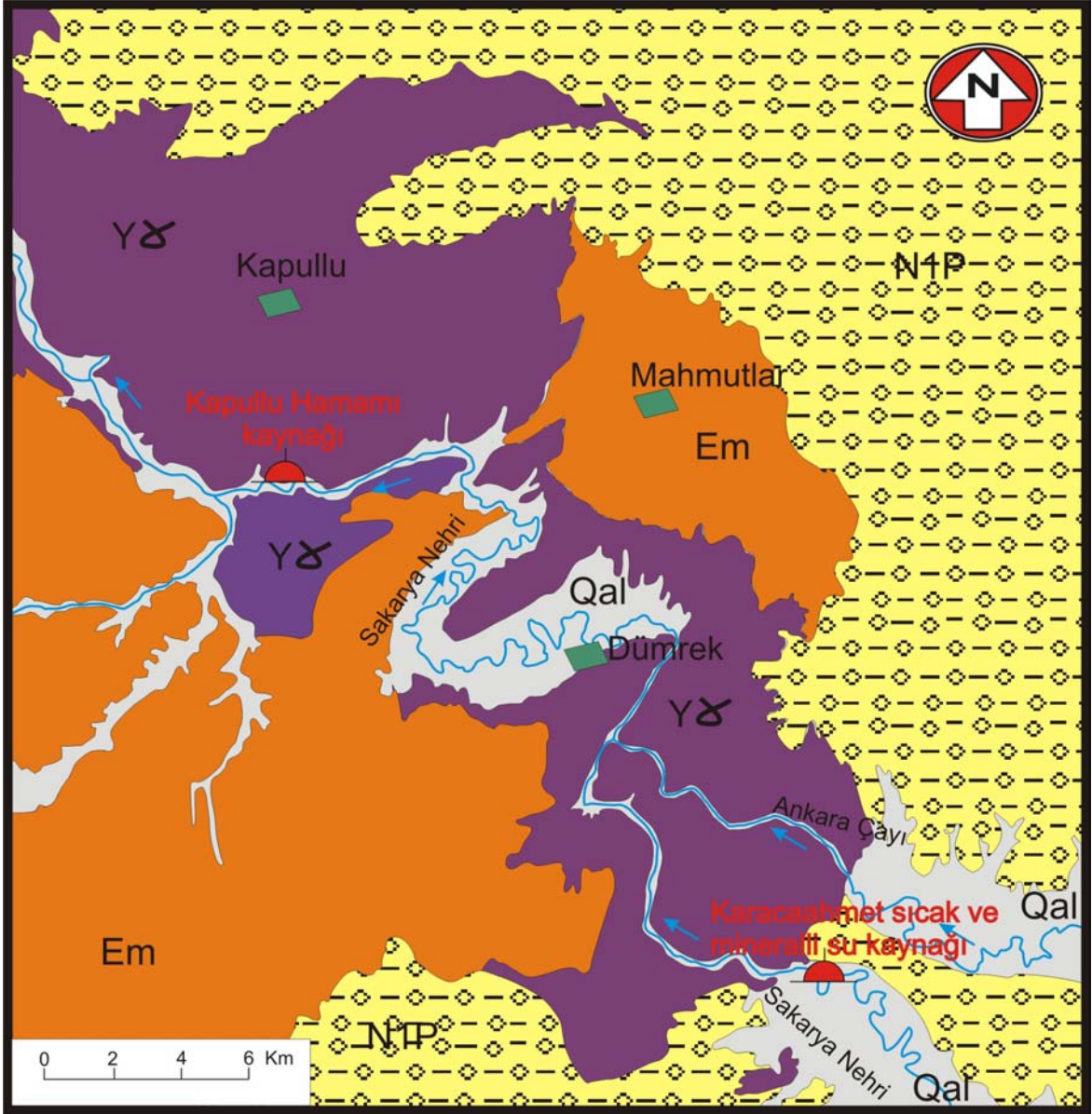
İnceleme alanında alüvyon örtüsü Ankara Çayı ve Sakarya Nehri boyunca yatağın durumuna göre artan genişlikte yer almaktadır. Yer yer çok ince kum, mil ve kil laminalı, büzülme çatlaklı taşkın ovası fasiyesinde oluşmuş olup, çakıltaşı, oluşuk içi çamur topağı, teknesi çapraz tabakalı kum, üstte de mikro çapraz tabakalı ve yatay ince kum, mil bulunan yatak fasiyesi görünümü sunmaktadır. İnceleme alanında alüvyon kalınlığı 10-40 m arasında değişmektedir.





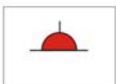


Foto 2.5. İnceleme alanındaki boşluklu travertenin görünümü

2.2. Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı Kuzey Anadolu Fayı (KAF) güneyinde Anatolit tektonik kuşağı içerisinde yer alır. Tektonik yapısını ise Alpin Orojenik evresi ile kazanmıştır (Akyürek vd., 1996). İnceleme alanının yaklaşık 31 km KB'sında Sakarya Nehri'nin kıyısında Yalnızçam Granodiyorit'i'nin devamında Kapullu Hamamı yer almaktadır (Şekil 2.4). Diker vd., 2006, Kapullu kaynağının oluşumunu aydınlatılmak için granitoidlerde süreksizlik ölçümü yapmışlardır. Yapılan 1750 adet süreksizlik ölçümü sonucunda bölgede yaklaşık D-B yönlü bir sıkıştırmanın ve bundan dolayı K-G yönlü bir çekmenin varlığı ortaya konulmuştur. Bu sıkıştırma ve çekme kuvvetleri sonucunda inceleme alanında KB-GD ve KD-GB doğrultulu normal fay sistemleri gelişmiştir. Bu fay sistemleri yerin derinliklerine sızan ve ısınan meteorik suların yüzeye ulaşmasını sağlamaktadırlar. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı da KB-GD doğrultulu normal fay ile KD-GB doğrultulu olası fayın kesişme noktasında yer almaktadır (Şekil 2.2). Tabakalar ise genellikle KB-GD ve KD-GB doğrultulu olup eğimler 5° ile 13° arasında değişmektedir. İnceleme alanında yapılan çalışmada granite ait toplam 5 tane eklem takımı belirlenmiştir. Bu eklem takımlarının doğrultu ve eğimleri; KG/35D, K40D/33KB, K10B/90, DB/90, K40B/50GB şeklindedir.



Gözler vd., 1996'dan alınmıştır.

Açıklamalar			
	Porsuk formasyonu		Sürekli akarsu
	Mamuca Formasyonu		Sıcak su kaynak noktası
	Yalnızçam Granodiyoriti		Yerleşim yeri

Şekil 2.4. İnceleme alanı ve yakın çevresinin 1/100000'lik jeoloji haritası

3. HİDROJEOLOJİ

Çalışma alanında temel kaya olan Üst Kretase yaşlı granodiyorit fay, kırık ve altere zonları yerel olarak geçirimli olup ana rezervuarı oluşturmaktadır. Çalışma alanındaki Eosen ve Miyosen yaşlı kil-marn, tüfit, jipsli marn-kil, jipsli birimlerden oluşan çökeller örtü kayaç niteliğindedirler. Çökel birimler içerisindeki kireçtaşları akifer oluşturabilme özelliğine sahiptirler. Ankara Çayı ve Sakarya Nehri yatağında yer alan alüvyonlar ise soğuk su için önemli birer akiferdirler.

Karacaahmet Bölgesi'nde yeraltısuyunun kaynaklardan olan boşalımı azdır. Sahada daha önce soğuk sulara yönelik herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Sahada derin kuyular bulunmamaktadır. Ankara Çayı yatağındaki alüvyon içerisinde sulama amaçlı sığ kuyular bulunmaktadır.

3.1. Birimlerin Hidrojeolojik Özellikleri

İnceleme alanında bulunan litolojik birimler su taşıma özelliğine göre geçirimsiz, yarı geçirimli ve geçirimli birimler olarak belirlenmiş ve haritalanmıştır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Birimlerin geçirimsizlik özellikleri arazide yapılan gözlemler ve doğal su boşalimleri olup olmamasına göre değerlendirilmiştir.

3.1.1. Geçirimsiz birimler

Bölgede kil-marn, tüfit araldanmasından oluşan Eosen yaşlı çökellerle; jipsli marn-kil, jips, marn ve kırmızı renkli çamurtaşı araldanmasından oluşan Miyosen yaşlı çökeller örtü kayaç niteliğinde olup geçirimsiz birimleri oluşturmaktadırlar. Geçirimsiz bu birimler üzerinde belirgin bir drenaj ağı oluşmuştur.

3.1.2. Yarı geçirimli birimler

Eosen yaşlı Mamuca Formasyonu'nun kireçtaşı arabantlı seviyeleri ile Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonu'nun kireçtaşı üyesi, yarı geçirimli olup hidrojeolojik açıdan yerel öneme sahiptirler.

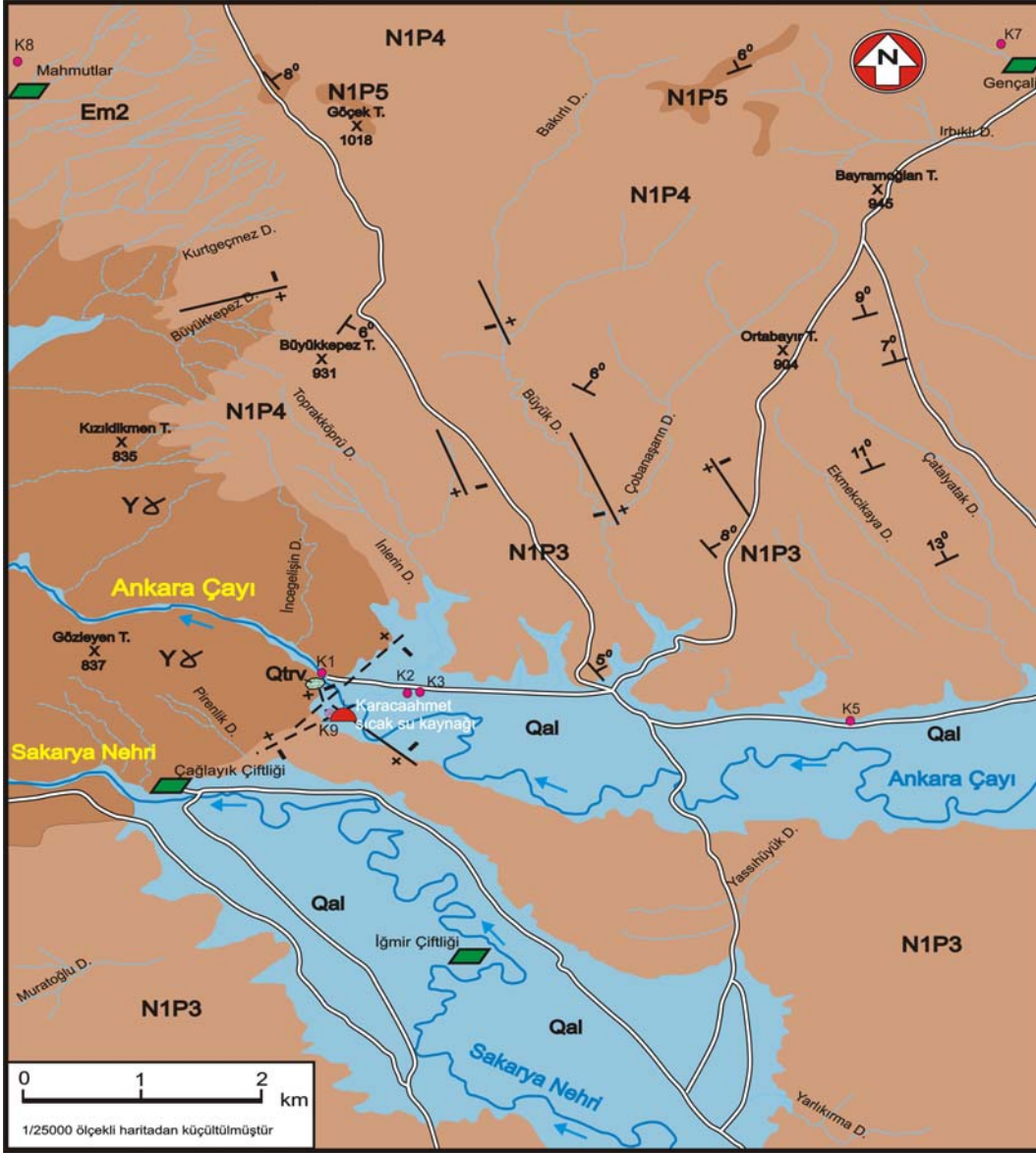
3.1.3. Geçirimli birimler

Çalışma alanında temel birimi oluşturan Üst Kretase yaşlı Yalnızçam Granodiyoriti içerisinde yer alan granit, granodiyorit birimlerinin üst seviyeleri ve bu birimlerin

fay, kırık ve altere zonları ile soğuma çatlaklarının bulunduğu kuşaklar hidrojeolojik açıdan geçirimlidir (Foto 3.1).

ÜST SİSTEM	SİSTEM/DEVİR	SERİ	FORMASYON	KALINLIK	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	HİDROJEOLOJİK ÖZELLİKLER
SENOZOYİK	KUVATERNER		Alüvyon	0-40	(Qal)		Alüvyon (Kil, Kum, Çakıl) traverten	Geçirimli sığ rezervuar
							Açısal uyumsuzluk	
	TERSİYER	MİYOSEN	Porsuk Formasyonu	50-400	(N1P5) (N1P4) (N1P3)		Kireçtaşı	Kırıklı çatlaklı yer yer geçirimli
							Jips marn ve kırmızı renkli çamurtaşı arakatlı	Geçirimsiz
	EOSEN	Mamuca Formasyonu	20-200	(Em2)		Jipsli marn- kil		
						Açısal uyumsuzluk		
						Kil- marn tüfit ve ince kireçtaşı arabantlı		Geçirimsiz (yer yer kireçtaşı seviyeleri geçirimli)
						Uyumsuzluk		
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE	Yalnızçam Granodiyoriti	100-600	(Yğ)		Granit, granidiorit, monzonit, aplit	Kırıklı çatlaklı ve altere zonlar geçirimli Ana rezervuar

Şekil 3.1. Çalışma alanındaki litolojik birimlerin hidrojeolojik özelliklerini gösteren stratigrafik kesit (Ölçeksiz).



		Litoloji		Hidrojeolojik özellikler	
Kuvaterner	Qal	Alüvyon	Geçirimli, sıg rezervuar		
		Qtrv	Traverten		
		N1P5	Açıl uyumsuzluk		
Miyosen	Porsuk Fm.	Kireçtaşı	Geçirimsiz (yeryer kireçtaşı seviyelerigeçirimli)		
		N1P4	Jips, marn ve kırmızı renkli çamurtaşı arakatlı		
		N1P3	Jipsli marn-kil		
Eosen	Mamuca Fm.	Açıl uyumsuzluk	Geçirimsiz		
		Em2	Kil-marn, tüfit ve ince kireçtaşı arabantlı		
Üst Kretase	Yalınçam Granodiyorit	Uyumsuzluk	Ana rezervuar (kırıklı, çatlaklı ve altere zonlar geçirimli)		
	Y8	Granit, granodiyorit			



Şekil 3.2. Çalışma alanının hidrojeolojik özelliklerini gösteren harita (1/25000)



Foto 3.1. Kırıklı, çatlaklı ve eklemli Yalnızçam Granodiyorit mostrası

İnceleme alanında bulunan; kum, çakıl ve kilden oluşan Kuvaterner yaşlı alüvyon soğuksu için önemli akiferdir. Alüvyon yüzeyi inceleme alanının batısına doğru azalmaktadır.

3.2. Yüzey ve Yeraltıları

İnceleme alanındaki ana akarsular Ankara Çayı ve Sakarya Nehri'dir. Ankara Çayı D-B boyunca uzanmaktadır. 7140 km² lik yağış alanına sahip olan Çay, batıda Sakarya Nehri ile birleşmektedir. İncesu deresi, Hatip çayı ve Çubuk çayları Ankara-Akköprü mevkiinde birleşerek Ankara Çayı'nı oluşturmaktadır. Macunderesi, Kutugün, Ova, Sarı, Devedam ve Ayrılık dereleri ile beslenen çay batıda Meşecik dolayında Sakarya Nehrine dökülmektedir.

Sakarya Nehri Ankara'nın Eskişehir iliyle olan batı sınırını oluşturmaktadır. Nehir, Ankara ve Porsuk çayları ile birleşmekte ve Sarıyar baraj gölünü beslemektedir.

Bölgede Ankara Çayı ve Sakarya Nehri dışındaki bütün dereler mevsimlidir. Bu dereler kar erime mevsimiyle akışa geçmektedir.

Yükselti kuzeyden güneye doğru azalmaktadır. Mevsimlik dereler, geçirimsiz birimler üzerinde topografyaya bağlı olarak kuzeyden güneye doğru bir drenaj ağı sunmaktadırlar. Granodiyorit yüzeylendiği bölgenin doğu kısmı ise yeraltısuyunun beslenme bölgesidir. Sığ yeraltı suları için ise alüvyon birimleri akifer oluşturmaktadır.

3.3. Kaynaklar

İnceleme alanında soğuksu kaynak ve kuyuları ile sıcaksu çıkışlarına ait veriler incelenmiştir.

3.3.1. Soğuksu kaynakları

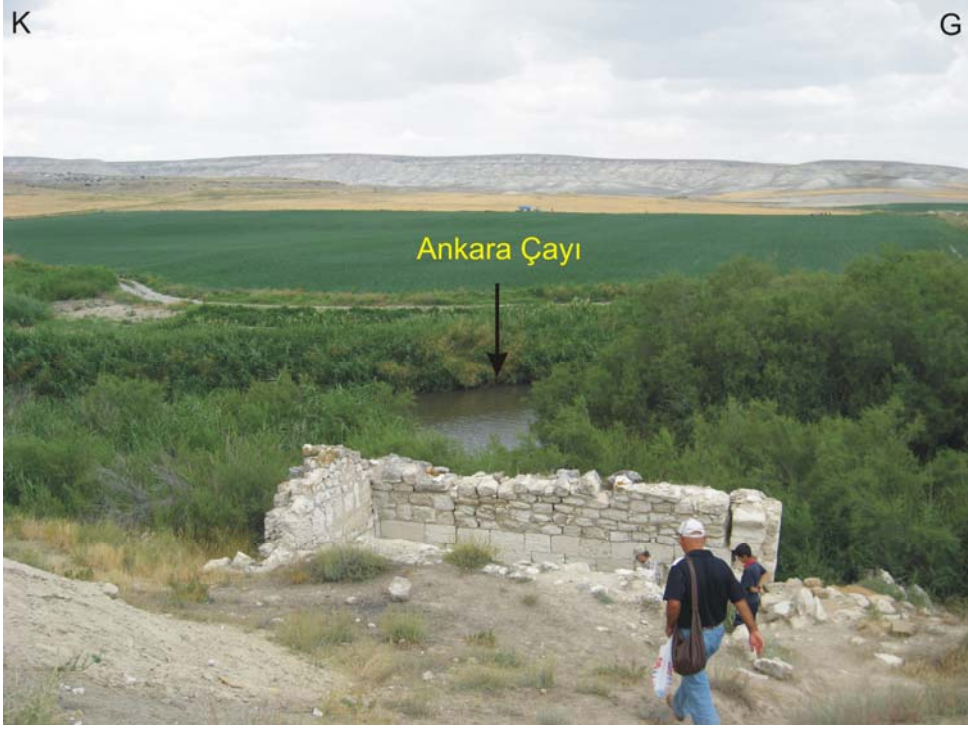
Çalışma alanında düşük debili kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynaklar beslenme alanları sınırlı olduğu için debileri düşük sızıntı şeklindedirler. Bazı kaynaklar sadece yağışlı mevsimlerde akış göstermekte kışın kurumaktadırlar. Geçirimsiz birimlerin bulunduğu alanlarda yüzey sellenmesi nedeniyle drenaj ağı çok gelişmiştir.

3.3.2. Soğuksu sondaj kuyuları

Bölgede kullanım amaçlı alüvyon içerisinde açılmış sığ kuyular bulunmaktadır. Bunlar sulama suyu olarak kullanılmaktadırlar. Bölgede soğuk su üretimine yönelik DSİ, İller Bankası, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü ve özel şahıslar tarafından açılmış derin kuyu bulunmamaktadır.

3.3.3. Sıcaksu kaynağı ve kuyusu

Çalışma alanındaki sıcaksu kaynağı Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağıdır. Kaynak Ankara Çayı'nın hemen yanında, alüvyon yatağında yer almaktadır (Foto 3.2). Kaynağın debisi 0.1 l/s olarak ölçülmüştür. Sıcaklığı yağışlı ve kurak dönemlerde sırası ile 39.9 ile 38.8 olarak ölçülmüştür.



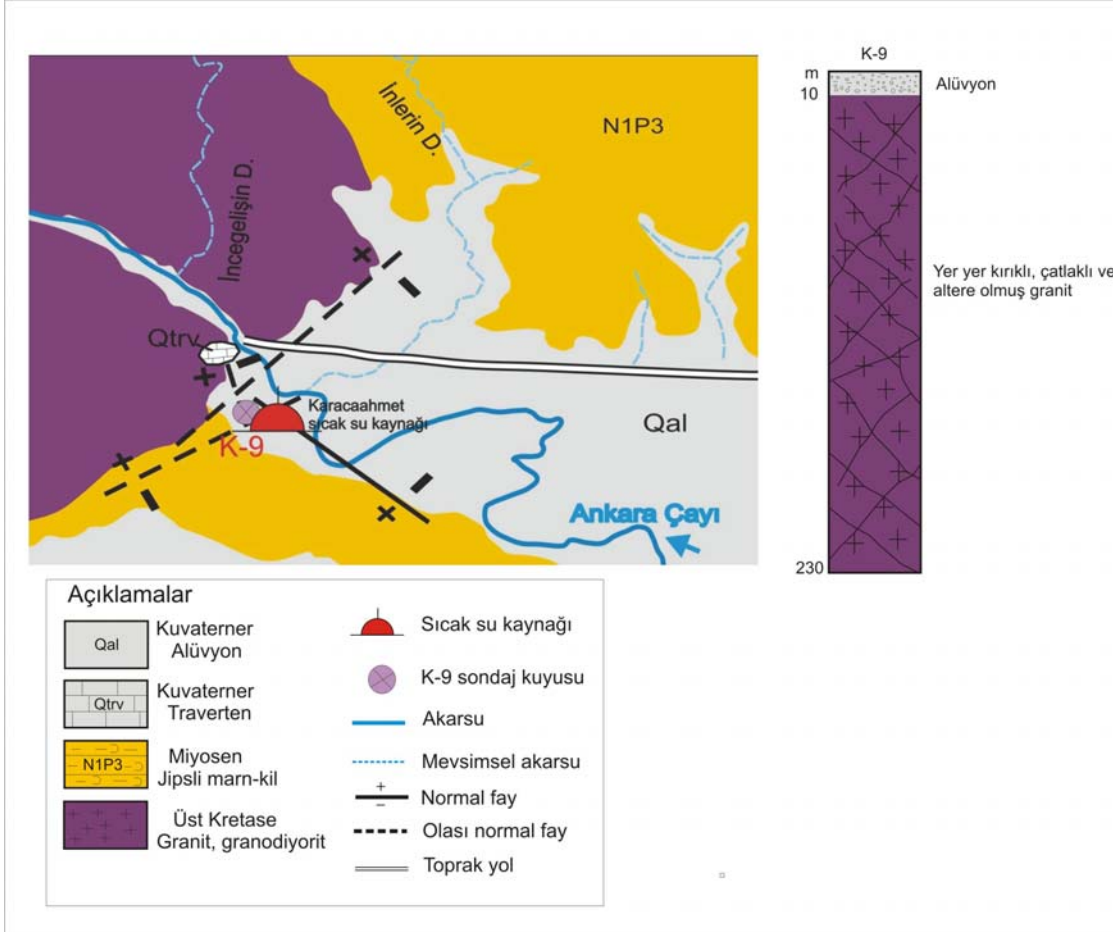
(a)



(b)

Foto 3.2a. Ankara Çayı ve Foto 3.2b. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı

Kaynağa yaklaşık 10 m uzaklıkta MTA Genel Müdürlüğü tarafından açılmış 1 adet sıcak su arama kuyusu (Polatlı-Çağlayık Kuyusu) bulunmaktadır . Bu kuyuda 230 m derinliğe inilmiş, 10 m alüvyon kesildikten sonra ana rezervuar olan granite girilmiştir (Şekil 3.3). Kuyudan kompresör yardımıyla elde edilen termal suyun sıcaklığı 44 °C ve debisi de 16 l/s'dir (Açıkgöz,2008).



Şekil 3.3. Çalışma alanında açılmış olan sıcak su sondaj kuyusu yeri ve logu

4. SU KİMYASI ÇALIŞMALARI

İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynaklarının hidrojeokimyasal özelliklerinin belirlenebilmesi, yeraltı suyu sistemi ve bu sistem içerisinde geçirdikleri fizikokimyasal süreçlerin ortaya konulabilmesi ve birbirleriyle olan ilişkilerinin aydınlatılması amacıyla bölgedeki sıcak ve mineralli sulardan Nisan–2007 ve Temmuz–2007 tarihlerinde olmak üzere iki ayrı dönemde örnekleme ve kimyasal analiz çalışmaları yapılmıştır (Foto 4.1). Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının koordinatları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çalışma alanındaki örnekler için 100 ml ve 500 ml’lik örnekleme kapları kullanılmıştır. Su örneklerinin Majör Anyon içeriği DIONEX ICS-1000 iyon kromatografisi ile, Majör Katyon içeriği ise DIONEX ICS LC-25 iyon kromatografisi ile ve ağır metal içerikleri ise ICP-MS laboratuvar cihazıyla Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Su Kimyası Laboratuvarı’nda ölçülmüştür. Örneklerle ait Silis ve Bor mineral içerikleri TPAO Araştırma Merkezi Laboratuvarları’nda belirlenmiştir. Tritiyum ($\delta^3\text{H}$) analizleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Çevresel Tritiyum Laboratuvarları’nda gerçekleştirilmiştir.

İnceleme alanında ana rezervuarı oluşturan Yalnızçam Granodiyoriti aynı zamanda Kapullu Hamamı kaynağı içinde ana rezervuarı oluşturmaktadır. Bu sebepten dolayı Kapullu Hamamı kaynağı’na ait verilerde karşılaştırma amacıyla değerlendirilmeye alınmıştır (Diker, 2005).



(a)



(b)

Foto 4.1. Kimyasal analiz için a) Karacaahmet sıcak su kaynağı sıcaklık ölçümü ve b) İnönü Çiftliği çeşmeden su örneklerinin alınması

Çizelge 4.1. Çalışma alanında örnekleme yapılan su noktalarının UTM koordinatları

No	Örnek Adı	Enlem (K)	Boylam(D)	Kot (m)
1	Ankara Çayı	408721	4408324	648
2	Yargıç Çiftliği Çeşme	409021	4408024	656
3	Yargıç Çiftliği Kuyu	409073	4408027	648
4	Karacaahmet Sıcak ve Mineralli Su Kaynağı	408824	4407969	650
5	İnönü Çiftliği Çeşme	412697	4407809	663
6	Sarıoba Çeşme	421392	4413793	693
7	Gençali Kuyu	415562	4416062	697
8	Mahmutlar Çeşme	404215	4415220	658
9	Çağlayık Kuyu (MTA)	408800	4407952	654

4.1. Suların Fiziksel Özellikleri

4.1.1. Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)

İnceleme alanındaki suların sıcaklık değerleri; Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı için yağışlı dönemde (Nisan–2007) 39.9°C , kurak dönemde (Temmuz–2007) ise 38.8°C ölçülmüştür. Çağlayık kuyusunda Kasım-2006 da yapılan ölçümde ise kuyu başı sıcaklık değeri 44°C olarak ölçülmüştür. Kapullu Hamamı'nın sıcaklığı ise Mayıs-2004 de 40.4°C belirlenmiştir.

Sahadaki soğuk su kaynaklarının sıcaklık değerleri ise yağışlı dönem (Nisan–2007) için 10.2°C ile 17°C arasında; kurak dönemde (Temmuz–2007) ise 16.6°C ile 18°C arasında değişmektedir. Yağmur suyunun (Y) Ağustos-2007'de ölçülen sıcaklık değeri ise 13°C 'dir.

4.1.2. Elektriksel iletkenlik (Eİ)

Elektriksel iletkenlik, suyun elektrik akımını iletebilme özelliğinin sayısal ifadesidir. Su analiz sonuçları 25°C de mikromoho/cm veya mikrosiemens/cm ($\mu\text{S}/\text{cm}$) olarak verilmektedir. Suların elektriksel iletkenliği, iyonların suda varlığına, toplam derişime, hareketliliklerine (mobilite), değerliklerine, görelî değişimlerine ve sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık artışı ile suların elektriksel iletkenlikleri artar (Hem, 1985). Sudaki iyonların derişimi arttıkça elektriksel iletkenlikde artar, dolayısıyla elektriksel iletkenlik ölçümleri sudaki toplam iyon derişimi hakkında iyi bir göstergedir (Day and Nightingale, 1984; Hem, 1985). Türk Standartları Enstitüsü (TS–266) içme suyu standartlarında maksimum değer olarak $2500\ \mu\text{S}/\text{cm}$ değerini kabul etmiştir.

İnceleme alanında örneklenen soğuk su kaynakları ve sıcak su kaynağındaki Eİ değerleri; Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı'nda (K–4) $15025\text{--}15340\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Çağlayık sıcak su kuyusunda (K–9) 15200 , Kapullu Hamamı'nda (KH) $6240\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Ankara Çayı'nda (K–1) $1439\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Yargıç Çiftliği çeşme (K-2) $797\text{--}785\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Yargıç Çiftliği kuyu (K-3) $8035\text{--}7833\ \mu\text{S}/\text{cm}$, İnönü Çiftliği çeşme (K-5) $771\text{--}754\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Sarıoba çeşme (K-6) $1335\text{--}1438\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Gençali kuyu (K-7) $1543\ \mu\text{S}/\text{cm}$, Mahmutlar çeşme (K-8) $479\text{--}537\ \mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. Yağmur suyunun (Y) ise Eİ değeri $27\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 'dir.

Karacaahmet sıcak su kaynağının elektriksel iletkenlik değeri Kapullu Hamamının elektriksel iletkenlik değerinin iki katından daha büyüktür. Bunun sebebi; Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının çevresinde yer alan jipsli birimlerle daha fazla etkileşim halinde olup, evaporitli birimleri çözmesinden kaynaklanmaktadır.

4.1.3. Hidrojen iyonu aktivitesi (pH)

pH, sudaki hidrojen iyonu derişiminin bir göstergesi olup sudaki asit ve bazlar arasındaki dengeyi gösterir. Doğal yeraltı sularının pH'ı 6.0-8.5 arasında değişir, fakat termal sularda düşük pH değerleri de görülebilir. Kirlenmemiş akarsuların pH'ı 6.5-8.5 arasındadır (Hem, 1985). Sudaki karbonat, hidrosit ve bikarbonat iyonları suyun bazik özelliğini artırırken, serbest mineral asitleri ve karbonik asit suyun asidik özelliğini arttırmaktadır (Doğan 1981).

Sudaki serbest karbondioksit, fiziksel çözünme sonucunda suda çözünmekte ve hidrotasyon sonucunda karbonik asite dönüşmektedir. Bunun sonucunda su pH özelliğine bağlı olarak çözücü ya da aşındırıcı bir özellik kazanmaktadır.

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının değeri Nisan–2007' de 6.44 ve Temmuz-2007'de 6.48 olarak ölçülmüştür. Bu değer kaynak suyunun hafif çözücü ve asidik özellikte olduğunu göstermektedir. Çağlayık sıcak kuyusunun (K–9) Kasım–2006 da ölçülen pH değeri 7.80'dir. Kapullu Hamamı'nın pH değeri ise 7.50'dir. Bu da bu suların hafif kabuklaştıracı ve bazik özellikte olduğunu göstermektedir.

İnceleme alanındaki soğuk su kaynaklarında pH değerleri ise Ankara Çayı (K–1) 7.4, Yağmur suyu (Y) 7.06, Yargıç Çiftliği çeşme (K–2) 7.58 – 7.08, Yargıç Çiftliği kuyu (K–3) 6.80 – 6.96, İnönü Çiftliği çeşme (K–5) 7.52 – 7.30, Sarioba çeşme (K–6) 7.45 – 7.50, Gençali kuyu (K–7) 7.14, Mahmutlar çeşme (K–8) 7.64 – 7.85, arasında değişmektedir. Bu değerler Yargıç Çiftliği kuyu dışındaki soğuk su kaynaklarının hafif kabuklaştıracı ve bazik özellikte olduklarını göstermektedir.

4.2. Suların Kimyasal Özellikleri

4.2.1. Majör iyonlar

Doğal suların toplam iyonik içeriğinin %90'ından fazlasını oluşturan Na^+ , Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , Cl^- , HCO_3^- ve SO_4^{-2} iyonları majör iyon olarak adlandırılır. Çalışma alanında bulunan sıcak ve mineralli su kaynağı, sıcak su kuyusu ve soğuk suların majör iyon analiz sonuçları Çizelge 4.2a ve Çizelge 4.2b'de verilmiştir.

Sodyum (Na^+) ve Potasyum (K^+)

Sodyum doğal sularda en yaygın olarak bulunan alkali metaldir. Magmatik kayalar, kil mineralleri, feldispatlar, feldispatoidler, evaporitler (NaCl gibi) sodyum içeren başlıca kayaç ve minerallerdir (Goldschmidt, 1958). Yeraltı sularının doğal sodyum içeriği 6–130 ppm arasında değişmektedir. İçme ve kullanma suyu standartları sodyum için maksimum 200 ppm olarak belirlenmiştir (TS–266).

Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K–4) sodyum miktarı 2862.71–2684.73 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusunda (K–9) 3476 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 1650 ppm, Ankara Çayı'nda (K–1) 112.38 ppm, Yargıç Çiftliği çeşme (K–2) 48.50 – 48.48 ppm, Yargıç Çiftliği kuyu (K–3) 730.49- 669.68 ppm, İnönü Çiftliği çeşme (K–5) 52.47–47.88 ppm, Sarioba çeşme (K–6) 108.01–117.53 ppm, Gençali kuyu (K–7) 55.15 ppm, Mahmutlar çeşme (K–8) 14.30–13.86 ppm arasında ve Yağmur suyunda ise (Y) 0.84 ppm'dir.

Potasyum yer kabuğunun % 2.5'ünü oluşturur ve esas olarak feldispatlarda, mikalarda, feldispatoidlerde ve kil minerallerinde bulunur (Rankama and Sahama, 1964). Doğal sularda potasyum değeri genellikle 20 ppm değerini aşmamaktadır, ancak bazı sıcak su kaynaklarında bu değer 100 ppm'e kadar yükselmektedir (McNeely et al., 1979). İçme suyu olarak tüketimde herhangi bir sınır değerine sahip değildir.

Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) potasyum miktarı 69.70-70.89 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusu (K-9) 103 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 10 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 15.85 ppm, Yargıç Çiftliği çeşme (K-2) 3.85-4.24 ppm, Yargıç Çiftliği kuyu (K-3) 28.36-27.65 ppm, İnönü Çiftliği çeşme (K-5) 2.97-3.80 ppm, Sarioba çeşme(K-6) 13.48-15.35 ppm, Gençali kuyu (K-7) 7.76 ppm,

Çizelge 4.2.a. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Nisan-2007)

Örnek No	Örnek Adı	T (°C)	pH	Ei (µS/cm)	Konsantrasyon (ppm)									
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	B	SiO ₂
K1	Ankara Çayı	12.3	7.40	1439	112.38	15.85	78.33	31.03	484.23	0.00	86.19	146.31	0.76	21.87
K2	Yargıç Ç.-çeşme	10.2	7.58	797	48.50	3.85	66.75	18.51	287.96	0.00	9.14	76.47	0.46	26.17
K3	Yargıç Ç.-kuyu	15.7	6.80	8035	730.49	28.36	424.04	662.68	666.60	0.00	243.97	4557.63	0.70	58.75
K4	Karacaahmet sıcak su kaynağı	39.9	6.44	15025	2862.71	69.70	404.41	141.43	852.12	0.00	1937.13	3980	10.94	29.54
K5	İnönü Ç.-çeşme	12.5	7.52	771	52.47	2.97	71.32	19.87	251.55	0.00	15.85	123.09	0.46	26.22
K6	Sarıoba çeşme	12.3	7.45	1335	108.01	13.48	84.48	46.45	572.27	0.00	29.83	136.62	0.91	46.52
K7	Gençali- kuyu	17	7.14	1543	55.15	7.76	160.40	60.77	138.35	0.00	14.64	573.05	1.62	15.45
K8	Mahmutlar-çeşme	11	7.64	479	14.30	1.98	49.43	15.53	220.10	0.00	2.68	52.51	0.16	18.78
KH*	Kapullu Hamamı	40.4	7.5	6240	1650	10	158.40	28.19	305	0.00	1086	1968	-	-

*Örnekleme tarihi: Mayıs-2004

Çizelge 4.2.b. İnceleme alanındaki su noktalarından alınan örneklerin kimyasal analiz çizelgesi (Temmuz-2007)

Örnek No	Örnek Adı	T (0C)	pH	Eİ (µS/cm)	Konsantrasyon (ppm)									
					Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	B	SiO ₂
K2	Yargıç Ç.-çeşme	18	7.08	785	48.48	4.24	75.39	19.65	257.84	0.00	12.91	110.47	0.57	13.65
K3	Yargıç Ç.-kuyu	16.6	6.96	7833	669.68	27.65	454.28	660.12	679.18	0.00	189.90	4195.93	5.38	26.63
K4	Karacaahmet sıcak su kaynağı	38.8	6.48	15340	2684.73	70.89	416.28	148.80	899.28	0.00	1479.29	5007.30	16.8	29.35
K5	İnönü Ç.-çeşme	17.8	7.30	754	47.88	3.80	75.69	19.74	257.84	0.00	13.12	113.95	0.56	11.09
K6	Sarıoba çeşme	17.9	7.50	1438	117.53	15.35	118.96	50.45	597.42	0.00	35.59	183.23	1.32	23.48
K8	Mahmutlar-çeşme	18	7.85	537	13.86	2.96	63.78	17.04	226.39	0.00	2.04	67.01	0.22	9.03
K9**	Çağlayık – MTA kuyu	44	7.80	15200	3476	103	429	210	861	0.00	2104	5840	22	18
Y***	Yağmur suyu	13	7.06	27	0.84	0.97	2.08	0.25	12.58	0.00	0.79	2.45	-	-

**Örnekleme tarihi: Kasım-2006

*** Örnekleme tarihi: Ağustos-2007

Mahmutlar çeşme (K-8) 1.98-2.96 ppm, Yağmur suyunda (Y) 0.97 ppm'dir.

Kalsiyum (Ca⁺²) ve Magnezyum (Mg⁺²)

Ca⁺² birçok magmatik kayaç mineralinin, özellikle amfibol, piroksen ve feldspatların ana bileşenidir. Tortul kayaçlarda kalsiyum çoğunlukla kalsit, dolomit, aragonit, jips ve anhidrit minerallerinde bulunur. Doğal sulardaki miktarı, suyun bulunduğu ortamdaki kayaçların bileşimi ile doğrudan ilişkilidir. Karbonatlı kayaçların bulunduğu bir ortamda Ca⁺² miktarı 30-100 ppm arasında değişir (McNeely et al., 1979). Ca⁺², suların sertliğini oluşturan ana iyonlardan birtanesidir.

Çalışma alanında bulunan Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) kalsiyum miktarı 404.41-416.28 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusu (K-9) 429 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 158.40 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 78.33 ppm, Yargıç Çiftliği çeşme (K-2) 66.75-75.39 ppm, Yargıç Çiftliği kuyu (K-3) 424.04-454.28 ppm, İnönü Çiftliği çeşme (K-5) 71.32-75.69 ppm, Sarioba çeşme(K-6) 84.48-118.96 ppm, Gençali kuyu (K-7) 160.4 ppm, Mahmutlar çeşme (K-8) 49.43-63.78 ppm, Yağmur suyunda (Y) 2.08 ppm'dir.

Magnezyum; olivin, piroksen, amfibol ve koyu renkli minerallerin önemli bileşenlerindedir. Magnezyum tuzları oldukça yüksek bir çözünürlüğe sahiptirler ve Ca⁺² tuzları çöktürüldükten sonra da çözeltide kalmaya devam ederler. Doğal sularda 100 ppm'e kadar değişen derişimlerde bulunan Mg⁺², suların sertliğini oluşturan diğer bir iyondur. Ca⁺² ve Mg⁺²'un zehirleyici özellikleri bulunmamaktadır (Doğan, 1981).

Çalışma alanında bulunan Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) Magnezyum miktarı 141.43-148.80 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusunda (K-9) 210 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 28.19 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 31.03 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmede (K-2) 18.51-19.65 ppm, Yargıç Çiftliği kuyuda (K-3) 662.68-660.12 ppm, İnönü Çiftliği çeşmede (K-5) 19.87-19.74 ppm, Sarioba çeşmede (K-6) 46.45-50.45 ppm, Gençali kuyuda (K-7) 60.77 ppm, Mahmutlar çeşmede (K-8) 15.53-17.04 ppm, Yağmur suyunda (Y) 0.25ppm'dir.

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

Suların alkalinitesi, içerdği çözülmüş maddelerin asitlerle tepkimeye girme ve nötrleştirme kapasitesidir. Nerdeyse doğal suların tümünde alkalinite, karbonat (CO_3^{2-}), bikarbonat (HCO_3^-), hidroksit (OH^-) iyonlarından kaynaklanmaktadır. Bunlar dışında ayrıca, silikat, fosfat iyonları ve organik maddeler de alkaliniteye katkıda bulunur (Gamsız ve Ağacık, 1981; Hem, 1985). Doğal sularda alkaliniteyi oluşturan temel unsurlar, atmosferik karbondioksit ile toprakta ve doymun olmayan bölgede üretilen gazlardır. Bunun dışında biyolojik olarak oluşan sülfat indirgenmesi ile karbonat kayaçlarının metamorfizması sonucunda da karbondioksit oluşabilmektedir. Doğal sularda alkalinite genellikle 500 ppm değerini aşmamaktadır.

Çalışma alanında bulunan Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) HCO_3 değeri 852.12-899.28 ppm, Çağlayık sıcak suyunda (K-9) 861 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 305 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 484.23 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 287.96-257.84 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 666.60-679.18 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 251.55-257.84 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 572.27-597.42 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 138.35 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 220.10- 226.39 ppm, Yağmur suyunda 12.58 ppm'dir.

Klorür (Cl^-)

Klorürün doğadaki dağılımı oldukça geniştir. Klorür, esas olarak sedimanter kayaçlarda özellikle de evaporitlerde bulunmaktadır. Denizlerde de büyük miktarda klorür vardır (Feth.1981). Ayrıca sodalit, batolit, hornblend gibi magmatik kökenli minerallerde ve şeylerde klorür iyonu bulunmaktadır (Feth,1981; Hem,1985). Doğadaki yayılımı oldukça geniştir. Kirlenmemiş doğal sulardaki değeri 10–20 ppm'dir.

Çalışma alanında bulunan Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) klorür 1937.13–1479.29 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusunda (K-9) 2104 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 1086 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 86.19 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 9.14–12.91 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 243.97-189.90 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 15.85–13.12 ppm, Sarıoba

çeşmesinde (K-6) 29.83- 35.59 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 14.64 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 2.68-2.04 ppm, Yağmur suyunda 0.79 ppm'dir. Yüksek klorür derişimi bölgedeki evaporitli (tuzlu ve jipsli) formasyonlardan kaynaklanmaktadır.

Sülfat (SO₄⁻²)

Kükürt, indirgenmiş halde metal sülfürleri olarak magmatik ve sedimanter kayalarda yaygın olarak bulunmaktadır. Sülfürlü mineraller su ile temas ederek bozdukları zaman oksitlenerek sülfat iyonları oluşmakta ve bu iyonlar suya geçmektedirler. Kükürt, bitki ve hayvan yaşamı ile ilgili süreçlerde önemli rol oynar (Hem,1985). İçme ve kullanma standartlarında (TS-266,2005) sülfat değeri 250 ppm'i aşmamalıdır.

Çalışma alanında bulunan Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) sülfat miktarı 3980.30-5007.30 ppm, Çağlayık sıcak su kuyusunda (K-9) 5840 ppm, Kapullu Hamamı'nda (KH) 1968 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1)146.31 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 76.47-110.47 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 4557.63-4195.93 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 123.10-113.95 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 136.62-183.23 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 573.05 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 52.51-67.01 ppm, Yağmur suyunda (Y) 2.45 ppm'dir. Yüksek sülfat derişimi bölgedeki evaporitli (tuzlu ve jipsli) formasyonlardan kaynaklanmaktadır.

4.2.2. Kirlilik analizleri

Çalışma alanında yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarında kirlilik tespitine yönelik örnekler derlenerek NH_4 , NO_2 , NO_3 , NH_3 ve PO_4 analizleri yapılmıştır. (Çizelge 4.3)

Amonyak (NH_3) ve Amonyum (NH_4)

Amonyak ve amonyum formu sularda bulunan azotun en fazla indirgenmiş inorganik bileşiğidir ve çözülmüş amonyak (NH_3) ve amonyum (NH_4) iyonlarından oluşmaktadır. Amonyak ve tuzları suda kolay çözünür, amonyum iyonu genellikle bir geçiş formudur (McNeely et al., 1979). 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). İçme ve kullanma suyu standartlarında amonyak bulunmamalıdır ve amonyum 0.5 mg/l yi aşmamalıdır (TSE, 2005).

Çalışma alanındaki su noktalarında amonyak varlığına rastlanılmamıştır. Çalışma alanındaki amonyum miktarı ise; Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) ve Sarıoba çeşmesinde (K-6) de rastlanılmamıştır. Çağlayık sıcak su kuyusunda ise amonyum miktarı (K-9) 4.5 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 18.83 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 2.04-0.02 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 20.73 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.99-1.86 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 4.07 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.95-1.51 ppm, yağmur suyunda (Y) 1.25 ppm'dir.

Nitrit (NO_2)

Nitrit iyonu, sularda düşük miktarlarda bulunan bir azot bileşiğidir. Oksijenin bulunduğu ortamlarda kararsız durumda olduğundan, amonyak ve nitrat arasında (nitrikasyon) veya nitrat ve azotoksit arasında (denitrifikasyon) geçiş formu olarak bulunur. Suda nitritin bulunması organik kirlenme tarafından etkilenmiş aktif biyolojik süreçlerin varlığını göstermektedir. İnceleme alanından alınan su örneklerinde, nitrit iyonuna rastlanılmamıştır.

Çizelge 4.3. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait kirlilik analiz sonuçları

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	NH ₄ (ppm)	NO ₂ (ppm)	NO ₃ (ppm)	NH ₃ (ppm)	PO ₄ (ppm)
K1	Ankara Çayı	Nisan 2007	18.83	*	10.55	*	8.12
K2	Yargıç Ç.- çeşme	Nisan 2007	2.04	*	16.12	*	*
K3	Yargıç Ç.- kuyu	Nisan 2007	20.73	*	72.04	*	*
K4	Karacaahmet sıcak su kaynağı	Nisan 2007	*	*	1.52	*	*
K5	İnönü Ç.- çeşme	Nisan 2007	0.99	*	25.96	*	*
K6	Sarıoba- çeşme	Nisan 2007	*	*	4.57	*	*
K7	Gençali- kuyu	Nisan 2007	4.07	*	50.68	*	*
K8	Mahmutlar-çeşme	Nisan 2007	0.95	*	3.16	*	*
K2	Yargıç Ç.- çeşme	Temmuz 2007	0.02	*	27.26	*	*
K3	Yargıç Ç.- kuyu	Temmuz 2007	*	*	62.46	*	*
K4	Karacaahmet sıcak su kaynağı	Temmuz 2007	*	*	*	*	*
K5	İnönü Ç.- çeşme	Temmuz 2007	1.86	*	26.06	*	*
K6	Sarıoba- çeşme	Temmuz 2007	*	*	11.41	*	*
K8	Mahmutlar- çeşme	Temmuz 2007	1.51	*	3.65	*	*
K9	Çağlayık -kuyu	Kasım 2006	4.5	*	*	*	*
Y	Yağmur suyu	Ağustos 2007	1.25	*	0.58	*	*

* Belirlenme limitlerinin altında

Nitrat (NO₃)

Nitrat iyonu, sularda bulunan bağılı azot bileşiklerinin en önemlisidir. Nitratın ana kaynaklarından biri insan ve hayvan artıkları olduğundan 5 ppm den daha fazla nitrat içeriği kirlenme göstergesi olarak değerlendirilmektedir (McNeely et al., 1979). Diğer taraftan magmatik ve volkanik gazlar sulardaki nitrata yerel kaynaklık ederler.

Yüzey ve yeraltı sularındaki 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 50 ppm'den daha az olması gerektiğini önermiştir.

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan nitrat miktarı 1.52 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 10.55 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 16.12-27.26 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 72.04-62.46 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 25.96-26.06 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 4.57-11.41 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 50.68 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 3.16-3.65 ppm, yağmur suyunda (Y) 0.58 ppm'dir.

Fosfat (PO₄)

Fosfor magmatik kayalarda bulunan en yaygın elementlerden biridir. Sedimanlar içinde oldukça yaygın olmasına karşın doğal sulardaki fosfat derişimi 1 ppm'in çok altındadır (Hem, 1985). Yüzey ve yeraltı sularındaki 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 herhangi bir sınırlama getirilmemiştir.

Yapılan ölçümlerde Ankara Çayındaki fosfat miktarı 8.12 ppm olarak belirlenmiştir. Sahada yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarında ise fosfat mineraline rastlanılmamıştır.

4.2.3. Ağır metal analizleri

Doğal sularda majör iyonlar dışında eser miktarlarda bulunan bazı maddeler minör bileşenler olarak adlandırılmaktadır. Demir dışında diğer ağır metaller sularda 1 ppm' den daha düşük derişimlerde bulunur (Freze ve Cherry,1979). Doğal sulara evsel ve endüstriyel atık sular ve madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıklar aracılığıyla bazen önemli miktarlarda ağır metal katılabilir. Suyun dolaşımı sırasında temasta bulunduğu litolojik birimlerin yapısı da suların ağır metal içermesinin bir kaynağıdır. Çalışma alanındaki su örneklerinde ağır metal olarak bakır (Cu), demir (Fe), çinko (Zn), mangan (Mn), krom (Cr), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve nikel (Ni) analizleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.4).

Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir magmatik, metamorfik ve sedimanter kayalardaki birçok mineralde ve toprakta ve algerin yapısında yaygın olarak bulunur. Demir miktarının bazı termal kaynaklarda 10-100 ppm arasında değiştii bilinmektedir (McNeely et al., 1979). İnsani amaçlı tüketim suyu olarak demir için verilen üst sınır 0.3 ppm, izin verilen maksimum miktar ise 1 ppm'dir.

Mangan ise genel olarak metamorfik ve magmatik kayalarda olivin, piroksen ve amfibol minerallerinde bulunur (Hem, 1985). Yeraltısularında bulunan Mn miktarı su içerisinde çözünmüş oksijen miktarına bağlı olarak değişmektedir. Mn çözünmüş oksijene doygun yeraltı sularında çökelirken, oksijensiz ortamlarda Fe ile birlikte bol miktarda bulunmaktadır. Tüketim amaçlı sularda Mn için verilen üst sınır 0.05 ppm'dir.

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan demir miktarı 0-0.04 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.00 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0-0.03 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0.01-0 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.01-0.03 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 0.01-0.04 ppm,

Çizelge 4.4. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait ağır metal analiz sonuçları

Örnek No	Örnek Adı	Tarih	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Cr (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cd (ppm)
K1	Ankara Çayı	Nisan 2007	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.63	0.05
K2	Yargıç Ç.-çeşme	Nisan 2007	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.11
K2	Yargıç Ç.-çeşme	Temmuz 2007	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.49
K3	Yargıç Ç.-kuyu	Nisan 2007	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.77
K3	Yargıç Ç.-kuyu	Temmuz 2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.23	0.02
K4	Karacaahmet Sıcak su	Nisan 2007	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.00	0.10	0.95
K4	Karacaahmet Sıcak su	Temmuz 2007	0.04	0.00	0.01	0.00	0.06	0.00	0.03	1.48
K5	İnönü Ç.-çeşme	Nisan 2007	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.13	0.03
K5	İnönü Ç.-çeşme	Temmuz 2007	0.03	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.02	0.03
K6	Sarıoba -çeşme	Nisan 2007	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02
K6	Sarıoba -çeşme	Temmuz 2007	0.04	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.05	0.04
K7	Gençali- kuyu	Nisan 2007	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.05	0.01
K8	Mahmutlar-çeşme	Nisan 2007	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.00	0.03
K8	Mahmutlar-çeşme	Temmuz 2007	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.03	0.04

Gençali kuyusunda (K-7) 0.00 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.01 ppm'dir. Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarında Mangana rastlanılmamıştır.

Bakır (Cu)

Bakır, yerkabuğundaki kayaçlarda 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 atıklarıyla sulara karışabilen bakır için TSE içme suyu standartlarında 1.0 ppm üst sınırı önermiştir. İzin verilebilen maksimum miktar ise TSE'ye göre 1.5 ppm'dir.

Çalışma alanındaki su noktalarındaki bakır miktarı, Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) 0.01-0.01 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) ve Sarıoba çeşmesinde (K-6) 0.01-0 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0-0.01 ppm arasında değerler vermektedir. Ankara Çayı'nda (K-1), Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2), Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3), Gençali kuyusunda (K-7) bakır varlığına rastlanılmamıştır.

Krom (Cr)

Suların bileşiminde bulunan krom, kayaçlardan endüstriyel atıklardan ve tarımdan kaynaklanabilmektedir. Doğal sulardaki derişimi genellikle 0.01 ppm in altındadır. Bununla birlikte suyun temasta olduğu kayacın bileşimine bağlı olarak bu derişim 0.2 ppm'e kadar artabilmektedir (Hem, 1985). Türkiye'de içme suyu standartlarında krom içeriği için önerilen üst sınır değeri 0.05 ppm'dir (TSE-266, 2005).

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan krom miktarı 0.05-0.06 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.01 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0.01-0.01 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0.03-0 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0-0.09 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 0.02-0.03 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 0.14 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.03-0.02 ppm arasında değerler vermektedir.

Kurşun (Pb)

Kayaç oluşturan bir çok mineralin asıl yapısında yer alan kurşun, sularda doğal olarak bulunmakta, kayaçlardan ve insan faaliyetlerinden sağlanmaktadır. Doğal sularda Pb nadir olarak yüksek değerlere ulaşır (Hem, 2005). Bunun yanı sıra insanların kurşunu yaygın olarak kullanmaları (su boruları ve benzin), bunların çevresel olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır. İnsan vücudunda birikim yaparak zehirli bir etkiye sahip olan kurşun için TSE (2005), içme suyu standartlarında izin verilebilir üst sınır olarak 0.05 ppm derişimini önermiştir.

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan kurşun miktarı 0.00 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.01 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0.01-0 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0-0.01 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.02-0 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 0-0.01 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 0.00 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.01-0.01 ppm arasında değerler vermektedir.

Nikel (Ni)

Nikel, magmatik kayaçlarda bulunan birçok mineralin yapısında bulunmaktadır. TSE (2005) tarafından herhangi bir sınır değeri verilmemiş olan nikelin doğal sularda 1 mg/l'ye kadar yükselen derişimi yanında genellikle 0.005 ile 0.020 ppm arasındaki derişimlerde bulunduğu belirlenmiştir (WHO, 1993). İçme ve kullanma suyu standartlarında nikel 0.02 ppm'i aşmamalıdır (TS-266, 2005).

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan nikel miktarı 0.10-0.03 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.63 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0.03-0.02 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0.03-0.23 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.13-0.02 ppm, Sarıoba çeşmesinde (K-6) 0.02-0.05 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 0.05 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0-0.03 ppm arasında değerler vermektedir.

Çinko (Zn)

Doğal sularda bulunan Zn genellikle, suyun temasta olduğu kayaçlardan, topraktan, endüstriyel atıklardan, gübrelerden ve atmosferden kaynaklanabilir. Çinko, insan için görel olarak zehirli olmayan bir element olup 25 ppm

derişimlerine kadar olumsuz bir etkiye sahip olmadığı gözlenmiştir (McNeely et al., 1979). İçme ve kullanma suyu standartlarında çinko 5 ppm'i aşmamalıdır (TS-266, 2005).

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan çinko miktarı 0.01-0 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.01 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0.01-0 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0.00 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.00 ppm, Sarioba çeşmesinde (K-6) 0-0.01 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 0.00 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.01-0 ppm arasında değerler vermektedir.

Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum yer kabuğunda eser miktarlarda bulunan ve özellikleri çinkoya benzeyen bir elementtir. Doğal suların kadmiyum içerikleri genellikle 0.001 ppm' den daha az olup, bununla birlikte bazı sularda 0.01 ppm'e kadar ulaşan derişimlerde bulunabilmektedir (McNeely et al., 1979). TSE (2005), içme suyu standartları için kadmiyum derişimi üst sınırı 0.005 ppm olarak belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki Karacaahmet sıcak ve mineralli suyunda (K-4) bulunan kadmiyum miktarı 0.95-1.48 ppm, Ankara Çayı'nda (K-1) 0.05 ppm, Yargıç Çiftliği çeşmesinde (K-2) 0.11-0.49 ppm, Yargıç Çiftliği kuyusunda (K-3) 0.77-0.02 ppm, İnönü Çiftliği çeşmesinde (K-5) 0.03-0.03 ppm, Sarioba çeşmesinde (K-6) 0.02-0.04 ppm, Gençali kuyusunda (K-7) 0.01 ppm, Mahmutlar çeşmesinde (K-8) 0.03-0.04 ppm arasında değerler vermektedir.

4.3. Su Kaynaklarının 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.

4.3.1. Su kaynaklarının iyon karakteristikleri

Çalışma alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının iyon içeriklerinin meq/l derişimine göre hakim iyon sıralaması ve sıralamaya göre oluşturulmuş su tipleri Çizelge 4.5 de verilmiştir.

İyon karakteristiğine göre sıcak sularda (K4, K9, KH) hakim katyon NaK ve hakim anyon SO_4 olup, bu kaynaklar Na- SO_4 'lı sular sınıfında yer almaktadırlar. Ayrıca, K3 soğuk su kaynağında hakim katyon Na ve hakim anyon SO_4 olup bu kaynakta Na- SO_4 'lı sular sınıfında yer almaktadır.

K2, K5, K8 soğuk su kaynaklarında hakim katyon Ca ve hakim anyon ise HCO_3 olup, bu sular Ca- HCO_3 'lı sular sınıfında bulunmaktadırlar.

Ankara Çayı'nda (K1), hakim katyon Na ve hakim anyon HCO_3 olup, Na- HCO_3 'lı sular sınıfında yer almaktadır. K7 soğuk su kaynağında ise hakim katyon Ca, hakim anyon SO_4 olup, Ca- SO_4 'lı sular sınıfında yer almaktadır.

Sarıoba (K6) soğuk su kaynağında Nisan-2007 tarihinde hakim katyon Na ve hakim anyon HCO_3 iken, Temmuz-2007 tarihinde hakim katyon Ca ve hakim anyon HCO_3 'tır. Bu su Na- HCO_3 ve Ca- HCO_3 olmak üzere iki farklı su tipini yansıtmaktadır.

Çizelge 4.5. Çalışma alanından derlenen su örneklerine ait hakim iyon sıralaması

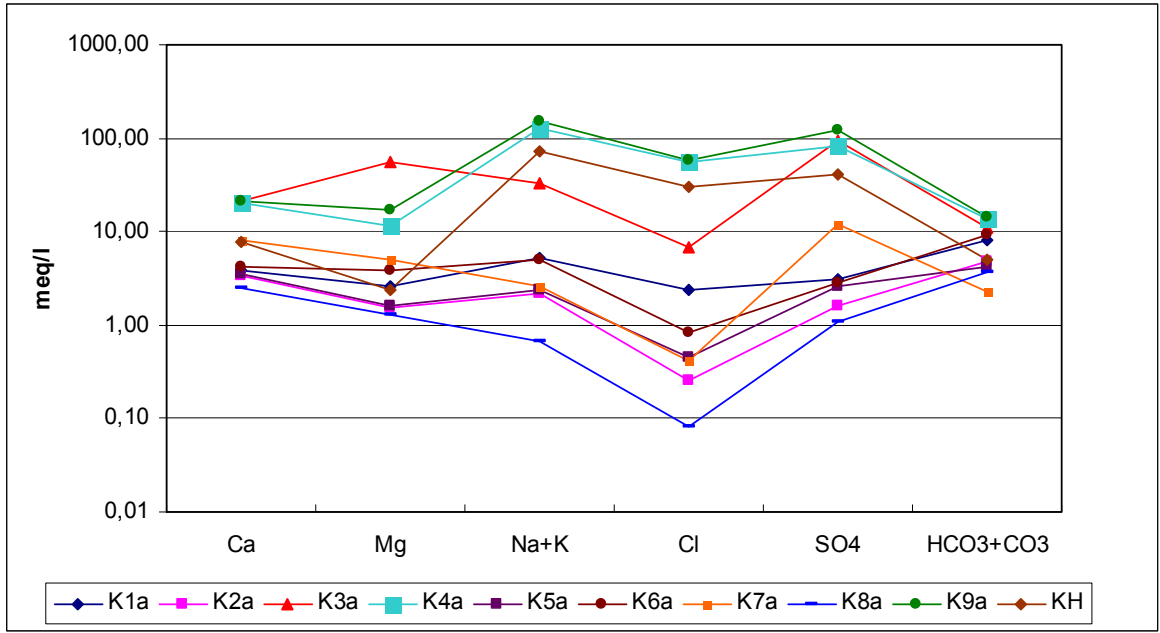
Örnek no	Kaynak Adı	Kasyon sıralaması	Anyon sıralaması	Su tipi
K1	Ankara Çayı	Na>Ca>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na-HCO ₃
K2	Yargıç Ç.-çeşme	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃
K3	Yargıç Ç.-kuyu	Na>Mg>Ca>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Na-SO ₄
K4	Karacaahmet sıcak su kaynağı	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Na-SO ₄
K5	İnönü Ç.-çeşme	Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃
K6	Sarıoba-çeşme	Na>Ca>Mg>K Ca>Na>Mg>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Na-HCO ₃ Ca-HCO ₃
K7	Gençali-kuyu	Ca>Mg>Na>K	SO ₄ >HCO ₃ >Cl	Ca-SO ₄
K8	Mahmutlar-çeşme	Ca>Mg>Na>K	HCO ₃ >SO ₄ >Cl	Ca-HCO ₃
K9	Çağlayık-kuyu	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Na-SO ₄
KH	Kapullu Hamamı	Na>Ca>Mg>K	SO ₄ >Cl>HCO ₃	Na-SO ₄

4.3.2. Schoeller diyagramı

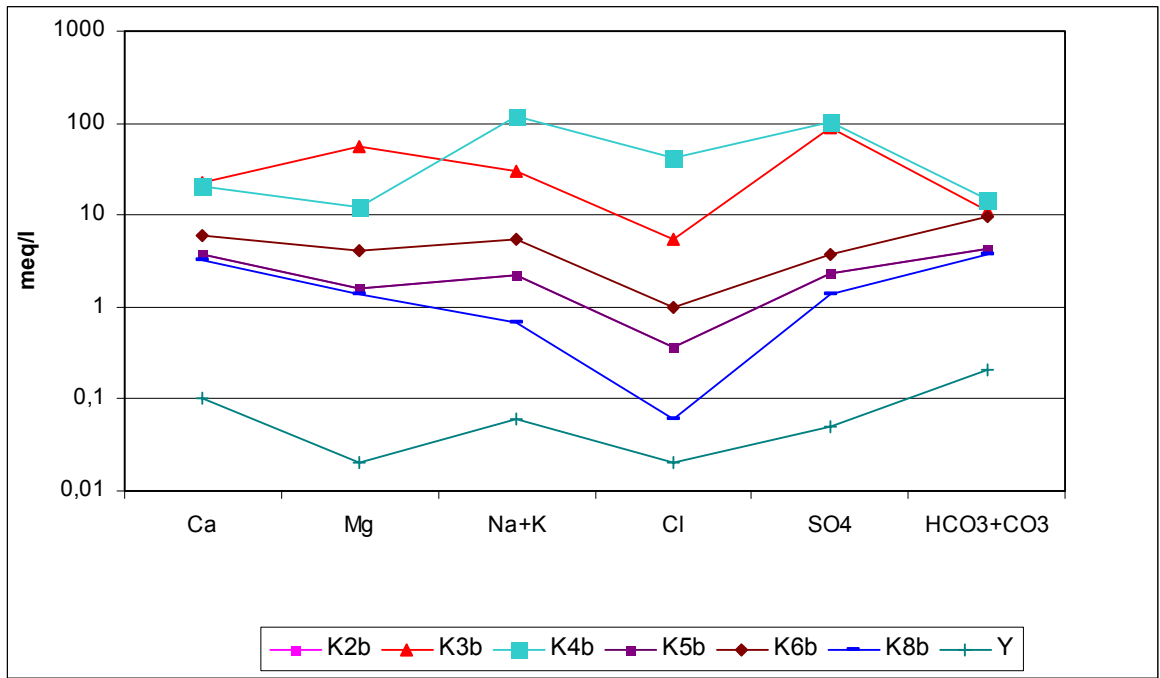
Bölgedeki sıcak su kaynaklarının birbirleriyle ve soğuk su kaynaklarıyla olan kökensel benzerlik ve farklılıklarının gösterilmesi amacıyla yarı logaritmik Schoeller diyagramı oluşturulmuştur (Şekil 4.1a ve b).

Schoeller diyagramında sular iki ayrı grup oluşturmaktadırlar. Sıcak su kaynak çizgilerinin (K4a, K9a, KH) birbirine paralellik göstermesi bu suların benzer kökene sahip oldukları, yüksek Na⁺ ve SO₄⁻² derişimleri ile soğuk su kaynaklarından belirgin bir şekilde ayrıldıkları görülmektedir.

Çalışma alanındaki soğuk su kaynakları birbirine paralellik göstermekle birlikte K3 kuyusunun diğer su kaynaklarına göre daha fazla iyon derişimine sahip olduğu görülmektedir. Bu da kaynağın diğer soğuk su kaynaklarına göre trityum analizinden de görülebileceği gibi daha derin dolaşımli olduğu ve daha fazla su-kayaç etkileşiminde bulunduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Bölüm 5.2).



(a)



(b)

Şekil 4.1. Çalışma alanında yer alan suların a) Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004), b) Temmuz-2007 dönemleri için suların Schoeller diyagramları

4.3.3. 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, eşkenar dörtgen ise suların sınıflandırılması ve karşılaştırılmasında kolaylık sağlamaktadır. Bu çalışmada piper diyagramı kullanılarak, çalışma alanında yer alan sıcak ve soğuk su kaynaklarının sınıflandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması, ayrıca litoloji ile ilişkileri ve dolaşım sistemleri boyunca meydana gelen hidrojeokimyasal evrim süreçlerinin ve dönemsel farklılıklarının belirlenmesi amaçlanmıştır (Şekil 4.2a-b).

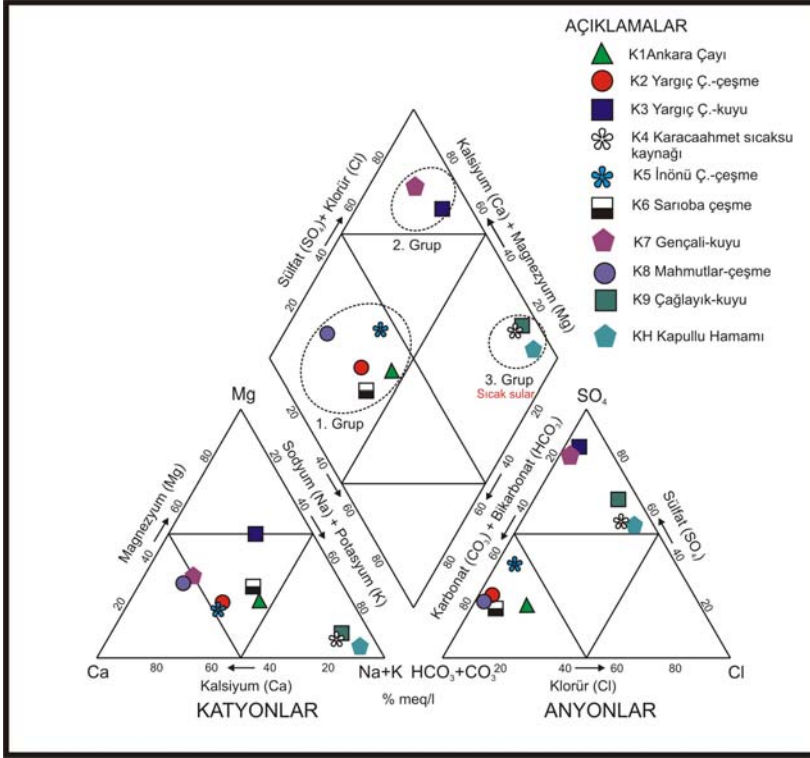
Piper diyagramına göre çalışma alanındaki sular 3 grupta toplanmıştır.

1. grup; soğuk su kaynaklarının aynı bölgede kümelenmeleri, bu suların aynı kökene sahip oldukları anlamına gelmektedir. 2. grup soğuk sulardan farklı olarak bu sular HCO_3^- iyonunca zengindir.

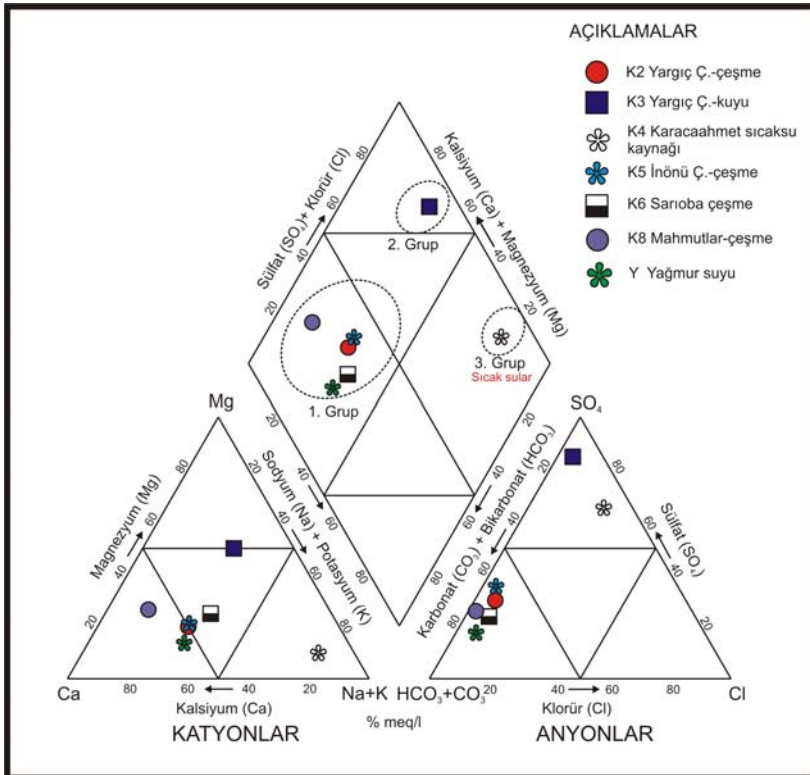
2. grup; diğer soğuk su kaynaklarından farklı olarak SO_4^{2-} mineralince daha zengindir bunun nedeni jipsin çözünürlüğünün yüksek olması ve K3-K7 ait suların jipsle temas sürelerinin daha uzun olmasındandır.

3. grup; sıcak su kaynakları Na^+ ve SO_4^{2-} minerallerince zengindirler ve Na- SO_4 'lı suları oluşturmaktadırlar. Derin dolaşımli kaynaklardır.

Kurak ve yağışlı dönemlerde örneklenen sıcak ve soğuk su kaynaklarında büyük ölçekte bir farklılık görülmemiştir.



Şekil 4.2.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Nisan 2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004) dönemi Piper diyagramı



Şekil 4.2.b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz 2007 dönemi Piper diyagramı

4.4. Sulama Suyu Sınıflandırılması

Karacaahmet jeotermal alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının tarımda sulama suyu olarak kullanımı ABD Tuzluluk Laboratuvarı ve Wilcox Grafik sistemine göre değerlendirilmiştir.

4.4.1. Wilcox diyagramı

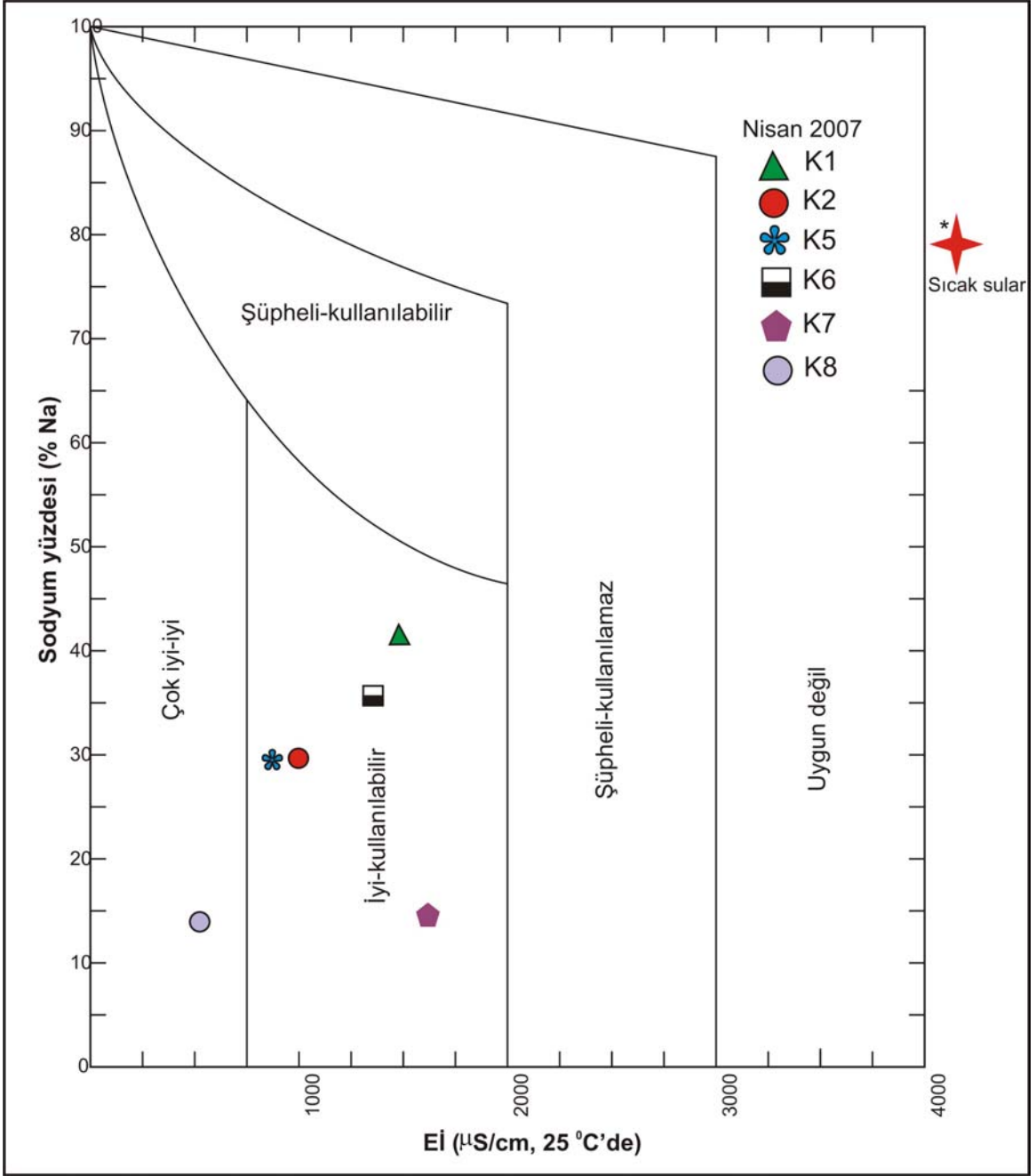
Çalışma alanındaki suların sulama suyu amaçlı kullanımının uygun olup olmadığını belirlemek için bu suların Wilcox (1955) diyagramında Nisan ve Temmuz ayları için değerlendirmeleri yapılmıştır. Wilcox diyagramında; Na yüzdesi (%Na) ve Eİ ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri suların sulama suyu olarak kullanımı için “çok iyi-iyi”, “iyi kullanılabilir”, “şüpheli kullanılabilir”, “şüpheli kullanılamaz” ve “uygun değildir” bölümlerini kapsamaktadır. Na^+ yüzdesi, suyun toplam majör katyonları içinde %Na değerini ifade eder. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

$$\% \text{ Na} = 100 \times \text{Na} / (\text{Na} + \text{K} + \text{Ca} + \text{Mg})$$

eşitliğiyle ifade edilebilir.

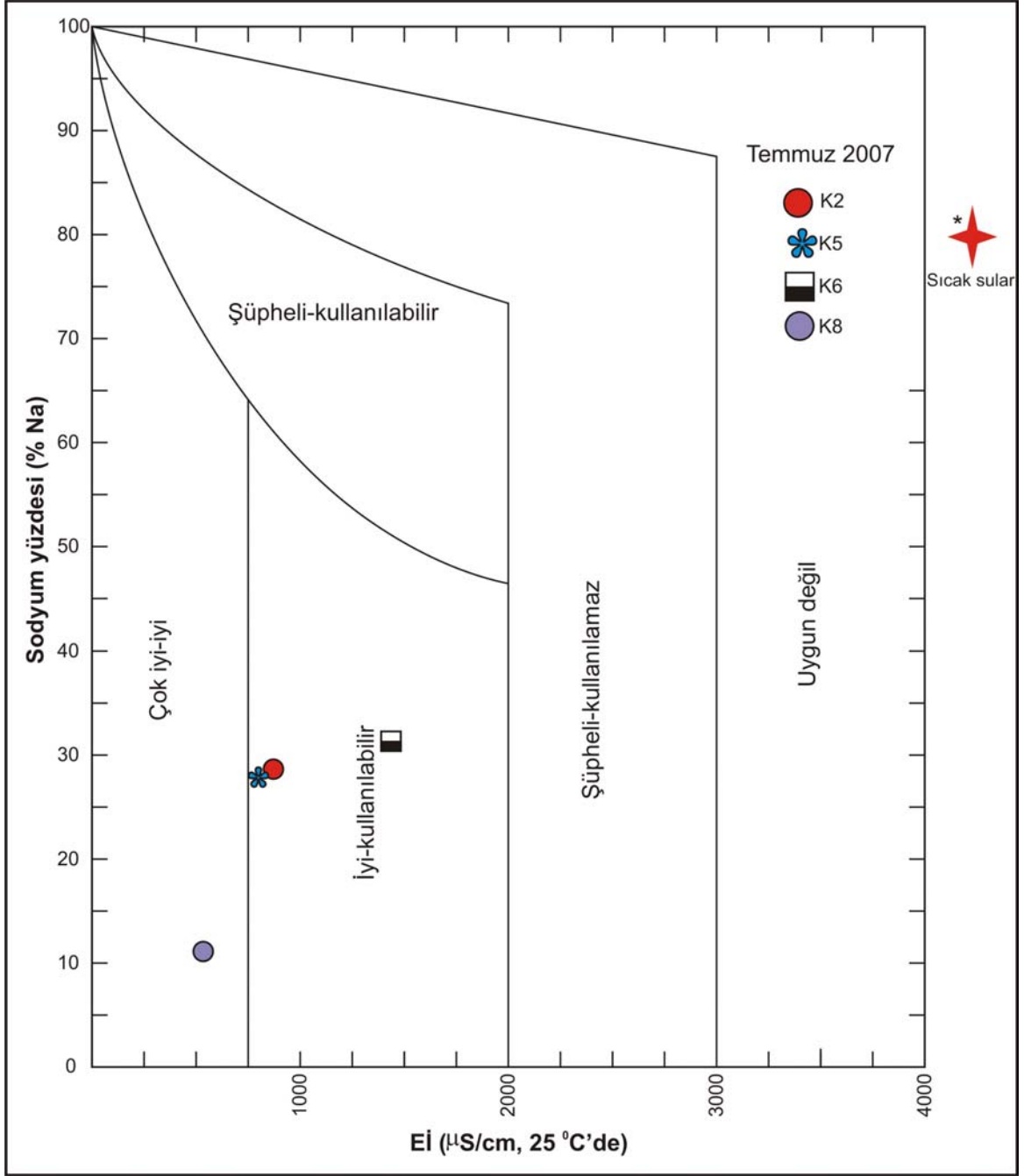
Yüksek tuzluluk gösteren ve “uygun değil” bölümünün devamında yer alan K3, K4, K9 su kaynakları Wilcox diyagramı üzerinde yer almamıştır (Şekil 4.3a-b).

Buna göre K8 soğuk su kaynağı, düşük Na^+ yüzdesine ve az tuzluluğa sahip olmasından dolayı “Çok iyi- iyi kullanılabilir” bölgesinde; K1, K2, K5, K6, K7 soğuk su kaynakları ise nisbeten daha fazla Na^+ yüzdesine ve tuzluluğa sahip olmalarından dolayı “İyi- kullanılabilir” bölgesinde yer almaktadırlar (Şekil 4.3a-b).



* Sıcak sular çok tuzlu oldukları ve uygun değil bölümünün devamında olduklarından bu diyagramda yer almamışlardır.

Şekil 4.3.a. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Nisan 2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004) dönemi Wilcox diyagramı



* Sıcak sular çok tuzlu oldukları ve uygun değil bölümünün devamında olduklarından bu diyagramda yer almamışlardır.

Şekil 4.3.b. Çalışma alanındaki su kaynaklarına ait Temmuz 2007 dönemi Wilcox diyagramı

4.4.2. ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramı

ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramı üzerinde Sodyum (alkali) tehlikesi ve tuzluluk tehlikesinin belirlenmesi amacıyla Sodyum Adsorpsiyon Oranı (SAR) ve Eİ değerleri işaretlenmiştir (Şekil 4.4a- b).

SAR; Na⁺ iyonunun iyon değişim tepkimelerindeki aktifliğin ifadesi olup, sodiklik yönünden suların sınıflandırılmasında kullanılan genel bir ölçüdür (Doğan, 1981). Bikarbonat ve karbonat değerleri nisbeten düşük olan suların değerlendirilmesi için, SAR kullanılan bir kriterdir. İyon derişimleri meq/l olmak üzere;

$$SAR = Na / [(Ca + Mg) / 2]^{1/2}$$

eşitliği ile hesaplanabilir. SAR kavramı Na⁺un tek başına değil, Ca⁺² ve Mg⁺² ile karşılıklı etkileşimi ve katyon değişimi tepkimelerindeki aktifliğini dikkate aldığı için % Na' a göre daha hassastır. Ca⁺² ve Mg⁺² suda Na⁺ tehlikesini azaltıcı bir etki göstermektedir (Doğan, 1981).

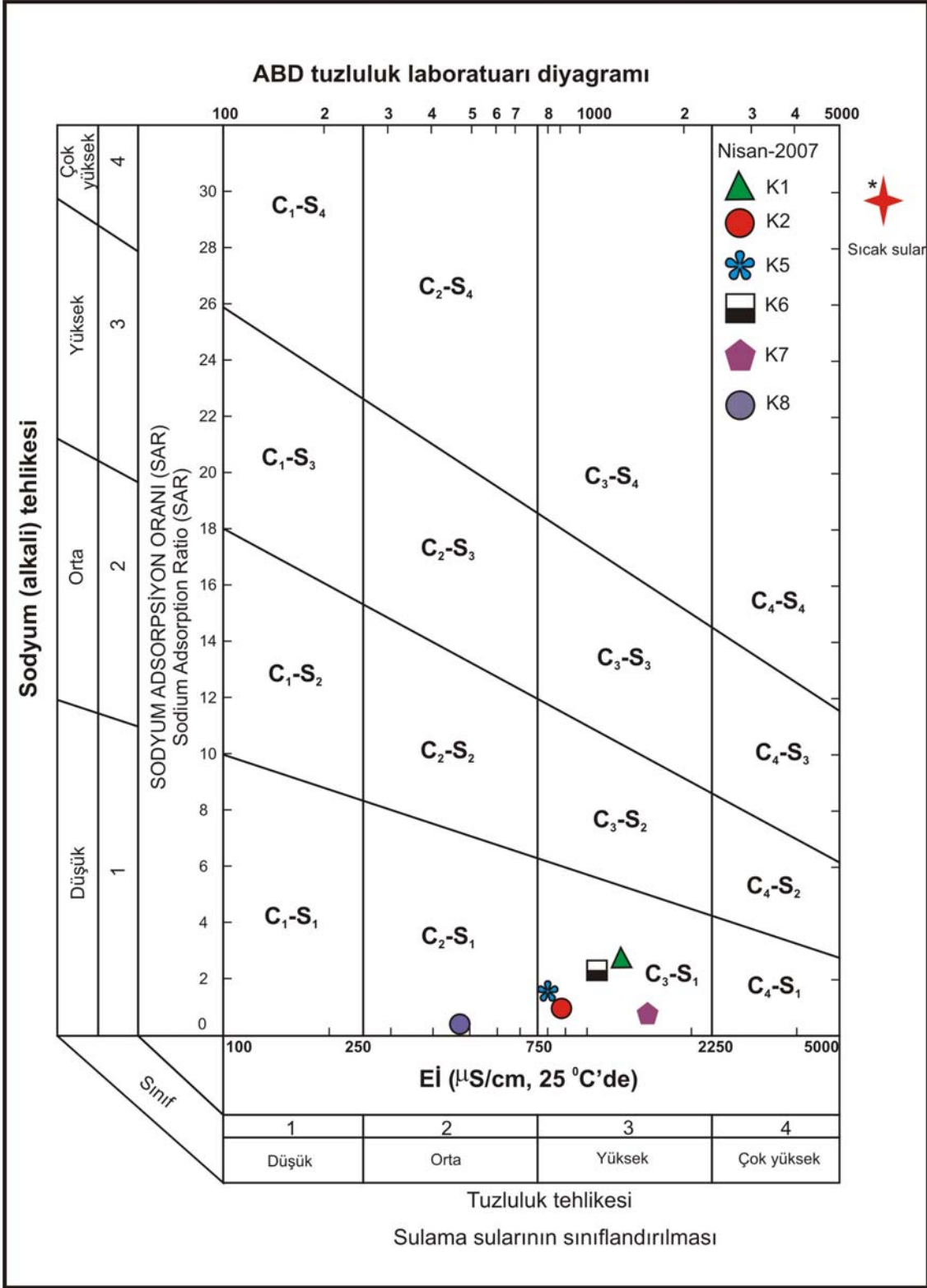
ABD Tuzluluk Laboratuvarı Diyagramında geçen tuzluluk ve sodyum sınıflarının anlamı şu şekildedir:

C1: Az tuzlu suları göstermektedir. Eİ değeri 0-250 µS/cm arasındadır. Çoğu topraklarda her türlü bitkinin sulanmasında kullanılabilir.

C2: Orta derecede tuzlu suları göstermektedir. Eİ değeri 250-750 µS/cm arasındadır. Orta derecede bir yıkama varsa, tuzluluk kontrolüne gerek kalmaksızın, tuza orta derecede dayanıklı bütün bitkilerin sulamasında kullanılabilir.

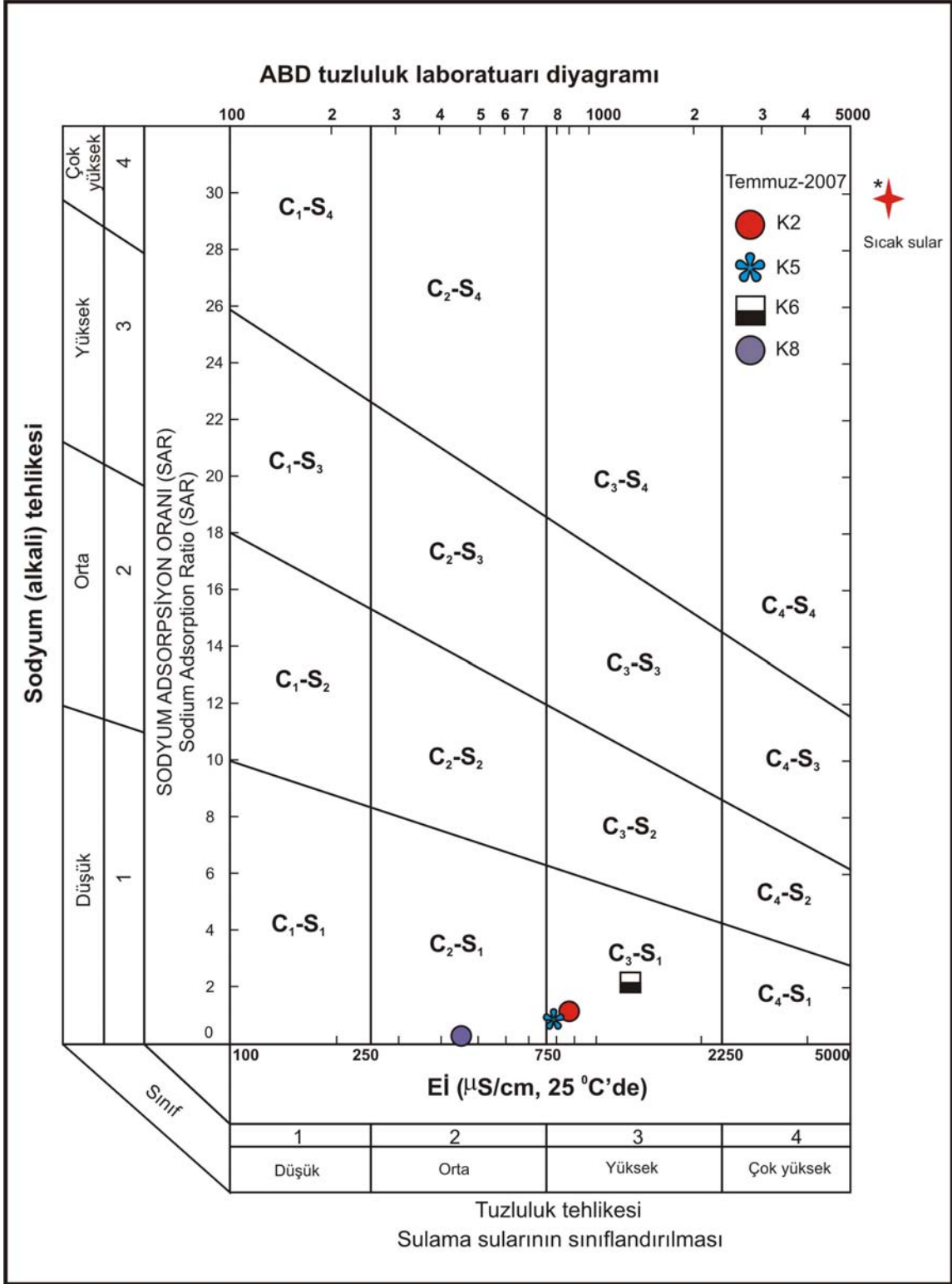
C3: Yüksek tuzlu Eİ değeri 750- 2250 µS/cm arasındaki suları göstermektedir. Drenaj durumu iyi olmayan topraklarda ve tuza hassas bitkiler için kullanılmamalıdır. Tuza dayanıklı bitki seçilerek ve tuz kontrolü yapılarak kullanılabilir.

C4: Çok yüksek tuzlu, Eİ değeri 2250-5000 µS/cm arasında yer alan suları ifade etmektedir. Normal şartlarda sulamaya uygun değildir. Yüksek geçirgenlik, çok iyi



* Sıcak sular çok tuzlu olduklarından bu diyagramda yer almamışlardır.

(a)



* Sıcak sular çok tuzlu olduklarından bu diyagramda yer almamışlardır.

(b)

Şekil 4.4. Çalışma alanında yer alan a) Nisan-2007 (K9 için Kasım-2006, KH için Mayıs-2004), b) Temmuz-2007 dönemi suların ABD Tuzluluk diyagramı

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 etmektedir. 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 yol açar. Bol jipsli topraklarda, çok iyi yıkama ve suya organik maddeler katmak üzere kullanılırsa sodyum tehlikesi önlenabilir.

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; K1, K2, K5, K6, K7 soğuk su kaynakları yüksek Eİ değerleri ve düşük sodyum içerikleriyle C₃-S₁ bölgesinde yer alırken; K8 soğuk su kaynağı ise orta Eİ değeri ve düşük sodyum içeriğiyle C₂-S₁ bölgesinde yer almaktadır.

Bölgede yer alan sıcak ve mineralli sular ile K3 örneği çok yüksek derecede tuzluluk içerdiğinden, gerek ABD Tuzluluk gerekse Wilcox Diyagramları üzerinde yer almamaktadır. Dolayısıyla sıcak suların doğrudan tarımda kullanılması uygun olmayacaktır. Sıcak suların sera veya konut ısıtmacılığında kullanılması halinde toprağa verebilecekleri zarardan dolayı, atık suların yeraltına reenjeksiyonu zorunlu olmalıdır.

4.5. Suların Mineral Doygunlukları

Suların mineral doygunluk durumlarının araştırılması; yeraltı sularının üretimi ve kullanımı sırasında kullanılan borular ve pompalarda meydana gelebilecek kabuklaşma ve korozyon gibi problemlerin önceden bilinmesi ve önlem alınmasında oldukça önem taşımaktadır.

Su-mineral denge durumu doygunluk indisi (Saturation Index: SI), her mineral için 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 minerale aşırı doygundur (mineral çökeltici özelliktedir)

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

İnceleme alanındaki sıcak ve soğuk su kaynaklarının anhidrit, aragonit, kalsit, kalsedon, krizotil, dolomit, jips, halit, kuvars, sepiyolit, silis, talk minerallerine doygunluk durumu incelenmiş ve PHREEQC Interactive programı kullanılarak hesaplanan SI değerleri Çizelge 4.6' da verilmiştir. Bölgedeki suların jips, anhidrit gibi sülfatlı mineraller ile halit ve silise doygun olmadıkları ancak, bu suların kuvars, kalsedon gibi silis minerallerine doygun oldukları Şekil 4.5a ve Şekil 4.5b de görülmektedir. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı jipse doygun olmamasına rağmen diğer soğuk su kaynaklarına göre jipse doygunluğu daha fazladır. Bunun sebebi sıcak su kaynağının jipsli birimlerle olan temas süresinin daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

Ayrıca sıcak su kaynaklarının (K4,K9,KH) ve K1, K3, K6, K8 (Temmuz–2007) soğuk su kaynaklarının dolomit ve kalsit minerallerine doygun olduğu belirlenmiştir. Kalsit ve dolomite doygun olması, bu suların kabuklaşma yapıcı özellikte olduklarını göstermektedir.

Çizelge 4.6. İnceleme alanında yer alan suların Doygunluk İndisi (SI) değerleri

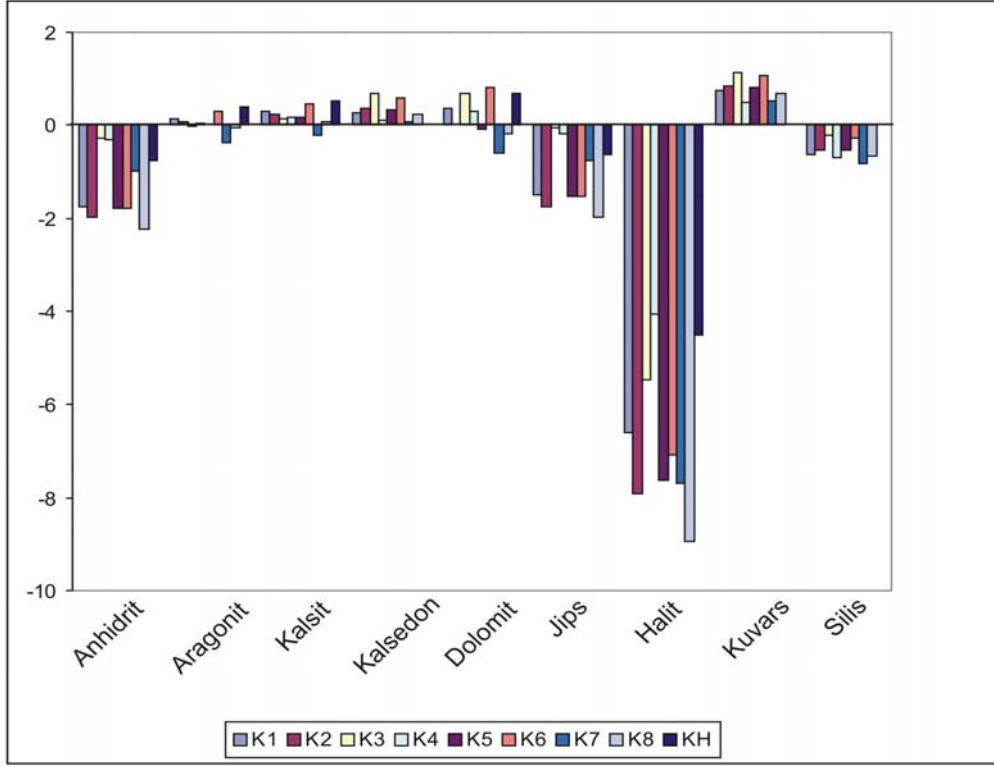
Örnek No	Anhidrit	Aragonit	Kalsit	Kalsedon	Dolomit	Jips	Halit	Kuvars	Silis
K1*	-1.75	0.15	0.30	0.27	0.37	-1.50	-6.59	0.74	-0.62
K2*	-1.99	0.07	0.23	0.37	0.02	-1.74	-7.90	0.85	-0.52
K3*	-0.29	-0.01	0.14	0.67	0.70	-0.04	-5.48	1.13	-0.20
K4*	-0.31	0.03	0.16	0.10	0.29	-0.17	-4.07	0.49	-0.69
K5*	-1.78	0.00	0.16	0.34	-0.08	-1.53	-7.64	0.81	-0.54
K6*	-1.78	0.29	0.45	0.60	0.80	-1.52	-7.07	1.07	-0.29
K7*	-0.99	-0.36	-0.21	0.06	-0.60	-0.75	-7.70	0.51	-0.81
K8*	-2.22	-0.06	0.09	0.22	-0.18	-1.97	-8.95	0.69	-0.67
K2**	-1.81	-0.31	-0.16	-0.01	-0.66	-1.57	-7.77	0.44	-0.87
K3**	-0.28	0.22	0.37	0.31	1.13	-0.03	-5.62	0.77	-0.55
K4**	-0.25	0.05	0.18	0.11	0.32	-0.10	-4.22	-0.50	-0.68
K5**	-1.80	-0.10	0.05	-0.10	-0.23	-1.55	-7.77	0.36	-0.96
K6**	-1.56	0.57	0.72	0.23	1.32	-1.31	-6.98	0.68	-0.64
K8**	-2.05	0.36	0.51	-0.19	0.69	-1.8	-9.11	0.26	-1.06
K9***	-0.22	1.32	1.45	-0.13	3.01	-0.09	-3.97	0.26	-0.91
KH****	-0.76	0.38	0.51	-	0.7	-0.63	-4.51	-	-

* örneklenme zamanı Nisan-2007

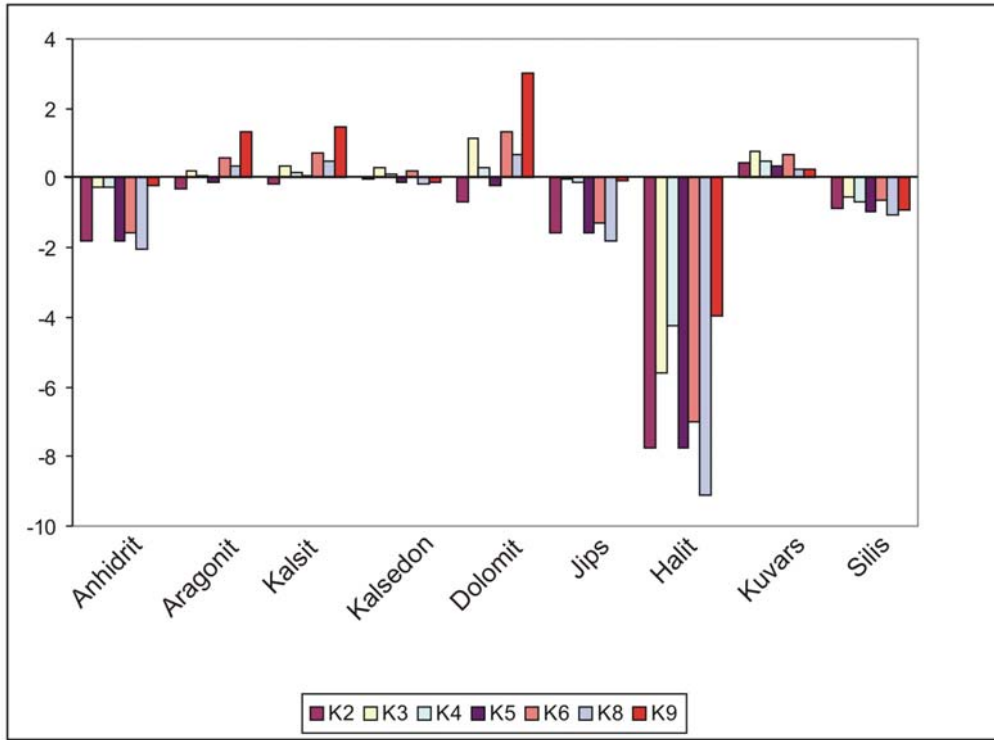
** örneklenme zamanı Temmuz-2007

*** örneklenme zamanı Kasım- 2006

**** örnekleme zamanı Mayıs-2004



Şekil 4.5.a. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı Nisan-2007 (KH için Mayıs-2004)



Şekil 4.5.b. Sıcak ve soğuk sulara ait mineral doygunluk diyagramı Temmuz-2007 (K9 için Kasım-2006)

4.6. Jeotermometre Uygulamaları

Jeotermal sular yeraltından yüzeye erişirlerken temas ettiği kayaçlarla ısı alışverişi ve soğuk yeraltısularıyla karışımı gibi süreçler ile soğurlar ve akifer içindeki sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklara sahip olurlar. Termal suların akifer içerisindeki sıcaklıklarının tahmin edilmesi amacıyla kaynak ve kuyulardan alınan örneklerin kimya ve izotop analizlerinden yararlanılarak kimyasal ve izotopik jeotermometre yöntemleri geliştirilmiştir. Kimyasal jeotermometreler alınan örneklerin kimyasal bileşimine (silis, katyon derişimi ve buhar içerisindeki gazların bağıl oranına), izotopik jeotermometreler ise su-gaz-mineral fazları arasındaki izotopik değişime dayalıdır.

Bu çalışmada rezervuar sıcaklıkları tahmini için sadece silis ve katyon kimyasal jeotermometre hesaplamaları kullanılmıştır. Kimyasal jeotermometreler, rezervuar koşulları altındaki mineral ve su arasındaki sıcaklığa bağı kimyasal denge üzerine geliştirilmiştir. Bu jeotermometrelerin kullanımında suyun yüzeye çıkışı boyunca kimyasal bileşiminin korunduğu varsayılmaktadır.

4.6.1. Katyon jeotermometreleri

Katyon jeotermometreleri iyon değişimine bağı jeotermometrelerdir. İyon değişimi, sıcaklığa bağı olan tepkime denge sabitinin (K) bir fonksiyonudur. İyon değişimine uğramış katyon derişimleri oranı, denge sabitinin sıcaklığa bağı değişimine bağıdır. 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 kullanılması uygun görülmemektedir. Katyon jeotermometreleri için türetilen jeotermometre eşitlikleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu eşitlikler ile inceleme alanındaki sıcak su kaynakları için hesaplanan rezervuar sıcaklıkları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Katyon jeotermometrelerinden Na-K jeotermometrelerinin, genelde uzun süreli geçiş zamanına sahip yeraltı suları ile beslenen jeotermal akiferlerde kullanımı daha uygundur. Na-K iyon değişim tepkimesine dayalı jeotermometre eşitlikleri

Çizelge 4.7. Katyon jeotermometre eşitlikleri (derişimler ppm'dir).

No	Jeotermometre	Jeotermometre Eşitliği	Uygulama Aralığı (°C)	Referans
1	Na-K	$t^{\circ}C = (856 / (0.857 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	100-275	Truesdell(1976)
2	Na-K	$t^{\circ}C = (833 / (0.780 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Tonani(1980)
3	Na-K	$t^{\circ}C = (933 / (0.993 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	25-250	Arnorsson et al.(1983)
4	Na-K	$t^{\circ}C = (1319 / (1.699 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$	250-350	Arnorsson et al.(1983)
5	Na-K	$t^{\circ}C = (1217 / (1.483 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Fournier(1979)
6	Na-K	$t^{\circ}C = (1178 / (1.470 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Nieva and Nieva(1987)
7	Na-K	$t^{\circ}C = (1390 / (1.750 + \log(\text{Na}/\text{K}))) - 273.15$		Giggenbach(1988)
8	Na-K ^a	$t^{\circ}C = 733.6 - 770.551Y + 378.189Y^2 - 95.753Y^3 + 9.544Y^4$	0-350	D'Amore and Arnorsson(2000)
9	Na-K-Ca ^d	$t^{\circ}C = (1647 / (\log(\text{Na}/\text{K}) + \beta[\log(\sqrt{\text{Ca}/\text{Na}}) + 2.06] + 2.47)) - 273.15$		Fournier and Truesdell(1973)
10	K-Mg	$t^{\circ}C = (4410 / (14 - \log(\text{K}^2/\text{Mg}))) - 273.15$		Giggenbach(1988)

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

^d t⁰C>100 °C ise β=1/3, t⁰C<100 °C ise β=4/3, t⁰C<100 °C ve [log(√Ca/Mg)+2.06]<0 ise β=1/3

(Çizelge 4.7, 1-8 nolu eşitlikler) ile belirlenen inceleme alanındaki sıcak su kaynaklarının rezervuar sıcaklıkları 73-151 °C arasında hesaplanmıştır.

Na-K-Ca jeotermometresi için geliştirilen eşitlik (Çizelge 4.7, 9 nolu eşitlik); feldispatlar, kalsit veya Ca^{+2} içeren mineraller ile jeotermal akışkanlar arasındaki dengeye dayalıdır. Kuvars ve Na-K jeotermometrelerine göre en önemli özelliği düşük sıcaklıklarda veya dengeye ulaşmamış sularda yüksek veya hatalı sonuçlar vermemesidir.

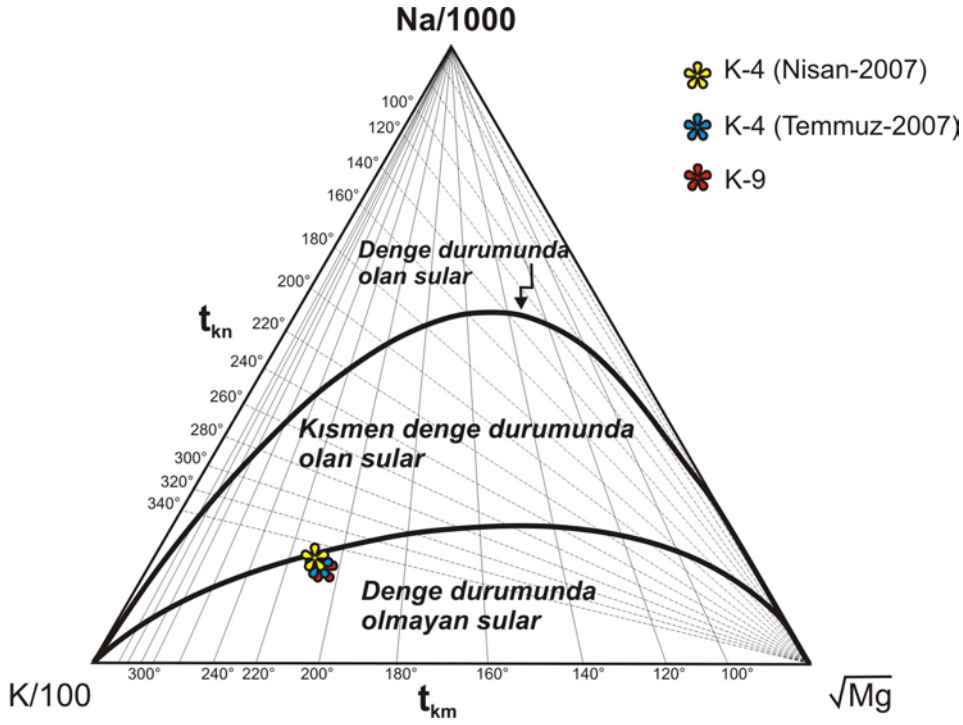
Jeotermometre eşitliğinde $\beta=4/3$ alınarak rezervuar sıcaklığı 142-163 °C arasında hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. İnceleme 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	10
K4 (Nisan-2007)	73	75	85	125	120	109	140	109	143	81
K4 (Temmuz-2007)	78	80	90	129	124	113	144	113	142	80
K9 (Kasım-2006)	86	88	97	136	131	120	151	119	163	85

Na-K-Mg Jeotermometre eşitlikleri (Çizelge 4.7, 10 nolu eşitlik) jeotermal suların akifer sıcaklıklarının yanı sıra suların temasta olduğu mineraller ile denge durumlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Bu amaçla Giggenbach (1988) tarafından geliştirilen Na-K-Mg jeotermometresi ile hem sıcak suların hazne sıcaklığı hem de 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 yer alan jeotermal sulara uygulanan katyon jeotermometrelerinin daha doğru sonuç vereceğini belirtmiştir.

Karacaahmet jeotermal alanı içerisindeki sıcak su kaynağı ve sıcak su kuyusu “denge durumunda olmayan sular” bölümünde yer almaktadır (Şekil 4.6). Bu nedenle katyon jeotermometrelerinin bu kaynaklarda uygulanması uygun görülmemiştir.



Şekil 4.6. Karacaahmet sıcak su kaynaklarının Na-K-Mg diyagramındaki konumları

4.6.2. Silis jeotermometreleri

Silis jeotermometreleri, silisin su içerisindeki sıcaklığa bağlı çözünürlüğüne dayanır. Kuvars, kristobalit, kalsedon, amorf ve silis gibi değişik silis formlarının su içerisindeki çözünürlüğü farklı olduğu için farklı jeotermometre eşitlikleri geliştirilmiştir (Çizelge 4.9). Silis için geliştirilen jeotermometre eşitliklerinin herbiri 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 kayaktan yüzeye doğru hareket eden sıcak akışkanda hızlı silis çökelişi 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 4.10.'da sunulmuştur.

Çizelge 4.9. silis jeotermometre eşitlikleri (S=ppm olarak SiO₂ derişimidir).

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

Çizelge 4.10. 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
K4 (Nisan-2007)	Karacaahmet sıcak su kaynağı	29.54	79	79	82	64	47	50
K4 (Temmuz-2007)	Karacaahmet sıcak su kaynağı	29.35	79	79	82	64	47	50
K9 (Kasım-2006)	Çağlayık-kuyu	18	60	60	65	44	*	*

* Kaynağın ölçülen değerinden düşük veya eşit değer

Kuvarsa dayalı 1,2,3 ve 4 no'lu jeotermometreler ile sıcak su kaynakları için 60-82 °C aralığında rezervuar sıcaklıkları elde edilmiştir. Ancak, rezervuar sıcaklığının 180 °C'den daha az hesaplanması nedeniyle kuvars jeotermometresi yerine kalsedon jeotermometresinin uygulanması daha uygun görülmüştür. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitliklerinden (5-6 no'lu eşitlikler) rezervuar sıcaklıkları 47-50 °C arasında hesaplanmıştır.

4.7. Karacaahmet Sıcak ve Mineralli Su Kaynağının Yaklaşık Rezervuar Derinliğinin Tahmini

Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının rezervuar derinliği, kaynağın jeotermal gradyanla ısındığı ve çevresindeki Ankara volkanitlerinin de yer gradyanının artmasına sebep olduğu kabul edilerek, herhangi bir yüzey suyunun karışmadığı ve başka bir ısınma mekanizmasının olmadığı varsayılarak Şimşek (1995)'in formülü ile hesaplanmıştır (Eş.4.1). Burada jeotermal gradyanın ortalama her 30 m de 1 °C arttığı kabul edilmiştir. Yüzey kuşağı derinliği ise kaynak bölgesinin hidrojeolojik özellikleri dikkate alınarak ~20 m alınmıştır. Yıllık sıcaklık ortalaması olarak Polatlı DMİ'ye ait 1975-2006 yılları arasındaki aylık ortalama sıcaklık değerleri alınmıştır (Çizelge 1.2).

$$P = P_s + (T_2 - T_1) J_g \quad (4.1)$$

P: Jeotermal rezervuarın derinliği, m

P_s : Atmosferik etki altındaki üst toprak düzeyi, m

T2: Sıcak su kaynağının sıcaklığı, °C

T1: Kaynak bölgesinin sıcaklığı, °C

Jg: Bölgesel Jeotermal gradyan, m

Bu formüle göre rezervuar derinliği;

$P = (39.9 - 11.5) \times 30 + 20 = 872$ m olarak hesaplanmıştır.

5. İZOTOP HİDROLOJİSİ

Jeotermal akışkanların çevresel izotop içeriklerinin incelenmesi ile jeotermal sistemlerin hidrojeolojik özelliklerinin aydınlatılması mümkün olabilmektedir. İzotop oranlarının sıcaklığa, su-kayaç etkileşimine ve diğer fizikokimyasal süreçlere duyarlı olmaları nedeniyle izotop teknikleri jeotermal araştırmalar için önemli katkılar sağlamaktadır. Duraylı Oksijen (^{18}O) ve Döteryum (^2H) izotopları genel olarak jeotermal akışkan kökenlerinin (meteorik, fosil, metamorfik) beslenme alanlarının ve akifer içerisindeki akışkanın sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırken radyoaktif Trityum (^3H) izotopu ise akışkanın yaşının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, inceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynağı ile soğuk su kaynaklarına ait Oksijen (^{18}O) ve Döteryum (^2H) izotop analiz sonuçları hatalı olduğundan, bu tez çalışması kapsamında değerlendirilmemişlerdir.

5.1. Örnekleme ve Analiz Çalışmaları

İnceleme alanında yaralan sıcak ve mineralli su kaynağı ile soğuk sulara ait izotop örnekleri Nisan-2007 ve Temmuz-2007 tarihlerinde alınmış ve Trityum ($\delta^3\text{H}$) analizleri Hacettepe Üniversitesi Hidrojeoloji Mühendisliği Çevresel Trityum Laboratuvarları'nda gerçekleştirilmiştir.

5.2. Trityum (^3H)

Hidrojen atomunun 1 proton ve 2 nötronlu izotopu olan Trityum radyoaktif bir izotop olup; yarılanma ömrü 12.43 yıldır (Clark and Fritz, 1997). Trityum izotopu çekirdekten elektron (β ışını) salınması ile yarılanır. Elektronların enerjisi düşük olup, doğal düzeydeki Trityum derişimi insanlar için sağlık riski oluşturmaz. Duraylı izotoplardakinden farklı olarak Trityum izotop miktarı bir derişim birimi olan TU (Tritium unit: Trityum birimi) ile ifade edilir. 1 TU, 10^{18} hidrojen atomundan birisinin ^3H olduğunu ifade etmektedir. Atmosferik nemdeki Trityumun doğal ve antropojenik (insan kaynaklı) olmak üzere başlıca iki kaynağı vardır. Doğal Trityum izotopu atmosferin üst tabakasında (stratosfer) kozmik kökenli nötronların $\delta^{15}\text{N}$ izotopuna çarparak onu $\delta^{12}\text{C}$ ve $\delta^3\text{H}$ 'a ayırıştırması ile oluşmaktadır. Doğal yollardan atmosfere yayılan Trityumun yağış suyundaki eşdeğeri 10 TU'dur.

Atmosferdeki Trityumun bir bölümü antropojenik kaynaklı olup; özellikle 1950'li yıllarda başlayan ve 1963 yılında uluslararası antlaşmalar ile yasaklanan atmosfere açık yerüstü termonükleer bomba denemeleri sonucunda oluşmuştur.

Bu yolla Trityum üretimi 1963 yılında 1000 TU düzeyine ulaşmış olup; 1963 yılından günümüze değin doğal yarılanma yoluyla azalmıştır. Günümüzde atmosferik nemde Trityum derişimi doğal değerine (10TU) yaklaşmıştır.

Radyoaktif olan Trityum sürekli bozunmaya uğraması nedeniyle belirli bir bölgede yeraltı suyunu besleyen yağışın Trityum içeriğinin bilinmesi durumunda, yeraltı suyunun ağırlıklı ortalama yağının belirlenmesi ve/veya farklı yeraltı sularının karışımına ilişkin öngörülerde bulunulması mümkün olmaktadır. İnceleme alanına ait Trityum değerleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.

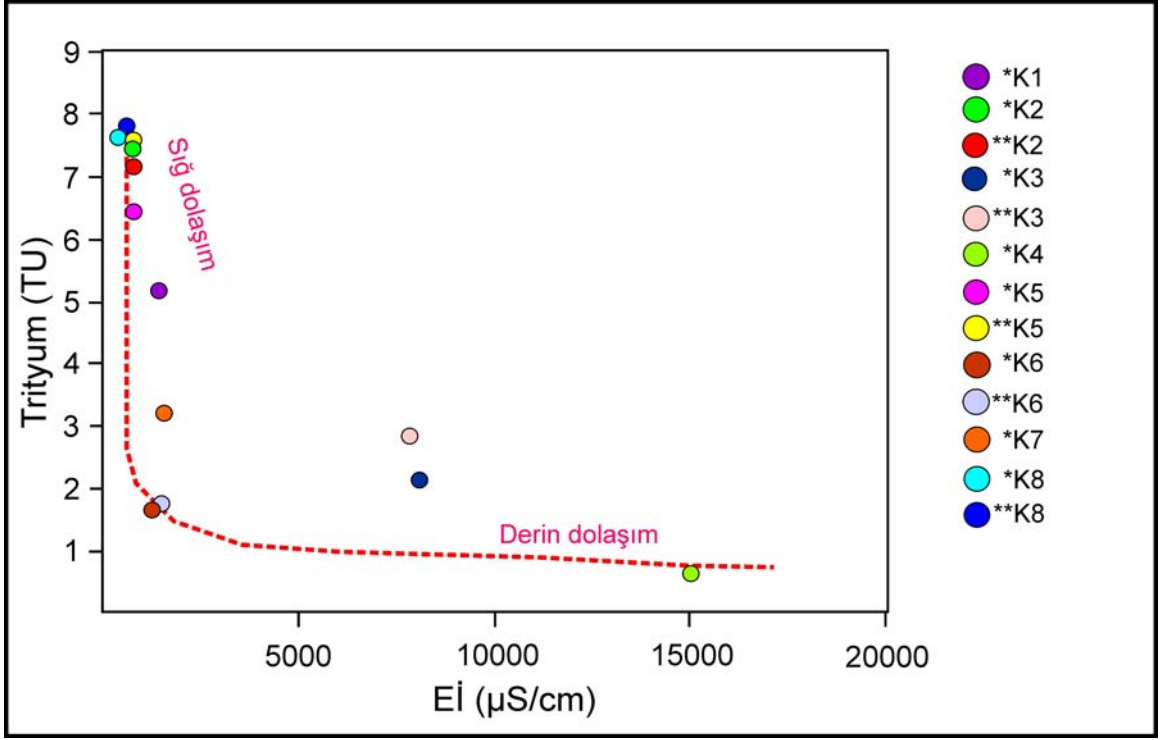
Trityum (TU)- Elektriksel İletkenlik (Eİ)

Suların izotopik değerlendirilmesinde kullanılan Trityum izotopu, radyoaktif bir izotop olmasından dolayı yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile orantılı olarak radyoaktif bozunmaya uğramaktadır. Dolayısıyla yeraltı sularının ortaya konmasında ³H izotopu en önemli parametrelerden biridir. Aynı şekilde genellikle örneklerle ait Eİ değerleri de yeraltı suyunun rezervuarda kalış süresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

Şekil 5.1' de gösterilen TU-Eİ grafiğinde, çalışma alanında yer alan en genç suyun Mahmutlar-çeşme (**K8); en yaşlı suyun ise Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının (*K4) olduğu görülmektedir. Sıcak suyun Eİ değerinin yüksek ve TU değerinin düşük olması, sıcak suyun uzun ve derin yeraltı suyu dolaşımına sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1. İnceleme alanındaki su örneklerinin Trityum analiz sonuçları

Örnekleme Dönemi	Örnek adı	Örnek No	T (°C)	Eİ (µS/cm)	Cl (meq/l)	Trityum (TU)
Nisan-2007	Ankara Çayı	*K1	12.3	1439	86.19	5.15±0.27
Nisan-2007	Yargıç Ç.- çeşme	*K2	10.2	797	9.14	7.50±0.31
Nisan-2007	Yargıç Ç.- kuyu	*K3	15.7	8035	243.97	2.16±0.22
Nisan-2007	Karacaahmet sıcak su kaynağı	*K4	39.9	15025	1937	0.63±0.19
Nisan-2007	İnönü Ç.- çeşme	*K5	12.5	771	15.85	6.41±0.28
Nisan-2007	Sarıoba- çeşme	*K6	12.3	1335	29.83	1.69±0.21
Nisan-2007	Gençali- kuyu	*K7	17	1543	14.64	3.22±0.24
Nisan-2007	Mahmutlar- çeşme	*K8	11	479	2.68	7.64±0.33
Temmuz-2007	Yargıç Ç.- çeşme	**K2	18	785	12.91	7.21±0.35
Temmuz-2007	Yargıç Ç.- kuyu	**K3	16.6	7833	189.90	2.84±0.29
Temmuz-2007	İnönü Ç.- çeşme	**K5	17.8	754	13.12	7.54±0.36
Temmuz-2007	Sarıoba- çeşme	**K6	17.9	1438	35.59	1.73±0.27
Temmuz-2007	Mahmutlar- çeşme	**K8	18	537	2.04	7.82±0.36



Şekil 5.1. İnceleme alanındaki kaynak sularının TU-Eİ grafiği

6. KAVRAMSAL HİDROTHERMAL MODEL

Jeotermal sistemleri oluşturan ana unsurlar; ısı kaynağı, akifer, örtü kayaç, beslenme alanı ve jeotermal akışkanın yüzeye çıkışını kontrol eden fay, kırık veya çatlak yapılarıdır.

Karacaahmet jeotermal alanında akifer, örtü kayaç litolojileri ve hidrojeolojik özellikleri hakkında kapsamlı veri bulunmamaktadır. İnceleme alanındaki akifer litolojileri; jeotermal alanda yapılan jeolojik, hidrojeoloji ve jeokimyasal verilere değerlendirilerek belirlenmeye çalışılmış ve Karacaahmet jeotermal sahasının kavramsal modeli oluşturulmuştur (Şekil 6.1).

6.1. Jeotermal Akışkanın Kökeni ve Beslenme Alanı

Jeotermal sular; başta meteorik kökenli sular olmak üzere magmatik veya jüvenil kökenli sulardan oluşmaktadır. Karacaahmet jeotermal alanında yer alan sıcak ve mineralli su kaynaklarının Oksijen-18 ve Döteryum analiz sonuçları doğru olmadığından suların kökeninin belirlenmesi mümkün olmamıştır. Ancak, Kapullu Hamamı'nın meteorik kökenli yağışlardan beslendiği Diker (2005) tarafından belirlenmiştir. Yapılan hidrokimyasal analizlerde Karacaahmet sıcak su kaynağı ile Kapullu Hamamı kaynağının kökenlerinin aynı olduğu görülmektedir (Bkz. Bölüm 4.3). Buda; Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının da meteorik kökenli sulardan beslendiğini göstermektedir. Bölgedeki sıcak su kaynakları; meteorik kökenli suların ve ırmak sularının kırık ve çatlaklardan derine süzülmesi ve jeotermal gradyan ile ısınarak faylar boyunca tekrar yüzeye yükselmesi sonucu oluşmuşlardır. Bölgedeki sıcak suların düşük trityum ve yüksek Cl içermeleri bu suların derin dolaşımli sular olduğunu göstermektedir.

6.2. Isı Kaynağı

Jeotermal alanlarda ısı kaynağı; başta jeotermal gradyan olmak üzere, volkanik etkinlikler, soğumasını tamamlayamamış magmatik bir sokulum veya tektonik bir etkinliğe bağlıdır. Karacaahmet jeotermal alanında en büyük ısı kaynağını jeotermal gradyan oluşturmaktadır. İnceleme alanının yakın çevresinde (Güdül, Ayaş gibi) Neojen yaşlı Ankara volkanitleri olarak adlandırılan geniş yayılıma sahip volkanik alanların bulunuşu yer gradyanının artmasına neden olmaktadır.

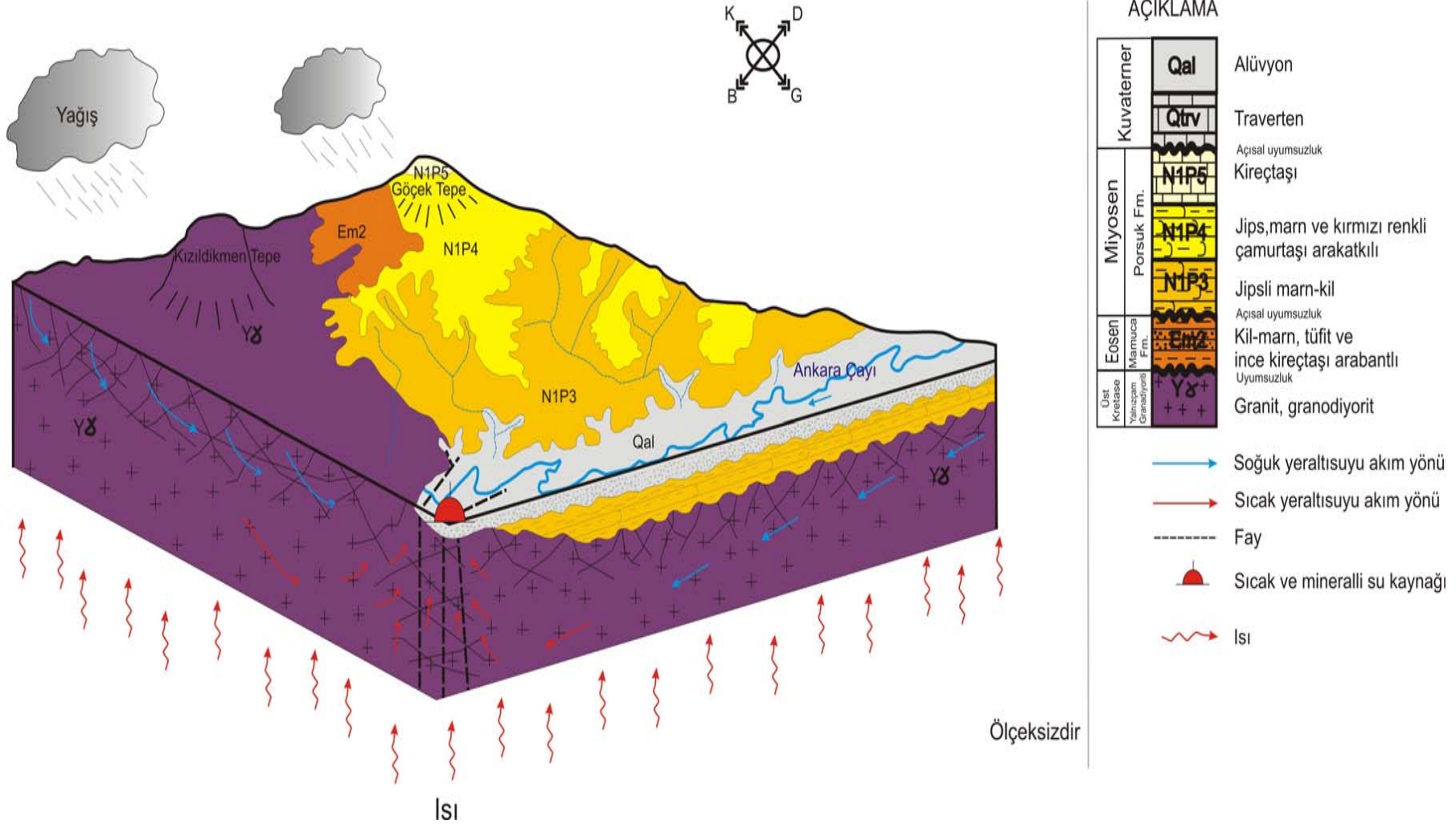
İnceleme alanındaki sıcak ve mineralli su kaynağı; yağmur ve kar yağışından yerin derinliklerine süzülen meteorik suların yeraltında jeotermal gradyan ile ısınması ve fay hatları boyunca yüzeye ulaşması sonucu oluşmaktadır.

6.3. Hazne Kayaç

Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağında yapılan hidrokimyasal çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde sıcak ve yeterli su depolaması beklenen hazne kayaç özelliği taşıyan Üst Kretase yaşlı Yalnızçam granodiyoritidir. Yeraltına süzülen meteorik suların jeotermal gradyan etkisiyle ısınıp, derine ulaşan faylar boyunca yükselerek granit ve granodiyoritin çatlaklarında ve altere olan zonlarında birikmesi olasıdır. Sıcak su kaynağının yüksek tuzluluğa sahip olması, Miyosen yaşlı birimlerin jipsli formasyonlarıyla teması ve bu formasyondan süzülen sular yoluyla oluştuğunu göstermektedir.

6.4. Örtü Kayaç

Hidrotermal sistemin sahip olduğu ısıyı koruyabilmesi için, sıcak su akiferi üzerinde düşük geçirimsizliğe ve düşük termal iletkenliğe sahip bir örtü kayaca ihtiyaç duyulmaktadır. Çalışma alanında örtü kayaç olabilecek formasyonlar; Miyosen ve Eosen yaşlı birimlerin killi, jipsli ve marnlı seviyeleridir.



Şekil 6.1. Karacaahmet jeotermal alanının kavramsal hidrotermal modeli

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma alanında Nisan-2007 ve Temmuz-2007 dönemlerinde yapılan arazi çalışmaları ve büro çalışmalarının değerlendirilmesiyle aşağıdaki sonuç ve öneriler çıkarılmıştır.

Çalışma alanının 1/25000 ölçekli jeolojik haritası önceki çalışmalardan yararlanılarak yapılmıştır. Tez sahasının stratigrafik istifi ve jeolojik kesitleri oluşturulmuştur. Arazi gözlem ve değerlendirmeleri ile kayaçların hidrojeolojik özellikleri göz önüne alınarak tez sahasının 1/25000 ölçekli hidrojeolojik haritası yapılmıştır.

Karacaahmet kaynağının yakınında (31 km KB'sında) yer alan Kapullu kaynağının oluşumunu aydınlatılabilmek için granitoidlerde yapılan 1750 adet süreksizlik ölçümü sonucunda, bölgede yaklaşık D-B yönlü bir sıkıştırmanın ve bundan dolayı K-G yönlü bir çekmenin varlığı ortaya konmuştur. Bu sıkıştırma ve çekme kuvvetleri sonucunda inceleme alanında KB-GD ve KD-GB doğrultulu normal fay sistemleri gelişmiştir. Bu fay sistemlerinin yerin derinliklerine sızan ve ısınan meteorik suların yüzeye ulaşmasını sağladıkları söylenebilir. Karacaahmet sahasının da Kapullu sahasına benzer tektonik özellikler gösterdiği belirlenmiştir.

İnceleme alanındaki birimlerin hidrojeolojik özellikleri incelendiğinde Üst Kretase yaşlı Yalnızçam granodiyoritinin kırıklı, çatlaklı, faylı ve altere olmuş zonlarının sıcak su akiferi oluşturabilecek özellikte olduğu belirlenmiştir. Eosen yaşlı Mamuca Formasyonunun ve Miyosen yaşlı Porsuk Formasyonunun killi, marnlı ve jipsli çökelleri örtü kayacı oluşturmaktadır.

Karacaahmet sıcak su kaynağının Eİ değerinin Kapullu Hamamı kaynağına göre daha yüksek olması; çevresindeki jipsli birimlerle olan mesafesinin kısa ve temas süresinin daha uzun olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma alanında yer alan sıcak ve mineralli sular ile soğuk sular Schoeller ve Piper diyagramları ile Wilcox ve ABD Tuzluluk Laboratuvarı diyagramları kullanılarak kimyasal bileşim (tuzluluk) ve kalite yönlerinden incelenmiştir. Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağı, Çağlayık sıcak su kuyusu ve Kapullu Hamamı kaynağı Na-SO₄ tipli sular sınıfında yer almaktadır. Soğuk sular ise Na-

HCO₃, Ca-HCO₃, Na-SO₄ ve Ca-SO₄ tipi suları oluşturmaktadırlar. Schoeller diyagramına göre sıcak sularının kimyasal birleşimlerinin birbirine paralel oluşu, bu suların aynı kökenli olduğunun ve benzer akiferlerden beslendiklerinin göstergesidir. Piper diyagramına göre sıcak sular, ileri derecede tuzlu sular olup bölgedeki soğuk sulardan ayrı bir grup oluşturmaktadırlar.

Bölgede yer alan sıcak ve mineralli sular ile soğuk su örneklerinin sulama amaçlı kullanılıp kullanılmayacağı ABD Tuzluluk ve Wilcox diyagramları çizilerek belirlenmiştir. Sıcak ve mineralli sular yüksek derecede tuzluluk içerdiklerinden bu diyagramlarda yer almamışlardır. Dolayısıyla bu suların tarımda doğrudan kullanılması uygun olmayacaktır.

Mineral doygunluk hesaplamalarına göre bölgedeki sıcak ve soğuk su kaynaklarının jips, halit, anhidrit ve silise doygun olmadıkları fakat kalsit ve dolomit minerallerine doygun oldukları belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuca göre bu suların kabuk yapıcı özellikte olduğu belirlenmiştir. Ayrıca sıcak suların çok tuzlu olması korozyona sebep olabilmektedir. Bu nedenle sondaj muhafaza ve sıcak su taşıma boruları seçiminde bu özellikler göz önünde tutulmalıdır.

Sıcak ve mineralli suların rezervuar sıcaklıklarını tahmin etmek için silis ve katyon jeotermometrelerinden yararlanılmıştır. Karacaahmet jeotermal alanı içerisindeki sıcak su kaynağı ve sıcak su kuyusu “**denge durumunda olmayan sular**” bölümünde yer almasından dolayı katyon jeotermometrelerinin bu kaynaklarda uygulanması uygun görülmemiştir. Buna göre, silis jeotermometreleri katyon jeotermometrelerine göre daha sağlıklı sonuç vermektedir. Kalsedon formuna dayalı jeotermometre eşitliklerinden rezervuar sıcaklıkları 47–50 °C olarak hesaplanmıştır.

Sıcak suların Eİ ve Cl⁻ değerlerinin yüksek, trityum içeriğinin düşük oluşu bu suların derin dolaşımli yaşlı sular olduğunu göstermektedir.

Sahadan elde edilen jeolojik, hidrojeolojik ve jeokimyasal veriler değerlendirilerek oluşturulan hidrotermal modele göre, sıcak ve mineralli sular, yağmur ve kar yağışından yeraltına süzülen meteorik kökenli suların yeraltında jeotermal gradyan ile ısınması, fay hatları ve kırık-çatlaklar boyunca yükselmesi sonucu oluşmaktadır.

Karacaahmet sıcak ve mineralli su kaynağının Ankara'ya yakınlığı nedeniyle sağlık ve turizm açısından öncelikli kullanım olanağı vardır. Ayrıca, sıcak suyun kaplıca amaçlı kullanımına yönelik koruma alanlarının belirlenmesi ve koruma alanlarıyla ilgili hükümlere uyulması gerekmektedir.

Bölgedeki sıcak su akiferinin yayılımını ve komşu rezervuarlarla ilişkisi ve hidrotermal modelin geliştirilmesine yönelik ayrıntılı jeofizik çalışmaları yapılmalıdır.

Sahada yeni kuyu açılması ve sıcak su debi artışı sağlanması halinde elde edilecek sıcak sular seracılık açısından değerlendirilebilir. Fakat sıcak sular yüksek tuzluluk içerdiğinden, sera ısıtmacılığında kullanılmasından sonra atık suların yeraltına reenjeksiyonunu gerekmektedir. Reenjeksiyonun oldukça pahalı bir yöntem olmasından dolayı, kurulum ve işletim maliyetinin göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Açıkgöz, S., Pars, S., Akıllı, H., 2008, Polatlı-Çağlayık kuyu bitirme raporu. MTA (Yazımda)
- Akyürek, B., Duru, M., Sütçü, Y., Papak, İ., Şaroğlu, F., Pehlivan, N., Gönenç, O., Granit, S., Yaşar, T., 1996, Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynaklar projesi. MTA Derleme No: 9961
- Ataman, G., 1973, Mihalıççık (Eskişehir) granit kütlelerinin radyometrik yaşı üzerine çalışma. TÜBİTAK 4. Bilim Kongresi, Yerbilimleri Sektörünü Tebliğler Kitabı, 1-5.
- Canik, B., 1998, Hidrojeoloji, Yeraltı sularının aranması, işletilmesi, kimyası, 289 s, Ankara
- Craig, H., Standarts for reporting concentrations of deuterium and oxygen-18 in natural waters, Science, 133, 1833-1834.
- Çoğulu, E., 1967, Etude petrographique de la region de Mihalhçık (Turquie): Doktora Tezi, Zürich, Imprimerie Leemann S.A.
- Çoğulu, E. ve Krummenacher, D., 1967, Problemes geochronometriques dans la partie N de Anatolie Centrale (Turquie), Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt., 47, 825-833.
- 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.
- Day, B.A. And Nightingale, H.I., 1984, Realionships between ground-water silica, total dissolved solids and specific electrical conductivity: Ground Water, 22,1, 80-85.
- Diker, S., 2005, Kapullu Hamamı ve dolayının (Beypazarı) hidrojeoloji incelemesi: Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Ankara.
- Diker, S., Çelik M., Kadioğlu Y.K., 2006, Finger prints of the formation of geothermal springs on the granitoids: Beypazarı-Ankara, Turkey. Environ Geol (2006) 51: 365-375
- Doğan, L., 1981, Hidrojeolojide su kimyası, DSİ yayınları, 178s, Ankara.
- Feth, J:H:, 1981, Cloride in natural continental water a rewiew: U.S. Geological Survey Water- Suppl Paper 2176, U.S. Government Printing Office, Washington, 30p.
- Freeze, R.A. and Cherry, J.A., 1979, Groundwater, Prentice-Hall, 604p.
- Freze, R.A. and Cherry, J.A., 1989, Ground water: Prentice Hall, Inc., New Jerse 07632, 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 empirical 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.
- Gamsız, E. Ve Ağacık, G., 1981, Su ve analiz metodları: DSİ Gn. Md. Yayını, 158s., Ankara.
- 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 geothermometers, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, pp. 55, 2749-2765.
- Goldschmidt, V.M., 1958, *Geochemistry*: Oxford Univ. Pres, London, 730p.
Rankama, K. And Sahama, T.H.G., 1964, *Geochemistry*: The Univ. Of Chicago Pres, Chicago and London, 912p.
- Gözler, Z., Cevher, F., Ergül, E., Asutay, J., 1996, Orta Sakarya ve güneyinin jeolojisi, MTA Derleme No:9973.
- Hakyemez, Y., Barkut, M.Y., Bilginer, E., Pehlivan, Ş., Can, B., Dağer, Z., ve Sözeri, B., 1986, Yapraklı- Ilgaz- Çankırı-Çandır dolayının jeolojisi. MTA Derleme No:7966 (yayınlanmamış).
- Helvacı,C., Bozkurt, S., 1994, Beypazarı (Ankara) granitinin jeolojisi, mineralojisi ve petrojenezi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, C.37, Sayı2, 31–42.
- 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.
- McNeely, R. N., Neimanis, V.P., Dwyer, L., 1979, Water quality source book-A guide to water quality parameters.
- 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.

- Öktü, G., 1987, Ankara ili Polatlı ilçesindeki sıcak su ve madensuyu kaynaklarına ilişkin ön inceleme raporu. MTA Derleme No: 8194, s7–8.
- Parkhurst, D.L. and Appelo C.A.J., 1999, User's guide to PHREEQC (Version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations, USGS Water Resources Investigation Report 99-4259, 312p.
- Sarıarslan, M., Yurdakul, E., Osmañealebiođlu, R., Basa, F., Şentürk, K., Mutlu, G., Aktimur, T., 1998, Ankara ilinin çevre jeolojisi ve doğal kaynakları. MTA Derleme No: 10069
- 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.
- 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.
- TSE, TS 266, 2005. Türk Standartları Enstitüsü, İçme suları standartları No:226, Ankara.
- Wilcox, L.V., 1955, Classification and use of irrigation waters, U.S. Dept. Agric. Circ. 969, Washington D.C., 19p.
- WHO, 1993, Drinking water standards, in Engineering Geology and Environmental.
- Zoroğlu,O.,Kadioğlu, Y., 2003, Oymaağaç (Beypazarı-Ankara) granitoidinin jeolojisi ve petroğrafisi. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi 16(2):299–308.
- Zoroğlu,O.,Kadioğlu, Y., 2004, Oymaağaç granitoidinin normal zonlu kristalleşme özelliği, Beypazarı-Ankara. F:Ü: Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1),81–95.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Safigül Tuba Türkmen

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1982

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1996-1999: Ankara Lisesi

Lisans 1999-2004: HÜ Jeoloji (Hidrojeoloji) Mühendisliği

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

2006- : TPAO Üretim Dairesi Rezervuar Jeolojisi Müdürlüğünde çalışmaktadır.